



**GRUPO I
GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA (GGH)**

**MODERNIZAÇÃO DOS REGULADORES DE VELOCIDADE DA
UHE COARACY NUNES: ASPECTOS DE MODELAGEM E DE SIMULAÇÃO**

Fernando Happel Pons (*)
João Marcos Soares
Fernando Costa Neves
Fábio Amaral Vicentini
Francisco de Moraes
REIVAX

Cilon Angst
João Fernandes
ELETRONORTE

RESUMO

Os reguladores de velocidade da UHE Coaracy Nunes da Eletronorte - 2 grupos de 20 MW com turbinas Kaplan - eram tecnologicamente ultrapassados e desde o início de operação da usina vinham apresentando dificuldades de ajuste e manutenção. Além destas dificuldades, as características desta instalação e do sistema elétrico associado contribuíam para que a regulação de velocidade apresentasse desempenho muitas vezes sofrível, com oscilações de frequência inaceitáveis e que causavam o bloqueio dos grupos geradores.

Em junho/julho de 96 a Eletronorte fez exaustivos ensaios nos reguladores de velocidade no sentido de avaliar seu estado e efetuar reajustes para minimizar os problemas de instabilidade, principalmente quando da desinterligação da geração hidráulica da térmica do Sistema Amapá [1]. As avaliações feitas nos sistemas de regulação de velocidade resultaram na recomendação da troca de seus controladores.

Os novos reguladores de velocidade foram comissionados em 98. Diversos ensaios foram realizados no sentido de otimizar seu desempenho. De posse dos dados destes ensaios pôde ser feita uma modelagem mais confiável do sistema controlado. Simulações realizadas a partir deste modelo resultaram em alterações dos ajustes inicialmente adotados, melhorando o desempenho dinâmico do sistema.

PALAVRAS-CHAVE

Regulador de velocidade, controle, modelagem, simulação.

1. ESQUEMA DE MODERNIZAÇÃO

Os reguladores de velocidade originais, tecnologicamente ultrapassados, com alguns circuitos transistorizados e conjugação feita através de came, foram retirados e instalados novos painéis com os novos reguladores digitais, de duplo canal automático (um regulador automático principal e outro idêntico operando stand-by, de modo a aumentar a confiabilidade do sistema). No atuador foram mantidas apenas as válvulas distribuidoras da roda e do distribuidor. Para acionar estas válvulas distribuidoras foram instaladas válvulas proporcionais comandadas pelo estágio de potência de saída do regulador de velocidade.

A figura 1 mostra o diagrama de blocos simplificado dos novos reguladores. Destaque-se a “independência” entre o controle de frequência e o de potência, obtida pela introdução da referência de potência no caminho do estatismo transitório, anulando de certa forma esta realimentação transitória por ocasião de tomadas de carga.

O desempenho da regulação de frequência e de potência podem ser otimizados, sem que um prejudique o outro.

