



**XXIII SNPTTE
SEMÍNÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GAT/26
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO – IV

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

ESTUDOS EM SIMULADOR DIGITAL EM TEMPO REAL PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE COMPENSADORES ESTÁTICOS DE POTÊNCIA REATIVA COM CONTROLE ADAPTATIVO EM SISTEMAS DE TRANSMISSÃO COM REDUZIDOS NÍVEIS DE CURTO-CIRCUITO: O EXEMPLO DO CER TAUÁ II

Manfredo Correia Lima(*)
Chesf
Timo Nissinen
Alstom PET

Hugo Salvador
Chesf
Antero Kähkönen
Alstom PET

Marcelo Spinella
Alstom PER

Sami Kuusinen
Alstom PET
Ricardo Campos
Alstom PER

RESUMO

São apresentados neste IT os estudos em simulador digital em tempo real (RTDS) realizados para avaliação do desempenho do CER Tauá II (-45 a 90Mvar / 230kV). Devido aos reduzidos níveis de curto-circuito no ponto de acoplamento com a rede básica e à presença de ressonâncias associadas a harmônicas superiores à décima primeira, foi adotada uma configuração contemplando um reator de bloqueio série no setor de média tensão. É comprovado o atendimento aos requisitos de especificação e apesar da progressão tecnológica dos conversores tipo fonte de tensão, é demonstrada a viabilidade da utilização de FACTS convencionais em sistemas de potência devido ao seu desempenho satisfatório e custo competitivo.

PALAVRAS-CHAVE

Compensador Estático, Controle Automático de Ganho, Controle de Tensão, Reator de Bloqueio, RTDS.

1.0 - INTRODUÇÃO

Estudos de planejamento realizados pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética) definiram a instalação na subestação (SE) Tauá II de um compensador estático de potência reativa (CER) com nominais de (-45 a 90Mvar / 230kV), para proporcionar o controle de tensão nos regime permanente, dinâmico e transitório, garantindo assim o atendimento aos critérios de planejamento da EPE e aos procedimentos de rede do Operador Nacional do Sistema (ONS), particularmente em condições de subtensão no sistema de 230kV compreendido entre as SE Milagres, Picos e Eliseu Martins durante contingências de transmissão. Para tal, a ANEEL, através da resolução n° 3402 de 20.03.2012, concedeu à Chesf autorização para instalar na SE Tauá II o referido equipamento.

A evolução da rede elétrica na área de influencia da SE Tauá II registra a existência de reduzidos níveis de curto-circuito no ponto de acoplamento (PAC) do CE Tauá II com a rede básica, produzindo relações entre a faixa de potência reativa do compensador e o nível de curto-circuito no PAC (RCC) que variam entre 0,50 (ano inicial, com rede degradada) e 0,20 (ano horizonte com rede completa). Os reduzidos valores de RCC especificados em conjunto com a identificação, durante a realização dos estudos de análise harmônica pelo Fabricante (2) de ressonâncias entre o CER Tauá II e a rede elétrica para harmônicas superiores à décima primeira, levaram à adoção de uma solução inovadora, que contempla a conexão dos elementos que integram o CER Tauá II ao seu barramento de 230kV através de dois barramentos de média tensão separados por um reator de bloqueio série (Figura 1).

O atendimento aos valores máximos de perdas especificados representou também um desafio, tendo inviabilizado para este projeto a adoção de soluções baseadas em compensadores estáticos baseados na tecnologia VSC (Voltage Source Converter) (1).

Neste contexto, este IT apresenta os estudos realizados em simulador digital em tempo real (RTDS) para avaliação do desempenho do CER Tauá II. Para tal, foram utilizados os painéis e interfaces humano-máquina (IHM) reais do compensador conectados ao RTDS, onde foram representados o sistema elétrico de potência e os demais componentes do compensador tais como transformador, reator controlado, filtros, válvulas de tiristores.

Os referidos testes contemplaram a verificação da funcionalidade dos sistemas de proteção e controle de malha aberta e fechada, além da análise da resposta ao degrau e do desempenho do CER Tauá II durante grandes perturbações na rede elétrica. Os resultados mais relevantes são apresentados neste IT.

Concluindo, é comprovado que o CER Tauá II apresenta pleno atendimento aos requisitos de especificação e que apesar da rápida progressão tecnológica baseada na aplicação de conversores VSC, continua sendo viável a aplicação de dispositivos FACTS convencionais devido ao seu desempenho satisfatório e custo competitivo em termos de investimento e operação.

