

**ANTOLOGIA**

# **ANTOLOGIA ESTEREO**

PELOS EDITORES DA  
**REVISTA MONITOR DE RÁDIO E TELEVISÃO**

3ª EDIÇÃO  
1966

**EDIÇÕES MONITOR**  
CAIXA POSTAL, 30.277 - S. PAULO - BRASIL

# LIVROS TÉCNICOS

QUE NÃO PODEM FALTAR NA SUA BIBLIOTECA.

## EDIÇÕES MONITOR

Utilíssima série que muito o auxiliará no exercício de sua profissão.

### SELEÇÕES DA REVISTA MONITOR DE RÁDIO E TELEVISÃO

**1.º VOLUME: BANCADA DE SERVIÇO**, apresenta, numa linguagem clara, a solução prática de problemas com os quais o técnico se depara diariamente na oficina ou laboratório. Verdadeira enciclopédia de conhecimentos práticos e úteis. Cr\$ 3.500

**2.º VOLUME: MUITO SOBRE TELEVISÃO (1.ª Parte)**, trata detalhadamente de: Antenas, Retransmissores, Repetidores e Estações de TV; Televisão em circuito fechado e Retransmissões cifradas; Reparação e Manutenção de receptores de TV. Cr\$ 3.500

**3.º VOLUME: MUITO SOBRE TELEVISÃO (2.ª Parte)**, trata detalhadamente de: Televisão em cores e Reparação e Manutenção dos Televisores Branco e Preto. Cr\$ 3.500

**ANTOLOGIA HI-FI ESTÉREO**, alta-fidelidade, preamplificadores, alto-falantes, equalização, som estereofônico, medições e testes, incluindo diversos circuitos. Cr\$ 5.000

**PRÁTICA DE TELEVISÃO AO ALCANCE DE TODOS**, princípios de funcionamento, normas, montagens, circuitos interferentes, televisão a cores, etc. Cr\$ 4.500

**MANUAL DE VÁLVULAS**, características de válvulas receptoras, retificadoras e especiais, americanas e européias. Tabelas de equivalências, etc. Cr\$ 3.000

**CURSO "ESSE" DE ALTA-FIDELIDADE**, obra de análise e descrição dos princípios da Alta-Fidelidade e Estereofonia. Contém ainda uma análise da Psico-Acústica dos Sons Audíveis. Excelente para estudantes e para todos quantos se interessam mais profundamente pelo assunto. Cr\$ 5.000

**MANUAL DE LETRAS**, contendo inúmeros modelos de letras para anúncios, cartazes e noções de artes gráficas. Ideal para o estudante e ótimo auxiliar para o profissional. Cr\$ 2.000

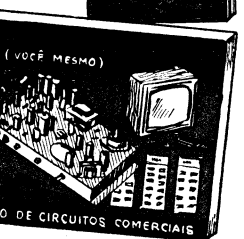
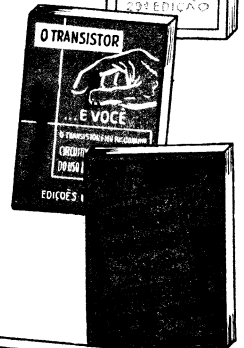
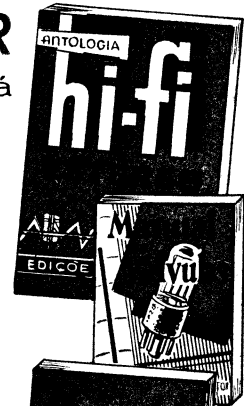
**CALIBRAÇÃO E SERVICE DE RECEPTORES DE TV**, localização e eliminação de defeitos, instruções para calibração, uso de instrumentos de laboratório mais comuns, etc. Cr\$ 4.500

**DICIONÁRIO RADIOTÉCNICO BRASILEIRO**, termos técnicos de Rádio, Televisão e Eletrônica, traduções de termos técnicos ingleses, símbolos de componentes, código de cores de resistências, condensadores, transformadores, etc. Cr\$ 3.000

**MANUAL DE CIRCUITOS**, contém 64 circuitos comerciais, nacionais e estrangeiros, a válvula e a transistores. Utilíssimo para o profissional. Cr\$ 2.000

**MANUAL DE CONSERTOS**, princípios de funcionamento, localização e eliminação de defeitos, estudo dos componentes, defeitos e causas, etc. Cr\$ 3.000

**CONSTRUA (VOCE MESMO) SEU TELEVISOR 59 cm (23") 114"**, ensina qualquer pessoa a montar seu próprio aparelho de televisão. Contém ainda seção de diagramas comerciais. Cr\$ 3.000



PROCURE NAS BOAS LIVRARIAS OU PEÇA DIRETAMENTE PELO REEMBOLSO POSTAL AO

# INSTITUTO RÁDIO TÉCNICO MONITOR S/A.

RUA DOS TIMBIRAS, 263 - CAIXA POSTAL 30.277 - S. PAULO - SP-2

## AOS NOSSOS LEITORES

Em abril de 1955 publicamos, na Revista Monitor de Rádio e Televisão, o primeiro de uma série de artigos sobre um assunto então desconhecido: Alta-Fidelidade.

Hoje em dia não há técnico que não tenha ouvido falar em Hi-Fi, e a montagem e reparação desses aparelhos é, para alguns técnicos, uma especialidade altamente lucrativa.

Tendo colaborado, na medida de nossas possibilidades, para a difusão dos técnicos de alta-fidelidade no território nacional, tivemos ocasião de observar a quase completa ausência de livros ou manuais técnicos, em língua portuguesa, que tratem do assunto.

Com o intuito de preencher, ao menos em parte, essa lacuna, estamos publicando, sob a forma de **antologia**, os artigos sobre alta-fidelidade que figuraram nas páginas de nossa revista nos últimos anos.

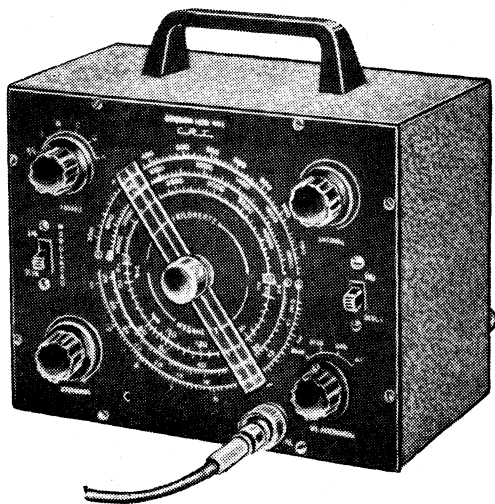
Aqui os leitores encontrarão artigos cobrindo todos os aspectos teóricos e práticos da alta-fidelidade, incluindo pre-amplificadores, alto-falantes, toca-discos e muitos outros, incluindo vários circuitos, dedicados aos montadores, que foram testados e aprovados em nossos laboratórios. A fim de facilitar o uso desta antologia como obra de referência, os artigos foram classificados por assunto e dispostos em seções.

Esperamos que nossa modesta contribuição auxilie a todos, veteranos ou novatos, tornando-se, tanto para uns como para outros, um manual útil no desempenho de sua profissão.

Os Editôres

# INSTRUMENTOS C. R. T.

A PRECISÃO A SERVIÇO DOS TÉCNICOS



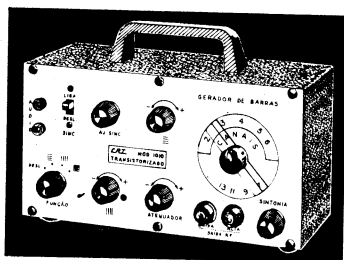
## GERADOR DE SINAIS CRT-401

Moderno, compacto, de alta precisão, para perfeita calibração de receptores de AM, FM e TV.

### CARACTERÍSTICAS:

Cobertura de frequências entre 340 KHz e 216 MHz - 6 faixas fundamentais abrangendo de 340 KHz a 72 MHz e 1 harmônica de 72 MHz a 216 MHz. Para 110 ou 220 V.

Dimensões: 21 x 17 x 12 cm.  
Peso: 2,4 Kgs.



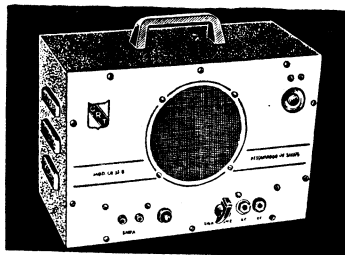
GERADOR DE BARRAS CRT - Mod. 1010

A VENDA NAS CASAS DO  
RAMO OU DIRETAMENTE NA

## RADIOTÉCNICA AURORA S.A.

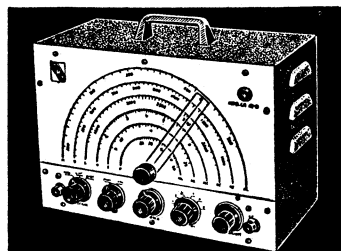
Rua Timbiras, 263 - Caixa Postal 5009

SÃO PAULO - SP-2



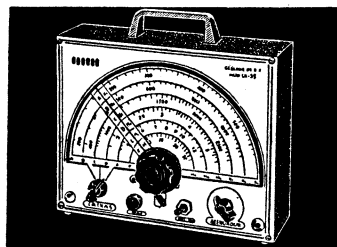
PESQUISADOR  
DE SINAIS

CR-35-B



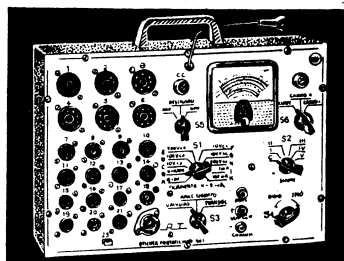
GERADOR DE  
SINAIS

CR-41-B



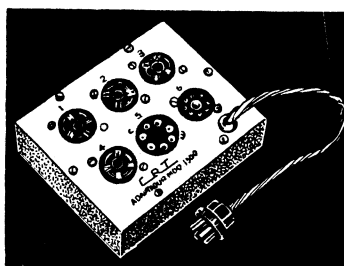
GERADOR DE  
SINAIS

CR-55-F



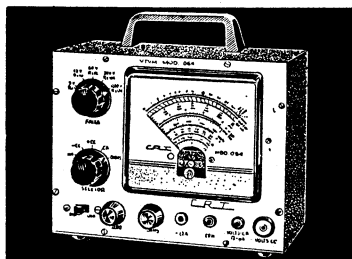
OFICINA  
PORTÁTIL

CRT-801



ADAPTADOR DE  
VÁLVULAS  
CRT-1300

Para ser usado  
em conjunto com  
a Oficina Portátil.



VOLTIMETRO  
ELETRÔNICO  
VTVM-064

# INTRODUÇÃO À ALTA-FIDELIDADE

- ✓ O QUE É ALTA-FIDELIDADE
- AS CURVAS DE GRAVAÇÃO
- INVERSORES DE FASE
- ELIMINAÇÃO DO RONCO
- A REALIMENTAÇÃO NEGATIVA
- AMPLIFICAÇÃO ULTRALINEAR
- OSCILAÇÕES PARASÍTICAS
- DIAMANTE, O MELHOR AMIGO DO DISCO FONOGRÁFICO
- CÁPSULAS FONOGRÁFICAS DE CRISTAL E CERÂMICAS
- MOTORES PARA FONÓGRAFOS

**Todos os direitos de reprodução,  
parcial ou total, reservados pela  
Editôra**

# O QUE É ALTA-FIDELIDADE

HI-FI (High-Fidelity), ou seja, "Alta-Fidelidade", conquistou, durante os últimos anos, invulgar popularidade na América do Norte, despertando o interesse de grande parte do público norte-americano, apesar da enorme concorrência oferecida pela televisão naquele país.

As razões desse repentino surto de interesse pela "HI-FI" podem ser atribuídas a vários fatores, dentre os quais se destacam os seguintes: depois de 1947 surgiram nos Estados Unidos os primeiros transmissores de frequência modulada, graças aos quais a música irradiada possuía qualidade muito superior à das transmissões comuns de AM; vindos da Europa surgiram os primeiros gravadores magnéticos, que possibilitavam uma gravação muito superior à dos discos comuns e, finalmente, surgiram os discos LP ("Long-Play" ou "Microsulcos") que colocavam à disposição dos audiófilos uma fonte de som de altíssima qualidade.

Foram os amadores os primeiros no desenvolvimento dos novos circuitos e componentes, embora a indústria especializada no fabrico de equipamentos para emissoras também tenha contribuído muito neste setor.

**Quais as exigências impostas a um amplificador para que possa ser denominado pela expressão "alta-fidelidade"?**

- 1) A distorção harmônica deve ser inferior a 1%, à potência nominal do amplificador.
- 2) A distorção por intermodulação não deve ser maior que 2%, à potência nominal.

- 3) A potência nominal de saída deve ser superior a 10 watts.
- 4) A resposta de frequências deve abranger, pelo menos, as frequências audíveis, de aproximadamente 30 até 15 000 Hz, com variação máxima de  $\pm 3$  dB.
- 5) O nível de ruído e ronco deve estar 60 a 70 dB abaixo da potência nominal.
- 6) O conjunto deve possuir controles de tonalidade e equalização ajustáveis, com alcance suficiente para a reprodução correta de discos de toda espécie, gravações de fita magnética, rádio, etc..

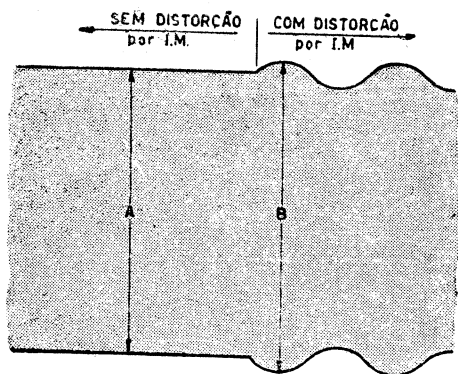
Entende-se por "distorção por intermodulação" a influência de uma frequência baixa e de grande amplitude sobre uma frequência elevada, porém de pequena amplitude, introduzidas simultaneamente na entrada do amplificador. Se todas as válvulas do amplificador não trabalharem na parte reta de suas características, então as grandes amplitudes da baixa-frequência alternarão o ponto de trabalho sobre a característica, periodicamente. A frequência elevada é então amplificada de um modo desigual durante os picos positivos e negativos da frequência baixa, resultando assim a modulação da frequência alta pela baixa. Na saída do amplificador, a frequência baixa é eliminada por filtros e medida a modulação em porcentos da amplitude da frequência elevada.

Embora não existam ainda frequências e relações de amplitude padronizadas para esta medida, a grande parte da indústria usa 60 e 7 000 Hz, na proporção de amplitude de 4 para 1.

A distorção por IM é a mais desagradável ao ouvido, pois os seus produtos não têm relação harmônica com a nota fundamental. Isto dá ao som um matiz áspero, facilmente perceptível pelo ouvido, mesmo quando presente em pequena percentagem.

Um bom amplificador deve ter no máximo 1% de distorção IM a um nível de 1 watt (nível médio a volume normal) e nos picos de potência não deve ultrapassar o dobro desta distorção.

**Distorção Harmônica.** Quando injetamos um sinal sinusoidal puro num amplificador, obtemos em sua saída, além deste, outras frequências, harmônicas da primeira. Não existe



$$\text{DISTORÇÃO POR I.M.} = 100 \times \frac{B-A}{A} (\%)$$

Fig. 1 — Medição e fórmula para o cálculo de intermodulação, usando um osciloscópio. Esta medição só dá resultados com 5% ou mais de distorção.

amplificador algum que não apresente esta distorção, mas consegue-se baixar a componente distorcida abaixo de 1%, à plena carga.

A distorção harmônica é medida injetando-se um sinal sinusoidal puro na entrada do amplificador. Na saída é ligado um filtro passa-altos que rejeita a frequência fundamental do sinal, mas deixa passar todas as frequências mais elevadas. Mede-se então o sinal restante, que é composto por todas as harmônicas em conjunto.

Alguns fabricantes também indicam a distribuição exata das harmônicas (as componentes de 2.ª, 3.ª, 4.ª, 5.ª, etc., harmônicas), porém esta medição é muito mais complicada e o seu valor é idêntico ao simplificado. Por este motivo é pouco usado este sistema.

**Potência de saída.** Sobre esta grandeza houve, e ainda há, grandes divergências entre os peritos. Afirmam alguns que 5 watts são suficientes para uma boa reprodução em salas normais, pois o nível médio de potência neste caso raramente ultrapassa 1 watt; outros afirmam que o mínimo deve ser de 20 watts, mas que é preferível potência ainda maior, para haver reservas na reprodução dos picos de modulação. A nosso ver, 10 watts são necessários e suficientes para a obtenção de uma boa reprodução, com volume normal; em salões maiores, e para quem gosta de ouvir a música quase no mesmo nível que o existente num salão de concertos, é recomendável projetar o amplificador para 20 a 25 watts.

A medição da potência sempre deve ser acompanhada por uma inspeção visual do sinal, por meio de um osciloscópio. Uma medição simples é a seguinte: liga-se à saída do amplificador uma resistência de valor igual à da impedância nominal do amplificador, e igualmente à entrada de um osciloscópio. Vai-se aumentando a amplitude do sinal de entrada, observando a forma da curva no osciloscópio. No momento em que se notar uma alteração na forma dos picos, ter-se-á alcançado uma distorção aproximada de 5%. A medição exata da tensão efetiva, neste ponto, dará a potência de saída, através da fórmula  $W = E^2/R$ .

Ao observar a forma da curva no osciloscópio, deve-se prestar atenção se o achatamento dos picos, ao se aumentar o sinal, aparece simultaneamente nos dois lados, pois de outra maneira o som produzido será desagradável.

**Resposta de frequência.** Pelo uso de regeneração negativa e transformadores de saída de boa qualidade, não é difícil construir amplificadores que tenham resposta uniforme através

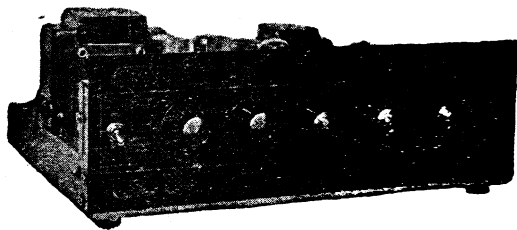


Fig. 2 — Amplificador e equalizador comercial. Esta unidade contém todos os controles de conjunto.

do espectro audível de, digamos, 15 a 15 000 Hz. Isto seria amplamente suficiente, se não existissem os transientes, ou seja, repentinas



mudanças de volume, como aparecem, por exemplo, ao ser tocada uma nota no piano ou num instrumento de percussão. Para conseguir reproduzir tal nota com máxima fidelidade, é necessário uma resposta plana até frequências 10 vezes mais elevadas que a fundamental; como as fundamentais vão até aproximadamente 4 000 Hz, um bom amplificador de alta-fidelidade deveria reproduzir até 40 000 Hz. Na realidade, grande parte dos amplificadores comerciais ultrapassa ainda bastante este limite, não para melhorar a resposta dos transientes, mas sim para poder aplicar realimentação negativa suficiente. Sobre este assunto trataremos em outra parte desta série de artigos.

**Nível de ruído.** O nível de ruído, ou ronco, é de grande importância, sendo mais crítico em rádios ou amplificadores comuns, por dois motivos:

1 — Com discos long-play, ou transmissões de FM, a dinâmica é muito maior que com discos comuns ou em transmissões de AM. Com isto existem certamente passagens de música a nível baixíssimo, que permitem ouvir claramente qualquer ronco presente no reproduzidor.

2 — Os alto-falantes bons, especialmente fabricados para uma ampla faixa de frequência, reproduzem as frequências baixas com muito mais eficiência que os alto-falantes comuns. A frequência de ressonância de um alto-falante comum de 12 polegadas está normalmente entre 80 e 120 ciclos, enquanto que um alto-falante de alta-fidelidade do mesmo tamanho possui ressonância entre 40 e 50 ciclos. Conseqüentemente, a menor componente de 60 ou 120 ciclos (provavelmente da retificação) é perfeitamente audível. A situação é agravada ainda pelo uso de baffles especiais, que acentuam a reprodução das notas graves.

Nos amplificadores comerciais, geralmente está indicado o nível de ruído como sendo "70 dB abaixo da potência nominal de saída", sendo este um valor típico. Esta designação não é muito correta, pois, com isto, dois amplificadores de potência nominal diferente, possuem nível absoluto de ruído diferente, embora ambos tenham a mesma atenuação de ruído. Para o uso do amplificador é, porém, importante o ruído absoluto e, por isto, seria mais conveniente indicar a atenuação do ruído em relação a uma certa potência. Provavelmente a indústria usará futuramente o nível de 1 watt para esta comparação, sendo que o nível de 60 dB abaixo de 1 watt seria suficiente neste caso.

O nível de ruído compõe-se do ronco e do chiado. Enquanto o primeiro é proveniente da

frequência da corrente alimentadora, o chiado provém do seguinte: como todas as cápsulas de alta-fidelidade possuem tensão de saída bastante baixa, o fator de amplificação forçosamente deve ser alto. Com isto, já adquire importância o ruído gerado nas válvulas pelas pequenas irregularidades do fluxo de elétrons, bem como o ruído provocado por resistências ao serem atravessadas por uma corrente. Esta última fonte de ruído é eliminada pelo uso de resistências especiais, ou pelo uso de resistências de fio nos estágios preamplificadores; o ruído de válvulas é atenuado pela escolha cuidadosa das mesmas, ou por circuitos especiais. A ligação "cascode", por exemplo, já tanto usada nos circuitos de entrada para receptores TV, está sendo adaptada para a entrada dos preamplificadores de áudio.

**Contrôles de tonalidade e equalização.** A grande maioria dos amplificadores de HI-FI es-

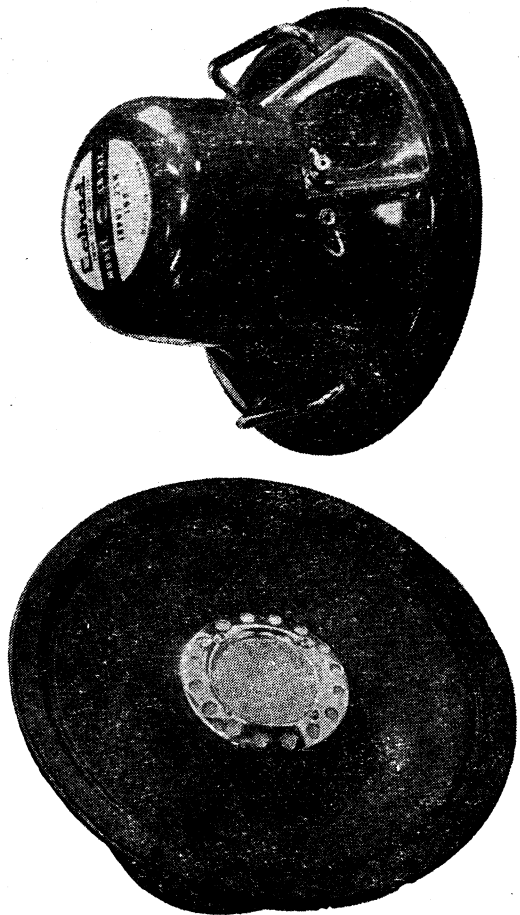


Fig. 3 — Alto-falante típico de alta-fidelidade. Note-se principalmente o ímã permanente grande e a corneta central para as frequências altas.

tá subdividida em 2 ou 3 unidades: o preamplificador forma a primeira unidade, o amplificador forma a segunda e, em alguns casos, a fonte de alimentação separada forma a terceira. Esta separação do preamplificador dos demais componentes do sistema (amplificador de potência e fonte de alimentação) é feita por dois motivos: procura-se evitar qualquer influência dos estágios finais sobre os de baixo nível, e porque na prática prefere-se separar os alto-falantes do toca-discos. O amplificador de potência fica então junto aos alto-falantes, enquanto que o preamplificador é colocado junto ao toca-discos.

O amplificador de potência não possui controle algum, a resposta de frequência é linear e a tensão de entrada, para potência nominal máxima, é geralmente de 1 a 2 volts efetivos. Todos os controles estão dispostos no preamplificador, inclusive a chave para ligar e desligar o conjunto. A entreligação é feita por meio de cabos de vários fios.

Todos os preamplificadores possuem pelo menos 4 controles. O primeiro permite selecionar entre 3 ou 4 diferentes curvas de resposta, para adaptá-las às diferentes curvas de gravação. Sobre este problema das curvas de gravação publicaremos um artigo em separado, pois o assunto é complexo demais para ser tratado neste artigo. Para o momento basta indicarmos que a chave permite escolher algumas curvas diferentes de equalização e, em alguns casos, permite ainda escolher entre as diversas outras fontes de audiofrequência

(receptores de rádio ou TV, gravadores de fita, microfone, etc). Os controles de tonalidades sempre são dois, um atuando sobre os graves e o outro sobre os agudos. Geralmente permitem tanto a atenuação como o destaque de ambos os lados do espectro.

O controle de volume clássico está desaparecendo lentamente nestes preamplificadores, dando lugar ao "controle de intensidade de som" (loudness-control). Estes controles modificam a curva de resposta do conjunto, de acordo com o nível de volume reproduzido; nos níveis baixos, tanto as frequências baixas, como as altas são destacadas em relação às médias, para compensar a menor sensibilidade do ouvido humano em relação a estas frequências, quando o volume é baixo. Neste caso os controles de tonalidade só servem ainda para adaptar o conjunto às condições acústicas da sala. Isto teoricamente, porque na prática é necessário ajustá-los adicionalmente ao controle de equalização, porque as curvas de gravação frequentemente não combinam com as usadas teoricamente.

Alguns dos preamplificadores incluem um quinto controle, que corta a curva de resposta a partir de certa frequência limite. Este controle é usado quando são tocados discos com muito chiado. Controles desta natureza, bem desenhados, proporcionam atenuação de 20 a 30 dB por oitava, acima da frequência limite, e permitem assim uma atenuação pronunciada do chiado do disco, sem contudo baixar muito o "brilho" de reprodução.

# AS CURVAS de GRAVAÇÃO

Ao gravar um disco fonográfico é necessário atenuar as freqüências baixas porque estas, para a mesma intensidade sonora, possuem amplitudes muito maiores que as freqüências altas. Ajustando-se o sinal de gravação para que, com os grandes desvios, a agulha gravadora, nas freqüências baixas, não entre nos sulcos adjacentes, as freqüências elevadas seriam gravadas com tão pequena amplitude que o ruído inerente à gravação cobriria totalmente os mesmos. Neste caso, falar-se-ia de uma gravação com velocidade constante, subentendendo-se como velocidade o caminho real percorrido pela agulha gravadora por segundo. Se esta velocidade fôr de 1 milímetro por segundo e a freqüência de 1 Hz, então a amplitude de desvio teria de ser de  $\frac{1}{4}$  de milímetro para cada lado da posição normal. Este desvio diminuirá de forma inversamente proporcional à freqüência; já a freqüência de 1000 Hz seria gravada com amplitude de pico e pico de  $\frac{1}{2000}$  de milímetro e 10 000 Hz representariam um desvio total de  $\frac{1}{20000}$  de milímetro.

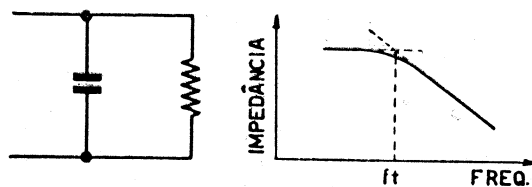


Fig. 1 — Impedância de um circuito RC. O ponto de transição é definido como sendo a interseção das duas assintotas à curva.

Enquanto que nas freqüências baixas os desvios seriam normais, nas freqüências altas desapareceriam entre as minúsculas irregularidades da superfície do sulco cortado.

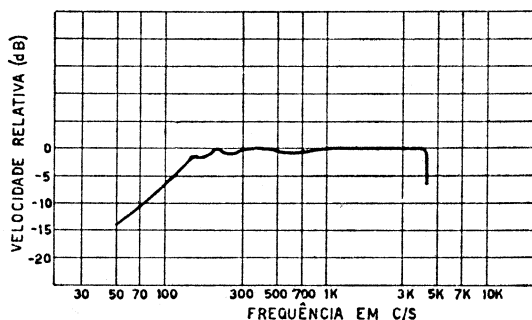


Fig. 2 — Nos primeiros discos, gravados elêtricamente, era esta a curva de gravação. Note-se especialmente o limite superior, baixíssimo.

Por esta razão adotou-se o seguinte processo: até certa freqüência (partindo das freqüências baixas) grava-se com amplitude constante, ou seja, atenua-se as freqüências, tanto mais, quanto mais baixas forem; daí em diante, grava-se com velocidade constante, ou seja, quanto mais alta fôr a freqüência, tanto menor a amplitude da gravação. Chamaremos à freqüência, na qual muda a característica de gravação, de "ponto de transição". Na realidade, esta alteração não se dará abruptamente, mas sim passando gradualmente de um estado para o outro, da mesma forma como, por exemplo, a impedância de um circuito RC

muda de um valor constante para um variável em função da frequência (veja fig. 1).

Neste caso, como também na curva de gravação, definimos ser o ponto de transição a interseção das assíntotas à curva.

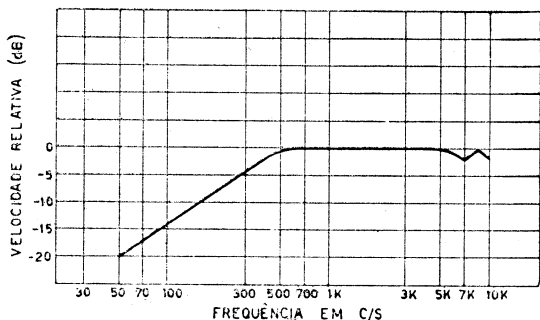


Fig. 3 — Esta curva foi usada por muitos anos pela RCA, e deu excelente resultado nas gravações de 78 r.p.m.

Este ponto de transição varia de acordo com o fabricante do disco, como também com o ano de fabricação, entre 200 e 800 Hz. Infelizmente, até aos dias atuais, os fabricantes dos discos mantinham em segredo a frequência de transição usada, bem como toda a curva de

utilizam a curva FFRR) facilitando sobremaneira a equalização dos amplificadores.

É interessante verificar a evolução das curvas antigas, agora reveladas, até à presente RIAA. Os primeiros discos, gravados eletricamente, apareceram em redor de 1923, porém, foi apenas por volta de 1925, pode-se afirmar com certeza, que todos os discos começaram a ser gravados pelo novo processo. A curva de gravação da Western Electric, em vigor até aproximadamente 1930, está ilustrada na figura 2. A frequência de transição estava em redor dos 200 Hz, enquanto que a frequência mais alta gravada era de 4500 Hz. Em redor da frequência de transição havia algumas irregularidades na curva, mas naquele tempo estas eram de pouca importância. Conseguiu-se aumentar o limite superior para 5500 Hz, mas a curva permaneceu válida nesta forma durante quase 10 anos. Só em redor de 1935 a RCA Victor iniciou o uso de novo aparelhamento, que era capaz de gravar até frequências de 10000 ciclos e que tinha uma curva mais suave e correta em redor do ponto de transição (fig. 3).

Mais tarde foi novamente modificada a curva, aumentando-se principalmente a ampli-

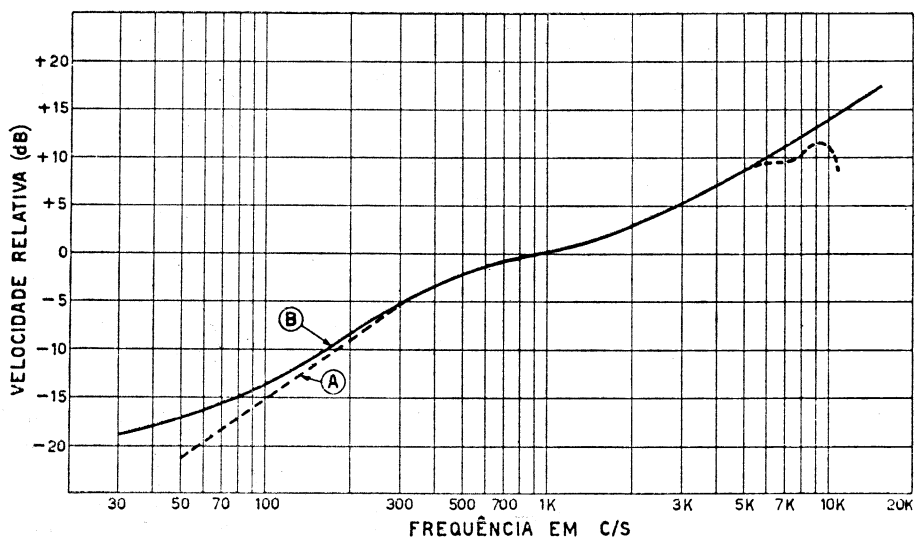


Fig. 4 — Entre 1947 e 1952 foi usada a curva A. A curva B corresponde à mais moderna adaptação, que é usada pela maioria dos fabricantes de discos.

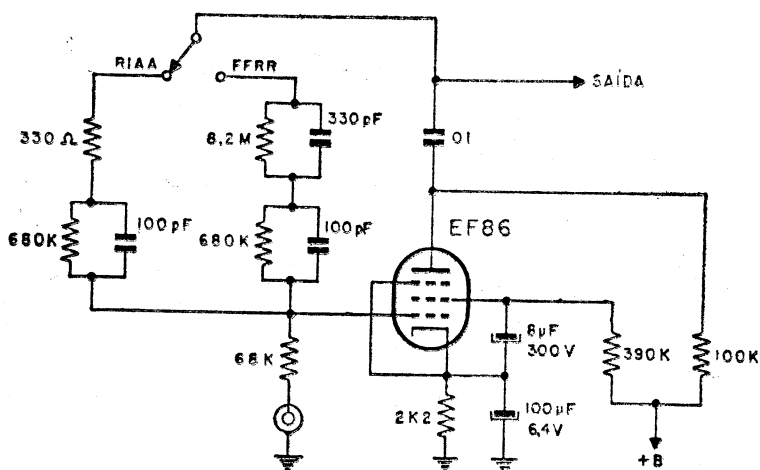
gravação, dificultando assim aos construtores a escolha correta da curva de equalização. Hoje em dia, porém, a curva de gravação conhecida como RIAA é adotada por quase todos os fabricantes de discos (certas gravadoras inglesas

tude das frequências altas. A vantagem desta preênfase foi a seguinte: sendo as frequências altas gravadas com maior amplitude que a normal, podia-se atenuá-las durante a reprodução, para resultarem no nível certo. Como,

porém, o ruído do disco (chiado) é composto principalmente de freqüências altas, conseguia-se reduzir com isto este chiado, sem contudo atenuar demasiadamente as freqüências elevadas; este procedimento só foi possível graças à reprodução elétrica, que permite um eficiente controle de tom. A curva usada neste período está ilustrada na figura 4, curva A. Com peque-

A parte de freqüências abaixo do ponto de transição também são cortadas com amplitude maior que os discos antigos. Este aumento que só se faz sentir em freqüências bastante baixas, também foi possível pelo motivo de aparecerem, na realidade, estas freqüências com amplitudes reduzidas; a resultante diminuição na amplificação destas freqüências,

Fig. 5 — Circuito do equalizador que proporciona ao amplificador a curva de resposta correta para os discos gravados pelas curvas RIAA e FFRR.



nas variações, principalmente no limite superior de gravação, esta curva foi usada pela RCA Victor até 1952 quando foi introduzida a RIAA, que está ilustrada na mesma figura 4, curva B.

Em relação à curva anterior, só existem diferenças na parte das freqüências altas e baixas. O ponto de transição foi mantido em 500 Hz; pela característica da curva em freqüências baixas, porém, este ponto é pouco destacado.

Nas freqüências altas, até aproximadamente 7 000 Hz, a nova curva acompanha a antiga. Enquanto que a última permanece aproximadamente constante até 1000 Hz, na nova há uma preênfase de 6 dB por oitava, até 16 000 Hz. Isto significa, portanto, que as freqüências altíssimas são cortadas com amplitude muito maior que nas gravações antigas. Isto é possível porque as amplitudes destas freqüências na música são muito menores que as de freqüências mais baixas.

durante a reprodução, possibilita reduzir a influência das freqüências baixas, originadas pelo funcionamento do motor do toca-discos, excentricidade do disco, etc.

A grande vantagem da nova curva de gravação RIAA é que os filtros, nos aparelhos reprodutores, são de construção bastante simples. Na figura 5 damos um circuito de equalizador, que utiliza realimentação negativa, de desempenho superior ao tipos passivos e para ser usado com um pick-up magnético de boa qualidade, supondo-se que todo o circuito restante trabalhe de forma absolutamente linear.

Naturalmente, para compensação da curva de resposta do alto-falante e pick-up, das condições acústicas da sala de reprodução, bem como das ressonâncias do braço do pick-up, seriam necessários ainda controles de tonalidade ajustáveis.

# INVERSORES DE FASE

Todos os amplificadores de alta-fidelidade usam estágio de saída em ligação simétrica (push-pull), por dois motivos principais:

1) A construção do transformador de saída (o componente mais crítico do amplificador) é facilitada bastante pelo uso do estágio simétrico, pois as influências das duas correntes contínuas de placa se cancelam mutuamente nos enrolamentos primários, evitando assim a premagnetização do ferro;

2) A distorção por 2.<sup>a</sup> harmônica é eliminada pela ligação simétrica, o que permite escolher o ponto de trabalho das válvulas de saída, para resultar distorção relativamente grande pela 2.<sup>a</sup> harmônica e pouca pela 3.<sup>a</sup>, reduzindo-se assim facilmente a distorção total.

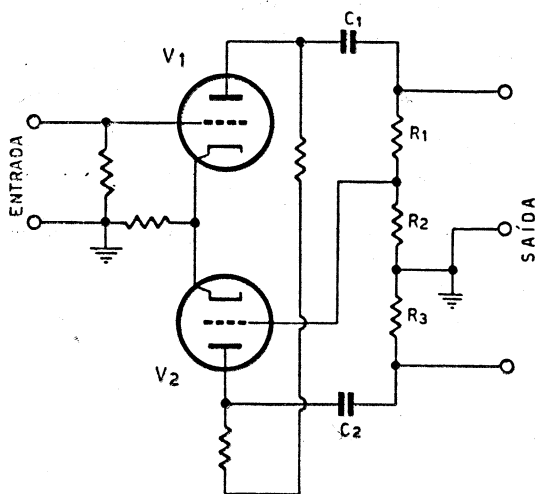


Fig. 1 — Circuito inversor de fase antigo. Além de outras desvantagens, o equilíbrio depende da transcondutância de V2, que nunca é constante.

O uso de estágio de saída simétrico demanda forçosamente um inversor de fase, a fim de conseguir os sinais de excitação para as válvulas.

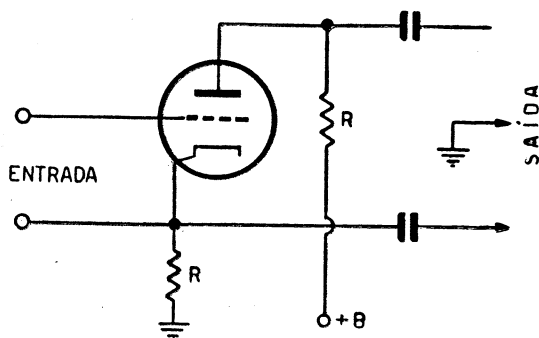


Fig. 2 — O inversor de fase mais usado em amplificadores comuns, no qual a carga R está dividida em partes iguais na placa e no cátodo da válvula.

O melhor inversor de fase, com equilíbrio exato através de toda a faixa de áudio e que permanece estável mesmo depois de longos períodos de funcionamento, é o transformador.

Só produtos de alta qualidade podem ser usados, e estes são pesados, caros e sempre sensíveis à umidade e campos magnéticos externos. Estes inconvenientes fizeram desaparecer quase completamente o transformador push-pull de entrada, dando lugar aos circuitos inversores com válvulas. O mais simples, usado largamente em receptores ou amplificadores comerciais, é o da figura 1, que consegue fornecer um sinal equilibrado, em frequências médias, pois, para estas, pode-se ajustar o divisor de tensão ( $R_1 + R_2$  em relação a  $R_2$ ), para que a grade de V2 receba a mesma amplitude que V1. Nas frequências elevadas, porém, baixa a amplificação de V1, por serem, tanto a impedância de entrada, como a de saída de uma válvula, não puramente resistivas, mas também

capacitivas. Também V2 apresentará este defeito e, portanto, uma das válvulas de saída receberá, neste caso, menor excitação que a outra.

Também com frequências baixas não haverá equilíbrio perfeito, pois o sinal que passa pela válvula V1, e vai à grade da válvula de saída superior, terá de atravessar adicionalmente o conjunto C2R3. Com isto, a amplitude de saída não é mais idêntica à outra válvula, e nem o defasamento é de 180 graus exatos.

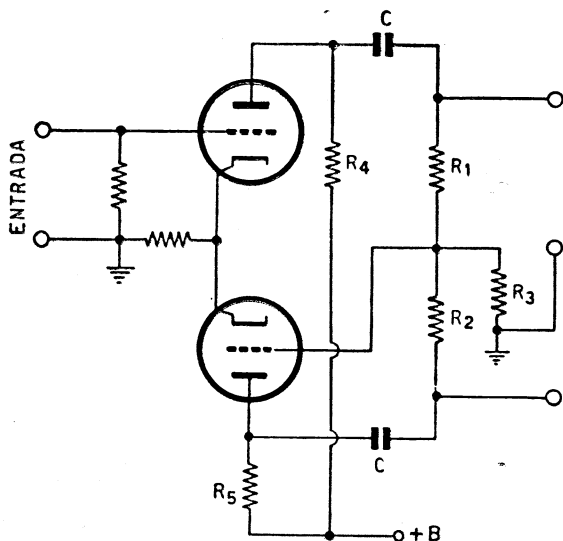


Fig. 3 — Inversor "auto-equilibrado". Com este circuito nunca se consegue um equilíbrio perfeito.

Com outro circuito, muito usado hoje em dia, acontece o mesmo. Referimo-nos ao inversor com carga distribuída no cátodo e placa (fig. 2). As duas resistências R são percorridas pela mesma corrente e, portanto (quando ambas são exatamente do mesmo valor), as tensões de saída deveriam ser exatamente idênticas e defasadas em 180°. Infelizmente, a impedância de saída de um seguidor de cátodo é independente da resistência de cátodo e só determinada pela resistência de placa da válvula e pelo seu fator de amplificação. No caso de uma 6C5, por exemplo, com 10 000 ohms de resistência de placa e fator de amplificação, de 20, a impedância de saída é:

$$\frac{10\,000}{1 + 20} = 475 \text{ ohms}$$

Em paralelo com esta impedância está ligada a resistência de cátodo R, baixando ainda um pouco o valor calculado acima.

Nas frequências altas, quando as capacidades distribuídas do circuito causam a diminuição

da amplitude de saída, a influência destas capacidades se faz sentir mais na alta impedância de placa, do que na de cátodo. Mesmo a capacidade cátodo-filamento, relativamente alta, não pode contrabalançar esta discrepância. Portanto, há desequilíbrio forte nas frequências altas.

O terceiro sistema de inversão de fase, o auto-equilibrado (fig. 3), é pior ainda. Neste sistema, a tensão audiófrequentemente sobre R3 sempre se ajusta automaticamente, para resultar um equilíbrio quase correto; nunca, porém, é possível obter equilíbrio exato, porque, nesse caso, a tensão de correção seria zero. Com este inversor, portanto, nem nas frequências médias o equilíbrio seria perfeito.

O melhor sistema inversor é, sem dúvida, o de "acoplamento cruzado", muito pouco conhecido no nosso país.

Indiscutivelmente, é mais dispendioso que qualquer dos outros sistemas com 2 válvulas, mas sempre resultará muito mais barato que um transformador de entrada push-pull de boa qualidade.

O circuito fundamental do inversor de fase, com acoplamento cruzado, é apresentado na figura 4. A válvula V1 está ligada de forma comum, sendo injetado o sinal na grade. V2,

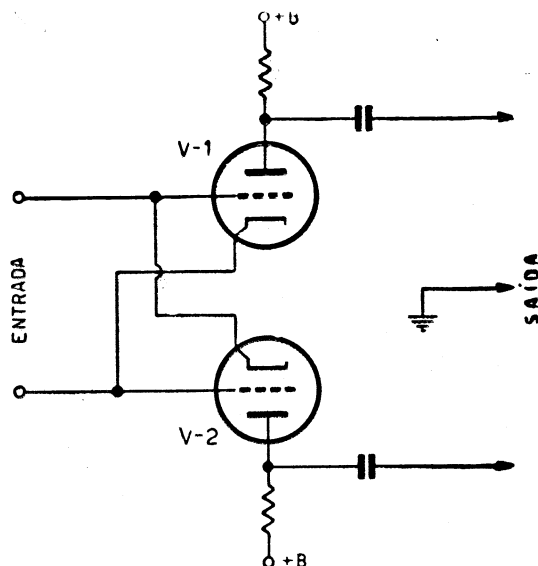


Fig. 4 — Ligação básica para o inversor com acoplamento cruzado.

pelos contrários, está conectada de forma inversa; a grade está ligada à terra e o sinal é injetado no cátodo. As amplitudes de saída das duas válvulas serão idênticas, enquanto as impedâncias de saída e o fator de amplificação

das válvulas forem iguais. O defasamento correto estará também presente, pois, injetando-se um sinal positivo na entrada, a grade de V1 fará diminuir a tensão de placa da mesma válvula, enquanto que o cátodo mais positivo de V2 fará com que a placa desta válvula se torne mais positiva.

Para o funcionamento correto deste circuito, especialmente em frequências altas, é necessário que a impedância da fonte de sinal seja baixa, pois V1 possui impedância de entrada alta e V2 impedância bastante baixa. Só com uma baixa impedância da fonte de sinal pode-se fazer com que ambas as impedâncias resultem baixas e de valor aproximadamente igual.

A fim de garantir uma impedância de entrada

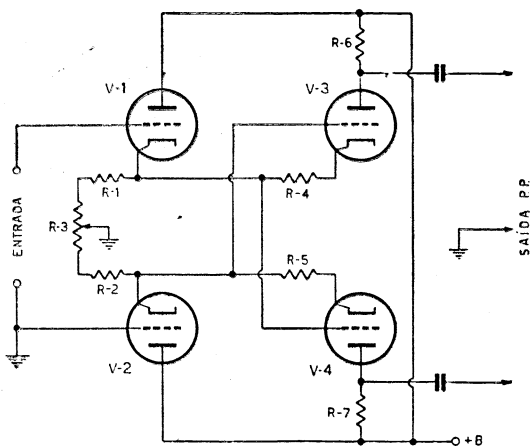


Fig. 5 — Circuito inversor completo; V3 e V4 são as válvulas inversoras; V1 e V2 são as válvulas de entrada que proporcionam baixa impedância ao inversor.

baixa, é necessário usar um seguidor de cátodo entre a fonte de áudio e o estágio inversor. Ao mesmo tempo, é necessário proporcionar a polarização negativa correta às válvulas. Resulta então o circuito ilustrado na figura 5. V3 e V4 são as válvulas que compõem o inversor de fase propriamente dito. V1 é a válvula de entrada, ligada como seguidor de cátodo, a fim de garantir a impedância baixa necessária às válvulas inversoras. V2 não seria necessária, porém, foi incluída para tornar o circuito simétrico e permitir um ajuste de equilíbrio perfeito. Além disso, a inclusão desse triodo traz ainda outras vantagens, como veremos adiante.

Analisemos mais de perto o circuito: R1 e R2 são as resistências de cátodo; R3 é um potenciômetro que permite ajustar as 2 resistências anteriores para uma relação adequada. R1 é a resistência de carga do seguidor de cátodo, sobre a qual aparece a audiofrequência de entrada; sobre R2, porém, não aparece sinal algum. R4 e R5 são as resistências para a polarização negativa das grades de V3 e V4; a que-

da provocada pelas correntes de placa das válvulas V1 e V2 sobre R1 e R2 não deve ser considerada, pois as grades das válvulas V3 e V4 estão ligadas à junção de R1 com R4 e R2 com R5, respectivamente.

O sinal que aparece sobre R1 é aplicado tanto no cátodo de V3 como na grade de V4. Ao mesmo tempo, as variações de corrente de V4 provocam um sinal sobre R2, o qual, por sua vez, é injetado no cátodo de V4 e grade de V3. O circuito é, portanto, absolutamente simétrico, sendo esta simetria praticamente independente da frequência.

Pequenas diferenças nas transcondutâncias de V3 e V4 podem ser contrabalançadas com R3. Somente as capacitâncias de saída destas duas válvulas não podem ser contrabalançadas; usando um duplo triodo, esta diferença, porém, é muito pequena, não tendo influência prática alguma.

O sinal de entrada pode ser aplicado tanto na grade de V1 como de V2, sem distinção alguma, pois, em ambos os casos (pela simetria absoluta do circuito), o sinal de saída é o mesmo. Também pode ser aplicado um sinal defasado em 180° a ambas as grades, simultaneamente, sem que seja modificado o funcionamento do circuito. Aplicando-se dois sinais diferentes nas duas grades, pode-se usar este circuito como misturador, pois ambos os sinais aparecem na saída, independentemente um do outro.

O mais interessante é quando em ambas as grades é aplicado simultaneamente o mesmo sinal: neste caso a tensão de saída é igual a zero, pois os dois sinais se cancelam mutuamente, isto no caso de ser perfeita a simetria do circuito. Pode, portanto, ser usada esta propriedade para o ajuste do inversor de fase: desliga-se a grade V2 da terra, juntando-a à grade de V1; aplica-se um sinal de entrada no inversor e ajusta-se R3 até que o alto-falante permaneça mudo. Refazendo-se estão as ligações anteriores, pode-se ter a certeza de que o equipamento de TODO O AMPLIFICADOR está perfeito.

Usando uma válvula 12AU7 para V1 e V2 e uma 12AX7 para V3 e V4, consegue-se uma amplificação total de aproximadamente 30, sendo que o máximo sinal de entrada está em redor de 1,5 volt. A tensão de saída máxima é, então, 45 volts, o que é suficiente para a excitação das grades das válvulas de saída, quando forem usadas neste ponto tétodos de alta transcondutância e se o fator de realimentação não for muito grande. Na figura 6 damos o circuito completo de um amplificador, baseado nos princípios acima enumerados. No estágio inversor é usada uma 12AU7,



em combinação com uma 12AX7, enquanto que as duas válvulas de saída são 6L6. Como retificadora é usada uma 5U4. O transformador de força deve fornecer 350 volts de cada lado da tomada central, com pelo menos 150 mA (melhor será, sem dúvida, 200 mA). A tomada

de oscilação, mesmo com plena excitação. Resistências maiores resultam em ganho maior do amplificador, porém maior tendência de oscilação e maior distorção.

As resistências de 2 K, 3 K e 250 K devem ser escolhidas para que a diferença entre os

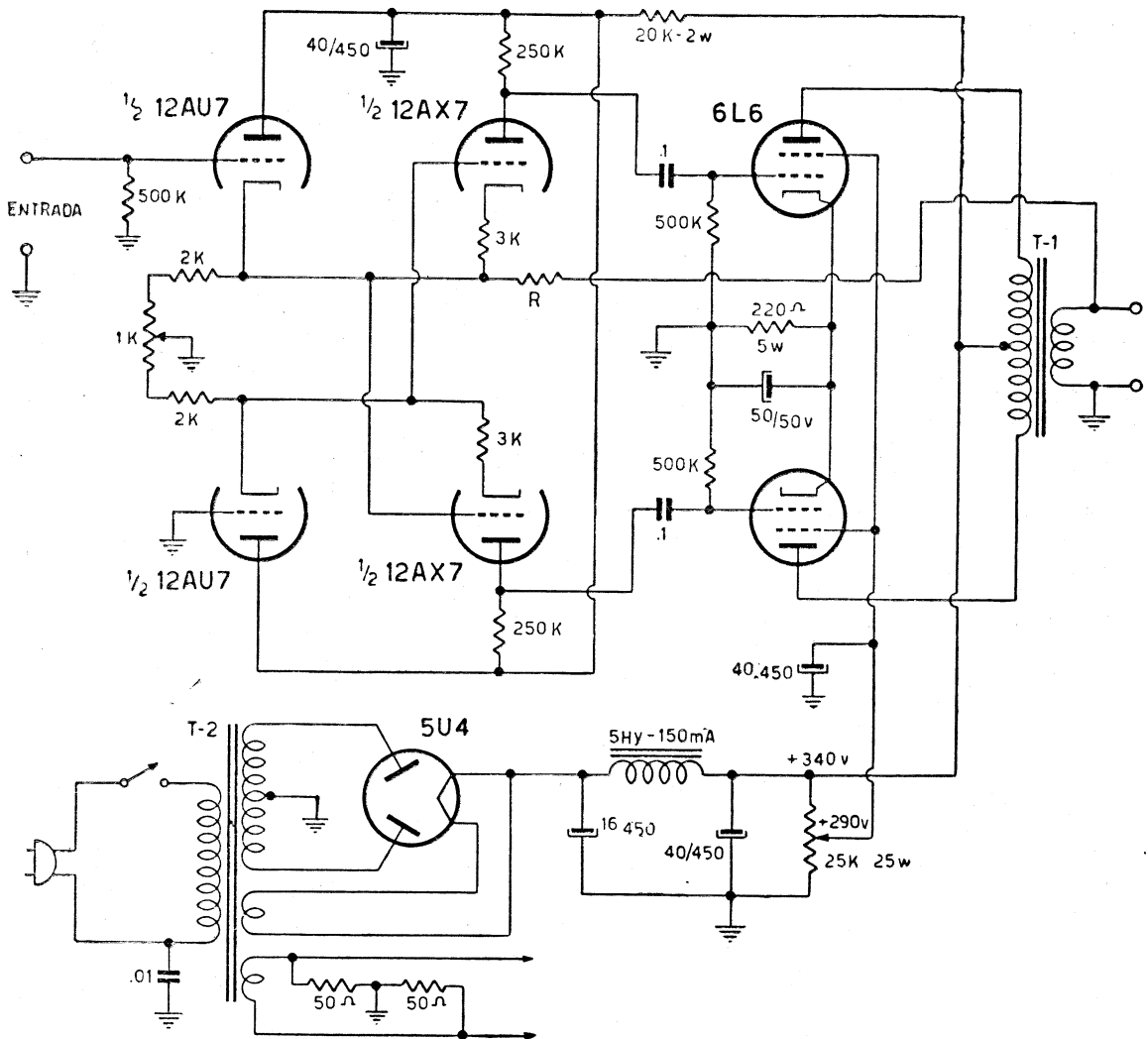


Fig. 6 — Amplificador com inversor de acoplamento cruzado. O valor da resistência de realimentação R depende da qualidade do transformador de saída.

da resistência de 25 K, 25 W, deve ser ajustada para resultar (sem sinal de entrada) uma tensão de 285 a 290 volts. A tensão +B pode variar entre 330 e 360 volts, sem que isto venha influenciar apreciavelmente o funcionamento. O transformador de saída (T-1) deve ser da melhor qualidade possível. Não adianta usar o tipo pequeno, atualmente tão comum, pois os resultados seriam decepcionantes. Da qualidade do transformador depende também o valor da resistência de realimentação (R). No modelo original foi usada uma com valor de 70 K, sem que o amplificador mostrasse tendência

seus valores não seja maior do que 1 ou 2%; o valor absoluto, porém, não é tão importante. O ajuste de equilíbrio deve ser feito conforme descrito anteriormente: desliga-se a grade da 12AU7 inferior, da terra, e liga-se a mesma junto à outra grade da mesma válvula. Aplica-se um sinal na entrada e ajusta-se o potenciômetro de 1 K para saída mínima.

Em conjunto com este amplificador, que pode fornecer até 15 watts com baixa distorção, deve ser usado um preamplificador-equalizador, tanto para uso de pick-ups de cristal como para os magnéticos modernos.

# ELIMINAÇÃO DE RONCO

Todo o técnico, ou amador, que já construiu um amplificador de alto ganho, certamente teve suas dificuldades com o ronco originado pela corrente alternada de alimentação. Nos amplificadores de alta-fidelidade este problema é mais grave ainda, pois a amplificação total destes conjuntos é alta e a flexibilidade dos controles de tonalidade demanda forte amplificação, justamente nas frequências baixas. Além disso, os alto-falantes e baffles de alta-fidelidade realçam a reprodução dos sons graves. Portanto, é necessário tomar precauções especiais contra este ruído, versando sobre estas o presente artigo.

para alimentar a placa (ou as placas) das válvulas de saída diretamente do cátodo da válvula retificadora, não é viável nos amplificadores de alta-fidelidade, pois o cancelamento da componente de c.a. na tensão  $+B$  pelo circuito push-pull nunca é perfeita. Portanto, é necessário usar um choque de filtro que agüente a corrente total consumida pelo receptor no  $+B$ .

Nos estágios precedentes, a exigência de filtragem torna-se tanto mais severa, quanto maior a amplificação total que segue o estágio em questão. Por outro lado, a filtragem é facilitada, pois as correntes exigidas por estes

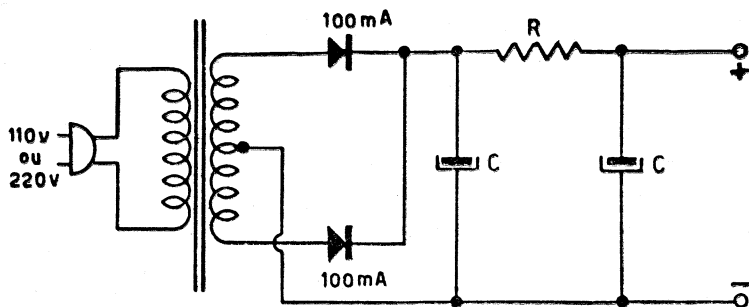


Fig. 1 — Circuito retificador apropriado para alimentar os filamentos das válvulas preamplificadoras com corrente contínua. Neste caso devem ser usadas válvulas de 150 mA no filamento, ligados em série.

As tensões alternadas que provocam o ronco podem seguir 3 caminhos diferentes para penetrar no circuito amplificador; pelo circuito de placa das válvulas, pela grade das mesmas e, finalmente, através do filamento.

O caminho mais fácil de ser barrado para as frequências de ronco (50 e 100 Hz ou 60 e 120 Hz, conforme a frequência da rede) é o primeiro, ou seja, através do circuito  $+B$ . As correntes que circulam neste circuito não são tão elevadas que não possam ser filtradas com impedâncias e condensadores comuns. O recurso usual, empregado na construção de receptores,

estágios preamplificadores são muito menores, sendo possível usar filtros RC em cascata para obter filtragem suficiente.

Aliás, estes conjuntos RC também seriam necessários se a corrente  $+B$  fôsse contínua pura, pois são necessários para desacoplar um estágio do outro, a fim de evitar uma realimentação positiva através da resistência interna da fonte de alimentação, o que provocaria uma oscilação de frequência bastante baixa (motor boating). Em resumo: a componente de c.a., existente e sobreposta à corrente contínua retificada, é facilmente reduzida ao nível requere-

rido pelos diversos estágios do amplificador. Restam então os caminhos através das grades e cátodos para serem examinados.

A primeira vista, parece fácil a proteção dos circuitos de grade contra a injeção de frequência alternada de alimentação: basta blindar êstes circuitos por meio de fio shieldado, como é de praxe nos amplificadores comuns. Na rea-

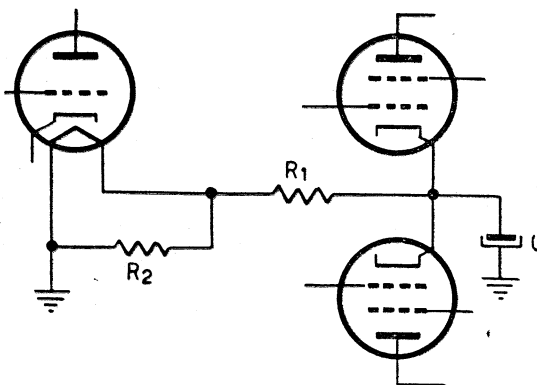


Fig. 2 — Pode-se aproveitar a corrente de cátodo das válvulas de saída, para alimentar o filamento da preamplificadora com corrente contínua. Neste caso, a corrente no +B deve ser no mínimo de 120 mA.  $R_1$  e  $R_2$  servem para o ajuste da polarização e corrente de filamento, respectivamente.

lidade a solução do problema não é tão simples, pois nos amplificadores de alta-fidelidade é preciso manter a capacidade dos circuitos de grade, em relação ao chassi, a mais baixa possível, pelo menos quando êstes circuitos são de alta impedância. Adicionalmente, o fio shieldado proporciona proteção eficiente contra campos eletrostáticos, mas somente pouca eficiência em relação a campos eletromagnéticos. Portanto, a aplicação de fio shieldado deve ser feita com o máximo cuidado, usando-se como precaução, contra campos eletrostáticos, uma boa separação entre o circuito de grade e os fios de filamento. Êstes devem sempre ficar trançados, para cancelarem-se, pelo menos parcialmente, os campos em redor dêstes fios.

A maior dificuldade para baixar a tensão alternada induzida nas válvulas está, entretanto, junto ao cátodo. Nas válvulas de aquecimento indireto, a isolamento entre o filamento e o cátodo nunca é muito alta (estando aquecida a válvula) e, ao mesmo tempo, a capacidade entre os mesmos elétrodos é relativamente alta. Tanto a corrente capacitiva que atravessa o dielétrico do cátodo, como também a corrente de fuga que passa pela isolamento, provocam na resistência de autopolarização uma

queda de tensão, que naturalmente é amplificada pela válvula. Por êste motivo deve-se reduzir sempre ao mínimo indispensável o valor desta resistência.

Sempre que possível, deve-se usar, como primeira válvula, um tipo especial, construído para êste fim, e na qual já foram tomadas tôdas as precauções contra a introdução de ronco, zumbido e microfonia. Estas características são conseguidas graças a uma construção muito cuidadosa do cátodo e do filamento; êste último é bifilar, a fim de diminuir o campo eletromagnético externo, que tem certa influência sôbre a trajetória dos elétrons no interior da válvula. Ademais, existem blindagens que impedem a captação, pela placa, de alguns elétrons emitidos pelo filamento. Dêste tipo são as válvulas 12AX7 e 12AY7, na série americana, e EF86, na série européia. Na Inglaterra apareceu também um nôvo tipo especial, a Z729. O fabricante afirma que, nesta válvula, a tensão equivalente ao ronco, na grade, não ultrapassa 1,5 microvolt.

Quais são os meios elétricos para diminuir o ronco nos amplificadores? Temos de considerar neste caso o amplificador e preamplificador separadamente. No amplificador o ronco total pode ser diminuído pela aplicação de rea-

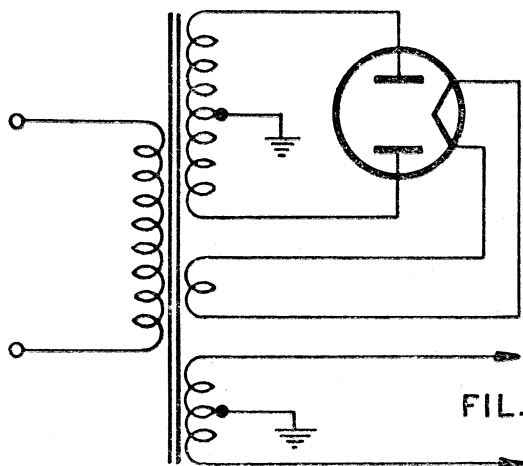


Fig. 3 — Usando-se corrente alternada para a alimentação dos filamentos, convém usar um transformador com tomada central no enrolamento de 6,3 volts.

alimentação negativa, necessária, de qualquer maneira, para a redução da distorção. Como a amplificação nesta parte do circuito não é muito alta, o ronco não é problema difícil de ser resolvido.

No preamplificador, que inclui os contrôles

de tonalidade e volume, porém, não é possível usar uma realimentação geral da saída à entrada, pois a realimentação igualaria a ação dos contróles, além de surgirem outras dificuldades, relacionadas com a defasagem das diversas frequências do sinal. As precauções cabíveis aos circuitos já foram descritas anteriormente; resta, portanto, como se reduzir a injeção deste ruído através do circuito de cátodo.

O meio mais radical é o de usar corrente contínua para a alimentação dos filamentos das válvulas preamplificadoras. Este procedimento exige um transformador de alimentação especial, conforme indicado na figura 1.

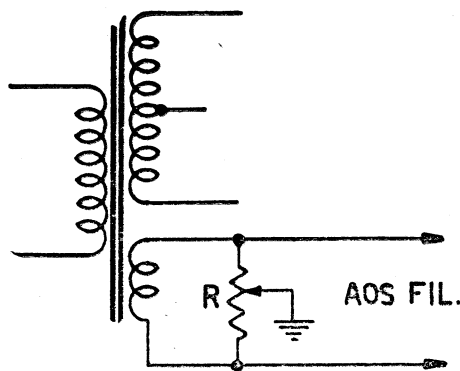


Fig. 4 — Com esta ligação e ajuste cuidadoso do potenciômetro consegue-se baixar bastante o ronco dos amplificadores.

Convém usar sempre o sistema de retificação de onda completa, para evitar a necessidade de usar condensadores de capacidade muito elevada no circuito de filtro. A tensão secundária do transformador depende da tensão retificada necessária. Naturalmente, usar-se-á sempre válvulas da série 12, para diminuir a corrente necessária, ligando todos os filamentos em série.

Para 12 volts de saída, o enrolamento secundário do transformador deve ter 2 x 20 volts, para 24 volts 2 x 35 volts e para 36 volts 2 x 50

volts, 0,15 A. Os condensadores devem ter alta capacidade; o de entrada deve ter pelo menos 80 mfd, o de saída 120 até 160 mfd. Os retificadores devem ser para 100 mA. A resistência R deve ser de 100 ohms, ajustável, e é regulada para que, após o aquecimento das válvulas, resulte uma tensão de filamento correta.

Se esta solução não puder ser aplicada, por motivos econômicos, há ainda uma solução mais barata: alimentação do filamento com a corrente de cátodo das válvulas finais. Como estas sempre trabalham em classe A, a corrente de cátodo é constante, e o filamento da válvula preamplificadora substitui então, em parte, a resistência de cátodo (fig. 2).

Com a resistência R1 é regulada a polarização correta das válvulas de saída; com R2 é regulada a tensão sobre o filamento da válvula preamplificadora. Naturalmente, esta solução somente é possível se a soma das correntes de placa e grade auxiliar é igual ou maior que 150 mA, e a tensão de polarização igual ou maior que 12 volts. A desvantagem deste circuito é a de aquecer o filamento somente após o aquecimento dos cátodos das válvulas de saída; o amplificador somente entrará em funcionamento após aproximadamente 1 minuto. Se o amplificador estiver separado do preamplificador, há ainda o obstáculo de existir um fio a mais entre os dois conjuntos.

Quando for necessário alimentar os filamentos das preamplificadoras com c.a., então é conveniente usar um transformador que possua uma tomada central no enrolamento de 6,3 volts, sendo que esta tomada é ligada ao chassi (fig. 3).

Solução melhor é o uso de um pequeno potenciômetro, ligado ao circuito de filamento, conforme indicado na figura 4. Pelo ajuste deste potenciômetro, pode-se procurar o ponto de menor ronco. Se o transformador tiver dois enrolamentos de 6,3 volts, então usar-se-á um dos enrolamentos para alimentar o filamento da válvula preamplificadora, estando ligado junto a este enrolamento o potenciômetro acima citado; o outro enrolamento de 6,3 volts serve então para alimentar os demais filamentos.

# A REALIMENTAÇÃO NEGATIVA

O uso de realimentação negativa tornou-se obrigatório em qualquer amplificador de qualidade; na propaganda das firmas que trabalham no ramo não consta mais que seus produtos usam realimentação, mas, sim, apenas o grau da mesma, em decibéis. Atualmente, a realimentação é usada para fins distintos:

- 1) para baixar a distorção dos amplificadores de potência e, ao mesmo tempo, para ajustar a impedância de saída a um valor definido ótimo;
- 2) para produzir curvas de resposta determinadas, a fim de controlar a tonalidade.

No primeiro caso, a realimentação deve ser independente da frequência; no segundo, o grau de realimentação depende da frequência, sendo forte nas frequências que se deseja atenuar e fraca nas frequências que devem ser destacadas.

Examinaremos em primeiro lugar o que é e como se aplica a realimentação para a redução de distorção.

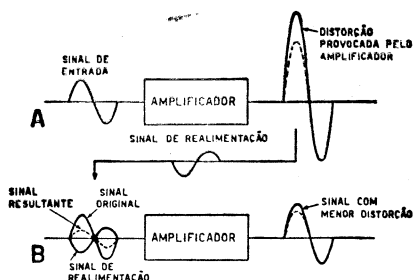


Fig. 1 — A realimentação negativa consiste na aplicação de parte do sinal de saída novamente na entrada do amplificador, em contrafase. Em A, o sinal sem realimentação; em B, sinal após a aplicação da realimentação, resultando na saída um sinal menor, porém com distorção também menor.

Suponhamos que um amplificador, ao ser aplicada uma frequência senoidal em sua entrada, produz na saída um sinal idêntico ampli-

ficado, porém com uma distorção sobreposta a um dos semiciclos; isto está representado na figura 1, por meio de uma amplificação maior do semiciclo superior, em relação ao inferior.

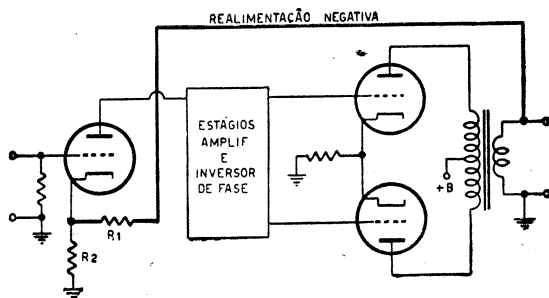


Fig. 2 — Realimentação negativa por tensão. O grau de realimentação é determinado pela relação entre  $R-1$  e  $R-2$ .

Se aplicarmos parte do sinal de saída novamente à entrada do amplificador e se cuidarmos que a fase dos dois sinais, ora presentes na entrada, tenha uma diferença de exatamente  $180^\circ$ , então um dos sinais cancelará parcialmente o outro, existindo no sinal resultante uma distorção, por assim dizer, “contrária” à distorção que será produzida pelos circuitos subsequentes. Ao passar o sinal resultante pelo amplificador cancelar-se-ão parcialmente as distorções, resultando um sinal de saída de menor amplitude, porém com distorção relativamente menor.

Não é possível, com este processo, cancelar completamente a distorção, pois para isto seria preciso que o sinal de realimentação tivesse a mesma amplitude que o sinal de entrada; conseqüentemente, haveria cancelamento total do sinal de entrada, o que evidentemente suprimiria o sinal de saída.

Costuma-se dar o grau de realimentação pela relação do sinal de entrada original e o resul-

tante após a aplicação da realimentação em dB; com isto, este número representa, ao mesmo tempo, a redução do ganho do amplificador. Se, por exemplo, for necessário 0,1 volt para originar 10 watts num amplificador, e depois da aplicação de realimentação é necessário 1 volt para conseguir a mesma potência, então a relação é de 1 para 10, o que corresponde a 20 dB.

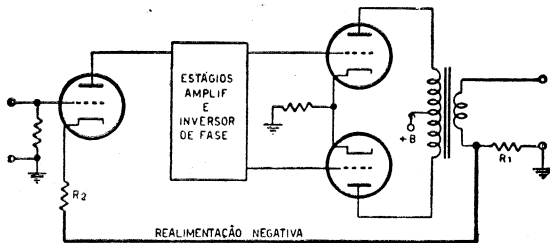


Fig. 3 — Na realimentação de corrente, esta provoca uma queda de tensão através de R-1, sendo esta então injetada no circuito de entrada.

Atualmente os amplificadores de alta qualidade usam até 30 e 35 dB de realimentação, ou seja, o sinal de realimentação atinge 96 até 98% do sinal de entrada.

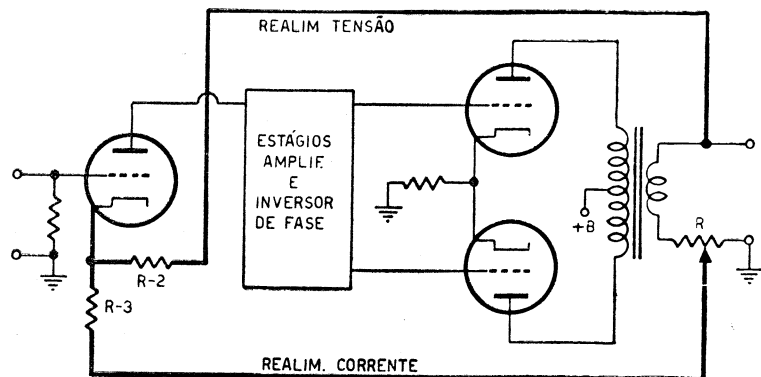
A realimentação reduz a amplificação do conjunto, porém não reduz a potência de saída disponível, como poderia parecer à primeira vista. A redução da tensão de saída pode ser compensada facilmente pelo aumento da tensão de entrada, até que a de saída esteja novamente em seu nível original, entregando, portanto, o

projetado em um de alta-fidelidade, pois, para poder aplicar forte realimentação, é necessário que o circuito em si já tenha excelentes características. É fácil entender a razão disto, se for lembrada a condição primordial da realimentação: o sinal de saída deve estar exatamente 180° fora de fase com relação ao de entrada.

O defasamento, por sua vez, depende largamente da curva de resposta; no momento em que a resposta cai nos extremos da faixa, surge também um defasamento nestas frequências, e com isto o sinal de saída não está mais defasado em 180° com relação ao da entrada. Quando o defasamento causado pela curva de resposta atingir 180°, a diferença total de fase é de 360°, havendo, pois, em lugar de uma redução, um reforço do sinal de entrada, provocando a oscilação do amplificador. Esta oscilação pode-se dar em frequências subaudíveis, aparecendo neste caso o "motor boating" (uma seqüência regular de estalos), ou, então, em frequências supersônicas, aparecendo neste caso desagradáveis apitos. O pior é quando as oscilações somente aparecem nos picos de reprodução, causando distorção pronunciada e muito desagradável.

Um efeito muito importante produzido pela realimentação é a redução da impedância de saída do amplificador. Bem entendido: a realimentação não altera a impedância de carga do amplificador, e sim a impedância encontrada pela corrente gerada no alto-falante e que se dirige para o amplificador. A realimentação,

Fig. 4 — Circuito com realimentação de corrente e tensão. Pela variação da realimentação de corrente, pode ser ajustado o grau de amortecimento do alto-falante.



amplificador a mesma potência. Acontece até que a potência aumenta um pouco, pois diminuindo a distorção ao nível de potência nominal, pode-se aumentar a excitação até que seja atingido o nível de distorção original.

A realimentação não é, entretanto, o remédio infalível para transformar um circuito mal

quando aplicada corretamente, pode baixar o valor desta impedância até zero, se for preciso, amortecendo assim fortemente as vibrações indesejáveis do cone.

A respeito deste assunto é conveniente dar mais algumas explicações adicionais. O alto-falante não só absorve corrente fornecida pelo

amplificador, mas também gera corrente, ao mesmo tempo. Se, por exemplo, um forte impulso provocar um grande deslocamento no cone, este não retornará imediatamente à sua posição de repouso, mas vibrará por algum tempo, segundo sua frequência natural. Esta oscilação gera uma tensão proporcional na bobina móvel (trabalhando neste instante o alto-falante como gerador) e, com isto, no secundário do transformador de saída. Quanto mais baixa a impedância encontrada por esta corrente, tanto mais rapidamente será amortecida a oscilação do cone. Com amortecimento demasiado, pode até acontecer que a reprodução dos baixos diminua, pois o amortecimento forte "breca" os movimentos do cone nas frequências baixas. Por

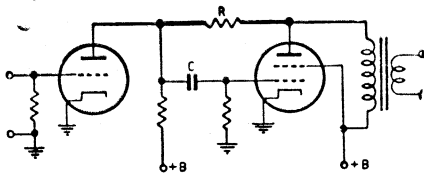


Fig. 5 — O processo mais simples para a aplicação de realimentação numa válvula de saída é o de incluir uma resistência (R) entre a placa da válvula de saída e a da preamplificadora.

este motivo, apareceram ultimamente amplificadores, nos quais é possível ajustar o fator de amortecimento ao valor ótimo, de acordo com o tipo de alto-falante e da caixa acústica usados, as condições acústicas da sala de reprodução, etc.

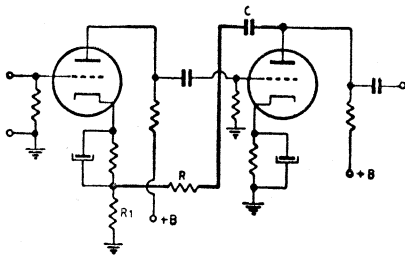


Fig. 6 — A realimentação pode também ser feita para controle de tonalidade; basta para isto incluir uma reatância no circuito de realimentação.

Não mencionamos, ainda, a existência de dois sistemas distintos de realimentação negativa e que ambas reduzem a distorção de potência de saída, mas que têm efeito diferente sobre o fator de amortecimento. O primeiro sistema, o de "realimentação de tensão", é o que descrevemos acima. Como se vê na fig. 2, é, neste primeiro caso, a tensão de saída que governa a realimentação. A relação entre R1 e R2 dá o fator de realimentação; poder-se-ia injetar o sinal também no circuito de grade da válvula

amplificadora, porém é mais cômodo usar o cátodo para a injeção do sinal, pois a impedância desse circuito é bem mais baixa.

Sendo usada a "realimentação de corrente", então as ligações devem ser feitas de acordo com a fig. 3. Neste caso a magnitude da corrente é que governa a realimentação. Com este sistema aumenta a impedância de saída, um fator em geral indesejável. Com uma combinação das duas modalidades de realimentação consegue-se o amortecimento variável, mencionado anteriormente (fig. 4).

A realimentação pode abranger todo o amplificador, inclusive a primeira válvula preamplificadora e o transformador de saída, mas também pode ser aplicada somente através de um único estágio. É possível também combinar a realimentação total com outras parciais.

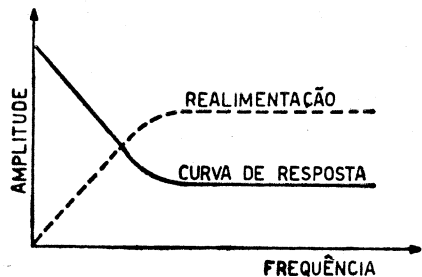


Fig. 7 — Curva de resposta obtida pelas ligações da figura 6.

Um sistema bastante simples, que diminui, nos receptores comuns, a distorção gerada pela válvula de saída, consiste na simples ligação de uma resistência entre a placa da válvula de saída e a placa da preamplificadora (fig. 5).

Neste caso, parte da tensão de placa é injetada novamente na grade (através do condensador de acoplamento C) e, como os sinais de placa e grade de uma válvula estão defasados em 180°, resultará uma realimentação negativa tanto maior, quanto menor for o valor da resistência. Na prática, usam-se valores entre 100 000 ohms e 2 megohms para este fim.

Dentro do elo abrangido pela realimentação, não é possível aplicar controles de tonalidade, pois a realimentação tenderia a contrabalançar o efeito destes controles.

Ao mesmo tempo em que é reduzida a distorção, é também reduzido o ronco produzido pelo amplificador. Entende-se com isto, naturalmente,

que somente o ruído e a distorção produzidos após o ponto de injeção da realimentação podem ser baixados; a realimentação não tem influência sobre os componentes anteriores do circuito.

Até esta altura tratamos apenas da realimentação puramente ôhmica, que não pode, portanto, discriminar entre frequências diferentes. Basta incluir no circuito um condensador ou uma indutância, para tornar o elo de realimentação sensível à frequência. Com isto, a realimentação passa a influir na tonalidade. Nas frequências em que a realimentação é mais efetiva, haverá atenuação na potência de saída, enquanto que, nas outras frequências, essa atenuação será proporcionalmente menor.

No circuito da figura 5, por exemplo, basta incluir um condensador em paralelo com a resistência  $R$ , para tornar a realimentação mais forte nas frequências altas, destacando-se assim as baixas. Por intermédio de combinações de resistências e condensadores adequados, pode-se conseguir praticamente qualquer tipo de curva de resposta desejado. Em relação ao método de atenuadores dependentes da frequência, como os controles de tonalidade, o sistema de realimentação tem a vantagem de proporcionar,

pelo menos em parte das curvas de resposta, uma diminuição de distorção.

Os preamplificadores para as cápsulas de relutância variável, por exemplo, usam largamente a realimentação para conseguir a curva de resposta adequada (fig. 6). Nesta ligação a realimentação é zero nas frequências bem baixas (pois a reatância do condensador é infinita), aumentando proporcionalmente ao aumento da frequência. No momento em que a reatância do condensador ficar igual à resistência, diminui a sua influência sobre o grau de realimentação, permanecendo a mesma constante num determinado nível. Esse nível é fixado pela relação entre  $R$  e  $R_1$ . A magnitude da realimentação, bem como a curva de resposta resultante, estão ilustradas na figura 7.

Pela inclusão de várias resistências, selecionáveis por intermédio de uma chave ou, então, de vários conjuntos  $RC$ , pode-se conseguir várias curvas de resposta, para as várias curvas de gravação e as diferentes características dos pick-ups.

Em todos os casos, a realimentação negativa, quando empregada com critério, somente poderá trazer benefícios, sendo indiscutível a influência que possui na melhoria da fidelidade de reprodução dos amplificadores.



# AMPLIFICAÇÃO ULTRALINEAR

Últimamente vem ganhando grande popularidade nos circuitos de alta-fidelidade o sistema "ultralinear", denominação esta que designa uma determinada ligação das válvulas de saída do amplificador.

Antes de tornar-se popular este circuito, havia na saída dos amplificadores válvulas triodos ou, então, tétrodos. Os triodos proporcionam distorção relativamente baixa, possuindo pequena resistência interna, fornecendo, porém, pouca potência e requerendo alta tensão exci-

tadora. Os tétrodos, por sua vez, têm distorção inerente elevada, grande potência com baixa tensão excitadora e resistência interna alta. Com a introdução da realimentação negativa, foi possível reduzir tanto a resistência interna como a distorção destas válvulas, daí surgindo as potências em favor de uma ou outra válvula.

Estas discussões somente chegaram a um ponto final com o aparecimento do circuito "ultralinear" que, por constituir um meio termo entre a ligação triodo e tétrodo de uma válvula, combina até certo grau as vantagens de ambos os sistemas.

Na ligação tétrodo (ou pentodo) a grade auxiliar está em potencial zero, no que concerne à tensão alternada; ligando a mesma válvula em triodo, a grade auxiliar receberá, entretanto, o mesmo potencial alternado que a placa.

A ligação ultralinear está entre estes dois extremos, pois a grade auxiliar acha-se ligada a uma tomada do enrolamento primário do transformador de saída, recebendo, conseqüentemente, uma certa fração da tensão alternada de placa. Neste caso, esta grade também contribui com sua parcela para a potência de saída e, ao mesmo tempo, a corrente de placa é influenciada também por sua tensão, através da tensão variável da grade auxiliar. Isto equivale a uma realimentação negativa, o que explica em parte a baixa distorção produzida por este tipo de ligação.

A fim de conhecer as qualidades da ligação ultralinear, principalmente em relação ao circuito pentodo com realimentação, foram feitas diversas medições, cujos resultados damos em forma gráfica neste artigo. Todas as medições foram feitas com as válvulas EL84, que constituem o tipo mais usado na Europa.

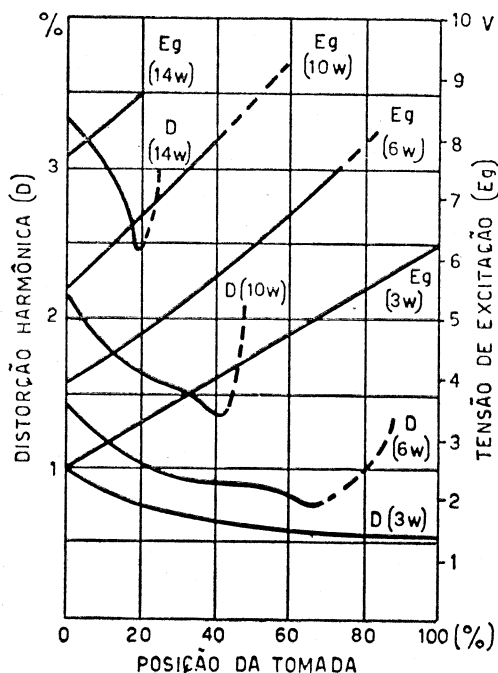


Fig. 1 — Distorção harmônica de 2 válvulas EL84 para níveis de 3, 6, 10 e 14 watts, em relação à posição da tomada. Tensão de placa, 300 volts, impedância de carga de placa a placa, 8 000 ohms.

Embora a ligação ultralinear possa ser usada também nos estágios de saída simples, tôdas as medições foram feitas em ligação push-pull, classe AB-1, com 300 volts na placa e grade auxiliar.

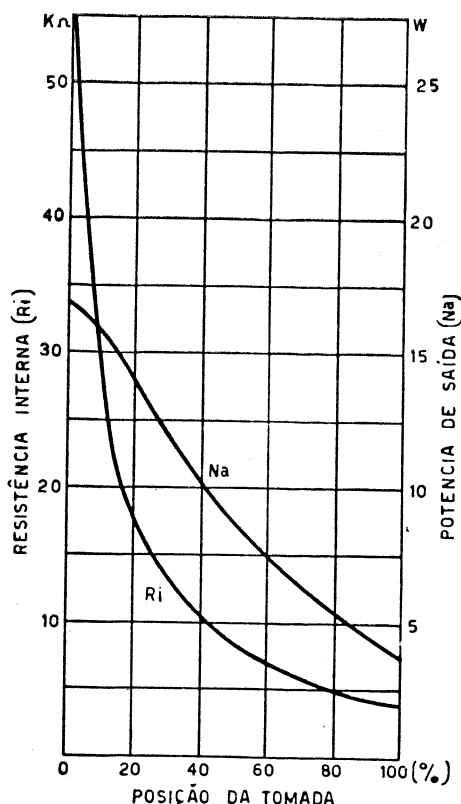


Fig. 2 — Resistência interna aparente, bem como máxima potência de saída, em relação à posição da tomada no transformador de saída.

O que mais interessa é a distorção originada pelo circuito. No gráfico da figura 1 mostramos, para diversos níveis de potência, a distorção em função da posição da tomada do enrolamento primário, em porcentagem. 0% corresponde à ligação tétrodo e 100% corresponde à ligação tríodo. No mesmo gráfico consta igualmente a tensão de excitação necessária em cada caso.

Como é natural, ao passar a válvula a trabalhar de tétrodo a tríodo, a tensão de excitação necessária aumenta, diminuindo ao mesmo tempo a distorção. Nestas últimas curvas é digno de notar que a diminuição da distorção se dá mais rapidamente entre a posição de 0 a 20% da tomada, do que entre 20 e 40 ou 40 e 60%. De acôrdo com êste gráfico, a tomada mais apropriada deveria estar em redor dos 20%, pois, neste caso, a distorção já baixou apreciavelmente e a válvula ainda é capaz de entregar 14 watts de potência de saída.

