



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

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO - 4

GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA - GAT.

**CONSIDERAÇÕES PRÁTICAS SOBRE PROTEÇÕES E CONTROLADORES DE UNIDADES GERADORAS
DIANTE DE GRANDES DISTÚRBIOS**

**Adinã Martins Pena
Ailton R Campos
Clovis Edson Alves**

**CEMIG GT
Belo Horizonte / MG**

**Fabio Jose Noronha
Jeder F de Oliveira
Weber M de Souza**

**CEMIG GT
Belo Horizonte / MG**

João Antunes de Souza

**COPi Controle de
Processos
Belo Horizonte / MG**

**Paulo Marcos Paiva
Rafael B Paiva
Claudio D de Oliveira**

**REIVAX S/A
Florianópolis / SC**

RESUMO

O desempenho satisfatório do sistema elétrico de geração e transmissão da CEMIG, durante a grande perturbação de novembro de 2009, reforça e incentiva a continuidade dos trabalhos realizados nos últimos anos focando a coordenação entre a proteção e o controle das unidades geradoras. A partir das análises e constatações são mostradas as medidas tomadas para evitar desligamentos desnecessários, causados por falta de uma coordenação de forma mais efetiva.

PALAVRAS-CHAVE

Grandes distúrbios no SIN, coordenação, proteção, controladores, segurança operativa.

1.0 - INTRODUÇÃO

Contingências no Sistema Elétrico Nacional, que demandam perdas de grandes blocos de cargas e/ou geração, trazem consigo uma série de fenômenos, entre eles oscilações consideráveis de frequência e tensão, onde as ações dos controles ligados às unidades geradoras, nesse momento, procuram restabelecer o equilíbrio novamente. Nesse contexto a descoordenação entre as proteções elétricas e sistemas de controle destas máquinas, principalmente nas regiões limites de sobre e subexcitação, ocasiona desligamentos indevidos de máquinas e sistemas, criando um efeito dominó, que pode levar a degradação de grandes proporções na topologia do sistema. No princípio da década passada o parque CEMIG, assim como todo o SIN, foi submetido a vários blecautes, conforme alguns exemplos listados na Tabela 1.

Tabela 1 – Descoordenação entre controle e proteção

Data	Usina	Desligamento	Causa
21/09/1993	São Simão	02 Geradores	Sobreexcitação
27/08/1995	Nova Ponte	01 gerador	Subexcitação
26/03/1996	São Simão	03 geradores	Subexcitação
10/11/2009	Irapé	Perda 03 geradores	Comutação rede isolada
	Capim Branco I	Perda de carga	Comutação rede isolada
	Aimorés	Perda de carga	Comutação rede isolada

Naquela época, nossa análise apontou que a maioria das nossas perdas foi motivada por desligamentos indevidos, principalmente motivados pelo efeito decorrente da descoordenação entre controle e proteção. Nossos estudos indicaram que a melhoria e efetividade na coordenação implicavam modificação apreciável na dinâmica de resposta, tanto dos sistemas de proteção quanto dos sistemas de controle dos geradores, exigindo uma flexibilização nos critérios de ajustes vigentes para os relés de proteção e limitadores do controle, respeitando os limites de contorno ou de projeto da curva de capacidade das unidades geradoras, fornecidos pelo fabricante.

A modelagem matemática dos controladores de tensão e velocidade das unidades geradoras foi premissa básica na realização dos estudos computacionais. A introdução de modernos sistemas digitais de supervisão e controle, com a utilização intensiva de programas computacionais de simulação, permitiu um aprofundamento na investigação das causas primárias dos desligamentos, resultando em ações corretivas que propiciaram uma melhoria significativa no desempenho dos sistemas de proteção e controle dos geradores.

Como resultado, no último grande blecaute ocorrido em 10/11/09, o sistema CEMIG conseguiu ficar ilhado, mantendo sua integridade operativa. Entretanto aconteceram alguns poucos desligamentos indevidos de geradores, motivados pelo comportamento inadequado de alguns sistemas de controle. Neste trabalho realizamos algumas considerações com relação ao algoritmo de controle destes controladores, notadamente frente a grandes distúrbios impactantes.

2.0 - DESCRIÇÕES DO TRABALHO

2.1 - SISTEMAS COORDENADOS DE PROTEÇÃO E CONTROLE

A curva de capacidade típica de um gerador síncrono nos oferece três regiões distintas para efeito de coordenação: Região de subexcitação, sobreexcitação e sobrecarga. Ao falarmos em coordenação estamos nos referindo aos aspectos dinâmicos e estáticos de um processo desse tipo. Neste trabalho procuramos estabelecer o comportamento do controle, adequando-o às curvas de atuação da proteção, admitindo o efeito da ultrapassagem transitória da curva de capacidade, permitido temporariamente pela proteção, incluindo a questão do drop out associado e das restrições impostas pela estabilidade e suportabilidade do conjunto envolvido (turbina, gerador e transformador elevador). Essa perfeita integração certamente passou pela utilização de modelos validados e programas computacionais como suporte. Na região de subexcitação o trabalho foi direcionado para a coordenação dos limitadores de subexcitação com os relés de perda de excitação (função ANSI 40) de sobrecorrente (função ANSI 51) e sobrecorrente com restrição de tensão (função ANSI 51V). Na região de sobreexcitação, a coordenação foi realizada entre os limitadores Voltz/Hertz (V/Hz) e respectiva proteção, entre o limitador de corrente de campo (If) e a proteção de sobrecorrente CC (função ANSI 76), além da proteção de sobretensão temporizada (função ANSI 59). Na região de sobrecarga a coordenação dos limitadores de corrente de armadura (Ig) foi efetuada com os relés de sobrecarga e sobrecorrente (função ANSI 49, 51 ou 51V).

