



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

BR/GMI/29  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

**GRUPO - XII**

**GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERÊNCIAS DE MANUTENÇÃO - GMI**

**Comissionamento e Manutenção do Back to Back em Porto Velho – Fornecimento Para o Sistema  
Acre/Rondônia da Energia das Usinas do Rio Madeira**

**Olof Magnus Lalander (\*)**  
**ABB**

**André Gobara**  
**Eletrosul**

**Gilberto Siqueira**  
**PVTE**

**RESUMO**

Este artigo descreve as diferentes fases do comissionamento das Conversoras Back to Back na Subestação Coletora Porto Velho, seu relacionamento com as manutenções futuras, com destaque especial para as particularidades e especificidades do Sistema de Corrente Contínua em Alta Tensão e sua integração junto às usinas de Santo Antônio e Jirau. Também descreve o desempenho do sistema nas fases iniciais de implantação do Back to Back na subestação Coletora Porto Velho e como isso afeta o planejamento das manutenções futuras.

**PALAVRAS-CHAVE**

Corrente Contínua, Rio Madeira, Comissionamento, Back to Back, HVDC

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A Subestação Coletora Porto Velho (SE CPV) foi projetada para a transmissão da energia gerada nas usinas hidrelétricas (UHE) de Santo Antônio e Jirau, no Rio Madeira, para atender o sistema regional Acre-Rondonia a Rede Básica do Sistema Interligado Nacional (SIN). A energia gerada nas UHE Santo Antônio e UHE Jirau é transmitida até a SE CPV por linhas de corrente alternada de 500kV. A maior parte dessa energia será transmitida até Araraquara onde se conecta ao Sistema Interligado Nacional (SIN) através de dois bipolos de Corrente Contínua em Alta Tensão (HVDC – High Voltage Direct Current). A transmissão de energia para o sistema regional Acre-Rondônia é feito através de duas conversoras Back to Back de 400MW, que foi considerada uma solução flexível e econômica para a alimentação do sistema de 230kV.

Em 26/11/2008, foi realizado o Leilão Aneel 007/2008 para do Sistema de Transmissão de Integração das Usinas do Rio Madeira. Havia duas alternativas tecnológicas para integração das Usinas. Uma delas em Corrente Contínua e a outra em um sistema Híbrido, onde parte transmissão seria em corrente contínua (CC) e a outra parte em corrente alternada (CA). A alternativa tecnológica em Corrente Contínua foi a vencedora.

No Leilão 007/2008, as instalações de transmissão foram divididas em sete lotes. A Figura 1 mostra a disposição dos lotes licitados.

A fim de proporcionar a antecipação da entrada em operação da UHE Santo Antônio em aproximadamente 4 meses, a Santo Antônio Energia (SAE) propôs à ANEEL e ao ONS uma conexão provisória com o sistema regional de 230kV através de um transformador provisório 525/230kV, 465 MVA.

Para isso, a Porto Velho Transmissora de Energia (PVTE) antecipou a entrada em operação das linhas de 230kV, da SE CPV e da ampliação da Subestação Porto Velho (SE PV) em 15 de novembro de 2011.

