

CONVERSORES CC-CC E CC-CA HÍBRIDOS SÉRIE E PARALELO

DALTON, L. R. VIDOR

Departamento de engenharia, UniRitter, ULBRA e UFSM
Av. Roraima, 1000, Prédio 07, Anexo B, CEP 97105-340, Camobi, Santa Maria, RS
E-MAILS: DVIDOR@CPOVO.NET

NATANIEL, M. RIGO, VAGNER, M. CUNHA, JOSÉ R. PINHEIRO

Departamento de engenharia elétrica, GEPOC, UFSM
Av. Roraima, 1000, Prédio 07, Anexo B, CEP 97105-340, Camobi, Santa Maria, RS
E-MAILS: NATANIELRIGO@TERRA.COM.BR, VMCUNHA@ULBRA.EDU.BR, JRENES@GEPOC.UFSM.BR

Abstract— This work presents a discussion and contributions about associations of linear and switched converters, including some particularities. Among the applications are listed audio amplifiers, the calibration systems, the motor driver inverters where are needing to reduce the circulating current over the bearing, the magnetic resonance where harmonics could generate distortions in the images and the calibration systems that need exiting signals with high quality. For these applications the sources must generate high quality signals without the presence of ripple that are typical in switched converters. Many structures are purposed to DC-DC conversion and some of them are present to DC-AC conversion. New converters purposes are present and built. The simulation and experimental results are present to prove the converter's characteristics.

Keywords— Hybrid Converters, Switched-Linear, Inverters.

Resumo - O presente trabalho apresenta uma discussão e contribuições sobre associações de conversores chaveados e lineares, incluindo algumas de suas particularidades. Dentre as aplicações são citados os amplificadores de áudio, os sistemas de calibração, os inversores aplicados a acionamentos onde é necessário a redução da corrente que pode circular pelos rolamentos dos mancais, a ressonância magnética onde harmônicas podem gerar distorções nas imagens e os sistemas de calibração que precisam de excitação com sinais de alta qualidade. Nestas aplicações as fontes devem gerar sinais de alta qualidade, sem a presença de ondulações que são típicas em conversores chaveados. Várias estruturas são propostas para a conversão CC-CC e algumas delas são apresentadas na conversão CC-CA. Propostas de novos conversores são abordadas e realizadas. Os resultados de simulação e experimentais são apresentados a fim de comprovar as características dos conversores.

Palavras-chave— Conversores Híbridos, Conversores Chaveados, Conversores lineares, Inversores.

1. Introdução.

Nas últimas seis décadas observou-se uma melhoria significativa nos dispositivos e conversores eletrônicos de potência. Os incrementos na frequência de operação levaram a respostas dinâmicas melhores, associados a dispositivos semicondutores com tempos de comutação reduzidos e de menores perdas em condução, onde a eficiência foi elevada. Estas características levaram os conversores a serem largamente utilizados na conversão CA-CC, CC-CC e CC-CA, como retificadores, fontes e inversores para acionamento de máquinas elétricas (Beltrame e outros, 2011; García, 2015; Vidor e outros, 2016).

Apesar destas melhorias, aplicações como amplificadores de áudio, equipamentos de teste ou calibração e equipamentos eletrônicos especiais, ainda restringem a aplicação destes conversores chaveados em razão do aparecimento de harmônicas, banda passante limitada e emissão eletromagnética. Mesmo que as tecnologias de chaves semicondutoras do tipo GaN e o aparecimento de circuitos de controle para amplificadores de áudio chaveados tenham melhorado significativamente, a resposta dinâmica ainda apresenta limites neste caso quando os equipamentos de alta potência são necessários.

Em acionamentos de máquinas elétricas os sinais de alta frequência podem circular para o aterramento

via capacitâncias entre enrolamentos e carcaça ou flútem através dos rolamentos dos mancais, degradando a vida útil destes. A aplicação de um sinal senoidal com reduzido nível de ruídos de alta frequência, evita o agravamento da degradação dos rolamentos e das características físicas dos materiais isolantes.

Nas calibrações de medidores, na verificação da curva BxH de materiais magnéticos e em ressonância magnética, as harmônicas podem interferir nos resultados ou na qualidade das imagens produzidas.

Equipamentos utilizados em algumas destas aplicações empregam amplificadores lineares ou circuitos lineares para produzir os sinais de saída com a qualidade demandada (Vidor e outros, 2016; Da Silva e outros, 2015). Alguns trabalhos são encontrados com associações entre conversores chaveados e amplificadores lineares e indicam que algumas das melhores características de ambos são obtidas no sinal de saída. Dentre elas a melhoria na eficiência e a excelente resposta dinâmica são observadas (Beltrame e outros, 2011; García, 2015; Vidor e outros, 2016; Da Silva e outros, 2015; Jeong e outros, 1997; Gong e outros, 2008; Chiesi e outros, 2006; Walker, 2003; Hassler e outros, 2011). Outro aspecto observado nestas associações é a possibilidade de redução dos filtros de saída em especial nas associações em paralelo onde o capacitor de filtro pode ser suprimido (Chung e outros, 2016).