2.2 - PREMISSAS

Tratamos o sistema de controle como um conjunto a ser coordenado com a proteção e, a esta, reservando a função de desligar a unidade geradora somente quando atingido a zona de suportabilidade especificada. Funções:

Controle: Manter a unidade geradora dentro da região de operação segura e estável, considerando a suportabilidade do conjunto de geração como um todo, incluindo o transformador elevador. A Atuação foi no sentido de se obter o desempenho otimizado dos limitadores de subexcitação, sobreexcitação, sobrecorrente de campo, sobrecorrente de armadura e V/Hz. Junto à atuação nestes limitadores foi otimizado o estabilizador de potência, derivado da potência acelerante, cujas características permitiram uma razoável margem de elevação de ganho.

Proteção: Desligar o gerador e circuitos associados para evitar danos aos mesmos quando de operações fora de suas fronteiras além de sua suportabilidade dinâmica, após o esgotamento da ação de controle, ou quando necessário, para a estabilidade do sistema elétrico envolvido, através de atuação de relés de proteção.

2.3 - PROBLEMAS

Inexistência de modelos matemáticos detalhados dos sistemas de controle de tensão e velocidade, incluindo a malha de regulação principal e sua interação com os conjuntos de limitação, com todas as representações intrínsecas de não linearidades. Esta situação traz pouca veracidade aos estudos e simulações computacionais. Sistemas de controle obsoletos, inviabilizando a adoção da dinâmica necessária. Necessidade de modernização.

Visão estática da questão, inobservância da dinâmica operacional da proteção e dos limitadores. Política rígida e conservadora aplicada até então aos critérios de ajustes da proteção e dos limitadores. Ausência de integração entre as áreas de Engenharia Operacional de Proteção e de Controle. Estrutura de controle do RV com transferência de canais de potência e velocidade complexas e sujeitas a falhas operativas. Algoritmo de identificação "sistema isolado", existentes em alguns controladores de velocidade, sem a necessária solidez. Este fato motiva a transferência da unidade geradora para esta modalidade operativa, mesmo em sistema interligado, trazendo os inconvenientes desta comutação. Disparidades tecnológicas entre os sistemas de proteção e controle, fazendo com que as soluções sejam individualizadas. Hardwares de baixo desempenho impossibilitando, em alguns casos, a implementação de estruturas adequadas de controle. Os sistemas de limitação eram em alguns casos, comandados a motores de CC. Imprecisões dos algoritmos de sintetização, com filtragens excessivas e elevadas constantes de tempo. Os sistemas de proteção possuem em alguns casos margem restrita de ajuste, com altas relações pickup/drop-out e erros significativos principalmente na região de operação e desoperação muitas vezes provocadas por não linearidades.

2.4 - TRATANDO A QUESTÃO

A questão crucial para andamento dos estudos passa pela identificação detalhada dos modelos representativos dos controles. Com este foco foi realizada a identificação e validação dos modelos dos controladores de tensão e velocidade, incluindo os dispositivos de limitação e suas peculiaridades não lineares. Nesta etapa foi de muita valia a utilização de instrumental de testes adequados, com aquisição isolada por canal e simulador dinâmico em tempo real, agregado ao conjunto, sistema AQX de aquisição. Outro ponto foi a revisão crítica e otimização dos ajustes dos pickups estáticos de proteção e dos limitadores com base em: critérios menos conservativos, dinâmica operacional dos dispositivos e suportabilidade real dos equipamentos envolvidos. Os conjuntos obsoletos tiveram dois focos de tratamento: aqueles que tecnologicamente permitiam, foram adequados com projetos desenvolvidos internamente na CEMIG. Aqueles que não, foram modernizados. Os estudos e simulações, realizados já com os novos modelos, tiveram por foco representar diversas situações e contingências críticas que poderiam estar sujeitas as usinas. A consolidação dos trabalhos culminou com testes reais em campo, onde procuramos impor ao sistema composto por máquina versus controle a magnitude de impacto concernente com as contingências críticas simuladas.

2.5 - ASPECTOS RELEVANTES DA IDENTIFICAÇÃO E MODELAGEM

2.5.1 - LIMITADOR DE SOBREEXCITAÇÃO

Os limitadores V/Hz utilizam uma série de algoritmos de detecção das grandezas operacionais. No caso CEMIG são encontrados dois tipos básicos:

- V-KH = Sinal de erro
- V/H-K = Sinal de erro

Onde: V=Tensão, H=Freqüência e K=constante.