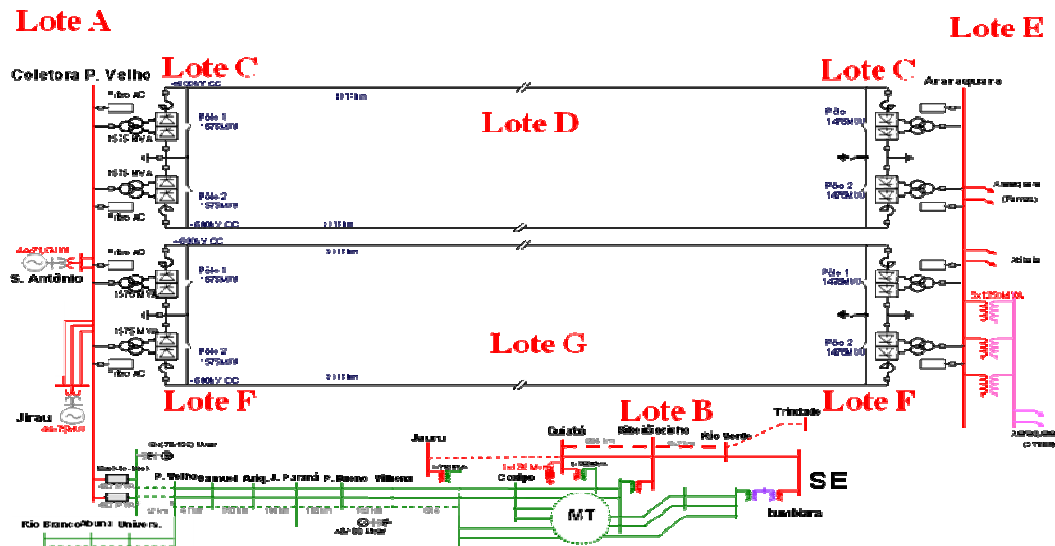


FIGURA 1 – Lotes do Edital de Transmissão Aneel 007/2008

A energização parcial da SE CPV permitiu o início dos testes da primeira máquina da UHE Santo Antônio. No início de 2012, começou o efetivo fornecimento de energia elétrica ao sistema regional Acre e Rondônia pelo sistema de transmissão do Rio Madeira e que configura maior disponibilidade, flexibilidade e confiabilidade para o sistema regional.

Com o transformador provisório, também foi possível comissionar as conversoras Back to Back, sem interrupção na geração de energia da UHE Santo Antônio.

Como o sistema regional Acre-Rondônia é considerado fraco, as conversoras Back to Back foram projetadas com Capacitores de Comutação (CCC), que deixam as conversoras menos suscetíveis a falhas de comutação, evitando impacto significativo no sistema regional. Somente as conversoras de Garabi na conexão Brasil-Argentina e em Sharyland nos Estados Unidos possuem projetos semelhantes às conversoras da SE CPV com o CCC.

Com o objetivo de agregar conhecimento sobre esse tipo de instalação, esse artigo descreve as etapas de comissionamento das conversoras Back to Back na SE CPV, que é parte integrante do lote A do Leilão 007/2008. O artigo também detalha o planejamento do comissionamento e apresenta as experiências encontradas nos ensaios de transmissão de potência.

## 2.0 - PLANEJAMENTO DO COMISSIONAMENTO E MANUTENCÕES FUTURAS

Por causa das particularidades e especificidades do projeto das Conversoras Back to Back na SE CPV e da necessidade da operadora (Eletrosul) de adquirir experiência nos processos de Operação e Manutenção no sistema de transmissão HVDC, o planejamento de atividades em todas as fases do comissionamento ganha uma importância adicional que é o nivelamento de informações de equipes com experiências diferentes.

Para cada etapa do comissionamento é feito um planejamento de atividades e cada atividade é documentada em relatórios de controle de qualidade chamados de Planos de Inspeção e Teste (ITP - Inspection and Test Plan) que permitem acompanhamento do processo na forma global ou nos detalhes por qualquer parte interessado, seja fornecedor (ABB), seja cliente (Abengoa, PVTE, Eletrosul). Isso permite que as equipes tenham uma visão geral do processo. Além disso, essa forma de planejar o comissionamento tem um efeito altamente produtivo na hora da execução.

Assim como nas atividades de comissionamento, as atividades de manutenção preventiva e corretiva também têm seus planejamentos discutidos antes da execução do serviço com o objetivo de agregar conhecimento e de aperfeiçoar o futuro processo de manutenção. As atividades de manutenção também são documentadas em relatórios de controle de qualidade.

### 2.1 Fases do Comissionamento

O comissionamento é dividido em três fases, sendo que cada uma delas possui seus métodos específicos de controle e acompanhamento.

A primeira fase do comissionamento abrange os ensaios de equipamentos, onde os equipamentos são ensaiados de forma isolada. O controle de qualidade dessa fase é verificado através de uma ITP específico para cada área. Para todos os tipos de equipamento há um procedimento específico a ser seguido e documentado.

Para equipamentos usados em aplicações CA, os ITPs possuem procedimentos que são semelhantes aos usados em subestações convencionais. No entanto, alguns equipamentos são específicos do projeto HVDC: transformador ótico de corrente, transformador conversor, bucha de parede das salas de válvulas, transdutor de corrente contínua, divisor de tensão contínua, válvulas tiristorizadas, sistema de resfriamento das válvulas.

A segunda fase do comissionamento abrange os ensaios de subsistemas. O subsistema pode ser tanto um equipamento com o seu sistema de controle, assim como um conjunto de equipamentos que possuem uma funcionalidade específica. O controle de qualidade dessa fase é verificado através de um ITP específico para cada subsistema. Nessa etapa é verificado o desempenho funcional dos equipamentos.

