

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE AMPLIFICADORES HÍBRIDOS DE POTÊNCIA

Marco A. F. Boaski

Acadêmico do Curso de Eng. Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria – GEPOC
ferreirab.marco@gmail.com

Marcos Rabaioli

Acadêmico do Curso de Eng. Controle e Automação da Universidade Federal de Santa Maria – GEPOC
eng.marcosra@gmail.com

Fabricio E. Cazakevicius

Acadêmico do Curso de Eng. Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria – GEPOC
fabriciocazakevicius@gmail.com

Rafael C. Beltrame

Professor/Pesquisador do Departamento de Processamento de Energia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria – GEPOC
beltrame@mail.ufsm.br

Resumo: *Com o objetivo de sintetizar formas de onda de tensão de alta-fidelidade, sem penalizar o rendimento do sistema, muitos trabalhos têm proposto amplificadores híbridos de potência (hybrid power amplifiers – HPA). Um HPA é composto de um amplificador linear associado a um amplificador chaveado, combinando os benefícios de cada abordagem. De acordo com a conexão entre os amplificadores, os HPAs podem ser classificados em configuração envelope, paralela e série. Este trabalho sumariza as principais vantagens e limitações de cada arranjo, possibilitando a identificação das aplicações mais adequadas a cada caso.*

Palavras-chave: *Amplificador Híbrido de Potência, Eletrônica de Potência.*

1. INTRODUÇÃO

Por décadas, a amplificação de sinais foi governada por dispositivos operando de modo linear. Porém, com o avanço de dispositivos semicondutores de potência, amplificadores chaveados (cujos transistores operam nas regiões de corte e saturação) alcançaram melhor performance em termos de resposta dinâmica, rendimento, densidade de potência e confiabilidade.

Amplificadores de potência chaveados (SMPAs – *Switching-Mode Power Amplifiers*) apresentam efeitos adversos, como inerente não-linearidade, atrasos no sinal, necessitam filtros “passa-baixas” para atenuar harmônicas (que acabam por limitar a banda passante), não linearidade de componentes passivos, e emissões eletromagnéticas, por outro lado, o apelo de alto rendimento, alta densidade de potência, volume e peso reduzidos e baixo custo, têm motivado os pesquisadores a desenvolver alternativas para aliviar as limitações mencionadas.

Em contrapartida, para aplicações de áudio em fontes CA de potência de alto desempenho (ACPS – *AC Power Source*), onde uma ampla faixa de frequências e alta fidelidade é necessária, os SMPAs atuais ainda não alcançaram o desempenho proporcionado pelas soluções lineares, devido aos efeitos adversos já mencionados.

Portanto, no sentido de integrar a alta fidelidade dos amplificadores de potência lineares (LPAs – *Linear Power Amplifiers*) (geralmente, classe A, B ou AB) e o alto rendimento característico dos SMPAs, o interesse nos amplificadores de potência híbridos (HPAs – *Hybrid Power Amplifiers*) tem crescido. Um HPA é uma associação de um SMPA (operando como amplificador principal e fornecendo maior parte de

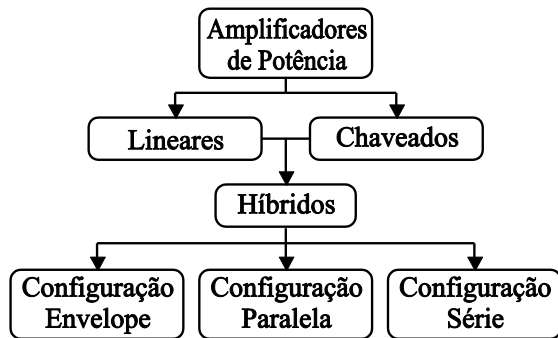


Fig. 1. Classificação de amplificadores de potência.

potência) e um LPA (operando como um amplificador de correção e entregando uma pequena fração da potência). O principal atrativo de um HPA é que a qualidade da forma de onda de saída é definida pelo estágio linear, apresentando alta fidelidade ao sinal de referência, sem, no entanto, comprometer o rendimento do sistema.

2. CLASSIFICAÇÃO DOS AMPLIFICADORES DE POTÊNCIA

A maior parte das aplicações com amplificadores de potência fazem uso de um LPA ou de um SMPA. A primeira solução é preferível quando a fidelidade com respeito ao sinal de referência (V_{ref}) é o principal objetivo; já a segunda alternativa é adequada a aplicações em que um elevado rendimento é requerido. Os amplificadores que combinam ambas as tecnologias, linear e chaveada, são denominados de amplificadores híbridos de potência. Yundt (1986) propõe dois possíveis arranjos de HPAs: configuração série e configuração paralela, dependendo do modo como os amplificadores são associados. Mais recentemente, essa classificação foi expandida por Gong (2008), incluindo, ainda, a configuração envelope, conforme a Fig. 1.

