



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

Versão 1.0
XXX.YY
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO IV

GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA – GAT

INTEGRAÇÃO ENTRE O PACDYN E ANATEM PARA ESTUDOS DINÂMICOS DE SISTEMAS ELÉTRICOS

Sergio Gomes Jr. (*)

Alex de Castro

Thiago J. M. A. Parreiras

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA - CEPEL

RESUMO

Este artigo apresenta os desenvolvimentos recentes do programa PacDyn para utilização integrada com o programa Anatem em estudos dinâmicos de sistemas elétricos. É apresentado um caso exemplo onde os programas Anatem e PacDyn são eficientemente utilizados de forma conjunta. Pretende-se com isto evidenciar as vantagens de uma mudança de metodologia nos estudos dinâmicos do Sistema Interligado Nacional (SIN), onde nesta proposta o uso do PacDyn é mais corriqueiramente utilizado. A partir dos resultados pretende-se apresentar de forma tutorial a metodologia proposta em um caso prático.

PALAVRAS-CHAVE

Análise a pequenas perturbações, análise modal, dinâmica, estabilidade transitória.

1.0 - INTRODUÇÃO

O programa computacional Anatem (1)-(3) é uma das ferramentas mais utilizadas nas simulações de estudos de estabilidade eletromecânica do Sistema Interligado Nacional. A metodologia utilizada pelo Anatem é a simulação não linear no domínio do tempo, obtida pela integração numérica das equações algébrico-diferenciais que representam a modelagem do sistema elétrico, incluindo os geradores, rede de transmissão, cargas elétricas, elos de corrente contínua, equipamentos de compensação reativa, sistemas de controle, etc.

A análise dinâmica de sistemas elétricos de grande porte depende muito da experiência do engenheiro para a escolha certa dos casos a serem simulados e observação das grandezas relevantes, evitando a necessidade de execução de um número exagerado de simulações que, além de consumo excessivo de tempo, demandaria um tempo muito maior de análise. Particularmente, a análise do amortecimento de oscilações inter-áreas pela simulação no tempo possui um grau de complexidade grande por envolver normalmente uma quantidade razoável de usinas. Neste caso, apenas com um grande número de simulações torna-se possível identificar os equipamentos que mais participam dos modos de oscilação críticos ou quais estabilizadores ou equipamentos FACTS poderiam ser utilizados para a solução dos problemas de amortecimento. Além disto, o projeto de controladores ou equipamentos FACTS utilizando o Anatem é feito por um processo de tentativa e erro onde os diversos parâmetros envolvidos no projeto são variados e diversas simulações são realizadas na busca de uma otimização do desempenho do sistema.

O programa computacional PacDyn (4),(5), por utilizar a metodologia de análise modal, feita a partir da linearização do sistema de equações em torno de um ponto de operação, traz uma série de facilidades na análise do amortecimento de oscilações eletromecânicas, entre as quais:

- Identificar os modos de oscilação que tornam o sistema pouco amortecido ou instável.

- Determinar a natureza dos modos de oscilação que podem ser classificados em modos eletromecânicos (locais, inter-áreas, intra-planta ou multi-máquinas) ou modos de controle (modo da excitatriz, modo do regulador de velocidade, modos relativos a equipamentos FACTS, etc.).
- Determinar os locais mais adequados para a estabilização do sistema a partir da instalação ou reajuste de estabilizadores ou equipamentos FACTS e realizar o ajuste destes equipamentos.
- Determinar os equipamentos ou sistema de controle responsáveis por um modo de oscilação crítico.
- Determinar a resposta no tempo linearizada cuja obtenção é bem mais eficiente computacionalmente do que a da resposta no tempo não linear.

Com o objetivo de tornar mais efetiva a integração do PacDyn aos estudos de estabilidade eletromecânica do SIN, tornando-o uma importante ferramenta complementar aos estudos envolvendo o Anatem, uma série de implementações foram desenvolvidas, conforme enumeradas a seguir:

- Leitura de dados pelo PacDyn do arquivo de dados do Anatem, onde os principais códigos de execução para entrada de dados dinâmicos passaram a ser reconhecidos automaticamente pelo PacDyn. Assim a maior parte do banco de dados do Anatem passa a ser lida diretamente pelo PacDyn.
- Alterações dos Controladores Definidos pelo Usuário (CDU) do PacDyn. Foi criada uma nova metodologia de inicialização das variáveis do CDU e foram feitas diversas modificações para possibilitar a leitura do CDU do Anatem. Foi também desenvolvido o programa CDUEdit, cujo embrião está descrito em (3), que permite a edição e visualização gráfica de CDUs nos formatos dos dois programas. Uma das grandes vantagens desta ferramenta é que a visualização gráfica apresentada corresponde exatamente à modelagem dos controladores que está sendo considerada nos programas, evitando ou facilitando a identificação de erros e tornando mais fácil e confortável a entrada dos CDUs.
- Uso de programa de visualização de resultados único (PlotCepel). Foram criadas facilidades para comparação e análise integrada dos resultados dos programas (6).