É na fase de ensaios de subsistemas que a equipe de comissionamento recebe as instalações da equipe de montagem. Antes do início dos ensaios, as pendências da fase de montagem são documentadas para acompanhamento das soluções.

A terceira fase do comissionamento abrange os ensaios funcionais de sistema. Nessa fase, o sistema como um todo é ensaiado. Inicialmente, as diversas áreas são energizadas com alta tensão. Depois de concluídas as energizações, iniciam-se os ensaios de transmissão. Na operação em modo monobloco, quando apenas uma conversora Back to Back transmite potência, cada conversora é um sistema. Na operação em modo bibloco, quando as duas converoras Back to Back transmitem potência, o bilbloco (duas conversoras) é um único sistema.

## 2.2 Planejamento das Diferentes Fases do Comissionamento

O planejamento das diferentes fases de comissionamento é feito em diferentes níveis.

O nível mais alto é o cronograma do projeto, onde as diferentes fases de comissionamento são identificadas e relacionadas com as demais atividades do projeto. Os ensaios de equipamentos e ensaios de subsistemas são representados por sua área no cronograma do projeto. Os ensaios de transmissão são representados por sistema.

O nível intermediário de planejamento é o planejamento de pessoal para as diferentes fases de comissionamento. Para isso, o cronograma de projeto serve como base. O cronograma de projeto é suficientemente detalhado para permitir a seleção em termos de conhecimentos e número de especialistas necessários para execução de cada etapa.

O terceiro nível é o planejamento semanal, que é feito com a participação das equipes técnica do fornecedor e do cliente, onde as atividades semanais são discutidas. O planejamento semanal mostra as atividades a serem executadas e planejadas na semana e ainda prevê as atividades das semanas seguintes. Neste planejamento já são indicados os nomes dos especialistas para execução de cada tarefa. Como o detalhamento desse planejamento é maior, a necessidade de revisão é mais frequente.

## 2.3 Treinamento e Planejamento para as Manutenções Futuras

A estrutura de manutenção na operadora é considerada mista, ou seja, possui algumas atividades centralizadas (engenharia de manutenção, laboratórios e oficinas) e atividades descentralizadas executadas por uma equipe de campo. As equipes de manutenção são formadas por especialidades de acordo com a classe dos equipamentos.

Para o atendimento a Subestação Coletora Porto Velho foi formada uma equipe descentralizada formada por profissionais experientes captados em outras áreas da empresa, que possuíam experiência de manutenção e operação de subestações convencionais de corrente alternada.

Houve participação da equipe técnica da operadora em todas as fases do empreendimento - testes de aceitação em fábrica, etapas de montagem e em todas as fases do comissionamento.

A equipe de manutenção descentralizada teve início das atividades em agosto de 2011, o que possibilitou para a equipe, o acompanhamento de toda a montagem eletromecânica dos equipamentos da Subestação.

A equipe recebeu treinamentos sobre Transmissão em Corrente Contínua e a participação no comissionamento complementou a formação da equipe.

Para a maioria dos equipamentos, a operadora já contava com procedimentos de manutenção preventiva baseada no tempo e no estado dos equipamentos. Para alguns equipamentos específicos da conversora Back to Back, que não havia procedimentos de manutenção, como é o caso das Válvulas de Tiristores e do Sistema de Refrigeração a operadora elaborou os seus roteiros de manutenção baseado nas recomendações técnicas do fabricante e na experiência adquirida no comissionamento das instalações.

### 3.0 - ENSAIOS DE EQUIPAMENTOS

Os ensaios de equipamentos são efetuados na obra após a instalação dos equipamentos, antes de conexão dos circuitos primários e secundários da subestação. Esses ensaios não são a repetição dos ensaios de fábrica. O objetivo desses ensaios é verificar se os equipamentos não foram avariados durante o transporte, a estocagem ou a instalação. Esses ensaios foram definidos pelo fabricante.

Os equipamentos usados na área CA da subestação são os mesmos usados nas subestações convencionais, como é o caso dos transformadores de medição, para-raios, disjuntores, chaves seccionadoras, banco de capacitores, reatores e resistores dos filtros CA. Para esses equipamentos, os ensaios são convencionais e já conhecidos, por isso não serão aprofundados nesse artigo.

