



**XXI SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO - IX

GRUPO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS- (GOP)

**SIMULAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS DO HVDC PARA
TREINAMENTO DE DESPACHANTES DE ITAIPU**

**Paulo Neis (*)
Itaipu Binacional**

**Alberto de Araújo Bastos
Itaipu Binacional**

RESUMO

Atualmente Itaipu possui um programa de treinamento dos operadores/despachantes em relação ao sistema supervisorado (SCADA/EMS) que consiste em utilizar um simulador com características idênticas às ferramentas utilizadas nas salas de controle de tempo real. Este treinamento é realizado empregando-se uma ferramenta chamada "DTS".

Por conta de sua generalidade e seus requisitos de desempenho, o DTS não apresenta um modelo detalhado para determinados elementos do sistema elétrico, como o elo de transmissão HVDC. Este trabalho apresenta uma solução simples e computacionalmente "barata" desenvolvida por Itaipu para a modelagem de determinadas características operativas do HVDC. A solução encontra-se em uso desde 2010, auxiliando os instrutores na elaboração de sessões de treinamento.

PALAVRAS-CHAVE:

Simulador de Treinamento, Transmissão em Corrente Contínua, Despacho de Carga, Perturbações, SCADA/EMS

1.0 - INTRODUÇÃO

Itaipu Binacional é uma empresa pública internacional, criada pelo tratado de 26 de abril de 1973 entre Brasil e Paraguai. Sua finalidade é a de realizar o aproveitamento dos recursos hídricos do rio Paraná, pertencentes em condomínio aos dois países (1). O tratado estabelece que a energia produzida pelo aproveitamento destes recursos seja dividida igualmente entre ambos os países, sendo que cada um tem o direito de adquirir a energia não utilizada pelo outro para seu consumo próprio.

A usina hidrelétrica de Itaipu, situada entre as cidades de Foz do Iguaçu e Hernandárias, com potência instalada nominal de 14000 MW, é dotada de vinte unidades geradoras com potência nominal de 700 MW cada. Das vinte unidades, metade opera em frequência nominal de 60 Hz e metade em 50 Hz. As unidades de 50 Hz correspondem à parcela paraguaia da energia de Itaipu, visto que esta é a frequência do sistema elétrico do Paraguai, enquanto as unidades de 60 Hz correspondem à parcela brasileira da energia – por razões análogas.

Do montante desta energia que compete ao Paraguai (7000 MW), apenas uma parcela (aproximadamente 15%) é utilizado para consumo do país, sendo que o restante, conforme estabelecido em tratado, é vendida ao Brasil. Como esta parcela é gerada na frequência de 50 Hz, a solução adotada para realizar a compatibilização com o sistema brasileiro foi a de empregar um sistema de transmissão em "Corrente Contínua em Alta Tensão" (CCAT ou HVDC). Este sistema CCAT, operado pela Eletrobras Furnas, interliga-se com Itaipu na subestação de Foz do Iguaçu através de quatro linhas de transmissão em corrente alternada, e representa a maior fração da carga do setor de 50 Hz.

(*) Usina Hidrelétrica de Itaipu, Av. Tancredo Neves, 6.731– CEP 85856-970 Foz do Iguaçu, PR – Brasil
Tel: (+55 45) 3520-3631 – Fax: (+55 45) 3520-3500 – Email: pneis@itaipu.gov.br

Devido à elevada potência e às particularidades da carga que o sistema de transmissão CCAT representa para Itaipu, é importante que as equipes de operação em tempo real (operação da planta e despacho de carga) estejam familiarizados com as características operativas deste sistema, bem como com as principais perturbações que podem vir a afetá-lo e quais suas consequências para Itaipu e para os sistemas brasileiro e paraguaio. Por estas razões os programas de treinamento da operação de Itaipu procuram dar ênfase às características que diferenciam o elo CCAT das cargas em corrente alternada, buscando reproduzir em um ambiente simulado cenários frequentemente encontrados em campo.

1.1 Objetivos

Neste trabalho são descritas algumas características da ferramenta computacional desenvolvida por Itaipu para dar apoio aos instrutores responsáveis pelo treinamento de seus despachantes e operadores. Esta ferramenta está associada ao simulador de treinamento do sistema SCADA/EMS atualmente em uso na empresa.

O intuito de se utilizar esta ferramenta é fornecer aos despachantes e operadores de Itaipu um ambiente de treinamento semelhante ao encontrado no ambiente de produção, especialmente para cenários pós perturbação. Nestas ocasiões cabe ao despachante/operador tomar as providências necessárias para restabelecer o sistema com segurança de maneira coordenada com os demais centros de operação (ONS, Eletrobras Furnas, ANDE). A fim de tornar este restabelecimento o mais rápido possível, minimizando o risco de erros operacionais é fundamental que as equipes de operação recebam treinamento adequado. Por outro lado, nem a ferramenta em questão, nem o ambiente de treinamento foram projetados com o intuito de realizar simulações precisas de fenômenos elétricos transitórios. Para esta finalidade devem ser empregadas ferramentas de estudo apropriadas.

