

# Programa P&D Ciclo 2000/2001 Software para Sistema de Excitação de Pch's

Fábio José de Noronha; Fernando Antonio Quintas; Joao Antunes de Souza; Jordan Cândido Nunes; Adriano José Pinto Pinheiro; Luiz Carlos Chiodi; CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais; Evaldo de Araújo Braga; ALTUS SISTEMA DE INFORMÁTICA S.A

## RESUMO

A CEMIG tem em seu parque gerador 29 PCHs, com 60 unidades geradoras dotadas com reguladores de tensão obsoletos, algumas delas localizadas em pontos estratégicos do sistema de distribuição e com possibilidade de operar em rede isolada. O controle efetivo de tensão nestes pontos do sistema traz melhora significativa na energia disponibilizada, reduz as perdas no processo de transmissão, permitindo ao sistema de geração local atender às necessidades de reativo do sistema regional. As opções encontradas atualmente no mercado apresentam configurações padronizadas, com requisitos muitas vezes desnecessários para algumas aplicações e com custos de aquisição ainda elevados.

O objetivo principal deste projeto é o de promover o desenvolvimento de um regulador de tensão com software dedicado às suas aplicações, com funções estritamente necessárias, desenvolvido em linguagem de fácil entendimento e que pode ser adaptado às necessidades específicas de cada instalação.

Este projeto irá reduzir os custos de aquisição de equipamentos, custos de manutenção e promover a padronização do estoque de peças reservas. Por outro lado permitirá um aumento na confiabilidade operativa das PCHs, estabelecendo limites confiáveis, aumentando a segurança e reduzindo riscos de operações indevidas.

O software foi desenvolvido em uma plataforma de hardware utilizando PLC's da ALTUS e será adaptado para utilização em plataformas de outros fabricantes.

## PALAVRAS-CHAVE

PCHs, Regulador de Tensão Digital, Limitadores, PLC, Modernização, Software.

## I. INTRODUÇÃO

Os sistemas de excitação aplicados às unidades geradoras de PCHs, na sua maioria, são compostos de uma excitatriz rotativa piloto (Gerador CC- Shunt), uma excitatriz rotativa principal, ambas situadas no eixo da máquina, um reostato motorizado e um regulador eletromecânico [1].

Estes reguladores possuem tecnologia proveniente de meados do século passado, apresentam baixo desempenho operacional, alto índice de falhas, zona morta elevada, não incorporam nenhum tipo de limitador, inexistência de peças reservas e já tendo esgotado os recursos de manutenção para restauração de suas características originais.

Para modernizar os sistemas de excitação das PCHs podemos adotar as opções [2,3] resumidamente apresentadas como:

1-Modernização Parcial, mantendo-se a excitatriz rotativa e promovendo o controle da tensão do campo desta excitatriz, figura 1.

2-Modernização Total, controle direto da tensão do campo do gerador, figura 2.

Para definição do projeto final do sistema completo de excitação, a ser adotado em cada instalação, foram avaliadas algumas unidades geradoras, de modo a se ter um diagnóstico dos demais equipamentos do sistema de excitação, excitatriz rotativa principal, disjuntor de campo e resistência de descarga de campo, levantamento de parâmetros dos geradores e excitatriz principal [4,9], bem como avaliação de custos e prazos de reforma e manutenção. Nas PCHs onde o diagnóstico se mostrou favorável optamos pela modernização parcial, caracterizada pela substituição do regulador eletromecânico por um sistema composto por um regulador digital e excitatriz estática alimentando o campo da excitatriz principal. A excitatriz piloto permanece acoplada mecanicamente ao eixo do gerador, mas é desconectada eletricamente.