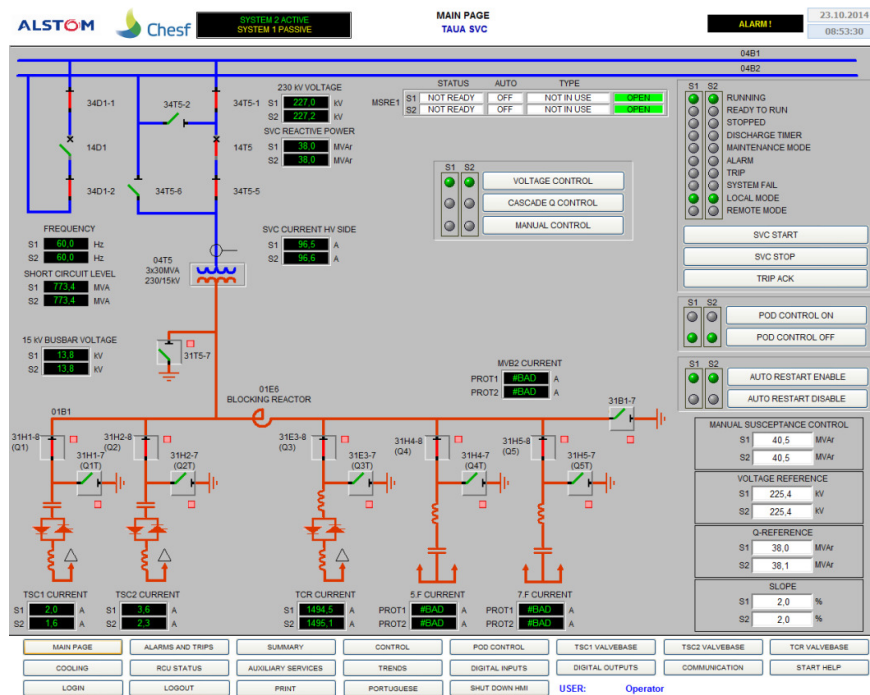


FIGURA 1 – CER Tauá II: Circuito Principal

2.0 - CER TAUÁ II: PROJETO DO CIRCUITO PRINCIPAL

Conforme indicado na Figura 1, o CER Tauá II é composto por um transformador abaixador 230/15kV, 90MVA, dois capacitores manobrados a tiristores (CMT), um reator controlado a tiristores (RCT) e dois filtros sintonizados respectivamente na quinta e sétima harmônica (STF5 e STF7), além de um reator série conectando dois barramentos de 15kV onde estão conectados no primeiro os dois capacitores manobrados a tiristores e no segundo, o reator controlado a tiristores e os dois filtros. Durante os estudos realizados para definição do circuito principal do CER Tauá II, foram identificadas ressonâncias relacionados às harmônicas de ordem 11, 13 e superiores associadas ao referido equipamento e a rede elétrica, que levavam à existência de níveis de distorção harmônica superiores aos definidos na Especificação (2). A mitigação de tais harmônicos demandaria a instalação de filtros adicionais de ordem elevada, o que provocaria a elevação das perdas e reduziria os índices de disponibilidade do compensador, devido ao acréscimo do número de componentes instalados. Como solução, foi proposta a introdução do reator série acima mencionado, cuja impedância aumenta com a frequência, funcionando como um reator de bloqueio e proporcionando o adequado amortecimento das harmônicas de ordem elevada. Com esta estratégia, o CER Tauá II passou a atender aos requisitos da Especificação, reduzindo-se o número de filtros necessários bem como a potência dos mesmos, o que contribuiu também para a redução das perdas globais do referido equipamento. Esta solução, que consiste na elevação da impedância entre o compensador e o ponto de acoplamento com a rede básica foi inicialmente utilizada de forma exitosa no projeto descrito em (3), onde é detalhado como a introdução do reator de bloqueio série contribui para viabilizar a aplicação da tecnologia tradicional de compensadores estáticos de potência reativa, considerando as peculiaridades do ponto de conexão relacionadas a seguir:

- Reduzidos níveis de curto-circuito, da ordem de duas vezes a faixa de potência nominal do CER na condição de operação degradada da rede elétrica.

- Ressonância entre o compensador e a rede elétrica associada a harmônicas de ordem elevada.
- Reduzidos valores de perdas máximas especificados.

Além disso, a introdução do reator série produz os seguintes benefícios no que diz respeito ao projeto do circuito principal do CER Tauá II:

- Redução do número de tiristores conectados em série nos reatores controlados.
- Redução dos requisitos de corrente nos reatores controlados.
- Redução dos requisitos de curto-circuito no setor de média tensão do CER.
- Redução das perdas totais compensador.

Pelo exposto, a utilização do reator de bloqueio série aqui mencionado permite a utilização da tecnologia tradicional de compensação reativa controlada em pontos de conexão caracterizados por reduzidos níveis de curto-circuito e em um projeto no qual os rigorosos requisitos de perdas máximas inviabilizam a adoção de equipamentos baseados na tecnologia de conversores do tipo fonte de tensão (VSC).

3.0 - CER TAUÁ II: SISTEMA DE CONTROLE

O sistema de controle do CER Tauá II utiliza como entradas a tensão de sequência positiva e a sua componente reativa da corrente, ambas medidas no setor de 230kV. Os valores instantâneos destes sinais são filtrados através de filtros discretos do tipo IIR (*Infinite Impulse Response*) sintonizados na terceira, quinta e sétima harmônicas. Em seguida, é efetuada a conversão dos referidos sinais do domínio das componentes de fase para o das componentes alfa e beta, a partir das quais são obtidas as componentes de sequência positiva e negativa dos sinais de tensão e as componentes d e q dos sinais de corrente.

