

COMO REPARAR AMPLIFICADORES DE ÁUDIO

Artigo de Mário Loureiro escrito a pedido da revista *AUDIO Professional* publicado em 2000

Versão corrigida em 30/8/2013 pelo autor

Este trabalho é pensado para que mais técnicos possam reparar amplificadores. Tentaremos abordar este assunto com pouca teoria e sem fórmulas matemáticas não esquecendo no essencial todas as partes constituintes dos amplificadores.

Se detectar algum erro neste trabalho ou pretenda fazer sugestões, não hesite em nos contactar www.lourottronica.pt. Desde já agradecemos a sua colaboração.

Este método serve, de um modo geral, para reparar também outros aparelhos electrónicos.

Exige-se um trabalho metódico, onde a concentração mental é fulcral. É necessário muito cuidado ao efectuar medições com o aparelho ligado pois as suas pontas podem provocar curto-circuitos. Aconselhamos os principiantes a apontar todas as medições efectuadas, para que não se esqueçam de analisar algum componente. Nestes circuitos basta um componente avariado para que o mesmo não funcione.

De um modo geral não é fácil reparar amplificadores mas, no caso de amplificadores em que o único semicondutor é um circuito integrado - amplificadores híbridos, normalmente é este o componente que está avariado.

Em muitos amplificadores o acesso à parte electrónica é difícil; parece que foram feitos para nunca serem reparados! Na nossa empresa apesar dos três anos de garantia, não pensamos assim; as etapas de amplificação são feitas por módulos de um canal (com protecções incluídas), ligados por um conector e fixos com dois parafusos ao chassis.

Em certos casos, quando não se conseguir localizar a avaria e, como se dispõe de dois canais e só um estiver avariado, devem medir-se os componentes comparando as medições nas duas placas.

Ao analisar um amplificador que já tenha sido "mexido, poder-se-ão encontrar transístores NPN trocados por PNP.

Avárias - de um modo estatístico as avarias do material electrónico têm a seguinte tendência: uma grande quantidade de avarias para as primeiras horas de utilização; avarias insignificantes durante muito tempo e por fim, um crescimento cada vez maior de avarias. Isto, normalmente, é o que acontece nos amplificadores mas, quando o projecto é deficiente haverá sempre avarias constantes.

A explicação de um número elevado no início, avarias que se revelam logo nas primeiras horas de utilização, tem a ver com defeitos de qualidade dos componentes

electrónicos, produtos e do fabrico/montagem do amplificador. Depois, durante muito tempo, desde que projectados correctamente, os componentes não avariavam e ao fim de muito tempo dá-se o envelhecimento e então surgem cada vez mais avarias.

Uma grande causa das avarias esporádicas é provocada por esforços exagerados, flutuações de tensão da rede, tensão de rede elevada, excesso de temperatura, falta de carga, maus contactos nos cabos de ligação principalmente falta da tensão de referência (por ex. interrupção da malha), sobre intensidades (caso de impedâncias baixas) e trabalhar acima da potência máxima onde parte das ondas saem em saturação clipping. A propósito, em muitos amplificadores quando atingem a saturação aparecem oscilações que, para além de estragarem os altifalantes e tweeters, dão má qualidade sonora e deterioram o circuito, emitindo geralmente interferências de R.F.. Uma utilização incorrecta dos amplificadores, leva a um envelhecimento precoce. Como exemplo, quando na rede eléctrica trifásica falta o neutro, haverá desequilíbrio de consumo entre fases e a tensão poderá no neutro atingir quase a tensão de outra fase, alimentando assim com tensão muito excessiva o amplificador que avaria de imediato. Pode contudo funcionar só mais algumas horas, isto porque os transístores foram submetidos a grandes esforços (apesar da intensidade não aumentar, a potência poderá ter aumentado bastante ficando os transístores à beira do colapso).

Reparação de um amplificador

Quando num amplificador se substitui um fusível queimado e não se detectam, à primeira vista, outras anomalias, **não se deve nunca ligar o amplificador directamente à corrente** pois este pode ter componentes em curto-circuito e provocar danos noutros componentes. Deve então ser testado com uma protecção contra sobrecargas, por exemplo, uma lâmpada de 60 a 100 Watt, 220 Volt, inserida em série com a rede eléctrica. Se se verificar que não há excesso de consumo, curto circuita-se a lâmpada.

Ferramentas – além das chaves e alicates, é indispensável um multímetro digital com hfe para NPN e PNP.