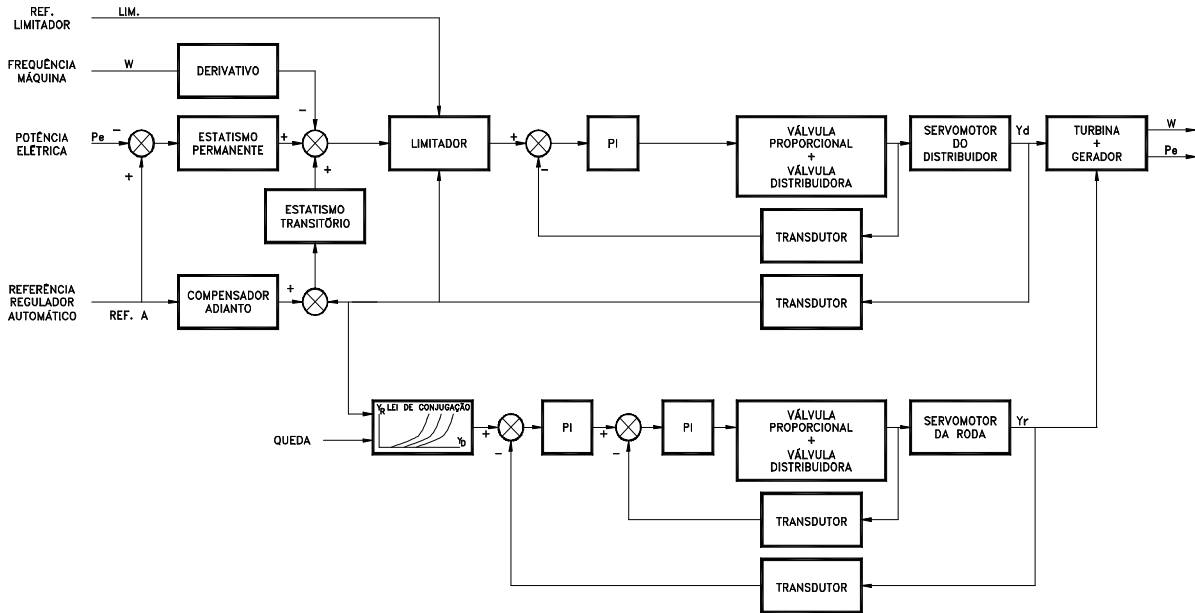


Figura 1- Diagrama de Blocos do Regulador de Velocidade

2. ENSAIOS

Diversos ensaios foram realizados por ocasião do comissionamento dos reguladores. Inicialmente foram ajustadas as malhas de controle das válvulas distribuidoras (sem água). Através de uma das opções de teste dos reguladores onde se controla apenas a posição da válvula distribuidora (da roda ou do distribuidor), pode-se estabelecer os ganhos PI desta malha, bem como a amplitude e a frequência de dither aplicada à válvula proporcional. A figura 2 mostra um dos testes de resposta ao degrau de uma destas malhas, com registros obtidos através de Sistema de Aquisição de Dados.

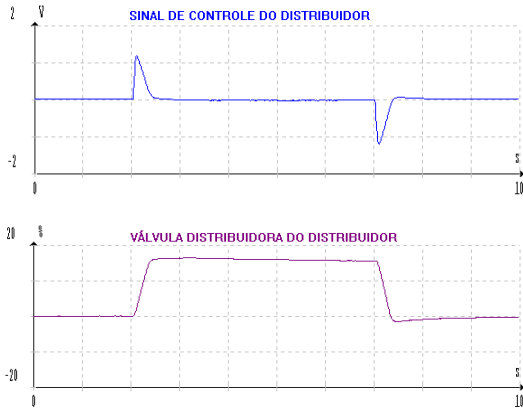


Figura 2- Resposta ao degrau (15%) da malha de controle da válvula distribuidora do distribuidor do grupo 2

A figura 3 apresenta a resposta ao degrau da malha de controle da roda, facilmente realizável através de outro modo de teste, no qual se elimina a conjugação, mantendo-se o con-

trole PI da roda. A referência de posição da roda pode ser definida através da IHM do regulador.

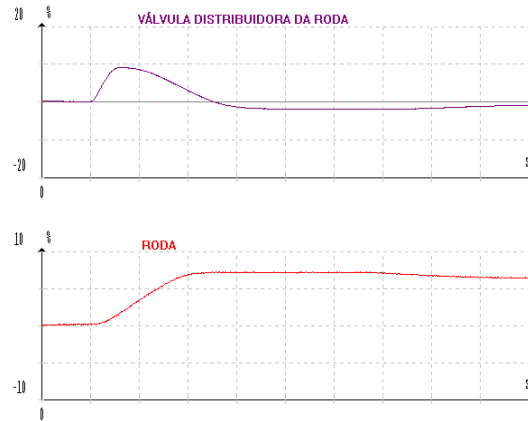


Figura 3 - Resposta ao degrau da malha de controle da roda (100 mm para 110mm)

A resposta ao degrau na referência de frequência com a máquina operando a vazio está mostrada na figura 4.