2.0 - A USINA DE ITAIPU E OS SISTEMAS DE TRANSMISSÃO ASSOCIADOS

A infra-estrutura de transmissão associada à usina de Itaipu é mundialmente reconhecida como um dos maiores e mais importantes sistemas de transmissão em funcionamento. Este sistema foi pioneiro na utilização de tão elevados níveis de tensão, tanto em corrente contínua (600 kV) quanto alternada (765 kV) (2).

O setor de 50 Hz de Itaipu é responsável por suprir boa parte da demanda do sistema elétrico paraguaio (SIN-PY) e ainda realiza um intercâmbio médio de aproximadamente 4900 MW com sistema brasileiro (média do ano de 2010). A interligação com a empresa transmissora do sistema paraguaio (Administración Nacional de Electricidad - ANDE) é feita através da Subestação da Margem Direita (SEMD), pertencente à Itaipu. A SEMD é abastecida por duas linhas de 500 kV que partem diretamente de uma subestação elevadora isolada à gás (GIS) localizada dentro da usina. A interligação com a transmissora do sistema brasileiro (Eletrobras Furnas) é realizada por quatro linhas de 500 kV, duas partindo diretamente da GIS, e duas partindo da SEMD. As quatro linhas estão conectadas à subestação de Foz do Iguaçu (2). Nesta subestação, situada a aproximadamente 8 km da Usina de Itaipu e operada pela Eletrobras Furnas, encontram-se os conversores CA/CC do elo de corrente contínua. Na “Figura 1” é apresentado um diagrama simplificado destas interligações e dos conversores.

2.1 Transmissão em Corrente Contínua

Uma infraestrutura de transmissão em corrente contínua interligando dois sistemas de corrente alternada pode apresentar diversas vantagens sobre a transmissão em corrente alternada (3, 4). Uma das mais significativas é que os dois sistemas CA não necessitam estar sincronizados, fator que pode contribuir para a estabilidade dos sistemas durante perturbações ou mesmo permitir o intercâmbio de potência entre áreas que operam em diferentes frequências. Adicionalmente, uma série de controles especiais podem ser agregados aos conversores a fim de melhorar o desempenho e a estabilidade dos sistemas CA (4, 5).

O sistema de transmissão em CCAT que interliga o setor de 50 Hz de Itaipu com o SIN-BR é composto por duas estações conversoras (situadas em Foz do Iguaçu e Ibiúna, respectivamente) interligadas por duas linhas bipolares paralelas de aproximadamente 800 km (5). Cada estação é composta por 8 conversores, em uma configuração de dois conversores por pólo, conforme ilustrado na “Figura 1”. As estações conversoras são dotadas de um conjunto de controles que conferem características únicas à carga que o CCAT representa para a usina de Itaipu. Alguns dos principais controles em questão são descritos à seguir.

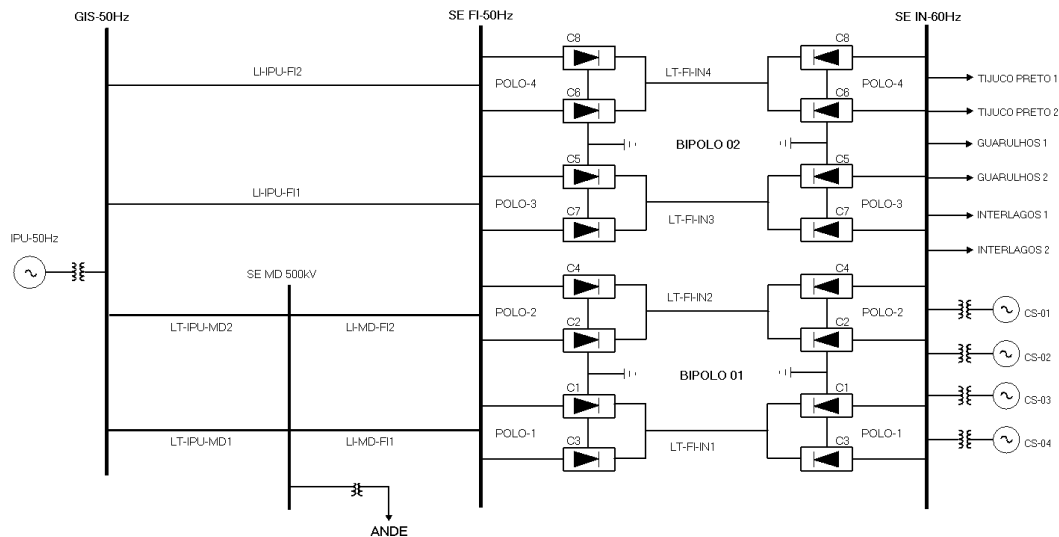


Figura 1 – Esquema simplificado de Itaipu 50 Hz e interligações.

2.1.1 Controle de Frequência - STAB

Uma das características dos sistemas de transmissão em CCAT é a capacidade de realizar o controle da frequência de um dos sistemas AC por ele interligados. Este controle é feito através do monitoramento da variação de grandezas elétricas, especialmente a frequência. Tão logo uma variação seja detectada, o intercâmbio entre os dois sistemas pode ser alterado automaticamente, através do controle do ângulo de disparo dos tiristores.