A magnitude do vetor de tensão de sequência positiva e a componente reativa da corrente do compensador no setor de 230kV são retificadas e aplicadas à entrada de um filtro sintonizado na segunda harmônica. Em seguida, o sinal de corrente é multiplicado pelo estatismo (*Slope*) e subtraído do sinal de erro de tensão, obtido a partir da diferença entre a tensão medida no 230kV e a tensão de referência, cujo valor é ajustado pelo operador. O resultado (V_{ERROR}) é o sinal de erro compensado pelo estatismo, que serve de entrada ao controlador principal do CER Tauá II (Figura 2).

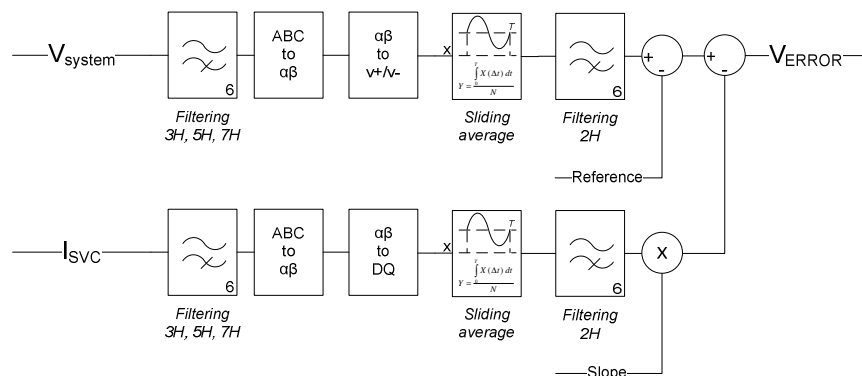


FIGURA 2 – CER Tauá II: Formação do Sinal de Entrada do Controlador Principal

Conforme mostrado na Figura 3, ao sinal V_{ERROR} é aplicado o conjunto de ganhos a seguir descrito. O primeiro ganho (SCL) corrige o sinal de erro com base no nível de curto-circuito dinâmico medido no ponto de acoplamento do CER com a rede básica (230kV), propiciando que os parâmetros de performance especificados para o compensador relativos à resposta ao degrau seja atendidos, conforme a seguir.

- Percentual de *overshoot* máximo de 30%.
- Tempo de subida (*Rise Time*) máximo de 33mseg.
- Tempo de estabilização (*Settling*) menor que 100mseg.

O algoritmo de otimização do ganho baseia-se na aplicação programada de um pequeno distúrbio no sinal de saída do compensador e na medição da relação entre os erros de tensão e potência reativa correspondentes a este distúrbio, sendo tal procedimento conhecido como “Teste de Ganho”. Com base na magnitude e polaridade do sinal de saída do CER quando da aplicação do Teste de Ganho, o ganho SCL será elevado ou reduzido.

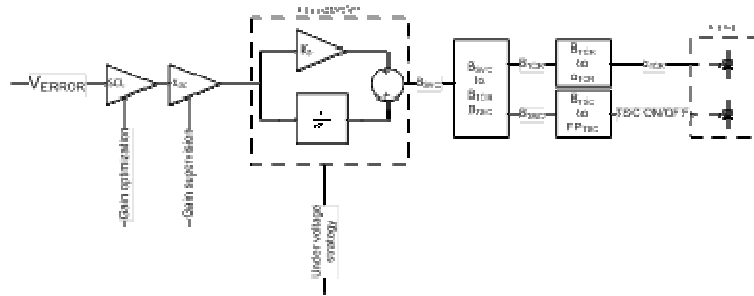


FIGURA 3 – CER Tauá II: Estágio Final do Sistema de Controle em Malha Fechada

A segunda malha de controle, denominada Supervisor de Ganho (GS) tem por objetivo preservar a estabilidade do compensador caso sejam detectadas oscilações no seu sinal de saída, reduzindo o ganho K_{GC} do seu valor normal fixado em 1,0 até que tais oscilações sejam satisfatoriamente amortecidas. A malha de controle principal do CER Tauá II baseia-se na ação de um controlador proporcional-integral (PI), com parâmetros ajustáveis através dos valores dos ganhos SCL e K_{GC} . Este controlador sofre *by-pass* caso a tensão terminal do compensador (230kV) caia abaixo de um valor definido em projeto, quando este equipamento é forçado a operar com potência reativa de saída igual a 0Mvar, constituindo o chamado “Esquema de Bloqueio por Subtensão”. Conforme mostra a Figura 3, a susceptância requerida do compensador (B_{SVC}) é então distribuída entre os valores correspondentes aos elementos controláveis disponíveis (RCT e CMT). A susceptância dos CMT é determinada com base nos limites de chaveamento definidos para estes elementos, que possuem estratégia de controle discreta (ON / OFF). Por outro lado, a susceptância do RCT é variada continuamente entre os seus limites máximo e mínimo, com base no valor do ângulo de disparo dos tiristores definido pelo sistema de controle do compensador, sendo este elemento o responsável pelo controle contínuo da potência reativa injetada pelo CER Tauá II na rede básica. O sistema de controle do referido equipamento é formado por duas unidades redundantes de controle denominadas NCC1 e NCC2, produzindo uma redundância de 100%. (Figura 4).