O objetivo do artigo é apresentar detalhes dos novos desenvolvimentos realizados e resultados de aplicação em um caso exemplo onde os programas Anatem e PacDyn são eficientemente utilizados de forma integrada. O estudo do caso exemplo, composto por 4 geradores e 11 barras, ilustra de uma forma tutorial e didática a metodologia proposta e evidencia a importância das recentes implementações realizadas.

2.0 - LEITURA DO PACDYN DE DADOS DINÂMICOS NO FORMATO ANATEM

Para maior facilidade de utilização integrada dos programas torna-se muito importante que os modelos sejam compatíveis e que os arquivos de dados sejam comuns. Os modelos dos principais equipamentos de um sistema de potência (geradores síncronos, compensadores estáticos, capacitores série controlados, elos de corrente contínua, motores de indução, etc.) dos dois programas já eram compatíveis entre si. Os dados estáticos destes equipamentos e dos pontos de operação são lidos pelos dois programas do arquivo de savecase gerado pelo programa Anarede. No entanto os dados dinâmicos complementares, necessários para a simulação, eram fornecidos em arquivo de dados cujos formatos eram diferentes entre o Anatem e PacDyn. Isto causava alguns inconvenientes: necessidade de trabalho adicional para preparação de casos do PacDyn e dos testes de validação dos modelos, risco de haver diferenças nos estudos utilizando Anatem e PacDyn devido a diferenças nos arquivos de dados, necessidade de aprendizado de dois formatos distintos de dados. Com o objetivo de facilitar a utilização do PacDyn e melhor difundir os seus poderosos recursos de análise de oscilações em sistemas de potência, foi implementada a leitura de dados no formato Anatem. Os diversos códigos de execução do Anatem que passaram a ser reconhecidos pelo PacDyn estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Códigos de execução do Anatem reconhecidos pelo PacDyn

Código	Descrição	Código	Descrição
CASO	apaga os dados da memória	DMDG	parâmetros dos modelos de máquinas síncronas
ULOG	define os nomes dos arquivos de dados	DCST	dados de curva de saturação
ARQM	leitura do arquivo de modelos da unidade lógica 3	DCDU	dados dos controladores definidos pelo usuário
ARQV	restabelecimento do savecase do Anarede	DLOC	definição de locais de medição remota
TITU	definição do título do caso	DMAQ	associação de máquinas aos modelos
DCAR	dados da modelagem das cargas elétricas		

Outros códigos de execução não utilizados pelo Pacdyn são lidos e ignorados, não necessitando removê-los do arquivo formato Anatem. Na fase atual de implementação ainda não estão sendo lidos os modelos de compensadores estáticos de reativos, compensadores série controlados e elos de corrente contínua no formato Anatem. A leitura dos dados destes equipamentos e seus sistemas de controle no formato Anatem está prevista para a próxima fase de desenvolvimento, devendo-se atualmente utilizar o formato original do PacDyn para estes equipamentos.

Alguns equipamentos específicos ainda não foram implementados no PacDyn: modelos de aerogeradores e conversores de tensão. Nestes casos não é possível fazer a análise a pequenos sinais destes equipamentos.

3.0 - CONTROLADORES DEFINIDOS PELO USUÁRIO (CDU)

Os controladores definidos pelo usuário (CDU) são controladores genéricos associados aos diversos equipamentos, cujos dados são entrados na forma de diagrama de blocos, havendo a flexibilidade de modelagem de controladores genéricos sem a necessidade de programação computacional por parte dos usuários ou modificações no código fonte do programa por parte dos desenvolvedores. Com as constantes entradas de novos equipamentos no SIN e modernização dos sistemas de controle, os CDUs passaram a ser praticamente uma necessidade para os estudos de planejamento e operação.

O formato dos dados dos CDUs estão na forma de seqüência de registros com informações sobre os blocos presentes no diagrama, suas conexões (variáveis de entrada e saída) e parâmetros que caracterizam o comportamento estático e dinâmico de cada bloco. Para os parâmetros pode-se utilizar denominações mneumônicas associadas aos valores, que são dados do arquivo. Além disto, pode também haver informações sobre inicializações dos controladores, que embora seja automática, algumas vezes requer algumas definições do usuário. Como exemplo são apresentados os arquivos de dados no formato PacDyn e Anatem de um regulador de tensão de 1a ordem, de nível de complexidade mínimo.

Tabela 2: Dados de um controlador definido pelo usuário (CDU) nos formatos PacDyn e Anatem

Formato PacDyn	Formato Anatem
<pre> DUDC # Regulador de Tensao de 1a. ordem #(NUDC) (---Name---) 1 RAT # (Nb) (Type) S(Vinp) (Vout) (---A---) (---B---) (---C---) (---D---) 1 OUT Efd EFD 1 2 IN VB VB 1 3 IN VREF VREF 1 4 IN VPSS VPSS 1 # (Nb) (Type) S(Vinp) (Vout) (---A---) (---B---) (---C---) (---D---) 5 SUM -VB X4 VREF VPSS 6 LDLG X4 EFD #Ka 1.0 #Ta # DPAR (-Par---) (-Value--) #Ka 100 DPAR #Ka 100 DPAR #Ta 0.05 STOP -999 </pre>	<pre> DCDU IMPR (Regulador de Tensao de 1a. ordem (ncdu) (nome cdu) 1 AVR (DEFFAR #Ka 100.0 DEFFAR #Ta 0.05 ((nb) (tipo) (stip)s(vent) (vsai) (p1) (p2) (p3) (p4) (vmin) (vmax) 1 ENTRAD Vref 2 IMPORT VOLT Vt 3 IMPORT VSAD Vsad 4 SOMA Vref X4 -Vt X4 Vsad X4 5 LEDLAG X4 Efd #Ka 0.0 1.0 #Ta 6 EXPORT EFD Efd FIMCDU 999999 </pre>

