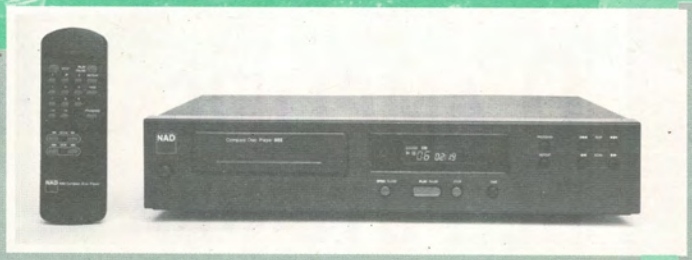
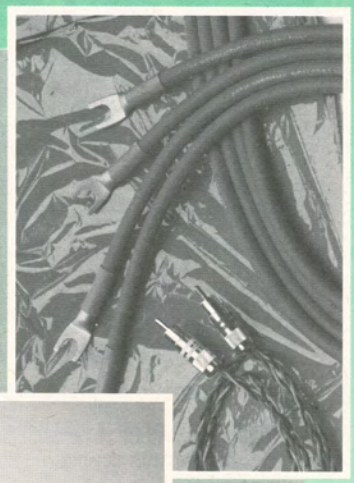




Cadernos de Alta Fidelidade (III)

De Setembro a Dezembro deste ano a AUDIO vai publicar um conjunto de separatas que se destinam a todos os que querem saber um pouco mais sobre alta fidelidade. Vale a pena coleccionar mesmo que pense que já sabe tudo.

O SISTEMA DE ALTA FIDELIDADE

Jorge Gonçalves

O AMPLIFICADOR DE POTÊNCIA

No final do artigo do mês passado expliquei que ao amplificador de potência cabe o papel de «pegar» no sinal vindo do prévio e conferir-lhe energia suficiente para poder atacar as colunas, os elementos mais ineficientes de um sistema de áudio, como veremos mais adiante.

Para fazer isso, ou seja, para fornecer potência, o amplificador tem de ser capaz de simultaneamente apresentar na saída uma tensão de amplitude elevada (algumas dezenas de volts) e uma corrente razoável (alguns amperes). Isto quer dizer que terá de haver partes do circuito do amplificador responsáveis pela amplificação de tensão e outras que se encarregam da corrente (fig. 1). À primeira parte chama-se amplificador de tensão (incluindo nesta designação os chamados *drivers* ou excitadores) e aos dispositivos finais, amplificadores de corrente, andar de saída.

Este esquema básico diz respeito a um amplificador do tipo de acoplamento directo, ou seja, que não utiliza nenhum dispositivo isolador (transformador ou condensador) entre os dispositivos activos de saída e o altifalante. Um conjunto diversificado de razões que (o Augusto Silva que me desculpe mas não quero entrar em nenhuma dissertação tipo teste de doutoramento sobre amplificadores de potência) que não valerá a pena discriminar, fizeram com que os primeiros amplificadores não fossem do tipo de acoplamento directo, até porque os dispositivos amplificadores utilizados nessa altura eram as válvulas, as quais necessitam de valores bastante elevados de tensão de alimentação, valores esses que não são compatíveis com uma ligação directa às colunas, quanto mais não seja até por razões de segurança (estou só a pensar se, nessa situação, alguém teria coragem de fazer experiências tipo bicablagem com os amplificadores ligados! Desconfio que nem o audiota mais ferrenho).

