

MODERNIZAÇÃO DO CONTROLE DOS GRUPOS GERADORES PARA ENSAIOS DE TRANSFORMADORES E REATORES NA FÁBRICA

Nelson Zeni Junior Fernando Happel Pons Ângelo Mibielli
Daniel Maurício Kamers Mauro Pacheco Ferreira Rodrigo Mussatto
Tiago César Busatta João Marcos Castro Soares

REIVAX Automação e Controle *

RESUMO

O trabalho descreve as modificações efetuadas na sala-prova de transformadores e reatores da Ansaldo-Coemsa. Três unidades compostas de grupos motor-gerador, configurados em cascata Kramer, tiveram seus controladores de tensão e velocidade modernizados.

Foram inseridos controladores conjuntos de tensão e velocidade de forma a propiciar uma operação paralela adequada explorando ao máximo as capacidades das unidades. Diversos subsistemas foram automatizados. Foi instalado um sistema supervisorio, em duas consoles na sala de comando, que facilitou sobremaneira a operação dos grupos, minimizando os riscos e facilitando os ensaios de transformadores e reatores.

ABSTRACT

This paper describes the modifications done in the Ansaldo-Coemsa transformers and reactors proof room. Three units with their motor-generator sets, configured in Kramer cascade, had their speed and voltage controllers modernized.

Speed and voltage controllers that work together were added in order to allow an appropriate parallel operation, taking the maximum advantage of the units capacity. Several sub-systems were automated. A supervisory system was installed, in two desktops at the control room and brought great facilities to the groups operation, minimizing the risks and making the transformers and reactors tests easier.

PALAVRAS-CHAVE

Controle - Geradores - Automação - Ensaios.

1.0 - INTRODUÇÃO

Na sala-prova da ANSALDO-COEMSA são realizados ensaios em transformadores e reatores de grande porte. Os ensaios de alta tensão utilizam o gerador de impulsos, e os de tensão em frequência industrial ou alta frequência utilizam grupos geradores como fonte de tensão alternada.

* Rodovia SC 401, Km 1 - Parque Tecnológico Alfa – CELTA
Florianópolis - SC - CEP 88030-000
Fone/Fax: (048) 334 9000 - E-mail: nzj@reivax.com.br

Há três conjuntos de grupos geradores acionados por cascata Kramer (acionador de velocidade ajustável). Cada grupo possui um motor assíncrono de rotor bobinado, um motor CC, cuja armadura é alimentada pelo enrolamento rotórico do motor assíncrono através de uma ponte retificadora a diodos, e dois geradores síncronos, um operando a 50/60Hz e outro até 200Hz para ensaios de indução. Desta forma, controla-se a frequência e a tensão da carga a ser ensaiada. A terceira unidade não possui gerador de 200Hz (Ver Figuras 1, 4 e 5).

A ANSALDO-COEMSA sentiu a necessidade de modernizar este sistema. A troca de todo o equipamento não era conveniente por apresentar uma relação custo/benefício desfavorável pois equipamentos deste porte - motor de indução com 600kW e geradores de 3MVA - não são de prateleira e têm um custo elevado. Optou-se por modernizar os equipamentos de controle e dotar os grupos de uma maior monitoração de certas grandezas tais como temperatura de mancais, fluxo de água de refrigeração, etc..

O controle original era bastante grosseiro tornando difícil a operação dos grupos em paralelo e impossibilitando ensaios de cargas de maior porte. Além disto, os grupos freqüentemente alimentam cargas monofásicas cujo controle, para o caso da operação em paralelo, torna-se mais difícil. Por outro lado, para poder alimentar cargas de até 60MVA lança-se mão de um banco de capacitores cuja potência pode chegar a ser 20 vezes maior do que a potência dos geradores, trabalhando praticamente em ressonância com a carga. O efeito de amplificação das harmônicas de corrente é enorme. Fenômenos como auto-excitação não são raros, necessitando um controle acurado das variáveis além de proteção adequada.

A ANSALDO-COEMSA solicitou ao fornecedor um projeto básico de controle dos grupos. Este fez o projeto executivo, construiu e comissionou os equipamentos, adotando a seguinte solução:

- um equipamento para cada máquina com os transdutores, circuitos de acionamento para os campos do gerador e do motor CC e um multi-controlador digital executando as funções de automatismo, partida, controle de velocidade e controle de tensão, totalmente configurável "a quente" pelo usuário, com uma interface amigável, e com a capacidade mínima de executar 450 funções do tipo bloco - integradores, filtros, blocos não-lineares, conversores A/D e D/A e blocos lógicos - a cada 10ms;
- um controlador conjunto de tensão/reativos e potência/freqüência rodando o mesmo "software" básico do controle primário;
- um sistema supervisor, como interface entre a operação e os equipamentos composto por duas unidades de supervisão;
- um "link" em fibra ótica conectando os reguladores individuais, controle conjunto e sistema supervisor.

2.0 - DESCRIÇÃO DOS GRUPOS

Há três grupos geradores na sala prova. O mais antigo, já com mais de 30 anos, é uma cascata Kramer que, além dos motores de indução e corrente contínua, possui dois geradores no mesmo eixo: um para gerar sinais com freqüência de 50 a 60 Hz e outro que possibilita a geração em 200 Hz. O grupo de 60 Hz é de 3 MVA e o de 200 Hz é de 200 kVA. O grupo 2 é similar porém o gerador de 200 Hz é de 600 kVA. O grupo 3 não possui gerador de 200 Hz.