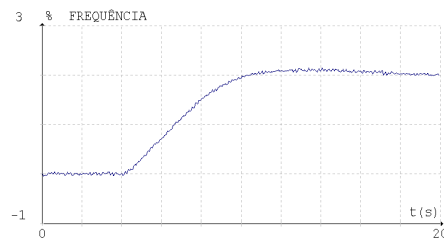


Figura 4 - Resposta ao degrau na referência de frequência do grupo 2

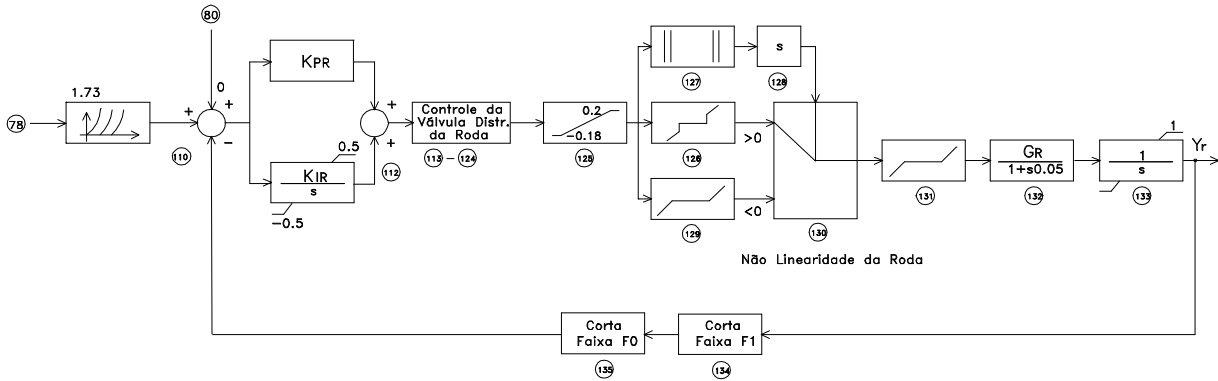


Figura 9 - Controle da Roda

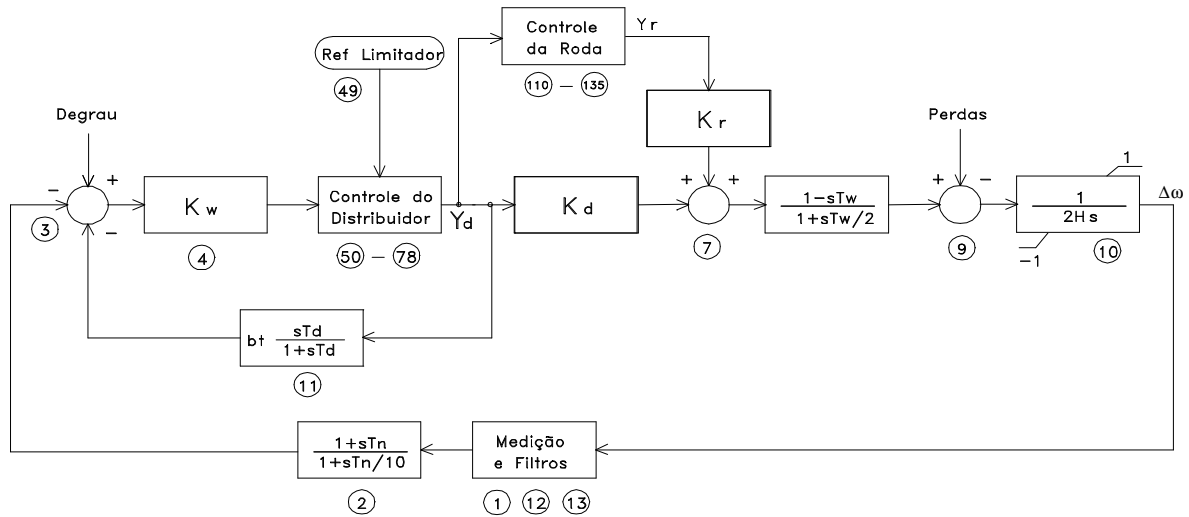


Figura 10 - Malha de Regulação de Velocidade - Modelo para Pequenos Sinais

4. ASPECTOS DE CONTROLE DAS MALHAS DO DISTRIBUIDOR E DA RODA

Malha do distribuidor:

A malha de controle realimentado da Válvula Distribuidora (VD), feito por controlador PI em software, cartão amplificador de potência e válvula proporcional (VP) pode ser representada de forma mais simplificada por um modelo de 2ª ordem, onde os ajustes são a frequência de corte ω_0 em rad/s e o fator de amortecimento ξ . Esta simplificação despreza as não linearidades da VP e VD e os transitórios mais rápidos, mas é um modelo adequado para o estudo pretendido de ganho da malha.

