

MAPEAMENTO TECNOLÓGICO REFERENTE AOS CONVERSORES AUTOCOMUTADOS POR MEIO DE DOCUMENTOS PATENTÁRIOS

Arthur Aprígio de Melo^{1,2}; Friedrich-Alexander²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, IFPB, João Pessoa, PB, Brasil. (arthurmelo92@gmail.com)

²Universität Erlangen, Nürnberg, FAU, Erlangen, Alemanha.

Rec.: 25.07.2014. Ace.: 25.01.2015

RESUMO

A evolução do mercado energético atrelada à crescente demanda energética implicou no aparecimento de novas topologias de conversores eletrônicos e tecnologias de semicondutores. Neste contexto foram desenvolvidos os conversores autocomutados, nos quais a comutação ocorre independentemente da fonte externa do circuito e parâmetros do sistema, sendo praticamente instantânea. Este estudo buscou realizar um mapeamento tecnológico para avaliar o panorama mundial da proteção de tecnologias relacionadas aos conversores autocomutados, investigando a evolução temporal dos depósitos de patentes, os países de origem dos depósitos, além dos requerentes. No trabalho, foram analisadas 516 patentes depositadas no período de 2000 a 2015, extraídas da base do European Patent Office (EPO).

Palavras chave: Conversor Autocomutado. Patente. Mapeamento Tecnológico.

ABSTRACT

The energy market evolution faced to rising energy demand resulted in the emergence of new electronic converter topologies and semiconductor technologies. In this context the self-commutated converters have been developed, in which switching occurs independently of external power supply circuit and system parameters, and practically instantaneous. This study aimed conduct a technological mapping to evaluate the global panorama of protection related to self-commutated converter technologies, investigating the temporal evolution of patent applications, the countries of origin for deposits and the applicants. This work analyzed 516 patents in the period from 2000 to 2015, on the data basis of the European Patent Office (EPO).

Keywords: Self-Commutated Converter. Patent. Technological Mapping.

Área tecnológica: Conversão de energia, conversores autocomutados.

INTRODUÇÃO

O cenário energético global está mudando. A dependência de combustíveis fósseis e o aumento do seu preço têm contribuído para o desenvolvimento de fontes energéticas mais limpas e baratas. Nas últimas décadas, a comunidade científica tem devotado atenção especial às fontes renováveis de energias, sendo assim, foram desenvolvidos diferentes tipos de conversores eletrônicos para realizar a integração desses sistemas à rede elétrica. Por outro lado, sistemas eletrônicos de alta potência fazem-se necessários nas linhas de transmissão para garantir a transmissão e qualidade da energia (FREITAS et al., 2013; FRANQUELO et al., 2008). Tais fatores atrelados à crescente demandam energéticos implicaram no aparecimento de novas topologias de conversores eletrônicos e tecnologias de semicondutores.

Neste contexto, foram desenvolvidos os conversores autocomutados, que de acordo com Specovius (2013) podem ser definidos como:

Conversores para conversão de correntes DC e AC usando dispositivos chaveados. As válvulas podem comutar sem linhas. Conversores autocomutados operam como inversores de potência com uma constante (ou seja, não depende da carga) tensão ou corrente impressa.

A comutação em conversores autocomutados ocorre independentemente da fonte externa do circuito e parâmetros do sistema, sendo praticamente instantânea. Isto requer a aplicação de dispositivos capazes de ter a frequência e o chaveamento modificados instantaneamente para prover uma tensão e/ou forma de onda de corrente específica (ARRILLAGA et al, 2010).

Os conversores autocomutados podem ser projetados para todos os tipos de conversão de energia elétrica e para o fluxo de energia em uma ou ambas direções. As topologias de conversores autocomutados mais comuns são conversores de dois e três níveis, e conversores multiníveis.

O conversor de dois níveis é a topologia mais simples de conversores fonte de tensão trifásica. Duas chaves são ligadas e desligadas de forma complementar gerando uma saída determinada de dois níveis de tensão discretos. A forma de onda AC bruta obtida contém elevado conteúdo harmônico (MOHAN; UNDLAND; ROBBINS, 2003).

Uma vantagem da topologia de três níveis, se comparada à topologia de dois níveis, é a taxa de variação de tensão pela metade com a mesma tensão do circuito intermediário. Este recurso gera melhorias no desempenho eletromagnético.