4.0 - CER TAUÁ II: MALHAS SUPLEMENTARES DE CONTROLE

4.1 Manobra de Elementos Shunt Externos

O CER Tauá II encontra-se apto a controlar a manobra de até oito elementos externos previamente selecionados, tais como reatores e capacitores shunt conectados ao setor de 230kV. Reatores shunt são inseridos caso a susceptância de saída do CER atinja o seu limite indutivo por um intervalo de tempo pré-determinado e desligados, caso a referida susceptância torne-se inferior a este limite. De maneira análoga, capacitores shunt são inseridos caso a susceptância de saída do CER atinja o seu limite capacitivo por um intervalo de tempo definido em projeto e desligados quando o referido sinal torna-se inferior a este limite. Caso o CER seja desligado por proteções associadas a defeitos internos, elementos shunt já inseridos permanecem neste estado e passam a ser comandados pelo operador. Atualmente na SE Tauá II existe apenas um reator shunt no 230kV e não há no horizonte do planejamento a previsão de instalação de outros elementos shunt externos. Desta forma, somente este reator foi inserido no mencionado esquema. Conforme mostrado na Figura 4, a ativação ou desativação deste esquema pode ser efetuada através da Interface Humano Máquina (IHM).

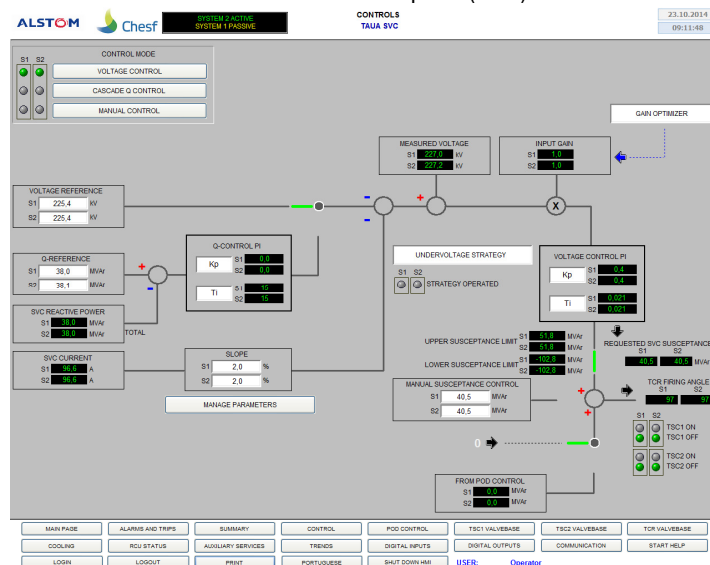


FIGURA 4 – CER Tauá II: IHM do Sistema de Controle em Malha Fechada

4.2 Esquema de Bloqueio por Subtensão

Este esquema força o CER a operar em 0Mvar caso a sua tensão terminal seja reduzida abaixo de um valor previamente ajustado, por um intervalo de tempo também determinado, o que corresponde ao bloqueio dos CMT, sendo o RCT é utilizado para compensar a susceptância dos filtros, resultando em 0Mvar na alta tensão. Esta função tem por objetivo evitar que na eliminação de faltas nas suas proximidades, o CER venha a operar em pontos fortemente capacitivos e venha desta forma a contribuir para a elevação das sobretensões associadas à eliminação das faltas, devido ao elevado valor de erro desenvolvido na entrada da sua malha de controle principal durante o defeito. A detecção do nível de atuação do referido esquema é efetuada utilizando a componente de sequência positiva da tensão de alta para faltas trifásicas equilibradas e o mínimo valor TRUE RMS da referida tensão para faltas desequilibradas. O CER é liberado para efetuar o controle da tensão depois que este sinal atingir um valor superior ao nível de bloqueio acrescido de uma histerese definida em projeto.

Para garantir que o disparo das válvulas de tiristores seja sempre efetuado de forma segura, é também implementado no CER Tauá II um esquema de bloqueio por subtensão no setor de 15kV que bloqueia os CMT e o RCT quando esta tensão cair abaixo de 0,6pu.

4.3 Operação em Modos Degradados

O CER Tauá II apresenta a possibilidade de operação automática em modos degradados quando da perda de um ou dois CMT, o que produz elevado grau de flexibilidade e disponibilidade à operação deste equipamento. Por modo degradado válido, entende-se uma configuração onde, embora os limites de potência de saída sejam reduzidos, é possível variar de forma contínua a potência de saída, mantendo-se os níveis de harmônicos produzidos pelo compensador abaixo dos limites especificados. Desta forma, um modo degradado válido requer a presença do RCT e dos filtros. A seleção dos modos degradados válidos é efetuada de forma automática pelo sistema de controle através do disjuntor de 230kV e das chaves seccionadoras motorizadas do setor de média tensão e caso um modo degradado inválido seja produzido, o religamento automático do CER é bloqueado. A função de religamento automático pode ser ativada ou desativada através da IHM.