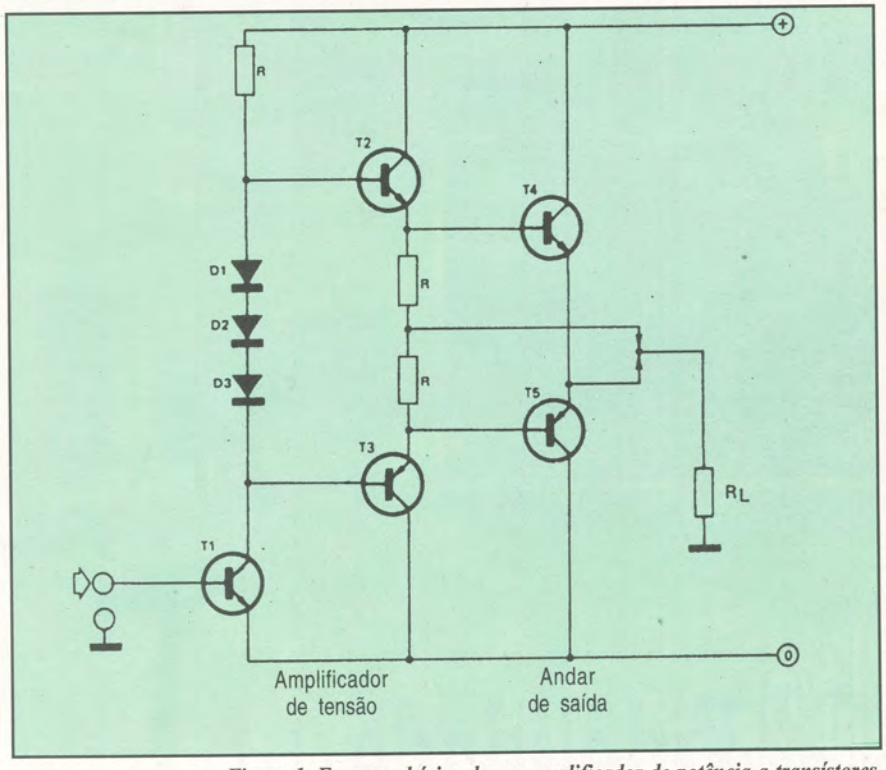
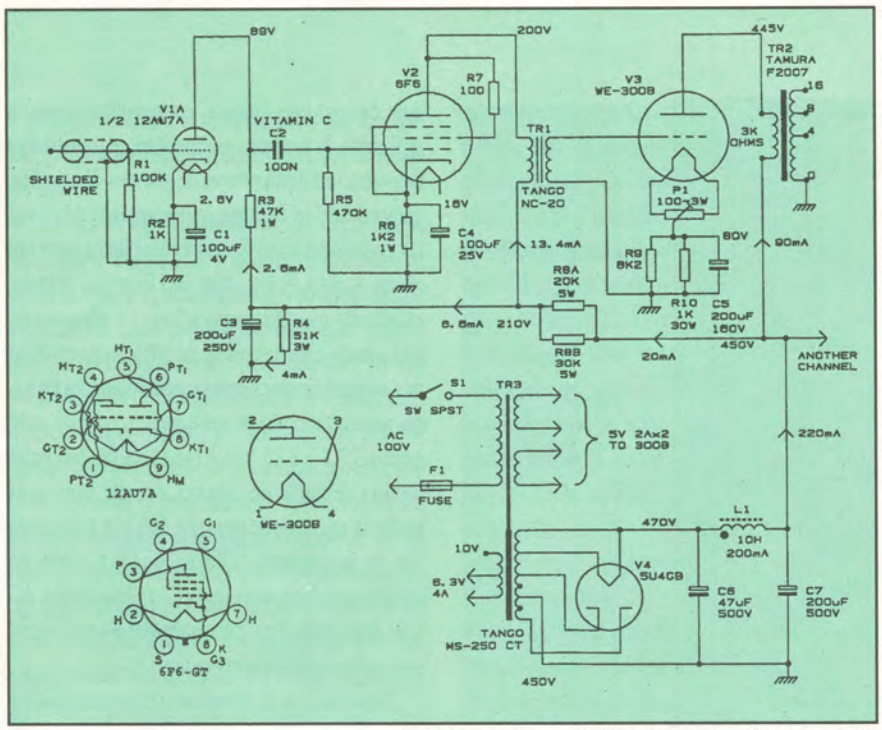


Figura 1. Esquema básico de um amplificador de potência a transístores.

Então, no início eram as válvulas, esses maravilhosos tubos de vidro que nos dão sons tão maviosos. Mais ainda, nesses tempos nem sequer se utilizava o *push-pull*, ou seja, duas válvulas amplificadoras em tandem para se obterem valores mais ou menos elevados de potência. Não senhor! Quem era rei e senhor nos tempos primevos era a ligação simples, ou *single-ended*, agora tão na moda, só com uma válvula na saída. Aí o tal famoso andar de saída era formado por apenas uma válvula de grande potência (a 300 B, a 211 e a 845 são exemplos bem típicos de válvulas desse calibre) ligada, por meio de um transformador de saída à coluna (na maior parte dos casos os sistemas eram mono, o estéreo só apareceu lá para o meio dos anos cinquenta). A utilização do transformador era essencial não só pela evidente necessidade de isolamento eléctrico da alta tensão das válvulas em relação à(s) coluna(s) e ao utilizador como pelo facto de ele produzir uma transformação de impedâncias, ou seja, transforma a alta impedância existente no lado da válvula (altas



Esquema de um amplificador com as famosas 300B.

