SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

Versão 1.0
XXX.YY
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO IV
GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA CA E CC - GAT

PERSPECTIVAS DA UTILIZAÇÃO DE FONTES CONVERSORAS DE TENSÃO EM APLICAÇÕES NOS SISTEMAS DE TRANSMISSÃO CA E CC

André Luiz Pereira de Oliveira (*)
SIEMENS AG

Mario Nelson Lemes
SIEMENS Ltda.

Carlos Eduardo Tibúrcio
SIEMENS AG

Dietmar Retzmann
SIEMENS AG

RESUMO

O objetivo deste informe técnico é apresentar a utilização das Fontes Conversoras de Tensão (*Voltage-Sourced Converters – VSC*) para Sistemas de Transmissão em Alta Tensão em Corrente Alternada (EAT-CA) e Corrente Contínua (EAT-CC). As aplicações para EAT-CA (*Flexible AC Transmission Systems – FACTS*) e EAT-CC (*High Voltage Direct Current – HVDC*) são descritas, assim como a nova tecnologia Conversor Modular Multinível (*Modular Multilevel Converters – MMC*). O informe técnico apresenta as perspectivas e os benefícios da utilização das *VSC* para a melhoria do desempenho dos sistemas de transmissão de energia.

PALAVRAS-CHAVE

Fontes Conversoras de Tensão, Conversor Modular Multinível, Transmissão em Alta Tensão CA e CC, Eletrônica de Potência, Interconexão de Sistemas Isolados.

1.0 - INTRODUÇÃO

As restrições ambientais possuirão cada vez mais um papel importante no desenvolvimento de sistemas de transmissão de energia. Entretanto, em relação a segurança do sistema, problemas específicos são esperados quando energias renováveis como grandes gerações eólicas devem ser integradas no sistema de transmissão de energia, particularmente quando as conexões com a corrente alternada são fracas e quando não existe capacidade de reserva suficiente nos sistemas circunvisinhos. No futuro, uma parte crescente da capacidade de geração instalada será conectada em níveis de distribuição, o que irá resultar em desafios adicionais ao planejamento e operação segura dos sistemas de transmissão. A eletrônica de potência será necessária para o controle do fluxo de carga, redução das perdas na transmissão e evitar vários problemas possíveis [1].

As aplicações para Sistemas de Transmissão em Alta Tensão em Corrente Alternada (EAT-CA), os *Flexible AC Transmission Systems (FACTS)*, e para Sistemas de Transmissão em Alta Tensão em Corrente Contínua (EAT-CC), o *High Voltage Direct Current (HVDC)*, proporcionam características essenciais para evitarmos problemas técnicos nos sistemas de transmissão de energia. Eles aumentam a capacidade de transmissão e estabilidade do sistema de uma maneira muito eficiente e ajudam na prevenção de distúrbos em cascata [2, 3, 4].

HVDC e *FACTS* baseados na tecnologia de conversores comutados por corrente possuem uma história longa e de sucesso na transmissão de energia. Os tiristores são a chave desta topologia de conversão e eles alcançaram um alto grau de maturidade devido à sua robustêz e alta confiabilidade. Entretanto é válido mencionar que os conversores comutados por corrente possuem algumas restrições técnicas. Particularmente o fato de que a comutação dentro do conversor é comandada pelas tensões CA e necessitam de condições apropriadas de conexão com este sistema CA, assim como uma mínima potência de curto-circuito.

(*) SIEMENS AG / Energy Sector – Power Transmission Solutions
Freyeslebenstr. 1, ZIP CODE 91058 - Erlangen – Germany.
Tel: +49 (9131) 7-36175 – Fax: +49 (9131) 7-31550 – Email: andreluiz.oliveira@siemens.com

A eletrônica de potência com conversores auto-comutáveis, como as Fontes Conversoras de Tensão (*Voltage-Sourced Converters – VSC*), pode superar estas limitações e proporcionar características técnicas adicionais. Em muitas aplicações dos sistemas de transmissão e distribuição de energia as *VSC* têm se tornado um padrão para a conversão auto-comutável, e serão cada vez mais utilizadas no futuro. As *VSC* não necessitam de nenhum sinal de tensão do sistema pois podem produzir uma tensão CA trifásica através da tensão CC (capacidade *"Black-Start"*). Assim, no caso de transmissão em corrente contínua, a utilização do equipamento *HVDC Plus* utilizando *VSC* é a tecnologia mais adequada para a conexão de sistemas isolados, tais como gerações eólicas instaladas em alto mar a serem interligadas com o sistema de transmissão.