A partida dos grupos se dá pela aplicação de tensão alternada à armadura do motor

de indução. Ao ser aplicada corrente no campo do motor de corrente contínua se produz um torque no mesmo sentido do torque do motor de indução. A corrente rotórica do motor de indução - que, após retificada, é a corrente de armadura do motor CC - é limitada através de um reostato refrigerado a óleo. A medida que a partida progride, este reostato vai sendo diminuído até zero. A velocidade do grupo passa a ser controlada por um regulador digital em malha fechada que atua sobre o campo do motor de corrente contínua, modulando o torque do motor de indução - e do motor de corrente contínua - de forma a equilibrar geração e carga. Estando a máquina em sua condição programada de velocidade, ou seja, atingido o regime permanente de velocidade, procede-se à excitação. A excitatriz é semi-estática: uma ponte de tiristores excita o campo de uma excitatriz rotativa que, por sua vez, excita o gerador selecionado (60 ou 200 Hz). Nesta aplicação optou-se por não utilizar uma ponte de tristorres diretamente sobre o campo do gerador em função de restrições dos ensaios: geração de harmônicas em cargas capacitivas, perturbação dos ensaios de descargas parciais e outras. A Figura 1 apresenta a configuração de uma unidade e seus controles.

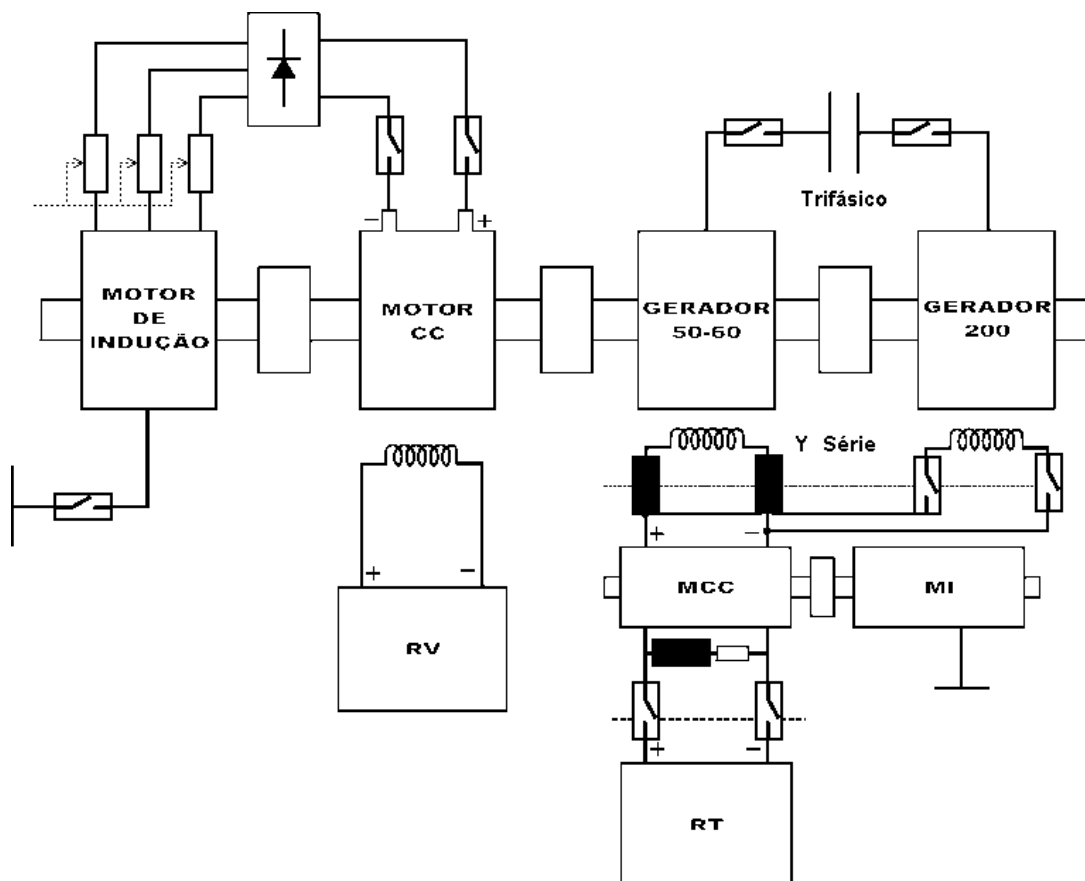


FIGURA 1 - Configuração básica das unidades.

Note-se que não apenas se pode escolher entre os geradores de 60 ou de 200 Hz para operar como tais geradores podem ter seus enrolamentos estáticos configurados (estrela/triângulo e série/paralelo). Tais reconfigurações trazem algumas dificuldades devidas a grande variação de valores máximos possíveis de tensão e corrente, levando a um dimensionamento bastante crítico da transdução, principalmente no tocante à precisão. Além do mais, o ensaio de cargas monofásicas é freqüente, o que leva a desbalanços muito grandes de tensão.

Todos estes fatores apontam para um sistema não usual cujo controle convencional de tensão e velocidade não pode ser utilizado.

Em face destas características muito particulares, um esquema especial de ensaios de fábrica foi montado, de maneira a simular o sistema completo incluindo as máquinas e cargas típicas. Tal sistema resultou em mais de mil blocos de controle e centenas de variáveis de estado, conforme apresenta a Figura 2, e permitiu uma depuração significativa das estratégias de controle inicialmente pensadas.

