

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PROPOSIÇÃO DE UMA METODOLOGIA SISTEMATIZADA PARA
O PROJETO DE CONTROLADORES DE CARGA-FREQUÊNCIA

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina
para obtenção do grau de Mestre em Ciências

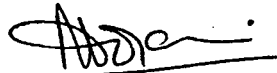
ARTUR RENAN SANCHEZ RODRIGUES

FLORIANÓPOLIS, JUNHO DE 1981

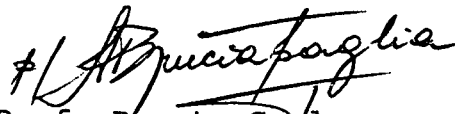
PROPOSIÇÃO DE UMA METODOLOGIA SISTEMATIZADA
PARA O PROJETO DE CONTROLADORES DE CARGA-
FREQUÊNCIA

Artur Renan Sanchez Rodrigues

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM
ENGENHARIA - ESPECIALIDADE ENGENHARIA ELÉTRICA E APROVADA EM SUA
FORMA FINAL PELO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO.

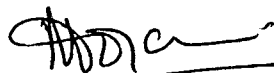


Prof. Rajamani Doraiswami
Orientador

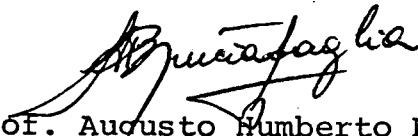


Prof. Renato Carlson
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica

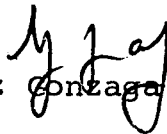
APRESENTADA PERANTE A BANCA EXAMINADORA COMPOSTA DOS PROFESSORES:



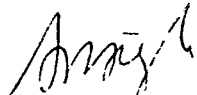
Prof. Rajamani Doraiswami, Ph.D.



Prof. Augusto Humberto Bruciapaglia, Dr. Ing.



Prof. Luiz Gonzaga de Souza Fonseca, D.Sc.



Prof. Sahjendra Narain Singh, Ph.D.

AGRADECIMENTO

Agradeço a todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho. Em especial, agradeço ao Prof. Rajamani Doraiswami pelo apoio e pelo excepcional trabalho de orientação, e à Srta. Jeanete Miriam Piske pelo eficiente trabalho de datilografia. Agradeço também ao CNPq e CNEN pelo apoio financeiro.

Í N D I C E

	<u>PÁGINA</u>
- CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
- CAPÍTULO 2 - MODELAGEM MATEMÁTICA	4
2.1. INTRODUÇÃO	4
2.2. REPRESENTAÇÃO DO GERADOR SÍNCRONO E DA REDE	5
2.3. MODELO MATEMÁTICO DAS MÁQUINAS PRIMÁRIAS DE UNIDADES GERADORAS	10
2.3.1. Considerações Gerais.	10
2.3.2. Modelos para Unidades Hidráulicas	11
2.3.2.1. Modelo para a Turbina Hidráulica	11
2.3.2.2. Unidade com Regulador Acelero-tacométrico.	12
2.3.2.3. Unidade com Compensador PID.	13
2.3.3. Modelos para Unidades Térmicas.	14
2.3.3.1. Considerações Gerais	14
2.3.3.2. Unidade Térmica sem Reaquecimento	15
2.3.3.3. Unidade Térmica com Reaquecimento	15
2.4. MODELO DA CARGA	16
2.5. MODELO MATEMÁTICO PARA UM SISTEMA MULTIMÁQUINA	17

	<u>PÁGINA</u>
- CAPÍTULO 3 - ESTRATÉGIA DE CONTROLE	20
3.1. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA DE CONTROLE CARGA FREQUÊNCIA.	20
3.2. PROPOSIÇÃO DE UMA ESTRATÉGIA DE CONTRO- LE.	22
- CAPÍTULO 4 - TEORIA DE RASTREAMENTO ROBUSTO	26
4.1. CASO LINEAR	26
4.2. MODELO MATEMÁTICO DO SERVO-COMPENSADOR.	29
4.3. EXTENSÃO AO CASO NÃO LINEAR	30
4.4. INTERPRETAÇÃO FÍSICA DA EXTENSÃO AO CA- SO NÃO LINEAR	41
- CAPÍTULO 5 - REGULAÇÃO DAS UNIDADES GERADORAS	45
5.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.	45
5.2. TEORIA DA COMPENSAÇÃO DINÂMICA.	45
5.3. REALIZAÇÃO POR VARIÁVEIS DE ESTADO DO COMPENSADOR DINÂMICO.	53
5.4. MODELO MATEMÁTICO DO SISTEMA COM COMPEN- SADOR DINÂMICO.	54
5.5. INFLUÊNCIA DA REGULAÇÃO SOBRE O RASTREA- MENTO	57
- CAPÍTULO 6 - ESTABILIDADE DO SISTEMA INTERLIGADO.	59
6.1. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	59
6.2. ESTABILIDADE DA ORIGEM.	60
6.3. INTERPRETAÇÃO FÍSICA.	64
6.4. PROPOSIÇÃO DE UM ALGORÍTMO PARA A ESTA- BILIZAÇÃO DO SISTEMA INTERLIGADO.	66
- CAPÍTULO 7 - SIMULAÇÃO.	70

	<u>PÁGINA</u>
7.1. OBJETIVOS	70
7.2. APLICAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE CONTROLE PROPOSTA A UMA UNIDADE GERADORA.	72
7.2.1. Estrutura para Rastreamento e Rejeição de Sinais em Degrau	73
7.2.2. Estrutura para Rastreamento de um Sinal em Degrau e Rejeição de Sinais em Degrau e Rampa	80
7.2.3. Conclusões	86
7.3. ANÁLISE DA ROBUSTEZ DA ESTRATÉGIA PROPOSTA	87
7.3.1. Projeto do Servo-Compensador e Regulação.	87
7.3.2. Simulações	90
7.3.3. Conclusões	90
7.4. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE UMA UNIDADE GERADORA FACE AS VARIAÇÕES NA REGULAÇÃO	92
7.4.1. Projeto do Servo-Compensador e Regulação.	92
7.4.2. Simulações e Conclusões.	94
7.5. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS NÃO LINEARIDADES NO RASTREAMENTO	97
7.5.1. Projeto dos Servo-Compensadores e Regulação.	97
7.5.2. Simulações e Conclusões.	99
7.6. APLICAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE CONTROLE PROPOSTA A UM SISTEMA DE TRÊS MÁQUINAS	103
7.6.1. Projeto dos Servo-Compensadores e Regulação.	103
7.6.2. Simulações e Conclusões.	103

	<u>PÁGINA</u>
- CAPÍTULO 8 - CONCLUSÕES	110
- ANEXO - PROGRAMAS	A.1
1. APRESENTAÇÃO	A.1
2. PROGRAMA PARA PROJETO DE COMPENSADORES DINÂMI- COS.	A.3
2.1. ESTRUTURA	A.3
2.2. LISTAGENS	A.4
3. PROGRAMA PARA SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA MULTIMÁ- QUINA.	A.42
3.1. ESTRUTURA	A.42
3.2. LISTAGENS	A.43
4. PROGRAMA PARA DETERMINAÇÃO DOS AUTOVALORES DE UMA MATRIZ REAL.	A.68
4.1. ESTRUTURA	A.68
4.2. LISTAGENS	A.68

RESUMO

Este trabalho propõe uma estratégia de controle para o problema carga-frequência de um sistema elétrico multimáquina. Na dedução do modelo considerou-se a representação da máquina síncrona através de uma fonte de tensão constante atrás da reatância transitória; a representação das máquinas motrizes é feita através de um modelo linearizado; todas as não linearidades da rede de transmissão foram mantidas; finalmente admitiu-se que a evolução do valor médio da carga no tempo é uma função polinomial do tempo.

A estratégia proposta aborda o problema em duas etapas. A primeira consiste no projeto de controladores para cada unidade geradora de forma a manter-se a frequência do sistema constante e o fluxo de potência ativa nas interligações nos valores determinados pela Programação da Operação. Estes objetivos devem ser alcançados em regime mesmo face à ocorrência de contingências no sistema elétrico e à variações de carga. Para tal lança-se mão da teoria de rastreamento robusto com rejeição de perturbações e de variações de parâmetros. Uma extensão desta teoria à classe de sistemas não lineares representativa do sistema em estudo também é apresentada.

Na segunda etapa aborda-se o problema de regulação do sistema. Um procedimento descentralizado é proposto e consiste na regulação individual de cada unidade geradora a partir dos estados mensuráveis através de compensadores dinâmicos. Da mesma forma que na etapa anterior, é apresentada uma justificativa para a aplicação deste procedimento ao caso não linear.

ABSTRACT

This work proposes a load-frequency control strategy for a multimachine Electrical Power System. The system model considers the representation of the synchronous machine by a constant voltage source behind the transient reactance; the velocity regulators and turbines are represented by a linearized model; no simplifications is made on network representation, that is, a non-linear model is used; finally it is supposed that the time evolution of the load average can be represented by a polynomial function of the time.

The proposed strategy deals with the problem in two stages. The first stage consists in designing the generation unit controllers (servo-compensators) such that the steady state system frequency and the tie line real power flows track specified values established by System Operation Scheduling, inspite of system load and parameters variations. To achieve these objectives, the linear robust tracking theory is utilized in the design of the controllers. An extension of this theory to the non-linear system under study is adequately presented.

In the second stage the power system regulation problem is considered. A decentralized procedure is proposed and is based on the regulation of the individual generation unit plus servo-compensator. Using the theory of linear systems, this is implemented by positioning the poles of the units through the inclusion of a dynamic compensator driven by the local measurable

states. The validity of this approach to the non-linear power system model is also presented.

C A P Í T U L O I

INTRODUÇÃO

O advento de computadores cada vez mais rápidos e eficientes associado à crescente complexidade na operação de sistemas elétricos interligados desencadeou a difusão de centros de controle digitais entre as empresas de energia elétrica. Estes centros de controle implementam uma quantidade de sofisticadas funções, as quais podem ser classificadas em vários tipos, citando-se:

- . Funções de monitoração
- . Funções de controle

Entre as funções de controle classifica-se a função de controle automático de geração, a qual tem uma importância fundamental na operação eficiente de sistemas elétricos interligados. O controle automático de geração visa que cada área de controle, componente de um sistema elétrico interligado, assuma suas próprias variações de carga de forma que os intercâmbios contratados com as áreas vizinhas mantenham-se nos valores programados e que a frequência do sistema mantenha-se constante e no valor programado. Deve-se considerar ainda que, sempre que possível, uma área não deve, em regime permanente, interferir nas áreas vizinhas, mesmo quando ocorrem perturbações tais como perdas de linhas de transmissão, perdas de carga, perdas de geração, etc..

Os controladores de cada unidade geradora tem um papel importante para a operação eficiente do controle automático de

geração e seu projeto deve levar em consideração vários pontos, citando-se:

- . O sistema é não linear
- . A carga apresenta uma variação aleatória em torno de um valor esperado
- . A implementação do controle não deve instabilizar o sistema elétrico
- . Os objetivos do controle devem ser alcançados mesmo diante de variações de parâmetros.

Este trabalho propõe uma metodologia para o projeto de controladores que garantam a implementação de um controle automático de geração que atenda aos requisitos acima citados. Esta metodologia baseia-se na teoria de rastreamento robusto com rejeição de perturbações e na aplicação da teoria de controle descentralizado para a estabilização do sistema. A apresentação desta metodologia é feita passo a passo nos capítulos seguintes, sendo que o capítulo 2 apresenta a dedução de um modelo para o sistema elétrico que seja adequado para o estudo do problema de controle carga-frequência. O capítulo 3 descreve em termos gerais a estratégia de controle proposta, identificando inicialmente o problema de controle em discussão e após propondo a estratégia propriamente dita. A teoria de rastreamento robusto é abordada em detalhe no capítulo 4, incluindo a extensão ao caso não linear. O problema de estabilização do sistema elétrico é abordado nos capítulos 5 e 6, sendo que no primeiro é descrita a teoria dos compensadores dinâmicos e no seguinte é apresentada a validade da aplicação de compensadores dinâmicos

a um sistema não linear da classe em estudo. Finalmente o capítulo 7 apresenta os resultados de uma série de simulações onde implementou-se diferentes alternativas da metodologia de controle proposta.

C A P Í T U L O I I

MODELAGEM MATEMÁTICA

2.1. INTRODUÇÃO

Um sistema elétrico de potência de n áreas interligadas é comumente representado, para fins de estudo de controle carga frequência, por n unidades geradoras equivalentes, representando cada unidade uma determinada área [11]. Portanto um estudo de n unidades geradoras interligadas pode ser facilmente estendido a um sistema de várias áreas.

Dividiu-se as unidades geradoras em 2 grupos, unidades térmicas e unidades hidráulicas, pois existem diferenças no comportamento dinâmico das máquinas primárias [2], bem como nos geradores síncronos [1].

A representação dos reguladores de velocidade foi linearizada, desprezando-se não linearidades como zona morta e saturação. Entretanto foram mantidas as não linearidades na representação da rede elétrica.

Os geradores síncronos foram modelados por uma fonte de tensão constante atrás da reatância síncrona. Pode-se considerar esta simplificação razoável, pois o laço de regulação de tensão apresenta respostas bem mais rápidas, comparadas aos fenômenos transitórios concernentes ao laço de regulação de velocidade.

A carga é representada por uma impedância cuja variação no tempo é modelada por uma função polinomial [3].

Com estas considerações, o conjunto de n máquinas interligadas pode ser colocado na forma de um sistema de equações diferenciais não lineares.

Resumindo, tem-se 4 suposições básicas:

- Geradores representados por fonte de tensão constante atrás da reatância síncrona.
- Reguladores de velocidade e turbinas linearizadas.
- Rede representada por modelo não linear.
- Evolução da carga no tempo modelada por uma polinomial.

2.2. REPRESENTAÇÃO DO GERADOR SÍNCRONO E DA REDE

A figura 2.1 mostra a representação de um sistema multimáquina, segundo as considerações feitas no item anterior.

Após ter sido feita uma redução do sistema às barras internas dos geradores [1], uma máquina genérica i passa a ser representada como mostra a figura 2.2.

A potência elétrica fornecida pelo i -ésimo gerador pode ser obtida a partir da potência líquida da i -ésima barra, a qual é dada por:

$$P_i = E_i^2 G_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n E_i E_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.1)$$

onde: E_i - tensão na i -ésima barra interna.

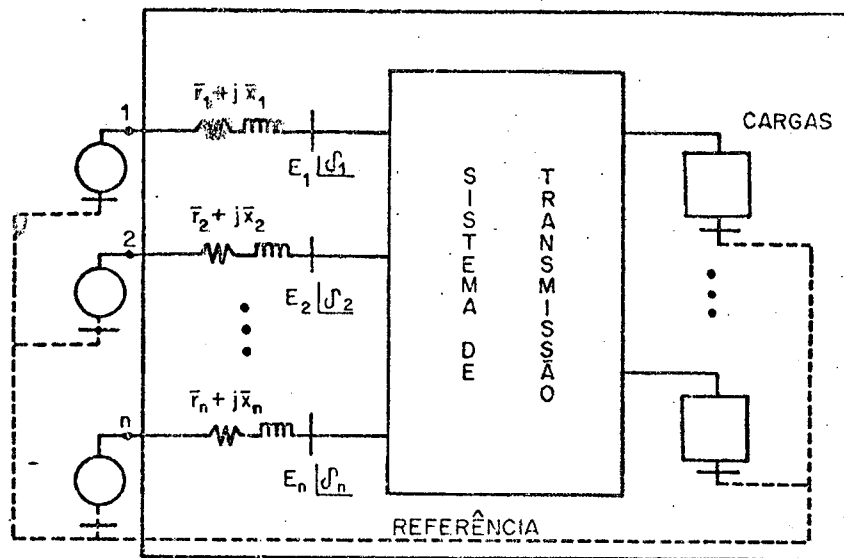


FIGURA 2.1 REPRESENTAÇÃO SIMPLIFICADA DE UM SISTEMA MULTIMÁQUINA

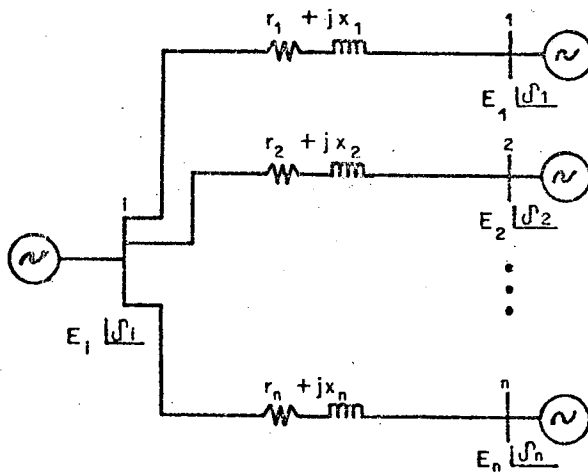


FIGURA 2.2 REPRESENTAÇÃO DE UMA MÁQUINA GENÉRICA

G_{ii} - admitância à terra da i -ésima barra interna.

$Y_{ij} \theta_{ij}$ - admitância entre i -ésima e a j -ésima barra interna.

δ_i - ângulo de carga do i -ésimo gerador.

Observa-se à direita do sinal de igualdade de (2.1) que a primeira parcela corresponde a parte da carga do sistema conectada à i -ésima barra, P_{Li} , e a segunda corresponde ao fluxo de potência entre geradores, P_{ei} .

Definindo:

$$P_{Li} = E_i^2 G_{ii}$$

$$F_{ij} = E_i E_j Y_{ij}$$

$$\sigma_{ij} = \delta_i - \delta_j, \text{ e substituindo em (2.1) obtemos}$$

$$P_i = P_{Li} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n F_{ij} \cos(\theta_{ij} - \sigma_{ij})$$

Genericamente podemos expressar a equação anterior por:

$$P_i = P_{Li} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \phi_{ij}(\sigma_{ij}) \quad (2.2)$$

$$\text{onde: } \phi_{ij}(\sigma_{ij}) = F_{ij} \cos(\theta_{ij} - \sigma_{ij}) \text{ e } P_{ei} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \phi_{ij}(\sigma_{ij}) \quad (2.3)$$

Com o objetivo de determinar-se os deslocamentos angulares entre máquinas, (σ_{ij}) , necessários para o cálculo da potência elétrica, é preciso estabelecer-se as equações diferenciais que descrevem o movimento dos rotores das máquinas. Para a i -ésima unidade geradora, a equação do movimento pode ser expressa por [1]:

$$M_i \frac{d\omega_i}{dt} + d_i \omega_i = P_{mi} - P_i \quad (2.4)$$

$$\frac{d\delta_i}{dt} = \omega_i - \omega_r \quad (2.5)$$

onde: M_i - constante de inércia da i -ésima máquina.

d_i - coeficiente de amortecimento.

P_{mi} - potência mecânica fornecida pela i -ésima máquina motriz.

ω_i - desvio de velocidade da i -ésima máquina.

Substituindo (2.2) em (2.4) obtém-se:

$$M_i \frac{d\omega_i}{dt} + d_i \omega_i = P_{mi} - P_{Li} - \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n \phi_{ij}(\sigma_{ij}) \quad (2.6)$$

As equações (2.5) e (2.6) quando aplicadas à n unidades geradoras conduzirão a um sistema de $2n$ equações diferenciais de primeira ordem não lineares.

Tendo em vista os objetivos desta modelagem, é interessante expressar o modelo da rede através das variáveis σ_{ij} ,

pois desta forma obtém-se um modelo independente de uma máquina externa de referência, como sugere a equação 2.5.

Para obter-se as equações de rede expressas através destas variáveis, σ_{ij} , basta associar-se um grafo ao sistema, onde cada nó corresponde a uma unidade geradora, conseqüentemente a um ângulo de carga, e cada ramo a uma linha de transmissão.

Escolhe-se uma árvore e define-se como variáveis de estado os $n-1$ ramos desta árvore. Genêricamente cada ramo do grafo pode ser escrito como:

$$\sigma_{ij} = \delta_i - \delta_j$$

onde: σ_{ij} - ramo do grafo que une o i -ésimo nó ao j -ésimo nó.

δ_i - i -ésimo nó do grafo.

Os ramos relacionam-se com os nós pela matriz de incidência de ramos à nós.

$$\sigma = T' \delta \quad (2.7)$$

onde: σ - vetor com os ramos do grafo.

δ - vetor com os nós do grafo.

T - matriz de incidência de ramos à nós.

Deve-se observar que podemos ter um máximo de $n(n-1)/2$ ramos, dos quais apenas os $n-1$ ramos de árvores são linearmente independentes. A dependência linear entre os ramos é dada por:

$$C\sigma = 0 \quad (2.8)$$

onde: C - matriz de malha.

A equação (2.7) pode ser particionada como:

$$\begin{bmatrix} \sigma^* \\ \text{---} \\ \bar{\sigma} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T^* \\ \text{---} \\ \bar{T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

onde: σ^* , T^* - correspondem a grandezas de ramos de árvore.
 $\bar{\sigma}$, \bar{T} - correspondem a grandezas de ramos de ligação.

Com estas considerações obtêm-se a seguinte descrição alternativa para um gerador genérico e para a rede:

$$M_i \frac{d\omega_i}{dt} + d_i \omega_i = P_{mi} - P_{Li} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \phi_{ij}(\sigma_{ij}) \quad (2.9)$$

$$\dot{\sigma} = T' \omega \quad (2.10)$$

$$C\sigma = 0$$

onde a última equação representa a dependência linear das variáveis σ_{ij} . e o ponto ($\dot{\sigma}$) denota o operador derivada.

Para uso futuro, convém expressar o intercâmbio de potência entre máquinas também através das variáveis de rede σ_{ij} . Usando-se (2.3), pode-se facilmente provar, através da obtenção da matriz de admitância de nós a partir da matriz T , que:

$$P_{ei} = T_i \phi(\sigma)$$

onde: T_i - i -ésima linha da matriz T .

ϕ - vetor formado pelas funções não lineares ϕ_{ij} , $i \neq j$.

Lembrando que o modelo da rede apresenta-se reduzido às barras internas dos geradores, pode-se estender a equação anterior para as n barras, a cada qual está associada uma máquina, obtendo-se:

$$P_e = T\phi(\sigma) \quad (2.11)$$

onde: $P_e = \begin{bmatrix} P_{e1} & P_{e2} & \dots & P_{en} \end{bmatrix}'$

2.3 MODELO MATEMÁTICO DAS MÁQUINAS PRIMÁRIAS DE UNIDADES GERADORAS

2.3.1. Considerações Gerais

Com o objetivo de se obter resultados mais próximos da realidade, é interessante diferenciar-se a modelagem das unidades geradoras de acordo com suas respectivas máquinas motrizes.

As diferenças existentes entre térmicas e hidráulicas são muitas, podendo-se citar, por exemplo, que os geradores síncronos para unidades térmicas são de rotor liso, enquanto que para unidades hidráulicas são de polos salientes.

Uma diferença que tem papel importante na dinâmica do laço de regulação de velocidade, surge devido a diferença entre as constantes de inércia da água e do vapor.

Considerando uma unidade hidráulica, a potência mecânica no eixo da turbina pode ser considerada proporcional a altura da queda e à vazão d'água [4]. Para se controlar a potência da turbina, varia-se a vazão, uma vez que é impossível controlar a altura da queda d'água. Quando há necessidade de um aumento na potência mecânica fornecida pela turbina, é necessário um aumento na abertura das palhetas do distribuidor. Isto provoca um aumento na sucção, causando, devido a inércia d'água, uma perda de pressão temporária, cuja duração depende da constante de tempo de partida da água TW. Durante este período de tempo, a perda de pressão se traduz numa diminuição da potência mecânica fornecida pela turbina, efeito que é contrário ao desejado [2]. Este fenômeno numa turbina a vapor pode ser considerado desprezível quando comparado com uma turbina hidráulica.

Ainda considerando-se as unidades hidráulicas, estas podem ser diferenciadas também em função das estratégias de controle empregadas nos seus reguladores de velocidade.

Nos sub-itens a seguir, apresenta-se alguns modelos de unidades geradoras térmicas e hidráulicas [2] e [4].

2.3.2. Modelos para Unidades Hidráulicas

2.3.2.1. Modelo para a Turbina Hidráulica

A representação da turbina hidráulica e da coluna d'água é feita considerando-se diversas aproximações [4], citando-se:

- A chaminé de equilíbrio isola o conduto forçado do resto sistema hidráulico;
- A resistência hidráulica tem efeito desprezível na dinâmica do laço de regulação de velocidade;

- As oscilações do nível de água na chaminé de equilíbrio são ignoradas;
- A variação no fluxo da turbina e do torque pode ser representado por funções lineares da velocidade da água na turbina e da abertura das palhetas do distribuidor.

Com estas simplificações, chega-se a um modelo linearizado para a turbina [4], o qual relaciona a potência mecânica fornecida com a posição do servomotor principal.

$$\dot{P}_m = -\frac{2}{T_w} P_m + \frac{2}{T_w} x_1 - 2\dot{x}_1$$

ou

$$\frac{P_m}{x_1} = \frac{1 - T_w S}{1 + \frac{T_w S}{2}}$$

onde: P_m - potência mecânica fornecida pela turbina;

x_1 - posição do servo-motor principal;

T_w - constante de tempo de partida da água.

A representação no domínio frequência da turbina hidráulica mostra claramente, através do zero à direita da origem do plano complexo, o fenômeno provocado pela inércia da água.

2.3.2.2. Unidade com Regulador Acelero-tacométrico

A figura 2.3 apresenta o modelo em diagrama de blocos de uma unidade hidráulica com regulador tipo acelero-tacométrico, os quais são sensíveis também à derivada do desvio de velo-

cidade.

As equações de estado para este tipo de unidade são dadas por:

$$\dot{\omega}_i = -\frac{d_i}{M_i} \omega_i + \frac{1}{M_i} P_{mi} - \frac{1}{M_i} P_{ei} - \frac{1}{M_i} P_{Li} \quad (2.12)$$

$$\dot{P}_{mi} = \frac{-2}{T_{wi}} P_{mi} + \left[\frac{2}{T_{wi}} + \frac{2}{T_{2i}} \right] x_{1i} - \frac{2}{T_{2i}} x_{2i} \quad (2.13)$$

$$\dot{x}_{1i} = -\frac{1}{T_{2i}} x_{1i} + \frac{1}{T_2} x_{2i} \quad (2.14)$$

$$\dot{x}_{2i} = -\frac{b_{pi}}{T_{yi}} x_{2i} + \frac{1}{T_{yi}} x_{3i} - \frac{1}{T_{yi}} x_{4i} + \frac{1}{T_{yi}} \omega_{ri} \quad (2.15)$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_{3i} = & -\frac{10}{T_{ni}} x_{3i} + 10 \left[\frac{1}{T_{ni}} - \frac{d_i}{M_i} \right] \omega_i + \frac{10}{M_i} P_{mi} - \frac{10}{M_i} P_{ei} - \\ & - \frac{10}{M_i} P_{Li} \end{aligned} \quad (2.16)$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_{4i} = & - \left[\frac{1}{T_{di}} + \frac{b_{ti}}{T_{yi}} \right] x_{4i} + \frac{b_{ti}}{T_{yi}} x_{3i} - \frac{b_{ti} b_{pi}}{T_{yi}} x_{2i} + \\ & + \frac{b_{ti}}{T_{yi}} \omega_r \end{aligned} \quad (2.17)$$

2.3.2.3. Unidade com Compensador PID

Na figura 2.4 está representada uma unidade geradora com compensador PID. Observe que o ganho derivativo na realidade apresenta um polo bem afastado da origem. Valores práticos de ζ situam-se em torno de 0,05.

