



**XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GAT/03

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - IV

GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMA DE POTÊNCIA - GAT

**MODELAGEM DE COMPENSADORES ESTÁTICOS DE REATIVOS PARA ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS
ELETROMAGNÉTICOS – REQUISITOS BÁSICOS E BOAS PRÁTICAS PARA USO EM ESTUDOS
OPERACIONAIS**

**Antonio Ricardo M. Tenório (*)
Antonio Felipe C. Aquino**

Arjan C. Vinhaes

**Karina S. Herszberg
Mauro P. Muniz**

Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS

RESUMO

A modelagem de equipamentos FACTS (*Flexible AC Transmission System*), isto é, equipamentos que usam eletrônica de potência para tornar os sistemas em corrente alternada mais flexíveis, é uma tarefa complexa que demanda *expertise* no equipamento modelado, em transitórios eletromagnéticos e sistemas de potência, sistema de controle, e também no programa de transitórios eletromagnéticos, no caso deste artigo o programa ATP (*Alternative Transients Program*). Do ponto de vista de desenvolvimento da modelagem é desejável que o próprio fabricante do equipamento desenvolva o modelo de Compensador Estático de Reativos para o programa ATP, com o intuito de tornar a tarefa de passagem de informações e validação do modelo mais fácil, além de tornar o modelo mais preciso e garantir as suas características de projeto.

O principal objetivo deste artigo é definir os condicionantes ou requisitos básicos necessários para a modelagem de Compensadores Estáticos de Reativos, também conhecidos pelos acrônimos CER, CE ou SVC (*Static Var Compensator*), no programa de transitórios eletromagnéticos ATP. Esta modelagem se destina a estudos de transitórios eletromagnéticos de manobra na fase de estudos pré-operacionais e também para estudos operacionais futuros devido à evolução da rede ou análise de perturbações. O modelo do SVC é um requisito especificado no anexo técnico do leilão de transmissão e ainda reforçado pelos Procedimentos de Rede do ONS (1).

PALAVRAS-CHAVE

Modelagem, SVC, CER, ATP, Transitórios, Manobra.

1.0 - INTRODUÇÃO

É de responsabilidade do ONS a avaliação do desempenho do Sistema Interligado Nacional (SIN) para otimizar seus controladores mais rápidos, o que garante que as tensões estarão dentro de uma faixa operativa aceitável e segura em relação a sobretensões transitórias e temporárias, bem como aos afundamentos de tensão. Além disso, deve ser estudado e implementado um controle da tensão primária (controle de planejamento *potência reativa / tensão*) para garantir o atendimento aos requisitos dos Procedimentos de Rede (1). O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é responsável pela operação coordenada de todo o SIN.

No Brasil alguns dispositivos FACTS, particularmente SVC, são usados para regular as tensões da Rede Básica (230 kV e acima) e da Rede de Operação, além de minimizar as sobretensões e subtensões. Vale ressaltar que em 2012 foi comissionado o primeiro STATCOM do Brasil na subestação de Rio Branco (AC). De acordo com os Procedimentos de Rede, todos os modelos de equipamento FACTS devem ser fornecidos pelos agentes transmissores; estes devem estar em total conformidade com o equipamento real, conforme fabricado. O agente concessionário de transmissão é responsável pelos modelos dos equipamentos FACTS entregues ao ONS durante

(*) Rua Júlio do Carmo, n° 251 – 6º andar – CEP 20211-160 – Rio de Janeiro - RJ – Brasil
Tel: (+55 21) 3444-9476 – Fax: (+55 21) 3444-9411 – Email: ricardo.tenorio@ons.org.br

o tempo do contrato de concessão. Atualmente estão em operação aproximadamente 35 SVC no SIN. Este número deverá crescer de tal sorte que nos próximos 3-4 anos haverá a adição de 16 novos SVC (2). Assim sendo, cabe ao ONS zelar pela recepção e verificação da validação da modelagem desses SVC para estudos de transitórios eletromagnéticos.

O desenvolvimento de estudos pré-operacionais de tais SVC é de alguma forma complexo devido à necessidade de modelagem de eletrônica de potência embutida e controles. A entrega de modelos de transitórios eletromagnéticos (TEM) é considerada crítica pela maioria dos fabricantes, uma vez que os mesmos podem conter informações sensíveis sob o ponto de vista tecnológico e de confidencialidade. No entanto, muitos esforços têm sido feitos para alcançar bons resultados, especificando explicitamente que os modelos FACTS para estudos de TEM são uma obrigação de acordo com o Procedimentos de Rede (1) do ONS. A ANEEL tem colocado nos anexos técnicos este requisito relativo aos documentos do leilão da concessão do empreendimento. De acordo com a regulamentação brasileira, a falta de um modelo de TEM para um SVC, por exemplo, constitui uma pendência própria do agente, implicando em desconto da receita anual permitida para este equipamento particular. Esta penalidade tem-se mostrado como um forte incentivo para que os empreendedores de transmissão entendam a necessidade de modelos de SVC, e outros FACTS, além de entregá-los na época dos estudos pré-operacionais. O ONS tem obtido sucesso na obtenção destes modelos FACTS para ferramentas TEM em relação a SVC, levando em consideração as regras acima mencionadas.