Para reduzir o efeito do ciclo limite (oscilações de origem não linear) na regulação em vazio causado principalmente pela zona morta da VD, as ações tomadas habitualmente são o uso de ação derivativa (T_n) e o aumento do ganho direto K_w . A ação de K_w maior é fazer com que o efeito da zona morta seja compensado com um menor desvio da velocidade, reduzindo proporcionalmente a amplitude do ciclo limite. A ação de T_n é dar um avanço (giro para a direita) no

diagrama de Nyquist do sistema em malha aberta, de maneira que este não intercepte a característica da não linearidade (função decrescente) ou intercepte-a em ponto com menor amplitude de ciclo limite. Os dois recursos aumentam a exposição do sistema hidráulico de controle às altas frequências, podendo exigir a presença de filtros corta faixa no caminho de controle para evitar isto.

O aumento de K_w é limitado pela dinâmica da malha da realimentação do estatismo transitório b_t . O ganho limite da malha fica em:

$$K_w b_t < 2\xi\omega_0$$

Como foi necessário aumentar b_t (até 100%) para compensar o alto ganho de potência em relação ao deslocamento da roda, como veremos adiante, o ganho da malha aproximou-se de seu limite de estabilidade conforme ficou visível em alguns registros com uma oscilação, próxima a 2Hz, que aparece nas variáveis associadas ao controle do distribuidor. A redução de K_w foi então necessária nesse caso para garantir boa margem de ganho.

Malha da roda :

Na simulação dessa malha foi necessário incluir uma constante de tempo adicional ao integrador tradicionalmente empregado na representação do servomotor para levar em conta a considerável inércia associada às pás da turbina.

A não linearidade da roda é considerável em tamanho e complexidade. Assim, o resultado de cada transitório é fortemente dependente das condições iniciais dentro da não linearidade; por exemplo, as zonas mortas permitem que válvulas assumam diferentes posições em situações de “equilíbrio”, mas a distância aos limites da não linearidade afetam fortemente os transitórios.

A dependência dos resultados com o ganho de contribuição do distribuidor e da roda à potência gerada é significativa, alterando completamente os resultados com pequenas mudanças. Esses ganhos parecem variar enormemente a partir de 10 MW, sendo que em torno de 15 MW, o ganho da roda em potência fica quase dez vezes o do distribuidor. Nessa zona de alto ganho de potência da roda, o ajuste de b_t fica pouco robusto; por exemplo, ir de 60 para 70% pode significar mudança de forte instabilidade para amortecimento aceitável.

Esse alto ganho de potência da roda trouxe alguns reflexos também no desempenho da regulação de velocidade em operação isolada. A malha da roda é controlado por um PI que rastreia a referência definida pela conjugação. Há efeitos instabilizadores na regulação de velocidade pelo aumento de K_p (ganho proporcional do PI) da roda: com ganho alto ($K_p=5$), estando com $b_t=60\%$ (baixo), a troca de T_n de 1 para 0 faz com que o modo lento de regulação de velocidade fique estável (0,1 Hz), mas faz surgir um inesperado modo de 0,5 Hz instável e bastante visível na roda; neste caso, a redução de $K_p=1,4$ torna este modo também estável, apesar de degradar um pouco o modo lento de 0,1 Hz.

Com $b_t=60\%$ e $T_n=1$, a redução de K_p de 5 para 1,4 deixa o sistema estável. Isso é devido à abertura parcial da malha em pequenos sinais no caminho da roda pelas suas fortes não linearidades, que ficam bem mais presentes; a ação de T_n nesse caso fica mais próxima do habitual, no sentido de que reduzi-lo a 0 degrada um pouco o amortecimento do modo lento de regulação. No entanto, com $b_t=100\%$ o ganho K_p pode ser bastante elevado, sem instabilizar nenhum modo. Apenas elevando $K_p=10$ as oscilações da roda em 0,5 Hz ficam inaceitáveis quando em operação isolada com carga

5. COMPARAÇÃO ENTRE SIMULAÇÕES E TESTES DE CAMPO

A seguir são mostrados alguns dos resultados comparativos entre a simulação e o resultado de campo. Na figura 11 apresenta-se o resultado de um degrau na malha de controle da válvula distribuidora do distribuidor.