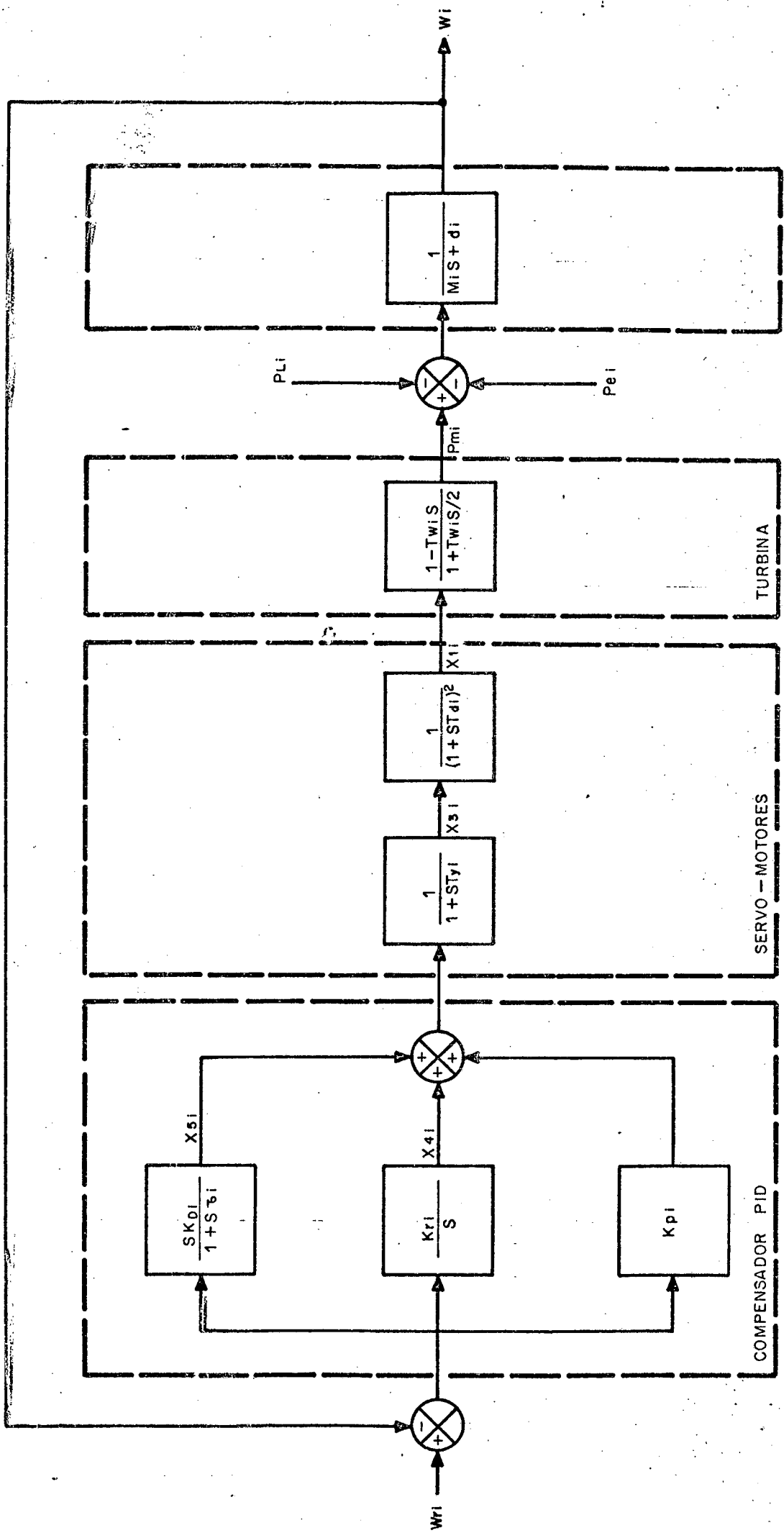


FIGURA 2.4 UNIDADE HIDRÁULICA COM COMPENSADOR PID

A seguir são dadas as equações de estado para este tipo de unidade geradora.

$$\dot{\omega}_i = -\frac{d_i}{M_i} \omega_i + \frac{1}{M_i} P_{mi} - \frac{1}{M_i} P_{ei} - \frac{1}{M_i} P_{Li} \quad (2.18)$$

$$\dot{P}_{mi} = -\frac{2}{T_{wi}} P_{mi} + \left[\frac{2}{T_{wi}} + \frac{2}{T_{di}} \right] x_{1i} - \frac{2}{T_{di}} x_{2i} \quad (2.19)$$

$$\dot{x}_{1i} = -\frac{1}{T_{di}} x_{1i} + \frac{1}{T_{di}} x_{2i} \quad (2.20)$$

$$\dot{x}_{2i} = -\frac{1}{T_{di}} x_{2i} + \frac{1}{T_{di}} x_{3i} \quad (2.21)$$

$$\dot{x}_{3i} = -\frac{1}{T_{yi}} x_{3i} + \frac{1}{T_{yi}} x_{4i} + \frac{1}{T_{yi}} x_{5i} - \frac{k_{pi}}{T_{yi}} \omega_i - \frac{1}{T_{yi}} \omega_r \quad (2.22)$$

$$\dot{x}_{4i} = -k_{1i} \omega_i + k_{1i} \omega_r \quad (2.23)$$

$$\dot{x}_{5i} = -\frac{1}{\zeta_i} x_{5i} - \frac{k_{Di} \cdot d_i}{\zeta_i M_i} \omega_i + \frac{k_{Di}}{\zeta_i M_i} P_{mi} - \frac{k_{Di}}{\zeta_i M_i} P_{ei} - \frac{k_{Di}}{\zeta_i M_i} P_{Li} \quad (2.24)$$

2.3.3. Modelos para unidades Térmicas

2.3.3.1. Considerações Gerais

Considerando as máquinas primárias, as unidades térmicas diferenciam-se entre si pelo emprego ou não de reaquecimento.

O reaquecimento, devido ao fato de aumentar o rendimento, é utilizado quase que genericamente, especialmente em uni

dades de grande porte [4].

2.3.3.2. Unidade Térmica sem Reaquecimento

Esta representação é usada, principalmente, com o objetivo de simplificação do modelo, uma vez que unidades sem reaquecimento não são encontradas comumente.

A figura 2.5 apresenta, em diagrama de blocos, o modelo adotado para este caso. As equações de estado são dadas por:

$$\dot{\omega}_i = -\frac{d_i}{M_i} \omega_i + \frac{1}{M_i} P_{mi} - \frac{1}{M_i} P_{ei} - \frac{1}{M_i} P_{Li} \quad (2.25)$$

$$\dot{P}_{mi} = -\frac{1}{T_{ti}} P_{mi} + \frac{1}{T_{ti}} x_{li} \quad (2.26)$$

$$\dot{x}_{li} = -\frac{1}{T_{gi}} x_{li} - \frac{1}{T_{gi}} \omega_i + \frac{1}{T_{gi}} \omega_r \quad (2.27)$$

2.3.3.3. Unidade Térmica com Reaquecimento

A figura 2.6 mostra esquematicamente uma unidade térmica com reaquecimento. São mostradas três turbinas, uma no estágio de alta pressão, outra no de médio e outra no de baixa.

A modelagem matemática em termos de diagrama de blocos é apresentada na figura 2.7 e as equações de estado são dadas por:

$$\dot{\omega}_i = -\frac{d_i}{M_i} \omega_i + \frac{(1-F_{Mi})}{M_i} P_{m1i} + \frac{(1-F_{Bi})}{M_i} P_{m2i} + \frac{1}{M_i} P_{m3i} - \frac{1}{M_i} P_{Li} - \frac{1}{M_i} P_{ei} \quad (2.28)$$

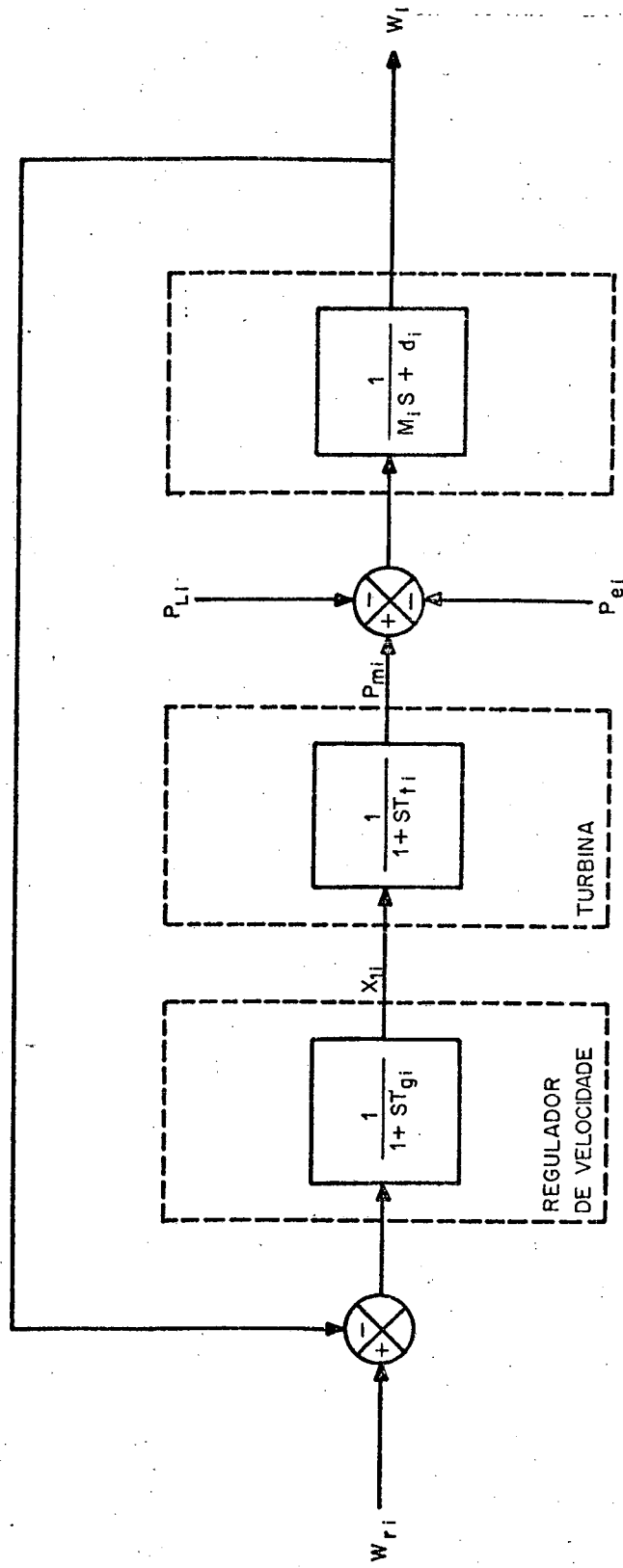


FIGURA 2.5 UNIDADE TÉRMICA SEM REAQUECIMENTO

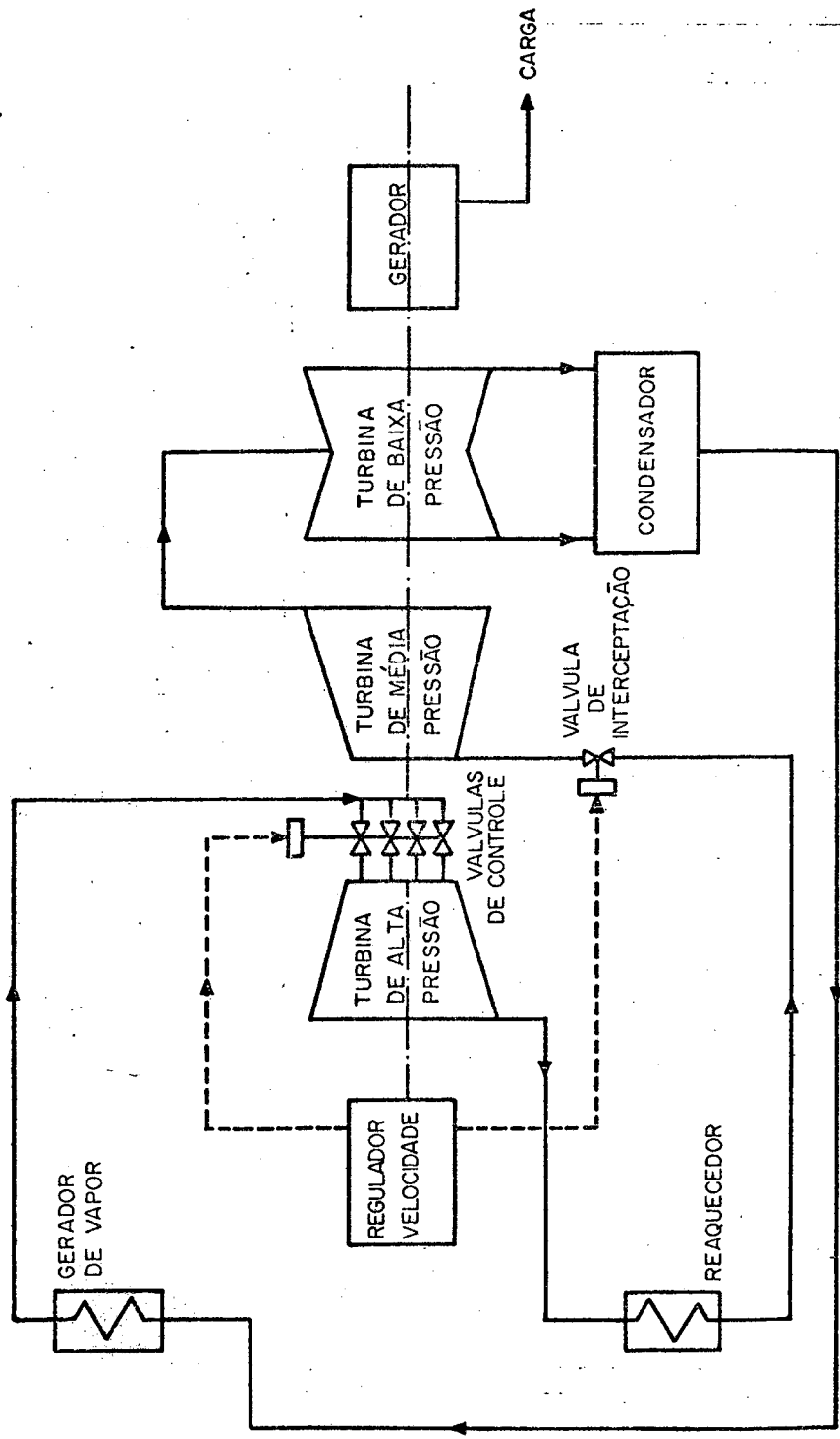
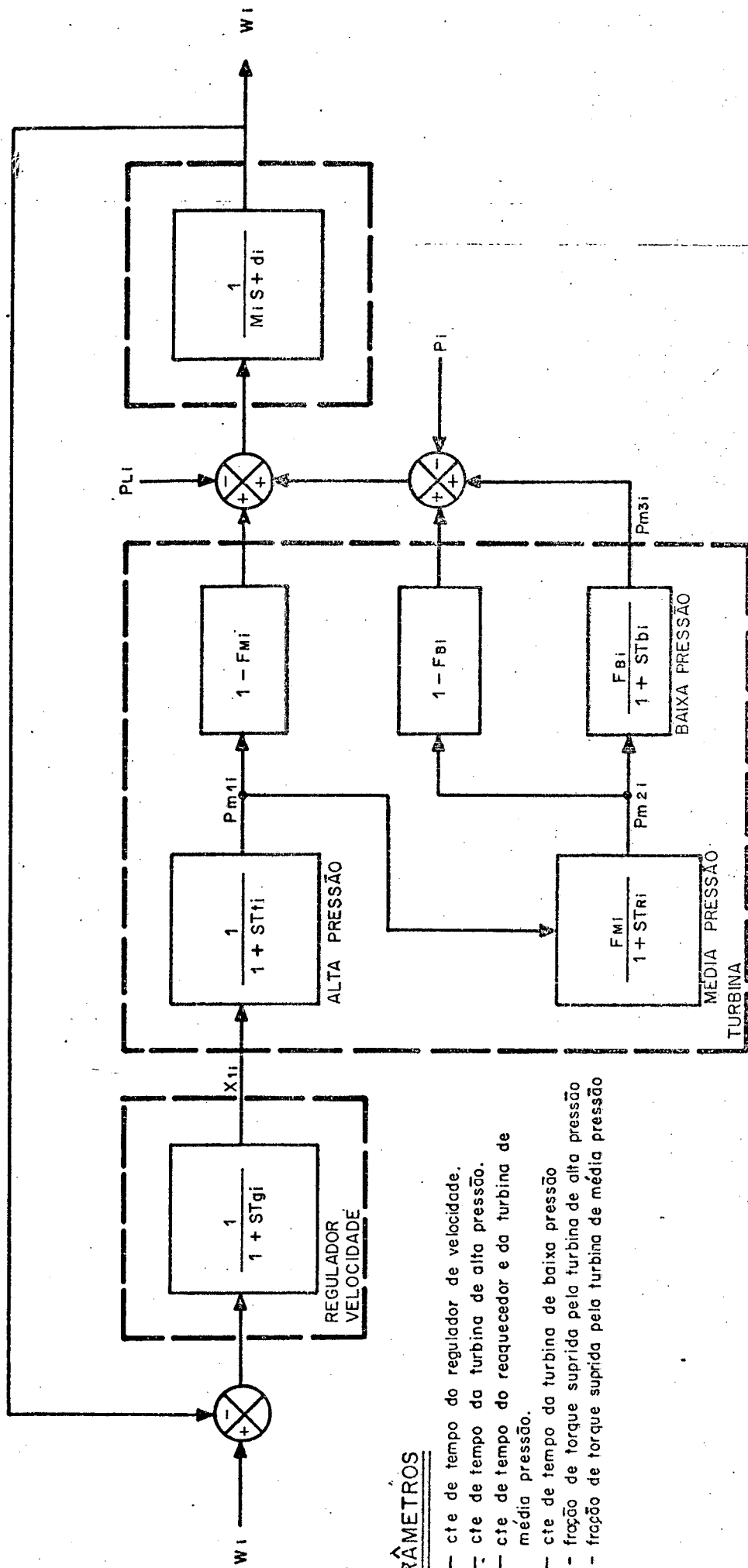


FIGURA 2.6 MÁQUINA PRIMÁRIA DE UMA UNIDADE TÉRMICA COM REaquecimento



PARÂMETROS

- Tgi - cte de tempo do regulador de velocidade.
- Tfi - cte de tempo da turbina de alta pressão.
- Tri - cte de tempo do reaquecedor e da turbina de média pressão.
- Tbi - cte de tempo da turbina de baixa pressão
- 1-Fmi - fração de torque suprida pela turbina de alta pressão
- 1-Fbi - fração de torque suprida pela turbina de média pressão

FIGURA 2.7 DIAGRAMA DE BLOCOS PARA UMA UNIDADE TÉRMICA COM REAQUECIMENTO E TRÊS ESTÁGIOS

$$\dot{P}_{m1i} = -\frac{1}{T_{ti}} P_{m1i} + \frac{1}{T_{ti}} x_{1i} \quad (2.29)$$

$$\dot{P}_{m2i} = -\frac{F_{Mi}}{T_{Ri}} P_{m2i} + \frac{F_{Mi}}{T_{Ri}} P_{m1i} \quad (2.30)$$

$$\dot{P}_{m3i} = -\frac{F_{Bi}}{T_{Bi}} P_{m3i} + \frac{F_{Bi}}{T_{Bi}} P_{m2i} \quad (2.31)$$

$$\dot{x}_{1i} = -\frac{1}{T_{gi}} x_{1i} - \frac{1}{T_{gi}} \omega_i + \frac{1}{T_{gi}} \omega_r \quad (2.32)$$

2.4. MODELO DA CARGA

A carga em um sistema de potência é função tanto da tensão de barra como da frequência, sendo que além disto, sua evolução no tempo apresenta características estocásticas e sua modelagem matemática depende de um estudo estatístico.

Em [5] são apresentados modelos para a representação da carga como função das tensões da barra e em [3] discute-se sua evolução no tempo através de um modelo estocástico. Neste último caso, a carga é modelada genericamente através da saída de um sistema linear excitado por um ruído branco.

$$X_{Li} = A_{Li} X_{Li} + B_{Li} \xi_i \quad (2.33)$$

$$P_{Li} = C_{Li} X_{Li} + D_{Li} \xi_i \quad (2.34)$$

onde: X_{Li} - vetor com os estados do sistema linear que modela a carga da i -ésima máquina;

ξ_i - ruído branco que excita o sistema linear;

P_{Li} - carga elétrica da i -ésima máquina.

O valor médio de P_{Li} , obtido através de (2.34), pode ser representado por uma classe de funções polinomiais, sendo esta a modelagem adotada no presente estudo. A razão para a adoção deste modelo deve-se ao fato de que para um estudo do tipo carga frequência é mais importante modelar a evolução da carga no tempo (previsão) do que representá-la em função de variações de tensões e de frequência.

2.5. MODELO MATEMÁTICO PARA UM SISTEMA MULTIMÁQUINA

Reunindo os modelos apresentados nos itens anteriores, pode-se representar genericamente uma unidade geradora através de uma equação diferencial matricial da forma:

$$\dot{X}_{ui} = A_{ui} X_{ui} + b_{ui} u_i - d_{ui} P_{ei} - d_{ui} P_{Li} \quad (2.35)$$

$$\omega_i = C'_{ui} X_{ui} \quad (2.36)$$

Estendendo-se estas equações para um conjunto de n máquinas pode-se escrever:

$$\dot{X}_u = A_u X_u + B_u u - D_u P_e - D_u P_L \quad (2.37)$$

$$\omega = C'_u X_u \quad (2.38)$$

onde: $X_u = [X'_{u1} \ X'_{u2} \ \dots \ X'_{un}]'$

$$A_u = \begin{bmatrix} A_{u1} & & \\ & A_{u2} & \\ & & A_{un} \end{bmatrix} ;$$

$$B_u = \begin{bmatrix} b_{u1} & & \\ & b_{u2} & \\ & & b_{un} \end{bmatrix} ; \quad u = [u_1 u_2 \dots u_n]'$$

$$D_u = \begin{bmatrix} d_{u1} & & \\ & d_{u2} & \\ & & d_{un} \end{bmatrix} ; \quad P_e = [P_{e1} P_{e2} \dots P_{en}]' ;$$

$$P_L = [P_{L1} P_{L2} \dots P_{Ln}]' ;$$

$$C_u = \begin{bmatrix} c_{u1} & & \\ & c_{u2} & \\ & & c_{un} \end{bmatrix} ; \quad \omega = [\omega_1 \omega_2 \dots \omega_n]'$$

Usando-se (2.10), (2.11) e (2.38) pode-se agregar \tilde{a} (2.37) as equações da rede, obtendo-se:

$$\dot{X}_p = A_p X_p + B_p U - D_p T \phi(S_p X_p) - D_p P_L \quad (2.39)$$

onde: $X_p = [X_u' : \sigma']'$;

$$A_p = \left[\begin{array}{c|c} A_u & \theta \\ \hline T' C'_u & \theta \end{array} \right] ;$$

$$B_p = \begin{bmatrix} B_u \\ \theta \end{bmatrix} ;$$

$$D_p = \begin{bmatrix} D_u \\ \theta \end{bmatrix} ;$$

$S_p = [\theta \quad : \quad I]$ e I - matriz identidade
 θ - matriz nula,

sendo $\sigma = S_p X_p$

C A P Í T U L O III

ESTRATÉGIA DE CONTROLE

3.1. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA DE CONTROLE CARGA-FREQUÊNCIA.

O problema de controle carga-frequência do sistema de uma empresa de energia elétrica inicialmente se resumia em manter-se a frequência do sistema num valor de referência o que refletia equilíbrio entre geração e demanda.

Mais tarde, devido ao aumento de tamanho e complexidade dos sistemas, começou a surgir a necessidade de se controlar também a potência elétrica gerada por cada unidade. Esta necessidade surgiu devido ao fato de que os custos de produção de cada usina eram (e são) diferentes, precisando-se maximizar a produção das usinas de menor custo por MW produzido. Naturalmente esta maximização deve respeitar certas restrições tanto estratégicas como de segurança do sistema (estabilidade). Esta necessidade de também controlar-se a potência gerada por cada unidade geradora intensificou-se com o aparecimento das interligações entre sistemas pertencentes a diferentes empresas.

As interligações entre sistemas surgiram porque nem sempre a capacidade de geração da empresa responsável por uma determinada área acompanha a evolução da demanda e também, no caso de sistemas com geração predominantemente hidráulica, devido as di

ferentes condições de hidraulicidade que potencialmente podem existir nas diversas regiões abrangidas por um sistema interligado.

As interligações permitem, portanto, fluxo de energia entre sistemas, permitindo que um sistema com capacidade instalada e energia em excesso auxilie um outro em períodos de dificuldade, melhorando de um modo geral o suprimento de energia ao consumidor. Surgiram então contratos de compra e venda de energia entre concessionárias e com isto, a necessidade de monitoração e controle de fluxo de potência entre as áreas conectadas.

Atualmente, o controle carga-freqüência consiste em manter o equilíbrio geração e demanda e também em controlar a potência gerada por cada usina de forma a manter-se o fluxo de potência nas interligações o mais próximo possível dos valores programados e de forma que a potência gerada por unidade evolua no tempo de acordo com as metas estabelecidas pelo planejamento e/ou programação da operação.

Cabe ressaltar que o problema de controle acima delimitado não é uma tarefa fácil, uma vez que cada sistema (área) possui sua própria carga (P_{Li}) a qual varia aleatoriamente em torno de um valor esperado, o qual por sua vez evolui no tempo. Outro agravante reside no fato de que cada sistema está sujeito a uma série de contingências, as quais, não devem instabilizar o sistema e tanto quanto possível, não devem provocar, em regime permanente, alterações no fluxo de potência entre áreas.

Outro aspecto que deve ser considerado é que o laço de regulação de velocidade de uma unidade geradora caracteriza-se, conforme visto no capítulo 2, por um sistema de uma única entrada,

o que contrasta com o fato de necessitar-se controlar-se duas variáveis, quais sejam, frequência e potência elétrica fornecida.

3.2. PROPOSIÇÃO DE UMA ESTRATÉGIA DE CONTROLE

O problema descrito anteriormente pode ser solucionado usando-se a teoria de rastreamento robusto com rejeição de perturbações e de variações de parâmetros.

No entanto esta teoria não pode ser aplicada diretamente pois trata-se de uma teoria desenvolvida para sistemas lineares e o sistema em consideração, apesar das diversas hipóteses simplificadoras empregadas na dedução do modelo, é não linear (equação 2.39). Uma extensão da teoria de rastreamento robusto ao caso não linear torna-se portanto necessária. A teoria de rastreamento robusto, bem como sua extensão ao caso não linear, é abordada no capítulo 4 de forma que, para o estabelecimento da estratégia de controle no presente momento, admite-se que esta teoria é aplicável a um sistema não linear da classe em estudo.

Outro aspecto que deve ser considerado é que a estratégia a ser adotada deve ser hierárquica com um elevado grau de descentralização, isto devido tanto a problemas tecnológicos como de confiabilidade que surgem decorrentes das grandes distâncias cobertas por um sistema de energia elétrica.

Propõe-se então uma estratégia de controle que consiste na inclusão, em certas usinas (preferencialmente usinas de ponta) do sistema sujeito a ação de controle (área sob controle), de um compensador projetado de acordo com a teoria de rastreamento robusto, o qual doravante será chamado de servo-compensador.

Conforme esta teoria, cada servo-compensador deve ser dirigido pelo erro de rastreamento o qual deverá ser uma combinação linear do desvio de velocidade e do erro entre a potência elétrica fornecida pela unidade e a potência programada para a unidade, isto é:

$$e_i = \alpha_i (P_{ref.i} - P_{ei}) + \beta_i \dot{\omega}_i \quad (3.1)$$

A razão de dirigir-se cada servo-compensador por uma combinação linear dos erros de rastreamento reside no fato anteriormente citado de que dispõe-se de apenas uma variável de controle por unidade geradora.

A inclusão dos servo-compensadores nas unidades geradoras provocam uma alteração no comportamento dinâmico das mesmas, tornando-se necessário efetuar uma regulação do sub-sistema aumentado formado pelo servo-compensador e pela unidade geradora. A regulação de cada sub-sistema deve ser tal que o conjunto formado por todas as unidades geradoras e pela rede de transmissão resulte num sistema estável.

Para atingir-se tal objetivo propõe-se o uso de compensadores dinâmicos, uma vez que a regulação através de realimentação de estado apresenta dificuldades tanto econômicas como tecnológicas que tornam sua implementação praticamente inviável.

O conjunto então formado pela unidade geradora, servo-compensador e compensador dinâmico constitui o nível mais baixo da estrutura de controle hierárquico em proposição. É este nível o responsável pela descentralização da lei de controle, uma vez que em cada unidade sob controle é inserido um servo-compensador e que

cada unidade é regulada independentemente através dos compensadores dinâmicos. O problema de regulação das unidades geradoras é discutido no capítulo 5 e o de estabilidade de todo o sistema no capítulo 6.

Um segundo nível na estrutura de controle teria a função de coordenar a operação de cada unidade geradora de acordo com as necessidades do sistema como um todo.

Este segundo nível seria o responsável por um controle centralizado e teria a função de determinar a potência desejável, $P_{ref.i}$, para cada unidade a qual é determinada de acordo com o erro de controle de área (ECA) e de acordo com a potência programada para cada unidade.