Alguns dos renomados transformadores Millerioux.

tensões/correntes relativamente baixas) numa impedância mais adequada à das colunas (normalmente 4, 8 ou 16 ohms), as quais necessitam de tensões razoavelmente baixas e correntes elevadas. Da qualidade deste transformador dependia em grande parte o nível de desempenho do amplificador e foi por isso que durante muitos anos floresceu uma indústria de fabricantes de transformadores, alguns dos quais com um renome tal que chegaram aos nossos dias, tais como a Peerless, UTC, Millerioux, Acrosound, Triad, Partridge, etc.

Muitos desses amplificadores de antanho estão novamente vivos entre nós na forma de projectos novos lançados por diversos fabricantes, mais ou menos renomados, de equipamentos a válvulas. Têm algumas vantagens, tais como o facto de, ao utilizarem um único dispositivo de amplificação, polarizado em Classe A (já vamos ver o que é isso), este estar sempre a conduzir, o que implica que não existe a chamada distorção de cruzamento, a qual é inevitável sempre que se utiliza mais que um dispositivo amplificador na saída (em cada momento há sempre um que conduz e outro que não conduz e a distorção de cruzamento é a distorção que ocorre no momento exacto da passagem do testemunho, ou seja, quando um deixa de conduzir e passa a ser o outro a comandar o processo), mas essas vantagens são de certo modo contrabalançadas pelo seu fraco rendimento, isto é, a relação entre potência absorvida e potência fornecida é relativamente baixa e não é possível também obter grandes potências de saída (mesmo com grandes válvulas não se pode ir acima dos 30/35 W).

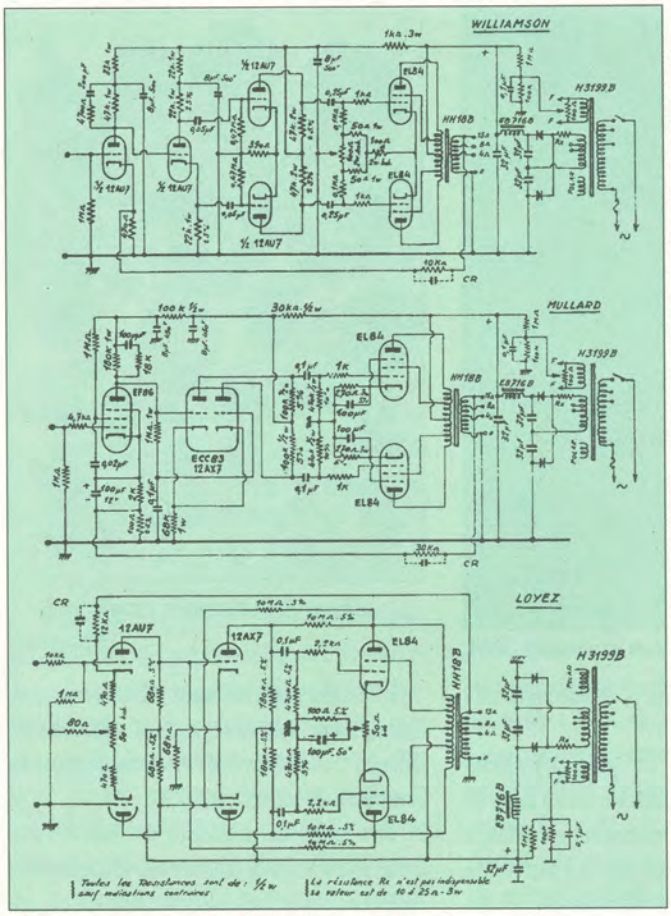
Os andares de saída em *push-pull* vieram resolver o problema da potência mas à custa de valores de distorção relativamente elevados, o que não os tornou muito populares a não ser em instalações de PA (quem diria que muitas das topologias hoje tão veneradas tiveram origens tão humildes!). Só nos finais dos anos quarenta esta topologia ganhou grande realce com o chamado «amplificador Williamson», circuito ainda hoje muito badalado e que foi publicado originalmente por DTN Williamson na *Wireless World*. Este circuito veio colocar sobre uma nova perspectiva o grande debate entre os defensores dos tríodos (baixa distorção, som agradável mas baixo rendimento) e o *push-pull* a pêntodos (de maior rendimento mas com valores de distorção bem mais elevados). Com efeito, foi Williamson que desenvolveu o conceito de funcionamento ultralinear, ou seja: à custa de um artifício no transformador de saída, passámos a ter pêntodos a funcionar quase como tríodos, ou seja, um meio termo entre as duas correntes opostas, com as vantagens de ambas. Para termos este tipo de funcionamento torna-se necessário utilizar um transformador especial, bastante complexo, razão por que, durante algum tempo, esta topologia não foi olhada com muita simpatia pela maior parte dos fabricantes, que só viam nela os inconvenientes do lado económico. Mas resistiu bravamente até aos nossos dias e é possível vermos por aí muitos amplificadores de grande renome (Jadis, Audio Research, VTL) com andares de saída ultralinear e com desempenhos soberbos graças à utilização de todos os recursos das mais modernas técnicas de construção de transformadores.