O transformador conversor é um equipamento semelhante ao transformador convencional, mas adaptado à aplicação em corrente contínua. Os transformadores conversores do Back to Back na subestação Porto Velho Coletora são trifásicos com três enrolamentos por fase, ou seja, um enrolamento por fase no lado de CA e dois enrolamentos por fase no lado de CC. No lado CC – um grupo de enrolamentos está ligado em estrela e o outro grupo ligado em delta. O transformador conversor tem um projeto especial para suportar as condições de operação desfavoráveis. Nos enrolamentos do lado CC, as tensões CA são somadas a uma componente CC. Além disso, o transformador conversor sofre estresse a cada comutação de fase. No entanto, os ensaios específicos são realizados em fábrica.

No entanto, como os ensaios de equipamentos são selecionados para apenas para verificar se houve avaria durante transporte, estocagem ou instalação, os ensaios do transformador conversor realizado nessa etapa do comissionamento são semelhantes aos ensaios do transformador convencional.

Uma particularidade do projeto das conversoras Back to Back em Porto Velho são os capacitores de comutação (CCCs) que são ligados entre os transformadores conversores e as válvulas de tiristores. Essa é uma aplicação usada em sistemas CAs fracos, como é caso do sistema regional Acre-Rondônia. O CCC aumenta a margem de comutação. A principal diferença entre o CCC e um banco de capacitores shunt é a corrente, que é bem maior no CCC. Isto exige maior cautela nas conexões entre as diversas unidades de capacitores.

Alguns equipamentos são específicos do projeto HVDC, tais como válvulas de tiristores, sistema de resfriamento das válvulas, divisores de tensão de corrente contínua e transdutores de corrente contínua. Estes são equipamentos para os quais não existem equipamentos iguais ou semelhantes em instalações CA. Para esses equipamentos foram desenvolvidos procedimentos específicos baseado na experiência prévia dos fornecedores de subestações em corrente contínua e dos fabricantes desses equipamentos.

Os componentes principais das válvulas de tiristores – módulo de tiristores, capacitores e elementos de disparo – são transportados de forma individual. É muito importante verificar a correta instalação dessas componentes, o que normalmente é feito por supervisores especializados.

O ensaio do módulo de tiristores é feito com ajuda de um dispositivo especial LTUD e testa o desempenho de cada tiristor verificando se ele suporta a tensão de bloqueio e a tensão reversa especificada. Esse dispositivo também mede a impedância do circuito de tensão relacionada a cada posição de tiristor para verificar a correta instalação dos tiristores. O mesmo dispositivo é usado futuras manutenções preventivas.

Os divisores de tensão contínua (DVD – Direct Voltage Divider) e os transdutores de corrente (DCCT – Direct Current Transducers) são equipamentos específicos de projetos HVDC e possuem poucos os fabricantes especializados no mundo. Por isso, esses ensaios devem ter atenção especial dos usuários, como forma de aprendizagem para verificação da condição desses equipamentos e futuras manutenções preventivas.

### 4.0 - ENSAIOS DE SUBSISTEMAS

Os ensaios de subsistema servem para verificar o desempenho funcional dos equipamentos, assim como a correta instalação dos cabos secundários e sua ligação ao sistema de controle e proteção.

Para cada tipo de subsistema foi desenvolvido um ITP, definido pelo fabricante, ajustado para o projeto e aos seus requisitos contratuais e submetido ao cliente para aprovação. O resultado de todos os ensaios é documentado em relatórios de ensaio específicos para cada subsistema. Esses relatórios de ensaios são importantes como referencial para as futuras manutenções. A participação da equipe técnica do cliente nestes ensaios de subsistema é de fundamental importância para a transferência de conhecimento prático.

O Diagrama funcional (PCD – Plant Circuit Diagram) é um documento muito importante para os ensaios de subsistemas. Esse diagrama contém todo o cabeamento secundário do projeto. Cada sinal do PCD é verificado e cada verificação é documentada através do amarelamento do circuito ensaiado. A verificação da instalação dos cabos secundários e da sua funcionalidade numa subestação HVDC não é diferente de que em uma subestação

convencional CA, a não ser por algumas especificidades do projeto de corrente contínua.