O erro de controle de área é o responsável tanto pelo acomodamento dos desvios da carga real do sistema com a programada, garantindo assim o equilíbrio entre geração e demanda, como também pela manutenção, em regime, do fluxo de potência nas interligações no valor programado. É definido por:

$$ECA_k = K_k (\omega_k - \omega_r) + \sum_j (P_{pkj} - P_{kj}) \quad (3.2)$$

onde: P_{pkj} - potência programada para a interligação kj;

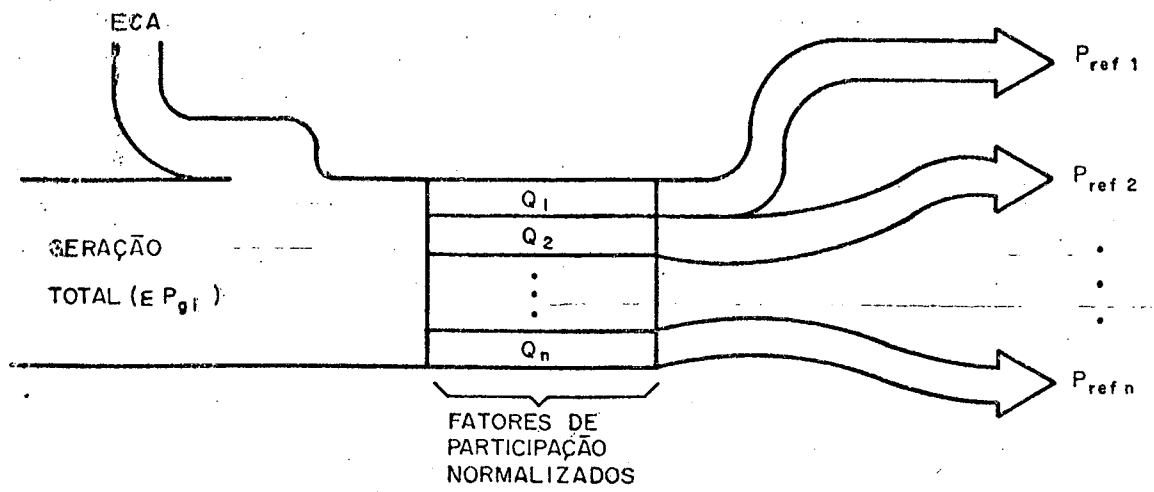
P_{kj} - potência real na interligação kj;

K_k - coeficiente de polarização do desvio de velocidade da k-ésima área.

Este segundo nível de controle nada mais é que a função de controle automático de geração dos modernos centros digitais de operação de sistemas, onde por telemidições são monitora

dos os fluxos de potência nas interligações. Estas medições e a medição de frequência são empregadas, juntamente com outros dados por um sistema computacional que opera em tempo real, para o cálculo do ECA e posterior determinação da potência de referência para cada unidade, a qual é transmitida para as unidades. A figura 3.1. apresenta dois critérios para o cálculo da potência programada para as unidades, sendo que o segundo é o mais empregado [11] pois permite alocar-se o ECA entre unidades segundo critérios outros que não econômicos tais como capacidade de regulação da unidade. Isto é vantajoso pois na maioria dos casos, as grandes usinas são as mais econômicas mas ao mesmo tempo apresentam uma menor velocidade de resposta para alteração da potência fornecida.

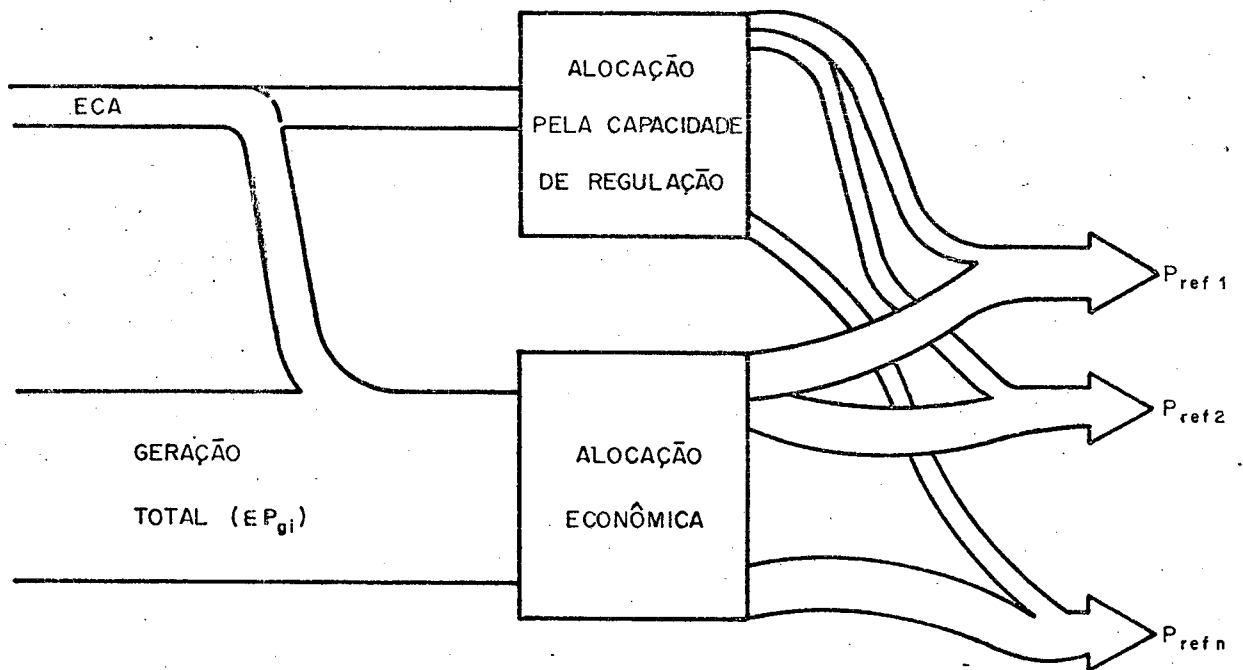
A figura 3.2. apresenta um diagrama ilustrativo da estratégia proposta, onde para maior clareza, foram mostradas apenas duas unidades geradoras.



LEI DE ALOCAÇÃO : $P_{ref i} = P_{bi} + a_i (\sum P_{gi} - \sum P_{bi}) + a_i ECA$

P_{bi} = PONTO BASE PARA I-ÉSIMA UNIDADE

a = ALOCAÇÃO SIMPLES DO ECA



LEI DE ALOCAÇÃO : $P_{ref i} = P_{bi} + a_i (\sum P_{gi} - \sum P_{bi}) + (a_i + b_i) ECA$

b = MÚLTIPLA ALOCAÇÃO DO ECA

FIGURA 3.1 CRITÉRIOS PARA DETERMINAÇÃO DAS REFERÊNCIAS POR GERADOR

C A P Í T U L O IV

TEORIA DE RASTREAMENTO ROBUSTO

4.1. CASO LINEAR

A teoria de rastreamento robusto aplica-se a sistemas lineares e estabelece diretrizes para o projeto de um compensador linear de tal forma que a saída deste sistema rastreie, em regime, uma referência desejável apesar de perturbações e de variações de parâmetros do processo [6].

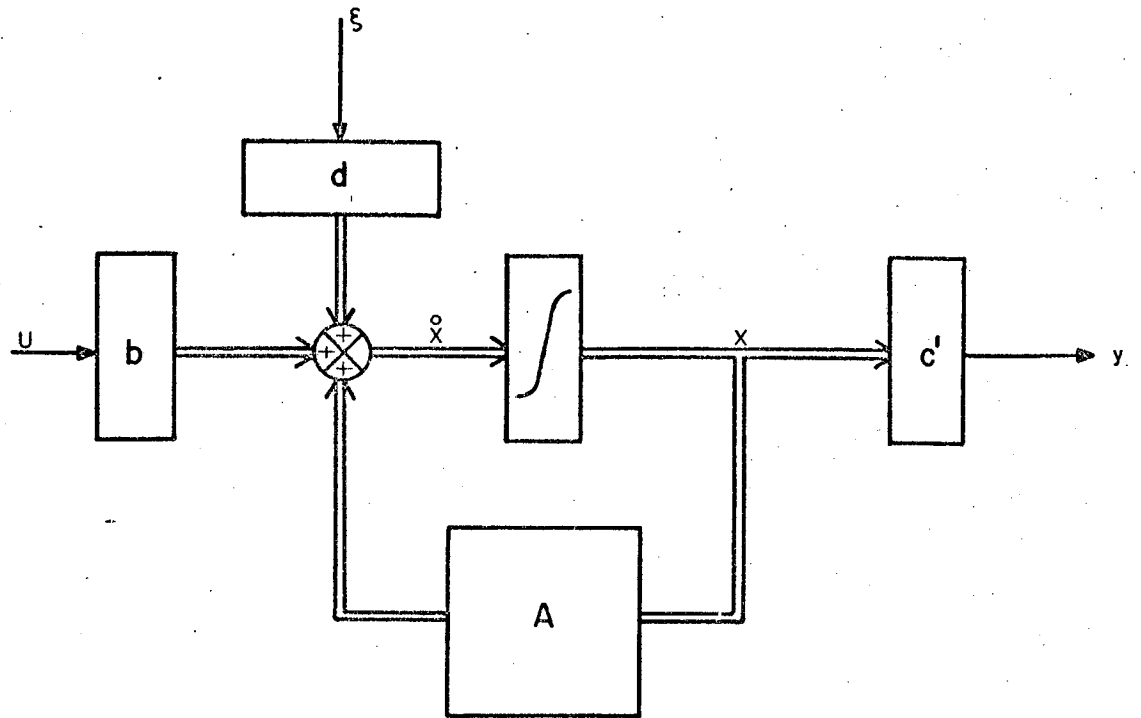
Considere um sistema linear genérico com uma representação através de variáveis de estado conforme mostrado na figura 4.1.a . Este sistema pode ser modelado no domínio frequência conforme mostrado na figura 4.1.b .

DEFINIÇÃO:

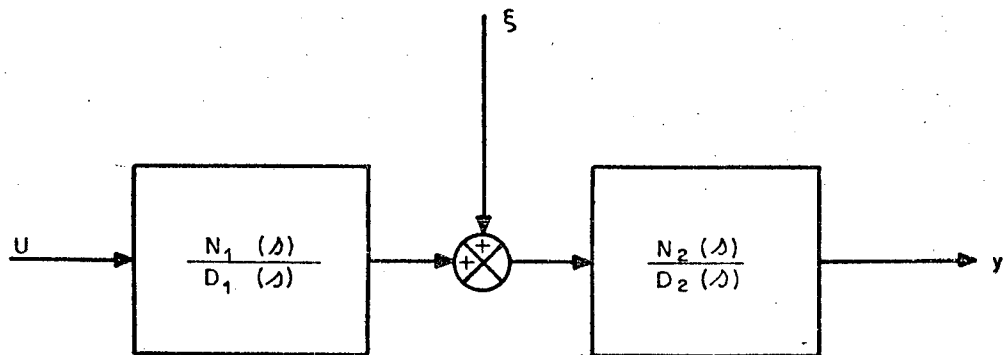
Define-se classe de funções γ como sendo todas as funções que possam ser geradas por um sistema linear.

TEOREMA 1

Para que a saída de um sistema do tipo apresentado na figura 4.1 rastreie em regime uma referência pré-determinada, y_r , pertencente à classe de funções γ , independente da perturbação ξ , também pertencente à classe de funções γ , é necessário que se inclua em cascata com o processo um servo-compensador dirigido pelo



a. - POR VARIÁVEIS DE ESTADO



b. - DOMÍNIO FREQUÊNCIA

FIGURA 4.1 REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA GENÉRICA DE UM SISTEMA LINEAR

erro de rastreamento e com uma estrutura da forma:

$$G_S(s) = \frac{N_S(s)}{D_S(s)}$$

devendo o conjunto respeitar as restrições:

$$D_1(p)D_2(p)D_S(p) Y_R = 0 \quad (4.1)$$

$$D_1(p)N_2(p)D_S(p) \xi = 0 \quad (4.2)$$

$$N_S(p) - \text{livre} \quad (4.3)$$

onde: p é o operador derivada $p = \frac{d}{dt}$.

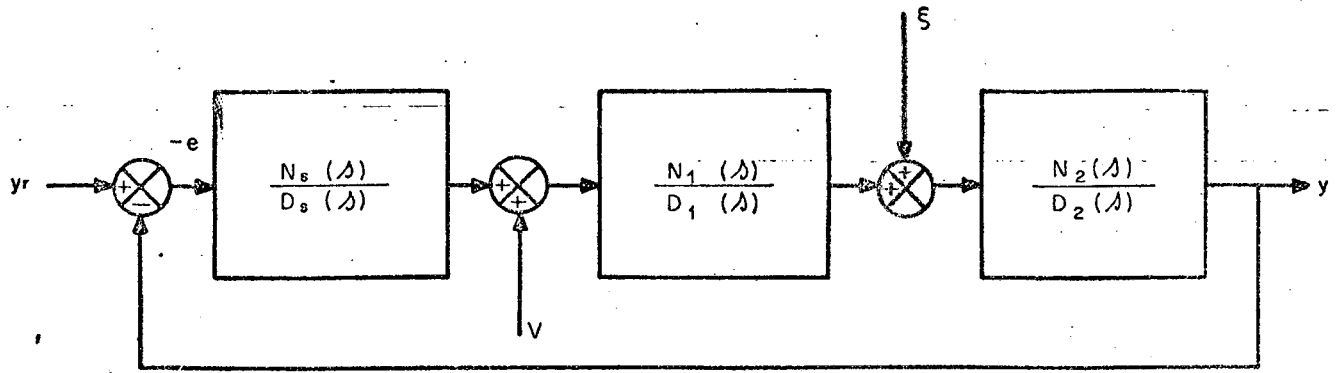
PROVA:

A figura 4.2 apresenta a estrutura formada pelo processo e servo-compensador. Para esta estrutura, a relação entrada saída no domínio frequência é dada por:

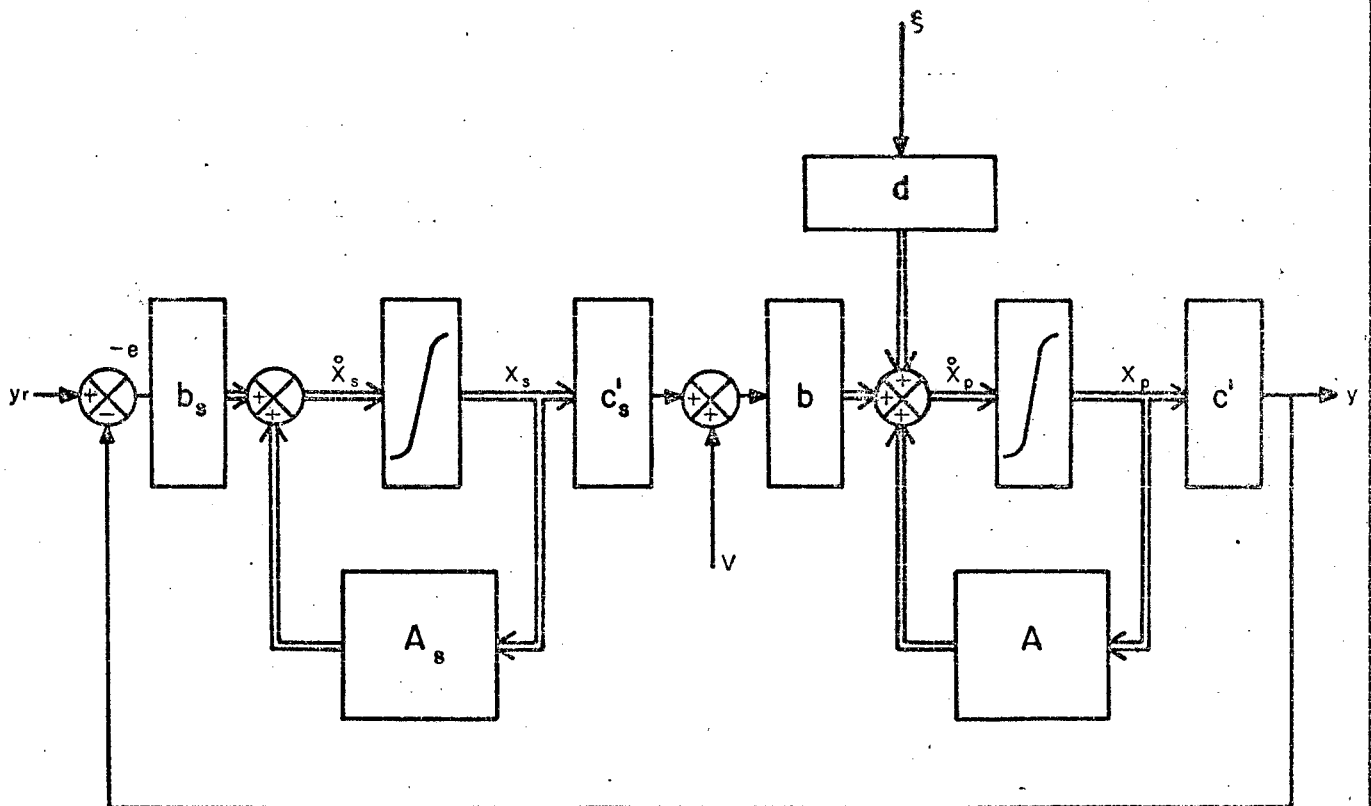
$$Y = \frac{N_2(s) N_1(s) N_S(s) Y_R + N_2(s) D_1(s) D_S(s) \cdot \xi}{D_2(s) D_1(s) D_S(s) + N_2(s) N_1(s) N_S(s)}$$

ou usando-se o operador derivada:

$$[D_2(p)D_1(p)D_S(p) + N_2(p)N_1(p)N_S(p)]Y = N_2(p)N_1(p)N_S(p)Y_R + \\ + N_2(p)D_1(p)D_S(p)\xi$$



a - DOMÍNIO FREQUÊNCIA



b - VARIÁVEIS DE ESTADO

FIGURA 4.2 REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA ESTRUTURA FORMADA PELO SERVO-COMPENSADOR E PROCESSO

Definindo-se o erro de rastreamento por:

$$e = y - y_r ,$$

pode-se escrever a equação de erro do sistema como sendo:

$$\begin{aligned} [D_2(p)D_1(p)D_s(p) + N_2(p)N_1(p)N_s(p)]e = & -D_2(p)D_1(p)D_s(p) \cdot y_r + \\ & + N_2(p)D_1(p)D_s(p) \xi \end{aligned}$$

Para que o erro de rastreamento em regime seja nulo é necessário que a equação de erro seja autônoma e estável. Para que seja autônoma é necessário que:

$$D_2(p)D_1(p)D_s(p) \cdot y_r = 0$$

$$N_2(p)D_1(p)D_s(p) \cdot \xi = 0 \quad \text{c.q.p.}$$

Quando um sistema satisfaz as restrições estabelecidas pelas equações (4.1) e (4.2), diz-se que o sistema contém os modos dos sinais de referência e de perturbações respectivamente.

Para se satisfazer (4.1) é suficiente que se satisfaça uma das seguintes equações:

$$D_2(p) \cdot y_r = 0 \quad (4.4)$$

$$D_1(p) \cdot y_r = 0 \quad (4.5)$$

$$D_s(p) \cdot y_r = 0 \quad (4.6)$$

Como raramente (4.4) ou (4.5) acontecem, cabe ao servo-compensador a função de incluir no sistema os modos do sinal de referência. O mesmo acontece em relação ao sinal de perturbação. Por estas razões, em geral, os servo-compensadores devem ser projetados tal que:

$$D_s(p) \cdot y_r = 0 \quad (4.7)$$

$$D_s(p) \cdot \xi = 0 \quad (4.8)$$

Uma consideração adicional deve ser feita com relação ao projeto de servo-compensadores. Esta consiste em ter-se o cuidado de verificar-se a existência de cancelamento de polos do servo-compensador com zeros do processo. Se isto acontecer, os polos cancelados devem ser repetidos tantas vezes quantas forem necessárias para que as equações (4.1) e (4.2) sejam satisfeitas.

Uma última consideração deve ser feita com relação ao enunciado do teorema 1, quando se refere à classe de funções γ . Esta restrição foi estabelecida pois a teoria só é válida para aqueles sinais que possam ser gerados por um sistema linear, caso contrário jamais se conseguirá satisfazer (4.7) e (4.8) através de um servo-compensador linear.

4.2. MODELO MATEMÁTICO DO SERVO-COMPENSADOR

A figura 4.2.b apresenta esquematicamente, através de descrição por variáveis de estado, a estrutura formada pelo servo-compensador e processo. De acordo com esta estrutura, as equações de estado do servo-compensador podem ser expressas por:

$$\dot{X}_{si} = A_{si} X_{si} + b_{si} [Y_r - Y] \quad (4.9)$$

$$Y_{si} = C'_{si} X_{si} \quad (4.10)$$

Considerando esta última representação, pode-se expressar as equações (4.7) e (4.8) através da matriz A_{si} , ou seja:

$$\left| pI - A_{si} \right| Y_r = 0 \quad (4.11)$$

$$\left| pI - A_{si} \right| \xi = 0 \quad (4.12)$$

4.3. EXTENSÃO AO CASO NÃO LINEAR

A aplicação da teoria apresentada no item anterior a sistemas de potência não é imediata. A razão disto é devido a não linearidade incluída pelo modelo da rede, representada no caso pelo sinal de potência elétrica. A extensão desta teoria ao modelo não linear em estudo exige que se imponham outras restrições às já estabelecidas pelas equações (4.11) e (4.12).

Em [8] e [12] são deduzidas tais condições para o problema genérico de regulação de velocidade e tensão em sistemas de potência. Na presente exposição, o problema é particularizado para o laço de regulação de velocidade, tendo o mesmo procedimento sido usado em [17].

Inicialmente é interessante definir em função do modelo adotado, equação (2.39), quais as variáveis (saídas) que devem rastrear as referências e como expressar o sinal de erro para cada unidade. Estas equações serão úteis para a determinação do modelo matemático para um sistema multimáquina com servo-compensadores.

A saída do sistema, por unidade geradora, pode ser expressa por:

$$y_i = \omega_i + T_i \phi(\sigma)$$

onde: ω_i - desvio de velocidade da i -ésima unidade;

$T_i \phi(\sigma)$ - potência elétrica fornecida pela i -ésima unidade.

Como ω_i já representa o desvio de velocidade em relação à nominal, o erro de rastreamento, considerando a estratégia proposta (equação 3.1), é dado por:

$$e_i = \alpha_i [P_{\text{ref},i} - T_i \phi(\sigma)] - \beta_i \omega_i$$

Considerando (2.35), (2.36), (4.9), (4.10) e a equação acima, pode-se escrever a equação que representa uma unidade geradora após a inclusão do servo-compensador através de:

$$\dot{x}_{spi} = A_{spi} x_{spi} + b_{spi} v_i - d_{spi} T_i \phi(\sigma) - d_{spi} P_{Li} + b_{xi} [P_{\text{ref},i} - T_i \phi(\sigma)] \quad (4.13)$$

onde: $x_{spi} = [x'_{ui} \ : \ x'_{si}]'$;

$$A_{spi} = \begin{bmatrix} A_{ui} & \vdots & b_{ui} C'_{si} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -b_{si} \beta_i C'_{ui} & \vdots & A_{si} \end{bmatrix};$$

$b_{spi} = [b'_{ui} \ : \ \theta]'$; v_i - sinal estabilizador;

$$d_{spi} = \begin{bmatrix} d'_{ui} & \vdots & \theta \end{bmatrix}';$$

$$b_{xi} = \begin{bmatrix} \theta & \vdots & \alpha_i b'_{si} \end{bmatrix}'$$

Estendendo a equação anterior no sentido de representar-se um sistema multimáquina e a rede, obtém-se:

$$\dot{X}_{sp} = A_{sp} X_{sp} + B_{sp} V - D_{sp} T\phi (H_{sp} X_{sp}) - D_{sp} P_L + B_s [P_{ref} - T\phi (H_{sp} X_{sp})]$$

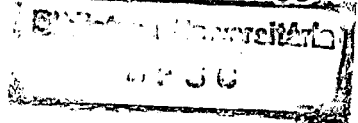
(4.14)

onde: a) $X_{sp} = \begin{bmatrix} X'_a & \vdots & \sigma' \end{bmatrix}'$ com $X_a = \begin{bmatrix} X'_{sp1} & X'_{sp2} & \dots & X'_{spn} \end{bmatrix}'$

b) $A_{sp} = \begin{bmatrix} A_a & \vdots & \theta \\ \dots & \vdots & \dots \\ T' C'_{sp} & \vdots & \theta \end{bmatrix}$ com $A_a = \begin{bmatrix} A_{sp1} & & & \theta \\ & A_{sp2} & & \\ & & \dots & \\ \theta & & & A_{spn} \end{bmatrix}$

e) $C_{sp} = \begin{bmatrix} C_{sp1} & & & \theta \\ & C_{sp2} & & \\ & & \dots & \\ \theta & & & C_{spn} \end{bmatrix}$ sendo $C_{spi} = \begin{bmatrix} C_{ui} & \vdots & \theta \end{bmatrix}$

c) $B_{sp} = \begin{bmatrix} B_a \\ \dots \\ \theta \end{bmatrix}$ com $B_a = \begin{bmatrix} b_{sp1} & & & \theta \\ & b_{sp2} & & \\ & & \dots & \\ \theta & & & b_{spn} \end{bmatrix}$



$$e \quad V = [V_1 V_2 \dots V_n]'$$

$$d) \quad D_{sp} = \begin{bmatrix} D_a \\ \dots \\ \theta \end{bmatrix} \quad \text{com} \quad D_a = \begin{bmatrix} d_{sp1} & & & \theta \\ & d_{sp2} & & \\ & & \dots & \\ \theta & & & d_{spn} \end{bmatrix}$$

$$e \quad H_{sp} = \begin{bmatrix} \theta & \vdots & I \end{bmatrix}$$

$$e) \quad B_s = \begin{bmatrix} B_x \\ \dots \\ \theta \end{bmatrix} \quad \text{com} \quad B_x = \begin{bmatrix} b_{x1} & & & \theta \\ & b_{x2} & & \\ & & \dots & \\ \theta & & & b_{xn} \end{bmatrix}$$

$$e \quad P_{ref} = [P_{ref1} \ P_{ref2} \ \dots \ P_{refn}]'$$

Conforme proposto na estratégia de controle, os sinais estabilizantes V_i , equação (4.14), serão provenientes de compensadores dinâmicos. Estes compensadores serão abordados no capítulo 5, no qual também será mostrado que os mesmos não alteram os modos inseridos na matriz A_{sp} pelos servo-compensadores, ou em outras palavras, não destroem a capacidade de rastreamento do sistema.

Baseando-se nestas considerações, pode-se escrever a equação (4.14) desconsiderando estes sinais, ou seja:

$$\dot{X}_{sp} = A_{sp} X_{sp} - D_{sp} \Psi(H_{sp} X_{sp}) - D_{sp} P_L + B_s \left[P_{ref} - \Psi(H X_{sp}) \right] \quad (4.15)$$

$$P = \Psi(H_{sp} X_{sp})$$

onde: $\Psi(\dots) = T\phi(\dots)$

$$P = [P_{e1} \ P_{e2} \ \dots \ P_{en}]'$$

O teorema a seguir particulariza para o laço de regulação de velocidade a teoria apresentada em [8] a qual define as condições adicionais a serem impostas no projeto de servo-compensadores para aplicações num modelo não linear representativo de um sistema de potência.

TEOREMA 2

Considere a seguinte representação de um sistema de n máquinas com servo-compensadores:

$$\dot{X} = AX - D\Psi(HX) - DP_L + B[P_{ref} - \Psi(HX)] \quad (4.16)$$

$$P = \Psi(HX) \quad (4.17)$$

Se valerem as seguintes condições:

1) Os pares (A_{ui}, b_{ui}) , integrantes da matriz A , são controláveis e

$$\text{Posto} \begin{bmatrix} sI - A_p & B_p \\ S_p & e \end{bmatrix} = m + n \quad (4.18)$$

para todo o "s" que satisfaça a equação

5) O sistema não linear autônomo que representa a equação de erro do sistema, dado por:

$$\dot{\tilde{X}} = A\tilde{X} + G\tilde{\Psi}(\tilde{X}) \quad \text{é estável.}$$

onde: $\tilde{X} = X - \bar{X}$

$$G = D - B$$

$$\tilde{\Psi}(\tilde{X}) = \Psi[H(\bar{X} + \tilde{X})] - \Psi[H\bar{X}]$$

ENTÃO:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \omega = \bar{\omega}$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} [P(t) - P_{\text{ref}}(t)] = 0$$

independente do sinal de distúrbio P_L e de variações de parâmetros do processo desde que o sistema mantenha-se estável. Não são toleradas variações de parâmetros nos servo-compensadores que possam destruir as restrições estabelecidas nos itens 3 e 4 do enunciado.

