



XXIII SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

FI/GAT/30
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO - IV

GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA (GAT)

IMPORTÂNCIA DA VALIDAÇÃO DOS MODELOS DOS SISTEMAS DE EXCITAÇÃO COM ENSAIOS DE CAMPO PARA ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMECAÑICOS

Cristiano Bühler (*)
REIVAX

Rafael Bertolini de Paiva
REIVAX

Paulo Marcos P. Paiva
REIVAX

João Marcos Soares
REIVAX

Lucas Manso da Silva
REIVAX

RESUMO

Quando as máquinas síncronas necessitam ser simuladas em estudos de estabilidade transitória, é essencial que os sistemas de excitação sejam corretamente modelados, com suficiente detalhamento.

A validação dos modelos através de ensaios de campo é recomendada, visando uma modelagem adequada, já que existem problemas associados à representação do sistema real por um modelo matemático. Alguns dos problemas são a saturação da máquina desconsiderada ou incorreta, conversor de potência incorreto, limitadores e chaveamentos desconsiderados.

Nesse Informe Técnico serão apresentados casos reais de modelagem do sistema de excitação, discutindo formas recomendadas e alertando para modelagens incorretas, ou demasiadamente simplificadas.

PALAVRAS-CHAVE

Sistemas de Excitação, Máquinas Síncronas, Estudos de Estabilidade, Modelagem, Sistema Elétrico de Potência

1.0 - INTRODUÇÃO

São citados na literatura diferentes ensaios de campo visando à identificação e modelagem dos parâmetros dos componentes da rede elétrica. O foco deste trabalho é a modelagem do sistema de excitação da máquina síncrona.

O modelo do sistema de excitação para estudos de estabilidade transitória deve contemplar a malha principal do regulador de tensão (circuito de estabilização), limitadores dinâmicos, estabilizador de sistemas de potência (ESP), conversor de potência (excitatriz), transdutores, compensador de carga e proteções.

A modelagem dos componentes do Sistema de Excitação é realizada frequentemente a partir da resposta ao degrau. São verificadas as respostas da malha de controle em vazio e em carga, sem atuação dos limitadores, e na sequência, com cada um dos limitadores atuando separadamente. Os limites operativos de potência ativa e reativa são verificados durante esses ensaios, e podem ser complementados operando por toda a curva de capacidade do gerador.

(*) Rod. José Carlos Daux, 600 – Tecnópolis - CEP 88030-904 Florianópolis, SC – Brasil
Tel: (+55 48) 3027-3784 – Fax: (+55 48) 3027-3735 – Email: cb@reivax.com.br

A identificação do ESP também é avaliada com a aplicação de degraus na referência do regulador de tensão, verificando a correta atuação do mesmo, e observando controles descontínuos que existam (chaveamentos por nível de potência e tensão, lógicas de bloqueio e reconexão, etc). O ensaio de resposta em frequência também é aplicado em muitos casos, sendo injetado sinal com frequência ajustável na referência do regulador, e observadas as variáveis de saída do gerador síncrono. Todos os ensaios no ESP devem ser corroborados à luz de estudos de estabilidade, já que as respostas obtidas em uma máquina poderão não refletir modos pouco observáveis naquela unidade. Isto é especialmente importante na parte não-linear do ESP, haja vista que para ser avaliada, implica na operação da máquina bastante fora de suas condições nominais.

Apesar de vários componentes e sub-controladores estarem presentes em um sistema de excitação, sua representação em estudos de estabilidade deve ser fiel ao sistema físico, com suficiente detalhamento, mas com certo grau de simplificação, pois a ideia é dispor-se de um modelo simples e fiel, não havendo necessidade de representar variáveis em unidades físicas, como nos modelos utilizados para simulação comparativa. Em alguns casos, os modelos construídos não se enquadram diretamente nos propostos pelo IEEE (1), o que não se define como dificuldade nos atuais programas para estudos de estabilidade, haja vista a possibilidade de representar modelos definidos pelo usuário.

Os modelos adotados pelas várias empresas do setor elétrico brasileiro não têm, tradicionalmente, se enquadrado nos padrões do IEEE, até porque tem havido um esforço de representar outros dispositivos, como os limitadores dinâmicos, os quais há poucos anos atrás não eram normalmente representados (2). Um exemplo de controlador não padronizado pelo IEEE, instalado em uma central hidroelétrica na Colômbia, foi identificado pela REIVAX. Tal controlador, de origem russa, utiliza um ESP com realimentação da corrente de campo, o que não é comum nas topologias mais conhecidas (3).