No sistema CCAT que interliga o setor de 50 Hz de Itaipu com o SIN-BR esta característica é empregada com a finalidade de controlar a frequência do lado 50 Hz. Embora neste sistema o fluxo de potência ocorra sempre no sentido de Itaipu para o SIN-BR, o elo CCAT é capaz de detectar variações bruscas de frequência no lado 50 Hz e responder rapidamente elevando ou reduzindo o intercâmbio. Esta funcionalidade é conhecida como STAB-50.

O STAB-50 atua com o objetivo de restabelecer o equilíbrio carga/geração entre o ELO de CC e o sistema de 50 Hz associado (Itaipu 50 Hz + SIN-PY), de forma a impedir que a frequência fique abaixo de 49,8 Hz. Uma das situações onde o STAB atua é no caso de perda de geradores do setor de 50 Hz da Usina de Itaipu. Na ocorrência de um desligamento de unidade geradora, o balanço entre carga e geração é imediatamente afetado, e a potência demandada pela carga é suprida pela energia cinética dos geradores remanescentes, provocando uma redução de frequência. Esta redução tende a ser compensada pela regulação primária de velocidade das unidades geradoras, porém o tempo de resposta desta é relativamente elevado, visto que é composta por um sistema essencialmente mecânico. Em contrapartida, o STAB-50 atua rapidamente no sentido de reduzir a carga do elo CC de forma a manter a frequência em torno dos 49,8 Hz. Por outro lado, à medida que a regulação de velocidade das unidades e o controle automático de geração do sistema 50 Hz realizam a compensação, aumentando a potência mecânica das turbinas, o STAB-50 retoma gradativamente a carga do elo CC até que esta retorne ao seu patamar original (assumindo-se que exista reserva suficiente no setor).

2.1.2 Controle de Potência e Limite de Sobrecarga de Curta Duração – STOL

Em caso da ocorrência de uma saída forçada de conversor ou pólo do CCAT, o controle de potência do elo fará com que os conversores restantes assumam a carga correspondente aos conversores desligados. Se a potência resultante desta operação for maior do que a carga admitida pelos conversores remanescentes, será permitida uma sobrecarga temporária, que visa amenizar o impacto que uma rejeição de carga teria sobre o sistema elétrico (3). A sobrecarga é eliminada gradualmente dentro de um determinado período de tempo, segundo uma curva que decresce exponencialmente. A lógica que implementa esta característica é denominada “STOL” (*Short Time Overload Limiter*).

3.0 - OPERAÇÃO EM TEMPO REAL DE ITAIPU

Na realização de suas tarefas as equipes de operação em tempo real de Itaipu contam com um sistema de supervisão, controle e gerenciamento de energia (SCADA/EMS) denominado “NMR3®”, fornecido pela ABB. Este sistema realiza a aquisição de mais de 20.000 pontos de supervisão, oriundos da Usina de Itaipu e das empresas interligadas (Eletrobras Furnas e ANDE). Dentre as principais ferramentas de controle implantadas, podemos citar os Controles Automáticos de Geração (CAG 50 e 60 Hz) e os Controles Automáticos de Tensão (CATs 50 e 60 Hz). Além destes existem aplicativos de apoio à supervisão, como o Estimador de Estados, o MSH (Monitoramento do Sistema Hidráulico) e MSE (Monitoramento do Sistema Elétrico), além de um simulador de treinamento.

3.1 O simulador de Treinamento “DTS”

O DTS (*Dispatcher Training Simulator*) é um ambiente integrado de treinamento (6, 7), que permite aos operadores e despachantes exercitarem a tomada de decisões em variadas condições operativas. O DTS é dotado de um modelo do sistema elétrico e de uma interface com o usuário idêntica àquela utilizada nas salas de controle em tempo real. Além disso, o DTS é capaz de processar ações promovidas pelo usuário, produzindo uma resposta semelhante à do sistema elétrico por ele representado.

O ambiente DTS utiliza informações do modelo elétrico do sistema (solução do fluxo de potência), um modelo dinâmico de seus elementos (geradores, cargas e outros componentes ativos) e ainda os chamados “eventos de cenário” (mudanças de estado, atuação de proteções, etc.) para desenvolver a sessão de treinamento, tornando-a o mais fidedigna possível. Este ambiente de treinamento possui requisitos que estabelecem um compromisso entre exatidão e o volume de recursos computacionais necessários à simulação em tempo real do comportamento do sistema elétrico.

O modelo elétrico do sistema utilizado no DTS compreende os principais elementos necessários à uma solução satisfatória do algoritmo de fluxo de potência (transformadores/reguladores, bancos de capacitores, linhas de transmissão, geradores e cargas equivalentes). Sua elaboração foi feita levando-se em conta as informações de tempo real disponíveis e as necessidades da operação de Itaipu, visto que aplicativos (como o estimador de estados) utilizam este mesmo modelo. Assim sendo, determinados elementos não são contemplados pelo modelo. Este é o caso para o sistema de transmissão em corrente contínua, que atualmente é modelado apenas através de duas cargas fixas conectadas ao setor de 50 Hz de Itaipu, e de seus respectivos filtros.