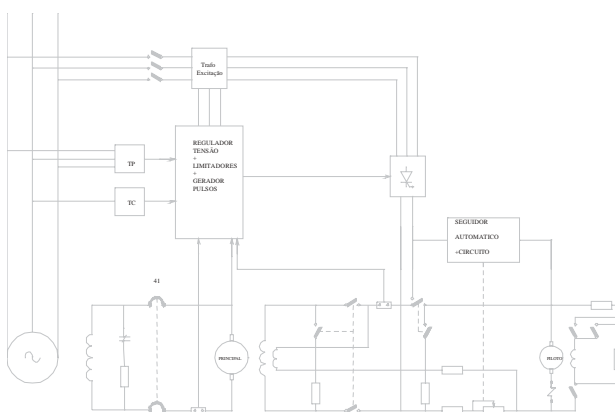


FIGURA 1. Sistema de Excitação – Modernização Parcial.

A figura 1 acima mostra esquematicamente a configuração do sistema de excitação [2] que será empregado nas modernizações parciais.

Para as demais PCHs, devido aos constantes problemas associados principalmente ao desempenho da excitatriz rotativa, deverá ser adotada a opção de modernização total.

As excitatrizes piloto e principal permanecem acopladas mecanicamente ao eixo do gerador, mas são desconectadas eletricamente.

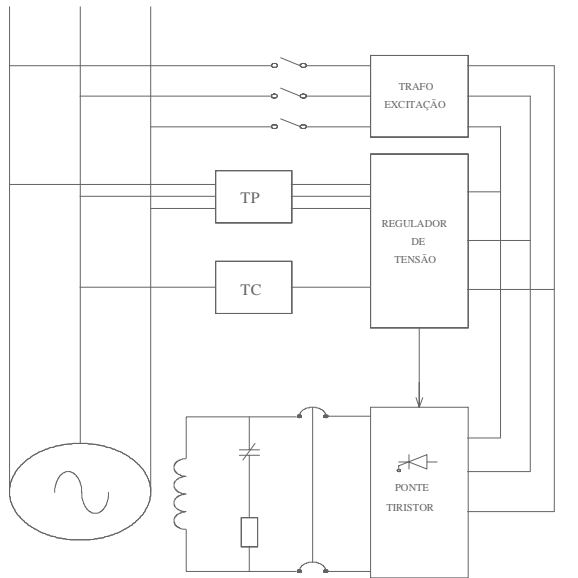


FIGURA 2. Modernização Total.

A figura 2 acima mostra a configuração para modernização total.

Para efeito de especificação e aquisição os equipamentos do sistema de excitação foram divididos em subgrupos: Controlador Digital (Regulador de Tensão), Circuito de Potência (Geração, Amplificação e Sincronismo de Pulso + Crowbar + Ponte de Tiristores) e Transformador de Excitação.

O software do controlador digital, que é o objeto do programa P&D, foi desenvolvido pela CEMIG em conjunto com empresa ALTUS SISTEMA DE INFORMÁTICA utilizando inicialmente o PLC ALTUS – SÉRIE QUARK 801 e posteriormente adaptado para a série Ponto PO3045. Os demais equipamentos foram dimensionados e especificados pela CEMIG. Com a finalidade de agilizar e reduzir ainda mais o custo do protótipo foram utilizados alguns componentes reservas disponíveis nas instalações da CEMIG.

## II. REGULADOR DE TENSÃO UTILIZANDO PLC

A função do sistema de excitação é estabelecer a tensão de saída do gerador.

A função do regulador de tensão é controlar a tensão terminal da máquina, dentro de limites estabelecidos e com velocidade de ação adequada do ponto de vista de estabilidade do sistema de potência.

A proposta deste projeto é o desenvolvimento de um software utilizando um PLC como regulador de tensão digital.

A CPU utilizada possui 16 entradas digitais, 16 saídas digitais, 8 entradas analógicas e 04 saídas analógicas. Serão utilizados transdutores para obtenção dos sinais

analógicos correspondentes as grandezas tensão terminal, potência ativa, potência reativa e frequência. O PLC é alimentado através de uma fonte de 24 Vcc que é também empregada para alimentar as entradas e saídas digitais do PLC. Apesar dos cartões de entrada e saídas digitais possuir isoladores galvânicos, optamos por utilizar acopladores a relés em todos os sinais para melhor condição de isolamento de surtos.