Desta forma, a maioria das *VSC* para aplicações em *HVDC* e *FACTS* são baseadas em conversores de dois ou três níveis. Entretanto, existe o fato de que *VSC* multiníveis proporcionam vantagens com relação ao desempenho dinâmico e impacto harmônico. Por estas razões, foi desenvolvida uma nova tecnologia de Conversor Modular Multinível (*Modular Multilevel Converters – MMC*), referenciados aqui como o *HVDC Plus* e *SVC Plus*, os quais proporcionam benefícios significativos às aplicações de transmissão em alta tensão.

2.0 - AS FONTES CONVERSORAS DE TENSÃO

A utilização de conversores comutados por corrente baseados em tecnologia tiristorizada tem sido padronizada em todas as aplicações para Sistemas de Transmissão em Alta Tensão em Corrente Contínua (EAT-CC), os *High Voltage Direct Current (HVDC).* Porém, esta topologia é marcada por seus harmônicos e alto consumo de energia reativa. Medidas como a utilização de filtros e bancos de capacitores têm sido utilizadas para reduzir estes efeitos. Por outro lado, estes conversores são marcados pelas baixas perdas operacionais, robustêz dos tiristores em relação às descargas assim como capacidade de sobrecarga. Desta forma, conversores comutados por corrente com tecnologia tiristorizada irão permanecer como a melhor solução para grandes transmissões de energia em projetos de *HVDC* no futuro.

Comparados com os conversores comutados por corrente, vantagens adicionais inerentes são obtidas pela utilização dos conversores auto-comutáveis. Neste tipo de topologia de conversão a comutação da corrente é independente da tensão na linha de transmissão. Isto é possível pois a comutação está puramente baseada na capacidade de chaveamento dos semicondutores de potência (como os *Insulated Gas Bypolar Transistor – IGBT*). Estes semicondutores ganharam importância nos últimos anos e, devido a sua confiabilidade, eles são mais comumente utilizados nas aplicações desafiadoras como tração/transporte e outros dispositivos industriais.

As Fontes Conversoras de Tensão (*Voltage-Sourced Converters – VSC*) são o tipo mais comum de conversores auto-comutáveis e assim se tornaram um padrão a ser utilizado nas aplicações anteriores. A possibilidade de controlar as potências ativa e reativa independentemente com rede fraca ou passiva proporciona uma atratividade para aplicações nos sistemas de transmissão e distribuição.

A maioria das *VSC* estão baseadas em tecnologia de dois níveis com controle *PWM (Pulse-Width Modulation)*. Isto implica que a tensão de conexão CA somente pode ser chaveada entre dois níveis possíveis, os quais são definidos pelo capacitor da conexão CC comum, conectado aos terminais CC. Através do controle *PWM* com altas freqüências de chaveamento (até níveis de kHz), a desejada tensão pode ser controlada e até mesmo alguns harmônicos de ordens mais baixas podem ser eliminados. A utilização em projetos de *HVDC* exige valores altos de tensão, os quais podem ser alcançados somente através de conexões em série de semicondutores de potência. Assim, todos os semicondutores dentro de uma mesma válvula têm de chavear simultâneamente nas freqüencias mencionadas. Isto resulta em pulsos "grandes e longos" na conexão do terminal CA, o que por sua vez resulta em um alto nível de interferência eletromagnética. Assim, medidas especiais como blindagem e filtragem são necessárias para conter estes efeitos adversos.

Algumas tentativas foram feitas e introduzidas pelas literaturas para reduzir estes efeitos através da utilização de um conversor multinível, o que resulta na redução das freqüências de chaveamento assim como na altura e declividade dos "passos de tensão". Estes conversores multiníveis são caracterizados por um número maior de possíveis níveis de tensão diferentes que podem ser aplicados aos terminais AC para alcançar uma forma de onda próxima da senoidal.

3.0 - A ABORDAGEM DA TECNOLOGIA CONVERSOR MODULAR MULTINÍVEL

Conforme mencionado anteriormente, as Fontes Conversoras de Tensão (*Voltage-Sourced Converters – VSC*) com conversores de dois ou três níveis produzem formas de onda de tensão que diferem sensivelmente das formas senoidais "limpas", sendo portanto necessária a utilização de equipamentos para a filtragem. A motivação para o desenvolvimento de conversores de múltiplos níveis é portando a possibilidade de que a tensão alternada gerada pelo conversor possa ser produzida através de pequenos incrementos, desta maneira a forma de onda resultante se aproximará bastante da desejada (forma senoidal), reduzindo assim os requisitos de tratamento desta grandeza.

