



SP/GSP/08

São Paulo, 10/15 de abril de 1972

GRUPO DE ESTUDOS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA

CONCEITOS DE ESTABILIDADE TRANSITÓRIA APLICADOS
AO SISTEMA DA LIGHT - SP

Waldyr Mauricio
Luiz Ventura Netto

LIGHT - Serviços de Eletricidade S.A.

CONCEITOS DE ESTABILIDADE TRANSITÓRIA
APLICADOS AO SISTEMA DA LIGHT-RSP

SUMÁRIO

A representação das máquinas síncronas, das cargas e dos sistemas de regulação tem influência decisiva nos resultados de um estudo de estabilidade. No presente artigo alguns conceitos teóricos sobre esse assunto são fornecidos, acompanhados de um estudo comparativo feito com o sistema da Light-RSP, e suas interligações com os demais sistemas da Região Centro-Sul, o qual mostra a maneira como um regulador de tensão influi na estabilidade do sistema.

I - INTRODUÇÃO

A criação de modelos precisos dos vários elementos dos sistemas de potência, para estudos de estabilidade, tem sido objeto de prolongadas pesquisas. Nos primórdios, os estudos de estabilidade eram feitos adotando-se uma representação bastante simplificada para as máquinas síncronas e em geral a ação dos sistemas de controle não era levada em consideração (1). Isto se devia, em grande parte, à não existência, na época, de computadores digitais, o que obrigava que os estudos fossem feitos em analisador de circuitos, no qual uma representação mais detalhada era quase impossível. Após a introdução do computador, as técnicas de cálculo neste campo tem sofrido constante evolução; dentre os refinamentos introduzidos pode-se destacar os seguintes:

- Representação da saliência das máquinas síncronas.
- Representação dos transitórios elétricos internos das máquinas, através de constantes de tempo.
- Representação dos circuitos amortecedores e da saturação da máquina.

- Inclusão, no modelo, do regulador de velocidade, podendo-se considerar inclusive as não linearidades (2).
- Inclusão da ação do regulador de tensão e do sistema de excitação.
- Representação correta das cargas do sistema (em lugar de considerá-las como impedâncias constantes) (3).

Todos os refinamentos citados acima são tratados em detalhe nas referências (4) a (7).

Outro problema que tem sido estudado intensivamente é o do "contrôle ótimo", ou seja, determinar qual o sistema de controle a ser adotado de modo a se obter melhores características de estabilidade (8, 9).

Dentro desse contexto, uma importante pergunta poderá surgir: Até que ponto é necessária e até que ponto é econômica a introdução de refinamentos nos estudos nos estudos de estabilidade? Na parte prática o engenheiro de sistema está constantemente diante de graves problemas, pois a representação de um sistema real, que geralmente é de grande porte, pode tornar-se consideravelmente difícil. Daí a preocupação de reduzir-se tanto quanto possível o sistema a ser estudado.

O objetivo do presente artigo é ilustrar a importância básica dos sistemas de controle na estabilidade, através de um caso teste rodado com o sistema da Light-RSP interligado ao da CESP, tendo sido os demais sistemas da Região Centro-Sul representados por equivalentes. As curvas de oscilação mostradas na seção "Aplicação" indicam que, embora o regulador de tensão aparente ser um fator estabilizador durante o primeiro meio ciclo de oscilação - (primeiro "swing") ele realmente é o causador da instabilidade, a qual se evidencia a partir do segundo meio ciclo.

II - NOCÕES GERAIS SOBRE A AÇÃO DOS REGULADORES

Dois importantes tipos de sistemas de regulação encontrados em sistemas de potência são o regulador de ten

são e o de velocidade. Em sistemas interligados, como o da Região Centro-Sul, existem também diversos contrôles su ple men ta re s de co n tr ô le s, como por exemplo, o co n tr ô le de ca rg a e fr eq u ê n c i a (7). A análise destes últimos foge ao escôpo deste trabalho.

A grande limitação dos métodos clássicos de cálculo de estabilidade é justamente, como já mencionado, o fato de não serem incluídos esses sistemas de co n tr ô le, o que faz com que os resultados sejam válidos no máximo para o primeiro meio segundo de transitório, tempo esse que geralmente abrange somente meio ciclo de oscilação, não sendo suficiente para uma análise completa do transitório.