## III. DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE DO REGULADOR

O software do regulador foi desenvolvido utilizando os blocos normais da linguagem de programação Ladder e o aplicativo MASTERTOOL utilizada pela ALTUS, sendo que o programa aplicativo é composto por vários módulos estruturados em rotinas e sub-rotinas de acordo com suas funções. O módulo de execução E018, que pode ser entendido como programa principal, é executado de acordo com o tempo de interrupção de programa, o qual foi definido em 10 ms. Este módulo engloba as funções de controle PI, seletores de mínimo e máximo e leitura das variáveis de entrada.

O software desenvolvido para a malha de regulação contém as funções de controle de tensão, limite instantâneo de corrente de campo, limite temporizado de corrente de campo, limite de subexcitação e limite V/Hz, contemplando também rotinas de execução das funções de excitação inicial, desexcitação, comando e sinalizações.

Podemos considerar que com a estrutura proposta o software desenvolvido torna-se bastante flexível e atende completamente todos os requisitos de projetos de sistemas de excitação.

A malha de controle de tensão recebe o sinal da tensão terminal através de um (01) transdutor e compara este sinal com a referência digital e a diferença entre estes é enviada para a entrada PI. A referência digital recebe pulsos para aumentar ou diminuir a tensão através de entradas digitais. O tempo de excursão entre os valores mínimo e máximo é ajustado entre 50 e 120 s e a faixa de variação de saída desta referência está configurada para corresponder a uma variação de  $\pm 10\%$  da tensão do gerador. Ao receber um comando externo de excitação são energizados os contadores de excitação inicial e de campo e a referência de tensão do regulador é levada de 0 a 100% em uma taxa (rampa) ajustável, permitindo obter uma excitação adequada da tensão durante o processo de partida. Ao atingir um determinado valor de tensão terminal no qual a ponte de tiristores já pode ser controlada pelo regulador de tensão, a CPU desativa a saída digital que introduzia o sinal de comando de excitação inicial e assim temos a abertura do contator de excitação inicial. Ao atingir o valor nominal da tensão terminal o operador pode comandar a referência de tensão para aumentar ou diminuir. O sinal de referência que é aplicado ao PI recebe ainda através de seletores de

sinais máximos e mínimos os sinais das malhas de controle dos limitadores V/Hz, limitador de corrente de corrente de campo de ação instantânea e temporizada e limitador de mínima excitação, incluindo ainda uma entrada para compensação de reativo e outra para aplicação de degrau na referência de  $V_t$ . A saída do PI corresponde ao sinal de controle que será aplicado ao circuito de disparo que gera os pulsos para a ponte de tiristores.

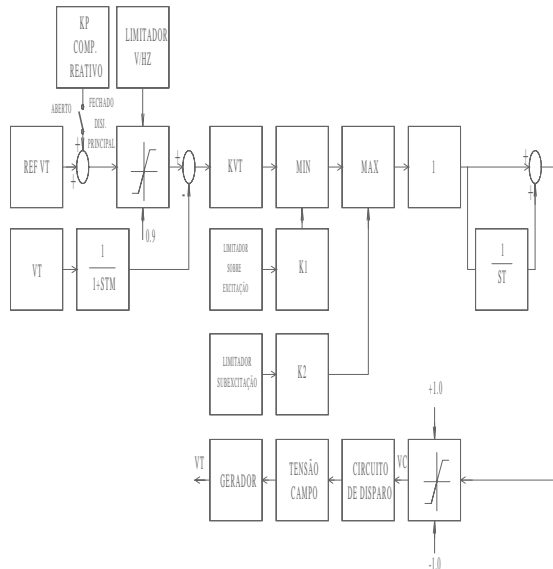


FIGURA 3. Diagrama de Blocos do Regulador.

Para a opção modernização parcial é incluída, na saída do PI, uma malha de controle para compensação do atraso devido a excitatriz rotativa, tornando a resposta deste sistema tão rápida quanto nos processos de modernização total.

A figura 4 mostra um diagrama esquemático com a configuração adotada para a montagem que foi feita para testar o protótipo no laboratório, utilizando um sistema de simulação em malha fechada e com elementos analógicos conectados a este simulador [5,6,8].