Quanto mais níveis forem utilizados, menor será a produção de harmônicos e de ruídos de alta freqüência. Conversores com um grande número de níveis são então chamados de multiníveis (*Multilevel Converters*). Com a utilização de um grande número de níveis (módulos de semicondutores em série), a freqüência de chaveamento de cada semicondutor pode ser reduzida. Como cada evento de chaveamento produz perdas no semicondutor, a abordagem multinível contribui para uma significativa redução das perdas no conversor. A Figura 1 a seguir apresenta uma comparação entre as tecnologias com conversores de dois, três e multiplos níveis.

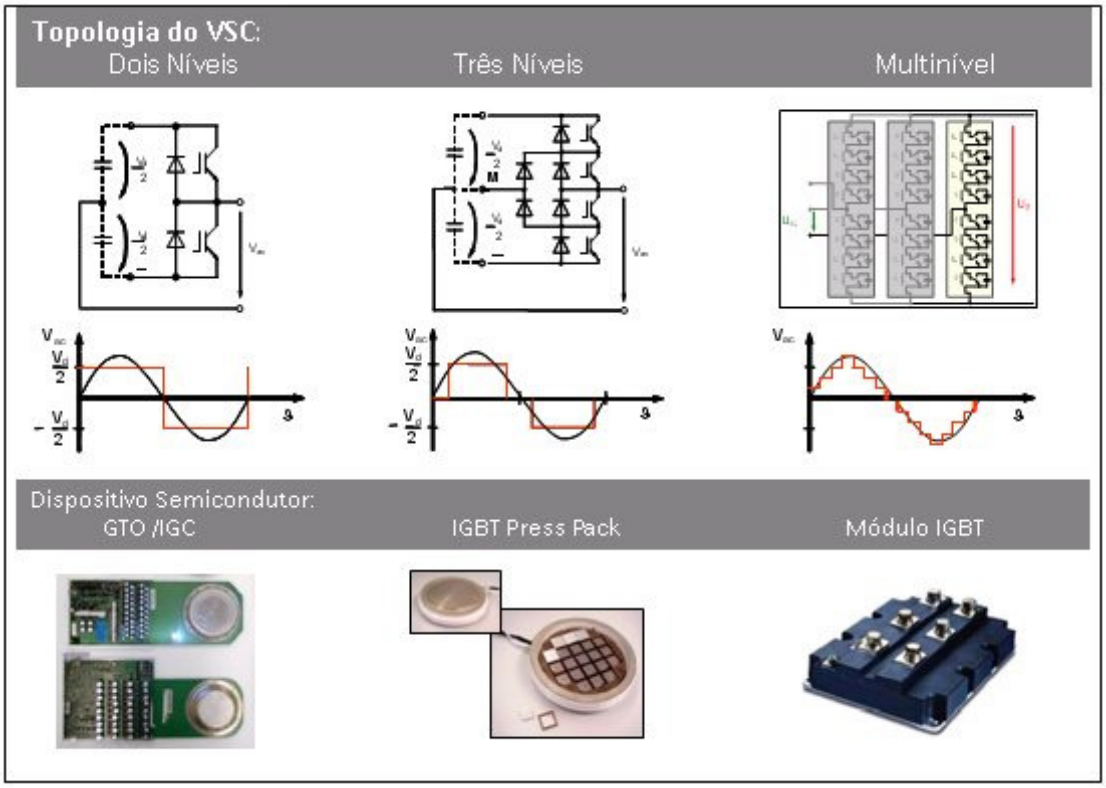


Figura 1 – Comparação entre as tecnologias de dois, três e múltiplos níveis e seus princípios

Diversas topologias com múltiplos níveis, tais como conversores à diodos de fixação (*Clamped Diodes Converter*) ou conversores com capacitores flutuantes (*Flying Capacitors*) foram propostas no passado e extensamente discutidas em diversas publicações. A topologia do Conversor Modular Multinível (*Modular Multilevel Converters – MMC*) representa uma nova abordagem para o tema [5].

Um *MMC* consiste de seis ramos de conversores, cada um deles com uma grande quantidade de módulos de potência (*Power Modules - PM*) e um reator conversor conectado em série. Os módulos de potência contém:

- *Insulated Gas Bypolar Transistors* (*IGBT*) em configuração de meia onda;
- Uma unidade capacitiva CC para armazenamento de energia.

A Figura 2 exibe a arquitetura de um módulo de potência e o arranjo dos ramos condutores em uma fase do *MMC*. Os componentes de eletrônica de controle dos semicondutores, bem como os elementos de supervisão da tensão dos capacitores e de comunicação com o sistema de controle foram omitidos para simplificar a ilustração.