Os principais subsistemas no projeto do Back to Back na SE CPV são:

- Sala de Válvulas de Tiristores com seu sistema de resfriamento – um subsistema por conversora
- Transformador Conversor – um subsistema por transformador
- Interface com as entradas de CA – um subsistema do lado 230kV um do lado 500kV
- Filtros de CA – um subsistema por filtro
- Controle e Proteção - um subsistema por conversora e um subsistema referente ao bloco
- Pátio de CA – um subsistema 230kV e outro 500kV
- Pátio do neutro – um subsistema por bloco

#### 4.1 Subsistema Sala de Válvulas

O Subsistema Sala de Válvulas é específico para a aplicação em corrente contínua e contém seguintes equipamentos principais:

- Válvulas de Tiristores;
- Sistema de Resfriamento;
- Chaves de aterramento;
- Divisores de tensão contínua (DVD - Direct Voltage Divider)

Um dos ensaios de subsistema da Sala de Válvulas visa verificar o funcionamento das válvulas através das Unidades de Controle das Válvulas (VCU – Valve Control Unit). As VCUs disparam as válvulas na sequência ordenada pelo controle da conversora. Todos os tiristores de uma válvula são disparados simultaneamente. Para isso cada tiristor é ligado à sua VCU por duas fibras ópticas. Uma das fibras transmite o disparo do tiristor e a outra informa o status do tiristor para a VCU.

Outros ensaios realizados nesse subsistema são para testar a funcionalidade do sistema de resfriamento. São verificados o correto funcionamento de todos os transdutores, a operação correta de todas as bombas e de todos os ventiladores e a circulação da água de resfriamento entre as válvulas e as torres de resfriamento.

O DVD é um equipamento altamente especial e também pertence ao subsistema Sala de Válvulas. Durante os ensaios do DVD, os capacitores de ajuste, que acompanham o equipamento são cuidadosamente ajustados para obter uma resposta de tempo otimizado considerando a capacitância dos cabos secundários.

#### 4.2 Subsistema Transformador Conversor

O Subsistema Transformador Conversor é formado pelo próprio transformador assim como pelos TCs, TPCs e chaves seccionadoras.

Os ensaios de subsistema de todos esses equipamentos principais são basicamente os mesmos dos correspondentes de uma subestação convencional em CA. A diferença é forma como os sinais são recebidos e interpretados pelo subsistema de controle e proteção que é baseado num sistema de microprocessadores altamente especializado e compactado.

#### 4.3 Subsistema Interface com as entradas CA

O Subsistema Interface com as entradas CA também são semelhantes ao seus correspondentes para uma subestação de CA. A diferença também está na forma como os sinais são recebidos e interpretados pelo subsistema de controle e proteção. Os principais sinais recebidos nas entradas CA são as correntes dos vãos de entrada e a tensão medida pelo TPCs das barras tanto no lado 230 como no lado de 500kV.

#### 4.4 Subsistema Filtro CA

O Subsistema Filtro CA é semelhante ao seu correspondente para subestações de compensação estática. A diferença está na sua função que é filtrar as frequências harmônicas. As frequências harmônicas de um sistema de CCAT com ponte de 12 pulsos são as de ordem  $(12n - 1)f$  e  $(12n + 1)f$ , onde "f" é a frequência nominal e "n" é um número natural. Ou seja, as harmônicas a serem filtradas são: 11ª, 13ª, 23ª, 25ª, 35ª, 37ª, etc..

Os filtros de CA foram projetados todas essas harmônicas de forma otimizada. No projeto das conversoras Back to Back na SE CPV foram escolhidos filtros harmônicos de 11/13, 24/36 e HP/3 no lado 230kV e HP/3 e 12/24/36 do lado 500kV. Os filtros HP/3, 11/13 e 24/36 são projetados para as duas frequências através de um circuito de ressonância série acoplado em série com um circuito de ressonância em paralelo. Os filtros 12/24/36 são projetados para três frequências tendo, portanto, com um circuito de ressonância em série acoplado em série com dois circuitos de ressonância em paralelo.

Os filtros do lado 230kV são fixos e não necessitam de sintonização no campo. No entanto, os filtros 11/13 e 24/36

do lado 230kV possuem reatores com indutância ajustável através de derivações dos seus enrolamentos. Isto permite que a frequência de ressonância destes filtros pode ser ajustada no campo. Isto é feito utilizando um gerador de frequências ajustável. Medindo as frequências de ressonância para cada derivação escolhe-se aquela derivação cuja frequência de ressonância seja mais próxima à desejada.

