

Amplificador de áudio integrado a válvulas controlado por microprocessador

Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Ricardo Ivo Rainha Dias Faro de Carvalho

A ideia motivadora deste projecto é a de integrar alguma da nova tecnologia, tais como microprocessadores, ADC's e DAC's com a antiga tecnologia de amplificação a válvulas. A metodologia permite solucionar alguns dos problemas associados a este tipo de amplificadores, nomeadamente aqueles causados pelo envelhecimento, alteração dinâmica ou permanente das características das válvulas.

I. Introdução

O *audion* foi a primeira a válvula termiónica capaz de amplificação, inventada em 1906 por Lee de Forest. Com a sua invenção nasceu o mundo moderno!

Durante os anos 90, devido ao aumento do numero de adeptos da tecnologia a valvulas, tais como pessoas ligadas a industria da musica e de audio e entusiastas em geral, assistiu-se ao ressurgimento do amplificador de áudio a válvulas, para os sectores de mercado "High-End".

Existe actualmente (alias nunca deixou de existir) por todo o mundo, uma pequena industria, cujo trabalho envolve a válvula termiónica para áudio, desde fabricantes de válvulas, transformadores de saída e de alimentação, suportes cerâmicos, chassis, etc.

Apesar de tudo, o desenho e projecto de um amplificador de áudio a válvulas, permanece quase inalterado durante os últimos 40 anos! Os problemas em amplificação a válvulas são bem conhecidos, entre outros o facto do amplificador necessitar de manutenção periódica frequente (reajuste de polarização, balanço AC, balanço DC) devido ao envelhecimento ou alteração permanente das características das válvulas, tendo de ser normalmente efectuados por pessoas com conhecimentos de electrónica. Outro problema é a alteração dinâmica de algumas das características das válvulas durante o seu funcionamento, nomeadamente a sua emissão termiónica. A ideia motivadora deste projecto é de integrar alguma da nova tecnologia tal como os microprocessadores com a antiga tecnologia das válvulas. Solucionando assim muito dos problemas associados a este tipo de amplificadores. Como iremos ver, a solução de juntar estes dois tipos de tecnologia, a primeira vista parece antagónica, mas no entanto resulta num produto bastante flexível e de muito fácil uso. O utilizador não tem mais que se preocupar com manutenções periódicas ao amplificador, sendo a maioria dos ajustes (tais como polarizações das válvulas) efectuados de forma automática, e continua pelo próprio microprocessador. O amplificador funciona assim sempre sob condições óptimas de polarização e balanço durante todo tempo, e tal reflecte-se no facto do amplificador possuir sempre baixos valores de distorção. É importante salientar que no caminho do sinal continua a não existir nenhum semiconductor ou circuito integrado, por forma a preservar o som original de um amplificador a válvulas.

II. Modulo de Áudio

Objectivo: Construir um amplificador de áudio integrado, isto é, pré-amplificador mais amplificador de potencia, a válvulas com as seguintes características: Elevada Largura de Banda, Elevada sensibilidade, Potencia de Saída Razoável, Baixa Distorção, Baixo ruído e elevado Factor de Amortecimento, tornando-o adequado para novas tecnologias audiovisuais e formatos (por exemplo “super áudio CD”).

