



Grupo de Estudo de Análise e Técnicas de Sistemas de Potência-GAT

STATCOM Híbrido - Alternativa Viável aos Compensadores Estáticos no Cenário Brasileiro

MARCIO MAGALHAES DE OLIVEIRA(1); MIKAEL HALONEN(1);
ABB AB(1);

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo mostrar a possibilidade da topologia denominada STATCOM Híbrido, membro da família FACTS, combinando a configuração estado-da-arte do conversor de tensão de um STATCOM e ramos tradicionalmente conhecidas de um compensador estático. Este compensador híbrido pode cumprir com os requisitos técnicos incluídos no Anexo 6 dos editais da ANEEL, normalmente especificados para compensadores estáticos, podendo ser uma alternativa a estes. O STATCOM Híbrido apresenta baixa emissão de harmônicos, baixas perdas em 0 Mvar, alta disponibilidade e outros aspectos técnicos vantajosos discutidos ao longo do artigo.

PALAVRAS-CHAVE

FACTS, STATCOM, STATCOM Híbrido, Compensador Estático, conversor multinível.

1.0 - INTRODUÇÃO

O projeto de compensadores estáticos ou qualquer outro dispositivo FACTS similar requer na grande maioria dos casos, desempenho dinâmico em toda faixa de potência reativa para o qual o mesmo é projetado. Desta forma, banco de capacitores e reatores manobrados por disjuntores não são aceitos como parte de uma solução dinâmica, como é o caso da especificação para compensadores estáticos, incluída no Anexo 6 dos leilões de transmissão ANEEL.

Por outro lado, é verificado atualmente de forma global que a maioria das especificações referentes a compensadores FACTS de potência reativa deixa em aberto a escolha da tecnologia a ser oferecida. O próprio Anexo 6 referente a cada lote integrante dos leilões de transmissão ANEEL apresenta o seguinte texto (1): “A configuração básica supracitada constitui-se na alternativa de referência. Os requisitos técnicos deste anexo caracterizam o padrão de desempenho mínimo a ser atingido por qualquer solução proposta. Este desempenho deverá ser demonstrado mediante justificativa técnica comprobatória. A utilização pelo empreendedor de outras soluções, que não a de referência, fica condicionada à demonstração de que a mesma apresente desempenho elétrico equivalente ou superior àquele proporcionado pela alternativa de referência.” Vale ressaltar que a alternativa de referência no caso de compensação de potência reativa tem sido o compensador estático, utilizando os tiristores como dispositivos semicondutores.

A grande maioria dos equipamentos FACTS instalados no Brasil consiste em compensadores estáticos (CER). Como configuração básica do CER, tem sido requisitada uma topologia contendo pelo menos dois Reatores Controlados a Tiristores (TCR) e dois Capacitores Comutados a Tiristores (TSC), independentemente da faixa de potência especificada, podendo levar a soluções com baixo grau de otimização e menos econômicas.

Ao mesmo tempo, é observado no cenário mundial uma penetração cada vez maior da tecnologia STATCOM, baseada nos conversores fonte de tensão de comutação forçada (VSC) utilizando IGBT ou IGCT como dispositivos semicondutores. O estado-da-arte do STATCOM é representado pelo conversores multiníveis modulares (MMC) (2). Estes conversores apresentam uma série de vantagens sobre os CERs, como por exemplo:

- Melhor desempenho contra afundamentos de tensão no sistema
- Baixa emissão de harmônicos
- Menores perdas em torno de 0 Mvar
- Menor área de instalação
- Níveis de ruído sonoro reduzidos

Por outro lado, o CER tem um comportamento superior frente a sobretensões transitórias e temporárias, sem necessidade de sobredimensionamento da válvula de tiristores. No caso do STATCOM, o mesmo deve ser projetado, em particular sua válvula de IGBTs/IGCTs, para permanecer em serviço e absorver potência reativa quando da ocorrência destas sobretensões. O bloqueio das válvulas só tende a agravar o problema tanto para o sistema quanto para a própria válvula.

A grande maioria de compensadores estáticos instalados no mundo inteiro não é simétrica, ou seja a faixa indutiva não é igual à faixa capacitiva. Em sistemas de transmissão extensos sujeitos a problemas de regulação de tensão, como é o caso do SIN, os compensadores requisitam uma faixa de potência capacitiva maior que a indutiva.

Levando em consideração os aspectos mencionados anteriormente, o STATCOM Híbrido, de acordo com terminologia definida pelo IEEE (3) combina as tecnologias de compensadores estáticos e STATCOM. É uma tecnologia alternativa aos compensadores estáticos assimétricos e complementar ao STATCOM, já que utilizar apenas o STATCOM para cobrir toda faixa dinâmica leva a soluções sobredimensionadas e em muitos casos com custos elevados.

Este artigo apresenta os motivos que tornam o STATCOM Híbrido particularmente adequados para redes elétricas que enfrentam vários desafios, como por exemplo sistemas mais fracos e com ressonância em baixas frequências, um pouco maiores que a frequência fundamental (4). O documento também apresenta considerações relativas à resposta dinâmica, desempenho harmônico, perdas, disponibilidade e espaço físico do STATCOM Híbrido.

