

GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA - GPC

UTILIZAÇÃO DE PROTEÇÕES CONTRA PERDA DE SINCRONISMO COMO RETAGUARDA DO SISTEMA ESPECIAL DE PROTEÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO INTERLIGADO PARAGUAIO-ARGENTINO-URUGUAIO

PAULO HENRIQUE GALASSI(1); ROBSON ALMIR DE OLIVEIRA(1); JHONATAN ANDRADE DOS SANTOS(1); JONAS ROBERTO PESENTE(1); ALFREDO JAVIER MEZGER SZOSTAK(1); GABRIEL TRIERWEILER RIBEIRO(1); ALLAN MARCOS CAVALARI(1), FELIPE CRESTANI DOS SANTOS(2) ITAIPU (1); FPTI BRASIL(2)

RESUMO

Este trabalho apresenta a filosofia, ajuste e resultados de duas proteções contra perda de sincronismo do sistema elétrico interligado paraguaio-argentino-uruguaio. Estas proteções foram implantadas como funções de retaguarda em pontos eletricamente distantes do centro elétrico de oscilação, com o objetivo de isolar os sistemas e evitar a propagação da perda de sincronismo na condição de falha ou indisponibilidade do sistema especial de proteção deste sistema. Para isso, as proteções foram ajustadas por um algoritmo de otimização contando com um conjunto extenso de simulações em Anatem e validadas em testes de malha fechada em RSCAD/RTDS, apresentando um bom desempenho nestas etapas.

PALAVRAS-CHAVE

Proteção contra perda de sincronismo, Proteção de retaguarda, ANSI 78, Interligação internacional de sistemas, Simulação em Lote.

1.0 INTRODUÇÃO

O crescimento das interligações de sistemas de energia elétrica que ultrapassam as fronteiras nacionais tem sido uma tendência mundial, oferecendo diversas vantagens técnicas e econômicas aos países envolvidos (1). Neste sentido, a expansão do Sistema Interligado Nacional Paraguai (SIN-PY) com a construção de linhas de transmissão em 500kV tornou viável a operação do SIN-PY e de Itaipu 50Hz em paralelo com os sistemas elétricos argentino (SADI – *Sistema Argentino de Interconexión*) e uruguaio (SIN-UY – Sistema Interligado Nacional Uruguaio). Adicionalmente, este sistema é interligado de forma assíncrona com o Sistema Interligado Nacional Brasileiro em 60Hz pelo Elo de Corrente Contínua de Furnas.

A viabilidade técnica da operação do sistema interligado paraguaio-argentino-uruguaio depende do desenvolvimento de estudos elétricos de regime permanente e dinâmico, de forma a garantir a estabilidade e a segurança operacional. Destes estudos foi identificado o risco da perda de sincronismo entre Itaipu 50Hz e os geradores do SADI e SIN-UY. No intuito de mitigar os efeitos da perda de sincronismo foi implantado um Sistema Especial de Proteção (SEP) que visa desinterligar os sistemas por meio de lógicas de estados de equipamentos e baseadas em sincrofasores. Este SEP foi intitulado como Esquema de Controle de Contingências da ANDE (operador do SIN-PY) ou, de forma abreviada, ECCANDE.

O ECCANDE, assim como qualquer SEP, está sujeito à ocorrência de falhas e defeitos em seus componentes de processamento e de comunicação, podendo indisponibilizar total ou parcialmente as lógicas de controles implantadas, colocando em risco os sistemas interligados. Neste sentido, este trabalho apresenta a utilização de duas proteções contra perda de sincronismo (PPS) como retaguarda, capazes de identificar oscilações de potência instáveis distantes do centro elétrico, que buscam isolar rapidamente os equipamentos afetados (2). Como consequência evita-se a propagação da instabilidade para outras partes do sistema e possíveis danos a estes equipamentos quando da ausência da principal proteção do sistema, o ECCANDE.

A primeira PPS foi instalada em duas linhas de interligação de 500kV do SIN-PY com o SADI, cuja atuação comanda o desligamento destas linhas, promovendo a abertura da interligação do SIN-PY com o SADI e UTE de forma independente ao ECCANDE, atuando assim como uma proteção de retaguarda.

A segunda PPS consiste em um IED instalado no setor de 500kV da subestação da Margem Direita (SE-MD), nas instalações de Itaipu 50Hz, e emprega um conjunto de medidas de equipamentos que contabilizam o intercâmbio entre Itaipu 50Hz e o SIN-PY. Este arranjo não convencional desta PPS permite a medição da impedância equivalente do SIN-PY, vista pelo terminal de Itaipu 50Hz na SE-MD, e, caso seja identificada a condição de perda de sincronismo promove a abertura da interligação entre Itaipu 50Hz e o SIN-PY, no intuito de resguardar a integridade das unidades geradoras de Itaipu 50Hz.

A parametrização das PPS foi realizada por meio de uma metodologia de ajuste automático dos parâmetros de zona de atuação baseado em um algoritmo de otimização não linear de conjuntos ativos (*active set*), com objetivo de maximizar a atuação para o maior número de casos de perda de sincronismo, empregando um conjunto elevado de simulações em Anatem, superior a 23 mil. Posteriormente, testes de malha fechada em RSCAD/RTDS foram efetuados para a comprovação do desempenho dos IEDs de proteção.

O trabalho está dividido da seguinte forma: a Seção 2 apresenta o sistema interligado paraguaio-argentino-uruguaio; a Seção 3 o funcionamento e a localização das PPS e o método de ajuste dos parâmetros desta função; a Seção 4 os resultados de desempenho da PPS e a Seção 5 as conclusões deste estudo.