A Tendência para a geração de energia descentralizada associada à desregulamentação dos mercados energéticos internacionais contribuiu para o aumento da demanda por avançados sistemas eletrônicos de energia. Neste sentido, os conversores multiníveis com um número arbitrário de níveis de tensão parecem ser os tipos mais adequados, devido à necessidade de uma ligação em série de semicondutores em combinação com baixa distorção de tensão do lado da rede (RASIC; KREBS; HOLGER, 2009).

Os conversores autocomutados multiníveis apresentam como vantagem baixa distorção harmônica total, possibilidade de expansão para qualquer número de níveis de tensão e a utilização de dispositivos aprovados. Devido a essas propriedades os conversores autocomutados tornaram-se atrativos para indústria e, atualmente, pesquisadores de todo mundo estão investindo grandes esforços tentando melhorar o desempenho desses conversores.

Dessa forma, este trabalho tem por objetivo mapear e apontar os principais atores e a evolução temporal dos desafios tecnológicos apresentados pelas tecnologias que envolvem os conversores autocomutados, por meio da análise de documentos patentários.

METODOLOGIA

O mapeamento foi realizado com base nos documentos patentários extraídos da base de dados European Patent Office (EPO), em 27 de dezembro de 2015, onde se buscou recuperar todos os pedidos de patentes relacionados aos conversores autocomutados.

A estratégia de busca empregada para a recuperação dos dados consiste na combinação de algumas palavras chaves, formando a seguinte associação: ((self AND commutated) OR multilevel OR (modular AND multilevel)) AND convert*. Foram considerados os documentos que apresentaram esses termos no título e/ou resumo, pertencentes à subclasse H02M da Classificação Internacional de Patentes (CIP), depositados no período de 2000 a 2015.

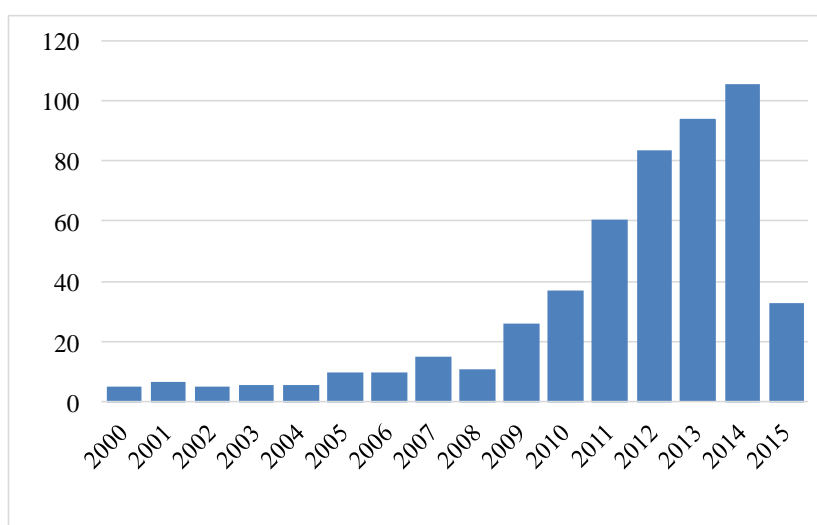
H02M - Aparelhos para conversão de corrente alternada em corrente alternada, de corrente alternada em corrente contínua, ou de corrente contínua em corrente contínua, e para uso com redes de distribuição de energia ou com sistemas similares de suprimento de energia; conversão de uma potência de entrada em corrente contínua ou corrente alternada em potência de saída de surto; controle ou regulação para os mesmos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a base de dados European Patent Office, aplicando-se a metodologia, foram encontrados 516 depósitos. Os valores a partir de 2013 podem estar incompletos, devido ao período de sigilo de 18 meses entre a data do depósito e a data de publicação, pois os documentos patentários só ficam disponíveis para consulta após o período de sigilo; e também devido a 30 meses que o Tratado de Cooperação de Patente (PCT) tem para dar entrada na fase nacional a partir da data de depósito, pois estes pedidos só ficam disponíveis nas bases nacionais a partir da publicação na fase nacional, mas mantêm a data de depósito do pedido PCT (MARTINEZ; MELO; REIS, 2013).