2.0 - CONVERSOR DE TENSÃO MULTINÍVEL

Por muitos anos, STATCOMs de alta potência utilizaram a topologia de conversores de tensão de três níveis, denominada NPC ("Neutral Point Clamped") (5). Para esse tipo de instalação, filtros harmônicos são instalados para evitar que os harmônicos gerados pelo STATCOM afetem negativamente a qualidade da energia na rede.

Avanços no desenho da tecnologia de conversores multiníveis possibilitaram a eliminação destes filtros na maioria dos STATCOMs baseados em conversores multiníveis.

O conversor multinível é construído conectando várias pontes-H em série para formar uma fase da válvula, ver Figura 1. Cada ponte é composta por quatro IGBTs e suas unidades de controle de chaveamento, seus respectivos diodos em antiparalelo e um capacitor CC. Para aplicações de STATCOM, não é necessária a conexão série de IGBTs. Utilizando-se teoricamente quatro pontes-H, obter-se-ia uma forma de onda com 9 níveis de tensão: 4 com tensão positiva entre U_{dc} e $4 \cdot U_{dc}$, 4 com tensão negativa entre $-U_{dc}$ e $-4 \cdot U_{dc}$ e uma nível com tensão zero. Adicionando-se um maior número de pontes-H, consegue-se uma forma de onda de tensão de saída do conversor bastante próxima à ideal em 60 Hz, ver Figura 1.

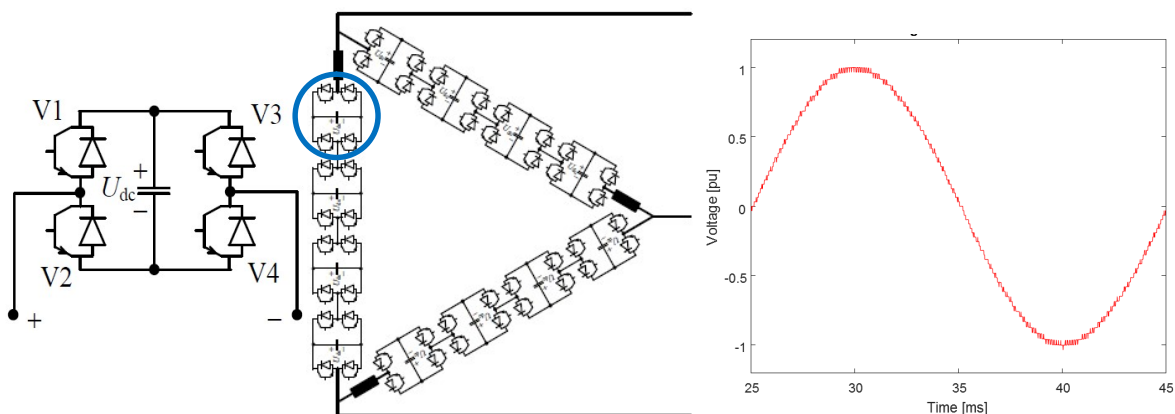


FIGURA 1 – Conversor multinível utilizando pontes-H completas em série.

O número de pontes-H conectadas em série é determinado principalmente com base na potência nominal do conversor, respeitando-se a corrente máxima do dispositivo semicondutor, mantendo os mesmos na faixa segura de operação (SSOA, "Switching Safe Operating Area") em que a comutação é permitida em ciclos de alta tensão e corrente, mesmo durante perturbações no sistema. Todavia, pontes-H adicionais podem ser necessárias, dependendo dos requisitos de sobretensão e distorção harmônica especificados (6).

Graças à simplicidade na configuração, exigindo um mínimo de componentes, o conceito do conversor multinível é modularizado. Em comparação com as versões anteriores de STATCOMs utilizando conversores de 3 níveis, a nova tecnologia multinível oferece uma maior flexibilidade e alcance dinâmico, como resultado de um projeto modular e escalonável do conversor. O conceito permite um alto grau de pré-fabricação e testes em fábrica, levando a uma melhor qualidade do produto e uma redução geral do tempo de execução do projeto.

2.1 Tecnologias Híbridas de Compensação Reativa

Na maioria das especificações de compensadores de potência reativa, a faixa de operação não é simétrica. No sistema brasileiro, a faixa capacitiva tem sido especificada aproximadamente duas vezes maior que a faixa indutiva. Adotar um STATCOM fornecendo potência reativa indutiva adicional ao sistema pode implicar em custos elevados à solução proposta.

O STATCOM Híbrido é uma alternativa neste casos, adicionando-se em paralelo com o conversor de tensão do STATCOM elementos comutados por tiristores TSC e TSR para atender o nível de potência reativa desejado nas regiões capacitiva e indutiva, respectivamente, ver Figuras 2-(a) e 2-(b). Observa-se que as ramas TCR, que fazem o controle fino de potência reativa em compensador estáticos, não fazem parte do STATCOM Híbrido, já que o conversor de tensão é responsável por este ajuste fino em toda a faixa dinâmica de controle de potência reativa.

