



GRUPO - VII

GRUPO DE ESTUDO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GPL

**OS DESAFIOS PARA INSERÇÃO GRANDES BLOCOS DE ENERGIA RENOVÁVEIS
NA REGIÃO NORDESTE**

Jurandir Cavalcanti (*)

Marcelo J. A. Maia

Dalton F. G. Filho

CHESF

RESUMO

O artigo apresenta estudos elétricos em regime permanente e dinâmico com os programas de fluxo de potência (ANAREDE) e de estabilidade (ANATEM) com o intuito de determinar os benefícios do uso do Reator de Saturação Natural (RSN) em substituição aos Reatores Lineares (RL) instalados nas linhas de transmissão de 500 kV das interligações regionais. Alternativamente, será estudado o uso de proteção baseada em fibra ótica para chaveamento dos reatores lineares

PALAVRAS-CHAVE

Margem de escoamento de potência, proteção na velocidade da luz, reator linear, reator saturado, região de segurança estática.

1.0 - INTRODUÇÃO

Os estudos desenvolvidos em [1] demonstraram que não existirá capacidade remanescente para escoamento de energia elétrica nos Barramentos da Rede Básica, DIT e ICG localizados no estado da Bahia no horizonte 2020 [1]. Isso decorre das premissas estabelecidas na análise e relacionadas a seguir.

- i. Foi considerado um montante de geração eólica existente e com entrada em operação prevista até 2020 (5.300 MW no estado da Bahia);
- ii. Atraso de obras da ABENGOA, com destaque para as SE 500 kV Barreiras II e Gilbués II e as LT 500 kV Gilbués II - Barreiras II - Bom Jesus da Lapa II C1 e Bom Jesus da Lapa II - Igaporã III - Ibicoara - Sapeaçu C2, que não estarão disponíveis, pelo menos até 2020.

Contemplando as premissas supracitadas, onde deveria ser considerado o despacho eólico de 80% em todo o estado da Bahia, devido a impossibilidade da montagem do cenário de referência Nordeste Exportador (carga leve), foi alocado apenas 55% para evitar o esgotamento dos recursos de controle de tensão em condição normal de operação nessa região. Mesmo com geração eólica, em todo o estado da Bahia, limitada a um percentual de 55% na carga leve, identificou-se a necessidade de implantação de um Sistema Especial de Proteção - SEP para corte automático

de geração em subestações localizadas no eixo 230 kV entre Sobradinho e Bom Jesus da Lapa e na região de Igarorã, para eliminar problemas de colapso de tensão e de sobrecarga, na contingência da LT 500 kV Morro do Chapéu II - Sapeaçu, bem como de trechos de 500 kV da Interligação SE-NE. Considerando os reforços autorizados na RESOLUÇÃO Nº 6.030, DE 06 DE SETEMBRO DE 2016 (SE 500 kV Barreiras II) e RESOLUÇÃO Nº 6.069, DE 4 DE OUTUBRO DE 2016 (SE 500 kV Gilbués II) será mantida a restrição de um despacho de geração eólica na área oeste da Bahia no patamar máximo de 65,7%, em condição normal de operação.

Para mitigar o problema explicitado no resumo desse trabalho [1] será utilizada a alternativa a aplicação de reatores de saturação natural (RSN) em substituição dos reatores lineares (RL). Será considerada, também, a atuação de proteção baseada em fibra ótica para chaveamento de reatores lineares. Essa última tecnologia permite a atuação da proteção de linhas de transmissão na velocidade da luz.

Esquemas de Controle de Emergência, proteção de linhas no domínio do tempo, segurança cibernética e rede definidas por SOFTWARE foram alguns dos assuntos debatidos durante o Seminário Técnico da SEL (SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES), no último dia 17 de agosto de 2016. A proteção de linhas de transmissão no domínio do tempo utiliza ondas viajantes e grandezas incrementais para realizar o trip mais rapidamente: no intervalo de 1 a 4 milissegundos. Trata-se de uma redução de 16 vezes no tempo em que um relé tradicional leva para atuar.

2.0 - OBJETIVO

Nesse trabalho será apresentado um estudo de caso analisando o benefício da utilização de tecnologias que possam reduzir os impactos da utilização de reatores lineares nos barramentos e nas linhas de transmissão na tensão de 500 kV, existentes e futuras na região oeste da Bahia.