#### 4.5 Subsistema Controle e Proteção

O Subsistema Controle e Proteção fornecido para o Back to Back da Coletora Porto Velho é o sistema MACH2 (Modular Advanced Control System for HVDC 2ª Edição) da ABB, que representam a última da tecnologia na área de microcomputadores industriais permitindo que as funções de controle e proteção sejam executadas de forma mais rápida e eficaz do que em uma subestação convencional CA.

O sistema se difere de um sistema de controle e proteção convencional através de sua configuração que utiliza microcomputadores interligados através de redes específicas de velocidade.

Os ensaios do Subsistema Controle e Proteção podem ser divididos em duas categorias:

- ensaios dos cubículos de controle, os microcomputadores e as redes conectando as diversos equipamentos de controle;
- ensaios entre os equipamentos principais e o subsistema de controle e proteção específico.

#### 4.6 Subsistema Pátio CA

O Subsistema Pátio CA também é semelhante ao correspondente para uma subestação de CA. A diferença também está na forma como os sinais são recebidos e interpretados pelo subsistema de controle e proteção.

Os principais sinais recebidos dos pátios de CA são as correntes de cada vão e a posição dos disjuntores e seccionadoras.

#### 4.7 Subsistema Pátio de Neutro

O Subsistema Pátio de Neutro é uma área restrita que eletricamente interliga a ponte conversora de 12 pulsos do lado 500kV com a ponte conversora do lado de 230kV. Os equipamentos do Pátio de Neutro são os transdutores de corrente contínua (DCCT – Direct Current Transducers). São equipamentos específicos para a aplicação em CC e requer uma ligação de suas duas blindagens separadas e um ajuste adequado para dar a resposta de corrente contínua transitória adequada.

### 5.0 - ENSAIOS DE ALTA TENSÃO

#### 5.1 Planejamento dos Ensaios de Alta Tensão

O planejamento dos ensaios de alta tensão das conversoras Back to Back na SE CPV foi baseado nos ITPs elaborados pelo fabricante e submetido para análise dos clientes (Abengoa, PVTE, Eletrosul) e do ONS. O planejamento foi estruturado em uma sequência de ensaios.

Por solicitação do ONS, foi feito um estudo que demonstrasse o impacto sistêmico de cada energização. Para cada etapa de energização havia uma dependência com as condições sistêmicas. Esses estudos foram realizados por pessoal técnico altamente especializado, com modernas ferramentas computacionais e modelos matemáticos que representaram como precisão os diferentes componentes do sistema.

Para as energizações dos pátios de CA tanto do lado 230kV como do lado 500kV, a única condição a ser atendida era ter tensão disponível para a energizações.

Para as energizações dos filtros de CA 230kV não havia restrições sistêmicas, uma vez que a potência de curto-circuito era suficientemente grande para evitar variações de tensão maiores que 5% e que os geradores estavam suficientemente distantes eletricamente de forma que não havia risco de autoexcitação.

Para as energizações dos filtros de CA 500kV, era necessário esperar um número suficiente de unidades geradoras da UHE Santo Antônio em operação para evitar essas condições indesejáveis. O principal parâmetro para o estudo de energização dos filtros de CA era a potência reativa acrescentada e seus impactos na variação de tensão e autoexcitação das unidades geradoras da UHE Santo Antônio.

Para garantir a estabilidade sistêmica, foi implementado um esquema especial contra auto-excitação que envia sinal de trip para os filtros CA e bloqueia as convesoras Back to Back quando número de unidades geradoras não seja suficiente.

Para energizações dos transformadores conversores, também era necessário esperar um número suficiente de

unidades geradoras da UHE Santo Antônio. Os parâmetros de estudo foram o valor do corrente “Inrush” do transformador.

## 5.2 Execução dos Ensaios de Alta Tensão

A execução dos ensaios de alta tensão seguiu os ITPs e a sequência de energizações dos pátios seguiu a disponibilidade das condições sistêmicas. Os ensaios de alta tensão do Back to Back iniciaram no mesmo período em as primeiras unidades geradoras da UHE Santo Antônio entravam em operação.