Recentemente foi desenvolvido o programa CDUEdit que possibilita a edição e visualização gráfica de CDUs. O programa CDUEdit permite a importação ou exportação de dados no formato PacDyn ou Anatem. O uso do CDUEdit para controladores de grande porte e de nível de complexidade alto traz grandes ganhos na facilidade de edição, visualização e, principalmente, na depuração dos dados durante a fase de validação. Alguns diagramas de blocos no ambiente do CDUEdit serão apresentados mais adiante, referentes aos CDUs usados no caso exemplo.

Em relação aos dados de CDU, cada programa originalmente tinha as suas especificidades, encontrando-se as seguintes diferenças:

-Formato de dados diferente

-Diversos tipos de blocos não existiam no PacDyn (blocos comparadores, lógicos, algumas funções, etc.)

-Metodologia de inicialização de CDUs diferentes. No PacDyn a inicialização era feita pelo método de Newton onde as variáveis eram calculadas de forma simultânea utilizando as equações de comportamento estático de cada bloco. Por outro lado, no Anatem, a inicialização é feita bloco a bloco havendo a possibilidade de interferência pelo usuário por meio do comando DEFVAL que permite a definição do valor inicial de uma variável genérica com um valor numérico, o valor de uma outra variável do CDU ou o valor de uma variável externa.

-Definição de locais de medição das variáveis externas do CDU feita de forma diferente. No Anatem quando não há parâmetro associado aos blocos de entrada ou saída, assume-se que são medidas locais, ou seja, em controladores associados a uma determinada máquina síncrona, são medidas relacionadas ao terminal onde a máquina é conectada. Quando é uma medida remota, é especificado como parâmetro o número de um local de medição definido pelo código de execução DLOC. No PacDyn não havia o código DLOC e nos blocos de entrada e saída sempre eram especificados os números de identificação das variáveis de medição como, por exemplo, para variáveis de barra, eram especificados os números da barra, para variáveis de máquina, o número da barra e do grupo gerador, para variáveis de circuito, os números das barras terminais e o número do circuito, e assim por diante.

-No PacDyn a definição dos parâmetros vinha sempre após a utilização do parâmetro nos blocos, enquanto que no Anatem vem antes.

Fez-se então a implementação de novas rotinas de leitura do CDU no PacDyn utilizando o formato Anatem, resolvendo-se todas as diferenças encontradas; criou-se no PacDyn rotinas para inicialização de CDUs utilizando a metodologia bloco a bloco do Anatem e modificou-se as rotinas de cálculo para considerar novos tipos de blocos compatíveis com o Anatem. O código de execução DLOC passou a ser reconhecido e a associação dos controladores às máquinas síncronas passou a ser feita pelo comando DMAQ. Deve-se observar que a leitura de dados no formato do Anatem é opcional e pode ser misturada com códigos de execução no formato original do PacDyn. Recursos como topologias de CDUs, ainda não presentes no Anatem, continuam podendo ser utilizados.

4.0 - COMPARAÇÃO ENTRE PROGRAMAS

Na análise integrada dos programas Anatem e PacDyn é essencial que se possa comparar resultados para validar modelos e para identificação das limitações das amplitudes das perturbações válidas para a faixa linear.

A principal ferramenta de comparação é o programa de visualização gráfica de resultados PlotCepel que permite a comparação de curvas de resposta no tempo dos dois programas. Nesta comparação deve-se alertar para o fato de que as unidades de cada variável podem ser diferentes. Basicamente, no PacDyn todas as variáveis estão em pu na base do sistema ou rad quando são variáveis angulares. No Anatem, as potências estão em MW ou Mvar, ângulo estão em graus e as outras variáveis, de forma geral, estão em pu da base do equipamento. O PacDyn permite associar pesos a cada variável que podem ser utilizados para compatibilização das unidades. Em uma próxima fase pretende-se calcular estes pesos de forma automática, como opção de comparação com o Anatem.