No segundo gráfico, mostramos a dependência da resistência interna da válvula (ou melhor, a resistência aparente de saída), bem como a máxima potência de saída, também em função da posição da tomada no transformador de saída. Enquanto a potência de saída baixa quase linearmente entre os dois extremos, a resistência interna baixa rapidissimamente no início, para no fim alterar muito menos. Com a tomada em 20% do início do enrolamento, a resistência já baixou quase a 30% do valor original, enquanto que a potência de saída baixou apenas 19%.

Portanto, ambas estas medidas confirmam ser a tomada em 20% do enrolamento total a melhor para a válvula EL84.

Como já dissemos, a ligação ultralinear corresponde a um estágio de saída tétrodo comum, com certa realimentação negativa. Por êste motivo, é interessante comparar ambos os circuitos em relação à distorção produzida. As curvas da figura 3 mostram os resultados das medidas, sendo que a realimentação no circuito tétrodo comum foi ajustada de tal modo que resultasse a mesma tensão de entrada, para determinada potência de saída. Estas curvas mostram que até com uma tomada a 50% do enrolamento total, a ligação ultralinear é melhor que a comum, sendo que em redor de 20% a redução relativa da distorção é maior que em qualquer outra percentagem.

Em tôdas as medições feitas até êste momento foi sempre suposto que a melhor impedância de carga fôsse a normal, ou seja, 8 000 ohms de placa a placa. Como porém esta impedância ótima varia de 8 K para a ligação tétrodo, até 10 K para a ligação tríodo, é de supor que a impedância ótima de carga para a ligação ultralinear estará entre êstes dois limites. Portanto, foram feitas medidas relacionando a distorção percentual, a potência de saída em watts e a impedância de carga. Nas figuras 4 e 5 publicamos as curvas correspondentes para duas séries de medições, uma vez com 250 volts de tensão da fonte de alimentação e resistência de cátodo de 130 ohms e outra vez com 300 volts, permanecendo inalterados os demais dados.

Como impedância ótima de carga deve ser escolhido um valor tal que resulte distorção mínima, em combinação com potência de saída máxima. Em ambos os casos, o valor de 8 000 ohms resulta o melhor, pois acima dêste valor a distorção aumenta rapidamente, enquanto que a potência de saída permanece praticamente constante; abaixo do valor de 8 000 ohms, a

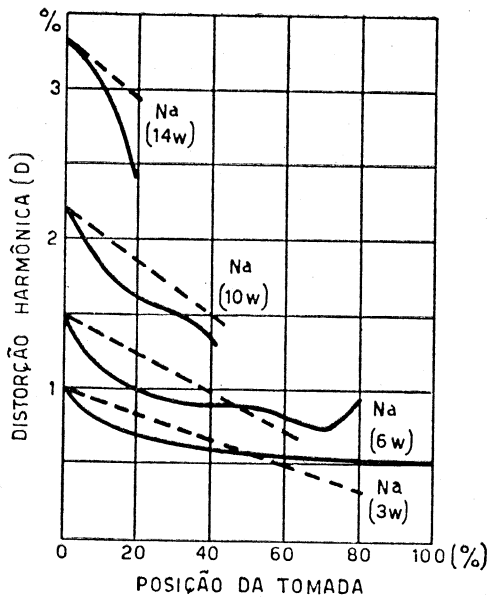


Fig. 3 — Comparação da distorção harmônica do circuito ultralinear (linhas cheias) e pentodo (linhas interrompidas), com realimentação negativa.

distorção total baixa ainda um pouco, porém a potência de saída também baixa.

Foi portanto achado experimentalmente o ponto de trabalho mais adequado para a EL84:

- Tensão de alimentação: 300 V
- Resistência de cátodo: 130 ohms
- Impedância de carga de placa a placa 8 000 ohms
- Tomada no enrolamento: 20% a partir do centro.

De posse destes dados, foi construído um estágio de saída push-pull (fig. 6), a fim de serem feitas as medições finais, especialmente para a verificação da intermodulação. O transformador de entrada push-pull foi usado porque proporciona uma inversão de fase exata, com baixa distorção. Na prática usar-se-á naturalmente um circuito inversor de fase com válvula.

Para a medição da intermodulação foram usadas as frequências de 5 200 Hz e 400 Hz, misturadas na proporção de 1 para 4. A escolha de uma frequência de 400 Hz, e não menor, foi feita propositalmente, a fim de não serem muito influenciadas pelas características do transformador, pois o que interessa é somente a diferença de características dos circuitos.

O gráfico da figura 7 mostra os valores de distorção por intermodulação, em relação à

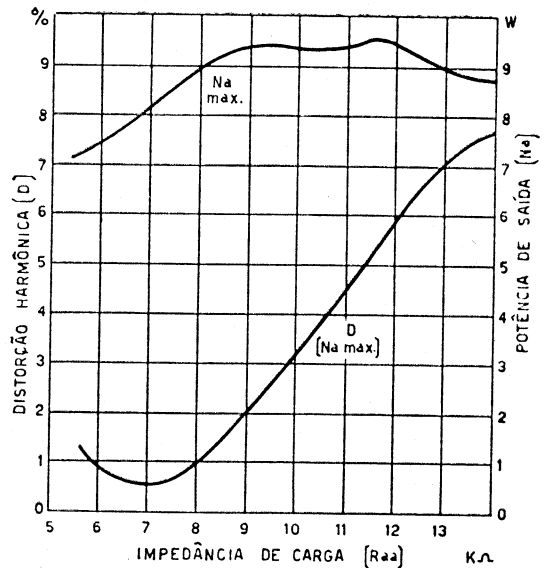


Fig. 4 — Influência da impedância de carga sobre a potência de saída máxima e distorção harmônica com tensão de placa de 250 volts e resistência de cátodo de 130 ohms.

potência de saída, tanto para a ligação com realimentação, como para ultralinear. É este o gráfico que melhor mostra a vantagem do novo sistema sobre o comum, pois demonstra que os valores de distorção no sistema ultralinear são mais ou menos iguais à metade do sistema comum.

Naturalmente, a distorção pode ser baixada ainda, aplicando-se realimentação negativa adicional ao estágio de saída, incluindo, neste caso, o transformador de saída no elo. Dessa forma, o circuito ultralinear apresenta a vantagem de necessitar menor fator de realimentação para

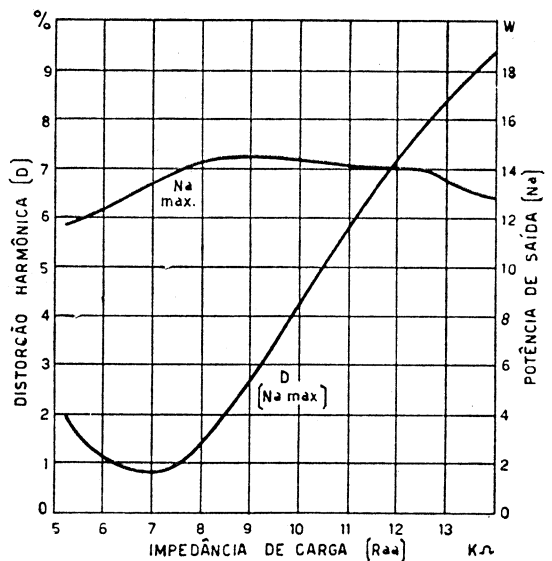


Fig. 5 — Os mesmos dados da figura 4, porém, com tensão de placa de 300 volts.

um determinado nível de distorção que o circuito comum, o que, por sua vez, diminui o perigo de oscilação.

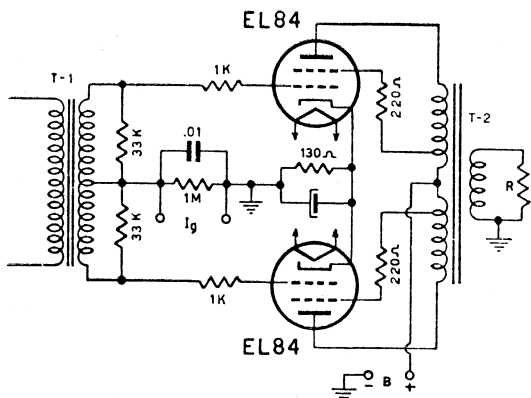


Fig. 6 — Circuito esquemático do estágio amplificador, usado para a medição da distorção por intermodulação.

Além destas investigações foi igualmente determinada a influência de válvulas de saída com características um pouco diferentes uma da outra, mas que ainda estejam dentro da tolerância normal de fabricação. Neste caso, naturalmente, a distorção com certo nível de saída aumenta, porém, o aumento também não foi maior que o provocado com ligação tétrodo comum.

De todas estas pesquisas, pode ser concluído, em resumo, o seguinte: basicamente, o circuito ultralinear não proporciona uma redução de distorção em relação ao circuito tétrodo comum (com realimentação negativa), mas o seu circuito é mais econômico e seguro que o comum. Isto porque a realimentação interna da válvula permite trabalhar com um menor fator de realimentação externa, o que faz com que o amplificador não seja tão sensível a oscilações nas frequências limite de amplificação.

A tensão de excitação do sistema ultralinear é menor que a comum para a mesma percentagem de distorção, facilitando assim a construção do estágio excitador. A potência de saída máxima, porém, é um pouco menor que a dos estágios tétrodo, usando as mesmas válvulas.

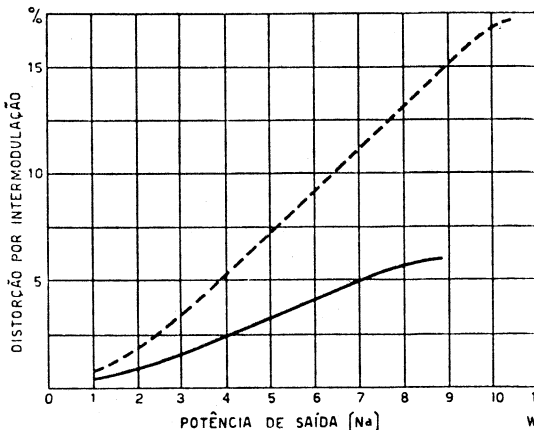


Fig. 7 — Distorção por intermodulação para o circuito ultralinear (linha cheia) e pentodo com realimentação negativa (linha interrompida) em relação à potência de saída. Este gráfico demonstra bem claramente a vantagem da ligação ultralinear.

A construção do transformador de saída ultralinear é um pouco mais crítica, pois a exigência de simetria é mais alta que nos circuitos tétrodo.

Portanto, as vantagens do sistema ultralinear são bastante acentuadas, e cremos mesmo que esta espécie de ligação seja usada em escala sempre crescente, tanto nos amplificadores de alta-fidelidade, como também nos estágios de saída simples (não push-pull) de receptores, onde permite diminuir fácil e economicamente a distorção provocada pela válvula de saída.

# OSCILAÇÕES PARASÍTICAS

Quando seu amplificador apresentar, repentinamente, um som “esquisito”, embora todos os componentes estejam em ordem e as tensões nos elétrodos das válvulas sejam as corretas, então, com toda a certeza, o amplificador estará com uma oscilação parasítica.

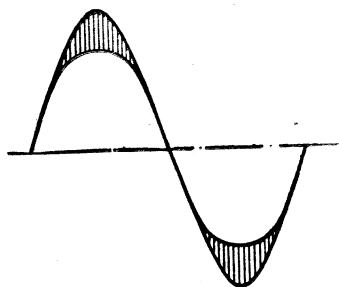


Fig. 1 — Oscilação parasítica de RF nos picos de excitação de grade.

Se ligarmos um oscilador de áudio à entrada e um osciloscópio à saída do amplificador, achamos a forma da curva indicada na figura 1. Nos picos de excitação, aparece uma oscilação de radiofrequência, visível pelo pronunciado aumento na grossura do traço da imagem. Em si, esta radiofrequência não é audível, mas a sua intermodulação com as outras, audíveis, torna-a perceptível.

Geralmente, este tipo de oscilação só aparece a par-

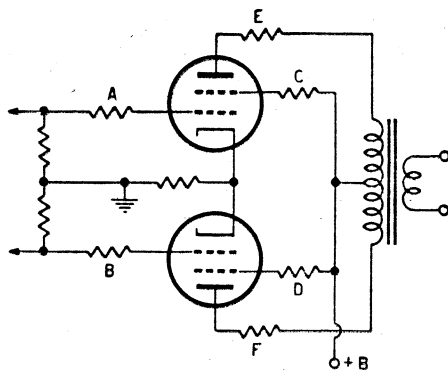
tir de certa amplitude; uma vez presente, porém, não desaparece, mesmo em nível bastante baixo. Somente se consegue a sua eliminação, desligando o amplificador e ligando-o novamente, com volume moderado.

Além da oscilação parasítica indicada na figura 1, também existe a oscilação contínua, presente, portanto, durante todo o ciclo de audiofrequência. Neste caso, a presença de RF também pode ser comprovada por intermédio de um voltímetro a válvula, tornando-se com isto bem mais fácil a determinação do estágio que produz a oscilação.

Por intermédio do voltímetro a válvula descobre-se facilmente qual o estágio causador da oscilação. Geralmente se trata do estágio de saída, podendo porém mesmo as válvulas preamplificadoras dar origem a este defeito. Quanto mais alta a transcondutância da válvula em questão, tanto maior a tendência de oscilação.

Quando nestas válvulas, durante o ciclo de excitação, a tensão de grade se aproxima do valor zero, então a transcondutância se torna tão alta que a válvula funciona como “osciladora com grade e placa sintonizadas”. A indutância da ligação de grade, em

Fig. 2 — Resistências amortecedoras intercaladas num circuito push-pull. Valores típicos são, para A e B, 10 K e 50 K, 1/2 W; para C e D, 100 a 500 ohms, 1 W, e para E e F, 50 a 100 ohms, 1 W.



No osciloscópio a imagem apareceria toda borrada, como se estivesse fora de foco.

conjunto com a capacidade de entrada, forma um dos circuitos ressonantes, enquanto

que a indutância do fio de placa, com a capacidade de saída, forma o outro circuito. O acoplamento entre ambos se dá pela capacidade intereletródica, resultando geralmente a frequência de oscilação bem acima do limite de audibilidade.

sempre resolve o caso. Nem é possível dar resultados, porque não é uma única válvula que oscila, mas sim o conjunto todo, abrangido pela realimentação.

Nos modernos amplificadores de alta-fidelidade, todo o

do alcance audível, a resposta possui um pico pronunciado, conforme mostra, por exemplo, a figura 3. A resposta de um amplificador é sempre dependente da resposta dos estágios individuais, em conjunto com a quantidade de realimentação empregada.

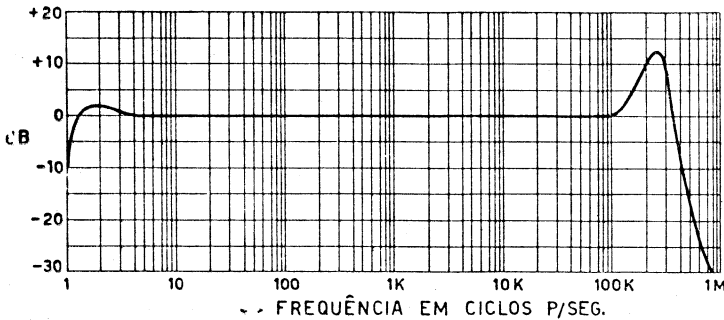


Fig. 3 — Curva de resposta de um amplificador de alta-fidelidade, mostrando um pico pronunciado na frequência de 250.000 Hz. Este pico pode dar origem a oscilação parasítica nesta mesma frequência.

A fim de interromper estas oscilações, são usadas resistências amortecedoras. Na figura 2 mostramos um estágio de saída em push-pull com as diversas resistências amortecedoras incluídas. Nem sempre são necessárias tôdas estas resistências; geralmente, já desaparece a oscilação, ao serem colocadas as resistências **A** e **B**, no circuito de grade. Em outros casos, é também necessária a inclusão das resistências **E** e **F**, no circuito de placa, ou **C** e **D**, junto à grade auxiliar. Em todos os casos, é necessário que as resistências sejam colocadas diretamente nos terminais dos soquetes a fim de diminuir a influência da indutância dos fios de ligação (entre a resistência e o eletrodo da válvula) ao mínimo.

Antes de aparecerem os amplificadores com realimentação negativa, este procedimento era a cura infalível para as oscilações parasíticas. Nos amplificadores novos, o procedimento acima indicado nem

conjunto é efetivo a partir de alguns ciclos, até 100 000 ou 200 000 Hz. O amplificador pode possuir perfeita estabilidade, na ausência de áudio. A instabilidade ocorre porque, em qualquer frequência fora

É pouco conhecido o fato de uma válvula variar a resposta de frequência de um estágio, durante os diversos pontos de excitação de grade. No pico negativo, a resistência interna da válvula aumenta, diminuindo fortemente no pico positivo. Esta resistência interna, em conjunto com a capacidade distribuída do circuito, forma uma espécie de filtro, cuja frequência de corte depende dos valores dos componentes do circuito. Durante o pico negativo, portanto, a frequência-limite baixará, aumentando da mesma maneira durante o pico positivo.

Este fenômeno, aliás, pode ser motivo de forte intermodulação, caso o corte de frequência caia dentro do espectro audível. Para ilustrar

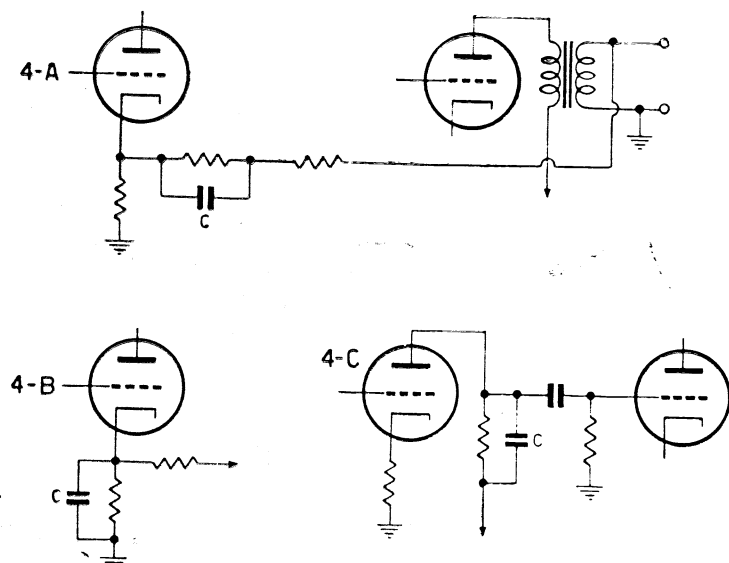


Fig. 4 — As várias posições que pode tomar o condensador de defasamento "C" no elo de realimentação negativa.

êste fenômeno, suponhamos que uma freqüência de 200 Hz e de grande amplitude faça variar a freqüência limite de um estágio em redor dos 15 000 Hz. Se aplicarmos simultaneamente, na entrada, uma freqüência de 10 000 Hz, então a sua 2ª harmônica será amplificada em maior ou menor grau, no ritmo da freqüência de 200 Hz, o que nada mais é do que uma forma de distorção por intermodulação.

a mesma persista. Por outro lado, também é possível que a tensão de excitação altere o ponto de trabalho tão fortemente, que a oscilação é interrompida imediatamente.

Em última análise, a oscilação aparece porque a margem de estabilidade não é suficiente. Diminuindo o grau de realimentação, a oscilação desaparecerá. Este procedimento, porém, nem sempre é desejável, pois pela diminuição

ficadores e está colocado em paralelo com a resistência de realimentação (fig. 4-A), em paralelo com o condensador de cátodo (fig. 4-B) ou no circuito de placa de uma outra válvula qualquer, que se encontra no elo de realimentação (fig. 4-C).

É necessário determinar qual o processo usado no caso em questão, a fim de aumentar a estabilidade nas freqüências altas, e, então, variar experimentalmente a capaci-

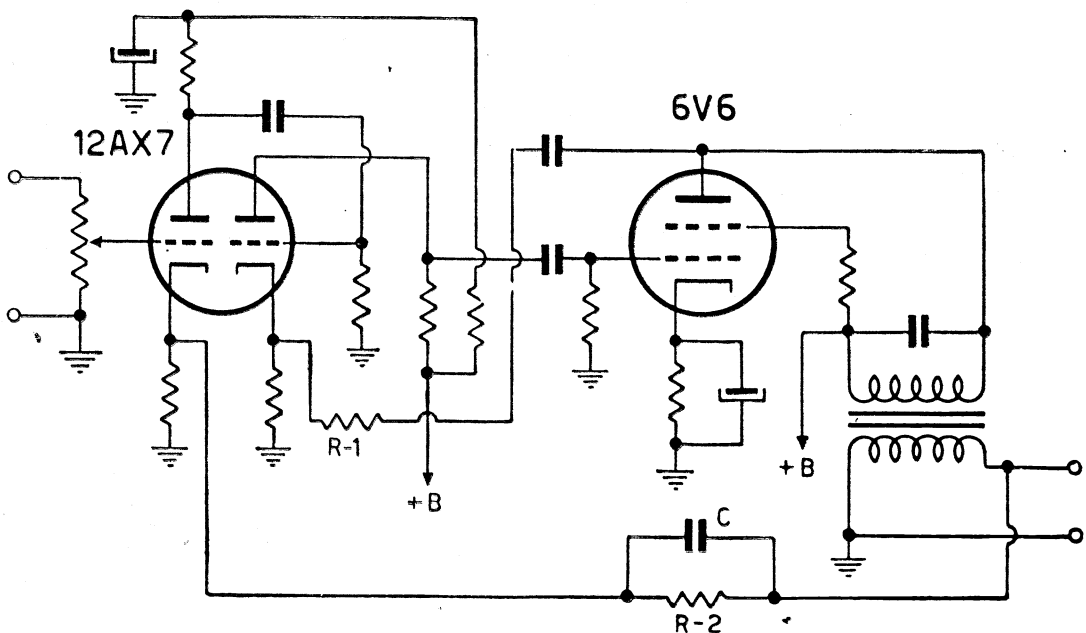


Fig. 5 — Amplificador de alta-fidelidade, com 2 elos de realimentação negativa. R-1 faz parte do elo interno, enquanto que R-2 controla a realimentação externa. Esta realimentação adicional também pode ser usada em amplificadores push-pull.

Esta é uma das razões porque os amplificadores devem ter resposta uniforme, bem além e aquém dos limites da faixa audível. Neste caso, não é possível a intermodulação entre audiodifreqüências, variando porém ainda a resposta do conjunto com a forma da onda aplicada, podendo aparecer uma oscilação nos picos de excitação.

Neste caso, é possível que, uma vez iniciada a oscilação,

da realimentação, aumenta a impedância dinâmica, assim como a distorção. Portanto, é sempre melhor verificar a possibilidade de aumento da margem de segurança.

Isto pode geralmente ser conseguido pela alteração do valor do condensador que se acha incluído do elo de realimentação, a fim de corrigir a fase no limite de freqüência. Êste condensador existe na grande maioria dos ampli-

de dêste condensador. Qualquer alteração deve ser feita somente com diferenças de valor da ordem de 20%, com referência ao original, a fim de não ultrapassar o valor ótimo. Se, por exemplo, o valor original é de 68 pF, deve ser experimentada a colocação de condensadores de 47 ou 82 pF. Caso um dos dois condensadores mostre melhora na estabilidade, deve-se prosseguir, na mesma direção, com outra variação de valor de 10 a 20%,

para mais ou para menos, do novo valor. Nunca deve ser feita uma alteração repentina e de uma só vez, pois isto poderia levar a outra posição de instabilidade.

Caso a alteração do valor do condensador não elimine a instabilidade, é necessário alterar a realimentação. Se o amplificador tiver um único elo, então nada mais resta a fazer senão diminuir o fator total de realimentação, até conseguir estabilidade completa.

Em muitos casos, porém, o amplificador terá dois ou mais elos. Além do acima descrito, pode existir outro, da placa da válvula de saída à grade da preamplificadora (fig. 5). O primeiro costuma ser designa-

do como elo externo, enquanto que o segundo é o interno.

Neste caso, pode-se tentar aumentar a realimentação interna, ao mesmo tempo que se diminui a externa. Como o elo interno não é tão crítico (pois geralmente abrange uma só válvula), este procedimento pode resultar na mesma realimentação total, porém estabilidade maior.

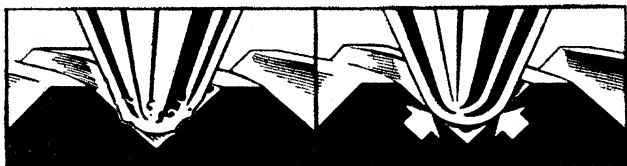
A alteração do fator de realimentação é feita pela mudança dos valores de R-1 e R-2; uma diminuição dos valores destas resistências resulta num aumento da realimentação, e vice-versa. Naturalmente, também neste caso não é aconselhável alterar os valores em mais do que 10 ou 20% em cada tentativa.

Se o defeito do amplificador apareceu repentinamente, então, naturalmente, é aconselhável examinar primeiramente o circuito, com o máximo cuidado. Neste tipo de amplificador existem componentes de tolerância bastante baixa. Existindo, por exemplo, uma resistência com marcação de tolerância de 5% e estando o seu valor 5% fora do limite permissível, então será aconselhável substituir em primeiro lugar esta resistência. Da mesma forma, as válvulas devem ser testadas, ou melhor ainda, substituídas experimentalmente por outras boas. Somente depois de se possuir a certeza de que tudo está em perfeita ordem é que se pode tentar modificar o elo de realimentação.



# DIAMANTE, O MELHOR AMIGO DO DISCO FONOGRAFICO

O teste supremo do reparador, é o som do equipamento que conserta. Não importa a eficiência, o cuidado e a atenção dispensados a um conserto; há um fator freqüentemente desprezado, que pode significar a diferença entre um cliente satisfeito e um que julga nada ter sido feito em seu aparelho.



Pontas de agulhas mal polidas (à esquerda) tem falhas na superfície, que podem cortar sulcos e distorcer o som. A ponta perfeita (direita), toca nas paredes do sulco em apenas duas áreas diminutas.

Com um aparelho de alta-fidelidade em perfeitas condições de funcionamento, em adição a um disco novo, recém saído da fábrica, o que, pergunta-se, pode "sair errado"? A resposta é simples: a agulha do cliente. A agulha do pick-up é o único elo entre o disco e o fonógrafo. Se este elo está defeituoso, a reprodução sonora forçosamente tem de sofrer.

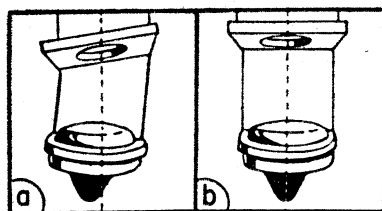
O reparador atento, interessado em manter a sua reputação de serviço perfeito, conquistada à custa de muito esforço, deveria incluir uma prova da agulha nos testes preliminares de qualquer fonógrafo recebido para conserto ou reforma, ou ainda, que conserta no domicílio do cliente. Embora as firmas fabricantes de agulhas e de discos dispensem muitos esforços em campanhas neste sentido, a maioria ainda não se convenceu da importância do papel da agulha, ou então esquece-se do fato.

A agulha é, como já dissemos, o único ponto de contato entre o aparelho e o disco. O atrito entre a ponta da agulha e a superfície do disco provoca desgaste, convertendo a forma da ponta da agulha, de esférica, para a forma de cunha, que desgasta enormemente os lados do sulco. Uma agulha gasta, provoca o desgaste dos dis-

cos, interfere na reprodução sonora e, lenta, mas completamente, destrói toda uma coleção de gravações, a menos que seja substituída.

Não existe uma agulha "permanente". Qualquer agulha, eventualmente começa a desgastar-se, dependendo do período de serviço útil, do material de que é feita e das circunstâncias

sob as quais é usada. A ponta comum de metal, ou ósmio, dura aproximadamente 20 horas de reprodução. A ponta de safira, proporciona um serviço satisfatório durante cerca de 100 horas. A agulha com ponta de diamante, a mais durá-

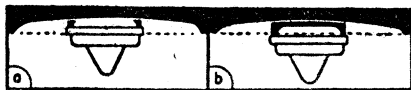


Como o alinhamento da agulha pode afetar a saída. Uma ponta mal montada (esquerda), inclinada em lugar de alinhada, verticalmente, pode fazer com que a agulha salte sulcos e origine uma distorção.

vel, deve proporcionar um serviço perfeito durante 2000 horas. Mesmo, porém, uma agulha de diamante, embora feita da substância mais dura e lisa que se conhece, começará a desgastar-se e danificará os discos, se for mantida em serviço depois de um período de serviço ótimo. Um técnico reparador deve saber conhecer uma agulha gasta e recomendar a sua substituição, como parte do serviço de reparação.

## COMO EXAMINAR AS AGULHAS

A inspeção a olho nu não permite distinguir uma agulha boa de uma gasta. Variações de forma, invisíveis até com inspeção muito cuidadosa, podem causar grandes danos aos discos, interferindo adicionalmente na qualidade tonal.



Se a agulha não sobressai o suficiente na parte inferior da cápsula (esquerda), o braço desliza sobre a superfície da gravação, danificando a mesma e provocando som e distorção intermitentes.

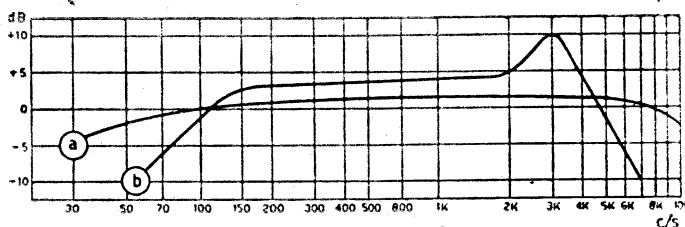
Geralmente, é possível determinar a agulha que deve ser trocada ou não, simplesmente perguntando ao cliente por quantos meses vem sendo usada a agulha. Se for de safira ou ósmio e está sendo usada há 6 meses, ou mais, é provável que haja necessidade de substituição. Somente um exame microscópico pode determinar a quantidade de desgaste de uma agulha de

As vantagens da aquisição de uma agulha de diamante, podem ser aplicadas em função de maior duração, menor desgaste dos discos e melhor tonalidade. Uma agulha de diamante dura 20 vezes mais que uma de safira, como prova o cálculo. Para completar a prova, deveria ser usado um medidor para a pressão da agulha e um nível para o braço. Um peso mal distribuído, provoca um desgaste irregular e reduz a vida da agulha. A condição dos discos é também um fator na vida da agulha. Quando sujos, com os sulcos cheios de pó e fibras, desgastam-se mais depressa, provocando um desgaste adicional à ponta da agulha, cada vez que são reproduzidos.

As agulhas são uma fonte de lucros adicionais para o técnico. Em algumas marcas há lucro até 50%, e até mais, em outras.

A recomendação de um exame periódico da agulha, trará o cliente com maior frequência à presença do técnico. A satisfação do cliente

Efeito sobre a reprodução de uma agulha de material de qualidade inferior em suporte mal construído (b), em comparação com uma agulha de qualidade, num conjunto adequadamente projetado (a). As curvas representam a resposta para uma cápsula GE — BPX-052.



diamante. Pode-se recomendar tal exame, usando como argumento que um exame da agulha pode significar vida muito mais longa para os discos. Para facilitar este exame, existem microscópios com aumento de 90 vezes, além de desenhos em escala ampliada, de pontas perfeitas, para comparação.

é a chave do sucesso do técnico reparador. Um serviço completo de reparação e manutenção é o fator mais importante para conseguir clientes satisfeitos. Em troca de alguns minutos dedicados ao exame da agulha, pode-se conseguir, ao mesmo tempo, a boa vontade da clientela e lucros fartamente compensadores.

# CÁPSULAS FONOGRAFICAS

Com o advento da alta-fidelidade, a qualidade dos componentes dos sistemas de reprodução de áudio assumiu importância notável. Um componente essencial à produção de som de alta qualidade é a cápsula fonográfica, ou "pick-up".

A cápsula fonográfica transforma a energia mecânica em energia elétrica, por intermédio de elementos de relutância, magnéticos ou piezelétricos. As cápsulas, freqüentemente denominadas de "cristal", empregam um cristal de Sal de Rochelle, ou um elemento cerâmico. A tensão elétrica é produzida pela deformação física do elemento, ou uma curvatura. Na figura 1 mostramos uma cápsula com elemento cujo funcionamento se dá por torção. O tipo no qual é utilizada a curvatura está ilustrado na figura 2.

Na figura 1, o movimento da agulha, provocado pelo sulco de gravação, é transmitido ao suporte da agulha. Daí, êsse movimento passa, através de

uma almofada de borracha, ao elemento de cristal. O suporte da agulha está encaixado em mancais tubulares de borracha e possui um movimento rotativo de vai-e-vem; os mancais reduzem, em parte, êsse movimento, para corrigir a resposta de freqüências. O elemento de cristal é seguro, em sua outra extremidade, por duas almofadas de borracha e os fios do mesmo são soldados aos terminais dos pinos de contato, na parte posterior da cápsula.

Na figura 2, próximo ao centro do elemento cerâmico, é colocada uma arruela amortecedora. Também a parte dos contatos é diferente, como pode ser visto pela figura.

Um cristal, inteiriço, é retirado de um pedaço de matéria-prima. Sua espessura e o ângulo de corte determinam o coeficiente de temperatura, resposta de freqüências e outras características.

Ao contrário dos cristais, os elementos cerâmicos permitem o emprêgo de maior

variedade de formas e tamanhos. Isto possibilita o controle das propriedades básicas do elemento cerâmico, já no próprio processo de fabricação. Um cristal não oferece essa vantagem.

Para conseguir uma saída maior, freqüentemente são usadas duas placas cerâmicas ou de cristal, ligadas em paralelo. Os cristais são geralmente ligados em paralelo, pois, resulta maior a sensibilidade, sem alteração da tensão aplicada às duas placas. Também a capacitância resulta maior com essa ligação.

Os cristais de Sal de Rochelle são solúveis em água; quando expostos a uma atmosfera com alta umidade, o cristal tende a dissolver-se em sua superfície. Forma-se assim uma solução salina, condutora de eletricidade, e que põe em curto-circuito algumas porções do cristal. Em condições especialmente graves desse fenômeno, o cristal pode ficar danificado permanentemente.

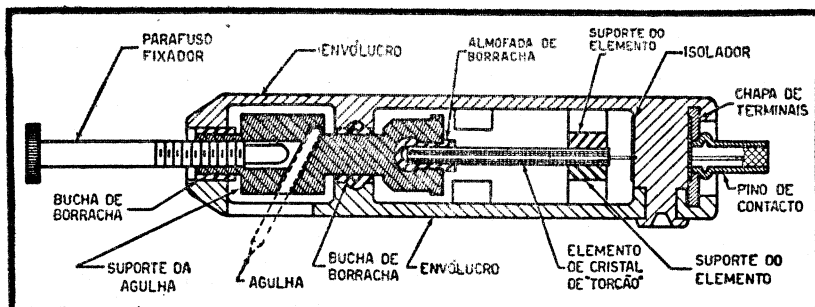


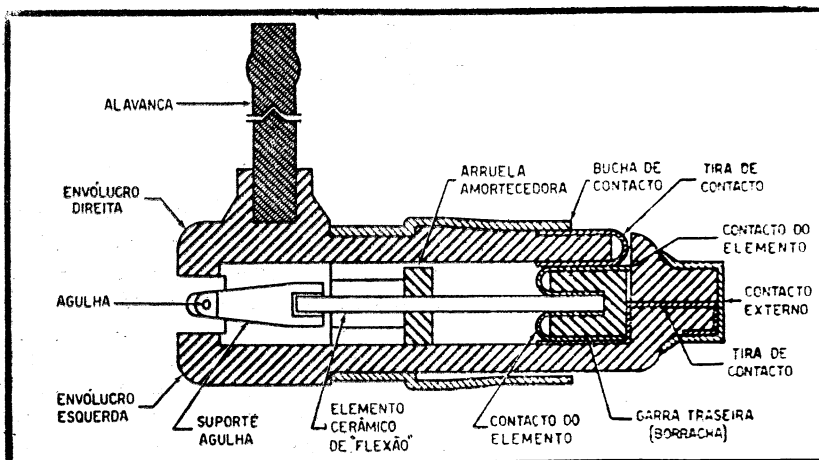
Fig. 1 — Elemento típico de cristal, de torção, usado na cápsula de fabricação da American Microphone, modelo CR-1.

Se, por outro lado, o cristal ficar em ambiente excessivamente sêco, perderá a sua água de cristalização. Tanto uma, como a outra condição, podem ser evitadas pela proteção do cristal com um

voltímetro eletrônico. O circuito empregado, é novamente o da figura 3. É medida a tensão para cada frequência, desde 50 até 10 000 Hz, traçando-se uma curva em papel semilogarítmico, ficando

É difícil prever, com segurança, a duração de uma agulha, pois, influi muito o estado dos discos tocados e também o seu tipo. Nos discos gravados com alta velocidade,

Fig. 2 — Elemento típico de cerâmica, de flexão, empregado na cápsula dupla de fabricação da American Microphone, modelo B-810.



composto impermeabilizante, como óleo, graxa de silicone ou uma camada protetora aplicada à superfície. Os cristais, assim protegidos, raramente apresentam defeitos em consequência da absorção de umidade e, portanto, não constituem problemas de manutenção.

Se houver uma redução no ganho de um sistema fonográfico e se se desconfiar da cápsula, pode-se fazer uma prova, facilmente, por meio de um voltímetro eletrônico e um disco fonográfico, empregando o circuito da figura 3. Naturalmente, a leitura não será constante, devido à gravação, mas fornecerá indicações sobre a suficiência da saída da cápsula.

Outro processo é o de empregar uma gravação de prova (que pode ser adquirida na praça) e comparar os resultados com as especificações do fabricante, para a cápsula. Se possível, deve ser usada a gravação empregada pelo fabricante para a obtenção dos seus dados. Isto porque existem gravações diversas, feitas com várias velocidades.

Para a prova da resposta de frequências são necessários um disco de prova, um braço e cápsula, além de um

a frequência ao longo do eixo horizontal e a tensão sobre o eixo vertical. Para a maioria das cápsulas de preço normal, do mercado, é admissível uma tolerância de  $\pm 3$  dB.

a agulha durará menos que nos com baixa velocidade.

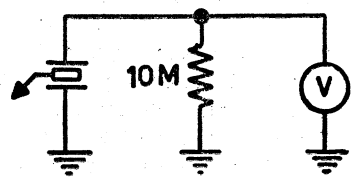


Fig. 3 — Circuito de prova para exame de perda de saída e resposta de frequência em cápsulas fonográficas. Não é requerida a resistência de carga para o teste de saída, mas é recomendável para exame da resposta de frequência.

As agulhas das cápsulas deveriam ser substituídas, logo que se notasse uma superfície plana em sua ponta, que deveria ser esférica. Essa superfície plana é causada pelo desgaste, provocando, por sua vez, um desgaste muito rápido dos discos, encurtando enormemente a sua vida. A agulha deve ser examinada com um microscópio, pois, de outra forma, nada poderia ser visto.

Atualmente, a velocidade média dos bons discos fonográficos é de aproximadamente 6 cm/s; essa velocidade, porém, é frequentemente ultrapassada, conforme o conteúdo musical. Estas altas velocidades possuem seu efeito sobre o desgaste da agulha, como também o peso do pick-up e do braço.

O fator mais importante na qualidade de uma agulha e na sua duração é o material de que é feita. Assim, uma agulha de diamante proporciona a reprodução de 8 000 faces de disco; já uma agulha de safira, permite apenas a reprodução de 400 faces e uma de ósmio de apenas 40.

Esses números não são, porém, constantes, pois, as condições diferem de um caso para outro; portanto, as variáveis a considerar são muitas.

É, por essa razão, sempre aconselhável ao técnico recomendar aos seus fregueses exames periódicos de suas agulhas.

# MOTORES PARA FONÓGRAFOS

A distribuição de energia elétrica domiciliar ou industrial é feita, na grande maioria dos casos, por intermédio de corrente alternada, uma vez, em virtude da facilidade de transformação de uma tensão para outra, e, outra vez, por resultarem, neste caso, motores bastante simples e, portanto, baratos. Devido a esta grande divulgação da corrente alternada, praticamente todos os toca-discos são fornecidos para trabalharem com esta espécie de corrente. Somente para fins especiais (por exemplo, para os toca-discos alimentados por acumuladores) são usados motores de corrente contínua.

Todos os modernos motores para toca-discos são do tipo com rotor em curto-circuito, com defasamento indutivo de campo. A construção deste tipo de motor está ilustrada na figura 1. Consta de um eletroímã em forma de U, composto de várias chapas isoladas entre si (como no caso dos transformadores), a fim de evitar um aquecimento excessivo do ferro, quando a bobina for percorrida por uma corrente alternada, criando assim um campo magnético, também alternado, no ferro. Entre as sapatas polares existe um rotor cilíndrico, também feito de chapas de ferro, e que

Os pequenos motores que são usados nos modernos toca-discos, tanto nos automáticos, como nos simples, são componentes muito robustos que raramente apresentam defeito. Mesmo assim é interessante saber como funcionam estes motores, para poder descobrir eventuais falhas.

fecha o caminho das linhas de força do núcleo. Quanto menor a fenda de ar existente entre o rotor e as peças polares do núcleo, tanto menor a corrente necessária para a magnetização do conjunto. As linhas de força resultantes, entre as duas peças polares, estão indicadas na figura 1, com traços interrompidos.

Como mostra a figura 1, existem junto às peças polares, diagonalmente opostas, duas fendas. Nestas, existe uma espira em curto-circuito, de fio de cobre, que, portanto, abrange uma parte das peças polares. Esta espira tem a propriedade de retardar o campo magnético desta parte da peça polar, em relação à parte restante. Se representarmos gráficamente o fluxo do campo magnético, em relação ao tempo, então teremos uma linha sinusoidal (traço interrompido, fig. 2). Portanto, o campo, a partir do tempo zero, aumenta gradativamente,

atinge o seu máximo depois de 1/4 do ciclo, possui valor zero na metade do ciclo e novamente valor máximo (porém em sentido inverso) depois de 3/4 de ciclo. O campo

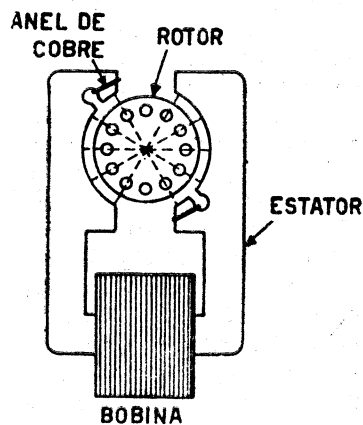


Fig. 1 — Construção básica de um motor para fonógrafo. O rotor é feito de chapas de ferro e possui condutores axiais de cobre ou alumínio, todos eles colocados em curto-circuito.

magnético da peça polar, abrangido pela espira em curto, está retardado, em relação ao campo principal, por 1/4

de ciclo. Depois deste tempo, o máximo do campo magnético parece ter se deslocado, do centro da peça polar principal, para o centro da peça polar abrangida pela espira. Isto equivale a dizer que existe, neste caso, um campo magnético rotativo entre os dois pólos, sendo a velocidade de este campo igual a uma rotação em cada ciclo. Se a

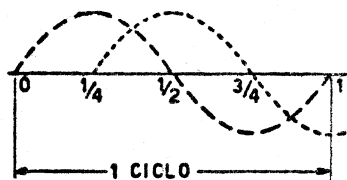


Fig. 2 — Os anéis de cobre (fig. 1) provocam um campo magnético secundário, retardado em relação ao campo principal.

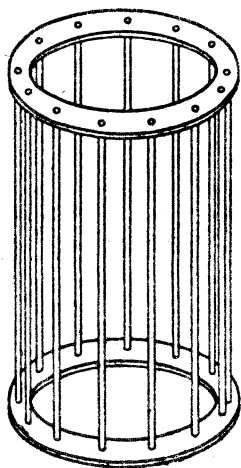
corrente de alimentação for de 60 Hz, o campo magnético fará rotações por segundo ou seja, 3 600 rotações por minuto. O mesmo campo rotativo seria conseguido, se fosse girada uma barra, imantada nas pontas, com velocidade de 3 600 rotações por minuto.

O rotor, que naturalmente é também atravessado pelo campo rotativo, não é constituído simplesmente de um cilindro, como anteriormente mencionado, mas possui canaletas axiais, nas quais estão embutidos condutores de cobre, todos entreligados em suas extremidades por anéis de cobre (fig. 3). O campo magnético rotativo, ao cortar os condutores de cobre, induz nestes uma corrente. Como todos os condutores estão entreligados e como a seção dos mesmos é relativamente grande, resultando baixíssima resistência, a corrente atinge valores bastante elevados, que, por sua vez, criam um campo magnético no rotor. Este campo do rotor é atraído pelo campo giratório

do estator e, portanto, o primeiro tende a seguir o segundo. Como os condutores de cobre estão fixos no rotor, este começa a girar no mesmo sentido que o campo magnético do estator.

A sua rotação, porém, não atinge exatamente a velocidade do campo, pois, neste caso, não seriam mais cortadas as linhas de força do campo pelos condutores de cobre e, conseqüentemente, não haveria mais impulsionamento do rotor. Na prática, a rotação atinge 96 a 98% da velocidade teórica, ou seja, para 60 Hz, 3 450 a 3 560 rotações por minuto.

Se a frequência da corrente de alimentação for de 50 Hz, a velocidade teórica do rotor será de  $50 \times 60 = 3\,000$  rpm e, na prática, 2 880 a 2 950 rpm.



Além do tipo comum de motor mencionado, ainda são usados motores de 4 pólos (fig. 4). O princípio de funcionamento é o mesmo; como, porém, o campo rotativo somente dá uma volta a cada 2 ciclos da corrente alternada, a rotação destes motores baixa para a metade (um pouco menos de 1 800 rpm, com corrente de 60 Hz).

A única vantagem do motor de 4 pólos é que o campo magnético externo, para determinada potência do motor, é muito menor que no tipo de dois pólos. Além disso, a menor velocidade do motor resulta em menor redução de rotação na transmissão ao prato; isto é uma vantagem, por exigir menor precisão na construção. Como desvantagens, constam o peso e preço maiores; portanto, as vantagens são tão poucas que o motor de 4 pólos somente é usado quando se requer maior potência (como, por exemplo, nos gravadores da fita magnética).

Do acima exposto, pode-se deduzir facilmente que a velocidade destes motores não pode ser alterada por meios construtivos; ela depende, praticamente, só da frequência da corrente de alimentação.

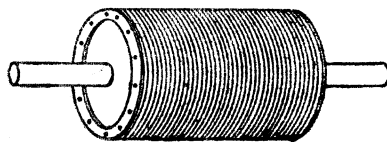


Fig. 3 — "Galola" de cobre. Os condutores longitudinais estão embutidos no ferro do rotor; os dois anéis, nos extremos dos condutores, põem-nos todos em curto-circuito, a fim de poder circular nêles uma corrente que, por sua vez, cria um campo magnético ao rotor.

Como esta é mantida bastante constante pelas usinas modernas, estes motores proporcionam rotação bastante exata. A tensão de alimentação possui pouca influência; com variações de 10 a 15% da tensão, a rotação geralmente se altera menos que um décimo por cento.

O mais importante na construção de motores, principal-

mente quando usados em toca-discos long-play, é que o seu funcionamento se dê com um mínimo de vibrações. Isto obriga o construtor a usar mancais de alta precisão e balancear o rotor dinamicamente. Este balanceamento é feito com máquinas especiais, separadamente para cada eixo do rotor, até que este não tenha mais tendência alguma de vibrar.

A potência necessária para os motores é, em geral, sobrestimada. Teoricamente, é necessária apenas uma potência efetiva de 50 mW para poder tocar discos de 12" (30 cm de diâmetro). Na prática, 2 a 3 watts são suficientes para toca-discos comuns e 5 watts para os tipos automáticos. A fim de conseguir um arranque mais rápido do motor, e considerando a baixa eficiência dos motores, o consumo dos mesmos resulta entre 10 e 20 Watts, o que corresponde a 1/80 até 1/40 de HP.

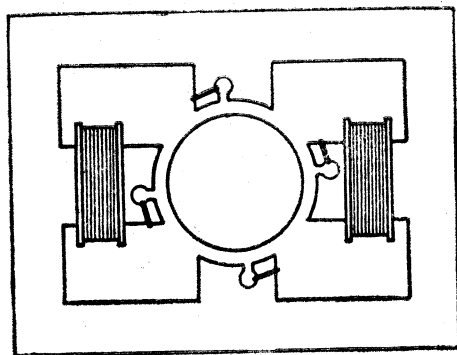


Fig. 4 — Motor de 4 polos, no qual o rotor possui a metade da rotação normal do motor de 2 polos.

Os diâmetros das polias do motor já são calculados de tal maneira que as rotações do prato resultem corretas, quando a frequência de alimentação do motor for a nominal. No caso de ser necessário usar o toca-discos com outra frequência de alimentação, torna-se necessário trocar o conjunto de polias do motor. Quanto mais baixa a

ciclagem da corrente, tanto maior o diâmetro das polias. Na prática, existem somente duas frequências diferentes de alimentação: 50 e 60 Hz. A polia para 50 Hz é reconhecida pelo fato de possuir um diâmetro maior que a de 60 Hz.

A rotação do eixo do motor é transmitida ao prato por intermédio de uma roda intermediária, revestida de borracha em sua circunferência (fig. 5). A velocidade do prato não depende do diâmetro desta roda intermediária e, sim, somente do diâmetro e velocidade do eixo do motor e do diâmetro da borda interna do prato. Como os dois últimos fatores são constantes, somente pode ser conseguida uma alteração da velocidade do prato, alternando o diâmetro do eixo do motor. No caso dos toca-discos para 3 velocidades, o eixo do motor possui 3 seções, com diâmetros diferentes; a alavanca que seleciona as velocidades

faz com que a roda intermediária entre em contato com uma das três seções (fig. 6).

Dissemos acima que o diâmetro da roda intermediária não possui influência sobre a velocidade de rotação do prato. Isto é correto, desde que o eixo desta roda esteja exatamente centrado. No momento em que houver alguma

excentricidade, a roda não gira mais à velocidade constante e estas alterações se fazem sentir, igualmente, na rotação do prato. As fábricas costumam,

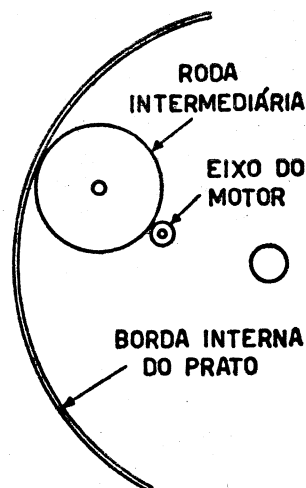


Fig. 5 — Transmissão de rotação do eixo do motor ao prato, hoje em dia usada quase exclusivamente nos motores para fonógrafos.

mam, por este motivo, esmerilhar a superfície de borracha da roda intermediária, a fim de garantir uma borda perfeitamente circular e centralização perfeita do eixo. Se, por qualquer motivo, for necessário trocar este componente, é melhor trocar a roda toda. Não convém experimentar substituir apenas o anel externo de borracha. Nos modernos toca-discos, este, aliás, somente poderá estragar-se ao receber graxa ou óleo, o que reduz o atrito entre as superfícies e, ao mesmo tempo, amolece e estraga a borracha.

É muito raro que se estrague um motor do tipo descrito acima, pois não possui enrolamento rotativo e nem coletor e escovas, sujeitos a desgaste. A única coisa que pode acontecer é que o óleo dos mancais endureça, ou que se queime o enrolamento do estator (geralmente por ter recebido sobretensão). No pri-

meiro caso, limpa-se os mancais externos com um pano embebido em tetracloreto de carbônio ou, então, outro bom solvente (Varsol), cuidando de não permitir a entrada do solvente no mancal. Após a limpeza, aplica-se um pouco de bom óleo para máquina de costura ou, melhor ainda, óleo para relógios, pois, principalmente este, não endurece ao estar em contato com o ar. Deixa-se trabalhar o motor por algum tempo, sem carga, e aplica-se então um pouco mais de óleo.

vêm as arestas, onde as duas partes do núcleo se juntam. Pode ser destacado o núcleo da bobina, apoiando a parte restante e batendo (por intermédio de uma ferramenta de face plana) nos extremos do núcleo. Depois de algumas batidas (cuidando sempre de manter o núcleo paralelo com a peça restante, a fim de não prendê-la), o núcleo sairá facilmente.

Antes de tentar retirar o núcleo, é conveniente desmontar os mancais e o motor,

o novo enrolamento, adquire-se a mesma quantidade de fio, do mesmo calibre. Se o carretel de enrolamento velho mostrar sinais de queima, faz-se um novo carretel, impregnando-o com um bom verniz isolante e enrolando, em seguida, o novo fio. Uma impregnação do novo enrolamento não é necessária, pois o motor não irá ficar armazenado e, com o calor natural do funcionamento, expelirá toda a umidade.

Após a recolocação do núcleo e a remontagem do rotor e seus mancais, controla-se cuidadosamente se estes não prendem o eixo, isto é, se estão perfeitamente alinhados. Liga-se então o motor sem carga e controla-se a temperatura dos mancais e do núcleo.

Se o núcleo não tiver parte destacável, então é necessário fazer o enrolamento através da abertura normalmente ocupada pelo rotor. Neste caso, é necessário fazer o enrolamento à mão, o que é bastante trabalhoso, podendo-se danificar facilmente a isolamento do fio, ao passá-lo pela abertura do núcleo. No restante, principalmente com respeito ao cálculo do fio, o procedimento é idêntico ao descrito acima.

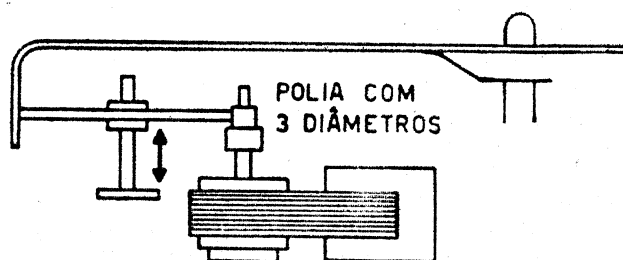


Fig. 6 — A alteração da velocidade do prato é conseguida por meio de polias de diferentes diâmetros no eixo do motor. A polia correta pode ser escolhida pelo deslocamento da roda intermediária para cima ou para baixo.

No caso de estar queimado o enrolamento, é geralmente fácil o reenrolamento. Em primeiro lugar, é necessário examinar a construção do motor. Em muitos casos, a parte do núcleo de ferro, sobre o qual está colocada a bobina, pode ser destacada do restante do núcleo. Neste caso, sempre se

marcando bem a posição dos suportes correspondentes, a fim de evitar danos a estes componentes.

Uma vez destacado o núcleo, corta-se os fios do enrolamento e retira-se o mesmo (ou então, desenrola-se o fio todo), que é então pesado. Para



# CONTRÔLES E PREAMPLIFICADORES

- CONTRÔLE DE INTENSIDADE SONORA
- PREAMPLIFICADOR PARA CÁPSULA DE RELUTÂNCIA VARIÁVEL
- PREAMPLIFICADOR
- PREAMPLIFICADOR TRANSISTORIZADO
- CONTRÔLES DE TONALIDADE
- CIRCUITO AMPLIFICADOR PARA CONTRÔLE DE TONALIDADE

# GANHE DINHEIRO !

## APRENDENDO UMA PROFISSÃO TÉCNICA

Aproveite suas horas de folga para estudar:



## RÁDIO-TELEVISÃO ELETROTÉCNICA DESENHO

### SEM SAÍR DE CASA, VOCÊ PODERÁ APRENDER POR CORRESPONDÊNCIA

uma destas profissões lucrativas para aproveitar as inúmeras oportunidades que o rápido progresso industrial do Brasil está lhe oferecendo. O **INSTITUTO MONITOR**, o maior e mais antigo estabelecimento de ensino técnico por correspondência do Brasil, lhe oferece os mais modernos e eficientes cursos de

### RÁDIO - TELEVISÃO

O mais atualizado curso, para você aprender praticamente a montar rádios, amplificadores e fazer muitas experiências com as ferramentas, materiais e instrumento que receberá absolutamente grátis.

### ELETROTÉCNICA

Instruções práticas, com fornecimento inteiramente grátis de um laboratório eletrotécnico portátil, ferramentas e materiais para instalações especiais e a construção de aparelhos elétricos.

### DESENHO { Mecânico, Arquitetônico, Artístico e Publicitário

Aos alunos destes cursos serão fornecidos, grátis, prancheta, régua T, esquadros, escala, jogo de compasso, tintas, pincéis etc., para a execução dos trabalhos práticos.



MENSALIDADES AO ALCANCE DE TODOS  
DURAÇÃO MÍNIMA DO CURSO: 5 MESES

NOSSOS CURSOS SÃO APROVADOS E REGISTRADOS PELO DEPARTAMENTO DO ENSINO PROFISSIONAL DO ESTADO DE SÃO PAULO SOB Nº 5-COR

Assegure seu  
**FUTURO!**  
MANDE AINDA  
HOJE ÊSTE  
CUPON

NUCLEO DE ENSINO PROFISSIONAL LIVRE POR CORRESPONDÊNCIA

## INSTITUTO MONITOR

RUA DOS TIMBIRAS, 263 - C. POSTAL 30.277 - S. PAULO - SP-2

Sr. Diretor: Solicito enviar-me, GRÁTIS, o folheto sobre o curso de

RÁDIO E TELEVISÃO  ELETROTÉCNICA  DESENHO

Marque com um X o curso que desejar

NOME

RUA

CIDADE

Nº

EST.

HI-FI

# CONTRÔLE DE INTENSIDADE SONORA

Os amplificadores de alta-fidelidade sempre vêm equipados com vários contrôles de tonalidade, resultando bastante difícil, para o leigo, pelo menos no início, o ajuste de todos êstes contrôles, para que resulte o melhor som possível. É opinião generalizada que êste grande número de contrôles diminuirá, com a evolução da técnica, como, aliás, aconteceu com os rádios e televisores, que passaram por uma pronunciada simplificação no seu manejo.

Na alta-fidelidade, porém, esta simplificação não depende apenas da técnica e, sim, muito mais de um acôrdo entre as firmas gravadoras de discos, pois só com curvas padronizadas pode-se dispensar os diversos contrôles que adaptam a curva de resposta do aparelho reproduzidor à da gravação.

Porém, mesmo se existisse a curva universal de gravação, ainda não poderíamos dispensar o contrôle de graves e agudos, pois diferentes níveis de reprodução exigem diferentes relações entre os sons agudos, médios e graves. Sômente se fôsse possível compensar êste efeito do ouvido humano, por intermédio de um contrôle de tonalidade especial, poderíamos dispensar os contrôles ajustáveis que, uma vez adaptados para compensar as condições acústicas do recinto de reprodução, não mais necessitariam ajuste algum (bem entendido, isto sômente seria possível no caso de serem iguais, para todos os discos, as curvas de gravação).

Para que possamos discutir os problemas que surgem ao reproduzir um programa em outro nível que o original, temos de examinar as características do ouvido humano.

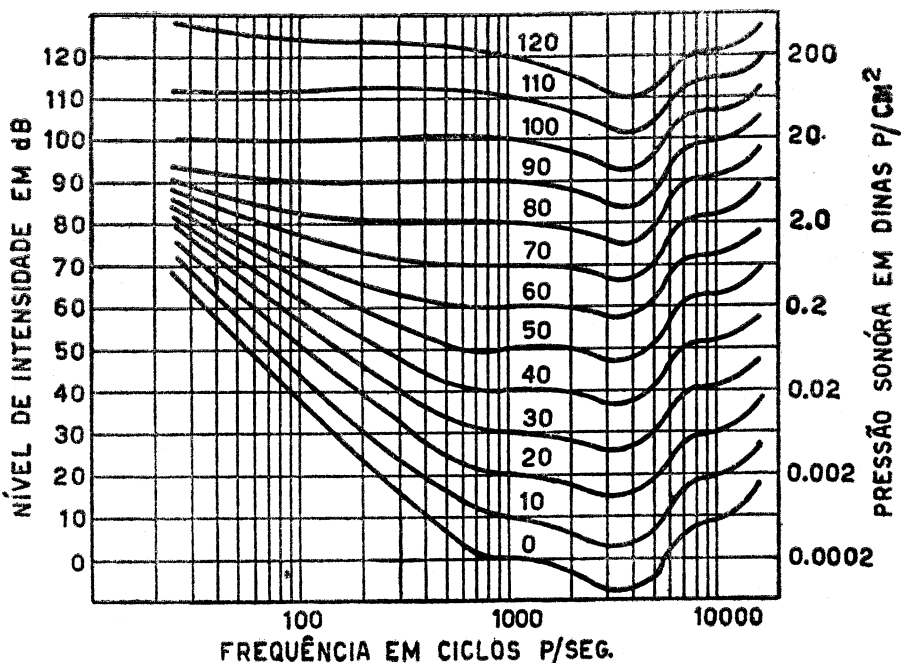


Fig. 1 — As curvas de Fletcher-Munson. As curvas indicam a pressão sonora necessária para provocar a sensação de volume constante através do espectro audível e para diferentes níveis de audição.

A sensibilidade deste órgão varia grandemente com a frequência, possuindo a sua máxima sensibilidade entre 2 000 e 4 000 Hz. Os limites de audibilidade são de aproximadamente 20 e 20 000 Hz, baixando, principalmente o limite superior, com o aumento de idade da pessoa.

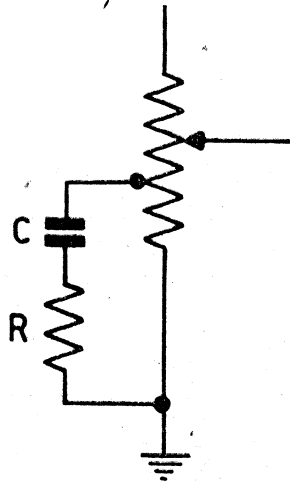


Fig. 2 — Contrôlo de volume com reforço das frequências baixas. O reforço é conseguido pela ligação do condensador C e da resistência R a uma tomada do potenciômetro.

As características do ouvido humano foram resumidas num gráfico, conhecido sob a denominação de «Curvas de Fletcher-Munson». Na figura 1 mostramos essas curvas. Cada uma delas indica a energia que deve ser aplicada sobre o tímpano, para provocar uma sensação auditiva constante para tôdas as frequências audíveis (a intensidade sonora está na figura

em dB, em relação ao nível de intensidade de  $2 \cdot 10^{-4}$  dinas por centímetro quadrado, ou seja, a intensidade que é considerada como limite inferior da audibilidade para uma frequência de 1 000 Hz).

Para dar uma idéia dos diversos níveis, podemos dizer que, num ambiente muito quieto, o nível pode ser considerado como sendo de 30 dB; uma conversa comum é efetuada num nível de 60 dB; o volume médio de uma orquestra é de 80 dB, com máximos em redor de 100 dB; um motor de avião, a pouca distância, tem um nível de 120 dB.

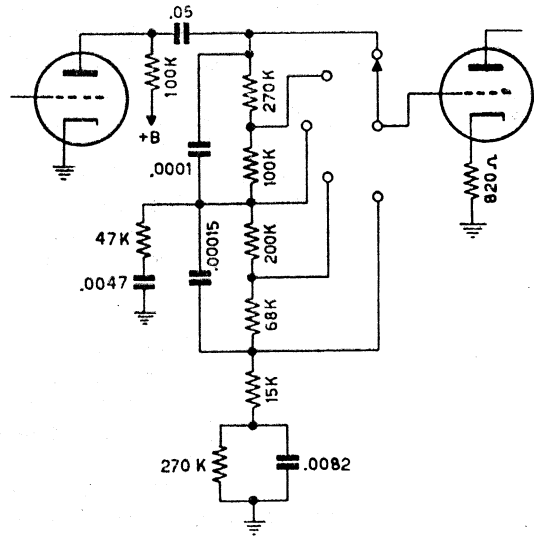


Fig. 4 — Neste controle há 5 níveis de reprodução equalizados, sendo que em cada nível o volume pode ser ajustado por um controle de volume comum.

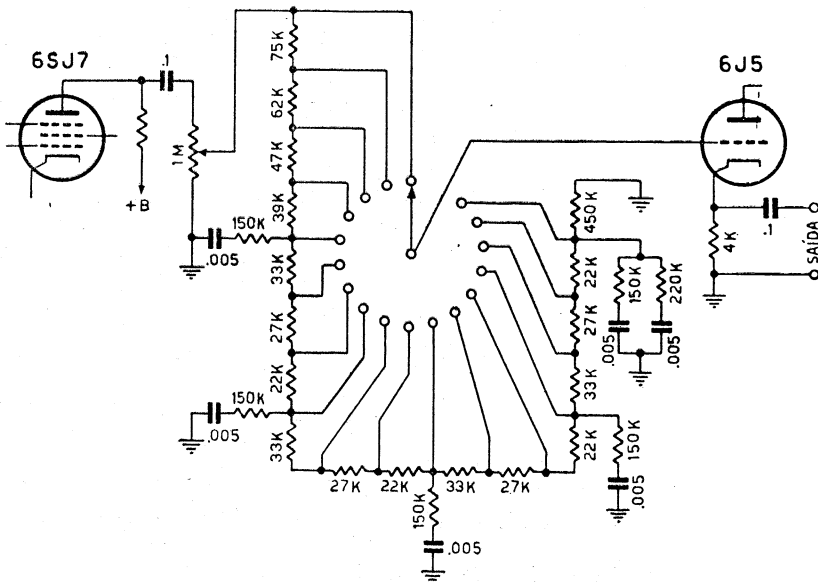


Fig. 3 — Controle de intensidade sonora por posições. Em cada terceira posição existem componentes equalizadores que permitem destacar as frequências baixas ao ser diminuído o volume de reprodução.

Ao nível de 80 dB o ouvido humano tem quase a mesma sensibilidade entre 100 Hz e 1 000 Hz, conforme revela a inspeção da curva correspondente. Este nível de reprodução é demasiado e, portanto, o ouvinte fechará o controle de volume, até que o nível médio resulte em 60 dB. No gráfico, significará isto que a curva de 80 dB é deslocada 20 dB para baixo. Podemos verificar facilmente que, neste caso, esta curva

vale ao abrir do controle de volume do receptor. Com isto resultam demasiadamente destacados os sons graves, o que é fácil de entender, quando passamos uma curva de um nível baixo a um nível mais alto do diagrama.

O ideal seria, portanto, um sistema reproduzidor no qual o controle de volume não aumentasse na mesma proporção todas as

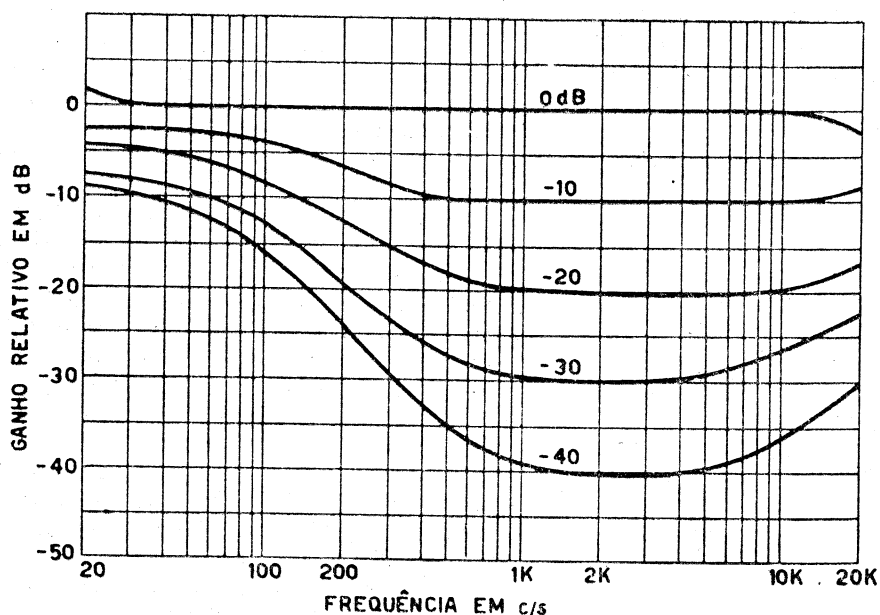


Fig. 5 — Curvas de resposta para o controle indicado na figura 4 e usado nos amplificadores "Bogen".

transposta não coincidirá com a curva de 60 dB, mas que, tanto nas frequências baixas como elevadas, ficará abaixo do necessário. Embora a diferença nas frequências altas seja menor, ainda assim existe. Para conseguir o equilíbrio de frequência seria necessário aumentar, nos 30 Hz, a resposta em aproximadamente 15 dB e, nos 10 000 Hz, em 3 a 4 dB. Com diferenças maiores nos níveis de tomada e reprodução, a diferença na equalização será maior ainda.

Aliás, esta particularidade do ouvido é também o motivo pelo qual a voz dos locutores dos programas de rádio sempre parece pouco natural. É que tanto o transmissor como o receptor estão ajustados para a reprodução (mais ou menos correta) de um nível, digamos de 80 dB. Se o locutor falasse com voz normal, à mesma distância do microfone a que fica a orquestra, a sua voz seria reproduzida com volume muito menor que a música (o que é muito natural). Para compensar esta perda de volume, o locutor fala a pouca distância do microfone, o que equi-

freqüências, mas sim aumentasse menos as frequências baixas e altas que as médias. Os americanos empregam o termo «loudness control» para este dispositivo; à falta de um termo português de equivalência exata, propomos a expressão «controle de intensidade sonora».

Este tipo de controle não é novidade, pois de há muito é conhecida a deficiência básica dos controles de volume. Uma aproximação já está sendo usada há muito tempo nos receptores europeus; nestes, o potenciômetro possui uma tomada a certa altura do percurso da resistência, estando aí ligado um condensador ou, então, um condensador em série com uma resistência (fig. 2).

Com este dispositivo, as frequências altas são atenuadas em maior proporção que as baixas, ao ser diminuído o volume até certo ponto, dando-se então a impressão de destacar as frequências baixas.

Este sistema, embora melhor que o sem compensação alguma, é bastante rudimentar;

para um sistema de alta-fidelidade é desejável um sistema mais complexo.

Atualmente estão sendo usados 3 tipos gerais de contrôles:

- 1) Atenuador com 15 — 25 posições, no qual cada posição está corretamente equalizada; geralmente, de uma posição à outra, o volume é aumentado em 1 ou 2 dB.
- 2) Existe um seletor que equaliza a reprodução em 3 a 5 níveis diferentes, sendo escolhido, dentro do nível médio, o volume exato, sem equalização adicional.
- 3) Contrôles contínuo, com equalização adequada.

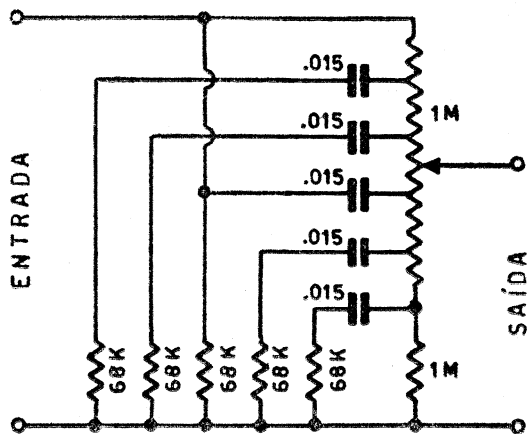


Fig. 6 — Contrôles contínuo de intensidade sonora, usando um potenciômetro especial, com várias tomadas.

Na figura 3 damos um circuito que foi usado nos amplificadores «Childs» e que está colocado entre as válvulas preamplificadoras do pick-up e o seguidor de cátodo. Este controle compõe-se de 17 posições, cujos contatos estão ligados a um divisor de tensão formado por 17 resistências. Pela inclusão de condensadores conseguiu-se que este divisor de tensão se tornasse dependente da frequência. Estes condensadores são ligados entre cada 3ª posição da chave e o chassi. Para as frequências extremamente baixas, a divisão de tensão obedece praticamente à relação das resistências; quanto mais alta a frequência, tanto mais rapidamente decresce a tensão transferida à grade da 6J5, ao ser baixado o volume. Note-se que não é possível, com este tipo de controle, baixar o volume a zero; isto não pode ser conseguido

sem prejuízo da equalização, a menos que se queira aumentar muito o número de contatos e, conseqüentemente, o número de condensadores e resistências. O volume, neste atenuador, é variado mais ou menos em passos de 2 dB. O potenciômetro de 1 megohm, na entrada do atenuador, serve para ajustar o nível de reprodução às condições particulares do aposento.

A outra solução para o «controle fisiológico» de volume, e que é a mais fácil de ser adaptada em amplificadores, é a ilustrada na figura 4. Este sistema é usado no amplificador «Bogen DB-20» e é anunciado como «Loudness Contour Selector», ou seja, **Seletor de contorno do volume**. O princípio de funcionamento deste controle baseia-se no fato de se dar a reprodução geralmente num determinado nível. Se a curva de resposta for equalizada para este determinado nível, e somente for feito pouco retoque dentro de certos limites, então consegue-se resultados surpreendentes com este sistema. No circuito mencionado existem 5 níveis: 1 — bem baixo; 2 — baixo; 3 — médio; 4 — forte; 5 — fortíssimo.

Normalmente, só serão usados os 3 níveis centrais, que permitem uma alteração total do nível de 30 dB (10 dB por posição). O construtor deste dispositivo menciona que o mesmo dá, na prática, melhores resultados que o controle contínuo, principalmente porque os discos são gravados ainda com níveis bastante diferentes, podendo, portanto, o controle contínuo de intensidade resultar em sobrecompensação dos sons graves, a não ser que o nível médio seja reajustado previamente.

O controle contínuo é o que geralmente desperta maior interesse. A indústria norte-americana oferece potenciômetros já fabricados para este fim, e que possuem várias tomadas ao longo do percurso do elemento resistivo; a estas tomadas são então ligados condensadores. Na figura 6 podemos ver o circuito esquemático destes tipos de controles.

A construção caseira deste tipo de controle é extremamente difícil, pois entre nós não se consegue potenciômetros especiais com tantas tomadas. Existe porém outro método que dá também resultados satisfatórios: acoplam-se dois potenciômetros comuns (ou, existindo, usa-se um potenciômetro duplo) e liga-se ambos em cascata, para obter a atenuação necessária (fig. 7). Os potenciômetros podem ser do tipo comum, com curva de variação de resistência exponencial. A transferência

da rotação de um eixo ao outro é feita por meio de 2 tambores de dial, entre os quais é colocada uma cordinha, que deve dar mais que uma volta completa em redor dos tambores. Uma pequena mola manterá o cordão sempre esticado.

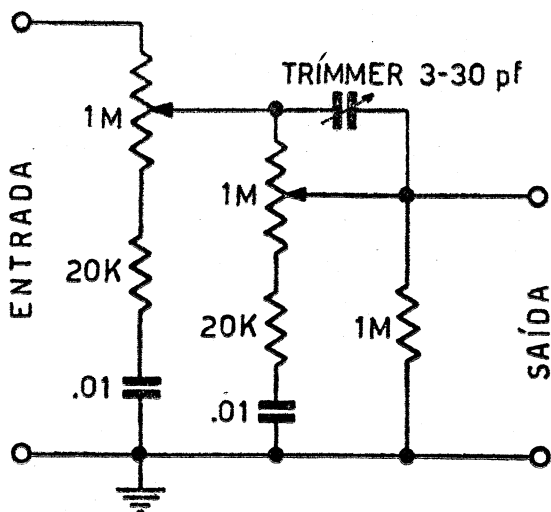


Fig. 7 — Contrôles de intensidade sonora, composto de 2 potenciômetros comuns, em tandem.

Também este controle não permite regular o volume a zero, como nos outros tipos; o trimmer de 3—30 pF (tipo comum) deve ser ajustado para resultar uma tonalidade brilhante em níveis baixos. Nos níveis altos, este condensador não tem praticamente influência alguma.

Não mencionamos até agora que seria necessário ajustar a curva de resposta ao volume momentâneo de reprodução. Para este fim já foram experimentados «controles dinâmicos de intensidade» que, no entanto, até ao presente não ultrapassaram o estágio experimental. O funcionamento básico deste sistema é o seguinte: retifica-se parte do sinal aplicado na entrada do amplificador, com preferência a parte das frequências baixas. Com a tensão contínua conseguida controla-se uma ou várias válvulas, ligadas de tal maneira que representem uma reatância capacitiva variável. Com esta reatância capacitiva consegue-se então variar a curva de resposta do amplificador. Cremos desnecessário dar detalhes construtivos sobre este sistema no momento, pois ainda têm de ser resolvidos muitos detalhes até que estes controles trabalhem satisfatoriamente.

# PREAMPLIFICADOR PARA CÁPSULAS DE RELUTÂNCIA VARIÁVEL

O pick-up de relutância variável, de fabricação da General Electric, é atualmente usado em grande parte de todos os toca-discos automáticos; mesmo os tipos europeus já vêm equipados com esta cápsula ou, então, possuem dispositivos que facilitam a sua colocação no braço.

Infelizmente, este tipo de cápsula não possui tensão de saída suficiente para ser diretamente ligada à tomada de pick-up dos receptores comuns; a grande maioria dos rádios necessita aproximadamente 1 volt de tensão de entrada para poder fornecer a potência máxima, enquanto que a cápsula GE fornece apenas 10 milivolts, ou seja, 0,01 volt. Portanto, necessita-se um preamplificador entre o toca-discos e o receptor, com um fator de amplificação de 100 vezes.

Existem na praça pequenos preamplificadores para este fim, utilizando apenas uma válvula, e que retiram as suas correntes de alimentação dos receptores associados.

Infelizmente, a qualidade de grande parte destes preamplificadores comerciais deixa bastante a desejar. Trata-se geralmente de um simples pentodo amplificador, não existindo reforço de graves (necessário para o pick-up magnético) e tendo nível de ronco bastante elevado. Além disso, não existe fonte de alimentação interna, sendo necessários 3 ou 4 fios para a entreligação com o +B do receptor e a tensão de filamento.

Tudo isto dificulta a adaptação dos «prés» e desperta uma certa desconfiança por parte do leigo, ao qual é oferecido um toca-discos automático com cápsula de relutância variável.

Foram estes os motivos que nos levaram ao projeto de um preamplificador de boa qualidade, com fonte de alimentação própria.

Como válvula preamplificadora escolhemos a 12AX7 (fig. 1), um duplo-tríodo de alto fator de amplificação. Os dois sistemas da válvula estão ligados em cascata, existindo um elo de realimentação entre a placa do segundo e o cátodo do primeiro. Pela inclusão, neste elo, de um condensador, em série com uma resistência, torna-se o mesmo dependente da frequência. Nas frequências bem baixas, a reatância do condensador é tão alta que a realimentação resulta nula, o que significa ser máxima a amplificação.

Quanto mais alta a frequência, menor a reatância do condensador. Conseqüentemente, a amplificação vai diminuindo, até que a reatância do condensador seja igual à resistência ligada em série. A partir deste momento, a reatância do condensador perde a sua influência decisiva, permanecendo praticamente constante o fator de realimentação nas frequências mais altas; o seu nível é determinado pelo valor da resistência.

Pelo ajuste da capacidade do condensador intercalado no elo de realimentação, pode-se ajustar, entre certos limites, a frequência a partir da qual se faz sentir o reforço dos graves. Com os valores indicados no circuito esquemático, é possível ajustar este «ponto de transição» da curva entre aproximadamente 600 e 1 500 Hz. Quanto maior a capacidade do padder, tanto maior a capacidade no circuito e tanto mais baixa a frequência do ponto de transição; conseqüentemente, menor o reforço nas frequências baixas. Por este exemplo, podemos verificar que a atuação deste condensador ajustável é justamente contrária à normal.

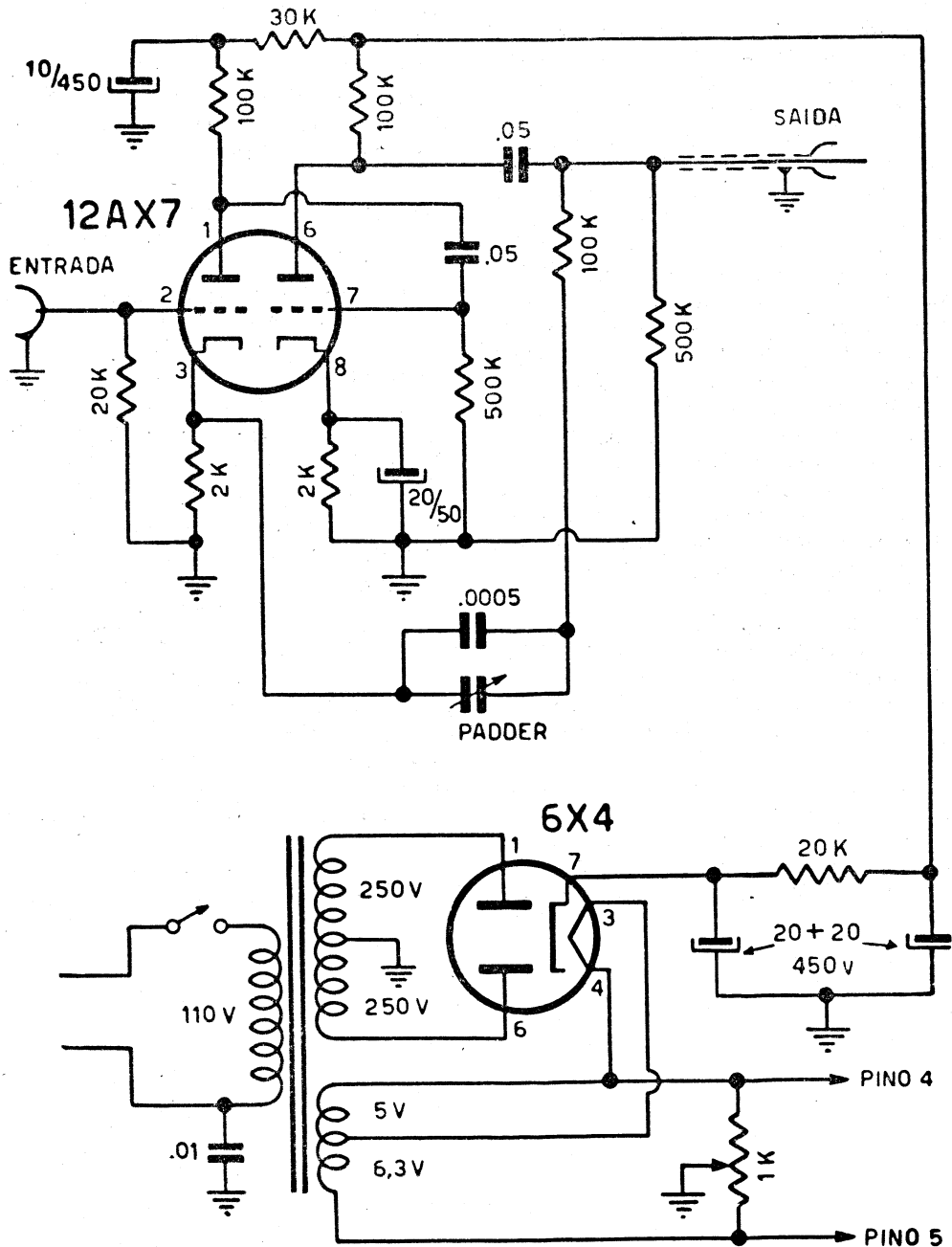


Além do elo de realimentação, o preamplificador nada tem de especial. A resistência de cátodo da primeira seção da válvula não possui condensador em paralelo, pois o mesmo poria a tensão de realimentação em curto-circuito.

A fonte de alimentação é bastante simples. É necessário usar um transformador de força, por dois motivos: é imperativa a separação

completa do circuito amplificador da rede de alimentação e, para conseguir eliminar o ronco provocado pelos filamentos, estes não devem ser alimentados em série, diretamente da rede.

O transformador de força pode ser o menor tipo encontrado na praça. A alta tensão deve ser de  $2 \times 250$  volts, 20, 40 ou 60 mA. Os demais enrolamentos são normais. A válvula 6X4 é alimentada a partir do enrolamento de



Esquema do preamplificador especial para pick-ups de relutância variável com fonte de alimentação própria.

6,3 volts; a 12AX7, porém, convém que seja alimentada com 12,6 volts. Isto porque só assim consegue-se contrabalançar o ronco ao valor mínimo, por intermédio do potenciômetro de carvão de 1 000 ohms. Esta tensão é conseguida simplesmente em se ligando os enrolamentos de 6,3 e 5 volts em série; é verdade que a tensão resultante é menor que a nominal requerida, mas isto não tem influência alguma sobre o funcionamento da válvula.

Na ligação em série dos dois enrolamentos do transformador é necessário cuidar do sentido dos mesmos. O melhor meio para isto consiste em fazer a ligação em série, de qualquer maneira, e então observar se a 12AX7 acende. Se fôr assim, tudo estará em ordem; caso contrário, troca-se simplesmente as ligações de um dos enrolamentos. As ligações ao filamento da 12AX7 são feitas aos terminais 4 e 5; o terminal 9 (tomada central do filamento) permanece sem ligação. Devido ao pouco consumo de corrente de placa, é suficiente um filtro RC no circuito +B. A construção deve ser feita a mais compacta possível, a fim de possibilitar a colocação do preamplificador abaixo do toca-discos automático, sem contudo aumentar desnecessariamente o espaço ocupado pelo mesmo. Como a peça que ocupa maior espaço é o transformador de força, convém procurar o tipo com as menores dimensões possíveis. Como chassi, pode ser usado um tipo originalmente fabricado para vibropacks, o qual tem a vantagem de ser pequeno e já possuir fundo de blindagem. O único inconveniente é a necessidade de se abrir um furo retangular grande para o transformador de força.

Todos os componentes do circuito retificador são colocados bem juntos num dos cantos do chassi, devendo a válvula amplificadora ser colocada do outro lado, bem perto do plugue de entrada. Neste caso, não é necessário

blindar o fio de ligação entre o terminal de grade da válvula e o plugue, pois, sendo o comprimento pequeno e a impedância deste circuito baixa, não haverá perigo de ronco.

A saída do preamplificador é feita através de um fio shieldado, de comprimento adequado e que levará na ponta um pino de contato. Tanto para a saída como para a entrada, convém fazer uso de um plugue do tipo «RCA», pois com estes pinos vem equipada a grande maioria dos toca-discos automáticos e, além disso, dão bom contato, proporcionando boa blindagem.

Os dois fios de filamento devem, naturalmente, ser trançados; o potenciômetro deste circuito pode ficar em qualquer parte conveniente do chassi. O eixo do mesmo é cortado com um comprimento de  $\frac{1}{2}$  cm, praticando-se uma fenda na extremidade, para possibilitar o seu ajuste posterior por meio de uma chave de fenda.

O condensador padder deve ser colocado bem próximo da válvula, para resultarem ligações curtas. Em alguns casos, será também conveniente blindar a válvula 12AX7; como dificilmente se encontrará blindagem apropriada, é necessário fazê-la em fôlha-de-flandres.