2.0 SISTEMA INTERLIGADO PARAGUAIO-ARGENTINO-URUGUAIO

Atualmente, o SIN-PY tem sua carga atendida por um sistema de transmissão em 220 kV e 500 kV, e está dividido em dois subsistemas distintos, os quais são ilustrados na Figura 1.

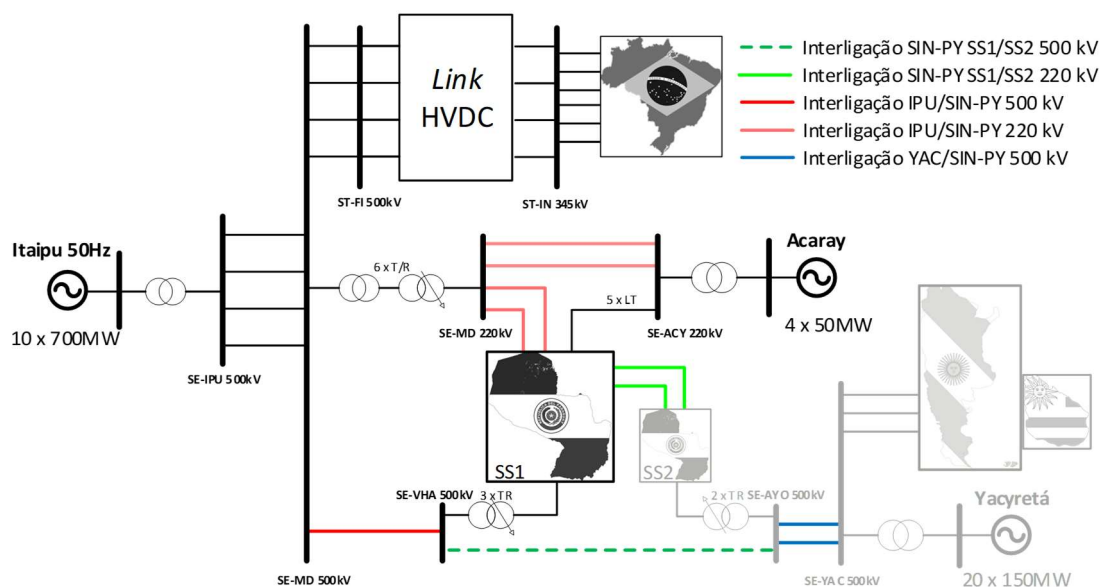


Figura 1 – Sistema interligado paraguaio-argentino-uruguaio

O primeiro subsistema (SS1) é composto por cerca de 90% da carga SIN-PY, pelas unidades geradoras da usina de Acaray (4x50 MW) e é interligado a usina de Itaipu 50Hz (10x700 MW) e ao sistema elétrico brasileiro através do elo de Furnas (6.300 MW). O segundo subsistema (SS2) compõe aproximadamente 10% do SIN-PY e é interligado a usina de Yacyretá (20x160 MW) e ao SADI/SIN-UY, por meio de três linhas de transmissão de 500kV.

Embora esses subsistemas não estejam atualmente conectados, o planejamento de expansão do SIN-PY prevê a interconexão destes subsistemas através de uma nova linha de transmissão de 500kV e por duas linhas existente de 220kV (3), conforme destacado em verde na Figura 1.

A fim de mitigar os efeitos da perda de sincronismo no sistema e nos equipamentos associados, foi implantado o sistema especial de proteção ECCANDE que visa desinterligar os sistemas, abrindo as linhas em verde indicadas na Figura 1, por meio de lógicas de estados de equipamentos e baseadas em sincrofases. Como proteção adicional, funções de PPS foram instaladas como retaguarda em dois pontos do sistema interligado, que promovem a abertura das linhas em azul ou em vermelho da Figura 1 quando da ocorrência de perda de sincronismo em condições de falha ou indisponibilidade de ECCANDE.

Para isso, o sistema interligado paraguaio-argentino-uruguaio, composto por 292 geradores síncronos e 3.849 barras, foi modelado nos aplicativos Anarede e Anatem, a fim de analisar o desempenho estático e dinâmico bem como a segurança operacional deste sistema.

3.0 FUNCIONAMENTO, LOCALIZAÇÃO E AJUSTE DAS PPS

Nesta seção está descrito o funcionamento da função PPS do IED de proteção instalado nos dois pontos do sistema interligado-argentino-uruguaio discutidos na Seção 2.0, bem como os pontos de instalação e a formulação do ajuste automático dos parâmetros desta função.

3.1 Descrição do funcionamento da PPS

O IED SIEMENS 7SL87 dispõe de uma função PPS, código ANSI 78 (4). O funcionamento desta função baseia-se na trajetória da impedância de sequência positiva, em que se computa o número de vezes que a impedância passa pela zona de atuação atendendo um dos três critérios de contagem (número de entrada, de cruzamento de eixo ou de saída da zona), conforme ilustrado na Figura 2. Quando atingido o número passagem pela zona de atuação ajustado, a PPS comandará o desligamento da linha.