O fato de o regulador de tensão causar, eventualmente, instabilidade para a máquina poderia causar sur pr esa. Na verdade, porém, um regulador de tensão convencional tem como única finalidade procurar manter a tensão terminal da máquina num dado valor, independente dos tran s i t ó r i os mecânicos que possam ocorrer. Assim sendo, pesquisas já feitas vieram a indicar que, se o regulador de tensão tiver alto ganho e pequena constante de tempo, pode ocorrer que durante as oscilações ele procure corrigir a tensão com excessiva rapidez, causando, então, um defasamento prejudicial entre as oscilações da tensão interna da máquina e as oscilações de torque mecânico; isto é, durante o período em que a máquina está acelerando-se, ten d e n d o a afastar-se eletricamente do resto do sistema, seria conveniente, do ponto de vista de estabilidade, que a tensão interna aumentasse, causando assim uma frenagem, devido ao aumento de potência elétrica transmitida. En tr e t a n t o, o regulador age no sentido de reduzir a tensão i n te r n a, causando exatamente o efeito inverso. Cumpre ressaltar que esse fato não se verifica em caráter geral, dependendo do grande número de fatores que compõem toda a dinâmica do sistema. A referência (8) contém um estudo de talhado deste problema, indicando inclusive a maneira de contorná-lo através da inclusão, no sistema de regulação de tensão, de sinais estabilizadores especiais, em geral derivados da velocidade e aceleração da máquina.

O efeito do regulador de velocidade como fator instabilizador ou estabilizador não foi analisado no âmbito deste trabalho, mas a priori pode-se afirmar que a sua inclusão irá modificar bastante a frequência média do sistema, a qual irá tender para um valor constante, o que geralmente não acontece quando o regulador de velocidade não é levado em conta.

III - APLICAÇÃO

A figura 1 mostra o diagrama esquemático do sistema utilizado no caso teste, o qual inclui o anel de transmissão da Light-RSP, as Usinas Henry Borden e Piratininga, a usina de Jupia, da CESP, interligada com a Light através das linhas Jupia-Cabreúva e Cabreúva-Edgard de Souza, e um equivalente na barra de Poços de Caldas (345 kV), o qual representa todo o sistema situado a norte da área de concessão da Light.

O caso teste foi baseado nas condições de carga de setembro de 1971 e consistiu num curto circuito trifásico junto à barra de Jupia - 440 kV, com posterior abertura de um circuito Jupia-Baurú.

A fim de verificar a influência do regulador de tensão nas curvas de oscilação resultantes, foram rodados dois casos, o primeiro considerando-se para todos os geradores a representação clássica (tensão constante atrás da reatância transitória, sem reguladores); e o segundo caso levando-se em conta, no gerador de Jupia, a ação do regulador de tensão. O gerador de Jupia foi escolhido por ser o mais próximo ao ponto do defeito.

A figura 2 mostra a variação, com o tempo, do ângulo do rotor de Jupia, medido em relação à máquina de maior inércia, que é o equivalente da barra de Poços de Caldas, para os dois casos rodados. Nota-se que no caso sem regulador a oscilação é senoidal, de amplitude constante. Por outro lado, o caso com regulador apresenta um tipo de oscilação que, pela sua tendência aparenta ser

uma senóide cuja amplitude aumenta exponencialmente (resposta típica de um sistema contendo uma raiz complexa - com parte real positiva).

IV - CONCLUSÃO

Através dos resultados dos casos testes acima descritos conclui-se que a representação dos reguladores de tensão é essencial nos estudos de estabilidade dos Sistemas Interligados da Região Centro-Sul, uma vez que ela afeta os resultados de maneira decisiva, influenciando, assim, nas conclusões principais do estudo.

REFERÊNCIAS

- (1) - E.W.Kimbark, "Power System Stability" (livro), vol I, John Wiley & Sons, New York, 1947.
- (2) - J.M.Undrill, J.L.Woodward, "Nonlinear Hydro Governing Model and Improved Calculation for Determining Temporary Droop", IEEE. Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-86, pp. 443-543, April 1967.
- (3) - W.Mauricio, "Effect of Load Characteristics on the Dynamic Stability of Power Systems", tese para M.A.Sc., University of Toronto. 1971.
- (4) - J.M.Undrill, "Dynamic Stability Calculations for an Arbitrary Number of Interconnected Synchronous Machines", IEEE. Trans. on Power Apparatus and Systems. Vol. PAS-87, pp.835-844, March 1968.
- (5) - D.W.Olive. "New Techniques for the Calculation of Dynamic Stability", IEEE. Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-85, pp. 767-777, July 1966.
- (6) - K.Prabhashanker, W.Janischewskyj, "Digital Simulation of Multimachine Power Systems for Stability Studies" IEEE. Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-87 pp. 73-80, January 1968.