A evolução temporal dos pedidos relacionados aos conversores autocomutados é mostrada na Figura 1. Identifica-se um relevante aumento no número de depósitos a partir do ano 2009. Os documentos patentários relativos ao período entre 2009 e 2015 correspondem a 85,47% do total de patentes recuperadas, indicando a busca por novas tecnologias nos últimos anos.

Figura 1 - Evolução temporal dos documentos patentários depositados relacionados aos conversores autocomutados



Fonte: Autoria própria, 2015.

Em 1997 foi realizado o projeto Hellsjön, que pela primeira vez testou conversores fonte de tensão em um sistema de transmissão (ASPLUND et al, 1998). Desde então grande parte dos conversores autocomutados eram baseados na topologia de dois níveis, que além de ser a mais simples possui alta distorção harmônica total, sendo necessário o uso de filtros.

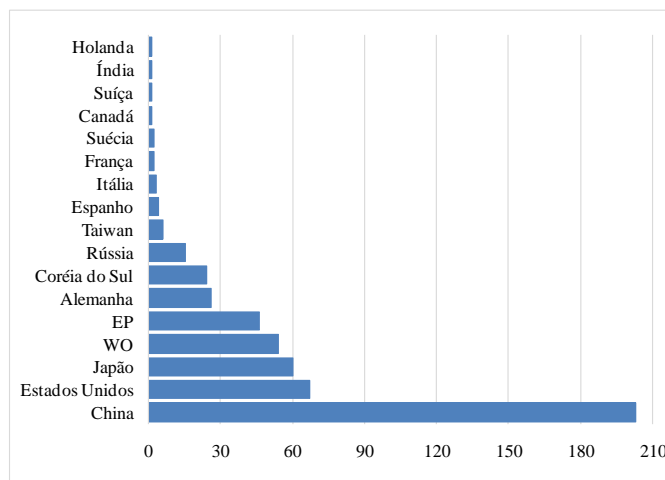
O primeiro conversor multinível aplicado à sistemas de alta tensão foi proposto por Marquardt em 2003. Entretanto, a primeira aplicação comercial foi realizada em 2010 nos Estados Unidos na cidade de São Francisco, por meio do projeto Trans Bay Cable (WESTERWELLER et al, 2010; LESNICAR; MARQUARDT, 2003). O crescimento das aplicações comerciais do conversor autocomutados, impulsionado por suas vantagens, estimulou também a proteção da tecnologia, justificando o crescimento do número patentes depositadas a partir de 2009. Enquanto a queda do número de depósitos, em 2015, pode ser justificada pelo período entre o depósito e a publicação da patente, no qual os documentos são avaliados em sigilo.

Se comparados às outras topologias de conversores autocomutados, o conversor multinível apresenta diversas vantagens, dentre as quais se destaca o baixo conteúdo harmônico. Isto tem tornado estes conversores cada vez mais populares nos últimos anos, ao mesmo passo que a indústria e a comunidade científica concentram esforços tentando melhorar seu desempenho. Tais pesquisas têm objetivado, por exemplo, a simplificação do controle, o aprimoramento dos algoritmos para reduzir a distorção harmônica total nos sinais de saída, o balanceamento de tensão do capacitor DC, e da ondulação de corrente.

Além disso, é notória a utilização de conversores autocomutados para integração das fontes renováveis de energia à rede elétrica, especialmente nos sistemas de energia eólica *offshore*, que comumente utilizam o conversor modular multinível. Sendo assim, o mercado de conversores autocomutados tem crescido rapidamente nos últimos anos, de modo a justificar o também crescente número de depósitos de patentes.

Ao analisar a origem dos pedidos de patentes, considerando a prioridade do documento, ou seja, o primeiro depósito do pedido de patente de invenção se destaca, conforme a Figura 2, os escritórios da China (39,34%), Estados Unidos (12,98%), Japão (11,63%) totalizando juntos 63,95% de todos os pedidos protocolados. Outros 29,07% foram originários da Organização Mundial de Propriedade Intelectual (10,47%), Escritório Europeu (8,91%), Alemanha (5,04%) e Coreia do Sul (4,65%). Os 6,98% restantes são pedidos protocolados por 10 diferentes nacionalidades, onde destaca-se a Federação Russa, com 15 pedidos protocolados.