Devido à natureza complexa do desenvolvimento da modelagem do SVC que agrega vários sistemas, tais como, mas não limitados a: i) sistema de medição e formação do estatismo; ii) controlador principal e principais estratégias de controle e protetivas; iii) alocadores ou distribuidores de susceptância; iv) disparo das válvulas dos bancos de capacitores chaveados (TSC) e dos reatores controlados a tiristores (TCR); v) circuito principal (de potência, tais como transformador, filtros de harmônicos, reatores, capacitores, para-raios, capacitores de surto, etc.), vi) etc., é necessário uma validação da modelagem desenvolvida com um *benchmark*, que são as simulações feitas em tempo real com o próprio cubículo de controle do equipamento ou uma réplica deste sistema de controle e a modelagem digital do sistema de potência. Estas simulações são conhecidas como *hardware in the loop (HIL)*.

Assim sendo o artigo abordará de forma detalhada as boas práticas de engenharia e requisitos básicos para modelagem dos seguintes sistemas que compõem a modelagem do SVC:

- Requisitos gerais da modelagem
- Requisitos do sistema de controle e funções protetivas
- Requisito do circuito de potência (transformadores, filtros de harmônicos, TCR, TSC, capacitores de surto, etc.)
- Requisitos de Simulação, Rede, Validação e Inicialização do Modelo
- Requisitos do Relatório/Manual de Usuário do Modelo

Desta forma é esperado que os novos SVC que serão integrados ao SIN estejam de acordo com as diretrizes detalhadas neste artigo e, portanto, o trabalho de análise da modelagem torne-se uma tarefa mais fácil e com menos etapas para sua aprovação para compor a base de modelos do ONS.

2.0 - PREMISSAS PARA A MODELAGEM DE SVC

O ONS utiliza o ATP como o *software* oficial para executar análises de TEM, tendo como foco os transitórios de manobras. O programa ATP cumpre integralmente os requisitos dos Procedimentos de Rede (1) relativos a estudos determinísticos e estatísticos. No entanto, o ONS também possui os seguintes pacotes de software: EMTP-RV e PSCAD/EMTDC, como ferramentas complementares. Muitos fabricantes desenvolveram seus modelos em PSCAD como *black-box*. O ONS tem exigido modelos de SVC para o programa ATP devido ao seu pleno atendimento aos Procedimentos de Rede (1) e particularmente pela necessidade de tabulações estatísticas sobre sobretensões e outras grandezas elétricas. Outro fator importante do ATP é a sua natureza *royalty-free*, o que o torna acessível a praticamente todos os interessados em estudar e reproduzir resultados de estudos do ONS.

No entanto, o ONS compreende a dificuldade de desenvolvimento de modelos para ATP, uma vez que a maioria dos fabricantes desenvolve seus modelos no PSCAD. Portanto, alguns fabricantes oferecem um modelo de SVC para PSCAD com antecedência e agendam uma entrega do modelo completo para ATP. Ressalta-se que um modelo de SVC para o programa ATP é obrigatório devido à necessidade de realizar estudos que podem ser feitos facilmente com ATP focando na rede CA. Este processo mostrou ser uma interação frutífera com o agente de transmissão e também fabricantes de SVC.

Entende-se que algumas simplificações são aceitáveis na modelagem de SVC. Essas simplificações têm que se mostrar adequadas para o processo de validação desses modelos de SVC. O principal motivador para o desenvolvimento destes modelos é garantir um desempenho adequado ao longo do tempo de vida do equipamento e mudanças de configuração do SIN. Portanto, uma validação do modelo de SVC realizada contra simulações digitais em tempo real (SDTR) é uma obrigação a ser atendida.

3.0 - REQUISITOS GERAIS DE MODELAGEM

A modelagem de Compensadores Estáticos é uma tarefa complexa e demanda um conhecimento profundo do sistema de controle real do SVC e do programa ATP. Este conhecimento é de importância fundamental para a modelagem do SVC para estudos de transitórios eletromagnéticos de manobra (estudos determinísticos e estatísticos). Dessa forma, a modelagem desenvolvida para o SVC deverá ser validada, no mínimo, contra simulações em tempo real (normalmente estudos em RTDS®) considerando o cubículo real do sistema de controle. Desta maneira, o desenvolvedor do modelo deve proceder à validação do modelo do SVC desenvolvido no ATP com as simulações em tempo real, com a réplica do controle e suas principais funções protetivas.