5.0 - TESTES EM SIMULADOR DIGITAL EM TEMPO REAL (RTDS)

5.1 Testes Preliminares

A etapa inicial dos testes foi realizada considerando uma modelagem simplificada da rede elétrica, efetuada através de fontes e impedâncias equivalentes de Thévenin correspondentes aos níveis máximo e mínimo de curto-circuito definidos em projeto. . A Figura 5 apresenta um diagrama unifilar da rede correspondente ao ano inicial do estudo (2015), com as fontes equivalentes representadas. Com base nas informações da EPE, foram considerados os seguintes valores:

- Nível Mínimo de 267MVA correspondente ao ano de 2015, geração mínima, rede degradada.
- Nível Máximo de 725MVA, correspondente ao ano de 2022, geração máxima, configuração normal.

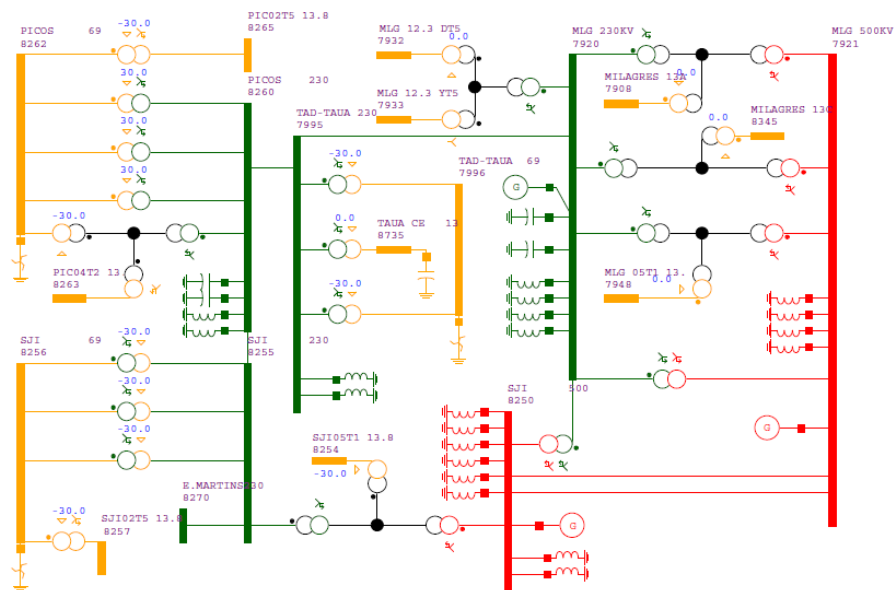


FIGURA 5 – Diagrama Unifilar da Rede Representada no RTDS: Ano Inicial 2015

Os testes foram iniciados através da verificação do desempenho de funções associadas a operações em malha aberta e de caráter protetivo do CER, tais como partida / parada, desligamento por atuação de proteções, transição entre modos de controle, transição entre os sistemas de controle redundantes e religamento automático. Além disso, foram testadas as seguintes funções de proteção associadas ao sistema de controle em malha fechada:

- Esquema de bloqueio por subtensão no setor de alta tensão;
- Monitoração da susceptância de saída do compensador;
- Transição forçada do modo de controle manual para o de controle de tensão.

Em seguida, foi realizado o levantamento das curvas características tensão x corrente e tensão x potência reativa relativas ao setor de alta tensão. Concluindo, foram testadas as funções de otimização de ganho e controle de ganho descritas no item 3.0 deste IT.

5.2 Resposta ao Degrau

Conforme item 3.0 deste IT, durante os ensaios de aplicação de degrau na sua tensão de referência, o CER Tauá deverá propiciar o atendimento aos parâmetros de performance especificados, para todos os níveis de curto-circuito medidos no PAC definidos em projeto. Assim, os testes de aplicação de degrau foram realizados nas condições de nível mínimo e máximo de curto-circuito medido no PAC, variando-se os valores de estatismo (*slope*), magnitude do degrau e valor inicial da tensão de referência. Inicialmente, foi utilizada uma representação simplificada da rede elétrica através do emprego de fontes e impedancias equivalentes de Thévenin, resultando em níveis de curto mínimo de 267MVA e máximo de 725MVA. Em seguida, foram realizados ensaios de aplicação de degrau com representação completa da rede elétrica, para os anos inicial (2015) e final (2022), quando foi considerada a presença do CER Milagres (-70 a 100Mvar, 230kV), que opera com ganho fixo, nos modos de operação manual e de controle de tensão (Figura 5). A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios de degrau realizados com representação completa da rede para o ano inicial 2015, correspondendo a um nível de curto medido de 763MVA no PAC. Nos casos de 1 a 8, o CER Milagres opera no modo manual, enquanto que nos casos de 9 a 16, o referido CER opera no modo de controle de tensão. Em todos os casos realizados, foi verificado o atendimento aos parâmetros de performance mencionados no item 3.0 deste IT. Os índices 1 e 2 indicados na Tabela 1 correspondem aos valores das grandezas registrados antes e após a aplicação do degrau.