5.0 - CASO EXEMPLO

O sistema de 4 geradores e 11 barras descrito no capítulo de estabilidade a pequenos sinais de (7) foi modificado de forma a criar assimetrias de comportamento entre as máquinas e o sistema (no sistema original praticamente eram máquinas com mesmo carregamento e mesmos controladores) e produzir resultados mais interessantes do ponto de vista tutorial e didático. A modelagem do sistema elétrico foi realizada no Anarede e Anatem. O fluxo de potência está apresentado na Figura 1. Utilizou-se os mesmos dados das máquinas síncronas definidos em (7) com as diferenças referentes às bases de potência de cada máquina, respectivamente nos valores de 1200 MVA, 900 MVA, 900 MVA, 350 MVA. Foram também modificados os valores das cargas e dos elementos shunt em relação ao sistema original. Utilizou-se uma excitatriz estática no gerador da barra 1, excitatriz estática com redutor de ganho transitório (TGR) no gerador 3 e excitatrizes autoexcitadas nos geradores 2 e 4. Foram ainda utilizados estabilizadores de potência nas 4 máquinas. Utilizou-se os mesmos modelos e parâmetros dados em (7) para este exemplo. Foi utilizado o programa CDUEdit para edição gráfica dos controladores. Os diagramas de blocos estão apresentados a seguir. Neste exemplo, o objetivo do estudo é viabilizar a transmissão de energia quando há um curto-circuito e abertura de linha de um circuito entre as barras 7 e 8. Para esta contingência, fez-se o chaveamento de bancos adicionais de capacitores nas barras 7 e 8 nos valores de 50Mvar e 100Mvar respectivamente para manter o nível de tensão adequado. A definição destes valores foi feita a partir de testes no fluxo de potência.

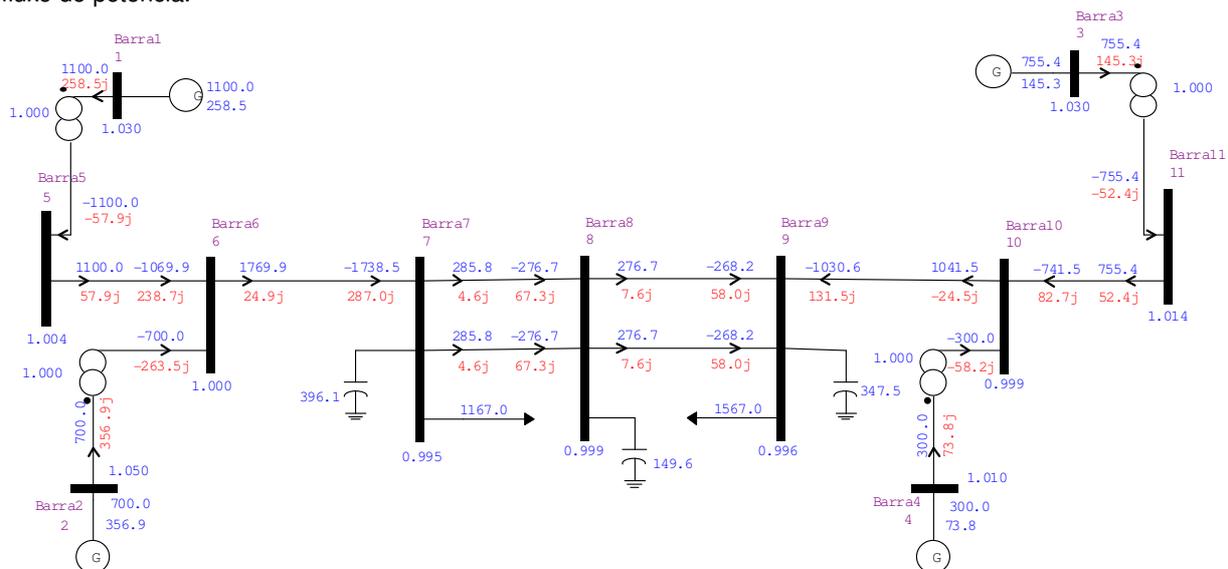


FIGURA 1 – Sistema exemplo

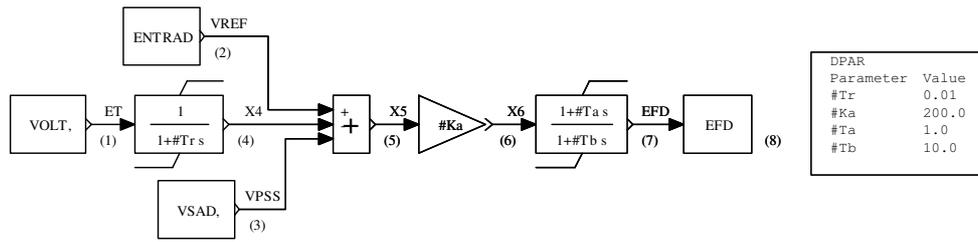


FIGURA 2 – Excitatriz Estática com TGR. Para o gerador 1, o TGR é desligado fazendo-se $T_a = T_b = 0$