Ao colocar o preamplificador em funcionamento, regula-se em primeiro lugar o condensador padder para a melhor reprodução. Em seguida, e sem estar em funcionamento o toca-discos, ajusta-se cuidadosamente o potenciômetro para ronco mínimo.

**Atenção:** Em muitos toca-discos, quando o pick-up está na posição de repouso, há um dispositivo que o põe em curto-circuito. Por este motivo é conveniente interromper o funcionamento do toca-discos quando o pick-up está apoiado sobre o disco, interrompendo a corrente do motor. Neste posição, compensa-se então o ronco, por intermédio do potenciômetro.

# PREAMPLIFICADOR

Ao se descrever amplificadores de alta-fidelidade é comum incorporar os respectivos preamplificadores no mesmo chassi. Acontece porém que, em muitos casos, prefere-se a construção separada dos conjuntos, por já existir amplificador de potência ou por desejar-se colocar somente o preamplificador junto ao toca-discos, a fim de facilitar o manejo.

O preamplificador descrito no presente artigo possui fonte de alimentação própria e, conseqüentemente, forma uma unidade completamente independente do amplificador. A inclusão da fonte de alimentação aumenta o custo e também complica um pouco a construção, mas, por outro lado, permite um ajuste mais exato da simetria do circuito de filamento e simplifica a entreligação do conjunto todo.

Embora o circuito seja relativamente simples, usando na parte amplificadora somente duas válvulas 12AX7, o desempenho pode ser comparado ao de outros conjuntos, bem mais dispendiosos.

A primeira 12AX7 serve como preamplificadora, estando no seu circuito incluída a equalização para as diversas curvas de gravação. Exis-

te um elo de realimentação da placa do 2º triodo ao cátodo do primeiro (composto do condensador de  $.004 \mu\text{F}$  e a resistência de  $100 \text{ K}\Omega$ ), cuja freqüência de transição é de aproximadamente 500 Hz, a fim de compensar a gravação com amplitude constante dos discos. A compensação restante, tanto nas freqüências baixas, como também, e principalmente, nas altas-freqüências, é conseguida por meio de filtros aplicados ao circuito de placa do 2º triodo da primeira 12AX7.

Entre as duas válvulas está incluso o controle de tonali-

dade duplo, com comandos independentes, para graves e agudos. Este tipo de controle foi descrito originalmente por P. J. Baxandall, na revista «Wireless World». Foi escolhido este tipo de controle, por apresentar diversas vantagens sobre os tipos convencionais, vantagens essas que detalhamos a seguir:

Nos controles convencionais, para se conseguir a atenuação de uma certa freqüência ou faixa de freqüências, todo o sinal de entrada é primeiramente atenuado, até ao nível desejado de atenuação, e, depois, as freqüências que não devem

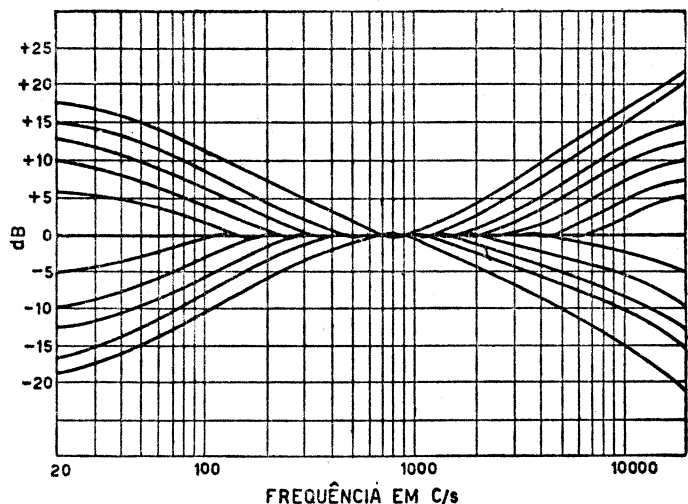


Fig. 1 — Curvas de variação de tonalidade publicadas por Baxandall e que demonstram o excelente desempenho destes controles separados para graves e agudos.

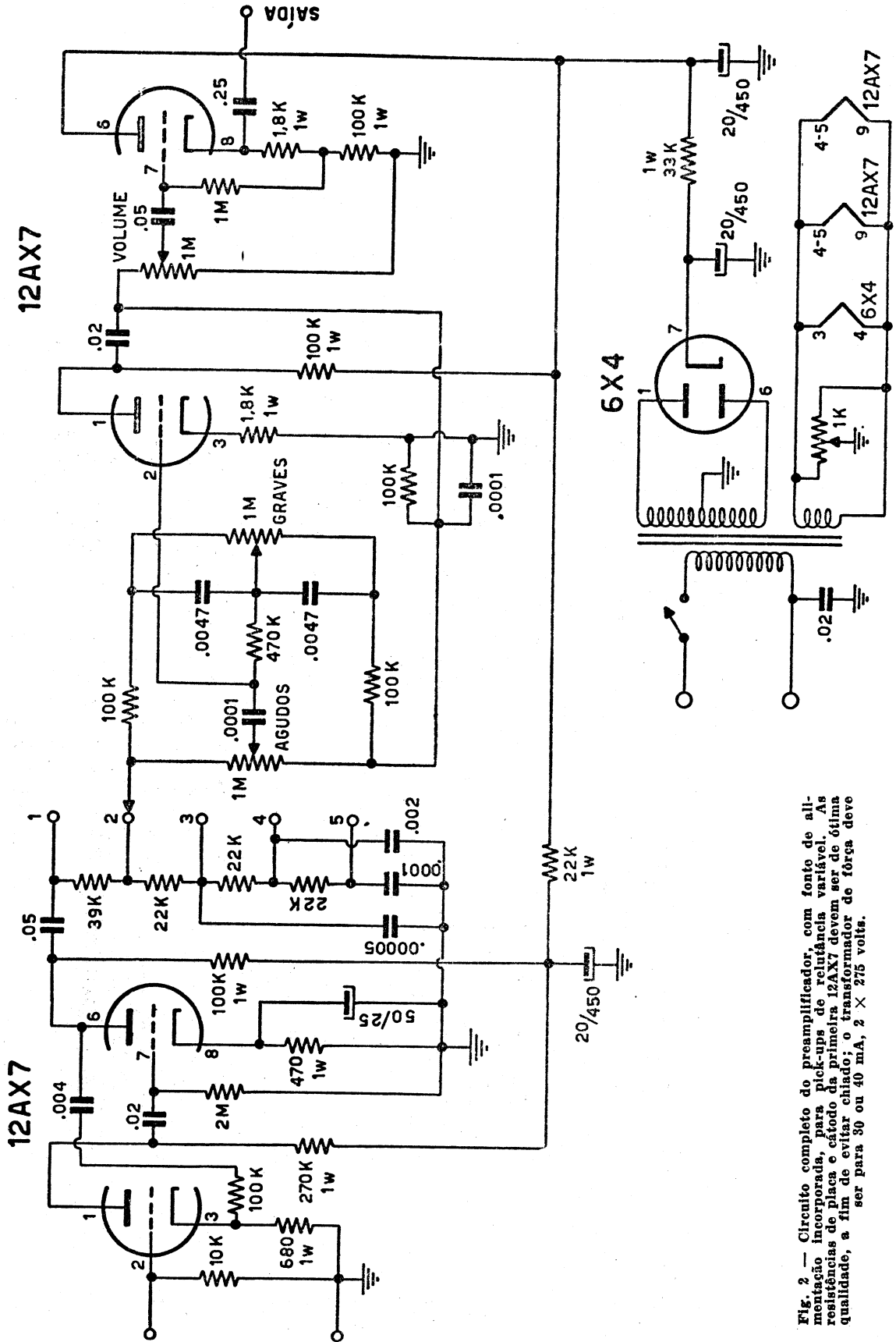


Fig. 2 — Circuito completo do preamplificador, com fonte de alimentação incorporada, para pick-ups de relutância variável. As resistências de placa e cátodo da primeira 12AX7 devem ser de ótima qualidade, a fim de evitar chiado; o transformador de força deve ser para 80 ou 40 mA, 2 X 275 volts.

sofrer atenuação, são novamente amplificadas até ao nível primitivo. Com isto, para uma resposta plana, deve ser primeiramente atenuado o sinal até ao nível de máxima atenuação do controle e depois amplificado ao nível anterior. Nessa amplificação, naturalmente é introduzida uma distorção, adicional à normal causada pelo aparelho.

O controle de Baxandall, por sua vez, trabalha por realimentação; mesmo com um aumento de, por exemplo, 10 dB nos dois limites da faixa, ainda haverá 5 dB de realimentação nestes extremos da faixa, enquanto que, no centro, haverá 15 dB de atenuação, com a resultante redução de distorção e impedância do circuito.

Por outro lado, a atenuação em dB por oitava permanecerá aproximadamente constante, sendo variada a frequência de transição para conseguir os diferentes graus de aumento ou diminuição de graves e agudos. Embora ainda existam controvérsias sobre a melhor forma das curvas de controle de tonalidade, a prática demonstrou que este tipo é muito eficiente e de ação agradável.

O funcionamento dos controles é fácil de entender. O controle de agudos, um potenciômetro de 1 megohm, está acoplado à grade através de um condensador de pequena capacidade, o qual evita que este controle influencie os sons graves. O terminal inferior do potenciômetro não está diretamente ligado ao chassi, mas sim através de uma resistência de 100 K $\Omega$ , em paralelo com um condensador de 100 pF. Neste ponto de junção é injetado o sinal de realimen-

tação que vem da placa do 1º trío do da 2ª 12AX7. Quando o cursor está encostado na parte de baixo do seu percurso, a atenuação devida à realimentação é máxima e, portanto, a reprodução de agudos é mínima. Na outra extremidade do percurso do potenciômetro, por sua vez, o alto valor desta resistência anula grande parte da realimentação negativa e, conseqüentemen-

-se-á o refôrço. Na posição central de ambos os controles, cancelam-se mutuamente as influências de amplificação e realimentação, resultando uma reprodução absolutamente plana. A figura 1 mostra as curvas medidas por Baxandall; consegue-se 17 dB de aumento ou atenuação dos graves em 30 Hz e -15 dB e +17 dB nos agudos. A frequência central (800 — 1 000 Hz)

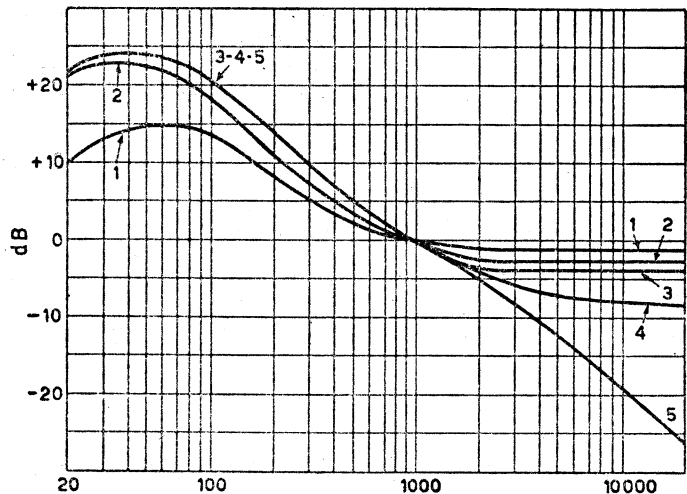


Fig. 3 — Curvas de equalização. Posição 1: Discos europeus 78 RPM; 2: Long-play FFRR; 3: Curva AES; 4: Long-play antigos; 5: Curva NAB.

te, a reprodução dos agudos é máxima.

Adicionalmente à ação da realimentação negativa, existe naturalmente a ação normal do potenciômetro como divisor de potencial.

O controle de graves está ligado em paralelo com o de agudos e, portanto, sua ação é semelhante; pela escolha dos valores dos componentes, porém, a sua ação somente se estende sobre os sons graves. Portanto, estando o cursor encostado no lado de baixo, haverá atenuação dos graves e, na posição de cima, conseguir-

permanece com nível inalterado e, conseqüentemente, não será notada praticamente alteração alguma no volume, ao serem ajustados os controles de tonalidade.

O circuito original de Baxandall requer um potenciômetro de agudos com tomada central. Como este será difícil de ser encontrado, foi alterado um pouco o circuito (inclusão da resistência de 100 K $\Omega$  em paralelo com o condensador de .0001  $\mu$ F). Com esta modificação, os controles de tonalidade perdem um pouco da sua eficiência, mas, mesmo assim, pode-se contar com, pelo

menos, 13 dB de atenuação e refôrço nas frequências antes mencionadas. Os potenciômetros devem ser de variação linear, a fim de coincidir o centro da posição do cursor, com a resposta plana; se não forem encontrados êstes potenciômetros, podem ser usados os tipos comuns logarítmicos, mas, neste caso, a posição plana estará perto de uma das extremidades do percurso total. Conseqüentemente, haverá uma ação brusca dos contrôles, para um lado.

A impedância de entrada do contrôle Baxandall deve ser baixa; o melhor seria o uso de um circuito seguidor de cátodo antes do contrôle. Na prática, porém, as exigências não são tão críticas; o uso de uma 12AX7 com realimentação negativa é suficiente, conforme mostram as curvas.

O circuito compensador para as diversas curvas de gravação está incluído antes dos contrôles de tonalidade. É uma rede de equalização relativamente simples, constando essencialmente de um filtro para atenuação dos agudos. Na figura 3 mostramos as diversas curvas resultantes; embora não sejam recíprocas exatas das curvas usadas durante a gravação dos diferentes discos, dão na prática resultados bastante satisfatórios. Quem quiser usar o preamplificador, com seus contrôles em conjunto com um sintonizador, pode usar uma chave de 6 posições nesta parte do circuito, empregando o 6º contato para a ligação do sintonizador ou pick-up de cristal.

O contrôle de volume está colocado antes da válvula de

saída. Consegue-se, com isto, uma relação constante entre ronco e sinal; com volume de reprodução baixo, automaticamente baixa também um possível ronco, não chegando a perturbar. O único inconveniente nesta ligação é que deve ser prestada atenção para não sobrecarregar os primeiros estágios do preamplificador, o que naturalmente provocaria grande distorção. Na ligação de um pick-up de relutância variável na entrada não haverá perigo, mas, ao ser usado, por exemplo, um sintonizador, é necessário baixar o nível de entrada

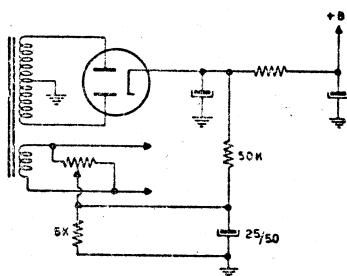


Fig. 4 — Alteração para elevar a tensão de circuito de filamento à tensão positiva, a fim de reduzir o ronco.

para 200 a 500 mV, para evitar sobrecarregar a 2ª 12AX7.

O último estágio está ligado como seguidor de cátodo, a fim de conseguir baixa impedância de saída. Neste caso, não haverá perigo de degradação das frequências elevadas, ao usar fio shieldado comprido entre o pré e o amplificador principal, e nem haverá perigo de introdução de zumbido. A única condição, por parte do amplificador principal, é que a impedância de entrada seja superior a 100 KΩ e que não necessite de tensão de excitação superior a 2 volts. Praticamente qualquer

amplificador de potência preenche êstes requisitos.

A inclusão da fonte de alimentação requer certos cuidados, a fim de não aumentar o nível de ronco. O amador não pode seguir, neste particular, o mesmo caminho que a indústria, a qual procura, com um mínimo de custo, um resultado satisfatório, fazendo para tal um grande número de modelos experimentais. Ao contrário deste procedimento, o amador deverá seguir o caminho seguro, que será a blindagem magnética completa da fonte e, especialmente, do transformador de força. Recomendamos o uso de um pequeno subchassi de alumínio, sobre o qual é colocado o transformador de força, o condensador eletrolítico duplo, a válvula retificadora e a resistência de filtro. Para êste fim, o menor transformador já serve, pois o consumo +B total não alcança 8 mA. A alta tensão deve ser de  $2 \times 270$  a  $2 \times 300$  V; tensões mais elevadas não devem ser usadas, para não encurtar a vida dos eletrolíticos. O conjunto deve ser construído no formato menor possível e encaixado numa blindagem de chapa de ferro, completamente fechada, inclusive o fundo. É necessário prover a blindagem de furos de ventilação. Êste subchassi é então parafusado a um dos cantos do chassi principal, o qual deve ser igualmente de alumínio.

A distribuição dos componentes no chassi principal não é crítica. Os contrôles de graves e agudos devem ficar bem juntos, resultando então ligações curtíssimas para êste conjunto. Para as ligações terra deve ser usada uma barra-ônibus; mesmo

assim devem ser obedecidas as indicações do desenho esquemático para estas ligações, ou seja, para cada estágio tôdas as ligações terra são feitas num ponto só da barra. Esta deve possuir ligação com o chassi num único ponto (perto do terminal de entrada). Como não é possível soldar em alumínio, convém rebitar um terminal para êste fim, perto da entrada do pick-up. Tôdas as resistências de cátodo e placa, principalmente as

da 1ª 12AX7, devem ser de 1 watt e, se possível, de grafite depositado. Melhor seriam resistências de fio, mas estas são caras e os valores especificados são dificilmente encontrados.

Se, mesmo com um ajuste do circuito de filamento não fôr possível baixar o ronco a um nível insignificante, deve ser experimentada a polarização positiva dêste circuito. Para êste fim é feito um divisor de tensão e são modificadas as ligações con-

forme indica a figura 4. Com isto, os filamentos estarão aproximadamente 30 volts positivos em relação aos cátodos; o condensador eletrolítico de 25  $\mu$ F garante uma impedância baixa entre o filamento e o chassi.

Se os fios de filamento forem instalados com cuidado e a blindagem de todo o preamplificador perfeita, não deve ser necessário recorrer à polarização positiva dos filamentos.

## CONTRÔLES DE TONALIDADE

(Cont. da pág. 61)

dicadas na figura 7; conseqüentemente se aproximadamente um refôrço ou atenuação de 20 dB, nas freqüências de 20 e 20 000 Hz.

Como último circuito, apresentamos um que faz uso de realimentação negativa para controlar a tonalidade (fig. 8). No estágio precedente, deve ser usado um tríodo de baixo ganho, a fim de se ter uma impedância de entrada baixa.

Entre a entrada do filtro e sua saída (portanto, entre as placas das duas válvulas em questão) existe uma rêde de realimentação que se torna variável com a freqüência, devido à inclusão de condensadores. Os potenciômetros permitem variar o grau de realimentação, tan-

to para as freqüências altas como baixas. Estando os cursores dos potenciômetros do lado esquerdo, a realimentação é pouca e, portanto, haverá refôrço, tanto dos graves como dos agudos. Estando os cursores do outro lado, a realimentação é máxima e, portanto, haverá atenuação nos extremos da faixa. Com ambos os cursores no centro, a resposta é praticamente linear. Devem ser usados, neste caso, potenciômetros lineares (nos quais a variação da resistência é proporcional à rotação do eixo), pois, com os tipos logarítmicos comuns, a alteração da tonalidade se dará bruscamente para um dos lados e muito lentamente para o outro.

As curvas resultantes do circuito estão ilustradas na figura 9, para as diversas posições dos contrôles. A amplificação do conjunto es-

tá em redor de 1 (ou seja, o sinal de entrada é aproximadamente igual ao sinal de saída).

Querendo-se evitar o uso de potenciômetro com tomada central, pode-se desprezar a ligação desta à terra e incluir, em compensação, uma resistência de 1,5 M entre cada extremidade do potenciômetro de 500 K e a terra. Com isto, a máxima atenuação e refôrço dos agudos baixa para mais ou menos 10 dB; as curvas para os graves, porém, não são alteradas.

Com isto, terminamos a apresentação dos diversos sistemas usados para o controle independente dos graves e agudos; esperamos que, baseado nestas explicações, o montador esteja em condições de escolher, dos circuitos apresentados, o de maior conveniência para o seu caso específico.

# PREAMPLIFICADOR

## TRANSISTORIZADO

Para pick-ups de relutância variável

A cápsula de relutância variável é encontrada atualmente em grande parte dos toca-discos automáticos, pelas excelentes qualidades de reprodução que proporciona, aliadas ao custo bastante módico.

A única desvantagem desta cápsula, em relação às cápsulas de cristal, é a pequena tensão de saída, que pode ser considerada como sendo de 10 mV, ou seja, a centésima parte da tensão normalmente fornecida por uma cápsula de cristal. Como a grande maioria dos amplificadores de baixa-freqüência dos receptores comuns necessita de, pelo menos, 0,5 V para plena excitação, torna-se necessário intercalar entre o pick-up e o receptor um preamplificador com fator de amplificação de tensão de, pelo menos, 50 vezes.

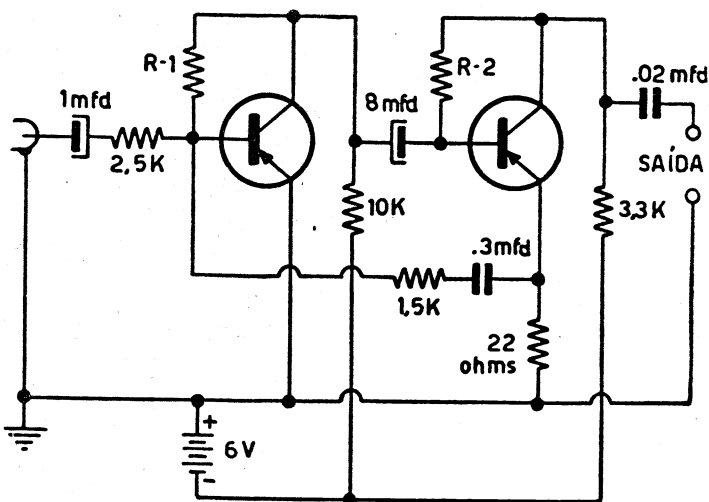
Circuitos com válvulas para este fim existem diversos, mas a alimentação das válvulas a partir da fonte de alimentação do receptor sempre é desagradável. Existem preamplificadores com fonte de alimentação própria, mas o seu custo é bastante elevado.

O uso de transistores no preamplificador evita as dificuldades antes mencionadas, pois é possível usar pilhas para alimentação do conjunto; ao mesmo tempo, não há mais dificuldade alguma com o ronco que tão facilmente aparece nos amplificadores com válvulas e que (devido ao acréscimo de uma unidade separada) geralmente é difícil de combater.

Outra vantagem do transistor, neste caso, é a sua baixa impedância, pois torna todo o conjunto insensível a campos eletrostáticos alternados. Como também a cápsula é de baixa impedância, não há dificuldades no acoplamento, resultando um circuito simples e de funcionamento seguro.

Devido à alimentação separada do preamplificador, é necessário ligá-lo, sempre que se deseja usar o pick-up. Isto é bastante desagradável para o leigo, existindo principalmente o perigo de ser esquecido o desligar do con-

A chave necessária para tal fim já existe na grande maioria dos toca-discos automáticos: trata-se da chave que põe em curto-circuito o pick-up durante o ciclo da troca, a fim de evitar a captação de ruídos nesse período. Esta chave tem de ser modificada um pouco, para abrir os contatos durante o ciclo da troca (e, com isto, durante o tempo de repouso) e fechá-los enquanto o pick-up estiver encostado nos discos. Estas alterações são fáceis de fazer; basta adicionar uma lâmina, na qual encosta o



Circuito esquemático do preamplificador com 2 transistores, o qual simplifica muito a adaptação de automáticos com cápsula de relutância variável e receptores comuns.

junto, pois a inclusão de uma lâmpada piloto é proibitiva pelo consumo relativamente alto das lâmpadas. Há porém, para isto, uma solução muito elegante: o próprio toca-discos pode incumbir-se de desligar e ligar o preamplificador, sempre que necessário.

contato móvel já existente, durante o funcionamento do toca-discos. Desta maneira, o pré não exige atenção alguma por parte do leigo, a não ser a troca das pilhas num período de meio em meio ano. O consumo do amplificador é tão insignificante, que as pilhas prática-



mente só se gastam pelo tempo de armazenamento.

O amplificador, cujo circuito consta na figura 1, faz uso de dois transístores PNP, a fim de obter amplificação suficiente. Pode-se usar para ambos os transístores o tipo CK-722, o mais barato e popular dos transístores atualmente em existência no nosso mercado.

O primeiro estágio serve apenas como amplificador, em circuito com emissor à terra. A impedância de entrada do transístor, neste circuito, é de aproximadamente 10 000 ohms, ou seja, o valor adequado para a resistência de carga da cápsula GE. O condensador de 1 mfd, que evita que a resistência da cápsula ponha a polarização da base em curto-circuito, não é crítico em seu valor. Existem condensadores eletrolíticos miniaturas com esta capacidade; quem não achar o valor indicado, pode usar um condensador de papel de .5 mfd ou mesmo um eletrolítico de 6 ou 8 mfd.

A resistência R-1 deve ser determinada experimentalmente. O valor desta resistência fica entre 100 e 500 K e serve para proporcionar a polarização exata para a base. O valor mais adequado convém que seja ajustado da seguinte maneira: no lugar de R-1, é ligada uma resistência em série com um potenciômetro de 500 K (usando apenas um dos terminais laterais e o do centro). Entre coletor e emissor é ligado um voltímetro a válvula, ou então um analisador com 20 000 ohms por volt, e o potenciômetro é ajustado até que o instrumento marque entre 2,5 e 3,5 V. Entre estes limites, o valor exato deve ser determinado por experiência, com o amplifi-

cador em funcionamento normal; determinado o valor ótimo, pode ser substituído o conjunto regulável por uma resistência de valor adequado.

Sobre a resistência de 10 K, no circuito do coletor do 1º transístor, aparece a corrente amplificada. As variações de corrente são transformadas em variações de tensão, pela resistência; essas variações são passadas, através do condensador de 8 mfd, à base do 2º transístor.

Como no 1º transístor, a polarização da base é conseguida através de uma resistência, ligada entre o coletor e a base. O ajuste desta resistência obedece às mesmas regras, mencionadas para o primeiro caso.

A resistência de carga do segundo transístor é de somente 3,3 K e, como o circuito que se segue (o amplificador do radioreceptor) sempre possui impedância de entrada alta, pode-se usar um condensador de capacidade reduzida para o acoplamento (.02 mfd).

No circuito do emissor está intercalada uma resistência de baixo valor (22 ohms). Esta resistência provoca uma queda de tensão, proporcional à corrente do emissor. Através de uma rede equalizadora, composta da resistência de 1,5 K e do condensador de .3 mfd, determinada parte desta corrente do emissor é transferida à base do primeiro transístor. Como entre esta e o coletor do mesmo transístor há um defasamento de 180º, a tensão reconduzida à entrada também está fora de fase com relação à tensão de entrada; tratar-se-á então de uma realimentação negativa de corrente. Pela inclusão do condensador, esta

realimentação torna-se dependente da frequência, sendo mais forte nas frequências altas, por diminuir a reatância capacitiva do condensador com o aumento da frequência. São assim destacadas, na amplificação, as frequências baixas e os valores dos componentes foram escolhidos de tal maneira que é compensada a perda de amplitude, provocada pelo pick-up de relutância variável. A fim de obter graves com maior destaque, pode ser trocada a resistência de 22 ohms, por outra de 50 ohms, a qual, aliás, é mais fácil de ser achada na praça.

A pilha deve ser de 6 volts, embora se consiga também funcionamento satisfatório com 4,5 V. O pólo positivo deve estar ligado ao chassi; uma inversão da polaridade da pilha pode resultar na destruição de ambos os transístores. Três ou quatro pilhas de tamanho médio ou pequeno fornecem tensão suficiente para vários meses de uso. A chave para ligar e desligar todo o conjunto deve ser inclusa na ligação do pólo negativo da pilha. Caso o automático não possua a chave que coloca o pick-up em curto durante o ciclo de troca, é necessário acrescentar uma chave de alavanca separada. A fim de ter um controle se o preamplificador está ligado ou não, convém usar uma chave dupla e usar uma das seções da chave para ligar uma lâmpada piloto de 110 V.

Outra possibilidade é o uso de um relê. Este deve ter enrolamento para 110 V, c.a., sendo ligado em paralelo com o motor. Quando este recebe tensão, o relê deve fechar os contatos e ligar assim o preamplificador.

# CONTRÔLES DE TONALIDADE

Antes da era da Alta-Fidelidade, pouca atenção era dispensada aos controles de tonalidade dos receptores e amplificadores. Se existiam controles de tonalidade, então eram usados condensadores, em série com um potenciômetro, entre a placa ou grade da válvula de saída e a massa (fig. 1). Com este controle consegue-

depois de qualquer alteração na tonalidade. Dos circuitos da figura 1, o da esquerda é o mais adequado, pois, reduz um pouco a distorção por intermodulação gerada na válvula de saída. Possui, como desvantagem, a alta tensão existente entre as armaduras do condensador (igual à tensão contínua, mais os picos de tensão al-

terá efeito quase nulo. Quando, porém, o cursor estiver do outro lado, parte da tensão alternada de placa é transferida à grade, através do condensador. Devido à baixa capacidade, são transferidas principalmente as freqüências elevadas e, como a tensão de grade está defasada, com relação à tensão de placa, em 180°, resultará uma realimentação negativa nestas freqüências, reduzindo ao mesmo tempo a distorção.

Este tipo de controle pode ser adaptado muito bem aos receptores já existentes. É necessário, porém, retirar o pequeno condensador que costuma estar ligado entre os terminais do primário do transformador de saída, de-

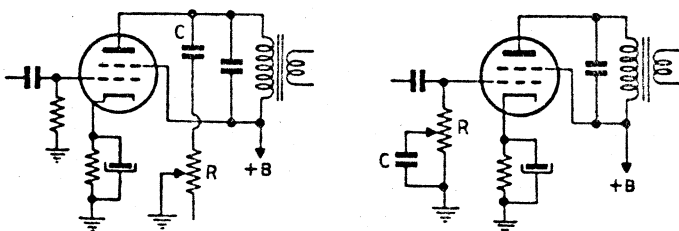


Fig. 1 — Controle de tonalidade simples, que atenua os agudos, sobressaindo então os graves.

-se uma atenuação dos agudos, sobressaindo então os graves. Para ter efeito pronunciado, é necessário escolher a freqüência de corte bastante baixa e, conseqüentemente, este tipo de controle sempre possuía igualmente influência sobre o volume de reprodução. Se este efeito fôr pronunciado (o que muitas vezes acontecia), torna-se o mesmo desagradável, pois obriga o ouvinte a reajustar o volume,

ternada) que provoca, facilmente, a falha deste componente.

Melhor resultado dá o controle da figura 2, que faz uso da realimentação negativa para conseguir uma atenuação dos agudos. Estando o cursor encostado na extremidade inferior do potenciômetro, o condensador estará ligado entre a placa e o chassi, porém, devido à sua baixa capacitância,

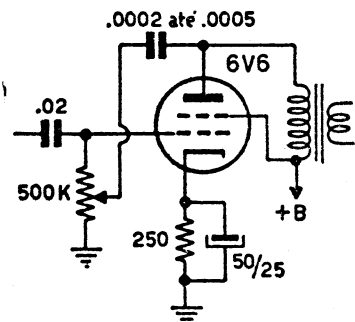


Fig. 2 — Por intermédio de realimentação negativa, podem ser construídos atenuadores eficientes de agudos.

viendo então a reprodução apresentar uma distorção reduzida. O valor ótimo para o condensador entre placa e grade deve ser determinado experimentalmente; para válvulas com 5 000 ohms de impedância de carga e 250 volts no +B, o valor resulta geralmente em 400 pF.

Para um moderno amplificador não é suficiente um destes controles simples, pois, na grande maioria dos casos, é necessário regular os sons graves e agudos separadamente, pois não é a

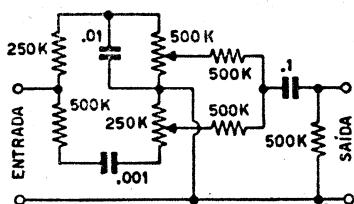


Fig. 3 — Controle para graves e agudos. O sinal de entrada passa por dois circuitos de filtro, ligados em paralelo, sendo reunidos posteriormente os dois ramos.

mesma coisa, se forem atenuados, sobressaindo os graves, ou se forem aumentados os graves, permanecendo os agudos no mesmo nível.

Um circuito simples, com controles separados para graves e agudos, é mostrado na figura 3. Este circuito pode ser intercalado entre duas válvulas amplificadoras, proporcionando dois caminhos diferentes para as frequências altas e baixas. O potenciômetro de 500 K regula os graves e o de 250 K, os agudos. As resistências de 500 K, em série com os cursores dos potenciômetros, separam ambos os canais entre si, a fim de não haver influência de um sobre o outro.

O circuito da figura 3 funciona muito bem, mas possui a desvantagem de ter influência sobre o volume

de reprodução, fechando-se ambos os controles de tonalidade, o volume chegará a baixar para zero.

Um circuito de ação mais energética está ilustrado na figura 4. Trata-se de um circuito conhecido como «controle em parafase». O ganho do circuito, com ambos os controles na metade do seu percurso, é aproximadamente igual a 1 e a resposta é uniforme de 40 até 15 000 Hz. O primeiro triodo possui carga distribuída entre placa e cátodo (os dois potenciômetros de 1 K) e a estas duas resistências de carga estão ligados os dois circuitos de filtro, que se reúnem, depois, na grade do segundo triodo. O filtro superior é um passa-altas com frequência-limite de 1 000 Hz; o inferior possui a mesma frequência, mas, pela

da tensão contínua existente sobre a resistência de cátodo.

O segundo triodo trabalha como amplificador comum. Consegue-se, com este circuito, aumento e atenuação dos graves, respectivamente de +6 dB e -20 dB em 50 Hz e +6 dB e -22 dB em 15 000 Hz, para os agudos.

Outro circuito de controle de tonalidade, que é adequado para ser intercalado em amplificadores já existentes, é o da figura 5. O circuito do primeiro triodo da 12AX7 é convencional, servindo para a amplificação uniforme de todas as frequências. No circuito de placa deste triodo está incluso um circuito atenuador.

Os principais componentes desse atenuador são as resistências de 250 K e 50 K,

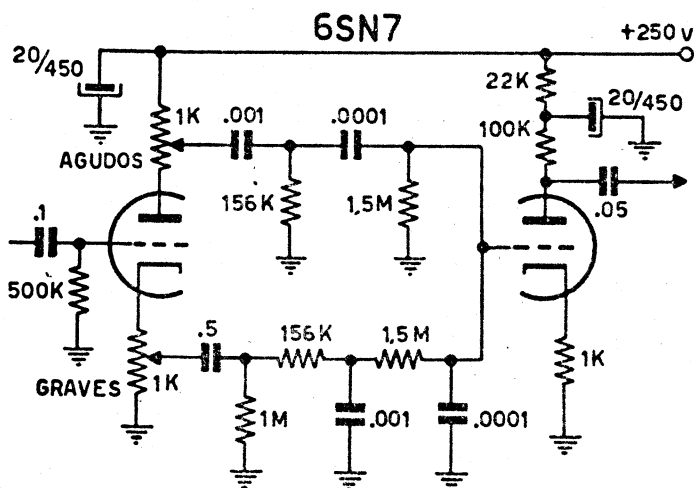


Fig. 4 — Controle de tonalidade eficiente, usando filtros de 2 seções em cada canal. A perda de sinal, introduzida pelos filtros, é compensada pelos dois tríodos.

disposição dos componentes, resulta um filtro passa-baixos. O condensador adicional, no filtro inferior, com valor de .5 mfd, assim como a resistência de 1 megohm, servem somente para isolar a grade do segundo triodo

ligadas em série. A junção das duas resistências está ligada à tomada central do potenciômetro. Para conseguir um aumento dos agudos, em relação às demais frequências, a extremidade à direita do potenciômetro re-

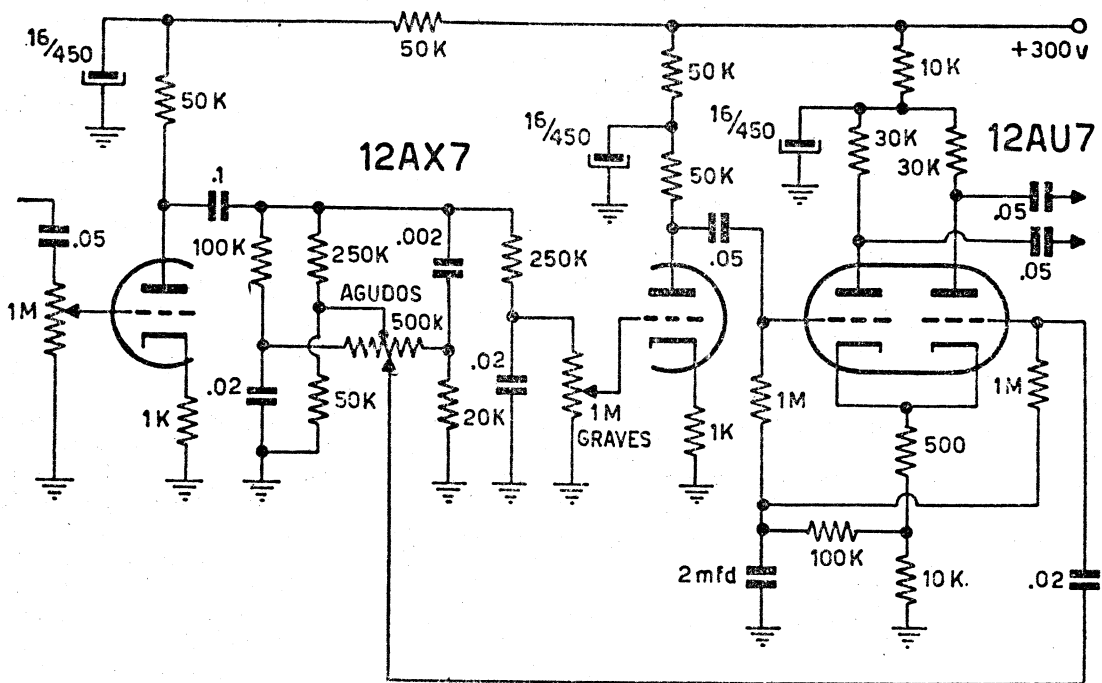


Fig. 5 — Este circuito permite alterar separadamente os graves e agudos, sendo que estes últimos podem ser atenuados ou reforçados, enquanto que os graves só podem ser reforçados.

cebe agudos adicionais, através do condensador de .002 mfd. Na outra extremidade do potenciômetro existe um condensador de .02 mfd, à massa; estando o cursor junto a esta ponta, haverá, portanto, uma atenuação dos agudos. Os graves, médios e agudos, são introduzidos diretamente numa das grades da 12AU7, havendo nesta um nível constante de graves e médios e um nível ajustável de agudos.

O segundo triodo da 12AX7, serve somente para a amplificação dos graves. As frequências médias e altas não atingem a grade deste triodo, pois são desviados à terra, por intermédio do condensador de .02 mfd, ligado em paralelo com o controle de 1 megohm. Trata-se, portanto, neste circuito, de uma amplificação real dos graves e não, como nos circuitos comuns, de uma atenuação de todo

o sinal, que é gradativamente cancelada pelo controle de graves.

As frequências baixas, amplificadas em maior ou menor grau, conforme a posição do potenciômetro de 1 megohm, são introduzidas na outra grade da 12AU7. Os dois triodos desta última válvula possuem uma única resistência para ambos os cá-

todos; as placas sempre possuem amplitudes de sinal aproximadamente iguais e, ao mesmo tempo, defasadas em 180°. É indiferente em qual das grades é introduzido o sinal; nas duas placas, sempre aparecerá a soma dos dois sinais. Das duas placas, portanto, podem ser alimentadas as duas grades de um circuito push-pull de saída, sem necessidade de

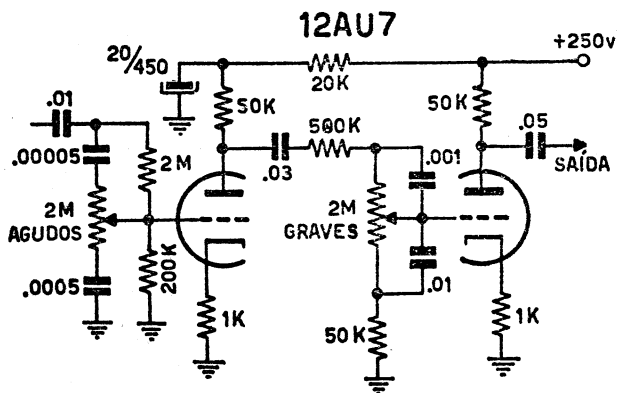


Fig. 6 — Controle de tonalidade, que permite atenuação e reforço independente dos graves e agudos. As curvas de controle são ilustradas na fig. 7.

um inversor de fase separado.

Enquanto que, com o circuito da figura 5, não era possível uma atenuação dos

A explicação do funcionamento do circuito é simples: o divisor de tensão, na entrada, composto das resistências de 2 M e 200 K, atenua todo o sinal. O po-

.0005 mfd entre a grade e a terra (com o cursor na parte de baixo).

O sinal é amplificado pelo primeiro triodo e aplicado à grade do segundo, através de outro filtro. Estando o cursor do potenciômetro na posição superior, o condensador de .001 mfd está em curto-circuito, enquanto que o de .01 mfd está ligado entre a grade e o chassi (através da resistência de 50 K). Nesta posição, os graves serão destacados.

Estando o cursor na outra posição, o condensador de .01 mfd estará em curto e, portanto, não terá efeito algum; em compensação, o condensador de acoplamento à grade passa a ser de somente .001 mfd, resultando assim uma atenuação dos graves.

As curvas resultantes deste tipo de controle estão in-

(Cont. na pág. 55)

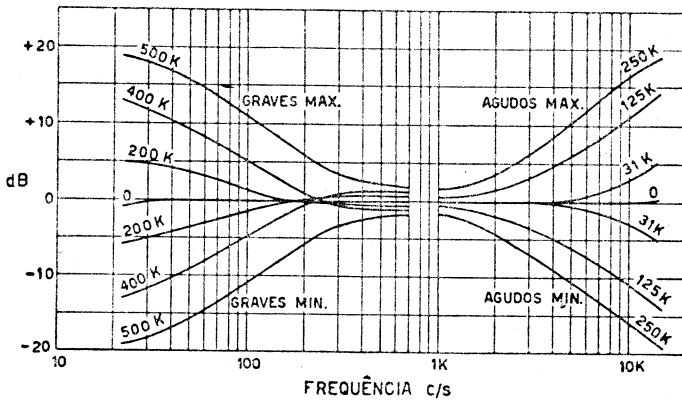


Fig. 7 — Curvas de respostas conseguidas com os controles do circuito da figura 6.

graves, o circuito da figura 6 tanto permite o reforço, como a atenuação dos graves e agudos. Devido à sua flexibilidade e ação pronunciada, é largamente usado em amplificadores, tanto do tipo comum, como de alta-fidelidade. Devido à separação dos dois controles por intermédio de um triodo amplificador, a interação entre os dois controles é praticamente nula. Com ambos os controles na posição central, a resposta é praticamente linear de 30 a 15 000 Hz, sendo o ganho pouco maior que 1.

tenciômetro associado permite adicionar frequências altas ao sinal atenuado (com o cursor na parte superior) ou, então, atenua os agudos adicionalmente, pela inclusão do condensador de

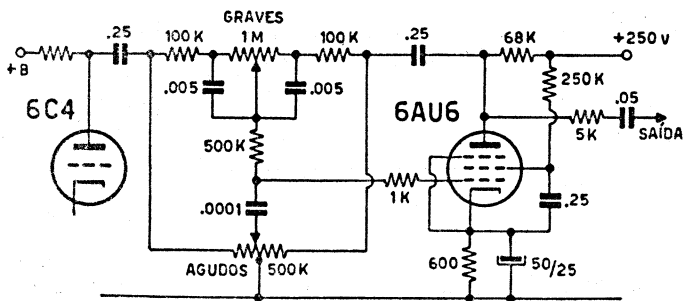


Fig. 8 — Circuito para o controle de graves e agudos, fazendo uso de realimentação.

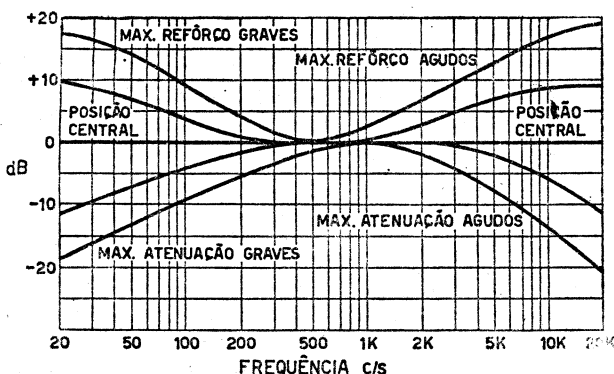


Fig. 9 — Nesta figura são mostradas as curvas de resposta resultantes.

# CIRCUITO AMPLIFICADOR PARA CONTRÔLE DE TONA- LIDADE

O contrôle de tonalidade comum, composto de um potenciômetro e um condensador em série, ligados entre grade e cátodo ou entre placa e cátodo de uma válvula amplificadora de baixa-freqüência, foi usado por muitos anos, com gran-

da atenuação em relação à freqüência. Portanto, para conseguir atenuação suficiente nas freqüências altas, era necessário iniciar a atenuação em freqüências bastante baixas. A figura 1 ilustra este fenômeno. Se a fôr a curva de resposta nor-

mal deste ponto determinam principalmente o volume de reprodução, este tipo de contrôle tinha uma pronunciada influência sobre o volume, ao ser ajustada a tonalidade.

O contrôle ideal de tonalidade não deveria ter influência alguma sobre as freqüências centrais (como são denominadas as freqüências em redor dos 800 Hz) e somente alterar a resposta nos extremos da faixa, conforme indica a figura 2. Ao mesmo tempo, uma alteração da curva, na parte dos graves, não deveria ter influência alguma sobre a curva junto aos agudos e vice-versa.

Com um filtro, composto de resistências e condensadores, é difícil preencher as condições acima, principalmente a independência total de ajuste dos graves e agudos. Adicionalmente, a introdução de tal filtro no circuito provoca uma atenuação do sinal todo, sendo, portanto, necessário incluir mais uma válvula no circuito, a fim de recuperar o nível antigo.

Quando o contrôle deve ser incluído num amplificador, a fim de melhorar a

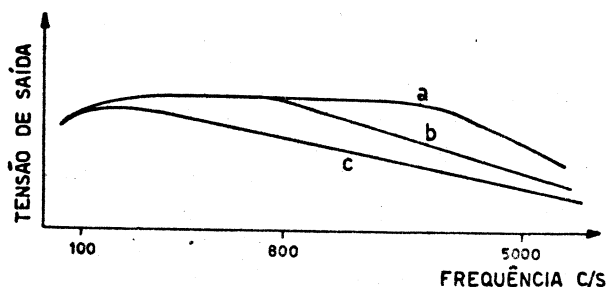


Fig. 1 — Curvas de resposta do contrôle de tonalidade convencional: a — curva de resposta normal; b — corte médio dos agudos; c — corte pronunciado dos agudos.

de satisfação para a maioria dos ouvintes comuns. No momento, porém, em que surgiu a alta-fidelidade, o público notou rapidamente as deficiências deste tipo de contrôle.

Os contrôles antigos somente permitem um destaque dos graves, por atenuarem as freqüências altas. O principal defeito deste tipo de contrôle era o lento aumento

mal (idealizada) do amplificador, então, para conseguir algum efeito pronunciado em redor dos 2 000 a 5 000 Hz, era necessário iniciar a atenuação em redor dos 1 000 Hz e, para obter maior atenuação ainda, é necessário baixar esta freqüência para os 200 ou 300 Hz. Com isto, a região dos 500-800 Hz já sofre também uma atenuação e, como as freqüências em re-

qualidade sonora do mesmo, torna-se interessante construir o controle num pequeno chassi separado, a fim de não ser necessário fazer modificações profundas no chassi do amplificador. Neste caso, pode-se incluir até maior número de válvulas, pois, não há a dificuldade com a falta de espaço e

circuitos de filtro. No canal dos graves existe um filtro passa-baixos, composto de duas seções. Este filtro rejeita tôdas as frequências acima dos 200 Hz e o controle de volume associado, portanto, somente atua sobre o volume de reprodução das frequências até 200 Hz.

ções e que rejeita tôdas as frequências até aproximadamente 1 000 Hz. O correspondente controle de volume, portanto, somente atua sobre a reprodução dos agudos.

A mistura dos 3 canais é feita nos tríodos V-2, V-3 e V-4, por estarem as placas destas válvulas alimentadas através de uma resistência de placa conjunta. Devido à alta corrente de placa, resultante da ligação em paralelo das 3 placas, não se pode usar uma resistência de carga muito alta e isto nem é necessário, pois a amplificação requerida não é grande.

Como válvulas é aconselhável usar duas 12AY7, um duplo-tríodo de médio fator de amplificação, construído especialmente para amplificação de RF, mas que trabalha perfeitamente bem no circuito.

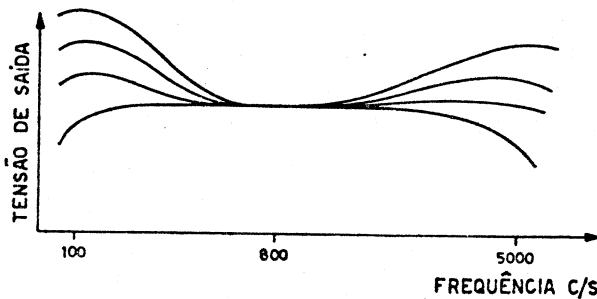


Fig. 2 — Curvas de resposta ideais para o controle independente dos graves e agudos.

pode-se escolher assim um circuito que tenha melhores propriedades elétricas que um simples controle R-C.

O controle de tonalidade, cujo circuito está ilustrado na figura 3, faz uso de duas válvulas adicionais e trabalha pelo seguinte processo: o sinal de áudio de entrada é dividido em 3 canais individuais; o primeiro canal não possui filtros e, portanto, amplifica todo o sinal, sem discriminação alguma. O fator de amplificação deste canal é mantido baixo, pois não estamos interessados em maior amplificação de volume. Como existe neste canal uma válvula amplificadora (V-2) é usado um divisor de tensão (R-1 e R-2) para atenuar o sinal todo. Na placa de V-2 a amplitude do sinal, portanto, é apenas ligeiramente maior que o sinal de entrada, na grade de V-1.

Esta última válvula amplifica o sinal todo e seu sinal de saída é introduzido nos

O terceiro canal possui um filtro passa-agudos, também composto de duas se-

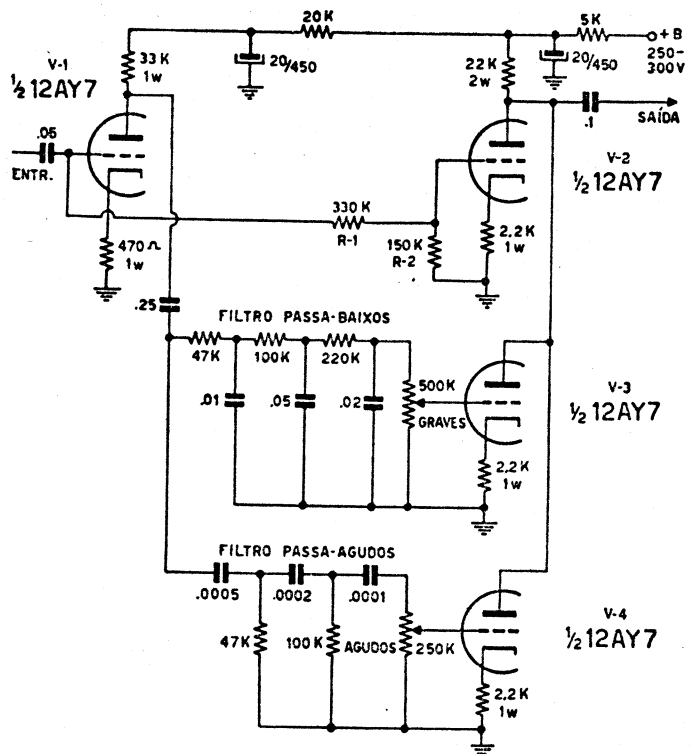


Fig. 3 — Circuito esquemático do amplificador controlador de tonalidade, com comandos independentes para graves e agudos.

Poderia ainda surgir uma dúvida a respeito do funcionamento deste amplificador, devido ao defasamento dos sinais dos diferentes canais, por estar incluso em 2 canais um estágio amplificador a mais que no terceiro. Teoricamente, poderia acontecer que o sinal do canal geral cancelasse o sinal proveniente dos dois outros canais, pois, o defasamento introduzido por um estágio amplificador é de 180 graus. Isto, porém, não acontece na prática, pois, nos filtros, há um defasamento adicional,

são nos graves e agudos (a curva superior) é de aproximadamente 22 dB em 30 Hz e 10 000 Hz, o que corresponde, na escala linear, a um ganho de 15 vezes, aproximadamente. Para posições intermediárias dos controles, estão desenhadas mais 3 curvas, que demonstram a suavidade da ação.

A construção do amplificador pode ser feita sobre um dos pequenos chassis que são oferecidos para a construção de preamplificadores. Usando como eletrolítico o tipo de alumínio, que

fios shieldados, cobertos com espaguete. Para as demais entreligações, podem ser usados fios comuns.

O controle deve ser ligado no circuito do amplificador, junto ao controle de volume, ou seja, num ponto em que o nível de sinal ainda é baixo. Geralmente, o lugar mais conveniente é entre o terminal do cursor do controle de volume e a grade da válvula seguinte. Neste caso, o fio que está ligado ao terminal central do controle de volume é dessoldado e a entrada do controle ligada ao terminal central, livre. A saída do controle é então ligado o fio antes dessoldado.

O consumo do controle não ultrapassa 0,6 A com 6,3 V e 5 mA, com 250 V; portanto, não há perigo de sobrecarga do amplificador.

O funcionamento deste tipo de controle é surpreendente, mesmo em relação aos controles de graves e agudos comuns; por outro lado, não consegue também fazer milagres e transformar um amplificador mediocre em um tipo de alta-fidelidade.

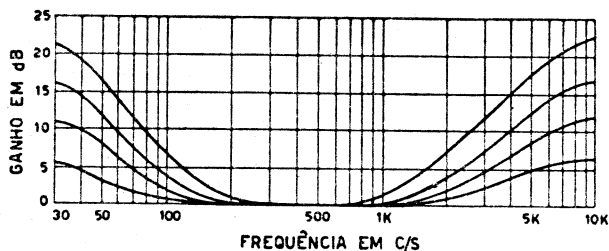


Fig. 4 — Curvas de resposta obtidas com o circuito da figura 3.

que compensa o outro defasamento.

As curvas de controle de tonalidade estão ilustradas na figura 4. O máximo de aumento do ganho de ten-

fica então junto às válvulas na parte superior do chassi, haverá espaço suficiente para as restantes peças pequenas abaixo do mesmo. Para a entrada e saída são usados



# **S A Í D A**

- **FILTROS DIVISORES DE FREQUÊNCIA**
- **OS TRANSFORMADORES DE SAÍDA**
- **CÁLCULO DOS TRANSFORMADORES DE SAÍDA**
- **O FATOR DE AMORTECIMENTO VARIÁVEL**
- **AMORTECIMENTO VARIÁVEL**
- **CIRCUITO DE SAÍDA EM PONTE**
- **FILTROS DIVISORES DE FREQUÊNCIA**



LEIA E ASSINE  
REVISTA MONITOR DE

# RÁDIO E TELEVISÃO

- A REVISTA ELETRÔNICA DE MAIOR CIRCULAÇÃO NO BRASIL.
- TIRAGEM SUPERIOR A 20.000 EXEMPLARES.
- ARTIGOS SELECIONADOS, INTERESSANDO DESDE AO TÉCNICO AMADOR ATÉ AO ENGENHEIRO ELETRÔNICO.
- O MAIOR VEÍCULO DE PUBLICIDADE DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO DE PRODUTOS ELETRÔNICOS DO PAÍS.
- INFORMANDO AO LEITOR ONDE ENCONTRAR O MELHOR COMPONENTE PELO MELHOR PREÇO.

19 ANOS DIVULGANDO A TÉCNICA A SERVIÇO DA ELETRÔNICA.

EDITADA PELO INSTITUTO RÁDIO TÉCNICO MONITOR — O MAIOR ESTABELECIMENTO DE ENSINO POR CORRESPONDÊNCIA DA AMÉRICA LATINA

REVISTA MONITOR  
DE  
RÁDIO E TELEVISÃO  
R. DOS TIMBIRAS, 263 - C. POSTAL, 5009  
FONES: 32-3141 e 32-3142 (R. INTERNA)  
SÃO PAULO

## PREÇOS DA ASSINATURA

12 NÚMEROS - SIMPLES	.....	NCr\$ 9,00
12 " - REGISTRADA	.....	NCr\$ 10,50
12 " - AÉREA	.....	NCr\$ 15,00

UTILIZE ESTE CUPON PARA EFETUAR A SUA ASSINATURA

Queira anotar uma assinatura de doze números da "REVISTA MONITOR DE RÁDIO E TELEVISÃO" a partir do mês de

..... de 19.....; em pagamento da mesma estou

incluindo um  $\frac{\text{Vale Postal}}{\text{Cheque}}$  na importância de NCr\$ .....

Nome: .....

Rua: .....

Cidade: .....

Estado: .....

# FILTROS DIVISORES DE FREQUÊNCIA

## Iª Parte

É extremamente difícil a reprodução, com um único alto-falante, de todo o espectro audível, que abrange frequências de 30 a 15 000 Hz. Por esse motivo, são em geral usados diversos alto-falantes para a reprodução parcelada da faixa audível.

tos, no caso mais simples, de uma indutância e um condensador.

A frequência de transição mais usual, neste caso, é de 800 Hz. Com isto, não queremos dizer que a transferência de energia seja feita

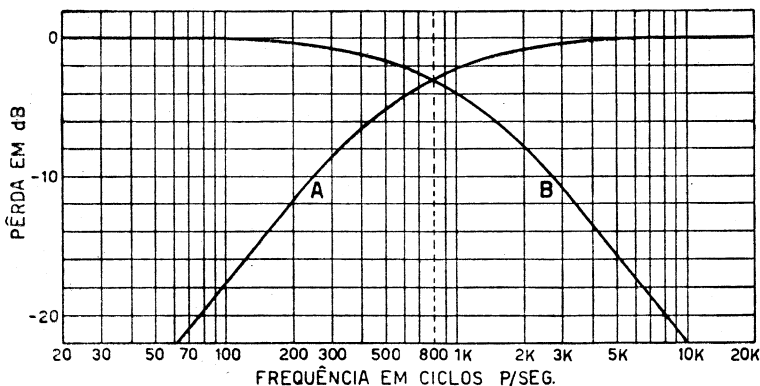


Fig. 1 — Curva de resposta para um divisor de frequência. Em "A", a energia transferida ao alto-falante dos agudos, e, em "B", a energia entregue ao alto-falante em graves.

O processo mais usual consiste no uso de um alto-falante de grande diâmetro e baixa-frequência de ressonância do cone, para a reprodução das frequências de 30 até aproximadamente 800 Hz, enquanto que um ou mais alto-falantes pequenos reproduzem as frequências de 800 a 12 000 ou 16 000 Hz. Nesse caso, é imperativo evitar que os alto-falantes pequenos recebam as frequências baixas, pois seriam sobrecarregados pela grande amplitude das mesmas. Por outro lado, também não é recomendável que o alto-falante grande receba as frequências altas, pois pode surgir facilmente o fenômeno da intermodulação, resultando um som áspero e desagradável.

A separação da potência fornecida a cada alto-falante, em relação à frequência, é feita por intermédio de filtros separadores, compos-

rigorosamente nessa frequência, ou seja, que abaixo dos 800 Hz *tôda* a energia vá para o alto-falante de grande diâmetro e acima dessa frequência *tôda* a energia vá para os alto-falantes menores. Na realidade, cada um dos alto-falantes recebe a metade da potência na frequência de transição; nas frequências mais baixas, mais e mais energia passa ao alto-falante grande e, acima dessa mesma frequência, gradualmente o alto-falante menor recebe mais potência.

Aliás, é extremamente difícil e, na prática até impossível, a construção de um filtro com separação tão definida; por outro lado, nem é aconselhável pois a repentina passagem da reprodução de um alto-falante para o outro, não passaria despercebida pelo ouvinte.

Na figura 1 mostramos uma curva de resposta típica para um filtro comum. Embora o filtro seja projetado corretamente, isso não significa que a divisão da potência seja sempre a correta, pois o desempenho depende das impedâncias ligadas ao filtro.

Existem dois sistemas diferentes para a construção dos filtros divisores de frequências. O primeiro é designado como "tipo M" e o se-

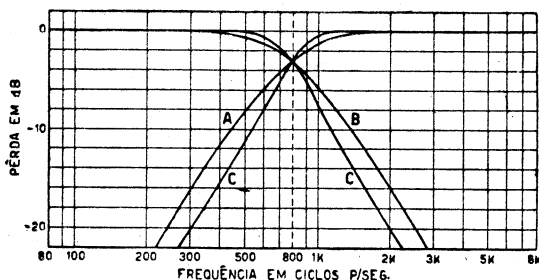


Fig. 2 — Curvas de resposta para filtros divisores do tipo "M" e "resistência-constante", ambas com frequência de transição de 800 Hz. As curvas A e B correspondem ao tipo "resistência-constante" e as curvas C ao tipo "M".

gundo como "resistência-constante". A principal vantagem deste último tipo de filtro é que proporciona uma distribuição de energia correta, quando as duas impedâncias ligadas às saídas são corretas. A impedância ligada à entrada do filtro, porém, não tem importância decisiva sobre essa distribuição de energia. Ao contrário, o tipo M requer tanto impedâncias de saída como de entrada, absolutamente corretas. Por sua vez, o tipo M tem a vantagem de que a atenuação de ambos os lados da frequência de transição é maior que no tipo de resistência constante. Na figura 2 mostramos as curvas de atenuação para ambos os tipos de filtros.

Como, atualmente, os amplificadores com impedância dinâmica variável estão adquirindo grande popularidade, o uso dos filtros tipo M está diminuindo, pois, ao regular a impedância dinâmica de saída, altera-se automaticamente a distribuição da potência.

A atenuação da curva dos dois lados da frequência de transição depende largamente do número de componentes usados no filtro. As curvas da figura 1 valem para os tipos de filtro mais comuns, nos quais se usam apenas uma impedância e um condensador, proporcionando uma atenuação de 6 dB por oitava.

Com filtros compostos de duas indutâncias e dois condensadores, consegue-se atenuação de até 12 dB por oitava, o que é mais do que

suficiente em todos os casos. Naturalmente, os filtros mais aperfeiçoados são mais sensíveis às diferenças de carga que os tipos simples. Portanto, é aconselhável usar um filtro de dois componentes somente, se os alto-falantes usados não tiverem exatamente a impedância que pede o filtro em questão.

Não é possível construir filtros que desviam corretamente as potências aos alto-falantes, quando as impedâncias dos mesmos não forem as mesmas. Portanto, não pode ser usado um alto-falante grande com impedância de 15 ohms, em conjunto com um pequeno, com impedância de 4 ohms somente. Embora o amplificador, neste caso, esteja trabalhando com a impedância correta perto da frequência de transição, trabalhará, sem dúvida alguma, com a impedância de 15 ohms nas frequências baixas e 4 ohms nas altas.

Para solucionar essa questão, é necessário usar um transformador de impedância, junto ao alto-falante pequeno, que transferirá a impedância de 4 ohms para o valor normal de 15 ohms. Para esse fim, nem sempre é necessário o uso de um transformador especial. Geralmente o uso de um transformador de saída universal dá resultado excelente, quando o alto-falante é ligado nos terminais de 4 ohms e o filtro é ligado aos terminais de 15 ohms (fig. 3).

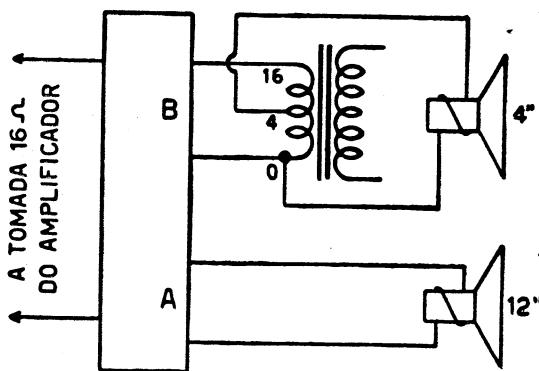


Fig. 3 — Se os alto-falantes dos agudos e dos graves tiverem impedâncias diferentes, então é necessário incluir mais um transformador, que torna ambas do mesmo valor, a fim de conseguir distribuição de potência correta.

Na figura 4 é mostrado um circuito de filtro simples, usado em muitos dos alto-falantes coaxiais. Neste filtro, o condensador fica em paralelo com a bobina móvel do alto-falante grande e a indutância em paralelo com a bobina móvel do alto-falante pequeno. O condensador põe em curto-circuito, na prática, as frequências altas, que passam sem dificuldades para o alto-falante pequeno. Por sua vez, a indutância põe em curto-circuito as frequências

baixas que aparecem sôbre o alto-falante pequeno, guiando-as ao mesmo tempo ao alto-falante grande. A freqüência de transição, quando a potência entregue a ambos os alto-falantes é igual, se dá quando a reatância do condensador e da indutância são iguais.

As fórmulas para calcular os componentes dêste filtro são:

$$C = \frac{195\,000}{f_0 \cdot Z}$$

onde C resulta em microfarads, se  $f_0$  (freqüência de transição) é dada em ciclos e Z (impedância da bobina móvel) em ohms. O valor da indutância resulta em:

$$L = \frac{159 \cdot Z}{f_0}$$

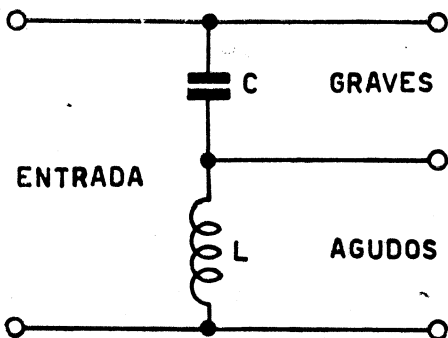


Fig. 4 — Circuito de filtro simples, para a ligação de um alto-falante para graves (woofer) e outro para agudos (tweeter). O cálculo dos valores de C e L é dado no texto.

onde L resulta em milihenries, quando Z (impedância da bobina móvel) é dada em ohms e  $f_0$  (a freqüência de transição) em ciclos.

Na figura 5 apresentamos dois circuitos mais elaborados, ambos de "resistência-constante", o primeiro com ligação em paralelo dos dois ramos e o segundo com ligação em série. Os resultados obtidos são os mesmos com um e outro; a escolha dependerá da facilidade de conseguir os valores das indutâncias e condensadores.

As fórmulas para o cálculo dos componentes são as seguintes:

$$L_1 = \frac{225 \cdot Z}{f_0} \text{ mH}$$

$$L_2 = \frac{112 \cdot Z}{f_2} \text{ mH}$$

$$C_1 = \frac{112\,500}{f_0 \cdot Z} \mu\text{F}$$

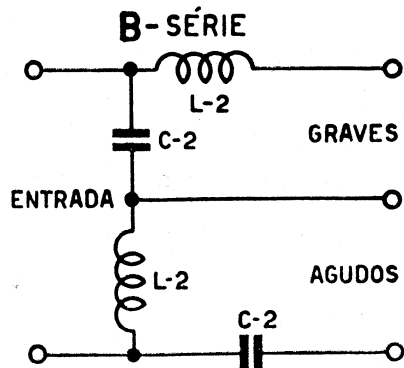
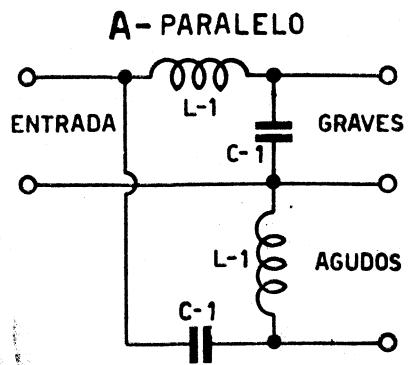


Fig. 5 — Filtros divisores que proporcionam até 12 dB de atenuação por oitava. As fórmulas para o cálculo dos componentes constam do texto.

$$C_2 = \frac{225\,000}{f_0 \cdot Z} \mu\text{F}$$

Como se vê, o circuito em paralelo necessita de indutâncias maiores e capacitâncias menores que o circuito correspondente em série. Para a freqüência de 800 Hz, por exemplo, e impedância da bobina móvel de 15 ohms, no circuito em paralelo resultariam indutâncias e condensadores de

$$L_1 = \frac{225 \cdot Z}{f_0} = \frac{225 \cdot 15}{800} = 4,22 \text{ mH}$$

$$C_1 = \frac{112\,500}{f_0 \cdot Z} = \frac{112\,500}{800 \cdot 15} = 9,4 \mu\text{F}$$

As indutâncias são percorridas por correntes relativamente elevadas e devem, ao mesmo tempo, introduzir perdas insignificantes. Portanto, é necessário enrolá-las com fio bastante grosso (entre ns. B&S 14 e 16), a fim de reduzir ao mínimo a resistência ôhmica. Não é aconselhável o uso de núcleo de ferro para a construção destas indutâncias, pois a curva de magnetização não linear pode introduzir distorção.

usar sempre 2 condensadores em série, com polaridades invertidas (os dois pólos negativos ligados juntos, sendo os positivos ligados ao circuito). Naturalmente, a capacidade resultante da ligação em série deve corresponder à capacidade exigida.

A fórmula para o cálculo do enrolamento da indutância é:

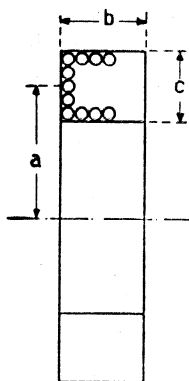
$$L = \frac{0,8 \cdot a^2 \cdot n^2}{6a + 9b + 10c} \text{ microhenries}$$

(Fórmula de Wheeler)

O significado das constantes *a*, *b*, e *c* pode ser visto na figura 6, significando *n* o número de espiras.

Como neste cálculo entram medidas que são resultados do número desconhecido de espiras, é necessário fazer, em primeiro lugar, vários cálculos aproximadamente, até resultarem dimensões e o número de espiras corretas. Em seguida, o enrolamento é feito com maior número de espiras que o calculado. Finalmente, são tiradas as medidas exatas do enrolamento e calculada a indutância exata através do número de espiras. Por tentativas, vai-se diminuindo as espiras, até que o cálculo resulte na indutância correta. Como o fio usado deve ser grosso, as dimensões destas bobinas sempre resultam apreciáveis.

Fig. 6 — Dimensões para o cálculo das indutâncias de filtro.



Para os condensadores deveriam ser usados tipos de papel, sendo que a tensão de trabalho pode ser tão baixa quanto se desejar. Infelizmente, estes condensadores são caros e grandes, sendo por este motivo, muitas vezes, usados eletrolíticos. Embora estes não tenham a constância desejada, assim como tolerâncias bastante altas, o seu emprêgo está se generalizando cada vez mais. Naturalmente, deve-se

# FILTROS DIVISORES DE FREQUÊNCIA

## 2ª Parte

Vimos no artigo anterior as bases teóricas para o cálculo de filtros divisores de frequência. Fornecemos igualmente a fórmula que permite determinar o número de espiras das indutâncias, mas o uso desta fórmula é bastante incômodo, pois exige vários cálculos experimentais, antes de poder ser feito o cálculo definitivo. Mesmo assim, nem sempre cabem as espiras nas dimensões previstas do carretel e, com isto, há bastante incerteza a respeito do valor real da indutância feita.

Infelizmente, tôdas as fórmulas para indutâncias de várias camadas não permitem um cálculo exato, sem conhecer de antemão as dimensões exatas. Por êsse motivo, são largamente usados ábacos para a determinação do número de espiras; neste caso, porém, é indispensável basear-se em vários fatores constantes.

No caso das indutâncias para divisores de frequência, ligados entre o amplificador e os alto-falantes, podemos escolher como valor fixo a grossura do fio. A escolha do fio depende por um lado da resistência do enrolamento, que deve ser a mínima possível, e, por outro, das dimensões físicas, que devem tornar-se

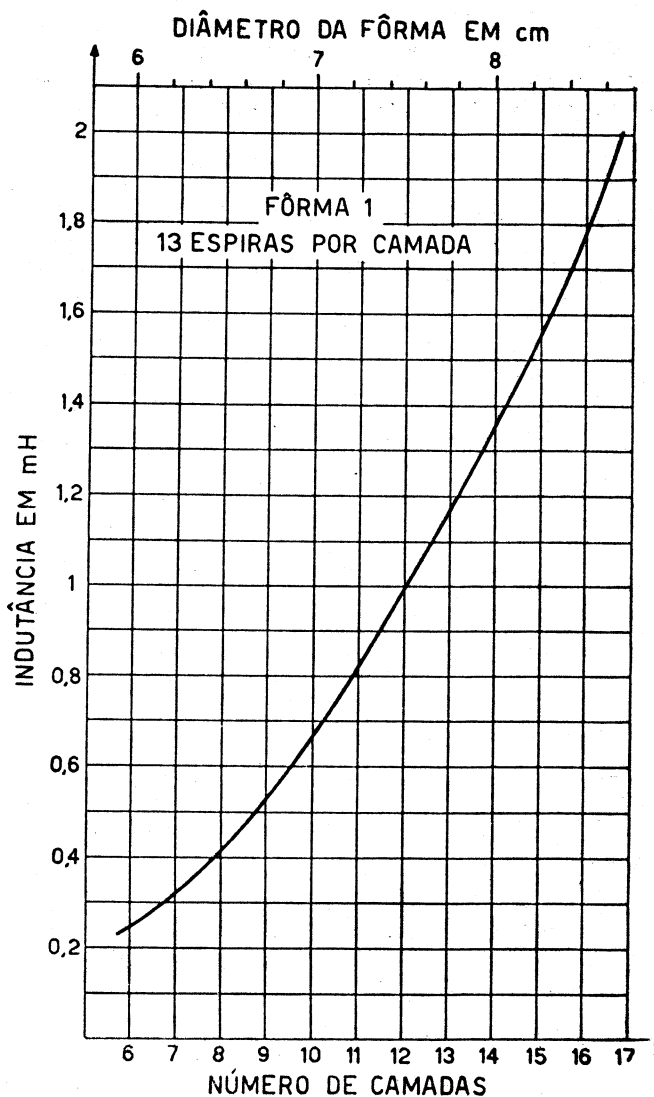


Fig. 1 — Abaco I: Relação entre a indutância, diâmetro externo da fôrma e número de camadas a enrolar, para a fôrma pequena.

razoáveis. Na prática resulta destas exigências contraditórias a escolha do fio com diâmetro entre 1 e 2 milímetros (17 a 14). Nos nossos ábacos foi empregado o fio 16 esmaltado, que possui 0,0132 ohm por metro.

Padronizamos igualmente o tamanho dos carretéis de enrolamento; existem 2 tamanhos, ambos com um diâmetro central externo de 32 mm, porém, um com comprimento de 20 mm e o outro de 32 mm. A primeira fôrma é usada para indutâncias entre 0,3 e 2 mH e a outra, maior, para indutância entre 2 e 8 mH.

Na primeira fôrma, de 20 mm de comprimento, sempre devem ser enroladas camadas

com 13 espiras, sem que seja porém necessário colocar isolação de papel entre as camadas. Como as tensões que aparecem sobre as camadas são mínimas, a isolação de esmalte do fio é plenamente suficiente. Na fôrma maior, de 32 mm, as camadas sempre devem ter 23 espiras, também sem papel entre as mesmas.

O uso de ábacos torna agora facilíma a determinação do enrolamento: basta procurar na escala à esquerda a indutância desejada, traçar uma horizontal até à curva e desenhar então uma vertical através deste ponto de corte. A escala horizontal inferior dará então o número de camadas e a escala superior o diâmetro externo da fôrma.

Temos com isto todos os dados para a construção do carretel (as medidas restantes do carretel acham-se nos desenhos correspondentes), bem como do enrolamento.

O carretel deve ser feito de madeira (ou então outro material isolante, não magnético). O furo central serve para prender o carretel à base, por intermédio de um parafuso de latão e não de ferro. Para a fixação dos fios do começo e do fim do enrolamento são feitos dois pequenos furos numa das paredes laterais, um bem junto ao núcleo e outro a 6 mm da borda externa.

Com o carretel assim preparado, podemos iniciar o enrolamento, cuidando sempre de pôr 13 ou 23 espiras por camada, conforme a fôrma. Se a última camada der somente  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ , ou  $\frac{3}{4}$  de camada, abriremos o último enrolamento para que o fim fique junto a uma das bordas do carretel. Firma-se todo o enrolamento, colocando por fora várias camadas de fita isolante. Uma impregnação do enrolamento não se torna necessária, pois pela grossura do fio não há perigo de sulfatação rápida.

Com isto não haverá mais dificuldade alguma para o enrolamento das indutâncias, calculadas de acôrdo com as fórmulas apresentadas no artigo anterior.

Quando as impedâncias dos alto-falantes, ligados à rede divisora, forem iguais, não haverá dúvidas a respeito do cálculo; qual porém o valor a usar se estes valores diferem um do outro? Diferenças grandes não devem existir, a fim de evitar a transferência desigual de potência para ambos os alto-falantes;

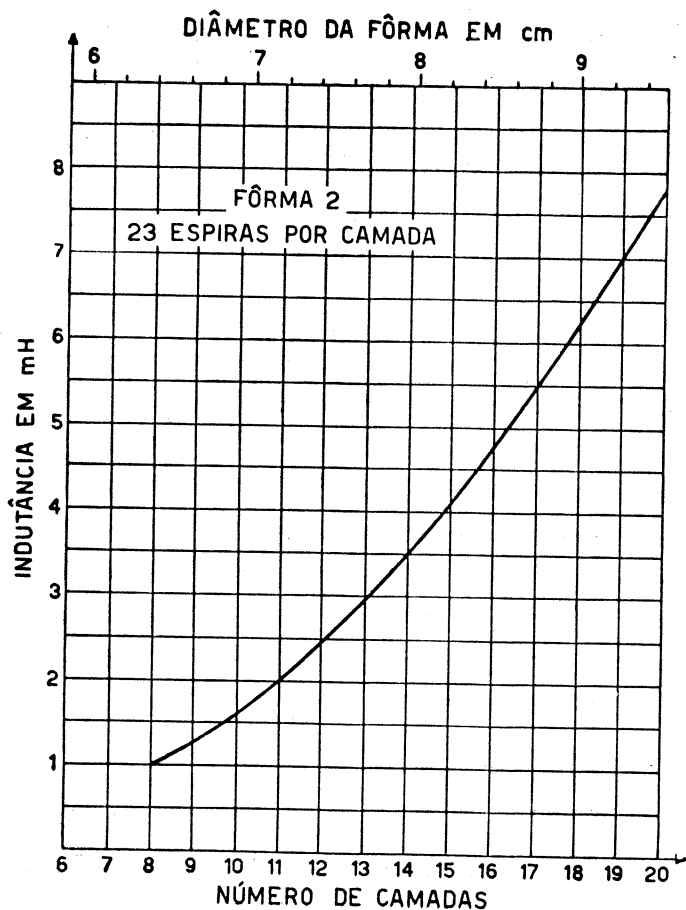


Fig. 2 — Abaco II: Relação entre a indutância, diâmetro externo da fôrma e número de camada a enrolar para a fôrma grande.



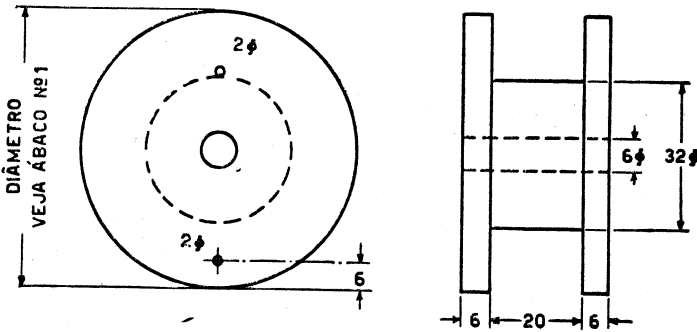
diferenças de até 20%, porém, são toleráveis.

No caso de serem diferentes as impedâncias dos alto-falantes,

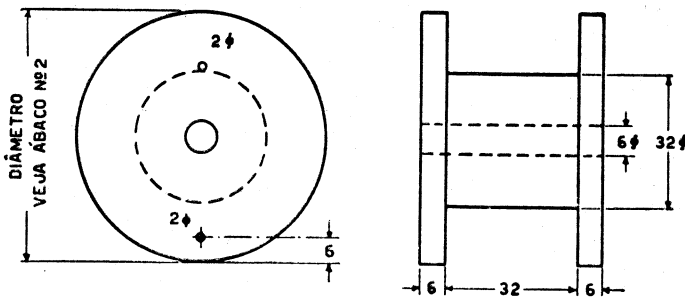
um alto-falante de 12 a 15 polegadas, para as frequências de 20 a 500 Hz (graves), um de 8 polegadas, para as frequências

acima de 5 000 Hz (agudos). O filtro foi calculado para impedâncias de 8 ohms em todas as bobinas móveis, sendo também esta aproximadamente a impedância de entrada do filtro.  $L_1$  e  $L_2$  devem ter ambas 4,5 mH de indutância (forma 2, com 360 espiras de fio 16 esmaltado), enquanto que  $L_3$  e  $L_4$  devem ter 0,36 mH (forma 1, com 100 espiras de fio 16). Para os condensadores de 25 mfd, devido ao alto preço dos condensadores de papel, é praticamente obrigatório o emprego de condensadores eletrolíticos. Como a tolerância destes é alta (podem variar normalmente entre -20 e +50% do valor nominal) é aconselhável medi-los numa ponte e escolher condensadores que tenham os valores mais próximos possível dos nominais. Sendo usados condensadores com tensão de trabalho até 50 volts, então devem ser usados 2 condensadores, com o dobro da capacidade, ligados em série e em contra-fase. Usando condensadores com 150 volts de tensão de trabalho (ou mais) não é necessário usar condensadores "unipolares".

FÔRMA Nº 1



FÔRMA Nº 2



Figs. 3 e 4 — Dimensões dos carretéis de enrolamento que só diferem no comprimento.

de 500 até 5 000 Hz (médias), e 2 ou 3 alto-falantes de 3 ou 4 polegadas (ligados em série), para as frequências

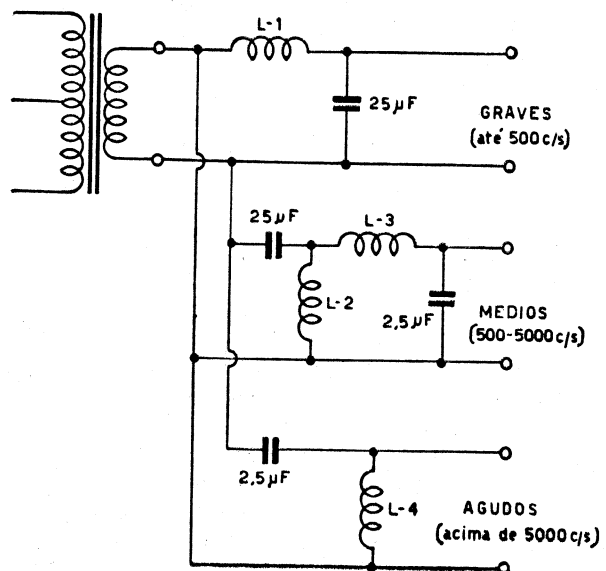
tes, é necessário calcular cada indutância e condensador separadamente, de acordo com os dados dos alto-falantes. A impedância de entrada do filtro é igual a

$$Z = \frac{2Z_1 \times 2Z_2}{2(Z_1 + Z_2)}$$

sendo  $Z_1$  e  $Z_2$  as impedâncias das bobinas móveis dos alto-falantes.

Existem também rêsdivisoras para 3 alto-falantes (para agudos, médios e graves). Na figura 5 damos um circuito experimentado para

Fig. 5 — Filtro divisor de frequência de 3 canais. Para maiores detalhes, veja o texto.





O funcionamento dos transformadores comuns pode ser explicado facilmente, comparando-os com os transformadores ideais, usando resistências, indutâncias e condensadores para representarem as deficiências em relação aos transformadores normais.

A ligação do transformador comum está ilustrada na figura 1. A resistência interna do gerador (que no caso prático será uma válvula) está simbolizada pela resistência  $R_g$ ; a resistência de carga (na prática a impedância da bobina móvel) está simbolizada por  $R_c$ . Quando a resistência de carga é multiplicada

núcleo. O efeito desta corrente é o mesmo que seria provocado por uma indutância ligada diretamente em paralelo com o gerador (fig. 3).

Como o fluxo magnético, provocado pelo enrolamento primário, não intercepta 100% do enrolamento secundário, o transformador parece

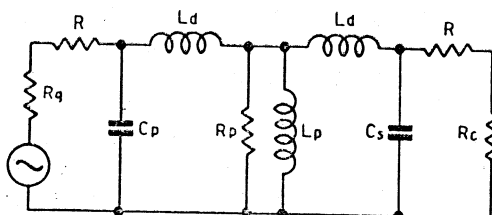
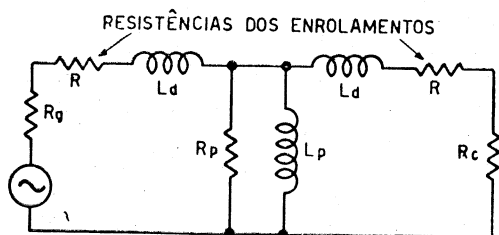
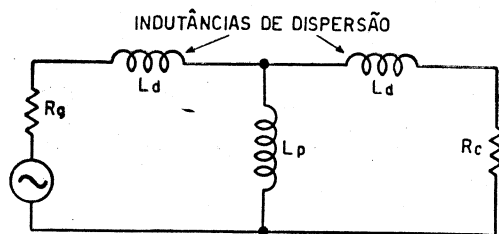


Fig. 4 — (em cima) — Acoplamento imperfeito entre os enrolamentos primário e secundário pode ser representado por duas indutâncias em série ( $L_d$ ). Fig. 5 — (centro) — As perdas nos enrolamentos ( $R$ ) e no núcleo ( $R_p$ ) podem ser representadas por resistências. Fig. 6 — (em baixo) — Circuito equivalente completo de um transformador, tendo incluídas as capacitâncias parasíticas entre os enrolamentos ( $C_p$  e  $C_s$ ).

pelo quadrado da relação de espiras, resultará o valor aparente da resistência de carga, visto do lado do primário. Para um transformador ideal, resultaria o circuito da figura 2, ou seja, a ligação direta da resistência  $R_c \cdot X$  (sendo  $X$  a relação de transformação) ao gerador.

No entanto, um transformador necessita de alguma corrente de magnetização para o

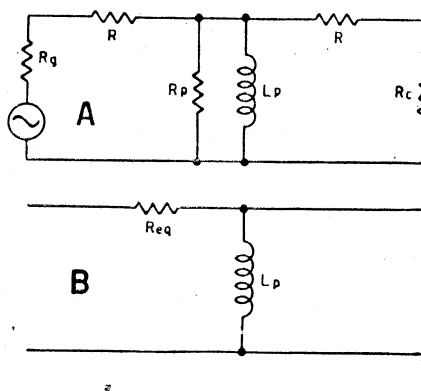


Fig. 7 — Circuito equivalente a um transformador trabalhando em frequências baixas: A — completo; B — circuito simplificado.

