

# MODELAGEM DE COMPENSADORES ESTÁTICOS DE REATIVOS PARA ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS:

## REQUISITOS BÁSICOS E BOAS PRÁTICAS PARA USO EM ESTUDOS OPERACIONAIS

GAT / Ricardo Tenório –  
GAT 3 - 2017



## Introdução e Principal Objetivo

- Definir os condicionantes ou requisitos básicos necessários para a modelagem de Compensadores Estáticos de Reativos (CE, CER, SVC) no programa de transitórios eletromagnéticos ATP, bem como análise e aprovação do modelo;
- O modelo do SVC é um requisito especificado no **Anexo Técnico do leilão** de transmissão e ainda reforçado pelos **Procedimentos de Rede do ONS**;
- 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;

## Requisitos Básicos de Modelagem

- A falta da modelagem representa uma pendência não impeditiva ao comissionamento e energização → Penalização de 10% na RAP;
- Modelo do SVC para ATP é para transitórios eletromagnéticos de manobra;
- Os requisitos de modelagem serão divididos nos seguintes tópicos:
  - Requisitos gerais da modelagem;
  - Requisitos do sistema de controle e funções protetivas;
  - Requisitos 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.



## Requisitos Geral de Modelagem

- Modelagem -> 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);
- O desenvolvedor do modelo deve proceder à validação do modelo do SVC desenvolvido no ATP com as simulações em tempo real (*HIL*), 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;
- A documentação do modelo deve conter documentos do projeto básico do SVC, tais como: estratégias especiais do controle, dimensionamento dos componentes do SVC (projeto básico do SVC), ensaios no transformador de acoplamento, etc.

## Requisitos de Controle

- Modelagem ATP -> TACS ou MODELS. Cabem aos agentes eventuais atualizações e 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;
- Parâmetros e ajustes sistêmicos → definidos na mesma sessão, como grandezas globais, que possam ser definidas unicamente no código e que sejam válidas por todo o código do controle → \$INCLUDE ou caixas de entradas do ATPDraw;
- Ajustes sistêmicos: a) ganho global do SVC (controlador PI); b) lógica de subtensão ; c) estatismo; d) Vref e aplicação de degrau; e) parâmetros que têm ação de bloqueio e inicialização do modelo;
- O modelo deve representar adequadamente as ações de controle, com finalidade de proteção ao próprio equipamento: disparo protetivo, curva/ciclo de sobretensão/sobrecarga indutiva.

## Requisitos de Controle / Main Circuit

- Dois modelos do SVC -> i) modelo aprovado conforme FAT; ii) modelo final após o comissionamento (“como construído”).

### 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 (manual do usuário);
- Transformador → curva de saturação (joelho,  $X_{ac}$ ); para-raios(PR) AT e BT e demais PR existentes no SVC, eventuais capacitores de surto;
- Válvulas e seus circuitos *snubbers*, PR
- Reatores, capacitores e filtros, PR

## Requisitos de Simulação, Rede, Validação e Inicialização

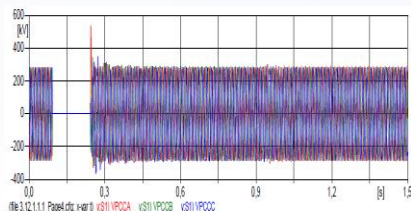
- Validação → rede simulada no ATP deve ser validada contra a rede da simulação em tempo real (HIL) → Pcc 3 $\phi$  e 1 $\phi$  (PAC e outras barras);
- Casos de validação → fornecidos ao ONS;
- Inicialização  $\leq 300$  ms (uso de fontes fictícias);  $\Delta t \leq 10$   $\mu$ s; XOPT=COPT=60. (BD ONS);
- Validação, sugere-se:
  - Aplicação de defeito monofásico e trifásico na barra do SVC (lado linha), com eliminação do defeito no tempo estabelecido nos Procedimentos de Rede;
  - Rejeição de carga onde o SVC seja levado à faixa indutiva para combater as sobretensões resultantes desse evento;
  - Aplicação de degraus na referência de tensão ( $V_{ref}$ ), que possibilitem o modelo excursionar próximo aos seus limites indutivo e capacitivo;
  - Outras julgadas importantes pelo desenvolvedor do modelo.
- Grandezas monitoradas: V/Ipri, V/Isec, Vmed, erro PI, saída PI, Q, BTCR, Sinais TSC (on/off), Vsub, malhas limitação, outros julgados importantes pelo desenvolvedor.



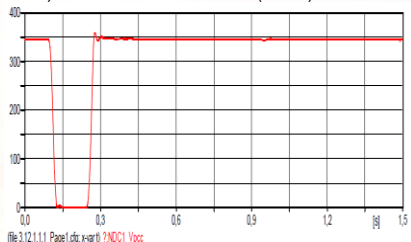
# Requisitos de Simulação, Rede, Validação e Inicialização

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

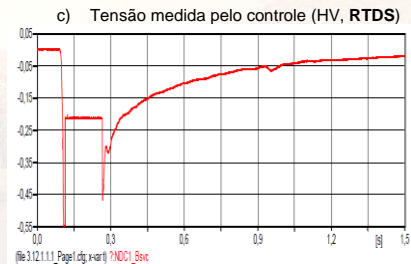
Defeito: falta 3 $\Phi$ -t em Pe. Fialho, tempo de eliminação de 150 ms, RTDS vs ATP.