Não há limitações no número de comutações do TSC e TSR. O controle do VSC é ajustado para suavizar os distúrbios no sistema ao se comutar um TSC ou TSR, utilizando-se do grau de liberdade adicional da tecnologia multinível, em que a troca de energia entre o conversor e a rede é feita individualmente por fase. O uso de ramas de capacitores e/ou reatores comutados mecanicamente por disjuntores para aumentar a faixa operacional é limitado a aplicações com requisitos dinâmicos comparativamente baixos em termos de tempo de reação e número consecutivo de comutações (7), ver Figuras 2-(c) e 2-(d). Ramas de capacitores ou reatores comutadas por disjuntores não fazem parte portanto da família de STATCOM Híbridos, além de sua utilização não ser permitida nos editais ANEEL para compensadores dinâmicos.

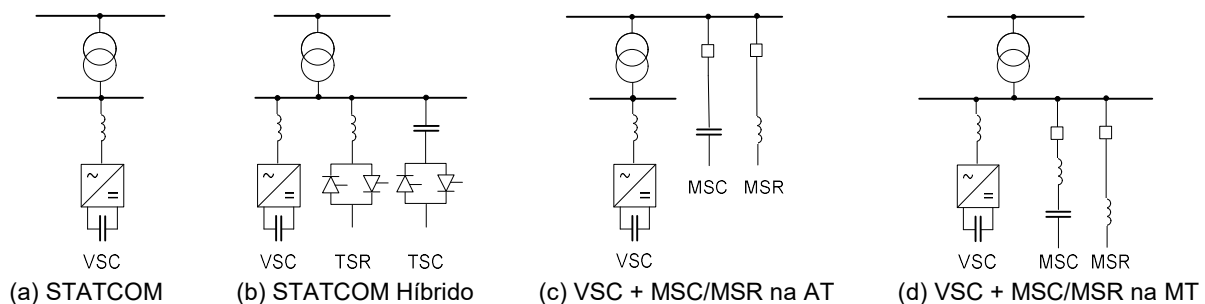


FIGURA 2 – Topologias de compensadores de potência reativa baseadas em conversores de tensão (VSC).

2.2 Diagramas Tensão-Corrente (V-I)

O diagrama V-I é uma ferramenta poderosa para avaliar o ponto de operação de um compensador frente a diferentes tensões na barra de alta, particularmente adequada para analisar as capacidades de suporte ao sistema frente a subtensões e sobretensões, ver Figura 3, onde correntes positivas indicam operação indutiva, isto é, absorção de potência reativa.

No caso de afundamentos de tensão, o STATCOM, ver Figura 3-(b), possui suporte de potência reativa capacitiva superior em comparação a um compensador estático, ver Figura 3-(a). Como o controle de corrente de um VSC é independente da tensão do sistema, a corrente permanece constante, ver Figure 3-(b), em baixas tensões até um certo limite em que as tensões no lado de média tensão fiquem muito baixas e inapropriadas para o sincronismo e chaveamento correto do conversor. Para um compensador estático, baseado em elementos passivos, quando o limite de susceptância capacitiva é atingido, a corrente diminui linearmente à medida que a tensão diminui.

Por outro lado, o compensador estático supera o desempenho de um STATCOM durante sobretensões no sistema, pois a corrente indutiva aumenta linearmente de acordo com a sobretensão no lado de alta, ver Figura 3-(a), quando a susceptância do compensador estático atinge seu limite máximo indutivo.

O STATCOM Híbrido apresenta um comportamento intermediário, ver Figura 3-(c), conseguindo aproveitar as vantagens do STATCOM no lado capacitivo (adicionando uma rama TSC) e do compensador estático no lado indutivo (adicionando uma rama TSR).

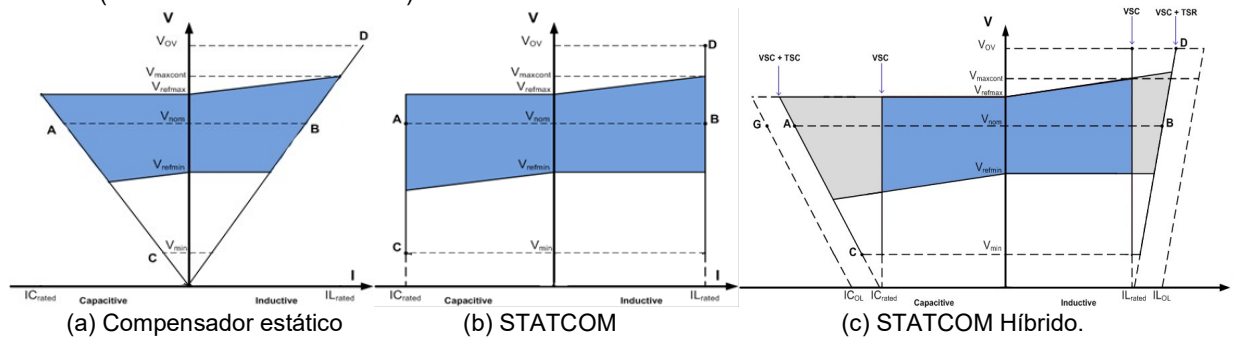


FIGURA 3 – Diagramas V-I para diferentes tecnologias de compensação reativa baseadas em FACTS.