O presente trabalho aborda associações em série e paralelo de conversores chaveados e amplificadores lineares. A utilização destas associações é realizada nos conversores básicos (Buck, Boost, Buck-Boost, Cuk, Sepic e Zeta) não isolados. Observa-se que alguns destes conversores apresentam saídas com corrente pulsada ou tensões de saída maiores do que a tensão de entrada disponível e isso inviabiliza a associação direta destes conversores e amplificadores. Além disso, outras estruturas são avaliadas e classificadas, ampliando-se o estudo dos conversores híbridos ou chaveados-lineares (SL). A avaliação é realizada em inversores tanto na configuração paralela quanto na configuração série.

2. Associação dos conversores Chaveados e Lineares

2.1. Classe de amplificadores.

A associação de conversores chaveados e amplificadores lineares foi apresentada por pesquisadores da área de amplificadores lineares e de eletrônica de potência. Geralmente os primeiros chamam as estruturas de classes de amplificadores, já os pesquisadores em eletrônica de potência apresentam estas estruturas com diferentes nomes. Na figura 1 é apresentada uma estrutura chamada de Classe I e mostra alguns dos vários nomes atribuídos em trabalhos científicos (Jeong e outros, 1997; Chiesi e outros, 2006; Walker, 2003).

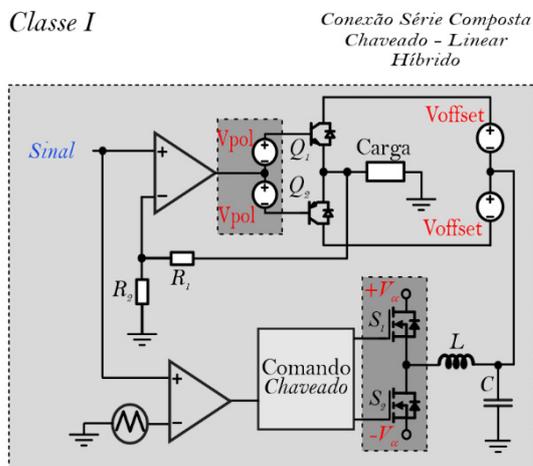


Fig. 1. Amplificador Classe I ou conversor chaveado-linear série.

Na estrutura da figura 1 a associação dos conversores é uma associação série. O conversor chaveado produz uma tensão sobre o capacitor do filtro LC similar ao sinal de saída, mas com uma ondulação indesejada provocada pelo chaveamento. O conversor linear alimentado por duas fontes CC com uma tensão suficiente para operar na região linear e para mitigar a ondulação, elimina as ondulações presentes no sinal do conversor chaveado. Portanto, as duas fontes CC (*Voffset*) devem ser suficientes para polarizar os transistores do amplificador na região linear e para cancelar a ondulação, mas devem ser baixas o suficiente para não elevarem demasiadamente as perdas neste

amplificador. Além disso, o dimensionamento dos valores destas fontes CC (*Voffset*) deve observar o compromisso entre a resposta dinâmica e suas perdas.

O conversor chaveado associado ao filtro apresentam limitações em frequência que podem ser superadas pelo amplificador linear desde que os recursos de energia nas fontes CC (*Voffset*) sejam suficientes para atender tais demandas, circuitos de acionamento deste amplificador e instrumentação igualmente atendam estas exigências quanto à resposta em frequência. O projetista deve ficar atento a estas alterações, pois se a necessidade de energia levar ao incremento da amplitude das fontes do amplificador linear, maiores serão as perdas nos circuitos lineares.

Outra classe de amplificadores encontrada na literatura são os amplificadores Classe K (Chiesi e outros, 2006; Walker, 2003). Neles a opção adotada foi a associação em paralelo. Na figura 2 é apresentada uma associação deste tipo e os nomes encontrados na literatura.

Na estrutura em paralelo o amplificador linear impõe a tensão de saída e o conversor chaveado é controlado em corrente de forma a minimizar a corrente demandada do amplificador. Desta forma o sinal de saída pode apresentar a dinâmica e a qualidade na forma de onda produzida pelo amplificador linear e a eficiência pode ser incrementada através da redução na corrente deste amplificador, pois a maior parte desta corrente será provida pelo conversor chaveado. Novamente observa-se que as características dinâmicas e resposta em frequência podem ser melhoradas somente se os recursos de acionamento, fontes e circuitos forem projetados para tal.