Para testar um amplificador não basta apenas ligá-lo com o sinal de áudio a uma coluna. Neste caso não se conseguem detectar defeitos como saturação precoce de uma das componentes de onda (positiva ou negativa), oscilações para dadas amplitudes, cargas, frequências, etc. É sempre necessário um gerador de ondas, um osciloscópio e duas resistências de 8 Ohm com uma potência razoável (caso contrário, como as resistências variam com a temperatura, os testes podem não ser eficazes). Uma solução económica para substituir as duas resistências, consiste num pouco de fio crómio/níquel mergulhado em água, com 4 Ohm de resistência, por exemplo.

Mais ferramentas:

Um detector de rádio frequência pode ser útil para verificar se o amplificador pontualmente oscila. Uma câmara de infravermelhos seria um bom auxílio para ver se há componentes com temperatura excessiva e para ver quais são os componentes que não estão a conduzir.

Alimentação – O tipo de alimentação mais vulgar é a simétrica. É constituída por um transformador com dois enrolamentos iguais isolado da rede eléctrica, uma ponte rectificadora, dois condensadores electrolíticos para estabilização e fusíveis.

Muitas vezes ocorre curto-circuito na ponte rectificadora (um ou mais díodos ficam em curto). Outras vezes, são os condensadores de estabilização que derramam dieléctrico e então devem ser substituídos aos pares se não se possuir o mesmo modelo de condensadores ou caso o outro condensador, que ainda não perdeu o dieléctrico, tenha já perdido alguma capacidade; estes dois defeitos provocariam ruído de 100 Hz.

No caso normal de uma estabilização a tensão nos condensadores é 30% fictícia pois o valor da tensão máxima das ondas sinusóides é o produto da tensão eficaz por 1,42. Esta tensão desce com o aumento do consumo. Na realidade o condensador torna estável a tensão mas não constante. A potência eficaz é igual ao quociente do quadrado da tensão eficaz de saída pela impedância dos altifalantes. Como os transístores estão limitados a uma tensão máxima, por exemplo 100 Volt, entre o colector e o emissor, e visto que a tensão tem 30% de componente fictícia e atendendo à polarização dos transístores (que posteriormente se desenvolverá) e à variação de tensão da rede, seria conveniente uma tensão sempre constante.

Há fontes de tensão constante por controlo de tensão linear, como é o caso de rectificação por tirístores, que são um bom sistema para amplificadores alimentados com uma fase de rede. A tensão é constante e quanto maior for a capacidade dos condensadores de estabilização, menores serão as flutuações da tensão, reduzindo-se a distorção dos sub graves. Cremos que uma alimentação trifásica permite uma alimentação contínua melhor pois a tensão é quase real podendo reduzir-se a capacidade dos condensadores de estabilização. Isto porque os picos de tensão só estão desfasados depois de rectificadas 60° e não 180° como no caso de uma fase, ou em amplificadores de má qualidade de 360° em que só se faz metade da rectificação (65% de tensão fictícia sem carga).

Nós fabricamos amplificadores de alimentação trifásica, podendo funcionar normalmente em monofásico.

Uma outra solução são as fontes comutadas. Estas têm a vantagem de se conseguirem amplificadores mais leves pois não utilizam um transformador de tensão convencional. A desvantagem será a sua complexidade, ainda mais devido à sua certificação face às normas de segurança e aos problemas que levantam quanto à compatibilidade electromagnética. A reparação deste tipo de fontes deveria ser feita apenas pelos representantes das marcas, contudo, um bom técnico pode efectuar estas reparações, caso consiga arranjar transístores Mosfets iguais ou equivalentes porque são estes os componentes que se queimam mais. Os díodos de comutação rápida e os condensadores seguem na lista de componentes avariados nestas fontes.

Uma boa solução, como anteriormente dito, é a da rectificação por tirístores. É mais simples, não levanta muitos problemas de compatibilidade electromagnética e os componentes que mais poderão avariar são os próprios tirístores. Neste caso, quando não houver o mesmo modelo dos tirístores avariados, devem-se substituir todos por equivalentes para que não haja diferenças na condução entre eles.

Nós iremos ter um modelo a funcionar no modo acima referido.

O Feedback é dimensionado para que o amplificador seja linear, isto é, amplifique com o mesmo ganho toda a gama de frequências de áudio e que tenha um certo ganho; em alta fidelidade o ganho é maior do que em usos profissionais.

É ele que controla automaticamente a amplificação, o ganho só depende da malha da realimentação. A sua função é diminuir o erro cometido pelo sistema. Na amplificação o erro resulta em distorção e ruído.