Três diferentes estados são relevantes durante a operação do módulo de potência:

- "Energização" – Ambos os *IGBTs* bloqueados: este estado pode ser comparado à condição bloqueada de um conversor de dois níveis. Durante o carregamento, isto é, imediatamente após fechamento do disjuntor CA, todos os módulos de potência do conversor se encontram neste estado. Além disso, no evento de uma falha severa, todos os módulos do conversor são colocados neste estado, que não existirá durante operação normal. Quando a corrente fluir do pólo positivo CC em direção ao terminal CA durante este estado, ela carregará o capacitor. Quando a direção da corrente se inverter, ela será desviada do capacitor pelo diodo de *free-wheeling;*
- "Capacitor *ON*" – *IGBT* 1 disparado, *IGBT* 2 bloqueado: neste estado, a tensão do capacitor DC é aplicada aos terminais do módulo de potência qual seja a direção do fluxo de corrente. Quando a corrente fluir através do diodo ela carregará o capacitor, e quando ela inverter a direção, fluirá pelo *IGBT* 1 e; portanto, o capacitor vai descarregar;

• “Capacitor *OFF*” – *IGBT* 1 bloqueado, *IGBT 2* disparado: neste estado, a corrente fluirá ou pelo *IGBT* 2 ou pelo doido, dependendo de sua direção. De qualquer forma, a tensão nos terminais do módulo de potência será sempre zero (exceto pela tensão de condução dos semicondutores). A tensão do capacitor permanece inalterada.

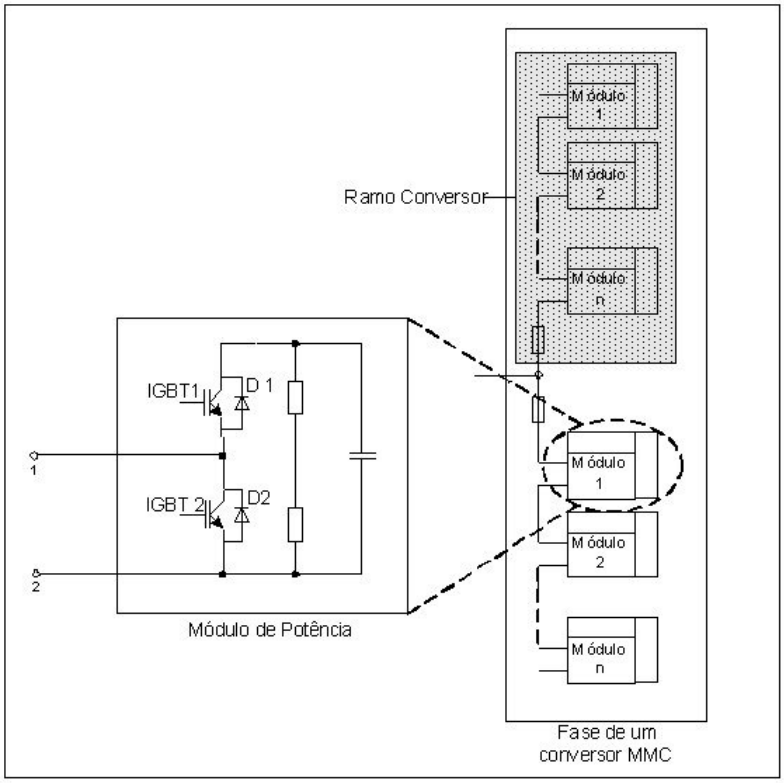


Figura 2 – Módulo de Potência (*PM*) e topologia dos ramos do conversor *MMC*

É possível controlar cada um dos módulos de potência individualmente, em todas as fases. Os dois ramos condutores de cada fase representam uma fonte de tensão controlável. A tensão total dos dois ramos conversores em cada fase se iguala à tensão CC e ajustando-se a relação entre as tensões em cada um dos ramos de uma fase obtém-se a tensão CA senoidal desejada.

Ainda que se utilizem as mais meticulosas práticas de engenharia, incluindo testes exaustivos, existe a possibilidade de falha esporádica de componentes. No entanto, nenhuma contingência simples deve impedir a operação do sistema. No caso de um Sistemas de Transmissão em Alta Tensão em Corrente Contínua (os *High Voltage Direct Current - HVDC)*, isto significa que não deve haver interrupção na transmissão de energia e que os equipamentos devem continuar em operação segura até que se possa efetuar um desligamento para manutenção.

Assim sendo, módulos de potência redundantes são integrados ao conversor e, ao contrário do que ocorria nos esquemas de redundância até então empregados, a perda de qualquer módulo do conversor não sujeitará os módulos restantes a tensões maiores. A inclusão de módulos de potência redundantes traduz-se portanto no mero incremento da quantidade destes componentes. Durante operação normal, os módulos redundantes simplesmente não contribuirão para a produção de tensão. Caso um dos módulos em operação falhe, este defeito será detectado, o módulo será curto-circuitado por uma chave rápida de desvio (*bypass*) e o conversor continuará em operação sem qualquer interrupção.