Mas, antes de prosseguir um pouco mais, talvez seja a altura de falar em classes de amplificação, começando pela antes tão badalada e agora finalmente reduzida à sua real importância, Classe A.

Classe A, a amplificação de «primeira classe»

A classificação «classe A» tem uma conotação que depende bastante do objecto, tecnologia, processo, etc., que é abrangido por essa classificação mas, de um modo geral, pode associar-se essa designação a um sinónimo de qualidade, melhor ainda, de primeira qualidade. Mas em electrónica a indicação classe A identifica um processo de amplificação, o que não é mais do que atribuir uma letra a um modo determinado de polarizar os dispositivos activos de um amplificador ou, num sentido mais restrito, os do andar de saída.

Pelas mais diversas e variadas razões muitos fabricantes propagandeavam há alguns anos (agora apareceram outras modas) a classe A como um processo de amplificação de características superiores, ou seja, quem possuísse um amplificador de classe A estava, perante os seus amigos e conhecidos e mesmo perante si próprio (o narcisismo não é um defeito assim tão grave, pois então!), na mesma situação que o passageiro de



Algumas versões do circuito Williamson original

um comboio ou avião que viaja em condições mais confortáveis que os outros passageiros e não pode, por isso mesmo, deixar de sentir uma certa sensação de superioridade, olhando o pessoal das classes abaixo um pouco por cima do ombro. Dos pontos de vista técnico e sónico, embora não de um modo absoluto, é também possível adiantar que o funcionamento em classe A garante um bom comportamento de um amplificador. Pode assim afirmar-se (salvaguardando as devidas distâncias) que esta é a primeira classe de um ponto de vista de qualidade sonora e esta afirmação é complementada pela confirmação cronológica de que a classe A foi a primeira a ser utilizada em amplificação de sinais de áudio. Então (isto é que é qualidade de vida!) ter um amplificador em classe A é estar duplamente na primeira classe. Compreendem-se assim perfeitamente as grandes parangonas com que tantos fabricantes defendiam que os seus amplificadores eram de classe A (e em alguns isso até era verdade, mas só muito poucos o eram do ponto de vista sónico). Poucos, porém, o são realmente se analisarmos o seu funcionamento de um ponto de vista técnico.

Para compreender melhor porquê vamos analisar um exemplo concreto, isto é, um amplificador estereofónico a transístores com uma potência especificada de 50+50 W sobre 8Ω. Para que seja possível este valor de potência a tensão de alimentação tem de ser, pelo menos, igual a $50\times8\times\sqrt{2}=28$ V (em módulo). Como, porém, existem inevitáveis quedas de tensão, quer nos transístores de saída quer nas quase obrigatórias resistências de emis-sor, o valor das tensões de alimentação deverá ser de, aproximadamente, +32 e -32 V (tensões de alimentação simétrica. Uma potência de 50 W sobre 8 Ω implica uma corrente eficaz $I=\sqrt{P/R}=\sqrt{50/8}=\sqrt{6,25}=2,5$ A, o que quer dizer que a corrente máxima deverá ser de $2,5\sqrt{2}=3,5$ A. Como, para funcionar em classe A, o amplificador deve ter em repouso uma corrente igual a metade da corrente máxima, então, nessa situação, a corrente nos transístores de saída é de 3,5/2=1,75 A. Considerando o valor da tensão de alimentação atrás indicado, a potência de dissipação, por canal e sem nenhum sinal aplicado à entrada do amplificador, é de (32+32) V × 1,75 A =112 W. Tendo em conta este elevado valor de potência de dissipação (224 W para os dois canais) que implica, entre outras coisas, a utilização de um número razoável de transístores de potência e dissipadores de grandes dimensões, compreende-se facilmente que poucos fabricantes construam amplificadores que funcionem em classe A pura. E isto para não falar nas grandes exigências que são postas à fonte de alimentação (cujo custo constitui mais de 50% do preço final de um amplificador): continuando com este exemplo necessitaríamos de um transformador de, pelo menos, 27,5 + 27,5 V/9 A (se a rectificação fosse do tipo de ponte de Graetz), ou seja, com uma potência aparente de perto de 500 VA e isto para 100 W de potência total na saída. E ainda há críticos que defendem que os amplificadores devem ficar ligados em permanência! Só se tiverem uma central eléctrica privativa.