2.0 - MODELAGEM INADEQUADA DA SATURAÇÃO MAGNÉTICA DAS MÁQUINAS SÍNCRONAS

Nos estudos de fluxo de potência e estabilidade transitória, devem ser obedecidos os limites operacionais das unidades geradoras, conforme suas curvas de capacidade. Os limitadores dinâmicos dos reguladores automáticos de tensão (RAT) precisam estar ajustados conforme tais diagramas, garantindo operação segura da unidade tanto em regime permanente como durante transitórios. Ajustes acima da curva de capacidade, são admitidos durante tempos pré-determinados, pois poderão permitir aquecimento demasiado da máquina, dentre outros problemas. Ajustes abaixo da curva causarão restrições desnecessárias.

Dentre os vários limitadores do RAT que garantem a operação segura da máquina síncrona, serão destacados nesse capítulo aqueles que estão associados à corrente de excitação.

Os limitadores de corrente de campo do RAT devem ser representados adequadamente, nos pontos segundo o diagrama de capacidade. Tipicamente os RAT utilizam três limitadores de corrente de campo:

- Limite térmico do rotor: Trata-se da máxima corrente no campo suportada pela máquina, em regime permanente. Deve ser ajustado no valor nominal de corrente segundo a placa do gerador. Tal limitador possui ação rápida porém com setpoint temporizado, propiciando violações transitórias da corrente de campo em condições seguras para a máquina;
- Limite máximo do rotor: Representa a máxima sobrecorrente temporária suportada de forma segura pelo enrolamento de campo da máquina. Tipicamente é ajustado entre 120% e 200% da corrente nominal de placa do gerador. Esse limitador tem ação instantânea, sendo que o RAT “segura” essa corrente por um determinado tempo, tipicamente entre 10s até 30s, até que o limitador térmico do rotor opere;
- Limite mínimo do rotor: Equivale à mínima corrente de excitação suportada pelo gerador. Atua na região de absorção de reativos (subexcitação) da curva de capacidade do gerador síncrono. Possui ação instantânea e é ajustado por volta de 50% da corrente de campo em vazio da máquina síncrona.

Os ajustes aplicados nos referidos limitadores, os quais restringirão a operação da máquina síncrona a níveis seguros, sofrem influência da saturação da máquina síncrona. Portanto, o modelo matemático do sistema de excitação deve estar adequado também nesse quesito.

A saturação magnética afeta as indutâncias de eixo direto e quadratura de um gerador síncrono. A representação da saturação, nos programas de simulação de transitórios eletromecânicos, pode ser realizada de diversas maneiras, por diferentes funções matemáticas. No programa ANATEM (4) é utilizada uma expressão contendo uma função do tipo exponencial para representar a saturação através dos parâmetros conhecidos como A_g e B_g . Vide Eq. (1).

$$y = A_g e^{B_g(x-C)} \quad (1)$$

Após o levantamento da curva de saturação através de ensaio, ou disponibilizada pelo fabricante, podem ser calculados os parâmetros que representarão a saturação magnética em estudos de estabilidade. Por algum erro operacional, os parâmetros A_g e B_g poderão tomar valores fora da realidade, causando funcionamento incorreto dos limitadores dinâmicos durante os estudos.

A Figura 1 apresenta curvas de saturação magnética utilizadas aparentemente de forma incorreta, retirados do Banco de Dados para Estudos Eletromecânicos do ONS (5). Tal gráfico evidencia que o ajuste inadequado dos parâmetros A_g e B_g poderá conduzir a resultados incorretos. Está sendo utilizado o parâmetro EI (tensão proporcional à corrente de campo).

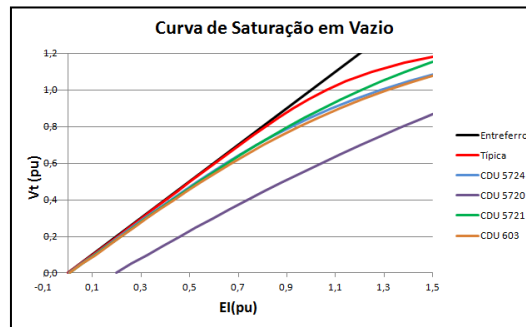


FIGURA 1 – Curva de saturação do gerador

Tais parâmetros possuem efeito direto nos ajustes das referências dos limitadores de corrente de campo. Para demonstrar o impacto do ajuste inadequado dos parâmetros A_g e B_g , a Figura 2 apresenta a curva de capacidade de uma máquina síncrona de 100 MVA com parâmetros típicos ($A_g=0,01$; $B_g=9,0$; $C=0,8$; conforme mostrado na Figura 1), mostrados em vermelho, e curvas geradas considerando A_g e B_g incorretos, mostradas em azul.