Figura 2 - Escritórios de depósito dos documentos patentários

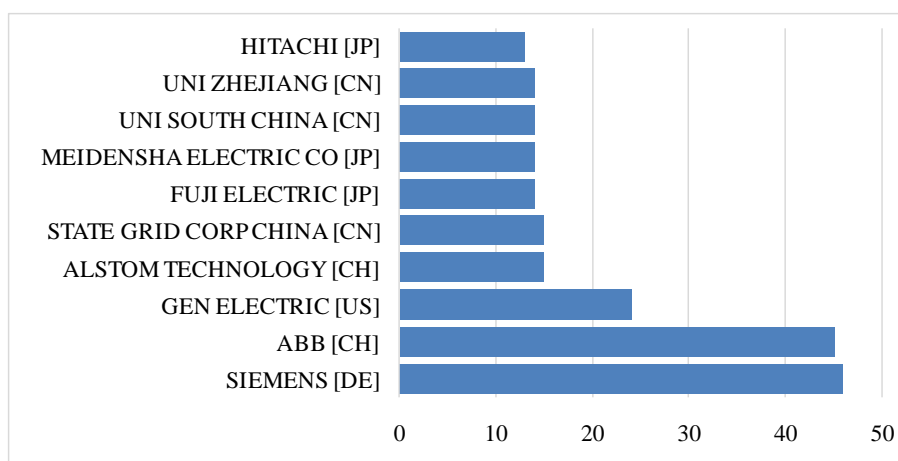


Fonte: Autoria própria, 2015.

Verifica-se, portanto uma distribuição concentrada dos depósitos dos documentos prioritários de patentes, revelando-se uma concentração da Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para tecnologias relacionadas aos conversores autocomutados, no continente Asiático, Europeu e nos Estados Unidos, ressaltando-se a necessidade dos países da África, América Latina e Oceania, investirem mais em P&D e na proteção intelectual.

A Figura 3 mostra os principais depositantes de patentes relacionadas aos conversores autocomutados. A empresa Siemens AG que aparece como detentora do maior número de patentes, com 46 depósitos, é um conglomerado alemão que possui 7 divisões e atua principalmente nos setores de energia, indústria e medicina, sendo considerado o maior da Europa, além de estar presente em 190 países. Logo em seguida, com 45 depósitos, surge a ABB que é baseada na Suíça, atuando nos setores de energia e automação em aproximadamente 100 países. Destacam-se ainda a gigante norte americana General Electric (24) e as japonesas Fuji Electric (14) e Hitachi (13).

Figura 3 - Depositantes dos documentos patentários relacionados aos conversores autocomutados



Fonte: Autoria própria, 2015.

Observa-se que a distribuição é pulverizada, uma vez que os 10 principais depositantes detêm apenas 41,47% do total de patentes depositadas. Oito empresas dividem o ranking de maiores depositantes, indicando que os principais atores são entidades com fins lucrativos, consolidando a idéia de uso comercial da tecnologia, além do esforço constante no setor de P&D para o desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas aos conversores autocomutados.

No ranking figuram ainda duas instituições científicas, a Universidade de Zhejiang (14) e a Universidade de Tecnologia do Sul da China (South China University of Technology) (14), enquanto a Universidade de Zhejiang teve o seu primeiro depósito realizado no ano de 2010, todos os depósitos patentários da Universidade de Tecnologia do Sul da China foram realizados em 2014, revelando o crescente interesse da comunidade acadêmica.

CONCLUSÃO

Este artigo apresentou um mapeamento tecnológico por meio da análise de patentes. Foram recuperados 516 documentos patentários por meio de consulta ao banco de dados do European Patent Office. Os dados apontam para um crescimento relevante a partir do ano de 2009, que possui mais que o dobro de depósitos com relação ao ano anterior. Tal crescimento é resultado da busca pelo aprimoramento das características dos conversores autocomutados, como o valor de distorção harmônica total na forma de onda do sinal de saída.

Verifica-se que as tecnologias estão concentradas no continente Asiático, Europeu e nos Estados Unidos, uma vez que China (39,34%), Estados Unidos (12,98%), Japão (11,63%), Organização Mundial de Propriedade Intelectual (10,47%), Escritório Europeu (8,91%), Alemanha (5,04%) e Coréia do Sul (4,65%) totalizam juntos 93,02% de todos os pedidos protocolados. E os 6,98% restantes estão divididos entre países europeus e asiáticos.