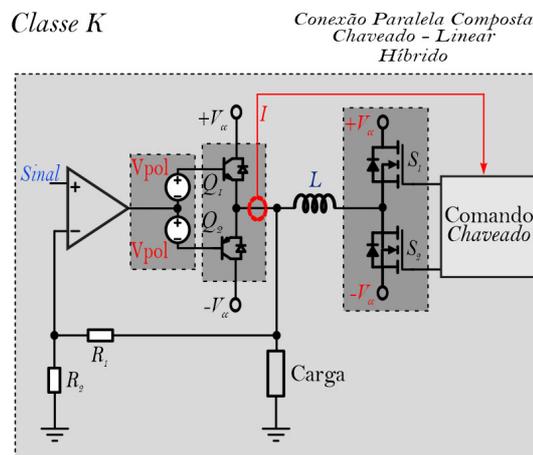


Fig. 2. Amplificador Classe K ou conversor chaveado-linear paralelo.

2.2. Contribuição ao estudo de conversores híbridos em série

As estruturas híbridas em série e paralelo apresentadas são frequentemente aplicadas em amplificadores de áudio ou sistemas de calibração em razão de permitirem a produção de sinais alternados em suas saídas. Quando se faz necessário produzir um sinal contínuo de saída sem a presença de ondulações, fontes CC de alta performance ou fontes CC sem capacitores

no filtro de saída, estruturas híbridas simplificadas são fortes candidatas a estas demandas.

A seguir serão apresentadas associações de conversores básicos CC-CC chaveados com amplificadores lineares simplificados, logo após os conversores CC-CA (Vidor e outros, 2016) serão abordados, pois estes conversores podem ser derivados das estruturas CC-CC.

Na figura 3 são apresentadas associações em série dos conversores estáticos CC-CC não-isolados básicos e um amplificador linear. Nesta figura o amplificador linear é simplificado por um único dispositivo linear, um transistor bipolar, associado em série. Este transistor bipolar deve ser controlado de forma a manter a tensão de saída constante, onde chama-se na literatura de configuração seguidor de emissor, desta forma a tensão de base é aquela necessária a produzir o sinal de saída acrescida das quedas de tensão entre base e emissor deste dispositivo semicondutor. Este transistor bipolar pode ser substituído por outros semicondutores similares como IGBTs e MOSFETs desde que controlado de forma a produzir um sinal de saída contínuo, mesmo sob variação de corrente de carga.

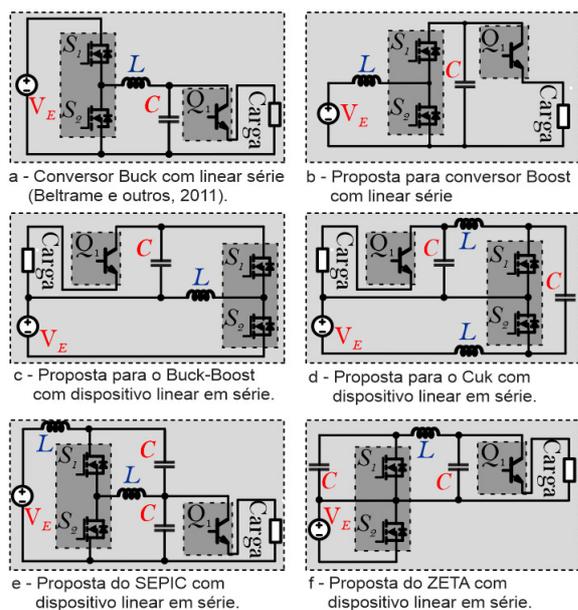


Fig. 3. Associações dos conversores básicos chaveados a amplificadores simplificados em série.

Os conversores chaveados são projetados de forma a produzirem em sua saída um sinal levemente superior à amplitude necessária à carga, mas o suficiente para manter o dispositivo na região linear de operação. Portanto, o transistor bipolar deve ser projetado adequadamente para atender estes dois compromissos: i. operam na região linear e, ii. produzem baixas perdas no amplificador simplificado.

Outra forma de abordar as estruturas apresentadas na figura 3 é considera-las como pós-reguladores lineares. Os conversores chaveados são projetados a fornecerem uma tensão de saída um pouco acima da tensão da carga, com alguma ondulação no filtro de saída, e o pós-regulador linear cancela esta ondulação e

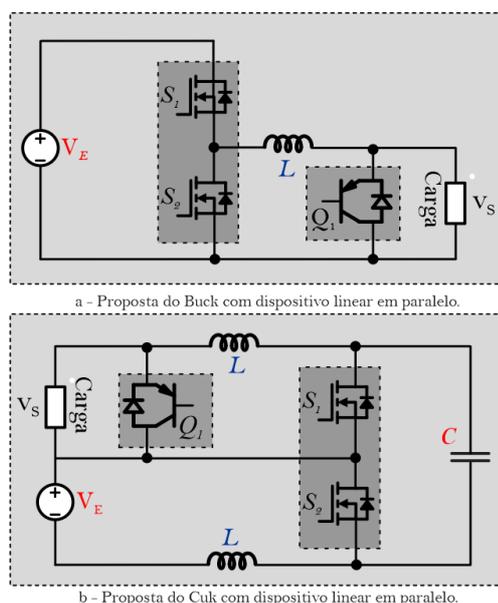
ainda pode regular pequenos erros/desvios do valor desejado da saída.