3.1.1 Base de Dados e Modelo Dinâmico de Simulação

A base de dados utilizada no ambiente de simulação (DTS) é uma réplica da base de dados corrente no ambiente de produção, assim como a maior parte dos subsistemas e aplicativos em execução. Adicionalmente, o DTS possui um conjunto extra de aplicações e dados responsáveis por executar a simulação propriamente dita. Estes aplicativos e dados modelam o comportamento do sistema elétrico em relação aos seguintes aspectos:

- Comportamento dinâmico das unidades geradoras e máquinas motrizes de Itaipu;
- Modelo dinâmico das cargas e geradores equivalentes do sistema;
- Parâmetros dos modelos das áreas de controle externas e programação de intercâmbio;
- Demais parâmetros de equipamentos integrantes da simulação (proteções, comutadores de tap, etc.).

3.1.2 Eventos de Cenário e Comandos do Instrutor

Uma importante funcionalidade do DTS é a possibilidade de se criar eventos que representam mudanças arbitrárias no estado de elementos da simulação. Estas mudanças podem ser tanto em elementos discretos (disjuntores, comutadores, etc.) quanto em grandezas analógicas (valores de potência e tensão, por exemplo). Estes eventos podem ser criados previamente, durante a fase de preparação do cenário de simulação (denominados “eventos de cenário”), ou ainda gerados durante a sessão de treinamento (chamados de “comandos do instrutor”). O DTS possui interfaces que permitem ao instrutor criar e manipular eventos ou ainda executar estes comandos durante a simulação. A grande desvantagem desta interface é que os eventos ou comandos devem ser criados um a um, limitando a aplicação da ferramenta na elaboração de casos mais elaborados.

4.0 - APLICATIVO DE APOIO À SIMULAÇÃO E TREINAMENTO

Com o intuito de facilitar o trabalho do instrutor do DTS, foi desenvolvido por Itaipu um aplicativo auxiliar, integrado ao ambiente SCADA/DTS, capaz de automatizar uma série de tarefas corriqueiras, bem como de parametrizar e criar “ocorrências” específicas durante a simulação. Estas ocorrências são construídas a partir de uma funcionalidade do DTS denominada “Comandos do Instrutor”. O referido aplicativo emprega uma sequência de comandos do instrutor para simular um conjunto de eventos que representam uma ocorrência do sistema elétrico. A possibilidade de utilizar tais ocorrências torna as sessões de treinamento mais semelhantes à rotina de operação. Além de auxiliar no processo de treinamento, este aplicativo também pode ser utilizado como ferramenta de teste para *softwares* de controle (CAG, CAT, etc.). Por estas razões a ferramenta foi denominada “Aplicativo de Suporte do DTS”.

4.1 Desenvolvimento do Aplicativo

O aplicativo foi desenvolvido em linguagem “C++” e integrado ao ambiente SCADA/DTS. A interface com o usuário foi construída através de telas do próprio sistema SCADA. Este formato de interface torna a utilização mais simples, visto que está totalmente integrada ao sistema de supervisão, dispensando a chamada de qualquer programa ou interface externa. Na Figura 2 – (a) está ilustrada a tela principal do aplicativo, bem como o caminho no *menu* do SCADA/DTS que invoca esta tela. Na Figura 2 – (b) está ilustrada uma tela de um dos módulos de simulação de ocorrências desenvolvidos.

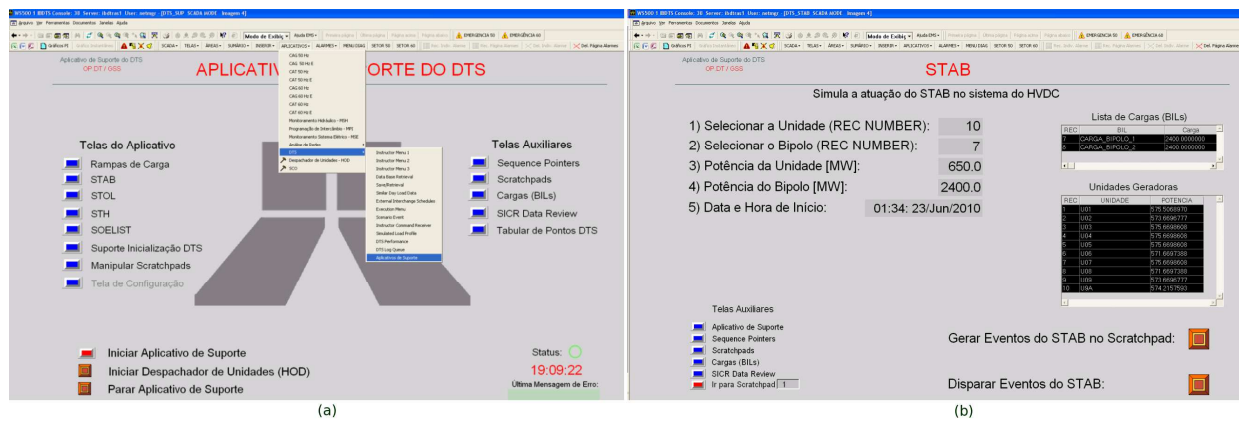


Figura 2 – Telas do Aplicativo de Suporte.

