

VII/CE-B5-03

ESQUEMAS ESPECIAIS DE PROTEÇÃO EXISTENTES NA USINA HIDRELÉTRICA DE ITAIPU

RUI JOVITA G. C. DA SILVA *
JOSÉ BENEDITO MOTA JÚNIOR
ROBSON ALMIR DE OLIVEIRA
JOSÉ GREGÓRIO ACHA NAVARRO

MARCELINO PEREIRA DE ALMEIDA
EVONYR BORDIN FILHO
FERNANDO VEGA DAHER
ALEXANDRE GONÇALVES LEITE

Itaipu Binacional Brasil

RESUMO

Atualmente, a capacidade instalada da Usina Hidrelétrica de Itaipu é de 13.300 MW e uma produção de energia da ordem de 90.000 GWh por ano. Esta quantidade de energia torna a usina responsável pelo suprimento de aproximadamente 23 % da energia elétrica consumida no Brasil e 90 % da energia elétrica consumida no Paraguai. Outro parâmetro dá uma idéia das dimensões da usina de Itaipu: somente 6 % da energia gerada é fornecida ao Paraguai, sendo os 94 % restantes fornecidos ao Brasil. Um diagrama unifilar simplificado da conexão da usina aos sistemas do Brasil e do Paraguai é mostrado na Figura 1.

O setor de 60 Hz da usina é conectado à subestação de Foz do Iguaçu 60 Hz, localizada na margem esquerda do rio Paraná e de propriedade de Furnas, através de quatro linhas de transmissão em 500 kV. Na subestação de Foz do Iguaçu a tensão é elevada para 765 kV e a potência é transmitida através de três circuitos de 765 kV até a subestação de Tijuco Preto, próximo ao centro de consumo em São Paulo, distante aproximadamente 1.000 km de Foz do Iguaçu. Neste sistema de transmissão existem duas subestações intermediárias em Ivaiporã e Itaberá. Na subestação de Ivaiporã é feita a interligação em 765 kV entre as regiões Sul e Sudeste do Brasil. A subestação de Itaberá não possui outros circuitos conectados a ela, sendo apenas para passagem do 765 kV.

O setor de 50 Hz foi projetado prevendo-se a expansão da interligação com o Paraguai. Este setor é conectado à subestação de Foz do Iguaçu 50 Hz através de quatro linhas de 500 kV, sendo duas delas conectadas à subestação Margem Direita, onde é feita a interligação com o Paraguai através de quatro transformadores para 220 kV. Na subestação de Foz do Iguaçu 50 Hz a usina se conecta ao terminal retificador do sistema de transmissão em corrente contínua, composto de dois Bipolos de ± 600 kV, cujo terminal inversor localiza-se em Ibiúna, na região do centro de consumo em São Paulo, onde é convertida para a frequência de 60 Hz.

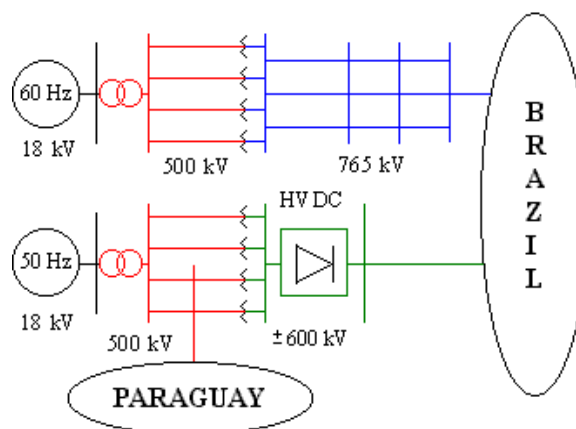


Figura 1 – Sistema de Transmissão de Itaipu.

Em função do ritmo de trabalho na montagem das unidades geradoras e construção dos sistemas de transmissão do 50 Hz e 60 Hz, por alguns períodos a capacidade instalada em Itaipu e a capacidade de transmissão pelo sistema foram incompatíveis, tal como apresentado na Figura 2, requerendo muitas medidas operativas para explorar o máximo de cada uma dessas capacidades. Entre as medidas implantadas para elevar a transferência de potência estão os Esquemas Especiais de Proteção (ESP), também chamados de Esquemas de Controle de Emergência (ECE). A diferença no porte dos sistemas do Brasil e do Paraguai, sendo o sistema brasileiro muito maior que o paraguaio, foi a outra razão da necessidade dos ECEs, visto ser necessário proteger o sistema paraguaio contra contingências no sistema de transmissão que interliga Itaipu ao sistema brasileiro. Na Figura 3 é mostrada a evolução da potência média transmitida para o Brasil e para o Paraguai no setor de 50 Hz de Itaipu.