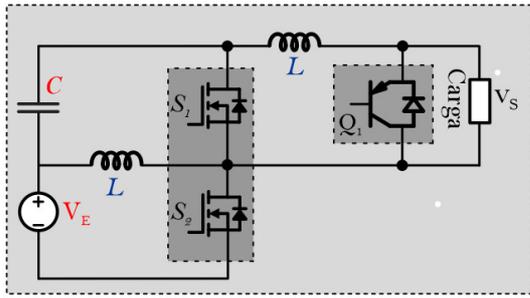
2.3. Contribuição ao estudo de conversores híbridos em paralelo

Na figura 4 são apresentadas associações de conversores básicos CC-CC chaveados em paralelo com amplificadores lineares simplificados. Esta figura apresenta apenas três dos seis conversores básicos com a associação em paralelo. A razão disso é que os demais conversores apresentam corrente de saída pulsada, o que não permite a associação de um amplificador linear em paralelo unidirecional em corrente.

Nos conversores chaveados não apresentados, há uma etapa de armazenamento de energia no indutor que não permite a circulação de corrente na saída. Já que, o amplificador linear simplificado unidirecional não tem recursos para prover a corrente de saída no sentido desejado. Assim, somente as estruturas que permitem manter a corrente de saída acima da corrente da carga são adequadas a este tipo de associação paralela.

Nas associações apresentadas na figura 4, o conversor linear impõe a tensão de saída e o conversor chaveado é controlado de forma a produzir a corrente de saída acrescida de um valor mínimo, para garantir em todos os instantes a polarização em corrente do amplificador linear simplificado. Outra forma de analisar é considerar o amplificador linear como um regulador shunt, ou paralelo, que mantém a tensão de saída e consome todo o excesso de corrente oriundo da ondulação de corrente produzida no conversor chaveado. O conversor chaveado é controlado no modo corrente de forma a manter sua corrente igual à corrente de carga acrescida de uma corrente necessária a operação adequada do regulador shunt, que deve ser somente a ondulação de corrente do conversor chaveado, de maneira a minimizar as perdas do amplificador linear.





c - Proposta do Zeta com dispositivo linear em paralelo.

Fig. 4. Associações dos conversores básicos chaveados a amplificadores simplificados em paralelo.

Observa-se que as associações apresentadas permitem excelentes respostas dinâmicas quando a carga reduz sua demanda de corrente, pois há um regulador linear que pode desviar o excesso de corrente do conversor chaveado durante o transitório. Quando a carga aumenta sua demanda de corrente, a associação dos conversores mostradas na figura 4 apresenta uma queda na tensão de saída devido à necessidade de elevação de corrente no indutor do conversor chaveado que não ocorre rapidamente.

A associação apresentada na figura 5 permite que o amplificador linear (classe AB) imponha correntes positivas e negativas em sua saída. Desta forma, tanto nos transitórios de aumento da corrente de carga quanto em redução da demanda de corrente de carga, existem recursos nos circuitos dos amplificadores lineares para suprir as diferenças de corrente entre carga e conversor chaveado, mantendo a tensão de saída no valor desejado. Portanto, estes circuitos amplificadores permitem substituir a função do capacitor de filtro de saída dos conversores. Assim, abre uma nova frente de pesquisa em circuitos sem capacitores, ou mesmo, circuitos fazendo o uso de *capacitores eletrônicos* à semicondutor.

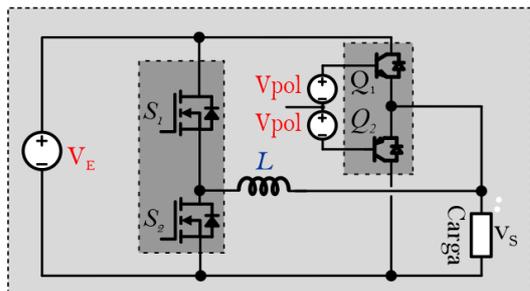


Fig. 5. Associação do conversor Buck a um amplificador linear em paralelo.

Associações similares realizadas nos conversores Cuk e Zeta não são possíveis sem modificações. Ocorre que nestes conversores a fonte de tensão de entrada transfere energia a um conjunto de elementos intermediários antes de encaminhar esta energia à saída.