Geralmente isto é feito captando o sinal à saída através de uma resistência, por exemplo, de $47\text{ K}\Omega$, que em muitos casos tem um condensador cerâmico de baixa capacidade em paralelo. O sinal é então reduzido e conduzido uma parte à massa por um condensador (filragem), exemplo $100\ \mu\text{F}$, de baixa resistência interna em série com uma resistência, por exemplo de $1\text{ K}\Omega$. Se este condensador estiver em curto-circuito aparece tensão contínua à saída. Estes dois componentes, condensador e resistência, são propensos a grandes avarias. A resistência que vem da saída, quando aumenta de valor resulta em aumento de ganho; se aumentarmos muito o ganho o amplificador pode ficar instável e então oscilar; diminuir a capacidade do condensador electrolítico faz com que haja uma menor amplificação das baixas frequências.

Aconselha-se o uso de condensador apropriado não polarizado pois este é muito importante para a qualidade e prevenção de avarias, na Lourotronica utilizamos o 647-UES1C101MPM da Nichicon, Aluminum Electrolytic Cap, 16V 100uF.

Há casos diferentes deste, com realimentação de voltagem negativa, em que se empregam mais do que um feedback.

Outra realimentação que já se utiliza é a de corrente negativa. Baseia-se na corrente que circula à saída, dando uma resposta, em frequência, mais precisa, isto porque a tensão pode estar presente mas a coluna não absorver bem o sinal; assim o sinal sai mais parecido com o sinal à entrada.

Polarização – É ela que faz com que o amplificador funcione bem. Em certos casos quando a polarização é insuficiente, além da distorção que se verifica quando a onda passa pelo zero (degrau) podem aparecer oscilações de RF.

A polarização consiste em que os transístores sejam atravessados por uma corrente que faz com que estejam prontos a amplificar correctamente. **Se ela for excessiva, o amplificador pode queimar-se em poucos segundos.**

No caso dos amplificadores classe A, circula toda a energia possível e só se vai retirando energia à medida que se aumenta o volume.

Geralmente para os amplificadores bipolares verifica-se uma tensão média de 0,6 Volt entre a base e o emissor a 25°C , esta tensão diminui $2,5\text{mV}$ por grau C.

Após uma reparação pode a lâmpada em série com a rede acender muito e o problema ser apenas a corrente de repouso estar elevada, basta então rodar o trimmer de afinação da corrente de repouso de tal modo que a lâmpada não fique muito acesa e afinar para que não se verifique degrau na onda ao passar pelo zero (isto só pode ser visto no osciloscópio); deste modo, quando não se sabe qual é a tensão correcta de polarização, é mais seguro polarizar um amplificador na sua reparação sendo de salientar que se evitam também medições perigosas com as pinças. Apesar disto deve manter-se o amplificador ligado por algum tempo para verificar se não aquece demasiado.

Ao rodar o trimmer se houver falha no contacto do cursor o amplificador queima-se, caso não se tenha a lâmpada em série. Este trimmer tem de estar sempre em bom estado de funcionamento, um blindado será preferível.

Protecções – Há várias protecções para vários fins e devido à grande complexidade, muitas vezes são elas que estão avariadas.

1º - Rede eléctrica - além dos fusíveis no primário do transformador coloca-se uma resistência em série com a rede. Se tudo estiver bem aquela resistência é curtocircuitada por um relé, passados poucos segundos ou apenas fracções de segundos. Esta resistência além de proteger o circuito diminui a corrente de pico (principalmente nos transformadores toroidais). Assim, o fusível não se queima nem provoca na rede eléctrica uma interferência de absorção irregular de energia.

2º - Corrente contínua [DC] - quando os amplificadores avariaram e apresentam à saída corrente contínua, é necessário proteger os altifalantes. Para tal existem várias soluções: condensador de capacidade e tensão apropriadas em série com a saída (não deve ser polarizado pois poderia ter uma vida curta); um triac para estabelecer a ligação da saída à massa ou um sistema que desliga um relé em série com os altifalantes.

3º - Curto-circuito na carga - além de se colocar um fusível em série, que para potências elevadas não é apropriado, existem sistemas que provocam o disparo do relé de saída quando a carga desce abaixo de determinado valor.

4º - Ruído - quando se liga o amplificador geralmente ocorre um pico no altifalante de graves e a solução é ter um relé de saída que liga com atraso de alguns segundos. Esta ligação é normal fazer-se conjuntamente com a protecção de corrente contínua.