A implementação do primeiro algoritmo é realizada através de um simples processo aritmético. A implementação do segundo é realizada utilizando-se o conceito de filtro passa-baixa. Ambos os sistemas se valem da utilização da equação diferencial linearizada próxima da região de trabalho. A análise dos dois algoritmos mostra que temos diferentes amplitudes do sinal de erro para uma mesma relação V/Hz. Veja o exemplo, onde temos V=1,0 - H=0,75 e K=1,1 fornecendo como resultado sinal de erro de 0,175 no primeiro algoritmo e de 0,23 no segundo. Esse fato trouxe dificuldades adicionais na coordenação da suportabilidade V/Hz associada ao transformador elevador, que em princípio é o elemento mais sensível à sobreexcitação. Isto significa na prática, que as reações destes limitadores são diferentes em uma mesma situação, exigindo desta forma solução de controle e de coordenação individualizada.

As proteções V/Hz e os relés de sobretensão possuem algoritmos diferentes dos limitadores V/Hz e, em alguns casos, foram verificados erros relativamente altos na região de pickup. Certamente associados à alta relação pickup/drop-out, o que agravava ainda mais a condição de descoordenação com os limitadores. Isso se torna mais crítico quando em processo dinâmico. Outro ponto se refere à veracidade da curva de suportabilidade disponível quando se considera o tempo de operação dos equipamentos. Com base em ensaios de campo objetivando diagnosticar e definir esse contorno estabeleceu-se a limitação estática em até 2% abaixo da curva de suportabilidade V/Hz e a proteção em até 2,5% acima desta curva na região de pickup. Todas as soluções devem ser validadas com antecedência através de testes de campo. A Figura 01 mostra a situação de coordenação na região de sobreexcitação.

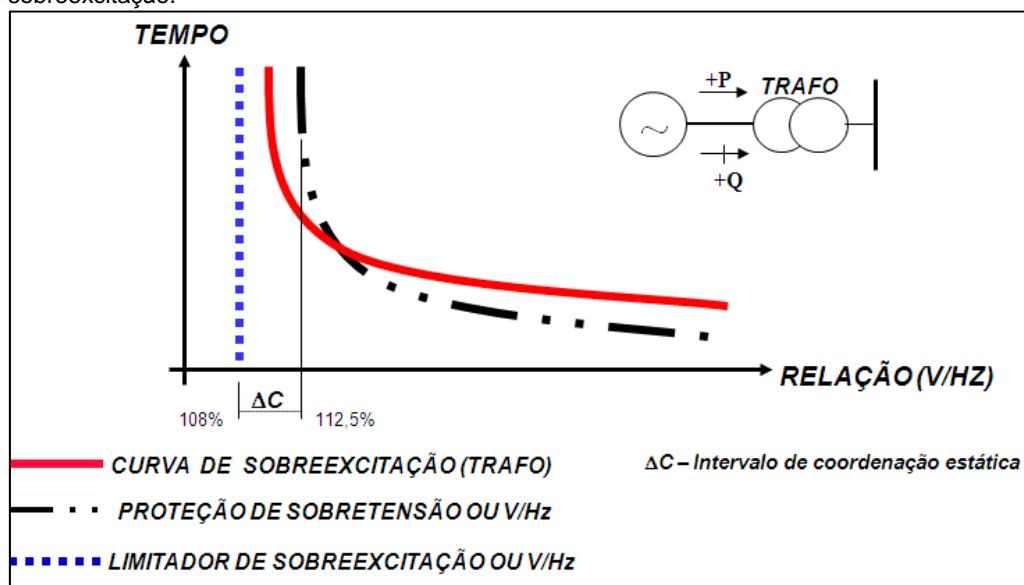


Figura 01 – Coordenação na região de sobreexcitação

2.5.2 - LIMITADORES DE SUBEXCITAÇÃO - PROTEÇÃO DE SUBEXCITAÇÃO

No caso CEMIG tem-se basicamente dois tipos básicos de estrutura de sintetização para limitação de subexcitação:

Limitador de subexcitação tipo 1: Funciona com base em um polinômio com coeficientes ajustáveis de acordo com o ponto operativo a ser limitado, onde as variáveis são os componentes ativos e reativos das máquinas, conforme abaixo:

$$K_1 \cdot C_{(ATIVO)} + K_2 \cdot C_{(REATIVO)} - K \cdot V = \text{Sinal de erro}$$

- \downarrow \downarrow \downarrow
 (a) W VAr $V = \text{Sinal de erro linear com } V$
 \downarrow \downarrow \downarrow
 (b) I_W I_{VAr} $V = \text{Sinal de erro quadrático com } V$

O limitador tipo (a) produz sinal de erro proporcional à variação de tensão da unidade geradora. O limitador tipo (b) produz um sinal de erro proporcional ao quadrado desta mesma tensão, de forma similar aos algoritmos das funções de proteção de subexcitação, sendo, portanto, mais adequado à coordenação com a proteção de subexcitação. Os algoritmos (a) e (b) são normalmente configurados por semirretas, o que, em alguns casos pode limitar a capacidade de geração de reativo do gerador. A Tabela 2 mostra a variação de pickup dos relés de proteção e limitadores em função da variação de tensão terminal no gerador, quando se considera o gerador operando somente no eixo direto, subexcitado.