Na figura 6 é apresentado um novo conversor Zeta, com modificações, associado a um amplificador linear. Neste caso o indutor foi alterado de posição sem alterar o funcionamento do conversor Zeta, mas permitindo ao amplificador linear obter alimentação da

tensão do capacitor intermediário. A dinâmica do conversor linear, neste caso, pode ser perturbada pelas oscilações de tensão existentes no capacitor. O circuito de controle do amplificador linear deve ser elaborado a fim de evitar que estas oscilações apareçam no sinal de saída.

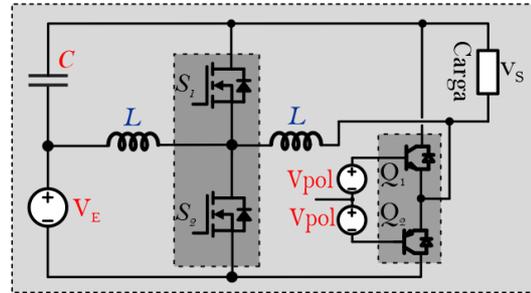


Fig. 6. Associação do conversor Zeta a um amplificador linear em paralelo.

As associações apresentadas nas figuras 5 e 6 não se aplicam ao conversor Cuk. O circuito do conversor Cuk apresenta indutores na entrada e na saída e o capacitor de armazenamento não apresenta terminais em comum com a saída, inviabilizando a ligação do amplificador linear diretamente.

As associações paralelas mostradas anteriormente exigem alimentação dos amplificadores lineares com valores de tensão superiores aos valores desejados no terminal de conexão com a carga. Em alguns conversores isso não é possível sem a adição de fontes extra, como por exemplo o conversor Boost, onde a tensão de saída é maior do que a tensão de entrada. No trabalho (Vidor e outros, 2017), os autores apresentam uma alternativa.

Nas configurações em paralelo, o amplificador linear deve processar apenas a diferença entre a corrente fornecida pelo conversor chaveado e a corrente de saída. Quando o conversor chaveado é utilizado, um capacitor é inserido na saída, filtrando o sinal de tensão e produzindo uma pequena ondulação, mas quando o conversor chaveado é associado ao conversor linear o capacitor de saída pode ser suprimido. Portanto, a ondulação da tensão de saída pode ser minimizada, garantindo uma tensão de saída de alta qualidade e de baixo conteúdo harmônico.

3. Inversor meia-ponte.

O conversor CC-CA em meia-ponte é derivado do conversor Buck. Utilizando-se um controle adequado é possível gerar o sinal senoidal sobreposto a um nível CC de saída. Se este nível CC for o mesmo da tensão gerada pela divisão da fonte de tensão do barramento ($V_E/2$) e a carga for colocada entre estes terminais, a carga perceberá a tensão diferencial que elimina o nível CC.

Na figura 7 é apresentada a estratégia descrita acima e na figura 8 é apresentado o conversor Buck com fonte dividida, também conhecido como inversor meia-ponte.

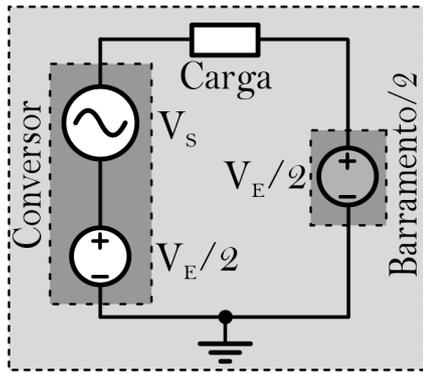


Fig. 7. Estratégia para gerar um sinal senoidal na carga.

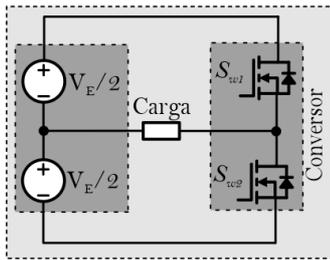


Fig. 8. Inversor meia-ponte.

4. Associação Híbrida Paralela

Na figura 9 é apresentado o diagrama de um circuito que emprega os conceitos discutidos anteriormente. Neste caso, a opção paralela é avaliada. Estes circuitos são similares aos descritos anteriormente e apresentados nas figuras 5, 7 e 8.

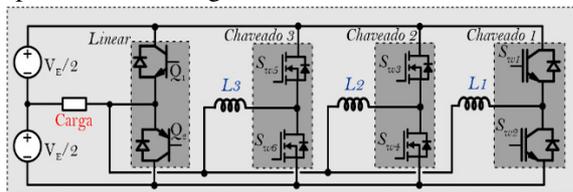


Fig. 9. Associação de inversores meia-ponte com amplificador linear em paralelo.

O conjunto consiste em três inversores meia-ponte com um indutor em cada braço e inserindo-se um novo braço operando como amplificador linear, elimina-se o capacitor de saída. Todos os conversores são conectados com as saídas em paralelo.