Mas então, se os fabricantes raramente usam a classe A pura, que classe é utilizada na saída do amplificador e, mais importante ainda, o que são classes de amplificação? Os amplificadores de potência para áudio utilizam na sua saída dispositivos activos, válvulas ou transístores, que necessitam de uma tensão de alimentação e de uma tensão (ou corrente) que, aplicada no eléctrodo de controlo (grelha da válvula ou base do transístor), determina a corrente que atravessa o dispositivo activo quando não existe sinal aplicado na entrada. A essa corrente na ausência de sinal chama-se corrente de repouso. É em função do valor dessa corrente de repouso que se classificam os andares de saída dos amplificadores: classe A se a corrente de repouso é igual a metade da corrente máxima; classe B pura se o andar de saída tem uma corrente nula (polarização no ponto zero) em repouso; classe AB se a corrente de repouso tem um valor relativamente reduzido mas suficiente para pôr o dispositivo de saída a conduzir. Existem ainda outras classes de amplificação (classes C, D, E, F

O meu Black Beauty é uma versão modificada de um circuito Williamson.

e G) mas o seu funcionamento não é linear e não são, portanto, directamente utilizáveis com sinais de áudio.

A classe AB subdivide-se em duas outras subclasses: classe AB1, quando a corrente de repouso ainda é relativamente reduzida mas é superior ao valor mínimo de condução (o que implica normalmente um valor entre 40 e 70 mA para a maioria dos amplificadores), e classe AB2, quando essa corrente é bastante superior aproximando o amplificador do funcionamento em classe A. A classe B pura não tem utilização prática em áudio como se pode ver pela figura 2. Aí, ao lado da configuração habitual (simplificada) de um andar de potência, vê-se o que acontece a um sinal de áudio quando é amplificado por um amplificador funcionando em classe B pura. É possível ultrapassar essa disiorção (fig. 3) se o amplificador for polarizado em classe AB1. O valor da corrente de polarização é controlado pelo circuito indicado por malha de polarização. Na classe A o amplificador encontra-se polarizado bastante mais para cima do ponto indicado, o que tem como vantagem óbvia o facto de o dispositivo de saída funcionar numa zona mais linear (rectilínea) da curva característica I_c em função de V_{be}; donde resultam menores valores de distorção. Outra vantagem é uma resposta mais rápida (quase imediata) a variações rápidas (picos) do sinal de entrada graças ao sobredimensionamento da fonte de alimentação que é inerente a este tipo de funcionamento. A grande desvantagem reside na enorme dissipação de calor mesmo em repouso (que é o caso pior) e nas elevadas exigências do ponto de vista da alimentação, com o resultante baixo rendimento: valor máximo teórico 50%, valor real entre 35% e 40% (menos ainda no caso de amplificadores a válvulas).

Por estas razões, que obviamente implicam custos muito elevados, a grande maioria dos amplificadores, mesmo aqueles que disso se arvoram com grandes parangonas, não funciona em classe A, mas sim numa das variantes possíveis da classe AB. é evidente que há ainda alguns, mas a grande maioria limita-se a funcionar em clase AB2 com um valor mais ou menos elevado da corrente de polarização, o que quer dizer que, como em classe AB2 um amplificador funciona em classe A até ao dobro do valor do pico da corrente de polarização, se muito pressionados os seus fabricantes podem sempre defender-se dizendo que o amplificador funciona em classe A até x W.