Com relação aos depositantes observa-se uma distribuição pulverizada, com destaque para os requerentes: Siemens AG (8,91%), ABB (8,72%) e General Electric (4,65%). Observa-se que os principais autores do setor são entidades com fins lucrativos e com atividades no setor de energia e indústria. Destaca-se também o papel da comunidade científica no setor por meio da Universidade de Zhejiang e da Universidade do Sul da China, que juntas correspondem a 5,43% dos depósitos.

PERSPECTIVAS

Desde o projeto Hellsjön no final do século XX até os dias atuais os conversores autocomutados evoluíram de uma tecnologia emergente para uma solução bem estabelecida e atraente para os dispositivos de alta e média potência. Este fato deve-se, em especial, ao advento da topologia de conversor multinível que tem se mostrado uma solução otimizada para o mercado de energia.

Espera-se que nos próximos anos a iniciativa privada continue incentivando e financiando pesquisas, objetivando, por exemplo, a simplificação do controle, o aprimoramento dos algoritmos para reduzir a distorção harmônica total nos sinais de saída, o balanceamento de tensão do capacitor DC e da ondulação de corrente.

O investimento no desenvolvimento de novas tecnologias de conversores atrelado às atuais tendências tecnológicas e desafios do mercado de energia elétrica, como os sistemas de geração distribuída e a crescente utilização das fontes alternativas de energia, abrirem novo leque de aplicações.

Os resultados do mapeamento tecnológico corroboram com a idéia de que os conversores autocomutados, com destaque para os novos conversores multiníveis são a aposta tecnológica do mercado para as atuais e futuras aplicações de energia.

REFERÊNCIAS

ARRILLAGA, J.; LIU, Y. H.; WATSON, N. R.; MURRAY, N. J. **Self-commutating Converters for High Power Applications**. Chichester: John Wiley & Sons Ltda, 2010. 324 p.

ASPLUND, G.; ERIKSSON, K.; JIANG, H.; LINDBERG, J.; PALSSON, R.; SVENSSON, K. **DC Transmission Based On Voltage Source Converters**. CIGRÉ Session, Paris, 1998.

FRANQUELO, L. G.; RODRÍGUEZ, J.; LEON, J. I.; KOURO, S.; PORTILLO, R.; PRATS, M. A. M. The Age of Multilevel Converters Arrives. **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 2, n. 2, Junho, 2008. p. 28-39.

FREITAS, I. S.; MEIRA, M. C.; GOMES, Z. M.; MELO, A. A.; AZEVEDO, C. C.; SALVADORI, F. **Applied Control Strategy in a Micro System Interconnected Between a Renewable Energy Source and a Single-Phase Electric Power**. In: 12th Power Electronics Conference (COBEP). Brasil: IEEE, October 2013. p. 1029-1033.

LESNICAR, A.; MARQUARDT, R. **An innovative modular multi-level converter topology for a wide power range.** In: IEEE Power Tech Conference, Bologna, Italy, June 2003.

MARTINEZ, M. E. M.; MELO, A. A.; REIS, P. C. **Technological Mapping of the Photovoltaic Solar Energy Industry by Patent Documents Deposited in Brazil.** In: International Conference on Information Resources Management, 2013. Natal. Proceedings paper 45.

MOHAN, N.; UNDELAND, T. R.; ROBBINS, W. P. **Power Electronics: Converters, applications and design.** 3 ed. Hoboken: John Wiley & Sons Ltda, 2003. 824 p.

RASIC, A.; KREBS, U.; LEU, H. **Optimization of the Modular Multilevel Converters Performance using the Second Harmonic of the Module Current.** In: 13th European Conference on Power Electronics and Applications. Barcelona: IEEE, September 2009. p. 1-10

SPECOVIUS, J. (2003) **Grundkurs Leistungselektronik.** 6 ed. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2013. 378 p.

WESTERWELLER T.; FRIEDRICH, K.; ARMONIES, U.; ORINI, A.; PARQUET, D.; WEHN, S.; Trans **Bay cable – world's first HVDC system using multilevel voltage-sourced converter.** In: CIGRÉ Session, Paris, 2010.