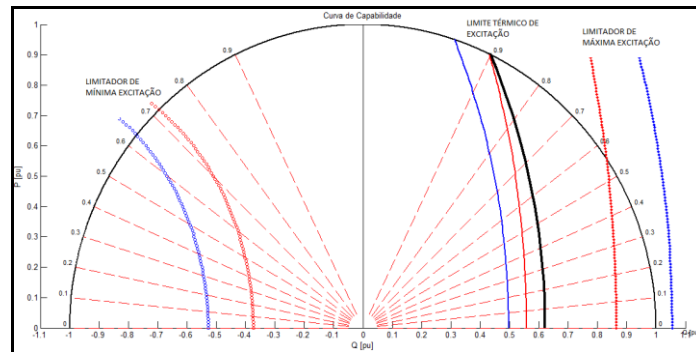


FIGURA 2 – Representação da referência dos limitadores na saturação correta (vermelho) e incorreta (Azul)

Da Figura 2, é evidente que os estudos de estabilidade poderão fornecer resultados incorretos caso os parâmetros referentes à saturação magnética não estejam adequadamente ajustados.

3.0 - MODELAGEM DO CONVERSOR ESTÁTICO DE POTÊNCIA

A parte de potência de um sistema de excitação é normalmente chamada de excitatriz, a qual pode ser rotativa, estática ou mista. Em muitos casos onde a excitatriz é estática, baseada em pontes de tiristores, a excitatriz é chamada de conversor de potência. Em modelos onde tal parte é demasiadamente simplificada, negligenciada ou representada por uma topologia diferente da real (*brushless* ao invés de estática, por exemplo), poderão surgir resultados errôneos a partir dos modelos construídos, desde aspectos dinâmicos até aspectos estáticos.

É comum encontrar topologias diferentes para representação do sistema de excitação *bus-fed*. São utilizados modelos bastante simples, como o mostrado na Figura 3, e também modelos mais completos, como os mostrados nas Figura 4 e 5.

O modelo da Figura 5 representa um conversor baseado em polarização cossenoidal (8), que tem a vantagem de linearizar a relação entre tensão retificada e de controle, e ainda propiciar que a tensão retificada seja sensível à tensão de alimentação, dentro dos limites do ângulo de retardo de condução.



FIGURA 3 – Modelo 1: Modelo incompleto do conversor de potência baseado em tiristores

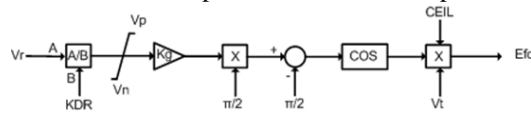


FIGURA 4 – Modelo 2: Modelo do conversor de potência baseado em tiristores sem polarização cossenoidal

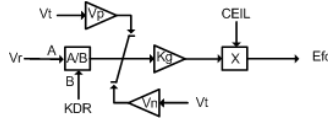


FIGURA 5 – Modelo 3: Modelo do conversor de potência baseado em tiristores com polarização cossenoidal

Os sistemas de excitação tipo *bus-fed* possuem vantagens de operação em relação a outras formas por depender somente do próprio gerador para sua excitação (9). No entanto, no caso de um curto-circuito na barra de alta do gerador, a tensão que alimenta as pontes de tiristores será fortemente reduzida, obrigando os circuitos de disparo a reduzirem o ângulo de retardo de condução dos tiristores, de forma a aumentar a tensão e a corrente aplicadas ao campo do gerador. É de fundamental importância a representação desse efeito em modelos para estudos de estabilidade.

A representação inadequada poderá trazer resultados insatisfatórios no caso da simulação de um curto-circuito trifásico (CC3F), com duração de 0,2s, nos terminais da máquina. A Figura 6 apresenta a resposta dinâmica da máquina e do RAT, considerando o modelo do conversor conforme Figura 3.