O sistema híbrido proposto pode ser projetado de forma a associar diferentes tecnologias, diferentes frequências de operação e/ou diferentes potências. No presente trabalho estabeleceu-se que o primeiro inversor meia-ponte opera com a menor frequência e é responsável por quase a totalidade da corrente de saída. Os outros inversores são dimensionados de forma a operar com médias e altas frequências de chaveamento e reduzem significativamente a ondulação da tensão de saída, injetando corrente em oposição de fase ao primeiro conversor. Já o amplificador linear é responsável pela forma de onda gerada e opera com baixa corrente de forma a minimizar as perdas. O amplificador linear, além de cancelar a ondulação da ten-

são de saída, pode atuar nos transitórios de carga melhorando significativamente a resposta dinâmica do conjunto.

O diagrama de blocos de controle associado ao sistema é apresentado na figura 10. Nesta proposta de controle o amplificador linear apresenta um ganho proporcional-integral na malha de realimentação a fim de evitar as distorções de *crossover* e reproduzir fielmente a tensão de referência. Cada conversor Buck Síncrono foi dimensionado de forma a operar com diferentes frequências e controle por histerese. A corrente do amplificador linear é amostrada e uma malha de realimentação controla os conversores chaveados de forma a minimizar a corrente no amplificador linear. O primeiro conversor chaveado assume a maior parte da corrente necessária à carga. O erro de corrente e a ondulação de corrente produzida no primeiro estágio é encaminhada ao controlador por histerese do segundo estágio, que minimiza esta ondulação de corrente e novamente o erro de corrente e a ondulação resultante é encaminhada ao controlador por histerese do terceiro estágio. Desta forma a ondulação e erro de corrente são reduzidas drasticamente e o amplificador linear opera com baixas correntes.

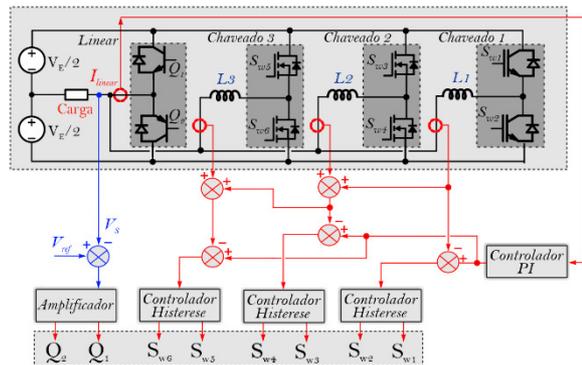


Fig. 10. Diagrama em blocos do controle e conversor híbrido paralelo.

Na figura 11 são apresentadas as curvas da tensão e corrente de saída onde se salienta a eliminação da ondulação das mesmas. Na figura 12, as correntes dos braços inversores são apresentadas. Observa-se que as frequências de chaveamento são diferentes e que o segundo e terceiro conversores atuam apenas em baixas correntes de forma a reduzir a ondulação desta na saída do conjunto. Na figura 13 é apresentada a corrente no amplificador linear que cancela a ondulação de corrente indesejada no sinal de saída, fazendo com que se possa eliminar o capacitor de filtro.

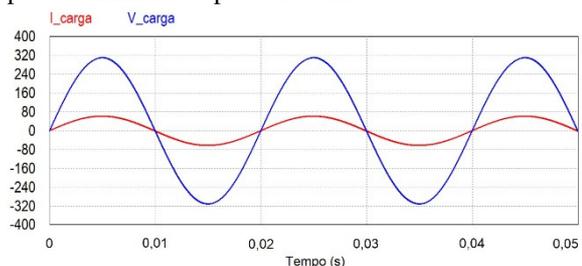


Fig. 11. Tensão e corrente de saída do conjunto para uma carga Resistiva.

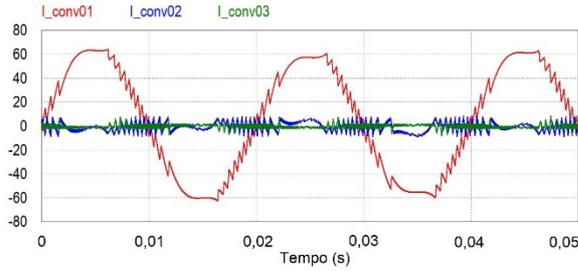


Fig. 12. Correntes de saída de cada braço do conversor.

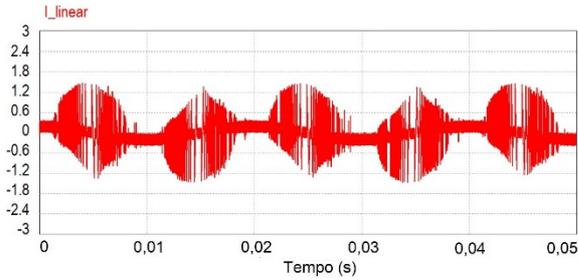


Fig. 13. Corrente de saída do amplificador linear.