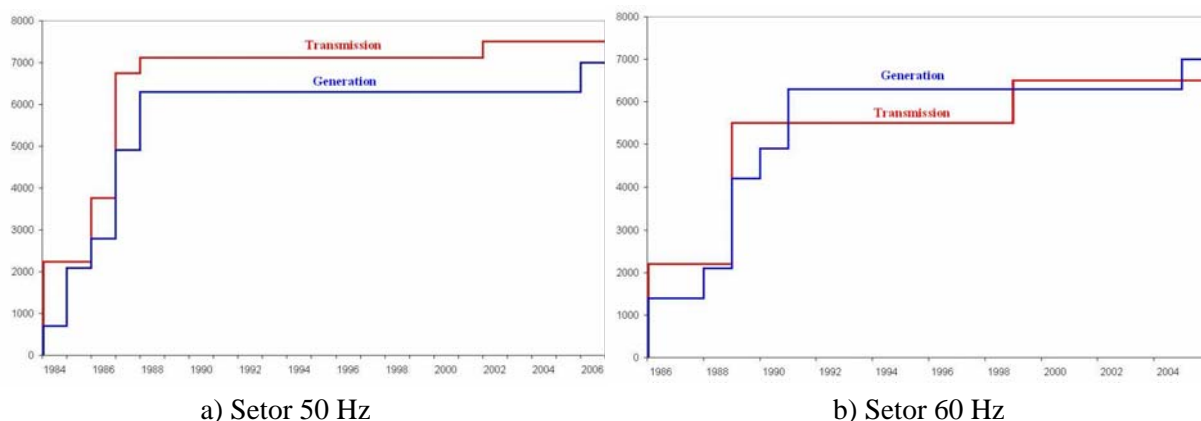


Figura 2 – Evolução da Capacidade Instalada: Geração x Transmissão.

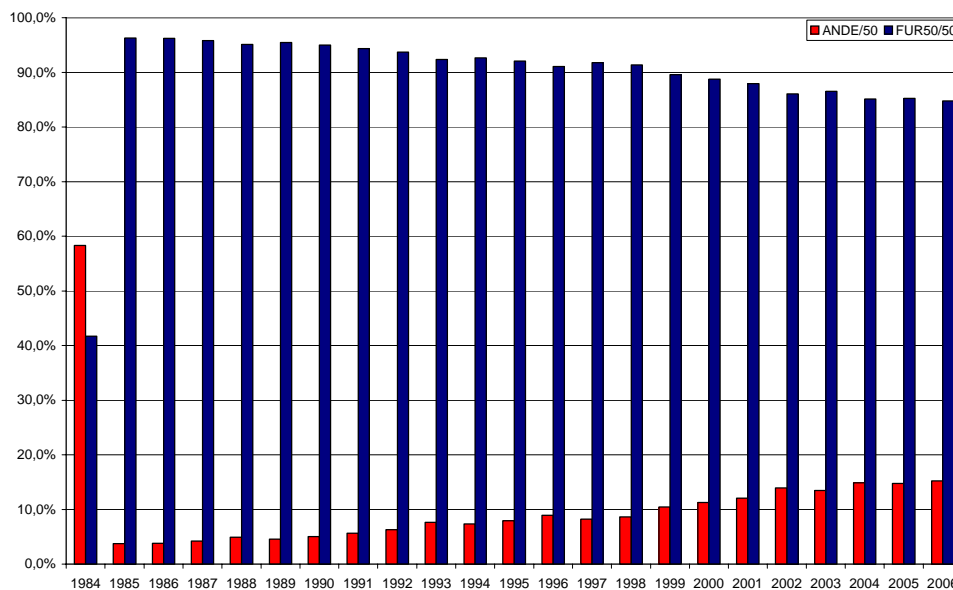


Figura 3 – Distribuição da Potência de Itaipu 50 Hz entre Brasil (Furnas) e Paraguai (Ande).

Desta forma, desde que a primeira unidade geradora de 50 Hz iniciou sua operação, tornou-se necessário instalar ECEs para permitir a operação interligada entre Brasil e Paraguai. O mesmo ocorreu quando as duas primeiras unidades geradoras de 60 Hz iniciaram sua operação interligadas aos sistema Sul/Sudeste do Brasil. Desde então, os ECEs não pararam mais de crescer em número e sofisticação, de modo a acompanhar o crescimento gradual do sistema de transmissão e da capacidade de geração. Este artigo apresenta a experiência de trabalho da equipe de Itaipu no projeto e operação destes esquemas.

PALAVRAS-CHAVE

Esquemas Especiais de Proteção, Esquemas de Controle de Emergência, estabilidade de sistema, auto-excitação.

1. INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta as informações sobre os Esquema Especiais de Proteção (ESP) ou Esquemas de Controle de Emergência (ECE) instalados na Usina Hidrelétrica de Itaipu, mostrando também o desempenho destes esquemas. Objetiva-se aqui destacar a filosofia adotada no projeto: baixo custo, concepção de instalação simples, seletivo e robusto o suficiente para prevenir conseqüências indesejáveis. A experiência adquirida com o gerenciamento desses esquemas ao longo de 20 anos de operação da usina é significativa, e contribuiu para melhorar a filosofia de atuação, ajudando principalmente a manter um desempenho satisfatório, com baixo risco de atuações desnecessárias e acidentais.

A Usina Hidrelétrica de Itaipu é uma entidade binacional, pertencente aos governos do Brasil e do Paraguai. Está localizada no rio Paraná, o qual estabelece a fronteira entre os dois países. A usina é constituída de dois setores com dez unidades geradoras de 700 MW, sendo um setor em 60 Hz e outro em 50 Hz, as freqüências utilizadas nos sistemas de cada país. A décima unidade de 60 Hz está prevista de entrar em operação no primeiro semestre de 2007. A energia é gerada em 18 kV, sendo elevada para 500 kV para ser transmitida.

Desde a primeira unidade a entrar em operação até atualmente, os sistemas de transmissão associados a cada setor passaram por diferentes estágios, requerendo a adoção de medidas operativas e ações de proteção para explorar a máxima capacidade de geração e transmissão, com segurança requerida para os consumidores e equipamentos elétricos. Os ESPs ou ECEs são uma dessas ações.

2. DESCRIÇÃO DOS ESQUEMAS ESPECIAIS DE PROTEÇÃO

No sistema de 60 Hz a maioria dos ECEs estão instalados através de CLPs [1], que se comunicam com outros CLPs instalados em todas as subestações do sistema de transmissão de 765 kV. Estes ECEs desligam unidades geradoras de Itaipu 60 Hz, reatores de barra e linhas de transmissão, com objetivo de proteger o sistema interligado e as unidades geradoras. Atualmente, os ECEs do 60 Hz contam com 19 ações atuando na usina de Itaipu. As principais funções dos ECEs instalados no setor de 60 Hz são:

- 8 ações para manter a estabilidade do sistema frente a perturbações nas linhas de 765 kV ou na interligação Sul/Sudeste em 500 kV.
- 1 ação para proteger os geradores contra auto-excitação.
- 1 ação para proteger o sistema de 500 kV contra sobretensões ressonantes.
- 3 ações para controlar a sobrefreqüência e evitar o bloqueio de usinas térmicas na região Sul do Brasil.
- 4 ações para reduzir a sobrecarga nos transformadores 765/500 kV e 765/345 kV.
- 1 ação para prevenir colapso de tensão no sistema de transmissão de 765 kV.
- 1 ação para garantir amortecimento satisfatório quando o setor de 60 Hz está interligado apenas à região Sul do Brasil.

No sistema de 50 Hz existem 14 ações com comando direto na usina. As ações efetuadas pelos ECEs vão desde o desligamento de unidades geradoras até a separação do setor em dois subsistemas, um permanecendo interligado ao sistema Ande e outro interligado ao Elo CC. Estas ações possuem os seguintes objetivos:

- 5 ações para controlar a sobrefreqüência no sistema Ande.
- 3 ações para prevenir colapso de freqüência no sistema.
- 4 ações para prevenir sobretensões ao longo do sistema Ande.

- 1 ação para reduzir a sobrecarga nas linhas de 500 kV.
- 1 ação para reduzir a sobrecarga nos transformadores da interligação Itaipu-Ande.

A filosofia e projeto de todos os esquemas descritos a seguir tiveram a participação da equipe de Itaipu, com exceção das ações da Proteção de Isolação Forçada [2], a qual é parte da proteção do Elo CC, que foi feita por Furnas.

2.1. Esquemas do Setor de 60 Hz

Primeiro serão descritos os ECEs independentes dos CLPs:

Para prevenir sobretensões sustentadas no sistema de Itaipu 500 kV: Em consequência de uma rejeição total no sistema de transmissão de 765 kV, podem ocorrer sobretensões sustentadas devido a uma configuração ressonante formada pelos geradores e transformadores elevadores de Itaipu, linhas de 500 kV e transformadores 500/765 kV de Foz do Iguaçu. O ECE desliga todos os geradores e linhas conectados à subestação de Itaipu 500 kV se ocorrer o desligamento das três linhas de 765 kV na subestação de Foz do Iguaçu e sobretensão superior a 600 kV por 250 ms em Itaipu. As tensões são medidas através de dois relés diferentes em barras diferentes da subestação de Itaipu. O sinal de abertura total do 765 kV é enviado para Itaipu através dos canais de teleproteção.

Para aumentar o amortecimento das oscilações durante a operação interligada somente com a região Sul do Brasil: O canal de frequência do estabilizador de sistema de potência (PSS) das unidades geradoras de Itaipu é desligado quando a frequência do sistema é superior a 62,5 Hz, sendo ligado novamente quando a frequência é inferior a 62,0 Hz. Quando esta lógica atua evita-se a saturação do sinal de saída do PSS devido ao crescimento da frequência, em consequência da abertura da interligação Sul-Sudeste em 765 kV, e o PSS fica derivado somente de potência elétrica durante o período que o canal de frequência fica desligado.