PROVA:

Somando e subtraindo o termo $B.H.X$ à equação (4.16)

obtem-se:

$$\dot{X} = (A - BH)X + BHX - D\Psi(HX) - DP_L + B[P_{\text{ref}} - \Psi(HX)]$$

Definindo:

$\bar{A} = A - BH$ e usando o operador derivada

$p = \frac{d}{dt}$, pode-se escrever:

$$(pI - \bar{A})X = BH X - D\Psi(HX) - DP_L + B[P_{ref} - \Psi(HX)]$$

ou

$$X = (pI - \bar{A})^{-1}BH X - (pI - \bar{A})^{-1}D\Psi(HX) - (pI - \bar{A})^{-1}DP_L + \\ + (pI - \bar{A})^{-1}B[P_{ref} - \Psi(HX)]$$

Pré multiplicando ambos os lados por H, obtém-se:

$$HX = H(pI - \bar{A})^{-1}BH X - H(pI - \bar{A})^{-1}D\Psi(HX) - H(pI - \bar{A})^{-1}DP_L + \\ + H(pI - \bar{A})^{-1}B[P_{ref} - \Psi(HX)]$$

Lembrando que

$$(pI - \bar{A})^{-1} = \frac{\text{adj}(pI - \bar{A})}{|pI - \bar{A}|}, \text{ a equação anterior tor}$$

na-se:

$$|pI - \bar{A}|HX = H \text{adj}(pI - \bar{A})B [HX + P_{ref} - \Psi(HX)] - H \text{adj}(pI - \bar{A}) \cdot \\ \cdot D[\Psi(HX) + P_L] \quad (4.23)$$

Através de manipulações algébricas de polinômios matriciais [7] e [20], e usando-se a condição 1, pode-se escrever:

$$H \operatorname{adj}(pI - \bar{A})B = |pI - \bar{A}| - G_1(p) |pI - A_S| \quad (4.24)$$

$$H \operatorname{adj}(pI - \bar{A})D = -G_2(p) |pI - A_S| \quad (4.25)$$

onde $G_1(p)$ e $G_2(p)$ são operadores de polinômios matriciais. Aplicando-se (4.24) e (4.25) em (4.23) obtêm-se:

$$\begin{aligned} |pI - \bar{A}|HX &= |pI - \bar{A}| [HX + P_{\text{ref}} - \Psi(HX)] - G_1(p) |pI - A_S| \\ &\cdot [HX + P_{\text{ref}} - \Psi(HX)] + G_2(p) |pI - A_S| [\Psi(HX) + P_L] \end{aligned}$$

Aplicando-se as restrições estabelecidas pelas equações (4.20) e (4.21) nesta última equação obtêm-se:

$$\begin{aligned} |pI - \bar{A}| [P_{\text{ref}} - \Psi(HX)] - G_1(p) |pI - A_S| [HX - \Psi(HX)] + \\ + G_2(p) |pI - A_S| \Psi(HX) = 0 \end{aligned} \quad (4.26)$$

Usando-se (4.19) e considerando que os seguintes termos

$$G_1(p) |pI - A_S| H\bar{X} ;$$

$$G_1(p) |pI - A_S| \Psi(H\bar{X})$$

$$G_2(p) |pI - A_S| \Psi(H\bar{X})$$

são nulos devido às restrições (4.20) e (4.22), é possível adicioná-los ou subtraí-los à (4.26) sem alterar-se a igualdade. Pode-se portanto escrever:

$$\begin{aligned} & \left[pI - \bar{A} \right] \left[\Psi(H\bar{X}) - \Psi(HX) \right] - G_1(p) \left[pI - A_S \right] \left[HX - H\bar{X} \right] + \\ & + G_1(p) \left[pI - A_S \right] \left[\Psi(HX) - \Psi(H\bar{X}) \right] + G_2(p) \left[pI - A_S \right] \left[\Psi(HX) - \Psi(H\bar{X}) \right] = 0 \end{aligned}$$

ou

$$\begin{aligned} & \left[\left[pI - \bar{A} \right] - G_1(p) \left[pI - A_S \right] \right] \left[\Psi(H\bar{X}) - \Psi(HX) \right] - G_1(p) \left[pI - A_S \right] \left[HX - H\bar{X} \right] - \\ & - G_2(p) \left[pI - A_S \right] \left[\Psi(HX) - \Psi(H\bar{X}) \right] = 0 \end{aligned} \quad (4.27)$$

Usando novamente as equações (4.24) e (4.25) em (4.27) obtêm-se:

$$(pI - \bar{A}) \tilde{X} = B H \tilde{X} + (D - B) \left[\Psi(HX) - \Psi(H\bar{X}) \right]$$

como $\bar{A} = A - B H$

$$\dot{\tilde{X}} = A \tilde{X} + G \tilde{\Psi}(\tilde{X})$$

A estabilidade do sistema descrito pela equação acima implica em que:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{X} = 0$$

ou que

$$\lim_{t \rightarrow \infty} X = \bar{X}$$

então $\lim_{t \rightarrow \infty} \omega = \bar{\omega}$

e ainda, usando (4.19)

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P = P_{\text{ref}} \quad \text{c.q.p.}$$

Este último teorema apresentou pois as restrições que devem ser impostas aos servo-compensadores quando empregados no problema de controle carga-freqüência.

São elas:

$$|pI - A_s| P_{\text{ref}} = 0 \quad ;$$

$$|pI - A_s| P_L = 0 \quad e$$

$$|pI - A_s| H\bar{X} = 0$$

As duas primeiras são as mesmas requeridas para o projeto de servo-compensadores para sistemas lineares e a última é uma restrição adicional devido a presença da não-linearidade no sistema.

4.4. INTERPRETAÇÃO FÍSICA DA EXTENSÃO AO CASO NÃO LINEAR

A análise do enunciado do teorema 2 conduz a uma interpretação física do problema de rastreamento que pode auxiliar em muito o projeto de servo-compensadores.

Inicialmente a interpretação da restrição

$$|pI - A_s|H\bar{X} = 0$$

é importante, pois estabelece que os servo-compensadores devem conter os modos dos sinais endógenos, isto é, dos sinais gerados pelo movimento de referência \bar{X} . Esta restrição limita drasticamente o espectro de funções que podem ser rastreadas pela potência elétrica. A rigor apenas um tipo de sinal satisfaz esta restrição. Trata-se da função degrau, isto é:

$$P_{ref} = \text{constante},$$

pois neste caso o movimento de referência, \bar{X} , também será uma constante.

Comparado com o caso linear onde dispunha-se de toda a classe de funções γ isto apresenta-se como uma restrição bastante forte.

Esta limitação deve-se única e exclusivamente à característica da não linearidade associada ao modelo. Para um melhor esclarecimento, considere um sinal de referência em forma de rampa, isto é:

$$P_{ref} = k.t.$$

A potência elétrica, responsável pela não linearidade do modelo, quando escrita numa das suas formas mais simplificadas é dado por:

$$P_e = F \text{ sen}(2\pi f\sigma)$$

Se P_{ref} é uma rampa, então $\bar{\sigma}$ (componente do vetor \bar{X}) será da forma:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{2\pi f} \text{ sen}^{-1}\left(\frac{kt}{F}\right)$$

Pela análise desta última função, é facilmente constatável que o sinal $\bar{\sigma}$ não pertence à classe de funções γ , logo nenhum servo-compensador linear poderá incluir os modos deste sinal no sistema, logo é impossível fazer-se o sistema rastrear uma rampa. O mesmo problema aparece para qualquer outro sinal que pertença a classe de funções γ , exceto ao sinal em degrau.

No entanto este problema na prática apresenta-se bastante atenuado, pois pode-se relaxar-se o rigorismo matemático. Suponha por exemplo que considera-se satisfatório rastrear-se aproximadamente uma rampa em vez de rastrear-se, conforme ilustrado anteriormente, exatamente uma rampa.

A justificativa para pensar-se numa solução deste tipo para o problema baseia-se no fato que é possível aproximar-se até a precisão que se queira qualquer sinal por uma série de Taylor. Uma série de Taylor nada mais é que uma polinomial, logo pertencente à classe de funções γ . No capítulo 7, que trata sobre simulações, são apresentados resultados que apoiam este raciocínio. Por

tanto, face a discussão apresentada, a restrição imposta pela não linearidade não implica em uma restrição prática intransponível.

É importante notar que a não linearidade não impõe nenhuma restrição adicional sobre o tipo de sinal que modela a carga. Conforme apresentado no capítulo 2, a carga é modelada por seu valor esperado, ou seja, por uma polinomial, não apresentando portanto nenhum problema adicional.

Voltando a analisar o enunciado do teorema 2 chega-se a uma outra interpretação física do teorema muito interessante e que se adapta perfeitamente às características de sistemas de potência. Esta análise diz respeito à condição número 1 a qual é importante para a obtenção das equações (4.24) e (4.25).

A condição número 1 estabelece inicialmente que as unidades geradoras devem ser controláveis e estabelece que o número de entradas de controle deve ser pelo menos igual ao número de fluxos de potência P_{ei} a serem controlados. Ainda na sua parte final estabelece que não deve haver cancelamento de polos dos serwo-compensadores com zeros do processo sendo que esta última restrição já havia sido estabelecida para o caso linear e não apresenta problemas maiores.

Uma última consideração a ser abordada neste item diz respeito à condição número 5 do enunciado e trata da estabilidade da equação de erro do sistema.

Basicamente a estabilidade é assegurada pela regulação individual das unidades geradoras pelos compensadores dinâmicos. O capítulo que segue trata detalhadamente destes compensadores. Também no capítulo seguinte prova-se como consegue-se asse

gurar a estabilidade deste sistema, que é não linear, através de uma análise baseada na teoria de sistemas lineares.

C A P Í T U L O V

REGULAÇÃO DAS UNIDADES GERADORAS

5.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Conforme abordado anteriormente, o servocompensador altera o comportamento dinâmico das unidades geradoras, podendo até torná-las instáveis. Para contornar-se este problema, propõe-se a inclusão de um compensador dinâmico em cada unidade, com o objetivo de efetuar-se a estabilização e/ou regulação das mesmas.

O compensador dinâmico é um sistema linear, excitado pelos estados mensuráveis, cujos parâmetros são escolhidos de tal forma que o conjunto unidade geradora/servocompensador/compensador dinâmico resulte num sistema estável e com um transitório previsível [9]. Com esta abordagem, o compensador dinâmico pode ser interpretado como uma generalização dos compensadores clássicos como lead-lag e PID para o caso de sistemas multivariáveis e multidimensionais.

5.2. TEORIA DA COMPENSAÇÃO DINÂMICA

A teoria de estabilização e/ou regulação de sistemas lineares já é bem conhecida, sendo muito usada no controle clássico através dos compensadores lead-lag e P.I.D. [16], [21]. Consiste basicamente na inclusão de um compensador em cascata com o sis

tema a ser regulado. No entanto estes compensadores (lead-lag, PID) não permitem a livre movimentação de todos os polos do sistema uma vez que sendo no máximo compensadores de 2^a ordem podem deslocar apenas 2 polos do sistema. A solução comumente adotada para sistemas n-dimensionais é movimentar apenas os polos dominantes do sistema, obtendo-se assim um sistema com um transitório melhor.

A regulação através de compensadores dinâmicos discutida em [9] e [10], consiste numa generalização dos compensadores clássicos, a qual permite uma livre movimentação no plano complexo de todos os polos de um sistema multidimensional. Isto possibilita que o projetista especifique o comportamento do sistema de acordo com outros critérios tais como minimização do consumo de energia ou minimização da norma de cada estado, não estando mais sujeito às restrições impostas pelos reguladores lead-lag, PID, etc. Desta forma a regulação através de compensadores dinâmicos representa uma unificação das teorias de controle clássico e moderno, uma vez que o projetista inicialmente especifica o transitório desejável do sistema, obtendo os ganhos de realimentação através ou de controle ótimo ou de simplesmente controle modal. Após, o mesmo parte para a determinação dos parâmetros de um compensador dinâmico que proporcione o comportamento dinâmico desejado.

O uso de compensadores dinâmicos apresenta vantagens e desvantagens em relação a realimentação de estado. Cita-se como vantagem o fato do mesmo poder ser implementado apenas com os estados disponíveis (mensuráveis) do processo não necessitando-se de observadores.

Como desvantagens cita-se o fato do mesmo aumentar a ordem do processo original e o fato do mesmo incluir zeros no

sistema, os quais apresentam uma influência no comportamento dinâmico de difícil previsão.

O compensador em discussão, da mesma forma que os compensadores do tipo PID, consiste de um sistema linear com a diferença de possuir múltiplas entradas com uma única saída o qual é conectado em cascata com o processo a ser regulado e/ou estabilizado.

Em [10] prova-se que para se posicionar os polos de um sistema linear, invariante no tempo, completamente observável, de ordem n , uma entrada, m saídas e índice de observabilidade p da forma:

$$\dot{X} = AX + bu$$

$$Y = C'X$$

onde: A - matriz $n \times n$;

C - matriz $n \times m$;

b - vetor $n \times 1$;

Y - vetor com os estados mensuráveis;

X - vetor com os estados do sistema;

é suficiente um compensador dinâmico de ordem p e de m entradas com a seguinte descrição tipo entrada saída:

$$Y_d = \frac{\sum_{i=0}^p \sum_{j=1}^m \beta_i^j s^i \cdot Y_j}{s^p + \sum_{i=0}^{p-1} \alpha_i s^i} \quad (5.2)$$

onde: Y_d - saída do compensador dinâmico;

p - índice de observabilidade do processo;

m - número de estados mensuráveis;

s - operador Laplaciano;

y_i - i -ésimo elemento do vetor \bar{y} , definido em (5.1);

β_i^j, α_i - parâmetros do compensador.

Escrevendo o sistema formado pelo processo e compensador através de variáveis de estado, obtemos:

$$\dot{X} = AX + b u_1$$

$$\dot{u}_1 = u_2$$

$$\dot{u}_2 = u_3$$

\vdots

$$\dot{u}_p = - \sum_{i=0}^{p-1} \alpha_i u_{i+1} - \sum_{i=0}^p \sum_{j=1}^m \beta_i^j s^i y_j \quad (5.3)$$

onde chamou-se:

$$u = u_1$$

$$\dot{u}_1 = u_2$$

$$\vdots$$

$$\dot{u}_{p-1} = u_p$$

Lembrando que:

$$s^i y_j = y_j^{(i)} \quad \text{e que:}$$

$y_j = C'_j X$, onde C_j é a j -ésima coluna da matriz C , pode-se escrever:

$$y_j^{(i)} = C'_j A^i X + \sum_{\ell=1}^i C'_j A^{i-\ell} b u_\ell, \quad i > 0 \quad (5.4)$$

Substituindo (5.4) em (5.3) obtêm-se:

$$\dot{X} = A X + b u_1$$

$$\dot{u}_1 = u_2$$

$$\dot{u}_p = - \sum_{i=0}^{p-1} \alpha_i u_{i+1} - \sum_{i=0}^p \sum_{j=1}^m \beta_i^j C'_j A^i X -$$

$$- \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^m \beta_i^j \sum_{\ell=1}^i C'_j A^{i-\ell} b u_\ell \quad (5.5)$$

Com o objetivo de obter-se expressões para a determinação dos parâmetros do compensador de tal forma que se obtenha do sistema compensado um transitório pré-determinado, considere um sistema auxiliar constituído pelo processo original agregado a "p" integradores em cascata. Este sistema aumentado seria descrito por:

$$\begin{aligned} \dot{X} &= A X + b u_1 \\ \dot{u}_1 &= u_2 \\ &\vdots \\ \dot{u}_p &= v \end{aligned} \quad (5.6)$$

onde v é a variável de excitação deste sistema.

Suponha também que

$$K = [k_1 \ k_2 \ \dots \ k_{n+p}]$$

sejam os ganhos de realimentação que regulem este sistema segundo o transitório desejado.

Então o sistema descrito por (5.6), após ter sido implementada a realimentação de estado, pode ser escrito como:

$$\begin{aligned} \dot{X} &= AX + b u_1 \\ \dot{u}_1 &= u_2 \\ &\vdots \\ \dot{u}_p &= \sum_{i=1}^n k_i x_i + \sum_{i=1}^p k_{i+n} u_i \end{aligned} \quad (5.7)$$

Observa-se que os sistemas descritos por (5.5) e (5.7) apresentam a mesma ordem e a mesma forma geral, sendo que (5.7) apresenta seus autovalores posicionados através dos ganhos de realimentação K , obtidos a partir de um critério pré-determinado. Para que o sistema descrito por (5.5) apresente os mesmos autovalores que o descrito por (5.7) basta que os parâmetros α_i e β_i^j sejam tais que a última equação de (5.5) seja igual a última de (5.7), uma vez que as demais equações são idênticas. Igualando-se estas duas últimas equações, obtêm-se os parâmetros do compensador dinâmico que localizarão os autovalores de (5.5) nas mesmas posições dos autovalores de (5.7).

Baseado nestas considerações, os parâmetros β_i^j são dados pela seguinte equação:

$$\begin{bmatrix} C & A'C & \dots & (A')^p C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0^1 \\ \beta_0^2 \\ \vdots \\ \beta_0^m \\ \beta_1^1 \\ \vdots \\ \beta_1^m \\ \vdots \\ \beta_p^1 \\ \vdots \\ \beta_p^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_n \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

onde $[C \ A' C \ \dots \ (A')^p C]$ - matriz de observabilidade do sistema. Obtêm-se os parâmetros α_i , através de substituição direta de β_i^j em:

$$\alpha_i = -k_{n+i+1} + \sum_{\ell=1}^m \sum_{j=i+1}^p (\beta_j^\ell C'_\ell A^{j-i-1} b) \quad (5.9)$$

Portanto, de acordo com o exposto, para se projetar um compensador dinâmico deve-se inicialmente determinar os ganhos de realimentação de um sistema fictício formado pelo processo e "p" integradores, onde "p" é o índice de observabilidade do processo. Estes ganhos de realimentação podem ser obtidos tanto por controle ótimo [13] como por controle modal [14]. A figura 5.1 mostra uma representação gráfica deste sistema fictício, sendo que genericamente o mesmo pode ser expresso por:

$$\dot{\hat{X}} = \hat{A}\hat{X} + \hat{b}v$$

Uma vez conhecidos os ganhos de realimentação, os parâmetros do compensador dinâmico necessário para que os polos do sistema compensado (processo + compensador dinâmico) ocupem a mesma posição no plano complexo que o sistema fictício realimentado podem ser obtidos através das equações (5.8) e (5.9).

Deve-se considerar que o sistema de equações formado por (5.8) não apresenta, normalmente, uma solução única. Isto deve-se ao fato de que a matriz de observabilidade geralmente é retangular. Face a estas características, sugere-se que solucione-se estas equações através de pseudo-inversa, isto é, dado um sistema de equações da forma:

$$AX = b$$

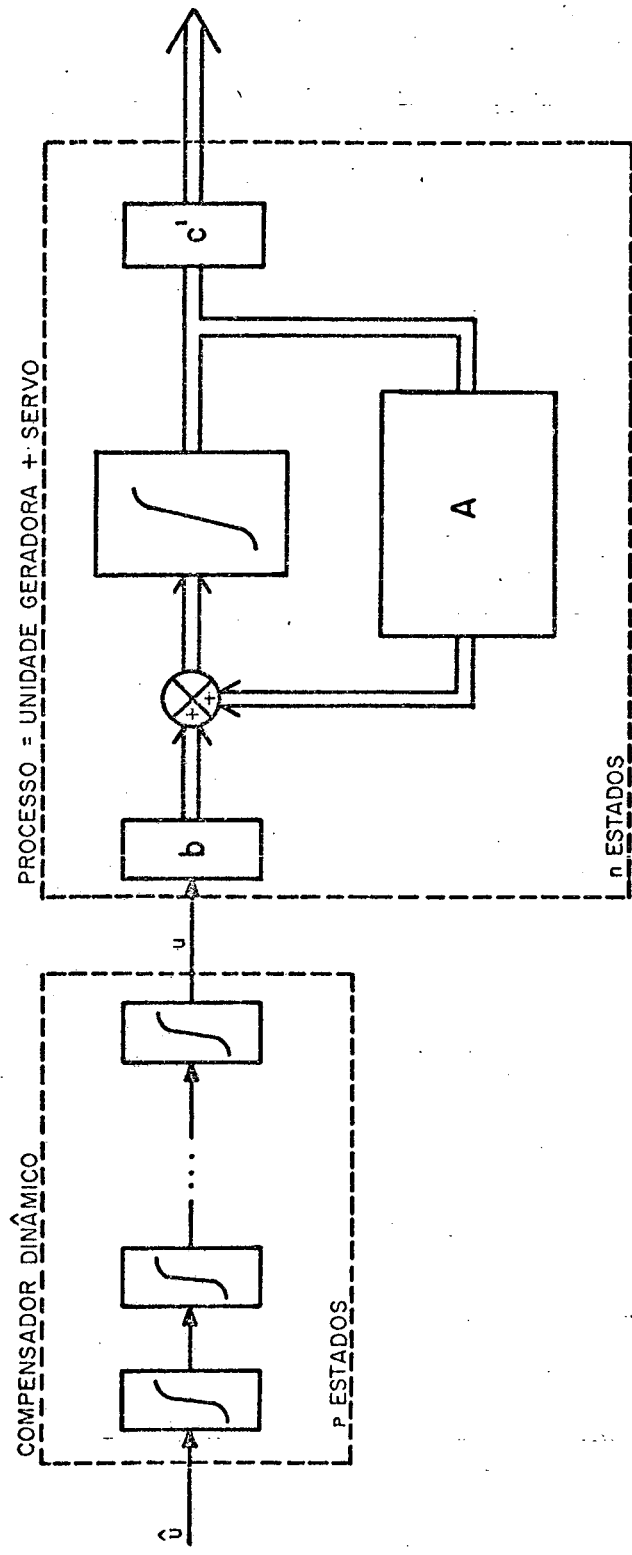


FIGURA 5.1 SISTEMA AUMENTADO SOBRE O QUAL DEVE SER FEITA A REGULÇÃO

onde A é de ordem nxm, sendo m > n, então o vetor solução X que apresenta menor módulo dentre todas as soluções [15] é dado por:

$$X = (A'A)^{-1} \cdot A'b$$

5.3. REALIZAÇÃO POR VARIÁVEIS DE ESTADO DO COMPENSA DOR DINÂMICO

Uma possível realização da equação (5.2) é dada por

[14]:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{d1} \\ \dot{x}_{d2} \\ \vdots \\ \dot{x}_{dk-1} \\ \dot{x}_{dk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\alpha_{k-1} & 1 & \dots & 0 \\ -\alpha_{k-2} & 0 & & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\alpha_1 & 0 & \dots & 1 \\ \alpha_0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{d1} \\ x_{d2} \\ \vdots \\ x_{dk-1} \\ x_{dk} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{\beta}_{k-1}^{-1} & \dots & \bar{\beta}_{k-1}^m \\ \bar{\beta}_{k-2}^{-1} & \dots & \bar{\beta}_{k-2}^m \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{\beta}_1^{-1} & \dots & \bar{\beta}_1^m \\ \bar{\beta}_0^{-1} & \dots & \bar{\beta}_0^m \end{bmatrix} Y \quad (5.10)$$

$$Y_d = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix} X_d + \begin{bmatrix} \beta_k^1 & \beta_k^2 & \dots & \beta_k^m \end{bmatrix} Y \quad (5.11)$$

$$\text{onde: } \bar{\beta}_i^j = \beta_i^j - \alpha_i \beta_k^j \quad (5.12)$$

x_{di} - estados do compensador dinâmico.

As equações (5.10) e (5.11) podem ser abreviadamente escritas como:

$$\dot{X}_{di} = A_{di} X_{di} + b_{di} Y_i \quad (5.13)$$

$$Y_{di} = C'_{di} X_{di} + d_{di} Y_i \quad (5.14)$$

onde o sub-índice "i" indica que as equações correspondem ao compensador dinâmico conectado a i-ésima unidade geradora.

A representação em diagrama de blocos das equações anteriores é apresentada na figura 5.2.

5.4 MODELO MATEMÁTICO DO SISTEMA COM COMPENSADOR DINÂMICO

A equação (4.14), representativa de uma unidade geradora com servo-compensador, pode ser abreviada no intuito de representar o conjunto unidade geradora/servo-compensador isolado do resto do sistema, tornando-se:

$$\dot{X}_{spi} = A_{spi} X_{spi} + b_{spi} v_i \quad (5.15)$$

Esta equação representa a parte linear de (4.14) e modela os subsistemas do sistema interligado que devem ser estabilizados pelos compensadores dinâmicos.

Define-se o vetor Y_i como sendo composto pelos estados mensuráveis do conjunto i-ésima unidade geradora/servo-compensador. É dado por:

$$Y_i = C'_{mi} X_{spi} \quad (5.16)$$

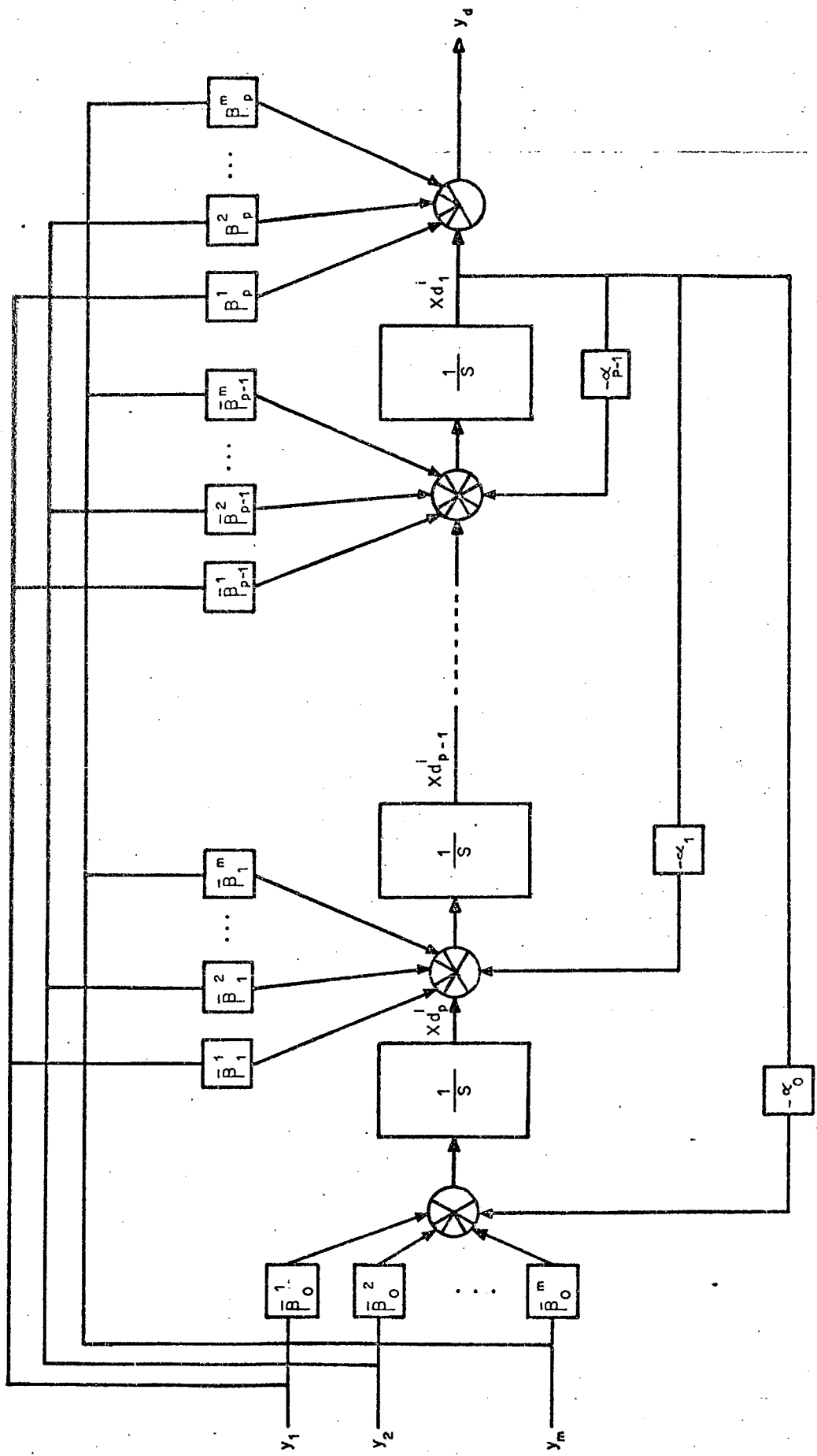


FIGURA 5.2 REALIZAÇÃO DO COMPENSADOR DINÂMICO

com

$$C_{\text{MENS}} = \begin{bmatrix} C_{pi} \\ \dots \\ C_{ci} \end{bmatrix}$$

sendo: C_{pi} - matriz relacionada aos estados mensuráveis do processo

C_{ci} - matriz relacionada aos estados mensuráveis do servo-compensador

As equações (5.15) e (5.16), quando reunidas, representam um sistema linear com m saídas. Genericamente este sistema pode ser representado por:

$$\begin{aligned} \dot{X} &= A X + b u \\ Y &= C' X \end{aligned} \quad (5.17)$$

A razão de se representar (5.15) e (5.16) pelo conjunto (5.17) é por pura simplificação de notação não devendo as matrizes e vetores identificadas em (5.17) serem confundidas com outras que apresentam a mesma notação em outro item deste texto que não este.