Quanto à sua arquitetura, o Aplicativo de Suporte consiste em um módulo principal, integrado como tarefa do sistema SCADA, responsável por invocar uma série de módulos auxiliares, que implementam funcionalidades específicas. Estas funcionalidades (ou serviços) podem ser tanto periódicas quanto disparadas por uma solicitação do instrutor. Atualmente, as principais funcionalidades existentes são as seguintes:

- Atualização do relógio de simulação (periódica, a cada 2 segundos): Este serviço visa sincronizar o relógio de sistemas externos ao SCADA, e que por consequência não têm acesso ao relógio simulado do DTS.
- Inicialização dos dados hidrológicos (sob demanda): O DTS é capaz de realizar a simulação dinâmica apenas de grandezas elétricas. Por outro lado, Itaipu possui um conjunto de aplicativos que monitoram e utilizam grandezas hidrológicas (níveis/vazões) necessárias ao seu funcionamento. Como estas grandezas não fazem parte da simulação dinâmica do DTS, foi necessário criar um módulo capaz de popular a base de dados do DTS com valores coerentes, que no ambiente de produção seriam obtidos via telemetria.
- Processamento de arquivos de eventos SOE (sob demanda): Através deste módulo é possível recriar no ambiente de simulação uma ocorrência observada no ambiente de produção e registrada no histórico através de eventos SOE. A ocorrência será representada através de uma lista de eventos de cenário e estará disponível para que o instrutor inicie o processamento da mesma no momento oportuno, recriando o cenário previamente observado.
- Criação de cenários de simulação paramétricos (sob demanda): Este serviço visa criar conjuntos de eventos de simulação específicos, compostos tanto por mudanças de estado de pontos digitais quanto por variações de grandezas analógicas, que reproduzem determinadas ocorrências. Estas ocorrências possuem a propriedade de ser função de um conjunto de parâmetros. Atualmente existem três módulos pra criação de cenários parametrizáveis: rampa de carga no elo CC, desligamento de unidade geradora com atuação do STAB e bloqueio de conversor com atuação do STOL.

Os módulos de simulação de ocorrências, foco da elaboração deste informe, são detalhados a seguir. Cabe ressaltar que estas simulações não reproduzem fielmente o que ocorre no tempo real, devido às limitações do simulador. No ambiente DTS a simulação é executada em ciclos de 4 segundos. A cada ciclo é obtida uma solução do fluxo de potência em regime estacionário para a topologia e condições de contorno atuais. Por estas razões não é possível a representação fiel de fenômenos elétricos transitórios. Por outro lado, o objetivo da ferramenta é proporcionar um ambiente de treinamento que represente o efeito visual que o despachante encontra nas suas telas de supervisão e controle, sendo neste sentido bastante satisfatória.

4.1.1 Rampa de Carga no Elo de Corrente Contínua

Este módulo permite ao instrutor criar um determinado número de eventos discretos que simulam o efeito de uma “rampa de carga” no elo de corrente contínua. A rampa de carga consiste em uma elevação ou redução gradual do patamar de carga do elo, com o intuito de elevar ou reduzir o intercâmbio do setor de 50 Hz de Itaipu com o SINBR. Nestes casos, como o controle de geração (CAG) de Itaipu 50 Hz opera em modo “frequência constante”, a geração total do setor tenderá a acompanhar a variação de carga do elo, de forma a zerar o erro de frequência. Devido às características do modelo de simulação, a variação de potência será promovida sobre a carga equivalente de um dos bipólos, determinado pelo instrutor. Os parâmetros de entrada desta função são: o bipólo desejado, a carga inicial, a carga final, e o tempo de duração da rampa. Através destes parâmetros a função calcula um passo de incremento de carga e o intervalo entre os eventos de elevação de carga. O número total de eventos discretos foi arbitrariamente fixado em cem.

4.1.2 Desligamento de Unidade Geradora com Atuação do STAB

Este módulo é capaz de criar uma série de eventos discretos que reproduzem o efeito do desligamento (*trip*) de uma unidade geradora do setor 50 Hz de Itaipu, e atuação do controlador de frequência STAB do CCAT. O conjunto de eventos será composto inicialmente pelo desligamento da unidade, seguido por uma correspondente

redução de carga no elo, de valor equivalente à potência fornecida pela unidade no instante anterior ao desligamento e finalmente por uma elevação gradual da carga do elo até o patamar original.

Para fins de simplificação, a variação de carga novamente será promovida em apenas um dos bipólos. Os parâmetros de entrada da função são: A unidade geradora desejada, o valor da sua respectiva potência e o bipólo onde a variação de carga deverá ser promovida.

