

Amplificador Áudio Comutado de conversão directa

Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Instituto Politécnico de Tomar
André Dias, Carlos Paulino
2300-313 Tomar

O presente trabalho apresenta um sistema de amplificação áudio comutado para reprodução de graves de conversão directa (alimentado directamente da rede). A motivação de criação desta topologia prende-se com a obtenção de um sistema simples, de elevado rendimento, compacto e de baixo custo, estes factores são de grande importância nos amplificadores de subwoofer, que possuem uma elevada densidade de potência. Para atingir estes objectivos, a utilização de um sistema comutado de amplificação é imprescindível. O facto de este ser de conversão directa elimina ainda os tradicionais transformadores de 50Hz, o que a par com uma topologia valley-fill utilizada minimiza o tamanho dos condensadores de filtragem tradicionais assim como distribui temporalmente os elevados “picos de corrente” pedidos na sua carga, causa comum de produção de ruído a 100Hz.

I. Introdução

Com os grandes avanços que os componentes electrónicos sofreram nas últimas décadas, quer a nível da frequência de operação, quer a nível de potência, estes abriram novas áreas de aplicação a nível da electrónica de potência. A área que exige maiores desafios será provavelmente a área do processamento de potência para o áudio, que tem sido dominada pela electrónica linear desde o seu início. Na amplificação de áudio, os amplificadores comutados têm vantagens sobre os lineares, tais como, um rendimento mais elevado, as perdas são mais reduzidas e há uma diminuição do volume ocupado. Quando comparados com os volumosos amplificadores de áudio lineares, que proporcionam níveis de distorção harmónica total e ruído reduzidos e utilizam técnicas de controlo simples para os alcançar, os amplificadores comutados (ex: Classe D), também apresentam problemas relacionados com a sua não linearidade, com a introdução de atrasos temporais devido ao filtro passa-baixo de saída, a frequência de comutação, que limita a largura de banda do controlo, assim como problemas de compatibilidade electromagnética [1].

Nos sistemas tradicionais é utilizado um transformador de potência na alimentação do sistema, este projecto pretende evitar a sua utilização, conseguindo-se assim uma redução significativa das dimensões físicas do sistema assim como do seu custo [2]. Esta inovação possui, no entanto, problemas que têm de ser resolvidos, ao nível da compatibilidade electromagnética, da segurança e do rendimento do sistema.

Na Figura 1 encontra-se representado o diagrama de blocos do sistema reprodutor desenvolvido. O sinal de áudio é introduzido no controlador que efectua a realimentação da tensão de saída com o objectivo de diminuir a distorção do sistema. Tratando-se de um circuito comutado existe a necessidade de se executar uma modulação temporal tipicamente PWM (Pulse Width Modulation). O amplificador de potência é constituído por um conversor em ponte completa e possui um filtro na saída cuja função é atenuar as componentes de frequência elevada devido à comutação. Os diferentes blocos serão descritos com mais

pormenor ao longo dos próximos itens do relatório. As especificações tomadas como objectivo foram: uma potência de 300W; e uma banda de reprodução dos 20Hz aos 300Hz.

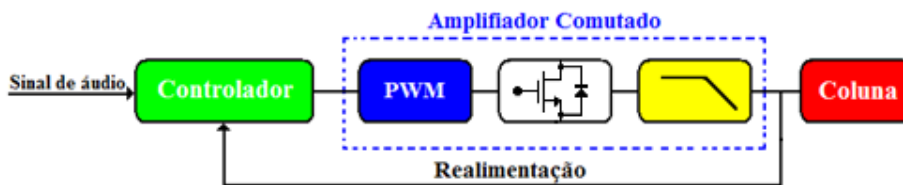


Figura 1 – Diagrama de blocos representativo do sistema reproduzidor.

II. Descrição do sistema

O **amplificador comutado** possui transístores que operam como interruptores entre os modos ligado e desligado, numa topologia em ponte completa. De modo a obter o nível médio desejado à saída é necessário modular temporalmente o sinal de controlo destes. Esta função é cumprida por comparação do sinal a modular com uma onda triangular de frequência adequada, obtendo-se um sinal PWM com um factor de ciclo $\delta (t_{on}/(t_{on} + t_{off}))$. De modo a adequar a modulação à actuação de dispositivos reais com tempos de transição finitos (neste caso IGBT's) é necessário inserir tempos de atraso de modo a evitar curto-circuitos durante as transições. São também necessários circuitos de *Drive* de modo a controlar directamente os IGBT's [3].

A fim de evitar ruído de comutação na banda de áudio, a frequência de comutação do sistema estará bastante acima da banda áudio, tendo sido neste caso adoptada uma frequência de comutação, T_s , de 90kHz.