Tabela 2 – Variação do Pickup com a Tensão do relé 40 e Limitador de Subexcitação

Dispositivo de Proteção e Controle	Tensão (pu)	Pick-up (pu)	
		Corrente	Pot. Reativa
Relé 40	1,00	1,00	1,00
	0,90	0,90	0,81
	1,10	1,10	1,21
Limitador Linear	1,00	1,00 (Q=1,00)	1,00
	0,90	1,00 (Q=0,90)	0,90
	1,10	1,00 (Q=1,10)	1,10
Limitador Quadrático	1,00	1,00	1,00
	0,90	0,90	0,81
	1,10	1,10	1,21

A Figura 02 mostra uma possível configuração de coordenação estática para este tipo de limitador. Observa-se aqui que existe um sub aproveitamento da capacidade de geração reativa, motivada pelas características específicas deste limitador.

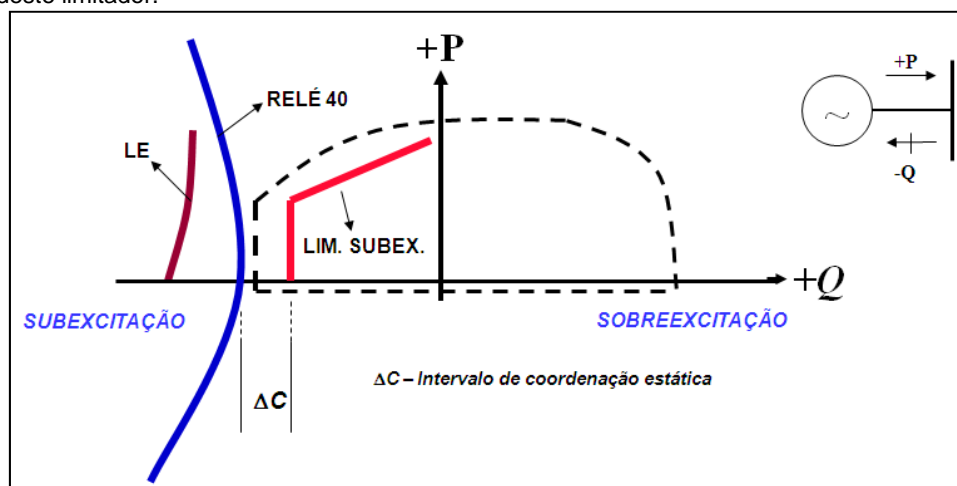


Figura 02 – Coordenação na região de subexcitação

Limitador de subexcitação tipo 2: O algoritmo deste limitador pode ser resumido na equação abaixo:
 $MVar - f(MVar, MW)$: Sinal de erro, onde, $f(MVar, MW)$ representa uma relação de potências suportáveis pela unidade geradora. Pela sua característica este tipo de filosofia é utilizado em controles microprocessados. Este tipo de limitador, na consecução das suas tabelas, considera os níveis de tensão praticados pela unidade geradora. Uma questão que enfrentamos para este tipo de configuração refere-se à parametrização bastante conservadora. Situação corrigida no processo de coordenação.

2.6 - ASPECTOS RELEVANTES

Região de sobreexcitação V/Hz: Uma questão importante para o desenvolvimento deste trabalho foi definir suportabilidade dos transformadores elevadores a sobreexcitação, considerando a curva original e o aspecto da degradação ao longo dos anos de operação. Em alguns casos adotamos parametrização conservadora visando resguardar o equipamento. Para manter um intervalo adequado de coordenação entre a proteção e o limitador, considerando os aspectos de proteção da curva de suportabilidade do transformador elevador, a dinâmica da relação pickup/drop-out e erros naturais, tem-se que colocar a proteção praticamente em cima ou um pouco além da curva de suportabilidade, por exemplo:

-Suportabilidade contínua a V/Hz do transformador elevador: 110% V/Hz.

-Ajuste de pickup do limitador: 110% V/Hz (Ajuste antigo); - Reajuste para 108% V/Hz.

-Ajuste de pickup da proteção: 110% V/Hz (Ajuste antigo); - Reajuste para 112,5% V/Hz.

Neste caso é considerado um intervalo mínimo de coordenação estática de 4,5% com base em testes de campo de pickup/drop-out da proteção, do limitador e de degrau no sistema de excitação. Pode-se verificar neste exemplo que assumimos uma desensibilização da proteção de +2,5%. Para relações acima de 112,5% V/Hz a proteção assume a sua responsabilidade adequando-se à curva de suportabilidade V/Hz do transformador elevador.