Ação de retaguarda para controlar a sobrefrequência na região Sul do Brasil: Quando a principal ação para controlar as sobrefrequências, incluída nos CLPs, está indisponível, esta ação de retaguarda é ligada manualmente pelos operadores. Este esquema desliga geradores de Itaipu quando a taxa de variação de frequência, medida entre 61,0 Hz e 61,5 Hz, é superior a 1,2 Hz/s, indicando que houve abertura da interligação Sul-Sudeste em 765 kV. Na Figura 4 é mostrado o diagrama desta ação.

Para proteger os geradores de Itaipu contra auto-excitação: Este esquema atua quando a taxa de variação da frequência é superior a 2,4 Hz/s, medida entre 61,5 Hz e 62,5 Hz, caracterizando que houve uma rejeição total de carga no sistema. Dois relés são utilizados com a mesma função, visando garantir disponibilidade e confiabilidade próxima a 100 %. Seu diagrama também é mostrado na Figura 4. Quando um dos relés atua é enviado um sinal para a subestação de Foz do Iguaçu usando o canal de teleproteção das quatro linhas de 500 kV. A chegada de pelo menos três desses sinais em Foz do Iguaçu comanda o desligamento dos três circuitos de 765 kV, isolando Itaipu 60 Hz dos sistema elétrico brasileiro.

A seguir são descritos os ECEs instalados através dos CLPs [1]. Quatro grandezas são utilizadas para a decisão se o desligamento de gerador é necessário, e, caso o seja, quantas unidades serão desligadas:

- o número de máquinas em operação (NMAQ);
- a geração de potência ativa em Itaipu 60 Hz (FIPU);
- o fluxo de potência ativa para a região Sudeste (FSE);
- a tensão no sistema de transmissão de 765 kV (VT).

Em função da arquitetura projetada para as conexões entre os CLPs [1], essas variáveis são medidas com redundância ao longo do sistema e enviadas para dois CLPs localizados em Itaipu, os quais são responsáveis pelo desligamento das unidades geradoras. Um desses CLPs funciona como principal e outro como reserva, assumido o comando caso haja falha no principal. Existe um CLP instalado em

cada subestação de 765 kV visando garantir elevada disponibilidade e confiabilidade aos ECEs. Esses ECEs são conhecidos como “Lógicas”, numeradas de 1 a 18.

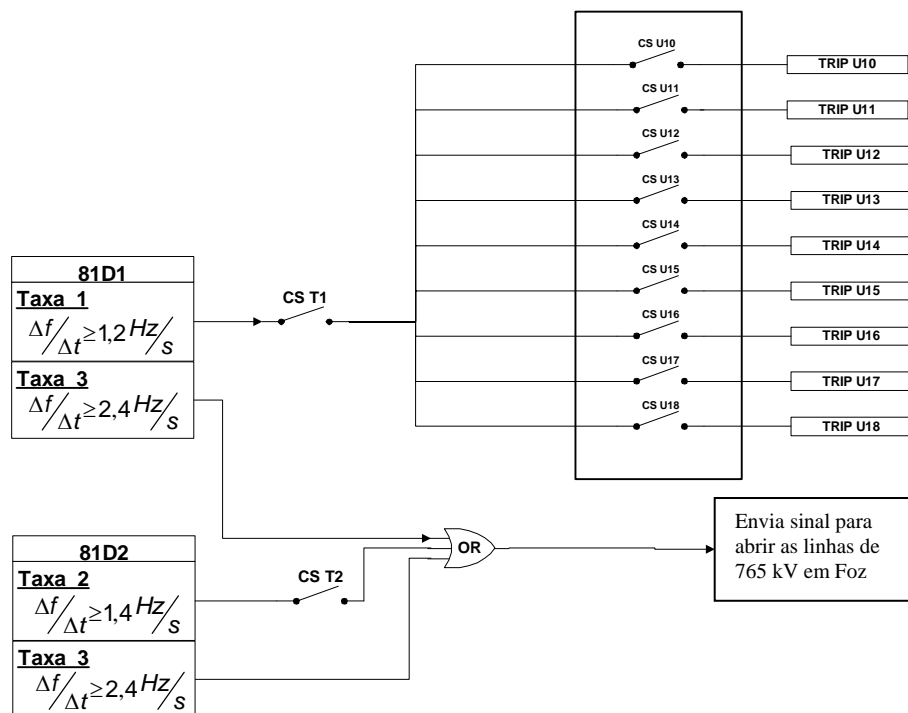


Figura 4 – Diagrama Funcional dos Esquemas de Taxa de Freqüência.