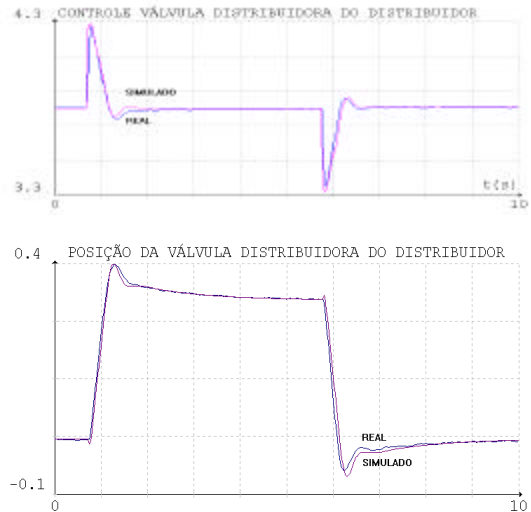


Figura 11 - Resposta ao degrau na malha de controle da válvula distribuidora do distribuidor

Na figura 12 mostra-se a resposta ao degrau na malha de controle da roda. O ganho K_p baixo torna visível as não linearidades.

des.

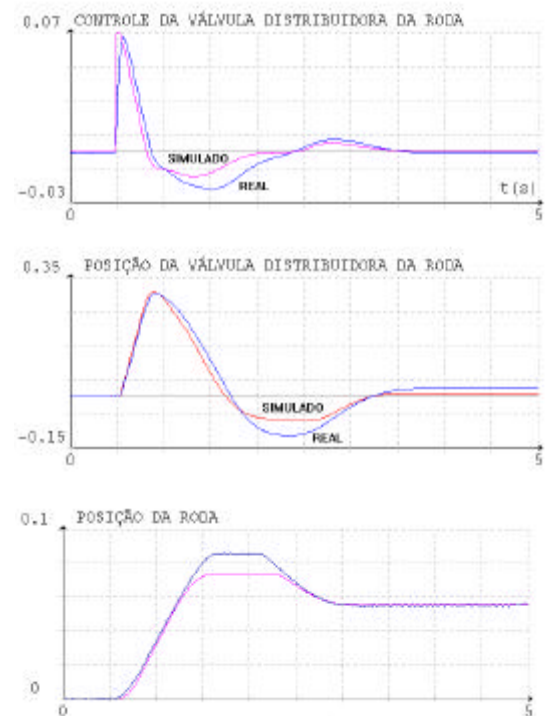


Figura 12 - Resposta ao degrau na malha de controle da roda (pu)

A comparação entre o resultado do modelo e do ensaio de campo para um degrau na referência de frequência com a máquina operando a vazio está mostrado na figura 13.

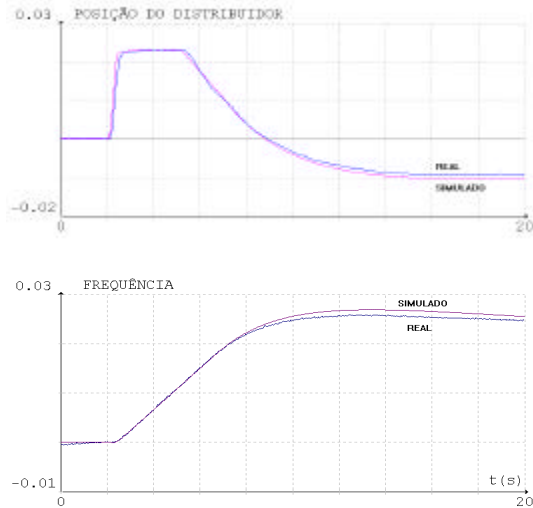


Figura 13 - Resposta ao degrau a vazio (pu)

Os próximos registros (figura 14) são de uma rejeição de 3,7 MW na unidade 2, com a unidade 1 ficando em operação isolada e sozinha no sistema, absorvendo esta carga.