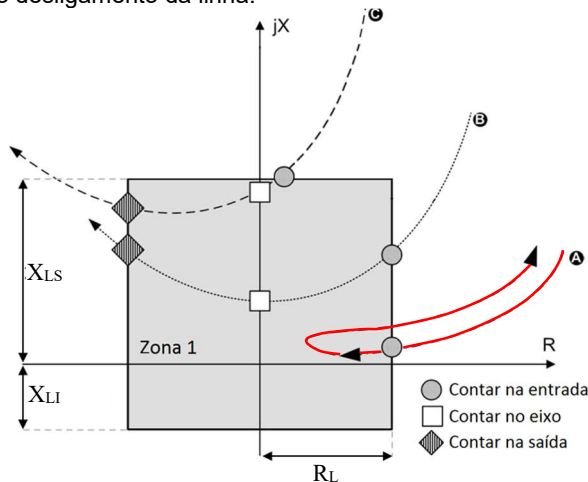


Figura 2 – Modos de contagens pela zona de atuação da PPS – IED SIEMENS 7SL87 (4)

A zona de atuação é ajustada através do parâmetro limite de resistência (R_L) e dos parâmetros limites de reatância superior (X_{LS}) e inferior (X_{LI}), conforme Figura 2, sendo possível ajustar até quatro zonas de atuação simultâneas. Adicionalmente, a zona pode ser deslocada em qualquer direção do eixo de reatância, conforme ilustrado na Figura 3.

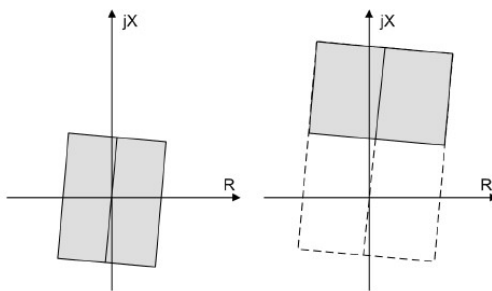


Figura 3 – Ajustes da zona de atuação da função PPS – IED SIEMENS 7SL87 (4)

Esta função de proteção se apresenta como uma solução flexível para identificar oscilações de potência instáveis em pontos eletricamente distantes do centro elétrico de oscilação, visto que é capaz de detectar a condição de perda de sincronismo sem o cruzamento do eixo de reatância no plano R-X. Como este comportamento ocorre para a impedância simulada no aplicativo Anatem e medida pelas funções PPS do sistema interligado, adotou-se o modo de contagem na entrada para esta função, que está ilustrado pela trajetória A destacada em vermelho na Figura 2.

De acordo com o manual do fabricante (4), para evitar o funcionamento incorreto da função de proteção, a zona de atuação da PPS é bloqueada/desativada quando:

- A corrente de sequência positiva é inferior a um limite ajustável ($I_1 < \text{threshold blocks zone}$), a fim de determinar um nível mínimo de carregamento na linha; ou

- b. A corrente de sequência negativa excede um limite ajustável ($I_2 > \text{threshold blocks zone}$), no intuito de evitar contagens excessivas durante eventos desbalanceados, como curtos-circuitos envolvendo uma ou duas fases.

Para a PPS das LT 500kV YAC-AYO 1 e 2, os parâmetros de impedância (R_L , X_{LS} e X_{LI}) e de número de entradas para atuação (número de oscilações de potência) foram ajustados com base nas simulações em Anatem, conforme descrito nas seções a seguir.

3.2 Localização das PPS

Nesta subseção são apresentados os pontos de instalação dos IEDs no sistema interligado paraguaio-argentino-uruguaio e os equipamentos desligados pela atuação das funções PPS destes IEDs.

3.2.1 Primeira PPS de retaguarda – LT 500kV YAC-AYO 1 e 2

As funções de PPS foram habilitadas individualmente nos IEDs de proteção Siemens 7SL87 das duas linhas de interligação de 500kV entre a usina de Yacyretá e o SIN-PY (LT 500 kV YAC-AYO 1 e 2), as quais estão ilustradas em azul na Figura 1, no terminal do SIN-PY (SE-AYO 500 kV). Estas duas linhas possuem um comprimento de 16 km e as mesmas características construtivas e, portanto, o mesmo modelo de rede elétrico, permitindo a definição de um único ajuste de PPS para ambas a linhas de transmissão.

O arranjo de conexão do IED de proteção com a função PPS das LT 500 kV YAC-AYO 1 e 2 no terminal da SE-AYO 500kV está ilustrado na Figura 4.

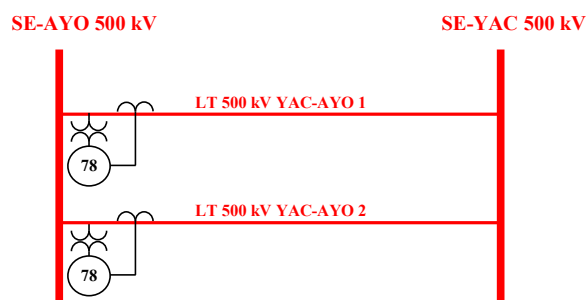


Figura 4 – Arranjo de conexão das PPS da LT 500kV YAC-AYO 1 e 2 no terminal da SE-AYO 500 kV

Quando atendido o critério de atuação na condição de perda de sincronismo, os IEDs de proteção comandam o desligamento destas linhas, promovendo a desinterligação completa do SIN-PY com o SADI/SIN-UY de forma independente ao ECCANDE, servindo assim como a primeira proteção de retaguarda.

O comportamento característico da impedância medida pelas PPS das LT 500 kV YAC-AYO 1 e 2 no plano R-X de casos estáveis e instáveis com perda de sincronismo está ilustrado na Figura 5. A partir desta figura, foi observado que a trajetória da impedância medida de casos com perda de sincronismo apresenta o formato de circunferência no plano R-X.