Em caso de modelagem de SVC múltiplos, o desenvolvedor deverá se assegurar que os modelos são adequados para serem simulados em um mesmo caso do programa ATP. Nesse sentido, deve-se tomar cuidado na escolha das variáveis para que estas não sejam as mesmas em dois ou mais SVC em um mesmo caso de ATP.

O relatório do modelo deverá vir acompanhado dos documentos principais do projeto básico do SVC, tais como, mas não limitados a: estratégias especiais do controle, dimensionamento dos componentes do SVC (projeto básico do SVC), ensaios no transformador de acoplamento, etc.

4.0 - REQUISITOS DE CONTROLE

O sistema de controle do SVC pode ser modelado na TACS (*Transient Analysis of Control Systems*) ou na MODELS (7), (8). Observa-se que eventuais manutenções nos modelos poderão ser necessárias, cabendo aos agentes concessionários dos SVC a tarefa dessas eventuais atualizações/manutenções.

O controlador de estabilidade – *Stability Controller / Gain Supervisor* - deverá ser modelado de forma fidedigna ao equipamento real, com o intuito do SVC ter bom desempenho em situações de baixo e elevado nível de potência de curto-circuito, evitando *hunting* com outros controladores rápidos.

No modelo desenvolvido, os parâmetros e ajustes de caráter sistêmicos devem todos estar contidos em seções que definam esses parâmetros e ajustes como grandezas globais que possam ser definidas unicamente no código e que sejam válidas por todo o código do controle. Esse procedimento evita que, para se alterar um ajuste sistêmico, seja necessário alterar o código do controle em várias seções diferentes deste código, por exemplo. Para isso sugere-se o uso da declaração \$PARAMETER para os ajustes sistêmicos. Alguns ajustes sistêmicos são listados a seguir:

- a) Ajuste do ganho global do SVC (controlador PI);
- b) Ajustes da lógica de subtensão (nível e temporização de atuação (set), nível e temporização de desativação (reset).
- c) Ajuste do estatismo;
- d) Tensão de referência e dispositivo para aplicação de degrau nesta referência;
- e) Todos os parâmetros que têm ação de bloqueio e inicialização do modelo, como por exemplo: fechamento de disjuntores, bloqueio e liberação do bloqueio dos TCR, liberação para operação em modo automático de malha fechada (liberação e bloqueio do controlador Proporcional-Integral), etc.

O modelo deve representar adequadamente as ações de controle, com finalidade de proteção ao próprio equipamento, existentes no equipamento real. Como por exemplo, os ajustes do disparo protetivo (*protective firing*) das válvulas, bem como outras ações de limitação quando da violação da envoltória de sobretensões associada ao ciclo sobrecarga/sobretensão indutiva especificada para o equipamento.

Observa-se que o modelo para o programa ATP deverá conter os ajustes e parâmetros como implantados em campo pelo fabricante do SVC, a partir do estudo realizado no teste de aceitação em fábrica (*FAT - Factory Acceptance Tests*). Mudanças porventura implementadas no comissionamento do SVC deverão ser informadas ao ONS e atualizadas no modelo do SVC para o ATP.

5.0 - REQUISITOS DE CIRCUITO DE POTÊNCIA (*MAIN CIRCUIT*)

O modelo do SVC para o ATP deverá ser capaz de reproduzir todos os modos degradados desse equipamento, definidos no seu projeto básico, e o manual do modelo deverá descrever de forma precisa como os modos degradados são selecionados e simulados.

O modelo do SVC deverá ser desenvolvido com a curva de saturação do transformador de acoplamento e com os para-raios nos lados de alta e baixa tensão, de acordo com o projeto de coordenação de isolamento do equipamento. Em estudos dos fenômenos onde se possa desprezar os para-raios e/ou saturação do transformador, esses ajustes serão feitos pelo ONS, a seu critério.

6.0 - REQUISITOS DE SIMULAÇÃO, REDE, VALIDAÇÃO E INICIALIZAÇÃO DO MODELO

Para efeito de validação da rede de transmissão a ser modelada no ATP deve-se reproduzir a rede utilizada nas simulações de tempo real. A validação da rede deverá ser feita através da comparação das correntes/potências de curtos-circuitos monofásicas e trifásicas em várias barras da rede e, notadamente, no ponto de conexão do SVC (PAC – ponto de acoplamento comum).