Para manter a estabilidade do sistema: Existem seis lógicas (2, 5, 12, 13, 14 e 15) que atuam quando ocorrem contingências simples ou duplas (série ou paralelo) nas linhas 765 kV, uma lógica (16) que atua para a perda de transformação em Ivaiporã e uma lógica que atua para contingência dupla na interligação Sul-Sudeste em 500 kV. Todas desligam geradores de Itaipu e estão condicionadas aos valores das grandezas de decisão usadas como referência para atuação, sendo cada lógica com referência diferente das demais.

Para controlar sobrefreqüência nas região Sul do Brasil: Existem duas lógicas complementares para prevenir o bloqueio de unidades geradoras de usinas termoeletricas na região Sul do Brasil. A primeira delas (8) atua quando ocorre abertura da interligação Sul-Sudeste em 765 kV, desligando geradores de Itaipu, de tal forma que pelo menos quatro geradores são mantidos sincronizados. Se a atuação desta lógica não for suficiente para controlar a sobrefreqüência, a outra (4) atua enviando sinal, através dos canais de teleproteção das quatro linhas de 500 kV, para desligar os três circuitos Foz do Iguaçu-Ivaiporã 765 kV. Esta lógica atua quando a taxa de variação de freqüência medida entre 62,0 e 62,5 Hz é superior a 1,4 Hz/s (Figura 4).

Para reduzir sobrecarga em transformadores: Existem quatro lógicas com esse objetivo, sendo uma (1) para os transformadores 765/500 kV de Foz do Iguaçu, uma (9) para os transformadores 765/500 e 765/345 kV de Tijuco Preto e duas (6 e 17) para os transformadores 765/500 kV de Ivaiporã. Essas lógicas desligam até três geradores de Itaipu de forma sequencial, com temporização de 3,0 s, 10,0 s e 16,0 s, enquanto permanecer sobrecarga nos transformadores em questão.

Para evitar colapso de tensão: A combinação de elevado fluxo de potência com baixo perfil de tensão pode levar à atuação dos limitadores de máxima corrente de excitação das máquinas de Itaipu e ao colapso de tensão no sistema de transmissão em 765 kV. Esta lógica (11) desliga uma unidade geradora de Itaipu se ocorrer esta condição, reduzindo a solicitação de potência reativa pelo sistema de transmissão.

2.2. Esquemas do Seto de 50 Hz [2]

Primeiro serão descritas as ações da Proteção de Isolação Forçada (FIP) [2]. Essas ações são monitoradas na subestação Margem Direita (SE-MD) através de relés direcionais de corrente, de subtensão, de subfrequência e de sobrefrequência.

Ação de retagaurda para controlar a sobrefrequência no sistema Ande: Quando ocorre o bloqueio de um Pólo ou um Bipolo do Elo CC, este ECE comanda a abertura da interligação Itaipu-Ande se a frequência é superior a 56,0 Hz por mais de 3,3 s, ou se a taxa de variação de frequência medida entre 51,0 Hz e 52,0 Hz for superior a 3,0 Hz/s. Este esquema só é ligado se o esquema principal estiver indisponível.

Para controlar sobretensões: Este ECE desliga a interligação Itaipu-Ande quando ocorre sobretensões acima de 850 kV por mais de 200 ms. É previsto de atuar em casos de bloqueio de um Pólo ou Bipolo do Elo CC, perda de toda as unidades geradoras de Itaipu ou abertura de todas as linhas de 500 kV em Itaipu.

Para controlar subtensão: A atuação deste esquema comanda a abertura da interligação Itaipu-Ande quando ocorre subtensão inferior a 250 kV por mais de 400 ms. É previsto para atuar em caso de perda de unidades geradoras em Itaipu ou perda de filtros do Elo CC.

Para evitar colapso de frequência no sistema Ande: Este ECE também comanda o desligamento da interligação Itaipu-Ande se a frequência ficar abaixo de 45 Hz. É previsto para atuar em caso de perda de unidades geradoras de Itaipu.

Para evitar que a interligação entre o Elo CC e o sistema Ande permaneça sem unidade geradora de Itaipu: Este ECE também desliga a interligação Itaipu-Ande quando ocorrem sobretensões superiores a 550 kV e exista corrente de pelo menos 300 A no sentido da Ande para Itaipu, isto é, do 220 kV para o 500 kV. É previsto de atuar se as máquinas de Acaray ficarem alimentando o Elo CC.

Os outros ECEs existentes são:

Para prevenir sobretensões: Este esquema comanda a abertura da interligação Itaipu-Ande se ocorrer uma das três condições a seguir: um curto-circuito trifásico no sistema de 500 kV, um curto-circuito bifásico no sistema de 500 kV ou um curto-circuito monofásico no sistema de 500 kV simultâneo ao bloqueio de quatro ou mais conversores do Elo CC.