Para o cálculo das frequências dos inversores, histereses e indutâncias, utilizou-se a seguinte equação:

$$L_{Conv} = \frac{V_E \cdot f_{chav}}{\Delta H_{Conv}} \quad (1)$$

Para o conversor (chaveado 1) que opera com a menor frequência, adotou-se f_{chav1} (frequência de chaveamento) de aproximadamente 2,5 kHz, histerese de aproximadamente 10% da corrente de pico e tensão de barramento 3% acima da tensão máxima de saída. Para o segundo conversor (chaveado 2) a frequência de chaveamento foi projetada para 20 kHz, a histerese foi reduzida em quatro vezes e os demais dados foram mantidos. No terceiro conversor (chaveado 3) a histerese foi reduzida a valores de modo que as perdas no amplificador linear resultem em valores menores do que 1% da potência de saída, resultando em uma frequência de aproximadamente 250 kHz.

Para a estimativa das perdas no amplificador linear utilizando-se a seguinte expressão:

$$P_{Linear} = \frac{V_E}{2} \cdot \Delta H_3 = 89,6 \text{ W} \quad (2)$$

Os valores obtidos são apresentados a seguir:

Tensão de barramento:	$V_E=640 \text{ Vcc}$
Tensão de saída:	$V_S=220 \text{ Vca}$
Potência de saída:	$P_S=10 \text{ kW}$
Indutância L_1 :	$L_1=4,5 \text{ mH}$
Indutância L_2 :	$L_2=2,25 \text{ mH}$
Indutância L_3 :	$L_3=1,13 \text{ mH}$
Histerese conversor 1:	$\Delta H_1=\pm 7 \text{ A}$
Histerese conversor 2:	$\Delta H_2=\pm 1,75 \text{ A}$
Histerese conversor 3:	$\Delta H_3=\pm 0,28 \text{ A}$

O valor calculado na equação 2 aproxima-se dos obtidos por simulação e representa aproximadamente 0,9% da potência de saída. Os valores de frequência

de chaveamento obtidos por simulação concordam com os valores de projeto.

5. Associação Híbrida Série

A seguir a associação série é avaliada em um circuito inversor. O circuito apresentado na figura 14 é uma alternativa derivada do circuito apresentado na figura 3.a. Na figura 3 as propostas eram simplificadas para a realização de conversores CC-CC. Nesta opção o circuito é duplicado e o estágio de saída pode trabalhar com correntes alternadas permitindo a realização de um inversor.

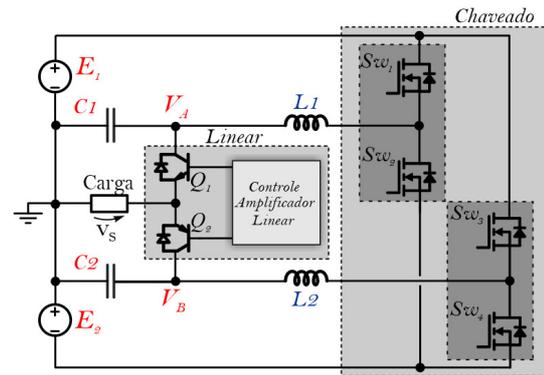


Fig. 14. Inversor chaveado-linear série.

Os sinais V_a , V_b e V_S obtidos por simulação são apresentados na figura 15.

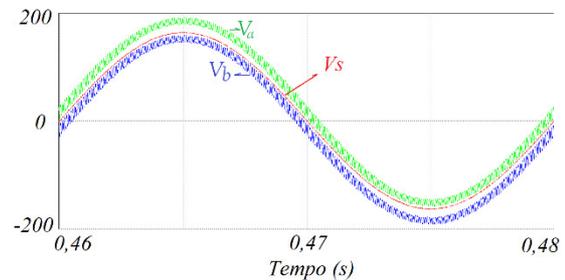


Fig. 15. - Sinais V_a , V_b e V_S para carga resistiva.

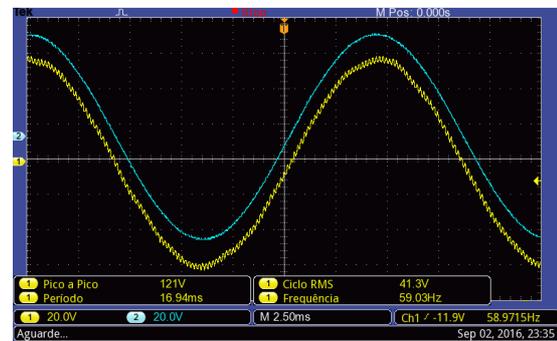


Fig. 16. - Resultados experimentais para carga resistiva, V_S em azul e V_b em amarelo.