Região de Subexcitação: Um dos aspectos vitais na coordenação destes dispositivos se refere ao processo de síntese executado nos limitadores. A pior situação relaciona-se à transdução onde o sinal de erro guardava relação linear com a tensão. Este fato restringe os ajustes estáticos do dispositivo de limitação, pois a proteção 40 trabalha de forma quadrática com a tensão, sombreando uma área ampla, que não poderia ser varrida pelo limitador. Outro ponto se refere à síntese do sinal de erro através de polinômios de coeficientes lineares, onde a limitação se processa orientada por retas controladas. Este fato faz com que em muitos casos, sejam subutilizadas as capacidades de geração de potência reativa das unidades geradoras, exigindo esforço adicional para se evitar as restrições de geração de reativos.

Região de sobrecarga do estator/armadura: O limitador de sobrecarga do estator/armadura possui características adequadas ao controle da sobrecarga térmica do estator, sendo um dispositivo de ação lenta. O pickup do limitador normalmente é ajustado em 1,1 pu da corrente nominal e não apresentam problemas de descoordenação com as proteções de sobrecarga por imagem térmica, incluindo RTD, relés (função ANSI 51 e 51V).

Sobrecorrente do enrolamento de campo: É um dispositivo de característica térmica com uma dinâmica lenta. Via de regra, essa proteção toma como base a proteção do transformador de excitação, porém, adotando um ajuste conservativo em relação à suportabilidade do enrolamento de campo do gerador.

Excursões nas regiões de subexcitação e sobreexcitação: Em determinadas perturbações sistêmicas pode ocorrer atuação simultânea entre os limitadores V/Hz e de subexcitação, caracterizando uma situação antagônica de comando. Nestes casos, as ações de controle dos limitadores não são mais eficazes sendo até mesmo conflitantes. Para contornar este problema estabelece-se um sistema de priorização implícito, onde o dispositivo prioritário é o limitador de subexcitação.

Estrutura do Estabilizador do Sistema de Potência: Outro ponto exaustivamente explorado e validado é a ação do estabilizador de sistema de potência (ESP) durante a operação dos limitadores, principalmente na região de subexcitação. As simulações permitiram validar a decisão de manter em operação o estabilizador de potência com o limitador de subexcitação operado. Sem o ESP observa-se uma necessidade de filtrar os modos eletromecânicos excitados na potência elétrica, com objetivo de se obter a dinâmica adequada na resposta do controle. No caso de grandes desvios, a presença do “reset não linear” na estrutura do ESP é necessária para evitar a saturação da saída do ESP, e assim ter uma contribuição real para o amortecimento dos vários modos de oscilação. Veja a Figura 03A e a Figura 03B a presença do bloco do reset não linear.