Primeiro foram energizados os pátios de 230kV (novembro de 2011) e 500kV (março de 2012) que não dependiam de unidades geradoras de UHE Santo Antônio em operação. Os demais ensaios foram executados conforme a UHE Santo Antônio disponibilizava unidades geradoras suficientes que permitiam que os testes fossem realizados sem risco ao sistema, caso dos ensaios de alta tensão nos filtros CA de 230kV (junho de 2012), nos filtros de 500kV (setembro de 2012) e nas conversoras Back to Back (outubro de 2012).

## 5.3 Incidentes e medidas tomadas nos ensaios de Alta Tensão

As energizações dos pátios de CA tanto do lado 230kV como do lado 500kV ocorreram sem incidentes.

Na energização de um dos filtros 230kV houve atuação da proteção de desbalanço do filtro. Havia um erro de ligação entre um para-raios e um TC.

Na energização de outro filtro de 230kV houve atuação da proteção diferencial do reator shunt desse filtro. Foi verificado um erro de ajuste da proteção.

Na energização de um filtro de 500kV houve a atuação proteção diferencial. Foi verificado um problema na conexão do TC óptico para o filtro.

Na energização de uma das conversoras bloqueadas houve atuação da proteção diferencial do transformador provisório. Foi verificado erro na relação de transformação e polaridade dos TCs de um dos disjuntores que alimentavam o transformador provisório.

## 6.0 - ENSAIOS DE TRANSMISSÃO

### 6.1 Planejamento dos ensaios de transmissão

O planejamento dos ensaios de transmissão das conversoras Back to Back na SE CPV foi baseada nos ITPs elaborados pelo fabricante (ABB) e submetido para análise dos clientes (Abengoa, PVTE, Eletrosul) e do ONS. O planejamento foi estruturado em uma sequência de ensaios de transmissão das conversoras Back to Back. Para cada etapa havia uma dependência com as condições sistêmicas.

### 6.2 Execução dos Ensaios de Trnasmissão Modo Monobloco

Os ensaios de transmissão em modo monobloco são na operação individualizada de cada conversora. Esses ensaios visam a verificar o comportamento de cada conversora Back to Back. Os ensaios de transmissão podem ser divididos em:

- Operação inicial em modo monobloco;
- Ensaio de proteção e bloqueio;
- Ensaio de operação;
- Substituição de filtros de CA;
- Respostas transitórias;
- Ensaio de transmissão a plena carga 400MW.

### 6.3 Incidentes e medidas tomadas nos ensaios de Alta Tensão

No teste de transmissão da conversora Back to Back 2 ocorreu a atuação da proteção diferencial CC. Foi verificado problemas nas conexões do circuito de medição de corrente CC.

Na sequência desse mesmo ensaio, houve atuação da proteção de sobretensão CC. Foi verificado que os DVDs estavam com um erro de medição.

Durante o ensaio de Backup Trip, teste que simula a perda dos dois computadores de controle do Back to Back, ocorreu o desligamento da conversora, no entanto, os filtros CA permaneceram incorretamente ligados. Foi verificado um problema de que havia falta de alimentação CC impediu o correto funcionamento da proteção.

Durante o ensaio de trip pela parada de emergência, não houve cálculo do fluxo remanente no sincronizador do

Disjuntor. Foi verificado que não houve envio do sinal de trip para o sincronizador.

Também foram verificados problemas no circuito de disparo de alguns tiristores, de desbalanço do CCC e erros nas medidas de potência ativa.

No ensaio monobloco de alta potência, cada conversora Back to Back transmitiu de potência plena de 400MW durante 8 horas. Todos os equipamentos suportaram os ensaios de aquecimento.

Algumas anormalidades foram encontradas. Havia diversos pontos quentes dentro dos bancos de capacitores CCC tanto lado 230kV como do lado 500kV nas duas conversoras. Também foram verificados problemas no circuito de disparo de alguns tiristores e de desbalanço do CCC

#### 6.4 Ensaio bibloco

Os ensaios de transmissão no modo bibloco verificam o comportamento da operação das conversoras Back to Back simultaneamente. Esses testes ainda não foram realizados, pois dependem do Controle de Geração das usinas Santo Antônio e Jirau integrado ao Master Control da subestação Coletora Porto Velho.

### 7.0 - DETALHAMENTO SOBRE MANUTENÇÕES PREVENTIVAS

É prática recomendada de detalhar as manutenções preventivas em uma forma estruturada. A operadora (Eletrosul) já possui procedimentos de manutenção para os equipamentos comuns às instalações convencionais CA. Para os equipamentos específicos de uma instalação HVDC estão sendo elaborados procedimentos de manutenção baseado nas recomendações do fabricante e na experiência adquirida no comissionamento das instalações.