Todos os casos simulados no programa ATP com o objetivo de comprovar a validação do modelo do SVC devem ser fornecidos ao ONS no formato digital do ATP ou ATPDraw, bem como este processo deve ser parte integrante do Relatório de Modelagem deste SVC. Observa-se que o uso do ATPDRAW tem se tornado quase um padrão nos modelos desenvolvidos nos últimos anos.

O modelo do SVC para o programa ATP deve ser inicializado o mais rápido possível para viabilizar simulações dos estudos de transitórios eletromagnéticos de manobra. Para estudos de natureza estatística, algo em torno de 200 a 300 ms é considerado tempo suficiente para a inicialização da modelagem de SVC no programa ATP, de acordo com nossa experiência com os modelos existentes e com a literatura internacional sobre este assunto. Portanto, torna-se necessário ajustar um caso com a inicialização do SVC, isto é, o SVC estará com sistema de controle em regime permanente e as tensões e correntes do SVC estarão também em regime permanente contendo a rede que foi utilizada nos estudos de simulação em tempo real. Alguns sistemas necessitam de fontes fictícias ideais conectadas às barras de alta ou baixa tensão por algum tempo (*dummy sources*); outros sistemas prescindem deste artifício.

Com relação à validação do modelo, solicita-se que as simulações mais significativas sejam reproduzidas com o modelo desenvolvido do SVC e que uma comparação seja feita com relação às simulações em tempo real. Para efeito de validação, sugerimos que as seguintes manobras (se disponíveis) possam ser comparadas:

- a) Aplicação de defeito monofásico na barra do SVC (lado linha), com eliminação do defeito no tempo estabelecido nos Procedimentos de Rede. Caso não seja possível a comparação solicitada, que seja feita a comparação em condições de curto-circuito monofásico em alguma outra situação.
- b) Aplicação de defeito trifásico na barra do SVC (lado linha), com eliminação do defeito no tempo estabelecido nos Procedimentos de Rede. Caso não seja possível a comparação solicitada, que seja feita a comparação em condições de curto-circuito trifásico em alguma outra situação.
- c) Rejeição de carga onde o SVC seja levado à faixa indutiva para combater as sobretensões resultantes desse evento.
- d) Aplicação de degraus na referência de tensão (V_{ref}), que possibilitem o modelo excursionar próximo aos seus limites indutivo e capacitivo.
- e) Outras julgadas importantes pelo desenvolvedor do modelo. Observa-se que os subitens a,b, c e d acima não esgotam a validação e devem ser feitas outras comparações para se demonstrar a concordância entre o modelo desenvolvido no ATP e as simulações em tempo real. Observa-se ainda que, caso as simulações em tempo real tenham sido realizadas considerando religamentos automáticos de linha, estas manobras devem ser validadas.

As grandezas sugeridas para a comparação são as seguintes: tensões primárias e secundárias do SVC, correntes primárias do SVC, corrente nos TCR, corrente nos TSC, tensão medida pelo controle, entrada do controlador PI (erro), saída do controlador PI (susceptância primária), potência reativa, susceptâncias dos TCR, sinal de ligado/desligado dos TSC, sinal de atuação e desbloqueio da lógica de subtensão, sinais das malhas de limitação (por exemplo, limitação de corrente no tiristor, tensão secundária, etc) e outras julgadas importantes pelo desenvolvedor do modelo do SVC.

Para efeito de modelagem da rede de transmissão representada no programa ATP deve ser feita com os parâmetros $XOPT=COPT=60$, uma vez que esta é forma como as linhas, transformadores, reatores, capacitores, etc, são representados na base de dados do ONS.

O passo de integração (ΔT) deve ser cuidadosamente escolhido dependendo das malhas de controle e redes representadas, mas não deve ser superior a 10 μs . Exceções, a este requisito, devem ser justificadas.

6.1 Exemplos de validação de modelos de SVC

A validação de modelos de SVC para o programa ATP será sumariamente mostrada nesta seção, observando-se que as grandezas aqui serão utilizadas para mostrar a comparação qualitativa e quantitativa entre simulações de RTDS® e ATP.

6.1.1 SVC Padre Fialho (-90, +100 Mvar/345 kV)

Para validar o modelo de SVC em concordância com as simulações de RTDS® realizadas, foi realizada uma comparação qualitativa, como pode ser visto na FIGURA 1. O lado esquerdo da FIGURA 1 mostra uma falta

trifásica à terra no PAC com tempo de eliminação de 150 ms simulado no simulador RTDS[®]. Por outro lado, o lado direito desta figura mostra a mesma simulação utilizando-se o programa ATP. Embora a FIGURA 1 mostre apenas uma falta trifásica à terra aplicada ao PAC e algumas grandezas, um conjunto extensivo de distúrbios e um grande número de grandezas foram simulados e comparados entre si, a fim de assegurar que o modelo do SVC Padre Fialho no ATP reproduziu corretamente e com uma boa exatidão e concordância com as simulações do RTDS[®]. Como pode ser visto na FIGURA 1 uma boa concordância foi obtida.