3. CONFIGURAÇÃO ENVELOPE

HPAs que pertencem a esta configuração são compostos por um LPA de saída, o qual é responsável por sintetizar a forma de onda desejada, e por uma fonte de rastreamento (TPS – *Tracking Power Supply*), implementada por meio de um

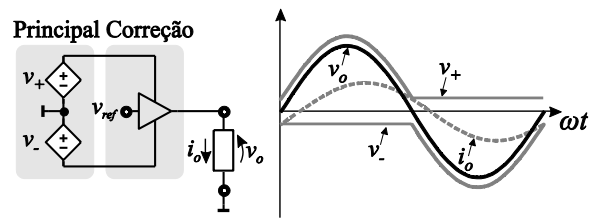


Fig. 2. Configuração envelope.

SPMA, a qual é responsável por regular a tensão do barramento CC do LPA (GONG; ERTL; KOLAR, 2008), (SAHU; RINCONMORA, 2004) e (YOUSEFZADEH; ALARCON; MAKSIMOVIC, 2006). Um diagrama conceitual pode ser visto na Fig. 2, onde $v_+(t)$ e $v_-(t)$ são as formas de onda sintetizadas pela TPS, $v_o(t)$ é a tensão de carga e $i_o(t)$ é a corrente de carga. Com o objetivo de generalizar a nomenclatura, a TPS é chamada de amplificador principal e o LPA de amplificador de correção.

O propósito de regular o barramento CC do LPA a um nível marginalmente superior à tensão de saída é fornecer condições para que o amplificador de correção trabalhe com perdas reduzidas. Salienta-se que a amplitude da tensão do barramento CC não deve exceder os limites do LPA. A tensão sobre os transistores do estágio linear de saída do amplificador de correção é significativamente reduzida, minimizando as perdas de condução devido à polarização CC. Como o amplificador principal é um SMPA, o qual apresenta baixas perdas, o amplificador em configuração envelope pode proporcionar alto rendimento e alta fidelidade, simultaneamente.

4. CONFIGURAÇÃO PARALELA

Na configuração paralela, a saída de ambos os amplificadores são conectadas em paralelo, como mostra a Fig. 3. O amplificador principal fornece a maior parte da corrente de carga $i_o(t)$, a qual é composta pela soma da corrente fornecida pelo principal $i_p(t)$ e pela corrente suprida pelo amplificador de correção $i_c(t)$, responsável por compensar a ondulação de $i_p(t)$ (ERTL; KOLAR; ZACH, 1997), (WALKER, 2003) e (STAUTH; SANDERS, 2007). Deste

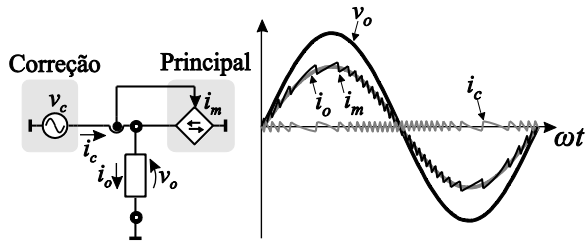


Fig. 3. Configuração paralela.

modo, há apenas uma pequena corrente circulando através do amplificador de correção, possibilitando minimizar as perdas de condução através dos transistores lineares de saída. Adicionalmente, o amplificador de correção define a impedância do HPA.

A operação da configuração paralela é ilustrada na Fig. 3, onde $i_o(t)$ é composta pela contribuição de ambos os amplificadores, principal e de correção. Com respeito à estratégia de controle, o amplificador de correção é controlado de tal modo a compensar as ondulações em $i_p(t)$.

5. CONFIGURAÇÃO SÉRIE

Na configuração série de HPAs, ambas os amplificadores, principal e de correção, estão conectados em série, conforme representado na Fig. 4. Salienta-se que $v_p(t)$ e $v_c(t)$ são as formas de ondas sintetizadas pelo amplificador principal e de correção, respectivamente.

Enquanto o amplificador principal sintetiza a forma de onda de tensão com amplitude próxima à do sinal de referência, o amplificador de correção opera para compensar qualquer distorção observada na tensão sintetizada pelo primeiro, atuando como um filtro ativo série (BELTRAME et al, 2011a) e (BELTRAME et al, 2011b).

6. ANÁLISE QUALITATIVA

A partir dos conceitos apresentados para as configurações envelope, paralela e série de HPAs, é possível identificar os limites de operação de cada arranjo, conforme representado na Fig. 5.

Para essa análise, assume-se que:

1. O LPA (amplificador de correção) é projetado *a priori* com adequadas banda

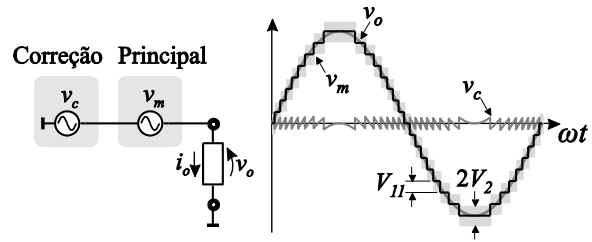


Fig. 4. Configuração série.

passante de controle e potência nominal (definida pela máxima tensão, $v_{c,max}$, e corrente, $i_{c,max}$, de seus transistores de saída);

2. O emprego de uma tecnologia de HPA é adotada no sentido de maximizar o rendimento global do sistema.

Então, com respeito à Fig. 5, três regiões podem ser definidas:

1. *Região série*: esta região é limitada pela condição ($i_{o,max} < i_{c,max}$). Ou seja, a máxima tensão de saída, $v_{o,max}$, pode assumir qualquer valor, enquanto que a máxima corrente de saída, $i_{o,max}$, deve ser inferior ao limite imposto pelo amplificador de correção, uma vez que este conduz integralmente a corrente de carga na configuração série.
2. *Região paralela*: esta região é limitada pela condição ($v_{o,max} < v_{c,max}$). Logo, a máxima corrente de saída, $i_{o,max}$, pode assumir qualquer valor, enquanto que a máxima tensão de saída, $v_{o,max}$, deve ser inferior ao limite imposto pelo amplificador de correção, uma vez que este sustenta integralmente a tensão de carga na configuração paralela.
3. *Região envelope*: esta região é limitada pelas condições ($v_{o,max} < v_{c,max}$) e ($i_{o,max} < i_{c,max}$), i.e., ambas máxima tensão

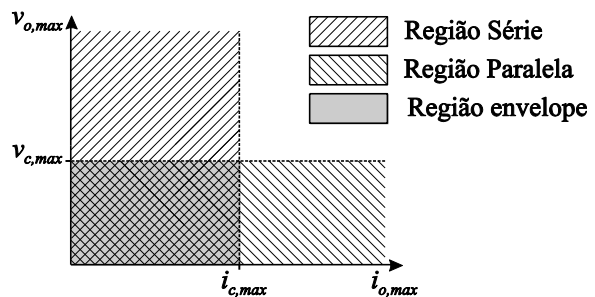


Fig. 5. Limites de operação dos amplificadores híbridos.

de saída, $v_{o,max}$, e máxima corrente de saída, $i_{o,max}$, devem ser inferiores ao limite imposto pelo amplificador de correção. Nesse caso, a principal vantagem dessa configuração não está relacionada à extensão da capacidade de atuação do amplificador (limitada pelo LPA), mas à maximização do rendimento global através da redução da queda de tensão sobre os transistores de saída do LPA.

7. CONCLUSÃO

Procurando contribuir ao estudo de amplificadores híbridos de potência, este trabalho apresentou uma revisão sobre as principais configurações encontradas na literatura.

Pelas características apresentadas, a configuração envelope é normalmente empregada em aplicações com baixas tensões, como dispositivos de comunicação portáteis que operam na faixa de mega ou gigahertz, onde o alto rendimento é necessário para estender a vida da bateria, e ainda proporcionar menor volume e peso.

A configuração paralela também é adequada a aplicações com baixas tensões, porém de maiores níveis de corrente, como, por exemplo, amplificação de áudio e fontes chaveadas de baixa tensão para microprocessadores.

Por fim, a configuração série – a menos explorada na literatura – é adequada para aplicações em altas tensões. Como desvantagem, pode-se citar a possibilidade de saturação (*clamping*) do amplificador de correção sob transitórios severos de carga. Suas principais aplicações são em fontes CA de potência e acionamento de máquinas de ressonância magnética.

REFERÊNCIAS

BELTRAME, R.C.; DESCONZI, M.I.; MARTINS, M.L.S.; RECH, C.; HEY, H.L.

Proposal of a series configuration hybrid AC power source. In: Proc. IEEE Energy Conv. Congress and Expo., 2011, p. 2058–2064.

BELTRAME, R.C.; DESCONZI, M.I.; MARTINS, M.L.S.; RECH, C.; HEY, H.L. AC power source based on series-connection between cascaded PWM multilevel inverter and linear power amplifier. In: Proc. IEEE European Conference on Power Electronics and Applications, 2011, p. 1–10.

ERTL, H.; KOLAR, J.; ZACH, F. Basic considerations and topologies of switched-mode assisted linear power amplifiers. IEEE Trans. on Industrial Electronics, v. 44, n. 1, p. 116–123, Feb. 1997.

GONG, G.; ERTL, H.; KOLAR, J. Novel tracking power supply for linear power amplifiers. IEEE Trans. on Industrial Electronics, v. 55, n. 2, p. 684–698, Feb. 2008.

SAHU, B.; RINCON-MORA, G. A high-efficiency linear RF power amplifier with a power tracking dynamically adaptive buck-boost supply. IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., v. 52, n. 1, p. 112–120, Jan. 2004.

STAUTH, J.; SANDERS, S. Optimum biasing for parallel hybrid switching-linear regulators. IEEE Trans. on Power Electronics, v. 22, n. 5, p. 1978–1985, Sep. 2007.

WALKER, G. A class B switch-mode assisted linear amplifier. IEEE Trans. on Power Electr., v. 18, n. 6, p. 1278–1285, Nov. 2003.

YOUSEFZADEH, V.; ALARCON, E.; MAKSIMOVIC, D. Three-level buck converter for envelope tracking applications. IEEE Trans. on Power Electr., v. 21, n. 2, p. 549–552, Mar. 2006.

YUNDT, G. B. Series- or parallel-connected composite amplifiers. IEEE Trans. on Power Electronics, PE-1, n. 1, p. 48–54, Jan. 1986.