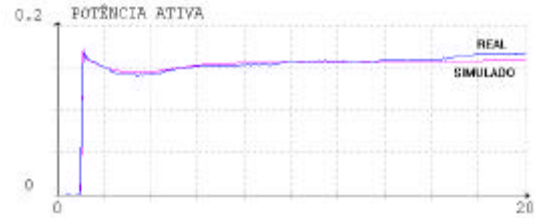
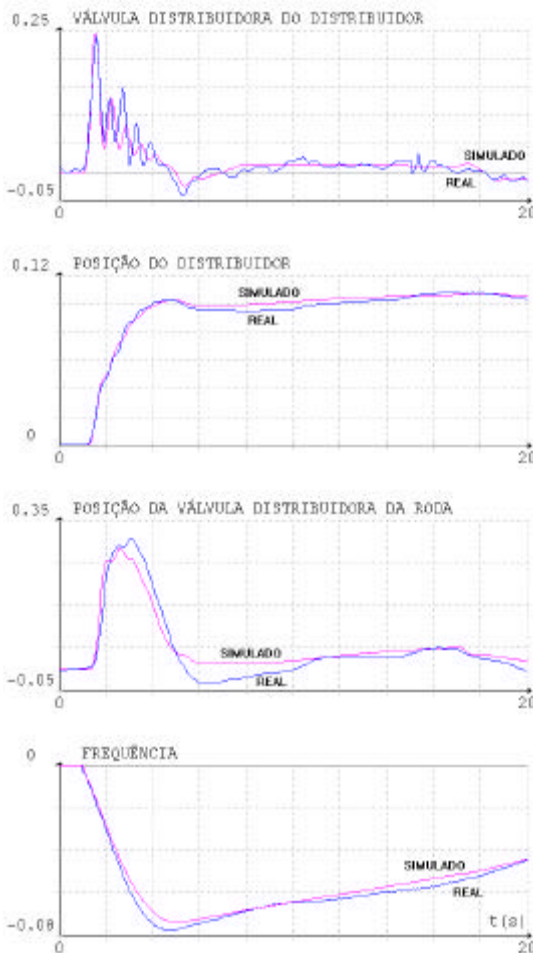


Figura 14 - Degrão de 3,7 MW por rejeição de um dos grupos em operação isolada (pu)

Como pode ser observado pelos registros acima o modelo simulado representa muito bem o sistema existente. As maiores distorções aparecem associadas à malha da roda devido ao alto grau de não linearidades presentes nas variáveis mecânicas, conforme já dito anteriormente.

6. CONCLUSÕES

- A troca dos reguladores de velocidade resolveu os graves problemas de estabilidade existentes, possibilitando a operação dos grupos em condições antes não possíveis, como em operação isolada com qualquer carregamento.

- A disponibilidade de opções de teste (controle direto das válvulas distribuidoras e da roda, aplicação de degraus nestas malhas, etc), de troca de qualquer parâmetro on line, de comutação do canal principal para o de retaguarda a qualquer momento, presente nos reguladores, aliado ao uso de um Sistema de Aquisição de Dados e de um Programa de Simulação Dinâmico que permite interagir com os dados de campo, foi fundamental para o trabalho chegar a um bom termo.

- O modelo levantado, incluindo várias não linearidades, possibilitou uma boa correspondência entre os testes de campo e as simulações. Isto possibilitou a adoção de ajustes das malhas de controle que conduziram um melhor desempenho dinâmico do sistema.

- É possível que investigações futuras, que levem em conta o sistema de excitação, principalmente para o caso de operação isolada, possam trazer mais subsídios para uma melhoria ainda maior de desempenho.

7. BIBLIOGRAFIA

- (1) ELETRONORTE - Ensaio no Regulador de Velocidade da Usina Coaracy Nunes. Relatório Interno. 1996.
- (2) SOARES, J.M. - Identificação Experimental, Simulação e Ajustes de Reguladores de Velocidade de Usinas Hidrelétricas com Verificação em Testes de Campo. Teste de Mestrado. UFSM, 1982.
- (3) ZENI JR., N. et al. - Sinistro na Usina do Passo Real: Modificações Efetuadas nos Equipamentos de Controle. XIV SNPTEE. 1997.