4.1.3 Desligamento de Conversor com Atuação do Controle de Potência e Limitador STOL

Com este módulo é possível simular um comportamento semelhante ao apresentado pelo elo de CC no caso do desligamento de conversores e atuação do controle de potência com limitador STOL. A série de eventos gerada será composta pelo desligamento de um conversor, seguida pela redução de um determinado montante de carga do bipólo correspondente. A carga reduzida de um dos bipólos será inicialmente adicionada ao bipólo remanescente, resultando em uma “sobrecarga” temporária. Esta “sobrecarga” será gradualmente eliminada e a carga do bipólo retornará ao patamar inicial.

Devido às limitações do modelo de simulação, este comportamento não corresponde exatamente ao funcionamento do controlador de potência do CCAT, porém resulta em um efeito semelhante sobre as unidades geradoras de Itaipu 50 Hz e o seu intercâmbio com o SIN-BR. Uma reprodução matematicamente fiel do comportamento do controle de potência do sistema de transmissão em corrente contínua envolve uma série de detalhes que vão além dos objetivos deste trabalho.

4.2 Utilização em Sessões de Treinamento

O aplicativo vem sendo utilizado com sucesso no treinamento dos despachantes de Itaipu desde meados de 2010. Uma vez iniciada a execução do programa, é possível utilizá-lo para criar e disparar os cenários de simulação desejados. Os cenários são armazenados em uma área específica do simulador DTS, denominada “*scratchpad*”. O instrutor pode criar previamente o cenário para a simulação da ocorrência desejada e armazená-lo no *scratchpad*, ou ainda gerá-lo à medida que for utilizando, durante a sessão de treinamento.

4.2.1 Inicialização

O Aplicativo de Suporte deve ser disparado pelo instrutor sempre que o DTS é reinicializado. Esta operação é feita através de tela principal do aplicativo (Figura 2), acessível via *menu* do sistema SCADA.

4.2.2 Criação de Rampa de Carga

Uma rampa de carga é solicitada pelo despacho do COSR-SE e coordenada com Itaipu e Furnas. Esta solicitação de alteração no intercâmbio Itaipu 50 Hz / Eletrobras Furnas pode estar programada ou pode ser solicitada em tempo real através de uma reprogramação. Na sessão de simulação o instrutor faz o papel do operador do COSR-SE e solicita a rampa de carga à Itaipu. O despachante em treinamento deve então fazer as verificações necessárias e coordenar com o COSR-SE (instrutor) o início da rampa. Uma vez iniciada a elevação da carga pelo instrutor, o despachante deve acompanhar o desenvolvimento da rampa, verificando se todas as condições sistêmicas sob sua responsabilidade estão sendo atendidas, como, por exemplo: disponibilidade de potência, controle de vazão turbinada e vertida, possibilidade de violação dos termos do Acordo Tripartite¹, controle da tensão nas barras de 500 e 220 kV e limitações de geração de acordo com as instruções em vigor.

4.2.3 Desligamento de Unidade Geradora com Atuação do STAB

Uma ocorrência que venha a produzir o desligamento de unidades geradoras em carga no setor de 50 Hz, dependendo da condição de carga e disponibilidade de unidades no momento, pode ser seguida da atuação do controlador de frequência do CCAT. Durante o treinamento estas ocorrências podem ser simuladas através desta funcionalidade. O instrutor prepara o cenário da ocorrência, escolhendo a unidade geradora a ser desligada e qual bipólo terá sua carga modificada. Uma vez disparada a simulação da ocorrência, o algoritmo da ferramenta produz um efeito nas grandezas elétricas do DTS similar ao da atuação do STAB 50 no tempo real.

O despachante deverá então fazer suas verificações em função da nova configuração do sistema, visando mantê-lo operando dentro das especificações das instruções de operação. Deverá verificar a necessidade de reprogramação de intercâmbio, a possibilidade de violação do Acordo Tripartite, o controle da tensão, os limites para a nova configuração, e se a unidade poderá ser recolocada em operação, tomando as medidas previstas para a situação.

4.2.4 Desligamento de Conversor com Atuação do STOL

Para este caso o instrutor deverá preparar o cenário através do aplicativo de suporte, definindo o montante de carga que deverá ser “cortado”, simulando a perda de um conversor ou pólo do elo de corrente contínua. O aplicativo se encarregará de fazer as alterações necessárias na potência, de forma a fazer com que a curva de carga e as demais grandezas elétricas do simulador respondam de forma semelhante ao que ocorre no tempo real. Do mesmo modo o despachante deverá tomar as medidas necessárias para operar o sistema de acordo com os

¹ Acordo entre Brasil, Paraguai e Argentina que versa sobre as variações do nível do rio Paraná à jusante de Itaipu.

procedimentos e limitações previstos nas instruções, e coordenar a normalização após o equipamento ter sido novamente posto em operação.

4.3 Resultados e Comparação com Dados Históricos

Na Figura 3 é apresentado um comparativo entre uma ocorrência registrada pelo histórico (PI) do sistema SCADA/EMS e a correspondente simulação realizada (atuação do STAB). A ocorrência em questão consiste em um ensaio de rejeição de carga realizado à plena carga (650 MW) com a unidade “9A”. Em ambos os gráficos foi registrada a geração total do setor de 50 Hz, em vermelho e a frequência, em azul. Na Figura 3 – (a) é ilustrado o comportamento do DTS ao realizar-se a execução dos eventos gerados pelo Aplicativo de Suporte para simular a rejeição. Na Figura 3 – (b) são exibidos os dados obtidos do histórico.