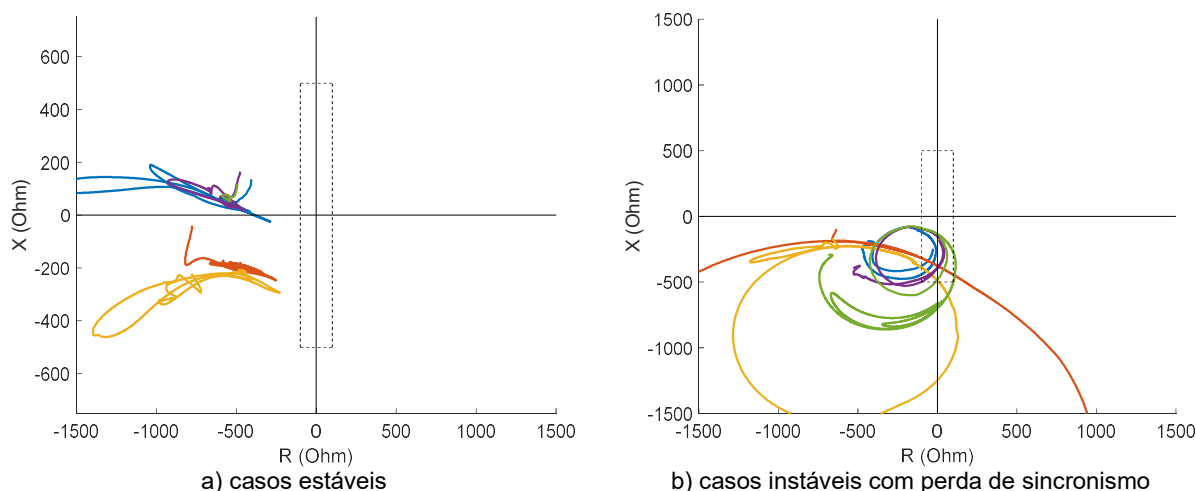


Figura 5 – Comportamento da impedância medida pela primeira PPS no plano RX

Cabe destacar que os valores negativos da componente de resistência medida pelos IEDs ocorrem devido a medição de corrente do TC ser no sentido oposto ao fluxo de corrente típico destas linhas, normalmente da SE-YAC 500 kV para SE-AYO 500 kV.

3.2.1 Segunda PPS de retaguarda – SE-MD 500kV de Itaipu 50Hz

A segunda PPS de retaguarda está habilitada em um IED SIEMENS 7SL87 instalado no setor de 500kV da SE-MD, nas instalações de Itaipu 50Hz, e emprega um conjunto de medidas entre Itaipu 50Hz e o SIN-PY: as tensões de barramento da SE-MD 500 kV e a soma das correntes de transformadores e linhas de interligação, por meio de um ponto de soma físico de TCs, conforme ilustrado na Figura 6.

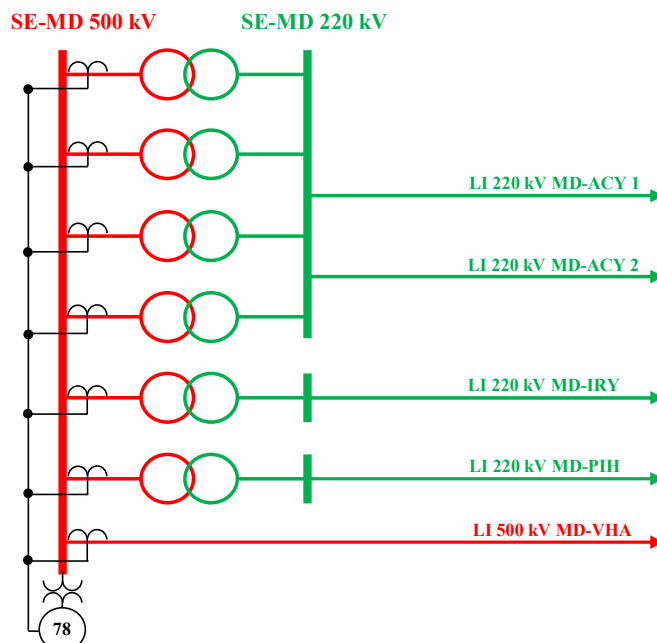


Figura 6 – Arranjo de conexão da PPS da SE-MD 500kV de Itaipu 50Hz

Este arranjo não convencional da PPS permite a medição da impedância equivalente do SIN-PY, vista pelo terminal da SE-MD, e o ajuste único de parâmetros ao invés da parametrização simultânea e mais complexa de uma PPS para cada uma das cinco linhas de interligação entre Itaipu 50Hz na SE-MD e o SIN-PY. Adicionalmente, este arranjo permite a continuidade de operação da função PPS até mesmo em condições de indisponibilidade de linhas de interligação entre Itaipu 50Hz e o SIN-PY.

Desta forma, como uma segunda retaguarda, caso seja identificada a condição de perda de sincronismo esta segunda PPS promove a abertura da interligação entre Itaipu 50Hz e o SIN-PY, comandando a abertura da linha de 500kV e das quatro linhas de 220kV da Figura 6, no intuito de preservar as unidades geradoras de Itaipu 50Hz.

O comportamento característico da impedância medida pelas PPS da SE-MD de Itaipu 50Hz no plano R-X de casos estáveis e instáveis com perda de sincronismo está ilustrado na Figura 7.