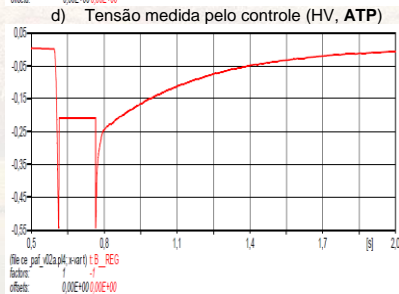
a) Tensão trifásica no PAC (RTDS)



b) Tensão trifásica no PAC (ATP)



c) Tensão medida pelo controle (HV, RTDS)



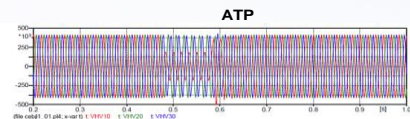
d) Tensão medida pelo controle (HV, ATP)

e) Saída do controlador PI (RTDS)

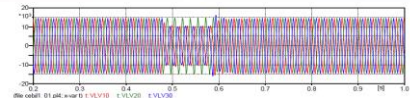
f) Saída do controlador PI (ATP)



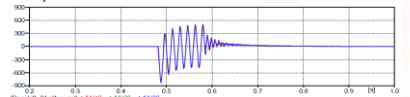
# Requisitos de Simulação, Rede, Validação e Inicialização



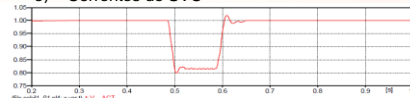
a) Tensões trifásicas primárias no PAC



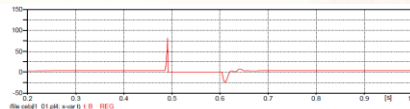
c) Tensões trifásicas secundárias



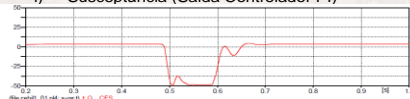
e) Correntes do SVC



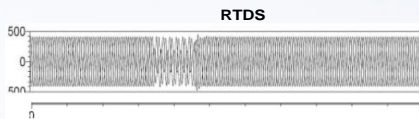
g) Tensão medida pelo controle



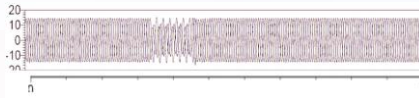
i) Susceptância (Saída Controlador PI)



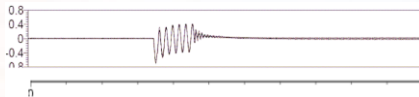
k) Potência reativa do SVC



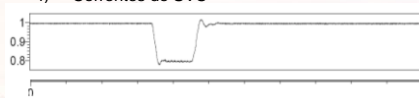
b) Tensões trifásicas primárias no PAC



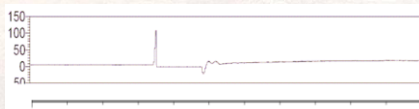
d) Tensões trifásicas secundárias



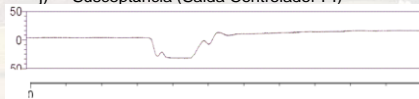
f) Correntes do SVC



h) Tensão medida pelo controle



j) Susceptância (Saída Controlador PI)



l) Potência reativa do SVC

**SVC Bom Jesus da Lapa II ( $\pm 250$  Mvar / 500 kV)**

Defeito: falta 1 $\Phi$  em Ibicoara, tempo de eliminação de 100 ms, RTDS vs ATP.

## Requisitos do Relatório/Manual do Usuário

- Uma descrição simplificada do SVC com todos os seus componentes e nominais (indutivo e capacitivo) → diagrama unifilar do SVC é imprescindível (tipo CAD ou similar);
- Figuras/diagramas que descrevam as malhas de controles e lógicas representadas na modelagem no ATP e suas interconexões;
- Variáveis mais importantes usadas nos modelos devem ser descritas no relatório, preferencialmente, na forma de tabela com nome e função/descrição;
- Caso exemplo de simulação do modelo, explicando de forma didática o uso do modelo desenvolvido no ATP/ATPDraw;
- 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;
- Dados do transformador de acoplamento do SVC que levaram a modelagem apresentada no código

## Requisitos do Relatório/Manual do Usuário

- 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;
- 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.



## CONCLUSÕES

- Este artigo apresentou as necessidades sistêmicas do ONS no tocante à 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;

## CONCLUSÕES

- É esperado que os novos SVC a serem 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.

## Ricardo Tenório

---



[ricardo.tenorio@ons.org.br](mailto:ricardo.tenorio@ons.org.br)



[www.ons.org.br](http://www.ons.org.br)