3.0 - DESEMPENHO SISTÊMICO

Nos compensadores estáticos, ao se conectar uma rama TSC, oscilações podem aparecer, sendo amplificadas em sistemas fracos pelos filtros harmônicos. Este problema não existe em STATCOMs e pode ser evitado em um STATCOM Híbrido, dado o grau de controlabilidade do conversor de tensão, com controle rápido de corrente independente da tensão do sistema.

Em sistemas muito fracos, ou seja, com baixa potência de curto-circuito, os compensadores estáticos podem apresentar problemas de controle. Estes sistemas são cada vez mais presentes quando geração convencional tipo térmica e nuclear é substituída por fontes de energia renováveis baseadas na ausência de máquinas síncronas, como por exemplo energias eólica e solar. Neste casos, o STATCOM e o STATCOM Híbrido são as soluções mais recomendáveis.

3.1 Resposta ao Degrau

A resposta de um STATCOM Híbrido a um degrau na tensão de referência do regulador de tensão é apresentado nesta seção. Considera-se um STATCOM Híbrido formado por um VSC e um TSC com potências nominais de ± 170 Mvar e 230 Mvar, respectivamente, conectados a um sistema relativamente fraco em 500 kV, com potência de curto circuito de 1400 MVA. De forma a se obter uma variação significativa do ponto de operação do compensador, inicialmente operando em 0 Mvar, um degrau na tensão de referência de 0.9 a 1.05 p.u. é aplicado após $t=100$ ms, ver Figura 4, com estatismo de 3%.

Assume-se que os capacitores do TSC estão totalmente descarregados, o que representa a pior situação do ponto de vista de controle. Inicialmente, após o degrau na tensão de referência, o conversor de tensão aumenta sua corrente capacitiva até um determinado ponto de operação ótimo quando então o TSC é conectado, ver Figura 4-(d). Quando isto acontece, há um excesso de potência reativa no sistema e o conversor de tensão passa a operar indutivamente de maneira quase imediata. Pode ser observado que cada fase do VSC responde individualmente quando da conexão da respectiva fase da rama TSC, ver Figuras 4-(c) e 4-(d) e quando ocorre a conexão do TSC, as correntes do VSC e do TSC estão defasadas de 180° .

Utilizando uma estratégia de controle adequada para a conexão do TSC, obtém-se um tempo de resposta menor que dois ciclos, um sobrepasso menor que 10% e um tempo de estabelecimento menor que 100 ms, definidos de acordo com as normas internacionais (3,8), ver Figura 4-(e). O ponto de operação final do compensador apresenta um aporte de 200 Mvar ao sistema, ver Figura 4-(f).

Durante qualquer distúrbio no sistema, é extramente importante manter o balanço de tensão entre a soma total das tensões dos capacitores CC do conversor, ver Figure 4-(h) e entre os capacitores de todas as pontes-H que formam uma fase, o que requer um controle preciso e sofisticado.

3.2 Desempenho e Dimensionamento Harmônico

Como discutido anteriormente na seção 2.0, o conversor multinível pode fornecer uma forma de onda mais suave, isto é, contendo menos harmônicos, com uma frequência de chaveamento mais baixa em cada dispositivo formando a ponte-H, ver Figura 1.

O quinto e sétimo harmônicos, gerados pelo TCR em compensadores estáticos, não representam problema em um conversor multinível. Os harmônicos gerados por este tipo de conversor diminuem de amplitude e se movem para frequências mais altas, a partir do 30° harmônico.