Tabela 1 – CER Tauá II: Resposta ao Degrau - Ano 2015 - Rede Completa

Caso #	Slope (%)	Q _{svc1} (Mvar)	Q _{svc2} (Mvar)	V _{PAC1} (kV)	V _{REF1} (kV)	V _{PAC2} (kV)	V _{REF2} (kV)	Rise Time (mseg)	Settling (mseg)	Overshoot (%)	Degrau (%)
1	2	-19,9	12	229	230	219,2	218,5	31,6	48	5,2	-5
2	2	12	-19,9	219,2	218,5	229	230	31,6	50	7,3	+5
3	2	11,9	-54	219,2	218,5	238,8	241,5	28,6	75	17,8	+10
4	2	-54,5	11,9	238,8	241,5	219,1	218,5	30,2	48	6,2	-10
5	10	-12,5	7,6	226,8	230	220,5	218,5	28,6	52	10,3	-5
6	10	7,6	-12,4	220,5	218,5	226,8	230	29,2	52	12,4	+5
7	10	-0,3	-20,8	223	223,1	229,2	234,6	28,7	70	15,9	+5
8	10	-20,8	-0,3	229,2	234,6	223	223,1	29,7	50	8,0	-5
9	2	-20,1	12,2	229	230	219,2	218,5	31,6	34	4,7	-5
10	2	12,2	-20	219,2	218,5	228,9	230	31,7	48	6,4	+5
11	2	12,2	-54,8	219,2	218,5	238,8	241,5	28,8	74	16,0	+10
12	2	-54,8	12,2	238,8	241,5	219,2	218,5	30,1	49	6,4	-10
13	10	-12,6	7,7	226,7	230	220,5	218,5	28,4	54	13,3	-5
14	10	7,7	-12,6	220,5	218,5	226,7	230	29	53	12,4	+5
15	10	-0,3	-20,9	223	223,1	229,2	234,6	28,6	68	17,2	+5
16	10	-20,9	-0,3	229,2	234,6	223	223,1	28	53	15,2	-5

5.3 Desempenho em Grandes Perturbações

Foi analisada a performance do CER Tauá II durante a ocorrência de distúrbios na rede elétrica denominados “Grandes Perturbações” e listados a seguir nas configurações correspondentes a 2015 e 2022, rede completa.

- Energização de transformador 230/69kV, 100MVA na SE Tauá II e 50MVA na SE Picos.
- Energização de autotransformador 500 / 230kV, 600MVA na SE Milagres.
- Aplicação de faltas monofásicas e trifásicas nas linhas Milagres – Tauá II, Picos – Tauá II, Picos – S. J. Piauí (230kV) e Milagres – S. J. Piauí 500kV (FIGURA 5), eliminadas em 100mseg com a abertura da linha em falta, considerando ativado e desativado o esquema de bloqueio por subtensão do CER Tauá II, variando-se o terminal de aplicação da falta.
- Aplicação de faltas monofásicas e trifásicas na barra de 69kV da SE Tauá II eliminadas em 100mseg com rejeição total da carga desta barra, considerando ativado e desativado o esquema de bloqueio por subtensão do CER Tauá II.

O esquema de bloqueio por subtensão do CER Tauá II no setor de 230kV foi ajustado para bloqueio em 0,7pu, com retardo de 5ms para bloqueio e desbloqueio. A Figura 6 apresenta a simulação de aplicação de uma falta monofásica na linha Milagres – Tauá 230kV, terminal Tauá, ano 2022, eliminada em 100mseg com abertura da linha. O CER Milagres opera no modo de controle de tensão com ganho fixo.

Logo após a aplicação da falta, o CER Tauá II tenta deslocar-se para o seu limite capacitivo, inserindo o CMT1 e reduzindo a corrente do RCT. No entanto, o afundamento de tensão associado à falta leva à atuação do bloqueio por subtensão no 230kV, forçando este equipamento a operar em 0Mvar através do bloqueio do CMT1 (o CMT2 encontrava-se bloqueado antes da aplicação da falta e permanece neste estado).

Em seguida ocorre a atuação do esquema de bloqueio por subtensão do setor de 15kV do CER Tauá II, levando ao bloqueio do RCT e do CMT1, permanecendo inseridos apenas os filtros.

Na eliminação da falta com abertura da linha Milagres – Tauá II, os CMT1 e 2 são inseridos na tentativa de combater a subtensão associada a este evento e o overshoot de tensão decorrente desta manobra provoca a inserção do RCT. A interação entre o RCT e os CMT1 e 2 aqui mencionada produz oscilações no sinal de saída do CER Tauá II, levando à atuação do Supervisor de Ganho, que reduz o ganho do compensador até que tais oscilações sejam satisfatoriamente amortecidas.

Durante a falta, o CER Milagres desloca-se para um ponto de operação fortemente capacitivo, pois a redução na sua tensão terminal não é suficiente para provocar a atuação do seu esquema de bloqueio por subtensão. Com a contribuição dos CER Tauá II e Milagres aqui descrita, um regime permanente estável é atingido após a eliminação da falta, com um valor de tensão na SE Tauá II mantendo-se ligeiramente inferior ao pré-falta devido à abertura da linha Milagres – Tauá II 230kV por ocasião da eliminação da falta.