Observa-se que o sistema descrito por (5.17) apresenta a forma geral de sistemas lineares, podendo-se aplicar diretamente no mesmo a teoria da compensação dinâmica. Portanto, supondo que o sistema descrito por (5.17) seja observável com um índice de observabilidade p , um compensador da forma descrita por (5.2) é aplicável. A figura 5.3 ilustra a conexão do compensador dinâmico a uma unidade geradora genérica já com servo-compensador.

A representação de uma unidade geradora conectada a um servo-compensador e a um compensador dinâmico é dado por:

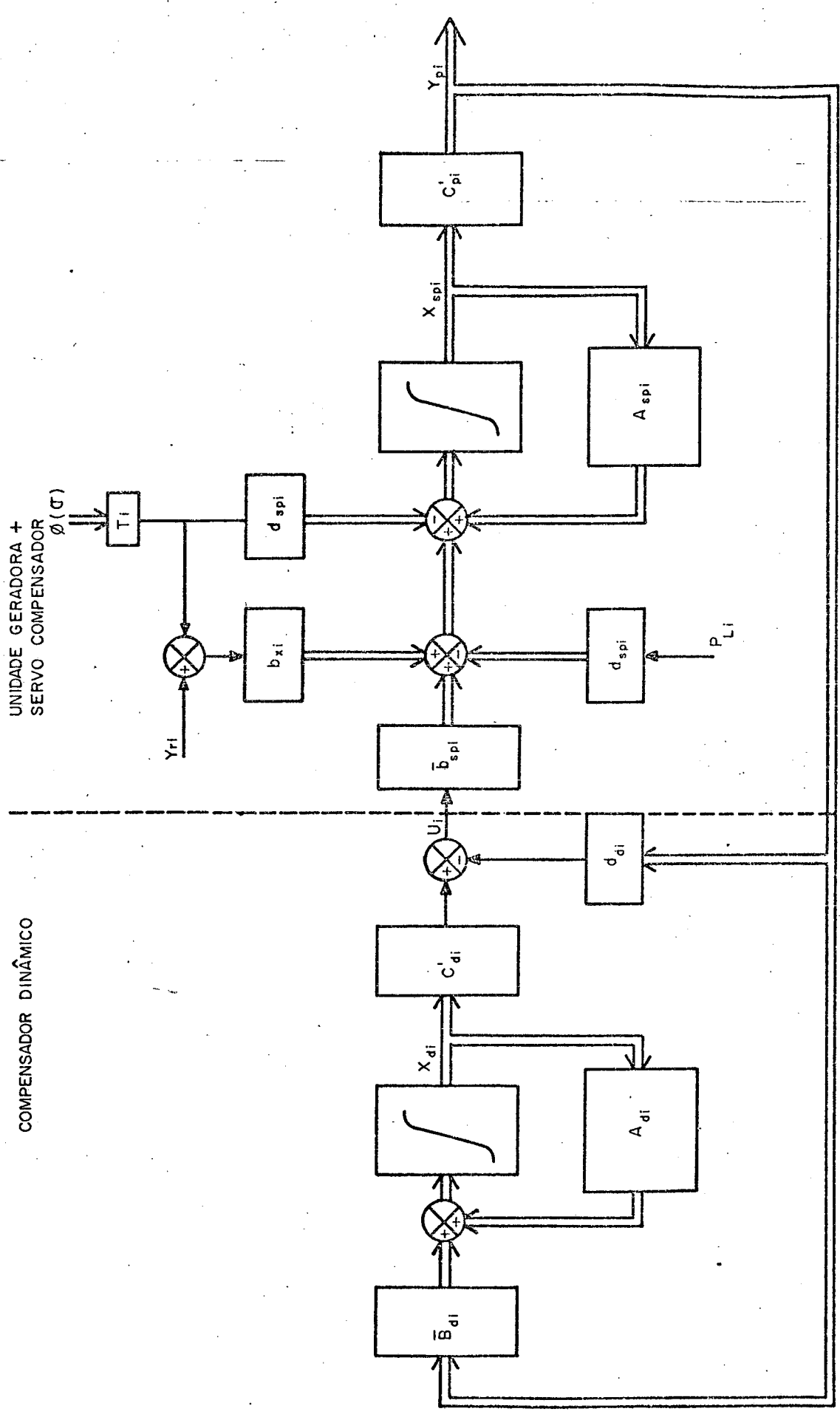


FIGURA 5.3 REPRESENTAÇÃO EM DIAGRAMA DE BLOCOS DA UNIDADE GERADORA + SERVO COMPENSADOR + COMPENSADOR DINÂMICO

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{spi} \\ \dots \\ \dot{x}_{di} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{spi} + b_{spi} d_{di} C'_{mi} & \vdots & b_{spi} C'_{di} \\ \dots & \dots & \dots \\ b_{di} C'_{mi} & \vdots & A_{di} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{spi} \\ \dots \\ x_{di} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} d_{spi} \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} T_i \phi(\sigma)$$

$$- \begin{bmatrix} d_{spi} \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} P_{Li} + \begin{bmatrix} b_{xi} \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} [P_{ref i} - T_i \phi(\sigma)] \quad (5.18)$$

ou abreviadamente

$$\dot{x}_i = A_i x_i - d_i T_i \phi(\sigma) - d_i P_{Li} + b_i [P_{ref i} - T_i \phi(\sigma)] \quad (5.19)$$

Para um sistema multimáquina, (5.19) é generalizada resultando:

$$\dot{\bar{X}} = \bar{A} \bar{X} - \bar{D} T \phi(\sigma) - \bar{D} P_L + \bar{B} [Y_r - T \phi(\sigma)] \quad (5.20)$$

$$\dot{\sigma} = T \bar{C}' \bar{X} \quad (5.21)$$

onde $\bar{X} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_v \end{bmatrix}$

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} A_1 & & & \\ & A_2 & & \\ & & \dots & \\ & & & A_M \end{bmatrix} \quad \bar{D} = \begin{bmatrix} d_1 & & & \\ & d_2 & & \\ & & \dots & \\ & & & d_n \end{bmatrix} \quad \bar{B} = \begin{bmatrix} b_1 & & & \\ & b_2 & & \\ & & \dots & \\ & & & b_n \end{bmatrix}$$

$$\bar{C} = \begin{bmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad C_i = \begin{bmatrix} C_{ui} \\ \vdots \\ \theta \end{bmatrix}$$

Unindo-se as equações (5.20) e (5.21) obtêm-se:

$$\dot{X} = A X - D \Psi (S X) - D P_L + B \left[P_{ref} - T \phi (S X) \right] \quad (5.22)$$

$$\text{onde: } X = \begin{bmatrix} \bar{X}' \\ \vdots \\ \sigma' \end{bmatrix}', \quad D = \begin{bmatrix} \bar{D}' \\ \vdots \\ \theta \end{bmatrix}'$$

$$A = \begin{bmatrix} \bar{A} & \vdots & \theta \\ \dots & \dots & \dots \\ T \bar{C}' & \vdots & \theta \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} \bar{B}' \\ \vdots \\ \theta \end{bmatrix}'$$

$$S = \begin{bmatrix} \theta & \vdots & I \end{bmatrix}'$$

5.5. INFLUÊNCIA DA REGULAÇÃO SOBRE O RASTREAMENTO

No item 4.2 abordou-se a teoria de rastreamento aplicada ao sistema em estudo desconsiderando os sinais estabilizantes v_i . A razão disto é porque os compensadores dinâmicos não alteram a estrutura da matriz A_{si} dos servo-compensadores pois sendo o vetor b_{spi} da forma:

$$b_{spi} = \begin{bmatrix} b_{ui} \\ \vdots \\ \theta \end{bmatrix}$$

a matriz A_i , de acordo com a equação (5.18), será da forma

$$A_i = \begin{bmatrix} A_{i11} & \vdots & A_{i12} \\ \dots & \dots & \dots \\ A_{i21} & \vdots & A_{di} \end{bmatrix}$$

onde: $A_{i11} = \left[A_{spi} + b_{spi} d_{di} C'_{mi} \right]$

Considerando a estrutura da matriz A_{spi} , dada pela equação (4.13), a estrutura da matriz C'_{mi} , dada pela equação (5.16), pode-se escrever A_{i11} como:

$$A_{i11} = \begin{bmatrix} A_{ui} + b_{ui} d_{di} C'_{pi} & b_{ui} d_{di} C'_{ci} \\ -b_{si} \beta_i C'_{ui} & A_{si} \end{bmatrix}$$

Por esta última igualdade observa-se claramente que a estrutura da matriz A_{si} não foi alterada pela inclusão dos compensadores dinâmicos, não perdendo o sistema com isto a capacidade de rastreamento proporcionada pelos servo-compensadores. Em outras palavras, diz-se que os compensadores dinâmicos não alteram os modos inseridos pelos servo-compensadores.

C A P Í T U L O VI

ESTABILIDADE DO SISTEMA INTERLIGADO

6.1. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

O teorema 2 estabelece que para que a saída Y do sistema:

$$\dot{X} = AX - D \Psi(SX) - DP_L + B \left[P_{ref} - T\phi(SX) \right] \quad (6.1)$$

$$Y = T\phi(SX) \quad (6.2)$$

rastreie uma referência Y_r , é necessário, entre outras condições, que a equação de erro do sistema, dada por:

$$\dot{\tilde{X}} = A\tilde{X} + G \tilde{\Psi}(\tilde{X}) \quad (6.3)$$

seja estável.

Uma questão que apresenta-se naturalmente é como obter-se a estabilização de (6.3). Tratando-se de um sistema não linear isto não é imediato.

Este item tem por objetivo estabelecer um procedimento através do qual possa-se garantir a estabilidade do sistema interligado, equação (6.3). Isto é necessário porque o comportamento dinâmico do sistema original foi alterado pela aplicação da estratégia de controle proposto. Como ferramentas para estabilização de

(6.3) pode-se citar:

- Alterações na rede de transmissão
- Regulação das unidades geradoras.

A primeira ferramenta influencia na função não linear e é utilizada pelos departamentos de planejamento das empresas de energia elétrica para o projeto de ampliações e de reforços na rede de transmissão, sendo que a segunda influencia diretamente na estrutura e/ou em parâmetros da matriz A.

Considerando que a aplicação da estratégia de controle aqui proposta não deve acarretar em alterações na rede de transmissão, resta como arma, para obter-se a estabilidade (6.3), a regulação das unidades geradoras.

Considerando a não linearidade, pode-se questionar se a regulação das unidades geradoras, implementada segundo a teoria de sistemas lineares, é suficiente para estabilizar (6.3). A prática tem demonstrado que sim, pois é procedimento comum nas empresas o ajuste de parâmetros dos reguladores de velocidade considerando as unidades isoladas do resto do sistema. Em [8] aborda-se este problema e no item que segue apresenta-se uma justificativa matemática baseada na abordagem acima referenciada que apoia este procedimento.

6.2. ESTABILIDADE DA ORIGEM

Expressando-se a função não linear $\tilde{\Psi}(\tilde{X})$ por uma série de Taylor em torno da origem, pode-se escrever:

$$\tilde{\Psi}(\tilde{X}) = \tilde{\Psi}(0) + \nabla \tilde{\Psi} |_0 \tilde{X} + \Gamma(\tilde{X}) \quad (6.4)$$

onde: $\nabla\tilde{\Psi}|_0$ - gradiente da função $\tilde{\Psi}$ na origem;

$\Gamma(\cdot)$ - agrupa os termos de ordem maior que um da série.

Como a equação (6.3) é autônoma e representa a equação de erro do sistema em estudo, então a origem deve ser um ponto de equilíbrio do sistema descrito por (6.3). Portanto

$$\tilde{\Psi}(0) = 0$$

podendo-se escrever (6.4) como:

$$\tilde{\Psi}(\tilde{X}) = \nabla\tilde{\Psi}|_0 \tilde{X} + \Gamma(\tilde{X}). \quad (6.5)$$

Notando:

$$Q = \nabla\tilde{\Psi}|_0 \quad (6.6)$$

e usando (6.6) e (6.5), pode-se re-escrever (6.3) como sendo:

$$\dot{\tilde{X}} = A_L \tilde{X} + G \Gamma(\tilde{X}) \quad (6.7)$$

onde: $A_L = (A + G \cdot Q)$.

Deve-se observar na equação (6.7) que a matriz A_L representa o sistema descrito por (6.3) linearizado, isto é:

$$\dot{\tilde{X}} = A_L \tilde{X} \quad (6.8)$$

TEOREMA 3

Considere o sistema descrito pela equação (6.7), onde admite-se que a matriz de transição de A_L satisfaz a desigualdade:

$$\| \exp(A_L t) \| < M \exp(\lambda t) \quad (6.9)$$

sendo M - um escalar positivo;

λ - maior autovalor de A_L .

Considere também que a função não linear, $\Gamma(\tilde{X})$ é tal que satisfaz a desigualdade:

$$\| G \Gamma(\tilde{X}) \| < k \| \tilde{X} \|, \quad (6.10)$$

sendo k um escalar positivo.

Então a solução de (6.7) satisfaz a desigualdade:

$$\| \tilde{X}(t) \| < M \| \tilde{X}(0) \| \exp[(\lambda + M k) t].$$

PROVA:

Considerando $\Gamma(\tilde{X})$ como uma entrada de (6.7), a sua solução pode ser expressa por [14]:

$$\tilde{X}(t) = \exp(A_L t) \tilde{X}(0) + \int_0^t \exp[A_L(t - \tau)] G \Gamma(\tau) d\tau$$

Usando-se a desigualdade triangular, pode-se escrever:

$$\|\tilde{X}(t)\| < \|\exp(A_L t) \tilde{X}(0)\| + \int_0^t \|\exp[A_L(t-\tau)]\| \cdot \|\Gamma(\tau)\| d\tau$$

Usando-se as desigualdades (6.9) e (6.10) obtêm-se:

$$\|\tilde{X}(t)\| < M \exp(\lambda t) \|\tilde{X}(0)\| + Mk \int_0^t \exp[\lambda(t-\tau)] \cdot \|\tilde{X}(\tau)\| d\tau \quad (6.11)$$

definindo

$$w(t) = \exp(-\lambda t) \|\tilde{X}(t)\|$$

e substituindo em (6.11), esta resulta:

$$w(t) < Mw(0) + Mk \int_0^t w(\tau) d\tau$$

Fazendo uso da desigualdade de Bellman-Gromwell, obtêm-se:

$$w(t) < Mw(0) \exp(Mk t)$$

Retornando à variável \tilde{X}

$$\|\tilde{X}(t)\| < M \|\tilde{X}(0)\| \exp[(\lambda + Mk) t] \quad \text{c.q.p.}$$

COROLÁRIO

A origem é um ponto de equilíbrio assintoticamente estável para o sistema descrito por (6.3) se

$$\operatorname{Re}(\lambda) < -kM \quad (6.12)$$

PROVA:

Pelo teorema anterior constatou-se que a solução de (6.7) que é a mesma de (6.3) apresenta uma envoltória exponencial dada por

$$\|\tilde{X}\| < M \|\tilde{X}(0)\| \exp[(\lambda + Mk)t]$$

Ora, para que a norma do vetor de estado \tilde{X} decresça assintoticamente à zero, basta que

$$\operatorname{Re}(\lambda + Mk) < 0 \quad \text{ou}$$

$$\operatorname{Re}(\lambda) < -Mk \quad \text{c.q.p.}$$

6.3. INTERPRETAÇÃO FÍSICA

Os teoremas 3 e 4 mostram que é possível estabilizar o sistema interligado, mesmo considerando as não linearidades das linhas de transmissão, através da teoria de sistemas lineares. Isto é obtido posicionando-se os polos do sistema linearizado de tal forma que o seu maior autovalor seja menor que um valor limi

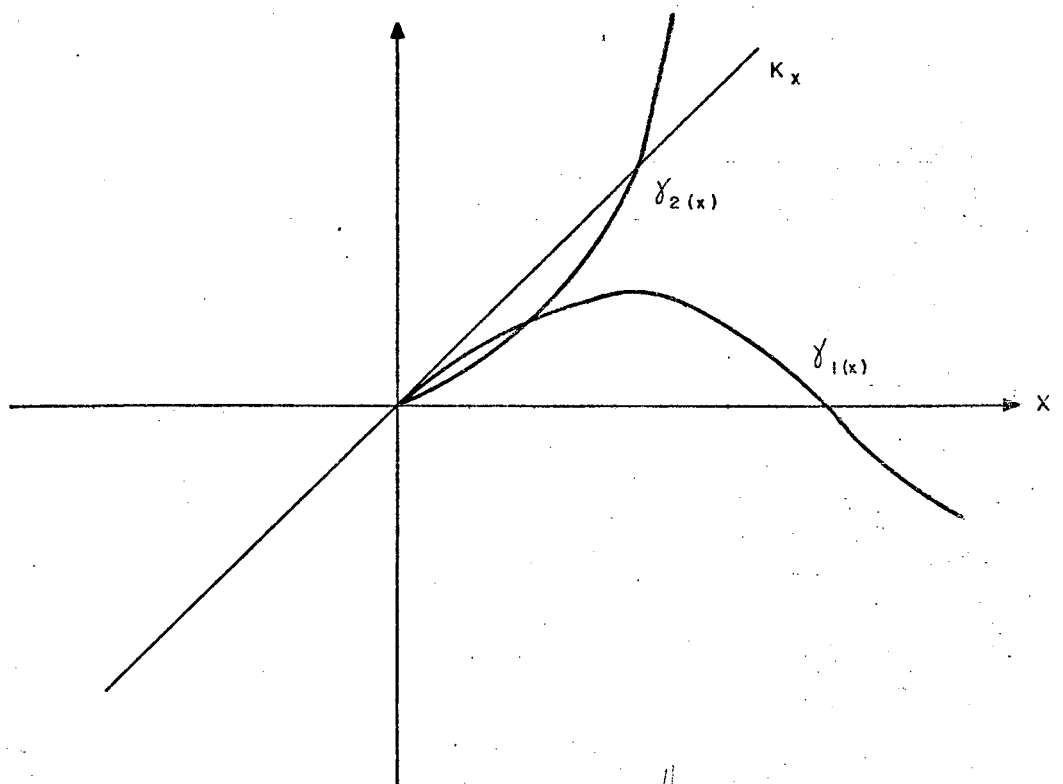


FIGURA 6.1 INTERPRETAÇÃO GEOMÉTRICA DE $\|\gamma(x)\| < k\|x\|$

não satisfaz.

6.4. PROPOSIÇÃO DE UM ALGORÍTMO PARA A ESTABILIZAÇÃO DO SISTEMA INTERLIGADO

Com base nas conclusões obtidas nos itens anteriores pode-se elaborar um algoritmo computacional que proporcione meios pelos quais possa-se efetuar a regulação das unidades geradoras de tal forma que o sistema multimáquina seja estável.

Um assunto ainda a considerar diz respeito a determinação de um valor quantitativo para o limite estabelecido pela equação (6.12), ou seja:

$$\operatorname{Re}(\lambda) < \lambda_0$$

onde: $\lambda_0 = -kM$

Este valor é de difícil obtenção, pois além de variar com o módulo das não linearidades, isto é, com o coeficiente de sincronização, varia com os autovetores da matriz A_L . Esta dependência torna necessário que o referido algoritmo seja iterativo, pois para um deslocamento de autovalores da matriz A_L , teremos automaticamente uma alteração nos seus autovetores e consequentemente no valor de λ_0 .

Basicamente o algoritmo consiste nos seguintes pas-

SSST

- 1) Inicialização de todos os coeficientes de polarização de potência, α .

2. Identificação dos subsistemas (unidades geradoras) e determinação de seus respectivos índices de observabilidade.
3. Determinação dos polos de cada subsistema já com os estados do compensador dinâmico (veja figura 5.1).
4. Fixar um valor inicial, menor que zero para λ_0 .
5. Determinar os parâmetros dos compensadores dinâmicos de todas as unidades geradoras de tal forma que o maior autovalor seja menor que λ_0 . Para uma minimização dos ganhos de realimentação, devem ser deslocados apenas os autovalores que são maiores que λ_0 .
6. Determinação da matriz A_L , definida em (6.7).
7. Determinação dos autovalores de A_L ; verificar se todos apresentam parte real negativa. Caso afirmativo execute o próximo passo, caso contrário desvie para o passo 10.
8. Simulação do sistema multimáquina considerando as não linearidades das L.T.
9. Verificação do comportamento dinâmico do sistema. Se for satisfatório, desvie para o passo 12, caso contrário execute o próximo passo.
10. Alterar alguns ou todos os coeficientes α (polarização de potência). Se por alguma restrição isto não for possível, ou se os novos valores não forem práticos, execute o passo 11, caso contrário desvie para o passo 6.

11. Alteração do valor de λ_0 de acordo com:

$$\lambda_0 = \lambda_0 - \Delta,$$

sendo $\Delta > 0$ e retorno ao passo 5

12. Registrar os últimos valores obtidos para os parâmetros dos compensadores dinâmicos e para os coeficientes de polarização de potência como sendo os valores que devem ser usados no projeto.

A figura 6.2 mostra o diagrama de blocos do algoritmo proposto.

Deve-se observar que, devido ao fato de não se utilizar técnicas de controle ótimo, é necessário determinar-se os polos de cada unidade geradora antes de realizar-se o posicionamento de polos necessário à determinação dos parâmetros do compensador dinâmico. Desta forma consegue-se determinar quais são os polos que não satisfazem 6.12 e deslocar apenas estes polos, conseguindo-se assim uma minimização nos ganhos de realimentação, ou seja, uma minimização nos gastos de energia.

Este procedimento é recomendável também devido ao fato de que o algoritmo proposto mostra-se eficiente desde que não se afaste demais os polos de suas posições originais.

Outro aspecto que a prática mostrou apresentar uma influência considerável na minimização da norma do vetor formado pelos parâmetros β_1^j consiste em adotar-se uma estratégia um pouco diferente na localização e realimentação de sinais do servo-compensa

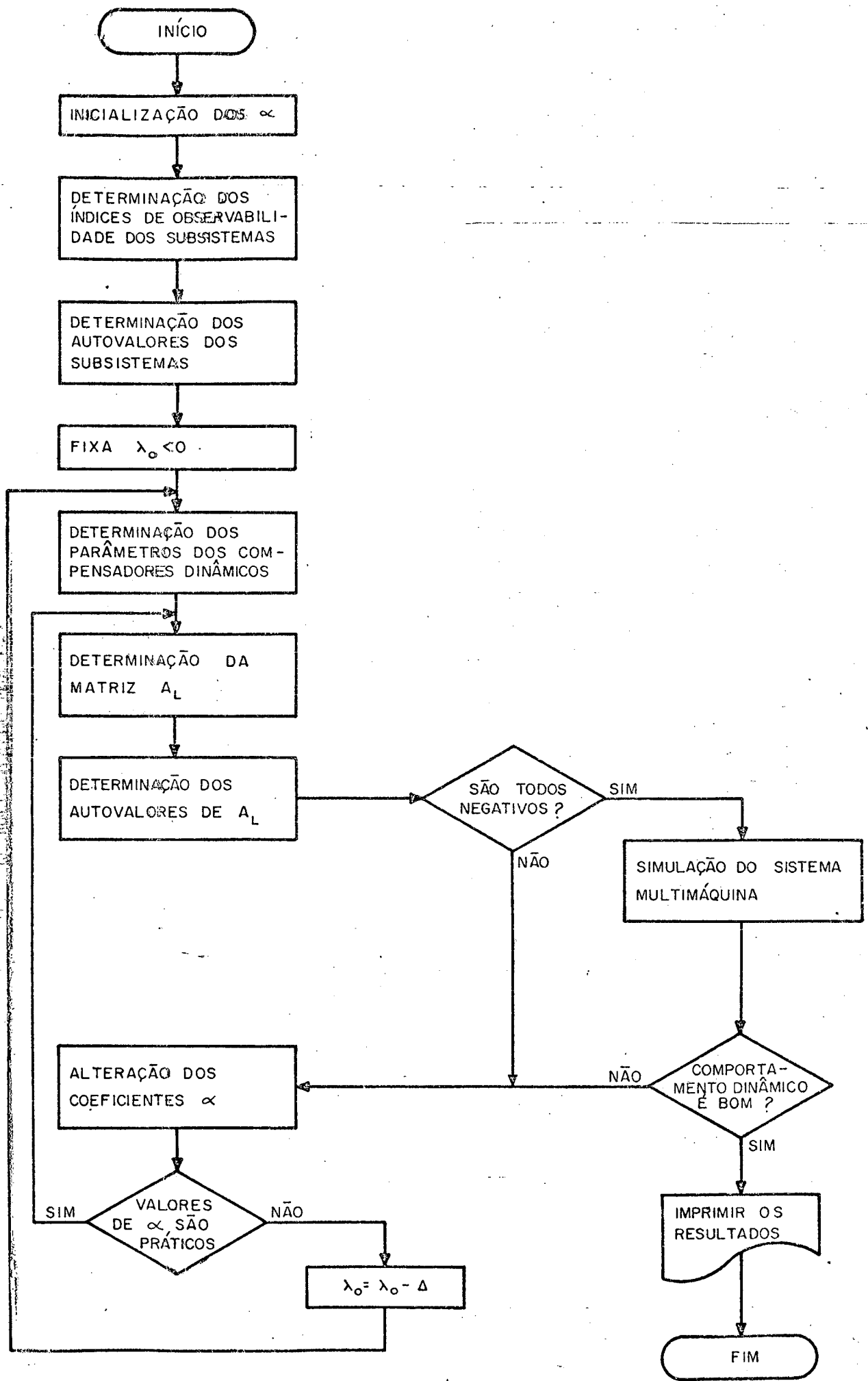


FIGURA 6.2 ALGORÍTIMO PARA ESTABILIZAÇÃO DE UM SISTEMA MULTIMÁQUINA

dor. A figura 4.2 apresenta a estrutura inicialmente proposta para obter-se o rastreamento das referências.

No capítulo 7, Simulações, a figura 7.3 apresenta um exemplo com esta mesma estrutura mas sem fechar o laço de regulação de velocidade. O fechamento do laço será feito posteriormente quando da implementação do compensador dinâmico conforme mostrado na figura 7.4.

É conveniente ressaltar que este procedimento só é válido se o último estado do servo-compensador é considerado como estado mensurável, pois caso contrário não se terá o fechamento do laço através do ganho de realimentação direta do compensador dinâmico. Este ganho de realimentação direta é evidenciado pela linha em destaque na figura 7.4.

Esta estrutura alternativa mostrou-se bastante vantajosa na prática apresentando, para um mesmo conjunto de autovalores, ganhos nos compensadores dinâmicos bem menores que os obtidos para a estrutura inicialmente proposta.

C A P Í T U L O - VII

SIMULAÇÃO

7.1. OBJETIVOS

Este capítulo tem o objetivo de aplicar a metodologia proposta às unidades geradoras e, através de simulações, analisar seu desempenho.

São apresentados resultados de diversas simulações de unidades geradoras sujeitas a variadas configurações na estrutura de controle e a variadas solicitações.

Todos os casos simulados foram organizados de forma a tornar o mais fácil possível a análise dos resultados, procurando-se abordar diversos aspectos tais como:

- Aplicação da estratégia de controle proposta à uma unidade geradora.
- Estudo do efeito da variação de parâmetros sobre o comportamento dinâmico do sistema.
- Estudo da influência da regulação das unidades geradoras no comportamento dinâmico do sistema.
- Efeito das não linearidades no rastreamento.
- Estudo do comportamento de um sistema de 13 máquinas quando sujeito à estrutura de controle proposta.

Os modelos adotados para as unidades geradoras são basicamente os mesmos apresentados no capítulo II deste texto. Com exceção do modelo da unidade térmica, os modelos das demais unidades correspondem aos modelos adotados pela Centrais Elétricas do Sul do Brasil S.A.-ELETROSUL para suas três hidroelétricas. Os parâmetros adotados nas simulações também foram fornecidos pela ELETROSUL.

Para atingir-se os objetivos deste capítulo, entre outras finalidades, foram desenvolvidos e implementados num computador PDP 11/40 da DIGITAL EQUIPMENT CORPORATION vários programas, citando-se:

- Programa para a determinação dos autovalores de uma matriz;
- Programa para o projeto de compensadores dinâmicos, compreendendo as seguintes rotinas:
 - . rotina para determinação do índice de observabilidade de um sistema linear
 - . rotina para o posicionamento de polos
 - . rotina para a determinação dos parâmetros do compensador dinâmico
- Programa para simulação de um sistema multimáquina considerando as não linearidades das interligações; é constituído por:
 - . rotina para montagem das matrizes do sistema
 - . rotina para integração numérica
 - . rotina para saída gráfica dos resultados em tela, traçador x - y e impressora.