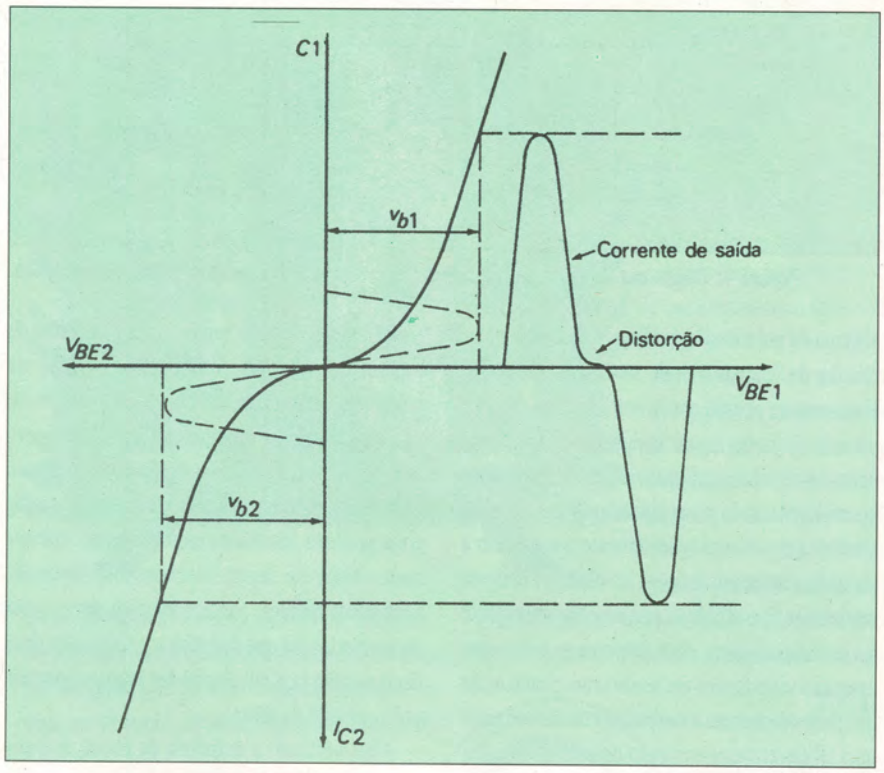


Figura 2

Mas esse é um argumento muito fraco, pois no fundo todos os amplificadores de classe AB2 funcionam em classe A até certo limite. Alguns outros fabricantes são mais explícitos e rigorosos e indicam nas características dos seus equipamentos o valor da potência até ao qual eles funcionam em classe A.

Querendo inventar o que já foi inventado, outros ainda aparecem com novos nomes tais como *sliding class A*, *optical class A*, etc. Estes processos mais não são do que variantes do já conhecido (desde os finais dos anos sessenta)

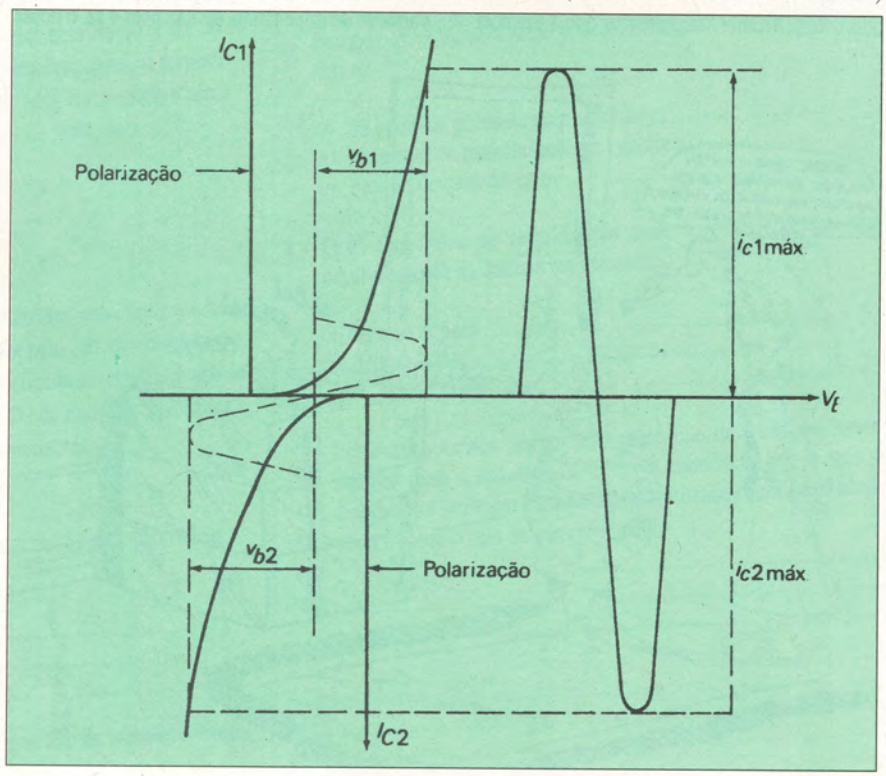


Figura 3

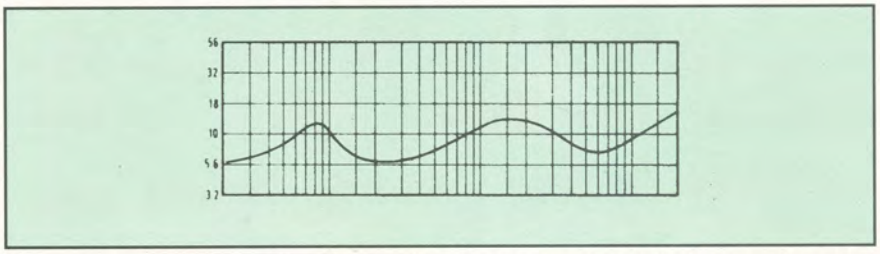
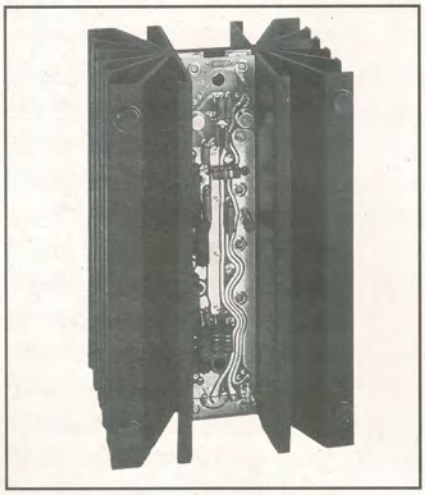