5º - Temperatura - são aplicados sensores que provocam o ligar do ventilador e o desligar da rede até a temperatura baixar.

6º - Excesso de consumo - há modelos em que o sistema não arranca quando há excesso de consumo.

Conclusão: devido à sofisticação e complexidade das protecções que chegam a ter mais componentes que o próprio amplificador, a probabilidade de avarias aqui é maior.

Ruído de Fundo – O ruído de fundo ocorre devido a quase tudo. As resistências de carvão geram micro arcos eléctricos no carvão; os semicondutores também geram ruído; os transformadores, normalmente geram ruído de 50 Hz; através da rede eléctrica passam interferências isto, se não existir filtro à entrada. Os amplificadores são mais ou

menos sensíveis a estas interferências. A resistência dos fios e outros condutores (ligações compridas, pistas finas, baixas secções), tem o seu contributo. Liga-se a caixa à terra mas a tensão de referência (massa) liga-se com uma resistência em série, acrescentar um condensador em paralelo e dois díodos também em paralelo em oposição, melhora a absorção das ondas electromagnéticas sem captar tanto o campo magnético pois o aço (caixa fechada cria um curto ao campo magnético emanado pelo transformador, uma caixa em alumínio seria preferível), os transformadores toroidais são melhores em vários aspectos: menor campo emanado, menor perda eléctrica, menor peso e menor volume quando comparados com os convencionais. O ruído aumenta quando se montam os aparelhos em rack, interferindo uns com os outros.

Há casos em que a malha de entrada do sinal liga à massa do amplificador através de uma resistência, sendo este um dos pontos de avaria.

Quando um condutor é atravessado pela corrente eléctrica forma-se um campo magnético. Ora, dentro de um amplificador há centenas de condutores a serem percorridos por correntes eléctricas (claro que em vazio estas são baixas, excepto para os amplificadores de classe A), havendo assim muitas induções a gerarem interferências.

Os condensadores de desacoplamento terão de ter a capacidade conveniente e aplicados nos sítios correctos, são os condensadores que ligam a alimentação à massa. A propósito estas pistas de massa só devem ser comuns entre os condensadores de alimentação ou seja, as outras massas devem ligar todas neste ponto mas serem independentes (semelhança com o tronco de uma árvore), exceptuando a malha do sinal de entrada que deve ligar na zona de pré-amplificação.

Uma solução pouco utilizada para reduzir o ruído consiste em fazer desacoplamento nas tensões simétricas utilizando por exemplo 470 NF.

O **Slew Rate** está dependente do esquema, sobretudo dos transístores. Estes componentes só conseguem trabalhar até uma frequência máxima e têm tendência a oscilar. Evita-se a oscilação com um condensador de compensação entre o colector e a base, nos transístores bipolares mas, com o aumento da capacidade do condensador diminui o slew rate, a tal ponto que o amplificador deixa de amplificar as frequências mais elevadas de áudio.

Condensadores – Existem inúmeros tipos de condensadores com as mais variadas características, cada um com as suas aplicações específicas.

Em áudio a aplicação dos condensadores está relacionada com o preço final do produto. Consegue-se facilmente com um tipo de condensadores o funcionamento do amplificador. Contudo, pode-se melhorar a qualidade do produto final escolhendo condensadores com as características adequadas.

Como se pode ver no esquema equivalente de condensadores, fig. , eles são na realidade componentes complexos, compreendendo-se assim que a selecção de um condensador não seja simples.

Estes componentes falham de vários modos, sendo o mais natural o seu envelhecimento (é normal um condensador electrolítico a 80 °C ter 5000 horas de vida e a 100 °C só ter 500 horas).

Com o envelhecimento destes componentes, o amplificador pode deixar de funcionar, falhar temporariamente, oscilar, ficar com ruído permanente, etc.. Se o condensador electrolítico polarizado receber tensão inversa ou tensão excessiva, aquecerá derramando dieléctrico e ficando com menos capacidade, ou mesmo inutilizado.

Um grande excesso de tensão levará o condensador a rebentar.

Na substituição de um condensador deve respeitar-se sempre que possível, os valores do projecto, tendo em atenção que a tensão de funcionamento do amplificador não ultrapasse 10% do valor nominal do condensador, valor este geralmente tolerado pelos condensadores.

Pode-se alcançar a capacidade pretendida com vários em paralelo.

Para além da perda de capacidade, outra avaria frequente dos condensadores é estarem em curto-circuito. Raramente, podem ainda apresentar fugas com o funcionamento.