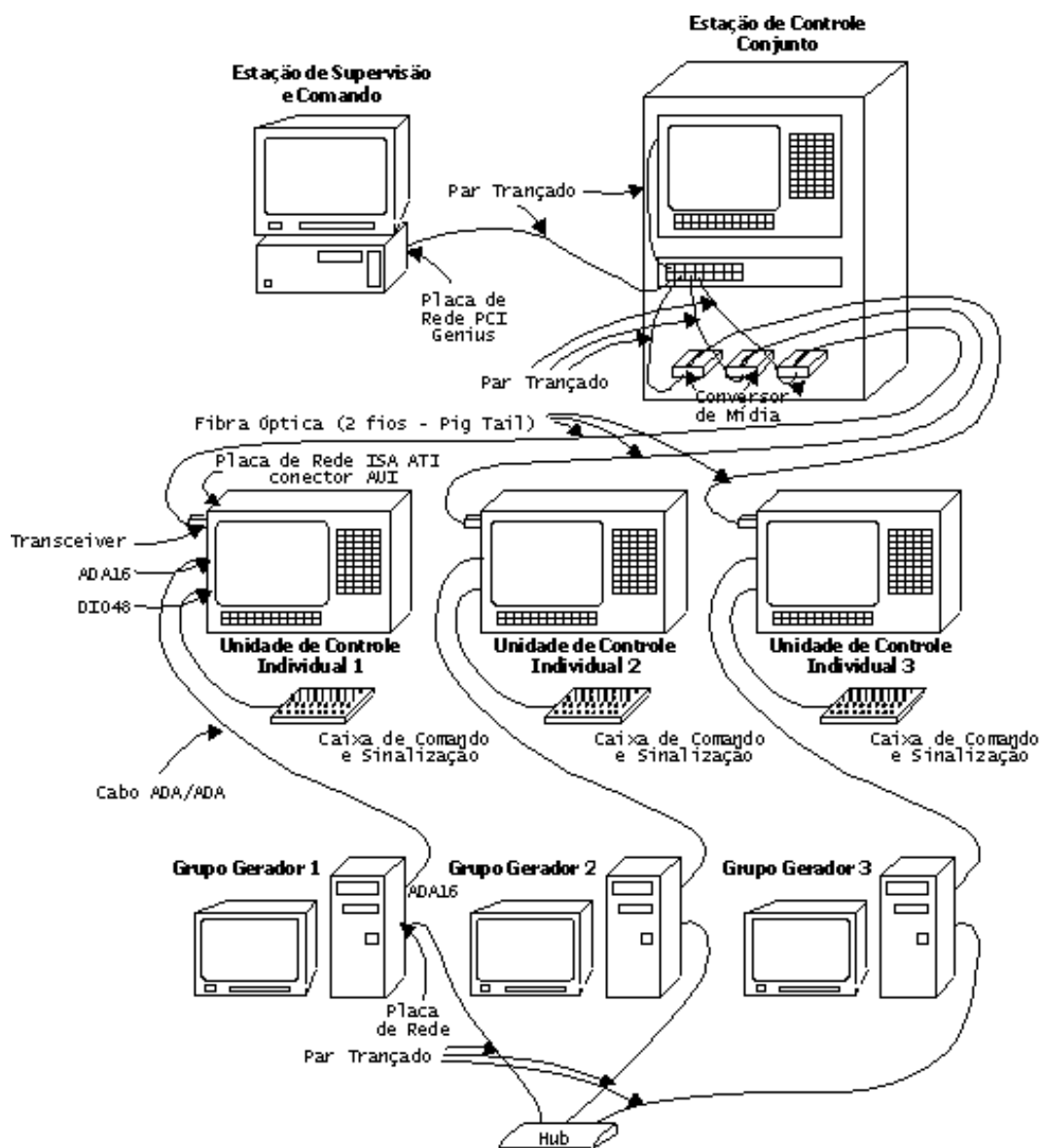


FIGURA 2 - Arquitetura utilizada para ensaios.

3.0 - DESCRIÇÃO DOS CONTROLES

3.1 - Arquitetura

A arquitetura prevista para o sistema de controle é apresentada na Figura 3.

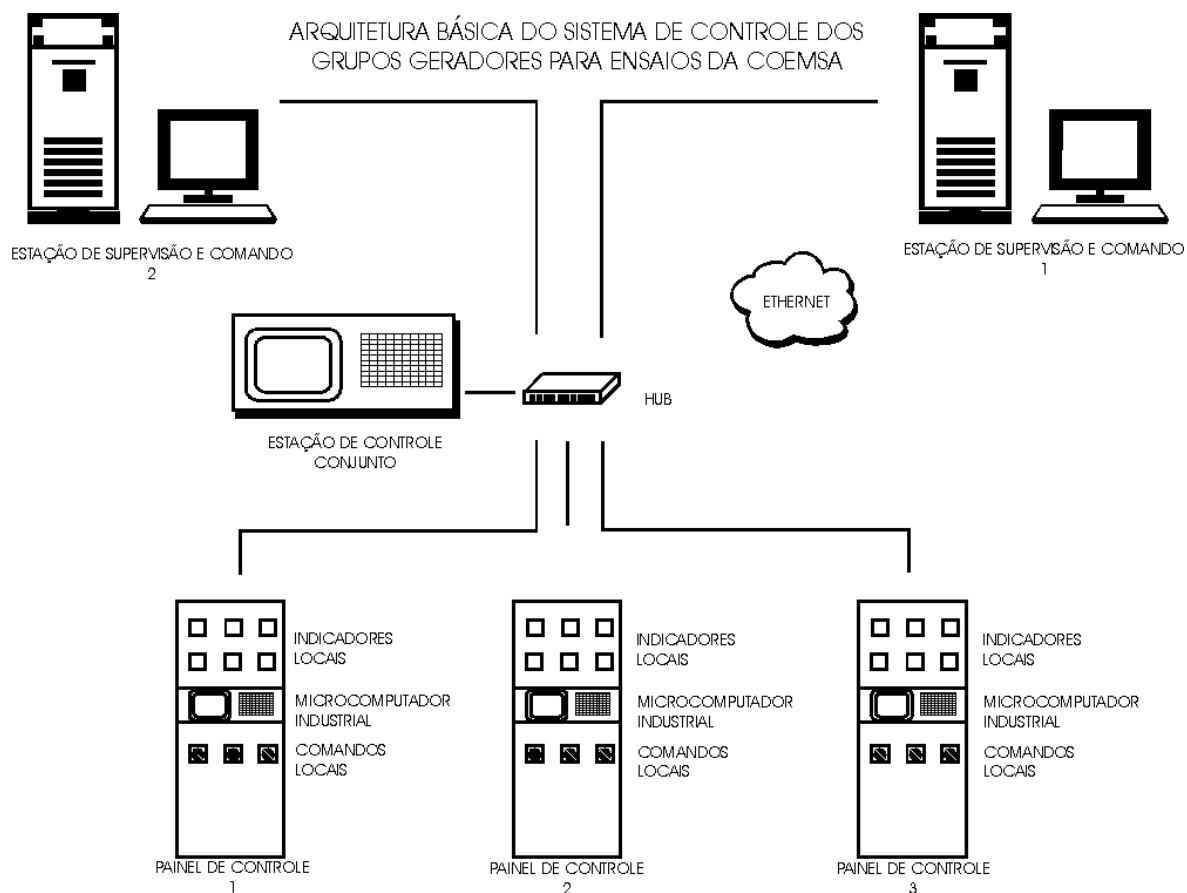


FIGURA 3 - Arquitetura do sistema.