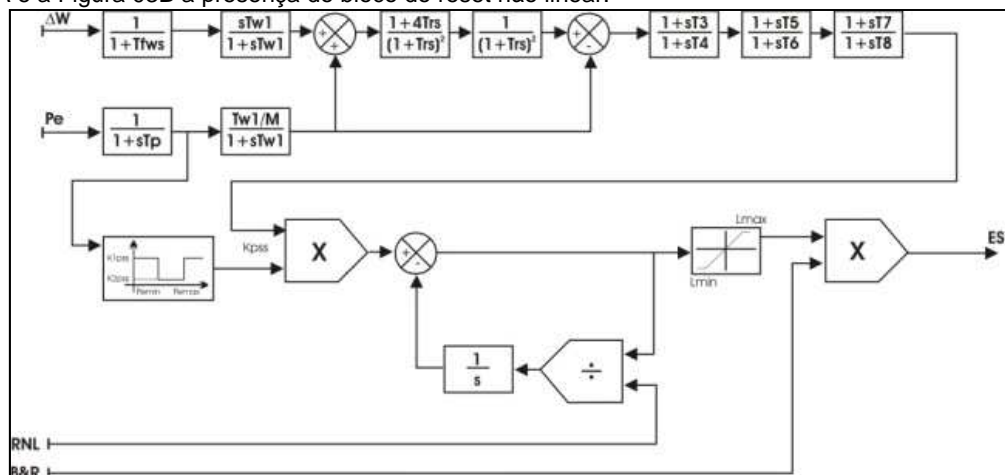


Figura 03A: Função de transferência do ESP

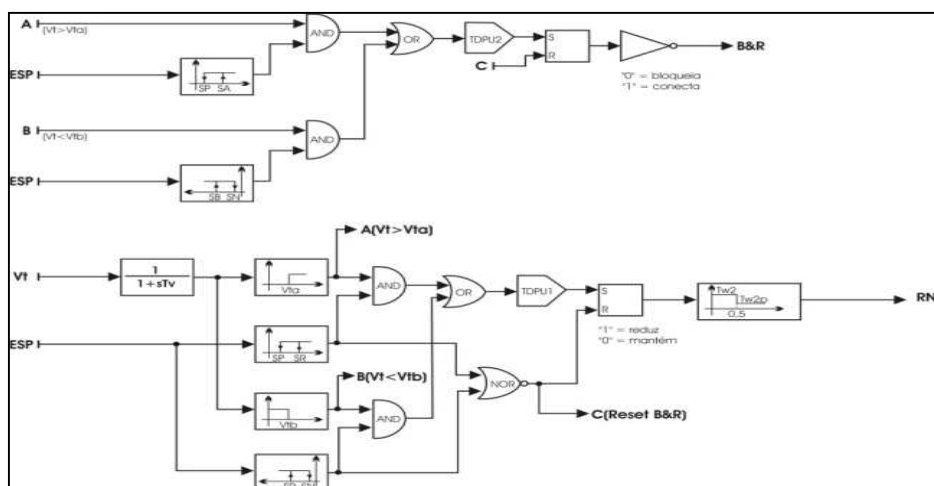


Figura 03B: Lógica de reset não linear do ESP

Modelagem do Controle: Outro ponto vital no processo de coordenação foi a identificação validada do controle, através de exaustivos ensaios de campo onde se valeu de instrumental de aquisição e análises adequadas a esta finalidade. Na Figura 04 é mostrado como exemplo, um diagrama em blocos do controle de tensão das unidades geradoras da Usina de Volta grande cujos limitadores foram objeto de intenso estudo e readequação.

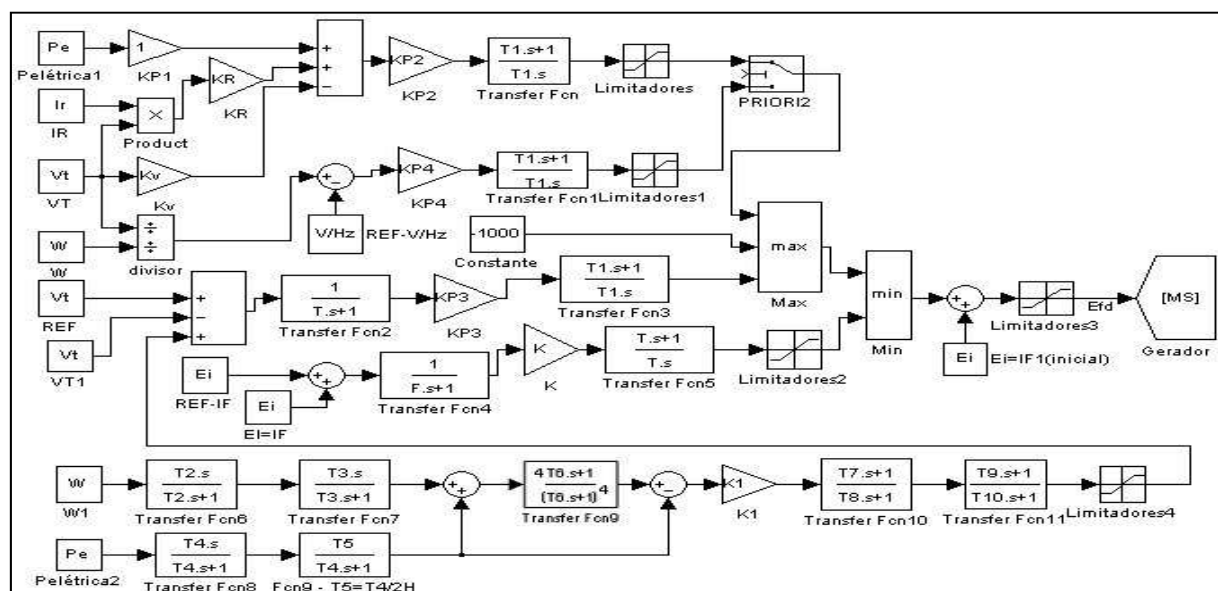


Figura 04 – Diagrama de Blocos do Controle da UHE Volta Grande

As Figuras 05 a 07 mostram um exemplo de um processo simulado para um gerador da UHE Volta Grande, com destaque para a dinâmica da proteção e controle frente a um degrau de -0,15 pu tensão terminal na referência do regulador de tensão. Fonte: Programa ANATEM do CEPEL (Máquina/Barra infinita). Condição inicial: $S = 0.9 + j0.0$, $V_T = 1.0$ pu. Relé 40: pickup (0,48), drop-out (0,46).

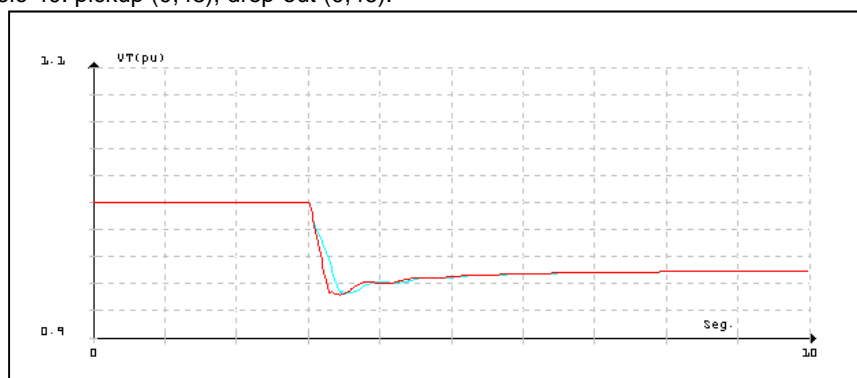


Figura 05 – Tensão terminal, com PSS (Azul) e sem PSS (Vermelha)