7.2. APLICAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE CONTROLE PROPOSTA A UMA UNIDADE GERADORA

Este item exemplifica a aplicação da metodologia a apresentada a uma unidade geradora. Duas versões da estratégia de controle foram implementadas e simuladas, quais sejam:

- Servo-compensador projetado para rastrear uma referência que apresenta variações em degrau e para rejeitar variações de carga também em degrau
- Servo-compensador projetado para rastrear uma referência que apresente variações em degrau e para rejeitar variações de carga tanto em degrau como em rampa.

Para tal exemplificação usou-se o modelo de uma unidade geradora da usina hidrelétrica de Salto Santiago, pertencente a ELETROSUL. O modelo desta usina está apresentado na figura 7.1, onde observa-se que a regulação da unidade é feita através de um compensador PID, o qual será removido quando da aplicação da estratégia de controle em discussão. Os parâmetros usados pelo modelo são, considerando uma potência de base de 333 MVA e tensão de base de 500 KV, dados por:

$M = 8,53 \text{ p.u.}$	$\zeta = 0,05 \text{ p.u.}$	$T_w = 1,79 \text{ p.u.}$
$T_y = 0,1 \text{ p.u.}$	$P = 0,05 \text{ p.u.}$	$\beta = 1,0 \text{ p.u.}$
$T_d = 0,15 \text{ p.u.}$	$D = 1,0 \text{ p.u.}$	$K_d = 0,45 \text{ p.u.}$
$K_i = 0,25 \text{ p.u.}$	$K_p = 2,2 \text{ p.u.}$	$F = 4,0 \text{ p.u.}$

Os itens a seguir abordam a implementação de cada caso e os resultados das simulações.

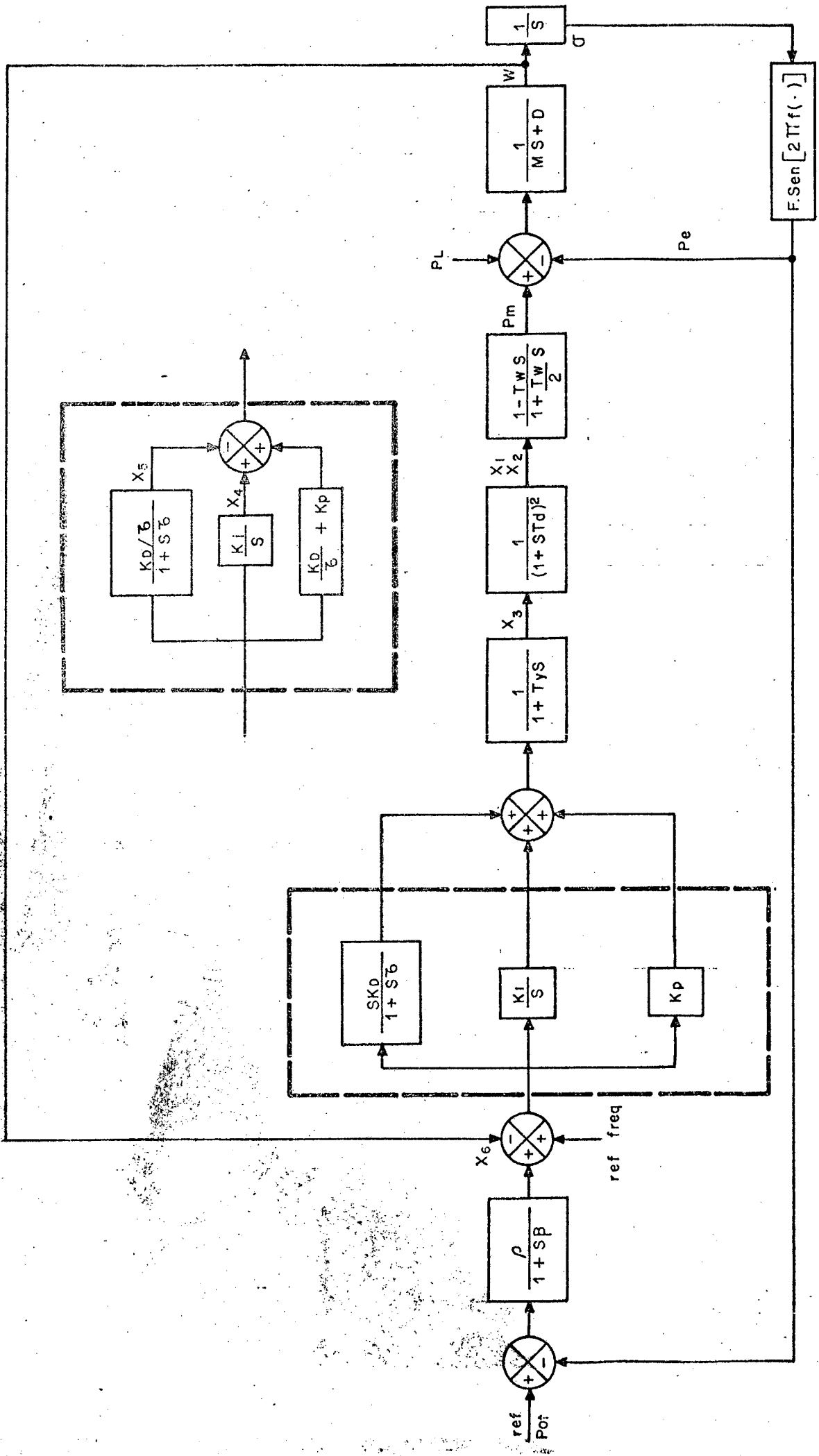


FIGURA 7.1 UNIDADE GERADORA HIDRÁULICA CONVENCIONAL CONECTADA A BARRA INFINITA

7.2.1. ESTRUTURA PARA RASTREAMENTO E REJEIÇÃO DE SINAIS EM DEGRAU

- PROBLEMA DE RASTREAMENTO

Usando-se a teoria de rastreamento robusto, conclui-se que neste caso o servo-compensador deve ser constituído por um integrador. Isto justifica-se pois sendo

$$P_r = k_1 ;$$

$$P_L = k_2 ; \quad k_1 \text{ e } k_2 = \text{constante}$$

e considerando um servo-compensador da forma

$$G_{sc}(p) = \frac{N_{sc}(p)}{D_{sc}(p)} = \frac{1}{p}$$

onde "p" é o operador derivada, então:

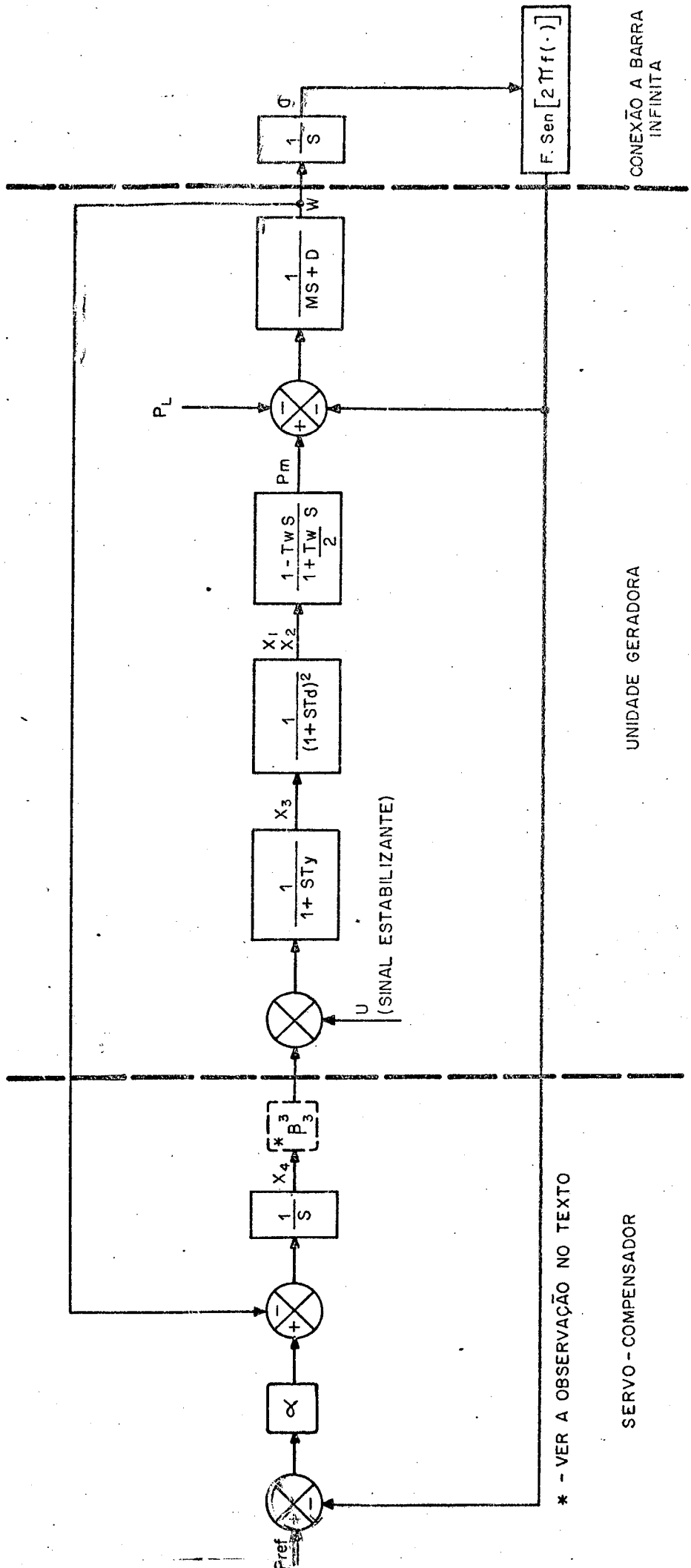
$$D_{sc}(p) \cdot P_r = 0$$

$$D_{sc}(p) \cdot P_L = 0$$

$$D_{sc}(p) \cdot H\bar{X} = 0$$

A figura 7.2 mostra a unidade geradora conectada ao servo-compensador. As equações de estado são apresentadas na equação (7.1).

Observe-se que na figura 7.2 a conexão do servo-compensador com a unidade geradora é feita através de um ganho do compensador dinâmico. Isto visa incorporar a alternativa descrita no capítulo 6 para a minimização dos ganhos β_1^j do compensador dinâmico.



* - VER A OBSERVAÇÃO NO TEXTO

SERVO - COMPENSADOR

UNIDADE GERADORA

CONEXÃO A BARRA INFINITA

FIGURA 7.2 UNIDADE GERADORA COM SERVO - COMPENSADOR

mico. Na equação 7.1 isto é representado através do parâmetro de conexão entre o servo-compensador e a unidade geradora, o qual apresenta-se assinalado por um asterisco.

- REGULAÇÃO

Conforme proposto no capítulo 5, a regulação do sistema deve ser feita descentralizadamente, isto é, deve-se regular a unidade geradora desconectada do resto do sistema, no caso a barra infinita.

A estabilização e/ou regulação da unidade isolada deve ser tal que o sistema resultante da interconexão da unidade geradora à barra infinita através de uma linha de transmissão também seja estável. Para tal o projeto compensador dinâmico deve ser feito seguindo-se sobretudo os passos do algoritmo descrito no capítulo anterior. A prática tem demonstrado que a iteratividade do referido algoritmo é, em geral desnecessária, alcançando-se um sistema estável já na primeira iteração. Naturalmente a decisão se o transitório é satisfatório ou não depende do projetista podendo, a seu critério, ser necessário a realização de novas iterações para se obter um transitório melhor.

Antes de se pensar na aplicação deste algoritmo, necessita-se definir o conjunto de estados mensuráveis do sistema, isto é o vetor de saída Y . Considerando-se como variáveis mensuráveis o desvio de velocidade w , os dois estados do servo-compensador e o primeiro estado do regulador de velocidade, pode-se escrever a equação de saída como:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega \\ P_m \\ X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{bmatrix} \quad (7.2)$$

A determinação do número de estados do compensador dinâmico, bem como seus parâmetros para um determinado conjunto de autovalores desejáveis foi feita usando-se o programa de determinação de autovalores e o programa de determinação de parâmetros para o compensador dinâmico. Estes programas são apresentados no anexo.

Para fins de projeto do compensador dinâmico, considera-se o parâmetro β_3^3 da equação 7.1 inicialmente igual a zero. Isto é feito com o objetivo de diminuir-se o módulo dos parâmetros β_i^j pois neste caso o sistema fica em malha aberta, sendo o laço fechado após a determinação do parâmetro β_3^3 . Considerando esta última observação, os polos do sistema a ser regulado são de fácil obtenção e constituem-se dos elementos da diagonal principal, ou seja:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= -0,11723 & \lambda_4 &= -6,6667 \\ \lambda_2 &= -1,11732 & \lambda_5 &= -10,0 \\ \lambda_3 &= -6,66667 & \lambda_6 &= 0,0 \end{aligned}$$

A determinação dos parâmetros do compensador dinâmico é feita utilizando-se um programa elaborado para esta finalidade cuja listagem é apresentada em anexo. Os dados de entrada são as

equações do sistema (7.1) e (7.2) e os autovalores desejáveis. Numa primeira etapa o programa determina o índice de observabilidade o qual determina o número de estados do compensador dinâmico. Para este caso o índice de observabilidade é $p = 3$, sendo que a figura 7.3 mostra a configuração da unidade geradora já com os estados do compensador dinâmico, configuração sobre a qual deverão ser calculados os parâmetros do compensador dinâmico. Como o sistema continua em malha aberta, seus autovalores são os mesmos citados anteriormente acrescidos de três zeros referentes aos estados do compensador dinâmico. Decidiu-se que a regulação da unidade deveria ser tal que o maior autovalor do conjunto deveria ser $\lambda_0 = -0,11$ e que distribuiria-se os autovalores nulos entre $-0,70$ e $-0,50$, fixando-se portanto os autovalores desejáveis em:

$$\begin{array}{ll} \lambda_1 = -10,0 & \lambda_6 = -0,65 \\ \lambda_2 = -6,66 & \lambda_7 = -0,60 \\ \lambda_3 = -6,66 & \lambda_8 = -0,55 \\ \lambda_4 = -1,17 & \lambda_9 = -0,11 \\ \lambda_5 = -0,7 & \end{array}$$

A equação 7.3 apresenta os resultados obtidos já incorporados na equação matricial do sistema, sendo que a figura 7.4, apresenta, ainda através de parâmetros, o sistema a ser simulado. Nesta figura salienta-se a conexão da saída do servo-compensador com a unidade geradora através de um ganho do compensador dinâmico.

RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

a. Tomada de Carga

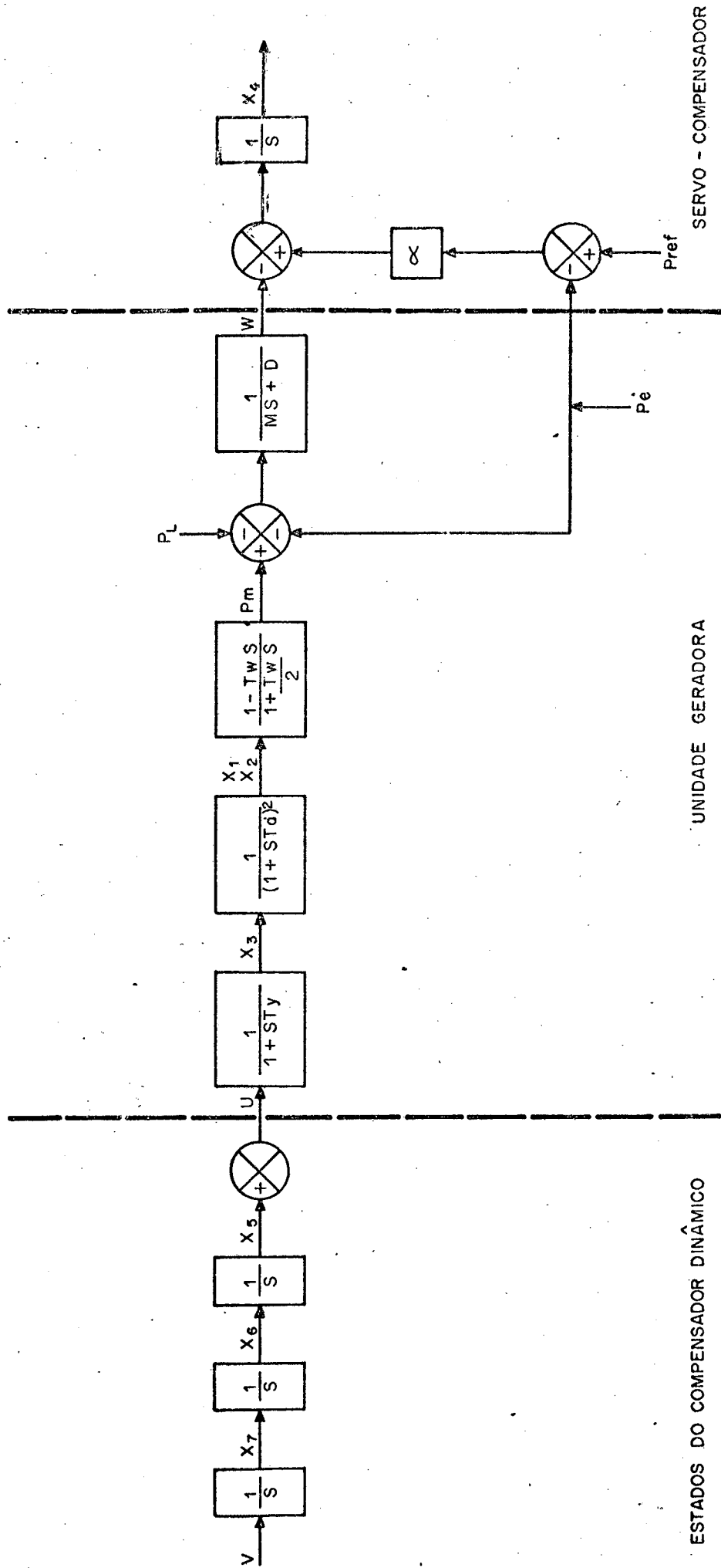


FIGURA 7.3 SISTEMA SOBRE O QUAL É FEITA A REGULÇÃO

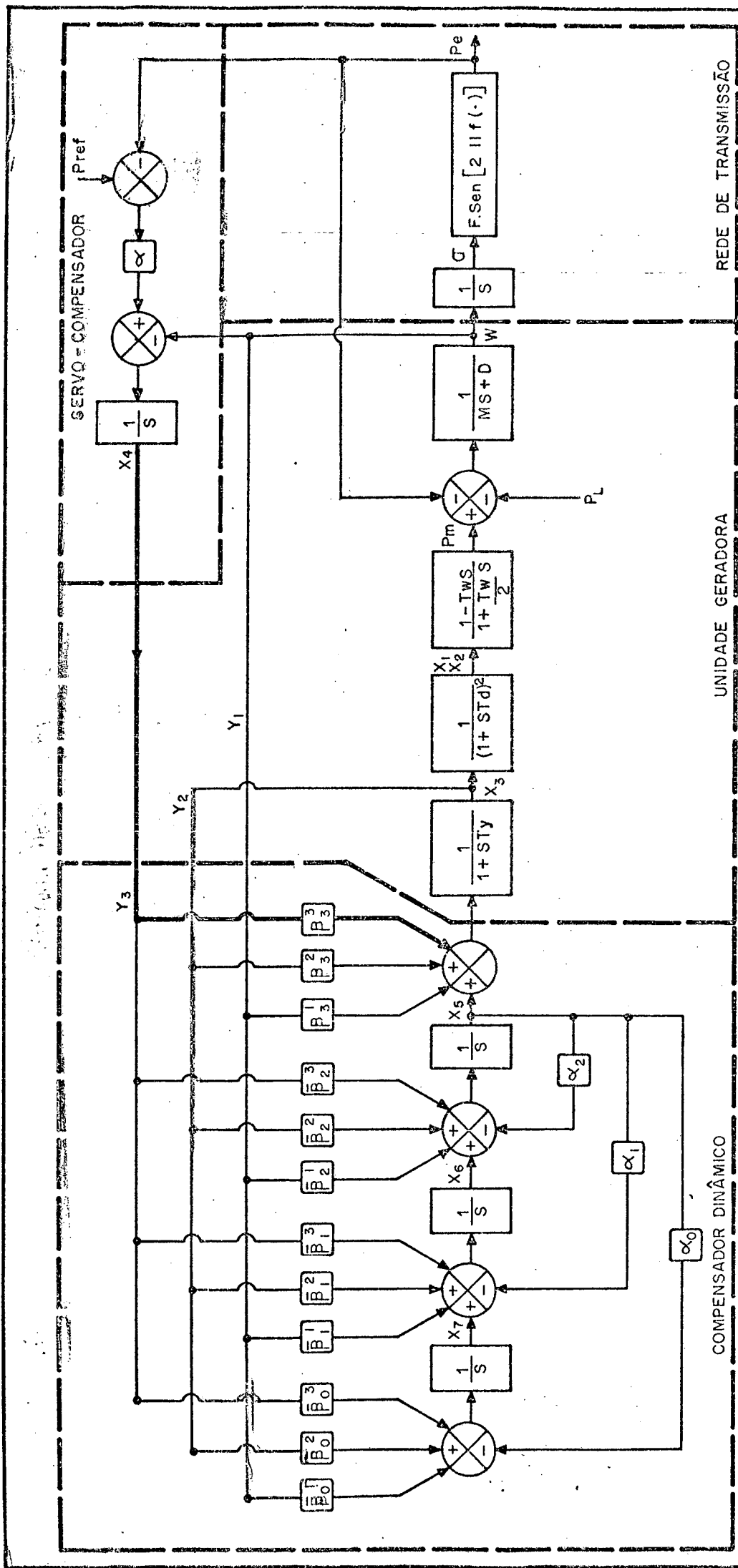


FIGURA 7.4 SISTEMA A SER SIMULADO

Esta simulação tem a finalidade de mostrar a capacidade de rastreamento da estrutura de controle, considerando-se a unidade em regime, operando a vazio, solicita-se à unidade a transferência para a barra infinita uma potência constante no valor de 0,4 p.u.. Para tal, aplica-se um sinal de referência na forma de um degrau, mantendo-se a perturbação nula ($P_L = 0$). Resumindo tem-se as seguintes condições para esta simulação:

- . condições iniciais - todas nulas
- . $P_r = 0,4$ p.u.
- . $P_L = 0,0$ p.u.

Os gráficos da figura 7.5 apresentam a evolução do desvio de velocidade e da potência elétrica até atingir-se o novo ponto de equilíbrio. Observa-se um perfeito rastreamento da referência após 300 segundos, coincidindo com um desvio de velocidade nulo, sendo portanto satisfeitos os requisitos especificados.

b. Variação da Carga em Degrau

Com o objetivo de testar a capacidade de rejeição de perturbações, aplica-se ao sistema, após o mesmo ter superado o transitório provocado pela tomada de carga ($P_r = 0,4$ p.u. - simulação anterior), uma variação de carga de 0,2 p.u., isto é, $P_i = 0,2$ p.u.. Portanto, nesta simulação, as condições são as seguintes:

- . condições iniciais - as resultantes da simulação anterior após ter-se atingido o regime.
- . $P_r = 0,4$ p.u.
- . $P_L = 0,2$ p.u.

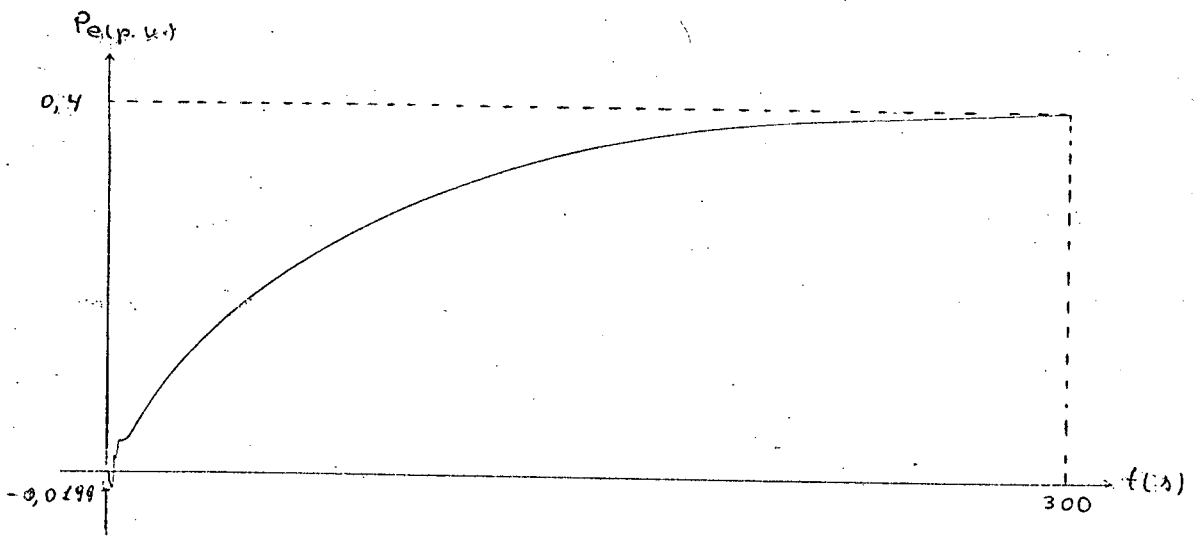
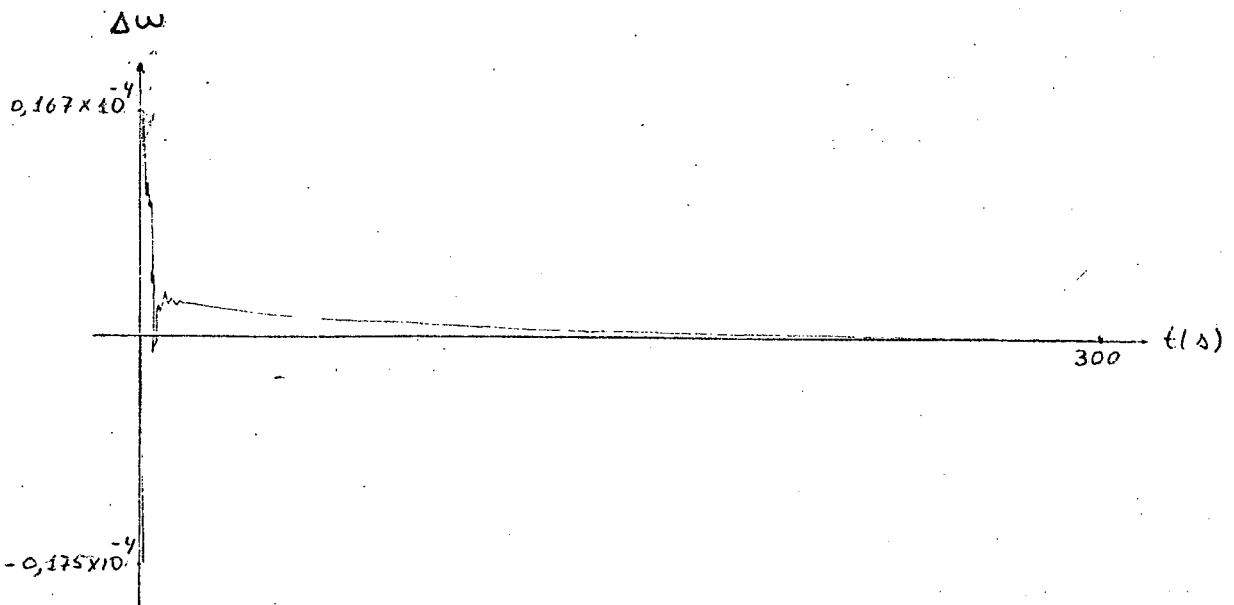


FIGURA 7.5 - TOMADA DE CARGA

Os resultados gráficos desta simulação são mostrados na figura 7.6, onde observa-se que, após o transitório, atinge-se os valores de referência tanto no desvio de velocidade como na potência transmitida pela unidade geradora ao resto do sistema.

c. Variação da Carga Através de uma Rampa

Visando-se comparar os resultados desta implementação da estrutura de controle com a simulada no item seguinte, 7.2.2, simulou-se um caso onde aplica-se à unidade geradora uma variação de carga em rampa, embora a presente implementação não tenha sido projetada para rejeitar este tipo de perturbação. Mais uma vez tomou-se a unidade em regime fornecendo 0,4 p.u. de potência elétrica, ou seja, usou-se as seguintes condições na simulação:

- . Condições iniciais - as resultantes da simulação descrita no item "a" após ter-se atingido o regime.
- . $P_r = 0,4$ p.u.
- . $P_L = 0,001t$ p.u. t - tempo em segundos.