Em cada unidade, um controlador digital executa as funções de automatismo, controle de tensão e controle de velocidade. Um controlador conjunto, de tensão e velocidade, facilita a operação em paralelo das unidades. Todos estes controladores estão interligados em estrela juntamente com duas consoles rodando um sistema supervisório, numa rede Ethernet [1], em fibra ótica, com protocolo TCP/IP [5].

3.2 - Componentes de Software

3.2.1 - Sistema Operacional

Os controladores primários são baseados em PC, com um sistema operacional DOS, executando uma aplicação REIVAX - o SMC, Sistema de Monitoração e Controle - sobre um núcleo multi-tarefas (RT-Kernel) [4]. O SMC é derivado do SMO [2], também propriedade da REIVAX, que executa apenas tarefas de monitoração.

3.2.2 - Ambiente de Programação

Os modelos de automação e controle são declarados como blocos [3]. Por outro lado, com as características atípicas deste tipo de equipamento, era de se esperar que os trabalhos de campo apontassem para alguma modificação das leis de controle inicialmente previstas. Como a declaração dos blocos pode ser feita "a quente", tais reconfi-

gurações foram muito facilitadas.

3.2.3 - Supervisório

O sistema supervisório utilizado foi o "In Touch" da Wonderware [6]. Foram desenvolvidas telas individuais de supervisão para cada máquina e uma tela geral da instalação além de telas com histórico de alarmes e eventos (uma por grupo). A Figura 4 apresenta a tela geral das unidades.

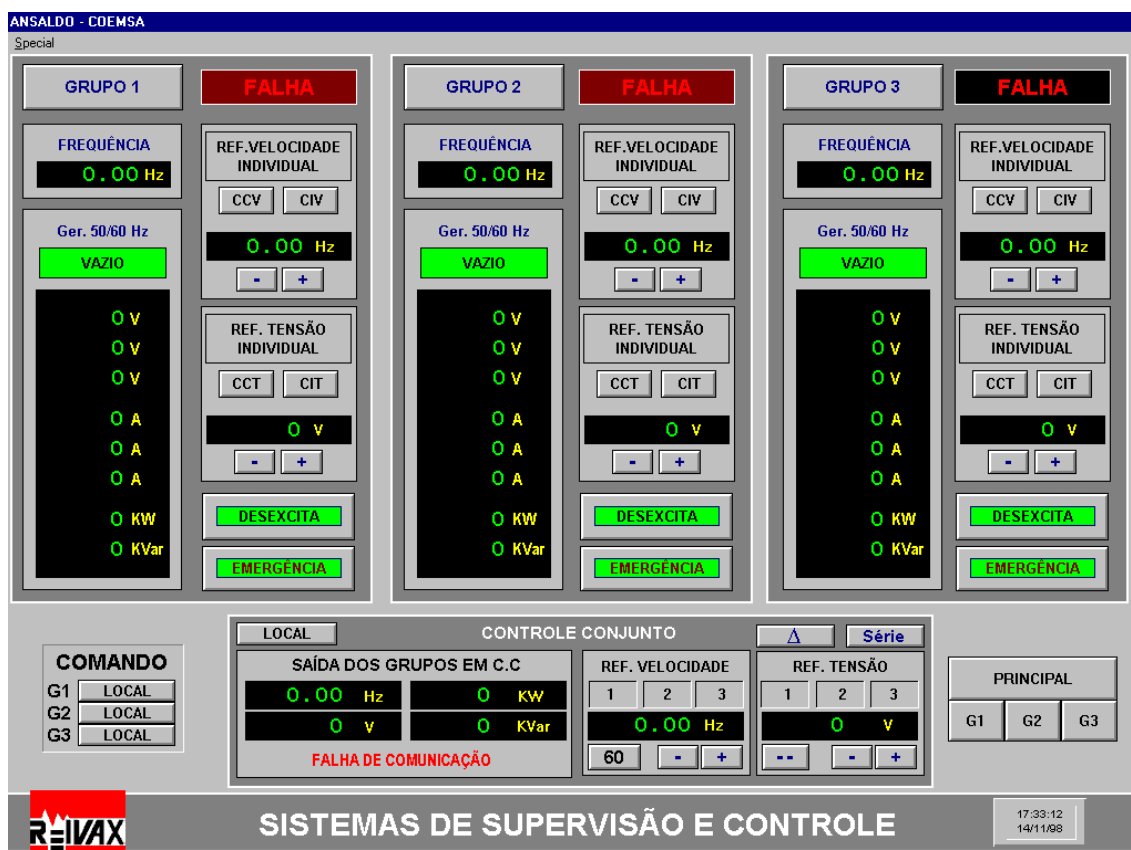


FIGURA 4 - Tela principal da supervisão.

3.3 - Controle de Velocidade

O diagrama de blocos do controle individual de velocidade está apresentado na Figura 5. Não há apenas funções de controle mas também funções de limitação dinâmica, confinando a máquina primária - motor de indução e motor de corrente contínua - a zonas operativas seguras.