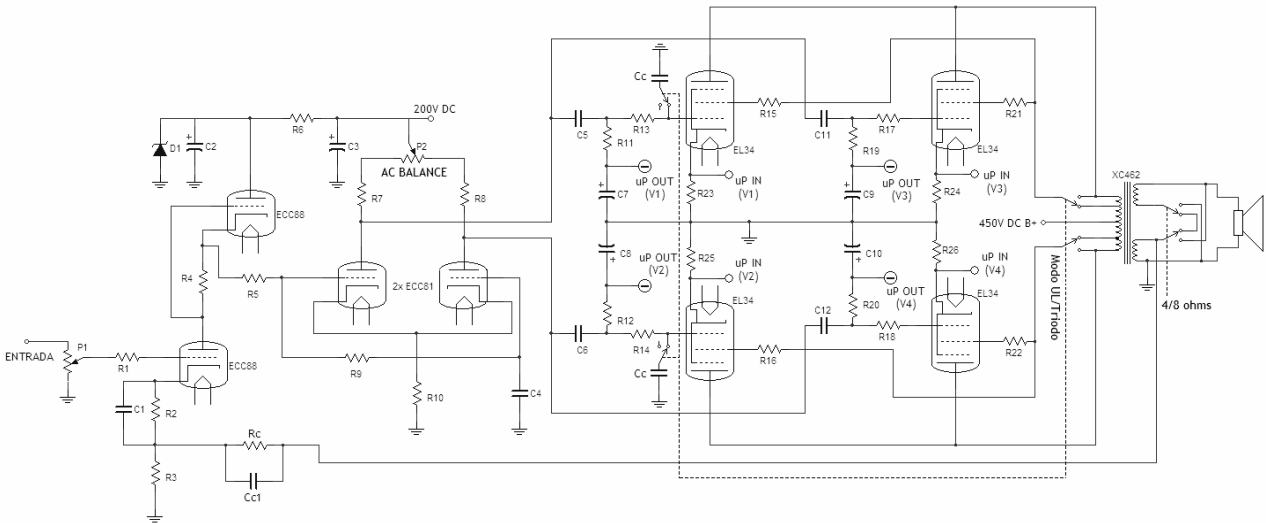


Figura 1 - Esquema eléctrico do modulo de áudio

Este circuito é constituído por 3 blocos principais: pré-amplificador, inversor de fase e andar de potencia.

O pré-amplificador é do tipo SPRR – *Séries Regulated Push Pull* . É constituído por duas válvulas tipo tríodo, em que a válvula superior (circuito ânodo comum) é uma carga activa para a válvula inferior (circuito cátodo comum). O seu principio de funcionamento recorre a realimentação do sinal na válvula superior por forma a regular a corrente que atravessa as duas válvulas. A ideia é que a válvula superior funcione sempre como uma fonte de corrente, que como sabemos idealmente tem uma impedância de saída infinita. Logo a carga vista pela válvula de baixo será uma impedância bastante elevada, sendo teoricamente infinita. As principais vantagens deste circuito são baixa distorção pois operamos numa pequena região da curva $V_{gk}-I_a-V_{ak}$, baixa impedância de saída pois o sinal de saída é retirado pelo catodo da válvula superior, ganho elevado pois o ganho deste circuito é próximo do ganho máximo da válvula, μ , elevado PSRR – *Power Supply rejection ratio* e baixo ruído. A válvula escolhida para o circuito preamplificador foi a ECC88, pois trata-se de uma válvula com um ganho μ razoável e é uma válvula com um comportamento muito linear.

O inversor de fase utilizado é baseado num andar diferencial, sendo este circuito conhecido como *Cathode coupled phase splitter*. As suas vantagens são ter um ganho maior que a unidade, ter impedâncias de saídas iguais na suas saídas melhorando o comportamento a altas frequências. A válvula utilizada

foi a ECC81 visto ter um ganho razoável, μ e permitir elevadas correntes de placa, factor que é útil para controlar directamente as válvulas de saída.

A topologia escolhida para o andar final, foi dois pares push-pull paralelos. Esta era a única topologia que fazia sentido para as potencias que nós desejávamos. A configuração push-pull apresenta diversas vantagens em tecnologia a válvulas. Uma delas devesse ao facto de as correntes quiescentes das válvulas fluírem em sentidos opostos no transformador de saída, cancelando-se mutuamente. Quer isto dizer, que o transformador de saída só tem de ser capaz de lidar com a corrente do sinal, podendo assim ser mais pequeno para uma dada potencia. Convêm salientar, que as correntes quiescentes das válvulas devem ser idênticas, caso contrario ocorreria magnetização DC no núcleo do transformador e geração de distorção com harmónicos impar. Para tal normalmente é incorporado um circuito de balanço DC do par push-pull. Uma vantagem de um transformador de saída mais pequeno é o facto da resposta a altas frequências ser superior devido a redução de capacidades parasitas. Notar que não só as correntes quiescentes dos ânodos das válvulas se anulam, como também o ruído e *hum* (50Hz, 100Hz) gerado pela fonte de alimentação se anulam dado que se encontram em fase nos enrolamentos do transformador. Sendo assim este circuito possui um valor elevado de *PSRR – Power Supply Rejection Ratio*. Outra vantagem, é o facto de harmónicos de ordem par, causados por ganho desigual do arco positivo em relação ao arco negativo, ser anulado neste circuito. Notar que o cancelamento de harmónicos de ordem par só ocorre se ambos os enrolamentos do primário do transformador forem alimentados como sinais idênticos provenientes cada válvula, sendo assim é possível introduzir um circuito de balanceamento AC, ou utilizar válvulas casadas(isto é, com características bastantes idênticas).

O circuito amplificador possui realimentação global, por forma a melhorar a sua resposta em frequência, minimizar distorção harmónica e aumentar o factor de amortecimento. O sinal é retirado do secundário do transformador e é injectado no cátodo da válvula do pré-amplificador. Notar que em amplificação a válvulas não é possível aplicar uma grande quantidade de realimentação, pois o ganho de malha aberta nunca é muito elevado. Como habitual a realimentação provocou uma frequência de ressonância na resposta em frequência do amplificador e alguma tendência para a oscilação. Isso foi corrigido utilizando um circuito de avanço de fase composto por R_3 e R_9 e C_{c1} e utilizamos dois condensadores C_c entre a grelha e a massa das válvulas finais por forma a tornar o pólo que ai se encontra, dominante. Esse pólo já tinha sido determinado que era o mais baixo dos pólos de altas frequências apenas baixamo-lo ainda mais por forma a torna-lo dominante.