Figura 4: Diagrama da variação da impedância com a frequência de uma coluna típica.

sistema de polarização deslizante no qual a polarização dos transístores de saída, em vez de ser fixa, varia de acordo com a amplitude do sinal de entrada. Durante algum tempo o dispositivo de controlo de polarização utilizava um amplificador operacional rápido para responder às variações do sinal de entrada mas recentemente começaram a ser utilizados nessas funções acopladores ópticos; também do tipo rápido. E porque é tão importante a velocidade? Bom, ela é importante mas todas estas variantes fazem-me lembrar um pouco o cão que pretende morder a sua própria cauda correndo para tal em círculos em torno de uma árvore. Por mais que se esforce nunca a conseguirá agarrar e algo semelhante ocorre nos amplificadores de polarização deslizante que, mantendo valores de corrente em repouso típicos da classe AB, pretende transformar-se em amplificador de classe A logo que a amplitude do sinal o exige. É claro que se trata sempre de uma compensação *a posteriori*, pois o amplificador vai pretender que a sua polarização mude de valor em resposta a um sinal de entrada que já tinha sofrido uma variação de amplitude. Há sempre um inevitável atraso neste processo que torna difícil classificar o funcionamento como classe A pura. No entanto, segundo Dan D'Agostino, essa técnica de polarização pode produzir resultados extremamente interessantes desde que sejam utilizados dispositivos extemamente rápidos, conjugados com um circuito de temporização que mantém a polarização num dado escalão (a Krell chama-lhe *plateau*) por um certo período de tempo.

Mas, voltando à definição de classe A e aos cálculos apresentados no início deste artigo, eles baseavam-se em dois pressupostos: que o sinal de entrada era sinusoidal e que a impedância de carga se mantinha em 8 Ω. Ora, nem os sinais musicais são sinusoidais nem a impedância de uma coluna é um valor fixo ao longo da frequência, como se pode ver na figura 4. Com efeito, se houver uma variação de impedância de 8 Ω para 4 Ω, o ponto central de polarização para funcionamento em classe A passa a ser de 2,5 A, o que quer dizer que o mesmo amplificador especificado como sendo de 50 W em classe A sobre 8 Ω passa a ser, para 4 Ω, de classe A apenas até aproximadamente 25 W, funcionando daí para cima em classe AB2, isto se a fonte de alimentação puder fornecer a corrente necessária para um funcionamento integral sobre 4 Ω, caso em que a potência na carga pode ir até 100 W por canal.

Como facilmente se percebe, a designação de classe A tem um significado que se presta a um grande número de interpretações e só poderá ser possível esclarecer correctamente o comprador se o fabricante especificar, juntamente com a potência de saída em classe A, a impedância sobre a qual esse funcionamento é assegurado e mesmo assim restam algumas dúvidas, pois a carga do amplificador (a coluna) não se comporta de modo ideal e estraga tudo ao variar a sua impedância entre limites que, por exemplo, numa coluna especificada como tendo uma impedância nominal de 8 Ω, podem variar entre 20 Ω e 2 Ω.

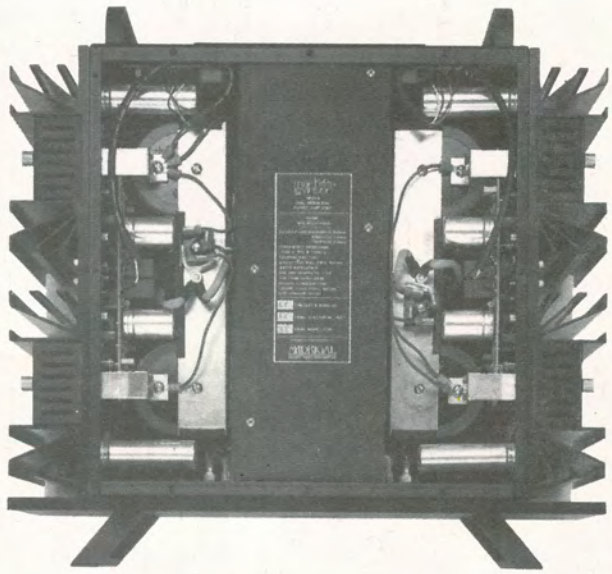


Os dissipadores são indispensáveis para libertar o calor seja ou não o amplificador de Classe A.