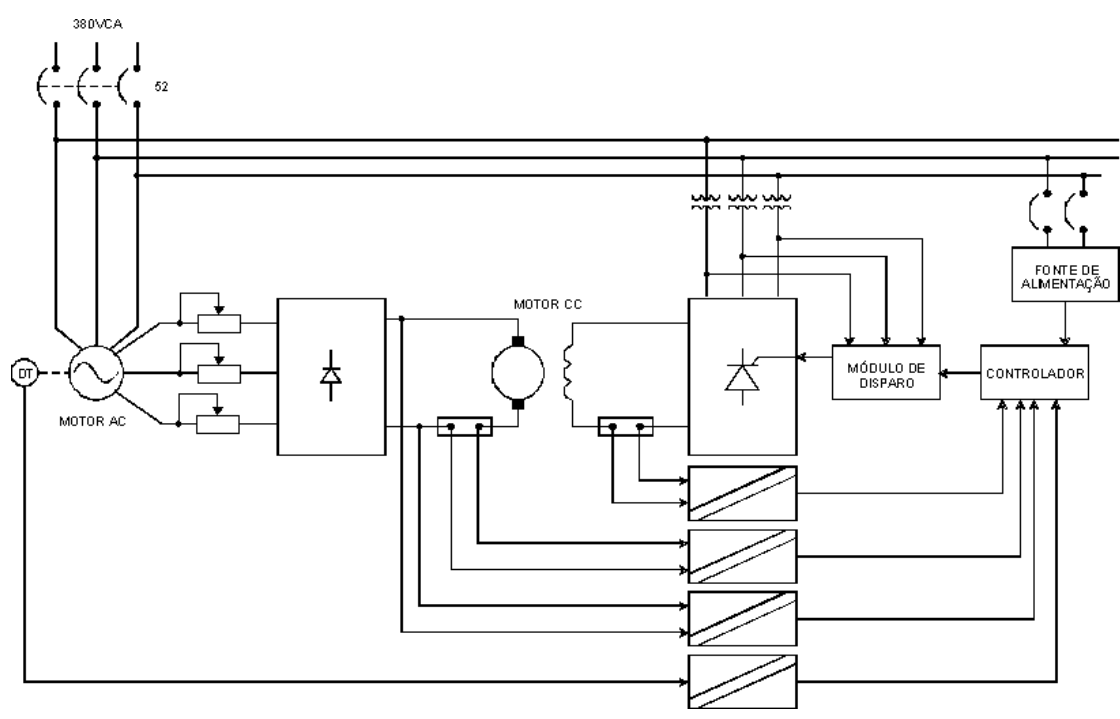


FIGURA 5 - Diagrama de blocos do Regulador de Velocidade.

3.4 - Controle de Tensão

O diagrama de blocos do controle individual de tensão está apresentado na Figura 6. Há, novamente, função de limitação dinâmica de forma a proteger o enrolamento de campo da máquina contra sobrecorrentes devidas a possíveis sobreforços de controle.

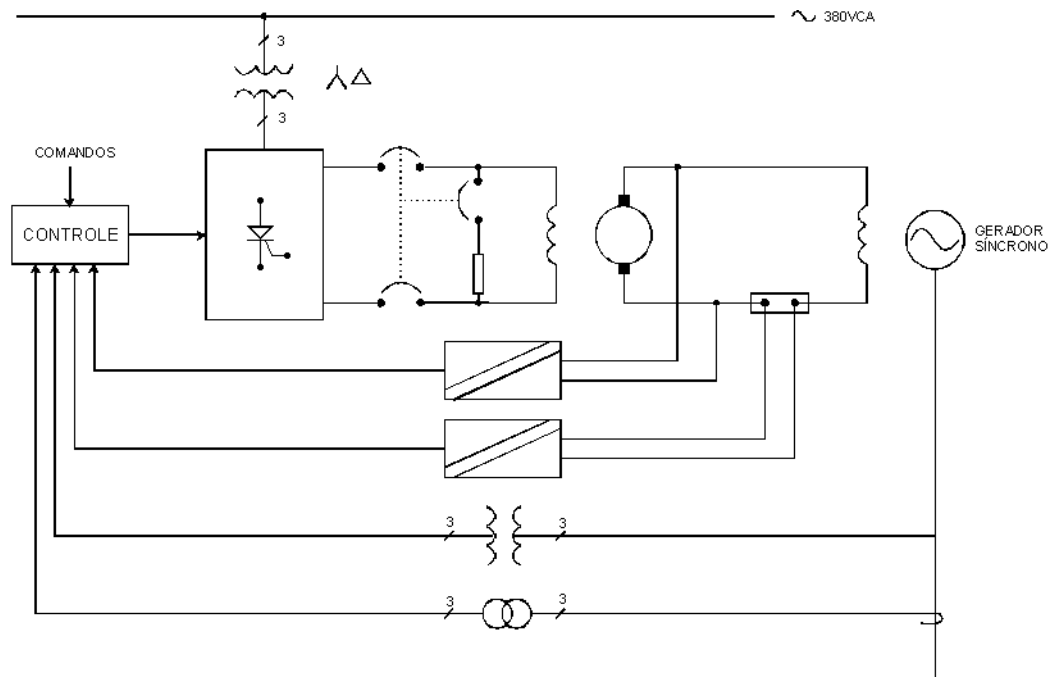


FIGURA 6 - Diagrama de blocos do Regulador de Tensão.

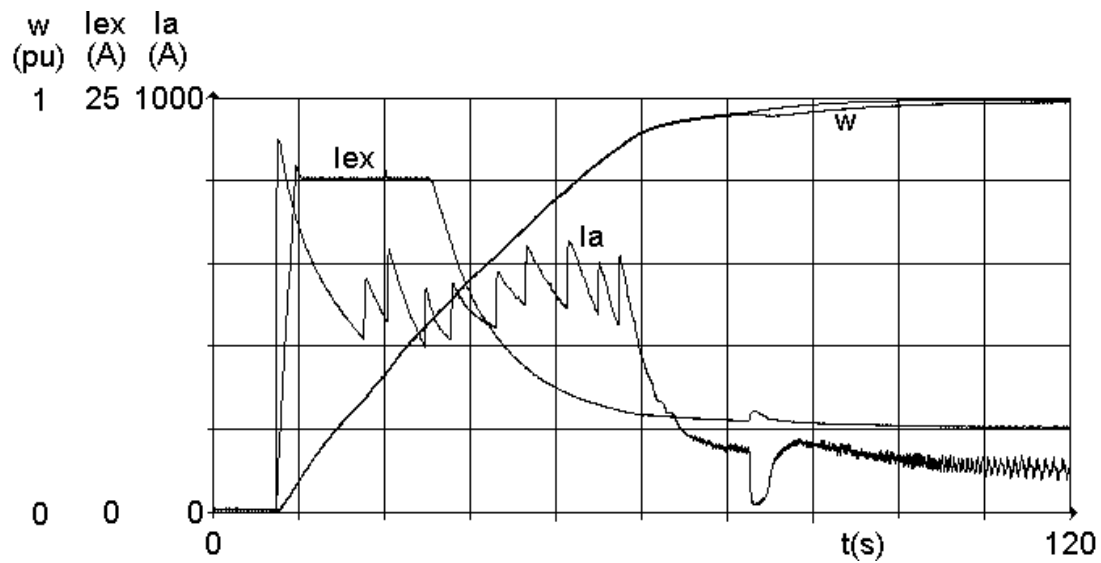


FIGURA 10 - Partida da unidade 3.