3.0 - PRINCÍPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMENTO DO REATOR DE SATURAÇÃO NATURAL

O RSN aproveita-se do comportamento natural dos materiais ferromagnéticos, caracterizado por uma inclinação acentuada da curva normal de magnetização a partir de 1,9 T, região designada saturada, como ilustra a curva B versus H Figura 1a. Como a indução B determina a tensão nos terminais do RSN, esta poderá ser mantida numa faixa bastante estreita, se o material constituinte do equipamento for levado a funcionar nessa região, resultando, dessa maneira, numa característica operacional similar àquela do material, Figura 1b.

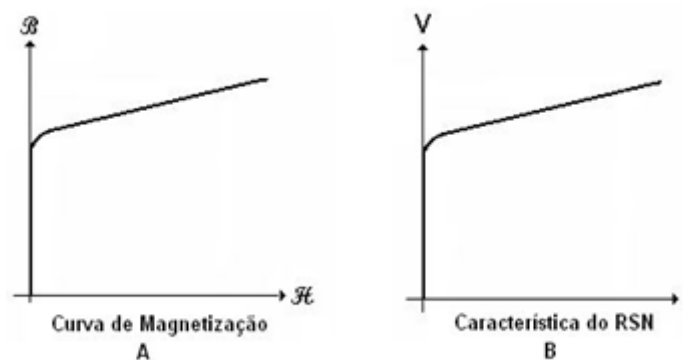


FIGURA 1 – Princípio de Funcionamento do Reator de Saturação Natural

4.0 - CARACTERÍSTICAS DA PROTEÇÃO BASEADA EM FIBRA ÓTICA PARA CHAVEAMENTO DOS REATORES LINEARES

A proteção de linhas de transmissão no domínio do tempo alia grandezas incrementais e ondas viajantes para atuar até 16 vezes mais rápido que IEDs (relés tradicionais) que trabalhavam com Fasores [3].

Os sistemas de energia elétrica estão mudando. Cada vez mais, fontes renováveis de energia são inseridas no sistema e mudam sua dinâmica, levando-o a trabalhar mais próximo do seu limite de estabilidade.

A estabilidade do sistema de potência tem impulsionado a busca por uma proteção de linhas de transmissão mais rápida. As faltas precisam ser eliminadas em um tempo menor que o valor crítico de eliminação do defeito atuais, ou então, o sistema pode perder a estabilidade e possivelmente ir a um blecaute. Já em 1976, um estudo da concessionária americana BPA Bonneville Power Administration mostrava que uma redução de um ciclo (16 milissegundos em um sistema de 60hz) no tempo de eliminação de defeito de uma determinada linha de transmissão permitia o aumento da potência transferida em 250 MW. Isso significa que, cada milissegundo economizado no tempo de eliminação da falta, os limites de estabilidade da transmissão subiriam até 15 MW.

5.0 - ESTUDOS ELÉTRICOS

Para demonstrar a diferença de performance de uma rede elétrica considerando a substituição de RL de linha de transmissão por RSN na tensão 500 kV, foi estudado o comportamento de parte da interligação Norte Nordeste entre as subestações Ribeiro Gonçalves e Colinas [2], ilustrada na Figura 2. Nessa situação, o mesmo ponto de operação foi representado considerando as duas tecnologias.

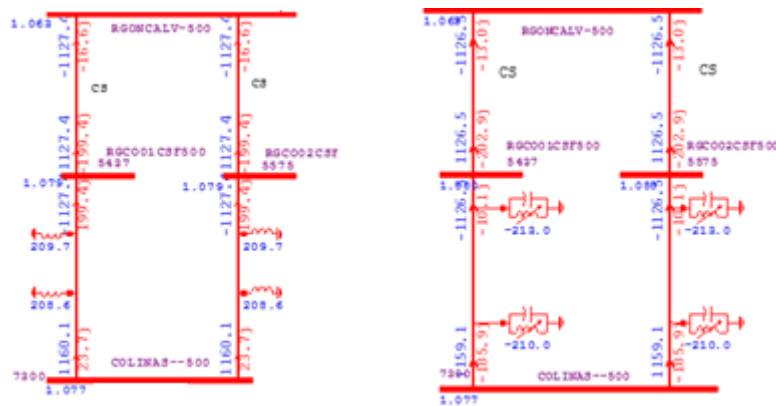


FIGURA 2 – Substituição de RL por RSN

Na Figura 3 é apresentado o comportamento dinâmico da tensão no barramento de 500 kV da subestação S. J. do Piauí com RL (curva vermelha) e RSN (curva azul) quando da perda dos dois circuitos Sobradinho – S. J. Piauí 500 kV. Observa-se que, com a presença dos RL, há um afundamento de tensão para cerca de 0,85 pu na ocorrência dessas contingências e a tensão de regime permanente é da ordem de 0,91 pu. Com a aplicação de RSN, a tensão do barramento de 500 kV apresenta apenas uma pequena variação, ficando em torno de 1,03 pu no novo regime permanente.