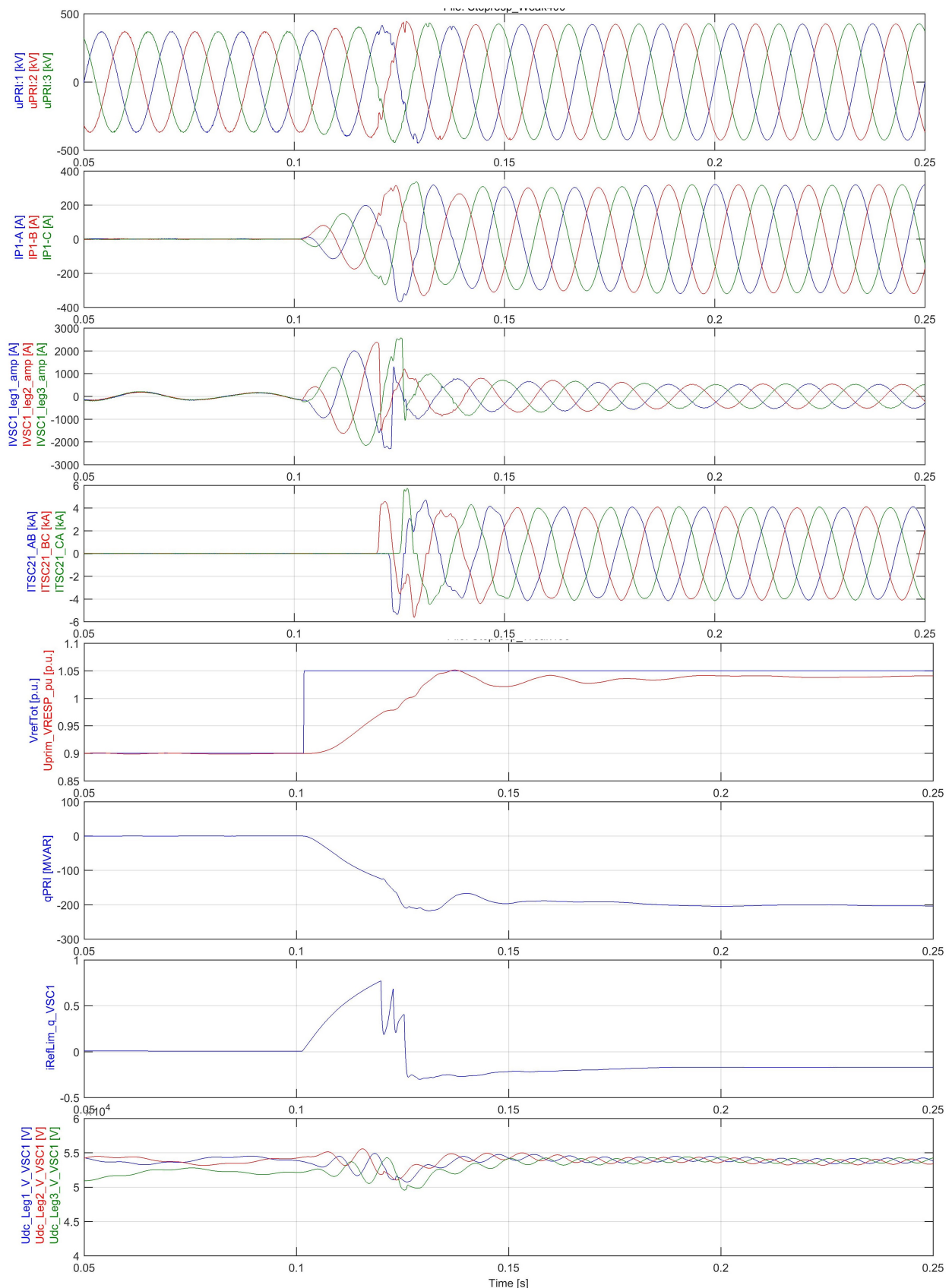


Figura 4 – Resposta ao degrau de um STATCOM Híbrido -170/+400 Mvar conectado a um sistema de 500 kV com potência de curto-circuito de 1400 MVA. (a) Tensão trifásica 500 kV [kV]. (b) Corrente trifásica no lado 500 kV do transformador [A]. (c) Corrente trifásica do conversor de tensão [A]. (d) Corrente trifásica da rama TSC [kA]. (e) Tensão de referência e resposta de tensão do compensador [p.u.]. (f) Potência reativa no lado de 500 kV do transformador [Mvar]. (g) Corrente de referência do conversor de tensão [p.u.]. (h) Tensão total dos capacitores CC de cada fase do conversor de tensão [V].

Devido à reduzida geração harmônica em ordens mais baixas, é possível, na maioria dos casos, excluir filtros de baixa ordem do projeto de um conversor multinível de um STATCOM. Esta é uma grande vantagem, pois o projeto de filtros de um compensador estático pode ser complexo e depende em larga escala da impedância harmônica vista desde o ponto de conexão do compensador. Isso requer normalmente estudos complexos para avaliar as impedâncias harmônicas na rede em cenários operacionais e de planejamento (6), de acordo com os critérios estabelecidos nas especificações técnicas. A substituição do TCR pelo conversor multinível representa um ganho significativo no que se refere à geração de harmônicos, tanto em sua amplitude quanto à ordem harmônica, permitindo assim um projeto sem filtros harmônicos para o STATCOM e o STATCOM Híbrido.

Os sistemas STATCOM e STATCOM Híbrido baseados na tecnologia multinível VSC são particularmente adequados para aplicações em redes de rápido crescimento e em redes fracas onde ressonâncias em frequências de baixa ordem são desafiadoras para o projeto de um compensador estático.

A utilização do STATCOM ou STATCOM Híbrido é também recomendável em sistemas cujos índices de distorção harmônica já se encontram muito perto ou até superando os limites de planejamento definidos nos procedimentos/códigos de rede.

Da mesma forma que no projeto de compensadores estáticos, deve-se garantir que nenhuma ressonância seja produzida em uma frequência múltipla inteira da fundamental, entre o compensador e a impedância harmônica da rede. Todavia, o número de elementos passivos é bastante reduzido comparado com as ramas TSC/TCR e filtros de um compensador estático. Ressalta-se que apesar do VSC possuir controle de corrente independente de elementos passivos, devido a sua rápida resposta, a dinâmica do controle do STATCOM ou STATCOM Híbrido e sua resposta em frequência devem ser representadas em estudos de desempenho harmônico, bem como no dimensionamento do reator de interface entre o conversor e a barra de média tensão e dos componentes das ramas TSC e TSR.