Os circuitos do modulo amplificador foram simulados utilizando ferramentas SPICE, para tal foi necessário desenvolver modelos matemáticos para grandes sinais das válvulas.

III. Modulo Digital

Objectivo: Controlar a polarização das válvulas de forma continua durante o funcionamento do amplificador. Ajustar o balanço DC do andar duplo push-pull, ajustar o balanço AC do conjunto inversor de fase e andar duplo push-pull, dispor de um LCD para transmitir mensagens ao utilizador e dispor de um menu onde se possa executar diversas funções.

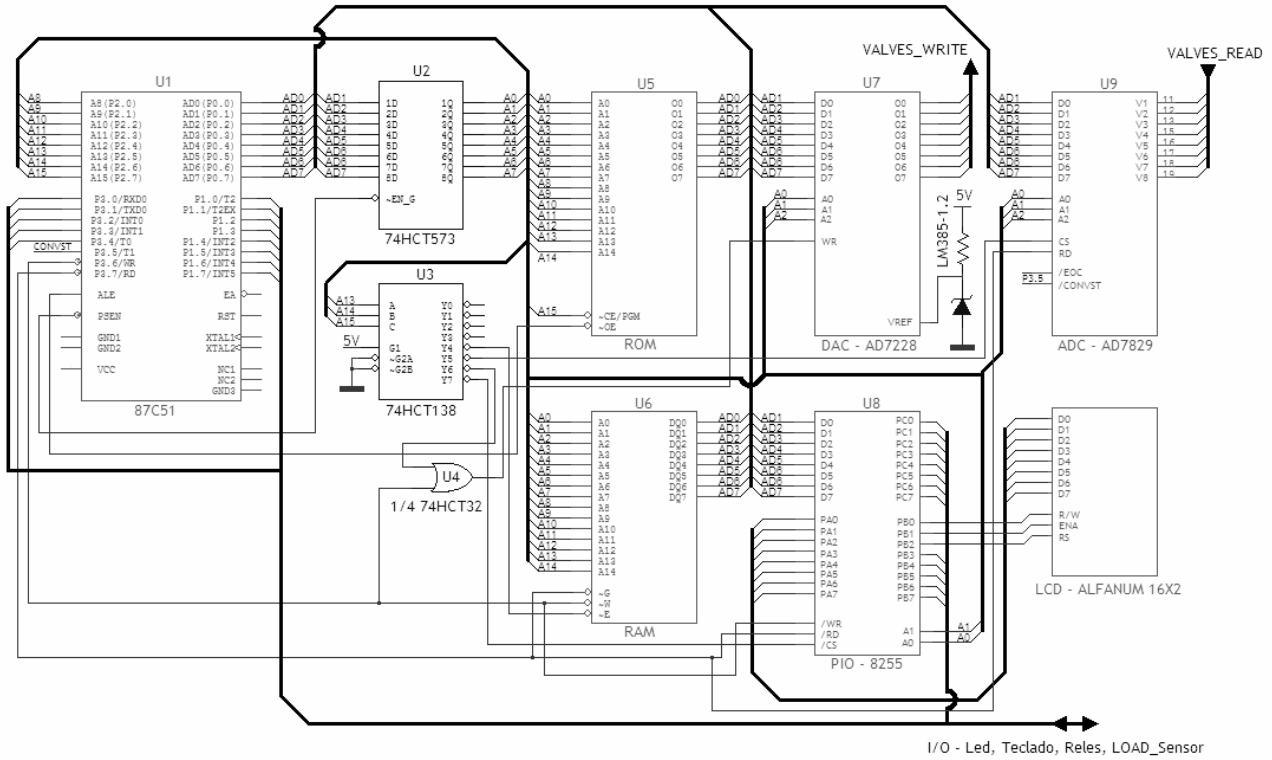


Figura 2 - Esquema eléctrico do modulo digital

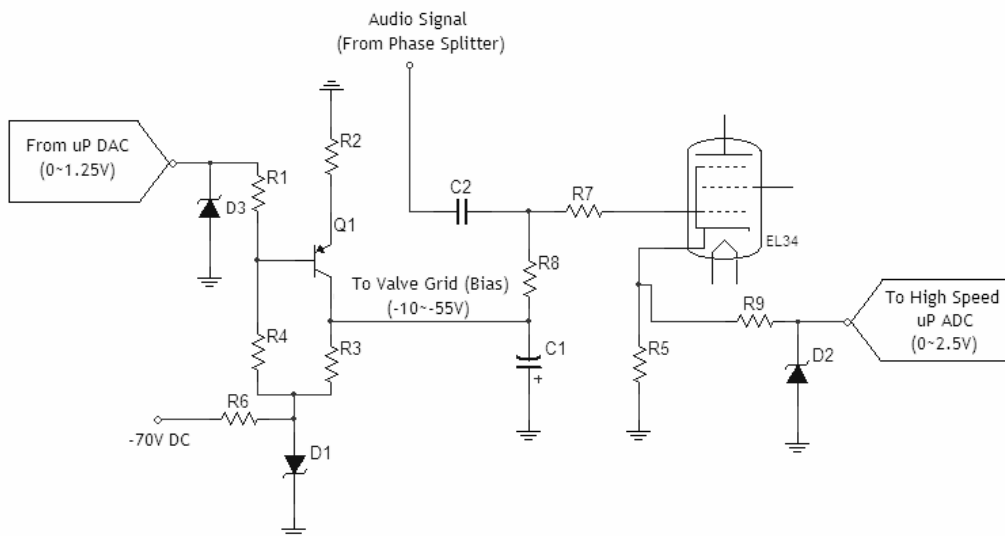


Figura 3 - Circuito de controlo da válvula de saída

O modulo digital tem como principal função o ajuste contínuo das polarizações das válvulas de potencia, e respectivo balanço DC. Permite também o ajuste manual do balanço AC do amplificador, de uma forma rápida e simples. No ajuste do balanço AC, o microprocessador mede a diferença de ganho existente entre as válvulas superiores e inferiores do duplo andar push-pull, sendo o resultado mostrado no LCD. No ajuste do balanço AC, o utilizador apenas necessita actuar sobre um potenciómetro de ajuste até obter o resultado '0' no LCD. Todas as funções secundárias do modulo digital são executadas pelo utilizador recorrendo a um menu disponível, sendo as opções as seguintes: *Select Input* – selecciona o sinal de entrada (ex. CD), *Select Mode* – selecciona o modo de operação do andar de saída do amplificador: Ultralinear ou Pentodo, *Diagnostics* – mede a emissão termiônica da cada válvula de saída, *AC-BALANCE* mede o desbalanceamento à entrada do transformador de saída, *EQ BYPASS* – permite a inserção ou não de um equalizador de áudio, *STATISTICS* – menu com dados estáticos das válvulas (ex. tempo de uso das válvulas). O amplificador trabalha assim sempre sob condições óptimas devido ao facto do microprocessador monitorizar permanentemente as correntes dc e ac das válvulas, e efectuar ajustes sempre que necessário.