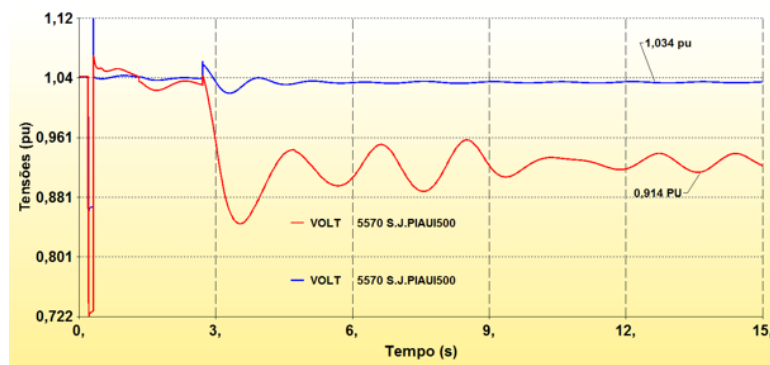


FIGURA 3 – Perda de dois circuitos Sobradinho – S. J. do Piauí 500 kV

Na Figura 4 é apresentado o comportamento dinâmico da tensão no barramento de 500 kV da subestação S. J. do Piauí com RL (curva vermelha) e RSN (curva azul) quando da perda dos dois circuitos Colinas – S. J. Piauí 500 kV e um circuito Boa Esperança – S. J. Piauí 500 kV. Observa-se que, com a presença dos RL, há um colapso de

tensão na região, que provocará a atuação de proteções de perda de sincronismo e abertura de interligações com a região nordeste. Por outro lado, com a aplicação de RSN, a tensão do barramento de 500 kV de S. J. do Piauí apresenta uma variação significativa, mas a integridade das interligações com o Nordeste será preservada.

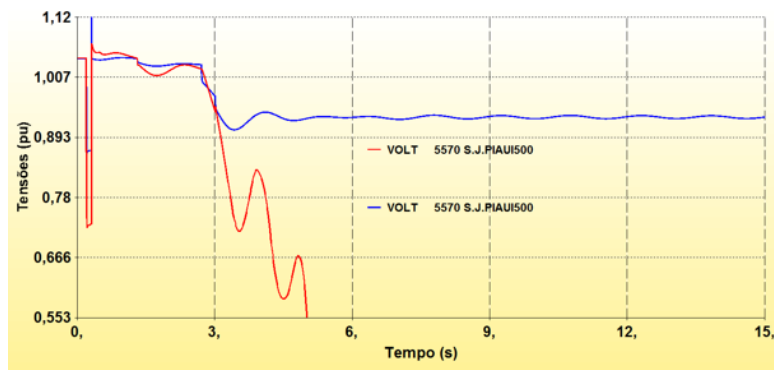


FIGURA 4 – Perda de dois circuitos Colinas – S. J. Piauí e um circuito Boa Esperança – S. J. do Piauí 500 kV

O objetivo da análise de estabilidade estática de tensão é determinar a margem de segurança estática, definida como o montante de geração adicional possível de ser integrado em uma determinada barra, subárea ou área de um sistema elétrico, considerando a rede íntegra e contingências. Nessa análise foi considerada a atuação de proteção baseada em fibra ótica para chaveamento de reatores lineares na interligação Sudeste Nordeste.

Com essa finalidade, busca-se obter o maior despacho incremental no barramento de 230 kV da SE Sobradinho na condição de despacho nominal das eólicas já outorgadas para conexão nessa SE (cerca de 428 MW) e listadas a seguir:

- Energisa (120 MW);
- Casa Nova II e III (61,1 MW);
- Sento Sé I e II (247 MW).

A margem de escoamento de potência eólica adicional no ano 2018 no barramento de 230 kV da subestação Sobradinho, representada na região de segurança estática ilustrada na Figura 5, é igual a 360 MW. A condição definidora da margem de escoamento na SE Sobradinho é a contingência de um dos seus três autotransformadores. Para injeções superiores a 360 MW haverá sobrecarga nas unidades 500/230 kV – 300 MVA remanescentes na ocorrência dessa contingência.

O gerador G1 representa uma geração adicional de até 360 MW no barramento 230 kV de Sobradinho, enquanto que o gerador G2 representa, nessa análise, uma potência de até 150 MW associada a uma configuração futura da CGE Energisa.