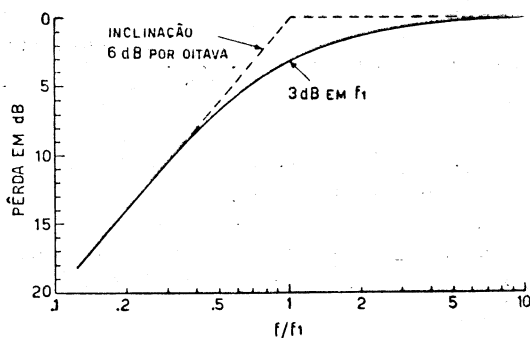


Fig. 8 — Resposta teórica de um transformador em frequências baixas.  $f_1$  é a frequência na qual a reatância indutiva de  $L_p$  é igual à resistência equivalente ( $R_{eq}$ ).

ter uma pequena indutância em série com o primário. Como as mesmas considerações também valem para o secundário, parece existir igualmente uma pequena indutância em série com o mesmo. Estas duas indutâncias aparentes (fig. 4) são denominadas “indutâncias de dispersão” ( $L_d$ ).

Por outro lado, o núcleo do transformador é feito de material ferromagnético que possui perdas, motivadas pela histerese; estas podem ser representadas por uma resistência em paralelo com a indutância primária ( $R_p$ ).

Outro tipo de perda é provocado pela resistência ôhmica dos fios do enrolamento, que podem ser consideradas como estando em série

com os enrolamentos primários e secundário, entrando portanto no esquema conforme indica a figura 5.

Finalmente, existem capacitâncias entre os enrolamentos que devem ser eliminadas por blindagens eletrostáticas adequadas. São desta maneira convertidas em capacitância em relação ao núcleo, sendo representadas no desenho da figura 6 pelos condensadores  $C_p$  e  $C_s$ .

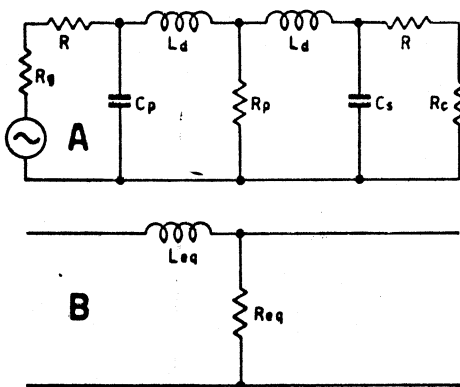


Fig. 9 — Circuito equivalente de um transformador trabalhando com frequências altas: A — circuito completo; B — circuito simplificado.

Deve-se ter em mente que os valores reais da indutância de dispersão, resistência do enrolamento e capacitância do enrolamento secundário são transformados nos seus valores da mesma forma que a resistência de carga!

Nos transformadores comuns a indutância primária é suficientemente alta e as capacitâncias dispersas são suficientemente elevadas para estabelecer uma distinção entre 3 faixas de frequências. Nas frequências médias somente as resistências dos enrolamentos devem ser consideradas; nas frequências baixas são de importância tanto a resistência como a indutância primária e nas frequências altas é necessário considerar as resistências, as indutâncias de dispersão e as capacitâncias.

Na figura 7 damos o circuito equivalente a um transformador trabalhando em frequências baixas. Em A temos o circuito completo; em B, o mesmo foi simplificado, correspondendo  $R_{eq}$  à resistência resultante da combinação das 3 individuais.

A curva de resposta resultante está indicada na figura 8;  $f_1$  é a frequência onde a reatância indutiva de  $L_p$  é igual à resistência equivalente

Req. Nesta frequência as perdas são 3 dB mais altas que na parte central da faixa.

O circuito equivalente ao funcionamento do transformador em frequências altas está indicado na fig. 9-A. Como neste artigo nos limitamos a transformadores de saída, nos quais as impedâncias são relativamente baixas, podemos desprezar neste caso as capacitâncias, resultando assim o circuito equivalente da figura 9-B. Neste caso, a curva de resposta resulta como indicado na figura 10. A frequência  $f_2$  corresponde à igualdade da reatância da indutância equivalente de dispersão (Leg. na figura 9) com a resistência equivalente ( $R_{eq}$ ).

Nas considerações acima, os valores equivalente dos componentes foram considerados como sendo fixos. Para baixas potências isto realmente é correto, porém, em níveis altos, vários destes componentes parecem alterar o seu valor. Este fenômeno se verifica porque o núcleo do transformador tende a saturar-se com o aumento do fluxo magnético. Como resultado, quanto maior a potência perdida no núcleo, maior o número de linhas de força que deixam de interceptar ambos os enrolamentos, sendo ao mesmo tempo necessária maior corrente de magnetização. Portanto, a resistência  $R_p$ , representando as perdas no núcleo, parece diminuir;  $L_d$  (indutância de dispersão) parece aumentar e finalmente  $L_p$  (que representa a corrente de magnetização) parece diminuir.

Quando examinarmos os efeitos destas alterações, veremos que, tanto nas frequências altas como nas baixas, a potência decai, diminuindo igualmente a eficiência nas frequências médias. É este o motivo porque muitas vezes são publicadas duas curvas de resposta para um determinado transformador, uma a baixo nível e outra com potência máxima, sendo a primeira sempre mais ampla que a segunda.

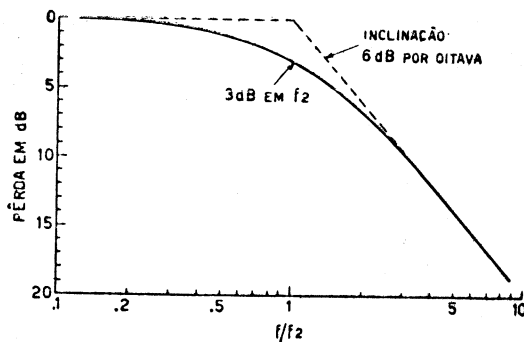


Fig. 10 — Resposta teórica do transformador trabalhando em frequências altas.

Mais pronunciado ainda é o efeito do nível elevado de potência sobre a distorção. A alteração dos valores dos componentes se dá continuamente durante todo o ciclo do sinal áudio; como resultado, os picos são levemente achatados, o que equivale a uma distorção. É geralmente esta distorção que limita a capacidade potencial dos transformadores.

Na construção de transformadores de alta qualidade é indispensável o uso de material ferromagnético especial. Geralmente é usado "Supersilicon" ou "Radiometal", que possuem baixíssimas perdas por quilo e permitem ao mesmo tempo induções altas (até 16 000 Gauss para o "Radiometal"). Após a estampagem das chapas, é necessário ainda um tratamento térmico, a fim de recuperar as características magnéticas do material, que são em parte afetadas por aquela operação.

A disposição dos enrolamentos deve ser escolhida com muito cuidado, pois é necessária uma perfeita simetria entre os dois lados da ligação push-pull (e só esta pode ser usada nos estágios de saída, em se tratando de HI-FI); o acoplamento entre as duas metades e o secundário deve ser o mais rígido possível, mas, ao

mesmo tempo, as capacitâncias entre todos os enrolamentos (como também entre cada camada de um só enrolamento) devem ser baixíssimas.

Estas exigências obrigam o engenheiro projetista a um estudo cuidadoso da disposição de todos os enrolamentos; o material usado para a isolamento das camadas e enrolamentos, por exemplo, assume grande importância. Deve ter baixo fator dielétrico e, ao mesmo tempo, alta resistência elétrica, aliados a características mecânicas adequadas.

Pode-se deduzir quais as dificuldades encontradas nos enrolamentos deste tipo de transformador, a partir das indicações que damos na página 128 desta antologia. O transformador aí descrito possui 10 enrolamentos, com 22 pontas; basta trocar apenas duas pontas, para resultar absolutamente imprestável todo o conjunto. Embora não se trate de um transformador muito complicado, recebemos várias reclamações, afirmando que deveria haver erro no esquema, pois os resultados obtidos haviam sido nulos. Na realidade, quando enrolado corretamente, o transformador produz ótimos resultados, como foi confirmado não apenas por nossas experiências, como também por enroladores profissionais.

# CÁLCULO DE TRANSFORMADORES DE SAÍDA

O transformador de saída era, antigamente, um componente de importância secundária nos radioreceptores; vinha junto com o alto-falante e, além de sua impedância primária, nada era perguntado a respeito de suas qualidades técnicas.

Com o advento da alta-fidelidade mudou completamente a situação. O transformador de saída passou a ser o componente mais importante do circuito áudio. Conseqüentemente, apareceram vários artigos sobre a teoria de funcionamento dos transformadores de saída, mas poucos sobre o seu cálculo. A razão disto é que estes cálculos são muito críticos e envolvem grandezas que não podem ser determinadas sem aparelhamento muito especializado.

Nos transformadores de saída comuns podem ser usados núcleos de ferro também comuns e com isto torna-se possível dar fórmulas rela-

tivamente simples para o cálculo. Infelizmente não é possível dar tabelas, como no caso dos transformadores de força, por serem mais complicadas as condições de trabalho dos transformadores de saída.

Ao contrário de um transformador de força, um transformador de audiofrequência destina-se a transformar, com eficiência uniforme, uma faixa de frequência cuja extensão pode chegar a ser de 30 a 15 000 Hz.

Como limite inferior, daremos em nossas tabelas dois valores, correspondentes ao limite que se deseja passar sem atenuação apreciável. O primeiro, que desce apenas a 150 Hz, corresponde a um bom amplificador para voz e para equipamentos de "public address" ou música ao ar livre. Pode ser usado também para transformadores pequenos, para alto-falantes de 3, 4 ou 5 polegadas que, pelo seu tamanho redu-

TABELA 1

SAÍDA TRIODO			SAÍDA PENTODO		
Resistência interna da válvula ( $\Omega$ )	Indutância p/ 50 Hz	Indutância p/ 150 Hz	Resistência de carga (*) Ohms	Indutância p/ 50 Hz	Indutância p/ 150 Hz
800	3	1	2 500	8	3
1 000	4	1,5	4 000	13	4
1 500	6	2	5 000	16,5	5
2 000	8	3	6 000	20	6
3 000	13	4	7 000	25	7
5 000	20	6	8 000	27	8
10 000	40	15	10 000	33	10
			15 000	50	15

(\*) impedância primária

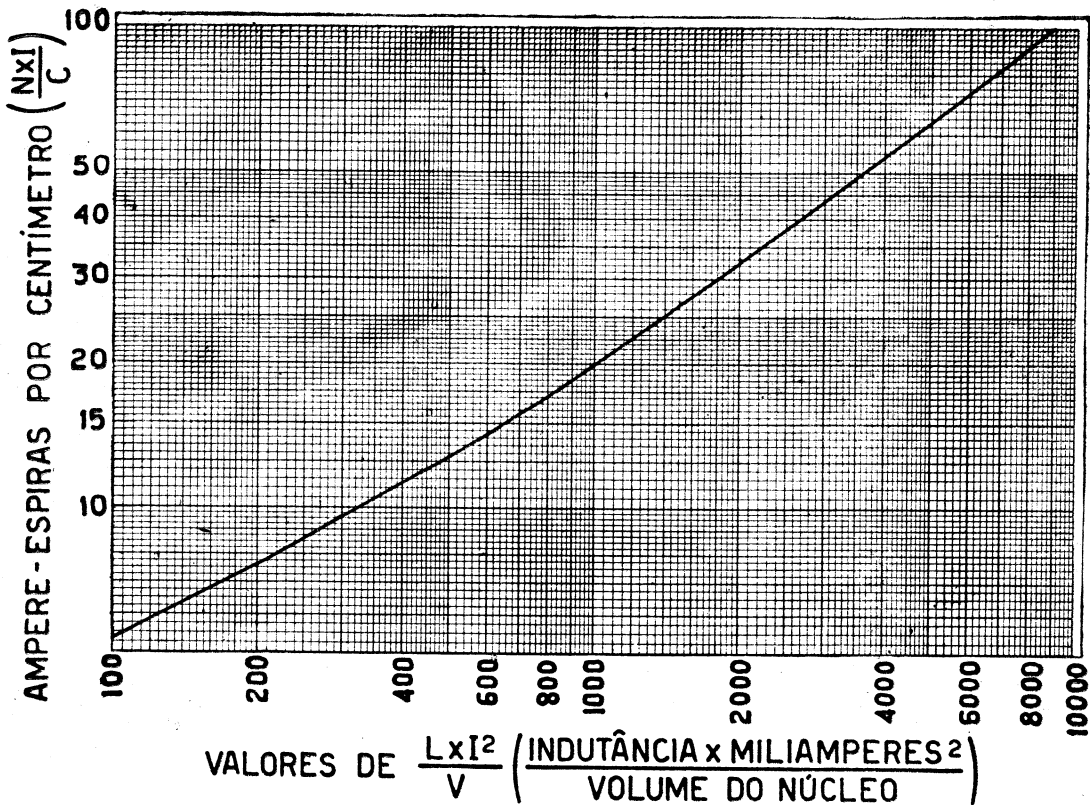


Fig. 1 — Gráfico para a determinação das ampères-espiras por centímetro.

zido, não podem mesmo reproduzir freqüências abaixo deste limite. O segundo, que reproduz freqüências até 50 Hz, corresponde a um amplificador de boa qualidade para música orquestral e para ouvidos mais exigentes.

Há dois fatores básicos na escolha (ou no cálculo) de um transformador de audiofreqüência. O primeiro é a **relação de transformação** e o segundo a **impedância do enrolamento primário**. A relação de transformação, como já sabemos, é a relação existente entre o número de espiras do primário e do secundário.

Matematicamente, isso pode ser expresso da seguinte maneira:

$$\frac{\text{Impedância secundária}}{\text{Impedância primária}} = \frac{(\text{espiras secundárias})^2}{(\text{espiras primárias})^2}$$

$$\text{relação de transform.} = \sqrt{\frac{\text{impedância primária}}{\text{impedância secundária}}}$$

Assim, se quisermos acoplar a saída de uma válvula 6F6, por exemplo, com a bobina mó-

vel de um alto-falante que tivesse 7 ohms de impedância, teríamos de ver, numa tabela de válvulas, qual a impedância de carga primária, do transformador, recomendada para essa válvula. Encontraríamos 7 000 ohms. Portanto, a relação entre as espiras primárias e secundárias teria de ser:

relação de transformação

$$= \sqrt{\frac{7\,000}{7}} = \sqrt{1\,000} = 31,6$$

Isto é, o primário teria de ter 31,6 vezes mais espiras do que o secundário.

Nota-se que este cálculo não nos diz nada sobre o número exato de espiras, mas apenas sobre a relação entre as espiras de um e de outro enrolamento do transformador. O número de espiras, como já dissemos no começo deste artigo, depende da freqüência do som mais grave que queiramos que seja transmitido pelo transformador.

Voltando, portanto, ao princípio, vamos exemplificar com um caso concreto. Seja este, por exemplo, um transformador para modulação por placa de um pequeno transmissor.

As condições são as seguintes:

- a) — A saída do modulador é um estágio de pentodos em push-pull, exigindo uma impedância de carga de 10 000 ohms, de placa a placa.
- b) — A corrente de placa de cada pentodo é de 60 mA.
- c) — A potência de saída do modulador é de 7,5.
- d) — O amplificador a ser modulado por placa trabalha em classe C e tem uma corrente de placa de 70 mA, com 420 volts.
- e) — As audiodfrequências a serem transmitidas são apenas as da voz (150 até 4 000 Hz aproximadamente).

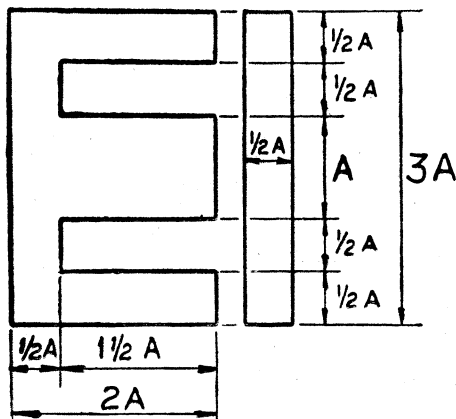


Fig. 2 — Relação entre as diversas medidas de uma chapa de ferro silicioso padronizada.

Para calcularmos a relação de transformação, teremos de saber qual a impedância a ser ligada no secundário do transformador. Esta é achada dividindo-se a voltagem de placa da válvula amplificadora de RF pela sua corrente de placa. Portanto:

$$\frac{420}{0,07} = 6\,000 \text{ ohms,}$$

e a relação de transformação será

$$\sqrt{\frac{10\,000}{6\,000}} = \sqrt{1,666} = 1,29.$$

Assim, o primário deverá ter 1,29 vez mais espiras do que o secundário.

Para determinarmos a indutância do primário, consultemos a tabela 1. Aí veremos que, usando pentodos e tendo uma impedância no primário de 10 000 ohms, teremos de dar uma indutância de 10 henries a este enrolamento (este valor refere-se naturalmente à indutância com o circuito do secundário aberto).

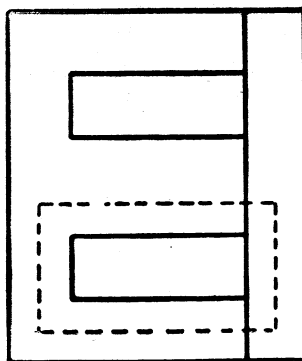


Fig. 3 — O traço interrompido indica como deve ser medido o comprimento médio do fluxo dentro do núcleo.

Para determinar o tamanho do núcleo, a tabela 2 indica que para 7,5 W de potência podemos usar laminações de 1 polegada (empilhadas igualmente até à espessura de 1 polegada).

Como o primário é ligado a duas válvulas em push-pull, cujas correntes circulam em sentido contrário no enrolamento, o seu efeito magnetizante sobre o núcleo é nulo. No secundário, porém, temos 70 mA de corrente contínua. Como a relação de transformação é 1,29, estes 70 mA no secundário têm o mesmo efeito magnetizante que teriam  $70/1,29 = 54$  mA no primário (pois este possui mais espiras).

Podemos portanto proceder, no cálculo, como se este fôsse um transformador de saída comum, com 54 mA de corrente contínua no primário, tendo este uma indutância de 10 H.

Com os valores até agora conhecidos não é possível calcular diretamente o número de espiras. Temos de fazer alguns cálculos intermediários. Em primeiro lugar, calculamos o valor da expressão:



$$\frac{L \times I^2}{V}, \text{ onde}$$

L = Indutância em "Henries";

I = intensidade da corrente contínua (em miliampères);

V = volume em centímetros cúbicos do núcleo.

Portanto: L = 10 "Henries".

$$I^2 = 54 \times 54 = 2916$$

Para calcular "V", o volume do núcleo, basta elevar ao cubo a largura da perna central e multiplicar o resultado por 6. Isto para o caso do núcleo ser do tipo normal quanto às proporções, sendo a perna central de seção, quadrada. Assim, como 1 polegada é igual a 2,54 centímetros, teremos:

V = 2,54<sup>3</sup> x 6 = 16,4 x 6 = 98,4 centímetros cúbicos de volume total do ferro do núcleo.

Portanto  $\frac{L \times I^2}{V}$  será:

$$\frac{10 \times 2916}{98,4} = \frac{29160}{98,4} = 296$$

Servimo-nos agora do gráfico da fig. 1 Ai, na escala horizontal (em baixo), procuramos este valor 296 e levantaremos desse ponto uma reta vertical até cortar a curva. Deste ponto da curva tiramos uma horizontal para a esquerda, até à escala vertical, onde nos seja pos-

TABELA 2

POTÊNCIA DE SAÍDA Watts	LAMINAÇÃO ACONSELHÁVEL Polegadas
1 — 2	1/2
2 — 4	3/4
4 — 8	1
8 — 15	1 1/8
15 — 25	1 1/4
25 — 40	1 1/2
40 — 70	1 3/4
70 — 100	2

sível ler um valor correspondente que, no nosso caso, é aproximadamente 9. Este valor dar-nos-á a força magnetomotriz por centímetro ou, o que é o mesmo, o número de "ampère-espiras" por centímetro do núcleo que teremos de usar. Ora, "ampère-espiras por centí-

metro" é igual  $\frac{N \times I}{c}$ , em que N = número

de espiras, I = intensidade da corrente em ampères e c = comprimento médio em centímetros do fluxo magnético dentro do núcleo. Como já conhecemos "I" (igual a 0,054 ampère) e c é fácil de calcular, podemos assim determinar o número de espiras "N":

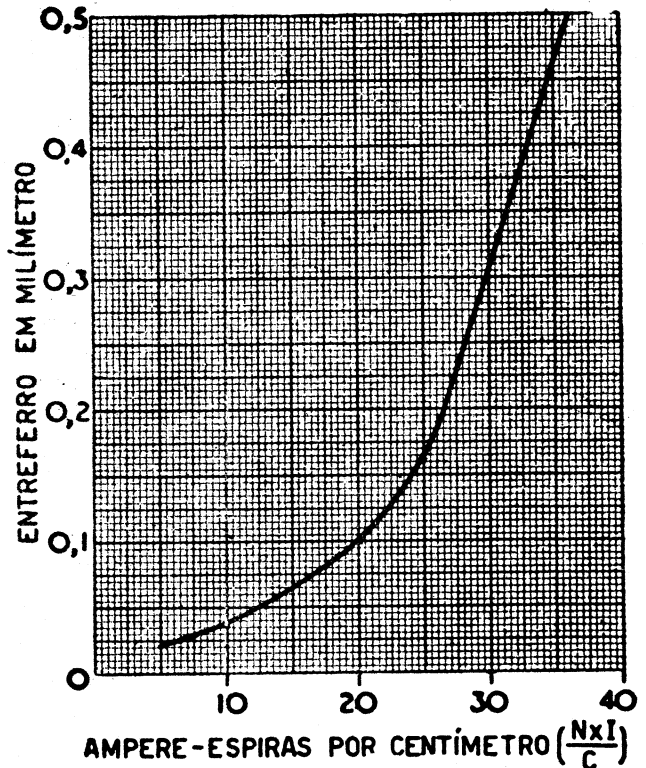


Fig. 4 — Por este gráfico é determinada a altura do entreferro, ou seja, a grossura do papel colocado entre as chapas E e I.

$$N = \frac{\text{ampère-espiras por cm} \times c}{\text{corrente em ampères}}$$

Nos núcleos normais, c equivale sempre a 6 vezes a largura da perna central. No nosso caso 1" = 2,54 cm; portanto, 2,54 x 6 = 15,24 centímetros, aproximadamente. Isto, porém, é verdade apenas para o tipo "normal" de nú-

cleos que se vendê no comércio e cujas proporções podem ser observadas pela figura 2. Se o núcleo tiver outras proporções, teremos de medir o percurso das linhas de força num circuito completo, por meio de um desenho semelhante ao da figura 3.

Com o cálculo de "c" acima exposto, podemos já substituir na fórmula as indicações pelos seus respectivos valores. Assim, temos:

$$N = \frac{9 \times 15,24}{0,054} = \frac{137,2}{0,054} = 2540 \text{ espiras}$$

Dessa forma, teremos que enrolar 2540 espiras sobre um núcleo de 1 x 1" para obtermos 10 "Henries".

Temos que fazer um pequeno cálculo para verificar se esse número de espiras caberá nas "janelas" do núcleo. Consultando uma tabela de fios, vemos que o secundário, levando 70 miliampères, poderá ser constituído de fio nº 33 e o primário, com 60 mA, de fio nº 34. Como a relação de transformação é de 1,29 para 1, o secundário terá de ter 2540/1,29 espiras, ou seja, 1970 aproximadamente.

Conhecendo os números dos fios usados, bem como as espiras necessárias, podemos calcular a altura resultante do enrolamento, considerando a grossura da isolação entre camadas, bem como entre os dois enrolamentos. Deve haver sempre 20% de folga entre o núcleo e o enrolamento (no cálculo), como fator de segurança.

Se o fio não couber na janela do núcleo, temos de fazer todo o cálculo novamente, usando um núcleo de ferro um pouco maior.

Outro ponto a atender na construção do núcleo de um transformador de audiófreqüência é o fato de existir ou não corrente contínua circulando em algum dos enrolamentos. Caso haja, será necessário dispormos de um intervalo de ar no caminho do fluxo magnético, para evitar que o ferro do núcleo fique saturado e introduza distorção na forma das ondas de audiófreqüência que serão transmitidas. Com o auxílio da curva da figura 4, calculamos a espessura do entreferro a introduzir, de acordo com a força magnetomotriz por centímetro (ampères-espiras por centímetro). No nosso caso, apenas no secundário temos efeito magnetizante, pois, no primário, com a ligação em push-pull, as correntes em cada metade do enrolamento circulam em sentidos opostos, não dando nenhuma resultante magnetomotriz.

O número de ampères-espiras por centímetro já foi calculado, resultando, no presente exemplo, o número 9.

Olhando na escala horizontal, em baixo, na figura 4, pelo ponto onde está marcado 9,0 ampères-espiras por centímetro, levantaremos uma perpendicular até cortar a curva num ponto. Dêste ponto, tiramos uma horizontal para a esquerda, que nos indicará, na escala vertical, o valor do entreferro a empregar. No nosso caso, encontraremos 0,035 mm, isto é, um pouco menos de meio décimo de milímetro. Procuraremos, portanto, um papel com essa espessura para introduzir entre as laminações "E" e as laminações "I". Devemos no entanto advertir que, para ferro-silícios comuns, como os que se utilizam nas laminações para transformadores, quando a força magnetomotriz é inferior a 4 ou 5 ampères-espiras por centímetro, poderemos dispensar o entreferro artificial, sem grande prejuízo.

# O FATOR DE AMORTECIMENTO VARIÁVEL

No decorrer dos últimos anos, surgiram no mercado novos tipos de amplificadores de áudio, incorporando uma nova característica: um fator de amortecimento variável.

O fator de amortecimento de um amplificador é a relação entre a impedância do alto-falante e a impedância aparente do estágio de saída do amplificador. Em outras palavras, se um alto-falante com impedância de 8 ohms encontra uma impedância aparente de 8 ohms no amplificador, o fator de amortecimento é igual a 1. Se o mesmo alto-falante encontrar uma impedância aparente de 2 ohms, o fator de amortecimento é igual a 4. Assim, quanto mais baixa a impedância do estágio de saída de um amplificador, em relação à impedância da bobina móvel do alto-falante, maior o fator de amortecimento.

A impedância aparente do amplificador compõe-se da resistência de placa das válvulas de saída (resistência essa que pode ser reduzida por realimentação negativa de tensão e aumentada por realimentação negativa de corrente), baixada pela relação de impedância do transformador de saída.

Para ilustrar, suponhamos que a resistência de placa efetiva de um par de válvulas

de saída seja de 250 ohms para cada uma (figura 1). O circuito primário do estágio de saída "vê" uma impedância de 500 ohms. Se a relação de impedância do transformador

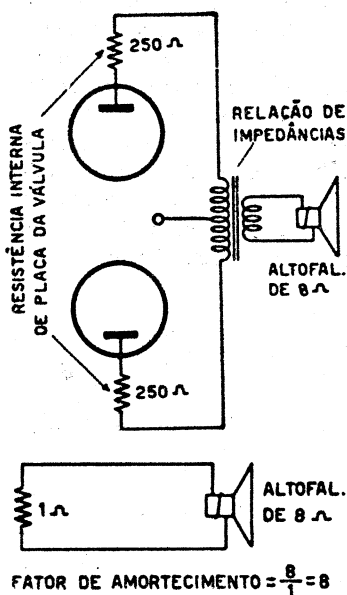


Fig. 1 — Circuito ilustrando a maneira de determinar o fator de amortecimento de um amplificador.

de saída é de 500 : 1 (como no caso das válvulas de saída requerem uma impedância de carga de 4000 ohms e do alto-falante ser de 8 ohms), o alto-falante "veria" uma impedância aparente de 1 ohm, sendo então o fator de amortecimento de 8.

O fator de amortecimento de um amplificador possui dois efeitos, correlacionados e

bastante pronunciados, sobre o desempenho do alto-falante. Em primeiro lugar, controla a quantidade de graves produzidos na região de ressonância, até aproximadamente uma oitava acima. A resposta de graves na região de ressonância pode ser destacada, plana ou fortemente atenuada. Em segundo lugar controla a resposta aos transientes, pelo alto-falante, que pode apresentar reverberação, isto é, o cone do alto-falante pode continuar a vibrar mesmo após a cessação do sinal. Note-se que a resposta acentuada na frequência de ressonância e reverberação no alto-falante são fenômenos concomitantes, o mesmo acontecendo com relação à boa resposta aos transientes e reprodução plana dos graves.

## RESSONANCIA DOS ALTO-FALANTES

Num circuito ressonante elétrico, tal como num transformador de FI, a transmissão de energia alcança um máximo na frequência de ressonância e a natureza do pico de ressonância é governada pelo valor da resistência do circuito. Uma resistência relativamente alta produz um baixo Q com um pico ressonante achatado e alargado; por outro lado, uma resistência relativamente baixa dá-nos

um alto Q, com ressonância estreita e aguda.

Os mesmos princípios prevalecem num sistema de alto-falante-amplificador, embora a ressonância envolvida seja mecânica e não elétrica. Na ressonância do alto-falante, que ocorre junto à parte inferior do espectro de frequência a ser reproduzido, o sistema mecânico do alto-fa-

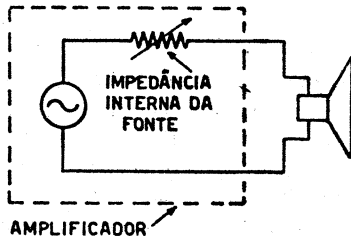


Fig. 2 — Funcionamento de um controle de fator de amortecimento. O gerador representa o estágio de saída do amplificador e a resistência variável em série é a impedância interna do amplificador.

lante produz máxima energia acústica para uma dada entrada elétrica. Evidentemente, se fornecermos ao alto-falante a mesma quantidade de potência elétrica em todas as frequências, teremos máxima saída sonora no ponto de ressonância.

É o fator de amortecimento que determina a quantidade de potência injetada no alto-falante, ao se chegar próximo ao ponto de ressonância. Um alto fator de amortecimento reduz a potência elétrica progressivamente, com a redução da frequência. Isto é alcançado, mantendo constante a tensão sobre os terminais do alto-falante, cuja impedância está aumentando constantemente. Com fatores de amortecimento mais baixos, pode-se manter constante a potência que entra no alto-falante ou, então, pode-se manter um compromisso para funcionamento ótimo. A figura 2 ilustra, por analogia, a atuação de um controle de fator de amor-

tecimento variável, num sistema amplificador-alto-falante.

O efeito do fator de amortecimento sobre o nível de saída do alto-falante, próximo ao ponto de ressonância, pode ser previsto quase tão exatamente como o efeito do Q sobre um dado circuito elétrico. Este efeito está ilustrado na figura 3, onde são mostradas curvas de resposta teóricas para vários valores diferentes do fator de amortecimento. As curvas são numeradas de acordo com o fator Q equivalente do sistema mecânico e não com os valores do fator de amortecimento, pois, um dado fator de amortecimento cria diversos valores de Q, com diferentes alto-falantes, ou com o mesmo alto-falante montado de diversas maneiras. A resistência mecânica ou acústica no sistema de alto-falantes em si tem o mesmo efeito amortecedor que a impedância aparente do amplificador. As curvas obtidas por medição não são tão regulares como as da figura 3, mas seguem a mesma forma básica.

## REVERBERAÇÃO NO ALTO-FALANTE

A curva de resposta representando a condição de  $Q = 1$  é a mais desejável. As razões para isso são muitas e nem todas são imediatamente aparentes. Além de representar a resposta de frequência em nível constante, representa igualmente o virtual desaparecimento da reverberação no alto-falante.

Os picos de ressonância das curvas superiores indicam a presença de retinidos, quando o alto-falante é excitado por sinais próximos da frequência de ressonância. Isto cria o conhecido som "ôco" que, embora ocasionalmente possa ser usado para imitar os verdadeiros graves, é uma característica muito inconveniente, que destrói a fidelidade de um sistema reproduzidor.

Um valor adequado da impedância de saída do amplificador atua como "freio" elétrico aos movimentos supérfluos da bobina móvel do alto-falante. Como todos os

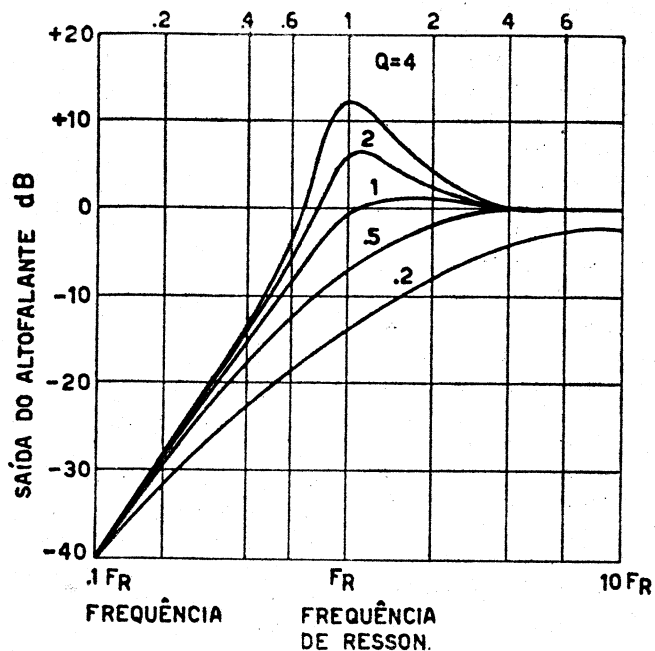


Fig. 3 — Resposta de graves de um alto-falante, quando é variado o Q do sistema amplificador-alto-falante. Q = 1 representa funcionamento ótimo.

motores, a bobina móvel do alto-falante funciona também como gerador, cuja carga é a impedância de saída do amplificador.

As curvas mais baixas da figura 3, para valores de  $Q$  inferiores a 1, indicam o resultado na resposta das frequências baixas quando o alto-falante é sobreamortecido, e a impedância está "freando" o alto-falante mais do que deve. Nos modernos alto-falantes pesados, com ímã de alnico V, pesando 1 Kg ou mais, e com amplificadores tendo um fator de amortecimento de 10 ou mais, pode ocorrer facilmente uma condição de sobreamortecimento.

As perdas de graves, devidas ao amortecimento magnético, podem ser compensadas pela maneira de montar o alto-falante. Móveis acústicos ressonantes, como o "bass-reflex", aumentam os graves, o mesmo acontecendo com as cornetas. A montagem do alto-falante num canto possui também o mesmo efeito. (Quanto menor o ângulo sólido defrontado pelo alto-falante, melhor será o destaque dos graves; a colocação do alto-falante na junção de duas superfícies, como o assoalho e a parede, resulta num aumento de graves). O móvel acústico também introduz quantidades diferentes de resistência acústica, que muda o valor do amortecimento elétrico necessário ao amplificador.

É óbvio que o ajuste de um fator de amortecimento variável, para proporcionar um  $Q = 1$  a um sistema de alto-falantes, deve ser em termos não só de um dado alto-falante e caixa acústica, mas também em função da localização desta última no recinto.

Uma vez compreendido o efeito da variação do fator de amortecimento, não é demasiado difícil fazer o ajuste para ótimo desempenho, a

#### ONDA QUADRADA DE BAIXA FREQUÊNCIA

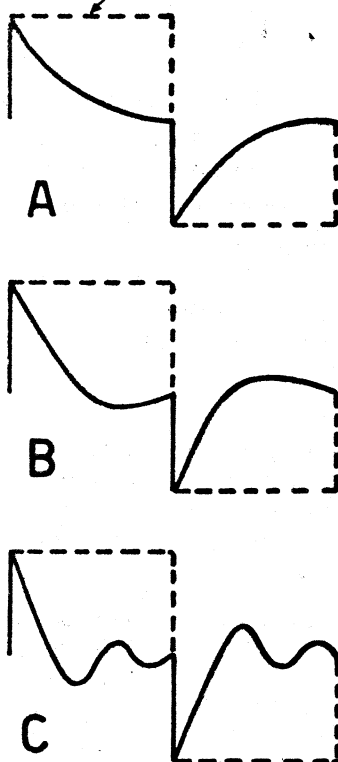


Fig. 4 — Resposta de um alto-falante ideal à onda quadrada. A frequência fundamental da onda quadrada deve se achar uma oitava abaixo da frequência de ressonância do alto-falante. Pode-se notar que o retorno do cone à posição de repouso é exponencial. Em (b), o cone ultrapassa um pouco sua posição de repouso, chegando a ela pelo lado oposto; finalmente, em (c), o cone efetua, antes de atingir a posição de repouso, várias oscilações para um e outro lado.

ouvido, desde que se consiga reconhecer o efeito musical adequado. O fator de amortecimento deve ser ajustado para graves máximos, porém ainda consistentes com um som "limpo" de baixa-frequência, isto é, som natural, isento de som de "barril". A reprodução da palavra falada, que normalmente não contém energia acústica na região abaixo dos 100 Hz, não deveria ter uma qualidade ressonante. A reprodução exclusiva da voz humana não deve dar indicação alguma de que o sistema de alto-falantes é capaz de reproduzir sons de frequência muito baixa. Por

outro lado, os sons graves do órgão, assim como de outros instrumentos musicais, devem possuir a máxima quantidade de energia fundamental de baixa-frequência que o alto-falante é capaz de reproduzir. Um baixo fator de amortecimento produz maior quantidade de graves e maior perigo de reverberação do alto-falante. Tende igualmente a produzir uma característica crescente de agudos, mas esse efeito normalmente não é tão significativo.

A aplicação de realimentação negativa, seja de corrente ou de tensão, possui exatamente o mesmo efeito sobre o ganho e a distorção, porém efeitos opostos no que se refere à impedância aparente da saída do amplificador. A realimentação negativa de tensão, onde a intensidade do sinal de realimentação depende da tensão de saída, sendo obtido por meio de uma ligação em paralelo sobre o circuito de saída, reduz a impedância aparente, aumentando o fator de amortecimento. A realimentação negativa de corrente, onde o sinal de realimentação depende da corrente de saída, em virtude de uma ligação em série no circuito de saída, aumenta a impedância aparente e diminui, portanto, o fator de amortecimento.

Pode-se projetar um circuito de controle do fator de amortecimento, graças ao qual se torna possível variar as quantidades relativas de tensão e corrente de realimentação negativa, sem afetar a realimentação total, de maneira que o ganho total do amplificador permaneça constante. Isto pode ser conseguido por meio de um par de controles em "tandem", um para o circuito de realimentação negativa de corrente e, o outro, para o circuito de realimentação negativa de tensão.

# AMORTECIMENTO VARIÁVEL

Todos os amplificadores de alta-fidelidade usam realimentação negativa, principalmente para reduzir a distorção originada no circuito, mas também para baixar a impedância dinâmica de saída, ou seja, a impedância «vista» pelo alto-falante durante o funcionamento do conjunto. Como ultimamente muitos dos amplificadores comerciais permitem fazer um ajuste desta impedância, entre limites relativamente amplos, cremos ser de conveniência dar algumas explicações sobre o efeito deste controle.

Todos os alto-falantes são elementos ressonantes, possuindo, como tais, um certo amortecimento. Este amortecimento se compõe, principalmente, de 3 parcelas:

- 1) pela carga acústica
- 2) pela fricção da suspensão do cone
- 3) pelo efeito eletromagnético.

O amortecimento pela carga acústica depende, em grande parte, do móvel acústico usado, enquanto que o efeito da fricção é dado pela construção da suspensão do cone. O amortecimento eletromagnético, porém, depende largamente do amplificador, bem como da resistência ôhmica da bobina móvel. Na figura 1 damos o circuito equivalente elétrico de um alto-falante. L e C simbolizam o elemento ressonante formado pelo peso do cone completo, em conjunto com a elasticidade da suspensão; R-1, por sua vez, representa a carga acústica e de fricção. R-2 corresponde à resistência da bobina móvel. Todos estes dados são fixos, para um determinado alto-falante, colocado no interior de um determinado móvel. R-3, porém, que representa a impedância de saída do amplificador, depende logicamente deste último, tendo, porém, influência idêntica à de R-2.

Deste circuito equivalente, pode-se deduzir o seguinte: como R-2 e R-3 estão ligadas em série, uma redução de R-3, para um valor inferior a 1/4 ou 1/5 do valor de R-2, praticamente não tem mais influência alguma sobre o valor resultante. Por outro lado, quanto mais baixo este valor, tanto menor o «Q» do circuito ressonante, formado por L e C, pois, R-2 e R-3 estão em paralelo com a resistência R-1, que simboliza o amortecimento.

Normalmente são necessários, na Radiotécnica, circuitos ressonantes com alto «Q», mas, com o alto-falante, dá-se justamente o

contrário: o «Q» deve ser baixo, a fim de que o cone, uma vez desviado de sua posição de repouso, não retorne à mesma efetuando oscilações em sua frequência de ressonância. Estas oscilações, ausentes do som original, são responsáveis pela coloração destacada de certas frequências baixas.

Como, agora, é possível reduzir a resistência de saída do amplificador? Normalmente, ou seja, sem realimentação negativa, a resistência de saída é dada pela resistência interna da válvula de saída, reduzida pela relação de transformação do transformador de saída. Por exemplo, a 6L6 possui resistência interna de 33 000 ohms; se o transformador possuir uma relação de 30/1, então a resistência de saída seria de  $33\ 000/30^2 = 37$  ohms. Usando um triodo na saída, como, por exemplo, a 6A3, a resistência interna cai para 800 ohms e com um transformador cuja relação é a típica de 25/1, a resistência de saída resulta em  $800/25^2 = 1,3$  ohm.

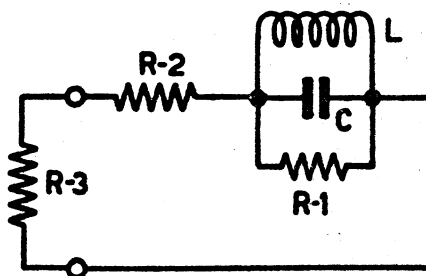


Fig. 1 — Circuito equivalente elétrico de um alto-falante.

Esta redução drástica na resistência interna, quando forem usados triodos na saída, ao invés de tétodos ou pentodos, era a razão pela qual, antigamente, um bom amplificador forçosamente tinha que usar triodos no estágio de saída.

Com a introdução da realimentação negativa, esta vantagem do triodo desapareceu, pois, pela aplicação da realimentação, consegue-se baixar a resistência de saída, facilmente, para valores abaixo de 1 ohm.

Falando-se normalmente de realimentação,

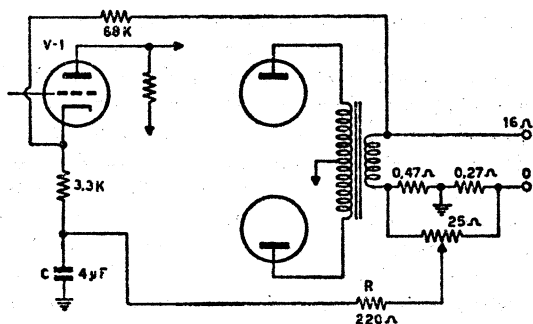


Fig. 2 — O circuito de amortecimento variável usado no amplificador "Bogen", modelo DE20DF.

subentende-se que se trate de realimentação negativa por tensão. Na realidade, existem quatro tipos distintos de realimentação, a saber:

- 1) realimentação positiva de tensão
- 2) realimentação negativa de tensão
- 3) realimentação positiva de corrente
- 4) realimentação negativa de corrente.

O primeiro tipo aumenta o fator de amplificação, a distorção e a resistência de saída, enquanto que o segundo tem o efeito contrário: diminui a amplificação, distorção e resistência de saída. Na realimentação de corrente, os efeitos são os seguintes:

- positiva: aumenta o ganho e a distorção, porém, diminui a resistência da saída.
- negativa: diminui o ganho e a distorção, mas aumenta a resistência de saída.

Se usarmos apenas a realimentação negativa por tensão, então podemos chegar, teoricamente, ao ponto de atingir a resistência de saída o valor zero. Na prática, somente poderemos chegar perto deste ponto, pois, com o aumento do fator de realimentação, o amplificador resulta instável. Se, porém, aplicarmos, adicionalmente, uma realimentação positiva de corrente, então poderemos conseguir até mesmo valores negativos de resistência, embora aumente um pouco a distorção (e o ganho).

Mencionamos anteriormente que uma redução da resistência de saída, ou interna, do amplificador, abaixo de 20% da impe-

dância da bobina móvel, tem pouquíssimo efeito, porque a resistência resultante varia pouco em seu valor absoluto. Esta afirmação é correta. Realmente pouco adianta, por exemplo, baixar a resistência de saída de um amplificador de 2 para 1 ohm, quando for usado um alto-falante com bobina móvel de 4 ou 8 ohms. A situação, porém, muda completamente, se a resistência de saída se torna negativa, pois, neste caso, cancela parcialmente a resistência da bobina móvel. Teoricamente, podemos até obter um cancelamento perfeito e, com isto, um amortecimento fortíssimo; na prática, porém, isto não é possível, devido às oscilações que sempre surgem neste momento.

A primeira firma que introduziu na sua linha o «controle de variação de amortecimento» foi a «Bogen». Neste tipo de amplificador é possível modificar o fator de amortecimento entre +2, através do infinito, até -1, sendo este fator definido como sendo

$$FA = \frac{Z}{R}$$

onde Z é a impedância do alto-falante e R a resistência de saída do amplificador. Com um alto-falante de 8 ohms e tendo o amplificador uma resistência interna de 2 ohms, o fator de amortecimento é de +4.

Com uma resistência interna de zero ohm, o fator torna-se infinito e, quando a resis-

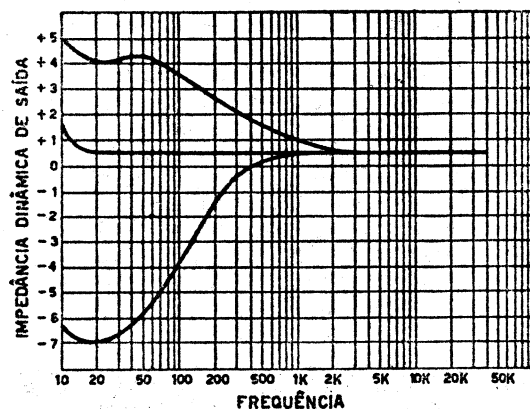


Fig. 3 — Curvas de impedância dinâmica de saída com o controle na posição mínima (curva superior), normal e máxima (curva inferior).

tência interna é tornada negativa, com valor absoluto igual ao da impedância do alto-falante, então resulta um fator de amortecimento de -1.

O circuito pelo qual é conseguido um fator de amortecimento variável é o ilustrado na figura 2. É usado um simples circuito em ponte, colocado no secundário do transformador de saída. A corrente que circula nesta

parte do circuito origina quedas de tensão proporcionais sobre as resistências de 0,47 e 0,27 ohm. Esta tensão (proporcional à corrente que circula pela bobina móvel do alto-falante) é introduzida como realimentação no cátodo da válvula preamplificadora V-1. No circuito está ainda incluso um filtro passa-baixos (composto pela resistência R e pelo condensador C), a fim de limitar a ação desta realimentação às freqüências baixas.

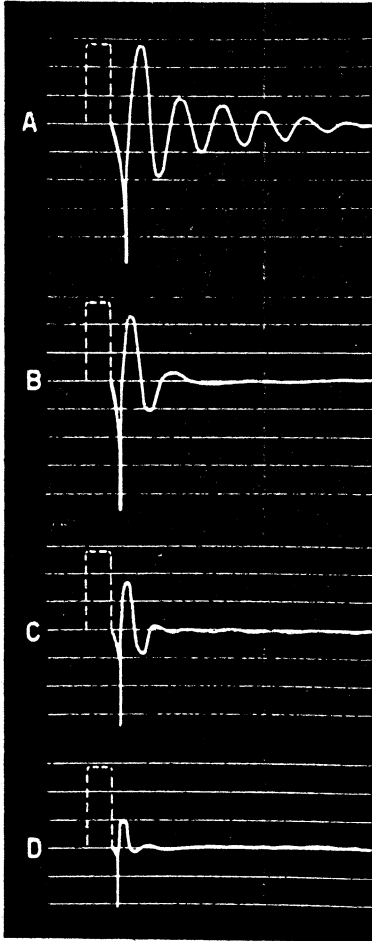


Fig. 4 — A influência do amortecimento do alto-falante sobre as respostas dos transientes: A — amortecimento fraco; D — amortecimento máximo.

No cátodo de V-1, o efeito desta realimentação de corrente combina-se com o efeito de realimentação negativa de tensão, obtida de maneira normal do secundário do transformador de saída.

No circuito de realimentação de corrente ainda está incluso um potenciômetro de 25 ohms. Em determinada posição do cursor dêste não haverá tensão entre o cursor e a terra e, portanto, não haverá realimentação de corrente. Alterando-se a posição do cur-

sor para o lado da tomada da bobina móvel, a realimentação será negativa, enquanto que o cursor, do lado do transformador de saída, provocará uma realimentação positiva. Por intermédio do ajuste do cursor pode-se, portanto, variar a impedância dinâmica para o lado positivo (realimentação negativa de corrente) ou negativo (realimentação positiva de corrente). Na fig. 3 damos as curvas de impedância de saída do amplificador DB20DF da «Bogen». Este amplificador, normalmente, possui um fator de amortecimento de 32 (impedância de saída dinâmica de 0,5 ohm, para a tomada de 16 ohms). Esta impedância pode ser variada entre +4 ohms e -7 ohms, por intermédio do controle descrito. O efeito dêste controle está limitado para 300 até 500 Hz, a fim de evitar a possibilidade de oscilação do alto-falante na freqüência mínima, mas, também, para evitar a oscilação do «tweeter» na sua freqüência de ressonância. Esta limitação não representa desvantagem, pois, somente nas freqüências baixas é importante o amortecimento do alto-falante.

Na figura 4 demonstramos como o amortecimento melhora a resposta dos transientes. A excitação do alto-falante é feita por um impulso retangular (linha interrompida), enquanto que a linha sólida representa o movimento do cone, depois da aplicação do impulso. O detalhe A corresponde a um fator de amortecimento de 0,1 (amplificador sem realimentação negativa), vendo-se claramente a grande amplitude inicial do cone, em direção oposta à da aplicação do impulso e as subseqüentes oscilações fortes. Já com um fator correspondente a 3 (detalhe B), as oscilações desaparecem muito mais rapidamente. O detalhe C mostra o movimento do cone, com fator de amortecimento infinito, e o último detalhe, finalmente, representa o fator -1,2. É imediatamente evidente a melhora da reprodução dos transientes.

Entretanto, um alto fator de amortecimento mostra a sua melhor atuação, sobre a distorção do alto-falante na reprodução de graves. Não é segredo que, mesmo os alto-falantes de alta-fidelidade possuem forte distorção quando reproduzem sons bem graves a um alto nível. Enquanto que os amplificadores podem ser construídos para, mesmo nestas freqüências e em níveis altos, resultarem distorções de fração de um por cento, os alto-falantes produzem 5, 20 e até 80 ou 90% de distorção. Com amortecimentos fortes, estas distorções podem ser baixadas para 10 a 20% do seu valor original.



# CIRCUITO DE SAÍDA EM PONTE

O circuito de saída de um amplificador é o ponto mais crítico do mesmo. Os melhoramentos conseguidos neste ponto, nos últimos anos, não foram alcançados mediante circuitos novos (fora a introdução da ligação ultralinear), mas, sim, por melhoramento na construção dos transformadores, o que veio encarecer bastante estes componentes. No presente artigo, publicamos um circuito que permite usar transformadores de saída simples e que, mesmo assim, proporciona ótima fidelidade. O circuito em questão foi publicado pela revista finlandesa «Radio» e, pelas interessantes características que possui, deve despertar o interesse daqueles que gostam de experimentar circuitos diferentes dos comuns.

Os transformadores de saída para alta-fidelidade possuem enrolamentos seccionados e encaixados um no outro, a fim de conseguir um acoplamento apertado entre os enrolamentos. Mesmo assim não se consegue um acoplamento perfeito, o que é principalmente desagradável quando as válvulas de saída trabalham em

circuito AB-1, pois provoca distorção que não pode ser reduzida pela aplicação de realimentação negativa. Este efeito é especialmente desagradável, quando o acoplamento entre cada metade do primário e o secundário for

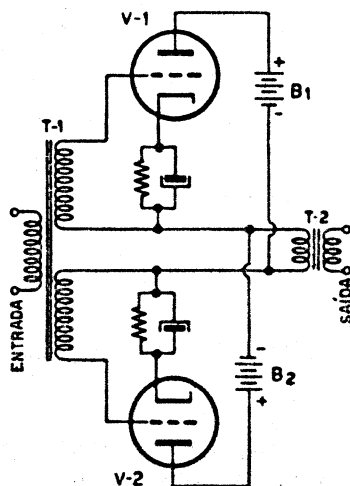


Fig. 1 — Circuito básico de saída, com o transformador de saída ligado em ponte, entre os cátodos das válvulas.

diferente. O circuito que será descrito a seguir elimina este inconveniente, pois possui um só enrolamento primário, embora o circuito de saída trabalhe realmente em push-pull.

O circuito básico para o estágio de saída está demonstrado na fig. 1. Trata-se de um circuito em ponte, com duas fontes de alimentação separadas. Enquanto que nos circuitos push-pull convencionais as duas válvulas de saída são ligadas em paralelo, em relação à corrente contínua de alimentação, e em série, em relação à corrente alternada do sinal, neste circuito, as válvulas possuem fontes de alimentação separadas e, em relação à corrente alternada do sinal, estão ligadas em paralelo. Enquanto que, por exemplo, a impedância primária do transformador de saída no circuito comum deve ser o dobro da impedância para uma das válvulas, no presente circuito esta mesma impedância é somente a metade do valor normal, ou seja,  $1/4$  em relação ao circuito push-pull comum. A baixa impedância do transformador facilita muito a sua construção, tornando-o, conseqüentemente, mais barato.

As duas correntes que atravessam o primário cancelam-se mutuamente; como no transformador push-pull comum, este pode ser cal-

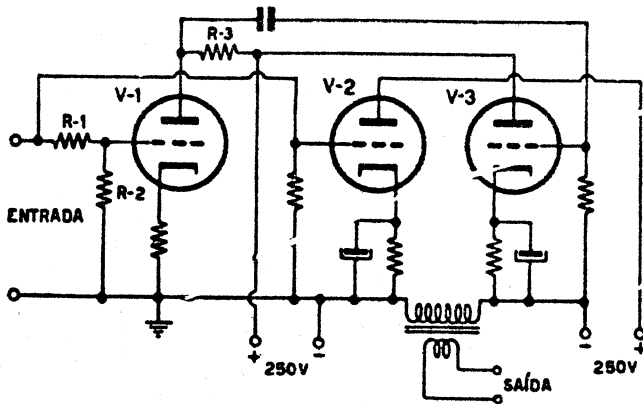


Fig. 2 — Circuito de saída em ponte, acrescido de uma válvula inversora de fase (V-1).

culado como se não fluísse corrente contínua alguma no primário. Todos os problemas com a magnetização do núcleo pela corrente contínua, portanto, não existem na construção do transformador.

A potência de saída e a tensão de excitação deste circuito são as mesmas que no correspondente circuito comum, pois, para cada válvula, a única diferença é que o transformador de saída foi incluído junto ao pólo negativo da bateria B e não junto ao pólo positivo.

A única desvantagem do circuito é a necessidade de usar duas fontes de alimentação separadas, o que aparentemente aumenta consideravelmente o preço do amplificador. Na realidade, a diferença não é muito grande, pois, cada fonte terá que fornecer, naturalmente, apenas a metade da corrente que uma única no caso anterior. Embora, naturalmente, o preço de dois transformadores pequenos seja maior que o de um só, maior, a diferença não é muito grande. Adicionalmente, não são necessários choques de filtro, junto aos retificadores, pois, pelo circuito em ponte há cancela-

mento perfeito da tensão alternada sobreposta. Para a filtragem, basta um condensador eletrolítico de 40 a

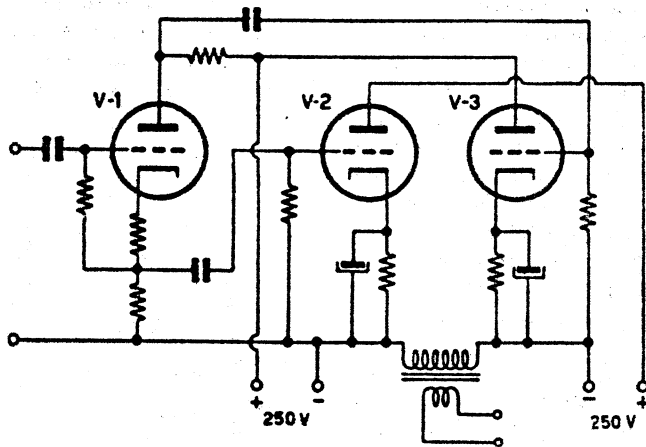


Fig. 3 — O mesmo circuito que o da figura 2, usando porém um circuito inversor de fase catódino.

50 mfd, o que naturalmente reduz consideravelmente o preço das fontes.

No circuito da figura 1, é usado um transformador de entrada, a fim de conseguir as duas tensões de excitação defasadas, para as válvulas de saída, porém, o circuito pode ser modificado para uso com uma válvula inversora de fase. Na figura 2 mostramos o circuito mo-

dificado; uma das fontes de alimentação é usada, ao mesmo tempo, para fornecer a tensão  $+B$  ao inversor. No circuito da fig. 2, a tensão de entrada é conduzida diretamente à grade de V-2, enquanto que a grade de V-3 é alimentada através da válvula V-1, recebendo, portanto, uma tensão defasada em  $180^\circ$ . A fim de que tanto V-2 como V-3 recebam a mesma tensão de excitação, é necessário que o fator de atenuação do divisor composto por R-1 e R-2 seja exatamente igual ao fator de amplificação real da válvula V-1. Nada impede, porém, o uso de um inversor de fase catódino neste circuito; as ligações correspon-

dentes, para este caso, estão indicadas na figura 3.

O circuito completo do amplificador construído conforme os princípios enumerados, aparece na figura 4. É composto de 4 válvulas: uma 6AU6 como preamplificadora de alto ganho, uma 6C4 como inversora de fase e duas EL-84 na saída. A parte do preamplificador e inversor de fase não apre-

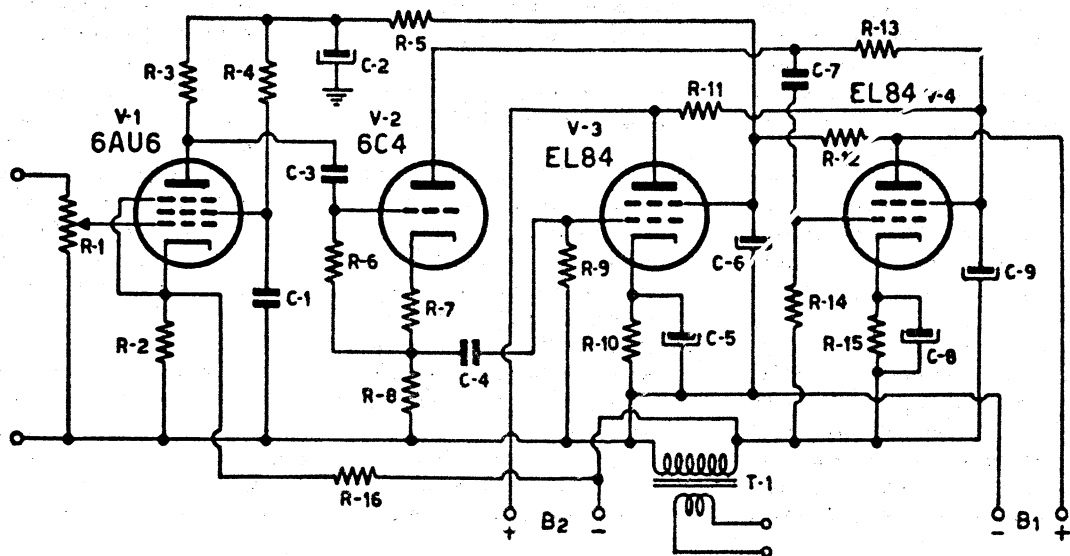
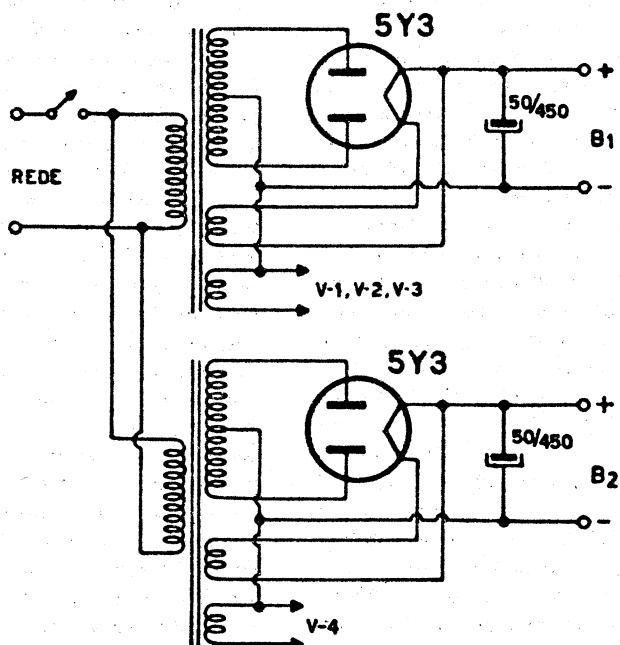


Fig. 4 — Circuito esquemático completo do amplificador experimental que deve fornecer aproximadamente 10 a 12 Watts de saída. Os valores dos componentes são: R-1: pot. 500 K; R-2: 1 K, 1/2 W; R-3: 220 K, 1/2 W; R-4: 500 K, 1/2 W; R-5: 50 K, 1 W; R-6: 500 K, 1/2 W; R-7: 1,5 K, 1 W; R-8: 47 K, 1 W; R-9: 500 K, 1/2 W; R-10: 140 Ohms, 1 W; R-11: 1 K, 1 W; R-12: 1 K, 1 W; R-13: 47 K, 1 W; R-14: 500 K, 1/2 W; R-15: 140 Ohms, 1 W; R-16: 220 K, 1/2 W; C-1: 25 Mfd, papel; C-2: 20 Mfd, 450 V, eletrol.; C-3: .02 Mfd, papel; C-4: .05 Mfd, papel; C-5: 50 Mfd, 25 V, eletrol.; C-6: 32 Mfd, 450 V, eletrol.; C-7: .05 Mfd, papel; C-8: 50 Mfd, 25 V, eletrol.; C-9: 32 Mfd, 450 V, eletrol.

senta novidades; trata-se de circuito comum, usado na grande maioria dos amplificadores. As válvulas de saída, porém, obedecem aos princípios novos, estando o transformador de saída incluso no circuito de cátodo. A impedância primária do transformador deve ser de 2 000 até 2 500 ohms somente. A impedância do secundário deve estar de acordo com a impedância da bobina do alto-falante usado. Mesmo um pequeno transformador para receptores AC-DC já proporcionará resultados surpreendentes neste circuito, mas naturalmente não é possível retirar toda a potência disponível e nem a qualidade de reprodução é a mesma que a obtida com um transformador bom.

O circuito usa realimentação negativa; para este fim foi inclusa a resistência R-16. Como a realimentação é retirada do circuito primário

Fig. 5 — Circuito esquemático da fonte de alimentação para o amplificador com saída em ponte. Os valores constam no próprio desenho.



do transformador, o valor de R-16 é bem maior que os comumente usados, simplesmente pela tensão maior existente nesta parte do circuito. A fim de equilibrar o circuito de alimentação, as válvulas preamplificadora e inversora são alimentadas a partir de fontes +B diferentes.

As fontes de alimentação para o amplificador estão ilustradas na fig. 5. Trata-se de retificadores simples, com transformadores de 60 mA,  $2 \times 275$  V. Um condensador eletrolítico de 40 a 50 mfd

é suficiente para cada retificador, como filtragem.

As vantagens proporcionadas por este circuito são:

- 1) O transformador de saída possui um só enrolamento primário, resultando, assim, mais barato que o correspondente transformador push-pull.
- 2) A impedância de carga é somente 1/4 da impedância do circuito push-pull.
- 3) O primário do transformador de saída não é percorrido pela corrente

contínua, evitando, assim, qualquer perigo de saturação do núcleo.

- 4) O transformador de saída pode ser construído como autotransformador. Para amplificadores de alta potência, consegue-se um aumento na eficiência do transformador, bem como uma redução do custo.

Sugerimos aos nossos leitores, interessados em experiências, que aproveitem essa idéia original e muito gratos ficaríamos se nos relatassem os resultados obtidos.

## FILTROS DIVISORES DE FREQUÊNCIA

(Cont. da pág. 96)

cação são bastante elevadas e um erro de 50% no valor de um dos condensadores já pode alterar completamente a frequência-limite de um filtro.

Naturalmente, é também possível subdividir a reprodução entre 3 alto-falantes e, neste caso, o divisor de frequência também deve ter 3 saídas. Costuma-se, então, usar um alto-falante grande somente para os graves, outro alto-falante menor para os médios e um terceiro alto-falante pequeno para os agudos. Novamente, as frequências-limite dos filtros dependem dos tipos de alto-falantes usados. Para alto-falantes comuns, costuma-se pôr as divisões de faixa em 600 e 5 000 Hz, isto é, de 30 até 600 Hz trabalha o alto-falante de 12", de 600 até 5 000 Hz um alto-falante de 8" se incumbe da reprodução, enquanto que as frequências acima de 5 000 Hz são reproduzidas por um alto-falante pequeno, de 4",

ou, então, por um «tweeter» especial.

O circuito correspondente a este filtro está ilustrado na fig. 6, enquanto que a tabela 2 dá os dados correspondentes, para as demais impedâncias de saída. Igualmente, constam o número de espiras de cada bobina, assim como o diâmetro externo do carretel. Como no caso anterior, é usado fio 18 esmaltado para todos os enrolamentos.

Ao escolher os alto-falantes, é necessário cuidar da impedância correta da bobina móvel. Não se deve usar, por exemplo, um alto-falante grande de 8 ohms e outro pequeno de 4 ohms, pois, neste caso, tanto a impedância de entrada do filtro resulta num valor intermediário entre 8 e 4 ohms, como a distribuição de potência resulta desigual e, finalmente, também a frequência-limite sofre bastante alteração. Também não é possível igualar as impedâncias, incluindo resistências em série com a

bobina móvel de menor impedância, pois, neste caso, é alterado o nível relativo de potências recebidas pelos alto-falantes. A única possibilidade é a combinação de alto-falantes, para alcançar o valor correto. No caso acima, pode-se usar dois alto-falantes pequenos, de 4 ohms, ligados em série, tendo, neste caso, ambos os conjuntos 8 ohms.

Ao montar os divisores de frequência, deve ser tomada uma única precaução: não deve existir acoplamento entre as diversas indutâncias do conjunto. Se fôr inevitável colocar uma indutância nas proximidades da outra, é necessário escolher tal posição que os eixos dos carretéis formem ângulos retos entre si. No restante, não há quaisquer recomendações especiais, a não ser que deve ser evitada a proximidade de objetos e peças de ferro, das indutâncias. Uma blindagem do conjunto não é necessária.

# FILTROS DIVISORES DE FREQUÊNCIA

A adaptação de vários alto-falantes a receptores ou amplificadores está se tornando cada vez mais popular, de um lado, porque proporciona realmente uma melhora na reprodução sonora, e de outro, porque a propaganda referente à alta-fidelidade sugere ao leigo a impressão de que, quanto mais alto-falantes possui o equipamento, tanto melhor a fidelidade de reprodução.

Infelizmente, esta propaganda deu lugar a excessos, tanto por parte da indústria, como também dos montadores em geral. No intuito de aumentar o número de alto-falantes, foi, em muitos casos, substituído o alto-falante de 12" por dois de 8" ou, então, foi acrescentado simplesmente, ao alto-falante grande, um pequeno. Na grande maioria dos casos, estas adaptações resultam numa decepção: não há alteração alguma na qualidade de reprodução ou, então, a mesma até piora sensivelmente.

A adaptação ou troca de alto-falantes somente pode proporcionar melhora na reprodução, se for feita corretamente e se o amplificador usado no conjunto possuir as qualidades necessárias.

Se, por exemplo, um amplificador tiver muita distorção nas frequências elevadas, a reprodução em conjunto com um alto-falante comum pode resultar melhor do que com um alto-falante de boa qualidade, por não reproduzir, o primeiro, as frequências

os fabricantes preferem construir alto-falantes compostos de 2 ou 3 unidades separadas, encaixadas uma na outra, a fim de reduzir o espaço ocupado pelo conjunto. Resultam, assim os alto-falantes coaxiais. À cada sistema desta unidade é condu-

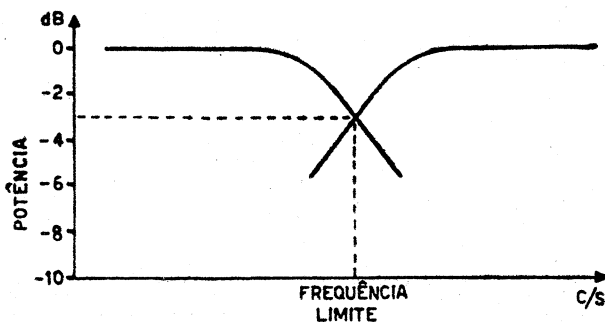


Fig. 1 — Como frequência-limite de um circuito de filtro, denomina-se a frequência em que a potência de saída do filtro baixa para a metade da potência de entrada, o que, na escala de decibéis, corresponde a uma redução de 3 dB.

elevadas e, com isto, a distorção presente. Neste caso, a adição de um alto-falante para os agudos dará um resultado negativo, pelo fato de reproduzir, exclusivamente, a distorção.

Se, porém, usarmos um amplificador bom, é geralmente o alto-falante que limita a qualidade de reprodução. Como é muito difícil construir alto-falantes que reproduzam todo o espectro sonoro com boa fidelidade,

zida uma parte do espectro de áudio, a qual é reproduzida, então, com a máxima fidelidade possível.

No lugar de um alto-falante com 2 ou 3 sistemas, também poderemos usar 2 ou 3 alto-falantes separados, sempre que sejam escolhidos tipos adequados. Os alto-falantes de grande diâmetro, por exemplo, são destinados à reprodução das frequências baixas, pois, a área do cone é grande e, pelo

pêso do cone e bobina móvel, a frequência de ressonância resulta baixa. Alto-falantes pequenos possuem um cone de pêso bem menor e, portanto, podem seguir melhor as rápidas vibrações das frequências altas; por outro lado, a pequena área do cone é suficiente para a reprodução destas frequências.

naturalmente, pode receber as frequências elevadas, pois, são sempre de amplitude pequena, mas mesmo isto não é conveniente, pois, pode haver uma interação entre frequências baixas e altas, o que aumentaria a distorção. Para enviar a cada alto-falante as frequências que lhes cabem, são usados os divisores de frequência.

cia de saída do filtro baixa em 3 dB (ou seja, fornece a metade da potência normal); nesta frequência, portanto, ambos os alto-falantes recebem exatamente a metade da potência disponível na entrada do filtro (figura 1). Neste caso, a transição da reprodução se dá gradativamente, de um alto-falante ao outro, sendo, naturalmente, necessário que os alto-falantes reproduzam ainda, perfeitamente, as frequências adjacentes ao limite do filtro, pois, nesta região, são os dois alto-falantes responsáveis, simultaneamente, pela tonalidade de reprodução.

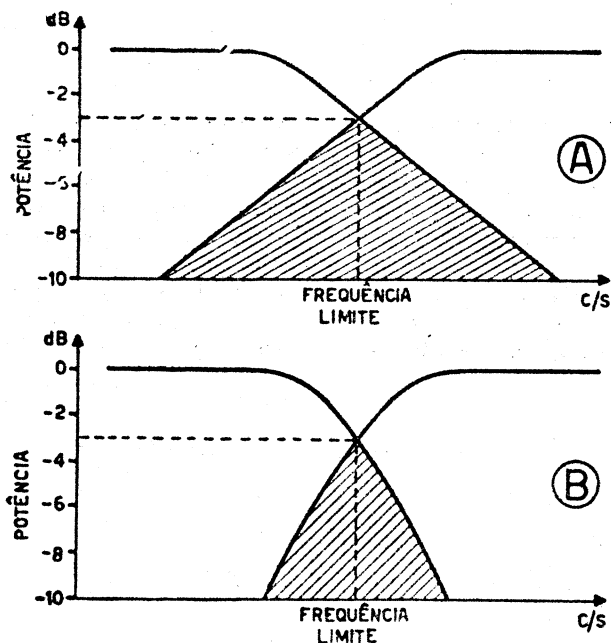


Fig. 2 — O corte de frequência de ambos os filtros deve ser relativamente agudo, para que o alto-falante de uma faixa não receba potência demasiada da outra. A área sombreada nos desenhos acima, indica a região onde ambos os alto-falantes recebem potência simultaneamente. Em A, o corte é insuficiente; o detalhe B mostra um corte correto.

Infelizmente, a simples ligação em paralelo de um alto-falante grande com outro pequeno, para a reprodução de todo o espectro, não é possível. O alto-falante pequeno, por exemplo, seria sobrecarregado quando recebesse as correntes intensas, correspondentes às frequências baixas. Portanto, torna-se necessário impedir que as frequências baixas atinjam o alto-falante pequeno. O alto-falante grande,

Nos sistemas que usam 2 alto-falantes, estes divisores são compostos por um filtro passa-baixos e outro passa-altos. As frequências-limite de ambos os filtros devem ser as mesmas; se, por exemplo, o filtro passa-baixos possuir um limite superior de 1 000 Hz, então a frequência-limite inferior do outro filtro também deve ser de 1 000 Hz. Como frequência-limite denominamos a frequência na qual a potên-

Além da frequência-limite do filtro, exerce também grande influência sobre o desempenho do mesmo a atenuação do sinal de saída, além da frequência-limite de cada canal. Se a atenuação for pouca, há uma larga faixa de frequências, na qual ambos os alto-falantes recebem ainda apreciável potência, que entretanto não lhes cabe (fig. 2-A). Por outro lado, o corte dos filtros também não deve ser muito

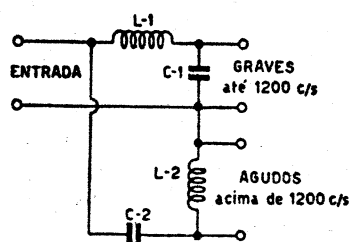


Fig. 3 — Filtro divisor para 2 alto-falantes, com corte de 12 dB por oitava e frequência de transição de 1 200 Hz. Os valores das indutâncias e dos condensadores, para as diversas impedâncias, estão compilados na tabela 1.

agudo, pois, neste caso, pequenas diferenças na frequência-limite dos mesmos já produzem fortes alterações no nível de reprodução. A atenuação mais adequada

é de 6 ou 12 dB por oitava (uma oitava corresponde ao dobro ou à metade da frequência em questão).

A escolha da frequência-limite é de grande importância, quando são usados alto-falantes especiais, com faixas de resposta restritas, mas

mo os pequenos reproduzem perfeitamente.

O circuito de filtro que resulta das considerações mencionadas até esta altura está ilustrado na figura 3. O filtro passa-baixos é formado pela indutância L-1, em conjunto com o conden-

TABELA 1

Divisor de frequência da figura 3

Impedância $\Omega$	L-1 e L-2 (mH)	C-1 e C-2 $\mu\text{F}$	Espiras	Diâm. Carretel (mm)
4	0,75	22	240	50
8	1,5	11,5	305	50
16	3,0	6	410	75

não é crítica, se usarmos alto-falantes comuns, destinados à reprodução de faixas mais amplas. Para este último caso, podemos fixar a frequência-limite para 1 200 Hz, pois, nesta região, tanto os alto-falantes grandes co-

sador C-1, enquanto que o filtro passa-altos é composto por L-2 e C-2. Como a frequência-limite para ambos os filtros é idêntica, os valores das duas indutâncias e dos dois condensadores são os mesmos.

Infelizmente, os valores dos componentes do filtro variam com a impedância dos alto-falantes usados. Na tabela 1 damos os valores dos componentes, inclusive o número de espiras que devem ser enroladas sobre o carretel, para resultar a indutância indicada, pois não é possível adquirir as indutâncias, já prontas, no mercado.

O enrolamento das indutâncias é fácil e não requer aparelhamento especial. A forma deve ser aprontada com as dimensões constantes na figura 4. O núcleo central é um pedaço de madeira redonda (um cabo de vas-

soura geralmente possui o diâmetro certo) no qual é feito um furo central, para dar passagem a um parafuso de latão (ferro não deve ser usado). As bordas laterais podem ser de qualquer material isolante; podem ser redondas ou quadradas. Ao montar o conjunto, aplica-se um pouco de colatudo nas superfícies laterais do núcleo, a fim de dar maior rigidez ao carretel. O mesmo parafuso que segura o carretel pode ser usado, mais tarde, para prendê-lo num

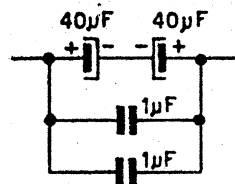


Fig. 5 — Combinação de condensadores para conseguir uma capacidade total de 22 mfd. Se possível, é conveniente conjugar os condensadores de tal maneira que, pelo menos, 20% da capacidade total sejam do tipo de papel.

suporte qualquer. O diâmetro das paredes laterais depende do número de espiras que deve caber; até 300 espiras cabem num carretel com 50 mm de diâmetro; se for usado maior número de espiras, é necessário usar um diâmetro de 75 mm. Para o enrolamento é usado, em todos os casos, fio esmaltado nº 18; não é necessário fazer um enrolamento em camadas, mas deve-se cuidar de não desperdiçar espaço demasiado.

Os condensadores são de capacidade relativamente elevada; o uso de condensadores de papel (o que seria o ideal) geralmente não é possível, tanto pelo custo deste tipo de condensador, como pelo espaço ocupado. Conseqüentemente, é necessário usar condensadores

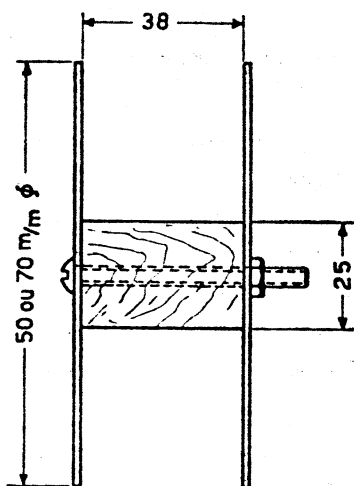


Fig. 4 — Medidas do carretel de enrolamento das indutâncias. Qualquer material isolante serve para a construção; o parafuso deve ser de material não ferroso (latão é o indicado).

eletrolíticos. Infelizmente, estes condensadores são fabricados somente com tolerância bastante grande (entre +50 e -20% de tolerância) e a sua constância também não é alta, mas, como não existe outra possibilidade, são usados estes condensadores, praticamente em todos os divisores de frequência. Para obter condensadores não polarizados, é necessário ligar dois eletrolíticos em série, cada um com o dobro da capacidade requerida. Os dois pólos negativos dos condensadores devem ser entreligados e as ligações do circuito feitas aos dois pólos positivos. O condensador C-1, para a impedância de 4 ohms, por exemplo, deve ter 22 mfd; portanto, devemos usar, para este fim, dois condensadores de 44 mfd, entreligados com os pólos negativos e fazendo as ligações ao circuito pelos pólos positivos.

Condensadores com este valor nominal, dificilmente serão encontrados, mas po-

dos em paralelo com o conjunto todo. As ligações que resultam, com este exemplo, estão ilustradas na fig. 5. Esta ligação em paralelo

teram o seu desempenho) esta alteração é muito menos pronunciada. A tensão de trabalho dos condensadores deve ser, pelo menos, de 50

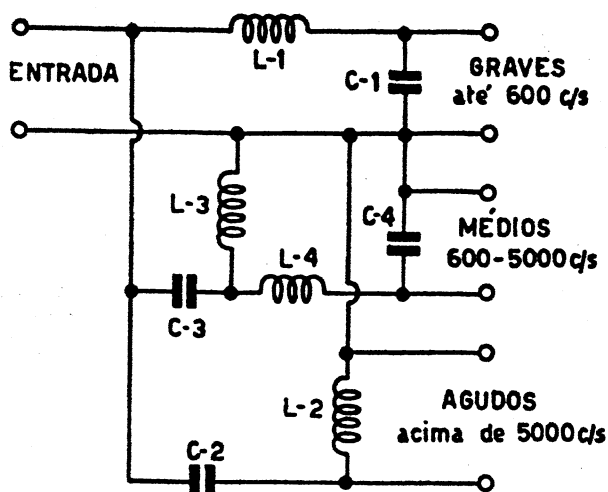


Fig. 6 — Filtro divisor de frequências para 3 alto-falantes, proporcionando 12 dB de atenuação entre as faixas. Os valores dos componentes estão computados na tabela 2. As frequências de transição são de 600 e 5 000 Hz.

de condensadores de papel, aliás, tem outra vantagem: o efeito dos condensadores eletrolíticos pode diminuir bastante, em conjunto com

volts; só para os filtros com impedância de 4 ohms é também possível usar os tipos com 25 volts de tensão de trabalho.

TABELA 2  
Divisor de frequências da figura 6

Impedância $\Omega$	L-1 e L-3 (mH)	L-2 e L-4 (mH)	C-1 e C-3 ( $\mu F$ )	C-2 e C-4 ( $\mu F$ )	Espiras L-1 e L-3	Espiras L-2 e L-4	Diam. L-1 e L-3	Diam. L-2 e L-4
4	1,5	0,15	50	6,5	305	130	50	50
8	3,0	0,35	25	3,2	410	180	75	50
16	6,3	0,75	13	1,7	510	240	75	50

de-se usar eletrolíticos de 40 mfd, o que resulta numa capacidade final de 20 mfd, e completar os 2 mfd faltantes, por intermédio de condensadores de papel, liga-

freqüências elevadas, o que, naturalmente, é prejudicial para o desempenho do filtro; pela ligação em paralelo de condensadores de papel (que, praticamente, não al-

Sempre que possível, deve ser medida a capacidade dos eletrolíticos usados, pois, como já mencionamos, as tolerâncias normais de fabricação  
(Cont. na pág. 92)



# ALTO-FALANTES

- OS ALTO-FALANTES
- PONTOS CRÍTICOS DE UM ALTO-FALANTE, SUJEITOS A DETERIORAÇÃO
- MELHORA DA QUALIDADE SONORA EM INSTALAÇÕES CASEIRAS
- UM MÓVEL ACÚSTICO
- «BASS-REFLEX»
- CONSIDERAÇÕES SÓBRE A CONSTRUÇÃO DE MÓVEIS ACÚSTICOS



**LEIA E ASSINE  
REVISTA MONITOR DE  
RÁDIO E  
TELEVISÃO**

- A REVISTA ELETRÔNICA DE MAIOR CIRCULAÇÃO NO BRASIL.
- TIRAGEM SUPERIOR A 20.000 EXEMPLARES.
- ARTIGOS SELECIONADOS, INTERESSANDO DESDE AO TÉCNICO AMADOR ATÉ AO ENGENHEIRO ELETRÔNICO.
- O MAIOR VEÍCULO DE PUBLICIDADE DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO DE PRODUTOS ELETRÔNICOS DO PAÍS.
- INFORMANDO AO LEITOR ONDE ENCONTRAR O MELHOR COMPONENTE PELO MELHOR PREÇO.

19 ANOS DIVULGANDO A TÉCNICA A SERVIÇO DA ELETRÔNICA.

EDITADA PELO INSTITUTO RÁDIO TÉCNICO MONITOR — O MAIOR ESTABELECIMENTO DE ENSINO POR CORRESPONDÊNCIA DA AMÉRICA LATINA

REVISTA MONITOR  
DE  
RÁDIO E TELEVISÃO  
R. DOS TIMBIRAS, 263 - C. POSTAL, 5009  
FONES: 32-3141 e 32-3142 (R. INTERNA)  
SÃO PAULO

**PREÇOS DA ASSINATURA**

12 NÚMEROS - SIMPLES	.....	NCr\$ 9,00
12 " - REGISTRADA	.....	NCr\$ 10,50
12 " - AÉREA	.....	NCr\$ 15,00

**UTILIZE ESTE CUPON PARA EFETUAR A SUA ASSINATURA**

Queira anotar uma assinatura de doze números da "REVISTA MONITOR DE RÁDIO E TELEVISÃO" a partir do mês de

..... de 19.....; em pagamento da mesma estou

incluindo um <sup>Vale Postal</sup>..... na importância de NCr\$ .....  
Cheque

Nome: .....

Rua: .....

Cidade: .....

Estado: .....

# OS ALTO-FALANTES

O alto-falante deve reproduzir uma variedade enorme de sons: tem de imitar um violino, mas também o bombo; tem de reproduzir o ruído provocado por um trem, mas também o canto de um passarinho. O mais incrível, afinal de contas, é que todos estes sons são originados por um pedaço de papelão: o cone do alto-falante. Pela complexidade de movimentos que tem de executar, o cone constitui a parte mais crítica na construção de um bom alto-falante. Não queremos descrever a construção básica, nem a teórica do funcionamento de um alto-falante dinâmico, pois quem se interessar por alta-fidelidade já deve ter conhecimentos sólidos de rádio e audiodfrequência. Visa, no entan-

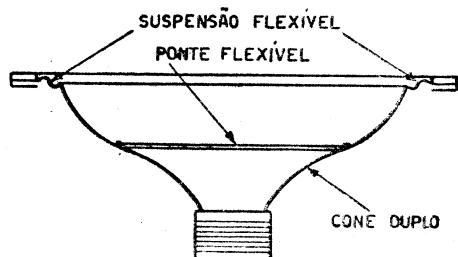


Fig. 1 — A fábrica "Hartley" está construindo um alto-falante com cone fora do comum, composto de 2 seções entrelaçadas por uma ponte flexível.

to, este artigo mostrar as dificuldades que apresenta a construção de um bom alto-falante e quais as soluções apresentadas pela indústria especializada, para conseguir uma reprodução de alta-fidelidade.

Existem atualmente três teorias a respeito da construção ideal de um cone, duas das quais diametralmente opostas: a primeira ensina que o cone ideal deve ter rigidez absoluta, enquanto que a segunda afirma que deve ser altamente

flexível; finalmente, a terceira é uma combinação das duas anteriores, pois diz que o cone deveria ser composto de um grande número de pequenos discos de extrema rigidez, que não tenham, entretanto, influência uns sobre os outros (o que significa, para o conjunto todo, extrema flexibilidade).

Estas teorias mostram a dificuldade que surge ao ser escolhido o cone para o alto-falante: para as frequências baixas é preciso que o cone seja bastante rígido e suspenso com grande flexibilidade, pois só assim pode agir como uma espécie de pistão, com grande amplitude dos seus desvios e deslocando assim grande quantidade de ar. Nas frequências altas a suspensão deveria ser mais rígida e a massa do conjunto bobina móvel cone deveria ser a mínima possível, para que todo o conjunto possa seguir as rapidíssimas vibrações. Extrema rigidez e peso mínimo são, porém, fatores contraditórios e o fabricante é obrigado a escolher o meio termo que melhor se adapte ao caso específico.