3.3 Perdas

O conceito de conversores multiníveis pode usar frequências de chaveamento relativamente baixas para produzir um padrão de chaveamento similar ao de um conversor de 2 ou 3 níveis, devido ao fato de que as pontes-H em série podem escalar seus padrões de comutação para obter uma frequência de chaveamento mais efetiva. Isto significa que dez pontes-H em um arranjo escalonado teriam uma frequência de chaveamento efetiva dez vezes maior do que a frequência individual de chaveamento de um IGBT. O principal impacto disso está na redução nas perdas das válvulas de um STATCOM, já que uma comutação menos frequente significa menos perdas de chaveamento dos dispositivos de comutação forçada.

O STATCOM Híbrido apresenta perdas bastante baixas em 0 Mvar, ou seja, não há problemas em se atender o requisito do Edital ANEEL de perdas máximas de 0,2% (na base do transformador de acoplamento) neste ponto de operação, para o compensador proposto. Com isto, não é necessário utilizar transformadores com núcleos de baixíssimas perdas e de custo mais elevado. No caso de um compensador estático, um TCR deve compensar a potência reativa dos filtros, sempre conectados, no ponto de operação em 0 Mvar. Como as perdas no reator e válvula de tiristores do TCR podem ser razoáveis, a especificação de equipamentos com menores perdas e conseqüentemente, de custos mais elevados, pode ser obrigatória de forma a não se ultrapassar o limite de 0,2%.

Outro aspecto relacionado às perdas de um STATCOM Híbrido é a histerese existente quando há dois possíveis níveis de condução das válvulas TSC e VSC para um determinado ponto de operação do compensador. Tal fenômeno também é verificado em compensadores estáticos, entre as ramas TCR e TSC, onde a susceptância do TCR deve ser sempre maior que a do TSC, incluindo margens de desenho, de forma a garantir um controle contínuo de potência reativa. No caso do STATCOM Híbrido, a região de histerese é relativamente mais larga pois o VSC tem capacidade de controle de corrente em ambas regiões indutiva e capacitiva.

É possível visualizar a histerese no exemplo a seguir, ver Figura 5, em que correntes negativas representam correntes capacitivas. É assumido uma configuração em que o TSC e o VSC contribuam igualmente com -1.5 p.u. de corrente na operação capacitiva máxima. A curva à esquerda representa uma varredura em que o controle da corrente reativa em uma larga faixa é executado pela variação da corrente do VSC, desde totalmente capacitiva (-1.5 p.u.) até seu valor simétrico indutivo. Neste caso, o TSC está conectado durante uma larga faixa de operação. Por outro lado, a curva à direita representa uma varredura partindo da corrente indutiva máxima do VSC (1.5 p.u.), estando o TSC desconectado. Neste caso, o TSC somente é conectado quando o VSC atinge sua corrente capacitiva máxima.

No desenho ótimo dos pontos de conexão e desconexão da rama TSC, em um ponto intermediário entre as curvas da Figura 5, leva-se em conta fatores como a área contínua do diagrama V-I, tolerância de fabricação de componentes, variação de frequência da rede, e também as perdas totais das ramas TSC e VSC, podendo-se reduzir as perdas em regime permanente. Por exemplo, observa-se claramente que uma operação em torno de 0 Mvar apresentaria altas perdas na curva à esquerda, em que o TSC está conectado e o VSC apresentando corrente indutiva elevada.

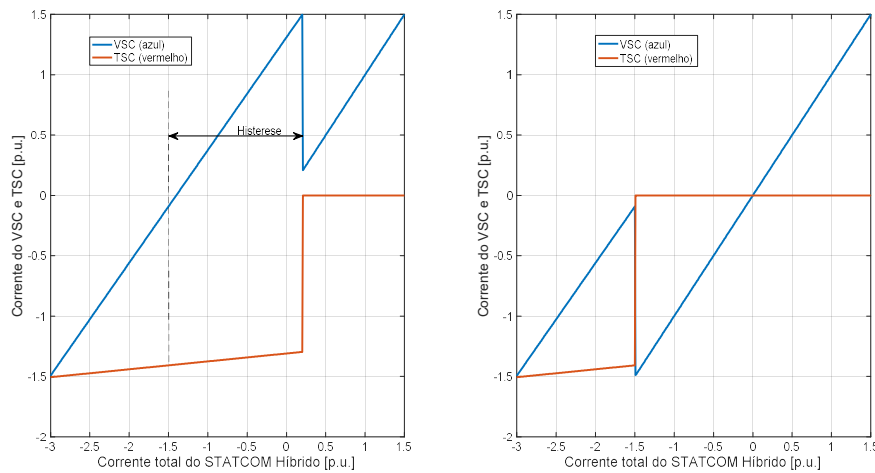


Figura 5 – Possíveis faixas de operação em um STATCOM Híbrido (150 Mvar TSC e ± 150 Mvar VSC).