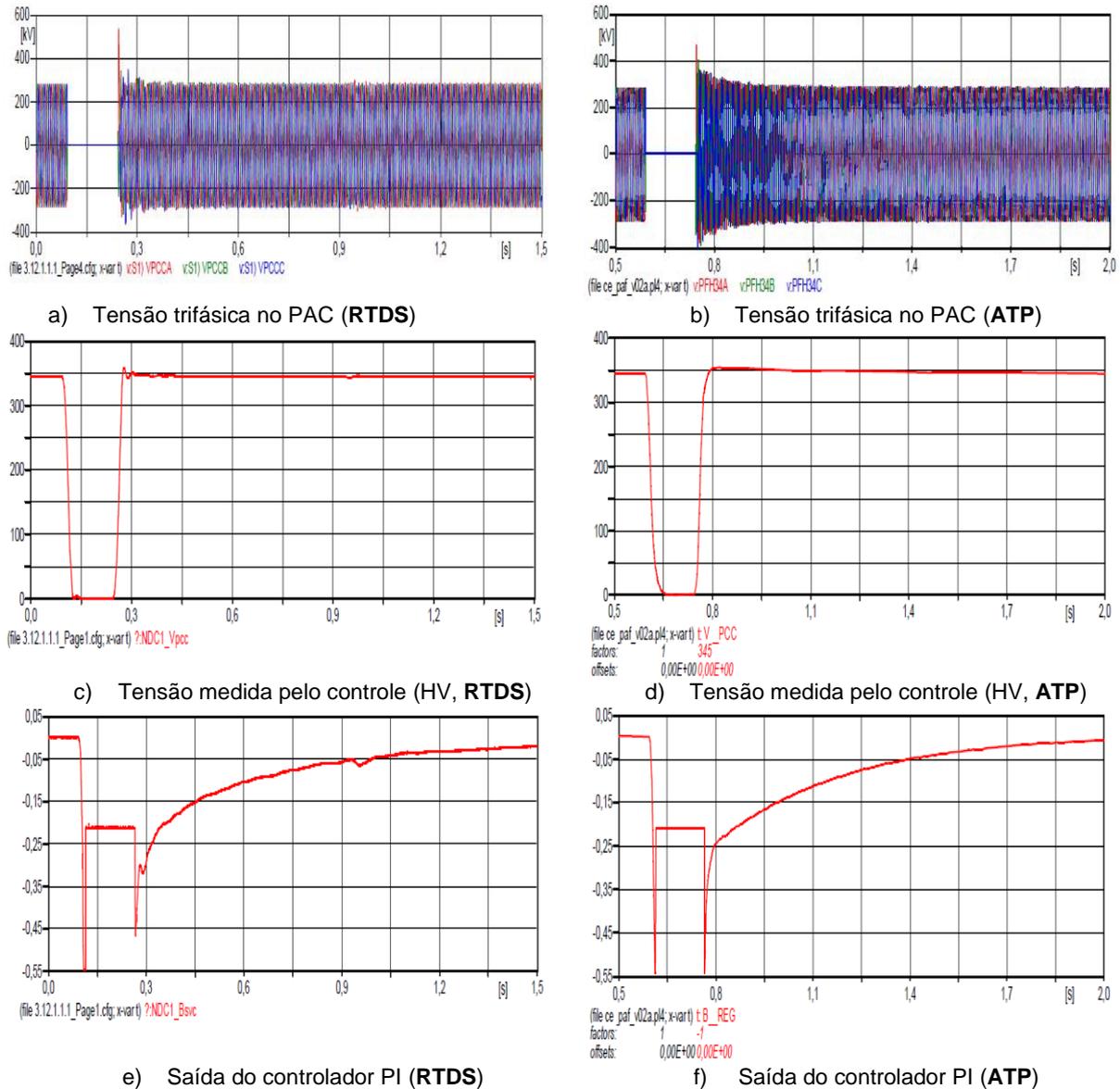


FIGURA 1 – Comparação entre as simulações do SVC Padre Fialho: RTDS[®] vs ATP - falta trifásica para terra aplicada ao PAC

6.1.2 SVC Bom Jesus da Lapa II (± 250 Mvar / 500 kV)

Outro exemplo de validação é mostrado para o modelo do SVC Bom Jesus da Lapa II para o ATP conforme mostrado na FIGURA 2. Uma falta monofásica na SE Ibiçara (primeira vizinhança do PAC) foi aplicada e algumas grandezas foram comparadas. A validação feita pelo desenvolvedor do modelo foi extensiva e comparou vários tipos de defeitos e manobras na rede.