(7) - F.P. de Mello, "Course Notes on Generation Dynamics and Control", apostila do curso ministrado em São Paulo, em Julho de 1971.

(8) - F.P. de Mello, C. Concordia, "Concepts of Synchronous Machine Stability as Affected by Excitation Control", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-88, pp. 316-329, April 1969.

(9) - E.J. Davidson, N.S. Rau, "The Optimal Output Feedback Control of a Synchronous Machine", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, paper 71 TP 102 - PWR, apresentado na "IEEE - Winter Power Meeting", New York, 31-1 a 5-2-71.

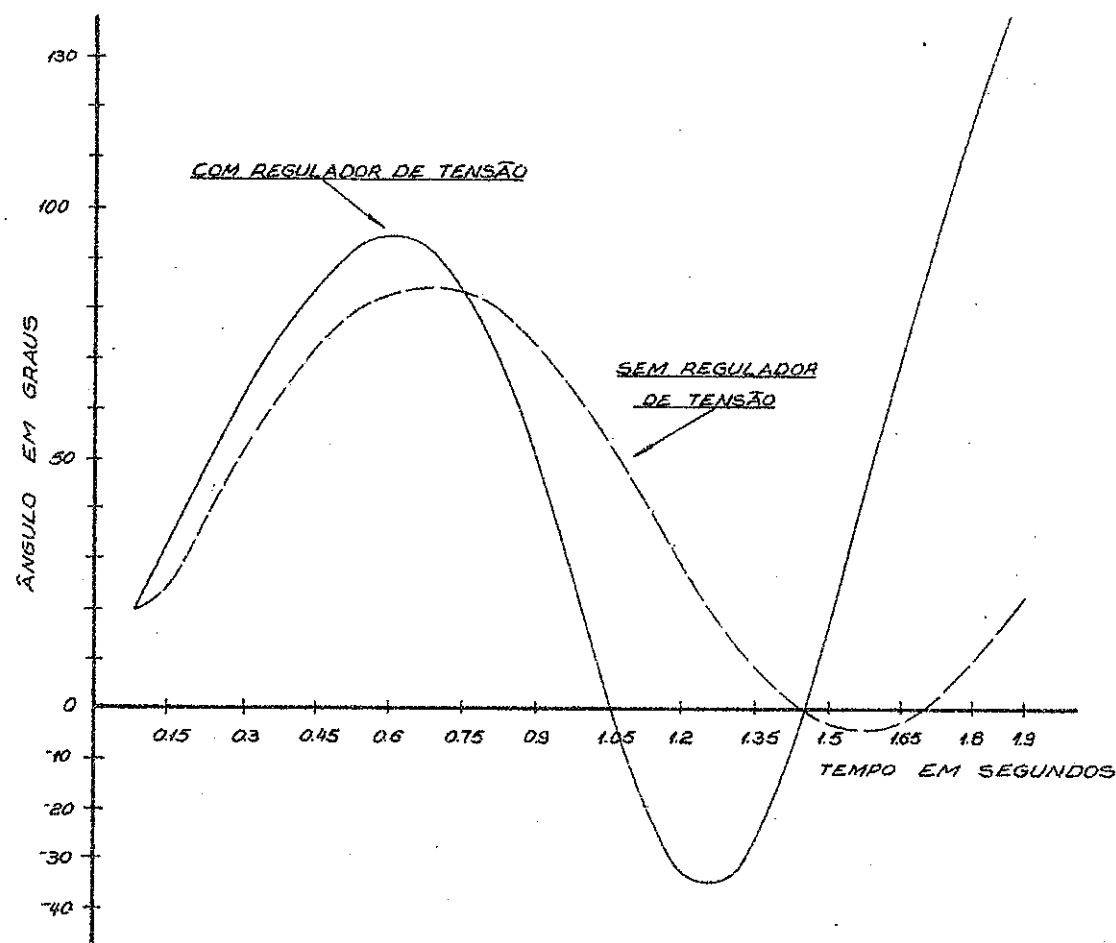


FIGURA 2 - Curvas de oscilação do rotor de Jupia, com relação ao equivalente na barra de Poços de Caldas, para os dois casos testes rodados