A figura 7.7 apresenta os gráficos do desvio de velocidade e da potência elétrica fornecida, através dos quais observa-se que, após o transitório, não houve rastreamento da referência de potência.

7.2.2. ESTRUTURA PARA RASTREAMENTO DE UM SINAL EM DEGRAU E REJEIÇÃO DE SINAIS EM DEGRAU E RAMPA

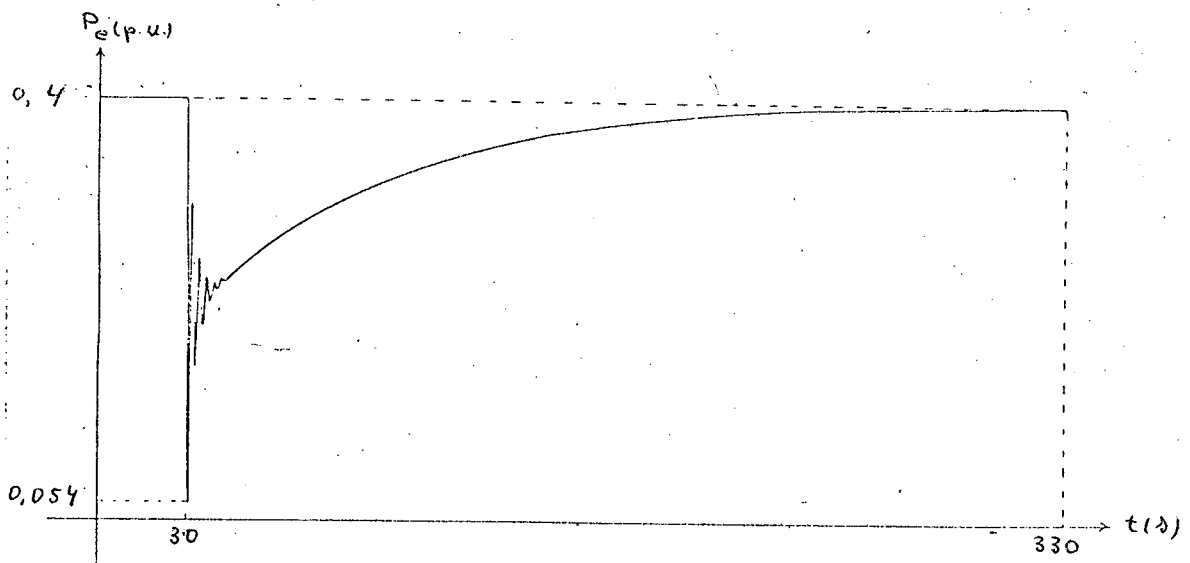
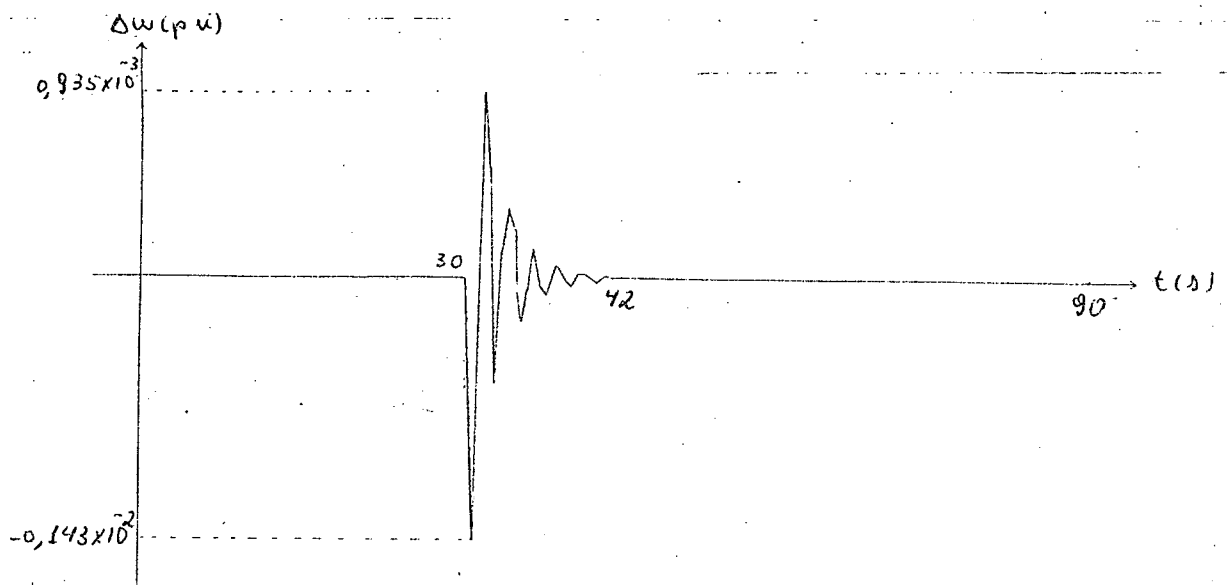


FIGURA 7.6 - VARIAÇÃO DA CARGA EM DEGRAU

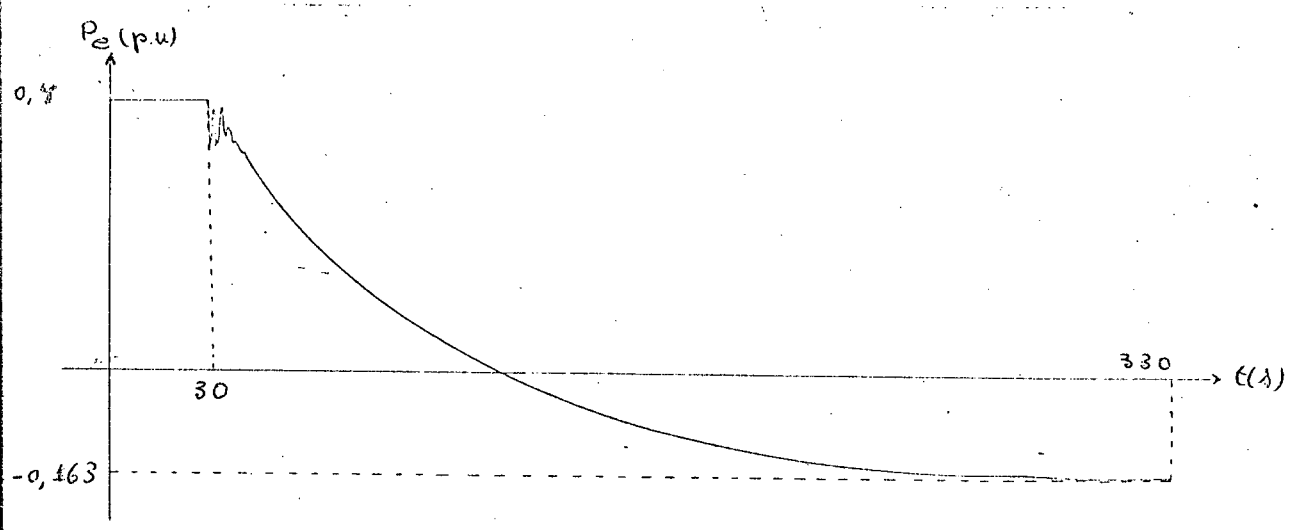
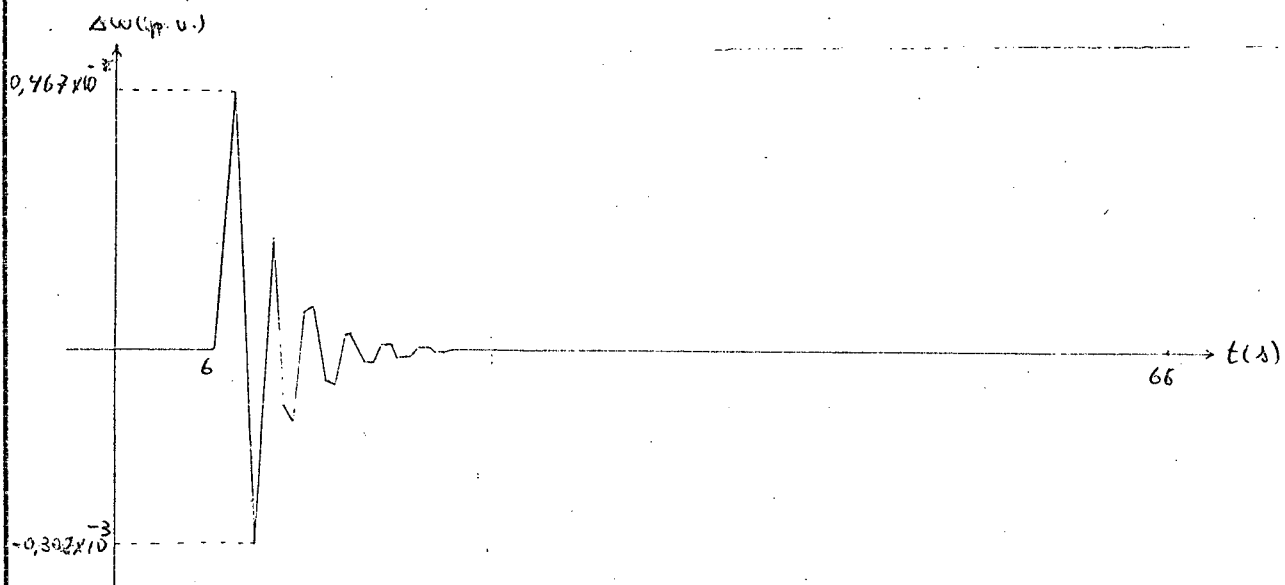


FIGURA 7.7 - VARIAÇÃO DA CARGA EM RAMPA

Considerando que neste caso deseja-se a rejeição de sinais em degrau e em rampa além do rastreamento de um sinal em degrau, necessita-se no servo compensador dois integradores em cascata, pois sendo:

$$P_r = k_1$$

$$P_L = k_2 + k_3 \cdot t; \quad k_i, \text{ constantes.}$$

e considerando um servo-compensador da forma:

$$\dot{G}_{sc}(p) = \frac{N_{sc}(p)}{D_{sc}(p)} = \frac{1}{p^2}$$

então

$$D_{sc}(p) \cdot P_r = 0$$

$$D_{sc}(p) \cdot P_L = 0$$

$$D_{sc}(p) \cdot H\bar{X} = 0$$

- REGULAÇÃO

A regulação foi feita de forma análoga ao caso anterior, sendo que desta vez o número de estados mensuráveis foi acrescido de um, pois temos o servo-compensador com dois integradores. A equação 7.4 apresenta a equação de estado para o sistema a ser regulado bem como a equação de saída.

Os autovalores deste sistema são os mesmos do caso anterior, com a adição de mais um autovalor na origem, pois agora o servo-compensador apresenta dois integradores. Fixando-se mais uma

$$\begin{bmatrix} \dot{\omega} \\ \dot{P}_m \\ \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{D}{M} & \frac{1}{M} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{2}{T_w} - \frac{2}{T_d} & \frac{2}{T_w} + \frac{2}{T_d} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{T_d} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{2}{T_d} & \frac{1}{T_d} & -\frac{1}{T_d} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{T_d} & -\frac{1}{T_d} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{T_d} & -\frac{1}{T_y} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega \\ P_m \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{1}{T_y} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_L \\ P_e \\ P_r \\ U \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega \\ P_m \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix}$$

EQUAÇÃO 7.4 - UNIDADE GERADORA COM DOIS INTEGRADORES

NO SERVO-COMPENSADOR - SISTEMA A SER REGULADO.

vez $\lambda_0 = 0,117$ e rodando-se o programa de determinação de parâmetros do compensador dinâmico obtém-se o resultado apresentado na equação 7.5, o qual também é apresentado na figura 7.8 na forma de diagrama de blocos. Também nesta figura é salientada a conexão da saída do servo-compensador com a unidade geradora através do parâmetro β_3 .

- RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

a. Tomada de Carga

Similarmente ao caso anterior, simulou-se a tomada de carga de 0,4 p.u. considerando a unidade operando, em regime, à vazia. As condições para esta simulação foram:

- . condições iniciais - todas nulas
- . $P_r = 0,4$ p.u.
- . $P_L = 0,0$ p.u.

Os gráficos do desvio de velocidade e da potência elétrica são apresentados na figura 7.9, onde se observa um caracter oscilatório na evolução destas grandezas. Observe-se também que em regime o sistema atinge as referências, ou seja, desvio de velocidade nulo e rastreamento da potência elétrica de referência.

b. Variação da Carga em Degrau

Supondo-se a unidade geradora em regime e fornecendo a barra infinita uma potência elétrica de 0,4 p.u., resultado da simulação

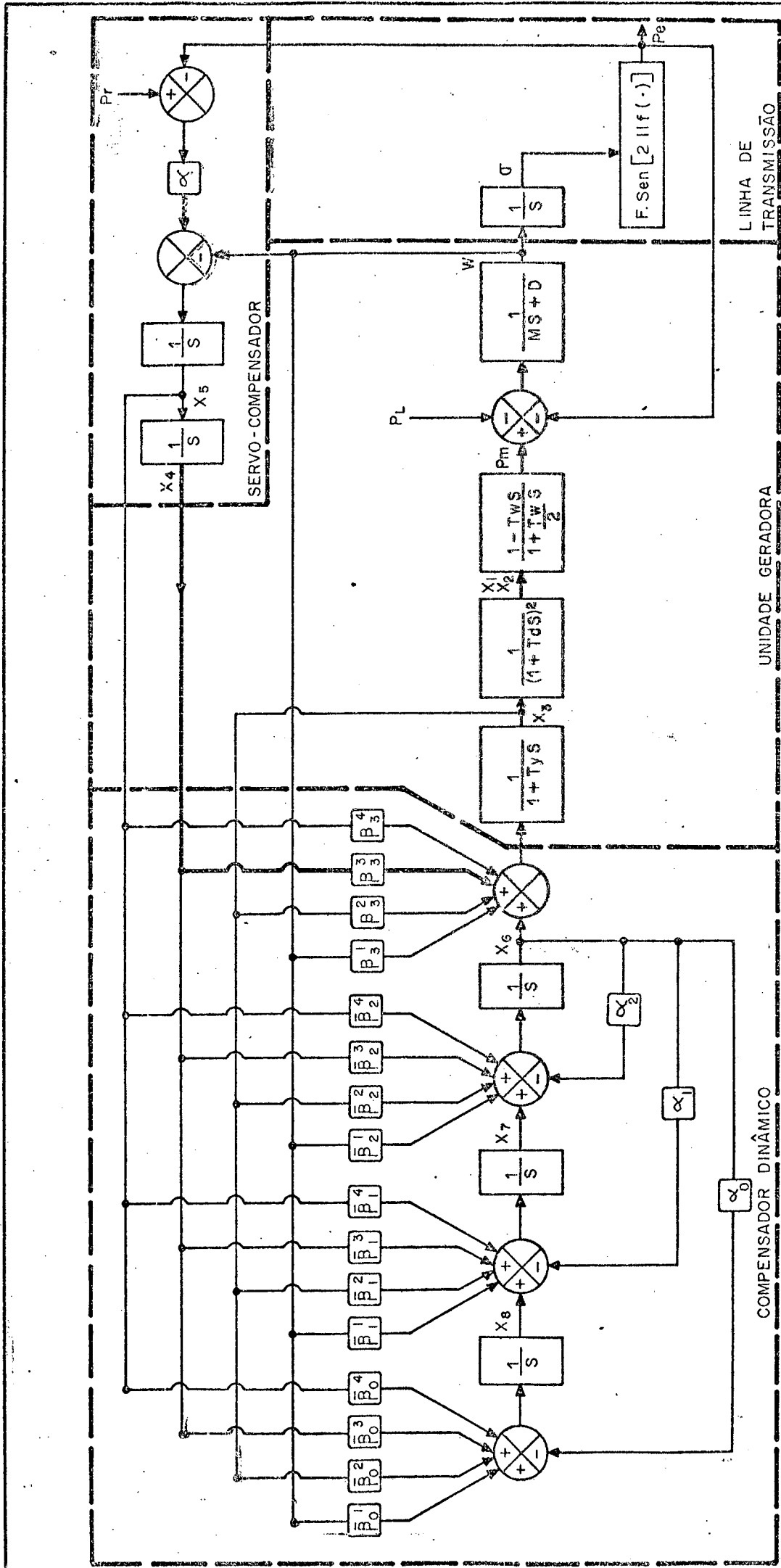


FIGURA 7.8 UNIDADE GERADORA CONTRA BARRA INFINITA; SISTEMA SIMULADO

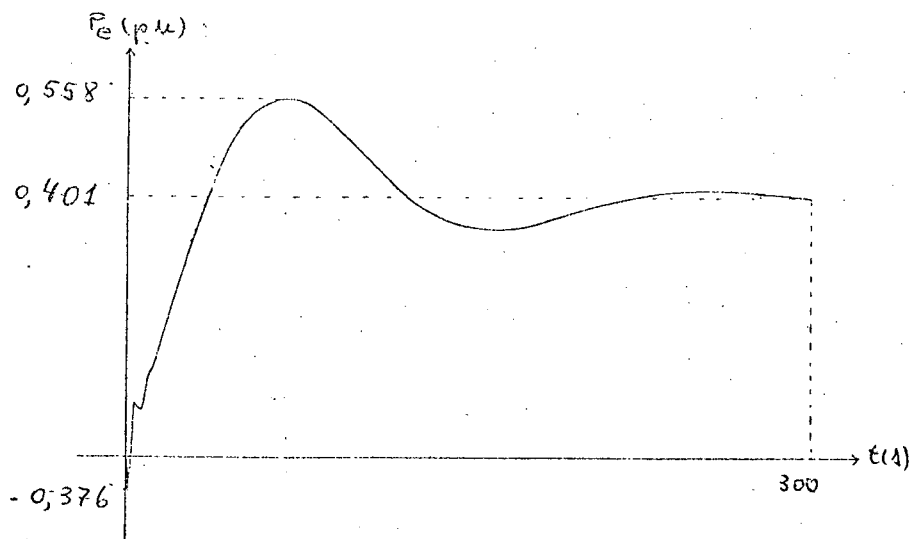
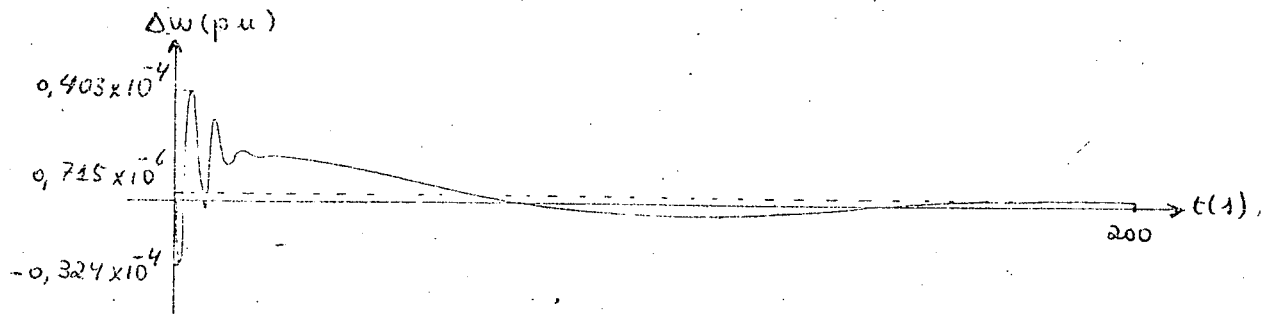


FIGURA 7.9 - TOMADA DE CARGA

anterior, aplicou-se uma variação de carga local de 0,2 p.u.. Esta simulação visa, como no caso anterior, averiguar a capacidade de rejeição de perturbações da estrutura em estudo. Para este caso, as condições de simulação foram:

- . condições iniciais - as resultantes da simulação anterior após ter-se atingido o regime.
- . $P_R = 0,4$ p.u.
- . $P_L = 0,2$ p.u.

Como resultado obteve-se os gráficos apresentados na figura 7.10. Observa-se que o desvio de velocidade aproximou-se de zero rapidamente, enquanto que a potência elétrica leva em torno de 300 segundos para estabilizar-se no valor de referência. O carácter oscilatório da resposta apresenta-se novamente evidente.

c. Variação da Carga Através de um Sinal em Rampa

Tomando-se a unidade geradora novamente em regime, fornecendo 0,4 p.u. à barra infinita, determinou-se o comportamento da mesma quando sujeita a aplicação de uma variação de carga através de uma rampa. As condições de contorno para esta simulação foram:

- . condições iniciais - as resultantes da simulação do item a após ter-se atingido o regime.
- . $P_R = 0,4$ p.u.
- . $P_L = 0,001$ p.u.

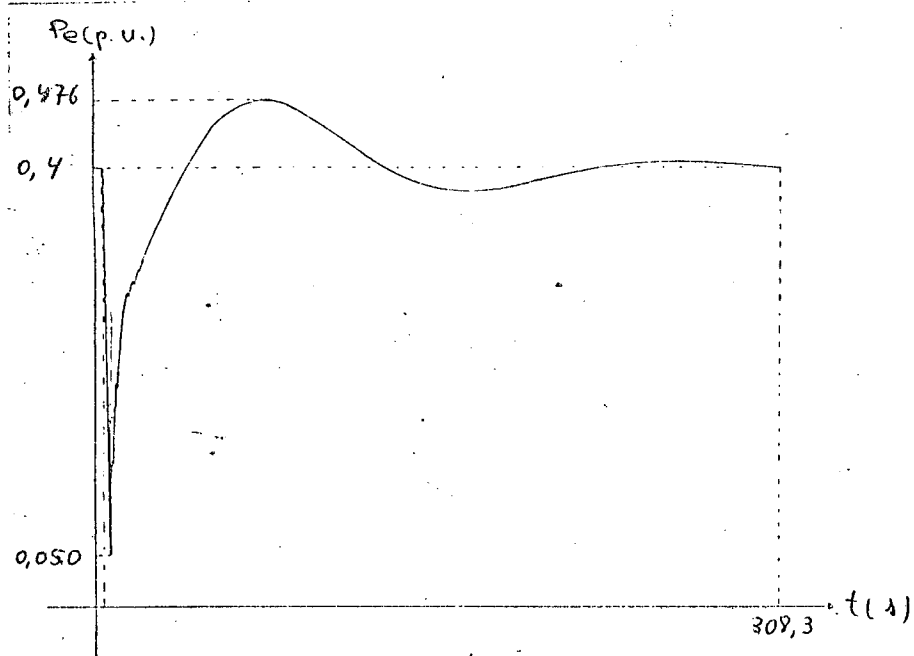
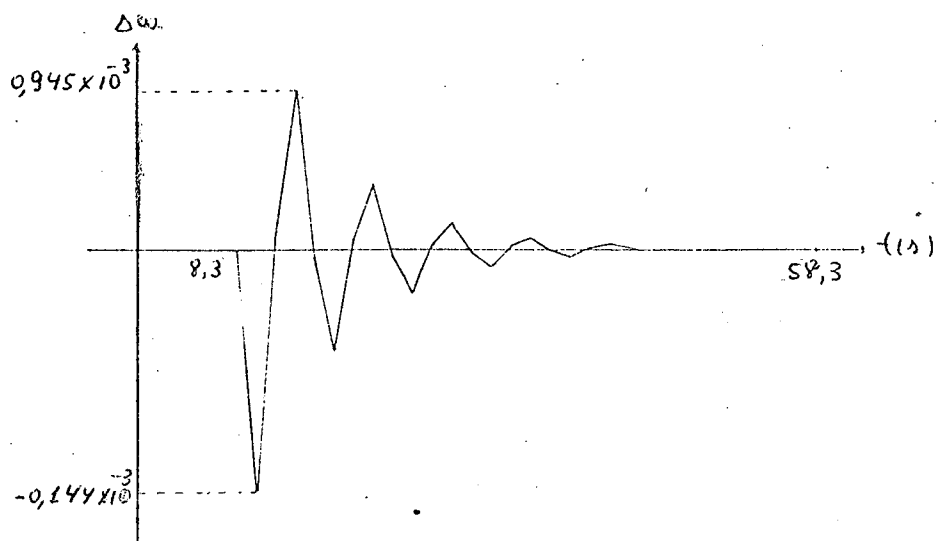


FIGURA 7.10 - VARIAÇÃO DA CARGA EM DEGRAU

A evolução no tempo do desvio de velocidade e da potência elétrica é mostrada na figura 7.11.. Observa-se que a potência elétrica rastreia o valor de referência após aproximadamente 300 segundos, o mesmo ocorrendo com o desvio de velocidade.

7.2.3 Conclusões

Os gráficos apresentados mostraram o comportamento de uma unidade geradora quando sujeita a duas versões da estrutura de controle em estudo. Observou-se que a versão com um integrador no servo-compensador não rastreou a referência quando houve uma perturbação na forma de rampa, o que era esperado pois a mesma não havia sido projetada para tal. Isto poderia ser remediado se transformássemos a rampa em degraus sucessivos de duração igual ao tempo de acomodamento da estrutura de controle. Já a estrutura com dois integradores manteve o rastreamento tanto para variações de carga em degrau como em rampa, confirmando portanto a simulação, os resultados previstos para a teoria.

Convém notar ainda, pela comparação dos resultados dos dois casos que enquanto a resposta do sistema de um integrador no servo-compensador se caracterizava por uma exponencial, a resposta da outra versão caracterizava-se por uma senóide amortecida (oscilação). Uma regulação mais apropriada poderia minimizar este problema, mas requereria maior consumo de energia e maior tempo de projeto pois tal regulação não é imediata em virtude da descentralização da regulação, sendo necessário a execução de várias iterações do algoritmo proposto anteriormente.

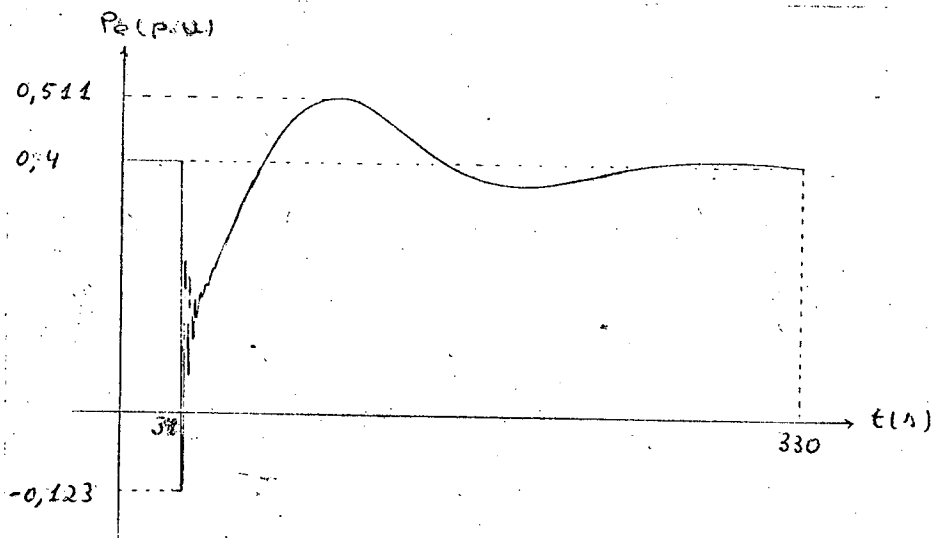
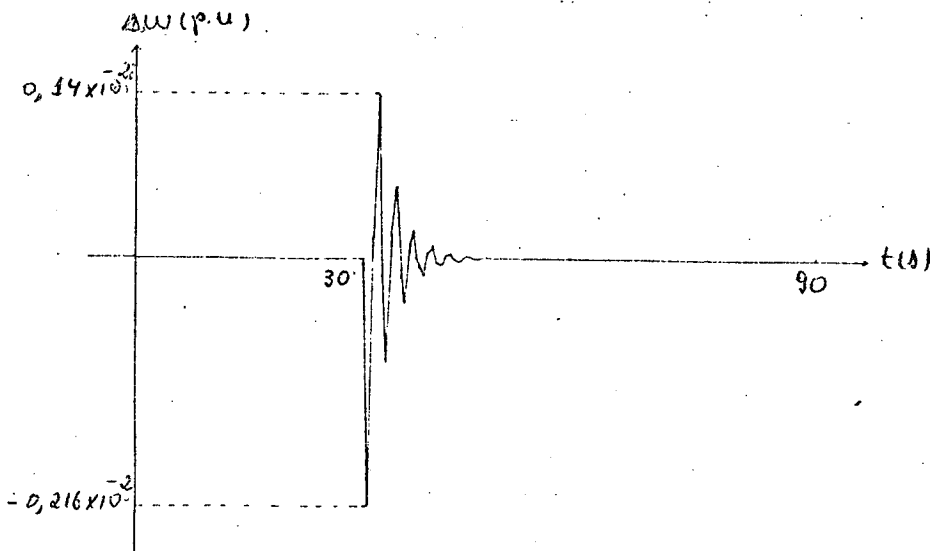


FIGURA 7.11 - VARIAÇÃO DA CARGA EM RAMPA

7.3. ANÁLISE DA ROBUSTEZ DA ESTRATÉGIA PROPOSTA

Em sistemas de potência o problema que mais frequentemente produz variações de parâmetros é o chaveamento de linhas de transmissão. Isto se traduz, considerando o modelo adotado, na alteração do coeficiente de sincronização F_{ij} .