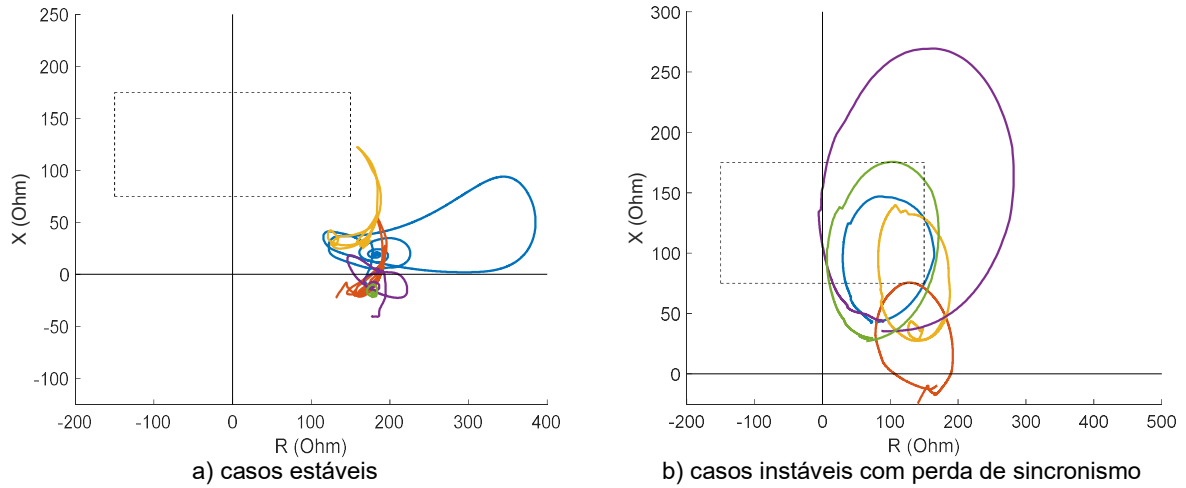


Figura 7 – Comportamento da impedância medida pela segunda PPS no plano RX

3.3 Ajuste das PPS

O ajuste das funções PPS de retaguarda foi realizado empregando um banco de simulações dinâmicas em Anatem do sistema interligado-argentino-uruguaio, variando os cenários de fluxo de potência e as perturbações aplicadas.

Os casos de fluxo de potência consideraram variações de carga do SIN-PY e do SADI/SIN-UY, do intercâmbio de Itaipu 50Hz com o SIN-PY e de Yacyretá com o SIN-PY, do número de geradores sincronizados e da potência por unidade em Itaipu 50Hz e da potência transmitida e número de conversores do elo de Furnas. Complementarmente, foram simuladas 15 perturbações para o ajuste das PPS, contemplando o desligamentos de linhas de transmissão do SIN-PY, de linhas de transmissão e geradores do SADI/SIN-UY, de geradores de Itaipu 50Hz e de Yacyretá e bloqueios de polo e bipolo do elo de Furnas.

Ao todo, um conjunto de 23.783 simulações dinâmicas foram utilizadas neste trabalho. A partir destas simulações, foi estabelecida a regra de classificação dos casos de simulação em estáveis (sem perda de sincronismo) e instáveis (com perda de sincronismo). Quando a diferença angular entre a SE-MD 500kV e a SE-AYO 500kV permaneceu inferior a 150 graus o caso foi classificado como estável, caso contrário o caso foi considerado como instável. Ao aplicar este critério, 20.442 (86%) e 3.341 (14%) casos foram classificados como estáveis e instáveis, respectivamente.

Cabe destacar que a diferença angular entre a SE-MD 500kV e a SE-AYO 500kV baseia-se na medida de sincrofases de tensão de sequência positiva, sendo empregado em uma das lógicas do ECCANDE para a atuação na condição de perda de sincronismo.

Posteriormente, o método de ajuste dos parâmetros das funções PPS desenvolvido neste trabalho foi aplicado diante do número elevado de simulações a serem avaliadas. Neste processo, primeiramente estabelece-se o parâmetro de número de entradas na zona para atuação (N_{ENT}). Posteriormente, inicia-se o processo iterativo de busca do melhor conjunto de parâmetros de impedância (R_L , X_{LS} e X_{LI}), por meio do algoritmo de otimização não linear de conjuntos ativos, com o objetivo de minimizar o número de casos instáveis simulados sem atuação da PPS ($N_{INS-NAT}$), conforme apresentado na Equação 1. Por fim, foi verificado as possíveis soluções encontradas e selecionado os ajustes que mitigem o número de casos estáveis com a atuação das PPS.

$$\min N_{INS-NAT} = f(R_L, X_{LS}, X_{LI}) \text{ sujeito a } \begin{cases} 0 \leq R_L \leq 1.500\Omega \\ -1.500\Omega \leq X_{LS} \leq 1.500\Omega \\ -1.500\Omega \leq X_{LI} \leq 1.500\Omega \\ X_{LS} > X_{LI} \end{cases} \quad (1)$$

Desta forma, este método foi aplicado para as duas PPS do sistema interligado paraguaio-argentino-uruguaio empregando o banco de simulações em Anatem e foi comprovado o desempenho com o IED em testes de malha fechada em RSCAD/RTDS, cujo os resultados estão apresentados na Seção 4.

4.0 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Inicialmente, seguindo a metodologia de ajuste da subseção 3.3, foi definido o número de entrada na zona para a atuação da primeira e segunda PPS. Com base nas verificações realizadas no banco de simulações em Anatem,

ajustou-se o parâmetro de número de entradas igual a duas para a atuação das PPS das LT 500kV YAC-AYO 1 e 2, pois se apresentou como a escolha com o melhor compromisso de coordenação com o ECCANDE e menor tempo de atuação. De forma complementar, este mesmo parâmetro foi ajustado em três entradas para a PPS da SE-MD 500 kV, segunda proteção de retaguarda de Itaipu, buscando a coordenação com a primeira PPS.