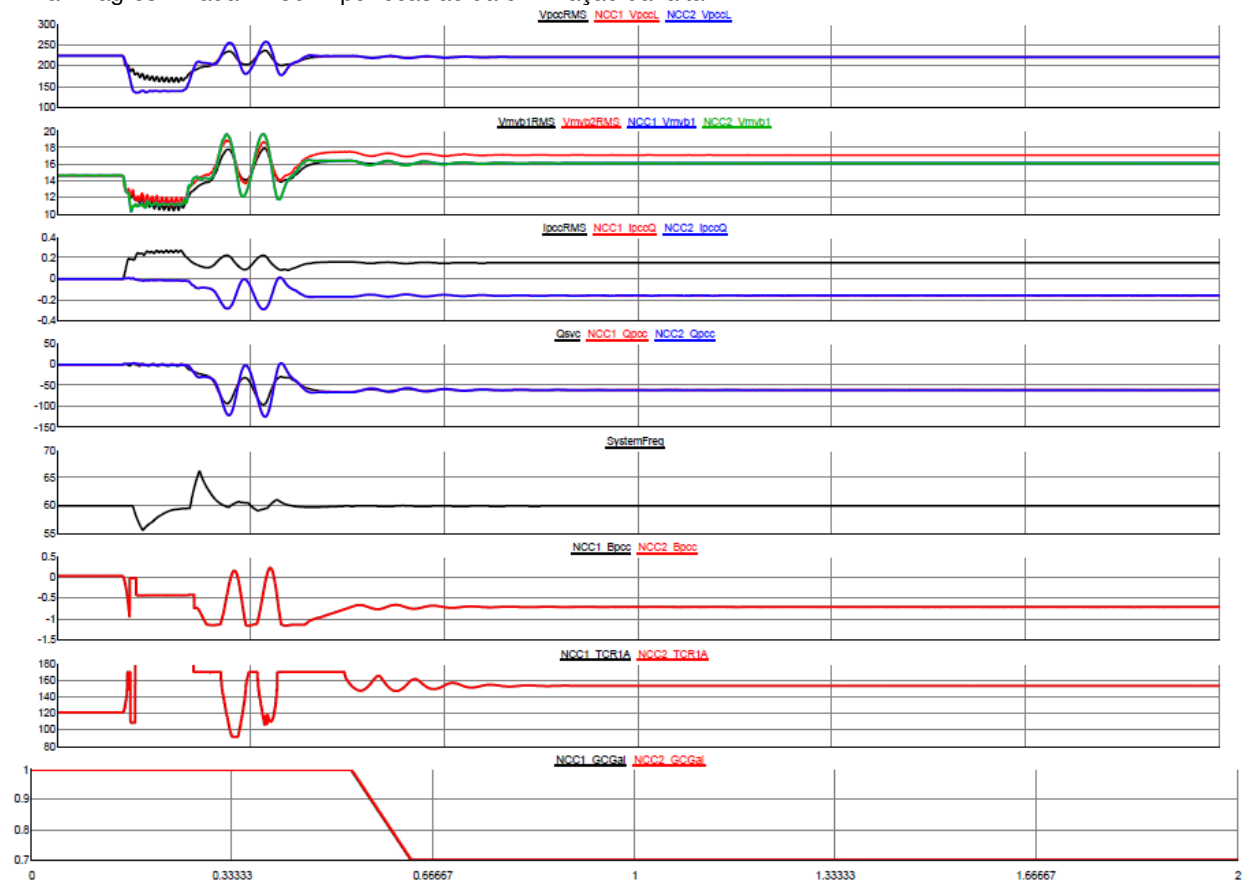


FIGURA 6 – Falta Monofásica na Linha Milagres – Tauá II 230kV, Terminal Tauá II, Ano 2022

Em ordem decrescente a partir da primeira pista, seguem as grandezas do CER Tauá II apresentadas na Figura 6:

- Pista 1: Tensões do 230kV da SE Tauá II medidas pelo RTDS e pelos NCC1 e 2 (kV);
- Pista 2: Tensões do 15kV do CER medidas pelo RTDS e pelos NCC1 e 2 (kV);
- Pista 3: Correntes de 230kV do CER medidas pelo RTDS e pelos NCC1 e 2 (A);
- Pista 4: Potência reativa do CER medidas pelo RTDS e pelos NCC1 e 2 (Mvar);
- Pista 5: Frequência da rede elétrica (Hz);
- Pista 6: Susceptância de saída do CER (pu);

Pista 7: Ângulo de disparo do RCT (graus);
 Pista 8: Ganho do CER (pu);
 Escala horizontal de tempo: Segundos.

6.0 – CONCLUSÕES

- O CER Tauá II apresenta desempenho satisfatório, atendendo aos requisitos da sua Especificação em todas as condições analisadas nos testes de aceitação em fábrica realizados, cujo resumo é apresentado neste IT.
- Através da configuração baseada na utilização do reator de bloqueio série, o exemplo do CER Tauá II demonstra a viabilidade da aplicação da tecnologia convencional de compensação estática de potência reativa baseada em dispositivos controlados a tiristores comutados pela rede em pontos da rede elétrica caracterizados por reduzidos níveis de curto-circuito.