4.0 - DISPONIBILIDADE E CONFIABILIDADE

Os sistemas de eletrônica de potência e seus componentes nas instalações de compensadores estáticos e STATCOM já atingiram níveis de disponibilidade e confiabilidade comparáveis aos componentes da subestação. A confiabilidade é associada ao número de interrupções forçadas do compensador. Por outro lado, a disponibilidade é associada ao tempo operacional perdido devido ao tempo de inatividade do equipamento.

Por meio de redundância integrada (sistema de controle, dispositivos de medição, partes do sistema de resfriamento, alimentações auxiliares CA e CC, níveis de tiristores e pontes-H), monitoramento detalhado, auto-supervisão dos sistemas e estratégias de transferência automática robustas entre os sistemas de controle e de alimentação auxiliar no caso de falhas, juntamente com controle de qualidade consistente e manutenção programada, quase quaisquer níveis de disponibilidade e confiabilidade são alcançáveis.

Com tiristores e pontes-H redundantes para as válvulas, sistemas redundantes de controle e proteção, sistemas de alimentação auxiliar redundantes, peças de reposição disponíveis para outros subsistemas importantes, equipamentos de manutenção à mão e equipe de manutenção treinada adequadamente, uma disponibilidade geral tão alta quanto 99.0 à 99.5% pode ser alcançada e o número médio de interrupções anuais forçadas pode ser mantido abaixo de dois.

Para muitos compensadores dinâmicos de potência reativa, sistemas de resfriamento redundantes são especificados para aumentar a disponibilidade, mesmo considerando-se que o risco de fuga ou vazamentos significativos do sistema de resfriamento é muito baixo. Investigações de confiabilidade realizadas pelo CIGRÉ e IEEE para compensadores estáticos concluíram que o sistema de resfriamento é uma das principais causas de interrupções para estes compensadores (8). Isso significa que os sistemas de resfriamento redundantes aumentam o número de paradas forçadas neste tipo de instalação, caso haja necessidade de abertura do disjuntor principal no lado de alta do compensador.

Mesmo considerando que um compensador estático com configuração requerida pelo edital ANEEL, incluindo dois TCRs, dois TSCs e filtros, apresenta muitos modos degradados de operação, sua taxa de disponibilidade é semelhante a de um STATCOM Híbrido consistindo de um VSC e um TSC, mesmo assumindo que o único modo degradado possível neste caso, é a operação sem o TSC, ou seja, o conversor de tensão deve estar sempre em operação.

5.0 - ESPAÇO FÍSICO

Graças à simplicidade da tecnologia STATCOM multinível, reduzindo o número de componentes e ramas, a área útil de uma instalação STATCOM é compacta e pequena. A instalação de um compensador estático com tamanho similar a um STATCOM multinível exigirá aproximadamente o dobro da área do STATCOM. Os filtros de baixa ordem dos compensadores estáticos exigem um espaço considerável na planta. Para instalações STATCOM com múltiplos VSCs, a área útil será maior devido ao maior número de ramas (9).

A extensão para um STATCOM Híbrido exige espaço externo adicional para os componentes principais das ramas comutadas por tiristores e extensão do barramento de média tensão, ver Figura 6. A casa de válvulas também precisa ser estendida para incluir também as válvulas de tiristores, além do conversor de tensão multinível. O uso de uma única casa de válvulas e edifício do sistema de controle, serviços auxiliares e do sistema de refrigeração dos módulos de válvulas otimizam a área necessária para o STATCOM Híbrido.

O STATCOM e STATCOM Híbrido baseados nos conversores de tensão multiníveis apresentam uma vantagem considerável em relação aos níveis de ruído sonoro quando comparados a um compensador estático. Os reatores da rama TCR de alta geração de ruído sonoro são substituídos por reatores de fase da rama VSC, os quais apresentam menor potência e emissão de ruído mas baixa. Como filtros harmônicos não são utilizados no STATCOM Híbrido, uma emissão menor de ruído é obtida quando comparado com um compensador estático.

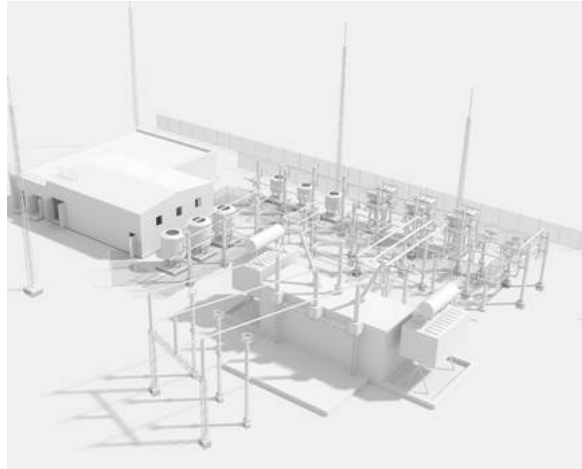


Figura 6 – Esboço do espaço físico requerido por um STATCOM Híbrido formado por um VSC e um TSC.