Atualmente são seguidos dois caminhos para se conseguir a reprodução de todas as frequências audíveis: o primeiro é de aperfeiçoar a construção do cone dos alto-falantes e o outro é de usar 2, 3 ou mais alto-falantes especiais, sendo cada um construído para a reprodução perfeita de uma determinada parte do espectro audível.

Trataremos inicialmente do primeiro caso. Consegue-se aliar ao peso mínimo da parte móvel do alto-falante a rigidez necessária, usando cones de papel especial, nos quais a espessura vai diminuindo da parte interna para a externa. Adicionalmente, o cone é impregnado de forma diferente, nos diferentes pontos: perto da bobina móvel é baquelitizado, a fim de ficar bem rígido, enquanto que na periferia, onde é

fino, o impregnante é de grande flexibilidade e serve ao mesmo tempo como agente amortecedor. Em adição, as paredes do cone não são feitas em forma retilínea, mas sim levemente curvas, o que aumenta ainda mais a rigidez próximo à parte central.

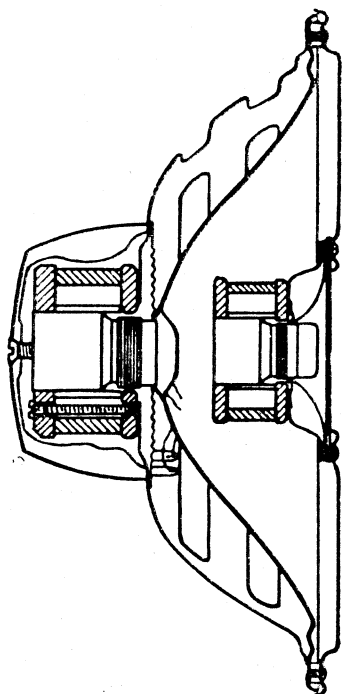


Fig. 2 — O alto-falante GE Al-400 é composto de um alto-falante para os sons baixos e outro pequeno para os agudos.

Mesmo assim não se consegue fazer trabalhar o cone todo como uma espécie de pistão rígido nas frequências altas; acima de uma certa frequência-limite pode acontecer que somente a parte interna do cone acompanha os movimentos rápidos da bobina móvel, enquanto que a parte externa permanece imóvel ou oscila numa frequência mais baixa. Este último fenômeno, aliás, deve ser evitado a todo o custo, pois é natural que isto provocaria o aparecimento de sons que não existiam originalmente. Este "desdobramento" do cone, a partir de certas frequências, muitas vezes é facilitado pelo fabricante, pela inclusão de corrugações circulares. Quanto mais alta a frequência reproduzida, tanto menor a área do cone que realmente produz som. Muitas vezes existe adicionalmente uma calota metálica (de alumínio finíssimo) sobre a abertura da bobina móvel e que serve, nas frequências altíssimas, como um pequeno cone adicional. A fim de tornar o peso da bobina o menor possível, é usado para o enrolamento fio de alumínio de seção retan-

gular. Com isto consegue-se aliar os requisitos de mínima resistência e mínimo peso.

Em busca de máxima rigidez e mínimo peso foram tentadas ainda outras soluções. Um cone muito interessante, por exemplo, foi produzido por Hartley (Inglaterra). O cone, de 10 polegadas, é composto de 2 seções unidas por uma junta flexível. As duas seções têm curvaturas opostas e a bobina móvel é constituída por fio de alumínio de seção retangular enrolado sobre uma fôrma também de alumínio; o cone é suspenso na sua parte exterior por meio de um tecido especial muito flexível. Neste caso, o cone trabalha como uma só peça nas frequências baixas, sendo utilizado, para as frequências altas, apenas a pequena seção interna.

Em consequência das grandes dificuldades que se apresentam na construção de cones para a reprodução de toda a faixa audível, procurou-se usar alto-falantes especiais para determinadas faixas de frequências. Comumente, a faixa é subdividida em duas partes: das frequências baixas até 800 ou 1000 Hz, que são reproduzidas por um alto-falante de grande diâ-

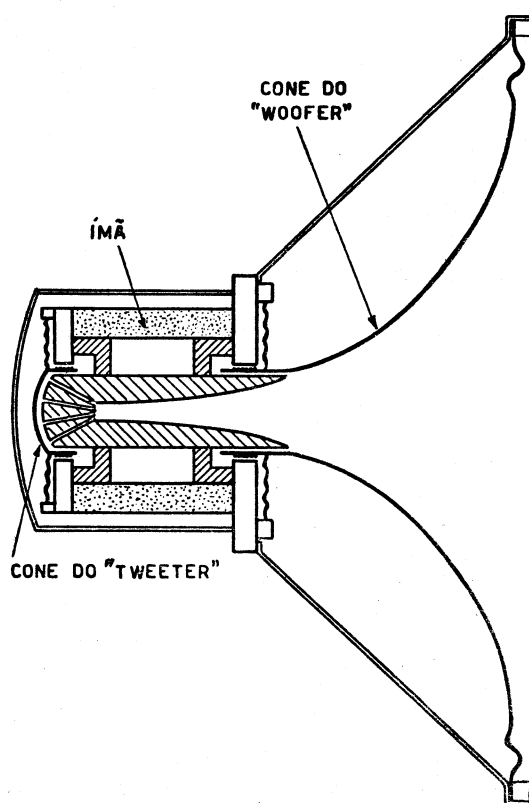


Fig. 3 — Nos alto-falantes "Tannoy" o "tweeter" está incorporado no sistema do "woofer", agindo o cone deste último como parte de uma corneta.

metro e baixa ressonância do cone (denominado "woofer"), sendo o restante do espectro reproduzido por um ou mais alto-falantes pequenos com cone, pois somente estes são capazes de reproduzir com eficiência as frequências relativamente baixas (para este tipo de alto-falantes) de 600 a 1500 Hz até ao limite superior da faixa audível. Quando, porém, o "woofer" trabalha até 1500 ou 3000 Hz, são usados "tweeters" com cornetas, pois, para frequências elevadas, o tamanho das cornetas não resulta exagerado. Os dois alto-falantes não devem ser simplesmente ligados à saída do amplificador, pois o "tweeter" seria danificado pelas grandes amplitudes correspondentes às baixas-frequências. Por este motivo costuma-se ligar o "tweeter" através de um filtro passa-altos, que evita então que este alto-falante seja sobrecarregado pelas frequências baixas.

A grande dificuldade na combinação dos alto-falantes acima citados consiste na coordenação das curvas de resposta, pois em conjunto eles devem apresentar uma resposta plana. Isto significa que a atenuação de um deve combi-

nar exatamente com o aumento de potência sonora do outro. Como até mesmo a posição relativa dos alto-falantes possui influência neste particular, a indústria desenvolveu alto-falantes em que ambos os sistemas são montados num conjunto só. Um bom exemplo deste tipo de alto-falante é o GE A1-400. Consiste de um alto-falante de cone, com baixa ressonância, sendo que na cavidade formada pelo cone grande está colocado um alto-falante pequeno. A frequência de transição está em redor de 2000 Hz, servindo um simples condensador de papel, ligado em série com a bobina móvel do "tweeter", como filtro de passa-altos.

Outra solução para o problema é a inclusão de uma corneta para os sons agudos no interior de um alto-falante comum, sem aumentar as dimensões do mesmo. Na fig. 3 vemos um corte desta interessante combinação. O ímã permanente possui dois entreferros, sendo no da parte da frente colocada a bobina móvel do "woofer", com o cone correspondente. O pino central do ímã está furado, formando, juntamente com o cone grande, uma corrente exponencial.

O pequeno cone para esta corneta está situado na parte traseira do alto-falante, sendo que a bobina móvel do cone (que na realidade é apenas uma calota de alumínio) está colocada no entreferro circular traseiro do ímã.

Para os sistemas de mais alta classe até são usados três alto-falantes, um para os sons baixos, outro para os médios e o terceiro, finalmente, apenas para os sons bem agudos. Uma forma de combinar estes três sistemas, num só, resulta no chamado alto-falante "triaxial".

Este alto-falante é de construção semelhante à do anteriormente descrito, usando porém um ímã adicional para a bobina móvel do cone, para as frequências médias. As frequências ultra-altas são reproduzidas por um pequeno "tweeter", colocado no interior da cavidade do cone grande.

Todos os alto-falantes necessitam, naturalmente, de um móvel acústico apropriado, para podermos reproduzir os sons graves com a devida eficiência.

Geralmente, os fabricantes têm à venda os móveis mais adequados para os diversos tipos, ou então fornecem dados de construção exatos para estes últimos.

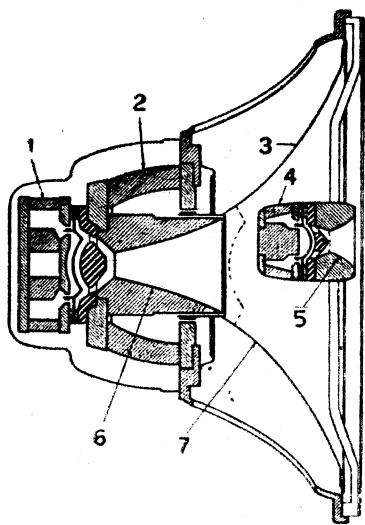


Fig. 4 — O alto-falante "Jensen" G-610 incorpora na realidade 3 alto-falantes: 1 — ímã do alto-falante corneta para os sons médios; 2 — ímã do alto-falante para os graves; 3 — cone do "woofer"; 4 — ímã do "tweeter"; 5 — corneta do "tweeter"; 6 — pino central do "woofer", furado para formar parte da corneta; 7 — cone, servindo ao mesmo tempo como corneta.

# PONTOS CRÍTICOS DE UM ALTO-FALANTE SUJEITOS À DETERIORAÇÃO

O desempenho de um alto-falante assemelha-se ao de uma válvula; de um modo geral, presta seus serviços por um largo período, porém, a sua qualidade não continua sendo a mesma que no início de sua vida, uma vez que diversos de seus elementos constituintes estão sujeitos à deterioração.

O ímã dos alto-falantes, que segundo a crença geral possui uma duração indefinida, é, pelo contrário, extremamente suscetível à deterioração.

Para se obter uma resposta ampla de frequências, é preciso dispor de um campo magnético intenso no entreferro, para produzir um acoplamento

produziram estruturas magnéticas, graças às quais era possível obter um campo magnético muito mais intenso no entreferro, com um ímã de tamanho consideravelmente reduzido. Todos esses excelentes materiais magnéticos são obtidos mediante a orientação molecular; isto se consegue, mediante processos especiais, durante a imantação. Algumas das tentativas iniciais para a produção de melhores materiais magnéticos deram resultados espetaculares, mas as propriedades obtidas deterioravam-se após um curto período, em consequência de instabilidade na estrutura molecular do material empregado.

Pesquisas posteriores adicionaram novos elementos e processos de fabricação mais rigorosamente controlados, para a consecução de maior grau de estabilidade, de maneira que o ímã ficasse apto a conservar as suas propriedades à medida que fôsse envelhecendo. Entretanto, apesar dessas melhoras no aço de grande eficiência, empregado na fabricação dos ímãs, ainda existe a deterioração progressiva com o envelhecimento. Isto se deve ao fato de que o ímã é inevitavelmente sujeito a vibrações que resultam em contínuos choques à sua estrutura molecular. Embora os modernos materiais sejam, na reali-

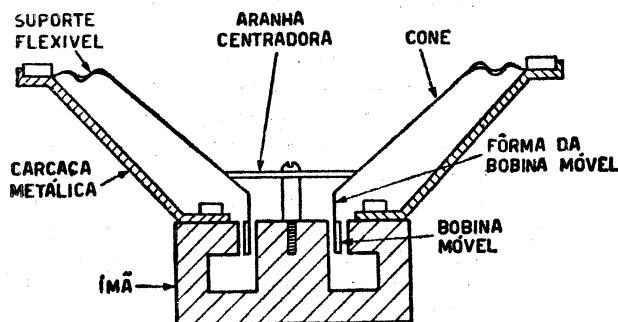


Fig. 1 — Seção de um alto-falante típico, indicando as partes vulneráveis.

Os alto-falantes podem ser classificados em dois tipos. Um, é a unidade múltipla, com rês divisoras elétricas, formada por uma unidade de baixa-frequência de grande tamanho, uma unidade para frequências médias, de tamanho moderno, e um tweeter. O outro tipo normalmente possui, um diâmetro em redor de 8", e constitui-se de uma única unidade, destinada à reprodução de toda a faixa de frequências.

eletromagnético eficiente entre o movimento da bobina móvel e o circuito elétrico do amplificador. Os primeiros alto-falantes usavam um dispositivo magnético de grande tamanho e tinham de ser imantados pela corrente contínua, através de um enrolamento excitador no ímã, a fim de obter um fluxo magnético suficiente para um desempenho satisfatório.

Entretanto, as pesquisas feitas com materiais magné-

dade, altamente estáveis com relação aos tipos antigos, todos eles são afetados por algum tipo de fadiga e, eventualmente, deterioram-se.

Isto significa que, quando o ímã de um alto-falante atinge uma idade de vários anos, o campo magnético no entreferro da bobina móvel não é mais tão intenso quanto era, ao ser fabricado o componente. O resultado dessa deterioração do ímã sobre a curva de resposta do alto-falante é ilustrado na figura 2.

A deterioração do campo magnético no entreferro reduz o grau de amortecimento, que o amplificador pode transferir à ressonância fundamental de baixa-frequência do sistema do alto-falante. Isto significa que o alto-falante começa a perder seu controle de frequências; não mais se acha em condições de proporcionar um desempenho constante. As correntes na bobina móvel não exercem o controle rígido sobre o movimento do diafragma. Isto geralmente resulta num aumento da distorção por intermodulação e deterioração da reprodução das frequências elevadas.

O conjunto da bobina móvel é também bastante vulnerável,

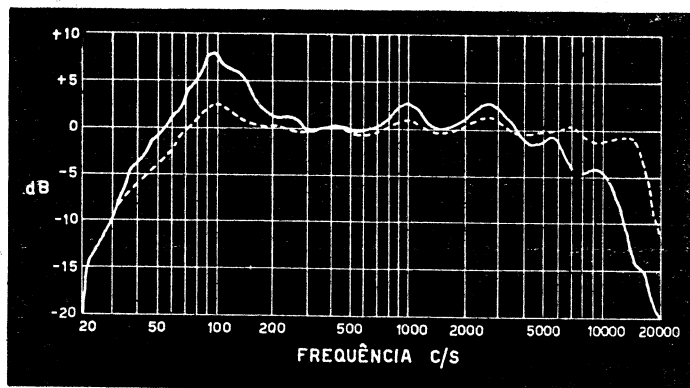


Fig. 2 — Efeito da deterioração do ímã sobre o desempenho do alto-falante; a linha intertrilhada representa a curva do alto-falante, quando novo, e a linha cheia o resultado da deterioração.

pois está sujeito a esforços extremamente grandes durante o movimento do cone. A força propulsora é dada pelo fluxo das correntes de áudiofrequência nas espiras da bobina; o movimento desta é transmitido à fôrma do enrolamento, por meio de um adesivo, que fixa essas espiras. O movi-

alto-falantes. Muitas vezes verificou-se que a força aplicada nessa bobina era tão grande que virtualmente arrancava as espiras da sua base. Foram afinal aperfeiçoados adesivos suficientemente fortes para manter as espiras em seus lugares, por um período quase indefinido.

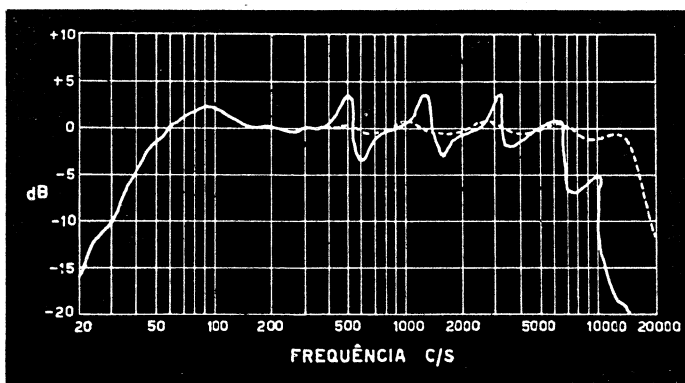


Fig. 3 — O envelhecimento e a fadiga do material do cone causa os efeitos indicados pela linha cheia. A linha intertrilhada mostra a curva do alto-falante, quando novo.

mento da fôrma, por sua vez, é transmitido ao cone ou diafragma do alto-falante.

O material empregado para "soldar" as espiras da bobina à sua fôrma serviu como assunto de um considerável número de pesquisas, nos primeiros tempos da construção de

Entretanto, ficou provado que, ainda assim, as variações climáticas não deixaram de ter sua influência sobre a bobina. É, por exemplo, impossível excluir as variações de temperatura e umidade, pois o alto-falante deve ficar em contato com o ar, para que possa criar ondas sonoras. É evidente, pois, que, se se excluir o ar de um alto-falante, forçosamente seria impedida a formação de ondas sonoras. Portanto, as alterações de temperatura e umidade, que ultrapassam certos limites, afetam a expansão e contração dos diferentes materiais de que se compõe o conjunto da bobina móvel, causando assim tensões mecânicas, em adição àquelas provocadas pela ação normal do alto-falante.

Eventualmente, qualquer que seja a natureza dos materiais empregados nesse conjunto,

ocorrerão fadiga e deterioração. As espiras podem não se soltar, mas a qualidade do adesivo pode mudar, com o resultado que as propriedades de transmissão que acoplam as espiras da bobina móvel à fôrma vão sofrer uma alteração, provocando perdas no

ressonâncias múltiplas; isto resulta em resposta irregular na parte alta da faixa. Além disso, a distribuição da energia sonora através do aposento torna-se irregular, pois, em algumas direções as ressonâncias provocam a neutralização do som, enquanto que, em

do cone é tratada, quando novo o conjunto, de maneira a proporcionar a flexibilidade correta, para evitar reflexões indesejáveis. Esta parte do diafragma deve permitir o movimento da parte principal do cone, para a frente e para trás, uniformemente, em todas as frequências, sem estabelecer ressonância transversal entre a borda e o vértice do cone. Esta propriedade depende de um desenho satisfatório da forma das ondulações e da flexibilidade inerente do material, de modo que o movimento entre a periferia do cone e o ponto de fixação seja absorvido, para impedir movimentos irregulares, em qualquer frequência.

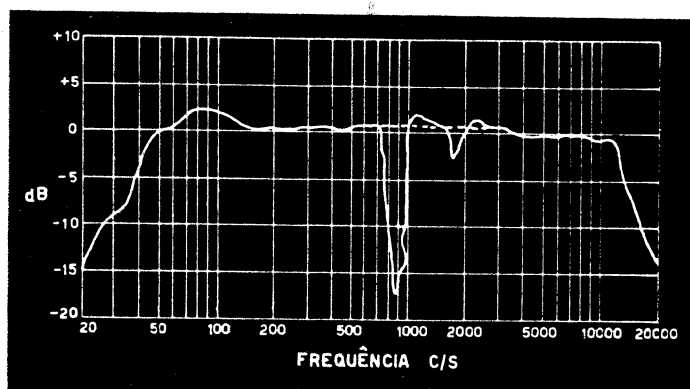


Fig. 4 — A deterioração das características da porção do suporte flexível do cone causa o aparecimento de "buracos" na característica do alto-falante.

desempenho. Geralmente, isso toma a forma de perdas na resposta da alta-freqüência.

Chegamos agora ao cone e ao suporte flexível que permite o seu movimento para diante e para trás, graças às suas propriedades. Na maioria dos alto-falantes, estas duas partes constituem uma única peça, moldada ou formada, embora os requisitos para o cone e para o suporte flexível sejam bastante diferentes. Para permitir à unidade composta o desempenho de ambas as funções, muitos fabricantes alteram a característica original da matéria-prima, por meio de impregnação diferente das diversas áreas.

A parte do cone deve ser leve e rígida, para permitir uma boa reprodução das frequências mais elevadas. Se houver uma tendência para a execução de movimentos desnecessários, devido à excessiva maciez do cone, surgirão

outras direções, o som é reforçado. O resultado final é irregularidade na resposta de frequência, conforme indica a figura 3.

Embora seja possível obter um desempenho satisfatório por meio da impregnação por compostos adequados, isto somente se verifica enquanto o alto-falante é novo, pois esses compostos são igualmente sujeitos à deterioração, sob influência das variações no clima, temperatura e umidade. Pequeníssimas partículas de pó, impossíveis de eliminar, podem localizar-se nos interstícios do material, modificando progressivamente as suas características. Adicione-se a isso o efeito da fadiga do material e chegaremos à conclusão de que as características do cone acabam por ser sensivelmente diferentes daquelas que possuía quando novo. Isto é um efeito inevitável do tempo e das condições climáticas.

A parte do suporte flexível

O que acontece se o movimento não é adequadamente compensado por essa maneira? Como numa linha de transmissão, uma determinada frequência é absorvida e a característica do alto-falante apresenta uma depressão, como mostra a figura 4.

Esta é, talvez, uma das deficiências menos importantes de um alto-falante, mas **pode** resultar em perda de qualidade em certos tipos de programas reproduzidos. É muito desconcertante a audição de músicas, quando certas notas musicais perdem o seu timbre na reprodução. É o que acontece quando um alto-falante apresenta uma característica desse tipo. A frequência em que ocorre este "buraco", em geral, não é uma fundamental, mas um harmônico de várias frequências mais baixas. O resultado é que este harmônico é eliminado da reprodução de certas notas situadas mais abaixo, na escala musical. Temos então qualidades tonais diferentes para várias notas que são subharmônicas da frequência do "buraco". Isto não aparece como um pico ou



uma ressonância, mas, ainda assim, causa distorções na reprodução.

Outra parte do conjunto do cone, sujeita à deterioração, é a aranha de centragem do cone. A finalidade desta parte é manter o movimento da bobina móvel numa direção paralela às paredes do entreferro, sem roçamento, conservando-a sempre no interior do mesmo.

Quando nova, a posição de repouso da aranha é plana, posição à qual sempre tende a retornar, trazendo assim a bobina móvel à sua posição correta. Exerce uma força de retorno proporcional à amplitude do movimento da bobina móvel para além e aquém da sua posição de repouso, dependente ainda das propriedades do material de que é feita.

Com o envelhecimento da aranha, a intensidade da força de retorno pode variar, em consequência da fadiga do material ou, então, em virtude de condições do tempo. Uma falha especialmente grave é a distensão da aranha, onde existem duas posições de repouso, de um e de outro lado da posição plana. Isto resulta no chamado "efeito de azeiteira", provocando séria distorção harmônica, cuja causa é muitas vezes procurada em outro lugar.

Pelo visto, evidencia-se que a parte do alto-falante mais suscetível à deterioração é o conjunto do diafragma. Por isso, alguns fabricantes produzem conjuntos desses, para reposição, usando carcaça e ímã original. Caso seja empreendido esse serviço, deve-se cuidar de limpar o entreferro, onde se movimenta a bobina móvel, centrando esta última de modo exato, seguindo as instruções fornecidas juntamente com os componentes.

Com o correr do tempo aderem partículas de pó à parte interna do entreferro, especialmente pequeníssimas partículas de ferro pulverizado, que surgem de toda a parte. A poeira comum pode geralmente ser removida por meio de um pincel ou jacto de ar, através do entreferro. As partículas magnéticas, porém, não podem ser removidas tão facilmente de uma posição onde há um campo magnético tão intenso. O jacto de ar, normalmente, apenas conseguiria mover as partículas de um lado para outro no entreferro, onde continuarão aderindo; o pincel as deslocará dentro do entreferro, sem contudo retirá-las completamente.

Uma solução relativamente satisfatória para a limpeza do entreferro é oferecida pela massa de modelação. A massa é formada numa tira de espessura pouco maior que a largura do entreferro e comprimida para o interior deste. Depois disso, pode ser retirada, ficando as partículas estranhas aderentes à massa.

Muitos alto-falantes para agudos (tweeters), como as pequenas cornetas, empregam diafragmas metálicos, para melhor dispersão das altas-freqüências. Pode-se pensar que tais tipos de unidades estariam completamente livres de todos esses defeitos descritos. O problema da parte magnética não é tão crítico, pois geralmente o alto-falante é bem menor e, portanto, é mais fácil proporcionar um desenho do ímã com maior margem de segurança, não havendo demasiada influência da perda de intensidade do campo magnético sobre o desempenho.

Entretanto, a fixação das espiras da bobina móvel à respectiva forma ainda repre-

senta um ponto sujeito à deterioração, podendo isso transformar-se num problema muito sério, na parte alta do espectro das freqüências reproduzidas pelo alto-falante. Por outro lado, o próprio diafragma metálico freqüentemente sofre de fadiga metálica, em consequência das vibrações a que está sujeito. Esses diafragmas geralmente são submetidos a um tratamento inicial, para a obtenção da máxima rigidez ou dureza, consistente com a leveza de construção.

Um desses métodos emprega um diafragma de alumínio anodizado, para produzir endurecimento superficial. Isto representa igualmente um meio útil e eficiente de fixar as espiras da bobina à forma. Quando a bobina está nova, mover-se-á uniformemente, como um pistão, mas, com o envelhecimento apresentará uma tendência progressiva de formação de ressonâncias múltiplas, não se movendo como deveria. Esta ação é progressiva, pois, logo que uma parte do diafragma tende a flexionar-se em torno de outra parte, o metal desenvolve "memória" em sua fadiga molecular, continuando a reforçar essa vibração. Assim, quanto mais envelhecer o diafragma, tanto mais pronunciado será o efeito.

O fato mais importante na deterioração progressiva dos alto-falantes é que a mesma é gradativa, porém insidiosa. Em ocasião alguma o desempenho do alto-falante sofre alteração suficientemente rápida para que se possa observar diferença no desempenho. A menos que ocorra um acidente sério, como a queima da bobina móvel, a maioria das pessoas tem a impressão de que o alto-falante está como novo, qualquer que seja a sua idade.

# A MELHORA DA QUALIDADE SONORA EM INSTALAÇÕES CASEIRAS

Muitas vezes, um técnico é procurado por um cliente que deseja saber se é possível compor uma unidade de alta-fidelidade, aproveitando os receptores comuns de rádio ou televisão, já em funcionamento em sua residência. A resposta é que, em muitos casos, pode-se conseguir resultados surpreendentes de melhora, na qualidade do som, pela substituição ou adição, ao alto-falante original do equipamento, de alto-falantes especiais para alta-fidelidade. Com isto, é dado um primeiro passo importante para o desenvolvimento de um sistema de alta-fidelidade.

O elo mais fraco, nos receptores de rádio, televisão e fonógrafos de tipo gabinete, assim como de unidades comerciais de alta-fidelidade, é, quase sempre, o alto-falante. Na grande maioria dos casos, o circuito amplificador empregado nessas unidades é capaz de produzir uma aproximação muito maior à HI-FI que os alto-falantes comerciais, usados pelos fabricantes, premiados pela necessidade de manter seus preços em nível competitivo. Assim, em muitos casos, pode ser conseguida uma qualidade sonora consideravelmente melhor, pela substituição ou adição de alto-falantes para alta-fidelidade. Isto pode ser feito de diversos modos diferentes, de acordo com os requisitos impostos pelo gosto e pelo orçamento do cliente.

O meio mais simples e barato é a adição de um simples circuito capacitivo, um controle de equilíbrio e um alto-fa-

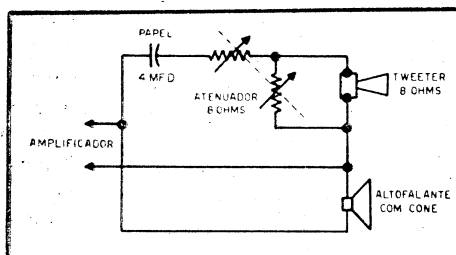
lante para agudos (tweeter), conforme indica o circuito da figura 1, a um sistema em que é usado um único alto-falante de grande diâmetro. A maioria dos alto-falantes deste tipo tende a apresentar deficiências na parte alta da faixa, acima dos 5 000 Hz.

A inclusão de um condensador de 4 mfd, com um tweeter de 8 ohms, proporcionará uma frequência de transição de 5 000 Hz e, imediatamente após a instalação, será notado um grande aumento dos

desde as mais baixas, até aos 13 000 Hz e, conjugado com tweeter e divisor, a faixa será estendida bastante além dos 15 000 Hz.

Enquanto alguns dos amplificadores usados no equipamento comercial permitem a escolha de tomadas com várias impedâncias de saída, a maioria tem impedância básica de saída de 3 a 4 ohms. O casamento das impedâncias de tais amplificadores com alto-falantes de 8 ohms, de alta-fidelidade, não é problema,

Fig. 1 — Desenho esquemático de um simples circuito capacitivo.



agudos e do brilho da reprodução. O controle de equilíbrio incorporado permite o ajuste do nível do tweeter ao gosto particular do ouvinte. Para uma separação mais definida entre as frequências, existem circuitos padronizados, produzidos por vários fabricantes de alto-falantes de alta-fidelidade. A figura 2 mostra um tweeter do tipo corneta, com circuito divisor de frequências.

Embora a adição de um tweeter resulte em maior nitidez e clareza, a resposta será melhorada se o alto-falante comercial do aparelho for substituído por um de alta-fidelidade, de faixa ampla. Em si, este alto-falante já é capaz de reproduzir frequências

pois, um pequeno desajuste é muitas vezes permissível. Às vezes, pode resultar uma ligeira perda de potência, mas, em geral, a maior eficiência do alto-falante compensará isso. Quando a perda de potência parece demasiada e a qualidade de reprodução sofre igualmente, pode ser usado um transformador de impedâncias, de 4 para 8 ohms.

Quando o espaço é pequeno e há dificuldades em fazer um furo adicional para o tweeter, uma boa solução é o emprego de um alto-falante coaxial ou triaxial. O melhor tipo de alto-falante coaxial consiste geralmente de um woofer de grande diâmetro, para a reprodução dos sons graves e médios, e um tweeter

separado, tipo corneta, para a reprodução dos agudos (fig. 3). Neste tipo de construção coaxial não há interação entre os dois componentes, podendo a qualidade de reprodução ser tão boa quanto a de um sistema de dois alto-falantes separados.

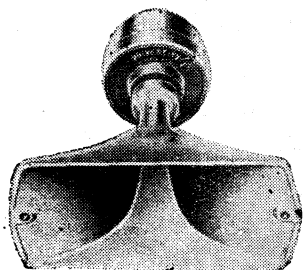
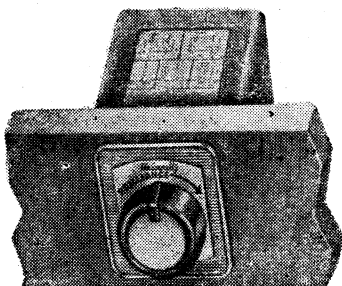


Fig. 2 — A esquerda, um "tweeter" corneta típico; à direita, um divisor de frequência, com controle de equilíbrio.

Quando se usa um tweeter de 8 ohms, com um alto-falante original do equipamento de 3 ou 4 ohms, maior quantidade de energia irá ao alto-falante cuja bobina móvel tiver impedância menor. Isto pode originar uma situação desejável, em que, freqüentemente, o ouvinte prefere uma audição com maior quantidade de graves do que é capaz de fornecer o equipamento de classe média. Como a eficiência do tweeter tipo corneta, adicional, é maior, a sua saída será ainda suficiente para equilibrar a maior energia do cone do woofer. Isto, às vezes, elimina a necessidade de um controle de equilíbrio do tweeter.

Uma das maiores dificuldades de qualquer alto-falante é a reprodução de notas graves. O papel desempenhado pelo móvel acústico, auxiliando o alto-falante a produzir notas graves, é muitas vezes esquecido. Um alto-falante, quando funciona ao ar livre, sem caixa acústica, não reproduz graves de espécie alguma, apesar de ser facilmente perceptível o movimento de baixa-freqüência. Existe,

neste caso, um "curto-circuito" entre a face anterior e posterior do cone e, quando o comprimento da trajetória do som entre essas duas faces é igual ao diâmetro do alto-falante, as freqüências baixas são canceladas, antes de as ondas sonoras alcançarem um



comprimento suficiente para serem ouvidas.

Como o comprimento de onda de uma nota de 50 Hz é de aproximadamente 7,3 m,

te posterior à anterior do alto-falante é de 7,3 m. Dobrando este painel para trás, teremos uma caixa, relativamente menor, aberta em sua parte posterior. Adicionando, finalmente, um painel de fundo, ficará completo o tipo básico e mais simples de caixa acústica, o baffle infinito.

Entretanto, para obter bons resultados com um alto-falante de 12", em conjunto com um baffle infinito, este deve possuir um volume relativamente grande, o que, naturalmente, aumenta as dimensões do móvel e torna proibitivo o seu uso em muitos casos. É, porém, possível obter ótimos resultados com caixas menores e mais manejáveis, fazendo uso de diversos requintes de construção. Talvez o método mais simples e, por isso mesmo, o mais extensamente usado, é o da inversão de fases. Este prevê uma abertura adicional no painel dianteiro, onde está

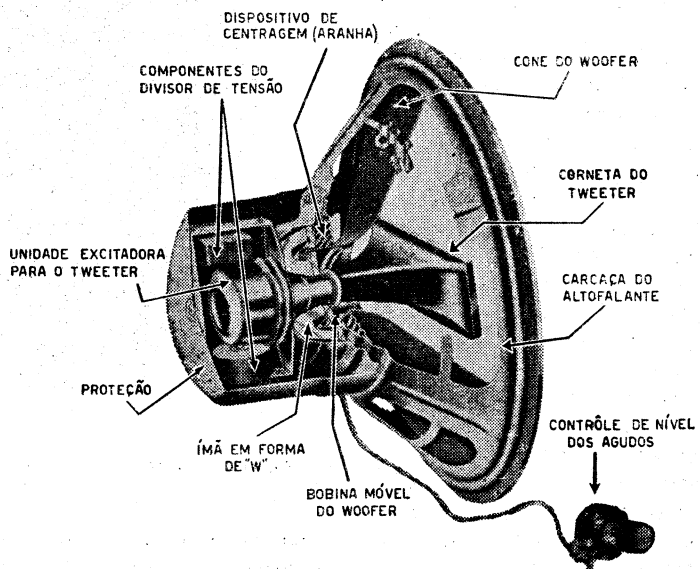


Fig. 3 — Alto-falante coaxial, consistindo de um "Woofer" grande, com cone, para as faixas de graves e médios e um "tweeter", tipo corneta, para os agudos.

torna-se imediatamente aparente que um simples painel, medindo 3,15 x 3,15 m, produzirá uma nota de 50 Hz, fortemente audível, porque o comprimento da trajetória da par-

te montado o alto-falante. Essa abertura é chamada de abertura "bass-reflex". O interior do móvel é forrado com material que absorve as freqüências elevadas. A abertura per-

mite, pois, que as irradiações posteriores de baixa-frequência reforcem o seu irradiado diretamente, proporcionando um aumento dos graves. O tamanho da abertura depende da frequência de ressonância do alto-falante empregado e da capacidade (volume) da caixa. Geralmente, as informações necessárias podem ser obtidas diretamente dos fabricantes dos alto-falantes.

O equipamento comercial, geralmente encontrado pelo técnico, emprega móveis abertos atrás. Isto acontece mesmo em alguns tipos comerciais mais baratos de equipamentos de alta-fidelidade. Evidentemente, isto resulta no cancelamento dos graves em algum ponto da faixa de frequências, dependendo, o ponto exato, do comprimento da trajetória, desde a parte dianteira até à parte posterior do cone do alto-falante. Para compensar isso, o alto-falante original possui, muitas vezes, um pico na parte superior da faixa de graves, para criar a ilusão de maior quantidade de graves, evitando aumentar o custo adicional para uma caixa acústica fechada e adequadamente construída.

Algumas das caixas maiores dos aparelhos comerciais de rádio, TV e fonógrafos, do tipo gabinete, prestam-se a uma isolamento completa do espaço destinado ao alto-falante e os técnicos muitas vezes fazem exatamente isso, para melhorar a qualidade sonora, ao instalar alto-falantes de alta-fidelidade. Evidentemente, muitas dessas caixas não possuem tamanho adequado para máxima perfeição no desempenho. Ainda assim, é possível obter uma reprodução apreciavelmente melhorada, pelo fechamento hermético do espaço disponível, sempre que for praticável fazer uma caixa desse tipo.

Antes disso, porém, é recomendável reforçar os cantos

da futura caixa acústica, pela adição de cantoneiras de 20 x 20 mm. Qualquer painel adicional, para o fechamento, deve ser de 20 mm de espessura, no mínimo, em madeira compensada. A fixação dos painéis deve ser feita com parafusos, distanciados entre si não mais de 10 cm. O painel traseiro, um dos painéis laterais e o painel superior devem ser inteiramente recobertos com uma camada de material absorvente (lã de vidro), com espessura mínima de 2,5 cm. Para resultar uma resposta de graves melhor, deve ser feita uma abertura "bass-reflex", conforme já foi mencionado.

Certas unidades completas de alta-fidelidade, de qualidade melhor, já podem possuir

-falante e divisores de frequência, ao aparelho existente (rádio, televisão ou fonógrafo). É importante notar, neste sentido, que a maioria dos aparelhos comerciais, seja de rádio, TV ou fonógrafo, possui baixa potência de saída, às vezes não superiores a 2½ watts, de maneira que deveria ser usado um sistema de alto-falantes de alta eficiência.

Há vários meios de adicionar uma caixa acústica separada. O meio mais simples é de adicionar uma caixa acústica, montada, completa, que pode ser adquirida pronta (fig. 4). Estas unidades geralmente constituem peças atraentes de mobília, podendo ser acomodadas num canto ou junto a uma parede.

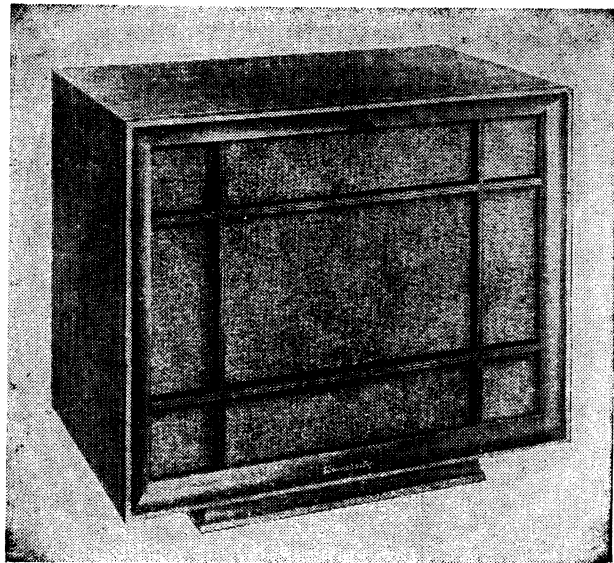


Fig. 4 — Unidade pré-montada completa, com alto-falantes e divisor de frequência.

uma caixa acústica. Caso tal sistema não preencha as especificações dadas anteriormente, a qualidade sonora pode ser melhorada pela alteração da caixa, ou pela substituição ou adição de alto-falante de qualidade superior. A solução ideal seria, naturalmente, a ligação de uma caixa acústica separada, completa, já com alto-

Outro método é o de comprar uma caixa, escolher um alto-falante adequado, montar e conectá-los. Isso possui a vantagem, para o freguês, de que ele pode começar com um único alto-falante de faixa ampla e expandir então, progressivamente, o seu sistema, de acordo com o seu gosto e orçamento.

# UM MÓVEL ACÚSTICO

O conjunto móvel/alto-falante é o último e mais importante elo na cadeia de reprodução sonora. Neste e nos dois artigos que se seguem descrevemos móveis que, além de econômicos, proporcionarão completa satisfação, quando construídos segundo as instruções aqui expostas.

Todo aquele que já teve oportunidade de construir um equipamento de HI-FI certamente notou a grande influência do móvel acústico sobre a fidelidade de reprodução do alto-falante. Existe um grande número de tipos de móveis acústicos, de excelentes resultados, porém, geralmente, — e isto assusta a muitos audiófilos — de construção complicada e difícil. No mais das vezes ocupam um espaço relativamente grande, que torna o seu uso impraticável em muitos locais. Finalmente, outros possuem dimensões muito críticas, o que complica muito a construção.

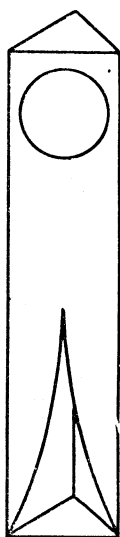


Fig. 1 — Tubo ressonante com abertura exponencial. É a forma fundamental do móvel descrito.

O móvel que descrevemos a seguir foi idealizado e construído por Raymond H. Bates, que o descreveu na revista ÁUDIO. Trata-se de um sistema de tubo ressonante modificado, com um corte exponencial na parte inferior da face dianteira.

Verificou-se, durante as pesquisas em busca de um tipo de móvel com as melhores caracte-

rísticas possíveis, que um determinado tipo, que foi chamado de “tubo ressonante”, apresentava excelentes características no que se refere ao acoplamento das vibrações do cone do alto-falante ao ar circunvizinho. Na figura 1 mostramos um tipo desse tubo, tendo, porém, na sua parte inferior, um recorte (chamado “exponencial”) que se destina a proporcionar uma reprodução mais acentuada dos sons graves. A altura do móvel é proporcional à frequência de ressonância do cone do alto-falante, podendo-se imaginar facilmente o valor dessa dimensão para os alto-falantes de alta-fidelidade, cuja frequência de ressonância é geralmente bem baixa. As demais dimensões não possuem influência notável sobre o desempenho do móvel. Daí podemos concluir que é possível fazer com que esse móvel ocupe o menor espaço possível, instalando-o em um dos cantos do aposento.

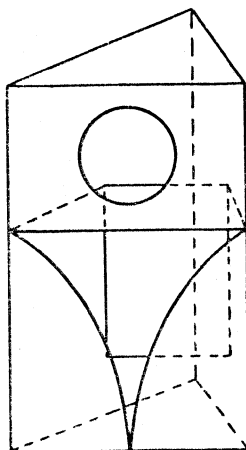


Fig. 2 — Aparência do tubo, após a “dobragem”, a fim de reduzir o comprimento do mesmo.

Como mostra a figura 1, embora ocupe um espaço reduzido, a proporção de altura para largura é demasiado grande, tornando o conjunto pouco estético. Pode-se melhorar a apa-

rência do conjunto, "dobrando" sobre si mesmo o tubo e diminuindo assim a sua altura, ao mesmo tempo em que é aumentada a largura e a profundidade. As características de frequência, entretanto, não são alteradas. Na figura 2, mostramos uma vista do tubo, assim dobrado, com o painel dianteiro removido. A mesma figura dá uma idéia bastante completa da construção interna do móvel.

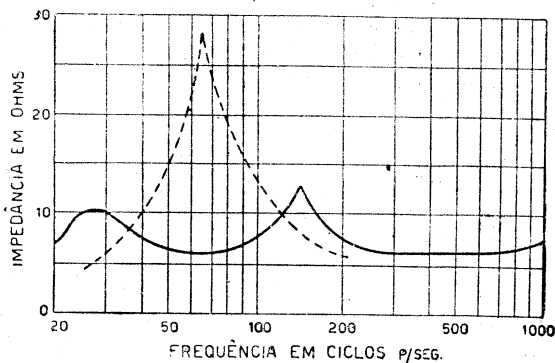
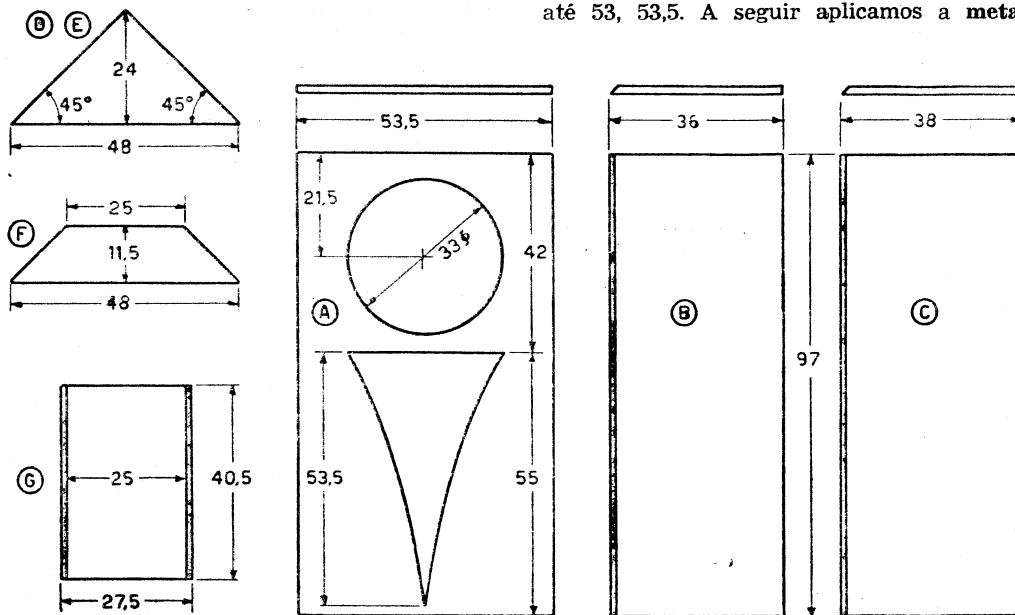


Fig. 3 — O móvel divide o pico de ressonância do cone (linha pontilhada) em dois picos de menor amplitude (linha cheia), alargando assim a reprodução dos sons graves e tornando mais uniforme toda a resposta.

algum. Na frequência de ressonância do cone (no pico da curva) a reprodução é reforçada bastante pelo fenômeno de ressonância. Colocando o alto-falante no móvel descrito, a ressonância da coluna de ar, em combinação com a do cone, resulta em dois picos distintos (linha cheia, fig. 3). Estes dois picos possuem amplitude menor, o que corresponde a uma reprodução mais uniforme; além disso, um dos picos fica abaixo da frequência de ressonância do cone, melhorando assim a reprodução dos sons bem baixos.

As dimensões das peças são dadas na figura 4. As diversas partes de que se compõe o móvel são as seguintes: (a) painel dianteiro, (b) e (c) partes laterais, (d) e (e) partes superior e inferior, (f) prateleira central e (g) divisão vertical. Além dessas peças, são usadas ainda outras, cuja finalidade é no entanto decorativa, ficando por isso a critério do montador. Queremos mencionar ainda que o furo grande superior do painel dianteiro deve possuir diâmetro um pouco superior ao diâmetro máximo exterior do alto-falante, pois este é encaixado por fora, da forma descrita no final do artigo. O recorte exponencial pode ser feito tomando como base a tabela deste artigo. Ao longo de uma linha vertical, sobre um pedaço de papel, marcamos distâncias de centímetro em centímetro, começando com 2,5, 3, 4, 5, etc., até 53, 53,5. A seguir aplicamos a metade da

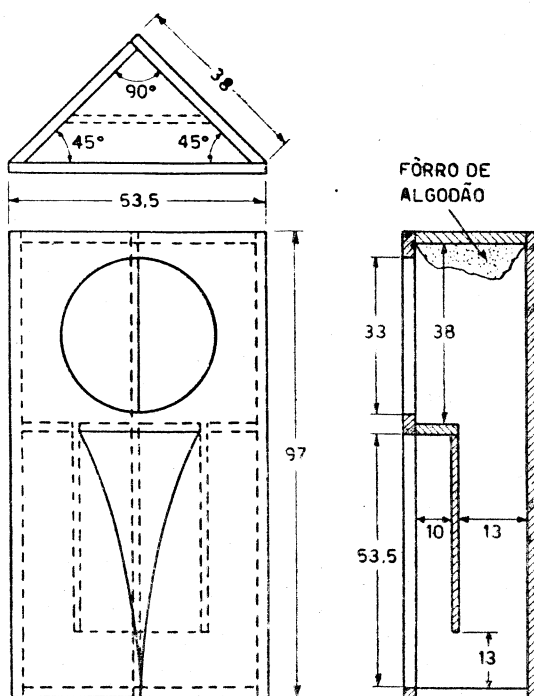


Pela curva da figura 3 podemos ver as curvas de resposta de um alto-falante, sem baffle, e colocado no interior do móvel. A linha interrompida nos dá a impedância da bobina móvel, estando o alto-falante sem baffle

Fig. 4 — Medidas dos painéis que são usados para a construção do móvel. Além destas peças, é necessário ainda um painel com furo de 25 cm e dimensões de 40 x 40 cm, para a colocação do alto-falante. As medidas do corte exponencial estão indicadas na tabela 1.

DISTÂNCIA (cm)	LARGURA (cm)	DISTÂNCIA (cm)	LARGURA (cm)
2,5	1,15	28	7,90
3	1,2	20	8,45
4	1,3	30	8,95
5	1,3	31	9,50
6	1,45	32	10,05
7	1,55	33	10,55
8	1,65	34	11,20
9	1,80	35	11,75
10	1,95	36	12,30
11	2,15	37	13,00
12	2,35	38	13,60
13	2,55	39	14,30
14	2,80	40	15,00
15	3,05	41	15,80
16	3,30	42	16,58
17	3,60	43	17,25
18	3,90	44	18,00
19	4,25	45	18,80
20	4,60	46	19,50
21	4,95	47	20,35
22	5,30	48	21,05
23	5,70	49	22,00
24	6,10	50	22,90
25	6,55	51	23,85
26	7,00	52	24,85
27	7,45	53	25,85
		53,5	26,30

Tabela 1 — Medidas para o corte exponencial. As alturas compreendem-se a partir da borda inferior do painel dianteiro.



distância assinalada na tabela, em correspondência com esses valores das divisões verticais, para cada lado da linha de guia, na altura

correspondente. Depois basta unir os pontos assim obtidos, para obter a curva, que pode então ser decalcada sobre a madeira. A marcação zero deve coincidir com a parte inferior da madeira. Todas as peças, salvo indicação em contrário, devem ser feitas com chapas de madeira compensada de 3/4" (20 mm) de espessura.

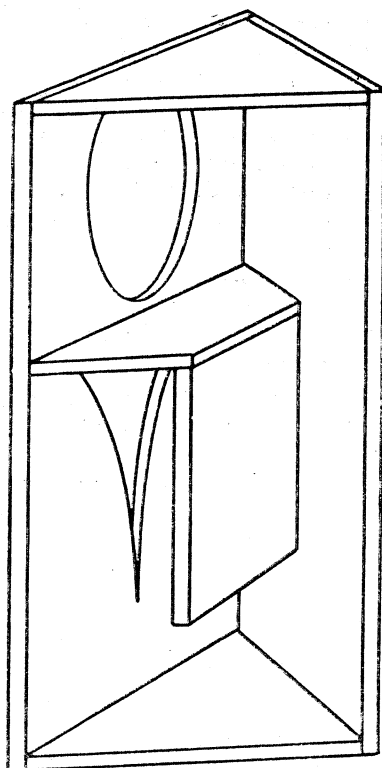


Fig. 5 — Vista de frente e cortes do móvel já pronto.

A figura 5 mostra o modo de juntar as diversas partes do móvel. Inicialmente, são juntadas as duas partes laterais (b) e (c), empregando parafusos e cola para madeira. Isto é necessário para conseguir uma perfeita vedação. Colocamos então as partes de cima e de baixo (b) e (e), cuidando sempre da perfeita vedação. O passo seguinte é juntar a prateleira (f) com a divisão vertical (g), colocando depois esse conjunto no interior do móvel. Neste ponto é necessário cuidar que a parte dianteira da prateleira fique exatamente em linha com as paredes laterais, a fim de que, ao ser colocado o painel dianteiro, haja perfeita vedação.

Na parte interna, sob a "tampa" do móvel, deve ser colado algodão ou outro material amortecedor do som, como lã de vidro e outros. Colocado finalmente o painel dianteiro, pode-se proceder ao acabamento final. Esse deverá obedecer ao gosto artístico de cada um, com-

binando, ao mesmo tempo, o mais possível com a decoração do ambiente em que será instalado.

Atualmente, está muito em voga o estilo moderno para os móveis em geral e os móveis acústicos em particular. Daremos pois o procedimento para dar ao móvel, em si, pronto a receber o alto-falante, um acabamento moderno. Inicialmente, cortamos um pedaço de madeira da forma e nas dimensões da peça (e), colando e parafusando-a sob o móvel. Na sua parte inferior é colada ainda uma fôlha de esponja de borracha com espessura de 6 mm.

Encostando agora o móvel ao canto a que se destina, sem no entanto apoiar nenhuma de suas partes às paredes ou ao rodapé, tiramos a medida para a parte superior, que deve chegar até à parede, passando, além disso, também na frente, uns 2 a 3 cm aquém do painel frontal. Às duas arestas laterais desta parte são coladas tiras de esponja de borracha, podendo então ser parafusada e colocada sobre o móvel. A fim de evitar que apareçam os parafusos, podem ser colocados pela parte interna; naturalmente, neste caso, a camada de algodão ou isolante será colocada somente após esta operação.

Aprontamos agora o painel do alto-falante. Re-

cortamos, de uma tábua quadrada, com 40 cm de lado, um furo circular cujo diâmetro seja o correto para o alto-falante que usamos. Depois de parafusar o alto-falante a este painel, colocamos o mesmo no móvel, parafusando-o ao painel frontal do mesmo com 8 parafusos. Naturalmente, antes de colocar o alto-falante, deve ser feito um furo para os fios do mesmo, de preferência na parte superior de um dos lados, junto à tampa.

Colocado o alto-falante, podemos finalmente colocar o tecido decorativo e terminar assim o acabamento. Fazemos um quadro de madeira com sarrafos de, no mínimo, 15 a 20 mm de espessura, e com dimensões tais que, uma vez colocado, não chegue a encostar nas paredes, mas fique bastante próximo para dar uma bonita aparência ao conjunto. Sobre esse quadro é esticado o tecido, com a máxima uniformidade possível e, finalmente, o quadro é preso ao móvel por meio de braçadeiras.

O construtor deve cuidar de escolher, para as partes que não são vistas (tampa e fundo), madeiras que combinem o mais possível com o restante da mobília de sua sala ou pelo menos, com o móvel do preamplificador, amplificador, toca-discos, etc..

---

## UM AMPLIFICADOR ECONÔMICO

(Cont. da pág. 129)

sura de 0,05 ou no máximo 0,1 mm. Entre camadas de fio 21 deve ser colocado papel de 0,1 até 0,15 mm de grossura. Entre os diversos enrolamentos colocam-se várias camadas de papel, com espessura total de 1 mm.

A disposição dos enrolamentos está indicada no desenho da figura 4. Ao enrolar, lembre-se que durante o enrolamento de A, B e D o carretel deve girar em sentido **contrário** ao comum.

Convém rebitar terminais no carretel para as 7 pontas do enrolamento que levam ligações para o exterior; os demais fios podem ser diretamente entreligados, obedecendo às indicações da figura 3.

Ao encaixar o núcleo de ferro deve-se cuidar de reduzir ao mínimo o entreferro, juntando bem as chapas. Cada lâmina deve ter seu entreferro do lado contrário ao da chapa anterior. (Não devem ser colocados maços de 4 ou 5 chapas E de um lado e o mesmo número do outro lado).

Não é aconselhável a impregnação, primeiramente por aumentar a capacidade entre

os enrolamentos e, segundo, porque nunca se consegue fazer uma impregnação tão perfeita, com meios simples, que elimine completamente a umidade. Como, porém, o transformador destina-se ao uso imediato, o aquecimento do amplificador e do transformador expulsará sempre a umidade que se condensa durante os períodos de não funcionamento. Além do mais, é preferível não ter impregnação alguma, a ter uma imperfeita, que aprisione a umidade no interior do enrolamento, umidade essa que depressa causará a sulfatação do fio.

Esse transformador, embora não possua as qualidades de um transformador comercial (principalmente em consequência da má qualidade do ferro para o núcleo), dará, ainda assim, excelentes resultados para a maioria das aplicações em conjunto com amplificadores «Ultralinear». A «Valvo» indica que, cuidando de enrolamentos absolutamente sísmicos, a resposta é linear dentro de  $\pm 1$  dB entre as frequências de 17 a 22 000 Hz.



# “BASS - REFLEX”

O som, quando irradiado por um alto-falante que não esteja montado sobre um “baffle”, sempre é desagradável, pois fica completamente destruído o equilíbrio sonoro em virtude da falta dos sons graves. É realmente surpreendente a forma pela qual aparecem os sons graves, desde que se encontre o alto-falante a uma superfície qualquer, ou então quando é colocado no interior de um móvel adequado.

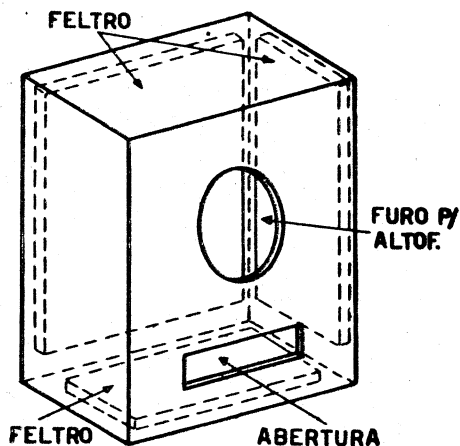


Fig. 1 — O móvel “Bass-Reflex”, com a abertura retangular característica. Pelo menos 3 das paredes internas devem estar revestidas com feltro.

Como já tivemos ocasião de explicar em artigos anteriores, essa falta de graves é causada pelo cancelamento da baixa-freqüência motivada pela interferência da onda emitida da parte frontal do cone, com a irradiada pela parte posterior do mesmo. Para eliminar essa interferência, é necessário separar as duas ondas. Colocando, por exemplo, o alto-falante sobre um painel infinitamente grande, teremos eliminado positivamente essa interferência.

Na prática, seria suficiente um painel de alguns metros quadrados de superfície, mas mesmo esse seria grande demais para ser colocado em uma sala comum.

Se colocarmos o alto-falante dentro de uma caixa completamente fechada (somente com o

furo sobre o qual está colocado o alto-falante), então teremos conseguido igualmente uma separação completa das ondas emitidas pela parte frontal, daquelas emitidas pela parte posterior do alto-falante. São na realidade usadas caixas dessa espécie, denominadas “Baffles Infinitos”

A reprodução sonora com esses móveis é boa, quando são preenchidas três condições básicas:

- 1.º — O volume de ar da caixa deve ser tão grande, que o cone não produza compressão e rarefação apreciável, dentro do móvel.
- 2.º — As paredes devem ser tão rígidas, que não vibrem, não interferindo assim na reprodução sonora.
- 3.º — O interior da caixa deve ser forrado com material acústico absorvente, para evitar a reflexão do som nas paredes.

O volume necessário e, portanto, o tamanho do móvel, depende em grande parte da freqüência de ressonância do alto-falante. Quanto mais baixa essa freqüência, maior o volume de ar necessário. Na prática, pode-se considerar como mínimo necessário um volume interno de 0,2 m<sup>3</sup>, mas, em geral, são usados móveis com 0,5 m<sup>3</sup> de volume interno.

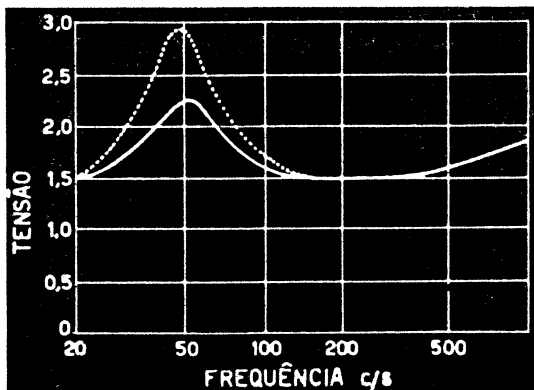


Fig. 2 — Curvas de ressonância de um alto-falante ao ar livre (pontilhado) e dentro de um “baffle” infinito (linha cheia).

A grande vantagem do baffle infinito é que as suas dimensões não são críticas. Quanto maior o volume, tanto melhor a reprodução. Como veremos mais tarde, é esse o único móvel cujas dimensões não se relacionam diretamente com a frequência de ressonância do alto-falante. Sendo o alto-falante e o móvel adquiridos separadamente e não havendo meio para fazer

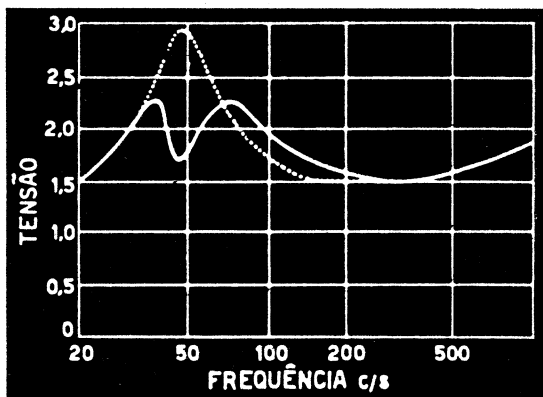


Fig. 3 — O móvel "Bass-Reflex" reduz o pico grande em 2 menores.

experiências demoradas com ambos os componentes, então é esse o móvel apropriado.

Infelizmente, as dimensões desse tipo de móvel ainda são bastante grandes para uso prático extensivo. Por esse motivo, foram procurados caminhos para reduzir o tamanho do móvel. Surgiu assim o móvel "Bass-reflex", lançado pela primeira vez pela fábrica Jensen, em redor de 1940. Esse móvel é idêntico ao baffle infinito, tendo, porém, uma abertura na parte frontal. Neste móvel, o volume incluso é escolhido de maneira que a onda emitida pela parte posterior do cone é retardada a tal ponto que, na frequência de ressonância do cone, deixa a abertura frontal em fase com a onda emitida pela parte frontal do cone do alto-falante. Isto quer dizer que, quando o cone efetua um movimento para a frente, a massa do ar diante da abertura inferior é também movimentada para a frente. Nessa frequência de ressonância há, portanto, uma carga adicional sobre o cone, evitando movimentos de grande amplitude do mesmo. Ao mesmo tempo, há um reforço na reprodução dos graves.

Existe, aliás, um meio relativamente simples para medir, tanto a ressonância do cone, como o amortecimento produzido pelos diversos móveis acústicos: basta medir a tensão sobre os terminais da bobina móvel, excitando o alto-falante por meio de um gerador de audiodiferença, com corrente constante e frequência variável. Se não houvesse ressonância, a tensão medida seria sempre a mesma, com qualquer

frequência. Na realidade, mediremos um pico pronunciado, numa determinada frequência baixa. A altura do pico resultará tanto maior, quanto menor for o amortecimento do cone. Efetuando a medição, uma vez com o alto-falante sem baffle algum e outra vez, por exemplo, com um baffle infinito, veremos que o pico baixa consideravelmente de amplitude no segundo caso, deslocando-se ao mesmo tempo um pouco em direção a frequências maiores (fig. 2). Fazendo essa mesma medição com um alto-falante colocado no interior do móvel bass-reflex correto, veremos que aparecem dois picos dispostos lateralmente ao original, e de amplitude bem menor que aquela antes notada. Portanto, a resposta perto da frequência de ressonância do cone será muito mais uniforme (fig. 3).

Podemos igualmente escolher as dimensões do móvel, para que sua ressonância esteja um pouco abaixo da ressonância do alto-falante. Resultará, neste caso, novamente uma curva com dois picos pequenos, estando o primeiro deslocado mais para frequências baixas, e reforçando, assim, ainda mais os graves (fig. 4).

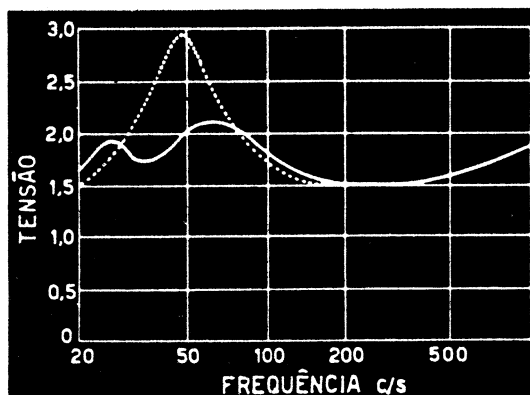


Fig. 4 — Usando um móvel com frequência de ressonância um pouco mais baixa que a do alto-falante, consegue-se aumentar a resposta dos graves.

O cálculo das dimensões deste tipo de móvel é fácil, utilizando-se o ábaco da figura 5, que dá a relação existente entre a área da abertura frontal, o volume interno do móvel e a frequência de ressonância do cone. A frequência de ressonância deve ser conhecida com a máxima exatidão possível; não convém confiar nos folhetos que acompanham os alto-falantes, pois pode haver grandes diferenças. A área da abertura pode ser escolhida, devendo porém ficar sempre entre 60 e 100% da área efetiva do cone (cálculo da área:  $3,14 \times \text{diâmetro} \times \text{diâmetro} \div 4$ ). Por meio dos valores da ressonância do alto-falante e da área da abertura, o ábaco permite determinar o volume interno do móvel em centímetros cúbicos.

As 3 dimensões do móvel devem resultar aproximadamente iguais, pois a relação da altura para a largura e para o fundo também tem influência sobre a frequência de ressonância. A abertura frontal deve ser retangular, com relação da altura para a largura entre 1/1,5 a 1/2.

Como pelo menos 3 das paredes devem ser revestidas internamente com material de alta absorção acústica (celotex ou feltro, de no mínimo 1/2 polegada de espessura), as dimensões devem ser aumentadas de forma correspondente à grossura destes materiais. A fim de conseguir rigidez suficiente, todas as paredes devem ser feitas de madeira compensada de 3/4 de polegada de espessura. Todas as juntas são coladas herméticamente; o painel traseiro, removível, deve ser fixado com parafusos em profundidade.

A distância entre a abertura retangular e a do alto-falante não é crítica, podendo aquela ficar aproximadamente no centro do espaço disponível.

Se na experiência final for constatado que a ressonância do móvel resultou baixa demais, será fácil aumentar a área da abertura frontal, para que seja obtida uma frequência maior.

Entretanto, se for necessário baixar a ressonância do móvel, então deve ser diminuída a área. Se a diferença for pequena, podem-se colar tiras de madeira às bordas mais compridas da abertura frontal. Com diferenças maiores, porém, isto baixa demasiadamente a área total; neste caso, convém transformar a abertura em uma espécie de túnel, colocando tiras de madeira à parte interna da mesma, como indica a figura 6. Com este procedimento, consegue-se baixar bastante a ressonância do móvel.

Fig. 6 — Por meio da adaptação de um "túnel", na abertura frontal, consegue-se baixar a frequência de ressonância do móvel.

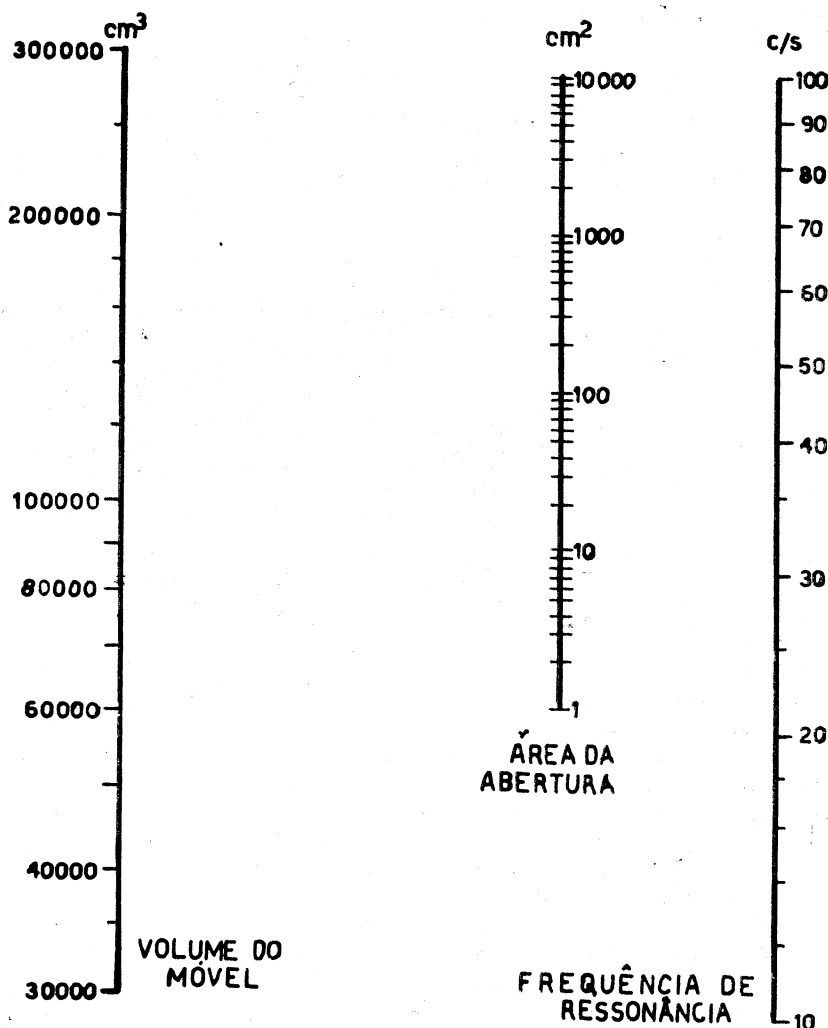
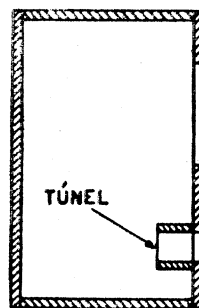


Fig. 5 — Abaco para determinar o volume interno dos móveis "Bass-Reflex".

# Considerações sôbre a construção de móveis acústicos

Um alto-falante de alta-fidelidade, sem o seu correspondente móvel acústico, não pode ter reprodução menor que qualquer tipo medíocre, de baixo custo. Isto porque falta ao alto-falante o meio de acoplamento ao ar circunvizinho. O móvel acústico tem justamente a função de transferir a energia acústica, proporcionada pelo alto-falante, ao exterior; não produz por si mesmo potência acústica alguma e nem deve absorver potência alguma, pois isto baixaria a eficiência acústica do conjunto.

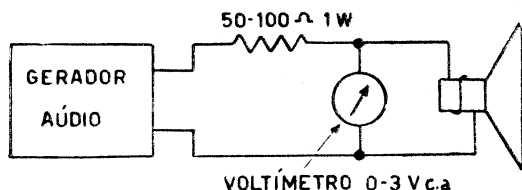


Fig. 1 — Circuito usado para a medição da frequência de ressonância de alto-falantes.

Existe uma grande quantidade de móveis acústicos diferentes, dos mais simples baffles infinitos, até aos sistemas mais complicados de labirintos acústicos.

Como os tipos comerciais destes móveis são bastante caros, e raramente existe o tipo "so-nhado" pelo audiófilo, é tentada muitas vezes a construção caseira, seguindo os desenhos publicados nos livros ou revistas especializadas. Nem sempre os resultados são satisfatórios, embora o construtor tenha seguido fielmente as indicações. Os motivos desta deficiência são, em geral, três:

- 1) as características do alto-falante não combinam com as do móvel.
- 2) o móvel não foi "sintonizado" corretamente.
- 3) existem deficiências mecânicas no móvel.

Com respeito ao item um, é necessário mencionar que nem sempre os dados publicados pelos fabricantes de alto-falantes correspondem realmente ao produto oferecido. Principalmente a frequência de ressonância do cone, o dado mais importante para o cálculo do móvel, não combina com a realidade. É muito comum existirem diferenças de 20 a 30% a mais entre o valor nominal e o real. Resulta necessário, pois, a medição desta frequência, o que felizmente não requer equipamento muito especial: bastam um gerador de sinais de audiofrequência e um voltímetro para tensão alternada.

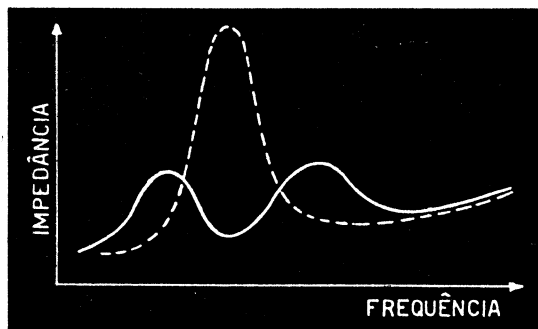


Fig. 2 — Com sintonização correta do móvel aparecem na curva de impedância do alto-falante dois picos de igual amplitude.

O circuito a ser usado para esta medição está ilustrado na fig. 1. A frequência do gerador é alternada lentamente através da faixa em questão e observado o voltímetro. Quando há desvio máximo, então pode ser lido na escala do gerador o valor da frequência de ressonância do cone. O alto-falante deve estar, durante esta medição, sem "baffle" algum; deitá-lo-o, por exemplo, sôbre uma mesa, com o cone para baixo, resultaria uma medição completamente

errada. Com o valor medido pode-se então calcular socegradamente o móvel.

Mesmo um móvel construído corretamente deve ser ajustado ou sintonizado, a fim de se obter resultados ótimos. Dispensam este ajuste posterior somente os "baffles infinitos" (caixas completamente fechadas), por serem do tipo não ressonante. Evitam apenas que as ondas emitidas pela parte posterior do cone possam interferir com as emitidas pela parte frontal; não há, porém, um reforço na reprodução dos graves, como acontece com os móveis ressonantes (bass-reflex e labirinto).

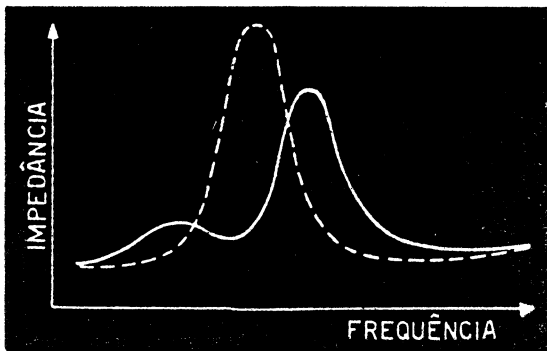


Fig. 3 — Curva de impedância, denunciando um ajuste incorreto do móvel.

O ajuste ou sintonização do móvel compreende 2 passos distintos: o ajuste da frequência de ressonância e do amortecimento do móvel. Como o acoplamento entre o alto-falante e o móvel é bastante forte, acontece que o pico de ressonância grande, de ambos, é desdobrado em dois picos de menor altura, dispostos acima e abaixo da frequência de ressonância original (fig. 2). Se a amplitude de ambos os picos não forem iguais, os 2 picos resultam assimétricos (fig. 3) e determinados sons são reproduzidos com destaque em relação aos demais. Aparece então o "som de barril" (em inglês "boom"), tão freqüente nas radiovítrolas antigas.

A frequência de ressonância dos móveis pode ser alterada pela mudança do seu volume interno, ou da área da abertura (em inglês: vent). Como a alteração do volume é um pouco difícil de ser realizada (a não ser a diminuição do volume por intermédio de uma camada mais espessa de material absorvente), é geralmente preferida a alteração da área da abertura. Por esse motivo esta é feita propositalmente maior que a necessária, sendo então coberta dos 2 lados por pequenos painéis deslizantes (fig. 4). Estando tudo correto, os painéis laterais são colados definitivamente ao móvel.

Para a sintonização valem as seguintes regras: quanto menor o volume do móvel, tanto maior a frequência de ressonância; quanto menor a área da abertura, tanto menor a frequência de ressonância.

O processo de sintonização é o mesmo que o descrito para determinação da frequência de ressonância do cone; naturalmente, o alto-falante agora deve estar colocado dentro do móvel. Ajusta-se então a área da abertura até que os dois picos de tensão tenham a mesma altura, quando então a sintonização está correta. Na fig. 5 mostramos algumas curvas, que indicam os vários passos ao ser sintonizado um móvel. Quanto menores os dois picos resultantes, tanto melhor será o amortecimento proporcionado pelo móvel sobre o cone do alto-falante, pois a tensão indicada é proporcional à amplitude do desvio do cone.

A sintonização exata, porém, não indica ainda que o amortecimento é o ótimo, ou seja, que todo o sistema (móvel mais alto-falante) tenha um fator "Q" igual a 1. Como nos circuitos sintonizados elétricos, o "Q" pode ser baixado, introduzindo resistência. No caso do móvel, a resistência é introduzida estendendo-se um pano de seda diante da abertura. As pequenas aberturas no pano, ao serem atravessados pelas ondas sonoras, provocam certo atrito, amortecendo, portanto, as oscilações da coluna de ar dentro do móvel.

Um processo bastante simples para determinar se o amortecimento é suficiente ou não, é o seguinte: liga-se uma pilha de 1,5 V diretamente à bobina móvel do alto-falante, intercalando no circuito um contato que permite a fácil abertura e fechamento do circuito. Ao fechá-lo ouve-se um estalo característico, que

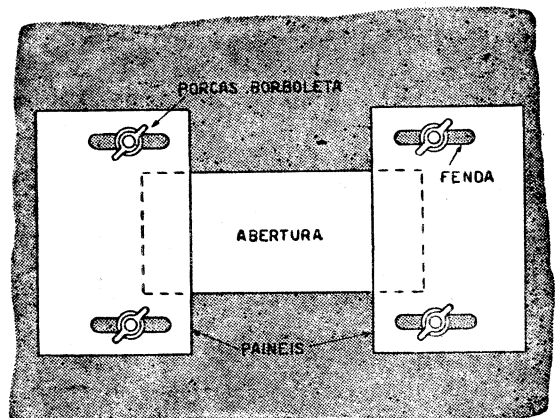


Fig. 4 — Como se consegue alterar a área de abertura frontal, por meio de painéis deslizantes.

se repete ao ser desligada a pilha. Com amortecimento correto, o estalo deve ser "sêco" (tac), tanto ao ligar como ao desligar a pilha. Se, porém, principalmente ao desligar, o estalo é seguido por um ligeiro som (tang), então é necessário aumentar o amortecimento. O

pano de sêda, colocado diante da abertura, deve estar bem esticado; de outra maneira, o efeito não é o desejado. Se um único pano não produz o efeito desejado na medida suficiente, coloca-se 2 ou 3 panos sobrepostos, sempre esticando-os bem. Não deve ser aplicado mais amortecimento que o necessário, a fim de não diminuir demasiadamente a eficiência acústica do conjunto.

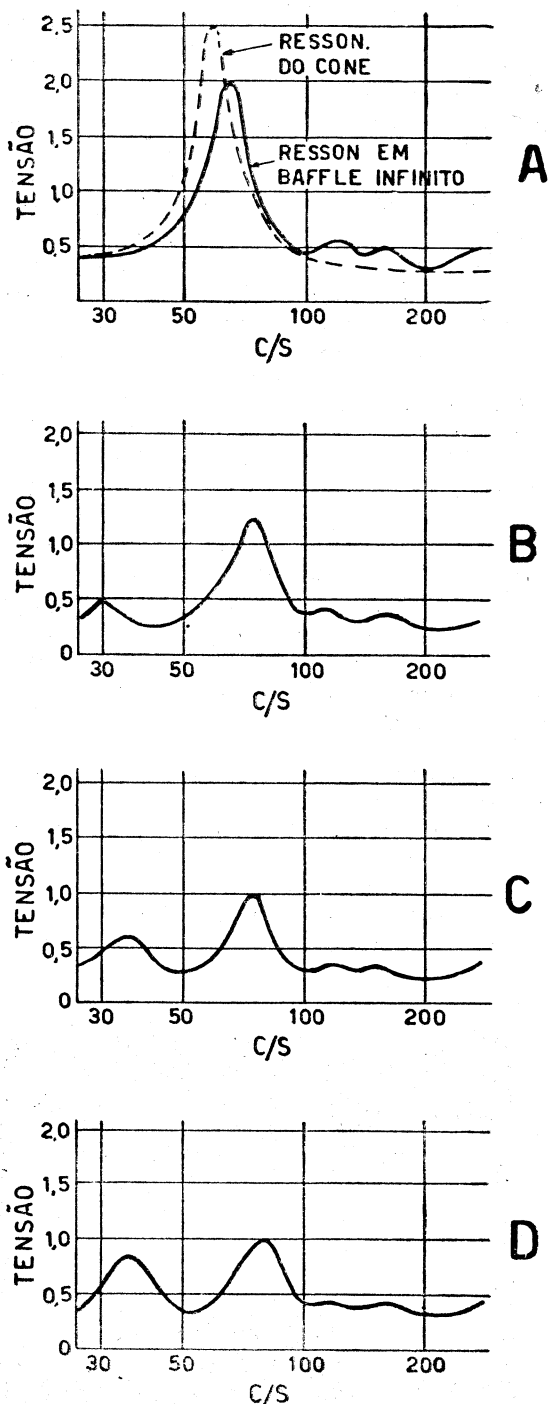


Fig. 5 — Curvas medidas durante a sintonização de um móvel. No detalhe A as curvas resultantes, quando a abertura está completamente fechada (baffle infinito).

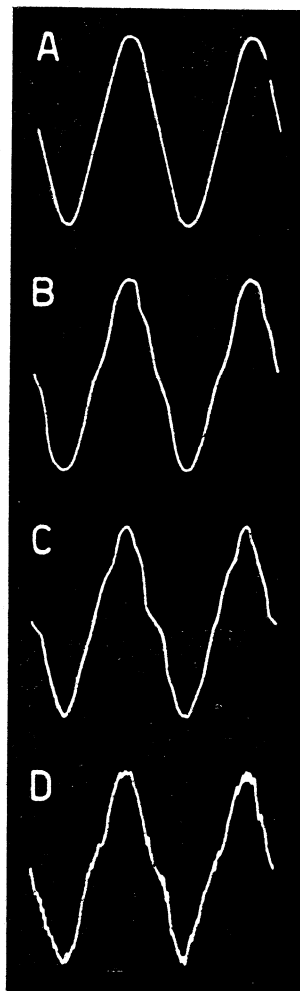


Fig. 6 — Distorção produzida por rigidez insuficiente do móvel.

Com respeito ao terceiro ponto, mencionado no começo do artigo e referente às deficiências mecânicas, cremos que estas são as responsáveis pela grande maioria dos fracassos na construção dos móveis acústicos.

Nunca se deve esquecer que durante o funcionamento do alto-falante surgem pressões bastante elevadas dentro do móvel, mesmo se este tiver uma abertura. Portanto, o primeiro requisito na construção do móvel é a rigidez das paredes, a fim de evitar que estas comecem a vibrar, produzindo som adicional.

Para saber se um móvel possui rigidez suficiente, basta colocar a mão sobre um dos painéis laterais ou do fundo, durante a reprodução de sons graves fortes. Se existe vibração, então é fácil sentir a mesma, indicando isto que o móvel necessita de reforços internos para trabalhar corretamente.

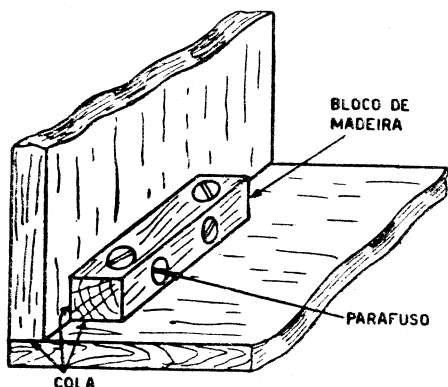


Fig. 7 — Detalhe da construção do móvel.

Geralmente, o painel mais crítico é o traseiro, pois possui a maior área e quase sempre deve ser removível, não sendo assim possível colá-lo, como se faz com os outros painéis. Como não é visível, muitos costumam usar ainda madeira de pouca espessura para o fundo, facilitando assim ainda mais a vibração deste painel.

A figura 6 mostra a que ponto pode chegar a influência do painel traseiro. Em A, a onda captada por um microfone, enquanto o alto-falante era excitado por uma frequência baixa e estando o móvel com um fundo de madeira compensada de 3/4", forrado na parte interna com uma camada de 1/2" de material absorvente e parafusado por intermédio de 16 parafusos ao móvel. Em B, o móvel na mesma condição, porém sem o fôrro do fundo. Já aparece a distorção, originada pelas reflexões internas das ondas. A figura C foi observada, substituindo o painel do fundo por outro de 1/4" de espessura, sem fôrro. Existe uma pronunciada distorção, embora o painel esteja fir-

memente parafusado. Finalmente, na figura D, o fundo de 1/4" está seguro somente com 4 parafusos, nos cantos do móvel. A onda resulta completamente distorcida, contendo forte componente de frequências elevadas.

Ao contrário do que geralmente se supõe, a espécie de madeira não tem influência sobre a tonalidade. Por este motivo, convém usar madeira compensada, de 3/4" (20 mm) de espessura, no mínimo. Todas as juntas devem ser coladas com cola em profusão, pois esta não serve somente para segurar juntos os painéis, mas também para a perfeita vedação. Como raramente estão ao alcance as garras especiais para carpinteiros, devem ser parafusados. Sempre que necessário, são usados blocos pequenos na parte interna para reforçar as juntas (fig. 7).

O painel sobre o qual é parafusado o alto-falante deve ser absolutamente plano. Isto é necessário porque o alto-falante deve ser preso rigidamente e, com isto, existe o perigo de entortar a armadura do alto-falante, caso existam irregularidades na superfície do painel, o que destruiria a centragem perfeita da bobina móvel.

Outro ponto fraco na construção dos móveis acústicos é a aplicação do material absorvente. Pelo menos 3 dos painéis devem possuir este revestimento interno, que serve para evitar a reflexão das ondas de baixa-frequência. Existem muitos materiais apropriados e que são recomendados nas descrições; infelizmente a grande maioria destes materiais é difícil de ser achada no nosso mercado. O material mais usado entre nós é o feltro; este deve ser do tipo mais "fôfo" possível e ter grossura de, pelo menos, 1/2 polegada (12 mm). Este material pode ser colocado nas superfícies, devendo-se porém usar pouca cola, a fim de que a mesma não penetre demasiadamente no feltro. Também pode ser usado algodão ou lã de vidro, mas o primeiro é bastante caro e a segunda bastante difícil e desagradável de manejar. Estes materiais devem ser pregados aos painéis, usando pregos compridos e arruelas grandes apropriadas.





# CIRCUITOS PARA O MONTADOR

- AMPLIFICADOR 10 WATTS
- UM AMPLIFICADOR ECONÔMICO
- AMPLIFICADOR COM ESTÁGIO ULTRALINEAR
- AMPLIFICADOR DE ALTA-FIDELIDADE 10 WATTS

# AMPLIFICADOR

## 10 WATTS

Destacam-se, entre «audiófilos», duas correntes perfeitamente distintas.

A primeira corrente compõe-se de técnicos avançados e que estão dispostos a qualquer sacrifício, a fim de se aproximarem mais um pouco do ideal inatingível: a reprodução perfeita. Para êstes, qualquer meio termo é inaceitável, desde que acarrete a mais leve e imperceptível redução na qualidade do som. Por outro lado, sabem que a qualidade é cara, mas estão dispostos a pagar o preço.

A outra corrente quer também alcançar o máximo possível em fidelidade — mas não pode pagar o preço. Infelizmente, esta segunda corrente é bem mais forte. Em resumo, todos procuram circuitos de alta-fidelidade — mas que resultem em construções de preço acessível, e para os quais existe o material em nosso país.