Oscilações em amplificadores - a perda de capacidade num dos condensadores de disco nos transístores (pré driver) base - emissor, provoca oscilações na ordem dos MHz. Estas oscilações, por vezes, só surgem para certas frequências e/ou amplitudes. Quando aparecem no meio ciclo negativo têm origem no pré driver negativo, ocorrendo o mesmo na parte positiva. Consegue-se, em alguns casos, acabar com estas oscilações inserindo localmente um condensador de 470 NF, em paralelo com a alimentação respectiva. Para descobrir a origem das oscilações, pode introduzir-se um condensador em paralelo com os já existentes.

Díodos – É simples a sua medição. Com o aparelho digital, selecionado na posição de díodos, medem-se nos dois sentidos; para um dos lados conduz e para o outro não. Geralmente apresentam valores compreendidos entre 0,4 e 0,7 V, com as polaridades invertidas.

Os díodos **zener** apresentam valores entre 1,2 e 1,5V. A única forma de confirmação quando estão inseridos no circuito, é medi-los com o aparelho ligado, confirmando se têm a tensão correcta nos dois extremos, (no caso de não terem a tensão correcta, esta deverá ser confirmada pelos livros de equivalências). A título informativo, estes díodos conduzem cada vez mais, à medida que a tensão nos seus extremos ultrapassa o seu valor fazendo com que a tensão se mantenha no valor nominal.

Os díodos de rectificação geram um pico de interferência, devendo ter um condensador de polyester em paralelo. Os díodos zener em funcionamento geram ruído com a comutação levando também um condensador.

As avarias mais frequentes são curto-circuito e fugas. Quando se medem no circuito e aparecem valores de condução inversa, poderá não ser fuga e a solução será medi-los com um dos extremos desligado do circuito.

Dissipadores - Estes escoam a energia (perdas) libertada pelos semicondutores na condução.

O objectivo dos dissipadores é não deixar que os semicondutores ultrapassem uma certa temperatura pré definida porque não funcionam bem a temperaturas baixas nem a temperaturas elevadas.

Nos amplificadores de classe A, a energia dissipada corresponde ao consumo máximo, enquanto que nos outros tipos, após serem ligados alcançam uma temperatura bem maior que a do ambiente podendo atingir temperaturas superiores ao previsto.

Há casos em que os amplificadores, montados em rack, em dias muito quentes, fazem actuar a protecção térmica pois a dissipação é nula, em virtude de estarem no meio de outros aparelhos e o ar já se encontrar a uma temperatura elevada; a única solução é substituir o ventilador por outro de maior caudal.

É conveniente que o coeficiente de transferência térmica ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) seja o mais elevado possível para evitar grandes diferenças de temperatura e que não ocupe muito espaço (compromisso entre o tamanho do amplificador e a fiabilidade). Como isto não é fácil, em quase todos os amplificadores profissionais utilizam-se ventiladores.

A temperatura no dissipador deveria ser homogénea, contudo quando os dissipadores são compridos e com o ventilador num dos topos, criam-se gradientes que são prejudiciais pois o ganho dos semicondutores é proporcional com a diminuição da temperatura (têm-se registado muito mais transístores queimados nos extremos mais quentes, quando estão em paralelo). Há fabricantes que resolvem este problema com dissipadores de duas filas de transístores para que os transístores em paralelo se portem como um todo, sendo assim mais curtos. Mas mesmo assim, os transístores que mais avariavam são os dos extremos onde a temperatura é maior.

É de notar que a dissipação depende da superfície em contacto com o ar, do fluxo de ar, da temperatura ambiente e da eficiência das alhetas, pois quanto mais eficiente for o dissipador menor quantidade será requerida para determinada potência (muitas alhetas permitem um dissipador mais pequeno).

Fusíveis – Algumas vezes são eles a única avaria, geralmente por pico de consumo, podendo também ser por defeito de qualidade do próprio fusível.

Devem ser medidos através do suporte, pois pode não haver contacto entre o fusível e o suporte.

Geralmente os fusíveis de vidro interrompem-se a meio; por inspeção visual pode parecer que está bom mas pode estar interrompido nas partes ocultas.

Em série com a rede eléctrica os fusíveis devem ser lentos enquanto que na parte contínua devem ser de acção rápida para proteger os transístores e o circuito, impedindo maiores estragos em caso de avarias de curto nos transístores de saída.

É conveniente ter fusíveis separados para cada canal pois, em caso de avaria num, salvaguarda-se o trabalho com o outro canal.