Como em todas as topologias multinível é necessário garantir, com alguma tolerância, uma distribuição uniforme da tensão através dos capacitores CC do conversor. A solução para a topologia *MMC* aplicada aos *HVDC* e *FACTS* é o monitoramento periódico das tensões instantâneas em cada capacitor por uma unidade de controle central. Intervalos de menos de 100 µs entre duas leituras dessa tensão já podem ser obtidos pelos sistemas de controle existentes.

Devido ao fato de que a corrente flui nos dois sentidos nos ramos conversores durante um ciclo, tanto a carga quanto a descarga dos capacitores são possíveis. Com base na avaliação dos sinais lidos pelo controle, a seleção individual dos módulos de potência pode ser usada para equilibrar as tensões nos capacitores.

Do ponto de vista do circuito CC, a configuração apresentada assemelha-se à conexão paralela de três *VSC*: as três fases que geram todas as tensões CC desejadas. Durante operação em regime permanente, as fontes de

tensão são controladas de forma que um terço da corrente CC total seja alcançado em cada fase e uma divisão equilibrada de corrente CA seja obtida nas partes superior e inferior do conversor de cada fase. Cada uma das seis *VSC* reguláveis é concebida com um número de módulos de potência idênticos, mas individualmente controláveis (vide Figura 2). Na prática, todavia, a diferença entre os valores instantâneos das três tensões CC será muito pequena, devido ao número finito de níveis de tensão implementados.

Para reduzir as correntes de balanceamento entre as fases a valores bastante baixos por meio de métodos de controle adequados, reatores são instalados em série com cada ramo conversor. Estes reatores também desempenham papel decisivo na mitigação do efeito de faltas ocorridas na estação conversora, ou próximas a esta. Eles possibilitam que, ao contrário do observado nas topologias *VSC* até então empregadas, a taxa de elevação da corrente durante faltas críticas limite-se a algumas dezenas de amperes por microssegundo.

Estas faltas são detectadas rapidamente, e graças à taxa de elevação de corrente relativamente baixa, os *IGBT* podem ser desligados sob níveis de corrente abaixo dos críticos num esquema de proteção eficiente e confiável.

3.1 Descrição de uma ocorrência de falta muito interessante

No evento de um curto-circuito entre os terminais CC do conversor ou ao longo do sistema de transmissão, o gradiente de corrente excederá certo limiar nos ramos conversores e, dada a limitação na taxa de aumento da corrente descrita anteriormente, os *IGBT* poderão ser desligados durante alguns microssegundos antes que esta corrente se torne danosa. Porém, como em qualquer topologia de *VSC*, continuará existindo fluxo de corrente do sistema trifásico CA para a falta (através dos diodos de *free-wheeling*), de forma que a eliminação da falta só ocorrerá com a abertura do disjuntor CA.

Os diodos de *free-wheeling* utilizados em conjunto com os *IGBT* são de recuperação rápida, mas possuem baixa suportabilidade à corrente de surto. Durante uma ocorrência, estes diodos devem suportar a corrente de falta até a abertura do disjuntor, ou seja, por pelo menos dois ou três ciclos. Para a aplicação em *HVDC*, um dispositivo de proteção adicional reduz a carga sobre os diodos de *free-wheeling* até a abertura do disjuntor. Trata-se de um tiristor *press-pack* conectado em paralelo com o diodo, e disparado em caso de uma falta CC entre fases, conforme apresentado na Figura 3 a seguir. Como resultado, a maior parcela da corrente de falta circulará pelo tiristor, salvaguardando o diodo.