Em ambos os gráficos é possível perceber que no momento do desligamento da unidade, a geração total do setor é reduzida de aproximadamente 650 MW, sendo posteriormente elevada gradualmente até o patamar anterior à perturbação. Esta diminuição é reflexo do corte de carga realizado pelo controlador de frequência (STAB) do CCAT, que resulta em uma equivalente redução de intercâmbio com o SIN-BR. Na Figura 3 – (b) é possível também perceber que a frequência é mantida em aproximadamente 49,8 Hz durante a retomada de carga.

Na Figura 3 – (a) é possível verificar que o comportamento da curva da potência gerada é bastante semelhante ao observado no caso real. Tanto a amplitude da redução quanto a duração da retomada de carga foram reproduzidos pelo simulador. A diferença na curva de frequência deve-se às características dinâmicas do modelo de simulação, e seu comportamento foi considerado satisfatório em vista dos objetivos deste trabalho.

Na Figura 4 é ilustrado um gráfico do comportamento do sistema durante uma rampa de carga no CCAT. A Figura 4 – (b) representa a curva real de elevação da geração do setor 50 Hz em aproximadamente 600 MW, com dados obtidos do histórico. Na Figura 4 – (a) podem ser observados os resultados da simulação de uma elevação correspondente realizada no ambiente DTS. É possível perceber que o comportamento é bastante semelhante nos dois casos.

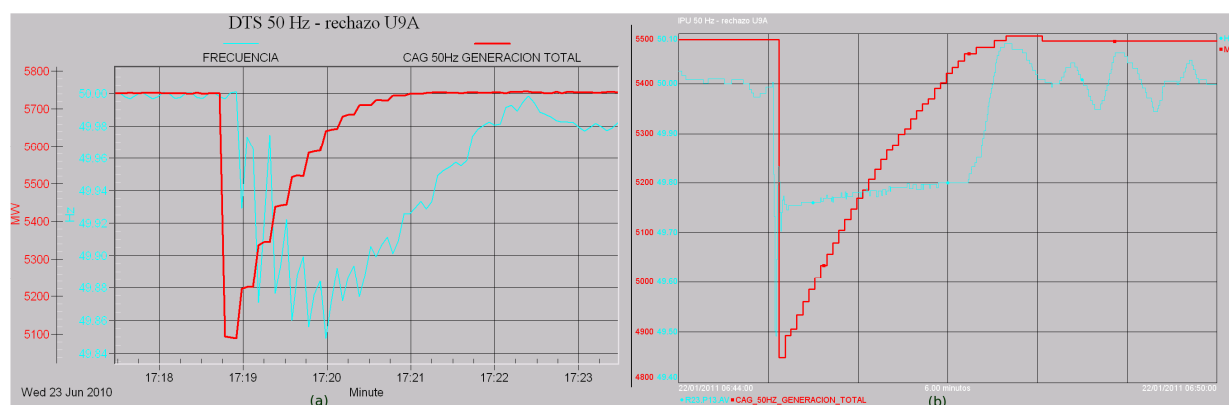


Figura 3 – Atuação do STAB, (a) simulada e (b) real.

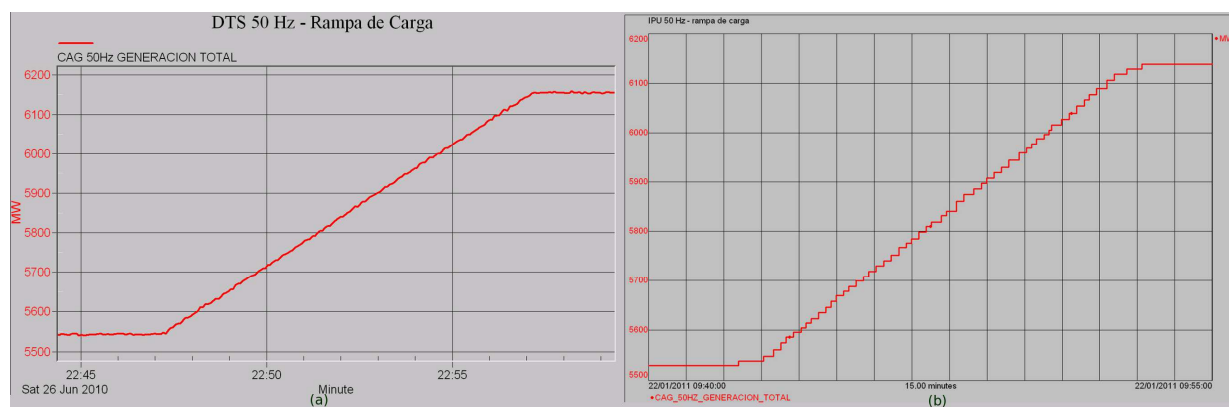


Figura 4 – Rampa de carga no setor 50 Hz, (a) simulada e (b) real.