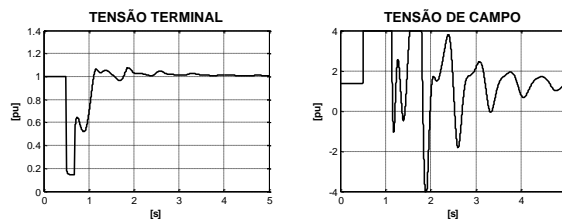


FIGURA 6 - Resposta dinâmica do sistema a um CC3F com modelo incompleto

A Figura 7 apresenta a resposta da máquina e do RAT após a simulação do CC3F, considerando os Modelos 2 e 3, conforme representado nas Figuras 4 e 5.

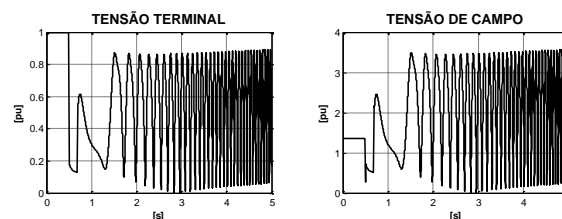


FIGURA 7 - Resposta dinâmica do sistema a um CC3F com modelo completo

Percebe-se que o modelo simplificado resulta em operação estável após a eliminação do curto-circuito, mas o modelo completo (com ou sem a polarização cossenoidal), resulta em operação oscilatória (instável) após a eliminação do curto.

3.1 Questão da Tensão de Teto

Segundo (6), a tensão de teto (*ceiling voltage*) do sistema de excitação é determinada pelo valor retificado máximo que alimenta o campo do gerador. Em sistemas estáticos onde o transformador de excitação é conectado na saída do próprio gerador (*bus-fed*), a tensão de teto é calculada em função da máxima tensão nominal retificada, que depende da tensão no secundário do transformador de excitação. Para a tensão de teto em por unidade, basta dividir o valor citado pela tensão de excitação em vazio da máquina síncrona (segundo a linha do entreferro).

Visando ilustrar o efeito da modelagem insuficiente ou incorreta do conversor de potência para estudos de estabilidade transitória, considerou-se um curto-circuito trifásico (CC3F) na barra de alta do gerador, aplicado durante 0,2s, considerando o Modelo 3, mostrado na Figura 5, com diferentes valores de tensão de teto.

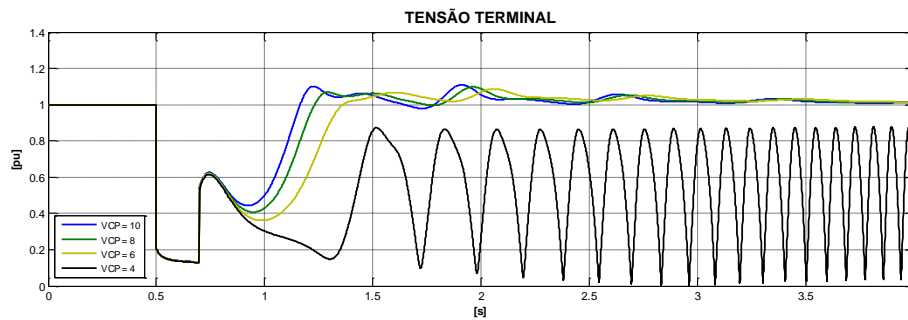


FIGURA 8 - Resposta dinâmica do sistema a um CC3F com diferentes valores de tensão de teto

Da Figura 8, sabendo-se que a tensão de teto correta equivale a 4pu, é perceptível a alteração da dinâmica do sistema de excitação quando o ajuste da tensão de teto não é adequadamente ajustada.

Ensaio de campo devem ser executados para verificar o modelo e os parâmetros corretos do conversor. Na prática, em simulações do conversor de potência, um ganho na saída do RAT, representado por K_g nas Figuras 4 e 5, poderá aparecer. Percebe-se que esse ganho não é um parâmetro do RAT, tampouco do conversor de potência, porém ele aparece nas situações onde o ajuste da tensão de teto do RAT difere da tensão de teto real do conversor.

O aparecimento do citado ganho no modelo do conversor de potência poderá causar mudanças nas respostas dinâmicas da malha de controle do RAT. Tal fato levará ao efeito prático de que os ajustes do modelo não serão os mesmos aos ajustados em campo.