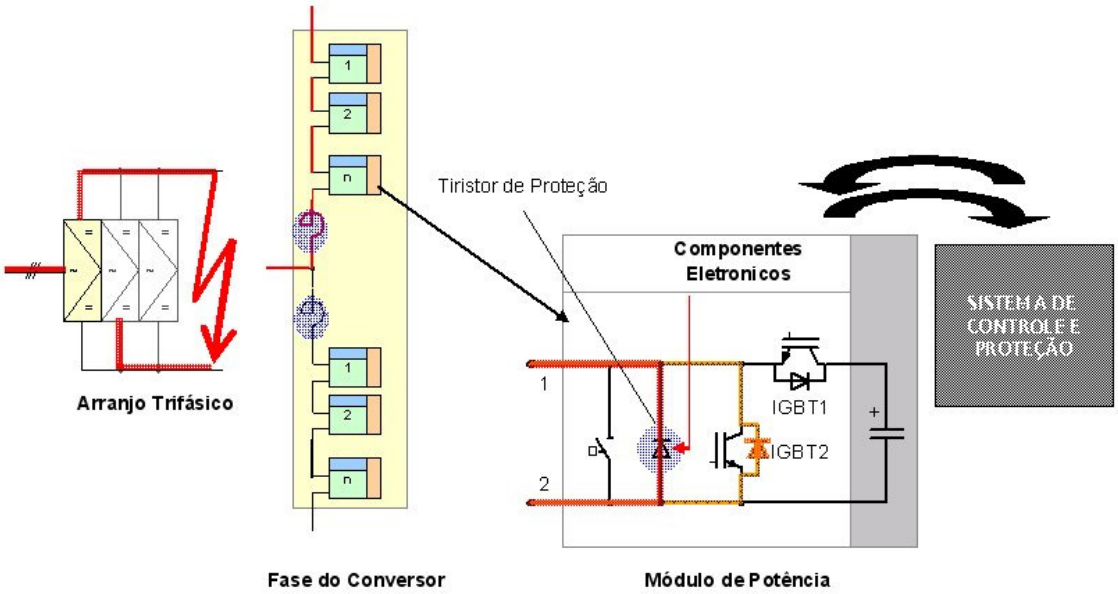


Figura 3 – Dispositivos de proteção do módulo de potência (*PM*)

Tiristores do tipo *press-pack* possuem uma capacidade inerente de suportar altas correntes de surto. Esta característica é útil também na aplicação em tecnologias convencionais de transmissão em corrente contínua (baseadas em comutação por corrente). Isto faz com que o *HVDC* baseado em *VSC* torne-se adequado até mesmo para a utilização em sistemas com linhas de transmissão aéreas, uma aplicação até então reservada somente aos conversores à tiristores.

Graças à sua construção modular, o *HVDC Plus* pode ser escalonado, de maneira a se adaptar facilmente a qualquer nível de tensão ou potência desejado. A quantidade requerida de módulos de potência pode ser organizada de diferentes formas, em arranjos verticais ou horizontais (e outros menos convencionais, conforme exigências específicas de projeto).

3.2 Controle dos Módulos de Potência

Cada módulo de potência é conectado através de duas fibras óticas à unidade de controle central, chamada de *PLUSCONTROL*. O sistema de controle dos módulos desempenha as seguintes funções:

- Cálculo das tensões apropriadas nos ramos conversores em intervalos regulares de microssegundos;
- Controle seletivo dos módulos de potência dependendo da direção do fluxo de potência e na tensão dos capacitores, para garantir a distribuição uniforme entre estas unidades capacitivas CC para armazenamento de energia.

Além das informações sobre as condições dos módulos de potência, a leitura de tensão instantânea em cada capacitor é transmitida ao sistema de controle via fibra ótica. No sentido contrário, sinais de disparo dos *IGBT* e outros sinais de controle são transmitidos, também através de fibra óptica, da unidade de controle aos módulos.

Algumas das principais características do *PLUSCONTROL* são:

- Construção em chassi de 19";
- Ampla possibilidade de modulação e escalonamento através da adição de novos cartões eletrônicos ou novos racks;
- Redundância, com chaveamento automático;
- Módulos e ventiladores podem ser substituídos com o equipamento em serviço;
- Interfaces de comunicação e controle para mais de 100 módulos de potência por rack;
- Altíssima capacidade de processamento.

O *PLUSCONTROL* é totalmente compatível com o sistema de controle *SIMATIC TDC*, amplamente utilizado em aplicações industriais e de transmissão (incluindo *HVDC* convencionais e *FACTS*).

Os seguintes pontos resumem as diferenças essenciais entre os *MMC* e os conversores de dois ou três níveis e as vantagens dos primeiros na aplicação em *HVDC*:

- Construção modular e alta capacidade de escalonamento, tanto dos componentes de potência como dos de controle, resultando em grande flexibilidade no projeto do *HVDC* (por exemplo, permitindo a instalação em salas de válvulas pequenas ou edifícios baixos);
- Durante operação normal, somente um módulo por ramo conversor é chaveado de cada vez, propiciando pequenos incrementos de tensão e forma de onda CA com pequenas ondulações, que por sua vez se traduzem em produção de harmônicos extremamente reduzida ou até nula;
- A baixa frequência de chaveamento dos *IGBT* resulta em redução das perdas de comutação. Como resultado, as perdas totais de sistemas com tecnologia *MMC* são menores que as associadas a sistemas com conversores de dois ou três níveis;
- A tecnologia *MMC* utiliza componentes com eficiência e confiabilidade comprovada, como os *IGBT*, que são amplamente utilizados em diversas aplicações como sistemas de tração industriais. A escolha de componentes padronizados com aplicação diversificada garante a disponibilidade destes componentes no longo prazo, bem como a melhoria contínua da tecnologia;
- As correntes e tensões observadas nas conversoras permitem o uso de transformadores CA padrão;
- O nível de potência, assim como o nível de tensão a serem alcançados são determinados essencialmente pelo desempenho do controle, isto é, o número de módulos de potência que o sistema de controle pode operar;
- Devido à eliminação de componentes como filtros de harmônicos, alta confiabilidade e disponibilidade podem ser alcançadas. Além disto, a eliminação de componentes e a construção modular permitem a instalação das estações conversoras em tempo reduzido, com ganhos em todas as fases do projeto.
- Com respeito à disponibilidade de peças de reposição, é perfeitamente possível substituir componentes existentes por tecnologia no estado da arte, uma vez que as características de chaveamento de cada módulo de potência são determinadas independentemente dos outros módulos. Esta é uma importante diferença entre os *MMC* e os conversores de conexão série direta (como no conversor a dois níveis, em que características de chaveamento quase idênticas em todos os elementos semicondutores devem ser asseguradas);
- Faltas internas e externas são tratadas de maneira eficiente e confiável, graças a robustêz e às rápidas respostas do sistema de proteção.

Graças a estas características, os *MMC* podem ser aplicados aos seguintes sistemas:

- Sistemas de transmissão por cabos. Neste caso, o uso de modernos cabos à extrusão (*XLPE*) torna-se possível, uma vez que a polaridade da tensão não se altera com a direção do fluxo de corrente;
- Linhas de transmissão aéreas, graças à capacidade de suportar curtos circuitos no sistema CC;
- Arranjos de *HVDC Back-to-Back* (*B2B*);

- Sistemas multi-terminais, cuja implementação é facilitada com a construção modular;
- *STATCOM* (com algumas limitações), por exemplo, caso o cabo ou a linha estejam fora de operação para manutenção. A aplicação da tecnologia *MMC* como *STATCOM* é especialmente útil em redes CA desequilibradas (por exemplo, na presença de grandes cargas monofásicas). A simetria do sistema trifásico pode ser assegurada com esquemas de controle de desequilíbrio.

As diversas possibilidades abordadas neste artigo abrem para a tecnologia *MMC* um amplo leque de aplicações, como por exemplo:

- *HVDC* com potências de até 1.000MW (atualmente, esta limitação de potência é determinada pela quantidade de módulos de potência que os sistemas de controle conseguem gerenciar paralelamente);
- Interconexão de sistemas isolados ou pequenas redes de transmissão e distribuição fracas;
- Interconexão à rede de fontes de energia renováveis, como parques eólicos *onshore* e *offshore*, ajudando a reduzir substancialmente emissões de CO_2;
- Alimentação elétrica de plataformas de petróleo a partir do continente, evitando a instalação de turbinas a gás ou outras formas de geração local de energia.

Além disto, devido a grande redução de tamanho quando comparada a um *HVDC* clássico, a tecnologia *MMC* possibilita a instalação do *HVDC Plus* em grandes cidades onde o espaço disponível sempre é escasso.

4.0 - CONCLUSÃO

A nova tecnologia Conversor Modular Multinível (*Modular Multilevel Converters – MMC*) é apresentada como a solução ideal para a utilização das Fontes Conversoras de Tensão (*Voltage-Sourced Converters – VSC*) para Sistemas de Transmissão em Alta Tensão em Corrente Alternada (EAT-CA) com os *Flexible AC Transmission Systems (FACTS*) e Sistemas de Transmissão em Alta Tensão em Corrente Contínua (EAT-CC) com os *High Voltage Direct Current (HVDC)*. Com a utilização da tecnologia *MMC* é possivel a conexão de linhas de transmissão aéreas sem a utilização de disjuntores CC, assim como a utilização em sistemas *HVDC* Multi-terminais com mais de duas estações conversoras. Seccionamentos e formações em aneis serão possíveis em um futuro próximo, até mesmo em redes de transmissão e distribuição CC completas em sistemas radiais [5].

Esta tecnologia *MMC* abrange uma gama extensa de aplicações. Próximo a conexões CC com potência de até 1.000 MW é possível a conexão de vários circuitos mais fracos (como por exemplo: redes isoladas de distribuição) e fontes de energia renováveis (como por exemplo: gerações eólicas em alto mar). Plataformas de extração de petróleo em alto mar podem ter o fornecimento de energia da costa realizado através de um *HVDC*, reduzindo assim o impacto ambiental destas instalações, evitando a instalação de geradores a diesel ou outras possibilidades de geração de energia que resultem na emissão de poluentes.