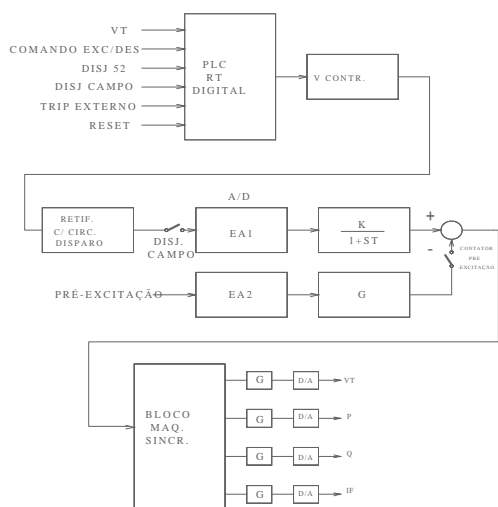


FIGURA 4. Diagrama de Blocos com Esquema Básico de Montagem para Teste.

Como as documentações disponíveis das unidades geradoras não incluíam informações sobre os parâmetros dos geradores, foram estabelecidos programas de ensaios na unidade 03 da UHE Martins, usina escolhida para a provável instalação do protótipo, para identificação dos parâmetros deste gerador [4,9].

A UHE Martins esta localizada no município de Uberlândia – MG, com capacidade instalada de 7,7 MW, divididos em quatro unidades geradoras, possui reservatório de acumulação e com data de início de operação em 1946.

As figuras 5, 6 e 7 mostram as curvas de respostas do sistema ao comando de excitação, degrau a vazio e atuação do limitador de  $I_f$  temporizado em operação em carga.

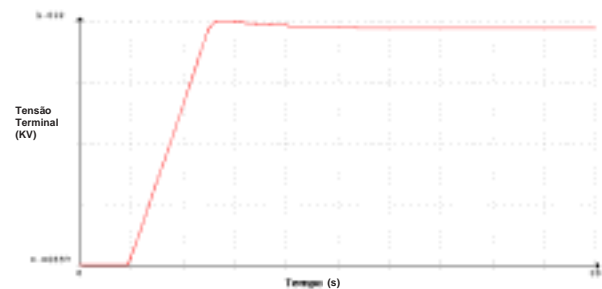


FIGURA 5. Excitação Automática.

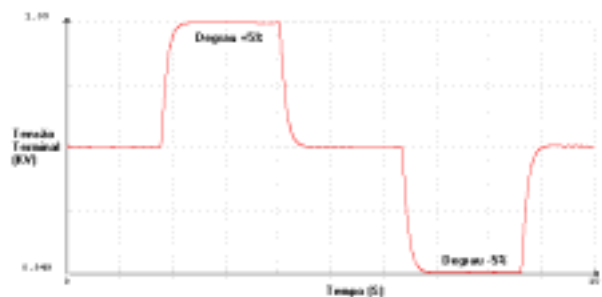


FIGURA 6. Degrau de Tensão a Vazio  $\pm 5\%$  de  $V_t$ . Aplicado na Referência do Regulador de Tensão Proposto

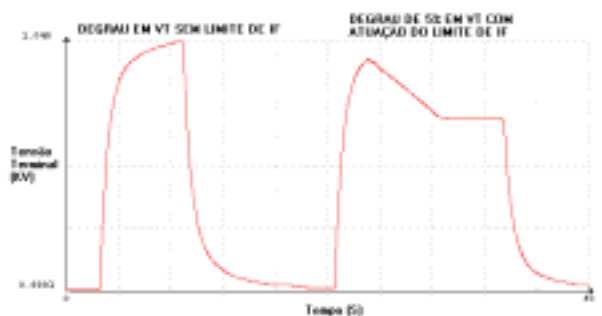


FIGURA 7. Degrau de Tensão sem e com atuação do Limitador Temporizado de  $I_f$  Operação em Carga.