IV. Resultados Obtidos

Todas as medições foram efectuadas com o analisador de espectro Stanford Research SR780

	Modo UltraLinear	Modo Tríodo
Potencia Max.	90Wrms	50Wrms
Sensibilidade	400mVrms	-
Resp. Em Frequência	3Hz-100Khz	5Hz-84kHz
Slew Rate	6,6V/us	6,6V/us
THD @ 10W/8Ω	0.159%	0.246%
Desvio de fase a 20 Hz	14°	20°
Desvio de fase a 20 Khz	19.71°	19.58°

Nota: Como é natural em modo tríodo, a potencia é menor, a frequência de corte superior também é mais baixa devido ao facto da capacidade C_{gk} da válvula ser consideravelmente maior quando a válvula esta conectada em tríodo. Esse facto também afecta o slew rate (quando não compensado). Por fim a distorção harmónica piora um pouco devido ao facto da impedância do transformador estar optimizada para o modo ultralinear e não para o modo tríodo.

Como resultado obtivemos um produto bastante flexível. O utilizador não precisa de preocupar-se com manutenções periódicas ao amplificador, sendo a maioria dos ajustes efectuados de forma automática. Assim, o amplificador funciona sempre sob condições óptimas de polarização e balanço. É importante salientar que no caminho do sinal continua a não existir qualquer dispositivo semiconductor, por forma a preservar as características originais de um amplificador a válvulas.

V. Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Prof. Vítor Grade Tavares sem o qual este projecto não teria sido possível, pela sua disponibilidade e entusiasmo. Gostaria também de agradecer e dedicar este projecto aos meus pais pelo apoio dado durante a minha vida académica e durante este projecto.

VI. Bibliografia

1. Valve Amplifiers by Morgan Jones, 1999
2. Electrónica Aplicada by T.S. Gray, 1955
3. Electronic Devices and Circuits by Millman & Halkias, 1967
4. Microelectrônica by Sedra & Smith, 2000