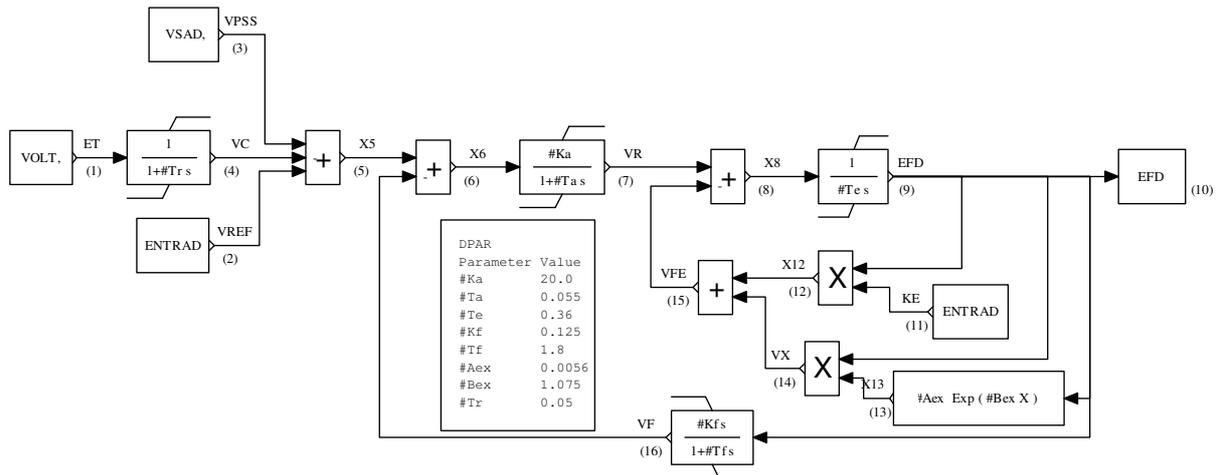


FIGURA 3 – Excitatriz eletromecânica auto-excitada. O valor de KE é inicializado de forma que VFE seja nulo.

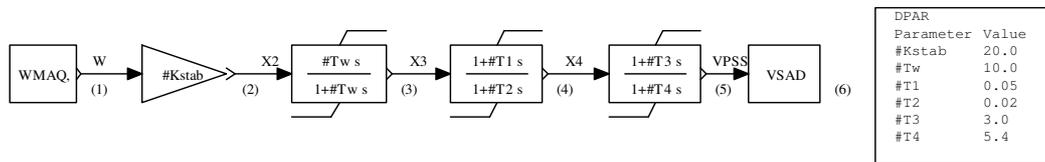


FIGURA 4 – Estabilizador de sistema de potência

Os resultados da simulação no Anatem estão apresentados a seguir. Para a contingência mencionada foram simuladas as tensões, potências e ângulos de carga de cada gerador.

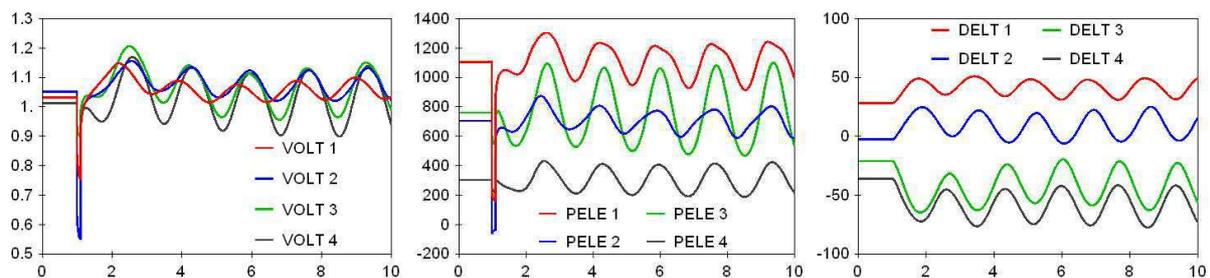


FIGURA 5 – Tensões, potências e ângulos de carga dos geradores para a contingência considerada

Verifica-se a presença de oscilações indesejáveis, indicando comportamento inaceitável. Neste ponto há duas opções:

- Continuar a análise no Anatem, realizando uma série de simulações para identificar os problemas de oscilações e os controladores dos geradores mais propícios para ajustar os parâmetros, por um processo do tipo tentativa e erro. Este tipo de trabalho, mesmo em um sistema de dimensões reduzidas como o apresentado, requer um esforço computacional e de análise muito grande porque demanda uma quantidade muito grande de simulações.

- Realizar a análise no programa PacDyn, que traz uma série de ferramentas para facilitar a identificação e as soluções para o problema de oscilações eletromecânicas.

A opção mais eficiente seria a de uso do PacDyn, mas que muitas vezes não é adotada por necessidade de preparação de um outro arquivo de dados, que dependendo do caso a ser analisado, pode demandar um esforço adicional grande. Com as recentes implementações desenvolvidas, os mesmos arquivos utilizados no Anatem puderam ser utilizados no PacDyn, não havendo esforço adicional para preparação ou modificação de arquivos de dados.

Apenas a título de validação da implementação, foram aplicados degraus de amplitude +0.005 e -0.005 nas tensões de referência dos geradores 1 e 3 respectivamente e foram simuladas as respostas no tempo, no Anatem e no PacDyn, onde verificou-se que os desvios das tensões (pu), potências (MW) e velocidades angulares (Hz) das máquinas das diversas barras eram coincidentes nos dois programas.