7.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) G. Pilz, D. Langner, M. Battermann, H. Schmitt, "Line - or self-commutated Static Var Compensators (SVC) – Comparison and application with respect to changed system conditions" *Cigré Colloquium HVDC and Power Electronics to Boost Network Performance*, October 2nd-3th 2013, Brasília, Brazil.
- (2) Tauá SVC (+90Mvar cap, -45Mvar ind, 230kV, 60Hz) Study of SVC Main Equipment, Version 2, 26.08.2013, Tampere, Finland.
- (3) J. Aho, N. Thomson, A. Kähkönen, K. Kaasalainen, "Main Reactor Concept – a Cost and Performance Efficient SVC Configuration", *The 16th European Conference on Power Electronics Application – EPE'14 ECCE Europe Procedures*, Lappeenranta, Finland, August 26th to 28th 2014.

8.0 – DADOS BIOGRÁFICOS

Manfredo Correia Lima nasceu em Recife, Brasil, em 1957. Graduiu-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) em 1979, recebeu o grau de Mestre em Engenharia Elétrica pela UFPE em 1997 e o de Doutor em Engenharia Mecânica, com ênfase em automação de sistemas pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) em 2005. Dr. Correia Lima ingressou na Chesf em 1978, onde desenvolve atividades nas áreas de eletrônica de potência, equipamentos FACTS, qualidade de energia, sistemas de controle, transitórios eletromagnéticos e transmissão em CCAT. Em 1992, ingressou na Universidade de Pernambuco (UPE), onde é responsável pelas disciplinas Eletrônica de Potência e Controle de Processos e desenvolve atividades de pesquisa. É representante da Chesf no CE - B4 (Eletrônica de Potência e Elos CCAT) da Cigré Brasil e sócio fundador da Sociedade Brasileira de Qualidade de Energia Elétrica (SBQEE).



Hugo Everaldo Salvador Bezerra nasceu em Caruaru, Brasil, em 1979. Graduiu-se em Engenharia Elétrica pela Universidade de Pernambuco (UPE) em 2002 e MBA em Gestão de Empreendimentos pela FGV em 2014. Ingressou na Chesf em 2003, onde desenvolve atividades na área de projeto e aplicação de sistemas digitais de proteção e controle para sistemas elétricos de alta tensão e gestão de novos empreendimentos em subestações.

Sami Kuusinen nasceu em Tampere, Finlândia, em 1983 e obteve o Grau de MsC pela *Tampere University of Technology* na Finlândia em 2009. Ingressou na Alstom Grid em 2008, onde atua nas áreas de sistemas de proteção e controle, projetos de sistemas e atividades de pesquisa e desenvolvimento, todos relacionados a equipamentos FACTS. Neste período, tem participado de projetos de equipamentos FACTS em vários locais do mundo.

Antero Kähkönen nasceu em Rauma, Finlândia, em 1980 e obteve o Grau de MsC pela *Tampere University of Technology* na Finlândia em 2005. Ingressou na Alstom Grid em 2005, onde atua na área de concepção de projetos de equipamentos FACTS. Neste período, tem participado de projetos de equipamentos FACTS em vários locais do mundo.

Timo Nissinen nasceu em Kuopio, Finlândia, em 1986 e obteve o Grau de MsC pela *Tampere University of Technology* na Finlândia em 2011. Ingressou na Alstom Grid em 2011, onde atua na área de execução de projetos de equipamentos FACTS. Neste período, tem participado de projetos de equipamentos FACTS em vários locais do mundo.

Marcelo Spinella Moraes nasceu em São Paulo em 1966. Engenheiro eletricista formado pela Universidade de Mogi das Cruzes (1989), com especialização em sistema de potência (1992) e Mestre em Engenharia de Energia e Automação pela Escola Politécnica da USP (2004). Ex-professor da Faculdade de Tecnologia de São Paulo

(FATEC) trabalhou na Siemens como engenheiro de projetos na área de dispositivos FACTS, onde participou da transferência de tecnologia de bancos de capacitores série entre Alemanha e Brasil. Atualmente gerencia e desenvolve projetos de eletrônica de potência para a Alstom Grid no Brasil e nos Estados Unidos.

Ricardo Carvalho Campos nasceu em Cristina/MG, Brasil, em 1976. Gradou-se Engenheiro Eletricista pela EFEI (Escola Federal de Engenharia de Itajubá) em 2001. Trabalhou na Alstom de 2002 a 2005 como Engenheiro de Projetos e de 2007 a 2012 como Supervisor de Engenharia de Aplicação. Também trabalhou no ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) em 2006, como Engenheiro de Sistemas de Potência. Atualmente atua como Gerente Comercial de Engenharia de Aplicação da Unidade de Compensação Reativa da Alstom em Itajubá/MG. É membro regular do IEEE, Cigré Brasil e da SBQEE (Sociedade Brasileira de Qualidade da Energia Elétrica).