A figura 7 mostra inicialmente a resposta do regulador ao degrau sem atingir a referência do limitador de corrente de campo. A segunda parte da curva mostra a atuação do limitador temporizado de  $I_f$  que teve sua referência reduzida para possibilitar a atuação do limitador neste ponto de operação.

O sistema possui também uma interface homem-máquina, com display de cristal líquido e teclado alfanumérico, que permite ajustar os parâmetros das malhas de controle, selecionar rotina de testes, bem como supervisão da falhas e monitoração de sinais.

#### ■ IV. CONCLUSÃO

O protótipo desenvolvido foi montado e testado em laboratório, conforme já comentado anteriormente, utilizando sistemas de simulação digital dinâmica em malha fechada e com elementos analógicos conectados a este simulador, incorporando funções básicas de controle e comando da regulação. Ressaltamos que foi motivo de preocupação a questão sensibilidade versus robustez, e os resultados mostram que o método de controle, bem como a técnica de implementação numérica, foram incorporados satisfatoriamente nas rotinas desenvolvidas para o PLC utilizado.

Os resultados dos ensaios são satisfatórios e comprovam a viabilidade técnica da aplicação de PLC's configurados como um sistema digital de regulação de tensão.

O tempo de ciclo do módulo E018 foi programado para 10ms e o tempo total do programa foi registrado em 40ms, quando utilizamos a CPU Quark 801/LV.

Para a CPU Ponto - PO 3045 – o programa desenvolvido ocupa um espaço bastante reduzido da capacidade da CPU e o tempo total de ciclo do programa foi reduzido para 15ms.

Esta série apresenta ainda outras vantagens tais como: maior resolução das variáveis que são adquiridas e processadas na faixa entre 0 a 32000 pontos (16 bits), facilidade de montagem e possibilidade de “substituição a quente” o que pode ser bastante útil para configuração redundante.

A utilização de CPU com maior capacidade de memória e rapidez de processamento possibilita estabelecer

novas estruturas de controle e funções de transferências, como por exemplo inclusão de um PSS, o que irá facilitar a adoção do PLC em projetos de modernização de geradores de maior porte.

O sistema desenvolvido deverá ser montado em painel e instalado na unidade 03 da UHE Martins.

Ressaltamos também que o software desenvolvido esta sendo adaptado para outros tipos de PLC's de fabricantes diferentes, o que permitirá uma maior flexibilidade para aquisição dos componentes.

#### ■ V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANDERSON, PAUL M. and A. A. FOUAD, Power System Control and Stability, The Iowa State University Press Ames, Iowa, 1977
- [2] REVISTA SIEMENS – Modernização de Sistemas de Excitação de Máquinas Síncronas, 02/89. anexo do Informe 31º Encontro Técnico Modernização de Sistemas de Excitação, Controle e Automação, SCM.GTMU.031-Vol II
- [3] Static Excitation Systems for Synchronous Generators in New Installations and Existing Power Plants, ABB.
- [4] CONCORDIA, C., Discussion in Determination of Synchronous Machine Electrical Characteristics by Test, IEEE Transactions on PAS, vol 102, nº 12, 3810-3815, December 1983.
- [5] IEEE COMMITTEE REPORT, Computer Representation of Excitation Systems, IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol PAS-87, June 1968, pp 1460=1464.
- [6] DE MELLO, F.P. & HANNET, L.H., Validation of Synchronous Machine Models and Derivation of Models Parameters from Tests, IEEE Transactions on PAS, vol 100, nº 2, 662-672, Feb 1981.
- [7] DEMELLO, F. P., and CONCORDIA, C. Concepts of Synchronous Machine Stability as Affected by excitation Control, IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol PAS-88, Apr 1969, pp 316-329.
- [8] ZENI Jr., N., Controle da Excitação de Geradores de Usinas Hidrelétricas: Modelagem, Identificação, Ajustes e Ensaio de Campo, Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis, Outubro de 1987.
- [9] ZENI Jr., N & MORAES, V.E.S., Identificação de Parâmetros de Geradores de Usinas Hidrelétricas Através de Ensaio de Rejeição de Carga, X SNPTEE, Curitiba, Outubro de 1989