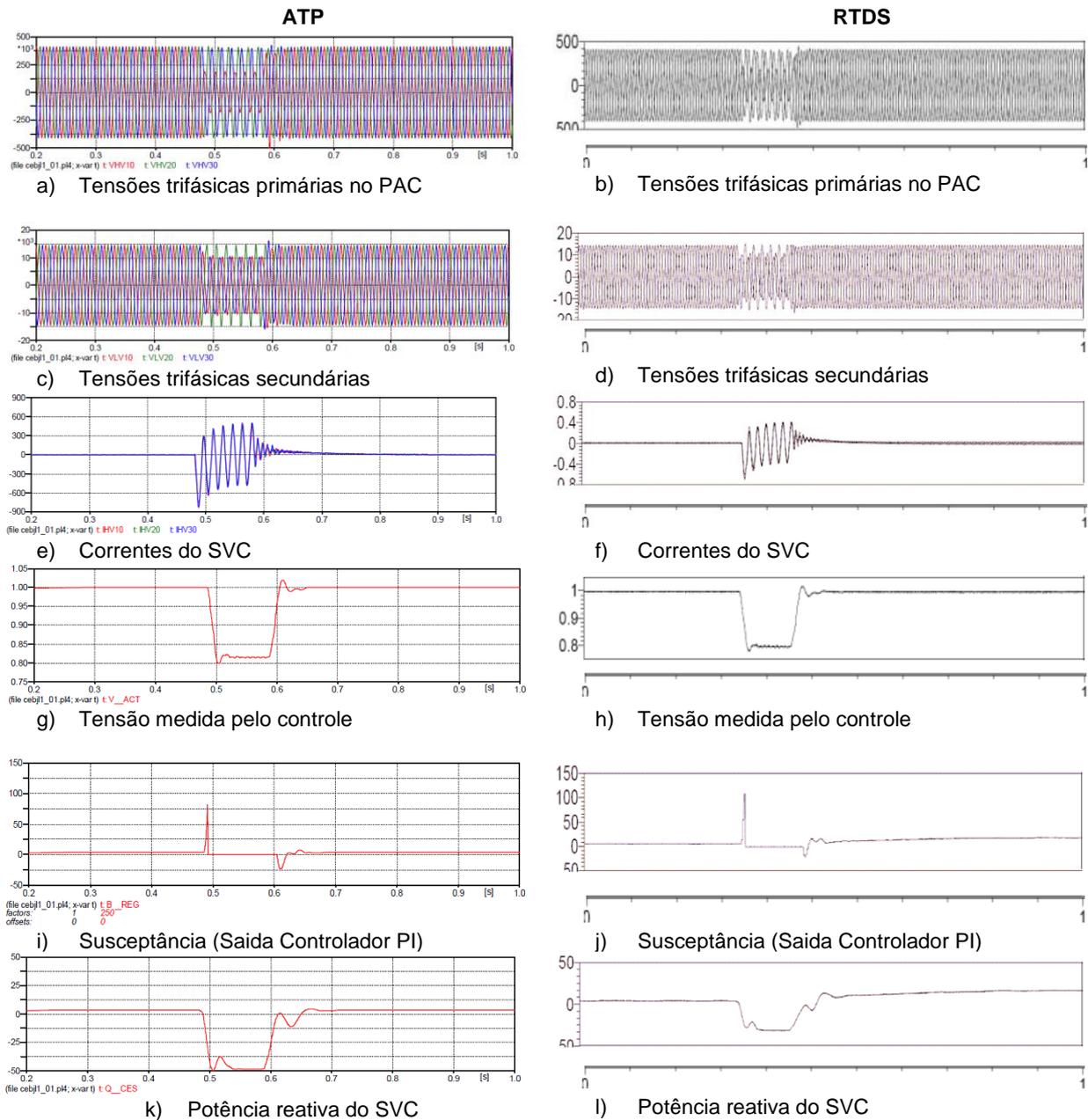


FIGURA 2 – Comparação entre as simulações do SVC Bom Jesus da Lapa: RTDS® vs ATP - falta monofásica para terra aplicada à barra de 500 kV da SE Ibicoara

Conforme pode ser observado na FIGURA 2, uma boa concordância é encontrada entre as simulações no ATP e no RTDS®, validando assim o modelo desenvolvido no ATP.