4.2 - Ensaio com o Regulador de Velocidade

A resposta a um degrau na referência do regulador de velocidade é apresentada na Figura 11. Estão plotados o estímulo e a saída. Note-se que a resposta é rápida e amortecida.

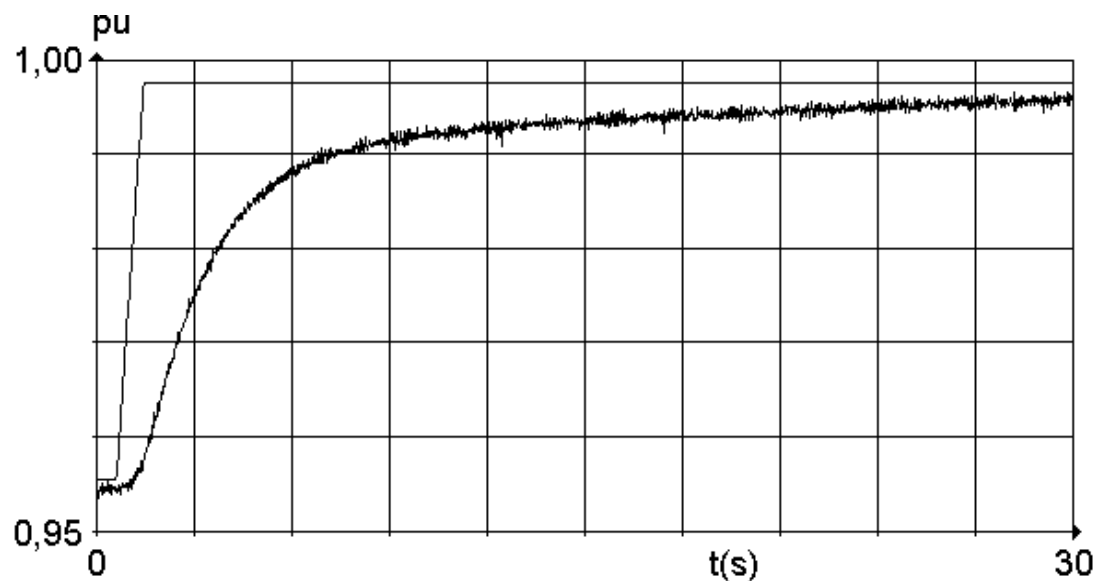


FIGURA 11 - Resposta ao degrau na referência de velocidade.

A resposta ao degrau na referência do RV, forçando a atuação do Limitador de Corrente de Armadura do motor CC é apresentada na Figura 12. Note-se que o limitador possui um desempenho dinâmico muito bom.

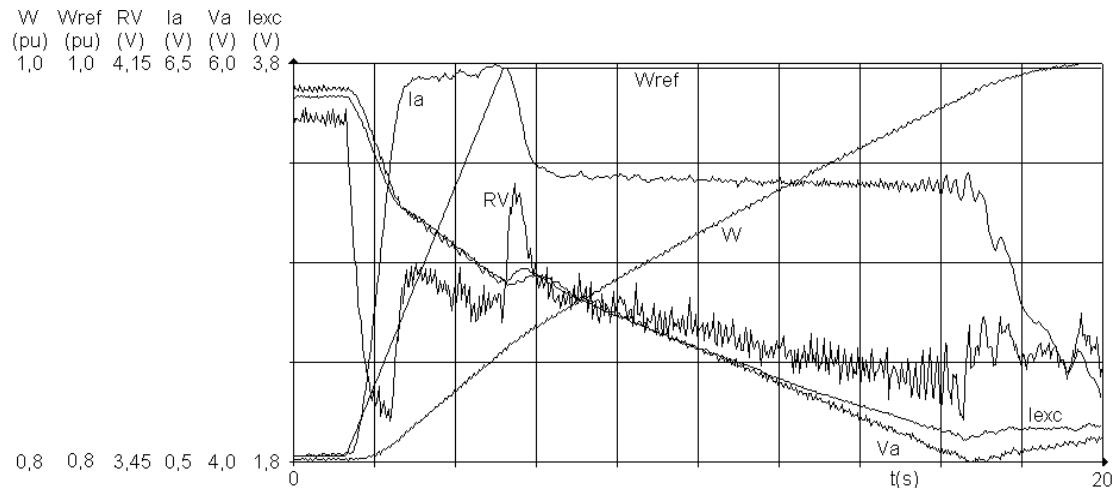


FIGURA 12 - Resposta do Limitador de Corrente de Armadura.

Na Figura 13 é apresentada a resposta ao degrau na referência do RV, forçando a atuação do Limitador de Corrente Máxima de Excitação do motor CC. Novamente constata-se um desempenho transitório muito bom.