4.0 - IMPORTÂNCIA DA MODELAGEM COMPLETA DOS ESTABILIZADORES

A modelagem da parte linear do Estabilizador de Sistemas de Potência pode ser realizada a partir da injeção de sinais numa faixa de frequências de 0,1Hz até 3Hz. A partir das respostas obtidas, podem ser construídos Diagramas de Bode para a faixa de frequência na qual o estabilizador está operando adequadamente, para amortecer oscilações eletromecânicas, de maneira a avaliar o alinhamento de fase do mesmo e os ganhos obtidos, principalmente nas frequências de maior interesse.

Simulações do modelo construído para comparações com as curvas de campo registradas podem também ser realizadas, para cada uma das frequências injetadas. Exemplo disso está mostrado na Figura 9, com as curvas de campo mostradas em vermelho e as simuladas em azul (3).

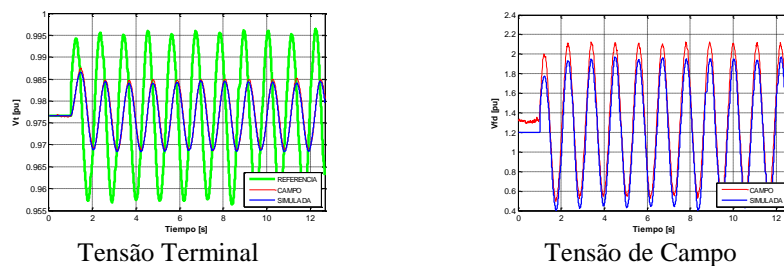


FIGURA 9 - Identificação do estabilizador por injeção de frequência

A aplicação de degraus na referência de tensão terminal estimula alguns modos associados àquele gerador (modos intra-planta, principalmente, e local). A avaliação e identificação do estabilizador costuma utilizar esse tipo de ensaio. Todavia, os estabilizadores possuem lógicas não-lineares, que frequentemente não são modelados, e são apresentadas e comentadas a seguir.

4.1 Lógicas de bloqueio e reconexão

O esquema de bloqueio e reconexão evita, a partir de condições lógicas, atuações indesejáveis do ESP, tais como reforços a sobretensões devidas a variações bruscas de potência elétrica ou frequência (10), (11) e (12). A avaliação dos ajustes do esquema de bloqueio e reconexão só é possível através de simulações.

Uma simulação comparativa da atuação da lógica de bloqueio e reconexão, em relação ao ESP sem tal lógica modelada, é apresentado na Figura 10. Na simulação, foi aplicada uma perturbação de 5% no sinal de frequência da entrada do modelo do ESP (tipo 2B, segundo (1)). A lógica de bloqueio utilizada na simulação utiliza como variáveis de entrada o sinal da tensão terminal e o sinal de saída do ESP. Outros fabricantes utilizam a frequência absoluta ou derivadas de frequência.

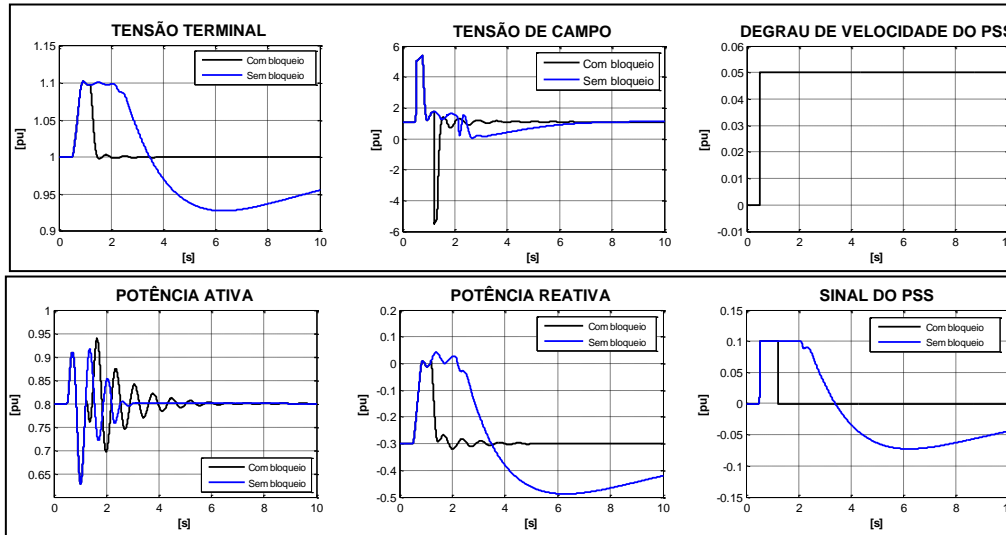


FIGURA 10 - Simulações da lógica de bloqueio e reconexão do ESP

Considerando a lógica de bloqueio (sinais em preto), percebe-se um comportamento mais suave das variáveis da máquina, em relação ao comportamento onde não é considerado o bloqueio do ESP (sinais em azul).