À saída do conversor, encontra-se um filtro passa-baixo de 2ª ordem (LC) cuja finalidade é a de atenuar as componentes de elevada frequência devido à comutação. O filtro é dimensionado de modo a que o valor de ondulação na tensão de saída não exceda 1V. Neste caso os valores são de $L=1,35mH$ e $C=4,17\mu F$.

O andar de comutação anteriormente analisado é fortemente não linear o que produz distorção. De modo a atenuar essa distorção utiliza-se um **controlador PID**. Quanto maior o ganho da malha do sistema, maior é a diminuição da distorção, aumentando também a rejeição a variações da tensão de alimentação. É importante obter um ganho elevado à frequência de 100Hz de modo a maximizar a rejeição à fonte de alimentação, especialmente no caso da utilização da fonte escolhida em que a ondulação é muito pronunciada.

As Figuras 2 e 3 representam o circuito de simulação do ganho da malha do sistema e os resultados desta simulação em termos de diagrama de *Bode* do controlador PID.

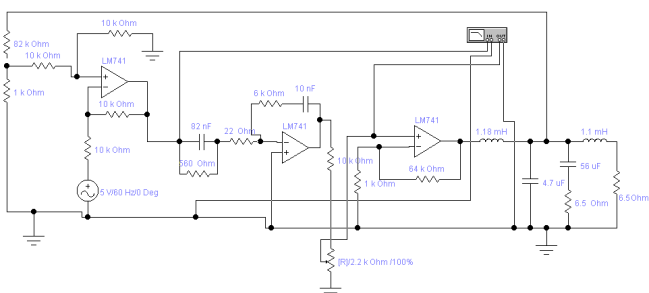


Figura 2 – Simulação do controlador PID

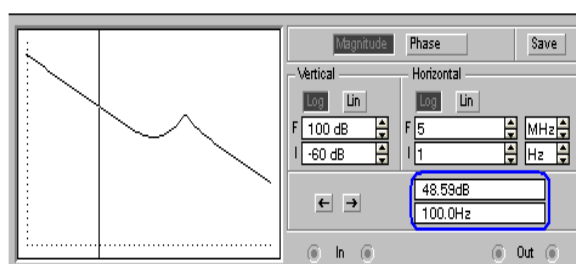


Figura 3 – Diagrama de *Bode* do controlador

As **fontes de alimentação** tradicionalmente utilizadas são compostas por um transformador de potência, uma ponte rectificadora a díodos e um condensador de filtragem. Esta topologia apresentam várias desvantagens quando comparando com a fonte *Valley-Fill* utilizada [4]. Nas Figuras 4 e 5 encontram-se representados os esquemas referentes às duas fontes.

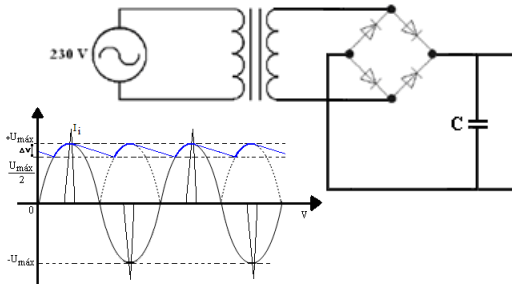


Figura 4 – Fonte de alimentação típica

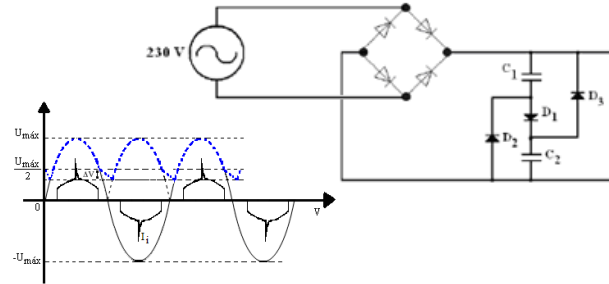


Figura 5 – Fonte de alimentação *Valley-Fill*

Os condensadores C_1 e C_2 (ver Figura 5) apresentam metade da capacidade quando são carregados (pois são carregados em série através do diodo D_1) e o dobro quando descarregam (são descarregados em paralelo através dos díodos D_2 e D_3). Como vantagens desta topologia, temos o aumento do rendimento do conversor, visto as perdas do circuito diminuir consideravelmente (a tensão de alimentação é mais baixa durante grande parte do tempo e assim as perdas de comutação e a corrente de ondulação diminui); o aumento do factor de potência do conversor (a corrente fica mais distribuída temporalmente); o valor dos condensadores é muito menor, o que implica uma corrente de surto menor. Como desvantagem perante as fontes de alimentação típicas, prende-se o facto da ondulação da tensão de saída ser superior ao utilizado nas fontes típicas (no mínimo é de metade da tensão de alimentação, ou seja de $325V/2=162,5V$).