Para reduzir a sobrecarga nos transformadores 500/220 kV da subestação Margem Direita: Este esquema comanda o corte de carga no sistema Ande quando ocorre sobrecarga superior a 38 % nos autotransformadores e transformadores reguladores da SE-MD que realizam a interligação Itaipu-Ande.

Para melhorar o desempenho dinâmico do sistema Ande: Este esquema também comanda o corte de carga no sistema Ande quando ocorre a perda das duas LTs em paralelo entre a SE-MD e a usina de Acaray.

Para evitar colapso de frequência no sistema Ande: Quando ocorrer o bloqueio de quatro ou mais conversores do Elo CC e a taxa de variação de frequência for superior a 2,3 Hz/s, medida entre 51,0 Hz e 52,0 Hz, este ECE comanda a separação de uma unidade geradoras de Itaipu para operar interligada apenas ao sistema Ande, desinterligada do restante da usina e Elo CC. Este esquema precisa ser complementado por um esquema de corte de carga na Ande para compatibilizar o balanço “carga x geração”. Seu diagrama é mostrado na Figura 5.

Para evitar a abertura da Interligação Itaipu-Ande: Este esquema funciona em conjunto com o descrito no item anterior. Atua desligando uma unidade geradora em Itaipu de a taxa de variação de

frequência for superior a 1,9 Hz/s. Isto é feito para evitar que a frequência atinja 56,0 Hz. Sendo assim, se esta taxa for superior a 2,3 Hz/s ocorre a atuação deste esquema e do anterior

Para evitar sobrefrequência: Este esquema comanda a separação de Itaipu da Ande se a frequência ficar superior a 56,0 Hz por mais de 3,3 s. é previsto de atuar quando ocorre bloqueio de Pólo ou Bipolo do Elo CC.

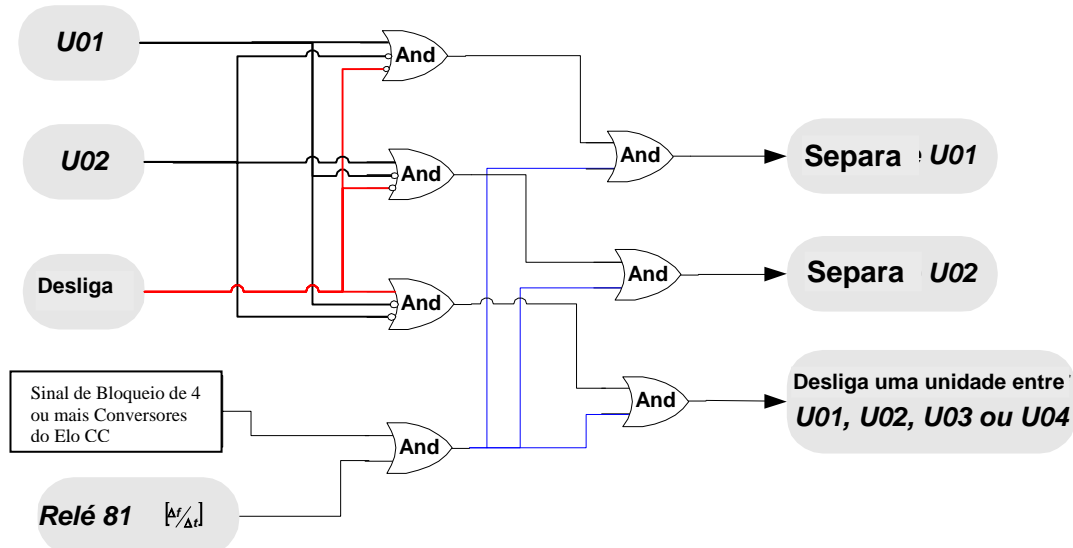


Figura 5 – Diagrama Funcional do Esquema para Evitar Colapso de Frequência no Sistema Ande.

Para reduzir a sobrecarga em linhas: Este esquema evita sobrecarga nas linhas de 500 kV entre Itaipu e a subestação Margem Direita (SE-MD), em caso de perda de um dos dois circuitos existentes em paralelo. Sua ação comanda o desligamento da linha em série com o circuito desligado, entre a SE-MD e Foz do Iguaçu. O ECE é composto de relés de sobrecorrente, conforme mostrado na Figura 6. O ECE atua em dois estágios, o primeiro estágio abre o disjuntor conectado à barra e o segundo estágio abre o disjuntor do meio do vão, após 3,0 s, caso ele não tenha sido aberto pelo desligamento da LT IPU-MD.