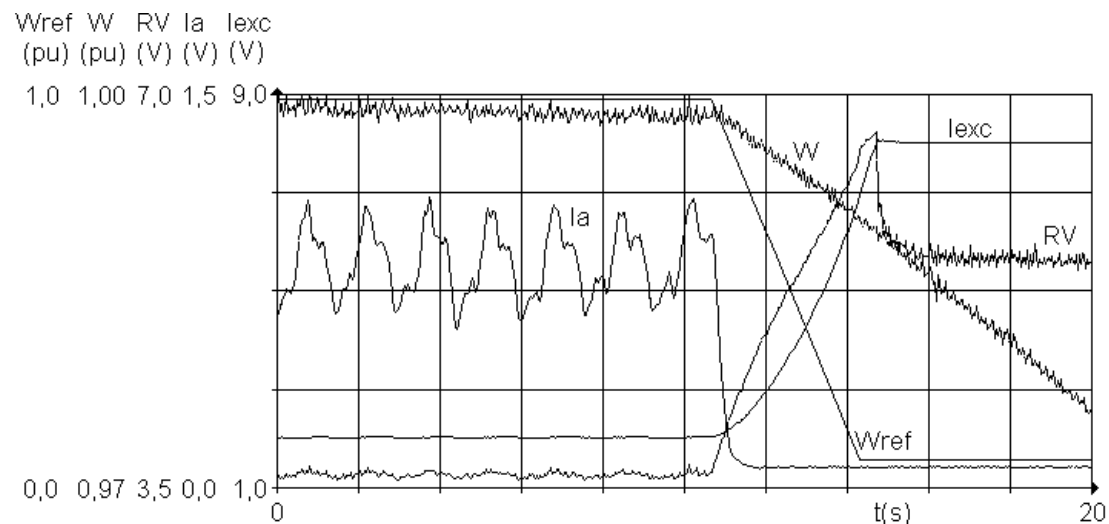


FIGURA 13 - Resposta do Limitador de Corrente Máxima de Excitação.

O Limitador de Corrente Mínima de Excitação do motor CC é necessário para evitar sobrevelocidade e sobretorque nos dois motores. Foi definido com uma estrutura similar à do limitador de máxima excitação e apresentou desempenho dinâmico similar.

4.3 - Ensaio com o Regulador de Tensão

A Figura 14 apresenta a resposta ao degrau na referência do regulador de tensão. Note-se que a resposta dinâmica é razoavelmente rápida, em se tratando de um sistema de excitação que preservou, por motivos já expostos, a excitatriz rotativa.

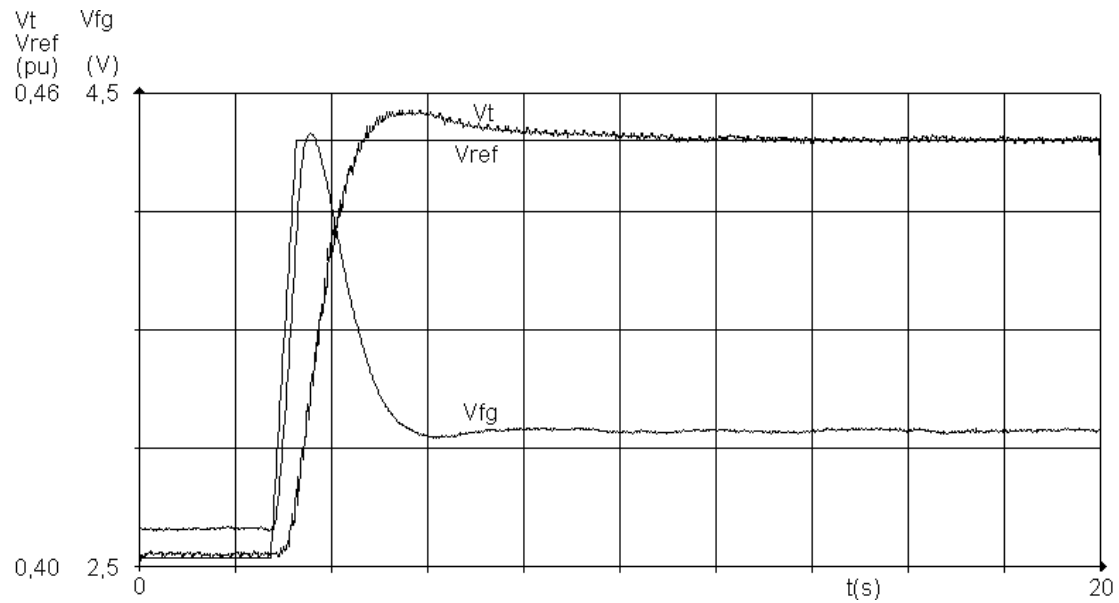


FIGURA 14 - Resposta ao Degrau no Regulador de Tensão.

A resposta ao degrau na referência do RT, forçando a atuação do Limitador de Corrente Máxima de Campo é apresentada na Figura 15. Pode-se observar a ação eficiente e estável deste limitador dinâmico.

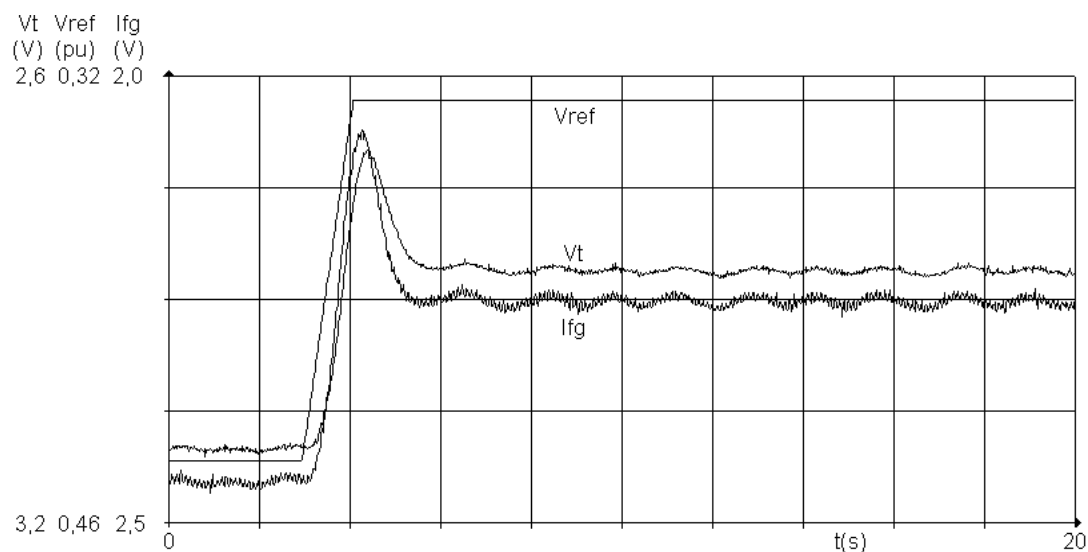


FIGURA 15 - Resposta do Limitador de Corrente de Campo.