Com a execução o algoritmo de otimização e posterior verificação do ajuste da zona de atuação da PPS, foram obtidos os parâmetros de impedância da primeira e segunda PPS de retaguarda, os quais estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parametrização das PPS

PPS	Localização	N _{ENT}	R _L (Ω)	X _{Ls} (Ω)	X _{Li} (Ω)
1 ^a	LT 500 kV YAC-AYO 1 e 2	2	100	500	-500
2 ^a	SE-MD 500kV de Itaipu 50Hz	3	150	175	75

O número de casos simulados com ou sem atuação da primeira e segunda PPS de retaguarda está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Desempenho das PPS

Casos	Nº de casos atuado		Nº de casos não atuado	
	1 ^a PPS	2 ^a PPS	1 ^a PPS	2 ^a PPS
Instáveis	3.341 (100%)	3.177 (95,1%)	0 (0%)	164 (4,9%)
Estáveis	22 (0,1%)	53 (0,3%)	20.420 (99,9%)	20.389 (99,7%)

A primeira PPS de retaguarda atuou para todos os casos instáveis simulados, com tempo médio de atuação de 850ms após a perda de sincronismo (quando a diferença angular entre a SE-MD 500kV e a SE-AYO 500kV é superior a 150 graus). Além disso, os 0,1% dos casos estáveis que tiveram a atuação da primeira PPS de retaguarda também levariam a atuação prévia do ECCANDE e, portanto, não atuariam de forma descoordenada com o ECCANDE.

A segunda PPS de retaguarda atuou para 95,1% dos casos instáveis simulados, com tempo médio de atuação de 1,7s após a perda de sincronismo. Adicionalmente, dos 53 casos estáveis (0,3%) que tiveram a atuação da segunda PPS de retaguarda, 49 casos também levariam a atuação prévia do ECCANDE ou pela primeira PPS de retaguarda. Os 4 casos casos estáveis que teriam somente atuação pela segunda PPS de retaguarda referem-se a perturbações de perda de duas unidades geradoras de Itaipu 50Hz, um distúrbio de alto impacto porém de baixa probabilidade de ocorrência.

De modo a mitigar estas atuações incorretas para casos sem a perda de sincronismo, implementou-se um bloqueio adicional da segunda PPS de retaguarda quando o estado de funcionamento do ECCANDE encontra-se normal. Isto é, a segunda PPS de retaguarda na SE-MD 500kV de Itaipu 50Hz fica habilitada para atuação somente quando a principal proteção do sistema, ECCANDE, encontra-se indisponível. Deste modo, o sistema interligado paraguaio-argentino-uruguaio e os equipamentos associados sempre ficam reguardados por duas proteções contra a perda de sincronismo coordenadas: ECCANDE e a primeira PPS de retaguarda; ou a primeira e segunda PPS de retaguarda.

Posteriormente ao ajuste, o desempenho dos IEDs que possuem a primeira e segunda PPS de retaguarda foi avaliado em simulações estáveis e instáveis (com perda de sincronismo) em malha fechada em RSCAD/RTDS, empregando um equivalente dinâmico de quatro geradores e 22 barras do sistema interligado paraguaio-argentino-uruguaio.

As grandezas elétricas do sistema apresentaram um comportamento oscilatório estável das grandezas elétricas, sem a atuação da primeira e segunda PPS de retaguarda, quando simulado um curto-circuito monofásico franco na SE-AYO 500kV sendo extinto após 100ms com o desligamento da LT 500kV AYO-VHA em um caso de carga pesada do SIN-PY (3.850MW), conforme esperado. As trajetórias da impedância simulada em Anatem e em RSCAD/RTDS para as funções PPS de retaguarda estão ilustradas na Figura 8, bem como as sinalizações digitais dos IEDs destas funções em RSCAD/RTDS na Figura 9.