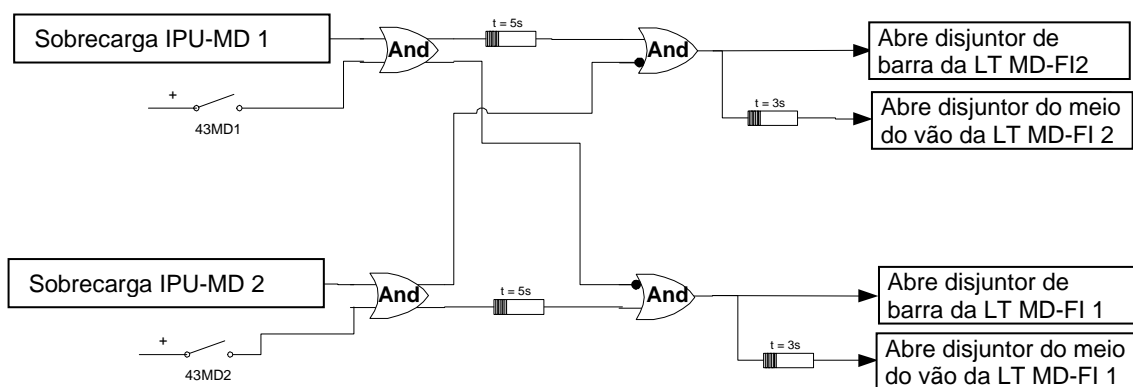


Figura 6 - Diagrama Funcional do ECE para Reduzir Sobrecarga na LTs IPU-MD.

3. DESEMPENHO DOS ECEs

Deve ser destacado que os operadores de sistema e equipamentos são bem familiarizados com os ECEs de 50 Hz e 60 Hz. No setor 60 Hz o principal aspecto que deve ser enfatizado é o período de tempo para sincronizar novamente ao sistema aquelas unidades geradoras que foram desligadas pelos ECEs. Atualmente este período é em torno de um minuto e meio para a primeira unidade e cerca de

um minuto entre cada uma das unidades desligadas. É muito importante reduzir ao máximo este período para evitar a operação em configuração proibitiva do ponto de vista de auto-excitação. Desde que os Eces entraram em operação este período de tempo foi reduzido em aproximadamente 5 minutos. Em virtude de que alguns esquemas do setor 50 Hz possuem chaves seletoras operadas manualmente, já requer uma grande familiarização dos operadores com os ECEs. Visto que os ECEs não apresentam erros de operação a muitos anos por causa de mau posicionamento das chaves demonstra que os operadores estão atentos às condições do sistema, prevenindo a ocorrência de erros humanos na atuação dos ECEs. O desempenho dos Eces em Itaipu é apresentado a seguir.

3.1. Desempenho dos ECEs do Setor 60 Hz

A Tabela 1 mostra o número de atuações (164) de cada lógica controlada pelos CLPs, desde que os CLPs foram instalados, em julho de 1995, até setembro de 2006. Nesta tabela não são apresentadas as lógicas 17 e 18 por terem sido instaladas neste último mês. A Tabela 2 detalha as recusas e atuações incorretas (13) que ocorreram neste período. As Lógicas 1 e 16 nunca atuaram até hoje. Dado que os valores de referência das lógicas são calculados para as condições de operação pessimistas, acredita-se que a grande maioria de atuações de lógicas evitaram a interrupção de carga no sistema brasileiro, e até mesmo que as perturbações se espalhassem pelo sistema, principalmente àquelas lógicas projetadas para manter a estabilidade do sistema e evitar o colapso de tensão.

Tabela I – Número de Atuações das Lógicas nos CLPs.

Número Total de Atuações das Lógicas nos CLPs										
Logica 02	Logica 04	Logica 05	Logica 06	Logica 08	Logica 09	Logica 11	Logica 12	Logica 13	Logica 14	Logica 15
77	2	28	4	15	13	4	8	5	3	5

Pode ser notados na Tabela II que os erros são associados com manutenção, falhas de projeto, falhas de comunicação e falhas em relés auxiliares. Em relação aos ECEs que são independentes dos CLPs, houve uma atuação correta do esquema contra auto-excitação, durante o “black-out” de 2002 no sistema brasileiro, e uma atuação correta do ECE que aumenta o amortecimento das oscilações quando da operação interligada apenas à região Sul do Brasil, durante uma ocorrência de abertura da interligação Sul-Sudeste em 765 kV. Também houve uma atuação incorreta do ECE que controla a sobrefrequência na região Sul do Brasil, durante uma manutenção nos relés de frequência, em 1994, a qual desligou todas as linhas de 765 kV em Foz do Iguaçu, causabndo corte de carga no sistema brasileiro.

3.2. Desempenho dos ECEs do Setor 50 Hz

Ocorreram apenas duas atuações de ECEs no setor 50 Hz, ambas corretas, do esquema que controla a sobrefrequência no sistema Ande, evitando a separação entre Itaipu e Ande, com desligamento de unidade geradora por atuação do relé de taxa de variação de frequência. Uma delas foi durante o “black-out” de 199 no sistema brasileiro, quando, apesar da atuação do ECE a interligação Itaipu-Ande foi aberta pela atuação do relé sobretensão no 220 kV da SE-MD (sobretensão superior a 286 kV por mais de 1,0 s), provocando também “black-out” no sistema Ande. Em função desta ocorrência foi implantado o ECE para evitar colapso de frequência no sistema Ande e o relé de sobretensão foi reajustado. A outra atuação do ECE evitou “black-out” no sistema Ande durante um bloqueio de Bipolo do Elo CC.