4.2 Comutações do ganho de saída do ESP

Alguns projetos de estabilizador atualmente comercializados são providos de lógicas para comutação do ganho de saída do ESP sob certa condição operativa da máquina síncrona.

A comutação do ganho pode ser interessante em situações onde o gerador opera como compensador síncrono ou com baixa carga, ou ainda, quando a turbina está operando na zona de cavitação. Nessas condições, normalmente a variável utilizada para efetivar o chaveamento do ganho é a potência elétrica.

A Figura 11 apresenta a resposta a um degrau de 20% na potência mecânica da máquina, visando analisar a comutação de ganho do ESP por potência ativa. As curvas considerando o chaveamento de ganho foram plotadas em preto e desconsiderando o chaveamento de ganho foram plotadas em azul.

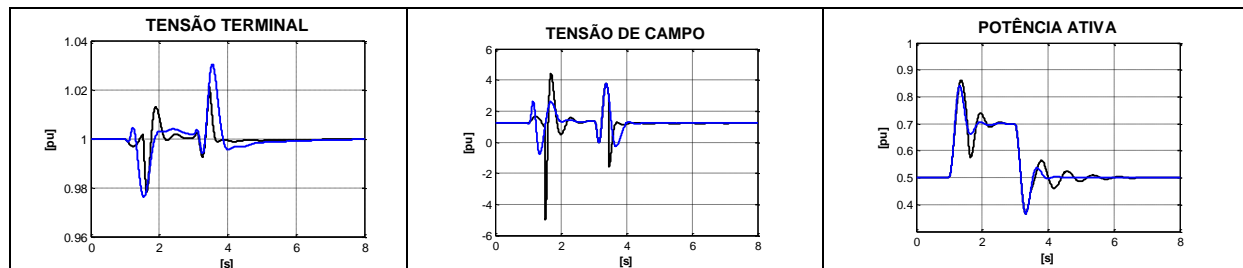


FIGURA 11 - Simulações da lógica de comutação de ganho: Com chaveamento de ganho (preto) e sem chaveamento (azul)

Outra situação de chaveamento de ganho do ESP é na região de subexcitação. Nesse caso, a variável utilizada é o sinal da potência reativa, evitando a descoordenação entre o relé 40 (perda de excitação), o limitador de

subexcitação e o ESP (13). Nessa condição de descoordenação, o ESP atua em sentido contrário à saída do limitador de subexcitação.

A Figura 12 apresenta resposta ao degrau de -5% aplicado na referência de tensão, visando analisar a comutação de ganho do ESP por potência reativa. As curvas considerando o chaveamento de ganho foram plotadas em preto, e desconsiderando o chaveamento de ganho, foram plotadas em azul.

Uma alternativa para evitar ganhos menores do ESP na região de subexcitação é o uso da lógica do reset não linear que será analisado a seguir.

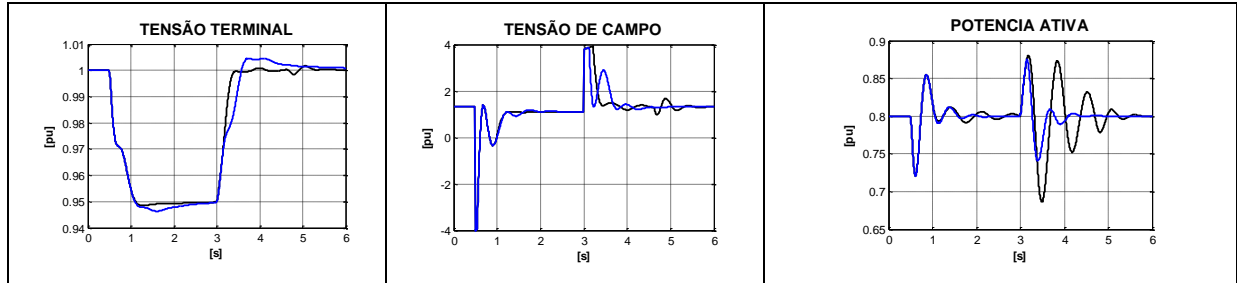


FIGURA 12 - Simulações da lógica de comutação de ganho: Com chaveamento de ganho (preto) e sem chaveamento (azul)

4.3 Comutação do wash-out (reset não-linear)

A constante de tempo do *reset* (filtro de *wash-out*) pode ser transitoriamente reduzida em condições de subtensão (ou sobretensão) acompanhada de uma saída excessivamente negativa (ou positiva) por um tempo pré-definido. Esta característica é particularmente importante em transitórios nos quais a máquina pode atingir a região de atuação do relé 40 (13). É uma alternativa ao chaveamento do ganho por potência reativa e também pode evitar bloqueios desnecessários do ESP.