Não é possível encontrar um meio termo, para agradar a todos, pois os audiófilos ortodoxos haveriam de nos condenar, sob a alegação de estarmos desacreditando a expressão «alta-fidelidade»; os outros, por sua vez, reclamariam que os circuitos são muito complicados e que deveria existir um caminho mais fácil para obter o mesmo resultado.

O circuito publicado é do tipo econômico, para 10 watts de saída, com distorção por intermodulação abaixo de 3%. Possui entrada para pick-ups de relutância variável e cristal, contrôles separados, e praticamente independentes, para graves e agudos, controle de volume comum e equalização fixa para o pick-up de relutância variável. Tanto o preamplificador, como o

amplificador de potência e o retificador, formam um só conjunto. Todo o amplificador deve, portanto, ficar junto ao toca-discos, sendo o alto-falante ligado por intermédio de dois fios n.ºs. 14 ou 16, até comprimentos de 5 metros.

No total são usadas 6 válvulas; no estágio de saída existem duas 6V6, não havendo, portanto, dificuldade alguma em encontrar as mesmas na praça. O mesmo se dá com as 12AX7, 12AU7 e 5Y3. A primeira seção da 12AX7 trabalha como preamplificadora para os pick-ups de relutância variável, quando a chave estiver na posição de «relutância». A frequência de transição é fixa, estando em redor dos 600 Hz, isto é, um compromisso entre as curvas de gravação antigas e a padronizada atualmente (RIAA). Tanto o ajuste da curva nos graves como nos agudos, para alterar a resposta de acordo com a curva de reprodução necessitada, é feito por intermédio dos dois contrôles de tonalidade. O controle dos graves permite uma variação de  $\pm 15$  dB em 20 ciclos, enquanto que o controle de agudos tem um alcance de  $\pm 18$  dB em 20 000 ciclos. O nível a 1 000 Hz permanece praticamente inalterado.

A segunda seção da primeira 12AX7 serve como preamplificadora geral. Como a resistência de cátodo não possui condensador de passagem, é reduzido o ganho dêste estágio, sendo ao mesmo tempo baixada a distorção. O controle de volume acha-se no circuito de grade desta válvula.

Os dois contrôles de tonalidade são separados pelas duas seções da 12AU7, um duplo tríodo de baixo ganho. Com esta disposição, consegue-se uma separação quase completa da ação dos dois contrôles. Os potenciômetros usados para êste fim deveriam ter curva de variação linear, a fim de obter resposta linear com o cursor colocado exatamente no centro. As posições normais dêstes contrôles, quando usados potenciômetros lineares, estão indicados na figura 1. No caso de serem usados potenciômetros logarítmicos, então as posições devem ser determinadas de acôrdo com a resistência. Liga-se um ôhmetro entre o terminal central e um dos terminais laterais, marcando-se a posição do ponteiro do contrôle, conforme a lista abaixo:

GRAVES		
Valor medido (em % do valor total)		Curva
95		RCA
77		AES
64		NARTB
57		RIAA
50		PLANO

AGUDOS		
Valor medido (em % do valor total)		Curva
50		PLANO
25		RIAA
17		AES
10		RCA
5		NARTB

Entre a placa e o chassi da 2ª seção da 12AU7 existe um filtro, composto de uma resistência de 20 K e um condensador de .005 mfd. Êste conjunto provoca uma atenuação progressiva nas freqüências superiores a 1 500 Hz.

A segunda 12AX7 é usada como válvula excitadora e inversora de fase. O inversor de fase usa resistência de carga repartida entre placa e cátodo. A soma das duas resistências de cátodo deve ser exatamente igual à resistência de placa, com diferença não superior a 5%.

No estágio de saída é usada a 6V6 em circuito pentodo, classe A, com resistência

de 350 ohms, comum para os dois cátodos. Em paralelo com esta resistência existe um eletrolítico de 50 mfd, 25 V. Êste condensador é indispensável, pois o seu uso baixa o fator de intermodulação. A parte vital do amplificador é naturalmente o transformador de saída. A impedância primária dêste deve ser de 8 000 ohms, de placa a placa; o secundário deve ter tomadas para 4 e 8 ohms. Para a aquisição desta peça, valem as recomendações que já demos, por várias vêzes, a respeito dêsse assunto: não vale a pena economizar, justamente neste componente. Para os que desejem enrolar o seu transformador, damos no fim do artigo as respectivas instruções.

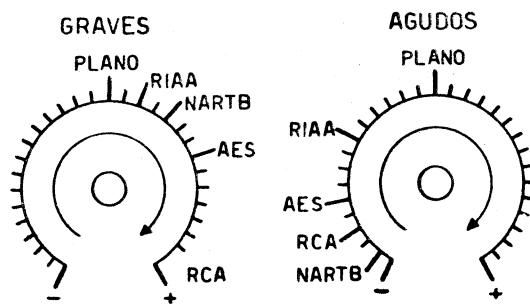


Fig. 1 — Posição dos contrôles para graves e agudos, a fim de conseguir equalização correta para as diversas curvas de gravação.

Do secundário do transformador, da tomada de 4 ohms, é retirada a tensão de realimentação, que é introduzida através de uma resistência de 6 000 ohms no cátodo da 12AX7 excitadora. O valor desta resistência governa o grau de realimentação: se houver oscilação no estágio final, então é necessário colocar um valor mais alto; por outro lado, se o amplificador demonstrar perfeita estabilidade com o valor normal, pode-se tentar baixar um pouco êste valor. Não deve ser alterado o valor da resistência em mais de 10%, de cada vez, para mais ou para menos.

A fonte de alimentação é convencional. O transformador deve ter capacidade para 120 mA e secundário para  $2 \times 300$  volts. Como esta tensão secundária é pouco normal, pode-se também, em último caso, usar  $2 \times 270$  V, havendo neste caso, porém, um decréscimo na potência de saída.

A fim de baixar o ronco produzido pelos filamentos, êste circuito é feito simétrico em relação ao chassi, pela inclusão de duas



resistências de 100 ohms. O chassi, portanto, não deve ser usado para a condução de corrente de filamento.

Pelo uso de um condensador eletrolítico de entrada de filtro de alta capacidade, pode-se dispensar o uso de choque de filtro. Uma resistência de 3 000 ohms, 2 watts, é suficiente para a filtragem da corrente das grades auxiliares das 6V6 e das placas das demais válvulas.

É difícil adaptar um chassi comum para a construção do amplificador, pois não serão achados chassis com a furação adequada. A fim de evitar acoplamentos e ronco, sem, porém, usar fio shieldado para tôdas as ligações sensíveis, é imperioso o estudo cuidadoso para uma disposição racional das válvulas e componentes. A entrada e a saída devem ficar do lado traseiro do chassi, porém em lados opostos. Como forçosamente o transformador de força e de saída não podem ficar muito distantes (porque o de força não

pode ficar muito perto do circuito de entrada) é necessário orientar os núcleos para que as pernas centrais dos mesmos fiquem em ângulo reto um com o outro.

O melhor procedimento para determinar a furação adequada para as válvulas, é de fazer um chassi de papelão grosso, colocar nêlo os potenciômetros e a tomada de entrada e procurar a melhor posição dos soquetes, experimentalmente. Em muitos casos é conveniente colocar um ou outro potenciômetro mais para o centro do chassi, usando uma prolongação de eixo para alcançar o painel frontal. Com uma disposição racional deve ser possível dispensar o uso de fio de ligação junto às duas primeiras válvulas (fora naturalmente o circuito de filamento), pois os próprios componentes servem para tal fim.

O chassi não deve ser usado como ligação terra. Em cada estágio, as ligações ao pólo negativo devem ser feitas a um suporte isolado; todos êstes são então soldados ao chassi, sòmente junto à tomada de entrada.

#### DADOS PARA O ENROLAMENTO DE UM TRANSFORMADOR DE SAÍDA DE BOA QUALIDADE

Como núcleo é usado ferro comum para transformadores de força, com altura da perna central de 1 1/8" (28 mm). É êste o tipo comum usado na grande maioria dos transformadores de força de 60 ou 80 mA. A altura da pilha de chapas deve ser igualmente de 28 mm, resultando assim uma seção quadrada de aproximadamente 7,5 cm<sup>2</sup>. Ao comprar as chapas, deve-se cuidar de escolhê-las sem rebarba de estampo; em qualquer caso, é bom limar os cantos e em seguida passar, em ambos os lados, uma fina camada de verniz, para permitir a perfeita isolação entre as chapas.

Depois de preparado o carretel, enrola-se como secundário 114 espiras de fio nº 22 esmaltado, fazendo-se uma tomada na 81ª

espira. Em cima dêste enrolamento são enroladas 3 600 espiras de fio B&S 34 para o primário, com tomada central, sendo finalmente colocada a segunda metade do secundário, ou seja, mais 114 espiras de fio 22, com tomada na 81ª espira.

Naturalmente deve ser feita uma isolação adequada entre os enrolamentos e entre cada camada deve ser intercalada uma fôlha de papel isolante.

Depois de colocado o núcleo (chapas alternadas, para não resultar entreferro) os dois secundários são ligados em paralelo (comêço com comêço, tomada com tomada, e fim com fim), quando então o transformador estará pronto.

# UM AMPLIFICADOR ECONÔMICO

Os aparelhos de alta-fidelidade têm muito em comum com os fonógrafos comuns, com uma diferença fundamental: enquanto que os fonógrafos comuns possuem 2, 3 ou no máximo 4 válvulas amplificadoras, os de «HI-FI» usam até 8 ou 10 válvulas para conseguir praticamente a mesma potência de saída.

O motivo para este aumento do número de válvulas é a baixa distorção exigida nestes últimos: isto força o construtor a usar forte realimentação negativa, e a conseqüente perda de amplificação deve ser compensada por um número maior de válvulas amplificadoras.

Outro fator que aumenta as demandas de amplificação é a exigência de contrôles de tonalidade flexíveis. Qualquer controle de tonalidade, ligado entre duas válvulas amplificadoras, tem uma certa perda de inserção, que deve ser compensada por uma amplificação correspondente.

O elevado número de válvulas, bem como a comodidade do manejo, levaram os construtores a dividirem o amplificador, geralmente, em 2 unidades: o preamplificador-equalizador e o amplificador de potência. O alto-falante (ou alto-falantes), por sua vez, é colocado em móveis acústicos à parte.

Todo este sistema encarece sobremaneira os aparelhos de alta-fidelidade.

O circuito por nós publicado no presente capítulo é capaz de proporcionar ótima fidelidade, embora não podendo competir com os aparelhos «HI-FI» de classe. Mesmo assim proporcionará uma reprodução melhor do que muitos conjuntos anunciados por preços bem mais elevados.

O amplificador emprega um total de 5 válvulas, sendo duas destas com dois sistemas. Destina-se especialmente para uso em conjunto com toca-discos automáticos (ou simples), empregando cápsulas cerâmicas. Estas cápsulas proporcionam saída menor que a dos pick-ups de relutância variável, sendo que os modernos tipos já vêm equalizados

para a curva de gravação dos discos atuais.

Como alto-falante deve ser usado um tipo com 7 a 8 ohms de impedância, o valor aliás mais comum encontrado nos bons alto-falantes. Naturalmente, é também possível usar dois alto-falantes de 3,6 ohms em série, ou dois de 15 ohms em paralelo. Para o transformador de saída, a peça mais cara e mais crítica de um amplificador de alta-fidelidade, forneceremos, no fim deste artigo, dados completos para o enrolamento, usando núcleo de ferro comum. Este transformador foi calculado e experimentado pela VALVO G.M.B.H., uma firma alemã de grande experiência no assunto.

## O CIRCUITO

As duas entradas do amplificador podem ser selecionadas por intermédio de uma chave de 1 pólo, 2 posições. Uma das entradas é destinada ao pick-up cerâmico (ou de cristal) e a outra para um sintonizador. Como nenhuma das entradas deve receber uma tensão superior a 100 mV, é necessário equipá-las com atenuadores de saída ajustáveis, a fim de que ambas forneçam aproximadamente a mesma tensão de saída. Como atenuadores pode-se usar potenciômetros de 500 000 ohms.

Pela chave S-1 é então ligada uma ou outra fonte de áudio à grade da primeira válvula amplificadora, uma das seções da primeira 12AX7. Nesta válvula o sinal é amplificado aproximadamente 20 vezes, proporcionando a resistência de cátodo (sem condensador em paralelo) uma certa realimentação negativa. Entre a primeira e a segunda seção da mesma válvula está incluída a rede controladora de tonalidade. R-1 é o potenciômetro que controla os agudos; estando encostado o cursor do lado do terminal de C-1, este condensador deixa passar as freqüências elevadas à grade. Estando o cursor na outra posição (junto a C-2), este

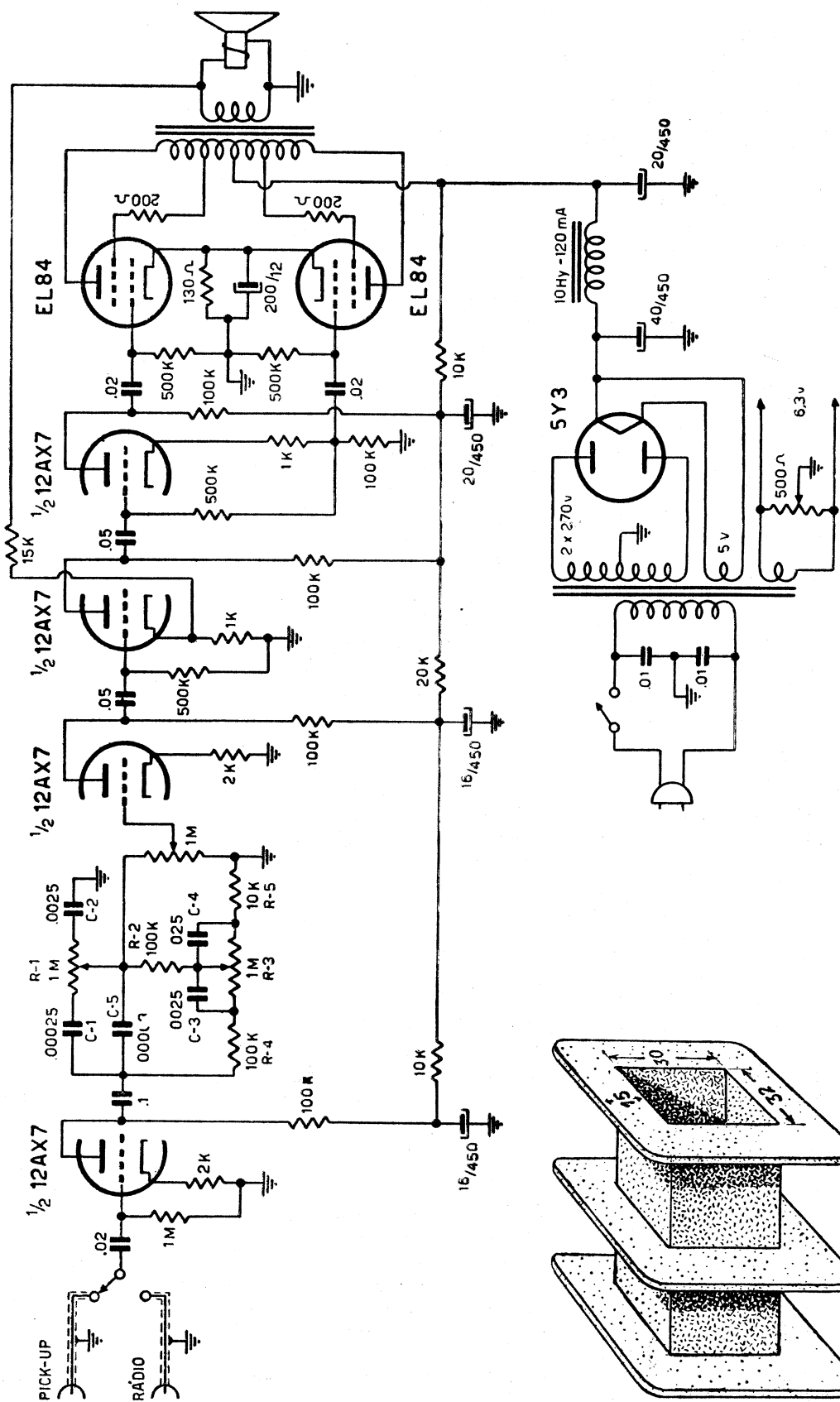


Fig. 1 — Circuito esquemático do amplificador completo, a ser usado com pick-up de cerâmica. Possui controle independente para graves e agudos e uma saída de saída ultralinear.

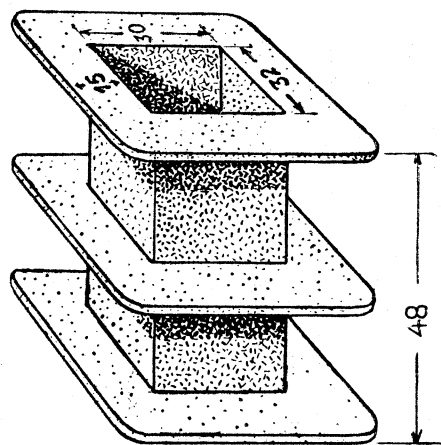


Fig. 2 — Carretel de enrolamento para o transformador de saída ultralinear.

condensador desvia parte das frequências elevadas ao chassi.

A resistência R-2 serve para desacoplar os dois controles, um do outro. Para o controle de graves (R-3) o processo é o seguinte: quando o cursor está na posição central, R-4 em conjunto com C-3 e R-5 em conjunto com C-4 formam um divisor de tensão de 1 para 11 e que é independente da frequência. Através de R-2, portanto, passam apenas aproximadamente 9% da tensão de uma válvula à outra.

Quando, porém, o cursor encosta do lado de R-4, C-3 está em curto-circuito e com isto aparecem fortes frequências baixas sobre C-4. Estando o cursor junto a R-5, C-4 estará em curto e a pequena capacidade de C-3 provocará uma atenuação das frequências baixas. O segundo triodo da 12AX7 compensa a perda de amplitude provocada pela rede de tonalidade. Ambos os sistemas recebem tensão de placa bem filtrada e estão desacoplados por filtros R-C.

O primeiro triodo da segunda 12AX7 aumenta o sinal ao nível necessário para o inversor de fase. No cátodo desta válvula é injetada a realimentação negativa, que abrange todo o circuito restante, inclusive o transformador de saída.

O inversor de fase é do tipo comum, com resistência de carga dividida entre o circuito de placa e o cátodo.

Como válvulas de saída foram escolhidas as EL84, o novo tipo largamente empregado na Europa e que corresponde à 6BQ5 americana, trabalhando em ligação ultralinear. Com 250 volts nas placas e grades auxiliares, esta válvula fornece 10 watts de potência de saída, com 3% de distorção total. Pela aplicação da realimentação negativa este valor é baixado para frações de 1%.

À parte da ligação ultralinear, o circuito do estágio de saída é comum. A resistência de cátodo é comum para ambas as válvulas. O condensador de cátodo deve ter um valor realmente elevado; o mínimo é de 200 mfd (2 de 100 mfd em paralelo). As resistências de 200 ohms, no circuito de grade auxiliar das válvulas, são necessárias para evitar oscilações supersônicas muito comuns em válvulas de alta transcondutância.

O circuito de alimentação é absolutamente comum, não requerendo peças especiais. O transformador de força deve ser de 100 a 120 mA, com enrolamento de alta tensão de  $2 \times 270$  volts. Como em todos os amplificadores de alto ganho, o chassi não deve ser usado como condutor para o circuito de filamento. O potenciômetro de 500 (ou 1 000) ohms é absolutamente necessário; o seu cursor

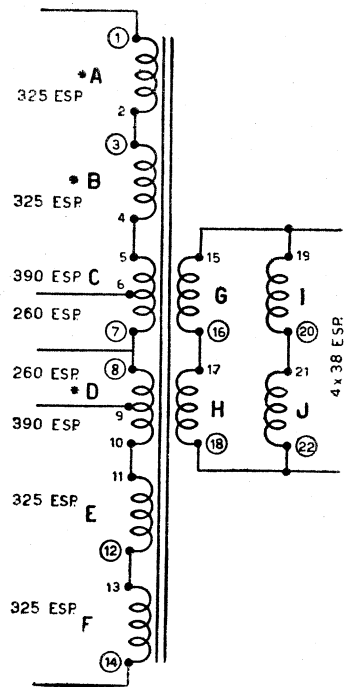


Fig. 3 — Esquema de enrolamento do transformador de saída. Os enrolamentos com asteriscos devem ser enrolados em sentido contrário aos demais. Os números em círculos indicam que esta ponta de enrolamento está junto à parede divisora central.

é ligado à terra. Também é possível ligar o cursor aos cátodos das válvulas de saída; neste caso, todos os filamentos possuem uma tensão negativa em relação às grades e todos os elétrons eventualmente emitidos diretamente pelos filamentos são repelidos pela tensão negativa, reduzindo-se assim ainda mais o ronco produzido por esta fonte.

## A MONTAGEM

Um amplificador de qualidade nunca deveria ser construído usando-se chassis comuns de rádios ou amplificadores. Isto porque o uso de fio shieldado deve ser restrito ao mínimo estritamente necessário, para que a capacitância entre o fio e a blindagem não possa provocar fortes perdas nas frequências altas. Esta exigência, por sua vez, demanda ligações curtíssimas de todos os componentes que conduzem audiofrequência. O meio mais prático para achar a disposição adequada é o de recortar os soquetes, em tamanho natural, em papelão, marcando nos mesmos a posição dos terminais de grade e placa. Dispõe-se estas fichas até que os componentes caibam exatamente entre os terminais correspondentes. Geralmente, convém que os controles de tonalidade e volume sejam colocados bem próximos do soquete da válvula, empre-



gando extensões de eixo para a colocação dos botões correspondentes. Com este método e separando bem estas ligações das de filamento, consegue-se montar todo o amplificador sem empregar um centímetro sequer de fio shieldado. Pela facilidade de trabalho e pelo fato de ser antimagnético, recomendamos o uso de chapa de alumínio para a confecção do chassi.

## O TRANSFORMADOR DE SAÍDA

Na construção de transformadores de saída, é um ponto bastante crítico, para a fidelidade de reprodução, a perfeita simetria do enrolamento, não só do ponto de vista elétrico, como também do ponto de vista mecânico.

Essa é a razão de ser usado, muitas vezes, o sistema de enrolamento com subdivisão do primário e secundário em seções, que são dispostas alternada e simetricamente em relação uns aos outros e ao núcleo. Nos transformadores de saída do tipo ultralinear, esse requisito de simetria absoluta é ainda mais crítico que nos tipos comuns de transformadores de alta-fidelidade. Nesses, não só a tomada central possui influência sobre as características, como também as tomadas para a ligação das grades auxiliares. A colocação dessas tomadas é importante para um funcionamento correto, sendo crítica, não tanto a colocação em relação ao centro do enrolamento, mas sim à sua simetria. A colocação é em geral feita de tal forma que a tensão alternada aplicada às grades auxiliares tenha aproximadamente 20% da tensão de placa destas válvulas.

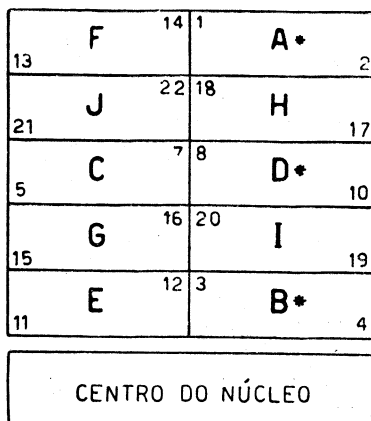


Fig. 4 — Distribuição geométrica dos enrolamentos. A até F são os enrolamentos primários, nos quais estão encaixados os secundários G até J. Os enrolamentos com asterístico são enrolados em sentido contrário ao dos demais.

O transformador de saída utilizado para o amplificador «HI-FI» acima descrito é desse tipo, com tomadas em aproximadamente 18,6% a partir da tomada central. Descreveremos a construção de tal transformador, que, sendo enrolado com núcleo de ferro de qualidade adequada, proporcionará ótimos resultados.

O ferro recomendado é do tipo Tran-Cor M-22 (o antigo tipo 82), com seção do núcleo de 32 × 30 mm; a fôrma do núcleo será feita com chapas «E-I», com 1 1/4" (32 mm) de largura da perna central. Este tipo de ferro pode ser conseguido com relativa facilidade, pois é importado por grande parte das fábricas nacionais de transformadores. A grossura das chapas deve ser de 0,5 mm (chapa 26) ou 0,35 mm (chapa 29). Na escolha das chapas, deve-se cuidar de um corte limpo; qualquer rebarba deve ser cuidadosamente eliminada. Todas as chapas devem ser cobertas de uma fina camada de verniz isolante, pois não é aconselhável confiar na isolamento da camada oxidada das chapas.

O carretel deve ter furo de 32 × 30 milímetros. Além da chapa divisora central convém colocar 2 chapas laterais, para poder prender os terminais. A grossura destas chapas deve ser de aproximadamente 1 milímetro, para resultar um carretel sólido e resistente (fig. 2).

O esquema do enrolamento é mostrado na figura 3. O transformador possui um total de 10 enrolamentos, ou seja, 5 de cada lado da divisão central. O enrolamento primário é feito com fio 33 B&S, esmaltado, enquanto que o secundário é enrolado com fio 21, também esmaltado.

Três dos enrolamentos devem ser feitos em sentido contrário ao dos demais; marcamos estes enrolamentos com um asterístico (\*). Todas as extremidades deverão ser levadas para fora (identificando-as com os números correspondentes) e depois de terminados todos os enrolamentos, entreligadas de forma correta. Os números em círculos significam que essa ponta do enrolamento fica na parte de dentro do carretel (junto à parede divisora). Cada camada de enrolamento deve ter exatamente o mesmo número de espiras que a correspondente do outro lado da tomada central. Os enrolamentos correspondentes são A e F, B\* e E, C e D, G e I e H\* e J. Entre as camadas de fio 33 devem ser intercaladas fôlhas de papel isolante com gros-

(Cont. na pág. 112)

# AMPLIFICADOR COM ESTÁGIO ULTRALINEAR

A técnica de alta-fidelidade teve pronunciada influência sobre todos os projetos de amplificadores de audiodiferença. Os circuitos antigos, projetados somente para a obtenção de potência máxima, independentemente da percentagem de distorção ou limitação da faixa de resposta, estão desaparecendo rapidamente, dando lugar a circuitos ultralineaes que usam realimentação negativa, controle de graves e agudos, etc.

A indústria nacional, atendendo à demanda de transformadores para alta-fidelidade, já lançou vários tipos de transformadores, desde o tipo para recursos modestos, até aos de altíssima qualidade e, portanto, bastante dispendiosos.

O circuito apresentado nesta seqüência de artigos é destinado à reprodução de discos, formando o preamplificador e o amplificador de potência um conjunto só. A potência de saída é de 14 watts e, com um bom transformador de saída, a distorção harmônica resulta menor que 1%, com 12 watts de saída. Entre 20 e 15 000 Hz, a resposta é linear dentro de 0,5 dB.

Possui controles de agudos e graves independentes e de grande eficiência, equalização para pick-ups magnéticos e diversas curvas de gravação. A impedância de saída é de 15 ohms e a resistência dinâmica interna é quase nula, garantindo, assim, forte amortecimento do alto-falante empregado.

O circuito (fig. 1) possui várias particularidades dignas de serem explicadas com maiores detalhes. A entrada do amplificador (P-1) foi projetada para pick-ups de relutância variável, sendo necessários 10 mV para a excitação total. Além disso, existe ainda

uma entrada para os tipos de cristal (P-2). A resistência de carga para esta entrada é formada pela ligação em série do condensador de .1 mfd, com a resistência de 5 K. Esta baixíssima impedância faz com que a tensão de saída deste tipo de pick-up baixe para 20 até 30 mV (valor comum: 1 até 1,5 V), não havendo, desta forma, perigo de sobrecarga da primeira etapa de preamplificação. Ao mesmo tempo, a curva de resposta deste pick-up é igualada à do tipo magnético, servindo, portanto, o mesmo equalizador de curva de gravação para ambos os tipos. Finalmente, o forte amortecimento do pick-up de cristal faz com que o fator de intermodulação interna do cristal baixo consideravelmente.

A equalização do pick-up e da curva de gravação é feita por intermédio de uma chave de 1 pólo, 5 posições. Na primeira posição, apropriada para gravações «long-play», existe um divisor de tensão dependente da frequência entre placa e cátodo da primeira seção da primeira 12AX7, que faz com que a reprodução seja correta quando a gravação foi feita de acordo com a curva RIAA.

Na segunda posição da chave, a atenuação das frequências altas é modificada, para corresponder à curva de gravação AES. A terceira posição proporciona uma curva de reprodução de agudos reta, podendo ser usada esta posição para discos com pouco chiado e que tenham pouco «brilho» nos tons agudos.

Nas duas últimas posições, a reprodução é cortada nos tons agudos, sendo na posição 4 a frequência limite de 6,5 KHz e

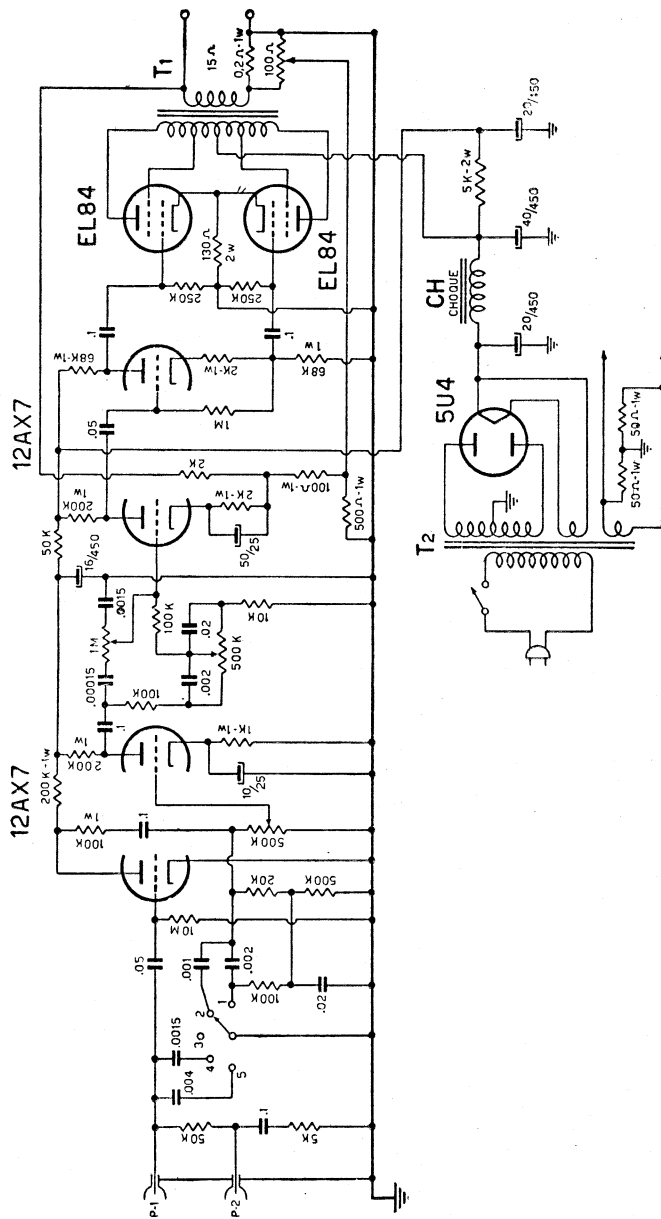


FIG. 1

Amplificador de alta-fidelidade, de custo reduzido. Possui duas entradas, uma para pick-up de relutância variável (P-1) e outra para pick-up de cristal ou cerâmica (P-2). O potenciômetro de 1 megohm e o controle de agudos e o de 500 000 ohms o controle de graves. O potenciômetro de 100 ohms, no circuito de saída do amplificador, regula a impedância de saída, a fim de conseguir amortecimento correto para o alto-falante.

na última de 4,5 KHz. Estas duas últimas posições da chave são usadas somente para discos comuns, de 78 r.p.m., que apresentam forte chiado de agulha. O corte é conseguido pelo efeito de ressonância entre a indutividade do pick-up e o condensador ligado em paralelo com o mesmo. Portanto, estas duas últimas posições da chave só terão efeito quando for usado pick-up magnético; com os tipos de cristal, somente baixa o nível de reprodução, não mudando porém a curva de resposta.

O controle de volume está colocado entre a 1ª e 2ª seções da 12AX7, enquanto que os controles de tonalidade estão situados entre as duas válvulas 12AX7. Os controles de tonalidade são do tipo convencional, devendo, se possível, serem os potenciômetros de curva linear. Se estes não existirem, pode-se usar um comum, logarítmico, porém, neste caso, a resposta linear não se dará no meio do percurso do potenciômetro. O máximo aumento proporcionado pelos controles em 20 e 10 000 Hz é de +16 e +13 dB, respectivamente, enquanto que a atenuação nas mesmas frequências é de -16 e -8 dB, respectivamente.

A 2ª 12AX7 é usada como preamplificadora e inversora de fase. No cátodo da 1ª seção desta válvula são introduzidas as tensões de realimentação, sobre a qual falaremos mais adiante.

A inversão de fase usa o circuito com carga distribuída entre placa e cátodo. As duas resistências de 68 K não necessitam ser de valor exato, porém a diferença entre ambas não deve ser maior que 5%, a fim de garantir um perfeito equilíbrio do estágio push-pull.

O estágio de saída trabalha em ligação ultralinear, usando a válvula EL84. O motivo da escolha deste tipo de válvula reside no fato dela se adaptar melhor ao circuito ultralinear, além de já ser fabricada em nosso país e, portanto, encontrada com relativa facilidade. Com isto, poderemos usar o mesmo transformador de saída do amplificador descrito nas páginas 128 e 129 desta antologia, sendo somente necessário alterar o enrolamento dos secundários, a fim de obter 15 ohms de impedância de saída. Para o presente caso, os secundários devem ser enrolados com 53 espiras de fio esmaltado nº 24.

Sendo usado um transformador de saída comercial, a impedância primária de placa a placa deve ser de 8 000 ohms e a secundária ajustável para 15 ohms.

Do enrolamento secundário partem dois elos de realimentação negativa. Um, de tensão, diminui a distorção e baixa a impedância dinâmica de saída. Este elo vai da parte de cima do enrolamento secundário do transformador de saída, através de uma resistência de 2 K, ao cátodo da 1ª seção da segunda 12AX7. Do valor desta resistência depende o grau de realimentação; caso apareçam oscilações de frequência muito baixa, é necessário aumentar o valor desta resistência e, se as oscilações forem de frequência muito elevada, deve-se experimentar a ligação, em paralelo com a resistência, de um condensador com valor entre 20 e 150 pF.

O outro elo de realimentação negativa depende da corrente de saída. É usada a queda de tensão sobre a resistência de 0,2 ohms, provocada pela corrente que circula no secundário, a fim de conseguir uma tensão proporcional, que é também injetada no circuito de cátodo da 12AX7. Esta tensão de realimentação é regulável por intermédio do potenciômetro de 100 ohms e provoca um aumento na impedância dinâmica de saída. Como esta última é variável, consegue-se variar praticamente a impedância ao valor ótimo para cada instalação.

A fonte de alimentação nada tem de especial. O transformador de força deve fornecer  $2 \times 270$  volts no secundário, com 150 mA. Como uma 5Y3 trabalhará bem perto do limite máximo de sua capacidade, é melhor usar uma 5U4. As duas resistências de 50 ohms no circuito de filamento servem para tornar este circuito simétrico em relação ao chassi, baixando assim o perigo de introdução de ronco através do circuito de filamento.

Como choque de filtro serve qualquer tipo de 5 a 10 Hy, 125 a 150 mA.

Para a montagem valem as recomendações gerais para a construção de amplificadores de alta-fidelidade: disposição de peças de acordo com as necessidades do circuito, a fim de resultarem ligações curtíssimas de grade e placa, principalmente nos estágios de entrada. Só assim consegue-se evitar o uso de fio shieldado, o que virá, por sua vez, melhorar a resposta de frequências altas.

# Amplificador de Alta - - Fidelidade, 10 watts

Descrição detalhada de um conjunto de alta-fidelidade, de custo bastante reduzido e fácil construção.

Amplificadores de alta-fidelidade são oferecidos atualmente em grande variedade de tipos, desde os com 10 watts de saída e alto-falante simples, até aos com 60 watts, alto-falante triaxial (a combinação de vários alto-falantes especiais) e grande quantidade de controles. Mais ainda que a apresentação técnica e a fidelidade de reprodução, varia o preço, sendo que, mesmo melhoramentos relativamente pequenos têm de ser pagos com um substancial aumento de preço.

No projeto do presente amplificador foi cuidado de conseguir o melhor compromisso possível entre a fidelidade e o custo. Como em qualquer amplificador de alta-fidelidade, o estágio decisivo é o de saída e neste, particularmente, o transformador usado. Foi escolhido para este fim um transformador para ligação ultralinear, da Willkason, modelo 4705. O sistema ultralinear é o mais apropriado, pois alia à baixa distorção (pela realimentação inerente) alta potência de saída. Como válvula de saída foi escolhida a EL84, pois é uma ótima válvula e as impedâncias primárias do citado transformador foram calcula-

das especialmente para um mínimo de distorção, usando este tipo de válvula.

Por motivos de economia, tornou-se necessário incluir o preamplificador no mesmo chassi que o amplificador principal, bem como a fonte de alimentação. O chassi para amplificadores Willkason presta-se admiravelmente bem para este projeto, tendo ainda as seguintes vantagens:

1) a chapa de frente, com tôdas as indicações necessárias impressas, pode ser retirada do chassi e usada como escudo para os controles, caso o amplificador seja usado no interior de um móvel. Neste caso, é usada uma chapa comum, não impressa, junto ao amplificador. No caso de ser usado o amplificador como unidade avulsa, a chapa impressa é parafusada diretamente à parte frontal do chassi. Para este caso, também existe uma cobertura que protegerá as válvulas e os outros componentes colocados sobre o chassi;

2) além da chapa de fundo, também o painel de cima do chassi pode ser destacado. Assim, as principais ligações do amplificador podem ser feitas mais comodamente.

O circuito esquemático completo do amplificador está ilustrado na figura 1. A primeira válvula, uma 12AX7, é usada como pre-amplificadora e equalizadora. A válvula seguinte, outro duplo-tríodo 12AX7, trabalha como amplificadora e inversora de fase, sendo que os dois controles de tonalidade estão inclusos entre estas duas válvulas. O controle de volume está incluso entre o primeiro e segundo sistema da 1ª 12AX7, atuando, portanto, sobre as duas entradas do amplificador.

Segue-se o estágio de saída ultralinear, sendo usados 2 alto-falantes na saída, um de 12 polegadas, que deve reproduzir principalmente os sons graves, e outro pequeno, de 3 ou 4 polegadas, que reproduz somente os sons agudos.

A fonte de alimentação é absolutamente convencional, usando transformador de força de 120 mA,  $2 \times 275$  V na alta tensão. O primário possui 6 entradas de tensão, ao invés das costumeiras 5; a tensão de 130 volts destina-se a localidades com tensão nominal de 115 volts, onde normalmente a tensão está acima deste valor. Como

os comutadores comuns só possuem 5 posições, ou seja, 90 - 115 - 180 - 200 - 220 V, é necessário usar o terminal correspondente a 180 volts para a ligação dos 130 V, quando a tensão da rede for de 115 V. Em redes de 220 V, naturalmente, deixar-se-á livre o terminal de 130 V do transformador.

O primeiro estágio amplificador serve para elevar o nível de saída do pick-up de relutância variável e, ao mesmo tempo, equalizar a curva de resposta. Não foram incluídas diversas possibilidades de ajuste, pois a prática demonstrou que são pouquíssimos aqueles que podem escolher a curva de equalização correta auditivamente. A grande maioria escolhe a curva de equalização errada, e durante a reprodução do disco procura corrigir a tonalidade. Neste caso já é melhor escolher uma curva de equalização intermediária fixa e deixar a cargo do ouvinte as correções aconselháveis. Os componentes que governam a equalização no nosso amplificador são os condensadores e as resistências em paralelo com o controle de volume, estando a chave na posição «Fono», bem como a resistência em série com o mesmo. Para poder ligar o cátodo da primeira seção da 12AX7 à terra (a fim de diminuir o perigo de penetração de ronco pelo cátodo), foi escolhido o sistema de polarização de grade pela corrente de grade. É este o motivo da existência de uma resistência de grade de valor relativamente alto ( $R_2 = 5 \text{ meg.}$ ).

O controle de volume pode ser ligado, por intermédio de uma chave seletora, ao circuito de placa da 1ª

seção da 12AX7, ou então à segunda entrada do amplificador. Nesta última pode ser ligado um sintonizador de rádio, ou então um pick-up de cristal.

Entre a 1ª e a 2ª 12AX7 estão localizados os controles de tonalidade. Permitem tanto um reforço como uma atenuação independente dos graves e agudos. O potenciômetro de 1 megohm (R-17) é o controle dos agudos. Estando o cursor deste controle encostado do lado do condensador de .00025 mfd (C-13) haverá um reforço dos agudos, pois os médios e graves são atenuados pelas resistências em série de 100 K (R-12 + R-16), enquanto que os agudos passam à grade diretamente pelo condensador de .00025 mfd. O condensador de .002 mfd (C-14), ligado entre o potenciômetro R-17 e a terra, não faz efeito algum, pois está em série com a alta resistência do potenciômetro mencionado.

Estando o cursor do controle de agudos encostado do outro lado (junto ao condensador C-14), então o condensador de .00025 mfd fica sem efeito, por ficar em série com uma resistência alta. As frequências altas agora são desviadas à terra, através do condensador C-14, resultando, portanto, uma atenuação dos agudos.

O controle dos graves funciona de modo semelhante; está inclusa uma resistência de 10 K (R-14) no ramal de terra, a fim de limitar o máximo reforço nas frequências bastante baixas. Quando o cursor do potenciômetro está junto ao condensador de .002 mfd (C-11), então este está em curto-circuito, enquanto que a influência do condensador

C-10 se faz sentir ao máximo. Com isto, os médios e agudos são atenuados ao máximo, sobressaindo os graves.

Se o cursor estiver encostado do outro lado, é o condensador de .02 mfd (C-10) que está em curto-circuito, não tendo efeito algum. Agora, a capacidade pequena do outro condensador atenua as frequências baixas.

Estando ambos os cursores na sua posição central, então não haverá reforço nem atenuação, resultando uma curva de resposta plana.

A 2ª válvula 12AX7 é usada como preamplificadora e inversora de fase. A resistência de cátodo do primeiro triodo não possui condensador de passagem, sendo neste ponto injetada a realimentação negativa, vinda do transformador de saída. No restante, este estágio nada apresenta de anormal.

O inversor de fase usa carga distribuída entre o cátodo e placa. Este tipo de inversor é o mais seguro e funciona perfeitamente, mesmo em frequências superiores a 100 KHz.

A polarização negativa correta para esta válvula é conseguida através da resistência de 2 000 ohms (R-21). Esta resistência poderia levar em paralelo um condensador eletrolítico, a fim de aumentar a amplificação do estágio; como, porém, é pequena a alteração, não julgamos ser conveniente a colocação.

Pela alta realimentação negativa inerente a este estágio (devido ao altíssimo

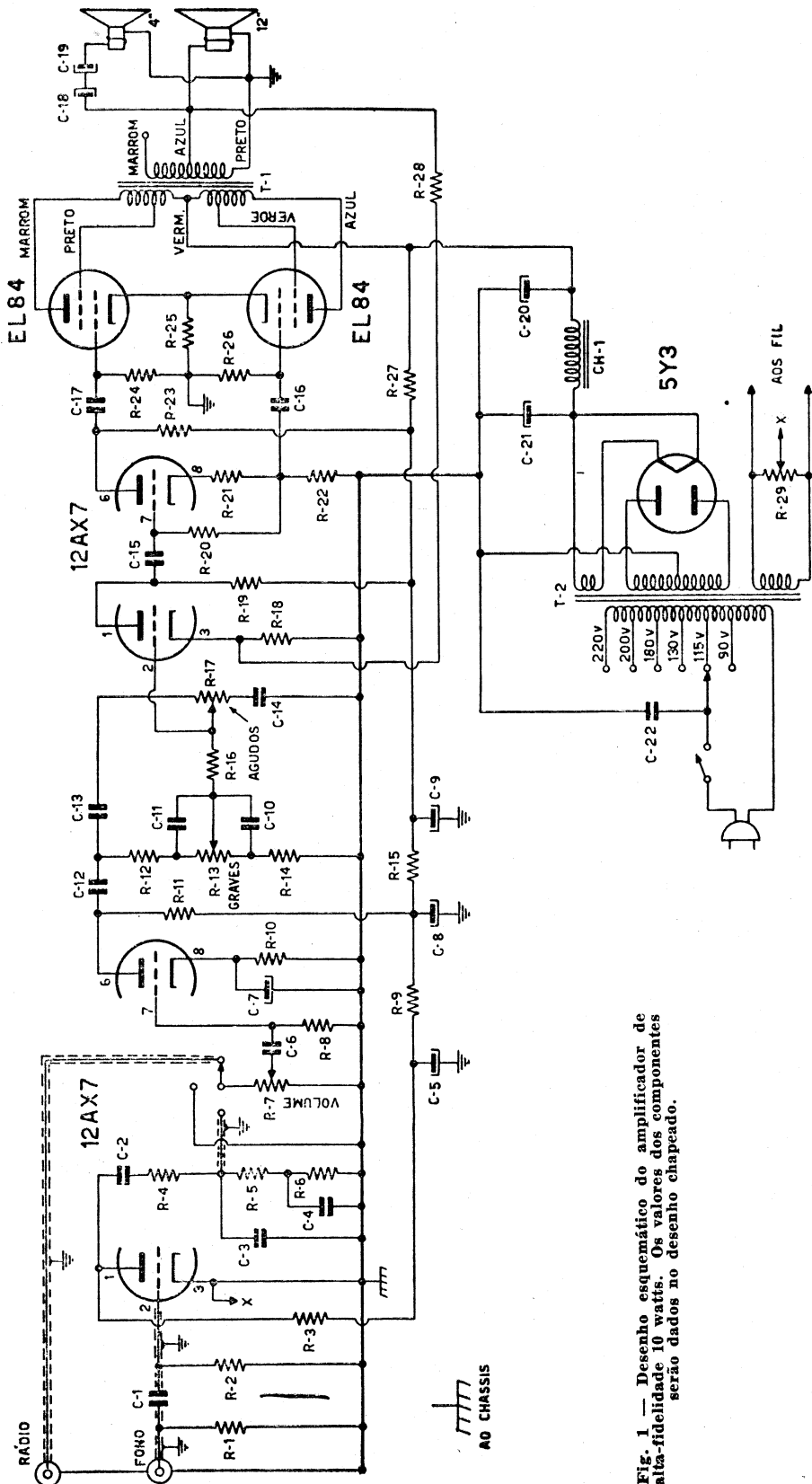


Fig. 1 — Desenho esquemático do amplificador de alta-fidelidade 10 watts. Os valores dos componentes serão dados no desenho chapeado.

valor da resistência de cátodo, R-22), a distorção dêste estágio é bastante baixa. Esta vantagem é conseguida à custa de reduzido ganho, o qual está até um pouco abaixo de 1 (portanto, introduz pequena atenuação).

O equilíbrio exato das tensões de saída depende somente dos valores das resistências R-22 e R-23, que, no nosso caso, são ambas de 68 K. O valor absoluto não é crítico, podendo ficar entre 60 K e 70 K; o importante é que ambas tenham o mesmo valor. Quem conseguir resistências com tolerância de 5% poderá usá-las; no caso contrário, convém medir várias resistências por intermédio de um ôhmetro ou uma ponte, até achar dois exemplares que não mostrem diferenças maiores do que 5% entre os seus valores. Sempre a resistência de menor valor deve ser colocada no lugar da R-22, pois em série com está já existe outra, com valor de 2 K (R-21).

Acoplado por resistência-capacidade, segue-se o estágio de saída em push-pull ultralinear. O sistema ultralinear caracteriza-se pelo uso de pentodos ou tétrodos no estágio de saída, sendo que as grades auxiliares destas válvulas não são ligadas ao pólo +B, mas sim a tomadas no enrolamento primário do transformador de saída. Com isto, as grades auxiliares recebem, além da polarização positiva fixa, uma determinada parcela de tensão alternada, o que tem como resultado uma realimentação negativa. Esta reduz a distorção gerada pela válvula e, ao mesmo tempo, baixa a resistência interna da válvula. Portanto, os tétrodos ou pentodos ad-

quirem uma característica semelhante à dos tríodos, sendo, porém, a sensibilidade bem maior que a dos tríodos. Devido à realimentação inerente do estágio, é possível aplicar realimentação adicional (do transformador de saída, à entrada do amplificador) maior, sem perigo de oscilação.

O transformador de saída (Willkason nº 4705) possui duas impedâncias de saída, de 4 e 8 ohms. Tanto a realimentação, como a ligação do alto-falante para os agudos (tweeter) são derivadas do enrolamento de 4 ohms. Também o alto-falante para graves (woofer) é ligado nesta mesma tomada, caso tenha impedância entre 3 e 5 ohms. Para alto-falantes de 7 a 8 ohms, na bobina móvel, naturalmente é necessário usar a tomada de 8 ohms.

Com uma tensão de placa de aproximadamente 250 V, consegue-se no estágio de saída uma potência de 8 - 10 watts, o que é amplamente suficiente para salas comuns.

O alto-falante para agudos é acoplado ao transformador, através de um condensador de 4 mfd; como condensadores de papel com esta capacidade são bastante caros, são usados 2 eletrolíticos de 8 mfd em série, com os dois pólos negativos entreligados. Resulta assim um condensador eletrolítico de 4 mfd, que pode ser usado com tensões alternadas, sem sofrer danos.

Ao fazer as ligações ao transformador de saída, é indispensável seguir exatamente as indicações das cores marcadas no desenho esquemático. Os fios marrom e preto, por exemplo, devem estar em contato com a

placa e a grade auxiliar da válvula EL84, cuja grade está ligada, através do condensador C-17, à placa da 12AX7 precedente. No secundário, deve estar ligado o fio preto à terra; trocando-se uma destas ligações, o amplificador oscilará.

A fonte de alimentação é convencional, tendo capacidade maior que a necessária, a fim de obter boa regulação de tensão.

No circuito de filamento foram incluídas duas resistências de 50 ohms, a fim de tornar a tensão de 6,3 volts simétrica, em relação ao chassi, e baixar o ronco proveniente da alimentação dos filamentos com corrente alternada ao mínimo. Normalmente, o uso de duas resistências fixas é suficiente; no caso de exigência máxima, neste ponto, pode-se substituir as duas resistências por um potenciômetro de 100 ou 200 ohms, ligando o cursor à terra e ajustando-o ao mínimo ronco possível (R-29).

Outros fios, que devem ser colocados com algum cuidado, são os fios de entrada da primeira e segunda 12AX7 (pinos 2). Estes fios são sensíveis à captação de zumbido, mas não devem ser blindados, a fim de que a capacitância entre a blindagem e o fio central não possa introduzir perdas nas frequências elevadas. Portanto, na colocação destes fios, deve-se usar o chassi como uma espécie de blindagem. O fio ao pino 2 da 1ª 12AX7, por exemplo, deve ficar bem no canto do chassi e o fio que vai da entrada de rádio à chave seletora deve ficar encostado na dobra lateral. Também o fio que vai do pino 2 da 2ª 12AX7 ao terminal central de R-17 deve ficar perto do



chassi, distanciando-se d'êste sòmente ao atravessar o fio de filamento.

Tanto os dois primeiros estágios preamplificadores, como o excitador e inversor, estão desacoplados por intermédio de filtros R-C (R-9 e C-5, R-15 e C-8, e R-27 e C-9), a fim de evitar oscilaes de freqncia baixa.

O desenho chapeado está dividido em duas partes: a primeira traz tôdas as ligaes a fazer, enquanto que na segunda constam as resistências e condensadores a serem colocados. Com êste sistema de construo, resulta uma montagem «limpa», pois tôdas as ligaes ficam bastante encostadas no chassi, enquanto que as peças sobressaem bastante. Para obter soldas mais perfeitas, e para acelerar o serviço, recomendamos primeiramente aprontar tôdas as ligaes e colocar tôdas as peças (fixando bem os fios nos terminais) para, são no fim da montagem, soldar de uma vez tôdas as juntas. O tempo ganho com êste procedimento  apreciável e resultam ligaes muito seguras.

Como sempre, a montagem  iniciada com a colocao dos componentes presos ao chassi.  conveniente que os soquetes miniatura de 9 pinos sejam presos por meio de ilhses, pois pouco espaço existe para parafusos e porcas. Quem não quiser usar ilhses, deve usar parafusos e porcas com rsca de 1/8". Ao prender os soquetes, convém fixar junto aos das 12AX7 e da EL84 superiores suportes isolados duplos, a fim de não ser necessário furar o chassi especialmente para êste fim.

Coloca-se então os potenciômetros e a chave, cortan-

do antes os eixos nos comprimentos necessários. Seguem-se o seletor de voltagem, o soquete adaptador do alto-falante e as duas tomadas coaxiais para as duas entradas. Como últimas peças, são colocados os transformadores, o choque de filtro (ste na parte de baixo do chassi) e os con-

deve torcer 3 fios nus não 20, entre si, para formar um cabo bastante sólido. Êste cabo já deve ser soldado no seu lugar, apoiando-se nos diversos terminais isolados, sendo soldado no chassi junto às duas entradas, na dobra traseira. O chassi deve ser raspado com cuidado no lugar da solda, a fim

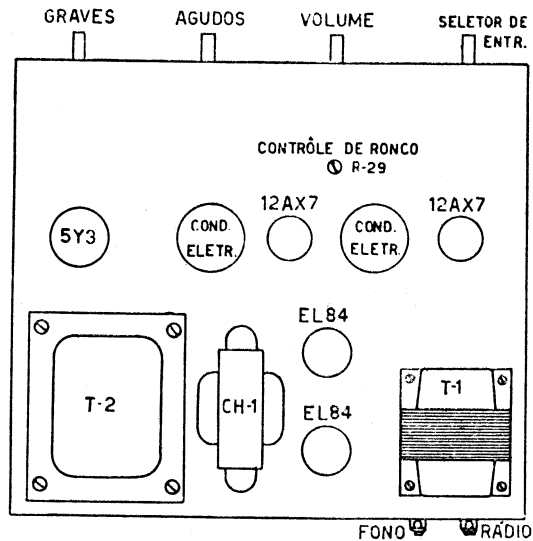


Fig. 2 — Distribuo dos componentes principais sôbre o chassi.

densadores eletrolíticos duplos. Para assegurar uma boa ligao às canecas de alumínio dêstes, deve-se colocar uma das arruelas metálicas com terminal entre o condensador e o chassi. Junto ao terminal desta arruela  então feito um furo no chassi, através do qual, mais tarde,  passado um fio isolado que estabelece a ligao terra entre a caneca e o fio «nibus».

Tôdas as ligaes terra, sem exceo, devem ser feitas a êste fio, o qual deve estar soldado ao chassi em um único ponto. A seo dêste fio deve ser bem grande; quem não tiver um pedaço de fio não 12 ou 14 estanhado para êste fim,

de que seja garantido um ótimo contato.

Em seguida, convém instalar os fios de filamento. Deve-se acompanhar rigorosamente as indicaes do chapeado neste particular. Deve-se cuidar de encostar bem êstes fios no chassi, para ficarem bastante afastados dos demais fios e componentes.

Os demais fios não são muito críticos na sua instalao; naturalmente, cuidar-se- de fazer ligaes curtas e diretas. A fazer as ligaes do transformador de saída T-1,  necessário seguir o código de côres indicado; com ligaes invertidas, o amplificador oscilará fortemente, emitindo o alto-falante um fortíssimo apito. Quan-

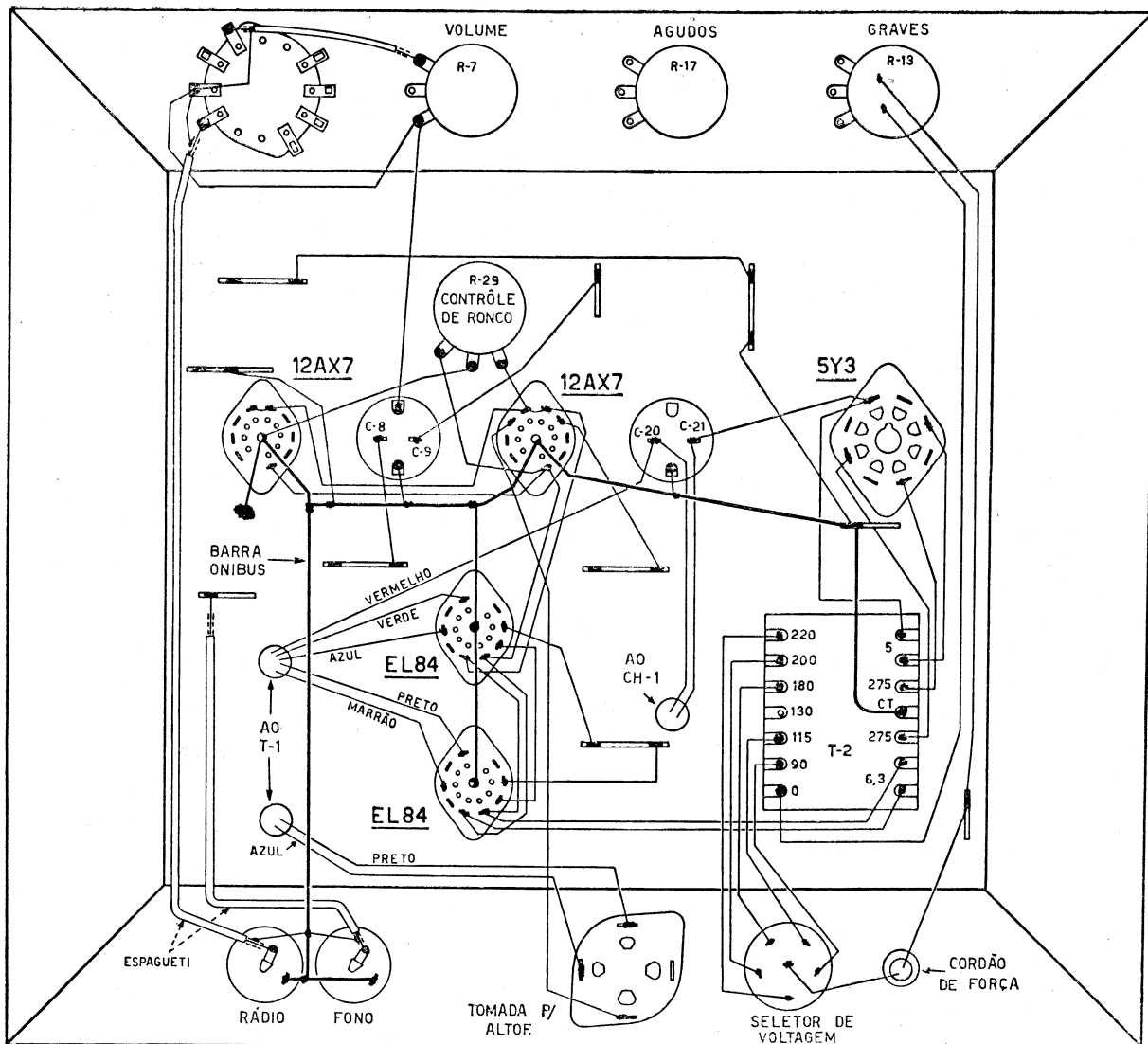


Fig. 3 — Desenho chapeado das ligações a serem feitas, iniciando a montagem do amplificador.

Tôdas as ligações terra, sem exceção, devem ser FEITAS A BARRA-ÔNIBUS. Esta deve ser ligada ao chassi num único ponto, de acôrdo com as instruções do texto. A barra-ônibus deve estar bem afastada do chassi e não deve ter outras ligações a êste, em hipótese alguma.

**IMPORTANTE:** o terminal da tomada para alto-falante que recebe o fio prêto deve ser também ligado à barra-ônibus. Essa ligação deixou de figurar no desenho chapeado para não prejudicar a clareza do desenho.

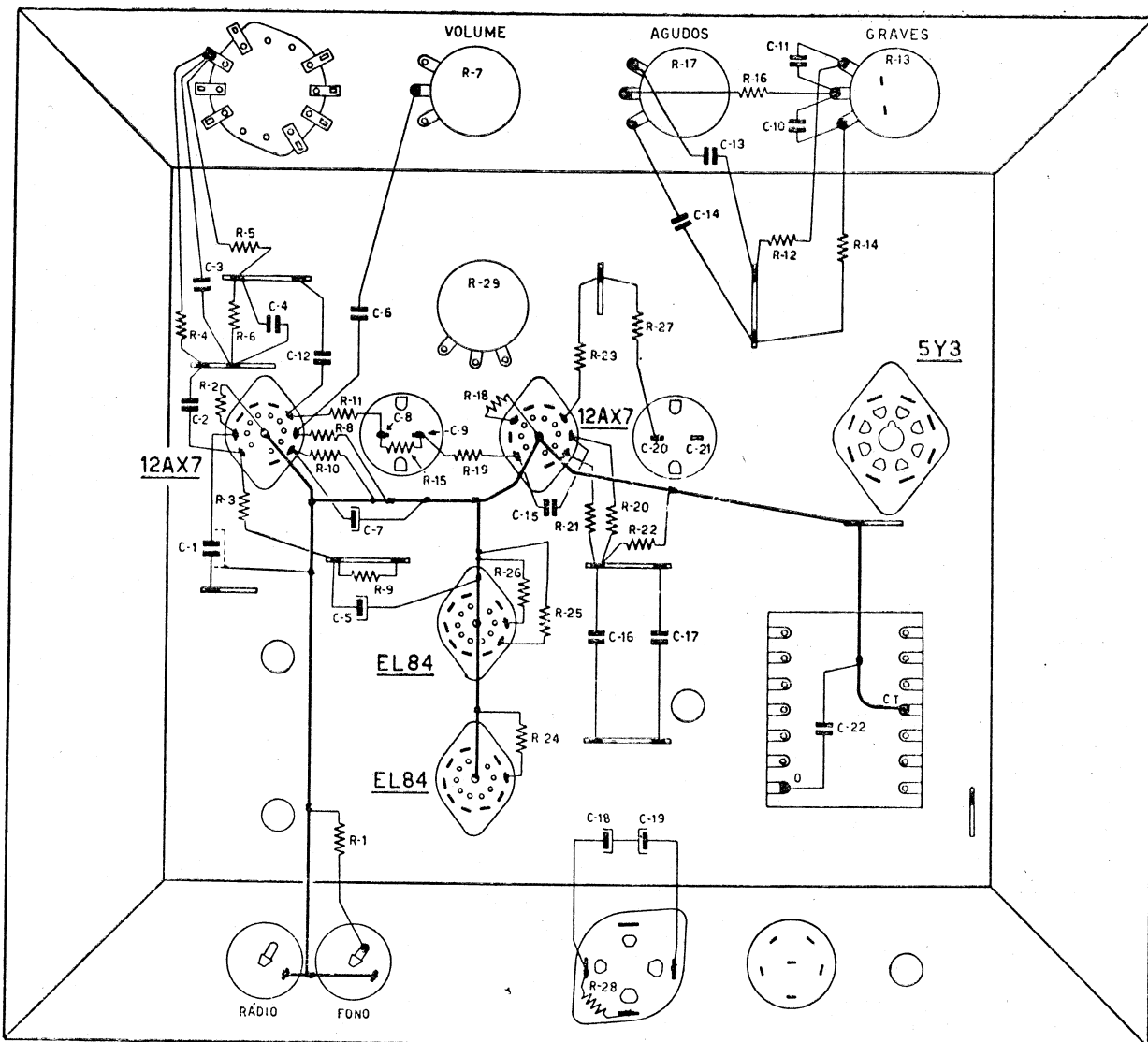


Fig. 4 — Desenho chapeado dos componentes a serem colocados para completar a montagem.

## LISTA DE MATERIAIS

R-1 — 20 K  
 2 — 5 Mg  
 3 — 200 K  
 4 — 150 K  
 5 — 20 K  
 6 — 100 K  
 7 — Potenc. 500 K s/chave  
 8 — 1 Mg  
 9 — 10 K — 1 W  
 10 — 1 K — 1 W  
 11 — 200 K  
 12 — 100 K  
 13 — Potenc. 500 K c/chave  
 14 — 10 K  
 15 — 15 K — 1 W  
 16 — 100 K  
 17 — Potenc. 1 Mg s/chave

18 — 2 K — 1 W  
 19 — 200 K  
 20 — 1 Mg  
 21 — 2 K — 1 W  
 22 — 68 K — 1 W  
 23 — 68 K — 1 W  
 24 — 500 K  
 25 — 100 ohms — 1 W  
 26 — 500 K  
 27 — 20 K — 1 W  
 28 — 50 K — 1 W  
 29 — Potenc. 100 ohms — s/chave

C-1 — .005  
 2 — .1 papel  
 3 — .002 cerâmica

4 — .02 papel  
 5 — 16 mfd/450 V. eletr.  
 6 — .02 papel  
 7 — 25 mfd/25 V. eletr.  
 8 e 9 — 50+50 mfd/450 V. eletr.  
 10 — .02 papel  
 11 — .002 cerâmica  
 12 — .1 papel  
 13 — .00025 mica  
 14 — .002 cerâmica  
 15 — .05 papel  
 16 — .1 papel  
 17 — .1 papel  
 18 — 8 mfd/450 V. eletr.  
 19 — 8 mfd/450 V. eletr.  
 20 e 21 — 50+50 mfd/450 V. eletr.  
 22 — .02 papel

do forem feitas as ligações às tensões primárias do transformador de força (T-2), é necessário escolher entre a tomada de 130 e 180 volts a ser ligada ao terminal de 180 volts do seletor; no caso de ser usada a tomada de 130 volts, é fácil alterar o número 8 da indicação de 180 do seletor para um 3, usando um pouco de tinta preta. Para maior facilidade de trabalho, convém usar fio sólido nº 20, com capa plástica.

Na colocação dos componentes deve servir como guia o chapeado inferior. O desenho é tão claro que não é necessária uma explicação à parte; somente é necessário cuidar de não errar na contagem dos pinos das válvulas. A faixa preta nos condensadores de papel indica o lado da armadura externa; nos condensadores de mica, bem como nas resistências, não existe armadura privilegiada.

Após a colocação de todos os componentes, convém fazer a revisão final, tanto contra o desenho chapeado como em relação ao esquema. Se tudo estiver em ordem, pode-se soldar tôdas as juntas, cuidando que a solda corra bem em redor dos fios, sem contudo sobreaquecer as resistências. Como os valores de R-22 e R-23 são críticos, convém medir ambas as resistências, depois de colocadas, antes e depois da solda; os valores de ambas não devem ter sofrido alteração e não devem diferir em mais que 5%.

Com o amplificador pronto, pode-se controlar as tensões nos diferentes elétrodos das válvulas, o que representa um ótimo controle de montagem. Antes de aplicar

a tensão de alimentação, deve ser ligado o alto-falante aos dois pinos mais grossos do adaptador, a fim de proporcionar carga correta ao amplificador. Todos os controles devem estar na posição fechada (girados em sentido contrário ao movimento dos ponteiros do relógio), enquanto que o seletor deve estar na posição «fono». Com uma tensão alternada de 110 V e com o seletor da voltagem na posição 115 V, as tensões medidas em relação ao chassi, com um instrumento de 20 000 ohms/volt, são:

Condensador	C-21:	275 V
"	C-20:	260 V
"	C-9:	205 V
"	C-8:	165 V
Pinos 9 das	EL84:	260 V
Pinos 7 das	EL84:	255 V
Pinos 3 das	EL84:	9,2 V
Pino 6 da 2ª	12AX7:	165 V
Pino 8 da 2ª	12AX7:	39 V
Pino 3 da 2ª	12AX7:	0,8 V
Pino 1 da 2ª	12AX7:	105 V
Pino 6 da 1ª	12AX7:	75 V
Pino 8 da 1ª	12AX7:	0,7 V
Pino 1 da 1ª	12AX7:	80 V

Alterações até 10% das tensões mencionadas não influem no funcionamento; diferenças maiores indicam valores alterados das resistências associadas, ou então erro de ligação.

Revelando o controle das tensões que tudo deve estar em ordem, passa-se às primeiras experiências práticas. Para estas não é necessário ligar o alto-falante dos agudos e seus condensadores; basta ligar um bom alto-falante de 12" à tomada de 4 ou 8 ohms, conforme a impedância da bobina móvel e um toca-discos com cápsula de relutância variá-

vel à entrada «fono». É indispensável estar colocado o alto-falante numa caixa acústica qualquer, pois de outra maneira a reprodução dos graves será deficiente e a ação do controle dos graves pouco se fará sentir. Recomendamos o uso de uma cápsula de relutância variável, porque assim se prova também o funcionamento do primeiro triodo da 12AX7, o qual fica fora de uso quando a chave seletora é colocada na posição «rádio».

Põe-se o conjunto em funcionamento e examina-se em

primeiro lugar o funcionamento dos diversos controles. Pode ser que o efeito do controle de graves pareça ser deficiente, mas isto desaparecerá no momento em que o alto-falante for colocado numa caixa acústica apropriada. O reforço geral dos graves pode ser alterado, alterando o valor da resistência R-4: valores mais altos que 150 K aumentarão a reprodução dos graves, mas também baixarão o volume total.

O grau de realimentação pode ser variado, alterando o valor de R-28. Neste caso, o aumento do valor baixa

o fator de realimentação, e vice-versa. Baixando a realimentação, aumenta o volume, mas também a distorção total, bem como a impedância de saída do amplificador. Como os dois últimos efeitos não são desejáveis, convém usar o máximo grau de realimentação, compatível com um volume suficiente.

Com realimentação demasiada, o amplificador pode oscilar nos picos de reprodução, o que é evidenciado por um som áspero nas passagens fortes. No amplificador descrito, pode-se aumentar ao dôbro o fator de realimentação (reduzindo R-28 ao valor de 10 K), sem que haja perigo de oscilação. Pela escolha adequada de R-28, pode o montador escolher, portanto, o melhor compromisso entre volume suficiente e baixa distorção.

Uma advertência ainda a respeito do volume de reprodução: o amplificador possui saída de aproximadamente 10 watts, o que é amplamente suficiente para a reprodução em salas normais, se fôr usado um alto-falante com eficiência média ou alta. Existem, porém, alto-falantes, mesmo na classe de preço elevado, que possuem eficiência muito baixa. Existem variações na eficiência de alto-falantes, de 1 para 4; isto quer dizer que, para obter o mesmo volume num alto-falante de baixa eficiência, que num de eficiência 4 vezes maior, é necessária uma potência de 40 W, em lugar de, por exemplo, 10 W. Como a reserva de potência do amplificador descrito não é muito grande, sempre convém usar em conjunto com o mesmo um alto-falante de eficiência média ou alta.

Daremos a descrição de um móvel acústico apropriado, bem como o procedimento para o ajuste final do conjunto.

A grande maioria dos amadores que construíram um amplificador de alta-fidelidade pouco se importa com a instalação do mesmo e nem sequer dispensa atenção suficiente ao móvel acústico no qual é instalado o alto-falante. O móvel é geralmente adquirido conforme sua aparência externa, seu preço e o tamanho do alto-falante, sem preocupação no tocante às qualidades acústicas do mesmo. O mesmo erro é feito na instalação: o móvel é colocado «onde cabe», sem que se tente achar a colocação que proporciona o melhor som na sala inteira. Se forem usados alto-falantes separados para os graves e agudos, é ainda necessário equilibrar as respostas de ambos.

#### A escolha da caixa acústica

Uma boa caixa acústica

deve ser, em primeiro lugar, rígida, pois, se as paredes da caixa vibrarem durante o funcionamento do alto-falante, naturalmente também contribuirão para a formação de som, e é fácil imaginar que um painel vibrante não reproduz tôdas as frequências uniformemente e sim apenas aquelas com as quais está em ressonância.

Em todos os casos, é sempre conveniente, mesmo em móveis de construção sólida, reforçar a rigidez dos painéis grandes (geralmente os laterais e o do fundo) com ripas fortes, que devem ser coladas (com cola de carpinteiro) diagonalmente sobre os mesmos e, ao mesmo tempo, fixadas com parafusos, a cada 15 cm de distância.

Pelo menos 3 das superfícies internas do móvel devem estar revestidos com material acústico absorvente. Como raramente os móveis já vem revestidos, é necessário providenciar, o próprio

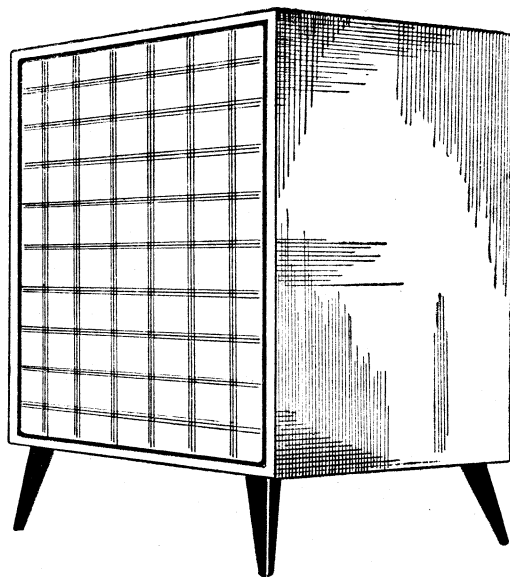


Fig. 5 — Caixa acústica, sistema "Bass-reflex", de dimensões reduzidas.

montador, este amortecimento.

Existem muitos materiais recomendados para este fim, mas cremos que os mais aconselháveis são o algodão e o feltro. A grossura

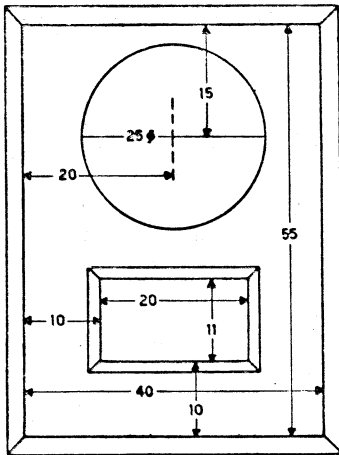


Fig. 6 — Dimensões INTERNAS da caixa acústica.

da camada destes materiais deve ser de 1,5 a 2 cm. O mais fácil de ser trabalhado é o feltro, mas infelizmente é bastante caro. Deve ser escolhido um feltro bastante macio e, se não existir na grossura requerida, devem ser colocadas duas camadas juntas, usando pouca cola (a fim de que esta não penetre no feltro, endurecendo-o). A colocação do material absorvente sobre os painéis também deve ser feita com pouca cola, empregando, ao mesmo tempo, pregos para a fixação.

Comprar algodão na farmácia para forrar o móvel é muito dispendioso, mas felizmente existe também algodão para tapeceiros, que é vendido por quilo e resulta muito mais barato. Este algodão já vem em camadas, e sua aplicação pode ser feita como descrito para o feltro.

Nos últimos anos apareceu uma infinidade de tipos diferentes de caixas acústicas para alto-falantes, mas o tipo mais conveniente para os amadores é o «Bass-Reflex». Este móvel é calculado de tal maneira, que as ondas sonoras originadas pela parte posterior do cone são irradiadas por uma abertura do móvel, em fase com as ondas originadas pela parte frontal do cone (normalmente há um defasamento de  $180^\circ$  entre as duas ondas; o móvel provoca, portanto, outro defasamento de  $180^\circ$ , perfazendo um total de  $360^\circ$ , o que corresponde à diferença de fase de  $0^\circ$ ). Portanto, existe nas frequências baixas um reforço do sinal. É muito natural que este fenômeno somente se verifique se o móvel possuir dimensões adequadas para as características do alto-falante conjugado. Se o móvel tiver, pelo menos, dimensões aproximadamente corretas, então pode-se «sintonizar» o móvel, para combinar exatamente com o alto-falante.

O móvel, cuja construção descrevemos neste artigo, é um tipo especial de «bass-

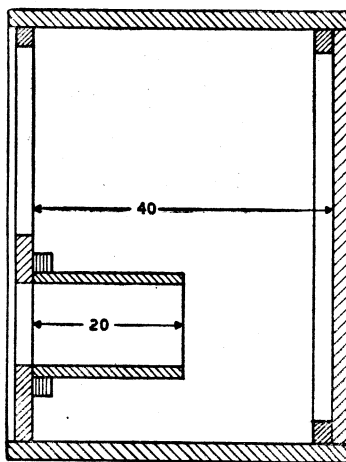


Fig. 7 — Corte através do móvel, dando as medidas que faltam na figura 6.

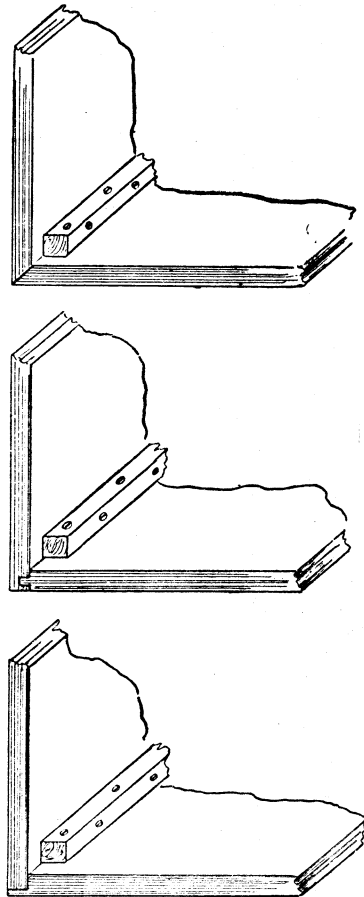


Fig. 8 — Algumas possibilidades para a junção dos painéis que, no entanto, em geral só estão ao alcance dos profissionais.

reflex», pois existe no seu interior, diante da abertura frontal, um túnel. Este permite reduzir as dimensões do móvel para determinada frequência de ressonância e, ao mesmo tempo, permite uma fácil sintonização do móvel.

As dimensões dos vários painéis que compõem o móvel estão claramente indicadas nos desenhos. Tratam-se de medidas internas; portanto, em alguns dos painéis deve ser acrescentado o comprimento necessário às juntas. Não demos as medidas totais, pois estas dependem da habilidade e dos recursos do montador. De qualquer maneira, as juntas

têm de ser coladas e parafusadas ao mesmo tempo, por intermédio de sarrafos colocados nos cantos das junções. Todos os painéis devem ter  $3/4''$  (19 mm) de grossura, menos os que compõem o túnel, que podem ser de  $1/2''$  (12,5 mm). Como material, é preferível o uso de madeira compensada.

A tampa traseira deve ser colocada com profusão de parafusos (distância, de um parafuso ao outro, não maior que 10 cm) aos sarrafos; êstes, por sua vez, têm de ser sólidos e firmemente unidos aos painéis.

Na parte da frente do móvel deve encaixar uma moldura, à qual é fixado o tecido decorativo. Sempre que possível, deve ser usado tecido de material plástico, acústicamente transparente.

Se forem usados tweeters, então podem ser colocados numa caixinha à parte, que é colocada sôbre o móvel, ou então podem ser colocados também dentro do móvel. Neste caso, é necessário cobri-los com uma cobertura hermética, a fim de evitar que as compressões do ar dentro do móvel pos-

sam atingir o cone do pequeno alto-falante. Para compensar a perda de volume de ar interno do móvel, é, neste caso, necessário aumentar a altura interna em 1,5 cm.

A sintonização do móvel deveria ser feita por intermédio de um gerador de áudio e um voltímetro para tensões alternadas. O circuito a ser usado para esta medição é o da figura 10. A frequência do gerador é alterada lentamente através da faixa em questão e observado o voltímetro. Quando há desvio máximo, então pode ser lido na escala do gerador o valor da frequência de ressonância do cone. O alto-falante deve estar, durante a medição, sem «baffle» algum; deitando-o, por exemplo, sôbre uma mesa, com o cone para baixo, resultaria uma medição completamente errada.

Determinado assim o valor da frequência da ressonância do cone do alto-falante, coloca-se o mesmo no móvel e fecha-se hermeticamente a tampa traseira. Para poder alterar a ressonância do móvel, é necessário alterar o comprimento do túnel. O meio mais fácil para isto é fazer um encaixe para o túnel, de madeira de 6 — 8 mm de grossura e de 10 cm de comprimento e que cabe exatamente no túnel, podendo, porém, ser deslizado para frente e para trás.

Repete-se agora a medição antes mencionada (atenção: os fios do alto-falante que atravessam a chapa do fundo também devem ser vedados na sua passagem), verificando a curva resultante. Como o acoplamento entre o alto-falante e o móvel é bastante forte, acon-

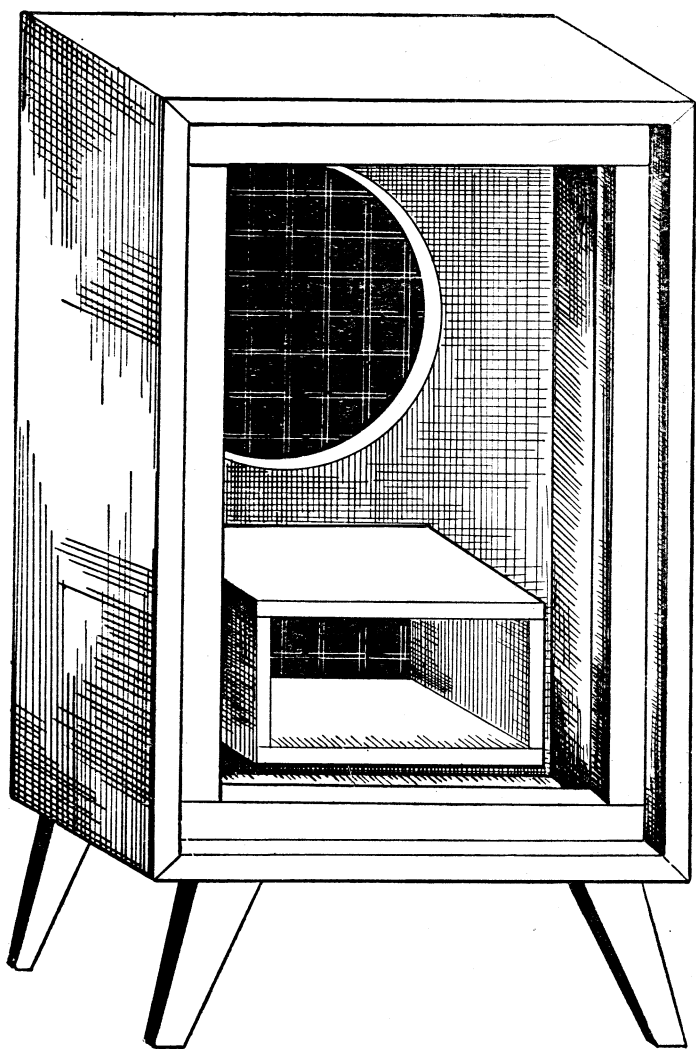


Fig. 9 — Vista interna do móvel acústico, com a tampa traseira removida. Vê-se claramente o "túnel" na parte de baixo.

tece que o pico de ressonância grande de ambos é desdobrado em dois picos de menor altura, dispostos acima e abaixo da frequência de ressonância original (fig. 11). Se a frequência de ambas as partes não coincidir, então os dois picos resultam assimétricos e, portanto, determinados sons são reproduzidos com destaque em relação aos demais. Aparece então o «som de barril» (em inglês, «boom»), tão freqüente nas radiovítrolas antigas.

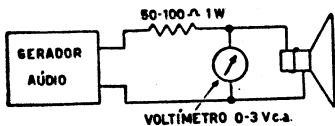


Fig. 10 — Esquema para a medição da ressonância do cone de alto-falantes.

O encaixe do túnel deve ser deslocado para fora ou para dentro, até que o voltímetro marque dois picos com mais ou menos a mesma altura (fig. 12).

No caso de não existir gerador de audiófrequência, o ajuste do encaixe tem de ser feito empiricamente. O resultado depende, então, principalmente do amador, mas com alguma paciência e, se possível, com a ajuda de um ou outro entendido em música, pode-se alcançar resultados bastante satisfatórios. O principal, neste caso, é não confundir picos de ressonância com reprodução acentuada de graves.

Conseguido o ajuste correto entre o móvel e o alto-falante dos graves, é ainda necessário equilibrar os graves e agudos, estes últimos reproduzidos em grande par-

te pelo alto-falante pequeno.

O meio mais simples de alterar a relação de reprodução entre os dois alto-falantes é de alterar a capacidade do condensador de acoplamento e este ajuste somente pode ser feito empiricamente. Pequenas alterações a mais na capacidade são conseguidas, colocando-se em paralelo com o conjunto C-18 + C-19 condensadores de papel de .5 ou .1 mfd; alterações maiores são conseguidas, ligando em paralelo com um dos eletrolíticos (obedecendo a polaridade), até no máximo a mesma capacidade. Para diminuir a capacidade do conjunto, pode-se ligar em série com o mesmo eletrolíticos de capacidade relativamente grande. A polaridade, neste caso, não tem importância.

Este ajuste, aliás, não é muito crítico, pois, com o controle dos agudos é fácil conseguir um equilíbrio adequado.

### A instalação do conjunto

Como regra fundamental, na colocação do móvel acús-

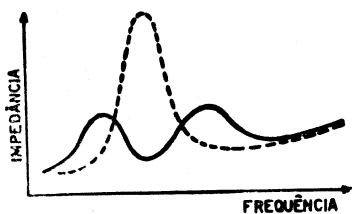


Fig. 11 — Quando o alto-falante é colocado no móvel, o pico de ressonância grande é desdobrado em dois menores.

tico, pode ser mencionado que a instalação diretamente num dos cantos da sala (o alto-falante «apon-

tando» para o canto oposto) sempre é preferível a qualquer outra posição. Isto porque, neste caso, as paredes da sala agem como uma espécie de corneta, melhorando a reprodução dos graves e diminuindo, ao mesmo tempo, as reflexões das paredes.

Não sendo possível a instalação num dos cantos, convém colocar o móvel de forma que fique junto à parede mais larga, apontando o alto-falante sobre cortinas ou algo equivalente, do lado oposto. Em caso de dúvida, vale a pena experimentar diversas posições do móvel e, finalmente, deixá-lo na posição que mais agrada.

As entreligações entre o móvel e o amplificador, ou

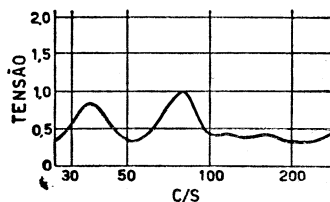


Fig. 12 — Curva semelhante de tensão, com sintonização correta do móvel.

preamplificador, devem ser feitas de forma facilmente destacável, devendo ao mesmo tempo ser impossível um erro na colocação dos plugues, por parte de leigos. Portanto, somente os plugues de força devem ser do tipo comum; todos os outros devem ser especiais, para evitar que possam ser ligados à rede. Nunca deve ser esquecido, em tais instalações, que, afinal, são usadas por leigos e que tudo deve ser feito para evitar equívocos ou enganos futuros.