Tabela II – Causas de Atuações Incorretas e Recusas das Lógicas nos CLPs.

Logic	Misoperation Causes
Logic 2	Desligamento de geradores devido a falha em relé auxiliar que fornece o estado das linhas de transmissão para o CLP.
	Desligamento de geradores devido a curto-circuito na fonte CC do CLP de Ivaiporã, sem abertura de linha de transmissão. Esta atuação incorreta causou corte de carga no sistema brasileiro.
	Recusa de atuação devido a erro de projeto.
	Desligamento de geradores devido a falha de comunicação e relé auxiliar que informa ao CLP o estado do Banco de Capacitores Série.
	Desligamento de um gerador, quando deveriam ser desligados dois geradores, devido a erro no período de carga programado no CLP. Não houve conseqüências adicionais ao sistema.
Logic 8	Desligamento de geradores devido a falha em relé auxiliar que fornece o estado das linhas de transmissão para o CLP.
	Desligamento de geradores devido a falha de comunicação, sem abertura de linha de transmissão. O protocolo de comunicação foi modificado após esta ocorrência.
Logic 9	Não houve desligamento de gerador devido a falha em transdutor que informa o fluxo de potência no transformador para o CLP. O transformador foi desligado devido a sobrecarga.
	Desligamento de geradores sem sobrecarga nos transformadores devido a falha na programação dos CLPs.
Logic 6	Três atuações com desligamento de unidades geradoras durante manutenção no relé de sobrecarga dos transformadores de Ivaiporã. As lógicas de sobrecarga foram modificadas após esta atuação.
Logic 13	Desligamento de geradores devido a erro de programação dos CLPs.

Em relação às atuações incorretas, houve apenas uma, durante manutenção do painel, em 1995, quando ocorreu atuação acidental da proteção das linhas de 500 kV, sinalizando um curto-circuito bifásico. Esta atuação resultou na abertura da interligação itaipu-Ande e “black-out” no sistema Ande.

4. CONCLUSÕES

Apesar do número de Esquemas Especiais de Proteção instalados na usina de Itaipu, eles podem ser caracterizados por sua simplicidade e pelo bom desempenho. Os ECEs foram instalados desde o início da operação da usina e tem garantido segurança para o sistema interligado e para equipamentos da usina. A maioria dos ECEs foram projetados para atuar durante perturbações múltiplas no sistema interligado, com exceção dos ECEs do setor 60 Hz instalados nos CLPs, os quais também atuam em contingências simples. Ao longo dos anos, as atuações dos ECEs tem evitado interrupção de carga e a ocorrência de novas perturbações em casacata, e até grandes “black-outs”, no sistema do Brasil, principalmente aqueles projetados para manter a estabilidade do sistema e evitar colapso de tensão, e do Paraguai, neste caso é o esquema para controle de sobrefrequência.

É importante destacar a familiarização dos operadores de Itaipu com todos esses ECEs e suas atuações, caracterizada principalmente pelo correto posicionamento de chaves seletoras, no setor 50 Hz, e pelo curto período de tempo para retornar ao sistema com as unidades geradoras deligadas pelos ECEs, no setor 60 Hz.

Os ECEs têm apresentado um desempenho muito bom ao longo dos anos. As atuações incorretadas estão associadas com manutenção de equipaemntos e falhas no projeto dos CLPs ou com relés auxiliares. Os ECEs instalados com os CLPs apresentam menos de 10 % de atuações incorretas e/ou recusas. Os outros ECEs tiveram muito poucas atuações para permitir uma análise estatística, mas as atuações incorretas já não ocorrem por um llongo período de tempo.

REFERÊNCIAS

- [1] Oliveira, Ivone et all. “Emergency Control Schemes of the 750 kV Transmission System Using Programmable Logic Controllers”, V SEPOPE, Recife, Brasil, 1996.
- [2] Asea Promom HVDC Consortium. “Itaipu HVDC System – Converter Stations – Preventive and Protective Actions on Forced Isolation Conditions at Itaipu”, 1982.
- [3] V. Giménez S., R. M. Amaral, F. A. Viotti, R. L. Moritz, E. Schlemper Jr., L. A. Lopez Z., J. M. Ordacgi F, A. C. R. Duarte, F. L. A. Souza, “Report on Some Aspects of Short Lines Teleprotection and the Protections Related to AC/HVDC System Integration”, Colloquium of CIGRÉ Study Committee 34, Turku, Finland, 1987.