Observa-se na figura 15, os resultados experimentais. As duas tensões demonstradas são as formas de onda da tensão na saída do filtro, em amarelo, e a

forma de onda da tensão de saída após o conversor linear, em azul. Além de minimizar as ondulações de alta frequência, o sistema elimina as distorções provocadas por harmônicas presentes na saída do inversor.

Utilizou-se a referência (Vidor e outros, 2016) para o projeto do sistema. Estimou-se uma perda no amplificador linear em torno de 1% para uma carga máxima de 5kW. A experimentação apresentou perdas ao redor de 4% para uma potência de saída de 1,2kW.

6. Conclusões

Este artigo apresenta associações entre conversores chaveados e lineares em série e paralelo, avaliando os mesmos em aplicações CC-CC e CC-CA. Algumas estruturas são simuladas e resultados experimentais são apresentados para comprovar o estudo realizado. Propostas de associações em série como em paralelo são estudadas e realizadas. Em ambas as associações, o objetivo de integrar os amplificadores lineares é cancelar a ondulação na tensão de saída. A grande vantagem destas estruturas é a redução das perdas no amplificador linear e a produção de um sinal de saída de alta qualidade.

Dentre as contribuições apresentadas salienta-se a excelente resposta dinâmica nos sinais de saída, o cancelamento de harmônicas e em algumas associações paralelas, a possibilidade de suprimir o capacitor de filtro. A retirada do capacitor de filtro contribui para o incremento da vida útil do conjunto. Além dessas contribuições, o presente trabalho mostra conversores que atendem as exigências estabelecidas em aplicações de alta qualidade como amplificadores de áudio, sistemas de calibração e equipamentos de teste.

Nos conversores em paralelo fica mais evidente a possibilidade de operar com potências elevadas, mas esta característica também é obtida na associação em série. Portanto os conversores mostrados no presente trabalho são interessantes em aplicações que exigem altas potências, excelentes respostas dinâmicas e redução dos filtros de saída, mantendo-se a qualidade do sinal gerado.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES-Brasil pela assistência financeira durante a execução deste trabalho.

Referências

- Beltrame, R.C. ; da Silva Martins, M.L. ; Rech, C. ; Hey, H.L.; " Hybrid Power Amplifiers – A Review", Brazilian Power Electronics Conference - COBEP, pp. 189 - 195, 2011.
- García, Herminio Martínez, " Application of modified current-mode one-cycle control in a linear-assisted DC/DC regulator", 2015 IEEE 13th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Year: 2015, Pages: 1561 - 1566, INDIN 2015.
- Vidor, Dalton L. R.; Rosa, Everton; Rigo, Nataniel; Pinheiro ,José Renes, "A Switched-Linear Series

Converter", 12th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications – Induscon 2016, pages 1-6, November, 20-23, Curitiba - Brazil, 2016.

Da Silva, G.S., Beltrame, R. C.; Schuch, L. and Rech, C., "Hybrid AC Power Source Based on Modular Multilevel Converter and Linear Amplifier", in IEEE Trans. Power Electron., vol. 30, no. 1, pp. 216–226, Jan. 2015.

Jeong, Jae Hoon; Kim, Gue Hong; Min, Byeong Rok; Ahn, Hong, Che; Cho, Gyu Hyeong; "A high efficiency class A amplifier accompanied by class D switching amplifier"; Power Electronics Specialists Conference, vol. 2, pp 1210-1216, PESC '97 Record., 28th Annual IEEE, 1997.

Gong, Guanghai; Ertl, Hans and Kolar, Johann W., "Novel Tracking Power Supply for Linear Power Amplifiers", IEEE Trans. Ind. Electron. vol. 55, no. 2, pp. 684–698, Feb. 2008.

Chiesi, Lorenzo, Lorenzani, Emilio, Franceschini, Giovanni and Bellini, Alberto, "Modeling of a parallel hybrid power audio amplifier", IECON 2006 - 32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics, Pages: 1775 - 1780, 2006.

Walker, Geoffrey R., " A Class B Switch-Mode Assisted Linear Amplifier", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 18, no. 6, november 2003.

Hassler, G. Gong, D. and Kolar, J., "Comparative study of multi-cell amplifiers for ac power source applications," IEEE Trans. Power Electron.,vol. 26, no. 1, pp. 149–164, Jan. 2011.

Chung, H. S.; Wang, H.; Blaabjerg, F. and Pecht, M., "Reliability of Power Electronic Converter Systems", The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 2016.

Vidor, Dalton L. R.; Rosa, Everton; Rigo, Nataniel; Pinheiro ,José Renes, "Contribuição ao Estudo de Conversores Híbridos", Sepoc 2017 – 0113 - 10th Seminar on Power Electronics and Control, October 22nd and 25th, Technology Center of the Federal University of Santa Maria, Santa Maria, Brasil, 2017.