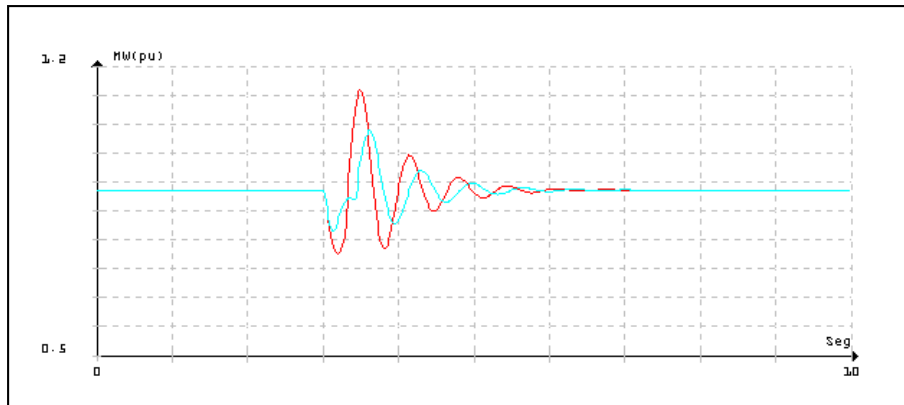


Figura 06 – Potência elétrica, com PSS (Azul) e sem PSS (Vermelha)

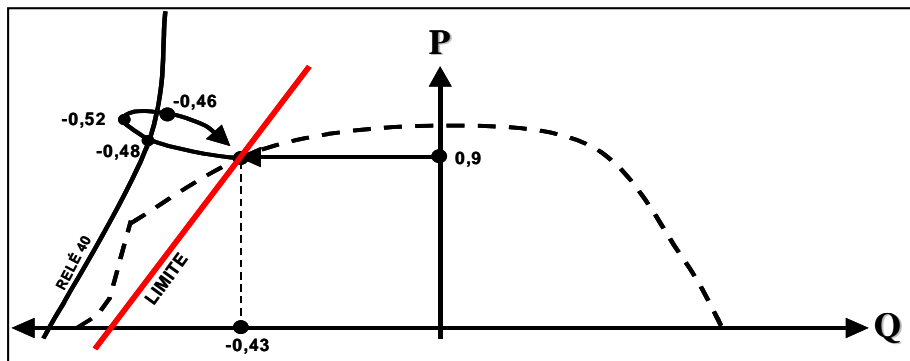


Figura 07 – Coordenação dinâmica entre o relé 40 e o limitador de subexcitação

Grandes excursões da frequência do sistema durante distúrbio: Sistemas mais frágeis estão frequentemente sujeitos a variações significativas na frequência. Isto é tão mais crítico quando este sistema possui características fortemente radiais, com baixos torques de sincronização. Por este motivo, entre outros, a existência de reguladores de Velocidade rápidos, sem zonas mortas e bem ajustados se tornam uma exigência. Os critérios de ajustes para regulação primária recomendam orientação para rede isolada. Esta modalidade de calibração traz junto consigo certa lentidão na tomada de carga realizada pelo operador/ONS, muitas vezes tida como um incômodo pelos órgãos de controle do sistema. Para contornar este problema os fabricantes adotaram suas soluções específicas. A estrutura de controle tipo 1 prevê a existência de canais separados de potência com dinâmica rápida, e frequência com dinâmica lenta, tendo a necessidade de rastreamento e comutação automática do canal de potência para o canal de frequência, no caso de desvio significativo da frequência do sistema. Um complicador é a perfeita identificação do momento de comutação. Muitas das vezes a nova estrutura traz parametrização não condizente com o sistema remanescente, estatismo permanente baixo (suposição de sistema isolado), novas referências internas entre outros.

A estrutura tipo 2 resolve o problema da lentidão de tomada de carga através da implantação do circuito rampeador, onde no caminho da referência de carga coloca-se uma função inversa do controle de velocidade. Esta solução define uma tomada de carga linear e perfeitamente controlada. Sem os atropelos da comutação e mantendo a dinâmica estável do controle de frequência, veja exemplo na Figura 08, logo abaixo.