4.4 - Ensaio com os Controles Conjuntos de Velocidade e Tensão

Os controladores conjuntos de tensão e velocidade são controladores secundários, bem mais lentos que os controladores primários. Haja vista que as respostas destes reguladores foram ajustadas com bastante amortecimento, ênfase maior foi dada à equalização entre máquinas.

No caso dos controladores conjuntos de velocidade a dificuldade residia em equalizar potências máximas de 200 kW de saída das máquinas com transdutores de escala máxima de saída até 12.000 kVA. Tal diferença entre valores de fundo de escala e faixa normal de trabalho prendia-se ao fato de que as máquinas podem ter seus enrolamentos estatóricos reconfigurados, desde uma estrutura do tipo delta-paralelo até uma estrutura do tipo estrela-série. Tais reconfigurações fazem com que a tensão possa variar em uma faixa de 1 a 3,46 pu tomando como base o nível de tensão mais baixo. A corrente varia desta forma também. Os transdutores têm que suportar as condições extremas e, desta forma, tem-se requisitos de erro bem rigorosos para estes dispositivos. A precisão dos controladores conjuntos depende basicamente destes transdutores. A despeito destas dificuldades conseguiu-se uma boa equalização nos controladores de velocidade, respeitando as potências diferentes dos três grupos.

No caso do controlador conjunto de tensão, a equalização de potência reativa foi um pouco mais complicada pelas características de grande desequilíbrio causado pelas cargas monofásicas e, também, pelo elevado conteúdo harmônico associado à pesada compensação de fator de potência utilizada em grandes cargas reativas. Assim mesmo pode-se afirmar que os resultados obtidos podem ser considerados muito bons.

A facilidade propiciada pelos controles conjuntos na equalização das máquinas, facilitou sobremaneira a operação tornando os ensaios mais rápidos e precisos.

5.0 - CONCLUSÕES

O trabalho efetuado na ANSALDO-COEMSA foi um trabalho de características bem peculiares, pois sistemas como o apresentado não são comuns.

As conclusões mais importantes são as seguintes:

- a ANSALDO-COEMSA passou a dispor de uma sala-prova de melhor qualidade pois as grandezas básicas a controlar em ensaios - tensão e frequência - estão agora sob o controle, supervisão e limitação de uma rede de dispositivos digitais precisos e eficientes;
- desta forma, os ensaios podem ser realizados de forma mais rápida e segura com benefícios não apenas à própria ANSALDO-COEMSA mas também aos clientes;
- por outro lado, ao dispor de controladores mais eficientes, não apenas se está tendo maior precisão nos ensaios mas se está, igualmente, protegendo a carga e as próprias máquinas da operação fora dos limites impostos pelos testes;
- o uso de PCs em automação industrial tende a se consolidar pois as facilidades em relação aos controladores convencionais são imensas;
- ressalte-se que o uso de PCs não mostra-se atraente apenas pelas facilidades associadas. Na verdade a alta confiabilidade hoje associada à estes dispositivos, principalmente em hardware desenvolvido para aplicações industriais, são predicados inegáveis que induzem a esta escolha;
- a programabilidade "a quente" é uma característica fundamental para aplicações não-usuais como esta, onde a possibilidade de se contemplar características dinâmicas imprevistas é muito grande;
- foi fundamental, além da utilização das características de programabilidade da aplicação, o aproveitamento dos recursos de aquisição, simulação, capacidade de registro, e visualização "on-line" de sinais,

disponíveis no software SMC, integrado a um núcleo multi-tarefa e a suporte TCP/IP, permitindo alto grau de flexibilidade e facilidade nos ensaios e no comissionamento, além da economia de recursos de processamento proporcionada pelo melhor aproveitamento dos tempos de CPU através do recurso multitarefa;

- o ambiente da aplicação caracteriza-se como bastante atípico: uma sala-prova onde os dispositivos devem tentar gerar a menor Interferência eletromagnética possível ao lado de um gerador de impulsos com descargas da ordem de 3MV! Assim sendo, escolheu-se efetuar as comunicações entre-máquinas por meio óptico, insensível às descargas do gerador de impulsos;
- o meio físico utilizado - rede ETHERNET (com protocolo TCP/IP) - mostrou-se robusto e confiável. Cuidado foi tomado de forma a proteger os cabos de fibra ótica com a instalação de eletrodutos dedicados a eles;
- o uso de um sistema supervisorio foi rapidamente assimilado, mesmo pelos operadores mais antigos, em parte pelas dificuldades operativas que o sistema original impunha;
- o uso de sistemas protetivos, de retaguarda às ações de controle, é fundamental para resguardar os equipamentos em situações emergenciais de falhas;

5.0 - BIBLIOGRAFIA

- [1] IEEE, (1998) *IEEE Std 802.3 Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements*, home page: <http://standards.ieee.org>
- [2] FERREIRA, M. P., et al, (1997) *Um Sistema De Monitoração De Oscilações: Aplicação No Sistema Argentino*, XIV SNPTEE Seminário Nacional de Produção e Distribuição de Energia Elétrica, Belém-PA, Brasil.
- [3] REIVAX Automação e Controle, (1994) *SSD - Sistema de Simulação Dinâmico*, home page: <http://www.reivax.com.br>
- [4] RTKernel, *Real-Time Multitasking Kernel for C++*, versão 4.5, On Time Informatik GMBH.
- [5] (1995) *TCP/IP Tutorial and Technical Overview*, fifth edition, home page: <http://www.auggy.mlnet.com/ibm>
- [6] Wonderware, (1997) *Factory Suite – InTouch – Comprehensive Suport*, home page: <http://www.wonderware.com>