Para as manutenções preventivas ou corretivas é importante manter um estoque mínimo de sobressalentes. O estoque inicial de sobressalentes foi baseado na experiência do fabricante e da operadora. É importante que os sobressalentes estejam estocados num local apropriado conforme as especificações dos fornecedores para cada item específico. Para isso, é preciso considerar as condições climáticas de Porto Velho.

Para a aprendizagem sobre operação e manutenção pela operadora o fabricante ofereceu o serviço de assistência de operação e manutenção, com foco nos equipamentos específicos de instalações de HVDC e na operação e manutenção do sistema de controle MACH2. O fabricante tem experiência nesse serviço de suporte técnico nas conversoras Back to Back de Garabi, instalação parecida com as conversoras Back to Back da SE CPV.

### 8.0 - CONCLUSÃO

O planejamento, a documentação e as discussões sobre as atividades foram importantes para o comissionamento. Essas ferramentas permitiram o nivelamento de informações entre fornecedor e cliente e possibilitou a aprendizagem das equipes operação e manutenção. A documentação das atividades de comissionamento vai dar suporte para futuras manutenções.

O planejamento dos ensaios de transmissão e energização das conversoras Back to Back na SE CPV foi baseada nos ITPs elaborados pelo fabricante foi submetido aos clientes e ao ONS. O cronograma de testes segue a disponibilidade de condições sistêmicas. Nos testes de energização e transmissão havia necessidade de um número mínimo de unidades geradoras. Para os testes de transmissão bibloco, quando há a transmissão de potência nas duas conversoras simultaneamente, ainda é necessário do Controle de Geração das Usinas integrado ao Master Control da Subestação Coletora.

Esse artigo procurou descrever as experiências do comissionamento desse tipo de instalação como referencia para futuras aplicações similares no Brasil e no âmbito internacional.

### 9.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] IEC 61975, Ed.1, High-voltage direct current (HVDC) installations – System tests. 2010-07.

[2] 1JNL100127-066 Rev.10, Single Line Diagram Rio Madeira, Back to Back Porto Velho Collector.

[3] Cigré Colloquium Delhi / India, September 1991, "Design, erection, testing and commissioning of Rihand Delhi HVDC Transmission System".

[4] XXII SNPTEE, Outubro 2013, Sistemas de controle e proteção das estações conversoras de Porto Velho e Araraquara 2 . Primeiro bipolo do sistema de transmissão das usinas do Rio Madeira.



## 10.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Olof Magnus Lalandererg: nascido em Bromma na Suécia no 24 de janeiro 1949. Graduado em Engenharia Física modalidade Matemática Aplicada (1974) pelo KTH (= Escola Real de Tecnologia) em Estocolmo na Suécia, completado com cursos de Engenharia Elétrica nos anos 1985 – 1990. BA (=Bachelor of Administration) nas Universidades de Estocolmo e Uppsala Suécia nos anos 1985 - 1992. Professor em Engenharia de Equipamentos Elétricas de Força e Estudos de Sistemas de Potência da Escola Técnica do Dalarna durante os anos 1998 – 2000. Gerente em diversas áreas na antiga ASEA e atual ABB tanto no Brasil (anos 1977 – 1985, 2001 – 2002 e dezembro 2011 – junho 2013) como gerente técnico produtos de linha da ASEA Elétrica, gerente de produto das válvulas tiristorizadas produzidas na ASEA Elétrica para o projeto Itaipu, engenheiro residente do projeto HVDC Itaipu da ASEA AB no Brasil, gerente técnico válvulas tiristorizadas da ASEA Suécia, gerente de qualidade do departamento HVDC da ABB na Suécia, líder do projeto Garabi 1, gerente de comissionamento do Garabi 2, gerente de comissionamento do Fenno-Skan 2, gerente geral de comissionamento do projeto Rio Madeira. Membro da ABNT para elaboração de normas brasileiras de transformadores de medição entre outros, membro do Cigré, membro do CEI, presidente do CEI SC22F, membro de vários grupos de trabalho do CEI (Comissão Elétrica Internacional, inglês IEC).

Nota – dados sobre os demais autores deste informe do XXII SNPTTEE serão inseridos após a confirmação da aprovação do mesmo.

André Gobara

Gilberto Siqueira