A Figura 13 ilustra a atuação do reset não-linear comparado com um ESP sem o reset não-linear. A perturbação aplicada foi um pulso de 2% de amplitude e 1s de duração na referência de frequência do ESP.

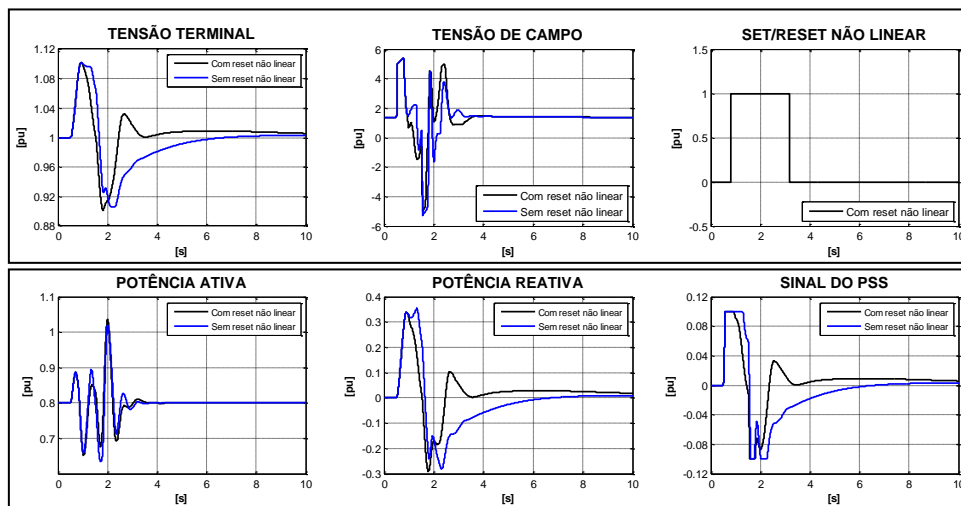


FIGURA 13 - Reset não-linear

5.0 - CONCLUSÕES

Foram abordados temas relevantes à modelagem do sistema de excitação e os impactos que a modelagem inadequada pode trazer para os estudos de estabilidade. Conclui-se que:

- O problema da representação da saturação nos modelos de máquinas síncronas impactam diretamente no desempenho dos limitadores de corrente de excitação do RAT. Ficou evidenciado que ajustes inadequados podem conduzir a resultados incorretos desses limitadores;

- É necessária a correta representação dos conversores de potência, considerando o sistema bus-fed ou outro;
- Deve-se modelar de maneira adequada a tensão de teto do RAT;
- A avaliação dos ajustes do esquema de bloqueio e reconexão dos ESP é possível, na maioria dos casos, somente através de simulações. Caso não esteja modelado tal esquema, se torna difícil analisar os critérios de ajustes dessas lógicas. Como é muito comum a não representação de tais não-linearidades, resultados diferentes do sistema real serão obtidos pelo modelo simulado;
- Sugere-se uma revisão da base de dados do ONS, para confirmação da coerência dos modelos dos componentes do sistema elétrico. Recomendam-se ensaios em campo para validação dos citados modelos;
- Por fim, sugere-se inclusão nos Procedimentos de Rede do ONS de maiores orientações quanto aos ensaios para validação de modelos dos controladores, incluindo índices de avaliação (erro entre curva de campo e curva simulada).