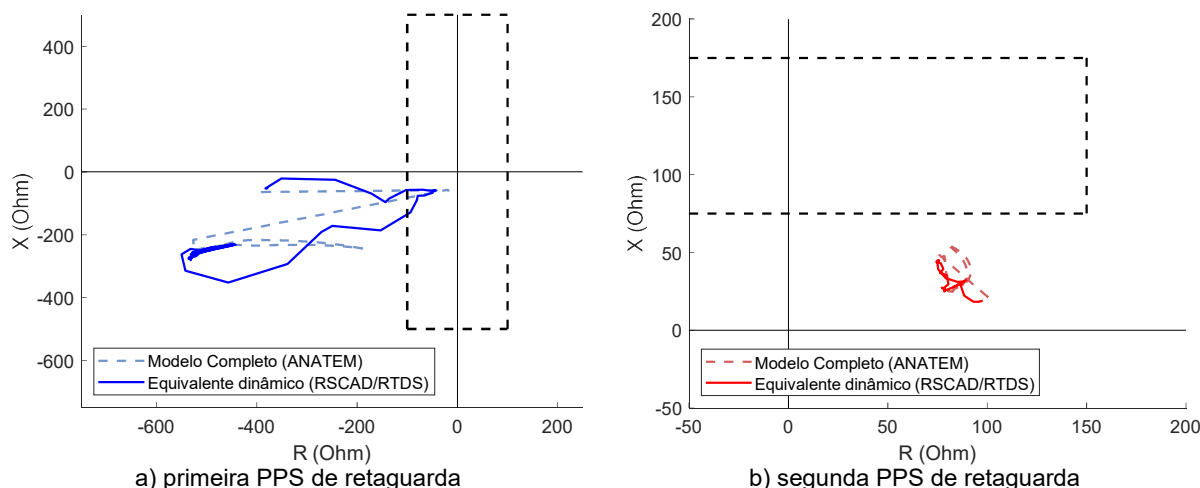


Figura 8 – Comportamento da impedância simulada de um caso estável

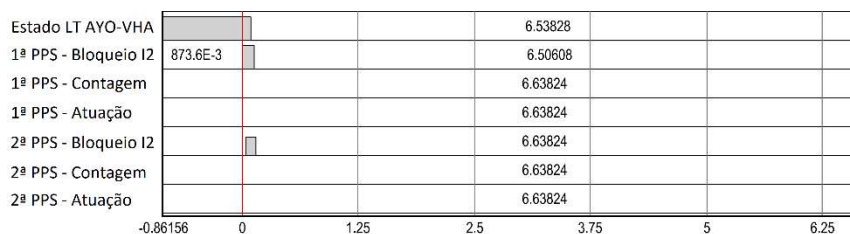


Figura 9 – Sinalizações das PPS para um caso estável em RTDS/RSCAD

Das Figuras 8 e 9, foi verificado que as duas PPS, em especial a primeira, são desabilitadas corretamente durante o curto-circuito devido ao bloqueio por sequência positiva, evitando contagens incorretas de entrada na zona de atuação.

Em outro cenário, as grandezas elétricas do sistema apresentaram um comportamento oscilatório instável das grandezas elétricas, com a atuação da primeira e segunda PPS de retaguarda, quando simulado um curto-circuito monofásico franco na SE-MD 500kV sendo extinto após 100ms com o desligamento da LI 500kV MD-VHA em um caso de carga pesada do SIN-PY (3.850MW), conforme esperado. As trajetórias da impedância simulada em Anatem e em RSCAD/RTDS para as funções PPS de retaguarda estão ilustradas na Figura 10, bem como as sinalizações digitais dos IEDs destas funções em RSCAD/RTDS na Figura 11.

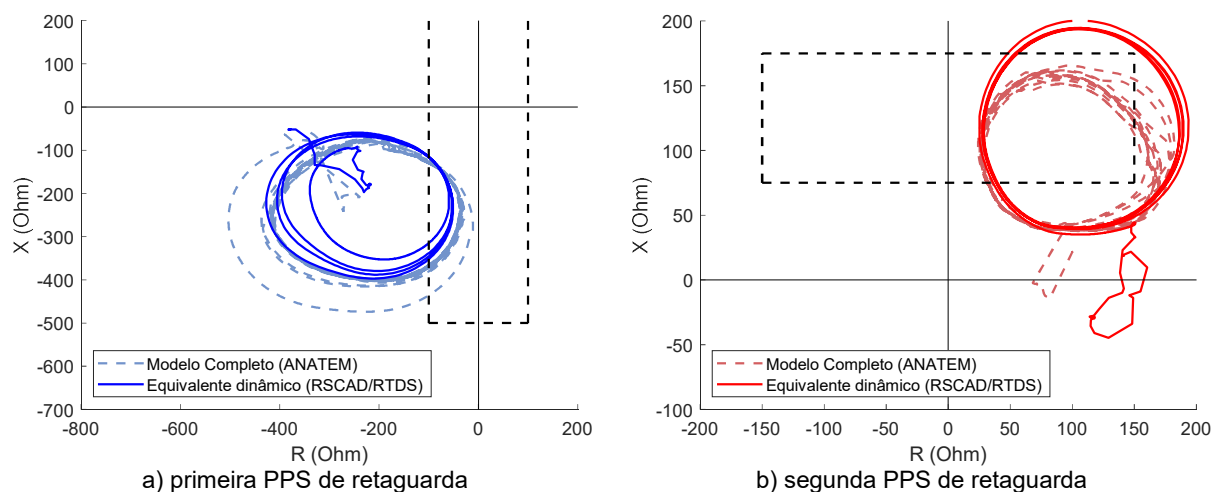


Figura 10 – Comportamento da impedância simulada de um caso instável

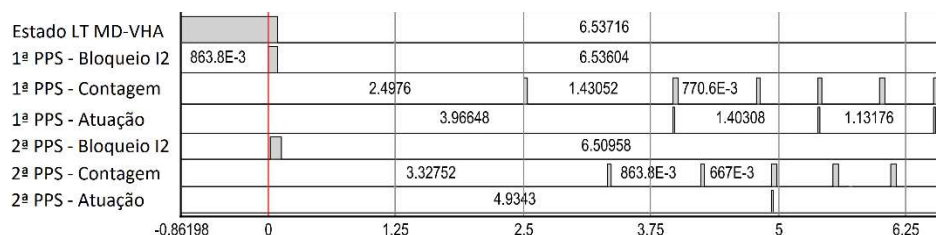


Figura 11 – Sinalizações das PPS para um caso instável em RSCAD/RTDS

Das Figuras 10 e 11, foi constatado o correto bloqueio das duas PPS durante o curto-circuito e, posteriormente, ocorre a atuação correta das duas PPS de retaguarda, de forma coordenada, após a perda de sincronismo do sistema interligado paraguaio-argentino-uruguaio. Nesta simulação, a primeira PPS de retaguarda (das LT 500kV YAC-AYO 1 e 2) atua com duas oscilações de potência instáveis e, cerca de 1s após, a segunda PPS (da SE-MD 500kV de Itaipu 50Hz) atua com a terceira oscilação de potência instável.