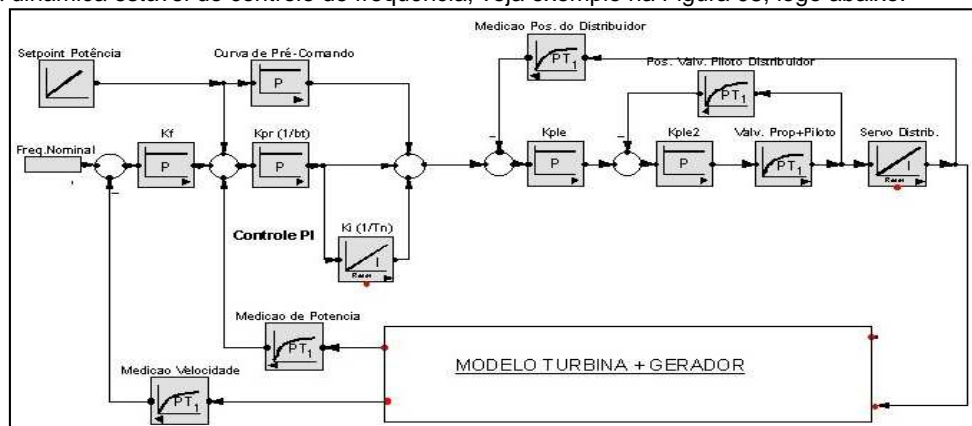


Figura 08 – Regulador de Potência para a estrutura tipo 2

No último blackout de 10/11/09, na UHE Capim Branco I, e em mais outras duas UHE Aimorés e Irapé com a estrutura tipo 1, aconteceu a comutação dos modos de controle, interligado/isolado promovendo perdas de carga nas duas primeiras e desligamentos completo das máquinas pelo relé de potência inversa na UHE Irapé. Por outro lado, na UHE Capim Branco II, ao lado da UHE Capim Branco I, com estrutura tipo 2, não houve desligamentos. A estrutura tipo 2, que possui o circuito rampeador, tem se mostrado mais robusta diante de distúrbios, não só porque dispensa o rastreamento e comutação automática, mas também porque contribui o tempo todo com a regulação primária de frequência.

3.0 - CONCLUSÃO

O Esforço para obtenção de uma efetiva coordenação do controle e da proteção é decisivo para um bom desempenho do sistema elétrico diante de grandes distúrbios. Os resultados obtidos com este trabalho têm permitido à CEMIG operar com segurança e confiabilidade seu sistema mesmo sob fortes impactos sistêmicos.

A precisão e robustez da representação dos modelos matemáticos dos controladores nos processos de simulação permitiram a definição de parametrização que explora de uma forma mais completa a capacidade de geração reativa das unidades geradoras, sem riscos às suas integridades.

É fundamental que os modelos matemáticos dos sistemas de controle estejam disponíveis e que tenham sido validados através de ensaios de campo e estudos de simulação. Este tipo de trabalho deve ser continuamente monitorado e atualizado, procurando estar sempre conjuminado aos processos de expansão e modernização dos componentes e sistemas do SIN.

Nos processos de modernização a definição de coordenar a proteção e o controle deve ser parte intrínseca.

No que se relaciona a estrutura de controle é recomendável verificar sua robustez diante de grandes distúrbios, principalmente nos sistemas que operam com comutações automáticas e também cuidando para que os sinais de controle não entrem em saturação indevidamente.

A utilização do ESP de potência acelerante em conjunto com os limitadores do RT agregou substancial melhora da dinâmica do conjunto. Neste trabalho observamos que a sua utilização assegurou o amortecimento adequado aos modos eletromecânicos permitindo obter a dinâmica necessária à coordenação. Um ponto importante para uma perfeita operacionalidade do ESP se refere a sua transdução, potência e frequência entre outros, onde se exige precisão e baixas constantes de filtros, próximos dos 10 ms.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ANSI/IEEE C37.102 – 1987, “Guide for AC Generator Protection”.

[2] Proteção de Geradores de Grande Porte, F. A. Viotti, Eletrobrás, Julho, 1979.

[3] IEEE WORKING GROUP ON COMPUTER MODELLING OF EXCITATION SYSTEMS, Excitation System Models for Power System Stability Studies, IEEE Transactions on PAS, vol 100, no 2, 494-509, Fevereiro de 1981.

[4] PORONGABA, H.; FERREIRA, A.; ABREU, M.A.; MOROZOWSKI, M., Ensaios e Verificações nos Reguladores de Tensão de Salto Osório, IV SNPTEE, Rio de Janeiro, 1977.

[5] ZENI Jr., N., Controle da Excitação de Geradores de Usinas Hidrelétricas: Modelagem,

Identificação, Ajustes e Ensaios de Campo, Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis, Outubro de 1987.

[6] Coordenação Dinâmica Entre a Proteção Elétrica e o Controle de Geradores Hidráulicos - Experiência Cemig; IX STPC, Junho de 2008

[7] Operational Aspects of the Actuation of Power Systems Stabilizers: Coordination with protection and Other Controllers; Paiva, P.M.; Souza, J.A.; V SEPOPE, Recife, Maio de 1996.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Adinã Martins Pena

adina@cemig.com.br

Engenheiro de Planejamento Elétrico, com pós-graduação na UFSC (2007) e graduação na PUC Minas em Engenharia Elétrica (1999). Trabalha na CEMIG GT, Companhia Energética de Minas Gerais – Geração e Transmissão, desde 1987 e na Gerência de Planejamento Elétrico, desde 2004.

João Antunes de Souza

copicontrol@hotmail.com

Engenheiro eletricitista formado pela PUC em 1982, com Pós-Graduação pela UFSC em 1990. Engenheiro de Sistemas de Controle na CEMIG até julho/2010. Atualmente diretor da COPI Controle de Processos.

Paulo Marcos Paiva

pmp@reivax.com.br

Engenheiro eletricitista formado pela UFMG em 1973 e Pós-Graduação na UFSC em 1978. Engenheiro de Sistemas de Controle na Eletrosul, Engevix e CEMIG. Diretor da Reivax desde 1988.