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) IEEE Std 421.5-2005. IEEE Recommended Practice for Excitation System Models For Power System Stability Studies, 2006. EUA.
- (2) ZENI, N. Ensaios e Modelos da UTE William Arjona – F02009. Maio 2002. Brasil.
- (3) REIVAX S/A. Relatório para Determinação dos Parâmetros das Máquinas e Controladores da Central Urrá - Colômbia, 2014. Brasil.
- (4) PROGRAMA ANATEM – Análise de Transitórios Eletromecânicos - Manual do Usuário, V10.05.03. Fevereiro 2015. Brasil.
- (5) ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, Base de Dados para Estudos de Estabilidade Eletromecânica. www.ons.org.br, Fevereiro 2015. Brasil.
- (6) IEEE Std 421.1-2007. IEEE Standard Definitions for Excitation Systems for Synchronous Machines, 2007. EUA.
- (7) REIVAX S/A. Relatório para Determinação dos Parâmetros das Máquinas e Controladores da Central Chivor - Colômbia, 2012. Brasil.
- (8) PELLY, P. R., Thyristor Phase Controlled Converters and Cyclo-Converters: Operation, Control and Performance. 1a Ed. John Wiley and Sons, New York, 1971. EUA.
- (9) KIMBARK, E.W. Power System Stability: Synchronous Machines. Dover Publications, Inc. New York, 1956. EUA.
- (10) DE MELLO, F.P.; LEUZINGER, L.M.; MILLS, R.J., Load Rejection Overvoltages as Affected by Excitation System Control, IEEE PES Summer Meeting, Anaheim, California, Julho de 1974. EUA.
- (11) ZENI Jr., N., WERBERICH, L.C., DA LUZ, L.T.O., Metodologia para Ajuste de Campo de Estabilizadores de Sistema de Potência e Definição de Critérios para o Ajuste de Níveis de Bloqueio e Reconexão, RBE Vol 9, no 2, 1993. Brasil.
- (12) SOARES J.M.& ZENI Jr., N., Power System Stabilizer for Hydrogenerators: Analysis, Comparison and Field Implementation, Symposium on Planning and Operation of Electric Energy Systems, Rio de Janeiro, Julho de 1985. Brasil.
- (13) SOARES, J. M. et alii, Operational Aspects of the Actuation of Power System Stabilizers: Coordination with Protection and Other Controllers, V SEPOPE, Recife, 1996. Brasil.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Autor de contato:



Nome: Cristiano Bühler

Local/Ano nascimento: Passo Fundo/RS, 1983

Formação: Engenharia Elétrica (UFSC, 2006), Mestrado em Engenharia Elétrica (UFSC, em andamento)

Experiência profissional: Atua desde 2007 na Reivax S/A como engenheiro, tendo atuado em diferentes funções: engenheiro de campo (testes e comissionamento), estudos especiais (modelagem de unidades geradoras e controladores), supervisão da equipe de testes e comissionamento, engenheiro de projetos, coordenador de capacitação técnica.

Autor 2:

Nome: Rafael Bertolini de Paiva

Local/Ano nascimento: Florianópolis/SC, 1982.

Formação: Graduação em Engenharia Elétrica (UFSC, 2009), Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (UNIFEI, 2014)

Experiência profissional: Atua desde 2009 na Reivax S/A como engenheiro, tendo atuado em diferentes funções: engenheiro de campo (testes e comissionamento de sistemas de proteção e regulação), estudos especiais (modelagem de unidades geradoras e controladores), estudos de transitórios eletromecânicos, seletividade e curto-circuito.

Autor 3:

Nome: Paulo Marcos Pinheiro de Paiva

Local/Ano nascimento: Sabará/MG, 1949.

Formação: Graduação em Engenharia Elétrica (UFMG, 1973)

Experiência profissional: Atualmente é Diretor de Negócios da Reivax. Autor ou coautor de dezenas de artigos na área profissional publicados em seminários, revistas, etc.

Autor 4:

Nome: João Marcos Castro Soares

Local/Ano nascimento: Rosário do Sul/RS, 1954.

Formação: Engenharia Elétrica (UFSC, 1976), Mestrado em Engenharia Elétrica (UFSC, 1982)

Experiência profissional: Fundou a Reivax em 1987, onde desempenhou diversas atividades, como desenvolvimento e ensaios de controladores de geração, implantação do sistema da qualidade e de diversos processos. Atualmente é diretor de P&D da Reivax. Autor ou coautor de dezenas de artigos na área profissional publicados em seminários, revistas, etc.

Autor 5:

Nome: Lucas Manso da Silva

Local/Ano nascimento: São Paulo/SP, 1987.

Formação: Graduação em Engenharia Elétrica (UFSC, 2012)

Experiência profissional: Atua desde 2012 na Reivax S/A como engenheiro, tendo atuado em diferentes funções: engenheiro de campo (testes e comissionamento), estudos especiais (modelagem de unidades geradoras e controladores), estudos de transitórios eletromecânicos.