# **MEDIÇÕES E TESTES**

- OS OSCILADORES DE AUDIOFREQÜÊNCIA
- GERADORES DE ÁUDIO
- MEDIÇÕES EM AMPLIFICADORES DE ÁUDIO
- AS MEDIÇÕES COM DECIBÉIS



# OS OSCILADORES DE AUDIOFREQUÊNCIA

Os osciladores de audiofrequência (ou geradores de sinais de áudio, quando se trata de um aparelho profissional ou semiprofissional) mais em uso, atualmente, podem ser classificados — do ponto de vista principalmente do funcionamento — em dois tipos, a saber:

1. Osciladores a resistência-capacidade (RC).
2. Osciladores a batimento.

Os osciladores pertencentes à primeira categoria podem ser feitos com uma ou mais válvulas, usando diferentes circuitos. Na figura 1, damos o esquema do princípio de um oscilador com uma válvula apenas.

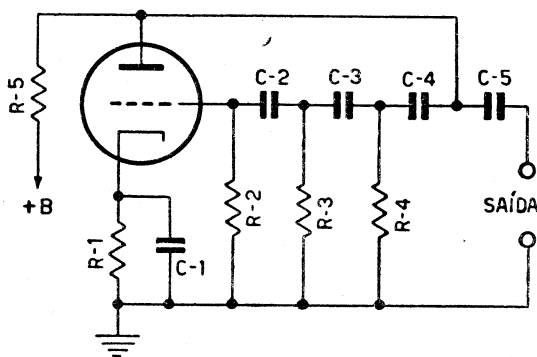


Fig. 1 — Oscilador R-C com somente uma válvula. Os condensadores  $C_2$  até  $C_4$  e as resistências  $R_2$  até  $R_4$  produzem um defasamento de  $180^\circ$ , a fim de conseguir uma realimentação positiva que, por sua vez, provoca a oscilação.

O princípio de funcionamento é o seguinte:

Para que o conjunto — válvula mais circuito associado — entre em oscilação, é necessário que os elementos externos à válvula — condensadores, resistências, etc. — produzam sobre a placa e a grade da mesma um deslocamento de fase de  $180^\circ$ , ou múltiplo ímpar

de  $180^\circ$ , seja no sentido negativo ou no sentido positivo. Pelo fato da válvula produzir, ela própria, uma variação de fase de  $180^\circ$ , temos assim uma diferença de fase de  $360^\circ$  (ou  $0^\circ$ ), condição primordial para produzir oscilação.

No caso da fig. 1, os elementos que invertem a fase são:  $R_2, R_3, R_4, C_2, C_3, C_4$ ; são dimensionados de maneira que  $R_2 = R_3 = R_4$  e  $C_2 = C_3 = C_4$ . Em tais condições, existe uma única frequência pela qual cada elemento, seja  $R_2$  com  $C_2, R_3$  com  $C_3$  e  $R_4$  com  $C_4$ , causa uma alteração de fase de  $60^\circ$ . Teremos, portanto, um total de  $3 \times 60^\circ = 180^\circ$  de deslocamento de fase e o conjunto entra em oscilação. É necessário, naturalmente, que a válvula tenha bastante amplificação, para compensar as quedas de tensão causadas pelos elementos  $R_2, R_3, R_4, C_2, C_3, C_4$ .

Também é necessário que a válvula não amplifique demasiadamente, porque neste caso as oscilações não terão forma senoidal. Polarizando a válvula convenientemente (escolhendo um valor adequado para  $R_1$ ), pode-se encontrar um ponto de funcionamento ideal.

Variando agora simultaneamente os valores de  $R_2, R_3$  e  $R_4$ , ou  $C_2, C_3$  e  $C_4$ , variará a frequência de oscilação.

Outro tipo de oscilador RC é representado na figura 2, usando 2 válvulas ou então uma válvula duplo-tríodo.

Baseia-se o funcionamento sobre os elementos  $R_1, R_2, C_1$  e  $C_2$ , elementos estes constituindo a bem conhecida ponte de Wien. Ela tem a propriedade de não provocar rotação de fase de uma determinada frequência entre os pontos A e B. Esta frequência é determinada pela equação:

$$f = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

$$f = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

com a condição de que  $R_1 = R_2$  e  $C_1 = C_2$ .

De fato, é necessário (para que o conjunto oscile) que não haja diferença de fase entre os dois pontos acima, sendo que as duas válvulas já produzem uma alteração de fase total de  $360^\circ$ .

Sendo ligado este filtro entre a placa da segunda e o cátodo da primeira válvula, todas as frequências, menos uma, vão sofrer uma forte realimentação negativa.

Entre a placa da segunda e a grade da primeira válvula acha-se um divisor de tensão,

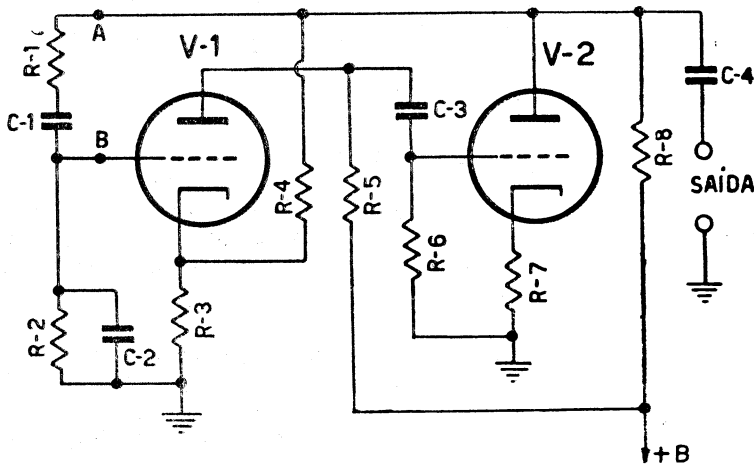


Fig. 2 — Oscilador com ponte de Wien. A ponte é formada por  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ .

Para oscilações de frequência muito baixa, a impedância do condensador  $C_3$  deve ser no mínimo 10 vezes menor que o valor da resistência  $R_6$ ; caso contrário estes elementos introduzem uma defasagem, prejudicando o bom funcionamento.

Outra ligação característica e importante deste tipo de oscilador é o divisor de tensão, função desempenhada pelas resistências  $R_3$  e  $R_4$ . A relação entre essas duas determina o grau de realimentação negativa, possuindo, portanto, grande influência sobre a forma de onda da oscilação e sobre a estabilidade de funcionamento. Variando simultaneamente  $R_1$  e  $R_2$  ou  $C_1$  e  $C_2$ , variará a frequência de oscilação.

O esquema de princípio de um terceiro tipo de oscilador com elementos RC é representado pela figura 3. Como no exemplo precedente, este oscilador trabalha com 2 válvulas. O filtro, chamado duplo T, constituído pelas resistências  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  e pelos condensadores  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$ , tem a interessante propriedade de atenuar uma única frequência e deixar passar todas as demais. É também denominado de quadripolo de transmissão zero.

Em geral os valores dos elementos são escolhidos de maneira que  $R_1 = R_2 = 2R_3$  e  $C_1 = C_2 = 1/2 C_3$ . Neste caso, a frequência de atenuação é dada pela equação:

$R_4$  e  $R_5$  (o condensador  $C_5$  serve unicamente para separar a componente contínua e deve ter uma impedância muito pequena em relação ao valor da soma das duas resistências  $R_4 + R_5$ ). A relação entre os valores destas duas resistências determina o grau de reação e, portanto, terá influência sobre a forma de onda e amplitude de oscilação.

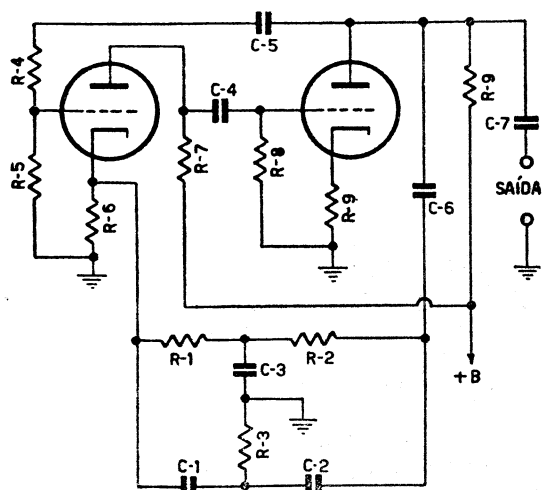


Fig. 3 — Oscilador com quadripolo de transmissão zero. Este último é formado por  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ .

Tendo assim uma reação (realimentação positiva) aperiódica e uma realimentação negativa seletiva, o circuito entrará em oscilação na frequência determinada pelos elementos do filtro duplo T, desde que a amplificação das válvulas compense (ou ultrapasse de pouco) as perdas nos elementos associados às válvulas.

O princípio de funcionamento dos osciladores pertencentes à segunda categoria, os osciladores a batimento, é o seguinte:

relativos aos dois osciladores devem ter construção e disposição idênticas, o mais possível. O condensador variável CV deve ser de construção robusta e chapas bem espaçadas. De um modo geral, deve-se fazer tudo para obter a maior estabilidade de frequência dos dois osciladores.

Seria um grave erro (por mais paradoxal que pareça) construir um dos osciladores com cristal de quartzo. Teríamos então um dos osciladores muito estável, enquanto

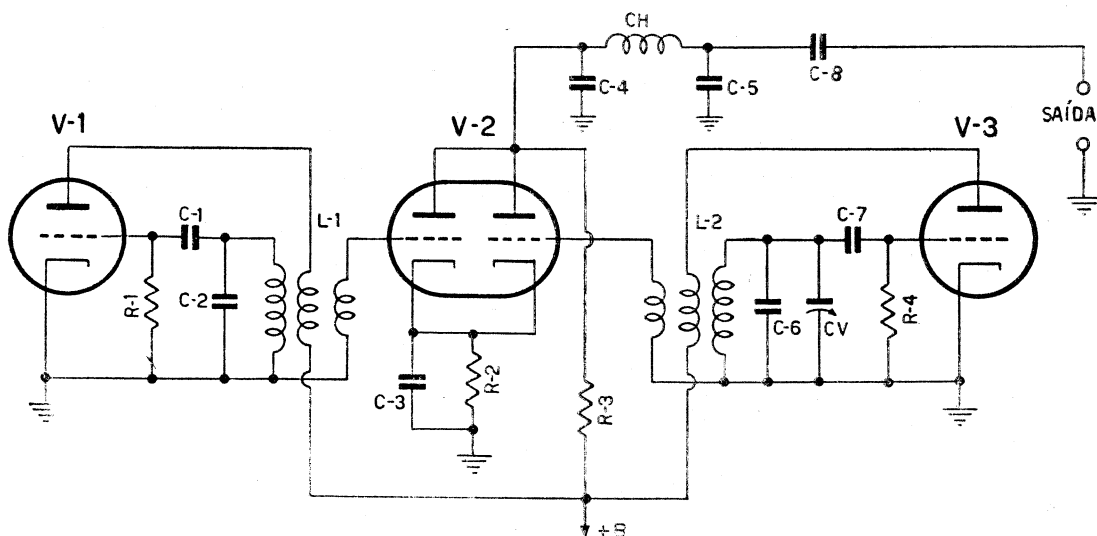


Fig. 4 — Oscilador a batimento. Possui 2 osciladores de RF, cujo batimento produz a áudiofrequência.

Na figura 4,  $V_1$  e  $V_3$ , com os respectivos componentes, são dois osciladores de radiofrequência.  $V_1$  trabalha com frequência fixa, enquanto que a frequência do oscilador  $V_3$  é variável mediante o condensador CV. As duas frequências são injetadas nas grades do duplo-tríodo  $V_2$ . As placas desta última são ligadas juntas, obtendo-se aí a soma e a diferença das duas frequências. Evidentemente, só interessa a diferença entre as duas frequências. As frequências dos dois osciladores estão em redor de 150 KHz; sendo um de frequência fixa e outro de frequência variável, por exemplo, 150 a 170 KHz, obteremos na saída da válvula  $V_2$  a diferença das duas, isto é, uma frequência de áudio de 0 a 20 KHz.

Os condensadores  $C_4$  e  $C_5$ , assim como o choque de RF (CH) servem para eliminar a radiofrequência ali existente. Por razões de estabilidade de frequência, os componentes

que o outro sofreria variações relativamente grandes, com a temperatura, tensão, umidade, etc.

Para concluir, daremos o esquema completo de um simples oscilador de áudio e o esquema completo de um gerador de sinais de áudio. Ambos foram elaborados pelo nosso departamento técnico, tendo sido incorporadas algumas inovações.

Como princípio de funcionamento, foi escolhido o oscilador baseado na ponte de Wien, porém, com algumas alterações.

Na figura 5, em A é reproduzido o desenho do circuito Wien, enquanto que em B e C damos o esquema do nosso circuito. Os três circuitos são eletricamente idênticos, residindo, porém, a diferença no fato de que o nosso circuito é utilizável indiferentemente na sua forma B ou C, enquanto que o circuito de Wien não é reversível, isto é, invertendo-o, deixaria passar a componente contínua entre a entrada (E) e a saída (S). Mesmo

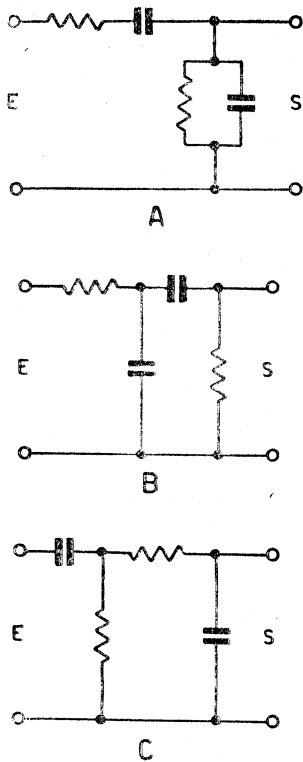


Fig. 5 — Várias formas da ponte de Wien. Tódas elas são elêtricamente equivalentes. O tipo B foi utilizado no circuito da figura 6.

isolando-o com um condensador, a grade da válvula ligada à saída (S) ficaria «no ar», necessitando uma terceira resistência, a qual, por sua vez, iria alterar a característica do circuito.

A figura 6 dá o esquema completo do oscilador de áudio. O duplo-tríodo V-1 é um multivibrador com acoplamento catódico, sem elementos dependendo da freqüência. Entre a segunda placa e a primeira grade está ligado o circuito característico, descrito nas páginas anteriores. Com os valores indicados, o oscilador cobre as três faixas seguintes:

- Faixa 1 — de 20 a 200 Hz
- Faixa 2 — de 200 a 2 000 Hz
- Faixa 3 — de 2 000 a 20 000 Hz

Poderia parecer um engano a existência das resistências  $R_7$  e  $R_8$  em paralelo com  $R_6$  (uma resistência elevada, de 16 meg), porém a ligação é justificada. A finalidade destas duas resistências é de evitar as conseqüências desagradáveis da corrente de grade,

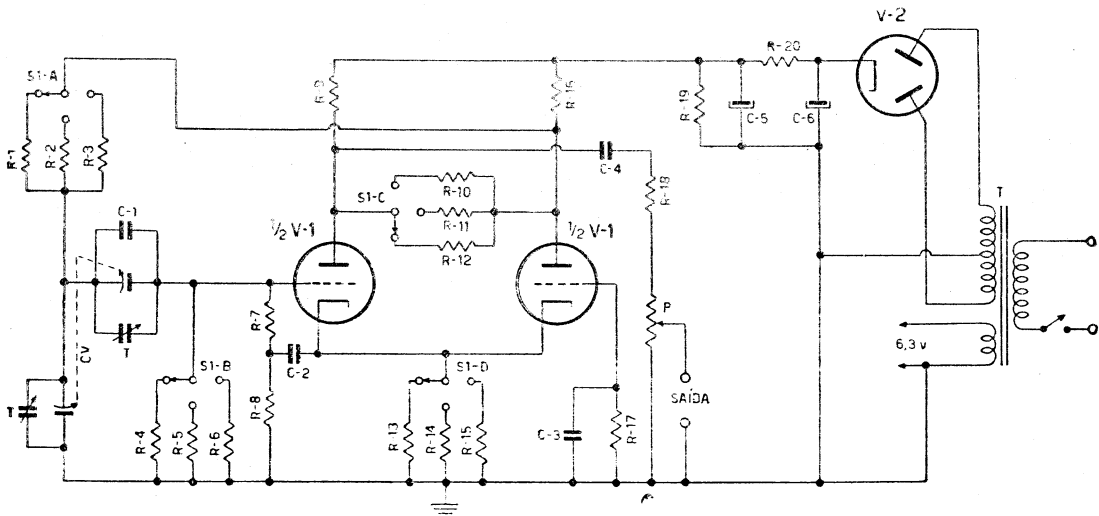


Fig. 6 — Circuito completo do oscilador de audiodifreqüência. O condensador variável deve ser colocado isolado do chassis.

- R-1 = R-4 = 160 K
- R-2 = R-5 = 1,6 M
- R-3 = R-6 = 16 M
- R-7 = R-8 = 1 M
- R-9 = 10 K, 1 W
- R-10, R-11, R-12 — veja texto
- R-13, R-14, R-15 — veja texto
- R-16 = 56 K, 1 W
- R-17 = 2 M

- R-18 = 90 K
- R-19 = 2,5 K, 3 W, fio
- R-20 = 20 K, 10 W, fio
- C-1 = 25 pf - mica
- C-2 = .5 mfd - papel 500 V
- C-3 = .5 mfd - papel 500 V
- C-4 = .5 mfd - papel 500 V
- C-5 = 16 mfd, 450 V, eletrolítico
- C-6 = 16 mfd, 450 V, eletrolítico

- P = potenciômetro linear, 10 K
- V-1 = 12AU7
- V-2 = 6X4
- T = transformador de fôrça,  $2 \times 275$  V, 60 mA
- CV = condensador variável,  $2 \times 410$  pF, com
- T = trimmers
- S-1 = Chave de ondas, 4 pólos, 3 posições.

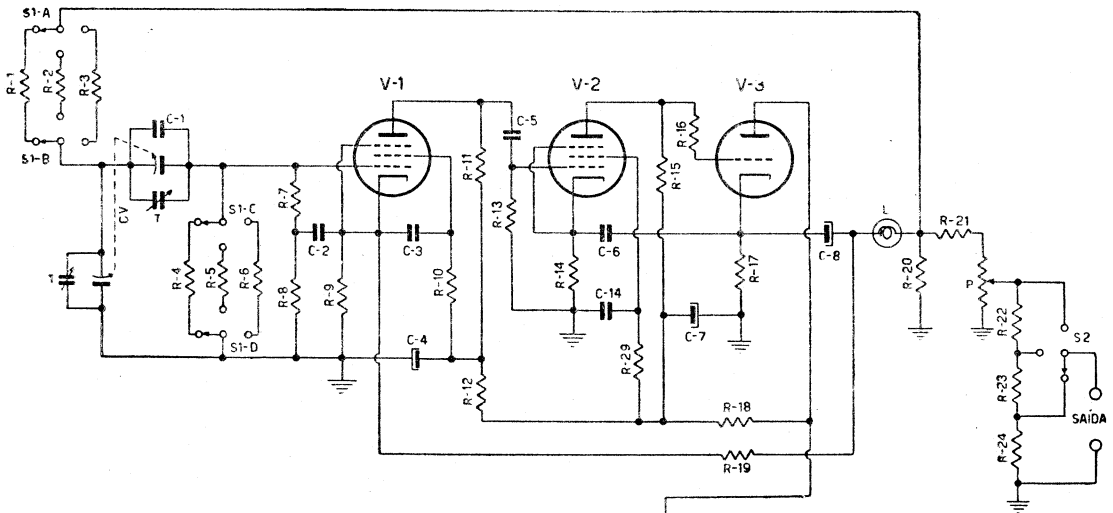


Fig. 7 — Circuito completo do gerador de audiofrequência.

R-1	=	R-4	=	160 K
R-2	=	R-5	=	1,6 M
R-3	=	R-6	=	16 M
R-7	=			1,2 M
R-8	=			330 K
R-9	=			150 ohms, 1 W
R-10	=			330 K, 1 W
R-11	=			100 K, 1 W
R-12	=			33 K, 1 W
R-13	=			1,2 M
R-14	=			2,7 K, 1 W
R-15	=			100 K, 1 W
R-16	=			270 ohms
R-17	=			2,5 K, 10 W, fio
R-18	=			33 K, 1 W
R-19	=			2,7 K, 1 W
R-20	=			1 K, 1 W
R-21	=			3,3 K, 1 W
R-22	=			4,7 K, 1 W
R-23	=			470 ohms, 1 W
R-24	=			52,2 ohms, 1 W, fio ajustável
R-25	=			100 K, 2 W
R-26	=			56 K, 1 W
R-27	=			56 ohms
R-28	=			56 ohms
R-29	=			330 K, 1 W
V-1	=			6AU6
V-2	=			6AU6

V-3	=	12B4
V-4	=	6X4
CV	=	condensador variável duplo, 2 × 410 pF, com
T	=	trimmers
C-1	=	25 pF, mica
C-2	=	.5 mfd, 500 V, papel
C-3	=	.5 mfd, 500 V, papel
C-4	=	8 mfd, 450 V, eletrolítico
C-5	=	.25 mfd, 500 V, papel
C-6	=	.5 mfd, 500 V, papel
C-7	=	8 mfd, 450 V, eletrolítico
C-8	=	100 mfd, 50 V, eletrolítico
C-9	=	32 mfd, 450 V, eletrolítico
C-10	=	32 mfd, 450 V, eletrolítico

C-11	=	.05 mfd, 600 V, papel
C-12	=	.05 mfd, 600 V, papel
C-13	=	.5 mfd, 600 V, papel
C-14	=	.5 mfd, 600 V, papel
S-1	=	Chave de ondas, 4 pólos, 3 posições
L	=	lâmpada 110 V, 3 watts
P	=	potenciômetro linear, 10 K
CH	=	choque de filtro, 5 H, 300 ohms, 60 mA
T	=	transformador de força, 2 × 275 V, 80 mA
F	=	fusível de 1 A
S-2	=	chave de ondas, 1 pólo, 3 posições.

o que seria o caso quando está ligada a resistência  $R_6$ . A resistência  $R_7$  não perturba o circuito, sendo ligada (do ponto de vista de corrente alternada) entre a grade e o cátodo da válvula, através do condensador  $C_2$ . Não existindo diferença de potencial entre estes dois elétrodos, a resistência  $R_7$  não é atravessada por corrente alguma. Mas,

uma resistência pela qual não passa corrente alguma é, por definição, uma impedância infinita, que não possui, portanto, influência sobre os demais componentes do circuito.

As resistências  $R_{10}$ ,  $R_{11}$  e  $R_{12}$  (valores da ordem de 390 K), como a resistência  $R_{13}$ ,  $R_{14}$  e  $R_{15}$  (aproximadamente 10 K) devem ser ajustadas para obter uma forma de onda

senoidal, com uma amplitude de 1 volt na saída, com o cursor do potenciômetro na posição superior.

A impedância de saída do oscilador é de 10 K, com 1 volt, diminuindo proporcionalmente à tensão de saída. O comutador  $S_1$ , uma chave de ondas de 4 pólos, 3 posições, é destinado a mudar as faixas, como ligar as resistências de realimentação correspondentes e as respectivas resistências de cátodo. Os demais elementos são comuns, não devendo apresentar dificuldade alguma a sua aquisição.

O dial do aparelho será uma escala começando com a numeração 20 até 200, leitura direta para a faixa 1. Para as faixas 2 e 3 será indicado — segundo a posição da chave  $S_1$  — um fator de multiplicação de 10 vezes ou 100 vezes. Naturalmente, o índice para a faixa 1 é 1 vez.

Também é possível a realização deste oscilador com 2 potenciômetros conjugados, de valor idêntico, para a regulação contínua

de freqüência e condensadores fixos para a mudança das faixas. Os potenciômetros deveriam ter um valor aproximado de 100 K. Os valores dos condensadores fixos podem ser calculados segundo a equação

$$C = \frac{1}{\omega R}$$

onde  $\omega = 2 \times \text{freqüência} \times \pi$   
 $R = \text{reatância.}$

Na figura 7 damos o esquema completo de um gerador de sinais de áudio. O princípio de funcionamento é o mesmo do oscilador da figura 6, com a diferença de ter 3 válvulas, entre as quais, 2 pentodos, para obter maior amplificação, possibilitando uma realimentação negativa mais forte, em benefício da estabilidade.

A lâmpada (L) no circuito de saída tem a mesma finalidade. A impedância de saída é de 3 K para 10 volts, 500 ohms para 1 volt e 52 ohms para 100 mV.

---

## MEDIÇÕES EM AMPLIFICADORES DE ÁUDIO

(Cont. da pág. 159)

dor é bastante crítico e um ajuste, por uma fração do seu valor, em muitos casos corrige as citadas falhas.

A prova deve ser feita com uma resistência de carga adequada, como também com um alto-falante ligado à tomada adequada da saída. Notar-se-á uma diferença entre as formas das ondas, nos dois casos; a realimentação deve ser ajustada de maneira a se obter o melhor compromisso possível em ambos.

Há ainda outra espécie de resposta aos transientes, provada com outro tipo de

teste. Se fôr injetada uma onda senoidal num amplificador, a forma da onda na saída pode não acompanhar com exatidão aquela presente na entrada. Uma flutuação desta natureza é, em geral, causada pela alteração dos potenciais do amplificador, com os diversos níveis de sinal, e pelo fato de terem estas alterações de potencial constantes de tempo que não se ajustam imediatamente ao novo nível.

Isto em geral é detectado, aplicando-se um voltímetro para corrente contínua a vários pontos do circuito

do amplificador e observando a leitura do instrumento, ao ser ligada e desligada a excitação na entrada. Uma forma conveniente de desligar a entrada de áudio para essa prova é colocar em curto a saída do circuito resistivo ligado entre o gerador de sinais e o amplificador. Com isto, obtém-se uma transição rápida entre o nível máximo e zero, evitando-se a interferência do circuito de saída do gerador de sinais, que, em alguns casos, pode provocar uma flutuação de transientes bastante semelhante.



# GERADOR DE ÁUDIO

Na era da Alta-Fidelidade, o gerador de áudio está se tornando um instrumento indispensável para as oficinas de concertos, para permitir as medições de curvas de resposta de amplificadores, alto-falantes e microfones, assim como para a determinação de pontos de ressonância e de distorção em sistemas sonoros e, ainda, para o ajuste de móveis acústicos.

Enquanto que, antigamente, todos os geradores de áudio trabalhavam pelo sistema de batimento (a audiofrequência era gerada pelo batimento de duas radiofrequências), hoje em dia prefere-se os geradores RC que são de construção muito mais simples e, portanto, resultam bem mais baratos.

A construção caseira destes geradores não apresenta dificuldades maiores que a construção de qualquer circuito amplificador; somente a calibração requer algum cuidado e o uso de um instrumento-padrão.

O circuito esquemático do gerador está ilustrado na figura 1. São usadas, no total, somente três válvulas: uma osciladora (o duplo-tríodo 12AU7), uma amplificadora (um tríodo 6C4) e, finalmente, uma retificadora comum (a 5Y3).

O funcionamento de um oscilador RC pode ser explicado melhor, mediante um circuito amplificador (fig. 2). Trata-se de um amplificador de 2 estágios, existindo um elo de realimentação positiva entre a saída e a entrada do amplifica-

dor (o condensador C-3). Esta realimentação é dependente da frequência, devido à inclusão da resistência R-1 e do condensador C-1. O grau de regeneração pode ser ajustado por intermédio de R-11. A frequência de oscilação resulta em

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{R-1 \times R-2 \times C-1 \times C-2}}$$

Para variar a frequência, pode-se variar tanto as resistências, como os condensadores; como, porém, os potenciômetros duplos com curvas de variação de resistência exatamente idênticas são difíceis de se obter, costuma-se usar condensadores variáveis duplos que normalmente não apresentam diferenças maiores que 1% na sua capacidade, em qualquer posição do eixo.

A resistência R-3 é normalmente substituída por uma lâmpada incandescente. O motivo para tal substituição é a constância da tensão de saída. Como é de conhecimento geral, o filamento destas lâmpadas possui um coeficiente térmico apreciável; a temperaturas baixas, o filamento possui

resistência muito menor que a temperaturas elevadas. Com oscilação fraca, a corrente através da lâmpada será pequena e, portanto, a realimentação negativa proporcionada também fraca. Aumentando a amplitude da oscilação, aumentará a corrente através da lâmpada, aumentando com isto a sua resistência e a realimentação negativa. Com isto, por sua vez, baixará a amplitude de oscilação para aproximadamente o valor anterior.

Como a frequência gerada é proporcional à capacidade e como a variação da capacidade de um condensador variável (inclusive as capacidades fixas do circuito) é maior do que 1 para 10, poder-se-ia escolher os valores das resistências de tal maneira que resultassem faixas decimais. Neste caso, porém, a montagem torna-se bastante crítica, por ser extremamente importante manter as capacidades distribuídas num valor baixo. Por este motivo, foram limitados os alcances das faixas no gerador da figura 1, para a relação de 1 para 4. Neste caso, todo o espectro de áudio pode ser subdividido em 5 faixas:

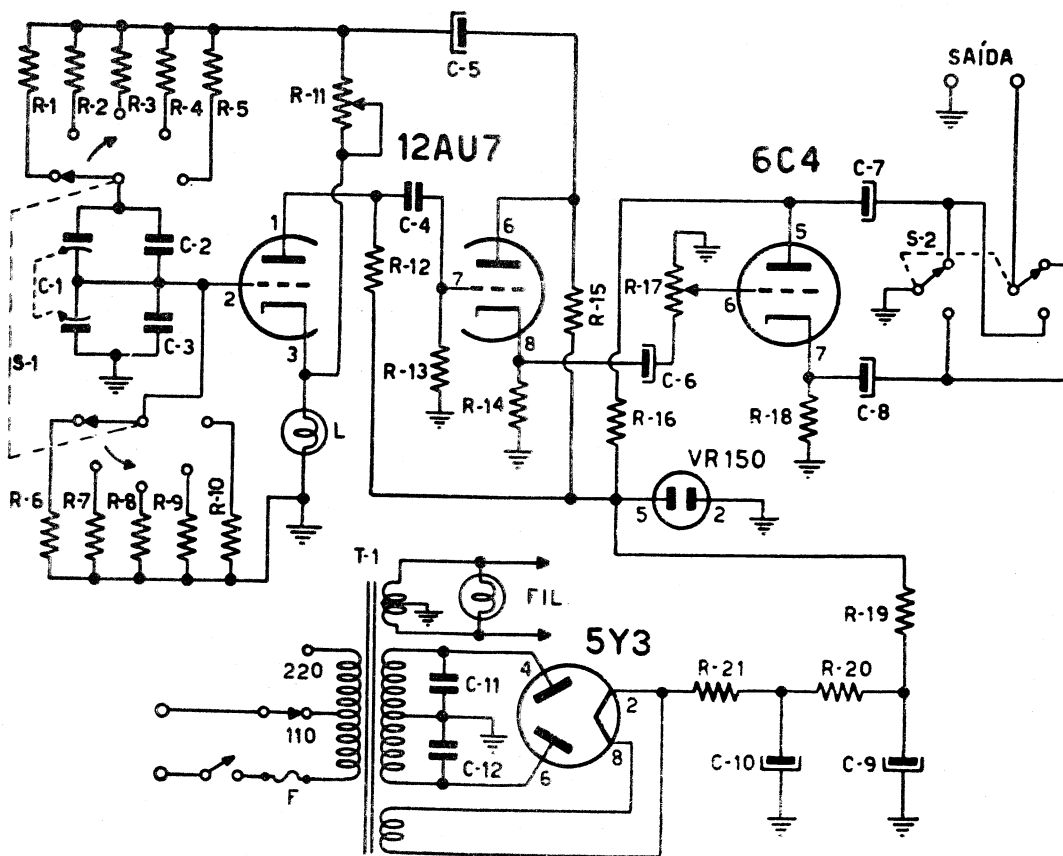


Fig. 1 — Circuito esquemático do gerador de áudiofrequência de 5 faixas (25 até 20 000 Hz). Os valores dos componentes são: R-1: 10 M; R-2: 2,5 M; R-3: 680 K; R-4: 200 K; R-5: 50 K; R-6: 10 M; R-7: 2,5 M; R-8: 680 K; R-9: 200 K; R-10: 50 K; R-11: pot. 10 K; R-12: 50 K; R-13: 1 M; R-14: 1 K; R-15: 20 K; R-16: 50 K; R-17: pot. 1 M; R-18: 1 K; R-19: 3,5 K, 10 W; R-20: 5 K, 5 W; R-21: 150 ohms, 2 W; C-1: variável 2 x 410 pF; C-2: 40 pF, mica ou cerâmica; C-3: 40 pF, mica ou cerâmica; C-4: .05 mfd, papel; C-5: 16/450, eletrolítico; C-6: 50/50, eletrolítico; C-7: 16/450, eletrolítico; C-8: 50/50, eletrolítico; C-9: 32/450, eletrolítico; C-10: 32/450, eletrolítico; C-11: .002 mfd, mica; C-12: .001 mfd, mica; L: 110 V, 5 W; F: fusível: 1 A; T: transformador de força, 60 mA, 2 x 275 V; S-1: chave 2 pólos, 5 posições, cerâmica; S-2: chave 2 pólos, 2 posições.

- 1) 25 — 100 Hz
- 2) 100 — 400 Hz
- 3) 400 — 1 600 Hz
- 4) 1 600 — 6 400 Hz
- 5) 6 400 — 20 000 Hz

Voltemos então a examinar o circuito da figura 1. R-1 até R-5 e R-6 até R-10 são as resistências das cinco faixas. É muito importante que ambas as resistências, inclusas simultaneamente no circuito, possuam os mesmos valores. Portanto, é necessário escolher pares de resistências que não acusem diferenças maiores que 1% entre si; os valores absolutos são de importância secundária, pois, cada faixa

tem de ser calibrada em separado. O condensador variável duplo é de tipo comum, com 410 pF de capacidade máxima; os dois condensadores C-2 e C-3, em paralelo com cada seção do variável, devem ter coeficiente de temperatura baixo.

A lâmpada L provavelmente é um pouco difícil de ser encontrada. Deve ter consumo de 5 watts, com uma tensão de 110 volts ou, melhor ainda, 8 watts, com uma tensão de 220 volts. Lâmpadas com maior consumo ou menor tensão não servem, pois, não proporcionam resistência suficiente ou en-

tão necessitam de corrente demasiada para obter um efeito térmico suficiente.

R-11 permite regular o grau de regeneração. A forma de onda gerada é a melhor, quando a regeneração usada é a estritamente necessária para apenas manter o estado de oscilação do circuito. Como a forma de onda é extremamente importante, quando forem feitas medidas de distorção convém colocar o potenciômetro R-11 no painel frontal, para poder ajustar facilmente a regeneração.

O condensador C-5 serve para acoplar a saída do oscilador à entrada. É neces-

sário usar um condensador eletrolítico para este fim, devido à alta capacidade requerida, a fim de evitar defasamento nas frequências baixas. É importante que este condensador tenha baixa corrente de fuga; intercalando um miliamperímetro em série com este condensador, não deve o mesmo acusar mais do que 0,5 mA.

A válvula amplificadora 6C4 é acoplada ao circuito oscilador, através da resistência de cátodo R-14. Também nesta parte do circuito é usado um condensador eletrolítico (C-6) para o acoplamento, a fim de manter a forma de onda das frequências baixas.

Para o circuito de saída existem duas possibilidades: pode ser a válvula 6C4 usada como amplificadora comum, proporcionando um ganho de aproximadamente 10 vezes, ou então pode ser usada como seguidor de cátodo, sendo neste caso a amplificação igual a 1. Neste caso, a impedância de saída é baixa (em redor de 1 500 ohms), enquanto que no primeiro caso a impedância é alta (em redor de 10 000 ohms). A chave S-2 altera o circuito de saída; uma seção coloca C-7 ou C-8 à terra, enquanto que a outra seção liga o terminal de saída ao condensador livre.

A fonte de alimentação é convencional; um transformador de força de 60 mA e 270 volts de alta tensão é usado em conjunto com uma retificadora 5Y3. Os dois condensadores ligados através dos secundários de alta tensão devem ser de mica; condensadores de papel não costumam resistir por muito tempo às altas tensões alternadas. Para proteção do

aparelho, recomendamos a colocação de um fusível de 1 ampère na entrada do aparelho.

Uma válvula estabilizadora VR-150 (ou a sua substituta idêntica OD3) é usada para manter a tensão +B constante em 150 volts. Durante o funcionamento

As ligações de filamento, como também tôdas as ligações de grade e placa, devem ser feitas com fio shielddado, para evitar a penetração de tensão alternada no circuito.

A chave S-1 deve ser de boa qualidade, se possível

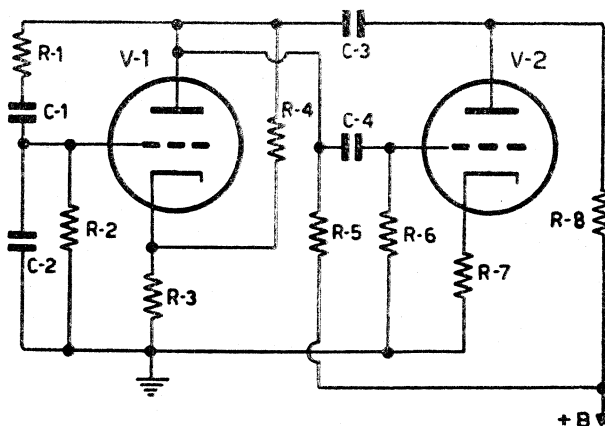


Fig. 2 — O circuito oscilador do gerador de áudio nada mais é que um amplificador de dois estágios, com acoplamento entre a saída e a entrada.

normal do aparelho devem fluir cerca de 15 mA através desta válvula; é recomendável usar, para R-19, uma resistência ajustável de 4 K ou 5 K e regular o valor desta, até que um miliamperímetro, ligado em série com a VR-150, marque o valor de 15 mA.

A montagem não é crítica; a fonte de alimentação, porém, deve ser separada o mais possível do restante do circuito. O condensador variável deve ser montado isoladamente do chassi; naturalmente, também o eixo de comando deve ser prolongado até ao dial, por intermédio de um eixo de material isolante. Como o corpo do variável está ligado à grade da válvula osciladora, é necessário cuidar de uma baixa capacitância entre o variável e o chassi.

com isolantes cerâmicos. A caixa deve ser completamente fechada, porém, devem existir furos suficientes para a ventilação.

Para a calibração, é necessário dispor de uma fonte de frequências exatas, bem como de um osciloscópio como indicador. Como fonte de audiodfrequência, pode ser usado um gerador com calibração exata ou, então, um disco de frequências, mas, neste último caso, é necessário verificar se a rotação do prato é a correta. Para cada faixa devem ser determinados, pelo menos, 4 a 5 pontos; as leituras são transferidas sobre papel milimetrado, sendo então desenhada a curva de calibração da faixa. De acordo com esta curva, podem então ser desenhadas as divisões do dial do gerador.

# Medições em Amplificadores de Áudio

Disposição prática das ligações para geradores de áudio, a fim de verificar o ganho e a resposta. Exame da resposta de frequência de sistemas equalizadores fonográficos. Prova de distorção e resposta aos transientes.

O crescente interesse por uma reprodução sonora melhor criou a necessidade de efetuar medições críticas durante a instalação e o reparo. Atualmente não é possível confiar apenas nos testes rotineiros; é necessário examinar, cuidadosamente, fatores tais como resposta de frequência e distorção e zelar que o desempenho satisfaça realmente às condições impostas.

Um requisito básico para os serviços de medição em sistemas de áudio, é um gerador de sinais com baixo conteúdo de harmônicas; este equipamento é usado para fazer medições da distorção e para examinar a saída com ondas quadradas e senoidais.

Adicionalmente, pode-se empregar um atenuador calibrado e um ou dois voltímetros a válvula, associados ao mesmo. Poder-se-ia obter os mesmos resultados conseguidos com o atenuador, empregando resistências de  $1/2$  W, arranjadas de tal forma que atenuem a saída do oscilador, de um nível facilmente mensurável ao nível exigido pela entrada do amplificador.

A título de ilustração, suponhamos que um amplificador necessita 10 mV em

sua entrada. Nesse caso, uma atenuação de 1 000 : 1 permitiria uma leitura de volts na entrada, proporcionando uma indicação direta de milivolts na entrada do amplificador.

A chave comutadora que ora liga o instrumento à entrada, ora à saída do amplificador, permite o uso de um só instrumento para medir as tensões de entrada e saída do amplificador.

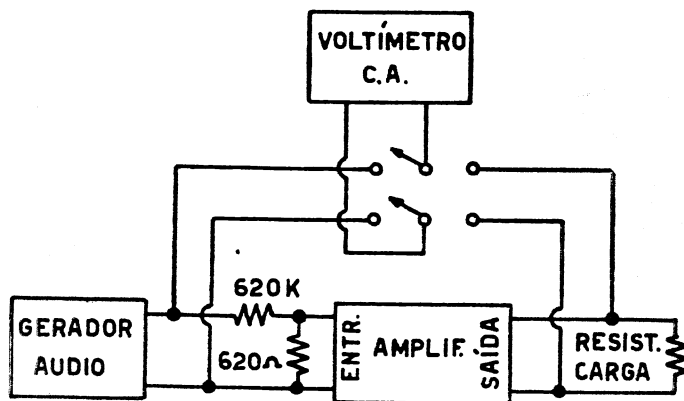


Fig. 1 — Um arranjo que pode ser usado na prática, para examinar a curva de resposta de frequência de um amplificador.

Se, por exemplo, o amplificador fôsse construído para uma fonte de excitação com impedância de 600 ohms, serviria perfeitamente o circuito da figura 1, empregando-se resistências de 620 000 e 620 ohms em série. Uma tensão de 5 volts, medida entre os terminais de saída do gerador de sinais, significaria terem sido aplicados 5 milivolts à entrada do amplificador.

Isto é vantajoso, pois permite obter resultados precisos na medição da resposta de frequências. É verdade que, usando-se dois instrumentos, não haveria necessidade de mudar a posição da chave para cada leitura, mas isto, por outro lado, exigiria uma calibração entre os dois instrumentos, a fim de adquirir a certeza de que ambos têm idêntica resposta de frequências.

Em muitas ocasiões, verificou-se que instrumentos individuais apresentam diferenças em suas respostas de freqüências, especialmente nas freqüências mais elevadas. Usando o mesmo instrumento, tanto para a entrada como para a saída, a medição torna-se independente da exatidão, no que concerne à freqüência.

o uso de um medidor com escala de dB, além da escala normal de tensões. Com isto, pode-se obter a resposta diretamente em dB. Se não for usada equalização, a resposta pode ser medida ajustando a tensão de entrada, em cada freqüência, para o mesmo valor, por exemplo, 5 V (representando 5 mV). A tensão de

permite obter uma curva de resposta mais exata; isto porque a falta de um ponto de referência definido pode resultar em confusões na interpretação das leituras. Se a leitura em 1 000 Hz cai entre duas divisões da escala, em algumas leituras, e outras freqüências caem mais próximas da divisão inferior e, ainda outras, mais próximas da divisão superior, a maneira de estimar a fração entre as divisões varia e, com isto, a precisão da curva fica prejudicada. Tomando, porém, um ponto certo e definido de referência, coincidindo com uma divisão de escala, à freqüência de 1 000 Hz, a curva pode ser determinada com maior facilidade.

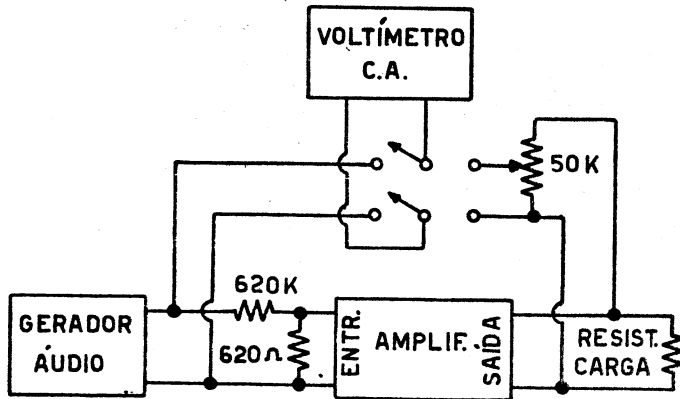


Fig. 2 — O mesmo arranjo da figura 1, porém com a adição de componentes que proporcionam um ajuste fino dos níveis de referência. Ficam assim facilitadas as leituras mais precisas requeridas para os modernos amplificadores. O valor típico de 50 K ohms, para o potenciômetro, não é crítico.

Se as resistências empregadas para fazer as medições puderem ser dimensionadas de tal maneira que as tensões (de entrada e de saída) medidas são aproximadamente iguais, só haverá vantagens. Por exemplo, se com 5 mV na entrada são obtidos 5 ou 6 V na saída, o atenuador de 1 000 : 1 permitiria obter, com 5 V na entrada, 5 a 6 V na saída; este arranjo é ideal para a obtenção de boas leituras, pois evitaria qualquer imprecisão, caso o instrumento usado não tivesse a mesma resposta de freqüências nas suas diversas faixas de medição, ou em diversos pontos da mesma faixa.

Na determinação da curva de resposta é vantajoso

saída pode ser medida, usando como zero um ponto arbitrário ou, para proceder de maneira tecnicamente correta, utilizando a leitura em 1 000 Hz como zero de referência.

Para tanto, mede-se inicialmente a resposta em 1 000 Hz. O trabalho tornar-se-á mais fácil, colocando-se uma resistência ajustável em algum ponto do circuito (fig. 2) para que, pelo ajuste da mesma, se possa conseguir uma leitura exata em 1 000 Hz, leitura essa que será usada como referência zero. Uma vez ajustada esta resistência variável, a curva toda pode ser determinada com referência aos 1 000 Hz.

Esse método tem produzido bons resultados, já que

Nos casos em que existe equalização, para determinar a resposta de freqüência é recomendável o uso de um disco fonográfico com gravação de freqüências calibradas. Esse processo serve não só para provar o equipamento, mas também a resposta da cápsula fonográfica. Isto sempre deve ser feito, durante o teste de um sistema de áudio. Entretanto, é necessário verificar se o desempenho da cápsula é correto ou não, ou se algum defeito na equalização impede a obtenção de uma resposta correta. Neste caso, é preciso tirar a curva de resposta de freqüência, através do circuito equalizador, sem usar a cápsula (isto, para eliminar qualquer erro provocado pela resposta da cápsula). Entretanto, no lugar da cápsula deve ser colocada uma resistência, de valor aproximadamente igual à impedância da mesma, adicionalmente às resistências atenuadoras. O arranjo dos instrumentos é semelhante ao já descrito; o

processo de medição, porém, é diferente.

A fim de conseguir resultados precisos, o nível de saída é ajustado, para que a leitura seja sempre a mesma, passando-se então, por meio da chave comutadora, à leitura dos níveis de entrada necessários para obter

bitrariamente, ao invés do atenuador.

Quando se tem dúvidas quanto à exatidão de uma leitura, o melhor é baixar o nível do sinal de saída do gerador, verificando-se se a leitura na saída baixa simultaneamente. Se essa leitura não cair consideravelmente

Não sendo possível fazer as medições num nível suficientemente alto para elevar-se acima do zumbido, para conseguir suficiente precisão de leitura, devem ser tomadas precauções para reduzir o zumbido, examinando, para tanto, em primeiro lugar, o modo de ligação da entrada. Pode, por exemplo, o causador ser uma ligação de terra inconsistente entre o gerador de sinais e o amplificador. Possivelmente, ambos os aparelhos possuem boa ligação terra, através da rede, mas estão ligados a pontos distintos da mesma; isto pode provocar a injeção de zumbidos. Se cada um possui um ponto de terra interno e está ligado a conexões terra separadas, uma dessas conexões deve ser desligada e ambos os pontos de massa entreligados.

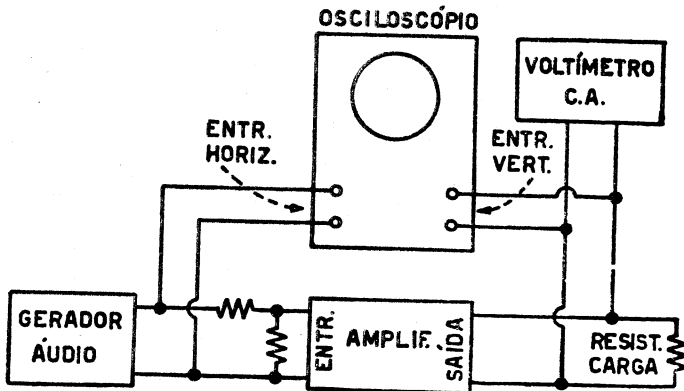


Fig. 3 — Maneira de ligar o osciloscópio para permitir comparações da entrada com a saída.

esse nível de saída. Também neste caso deve-se determinar um nível de referência em 1 000 Hz, para que as leituras de saída e entrada representem uma leitura conveniente e exata na escala de dB.

Evidentemente, porém, as leituras de entrada devem ser invertidas para obter a resposta da equalização. Por exemplo, suponhamos que, em 5 000 Hz, uma entrada 3 dB acima da necessária em 1 000 Hz proporciona a leitura correta na saída; isto significa que a curva de equalização em 5 000 Hz está 3 dB abaixo do valor em 1 000 Hz.

Deve-se manter constante a tensão de saída, para evitar indicações errôneas, em consequência da captação de zumbidos e outros fenômenos semelhantes. Isto ocorre quando são usadas resistências avulsas, dispostas ar-

abaixo do valor obtido ao nível normal de trabalho, então, não é somente o sinal desejado que está sendo medido e, sim, alguma captação estranha, provavelmente zumbido. Naturalmente, po-

Existem algumas provas simples para amplificadores, permitindo constatar se a distorção ultrapassa ou não um valor aceitável, geralmente 1%.

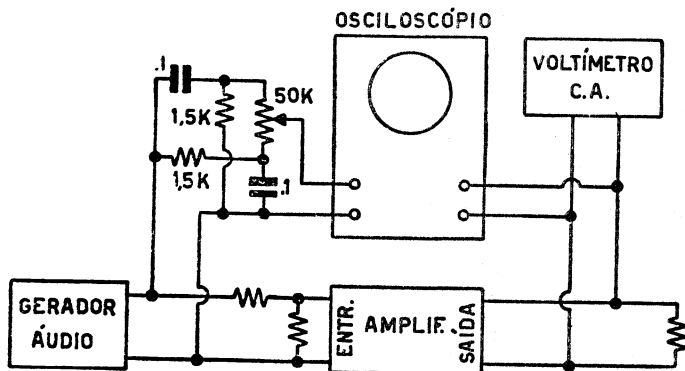


Fig. 4 — O circuito da figura 3, com adição de um circuito defasador ajustável, para permitir a obtenção de um traço simples no anteparo. Os valores mostrados são apropriados para 1 000 Hz. Para outras frequências, devem ser alterados os valores dos condensadores proporcionalmente menores e vice-versa.

de-se adquirir a certeza disso, examinando a forma de onda na saída, com um osciloscópio.

A curva obtida no anteparo de um osciloscópio pode ou não mostrar a distorção em valores tão baixos,

como 5%, conforme o tipo de distorção. Tratando-se de corte dos picos das ondas, isto será notado, mesmo bem abaixo dos 5%; entretanto, se a forma da onda fôr arredondada (o que sucede antes do corte), torna-se difícil analisar a onda e descobrir se a distorção está muito abaixo dos 5%.

A solução mais simples do problema é o emprêgo do osciloscópio, ligado como indica a fig. 3. Com essa disposição, é comparada a forma de onda da entrada, com a da saída. Dessa maneira, se o osciloscópio estiver trabalhando corretamente, aparecerá uma reta, em ângulo de aproximadamente 45° com a horizontal. Se há variação de fase no amplificador, a linha ficará transformada numa elipse. Neste caso, teremos de incluir um circuito defasador (fig. 4) para que a elipse volte a ser uma reta.

No caso desta linha não ser perfeitamente reta, sabemos que há alguma distorção no amplificador. Se apresentar uma leve curvatura numa direção, então está presente uma distorção por 2ª harmônica. Se a curvatura fôr dupla, isto indica a presença de uma 3ª harmônica. Finalmente, se apenas as extremidades da reta estão «quebradas», há corte dos picos.

Efetuada as ligações do osciloscópio para a medição da distorção, é fácil aumentar o nível de entrada até aparecer o corte, diminuí-lo até que justamente desapareça e medir a tensão sobre a resistência de carga à saída do amplificador. A seguir, aplicando a fórmula  $W = V^2/R$ , podemos calcular a potência de saída do

amplificador, e compará-la com os valores das especificações. Não é, porém, possível notar a presença de distorção abaixo de 1%, pelo emprêgo dêste processo. De fato, nem sequer é possível medir a distorção dessa maneira, mas, sim, apenas fazer uma estimativa, por experiência, através das indicações visuais.

O exame da resposta de freqüência e a medição da potência de saída sem distorção (para verificar se, nas diversas freqüências da faixa de áudio, está razoavelmente próxima do valor especificado) não são, porém, os únicos critérios para o julgamento do desempenho de um amplificador. Resta ainda a possibilidade de que a resposta aos transientes do amplificador não seja satisfatória.

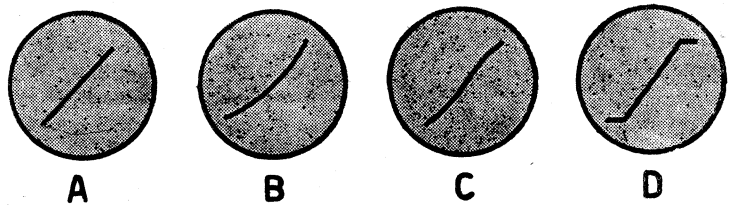


Fig. 5 — Curvas obtidas no anteparo, com as ligações da figura 4: (a) sem distorção; (b) segunda harmônica; (c) terceira harmônica; (d) corte dos picos.

O processo geralmente usado para a prova da resposta aos transientes é através do uso de ondas quadradas. O amplificador deve ser capaz de reproduzir as ondas quadradas sem alteração na sua forma. Essa a razão de ser necessário um gerador de sinais com saídas de ondas senoidais e quadradas.

A reprodução das ondas quadradas, quando deficiente, pode apresentar dois tipos de defeitos: a) cantos

arredondados, devido à reprodução deficiente das componentes de freqüência mais elevada na onda quadrada e b) cantos pontiagudos, em consequência de amplificação demasiada das mesmas componentes.

Como pode ocorrer isto, mesmo se a curva de resposta parece perfeitamente plana, até aos extremos da faixa de áudio? A resposta aos transientes depende, não só da resposta plana entre os limites da faixa, mas também da atenuação da mesma, fora dos limites da faixa de áudio. O efeito da diferença na resposta nesta região é fazer com que o amplificador tenha, para impulsos curtos compostos de diversas freqüências, comportamento diferente do apresentado em relação a um tom contínuo, de uma só

freqüência. É para êste caso que têm utilidade as ondas quadradas.

A causa usual para ambos os defeitos acima citados é um ajuste deficiente do circuito de realimentação. A maioria dêstes circuitos possui, em algum lugar, um condensador de compensação, geralmente de pequeno valor e ligado em paralelo com uma resistência. Em geral, o valor dêsse condensa-

(Cont. na pág. 152)

# AS MEDIÇÕES EM DECIBÉIS

O ouvido humano não possui uma sensibilidade linear, mas, sim, logarítmica, isto é, em níveis baixos acusa pequeníssimas alterações no nível de pressão sonora, enquanto que em níveis altos a variação da pressão sonora deve ser muito maior, para ser percebida. Por esse motivo, todas as medidas de potência, que se relacionam com circuitos de intercomunicação, deveriam ser feitas com escala logarítmica, pois, somente desta forma interpretam corretamente a impressão aurial final. Como unidade para a escala de medição logarítmica, foi escolhido o «bel», em homenagem ao grande cientista americano Alexander Graham Bell, inventor do telefone. Como, na prática, a unidade do bel resulta muito grande, é universalmente usado o «decibel» ou, abreviado, db, como unidade de medição.

O bel foi definido como sendo o logaritmo da relação entre dois níveis de potência.

$$b = \log \frac{P_1}{P_2}$$

O decibel corresponde à décima parte do bel e, portanto, se quisermos exprimir a mesma grandeza acima em decibéis, teremos de aplicar a fórmula:

$$db = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \dots (1)$$

onde  $P_1$  e  $P_2$  são os níveis de potência que queremos comparar.

Da definição acima, resulta que o db não é uma grandeza absoluta, mas, sim, relativa, resultante da comparação feita entre duas potências. Portanto, só podemos falar de aumentos ou diminuições por determinado número de decibéis, mas não de um nível absoluto.

Para contornar esta dificuldade, foi fixada uma determinada potência como sendo o nível zero da escala de db e, embora tenham sido propostas várias potências para tal fim, hoje em dia é considerada principalmente a potência de 6 miliwatts (0,006 W) como o nível zero para todos os cálculos absolutos com decibéis.

Seria muito incômodo usar sempre um wattímetro, cada vez que se quisesse fazer uma medição de potência; muito mais prático seria o uso de um voltímetro, pois, sempre está à disposição em qualquer oficina e pode ser construído com altíssima sensibilidade. Uma medição de potência, através da tensão existente no circuito, só pode ser feita, quando a tensão

é medida através de uma impedância conhecida, pela fórmula

$$P \text{ (watt)} = \frac{V^2}{Z} \dots (2)$$

onde  $V$  é a tensão efetiva medida e  $Z$  é a impedância em ohms.

Para poder equipar os voltímetros com uma escala de db, foi determinado que, neste caso, as medidas seriam feitas sobre uma impedância de 500 ohms.

O nível zero da escala db resulta assim, sob estas condições, em:

$$V = \sqrt{P \cdot Z}$$

$$V = \sqrt{0,006 \times 500}$$

$$V = \sqrt{3}$$

$$V = 1,73 \text{ volt.}$$

Portanto, o ponto zero da escala de db coincidirá com o ponto que corresponde a uma tensão alternada de 1,73 volt. Também podemos calcular os pontos da escala que correspondem aos +10 db, +20 db, etc. Os passos para os cálculos seriam:

Tensão correspondente a +10 db.



$$db = 10 \log \frac{P_1}{0,006} \text{ (fórmula 1)}$$

Substituindo o db pelo valor 10:

$$10 = 10 \log \frac{P_1}{0,006}$$

Simplificando pelo fator 10:

$$1 = \log \frac{P_1}{0,006}$$

Procuramos agora o anti-logaritmo de ambos os termos:

$$10 = \frac{P_1}{0,006}$$

$$P_1 = 0,06 \text{ watts.}$$

Agora, poderemos calcular a tensão, pela fórmula 2:

$$V = \sqrt{0,06 \times 500} = \sqrt{30}$$

$$V = 5,47 \text{ V}$$

Portanto, a divisão dos +10 db, ficará na altura dos 5,47 volts.

Para a divisão de 20 db, o cálculo resulta em

$$20 = 10 \log \frac{P_1}{0,006}$$

$$2 = \log \frac{P_1}{0,006}$$

O antilogaritmo de 2 é 100:

$$100 = \frac{P_1}{0,006}$$

$$P_1 = 0,6 \text{ W.}$$

A tensão resulta em

$$V = \sqrt{0,6 \times 500}$$

$$V = 17,3 \text{ volts.}$$

Abaixo do nível zero, os decibéis são contados em sentido negativo, isto é, -40 db correspondem a uma saída menor que -20 db. O cálculo para as tensões que correspondem a estes níveis é o mesmo que o anterior, só que invertemos o denominador e numerador da fração da fórmula 1. Um exemplo:

A que tensão correspondem -20 db?

$$20 = 10 \log \frac{0,006}{P_1}$$

$$2 = \log \frac{0,006}{P_1}$$

$$100 = \frac{0,006}{P_1}$$

$$P_1 = 0,00006 \text{ W.}$$

A tensão resulta em

$$V = \sqrt{0,00006 \times 500}$$

$$V = \sqrt{0,03}$$

$$V = 0,173 \text{ V}$$

A relação completa entre os db e a escala de tensão nos instrumentos é a da tabela I.

Outro nível que está sendo usado em muitos casos é de 1 miliwatt, em conjunto com uma impedância de 600 ohms e que corresponde, então, a uma tensão de 0,77 volts. Para diferenciar este sistema do primeiro, costuma-se indicar os valores com a expressão dbm. Os instrumentos calibrados em dbm possuem a seguinte relação entre a escala dbm e a tensão alternada:

TABELA II

-20 dbm	=	0,077 V
-10 "	=	0,245 V
0 "	=	0,775 V
+10 "	=	2,45 V
+20 "	=	7,75 V
+30 "	=	24,5 V
+40 "	=	77,5 V
+50 "	=	245 V

Para converter o db em dbm, basta acrescentar à leitura de db o valor de 7,78, para resultar o valor em dbm; na operação inversa (de dbm para db)

TABELA I

Decibéis	Volts
-20	0,173
-18	0,218
-16	0,275
-14	0,346
-12	0,435
-10	0,548
-9	0,615
-8	0,690
-7	0,774
-6	0,868
-5	0,974
-4	1,09
-3	1,23
-2	1,38
-1	1,54
0	1,73
+1	1,94
+2	2,18
+3	2,45
+4	2,75
+5	3,08
+6	3,46
+7	3,88
+8	4,35
+9	4,88
+10	5,48
+12	6,90
+14	8,68
+16	10,93
+18	13,76
+20	17,32
+25	30,8
+30	54,8
+35	97,4
+40	173
+45	308
+50	548

basta subtrair do número de dbm o valor 7,78, para resultar db. Por exemplo, 40 db correspondem a 47,78 dbm e 20 dbm correspondem a 12,22 db.

Naturalmente, a faixa total de db, nos instrumentos, está subdividida também em vários alcances, como acontece com as faixas de tensão, pois, da mesma forma que não é possível medir numa só escala entre 0,1 e 1 000 volts, também não é possível medir, em uma só escala, —20 a +50 db. Por êste motivo, a calibração da escala de db dos instrumentos só vale para determinado alcance da faixa de tensão alternada. Nesta faixa, a medição de db é direta, ou seja, o valor lido na escala de db realmente indica o valor correto.

Ao passar a chave seletora para um alcance maior (digamos, 10 vezes o alcance fundamental de tensões alternadas), a leitura na escala de db não deve ser multiplicada pelo fator 10 (como estamos acostumados na leitura das demais escalas) e, sim, deve ser acrescentado (adicionado) um determinado número de decibéis. A parcela a adicionar geralmente está marcada numa tabela impressa no próprio mostrador; se a mesma não existir, e nem constar nas instruções, o aumento pode ser feito de acôrdo com a tabela III.

Por exemplo: a faixa mais baixa de tensão alternada é de 0 — 3 volts, mas a leitura do nível de db é feita na escala de 0 — 15 volts, marcando o ponteiro + 2 db. A relação entre os alcances das faixas será de  $3 : 15 = 5$ ; o valor exato dos db, porém, não será  $2 \times 5 = 10$  db, mas, sim,  $2 + 14 = 16$  db (a par-

cela 14 foi tirada da tabela III).

TABELA III

Relação do alcance das faixas C.A.	db a acrescentar
1 : 2	6
1 : 3	10
1 : 4	12
1 : 5	14
1 : 10	20
1 : 20	26
1 : 30	30
1 : 40	32
1 : 50	34
1 : 100	40
1 : 200	46
1 : 300	50
1 : 400	52
1 : 500	54
1 : 1 000	60
1 : 2 000	66
1 : 3 000	70

Outro exemplo: o alcance da 1ª faixa é de 0 — 5 volts e o ponteiro indica — 10 db, quando o alcance está ajustado para a faixa de 0 — 500 volts. A relação dos alcances é de 100 e, portanto, a parcela é de 40 db. Como o ponteiro indicou —10 db, o resultado certo é de +30 db.

Como agora estamos familiarizados com a escala de db e sua leitura correta, podemos passar à parte prática. Em primeiro lugar é conveniente familiarizar-se um pouco com os níveis de db. O nível de ruído mais baixo, e que normalmente consideramos como sendo

silêncio absoluto, está ainda acima de 10 db; uma casa quieta, possui nível de 30 db. Num apartamento, podemos contar com 40 db, enquanto que num escritório encontraremos 55 a 60 db. O tráfego numa rua movimentada produzirá um nível de 70 a 80 db; níveis mais altos são encontrados em estaleiros, perto de motores de aviões, etc. Normalmente estamos, portanto, sujeitos a níveis entre 30 e 90 db, ou seja, a diferença de 60 db.

Por outro lado, temos que considerar que uma diferença de nível de 1 db, somente é perceptível a um ouvido treinado; uma diferença de 2 db já é notada por qualquer pessoa, mas somente uma diferença de 3 db é interpretada como sendo pronunciada.

Êstes resultados auditivos, acima, são a explicação para muitas decepções, ao se aumentar a potência de saída, para obter maior volume. Um exemplo: a fim de aumentar o volume, um montador decide trocar a 6F6 de um circuito, por uma 6L6. A primeira fornece até 4,5 watts, enquanto que a segunda proporciona até 6,5 watts, ou seja, um aumento de quase 45% na potência de saída. À primeira vista, parece que o aumento de volume deveria ser bastante acentuado, mas fazendo o cálculo com decibéis, resulta que o aumento é quase imperceptível.

$$\begin{aligned} \text{db} &= 10 \log \frac{6,5}{4,5} \\ &= 10 \log 1,44 \\ &= 10 \times 0,1584 \\ \text{db} &= 1,584 \end{aligned}$$

Conforme a escala mencionada anteriormente, êste aumento só pode ser nota-

do por uma pessoa treinada. Exatamente o mesmo sucede, quando trocamos um amplificador de 10 watts, por um de 15 watts, a fim de obter maior volume. Como a relação de aumento é a mesma que no caso anterior, o aumento de volume será negligível. Para obter um

freqüência de 1 000 Hz, para uma saída de 10 volts através da resistência de carga e, mantendo a tensão de entrada constante, foi alterada a freqüência entre 30 e 10 000 Hz, anotando-se a tensão de saída para cada freqüência ajustada. A curva resultante parece indicar que

não possui reprodução tão má assim, pois, somente em 30 Hz o nível baixa por 3 db em relação ao nível de 1 000 Hz, enquanto que o aumento nos 4 000 Hz é de +2,6 db e em 10 000 Hz a perda é de -2 db.

Somente em 30 Hz portanto, um leigo detectaria uma diminuição de volume, em relação a um amplificador ideal; o pico em 4 000 e a perda em 10 000 Hz passariam quase despercebidos. Portanto, a curva de resposta com escala em decibéis mostra muito melhor o desempenho real de um circuito do que uma curva com escala de tensão.

Como são feitas as medições envolvendo decibéis e quais os aparelhos necessários? Em primeiro lugar, naturalmente, precisamos um instrumento que tenha uma escala calibrada em db ou em dbm. Praticamente todos os melhores analisadores e voltímetros a válvula já possuem a escala; se não existissem

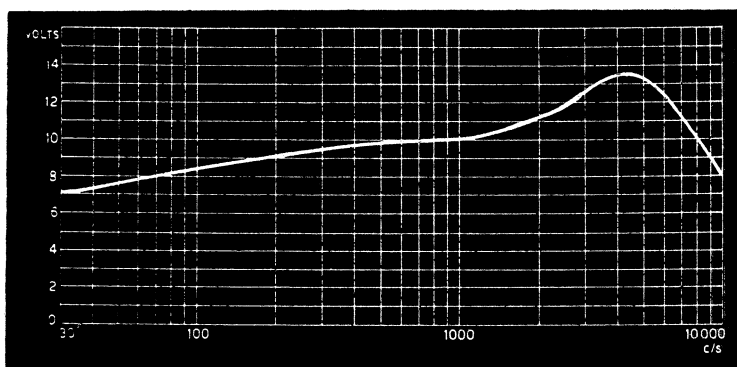


Fig. 1 — Curva de resposta de um amplificador, desenhada em função da tensão de saída.

aumento sensível, deveríamos usar um amplificador de 20 watts, pois isto representa um aumento de aproximadamente 3 db, ou seja, o mínimo para obter uma diferença significativa.

Do exposto acima, deduz-se uma regra importante: não é o aumento absoluto de potência que dá a sensação de aumento de volume, mas sim o aumento relativo; para obter a mesma sensação de aumento nos níveis de 1 e de 10 watts, é necessário aumentar, no primeiro caso, a potência de saída por 1 watt, mas, no segundo, por 10 watts!

Também na interpretação de curvas de resposta é necessário prestar atenção em que escala são reproduzidas. Suponhamos que foi medida uma curva igual à ilustrada na fig. 1. A medição foi feita ajustando-se o nível do sinal de entrada, a uma

resposta do amplificador é péssima, pois, perto dos 4 000 Hz, a tensão de saída aumenta quase 40% em relação aos 1 000 Hz e nos extremos da faixa há uma

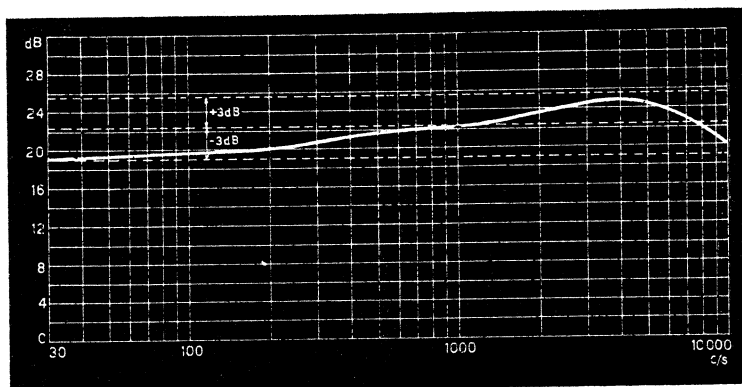


Fig. 2 — A mesma curva de resposta, porém, medida na escala de db. Esta curva interpreta com muito mais exatidão o efeito auditivo do amplificador.

perda de 30% nos 30 Hz e 20% nos 10 000 Hz. Se, porém, redesenharmos a curva para a escala de db (fig. 2), verificamos rapidamente que o amplificador

tir, a escala correspondente pode ser mesmo calculada utilizando como base as indicações dadas na 1ª parte do artigo. Em segundo lugar, é necessário dispor de

uma fonte de áudio ou radio-freqüência (de acôrdo com o tipo de medição desejada), cuja tensão de saída seja ajustável entre amplos limites.

No caso de ser medida a resposta de freqüência de um amplificador (provável-

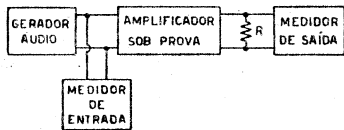


Fig. 3 — Diagrama em blocos para a medição da curva de resposta de um amplificador de áudiofreqüência.

mente o caso mais comum de medição), liga-se a gerador de áudio à entrada do amplificador, em conjunto com um instrumento que servirá para o controle do nível de entrada. À saída do amplificador é ligada uma resistência com o valor nominal da impedância de saída e em paralelo com a mesma o medidor de saída (fig. 3). Se possível, deveria ser ligado igualmente um osciloscópio à saída, para poder controlar a forma de onda. Fica assim fácil descobrir distorção demasiada, ronco ou sobreexcitação do amplificador.

Ajustando o gerador para determinada freqüência (para áudiofreqüência é recomendada a freqüência de 400 ou 1 000 Hz), o nível de entrada é regulado para resultar a saída desejada. Para a resposta de freqüência não é indiferente o nível no qual é feita a medição, pois, em níveis elevados, próximos à máxima potência de saída nominal do amplificador, a resposta será mais restrita que em níveis baixos. Sobre a escala e a medição do nível de potência absoluta, daremos explicações mais adiante.

Ajustado o nível de saída em 400 (ou 1 000) Hz, alteramos a freqüência do gerador de áudio para os valores que queremos medir, mantendo sempre a tensão de saída do gerador no mesmo valor. Para cada freqüência de entrada, verificamos na escala de decibel do instrumento de saída qual o aumento ou diminuição em relação ao nível primitivo. Na leitura da escala de db, temos naturalmente de considerar a parcela a aumentar, de acôrdo com a escala usada. Para evitar erros na leitura, é aconselhável fazer uma pequena tabela, na qual estão compilados todos os dados referentes à medição (fig. 4). Tendo-se anotado todos os dados importantes para cada medição, é fácil

- II: 0 — 10 V (+12 db)
- III: 0 — 50 V (+26 db)
- IV: 0 — 250 V (+40 db)
- V: 0 — 1 000 V (+52 db)

A escala de 0 — 2,5 está calibrada em db, desde —30 até +3 db. Para as demais faixas podemos determinar as parcelas a aumentar, pela tabela 3. A relação entre as faixas I e II é de 4; portanto, devem ser adicionados 12 db à leitura da segunda. A faixa III é 20 vezes maior que a primeira; portanto, a parcela é +26 db. Da mesma forma, determinamos as parcelas das demais faixas.

Depois de termos ligado os aparelhos juntos, ajustamos a saída do gerador de sinais, na freqüência de 1 000 Hz, até que o instru-

FREQÜÊNCIA	FAIXA DO GERADOR	TENSÃO DE ENTRADA	LEITURA NO INSTRUMENTO	FAIXA DO INSTRUMENTO	PARCELA A ADICIONAR	LEITURA RESULTANTE
1000 c/s	II	8 mV	+2 dB	I	—	+2 dB
2000 c/s	II	"	-8,2 dB	II	+12 dB	+3,8 dB
3000 c/s	II	"	-4 dB	II	+12 dB	+8 dB
3000 c/s	III	"	-3,5 dB	II	+12 dB	+8,5 dB
4000 c/s	III	"	+1 dB	II	+12 dB	+13 dB
5000 c/s	III	"	-8 dB	III	+26 dB	+18 dB

Fig. 4

repetir qualquer medida, sob as mesmas condições anteriores, em caso de dúvidas posteriores.

Daremos agora um exemplo de medição, a fim de desenhar a curva de resposta de um amplificador de 1 000 até 5 000 Hz. As características do gerador usado são:

- Faixa I: 30 — 300 Hz
- II: 300 — 3 000 Hz
- III: 3 000 — 30 000 Hz
- IV: 30 000 — 300 000 Hz

O instrumento de medição possui as seguintes faixas para tensões alternadas:

- I: 0 — 2,5 V (—30 a +3 db)

mento de saída marque, na primeira faixa, por exemplo, o valor de 2 db, sendo, neste caso, a tensão de entrada de 8 milivolts. Mantendo esta tensão constante, alteramos a freqüência para 2 000 Hz. O ponteiro do medidor de saída ultrapassa a escala e, conseqüentemente, temos que usar a escala II do instrumento. O ponteiro indicará uma saída de —8,2 db; como a parcela a adicionar nesta faixa é de 12 db, isto corresponderá a um valor de 12 — 8,2 = +3,8 db.

Alterando a freqüência do gerador para 3 000 Hz (fim do alcance II do mesmo) o ponteiro marcará —4 db.

Temos, novamente, de adicionar +12 db a esta leitura, resultando o valor de +8 db. (Em tôdas estas medições, temos de controlar se o nível de entrada realmente permanece nos 8 mV).

Para aumentar a frequência, temos de passar para o alcance III do gerador e para maior segurança (pois, no começo e no fim das escalas o erro é geralmente maior que no centro) repe-

13 db. Ao aumentar a frequência para 5 000 Hz, temos que passar para a faixa III do medidor, pois, o ponteiro ultrapassa a escala II. O ponteiro marca uma saída de -8 db. Como a parcela agora é de 26 db, o resultado certo é de  $26 - 8 = +18$  db.

Temos agora todos os dados para desenhar a curva. Usamos para este fim papel milimetrado, se pos-

que deve resultar o mais regular possível. No caso dos dois valores aos 3 000 Hz, por exemplo, a curva só resulta regular se usarmos o valor de 8 db; conseqüentemente, o valor de 8,5 db não deve estar certo e, sim, corresponde a uma frequência ligeiramente maior. A curva resultante está desenhada na fig. 5, por intermédio de um traço cheio.

Existindo qualquer dúvida a respeito do desenho da curva, poderemos fazer medições adicionais em redor dos pontos duvidosos e, como temos a tabela de anotações, podemos repetir estas medições sob as mesmas condições anteriores. O desenho de curvas pode, portanto, em muitos casos, revelar erros de medição ou de leitura e, ao mesmo tempo, visualizam perfeitamente o desempenho do amplificador sob prova.

Não mencionamos, no exemplo acima, qual a impedância nominal de saída do amplificador, pois, esta não interessa, quando não se quer fazer a medição tôda em determinado nível.

Como já mencionamos anteriormente, a resposta de frequência de um amplificador não é, porém, independente da potência; em níveis baixos de potência, a resposta é bastante mais ampla do que perto do nível máximo. Este fenômeno é motivado principalmente pelo transformador de saída e é um fenômeno muito natural, pois, trabalhando o ferro com baixa densidade de fluxo, naturalmente introduzirá perdas muito menores do que com densidades de fluxo elevadas. Por esse motivo, as normas americanas indicam que a curva de resposta de amplificadores deve ser

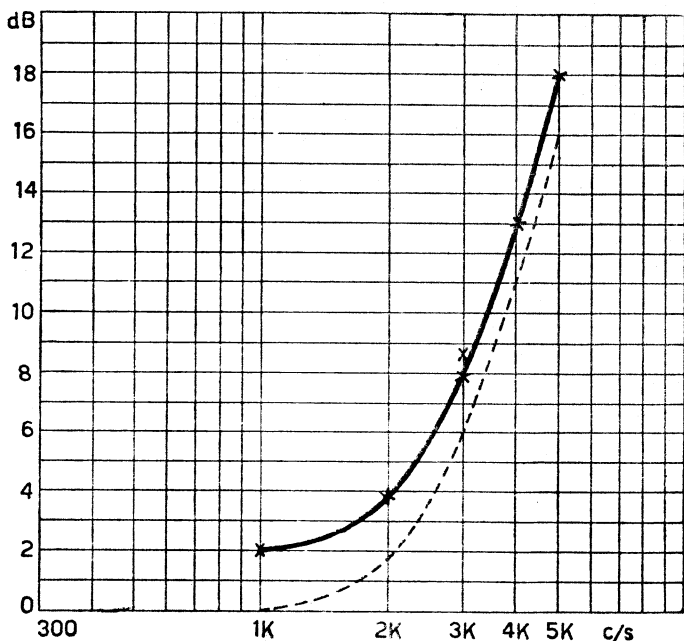


Fig. 5 — Curva de resposta de um amplificador que corresponde aos exemplos dados no texto (linha cheia). A curva com traço interrompido é resultado de outro tipo de medição, com potência de saída constante.

timos a medição com 3 000 Hz, porém, desta vez, com o alcance III do gerador. Realmente, há um aumento de 0,5 db na saída, indicando que uma das duas últimas medidas não foi muito certa. Anotamos também este novo valor na tabela e prosseguimos na medição.

Em 4 000 Hz, o ponteiro indica +1 db; como estamos ainda na faixa II do medidor, temos que adicionar +12 db;  $+1 + 12 =$

sível com divisões logarítmicas em sentido horizontal e lineares em sentido vertical. Escolheremos uma escala vertical de db conveniente e marcamos, para cada frequência, o valor medido, por intermédio de uma cruzinha. Para os 3 000 Hz dispomos, no exemplo citado, de dois valores; ambos são marcados (fig. 5).

Agora, tentamos desenhar através de tôdas as cruzinhas marcadas, uma curva

medida a um nível 3 db abaixo da potência nominal.

Como não é mencionada a frequência nesta condição, subentende-se que, em todas as frequências medidas, a potência de saída deve estar 3 db abaixo do nível nominal. Conseqüentemente, é necessário fazer toda a medição um pouco diferente da indicada anteriormente: no lugar de manter a tensão de entrada do amplificador constante, a tensão de saída é mantida sempre no nível correspondente à potência e a tensão de entrada necessária é medida em db.

Um exemplo esclarecerá melhor todo o processo. Digamos que o amplificador, cuja curva de resposta desenhemos na fig. 5, possui uma impedância de saída de 500 ohms e potência nominal de 5 watts. Temos de calcular em primeiro lugar a quantos db correspondem estes 5 watts, o que pode ser feito pela fórmula 1:

$$\begin{aligned} \text{db} &= 10 \log \frac{P}{0,006} \\ &= 10 \log \frac{5}{0,006} \\ &= 10 \log 833 \\ &= 10 \times 2,9206 \\ \text{db} &= 29,2 \end{aligned}$$

Como a resposta deve ser medida a 3 db abaixo do nível máximo, teremos que ajustar a tensão de entrada para resultar um nível de saída de  $29,2 - 3 = 26,2$  db, à frequência de 1 000 Hz. A tensão de entrada (fornecida pelo gerador de sinais) deve ser medida em db e anotada numa tabela. Agora alteramos a frequência para 2 000 Hz, ajustando novamente a tensão de entrada, até que o medidor de saída acuse o nível de

26,2 db. O valor da tensão de entrada, medida em db, também é anotada, e assim por diante, até à última frequência a ser medida. A curva de db resultante destas medições estará invertida com respeito a curva de resposta do amplificador, pois, quando a resposta do amplificador cai por 2 db, temos de aumentar a entrada por 2 db, a fim de obter de novo a mesma saída.

Suponhamos que tenhamos medido os seguintes valores, para conseguir uma saída constante de 26,2 db:

Tensão de entrada	20	18,2	14	4 000	5 000 Hz
Frequência	1 000	2 000	3 000	9	4 db

Considerando os 20 db de tensão de entrada como nível zero, vemos que a 2 000 Hz tivemos de diminuir a tensão de entrada por  $20 - 18,2 = 1,8$  db, o que significa que o amplificador aumentou em + 1,8 db a sua sensibilidade. Em 3 000 Hz o aumento foi de  $20 - 14 = + 6$  db; em 4 000 Hz o aumento é de  $20 - 9 = + 11$  db e em 5 000 Hz há um aumento de  $20 - 4 = + 16$  db.

Desenhando a curva que une os pontos mencionados acima, resulta a mesma curva que a da figura 5, só que o nível absoluto se acha deslocado por 2 db. (Esta última curva está desenhada com traço interrompido).

Lembramos aos leitores que, no exemplo acima, consideramos ser a impedância de saída do amplificador de 500 ohms. O que fazer, se a impedância da saída for outra? Evidentemente, o instrumento marcará um nível errado, pois, a calibração foi baseada na tensão que aparece sobre uma impedância de 500 ohms.

Como a tensão, para uma determinada potência, varia com a impedância, calcularemos uma vez a tensão resultante para uma potência de 6 miliwatts e diversas impedâncias:

Impedância	Tensão	db
500 ohms	1,73 V	0
100 ohms	0,774 V	-7
50 ohms	0,548 V	-10
5 ohms	0,173 V	-20

As tensões marcadas acima são acusadas pelo instrumento, ao passar de uma impedância para outra. Ve-

rificando a quantos db correspondem estas tensões (tabela 1), notaremos que, no caso de ser a impedância de 100 ohms, o medidor acusará -7 db, em lugar de zero db; nos casos de 50 e 5 ohms, as leituras serão de -10 e -20 db, respectivamente. Portanto, no primeiro caso, seria necessário adicionar 7 db à leitura para obter o valor correto e, no segundo e terceiro casos, 10 e 20 db, respectivamente.

De acordo com estes dados, podemos desenhar um gráfico que permite determinar rapidamente qual a parcela a aumentar ou diminuir, em relação a cada impedância de saída (fig. 6). Por exemplo: sendo a impedância de 8 ohms, é necessário aumentar a leitura por 18 db, para resultar a indicação exata do nível de saída. Por outro lado, sendo a impedância de 1 000 ohms, é necessário descontar 3 db da leitura do instrumento, a fim de conseguir indicação correta do nível de saída. Quando o instrumento estiver calibrado em dbm (600

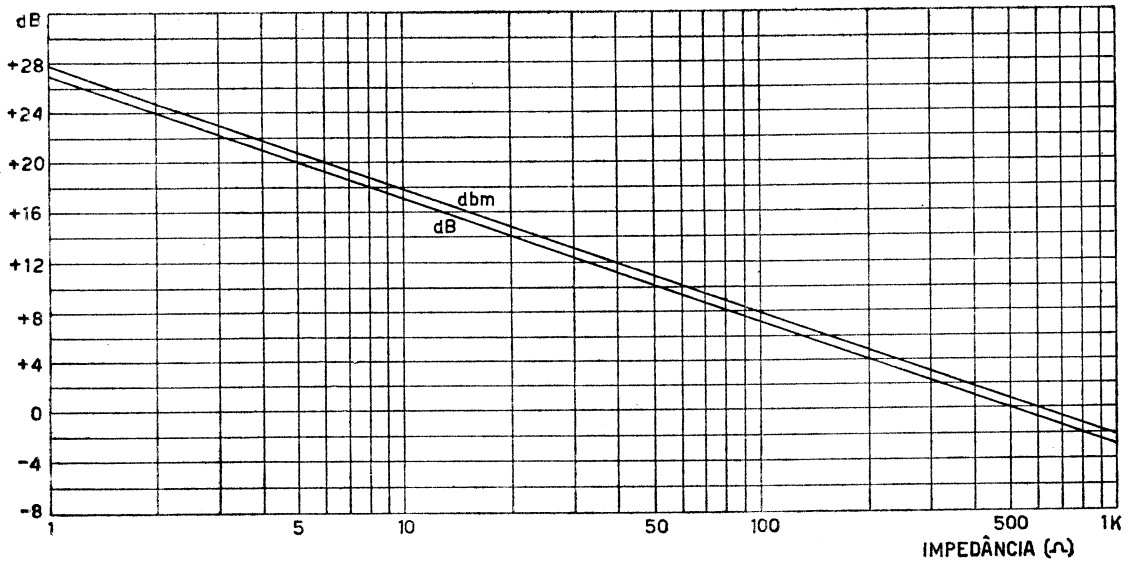


Fig. 6 — Gráfico que permite corrigir a leitura de decibéis, quando os valores forem medidos através de uma impedância diferente da nominal. Por exemplo, se a saída foi medida através de uma impedância de 3,2 ohms, então é preciso adicionar 22 dB, a fim de resultar o nível de potência absolutamente certo. A reta superior vale para o mesmo fim, porém, para medições feitas na escala dbm.

ohms, 1 miliwatt), vale a outra reta da fig. 6.

Na figura 7, damos ainda um gráfico que permite determinar o nível de potência em relação às indicações em db e dbm e que facilita muito o trabalho com os decibéis.