A tecnologia *MMC* foi desenvolvida inicialmente para a aplicação em *HVDC*. Em comparação com outras tecnologias de Fontes Conversoras de Tensão (*Voltage-Sourced Converters – VSC*), esta oferece benefícios adicionais, particularmente em relação às perdas operacionais, interferência eletromagnética e compactação da solução. A solução *HVDC Plus* está disponível atualmente para potências de 1.000 MW ou maiores.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] G. Beck, D. Povh, D. Retzmann, "Global Blackouts – Lessons Learned", em *Power-Gen Europe,* Itália, 2005.

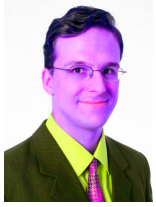
[2] L. Kirschner, D. Retzmann, G. Thumm, "Benefits of FACTS for Power System Enhancement", em *IEEE/PES T&D Conference*, Dalian - China, 2005.

[3] D. Ettrich, A. Krummholz, D. Retzmann, K. Uecker, "Prospects of HVDC & FACTS for Bulk Power Transmission and System Security", em *Eletrical Networks International Exhibition and Seminar*, Moscou - Russia, 2007.

[4] D. Retzmann, "Global Prospects of Bulk Power Transmission", em *Utility Automation & Engineering T&D*, Estados Unidos da América, 2008.

[5] J. Dorn, H. Huang, D. Retzmann, "A new Multilevel Voltage-Sourced Converter Topology for HVDC Applications", em *Cigré Session 2008*, Paris - França, 2008.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



André Luiz Pereira de Oliveira nasceu em São José do Rio Preto/SP em 1978. Engenheiro Eletricista pela EFEI - Escola Federal de Engenharia de Itajubá (Itajubá - MG) desde 2001. Obteve os títulos de Especialista em Proteção de Sistemas Elétricos e Mestre em Ciências (MSc) pela Universidade Federal de Itajubá (Itajubá - MG) em 2003 e 2007 respectivamente. Certificado pelo *Project Management Institute® - PMI®* dos Estados Unidos da América (USA) como *Project Management Professional (PMP®)* em 2004. Trabalhou de 2001 à 2008 na SIEMENS Ltda. e desde 2009 na SIEMENS AG (Alemanha) na área *Energy Sector – Power Transmission - Power Transmission Solutions (E T PS)* como Project Manager (PM). É responsável pelo fornecimento "*turn-key*" de Sistemas de Transmissão de Corrente Contínua (HVDC), Subestações de Alta Tensão, Sistemas de Proteção, Controle e Supervisão (SPCS) e Sistemas de Compensação de Reativos (FACTS), gerenciando contratos com empresas industriais e concessionárias do setor elétrico.

Mário Nelson Lemes é Gerente de Marketing e Vendas para Sistemas de Compensação de Reativos (FACTS) e Transmissão em Corrente Continua (HVDC) da Siemens Ltda, Brasil com atuação também na América Latina. É formado na UNIFEI (Universidade Federal de Engenharia de Itajubá, MG) em 1974.

Carlos Eduardo Tibúrcio nasceu em Itajubá, MG, em 31.01.1982. Graduou-se em engenharia elétrica com ênfases em sistemas de potência, telecomunicações e otimização de sistemas pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), em 2003, mesmo ano em que ingressou na Siemens, onde atuou por quatro anos no departamento de gerenciamento de projetos de FACTS. Durante este período, participou da implementação dos bancos de capacitores série de São João do Piauí, do 4o Circuito da Interligação Norte Nordeste e de Rio Verde.
Em 2007, transferiu-se para a Siemens AG (Alemanha), onde atua na área de vendas de dispositivos FACTS para América Latina e Canadá.

Dietmar Retzmann (1947), Cigré, VDE, graduado em engenharia elétrica na *Technische Hochschule Darmstadt*/Alemanha em 1974. Ele recebeu o título de Doutor (Dr. Ing.) da Universidade de Erlangen - Nuremberg em 1983. Dr. Retzmann está com Siemens (Erlangen – Alemanha) desde 1982. Atualmente, ele é diretor de Marketing Técnico & Inovações de *HVDC/FACTS* no setor *Energy – Power Transmission Solutions* (*E T PS*). Dietmar Retzmann é autor de várias publicações técnicas. Em 1998, foi convidado como professor para a Universidade de Tsinghua, Beijing, e em 2002 na Universidade de Zhejiang, Hangzhou, ambas na China. Desde 2004, ele dá conferências sobre *HVDC/FACTS* em Universidade de Karlsruhe na Alemanha.