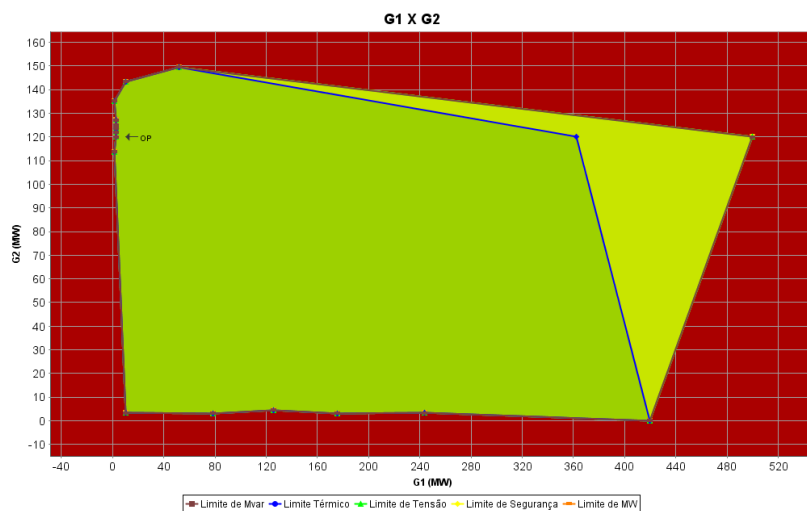


FIGURA 5 – Margem de escoamento no barramento 230 kV da SE Sobradinho

O nomograma apresentado na Figura 5 destaca a legenda e a nomenclatura das curvas caracterizando a violação das grandezas elétricas monitoradas durante a solução automática da avaliação de região de segurança estática, bem como a variação de cor das regiões delimitadas por cada curva. As restrições observadas nesse estudo estão destacadas abaixo:

- **Região Verde:** representa região segura de operação, ou seja, tanto a solução do fluxo de potência para o caso base de cada cenário de transferência de geração, quanto a solução do fluxo de potência de cada contingência não violou nenhuma das grandezas monitoradas.
- **Linha azul (Limite Térmico):** esta curva destaca os pontos a partir dos quais, há violação do limite de carregamento na rede básica. Esta violação pode ocorrer na solução do fluxo de potência para o caso base de transferência de geração ou para contingência.
- **Região Amarela:** região de operação que representa violação de limite de carregamento dos autotransformadores remanescentes 500/230 kV de Sobradinho durante contingência de um dos autotransformadores.

Nas Figura 6 e 7 são apresentados os fluxos de potência representativos da margem de escoamento de potência no barramento de 230 kV de Sobradinho no ano 2018 (360 MW), cuja contingência balizadora foi a perda de um autotransformador 500/230/13,8 kV - 300 MVA, na SE Sobradinho.

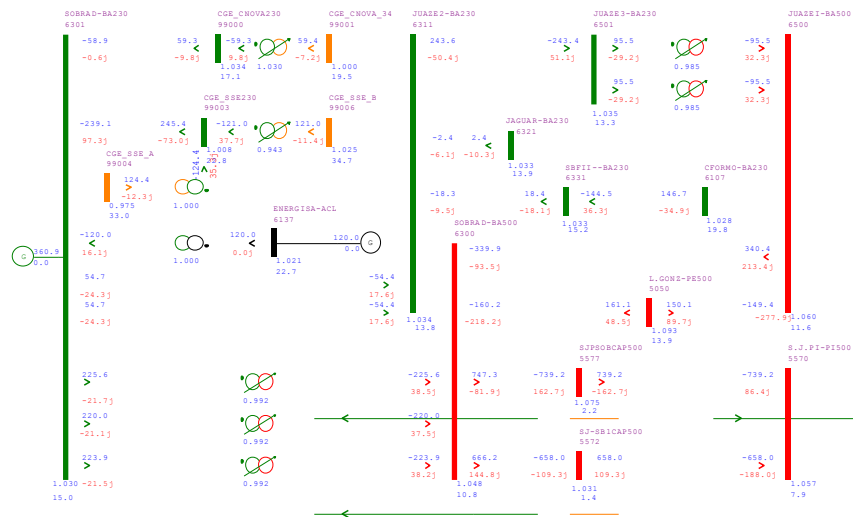


FIGURA 6 – Margem de escoamento no barramento 230 kV da SE Sobradinho, sistema íntegro.