Substituir um fusível na parte contínua exige o **cuidado de descarregar primeiro os condensadores** de estabilização quando se encontram antes dos fusíveis pois, a intensidade disponível pode ser fatal para o circuito (a resistência do ferro de soldar serve para este fim).

Se se verifica que a avaria é só um fusível queimado, podemos aumentar o seu valor em mais 20% pois o fusível pode estar sub dimensionado. No entanto, deve ter-se em atenção este aumento (não ser demasiado) uma vez que estes componentes são peças fundamentais das protecções.

Isoladores eléctricos - Quase todos os semicondutores de caixa metálica ou só com uma face metálica dissipam o calor por essa parte. Geralmente, a parte metálica é ligada ao colector no caso dos bipolares, à source no caso dos Mos, ao ânodo no caso dos trimotores, ao MT2 no caso dos triacs (nota: são poucos os triacs que têm a parte metálica isolada electricamente, tendo-se já verificado, **quando submetido a altas temperaturas, fuga de tensão** (assim é necessário isolar electricamente o semiconductor ao dissipador mas, com a melhor condução térmica possível).

Os produtos para isolamento são muito variados. Os mais vulgares são as micas.

É necessário ter cuidado com limalhas, saliências, rebordos, que podem vir a perfurar o isolador.

As micas têm de ter a espessura suficiente para evitar arco eléctrico (avaría vulgar). No caso de outros materiais a tensão de isolamento tem de ser superior à tensão de trabalho.

Não se podem montar isoladores com furos sob a parte metálica nem serem muito pequenos nas medidas exteriores ao ponto de haver arco externo.

No caso de materiais duros é necessário meter nas duas faces massa térmica para haver uma correcta condução de calor.

É conveniente empregar anilhas de mola para garantir o contacto eléctrico, quando o contacto entre a parte metálica e o circuito não é soldada. **Muitas avarias são provocadas por falta de aperto.** Com o tempo, devido aos ciclos térmicos há uma cedência dos materiais especialmente do nylon e da fibra, levando à oxidação das faces de contacto eléctrico. Quando temos transístores em paralelo devem ser medidas as resistências entre caixas, para confirmar se estão todos a fazer contacto, e **dar um reaperto geral a todos.**

Relés - Estes são bastante empregues para estabelecer a ligação entre o amplificador e a coluna. Permitem assegurar uma protecção contra D.C. e evitar o pico no altifalante de graves, quando se liga. O circuito é activado com atraso de segundos.

São utilizados para ligar a tensão da rede para que não haja uma absorção instantânea de energia ao ponto de queimar o fusível da rede ou disparar o disjuntor do sector.

Os relés têm um tempo de vida na ordem de um milhão de operações mas muitas vezes, devido a trabalharem num meio quente e conduzirem energia, acrescido do calor libertado por eles e impedâncias baixas, facilmente podem avariar.

Avárias - perda de impedância, perda de contacto por deformação mecânica, fusão dos contactos.

Resistências - São os componentes que menos avárias apresentam. Geralmente são visíveis quando estão queimadas ou alteradas. Apresentam manchas de terem aquecido demasiado. Nalguns casos estragam-se por defeito de fabrico ou ardem internamente sem deixar marcas. Caso raro, é ficarem com o seu valor alterado, por ex., em mais 50%.

Ao substituir uma resistência convém que ela seja do mesmo tipo e da mesma potência mas pode-se aumentar a potência. Substituir outros tipos por resistências de película metálica não levanta problemas, o contrário é que não pode ser feito pois as resistências bobinadas e de carvão têm uma certa indutância e poderá haver problemas de oscilação.

Transístores bipolares - Nota importante: este tipo de semicondutores quanto mais quente, mais conduz.

1.1 Verificação do seu estado no circuito, mede-se B-C e B-E, no caso de ser NPN o positivo fica na base enquanto que o PNP é medido com o negativo na base, se uma destas medições não se verificar está avariado pois aparecem mais medidas mas provêm do circuito, pode-se concluir que está em curto ou aberto mas se o retiramos do circuito pode não haver condução B-E, enquanto que no circuito parecia estar bom.

Os primeiros transístores a medir são os de saída (de potência) pois são eles que se avariaram mais e, poderá não haver mais nada avariado, geralmente quando em paralelo só se estraga um de cada lado, fica em curto o C-E.

1.2 Verificação externa - quando há dúvidas retira-se do circuito e mede-se com multímetro digital ou analógico; só podem apresentar medição B-C, B-E, excepto no caso dos Darlington em que há uma resistência interna entre a B-C. Nota: com o uso aparecem fugas C-E provocando um aquecimento exagerado.