5.0 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a concepção e os principais resultados da utilização de duas funções de proteção contra perda de sincronismo como funções de retaguarda do esquema especial de proteção principal do sistema interligado paraguaio-argentino-uruguaio. Estas duas proteções foram implantadas utilizando o IED 7SL87 da SIEMENS de proteção em dois pontos eletricamente distantes do centro elétrico de oscilação deste sistema.

O arranjo não convencional para a segunda PPS de retaguarda possibilitou a medição da impedância equivalente do SIN-PY vista pelo terminal de Itaipu 50Hz na SE-MD, permitindo uma operação contínua e com parametrização única desta função para resguardar a integridade das unidades geradoras de Itaipu 50Hz.

O método de ajuste automatizado dos parâmetros possibilitou um desempenho otimizado das duas PPS, de modo a atuarem para a maioria das simulações que apresentaram a condição de perda de sincronismo em Anatem. Adicionalmente, este desempenho otimizado das duas PPS foi comprovado por simulações de malha fechada em RSCAD/RTDS com o IED utilizado em campo.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) WANG, W. et al. Scenario Forecast of Cross-border Electric Interconnection towards Renewables in South America. In: 2021 IEEE 4th International Electrical and Energy Conference (CIEEC). IEEE, 2021. p. 1-6.
- (2) REIMERT, D. Protective relaying for power generation systems. CRC press, 2006.
- (3) BERGAMO, A. L. B., QUINTÃO, P. E. M., LIZÁRRAGA, M. G. M., Almeida, P. C., Romei, O. R., Barua, J. M., Gomes Jr, S., CORONEL, G. G. Estudos de estabilidade do sistema interligado brasileiro, paraguaio e argentino. Trabalho do XI Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica. XI SEPOPE, 2009.
- (4) SIEMENS. Manual SIEMENS SIPROTEC 5 - Distance and Line Differential Protection, Breaker Management for 1-Pole and 3-Pole Tripping 7SA87, 7SD87, 7SL87, 7VK87. Versão: V7.30 and higher. 2017.

DADOS BIOGRÁFICOS



PAULO HENRIQUE GALASSI: Possui o diploma de graduação em engenharia elétrica (2016) e atualmente mestrando, ambos pela Universidade Estadual do Paraná. Trabalha na Itaipu Binacional desde 2016, onde atualmente trabalha na área de estudos elétricos e normas, envolvido com análise de pós-operativa de perturbações e eventos, estudos elétricos em regime permanente, dinâmico e transitório e sistemas de proteção e controle.

(2) ROBSON ALMIR DE OLIVEIRA

Natural de Conceição das Pedras, MG. Graduiu-se em Engenharia Elétrica em 1997 e conclui o mestrado em sistemas elétricos de potência em 2001, ambos pela UNIFEI (Universidade Federal de Itajubá). Trabalha na Itaipu Binacional desde 2000 na divisão de estudos elétricos e normas, envolvendo-se principalmente com a realização de estudos elétricos, incluindo a análise de sistemas elétricos em regime permanente, dinâmico e transitório, sistemas de proteção e controle (sistemas Scada/EMS, CAG, CAT, regulação primária de tensão e velocidade). Também é professor assistente da UNIOESTE desde 2002, ministrando aulas de Proteção, Operação e Estabilidade de SEP.

(3) JHONATAN ANDRADE DOS SANTOS

Formado em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) em 2012 e doutor em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP) em 2019. Trabalhou na Celesc Distribuição em 2016 nas áreas de estudos elétricos e análise da conexão de geradores distribuídos. Em 2017 trabalhou no Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) na análise de intervenções e desligamentos na Rede Básica. Atualmente trabalha na Itaipu Binacional na divisão de Estudos Elétricos e Normas.

(4) JONAS ROBERTO PESENTE

Doutorado em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina e colaborador de Itaipu Binacional na divisão de estudos elétricos e normas.

(5) ALFREDO JAVIER MEZGER SZOSTAK

Integrante da divisão de Estudos Elétricos e Normas (OPSE.DT) da Itaipu Binacional. É formado em engenharia elétrica pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá, com mestrado na Universidade Federal de Santa Catarina. Suas áreas de interesse incluem análise da operação de sistemas elétricos, estudos de estabilidade de frequência e tensão, e estudos de transitórios eletromagnéticos.

(6) GABRIEL TRIERWEILER RIBEIRO

Atua como engenheiro de manutenção de proteção e controle na Itaipu Binacional desde 2015. Graduado em Engenharia Elétrica (Unioeste), especialista em automação industrial (PUCPR), mestre e doutor em engenharia elétrica (UFPR).

(7) ALLAN MARCOS CAVALARI

Graduado em engenharia elétrica, com ênfase em sistemas elétricos de potência, pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná em 2012. Atua desde 2016 na Divisão de Manutenção Eletrônica da Itaipu Binacional, onde executa atividades relacionadas à manutenção preventiva, corretiva e de atualização tecnológica dos sistemas de proteção e controle.

(8) FELIPE CRESTANI DOS SANTOS

Engenheiro eletricitista no Centro de Competência em Automação e Simulação de Sistemas Elétricos (AS.DT) na Fundação Parque Tecnológico Itaipu - Brasil (FPTI-BR), com atuação nas áreas de Simulação em Tempo Real, Sistemas de Proteção, Geração Distribuída e Microrredes. Possui graduação em Engenharia Elétrica na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR (2014), mestrado em Engenharia Elétrica e Computação na Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste (2017) e atualmente é doutorando na Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.