No fim de tudo, o que é realmente importante é que a fonte de alimentação esteja bem dimensionada, o que pode ser verificado pela análise dos valores de potência contínua (permanente e não de pico ou envolvente) que deve duplicar sempre que a carga se reduza a metade (pelo menos sobre cargas aceitáveis no mundo real). No caso do amplificador citado como exemplo teríamos: 50 W sobre 8 Ω (classe A pura); 100 W sobre 4 Ω (classe A até 25 W); 200 W sobre 2 Ω (classe A

até 12,5W) e ficamos por aqui, embora alguns fabricantes anunciem que os seus amplificadores duplicam a potência de saída até cargas tão baixas como 0,5 Ω (e nem são só os esotéricos americanos de *high end* a fazê-lo, a própria Denon, um nome bastante respeitado no mundo dos produtos de alta qualidade, lançou um par de monoblocos, os POA-S1, que fornecem algo como 1400 W sobre 1 Ω!)

O tema amplificadores não pode viver, portanto, de dicotomias tais como classe A/classe AB, válvulas/transístores, *single ended/push-pull*, ou outras que se queiram criar/inventar. Como em quase tudo na vida, não é a designação que confere uma garantia de qualidade de desempenho final mas sim o modo como cada topologia é implementada na prática, com escolha adequada de cada componente, definição das condições de funcionamente mais correctas, dimensionamento adequado da fonte de alimentação, etc., para tirar dele e da topologia utilizada o melhor rendimento possível quer em termos técnicos quer no aspecto sónico. Deixemo-nos assim de dogmas que só criam divisões e mesmo, em casos extremos, clientelismos entre os audiófilos, e tenhamos sempre em conta que no final o que conta é que um dado amplificador, quando ligado ao par de colunas certo, nos traga até nós a música com o maior grau de verosimílhança possível. Este é que é o objectivo final e, do nosso ponto de vista, não é importante qual é o meio utilizado para se atingir esse fim tal como para o ouvinte normal de música não lhe interessa qual a tecnologia exacta que foi empregue na fabricação de um dado instrumento musical mas sim se o som final e a interpretação do artista lhe transmitem toda a emoção da música.



Um exemplo de excelente construção interna de um amplificador de potência a transistores.

A JG

Oferta especial

A Corel, representante da AKG, entre outras prestigiadas marcas, em colaboração com a *Audio*, oferece aos nossos leitores a possibilidade de serem premiados com um par de excelentes auscultadores AKG 100, ou ainda discos audiófilos das etiquetas distribuídas pela *Audio*. Para tal, basta assinalar, nesta própria página ou numa fotocópia desta, as resposta correctas às perguntas apresentadas, escrever uma frase sobre o tema indicado e enviar, até ao dia 15 de Dezembro de 1994, para:

AUDIO
Estrada de A-da-Maia, 29, R/C Dto.
1500 LISBOA

Dos cupões com as respostas todas correctas escolheremos três, sendo a escolha feita pela frase considerada pelo júri da *Audio* como sendo a mais interessante. O primeiro classificado receberá um par de auscultadores AKG 100, o segundo dois CDs de etiquetas audiófilas e o terceiro um CD de uma das etiquetas mencionadas.

Questões

1 - Que dispositivo existia obrigatoriamente na saída dos primeiros amplificadores de potência?

a) Um transformador ..... ☐
b) Um condensador ..... ☐
c) Um transístor ..... ☐

2 - Um amplificador Williamson possui que tipo de válvulas na saída?

a) Tríodos ..... ☐
b) Pêntodos ..... ☐
c) Tétrodos ..... ☐

3 - Porque razão é a classe A tão pouco utilizada em amplificadores de áudio?

a) Só pode ser utilizada com válvulas ..... ☐
b) Necessita de transformadores especiais ..... ☐
c) Produz demasiado calor ..... ☐

4 - Qual é a classe de amplificação mais utilizada na saída dos amplificadores de áudio a transístores?

a) Classe A pura ..... ☐
b) Classe AB ..... ☐
c) Classe B pura ..... ☐

5 - Escreva no espaço abaixo uma frase que descreva em termos simples qual a sua opinião sobre a influência que o tipo de dispositivos (válvulas ou transístores) utilizados num amplificador exerce sobre o tipo de som produzido.

.....
.....
.....

Nome e morada _____
_____
_____

Contacto telefónico _____

Regulamento (Ver Audio 60. Prazo limite: 15 de Dezembro de 1994)

AUDIO