1.2.1 Verificação externa de **hfe** - com o multímetro digital na posição correcta mede-se o ganho. Este varia muito mesmo que os transístores sejam da mesma série de fabrico, tendo de seleccionar-se, quando em paralelo, transístores com o mesmo hfe. **Nota muito importante - caso teste um NPN, tanto na posição de NPN como PNP e indicar ganho ele está estragado; com o multímetro pode-se verificar fuga entre o C-E (o analógico na escala de 2 ou 20 MW é preferível).**

1.3 Substituição - é relativamente fácil arranjar equivalente quando não se dispõe do transistor igual. Os livros de equivalências dão as características e indicam outros que são praticamente iguais, ou melhores. Quando estão em paralelo convém substituí-los todos, mesmo que tivéssemos seleccionado um com o mesmo ganho (hfe), pois a longo

prazo transístores diferentes irão por ex. perder hfe de modo diferente. Quando a etapa final é constituída por um par de NPN, um para cada alimentação, também eles devem ter o mesmo hfe, para que haja equilíbrio na corrente de repouso e não fique muito alta.

1.3.1 Características - o valor de tensão C-E deve ser igual ou maior que o valor da alimentação contínua total, embora os transístores finais possam Ter menos 15% sem haver problemas, desde que não falte carga ao amplificador pois, para um dado instante de amplificação do sinal de áudio (sinusoidal), o transístor da alimentação positiva não se encontra a conduzir, ficando sujeito a uma diferença de tensão C-E igual ao valor da alimentação positiva, acrescido da tensão negativa conduzida pelo transístor da parte negativa, e como existem quedas de tensão na fonte não haverá à saída a tensão da fonte.

A intensidade C-E deve ser aproximada ou superior, bem como a potência.

Há casos em que surgem oscilações, especialmente nos pré driver e que não conseguem fazer bem a amplificação isto por causa de não conseguirem responder a altas-frequências bem como terem uma maior afinidade a oscilarem. Quanto mais alta for a frequência de resposta do transístor melhor será podendo alcançar valores mais altos de slew rate caso contrário é necessário compensá-los com um condensador de 100 a 470pF entre B-C com a redução do slew rate.

Ruídos semelhantes a descargas estáticas ao fim de um certo tempo após se ligar o amplificador podem provir de um transístor que apresenta fugas aleatórias podendo-se detectá-lo com spray de frio.

Transístores Mosfets – Oferecem um nível de ruído extremamente baixo com uma impedância de entrada alta obtendo-se uma fidelidade perfeita em todo o espectro de potência, assim eles são cada vez mais utilizados no fabrico de amplificadores. Eles têm relativamente aos bipolares, algumas vantagens. Uma delas consiste na auto protecção face à carga. Se a carga for muito forte, ele vai diminuindo a energia conduzida. Em face a um curto-circuito na saída (quando não existe a protecção indicada sistema de desligar o relé de saída), geralmente apenas se queimam os fusíveis de alimentação, ou de saída quase os tivesse. Apesar disto não aguenta trabalhar permanentemente com cargas excessivas.

Uma grande vantagem é a simplicidade do circuito devido á alta impedância de entrada. A fiabilidade de um sistema tem a ver com o produto da fiabilidade de cada componente, assim quantos menos componentes dependentes uns dos outros mais fiável será o amplificador.

Substituição - estes transístores não são de fácil substituição. Por ex. no caso do 2SK135 pode-se substituir pelo 2SK1058 que apresenta características muito semelhantes apesar de ter uma caixa diferente, mas é mais propenso a oscilar. Um equivalente será o BUZ900 mas o ganho não é bem igual, o que obriga à substituição dos outros que estão em paralelo pois não apresentam o clipping igual. Equivalência do par, 2SJ50 por 2SJ162 ou BUZ905.

Da EXICON são também compatíveis os 10N16 e o 10P16.

A série MAGNETEC de mosfets laterais é concebida para substituir os da HITACHI. Na maioria dos casos não necessitam de qualquer modificação a nível de circuito, continuando ainda assim a fornecer semelhante ou melhor performance. Os amplificadores da nossa empresa utilizam desde 2000 os IRFP240 e 9240.