7.0 - REQUISITOS DO RELATÓRIO/MANUAL DE USUÁRIO DO MODELO

O relatório da modelagem do SVC necessita de uma descrição clara e concisa do trabalho desenvolvido, constando de:

- a) Uma descrição simplificada do SVC com todos os seus componentes e nominais (indutivo e capacitivo). Um diagrama unifilar do SVC é imprescindível. Este deve ser feito em *software* gráfico (tipo CAD ou similar), evitando uso de diagramas do próprio ATPDraw, mostrando o posicionamento de todos os componentes do SVC;
- b) Figuras que descrevam as malhas de controles e lógicas representadas na modelagem no ATP. Essas figuras devem corresponder fidedignamente à modelagem desenvolvida no ATP e não em outros programas de transitórios eletromagnéticos;
- c) Variáveis mais importantes usadas nos modelos devem ser descritas no relatório, preferencialmente, na forma de tabela com nome e função/descrição;
- d) Caso exemplo de simulação do modelo, explicando de forma didática o uso do modelo desenvolvido no ATP ou ATPDraw;
- e) A relação entre a potência de curto-circuito e o ganho ajustado pelo "Otimizador de Ganho" do SVC. Essa informação pode ser feita em forma de tabela ou planilha eletrônica, com diferentes níveis de curto e/ou outras variáveis que influenciam o ajuste ótimo de ganho, como por exemplo, o estatismo;
- f) Dados do transformador de acoplamento do SVC que levaram a modelagem apresentada no código. É necessária a representação dos efeitos da saturação no modelo, embora eventualmente esta característica possa ser desprezada em alguns fenômenos estudados. A curva de saturação deve ser fornecida e devem ser claramente explicitados seus parâmetros, tais como: joelho, reatância de núcleo de ar (X_{ac}) e corrente de magnetização na tensão nominal;
- g) As características básicas (manobra, curva de descarga 30/60 μ s) dos para-raios utilizados na modelagem, bem como sua tensão nominal e capacidade máxima de dissipação de energia;
- h) Deverá ser previsto no modelo, e descrito no relatório, uma variável para aplicação de degraus na referência do regulador de tensão do SVC, com seus respectivos tempos de aplicação e remoção;
- i) O relatório deve ser escrito de forma a compor o banco de dados do ONS para modelagem de SVC no ATP. Assim sendo, deve ser didático e exemplificar o seu uso através de casos simulados.

Independente da modelagem a ser desenvolvida no ATP (modo texto) ou ATPDraw (modo gráfico), um manual de usuário deve ser fornecido com detalhes dos nomes das variáveis e blocos de controle, deixando claro como fazer a portabilidade do modelo de ATP desenvolvido do caso exemplo contido no manual de usuário para um caso genérico a ser estudado.

8.0 - CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou as necessidades sistêmicas do ONS no tocante a modelagem de equipamentos FACTS em geral e, em particular, a modelagem de SVC para estudos de transitórios eletromagnéticos, de caráter sistêmico.

Destaca-se que o foco do ONS são os estudos de caráter sistêmico, notadamente os de energização de transformador, energização e religamento de linha, rejeição de carga, etc., eventos para os quais são recomendados representação fidedigna dos componentes da rede na vizinhança do estudo, por se tratar de fenômenos de frequência na faixa de manobra, em especial dos equipamentos que podem contribuir fortemente para os resultados das referidas manobras, como os SVC.

O artigo abordou de forma detalhada as boas práticas de engenharia e requisitos básicos para modelagem dos seguintes sistemas que compõem a modelagem do SVC: i) Requisitos gerais da modelagem; ii) Requisitos do sistema de controle e funções protetivas; iii) Requisito do circuito de potência (transformadores, filtros de harmônicos, TCR, TSC, capacitores de surto, etc.); iv) Requisitos de Simulação, Rede, Validação e Inicialização do Modelo; v) Requisitos do Relatório/Manual de Usuário do Modelo. O principal motivador para o desenvolvimento destes modelos é garantir um desempenho adequado ao longo do tempo de vida do equipamento e mudanças de configuração do SIN, além da análise de sua integração através dos estudos pré-operacionais. Os requisitos básicos de modelagem dos SVC aqui discutidos são frutos da experiência da análise de vários modelos de SVC por parte do ONS.

É esperado que os novos SVC que serão integrados ao SIN estejam de acordo com as diretrizes detalhadas neste artigo e, por conseguinte, o trabalho de análise da modelagem torne-se uma tarefa mais fácil e com menos etapas para sua aprovação para compor a base de modelos do ONS, constituindo-se assim um benefício para o ONS e para os agentes de transmissão.