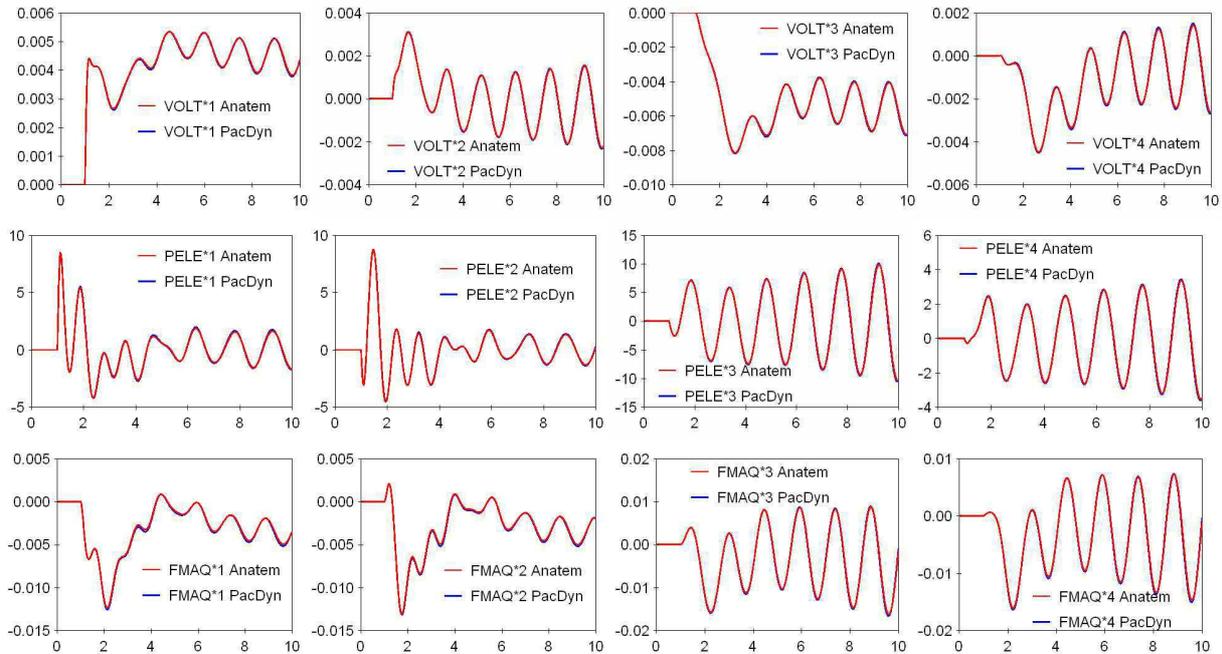


FIGURA 6 – Comparação entre Anatem e PacDyn das tensões, potências e velocidades angulares das máquinas

Analisando o caso no PacDyn, pode-se determinar os pólos eletromecânicos do sistema, mostrados na Tabela 3 que, neste caso simples, foi feito pelo algoritmo QR. Os pólos eletromecânicos foram identificados a partir da variável com o maior fator de participação para cada pólo. Quando esta variável é uma velocidade ou ângulo de carga de máquina, há a indicação de que o modo é eletromecânico. Verifica-se que um dos pólos possui fator de amortecimento negativo (-1.58%), responsável pela instabilidade do sistema, enquanto que os outros dois possuem fator de amortecimento maior (7.68% e 8.60%).

Torna-se necessário então reajustar os estabilizadores com o objetivo de aumentar o amortecimento dos pólos. Para tanto determina-se o resíduo para cada um destes pólos críticos do sistema, apresentados na Figura 7 através de uma função de transferência cuja entrada é o sinal de referência do regulador de tensão e a saída é a velocidade dos geradores em estudo. Os valores dos resíduos estão normalizados em relação ao gerador de maior resíduo e estão apresentados na forma de vetores (módulo e ângulo) e histograma (apenas o módulo e sinal - positivo no 1º e 4º quadrante e negativo no 2º e 3º quadrante do plano complexo). Os resíduos correspondem numericamente à derivada da variação do pólo analisado, para uma realimentação na malha de controle por um ganho infinitesimal. Conceitualmente, os maiores resíduos indicam maior observabilidade e controlabilidade da função de transferência para o pólo. Pelos resíduos, verifica-se que o estabilizador do gerador 3 é o mais indicado para ser reajustado, pois possui maior valor de resíduo e, por conseqüência, é o estabilizador com maior capacidade de causar variação no pólo $+0.06769 + 4.2880j$.

Tabela 3: Pólos eletromecânicos do sistema

Pólos	Frequência (Hz)	Damping (%)
$+0.06769 + j4.2880$	0.6825	-1.5784
$-0.6165 + j8.0068$	1.2743	7.6773
$-0.6170 + j7.1521$	1.1383	8.5950

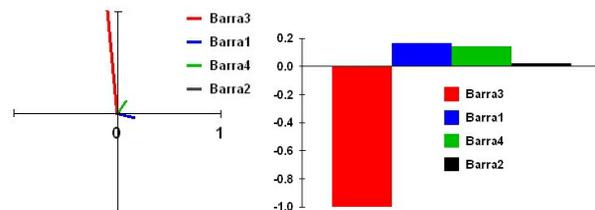


FIGURA 7 – Resíduos normalizados de $G(s) = \omega_i / V_{refi}$ com i variando com os geradores do sistema.