A MAGNETEC sugere que sejam feitas umas modificações secundárias no circuito da gate:

1. A resistência da gate deve ser aumentada para 1,0 a 1,5 KW (servindo esta de [passa baixo](#)).
2. O zener conduz de uma forma limitada, assim envia para a gate cerca de 6,2-6,8 volts, mas muitos amplificadores operam com o dobro.
3. Algumas marcas tem procedido no sentido de realizar o emparelhamento VGS (th), assim o amplificador debita mais potência e qualidade. Isto deve-se ao facto de existirem mosfets em paralelo.
4. Algumas oscilações do circuito podem ser eliminadas por um condensador de baixa capacidade. Este é ligado através da gate para a saída do outro e vice-versa (para um par).
5. Um condensador (22 - 47 pF) entre o dreno e a gate ajuda a eliminar oscilações de muito alta frequência (VHF)
6. Normalmente utiliza-se ainda um condensador (na ordem dos nF) entre uma das linhas de gate e a saída. Este normalmente acaba por dar origem a graves problemas.

Oscilações - os transístores ao serem substituídos por equivalentes apresentam muitas vezes oscilações pontuais para uma dada frequência, amplitude e poderão só em funcionamento. Estas oscilações são muito difíceis de retirar e exigem muita prática.

Teste - não são de fácil medição, pois como têm efeitos capacitivos, leva a induzir que está em curto. Por vezes apresentam curto entre D-S ou um valor de poucos Ohm num só sentido; ele não estará com defeito após termos curto circuitado todos os terminais e com uma nova medida já não apresentar condução.

A melhor maneira de testar um MOS de potência é metê-lo a amplificar com carga num amplificador que tenha um só MOS de cada lado das alimentações e verificar se o clipping é igual tanto no ciclo positivo como no negativo.

Para iniciar a medição dos mosfets ainda no módulo que haja curto entre a Source e o Dreno segundo a recomendação dada pelo fabricante inglês de amplificadores CAudio, é medir a resistência que está em série com a gate. A medição deve indicar o valor exacto da resistência, pois esta resistência só tem a função de limitar a frequência máxima a amplificar, não havendo nenhuma impedância de entrada de gate no Mosfet se ele estiver bom, todavia aparem transístores em curto entre D-S com esta medida certa.

Um instrumento bom para a sua medição é o analisador de componentes *Altas*, DC55, da *Peak*, www.peakelec.co.uk que na Lourotrónica utilizamos há mais de 10 anos.

Avarias - medindo curto nos dois sentidos o D-S estará avariado, podendo fazer um ensaio ao amplificador logo de seguida após se ter retirado do circuito. Há casos em que fica em curto o G-S e, ou G-D.

Geralmente o MOS deixa de apresentar condução em carga, há casos raros em que o MOS fica a funcionar só por ex. em 50% de potência.

Quando o MOS não tem protecção de gate deveria, levá-la pois avariam muito por aqui quando não a possuem.

TESTE FINAL - quando do teste ao osciloscópio e em carga devem-se provocar choques mecânicos pois se houver um mau contacto visualizam-se picos na onda ou cortes.

Só um teste com som ligado a coluna é que assegura a reparação.

Definições, abreviaturas, símbolos e siglas

Clipping - Onda cortada nos extremos devido a ela ter alcançado o limite da tensão de alimentação

D-S – Dreno-Source do transístor Mosfet

driver – parte final do amplificador pode ser a parte positiva ou negativa conforme a polaridade da alimentação

Feedback – é a utilização do sinal de saída para fazer o controlo automático com grande precisão

Ganho hfe - O ganho de um transístor, é uma característica do transístor, é o factor de multiplicação da corrente de base (I_b) ou Beta β ou hfe do transístor.

Graves – sons de baixa frequência, são reproduzidos sobretudo por altifalantes com grande área de cone (em som profissional usam-se sobretudo os de 18" de diâmetro)

MOS – Transístor do tipo Mosfet

MOSFET - Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

Rack - A perfuração de duas réguas verticais que serve para fixar diversos equipamentos que já vem preparado para este tipo de montagem. De acordo com o espaçamento da furação do rack 19", o espaço vertical que cada equipamento ocupa mede-se em unidades de rack ($1U = 1,75" = 4,445 \text{ cm}$) que corresponde a 3 furos na régua

RF – Rádio Frequência

Vgs - é a tensão entre a gate (entrada) e a fonte (source) do Mosfet

Slew Rate – É o tempo que leva uma onda quadrada a crescer. Nos amplificadores as ondas não aparecem imediatamente mas com algum atraso no crescimento.

tweeters – transdutores de frequências altas, sons agudos.

Trimmer – Pequena resistência ajustável

Zener - também conhecido como díodo regulador de tensão