6.0 - CONCLUSÃO

Do ponto de vista sistêmico, cada um dos diferentes tipos de dispositivos FACTS para controle de tensão e potência reativa tem suas características inerentes. Unindo as vantagens do STATCOM baseado na tecnologia de conversores multiníveis e as ramas convencionais de um compensador estático TSC e TSR, bastante conhecidas no sistema brasileiro, obtém-se o STATCOM Híbrido. Esta tecnologia é bastante adequada para compensadores com faixa de potência reativa larga e assimétrica, resultando em um menor número de ramas, sem necessidade de filtros harmônicos, apresentando baixas perdas e alto desempenho dinâmico sem sacrificar os altos índices de disponibilidade e confiabilidade requeridos no SIN.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) EDITAL DE LEILÃO NO 05/2016 - ANEEL, ANEXO 6-20 – LOTE 20, INSTALAÇÕES DE TRANSMISSÃO COMPOSTAS POR SE FERNAO DIAS - CE 500 KV (-150/300) MVAR - CARACTERÍSTICAS E REQUISITOS TÉCNICOS ESPECÍFICOS.
- (2) HASLER, J.-P., SNEED, T., HOLMBERG, M., LUND, J., NÄSLUND, M. Power quality analysis and IEC standard evaluation using measurements and simulations in a STATCOM application. CIGRÉ artigo C4-114, 2018.
- (3) IEEE Std 1052™ - 2018. IEEE Guide for Specification of Transmission Static Synchronous Compensator (STATCOM) Systems.
- (4) AL-MUBARAK, A.H., THORVALDSSON, B., HALONEN, M., AL-KADHEM, M.Z. Hybrid and Classic SVC technology for improved efficiency and reliability in Saudi transmission grid. IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2014.
- (5) OSKOUI, A., MATHEW, B., HASLER, J.-P., OLIVEIRA, M., LARSSON, T., PETERSSON, Å., JOHN E. Holly STATCOM – FACTS to replace critical generation, operational experience. IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition, 2006.
- (6) SOBRINHO, F.A., OLIVEIRA, M.M. Especificação ANEEL de Compensadores Estáticos ou STATCOM sob a Ótica de um Fabricante. SEPOPE 2018.
- (7) HALONEN, M., BOSTRÖM, A. Hybrid STATCOM systems based on multilevel VSC and SVC technology. CIGRÉ SC B4. HVDC and Power Electronics International Colloquium, 2015.
- (8) Janke, A., Mouatt, J., Sharp, R., Bilodeau, H., Nilsson, B., Halonen, M., Boström, A. SVC Operation & Reliability Experiences. IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2010.
- (9) ANDERSSON, P.H., OWENS, A.J., BOSTRÖM, A. Demonstrating the System Benefits of a Single Voltage Source Converter Solution in Transmission Networks. IEEE PES GTD Asia 2019.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Marcio M. de Oliveira nasceu no Rio de Janeiro em 1967. Graduiu-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em 1990 e obteve o mestrado em Engenharia Elétrica pela COPPE/UFRJ em 1992. Obteve a licenciatura técnica e o doutorado pelo Royal Institute of Technology, na Suécia, respectivamente em 1996 e 2000, na área de Eletrônica de Alta Potência. Ingressou na divisão FACTS da ABB Suécia no ano 2000, onde trabalhou em diversas disciplinas técnicas, como dimensionamento e estudos de aplicações FACTS em sistemas de potência, simulação em tempo real, projeto e implementação de sistemas de controle e projetos de P&D. Marcio ocupa atualmente a posição de Engenheiro de Aplicações FACTS, conduzindo atividades técnicas de marketing, suporte técnico e vendas da tecnologia FACTS para o mercado mundial. Participou do CIGRÉ SC B4 WG53 “Guidelines for the procurement and testing of STATCOMs” e participa atualmente da confecção do CIGRÉ “Green Book on FACTS”. É membro do IEC SC 22F, sendo líder da equipe de manutenção do IEC 61954, relacionado ao teste de válvulas de tiristores para compensadores estáticos. Recebeu o prêmio IEC 1906 em 2017.

Mikael Halonen é gerente do grupo de Engenheiros de Aplicações FACTS desde fevereiro de 2014 e está baseado em Västerås, Suécia. Ingressou na ABB em 1996 e adquiriu ampla experiência na área de FACTS em estudos de sistemas, engenharia de projeto de sistemas, comissionamento e testes em campo do desempenho de sistemas FACTS. Em 2010, Mikael ingressou na Saudi Electricity Company (SEC) na Arábia Saudita, onde esteve envolvido em projetos de compensadores estáticos, compensação séries e sistemas CCAT. Mikael está envolvido em vários grupos de trabalho do IEEE, sendo líder de dois grupos pertencentes ao comitê de subestações do IEEE PES: “WG I4 Static Var Compensators” e “WG I9 Modern Protection System for Static Var Compensators”.