Em seguida, desligou-se o PSS que já existia no gerador 3 para se determinar um novo ajuste, adequado para a estabilização do sistema. Os pólos do sistema sem o PSS do gerador 3 são apresentados a seguir na Tabela 4. Verifica-se que realmente os ajustes originais do PSS, mesmo com ganho elevado, não estavam sendo efetivos para a estabilização de nenhum dos pólos eletromecânicos, uma vez que os fatores de amortecimento das Tabelas 3 e 4 são próximos. Traça-se então o diagrama de Nyquist da função de transferência $G(s) = \omega_3 / V_{ref3}$ sem o PSS do gerador 3 considerando a variável complexa s variando ao longo da reta de fator de amortecimento de 15%. O programa PacDyn calcula então os parâmetros de um novo PSS de forma a que o diagrama de Nyquist com este PSS faz com que a frequência escolhida de 4 rad/s, próxima da frequência do pólo, passe pelo ponto -1. Isto faz com que o pólo seja realocado na posição de 4 rad/s com o fator de amortecimento especificado de 15% (8), (9). O PSS calculado é mostrado na Figura 9.

Tabela 4: Pólos com o PSS do gerador 3 desligado

Pólos	Frequência (Hz)	Damping (%)
$-0.1191 + j 4.0089$	0.6380	-2.9706
$-0.6006 + j 7.9638$	1.2675	7.5204
$-0.6147 + j 7.1548$	1.1387	8.5599

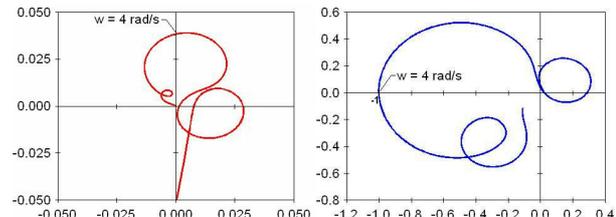


FIGURA 8 – Diagrama de Nyquist de fator de amortecimento da malha aberta $G(s) = \omega_3 / V_{ref3}$ sem PSS em vermelho e com um PSS projetado pelo programa PacDyn em azul.

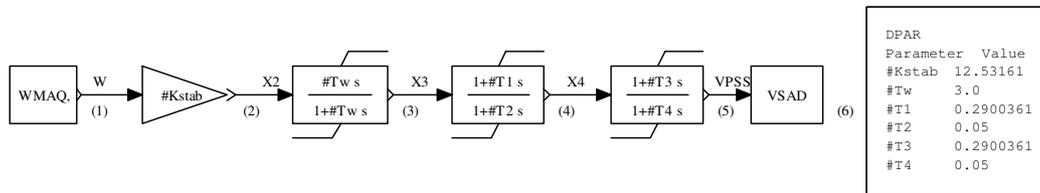


FIGURA 9 – Estabilizador de sistema de potência calculado pelo PacDyn para o gerador 3

Os pólos eletromecânicos com o novo PSS são apresentados na Tabela 5. Nota-se a presença do pólo de 4 rad/s com fator de amortecimento de 15%. Os pólos do sistema em contingência são também apresentados na Tabela 6. Percebe-se que também neste caso os fatores de amortecimento dos pólos estão adequados. O root-locus da variação do ganho do PSS, que mostra como os pólos variam quando o ganho varia de 0 ao seu valor final, é apresentado a seguir. Os ramos referentes aos modos eletromecânicos estão em vermelho, verde e azul. Na figura são indicadas as retas de fator de amortecimento constante de 5%, 10% e 15%. O pólo de 4 rad/s, em azul, desloca-se de forma significativa até o fator de amortecimento de 15%. O pólo de 8 rad/s, em vermelho, também melhora o amortecimento para acima de 10%, enquanto que o pólo de 7 rad/s em verde não sofre influência significativa do PSS.

Tabela 5: Pólos eletromecânicos com o PSS reajustado

Pólos	Frequência (Hz)	Damping (%)
$-0.6069 + j 4.0000$	0.6366	15.000
$-0.8098 + j 7.8170$	1.2441	10.304
$-0.5981 + j 7.1424$	1.1368	8.3452

Tabela 6: Pólos eletromecânicos com o PSS reajustado para o sistema em contingência

Pólos	Frequência (Hz)	Damping (%)
$-0.7829 + j 3.4981$	0.5567	21.839
$-0.8252 + j 7.8258$	1.2386	10.545
$-0.6002 + j 7.1375$	1.1319	8.4094

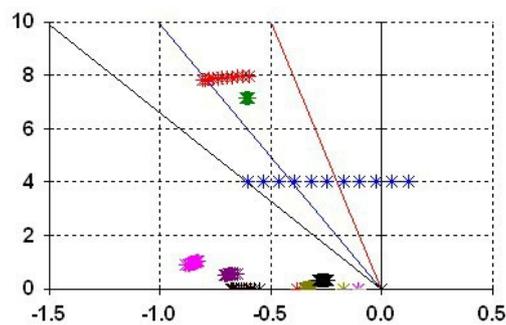


FIGURA 10 – Root-Locus da variação do ganho de estabilizador reajustado

Pode-se portanto esperar um comportamento adequado do sistema com o novo PSS. Rodando-se novamente o Anatem para a contingência considerada, verifica-se que realmente isto ocorre.