9.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Procedimentos de Rede do ONS, módulos 21 e 23.
- (2) Plano de Ampliação e Reforços, ONS, 2016-2018
- (3) A.R.M. Tenório, A.F.C. Aquino, M.P. Muniz, "Brazilian Experience on SVC models for EMT Studies", Colloquium on HVDC and Power Electronics to Boost Network Performance", October 2-3, 2013, Brasília.
- (4) A.R.M. Tenório, J.S. Monteiro, A.N. Vasconcelos, "Enhanced Modeling of the Fortaleza SVC Incorporating a PLL-based Firing System Validated Against Laboratory Tests", International Conference on Power Systems Transients (IPST'99), Budapest, 1999.
- (5) S Y Lee, S. Bhattacharya, T. Lejonberg, A. Hammad; S. Lefebvre, "Detailed modeling of static VAR compensators using the Electromagnetic Transients Program (EMTP)", IEEE/PES Transmission and Distribution Conference, September 22-27, Dallas, 1991.
- (6) S. Lefebvre, L. Gérin-Lajoie, "A static compensator model for the EMTP", IEEE/PES Summer Meeting, July 28 - August 1, San Diego, 1991.
- (7) EEUG, European EMTP-ATP Users Group e.V., <http://eeug-test.hostingkunde.de/>.
- (8) ATPDraw, The Graphical Preprocessor to ATP – Electromagnetic Transients Programs, <http://www.atpdraw.net/>.

10.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Antonio Ricardo de Mattos Tenório, engenheiro eletricista graduado pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) na turma de julho de 1982. Em 1985, fez o curso de pós-graduação no CESE (Curso de Especialização em Sistemas Elétricos) na Escola de Engenharia de Itajubá (EFEI). Em 1995, concluiu seu mestrado (MSc) pela UMIST (University of Manchester Institute of Science and Technology), na Inglaterra, na área de sistemas elétricos e eletrônica de potência. Em 2011 concluiu o MBA de Capacitação em Aspectos Institucionais do Setor Elétrico na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Trabalhou na Chesf durante 18 anos e na ABB Power Technologies - FACTS (Suécia) durante 5 anos. Desde 2004 trabalha no ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), na área de estudos especiais, como engenheiro especialista. Suas áreas de interesse envolvem sistemas CA e CC, estudos elétricos e eletromagnéticos, qualidade de energia, equipamentos FACTS, HVDC e eletrônica de potência. É filiado ao IEEE e ao CIGRÉ, onde exerce atualmente o cargo de Coordenador do Comitê de Estudos B4 – Elos de Corrente Contínua e Equipamentos FACTS, desde setembro de 2016.



Arjan Carvalho Vinhaes, nascido no Rio de Janeiro, Brasil, em 08 de fevereiro, 1980. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense (2005) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2009). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas de Potência, atuando desde 2005 no ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) na Gerência de Estudos Especiais, com análise de sistemas de potência e transitórios eletromagnéticos. Tem interesse pelas áreas de transitórios eletromagnéticos, eletrônica de potência, FACTS e Sistemas de Potência.



Karina Stockler Herszterg, graduada em Engenharia Elétrica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca em 2000 e concluiu mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 2004. Trabalhou na Ampla durante 5 anos, e no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel) durante 2 anos. Desde 2011 trabalha no ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), na área de estudos especiais com análise de sistemas de potência e transitórios eletromagnéticos.



Antonio Felipe da Cunha de Aquino, engenheiro eletricitista formado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ em 1999, com mestrado e doutorado em engenharia elétrica pela COPPE/UFRJ em 2000 e 2012, respectivamente. Em 2003, concluiu o curso de pós-graduação *latu sensu* em Proteção de Sistemas Elétricos pela UFRJ e, em 2009, o Curso de Capacitação Institucional do Setor Elétrico – CAISE pela PUC-RJ. De 1999 a 2000 trabalhou como pesquisador no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL. Desde 2000 trabalha no Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS com análise de sistemas de potência, ocupando o cargo de gerente na

Gerência de Estudos Especiais – GPE2.



Mauro Pereira Muniz, engenheiro eletricitista graduado pela Universidade Federal Fluminense - UFF em 1985, com mestrado em engenharia elétrica pela COPPE/UFRJ em 1991. Em 1999, concluiu o curso de Master's Certificate in Project Management pela The George Washington University e, em 2008, o Curso de Capacitação Institucional do Setor Elétrico – CAISE pela PUC-RJ. De 1985 a 2000 trabalhou na Promon Engenharia Ltda. Desde 2000 trabalha no Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS com análise de sistemas de potência, ocupando atualmente o cargo de gerente executivo da Gerência Executiva de Estudos Especiais, Proteção e Controle –

GPE.