Devido à composição logarítmica da escala de decibéis, o ganho total de um conjunto, tendo cada componente um determinado ganho ou perda em db, pode ser calculado simplesmente somando os decibéis individuais. Por exemplo: um pre-amplificador com ganho de 30 dbm é ligado em conjunto com um amplificador com ganho de 20 dbm. Na saída

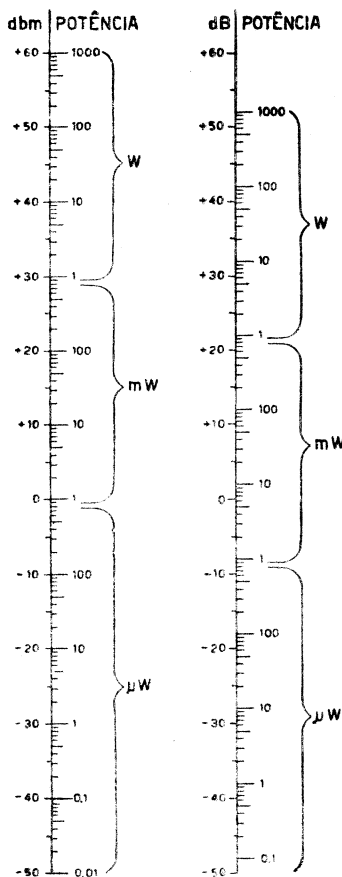


Fig. 7 — Relação entre os níveis absolutos em db ou dbm e a potência correspondente em watts.

do amplificador existe um atenuador de 10 dbm. Qual o ganho total? O resultado é obtido simplesmente em se somando os dbm:  $+30 + 20 - 10 = 40$  dbm. Se o nível de entrada for de  $-10$  dbm, então a potência de saída será de  $+30$  dbm, ou seja, 1 W. Com db, o cálculo é o mesmo; se algum dos valores estiver indicado em db e outros em dbm, é necessário converter todos os dados a uma ou outra unidade, para poder fazer o cálculo final.

Com estas considerações terminamos o presente artigo, que tem como objetivo auxiliar nossos técnicos amadores e profissionais a avaliar o desempenho de amplificadores e componentes pela simples observação das respectivas curvas de resposta graduadas em decibéis.



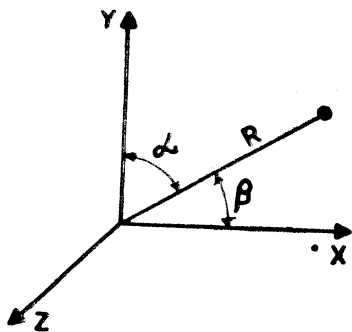


# SOM ESTEREOFÔNICO

- REPRODUÇÃO ESTEREOFÔNICA DO SOM
- REPRODUÇÃO ESTEREOFÔNICA
- AMPLIFICADOR PARA ESTEREOFONIA
- ESTÉREO AMPLIFICADOR HI-FI

# Reprodução Estereofônica do Som

A reprodução — tão natural e agradável — pelo sistema de alta-fidelidade foi o motivo da divulgação tão rápida deste sistema no mundo todo. A reprodução natural é, principalmente, fruto da redução da distorção (originada em qualquer sistema reproduzido), o que torna a música reproduzida mais clara e natural, sendo, por exemplo, facilmente distinguíveis os sons produzidos pelos vários instrumentos de uma orquestra, ou «distanciando» os cantores do acompanhamento musical, mesmo nas passagens fortíssimas.



Os modernos sistemas de reprodução podem ser construídos hoje em dia, com tal perfeição, que, tanto a dinâmica, como a faixa reproduzida e a distorção, dificilmente necessitariam ser melhoradas. Mesmo assim, existe ainda uma diferença básica entre uma audição real e sua reprodução artificial: nesta última, o som parte praticamente de um ponto só, enquanto que, nas audições «vivas», os sons partem de uma determinada área. Como o ouvido humano diferencia entre os sons vindos de direções diferentes, forçosamente haverá uma «perda de informação» nas reproduções

comuns, mesmo se for absolutamente perfeita nos restantes aspectos. Ouvindo, por exemplo, um disco comum, não poderemos distinguir se os violinos de uma orquestra estão situados do lado direito, esquerdo ou então no centro, enquanto que numa audição real, isto é perfeitamente possível, mesmo se não pudermos ver os músicos.

Esta perda da sensação de direção dificulta ao mesmo tempo a audição da música, pois dificulta ao ouvido a separação dos diversos instrumentos que estão tocando simultaneamente. Esta dificuldade não é muito aparente, no caso da música, mas torna-se clara, no momento, por exemplo, em que se deseja reproduzir palestras, quando diversos participantes falam ao mesmo tempo. Neste caso, a reprodução por meio de um alto-falante se torna ininteligível, enquanto que um observador pode seguir as discussões sem dificuldade, pois o seu ouvido pode discriminar entre os tons que vêm de diferentes direções, concentrando-se então, automaticamente, no som desejável e rejeitando os sons «interferentes». O mesmo acontece durante a reprodução de música, só que, neste caso, esta dificuldade não se torna tão aparente.

Seria, portanto, um passo importante para uma reprodução realística, se pudéssemos adicionar à alta-fidelidade, estereofonia do som.

Antes de procurar fazer um sistema de som estereofônico, foi necessário estudar as propriedades direcionais do ouvido humano. A localização de uma fonte sonora no espaço exige a determinação da distância da fonte e dos ângulos de incidência em sentido vertical e horizontal, para ser exata. Colocando o observador num sistema de coordenadas, teremos que determinar a distância  $R$ , o ângulo  $\alpha$  de elevação (que nos dá a informação a respeito da altura da fonte sonora) e o

ângulo  $\beta$ , que representa a direção da qual provém o som. Experiências provaram que a grandeza que pode ser determinada com maior precisão pelo ouvido é a da direção (correspondente ao ângulo  $\beta$ ).

tanto, esperar pouca precisão na determinação da direção do som, quando este for de frequência baixa. Com frequências elevadas, a diferença de intensidade sonora (linha pontilhada no diagrama 2-B) é muito maior, o

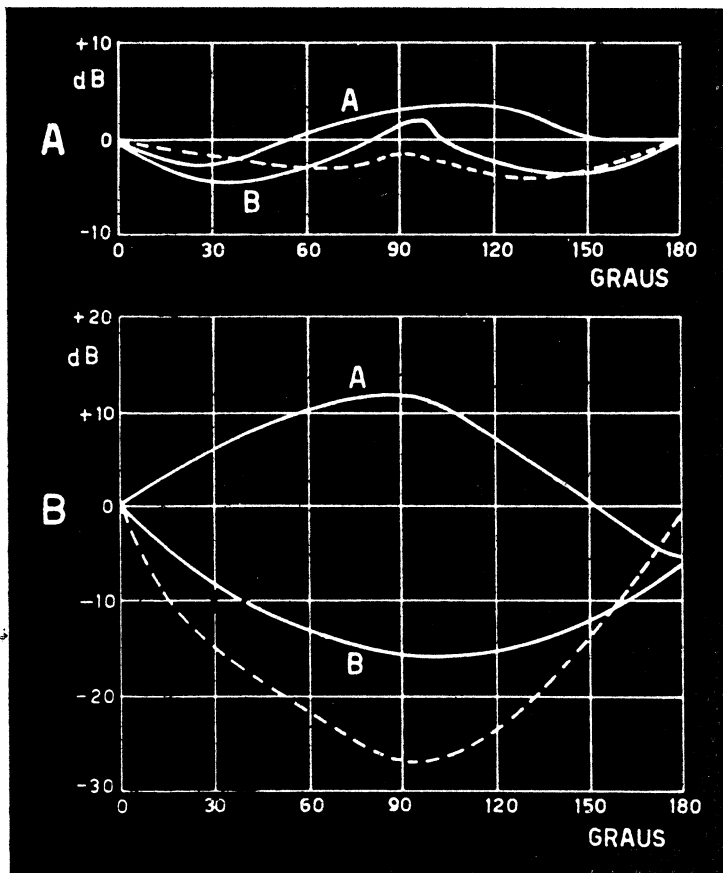


Fig. 2 — Curva de pressão sonora, em relação ao ângulo de incidência para uma frequência de 300 Hz (A) e 4000 Hz (B). O ângulo zero corresponde à posição frontal da fonte sonora, enquanto que, em 180°, a fonte se acha exatamente atrás do observador. Vê-se claramente que, nas frequências baixas, a diferença de pressão sonora (linha de traços interrompidos) é pequena. Portanto, é muito mais fácil ao ouvido determinar a direção nos sons agudos.

A determinação da direção do som é conseguida pela percepção da diferença de intensidade sonora originada no ouvido, mais próximo e mais distante da fonte. Esta diferença é originada não somente pela diferença no caminho percorrido pelo som, mas também pela difração do som na cabeça do observador. Foram feitas medições precisas a este respeito, por intermédio de «cabeças artificiais» (imitações de cabeças, com microfones calibrados em lugar de ouvidos). Mediram-se, por exemplo, para diversas frequências, os níveis resultantes nos ouvidos, com o som incidente de diversas direções. Como a difração do som depende da frequência do mesmo, eram de esperar resultados bastante diferentes, com frequências baixas e altas. As curvas da figura 2 demonstram estas diferenças. Com 300 Hz (fig. 2-A) a diferença de pressão é pouca e na prática pode-se, por-

que equivale, na prática, a uma fácil determinação da direção. Experiências práticas comprovaram esta característica do ouvido humano.

Além da intensidade sonora nos ouvidos, há ainda outro fator que permite uma determinação de direção: a diferença de fase entre os sons que incidem nos tímpanos, devido aos diferentes caminhos percorridos. Neste particular, o ouvido humano é mais sensível em se tratando de frequências baixas; acima de 800 Hz, aproximadamente, não pode o ouvido diferenciar direções, por meio de diferenças de fase. Em relação ao primeiro fenômeno, este segundo é de pouca importância para a determinação da direção.

Embora cada uma das propriedades acima citadas forneça uma indicação da direção da fonte sonora, somente a superposição de todas pode fornecer-nos uma indicação segura.

Por exemplo, quando os tímpanos são atingidos pela mesma intensidade sonora, a fonte pode estar exatamente à frente ou atrás do ouvinte. Neste caso, mesmo assim, pode ser localizada seguramente a fonte, pela diferença espectral do som, que se conhece pela experiência.

A determinação da distância da fonte sonora é feita pelo ouvido, através da relação entre o som direto e o reverberante (refletido pelas paredes do recinto), como, naturalmente, também pela intensidade do som. No primeiro caso, que somente é válido para recintos fechados, a distância da fonte sonora parece ser tanto maior, quanto maior for a intensidade do som reverberante em relação ao som direto. No segundo caso, a fonte parece estar tanto mais afastada, quanto menor for a intensidade ouvida. Finalmente, é também importante a composição espectral do som; diminuindo a percentagem dos agudos, em relação aos graves, a fonte parece afastar-se.

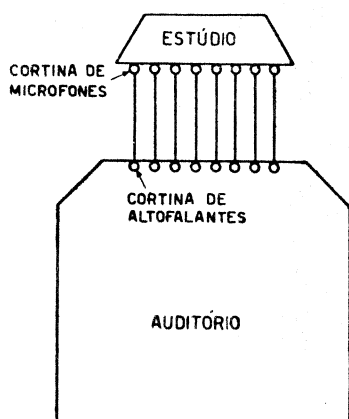


Fig. 3 — Sistema ideal para a reprodução estereofônica e que reproduziria exatamente a configuração geométrica das ondas sonoras originais.

A determinação psicológica da distância da fonte sonora (a distância  $R$  na figura 1) é muito menos precisa que a determinação da direção (ângulo  $\beta$ ) do som.

A determinação da elevação (ângulo  $\alpha$ , da fig. 1) é menos precisa ainda. A determinação não pode ser feita através de diferenças de caminho percorrido, nem por diferenças de fase. De acordo com pesquisas modernas, a percepção da inclinação se prende a pequenas oscilações inconscientes da cabeça, fazendo com que a intensidade, que era a mesma nos dois ouvidos, seja diferente. Se a fonte sonora estiver à mesma altura do ouvido, estas oscilações da cabeça

provocarão determinada alteração no som recebido pelos dois ouvidos; quando, porém, a fonte está exatamente acima da cabeça, mesmo estas oscilações não provocarão diferenças. Através destas informações indiretas, o ouvido pode determinar a elevação da fonte, embora de forma bastante precária.

Destas experiências e estudos pode-se concluir que, para uma reprodução estereofônica, o principal é a transmissão da informação relativa à direção horizontal do som, sendo de importância secundária a distância e a elevação.

As primeiras experiências, com relação à reprodução estereofônica, já foram feitas há 25 anos, tendo a «Bell Telephone Laboratories» feito estudos pormenorizados.

O sistema estereofônico ideal utilizaria uma «cortina» de microfones no estúdio, entreligados por intermédio de amplificadores com igual número de alto-falantes, dispostos na mesma configuração geométrica no palco do auditório (fig. 3). Usando um número infinitamente grande de canais, poder-se-ia reproduzir exatamente a configuração das ondas acústicas, presentes no estúdio. É evidente que, na prática, tal sistema não pode ser usado; é necessário estabelecer uma restrição, para um pequeno número de canais de reprodução.

Neste caso, a configuração das ondas acústicas certamente será bem diferente da ideal, mas teremos a nosso favor o mecanismo da percepção do som, realizado pelo cérebro, e que possui uma grande latitude de adaptação. É capaz de localizar a fonte sonora razoavelmente bem, mesmo se os dados fornecidos pelos ouvidos forem apenas uma grosseira aproximação daqueles fornecidos no caso real.

As primeiras experiências realizadas por Steinberg e Snow (Bell Telephone, 1934) serviram justamente para determinar a precisão fornecida por diversos sistemas simplificados de reprodução.

O esquema, bem como os resultados obtidos estão reproduzidos na fig. 4. Uma fonte sonora, colocada no estúdio, produz um som que é reproduzido no auditório, conforme o tipo de equipamento eletracústico marcado ao lado da figura. A um ouvinte, colocado na parte central do auditório, pede-se marcar numa planta do mesmo a posição de que pensa provir o som que ouve. Estas medidas

são repetidas com vários outros observadores, a fim de conseguir dados estatisticamente mais perfeitos.

Os resultados, indicados na coluna central, vêm indicados por intermédio de pequenos círculos, enquanto que a posição real está indicada por cruzes.

Na audição direta (sem qualquer intermédio eletracústico), já existe uma ligeira discrepância a respeito da localização correta,

decididamente piores, enquanto que, com o processo inverso (2 microfones alimentando 3 alto-falantes), conseguiu-se resultados bem melhores.

Finalmente, foi experimentado o uso de 2 canais, empregando 3 microfones e 3 alto-falantes. Neste caso, os resultados são completamente desanimadores, pois, há uma aglomeração pronunciada de indicações no centro do palco.

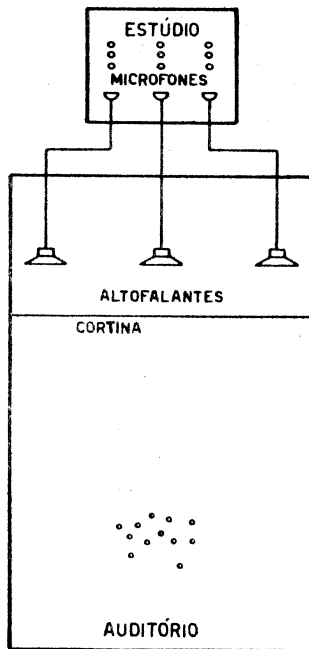
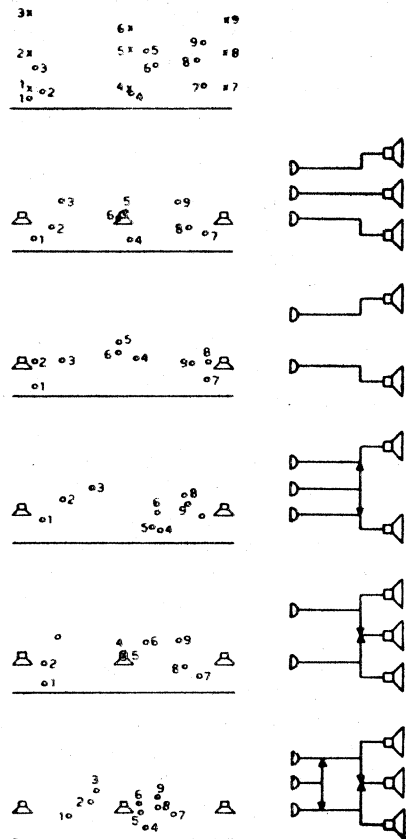


Fig. 4 — Resultados das experiências com os vários sistemas de reprodução estereofônica. À esquerda, a disposição dos alto-falantes e dos observadores; à direita, o esquema do tipo de reprodução. No centro, estão marcados os pontos (por intermédio de bolinhas), nos quais os observadores pensam estarem localizadas as fontes sonoras.



não tanto na direção, como na distância das fontes sonoras. A reprodução com 3 canais separados fornece resultados surpreendentemente bons, aproximando-se da precisão da observação direta. Eliminando o canal central, ainda os resultados permanecem bons, embora todos os ouvintes hajam marcado um afastamento das fontes sonoras centrais, o que equivale a uma redução de volume proveniente da parte central do palco.

Foi ainda experimentado o uso de 3 microfones, que alimentam 2 alto-falantes, sendo que o sinal do microfone central é introduzido em ambos os alto-falantes, embora com redução da potência com relação aos canais diretos. Os resultados, neste caso, foram

Estas experiências provam que, para uma reprodução estereofônica caseira, é plenamente suficiente um sistema de 2 canais, enquanto que, para a localização exata de fontes sonoras, é necessário usar 3 canais independentes. Esta conclusão é de extrema importância para a divulgação dos sistemas estereofônicos, pois, para uma aceitação geral, um sistema muito complexo seria altamente prejudicial. Isto porque, além de tornar necessária a existência de vários conjuntos reprodutores (amplificadores, alto-falantes e caixas acústicas), é ainda necessário dispor de uma gravação com vários canais simultâneos, o que, praticamente, só é realizável por meio de fita magnética.

Sendo, porém, possível o uso de 2 canais, o equipamento reproduzidor só precisa existir em duplicata e, como gravação, pode ser usado o disco, conforme veremos mais adiante.

Nas observações e medições acima descritas, a localização do observador estava sempre restringida à linha de centro do sistema reproduzidor. O que acontece, se deslocarmos o observador lateralmente? Também para este caso foram feitas medições adequadas. Em primeiro lugar, observa-se que as intensidades sonoras para os dois observadores são bastante diferentes e que, aparentemente, a fonte sonora acompanha um pouco o deslocamento lateral do observador. Por exemplo: vindo o som do centro do palco, o observador, quando sobre a linha central do auditório, também o localizará no centro. Deslocando-se agora o observador para o lado direito, localizará então a fonte sonora não no centro, como deveria ser, mas sim do lado direito do mesmo. Se o deslocamento for para o outro lado, será notada uma alteração correspondente. Este efeito é bastante pronunciado e pode prejudicar bastante o efeito estereofônico, pois, na prática, não é possível que todos os ouvintes fiquem exatamente na parte central do auditório. Para cada auditório existe, portanto, uma área, dentro da qual o efeito estereofônico pode ser considerado satisfatório, enquanto que, os ouvintes que ficam fora desta área, não notarão grande diferença em relação a uma reprodução comum.

Na primeira parte deste artigo tratamos das bases fundamentais para uma reprodução estereofônica. Passamos agora à parte prática, ou seja, aos sistemas atualmente usados para conseguir aquele fim.

De acordo com as explicações dadas, qualquer sistema de reprodução estereofônica necessita de, pelo menos, dois canais completamente independentes, começando com os microfones no estúdio, até aos alto-falantes na sala de reprodução. As primeiras experiências práticas com a reprodução estereofônica foram feitas por intermédio de emissoras que transmitiam, simultaneamente, na faixa de ondas médias e na de FM. No estúdio eram colocados dois microfones, um alimentando o transmissor de AM e o outro, o de FM. No local de recepção usavam-se dois receptores separados, alimentando cada um deles um dos alto-falantes instalados na sala de reprodução.

Este sistema não requer equipamento adicional junto às emissoras (além de alguns componentes de importância secundária) e também, por parte do ouvinte, requer poucas

despesas adicionais. Mesmo assim, não conseguiu esse sistema uma apreciável divulgação, e isso pelos seguintes motivos: em primeiro lugar, a faixa de frequências transmitida em FM é muito maior que em AM, pois, aí existe a limitação de 5 KHz para a máxima frequência de modulação. Com isto, um canal é transmitido em alta-fidelidade e o outro não. Devido a esta diferença espectral dos canais, perde-se em grande parte o efeito estereofônico (pois, o ouvido orienta-se principalmente de acordo com as frequências elevadas) e, ao mesmo tempo, o ouvido nota perfeitamente a reprodução deficiente do canal de AM.

Em segundo lugar, uma divulgação maior do sistema estereofônico somente é possível quando existir algum sistema de gravação com som estereofônico, pois, é justamente esta a fonte predileta da grande maioria dos ouvintes. Sendo o número de interessados pequeno, as emissoras não acham vantajoso aumentar as suas despesas, a fim de atender somente a poucos. Mesmo se este tipo de transmissão não acarretasse despesas adicionais às emissoras, elas não teriam continuado com transmissões estereofônicas, pois, a qualidade de cada canal não é tão boa como a de um canal só, devido à distribuição especial dos microfones.

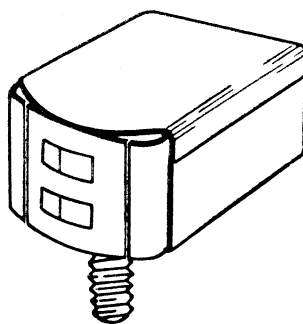


Fig. 5 — Cabeça gravadora magnética dupla, para a gravação simultânea de dois canais na fita.

Todos estes fatores, reunidos, fizeram com que a reprodução estereofônica de programas radiofônicos não alcançasse apreciável divulgação.

Até há pouco tempo podia-se considerar a fita magnética a única espécie de gravação existente para o som estereofônico. Devido às suas propriedades físicas é a fita o portador predestinado para a gravação simultânea de 2 ou mais canais. Para este fim, basta gravar 2 trilhas sonoras na mesma fita, uma acima da outra. A construção de cabeças

sonoras sobrepostas, para êste fim, não apresenta dificuldades durante a reprodução. O único inconveniente dêste tipo de gravação é o seu preço elevado e, devido a êste fato, a pouca divulgação do aparelhamento.

Já há muito tempo foi tentada a gravação de discos com 2 sulcos, a fim de poder aproveitar a grande divulgação dêste tipo de gravação para a estereofonia.

Um dos tipos propostos dividia a área de gravação em duas partes concêntricas, sendo gravado em cada faixa, de maneira comum, a música de um canal. Para a reprodução será necessário usar um pick-up especial, com duas cabeças, devendo uma delas ter suficiente liberdade de movimento lateral, que a sua agulha se possa ajustar ao sulco, sem exercer pressão lateral sôbre a outra agulha, da segunda faixa.

Discos gravados por intermédio dêste sistema foram lançados durante algum tempo no mercado, mas não conseguiram impor-se. As razões para isto são várias: o manejo do pick-up duplo é bastante delicado, o tempo de gravação por disco é menos que a metade que o de um disco comum e a tangência das agulhas é bastante inferior à tangência de uma agulha só. Além do mais, devido aos raios diferentes dos sulcos correspondentes, a fidelidade não é idêntica em ambos os canais, o que é indispensável, conforme já mencionamos anteriormente, no caso do emprego de transmissão em AM-FM.

Compreendeu-se rapidamente que uma maior divulgação da reprodução estereofônica sômente seria possível mediante a adoção de um sistema compatível, como aliás também foi imperativo no caso da adoção da televisão colorida. Significa esta exigência que o aparelhamento nôvo deve permitir a reprodução dos discos comuns, sem necessidade de alteração alguma.

A compatibilidade obriga o construtor a procurar uma solução pela qual possa usar um braço de pick-up comum, empregando uma única agulha que serve igualmente para tocar os discos LP, comuns. Os discos devem ter um único sulco, que deve, porém, conter as informações dos dois canais.

Surgiu assim a idéia de combinar os processos de gravação lateral e vertical, a fim de conseguir as duas informações num único sulco. Convém recapitular rapidamente as

características de ambos os processos. Na gravação lateral, a profundidade do sulco é constante e o som é gravado por desvios laterais da agulha gravadora. Resulta um sulco ondulado e os pick-ups usados para a reprodução devem ser sensíveis aos movimentos laterais da agulha. Oscilações verticais devem produzir tensão de saída insignificante. Êste último tópico é importante, pois, parte do ruído de discos (chiado) é provocado por irregularidades que causam o movimento vertical da agulha.

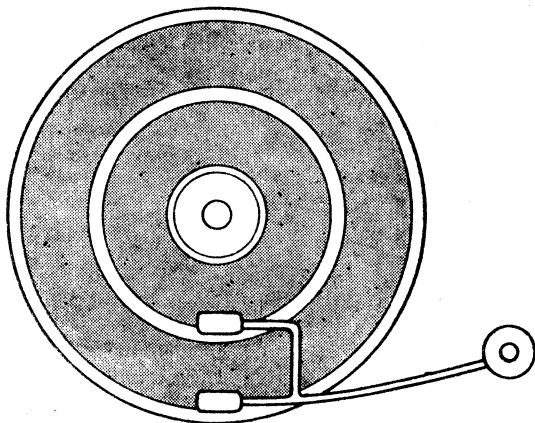


Fig. 6 — Disco com gravação estereofônica, do sistema antigo. Eram produzidos com pick-ups duplos, de manejo bastante difícil.

Na gravação vertical (usada por alguns anos para as gravações particulares das emisoras, em conjunto com uma velocidade de 33 rpm) usa-se o processo inverso: os desvios da agulha são em sentido vertical, resultando o sulco gravado numa perfeita espiral, porém com profundidade variável. Naturalmente, os pick-ups usados para a reprodução devem ter máxima sensibilidade em relação a movimentos verticais e nenhuma, ou pouco, em relação aos movimentos laterais da agulha.

Pode-se imaginar um sistema que permita combinar ambos os sistemas de gravação, tendo então, o sulco resultante no disco, tanto variações laterais como de profundidade.

Os pick-ups reprodutores possuem dois sistemas sensíveis; um, que sômente é sensível a variações verticais da agulha, e o segundo, que sômente reproduz as variações laterais da mesma. Ambos os sistemas possuem saídas separadas e alimentam seus alto-falantes correspondentes.

Experiências efetuadas com êste sistema não deram resultados plenamente satisfatórios, por apresentar a gravação vertical uma distorção inerente maior que a lateral. Existe,

assim, uma diferença de qualidade na reprodução dos canais, que é notada pelo fato de trabalharem ambos os canais ao mesmo tempo.

Conseguiu-se eliminar esta discrepância, girando ambos os planos de gravação por 45 graus. Dessa forma, as informações de ambos os canais são gravadas sob igualdade de condições, não havendo, portanto, diferenças entre as mesmas.

em sentido lateral a soma dos sinais dos dois canais e em sentido vertical a sua diferença. Tocando-se este disco com um pick-up comum, obtém-se o mesmo som que de um disco comum. Na profundidade variável do disco está contida a informação espacial do som. A combinação correta de ambas as informações dá a impressão da estereofonia.

Neste sistema, a amplitude vertical de gravação foi limitada a 1/8 do desvio máximo lateral. Isto é muito importante para conse-

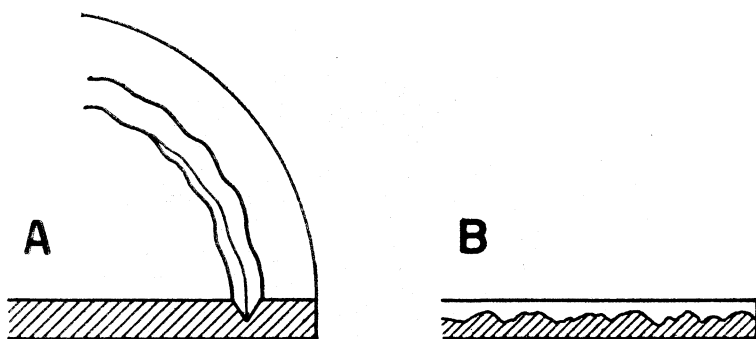


Fig. 7 — (A) — Sulco com gravação lateral, mas de profundidade constante. Este é o processo de gravação comum. (B) — Corte através de um sulco com gravação vertical. Na gravação estereofônica, ambos os processos são usados simultaneamente.

Na reprodução, deve ser usado um pick-up com 2 elementos sensíveis, alimentando os dois canais de reprodução. A ponta da agulha usada deve ser um pouco mais aguda que a das agulhas comuns; enquanto estas possuem um raio de ponta de 25  $\mu$ , as novas cápsulas possuem agulhas com raios 20  $\mu$  (1  $\mu$  = 1/1 000 milímetro). Devido à ponta mais aguda, recomenda-se o uso de diamante como material da agulha; a safira pode, porém, ser ainda usada, principalmente por que a pressão da agulha recomendada passa a ser de 2 a 6 g. As cápsulas lançadas atualmente no mercado conseguem uma isolamento de 20 a 25 db entre os dois canais, valor este melhor que o necessário para boa reprodução estereofônica.

Infelizmente, na prática, este sistema demonstrou não ser completamente compatível. Pode-se tocar os discos comuns com um pick-up do tipo novo, estereofônico, mas não se recomenda o uso dos novos discos, em conjunto com pick-ups convencionais, exceto alguns tipos especiais. A razão é muito simples: a compliância vertical das agulhas dos pick-ups comuns não é suficientemente alta para acompanhar a gravação vertical, sem danificar o sulco dos discos estereofônicos.

Outro sistema, que é completamente compatível, foi proposto e demonstrado pela CBS. Usa uma gravação lateral-vertical, gravando

guir a compatibilidade completa, pois, devido às pequenas amplitudes verticais, podem ser usados pick-ups atuais comuns, sem que se danifique o sulco (embora neste caso, naturalmente, não haja reprodução estereofônica).

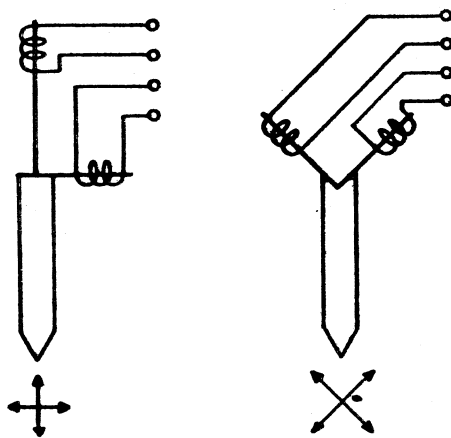


Fig. 8 — Na gravação lateral-vertical comum, a agulha gravadora faz movimentos verticais e horizontais, ao mesmo tempo. No processo "Westrex", ambos os planos de movimento foram inclinados por 45 graus, a fim de conseguir igualdade de condições para ambos os canais gravados.

Os defensores deste sistema afirmam que esta limitação não diminui o efeito estereofônico. De acordo com a CBS, a maior parte do som reproduzido pode ser retirado da  
(Cont. na pág. 190)



# REPRODUÇÃO ESTEREOFÔNICA

Para conseguir efeito estereofônico real, é indispensável uma instalação com dois canais completos e independentes um do outro. Um amplificador estéreo, portanto, contém dois amplificadores independentes (com exceção da fonte de alimentação) e dois conjuntos de alto-falantes que devem ser instalados a determinada distância um

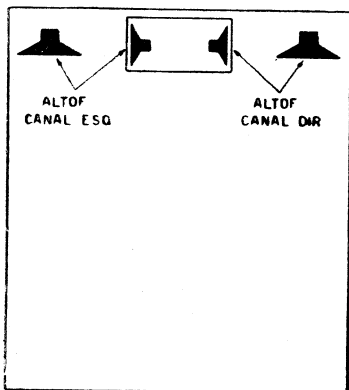


Fig. 1 — Com móveis contendo os alto-falantes para a reprodução estereofônica, é conveniente aumentar o efeito, colocando alto-falantes adicionais, mais distanciados.

do outro. Esta distância é denominada, doravante, como «largura da base». Quanto maior for escolhida a base, tanto mais real o efeito estereofônico.

A indústria fornece muitos tipos diferentes de aparelhos estereofônicos. Se o móvel já possuir embutidos os alto-falantes para ambos os ca-

nais, então deverá o móvel ser colocado no centro de uma das paredes do cômodo. Para um bom efeito estereofônico, estes móveis resultam bastante compridos; na grande maioria destes casos, são usados alto-falantes adicionais, a fim de obter base maior. É necessário que, com este arranjo, o móvel fique no ponto médio entre os alto-falantes adicionais (fig. 1).

Também existem aparelhos, nos quais os alto-falantes de um dos canais estão embutidos no móvel, enquanto que os do outro canal ficam num móvel acústico à parte. Neste caso, naturalmente, o móvel tem de ficar numa das extremidades da base, enquanto que o móvel acústico fica na outra extremidade (fig. 2).

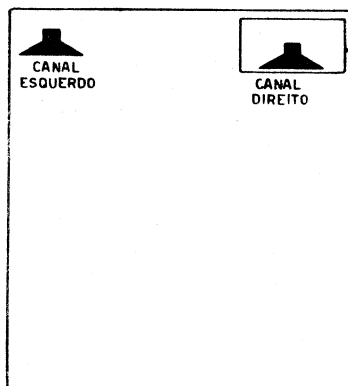


Fig. 2 — Alguns receptores comerciais usam o alto-falante embutido no móvel, só para a reprodução de um canal; para o outro, é instalado um alto-falante adicional.

Enquanto que, na reprodução monaural, é indiferente em que ponto da sala se encontra o ouvinte, na reprodução estereofônica isto já não vale mais. Aqui, tanto a distância do ouvinte até à linha de base, como também os ângulos dos quais ouve os alto-falantes, são importantes.

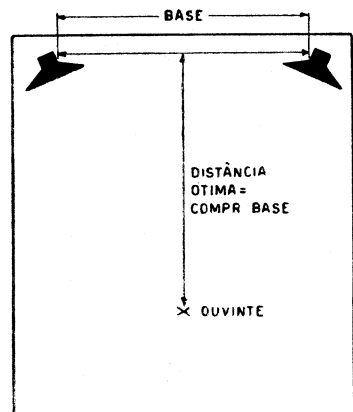


Fig. 3 — O melhor efeito estereofônico é verificado no centro dos alto-falantes, a uma distância mais ou menos igual à separação entre os mesmos.

A posição ótima para o ouvinte é aquela em que vê os alto-falantes sob ângulo de 60°, ou seja, quando se acha exatamente na linha de centro entre os alto-falantes, a uma distância igual à largura da base (fig. 3). Esta é a posição ótima; bons resultados são obtidos sempre que o ouvinte esteja na «área de audição». Este termo designa a área onde

pode ser esperado efeito estereofônico; fora desta área, a reprodução não se diferenciara de uma reprodução monaural.

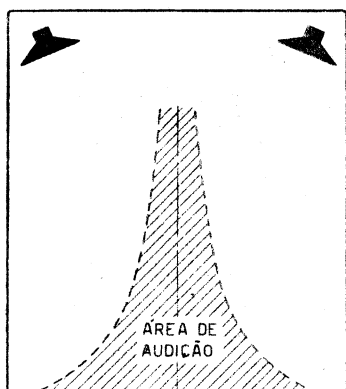


Fig. 4 — A área de audição é a área na qual há bom efeito estereofônico.

A área de audição tem a forma de uma corneta (fig. 4), com a parte estreita partindo do centro da base. A área, portanto, é bastante restrita, principalmente quando lembramos que a distância até à base não deveria ser muito menor que a largura da mesma.

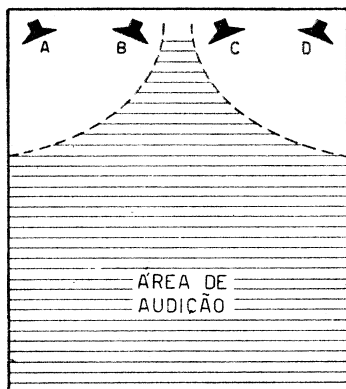


Fig. 5 — A área de audição pode ser aumentada, usando-se dois alto-falantes para cada canal. Alto-falantes A, B: canal esquerdo; alto-falantes C, D: canal direito.

A «área de audição» pode ser aumentada, usando-se vários alto-falantes para cada canal, dispostos como mostra a fig. 5. Esta disposição de alto-falantes resulta automaticamente, quando é

usado um aparelho com alto-falantes embutidos, em conjunto com alto-falantes adicionais, a fim de aumentar o comprimento da base.

Neste caso, a localização do ouvinte é muito menos crítica, sendo mesmo possível colocar uma quantidade bem maior de ouvintes na área de bom efeito estereofônico.

Pode-se instalar um conjunto estereofônico em qualquer cômodo, desde que sejam obedecidas as regras fundamentais mencionadas acima. Quando o quarto não for, por exemplo, retangular ou quadrado, é necessário instalar os alto-falantes de acordo com a figura 6, nos pontos B e C, pois, a ins-

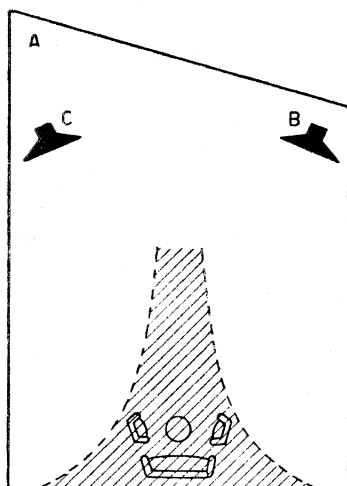


Fig. 6 — Em salas não retangulares, nem sempre é possível colocar os alto-falantes aos cantos. Na figura, acima, a colocação de um dos alto-falantes no canto A, resultaria num desequilíbrio do sistema estereofônico.

talação de alto-falante no canto A faria com que os ouvintes já não estivessem no centro da área de audição.

Se os ouvintes estiverem sentados num dos cantos da sala, não é mais possível colocar os alto-falantes nos outros cantos. Os móveis

acústicos devem ser colocados de tal maneira que a área de audição cubra todos os ouvintes (fig. 7). É igualmente necessário cuidar que não existam obstruções no caminho do som, pois, pela difração resultante, é

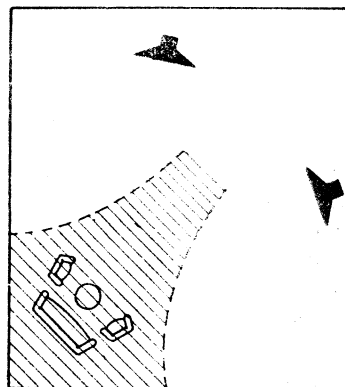


Fig. 7 — A área de audição desviada sempre determina a posição dos alto-falantes.

perdida a sensação de estereofonia.

Pequenas alterações na posição da área de audição podem ser conseguidas por um ajuste um pouco diferente dos móveis de cada canal ou, então, pela rotação de um dos alto-falantes para o lado da parede (fig. 8). Somente uma experiência pode determinar qual o método que dá melhor resultado na prática.

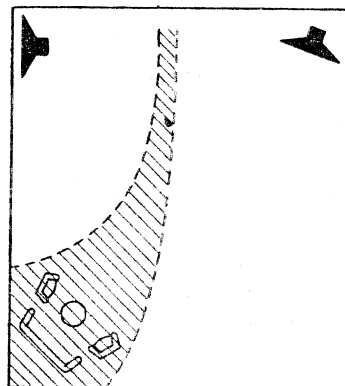


Fig. 8 — Pequenas alterações da posição da área de audição podem ser conseguidas pela rotação de um dos alto-falantes.

O efeito estereofônico do som é originado principalmente pelas audiofrequências médias e agudas; para as frequências baixas, o ouvido humano não possui sensibilidade direcional. Baseado neste efeito, foram idealizados conjuntos estereofônicos que utilizam, para a reprodução das frequências baixas, um único alto-

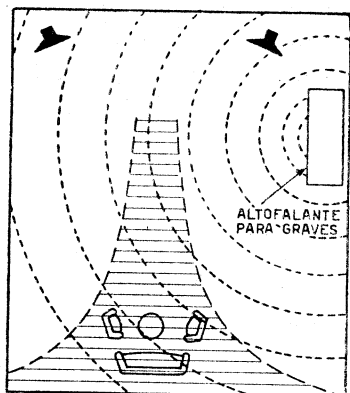


Fig. 9 — Os sons graves necessariamente não precisam ser reproduzidos pelos alto-falantes distanciados; também podem ser reproduzidos por um alto-falante à parte, cuja posição não é crítica.

-falante grande. Este reproduz somente as frequências baixas e é alimentado através de um filtro passa-baixos, de ambos os canais de

reprodução. A posição deste alto-falante não é crítica, pois, como já mencionamos, não é possível ao ouvido determinar de que direção provêm estes sons. Para cada canal existe, adicionalmente, um alto-falante de tamanho médio; cada um destes recebe somente as frequências mais elevadas dos amplificadores conjugados.

Para a colocação dos alto-falantes adicionais, valem as mesmas considerações anteriores; o alto-falante para os graves (em geral, é usado um radioreceptor ou vitrola já existente) pode ficar em qualquer posição, mais adequada. Com este sistema, pode-se obter uma reprodução estereofônica que ocupa pouco espaço, pois, devido à limitação das frequências dos alto-falantes adicionais, os móveis podem ser feitos em tamanho pequeno. A fig. 9 mostra uma instalação típica usando este sistema, enquanto que a fig. 10 apresenta outra solução prática, na qual um dos alto-falantes adicionais é colocado sobre a radiovitrola já existente.

Além da ligação correta

dos alto-falantes, para que o sinal do canal do lado esquerdo realmente seja reproduzido pelo alto-falante que está deste lado, é ainda de

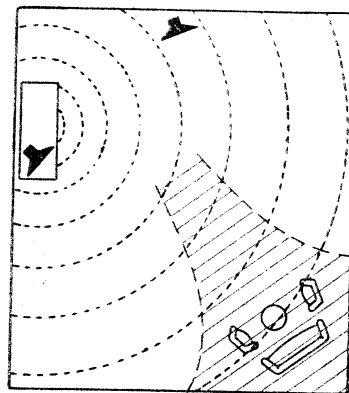


Fig. 10 — A melhor posição, para usar um alto-falante para os graves e dois alto-falantes para o efeito estereofônico, é a indicada pela figura acima.

grande importância o fasamento correto das bobinas móveis. Com polaridade invertida de um dos alto-falantes desaparece o efeito estereofônico no centro da área de audição; o efeito auditivo deste defeito é tão pronunciado que torna-se fácil determinar experimentalmente o fasamento correto das bobinas móveis.

# Amplificador para Estereofonia

O lançamento de discos e cápsulas para som estereofônico obriga, o fabricante de equipamento de áudio, a procurar caminhos para fornecer equipamentos baratos que possam ser vendidos em grandes quantidades, pois, nem todos podem comprar dois aparelhos HI-FI completos. A RCA, por exemplo, está experimentando com um amplificador que trabalha, na reprodução monaural, como amplificador push-pull, enquanto que na reprodução estereofônica o circuito é modificado para trabalhar como dois amplificadores simples. Este amplificador resulta pouco mais caro que um amplificador push-pull comum.

Dois amplificadores idênticos podem ser ligados em paralelo, sem que haja dificuldade alguma durante o funcionamento. Nesta modalidade de serviço, as duas entradas são ligadas juntas, assim como as saídas. A distorção do conjunto não se altera, mas, logicamente, a potência dobra. Obtemos o mesmo resultado, usando as duas entradas individuais dos amplificadores, desde que os sinais de entrada tenham a mesma forma de onda e estejam em fase. No desenho em blocos da figura 1, detalhe A, temos ilustrada esta condição. Neste caso, aliás, é indiferente se entreligamos as duas saídas ou não.

Se invertermos a fase de um dos sinais de entrada, então as duas correntes de saída anular-se-ão mutuamente, no momento em que as saídas forem entreligadas (fig. 1-B); enquanto que sem esta entreligação, naturalmente, cada amplificador fornecerá a sua potência nominal. A fim de sanar o fenômeno do cancelamento, basta inverter os terminais de saída na entreligação (fig. 1-C); neste caso, obteremos de ambos os ampli-

ficadores, entreligados ou não, as potências nominais. Como demonstra o desenho 1-C, é condição primordial para esta possibilidade a existência de dois sinais defasados em  $180^\circ$  nas entradas, trabalhando então, o conjunto todo, em push-pull

e resultando assim, como vantagem, o cancelamento da distorção produzida pela segunda harmônica.

Usando um pick-up comum, na entrada do conjunto da fig. 1-C, não obteremos resposta alguma na saída, mas os pick-ups para som estereofônico fornecem, automaticamente, dois sinais defasados em  $180^\circ$ , quando a agulha efetua movimentos laterais. Este fenômeno é, aliás, fácil de entender, quando examinamos a disposição física dos cristais (ou de outros elementos sensíveis) nos pick-ups desenhados para a reprodução pelo sistema «Westrex» 45 — 45 (fig. 3). Se a agulha for movimentada lateralmente, os elementos sofrerão trações em sentidos contrários; portanto, as tensões geradas terão polaridades opostas. É interessante observar que um movimento vertical da agulha gerará tensões em fase nas saídas, pois, as trações dos elementos se dão no mesmo sentido. Desprezando a «tomada central» do conjunto, o pick-up fornecerá tensões para movimentos laterais da agulha, não apresentando tensão de saída para movimentos verticais.

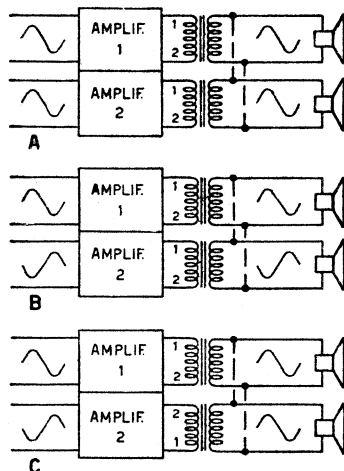


Fig. 1 — A — Dois amplificadores, excitados com tensões em fases idênticas, proporcionam a soma das duas potências de saída e podem ser ligados em paralelo as saídas, sem que isto influa no funcionamento.  
B — Com tensões de entrada defasadas em  $180^\circ$ , as saídas não podem ser ligadas em paralelo as saídas, pois, as duas potências de saída cancelar-se-iam.  
C — Invertendo um dos enrolamentos dos transformadores de saída (simbolizado pela inversão da numeração dos terminais) e usando tensões de entrada defasadas, as saídas podem ser entreligadas ou não, sem alteração no desempenho.

O mesmo fenômeno se dá, se este tipo de pick-up é ligado aos amplificadores antes mencionados; nos movimentos laterais da agulha, as tensões de entrada dos amplificadores estão em fase oposta e, conseqüentemente, haverá potência de saída; nos movimentos verticais, as tensões de entrada dos amplificadores estão em fase e as tensões de saída dos amplificadores anular-se-ão.

Pode-se construir, portanto, um equipamento que, trabalhando em conjunto com pick-up para reprodução estereofônica, reproduz os discos comuns como amplificador push-pull, em conjunto com um ou dois alto-falantes; com discos estereofônicos, o equipamento trabalha como amplificador de dois canais, sendo, naturalmente, necessários dois alto-falantes para a reprodução.

Na figura 2 mostramos o circuito projetado pela RCA. Trata-se de dois amplificadores idênticos, cujas saídas podem ser ligadas em paralelo, no caso de reprodução monaural. No total, são usadas 6 válvulas (inclusive a retificadora); as três pre-amplificadoras são do tipo 6CG7, um nêvo duplo-tríodo de ganho médio (características idênticas às da 6SN7). Como válvulas de saída são usadas 6V6, que fornecem, com 2% de distorção, 7 watts de saída na posição estereofônica e 9 watts na posição monaural (devido à ligação em push-pull no segundo caso, a potência para determinada distorção é maior).

Os contrôles de tonalidade e volume são convencionais, usando potenciômetros duplos para a regulagem simultânea dos dois canais. É necessário cuidar de boa concordância entre os valores dos potenciômetros conjugados, para não surgi-

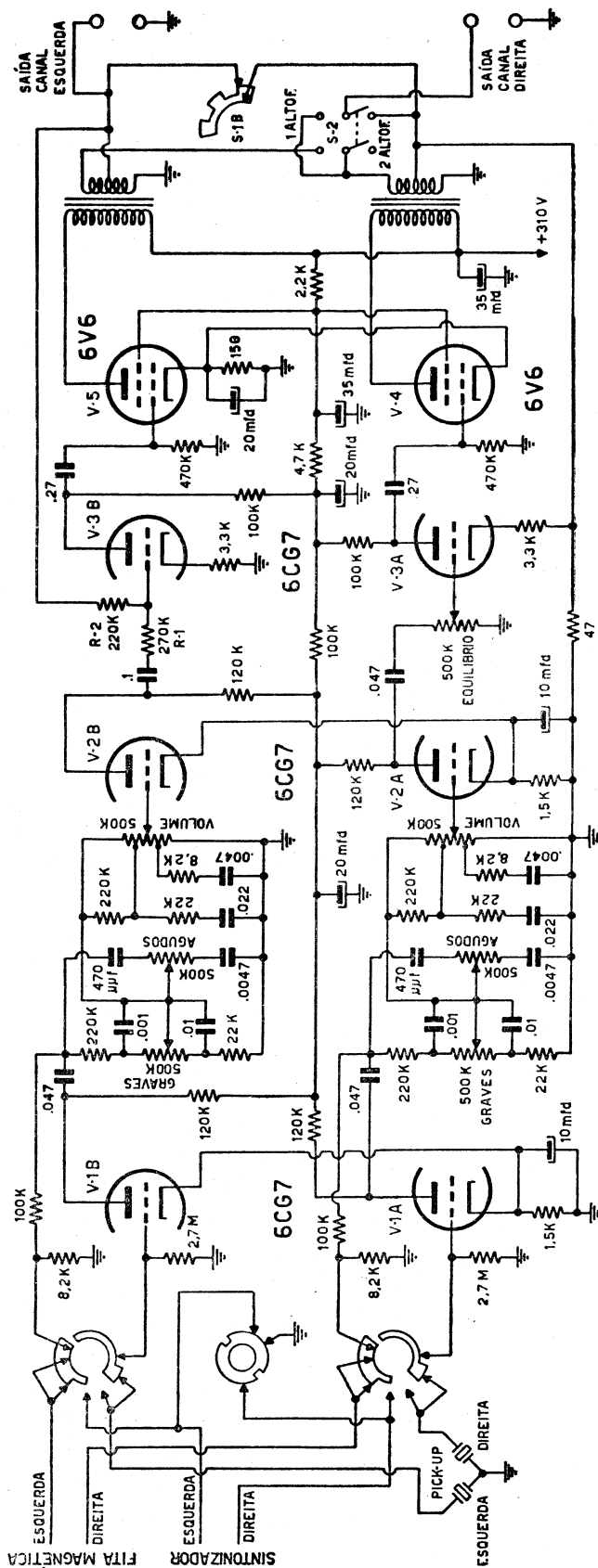


Fig. 2 — Circuito esquemático do amplificador experimental da RCA, que pode trabalhar em push-pull ou com dois canais separados.

rem diferenças na tonalidade ou no volume dos dois canais. Na grade do triodo V-3A existe um controle de volume adicional, com o qual pode ser ajustado o equilíbrio de volume durante a reprodução estereofônica.

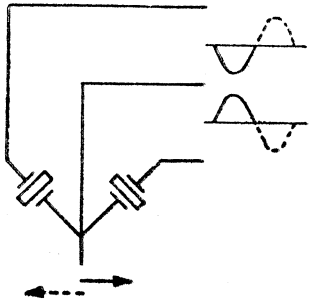


Fig. 3 — Os pick-ups para reprodução estereofônica fornecem, para desvio lateral da agulha, duas tensões defasadas em 180°.

O amplificador de saída difere, no seu circuito, um pouco do desenho convencional, devido à inversão de fase em uma das placas das válvulas de saída; conseqüentemente, a aplicação de realimentação negativa nos dois canais tem que ser

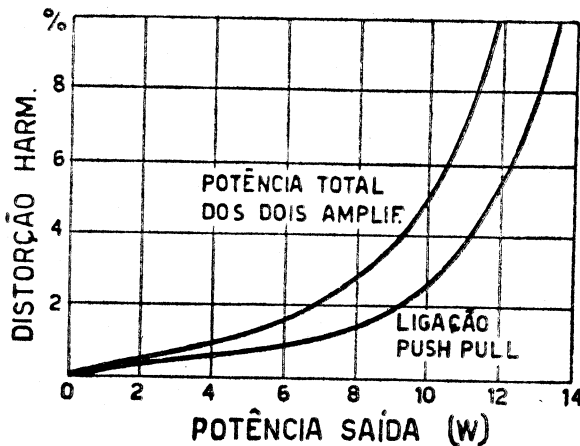


Fig. 4 — Distorção harmônica em relação à potência de saída, para ligação push-pull e de dois canais.

diferente. No canal direito, a tensão de realimentação é retirada da tomada de 4 ohms do transformador de saída e injetada no cátodo de V-3A, conseguindo-se, assim, aproximadamente 15 db de realimentação.

No canal da esquerda, a tensão de realimentação também é retirada da tomada de 4 ohms do transformador de saída, mas, devido à inversão de fase, com respeito ao outro canal, é ne-

cessário injetar a tensão de realimentação na grade de V-3B. A resistência R-1 serve para isolar esta grade da impedância de saída relativamente baixa da válvula precedente, a fim de evitar que grande parte da reali-

mentação negativa seja colocada em curto-circuito. Ao mesmo tempo, esta resistência reduz o ganho dêste canal todo, possibilitando o ajuste de equilíbrio de volume, por intermédio do

potenciômetro antes mencionado.

Embora neste tipo de amplificador uma tensão alternada sobreposta à tensão +B não seja cancelada como nos amplificadores push-pull

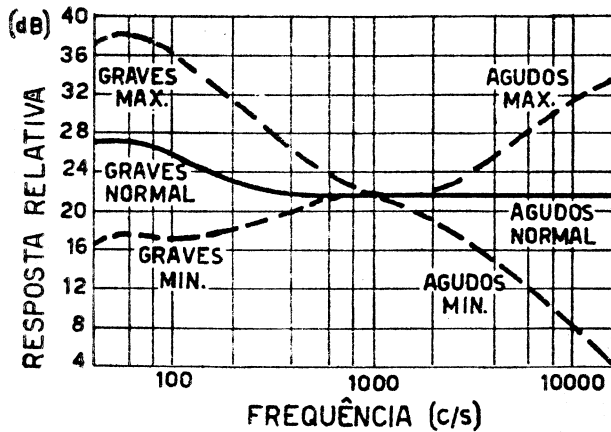


Fig. 5 — Resposta e variação dos controles de tonalidade dos dois canais amplificadores.

convencionais, não é necessário empregar filtragem especial na fonte de alimentação, porque a realimentação negativa reduz o ronco, porventura existente, a um nível imperceptível.

O amplificador possui somente 4 controles: volume, graves, agudos e a chave seletora para as diversas possibilidades de funcionamento. Existe ainda uma chave (S-2), cuja posição depende do número de alto-falantes ligados; se fôr um só o alto-falante, então S-2 liga as duas saídas juntas, independentemente da posição do seletor S-1. Neste caso, portanto, o amplificador trabalha sempre em push-pull. Com 2 alto-falantes ligados, e a chave S-2 na posição «2 altof.», a chave S-1 permite escolher entre reprodução estereofônica ou push-pull.

Além da entrada para a cápsula estereofônica existem ainda duas entradas estereofônicas: uma, para dois sintonizadores, e a outra, para gravadores magnéticos, de dois canais.

# AMPLIFICADOR ESTÉREO HI-FI

O amplificador estereofônico de alta-fidelidade, que descrevemos no presente artigo, combina no mesmo chassi o preamplificador e amplificador de potência para os dois canais, apresentando, além dessa, a vantagem de poder ser montado com peças de fácil obtenção em nosso mercado.

uma só fonte de alimentação reside no uso de apenas um transformador de força, uma válvula retificadora e apenas um circuito de filtro para todo o conjunto.

Cada canal emprega apenas uma válvula 12AX7 (triodo duplo de alto MU), uma válvula

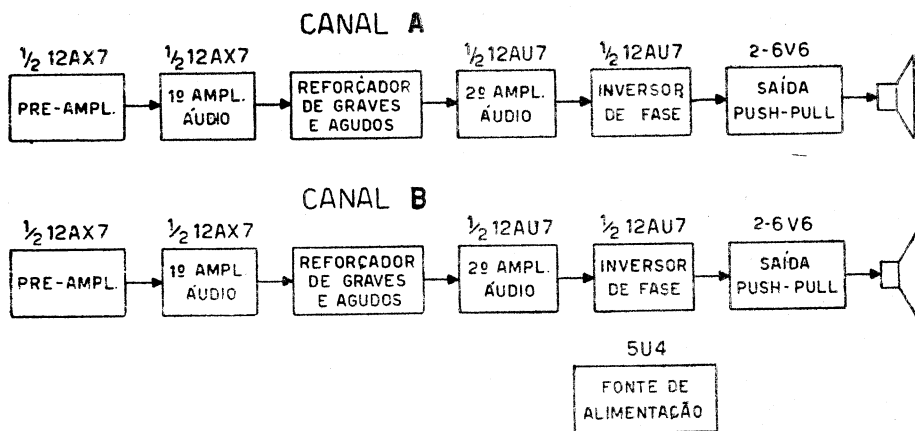


Fig. 1 — Circuito em blocos de novo amplificador HI-FI estereofônico "COMANDO", com entrada para cápsulas estereofônicas ou comuns, tanto de cristal como relutância variável.

Esse novo amplificador estéreo foi desenhado para fornecer uma potência de saída máxima de 30 watts ou, em outras palavras, nos fornece 15 watts de saída máxima em cada um dos canais. Com reduzido número de válvulas, operando-as para conseguir máxima eficiência e fidelidade em cada uma, este amplificador econômico combina boa sensibilidade, com alta potência máxima sem distorção e boa reprodução de som por toda a gama auditiva, podendo ser comparado com os melhores amplificadores de alta-fidelidade no mercado.

Como podemos ver no diagrama em blocos da figura 1, este amplificador estereofônico consiste de dois canais, alimentados por uma fonte de alimentação comum. A vantagem de

12AU7 (triódo duplo de MU médio) e finalmente duas válvulas 6V6 (válvulas de feixe dirigido). Com estas quatro válvulas, em cada um dos canais, nos é possível conseguir uma potência máxima, **sem distorção**, de 6 a 8 watts. A sensibilidade total a 1000 Hz, para conseguir uma potência máxima sem distorção, vai de 7,5 mV até 10,5 mV, aproximadamente.

Esta sensibilidade foi conseguida, operando cada estágio deste amplificador com um ganho mais alto possível, sem diminuir a fidelidade de cada um dos estágios. Outra vantagem muito importante neste amplificador estereofônico é a existência de 7 entradas, que correspondem a todas as maneiras possíveis em que podemos usar este amplificador:

- duas entradas para cápsula estereofônica de relutância variável (uma entrada para o canal n.º 1 e a outra para o canal n.º 2);
- uma entrada para cápsula Monaural de relutância variável;
- duas entradas para cápsula estereofônica de cristal (uma para o canal n.º 1 e a outra para o canal n.º 2);
- uma entrada para cápsula Monaural de cristal;
- finalmente, uma entrada para um sintonizador de AM ou FM.

**Fonte de alimentação:** o circuito alimentador deste aparelho tem por finalidade alimentar todos os estágios dos dois canais. O transformador de força usado é um transformador EASA STEREO, projetado para fornecer 180 mA através do secundário de alta tensão. Este transformador é do tipo universal, possuindo,

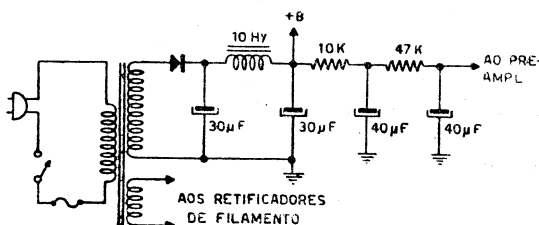


Fig. 3 — Circuito esquemático da fonte de alimentação, para um amplificador americano.

portanto, entrada para 90, 115, 180, 200 e 220 volts.

Existem dois enrolamentos secundários de 6,3 V completamente independentes. Um destes fornece energia para alimentar todos os filamentos do canal A, enquanto o segundo fornece energia para os filamentos do canal B. A razão para isto é impedir qualquer acoplamento entre os dois canais, através do circuito de filamento.

Cada enrolamento de filamento possui uma tomada central, a qual é ligada à terra. A razão desta ligação é que, assim, automaticamente o centro do filamento de cada uma das válvulas estará ligado à terra, diminuindo desta maneira o ronco causado por acoplamento entre o filamento e o cátodo. Isto é muito importante, especialmente no estágio de pré-amplificação, porque neste o sinal de entrada é muito pequeno em amplitude e desde que este estágio

possui uma amplificação muito alta, qualquer sinal de 60 Hz introduzido neste estágio seria tremendamente amplificado, resultando em forte ronco no alto-falante.

A maneira mais conveniente de evitarmos o acoplamento de filamento ao cátodo, ou de filamento à grade de controle, através da capacitância interna da válvula, é justamente manter o centro do filamento desta válvula em potencial de terra.

Num amplificador de alta-fidelidade, onde o sistema de reforço de graves não é muito eficiente, as baixas-freqüências serão menos amplificadas; neste caso, o problema do ronco não será tão grave. Durante as pesquisas no laboratório, foi constatado que é possível diminuir ainda mais o ronco, quando é ligado um potenciômetro de 100 ohms nos dois fios de filamento, cujo centro é ligado à terra. Pelo ajuste deste potenciômetro é possível encontrar um ponto de ronco mínimo. Neste caso, naturalmente, a tomada central do filamento permanece sem ligação. O potenciômetro deve ser ligado o mais próximo possível da válvula amplificadora, pois assim consegue-se o melhor efeito.

Outra medida também necessária, para impedirmos uma tensão de ronco de 60 Hz ser irradiada da fiação de filamento, é torcer os dois fios de filamento entre si. Assim, o campo magnético criado pelo fluxo da corrente elétrica, através de um dos condutores, estará em polaridade contrária com o campo magnético criado ao redor do outro condutor, resultando em cancelamento dos dois campos magnéticos.

Como já dissemos antes, o transformador de força usado neste amplificador possui capacidade para uma corrente retificada máxima de 180 mA no enrolamento de alta tensão. A corrente total consumida do estágio de alimentação é de 175 mA, resultando uma sobra de 5 mA, que é a margem de segurança para proteger o transformador de força contra aquecimento exagerado.

O secundário de alta tensão do transformador de força supre energia para a válvula retificadora, que é a 5U4. A válvula 5U4 é uma válvula retificadora de onda completa, usada em fontes de energia de equipamentos que requerem altas correntes. A tensão máxima de pico inverso de placa é de 1550 volts e, neste amplificador, supondo não existir corrente de carga através de +B, a tensão máxima pico inversa aplicada à retificadora seria igual à tensão pico total do secundário do transformador de força. Desde que a tensão secundária do transformador de força é de 300 + 300 volts



c.a., podemos dizer que a tensão efetiva total do secundário do transformador de força é 600 volts, sendo então a tensão pico de  $600 \times 1,41 = 850$  volts.

A tensão máxima de pico inversa de placa, da válvula retificadora usada neste equipamento, é praticamente o dobro da tensão inversa pico aplicada à ela. Portanto, não há inconveniente algum em usar-se a válvula 5U4-G neste circuito.

Como já dissemos, a corrente total do +B drenada do circuito de alimentação é de 175 mA, e, desde que a válvula retificadora pode fornecer uma corrente total de 240 mA, concluímos que a válvula retificadora trabalha com ampla margem de segurança.

O filtro da fonte de alimentação é do tipo LC, com condensador de entrada de filtro. Entre o cátodo da válvula retificadora e o condensador de entrada existe uma resistência de 50 ohms, 5 watts. Essa resistência é uma resistência limitadora. Quando o amplificador é ligado, o condensador de entrada do filtro, que possui um valor muito grande, vai tender a carregar-se, drenando da válvula retificadora uma corrente momentânea de intensidade muito alta.

Essa corrente excessiva, fluindo através da válvula retificadora, no momento em que o aparelho é ligado, poderá danificar esta válvula. Adicionando em série com o condensador de entrada a resistência limitadora, haverá um aumento na constante de tempo de carga do condensador, portanto, reduzindo a corrente de carga momentânea através da válvula retificadora.

O filtro possui dois condensadores eletrolíticos de 50 mfd e um choque de filtro de 8 H para uma corrente máxima de 180 mA, filtrando assim a frequência residual de 120 Hz, até um ponto em que a percentagem de ronco no ponto B<sub>s</sub> é de 0,093%. Na figura 3, temos o circuito de uma fonte de alimentação de um amplificador de alta-fidelidade estereofônico americano. Essa fonte de energia pertence ao amplificador recentemente desenvolvido pela LAFAYETTE RADIO, nos Estados Unidos. O retificador usado nesse estágio de alimentação é um diodo de silício, ligado através do secundário total do transformador de força e em série com o circuito de filtro.

Essa fonte de alimentação usa retificação de meia onda, cuja frequência residual é filtrada por um filtro LC do tipo PI, com condensador de entrada. A percentagem de frequência residual, no ponto +B é de 0,0305%. Comparando essa percentagem de frequência residual, com a percentagem da mesma frequência deste nosso amplificador de estéreo, con-

cluimos que o último possui filtragem muito melhor do que o primeiro.

Analisando o circuito esquemático do nosso amplificador estereofônico, notamos que de B<sub>1</sub> é retirada a tensão para alimentação da placa do estágio "preamplificador".

A percentagem de ronco (frequência residual) presente na placa do preamplificador deve ser muito baixa, porque do contrário introduzirá ronco de 120 Hz no estágio preamplificador e, como o circuito de controle de graves é muito eficiente, no alto-falante será reproduzido um sinal de ronco bastante alto.

Para aumentar a filtragem da tensão de placa do preamplificador, existem 4 seções adicionais de filtragem do tipo RC, que atuam com dupla função. Além de filtro, formam também um circuito desacoplador de placa, para todos os estágios amplificadores, impedindo, assim, acoplamento entre os estágios através da linha +B, o que resultaria em oscilações.

Esse filtro desacoplador reduz a percentagem de frequência residual, presente na placa da preamplificadora, para  $1,12 \times 10^{-11}\%$ . Analisando novamente o circuito de alimentação apresentado na figura 3, notamos que, depois da segunda seção de filtragem LC (ponta +B), existem mais dois estágios de filtragem do tipo RC, sendo então a tensão aplicada ao preamplificador. A percentagem de ronco aplicada a esse amplificador é de  $2,9 \times 10^{-7}\%$ . Este valor é suficientemente pequeno para impedir introdução de ronco, devido à tensão positiva não filtrada, aplicada à placa do estágio preamplificador. Comparando a percentagem de ronco, na placa da preamplificadora do aparelho existente na figura 3, com a percentagem de ronco existente na placa da preamplificadora do amplificador estéreo "Comando", vemos que no segundo essa percentagem de ronco é bem menor do que no primeiro, de onde podemos concluir que o amplificador HI-FI estereofônico "Comando" é praticamente livre de ronco introduzido através da linha +B.

#### O ESTAGIO DE POTÊNCIA DE SAÍDA

Voltando à figura 1, podemos ver que cada canal possui um estágio de potência de saída do tipo push-pull. Em cada canal existem 2 válvulas de saída, operando em classe AB1.

O transformador de saída usado é o estéreo EASA. Este transformador é ultralinear, desenhado para uma potência de saída máxima de 15 watts.

Observando o enrolamento primário deste transformador, notamos 5 tomadas no mesmo. A tomada superior do enrolamento primário é ligada à placa da válvula superior 6V6, enquanto que a tomada inferior é ligada à placa da válvula 6V6 inferior. A tomada central do primário é ligada ao +B. Entre esta última e os extremos do enrolamento primário existem duas tomadas, uma de cada lado, ligadas às grades auxiliares das válvulas de saída.

O propósito de ligar as grades auxiliares a uma tomada no primário do transformador de saída, é o de introduzir alguma quantidade de realimentação negativa, diminuindo, conseqüentemente, a distorção harmônica introduzida no estágio de potência de saída. Uma das vantagens de um estágio push-pull é a de que qualquer distorção de uma segunda harmônica introduzida neste estágio será cancelada devido à ação do circuito push-pull. Igualmente, qualquer ronco presente no +B será cancelado no primário do transformador de saída. A resistência de cátodo do estágio de saída é de 250 ohms, 5 watts.

bre a 12AX7, é que a válvula 12AU7 pode fornecer maior potência do que a segunda, sendo assim assegurada tensão de excitação suficiente ao estágio de saída.

É muito importante que os valores da resistência de cátodo e placa sejam iguais, pois assim as tensões de excitação de grade do estágio de saída podem ser exatamente do mesmo valor. As resistências de grade do estágio de saída são de 500.000 ohms e também devem ser idênticas, a fim de não destruir o equilíbrio do estágio push-pull, o que causaria introdução de distorção harmônica neste estágio.

## SEGUNDO AMPLIFICADOR DE TENSÃO

O segundo amplificador de audiodifusão é a primeira metade da válvula 12AU7. A função desse estágio é proporcionar amplificação suficiente antes do sinal atingir o estágio inversor de fase. A 12AU7 tem um fator de amplificação mais baixo que a válvula 12AX7, porém, proporciona maior dissipação de placa. A resistência de cátodo usada neste estágio

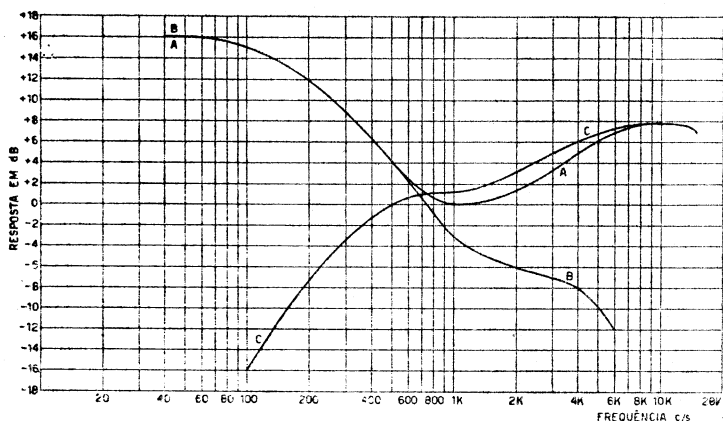


Fig. 4 — Curva de resposta do amplificador. Curva A: controle de graves e agudos no máximo; Curva B: controle de graves no máximo e agudos no mínimo; Curva C: controle de graves no mínimo e agudos no máximo.

## ESTAGIO INVERSOR DE FASE

O propósito do inversor de fase é excitar as grades das válvulas em push-pull, com um sinal defasado em 180 graus. No circuito de uma válvula amplificadora, o sinal de cátodo está em fase com o sinal de grade e o sinal de placa está 180 graus fora de fase. O sinal desenvolvido no cátodo do inversor de fase é aplicado à grade de controle de uma das válvulas de saída e o sinal desenvolvido através da resistência de carga da placa é acoplado à grade de controle da outra válvula de saída. A válvula usada neste estágio é o duplo-tríodo 12AU7. Esta válvula possui fator de amplificação (MU) médio e foi projetada para ser usada em estágios amplificadores de tensão, inversor de fase e em alguns outros circuitos. A vantagem da 12AU7, usada no estágio inversor de fase, sô-

possui o valor de 15.000 ohms. Ela produz a tensão polarizante própria para operar esta válvula em classe A. Essa resistência de cátodo possui um condensador de filtro de 25 mfd. Este desvia para terra todo sinal alternado desenvolvido através da resistência, reduzindo a degeneração nesse estágio ao mínimo e aumentando, conseqüentemente, o ganho desse estágio.

A resistência de carga de placa usada neste estágio é de 500.000 ohms. Essa resistência de carga atua com função dupla, pois serve como resistência de carga deste tríodo e também atua como resistência de grade da válvula inversora de fase. O valor tão alto desta resistência foi escolhido para conseguir o máximo de amplificação do estágio. A amplificação deste estágio medida com oscilógrafo, mediante um sinal de entrada de 1.000 Hz, de amplitu-

de constante, foi 12. Matematicamente, a amplificação deste estágio vem a ser de 16,8. Portanto, a amplificação real é mais que 70% da amplificação teórica, sendo este o valor máximo possível de alcançar na prática com tensões de alimentação normais.

O acoplamento entre o segundo amplificador de tensão e o inversor de fase é feito pela entreligação da placa do primeiro estágio com a grade do segundo. A principal vantagem de usar-se este acoplamento é de evitar perdas no acoplamento das frequências baixas. À primeira vista pode parecer que a grade do triodo inversor possui polarização positiva; mas uma análise rápida das tensões revela que na realidade a grade recebe uma polarização negativa correta. No estágio inversor de fase, a resistência de cátodo é de 150.000 ohms e, portanto, a tensão de cátodo será de aproximadamente 94 volts, enquanto que a tensão de placa do primeiro triodo é de somente 85 volts (devido, principalmente, à alta resistência de carga). Como a placa está entreligada diretamente com a grade inversora, esta também possui tensão negativa de aproximadamente 10 volts, em relação ao cátodo correspondente.

#### ESTÁGIO REFORÇADOR DE GRAVES E AGUDOS

O sinal da placa da 1.ª amplificadora de áudio-frequência é acoplado ao circuito reforçador de graves e agudos, através de um condensador de .05 mfd. O reforçador divide-se em 2 seções, sendo uma seção um filtro passa-baixos e a outra um filtro passa-altos.

O filtro passa-baixos é formado por uma resistência de 100.000 ohms, em série com um potenciômetro de 1 Megohm e uma resistência de 10.000 ohms. A seção de altas-frequências é composta por um condensador de 50 pf, em série com um potenciômetro de 500.000 ohms e um condensador de .0015 mfd.

Para analisar o funcionamento dos controles, vejamos o que acontece se aplicarmos frequências altas ou baixas ao circuito.

Consideramos que seja aplicada uma frequência de 100 Hz a este estágio. Neste caso a reatância capacitiva do condensador de 50 pf será de 32 Megohms. A impedância do circuito reforçador de agudos será a 100 Hz, igual à reatância do condensador de 50 pf, mais a resistência do potenciômetro (500 K ohms) e mais a reatância do condensador de .0015 mfd.

A reatância do condensador de .0015 mfd é relativamente baixa (1 Megohm); portanto, a reatância capacitiva do condensador de 50 pf é alta em relação a todos os demais componentes do circuito de controle e, conseqüentemente, todas as baixas-frequências serão acopladas através da resistência de 100.000 ohms ao potenciômetro de 1 Megohm, no qual aparecerá praticamente toda a tensão do sinal.

Quando altas áudio-frequências são acopladas através do 1.º amplificador de áudio ao estágio controlador de graves e agudos, o caminho do sinal será completamente diferente.

Suponhamos que um sinal de 10 KHz é aplicado no circuito. Neste caso a reatância capacitiva do condensador de 50 pF será de 300.000 ohms e, portanto, as altas-frequências serão acopladas através do condensador à parte superior do potenciômetro de agudos, de 500.000 ohms. A 10.000 Hz a reatância do condensador de .0015 mfd é de somente 10.000 ohms, apresentando virtualmente um curto-circuito às frequências elevadas. A esta altura, poderá surgir a seguinte pergunta: "Para que serve, então, o condensador de .0015 mfd?" A resposta é que este condensador limita o aumento dos agudos e possui influência sobre os sons médios. Se este condensador tivesse um valor mais baixo, a sua reatância de alta-frequências seria maior; e desde que está em série com o potenciômetro controlador de agudos, resultaria um esforço exagerado dos sons agudos.

Se o condensador entre o controle de agudos e terra for muito grande, a sua reatância em frequências médias será baixa, diminuindo consideravelmente a impedância do filtro reforçador de agudos, causando um corte muito acentuado nas frequências médias. O valor de .0015 mfd foi escolhido, porque evita uma queda das frequências médias e limita o máximo reforço em 10.000 Hz para +5 db em relação ao nível em 1.000 Hz.

O circuito reforçador dos graves é constituído pela ligação em série de uma resistência de 100.000 ohms, um potenciômetro de 1 Megohm e outra resistência de 10.000 ohms. Entre o cursor do potenciômetro e os extremos do mesmo estão ligados condensadores que tornam este divisor de tensão dependente da frequência. Estando o cursor do potenciômetro encostado junto ao terminal superior, então o condensador de .002 mfd está ligado em curto-circuito e, portanto, não terá influência alguma sobre a tonalidade. Neste caso, porém, o outro condensador (.02 mfd) está ligado entre a saída do circuito e a terra (através da resistência de baixo valor de 10.000 ohms). Este condensador, portanto, derivará à terra todas as fre-

quências, menos as bastante baixas, as quais são, então, reproduzidas com bastante destaque.

Quando o cursor estiver na sua outra posição extrema, o condensador de .02 mfd está em curto-circuito e o condensador de .002 mfd limitará a transferência de baixas-freqüências.

Os valores dos componentes desta parte do circuito são escolhidos de tal maneira que o controle de graves tenha a mínima influência sobre as freqüências médias e altas. Se, por exemplo, o valor da resistência de 100.000 ohms for aumentado, a amplitude das freqüências baixas seriam diminuídas, resultando em pobre reforço de graves. Se, por outro lado, o valor da resistência for reduzido, as altas-freqüências seriam acopladas ao controle de graves, e então este não só controlaria o reforço das baixas-freqüências, mas igualmente das altas-freqüências.

Entre os centros dos 2 potenciômetros (controle de graves e agudos) existe uma resistência de 100.000 ohms. A função desta é evitar entreação dos dois controles.

Examinando as curvas de resposta de freqüência do amplificador completo, é possível ter uma idéia exata da ação do reforçador de graves e agudos. Naturalmente, não devemos esquecer que estas curvas de resposta são as curvas totais do amplificador, isto é, incluindo a influência do equalizador do estágio preamplificador e também a resposta de todos os demais estágios.

A freqüência de referência escolhida é 1.000 Hz, que é considerada como sendo 0 db.

As curvas de resposta resultantes estão indicadas na figura 4. Estas curvas demonstram o amplo alcance do controle dos graves, sendo, porém, a alteração em redor dos 1.000 Hz e, com isto, a alteração do volume, insignificante. O máximo aumento dos agudos foi propositalmente limitado a aproximadamente +5 db; mesmo assim, na prática, nunca será usado este alcance máximo.

Quando o controle de graves está em sua posição máxima e o controle de agudos na posição mínima, a curva de resposta total está ajustada para a reprodução correta de discos gravados conforme a curva RIAA, com alguma reserva em ambos os extremos da curva.

Não é usada uma chave seletora para as diversas curvas de gravação, pois as diferenças entre a curva RIAA e as demais modernas (AES e NAB) são de alguns db somente e os controles de tonalidade permitem um ajuste perfeito para a reprodução destes discos.

## PRIMEIRO AMPLIFICADOR DE TENSÃO

O circuito do controle de tonalidade é precedido pelo primeiro amplificador de audiodifusão, o qual é responsável principal pela sensibilidade do amplificador.

No circuito de grade desta válvula são ligados os pick-ups de cristal, ou um sintonizador de rádio (tanto AM como FM). Tanto o sinal de uma, como de outra fonte, é relativamente alto; para evitar a sobreexcitação deste estágio, foi incluído o controle de volume junto à entrada da válvula.

Mesmo com sinais de entrada relativamente elevados, é necessário cuidar da introdução mínima de ronco neste estágio. Como a impedância do circuito de grade é alta, deve ser cuidada uma disposição apropriada das peças, bem como fazer-se uma cuidadosa blindagem.

O ganho do estágio poderia ser ampliado com o aumento do valor da resistência de placa, pois com o valor de 100.000 ohms, conforme consta no circuito, uma válvula 12AX7 não fornece o máximo de ganho. O aumento da resistência, porém, não é aconselhável, pois neste caso o ajuste dos controles de tonalidade não será mais independente do volume.

## CIRCUITO PREAMPLIFICADOR

O circuito preamplificador é usado somente quando forem ligadas cápsulas de relutância variável ao amplificador. Para a preamplificação é usada a primeira metade da válvula 12AX7, que serve muito bem para este fim, devido ao alto fator de amplificação que possui. Para a placa deste triodo foi escolhida uma resistência de 200.000 ohms, a fim de se conseguir boa amplificação, diminuindo, conseqüentemente, o perigo de introdução de ronco e microfonia.

No circuito do amplificador existem duas chaves que permitem a adaptação do amplificador para todas as modalidades de serviço. A chave SB (uma chave 4 x 3) está colocada no painel frontal e permite escolher entre a reprodução de rádio, a de um toca-discos com cápsula de cristal ou então outro com cápsula de relutância variável. Na posição "Rádio" o amplificador automaticamente está adaptado para reprodução monaural, isto é, as entradas de ambos os canais estão ligadas juntas à entrada marcada "rádio". Nas duas outras posições da chave "SB" ("X-tal" e "REL") a chave SA, por sua vez, permite a escolha entre reprodução monaural (comum) e estereofônica.

Esta última chave possui 4 pólos, 2 posições; na posição 1 o amplificador está adaptado para a reprodução estereofônica, enquanto que na posição 2 a reprodução se dá pela forma comum (monaural). Esta chave possui seu botão de comando na parte traseira do chassi, pois só precisa ser ajustada por ocasião da instalação do conjunto. Se existirem dois toca-discos em uso (por exemplo, um automático com cápsula de cristal para discos comuns e outro não automático com cápsula de relutância variável), então ambos os toca-discos podem permanecer ligados ao amplificador, sendo a escolha feita pela chave SA.

Como demonstra um exame final do circuito, o amplificador não usa realimentação negativa no secundário do transformador de saída. Este procedimento pode parecer estranho, em se tratando de um amplificador de alta-

-fidelidade; as experiências demonstram que, no presente caso, a realimentação negativa não apresenta uma melhoria tão considerável na qualidade do som, que justificasse sua inclusão.

Com o circuito de saída ultralinear já existe uma realimentação negativa nas válvulas de saída, baixando a distorção e resistência interna dêste a valores bastante baixos; o transformador de saída trabalha com densidade de fluxo tão baixa, que também introduz pouquíssima distorção. Portanto, a adição de realimentação negativa no secundário não é necessária para conseguir baixa distorção; por outro lado a sua inclusão forçaria a aumentar consideravelmente o fator de amplificação do conjunto, o que aumentaria o custo e as dificuldades de construção.

---

## REPRODUÇÃO ESTEREOFÔNICA DO SOM

(Cont. da pág. 176)

soma dos dois sinais, enquanto que a potência requerida para a reprodução da diferença dos dois sinais pode ser muito menor. Foram, por exemplo, demonstrados sistemas reprodutores, nos quais a soma dos dois sinais foi reproduzida por um amplificador de 20 watts, enquanto que a irradiação da diferença foi feita com um amplificador de 2 watts, somente.

Um terceiro sistema proposto usa somente gravação lateral e é, também, completamente compatível. Neste sistema é proposto gravar a soma dos dois sinais, lateralmente, da forma costumeira. Com a diferença dos dois sinais, é modulada em frequência uma portadora de 25 KHz, sendo esta gravada, também lateralmente, sobreposta ao primeiro sinal.

A reprodução é feita por intermédio de uma cápsula comum, que deve, porém, ter boa resposta até 30 KHz. Como no sistema CBS, o sinal de saída correspondente à soma dos sinais é reproduzido pelos dois alto-falantes. A diferença dos dois sinais é detectada por intermédio de um circuito discriminador e a tensão de controle, assim obtida, produz o efeito estereofônico.

A dificuldade com que luta êste sistema é a gravação da portadora de 25 KHz e sua reprodução com agulhas comuns, com 25  $\mu$  de raio de ponta.

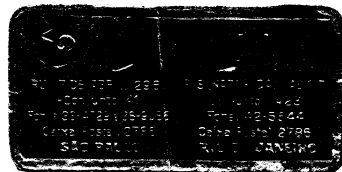
Dos sistemas descritos, parece que o da «Westrex» será o escolhido pela indústria em geral. Já existem discos com gravação estereofônica no mercado, embora em número limitado. As cápsulas especiais estão sendo também oferecidas em número sempre crescente, tanto dos tipos de cristal, como de relutância variável.

Mesmo assim, a divulgação do som estereofônico não se dará tão rapidamente como a do disco LP. Em primeiro lugar, porque a conversão requer um segundo amplificador e alto-falante, o que já não é barato. Em segundo lugar, os toca-discos automáticos atuais dificilmente poderão ser usados com as novas cápsulas, pois, devido à reduzida pressão da agulha, o mecanismo não funciona mais com segurança. Além disso, as novas cápsulas estereofônicas, devido à sua maior compliância vertical, são bem mais sensíveis às vibrações do prato, obrigando o uso de pratos de tipo profissional.

# ÍNDICE

1.º Capítulo — INTRODUÇÃO A ALTA-FIDELIDADE	
O que é Alta-Fidelidade .....	7
As Curvas de Gravação .....	11
Inversores de Fase .....	14
Eliminação do Ronco .....	18
A Realimentação Negativa .....	21
Amplificador Ultralinear .....	25
Oscilações Parasíticas .....	29
Diamante: o Melhor amigo do Disco Fonográfico .....	33
Cápsulas fonográficas .....	35
Motores para Fonógrafos .....	37
2.º Capítulo — CONTRÔLES E PREAMPLIFICADORES	
Contrôle de Intensidade Sonora .....	43
Preamplificador para Cápsulas de Relutância Variável .....	48
Preamplificador .....	51
Preamplificador Transistorizado .....	56
Contrôles de Tonalidade .....	58
Circuito Amplificador para Contrôle de Tonalidade .....	62
3.º Capítulo — SAÍDA	
Filtros Divisores de Freqüência (1.ª parte) .....	67
Filtros Divisores de Freqüência (2.ª parte) .....	71
Os Transformadores de Saída .....	74
Cálculo de Transformadores de Saída .....	78
O Fator de Amortecimento Variável .....	83
Amortecimento Variável .....	86
Circuito de Saída em Ponte .....	89
Os Filtros Divisores de Freqüência .....	93
4.º Capítulo — ALTO-FALANTES	
Os Alto-falantes .....	99
Pontos Críticos de um Alto-falante, sujeitos à Deterioração .....	102
A Melhora da Qualidade Sonora em Instalações Caseiras .....	106
Um Móvel Acústico .....	109
"Bass-Reflex" .....	113
Algumas Considerações sobre a Construção de Móveis Acústicos .....	116
5.º Capítulo — CIRCUITOS PARA O MONTADOR	
Amplificador 10 Watts .....	122
Um Amplificador Econômico .....	126
Amplificador com Estágio Ultralinear .....	130
Amplificador de Alta-Fidelidade 10 Watts .....	133
6.º Capítulo — MEDIÇÕES E TESTE	
Os Osciladores de Audiofreqüência .....	147
Geradores de Audio .....	153
Medições em Amplificadores de Audio .....	156
As medições em Decibéis .....	160
7.º Capítulo — SOM ESTEREOFÔNICO	
Reprodução Estereofônica do Som .....	170
Reprodução Estereofônica .....	177
Amplificador para Estereofonia .....	180
Amplificador Estéreo HI-FI .....	183

Este livro foi editado pela  
Seção Editôra do  
**Instituto Rádio Técnico Monitor S/A.**  
sob a direção de  
**Nicolás Goldberger**  
Redator responsável:  
**Prof. Henrique Goldberger**  
Redator técnico:  
**Octavio Augusto de Toledo Assumpção**



---

Todos os direitos de reprodução total ou parcial, reservados pelo autor

---