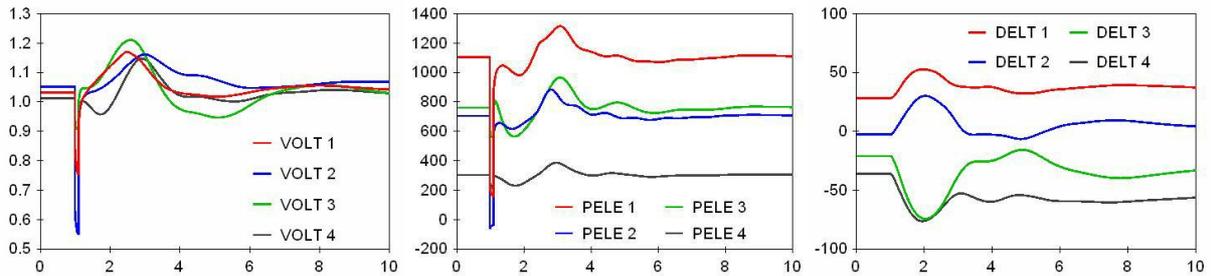


FIGURA 11 – Tensões, potências e ângulos de carga dos geradores para a contingência considerada, com o reajuste do PSS do gerador 3 feito com o programa PacDyn.

Conclui-se portanto que o PacDyn pôde ser utilizado de forma integrada com o Anatem, utilizando inclusive os mesmos arquivos de dados e a solução encontrada para a estabilização do sistema foi expedita, contrário ao que se conseguiria caso apenas o programa Anatem fosse utilizado.

6.0 - CONCLUSÃO

Foi desenvolvida uma série de novos recursos no programa PacDyn que permitem a sua utilização de forma integrada com o programa Anatem. Entre estes recursos destaca-se a leitura dos arquivos de dados do Anatem que permite que, quando são identificados problemas de amortecimento de oscilações pelas simulações do Anatem, o PacDyn possa ser utilizado em seguida sem esforços adicionais de preparação e validação de dados. Com isto torna-se possível a utilização das diversas ferramentas disponíveis no PacDyn que permitem a obtenção de soluções de problemas de oscilações de forma muito eficiente.

Foram ainda mostrados os recursos de edição e visualização gráfica de CDUs que facilitam sobremaneira a entrada dos dados dos diagramas de blocos e evita os diversos erros de dados associados a uma entrada de dados baseada em arquivo texto formatado, sem visualização gráfica.

A utilização da PlotCepel como ferramenta de visualização gráfica de resultados dos dois programas também facilita consideravelmente a análise e o uso do Anatem e PacDyn de forma integrada.

Foi apresentado um caso exemplo que mostra de forma tutorial a utilização integrada do Anatem e PacDyn, onde os problemas de oscilações são facilmente identificados e resolvidos pelo PacDyn e o Anatem é utilizado para a simulação não linear que permite a análise do desempenho do sistema antes e depois das soluções adotadas.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CEPEL, "Manual do Usuário do Programa ANATEM", Rio de Janeiro, 2009.
- (2) RANGEL, R. D. ; GOMES JR., S. ; GUIMARÃES, C. H. C. ; MARTINS, N. ; CASTRO, A. ; PINTO, H. J. C. P. ; CARVALHO, A. R. C. D. . Recent Developments in ANATEM - A Comprehensive Program for the Analysis of Electromechanical Stability of Large Power Systems. In: VII Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning - SEPOPE, 2000, Curitiba, 2000
- (3) CASTRO, A.; FERRAZ, J. C. R. ; GOMES JR., S. ; RANGEL, R. D. ; BAITELLI, R. . Ambiente Gráfico para Análise de Estabilidade Eletromecânica em Sistemas Elétricos de Grande Porte. In: X Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning - X SEPOPE, 2006, Florianópolis. X SEPOPE, 2006.
- (4) CEPEL, "PacDyn - User's Manual", Rio de Janeiro, 2009.
- (5) MARTINS, N.; QUINTÃO, P. E. M.; PINTO, H. J. C. P.; CASTRO, A.; GOMES JR., S.; FERRAZ, J. C. R. A Small-Signal Stability Program Incorporating Advanced Graphical User Interface. In: VII SYMPOSIUM OF SPECIALISTS IN ELECTRIC OPERATIONAL AND EXPANSION PLANNING - SEPOPE, Curitiba. 2000
- (6) CASTRO, A.; QUINTÃO, P. E. M.; GOMES JR., S. ; MARTINS, N. ; PINTO, H. J. C. P. . An Integrated Plotting Tool for the Visualization of Results Produced by Multiple Power System Analysis Software. In: IX Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning - IX SEPOPE, 2004, Rio de Janeiro. IX SEPOPE, 2004
- (7) KUNDUR, P. Power System Stability and Control, New York: McGraw-Hill, 1994.
- (8) GOMES JR., S.; MARTINS, N.; PINTO, H. J. C. P. Utilização do Método de Nyquist para a Estabilização de Sistemas de Potência envolvendo Alocação de Par de Pólos Complexos. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA - CBA, Uberlândia. 1998
- (9) GUIMARÃES, C. H. C.; TARANTO, G. N.; GOMES JR., S.; MARTINS, N. Projeto de Estabilizadores de Sistemas de Potência por Posicionamento Parcial de Par de Pólos Complexos Conjugados. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA - CBA, Florianópolis. 2000