Na Figura 5 é ilustrada uma simulação realizada para o caso de um desligamento de conversor com atuação do STOL. É possível observar que o bipólo em questão foi submetido a uma sobrecarga, a fim de evitar um corte abrupto de intercâmbio com o SIN-BR. Nos instantes seguintes, a sobrecarga é gradualmente eliminada, fazendo com que o bipólo retorne ao patamar original de carga, ao passo que o intercâmbio com o elo é reduzido do montante equivalente. Para esta ocorrência não foi possível realizar a comparação com dados reais, devido a indisponibilidade de informações históricas de ocorrências desta natureza.

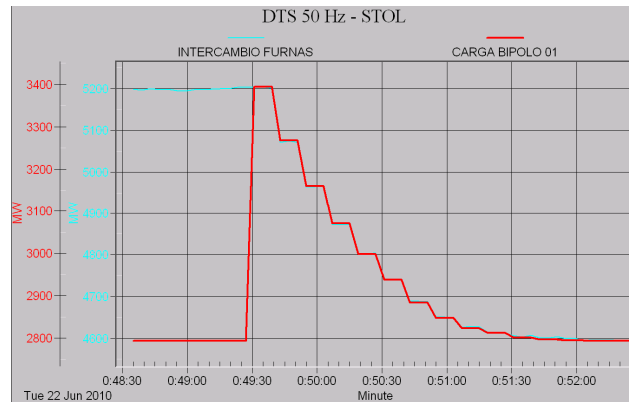


Figura 5 – Simulação de uma atuação do STOL.

5.0 - CONCLUSÃO

O aplicativo desenvolvido por Itaipu tem se mostrado bastante útil e eficaz no auxílio às sessões de treinamento realizadas. Anteriormente à implantação da ferramenta havia dificuldade em simular as características dos controladores do elo CCAT e rejeições de carga em unidades geradoras do setor de 50 Hz. As principais razões para estas dificuldades eram as limitações do modelo de simulação empregado e a relativa falta de recursos das interfaces para a realização dos comandos do instrutor do DTS. Em muitos casos em que se tentou simular ocorrências desta natureza, observou-se uma reprodução inadequada do comportamento das grandezas elétricas e até mesmo instabilidades (não-convergência) dos algoritmos de simulação devido às variações de carga muito bruscas. Nestas situações o simulador deve ser reinicializado, prejudicando o andamento do treinamento.

Com a implantação do aplicativo foi possível enriquecer as sessões de treinamento com casos mais parecidos aos encontrados na operação em tempo real, proporcionando um ganho significativo para o profissional em treinamento. Estes novos casos incorporados permitem ao despachante vivenciar, em um ambiente controlado, situações raramente observadas no desempenho de suas atividades corriqueiras, mas que requerem especial atenção. Desta forma contribui-se para a formação de um profissional melhor preparado para atuar em situações de emergência, visto que as referidas situações foram exercitadas utilizando o simulador.

Adicionalmente a ferramenta contribuiu no sentido de conferir maior robustez ao DTS, possibilitando, por exemplo, a realização de testes e avaliação do desempenho de aplicativos de gerenciamento de energia em cenários influenciados pelas características do elo CCAT.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) MAYER, L.R. "Natureza Jurídica de Itaipu"; Diário Oficial da União, 19.10.1978, pg 16869-16877.
- (2) USINA HIDRELÉTRICA DE ITAIPU, "Aspectos Técnicos do Empreendimento Itaipu", Rio de Janeiro: Itaipu Binacional, 1989.
- (3) GRAHAM, J., Kumar, A., Biledt, G. "HVDC Power Transmission for Remote Hydroelectric Plants"; Cigré SC B4, Sep. 2005 Bangalore, India.
- (4) WOODFORD, D. A. "HVDC Transmission", Manitoba HVDC Research Centre, 1998.
- (5) PRAÇA, A. et al. "Itaipu HVDC Transmission System, 10 years Operational Experience", CIGRÉ Regional Meeting, V SEPOPE, Recife, Brasil, 1996.
- (6) KROST, G., ALLAMBY, S., LEHTONEN, P. "Organization and Justification of Power System Operator Training"; CIGRE Working Group 39.03, Session 2000.
- (7) WANG, N. et al. "Simulation of the New York Power Pool for Dispatcher Training"; IEEE Transaction on Power System, Vol. 9, Issue 4, Nov. 1994.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Paulo Neis, natural de São João – PR, é Engenheiro Eletricista graduado pela Universidade Federal do Paraná (2002), mestre em Engenharia Elétrica e Informática Industrial pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2006). Possui sólida experiência com sistemas de controle, automação e gerenciamento de energia, tendo trabalhado desde 2001 em empresas e institutos de pesquisa ligados ao setor elétrico. É colaborador de Itaipu Binacional desde 2008.



Alberto de Araújo Bastos, natural de São Leopoldo – RS, é Engenheiro Eletricista graduado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1981), com especialização em Engenharia de Software (1998) pela Universidade do Oeste do Paraná (UNIOESTE) em parceria com a COPPE-RJ. Funcionário do Departamento de Operação da Itaipu Binacional desde 1985, sendo que desde 1997 na supervisão da operação em tempo real e responsável pelo treinamento das equipes de operação.