V. Resultados Experimentais

Apresentam-se três imagens de resultados experimentais. Na Figura 6 a) estão representados a tensão de saída (canal 1 – 100V/div.) e a corrente de entrada (canal 2 – 5A/div.) de um teste realizado à fonte de alimentação *Valley-Fill*. Na Figura 6 b) apresentam-se as tensões de entrada e de saída resultantes de um teste ao amplificador: no canal 1 a tensão de entrada (2 V/div.); e no canal 2 a tensão de saída (25 V/div.). Na Figura 6 c) apresentam-se as formas de onda relativas à tensão de entrada (canal 1 – 5V/div) e à saída comutada (canal 2 – 100 V/div.). Este teste foi realizado com uma frequência de entrada de 1,5KHz, de modo a que as suas escalas temporais permitissem a sua visualização simultânea. O sinal do canal 2 foi observado na saída inversora do conversor em ponte. O rendimento do sistema obtido foi de 82% à potência máxima (300W) contrariamente ao vulgarmente obtido em amplificadores de classe AB de cerca de 55 a 60% à potência máxima.

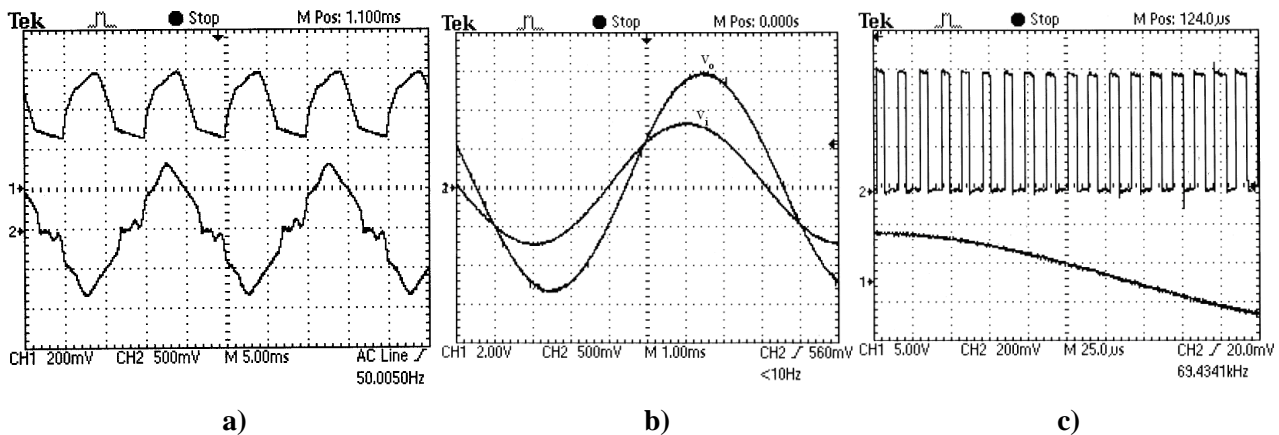


Figura 6 – Formas de onda obtidas experimentalmente: a) valley-fill; b) entrada e saída; c) saída antes e depois do filtro

VI. Conclusão

Foi projectado um sistema de amplificação de graves comutado de conversão directa para amplificação de graves o que permite obter um sistema compacto e de elevado rendimento. A fonte de alimentação utiliza uma topologia especial que diminui o ruído de 100Hz produzido devido ao carregamento dos condensadores de filtragem e permite a utilização de elementos menos volumosos. A execução deste sistema não é trivial, exigindo conhecimentos aprofundados em várias áreas: electrónica de potência, áudio, filtros, controlo, etc.

VII. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Eng. Carlos Ferreira pela sua orientação científica na realização do presente projecto que correspondeu à disciplina de projecto e dissertação de licenciatura. Agradecem ainda ao Departamento de Engenharia Electrotécnica do Instituto Politécnico de Tomar, pelo apoio e a disponibilidade de espaços e material, que tornaram o projecto possível.

VIII. Bibliografia

- [1] D. Dapkus, "Class-D audio power amplifiers: an overview", IEEE International Conference on Consumer Electronics, pp. 400-401, Jun. 2000.
- [2] Petar Ljusev, M. Andersen, "Direct-conversion switching-mode audio power amplifier with active capacitive voltage clamp", IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp. 2848-2854, 2005.
- [3] Dias, A. e Paulino, C., Trabalho final de curso, *Sistema Reprodutor de Graves*, Instituto Politécnico de Tomar, Outubro de 2007.
- [4] K.Kit Sum, *Improved Valley-Fill Passive Current Shaper*, California 1997