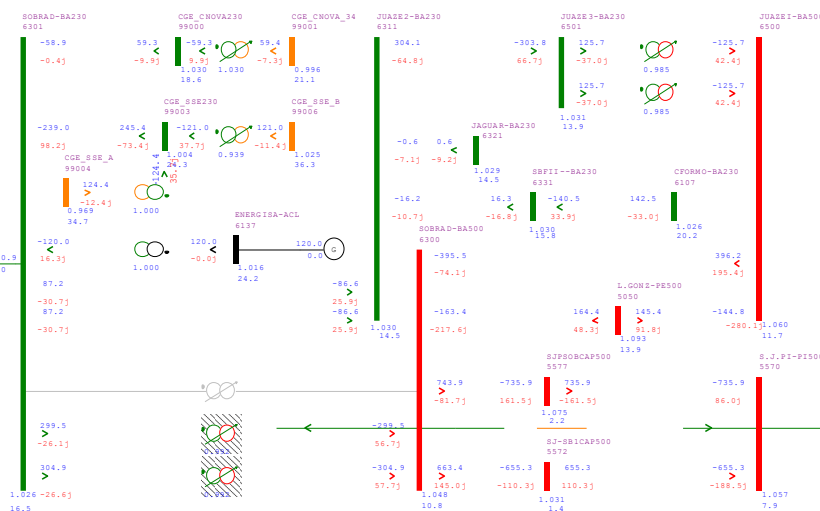


FIGURA 7 – Margem de escoamento no barramento 230 kV da SE Sobradinho, contingência de um dos autotransformadores 500/230/13,8 kV – 300 MVA.

6.0 - CONCLUSÃO

Conclui-se que existirá possibilidade de agregar geração nos barramentos na rede básica do estado da Bahia, considerando a configuração de geração e transmissão estudada [1], uma vez que não mais ocorrerá restrição no escoamento da geração nos empreendimentos da região no horizonte do PAR 2018/2020, incluindo aqueles do ACL que possuem outorgas da ANEEL. Essa constatação tem como causa principal evitar o afundamento de tensão nas interligações com a região Nordeste em situação de contingência de linhas de transmissão da rede elétrica.

Os estudos realizados nesse trabalho indicam que a aplicação de reatores de saturação natural em substituição de reatores lineares nas interligações com a região Nordeste evitaria um afundamento em situação de contingência.

Adotando-se proteção baseada em fibra ótica para chaveamento dos reatores lineares foi obtida uma margem de escoamento de potência eólica adicional no ano 2018 no barramento de 230 kV da subestação Sobradinho de 360 MW. A proteção de linhas de transmissão no domínio do tempo utiliza ondas viajantes e grandezas incrementais para realizar o trip mais rapidamente: no intervalo de 1 a 4 milissegundos. Trata-se de uma redução de 16 vezes no tempo em que um relé tradicional leva para atuar.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] NT 121/2016-r0, 2º LER/2016: QUANTITATIVOS DA CAPACIDADE REMANESCENTE DO SIN PARA ESCOAMENTO DE GERAÇÃO PELA REDE BÁSICA, DIT E ICG NOS, 03 de outubro de 2016.

[2] M.J.A. MAIA, XVII ERIAC, APLICAÇÃO DE REATOR COM SATURAÇÃO NATURAL (RSN) EM SISTEMAS DE ALTA E EXTRA-ALTA-TENSÃO: ESTADO DA ARTE E PERSPECTIVAS DE UTILIZAÇÃO NO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO, maio de 2017.

[3] Seminário Técnico da SEL (SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES), 17 de agosto de 2016.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (1978). Engenheiro da Companhia Hidroelétrica do São Francisco – CHESF atuando na área de Planejamento da Expansão de Redes Elétricas (1978). Chefe da Divisão de Estudos e Planejamento de Expansão de Transmissão - DEPT/DES/SPE/DE/CHESF. Assessor do Departamento de Estudos do Sistema de Transmissão – DES/SPE/DE/CHESF. Pós-Graduação em Sistema de Controle de Redes Elétricas pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (1985). Curso de Especialização em Técnicas de Estabilidade de Tensão pelo PTI (2003); MBA em Finanças Empresariais pela Fundação Getúlio Vargas - FGV (2004). Curso de Especialização de Engenharia e Segurança do Trabalho CEEST pela Universidade de Pernambuco - UPE (2005). Convidado para assessorar o Ministério das Minas e Energia no Projeto PROINFA – MME (2006). Desenvolvimento de projetos elétricos para habilitação técnica de usinas eólicas para Leilão de Reserva - LER promovidos pela ANEEL. Desenvolvimento de estudos de Análise de Risco de empreendimentos eólicos considerando a incerteza na produção de energia de longo prazo. Desenvolvimento de estudos para Solicitação de Parecer de Acesso de projetos eólicos e centrais termelétricas junto ao ONS