O objetivo deste item é mostrar a robustez da estratégia proposta conforme previsto na teoria. Para tal tomou-se o modelo de uma unidade térmica hipotética, a qual é mostrado na figura 2.5. Os parâmetros adotados nas simulações, considerando a mesma base de potência e tensão usada no item anterior, foram:

$$M = 10 \text{ p.u.}$$

$$T_e = 1 \text{ p.u.}$$

$$T_g = 0,2 \text{ p.u.}$$

$$F = 4,0 \text{ p.u.} \quad (\text{valor inicial})$$

7.3.1 Projeto do Servo-Compensador e Regulação

Projetou-se o servo-compensador para rastrear um sinal em degrau e rejeitar variações de carga local tanto em degrau como em rampa. Uma vez especificado isto chega-se a conclusão que o servo-compensador deve possuir pelo menos dois integradores em cascata, sendo a justificativa para tal a mesma apresentada no item 7.2.2.

A regulação foi feita considerando a seguinte equação de saída:

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega \\ P_m \\ X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix}$$

Com esta equação de saída obtêm-se o grau de observabilidade $p = 2$, sendo este o número de estados no compensador dinâmico. Especificando-se os seguintes autovalores:

$$\left. \begin{array}{l} \lambda_1 = -10 \\ \lambda_2 = -1 \\ \lambda_3 = -5 \end{array} \right\} \text{autovalores relacionados à unidade geradora.}$$

$$\left. \begin{array}{l} \lambda_4 = -0,5 \\ \lambda_5 = -0,5 \\ \lambda_6 = -0,5 \\ \lambda_7 = -0,5 \end{array} \right\} \text{autovalores relacionados ao servo e ao próprio compensador dinâmico.}$$

obteve-se a matriz mostrada na equação 7.6, a qual já inclui os parâmetros β_i^j e α_i do compensador dinâmico que posicionam os autovalores conforme desejado. Esta equação representa a unidade geradora com o servo-compensador e compensador dinâmico conectados a uma barra infinita e consiste no sistema simulado. A figura 7.12 apresenta o diagrama de blocos correspondente.

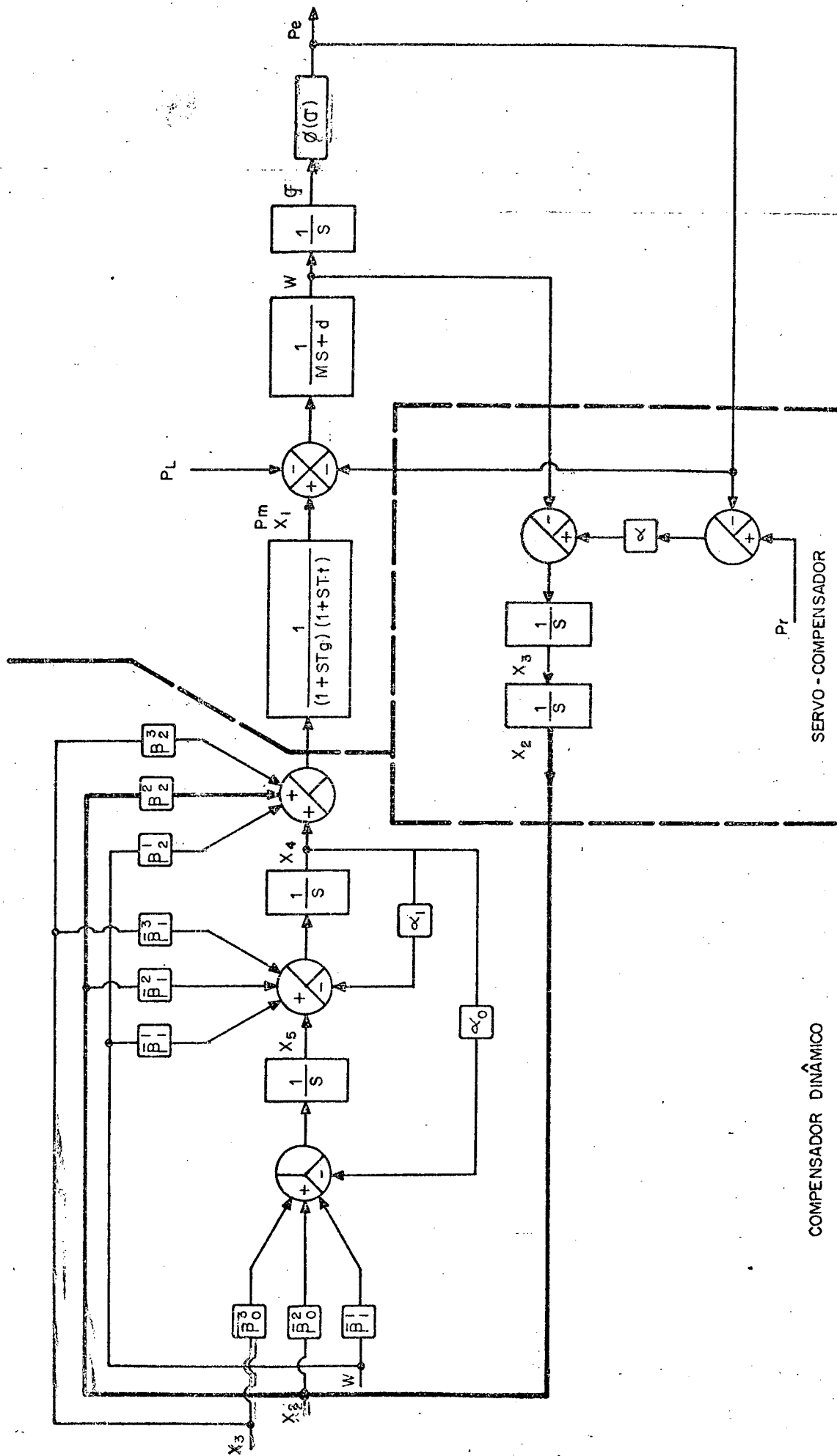


FIGURA 7.12 UNIDADE TÉRMICA COM SERVO-COMPENSADOR E COMPENSADOR DINÂMICO

7.3.2 Simulações

Todas as simulações realizadas consideraram como caso base a unidade geradora em regime fornecendo à barra infinita uma potência de 0,4 p.u. e carga local $P_L = 0,00$ p.u..

a. Redução de 50% na capacidade de transmissão.

Nesta simulação reduziu-se o coeficiente de transmissão para $F = 2,0$ p.u.. A figura 7.13 mostra os gráficos do desvio de velocidade, potência elétrica e desvio angular σ . Observa-se que após o transitório, o desvio de velocidade e a potência elétrica voltaram a rastrear as referências. Já o valor do desvio angular σ (ângulo de carga) aumentou de forma a compensar a perda de capacidade de transmissão.

b. Aumento de 100% na capacidade de transmissão

A figura 7.14 mostra os resultados da simulação da unidade quando aumentou-se o coeficiente de sincronização, F , em 100%, fixando-o em $F = 8$ p.u.. Observa-se que, após o transitório, o rastreamento é mantido e que o ângulo de carga diminui de forma a ajustar-se à nova capacidade de transmissão da linha de transmissão.

7.3.3 Conclusões

Conclui-se que a estrutura proposta é robusta às perturbações mais comuns em sistema de potência. Observa-se também que

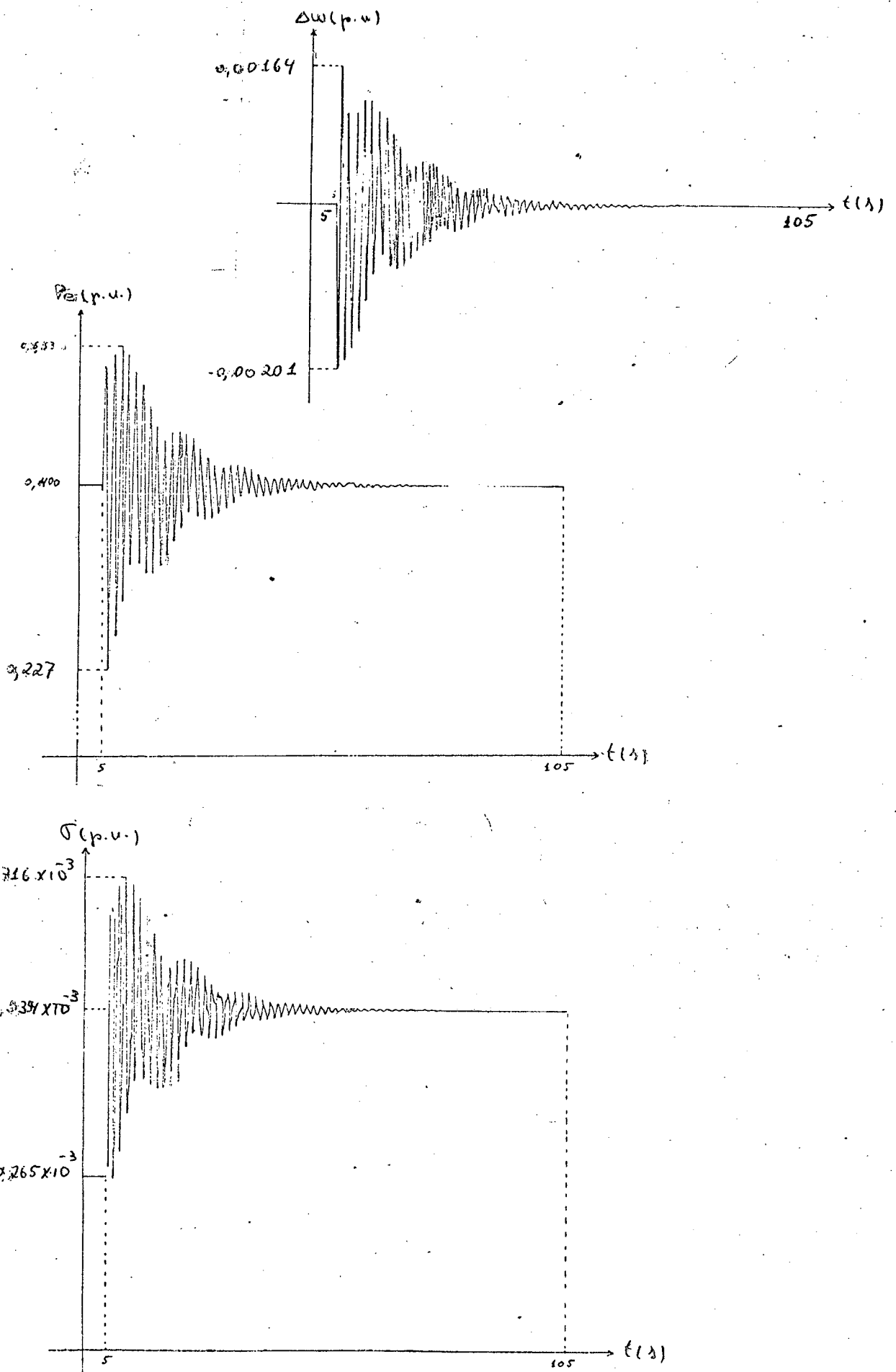


FIGURA 7.13 — REDUÇÃO DE 50% NA CAPACIDADE DE TRANSMISSÃO

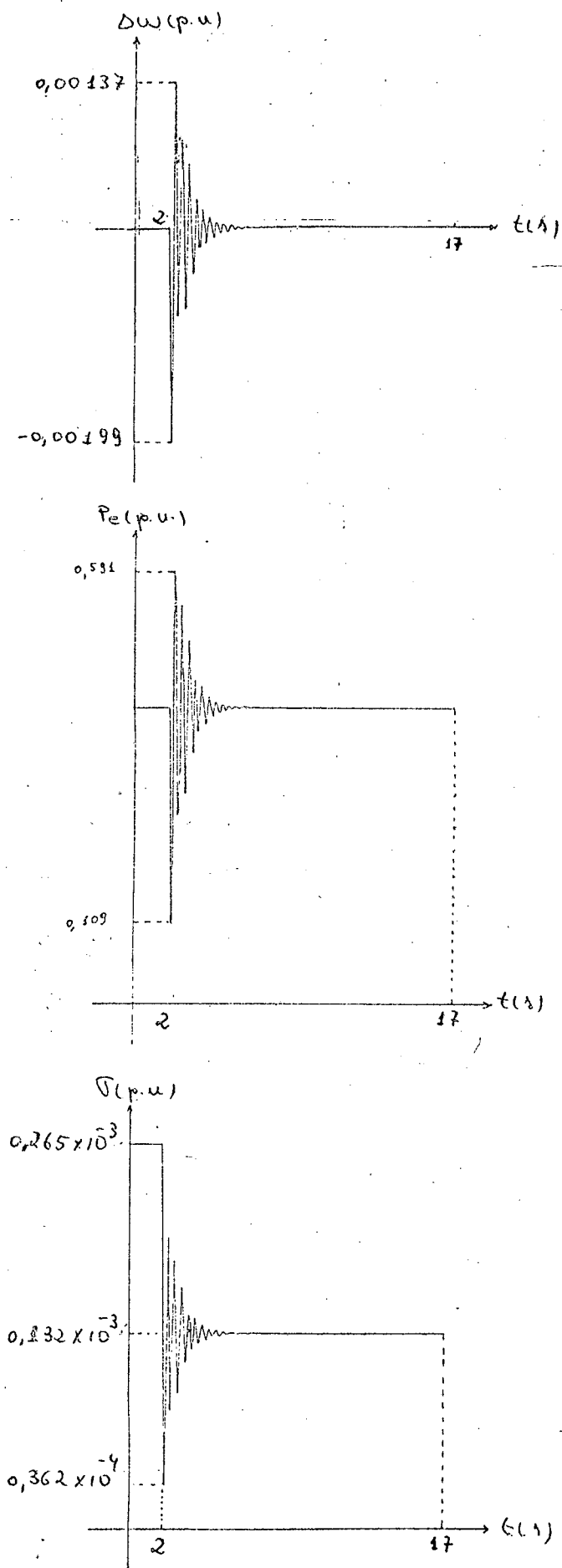


FIGURA 7.14 - AUMENTO DE 100% NA CAPACIDADE DE TRANSMISSÃO

a medida que aumenta-se a capacidade de transmissão da linha, dimi
nui o tempo de acomodamento. Segundo a teoria a estrutura é robus-
ta a variações de outros parâmetros do sistema como por exemplo va
riações de parâmetros na unidade geradora e no compensador dinâmico,
desde que estas variações não instabilizem o sistema. Apenas não
são toleradas variações de parâmetros no servo-compensador, sendo es-
tes aspectos abordados extensamente nos trabalhos de Costa [20] e Li-
vramento [19].

7.4. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE UMA UNIDADE GERADORA FACE A VARIACÕES NA REGULAÇÃO

Este item apresenta os resultados de simulações de uma unidade térmica sujeita à lei de controle proposta. Através destas simulações procurou-se analisar os efeitos do deslocamento dos polos da unidade geradora no comportamento dinâmico do sistema.

Em resumo, este item tem por objetivo mostrar, através de simulações, que o comportamento dinâmico do sistema não linear melhora com o deslocamento para a esquerda do plano complexo dos polos da unidade geradora. Este raciocínio foi discutido no capítulo 6 e constitui a base do algoritmo proposto no mesmo capítulo.

O modelo da unidade geradora sobre a qual fêz-se o estudo é o mesmo do item anterior (figura 2.5).

7.4.1. Projeto do Servo-Compensador e Regulação

O servo-compensador foi projetado para rastrear um sinal em degrau e rejeitar perturbações em rampa, sendo portanto constituído de dois integradores.

Os compensadores dinâmicos foram projetados considerando-se a mesma equação de saída usada no item 7.3, variando-se apenas o valor de λ_0 .

A equação 7.7 apresenta os resultados já incorporados na equação do sistema, sendo o compensador projetado para os se

quintes autovalores:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= -10,0 & \lambda_5 &= -0,25 \\ \lambda_2 &= -1,0 & \lambda_6 &= -0,25 \\ \lambda_3 &= -5,0 & \lambda_7 &= -0,25 & ; \lambda_0 &= -0,25 \\ \lambda_4 &= -0,25 \end{aligned}$$

Já a equação 7.8 apresenta os mesmos resultados, levando-se em conta um compensador dinâmico projetado para os seguintes autovalores:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= -10,0 & \lambda_5 &= -0,75 \\ \lambda_2 &= -1,0 & \lambda_6 &= -0,75 \\ \lambda_3 &= -5,0 & \lambda_7 &= -0,75 & ; \lambda_0 &= -0,75 \\ \lambda_4 &= -0,75 \end{aligned}$$

7.4.2. Simulações e Conclusões

A figura 7.15 apresenta os resultados de uma simulação de tomada de carga para o caso em que a unidade geradora foi regulada com $\lambda_0 = -0,25$, equação 7.7. Os resultados da mesma simulação para o caso da unidade regulada com $\lambda_0 = -0,75$ são mostrados na figura 7.16.

Observa-se que para o caso em que $\lambda_0 = -0,75$ tem-se uma resposta mais rápida do que para o caso de $\lambda_0 = -0,25$, tendo-se no primeiro caso um rastreamento de potência já aos 50 segundos, sendo que no segundo caso ainda observa-se oscilações após 200 segundos.

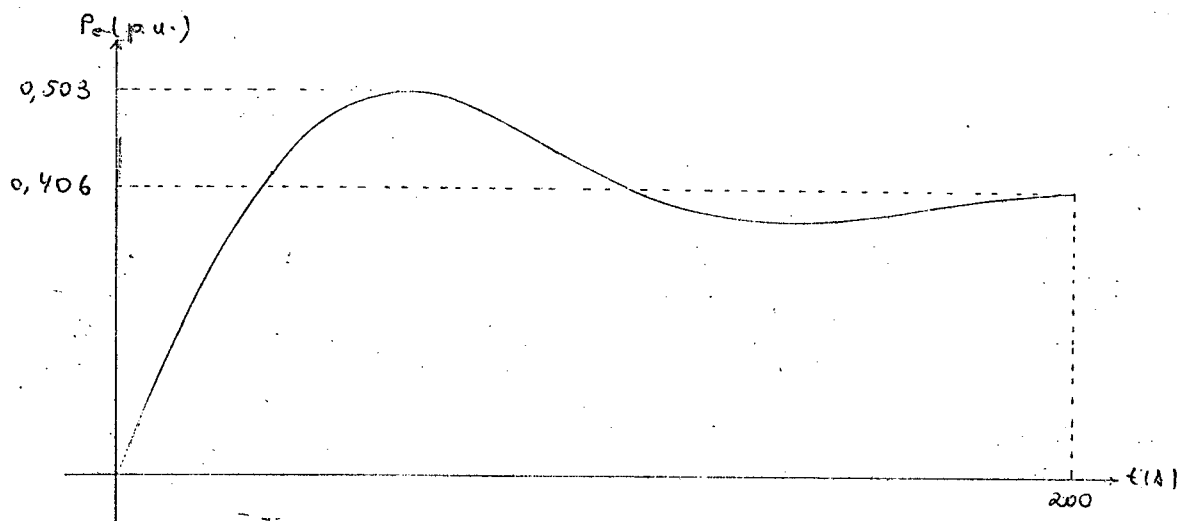
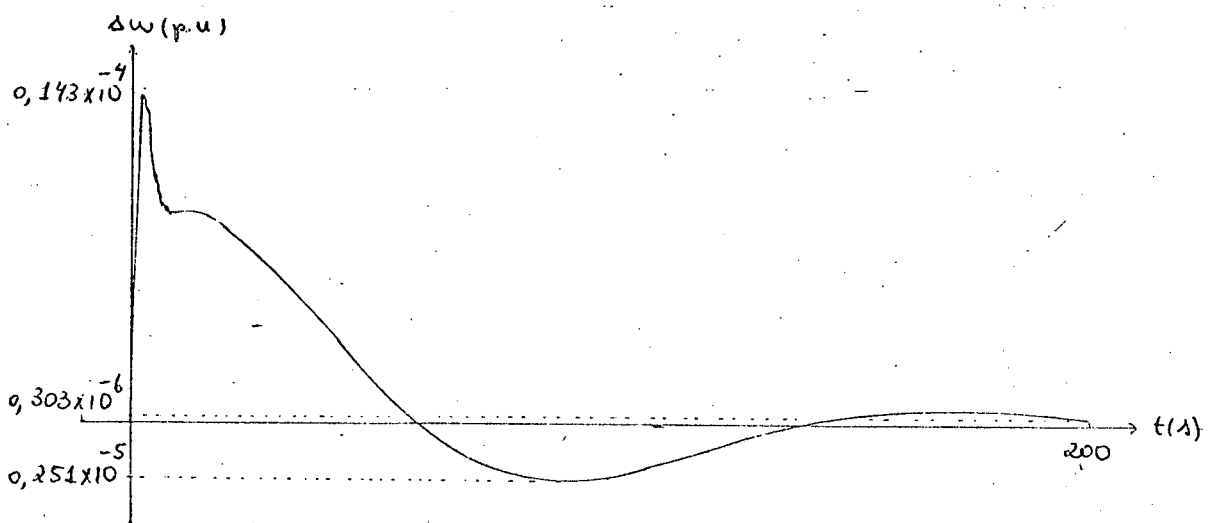


FIGURA 7.15 - TOMADA DE CARGA - $\lambda_0 = - 0,25$

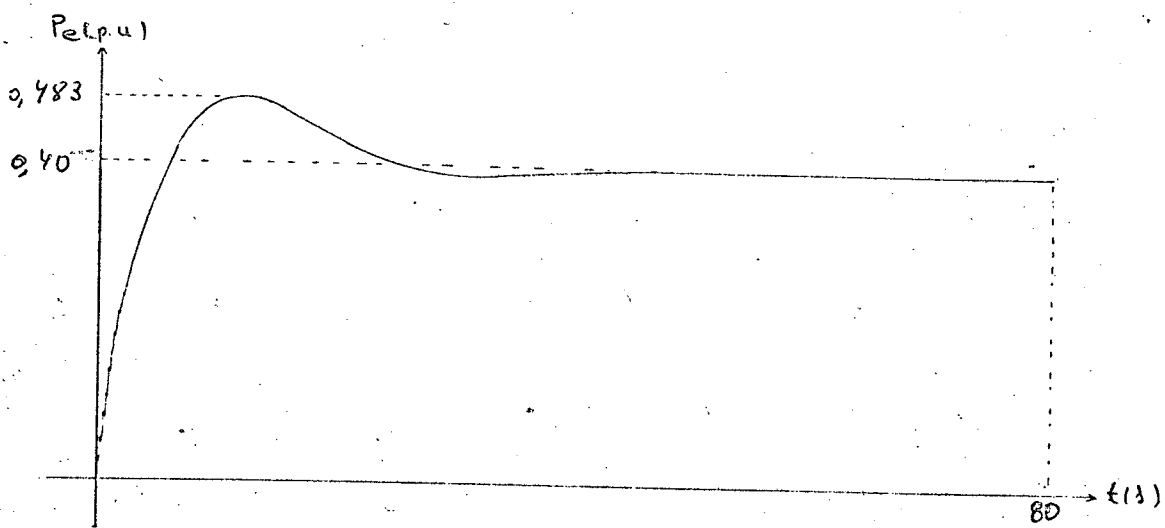
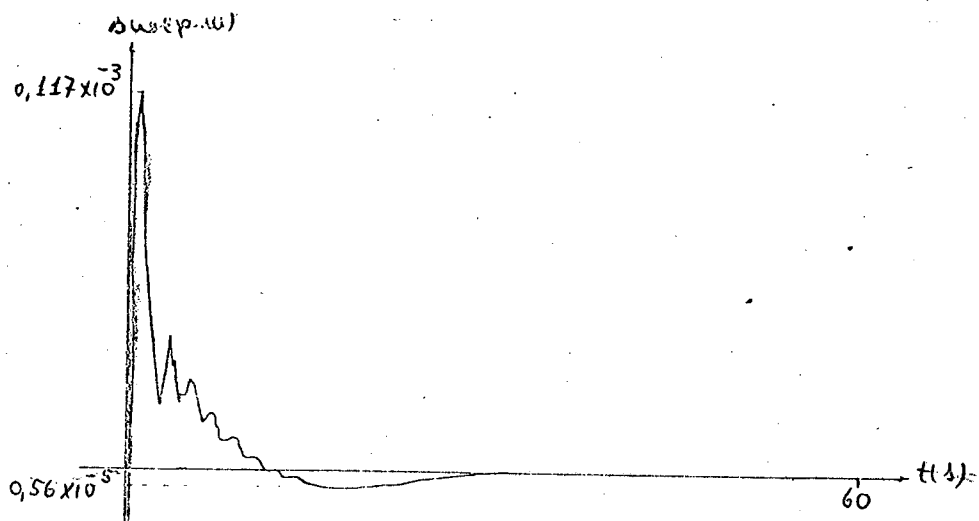


FIGURA 7.16 - TOMADA DE CARGA - $\lambda_0 = - 0,75$

Em contrapartida o gasto de energia na implementação em que regulou-se a unidade para $\lambda_0 = -0,75$ é maior que no caso de $\lambda_0 = -0,25$ o que pode ser facilmente observado pela magnitude dos parâmetros α_i e β_i^j . Estas simulações confirmam, através de uma visão prática, as conclusões obtidas na teoria e apoiam o algoritmo proposto no capítulo 6.

7.5. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS NÃO LINEARIDADES NO RASTREAMENTO

No capítulo 4 foi discutido que teoricamente é impossível que a saída de um sistema não linear da forma em estudo rastreie uma rampa, pelo menos não através da aplicação da teoria de rastreamento robusto apresentado no capítulo 4.

No entanto, naquela ocasião, levantou-se a hipótese de se aproximar o rastreamento através da utilização de uma cadeia de integradores no servo-compensador. Uma justificativa para esta abordagem baseia-se no fato de poder-se aproximar qualquer função por uma série de Taylor, isto é, por uma polinomial.

Este item visa estudar este problema através de simulações. Para tal aplicou-se sobre a mesma unidade térmica apresentada na figura 2.5 duas versões da estrutura de controle proposta.

Na primeira versão supôs-se o sistema totalmente linear e projetou-se o servo-compensador para rastrear uma rampa. Na outra versão levou-se em conta a não linearidade da linha de transmissão e supôs-se que um polinômio do terceiro grau poderia representar com uma boa precisão o movimento de referência \bar{X} .

7.5.1. Projeto dos Servo-Compensadores e Regulação

Para o primeiro caso, em que supôs-se o sistema linear, é óbvio que o servo-compensador tem de possuir pelo menos dois integradores em cascata, pois sendo:

$$P_r = k_1 + k_2 t ; k_1 \text{ e } k_2 = \text{constantes}$$

e

$$G_{sc} = \frac{N_{sc}}{D_{sc}} = \frac{1}{p^2}, \text{ então}$$

$$D_{sc} \cdot P_r(t) = 0$$

Usando-se a mesma equação de saída do item 7.3 e estipulando-se $\lambda_0 = -0,5$ obtêm-se, após a determinação dos parâmetros do compensador dinâmico, o mesmo sistema indicado na equação 7.5. A correspondência em diagrama de blocos é a mesma apresentada na figura 7.12.

Para o segundo caso em que supôs-se que o movimento de referência seria aproximado por uma polinomial do terceiro grau, necessitamos de um servo-compensador com quatro integradores em cascata, pois sendo:

$$\bar{x}_i = k_1 + k_2 t + k_3 t^2 + k_4 t^3 ; \bar{x}_i \in \bar{X}$$

$$P_r = k_5 + k_6 t ; k_i \text{ constantes}$$

e sendo

$$G_{sc} = \frac{N_{sc}}{D_{sc}} = \frac{1}{p^4}, \text{ então}$$

$$D_{sc} \cdot \bar{X}(t) = 0 \text{ e}$$

$$D_{sc} P_r(t) = 0$$

Para a regulação da unidade geradora, considerou-se como mensurável o desvio de velocidade e todos os quatro esta-

dos do servo-compensador e um $\lambda_0 = -0,5$. A estrutura a ser simulada é similar e apresentada na figura 7.12, diferenciando-se por possuir 4 integradores no servo-compensador e maior número de estados mensuráveis. A equação de estado com valores numéricos é apresentada na equação 7.9.

7.5.2. Simulações e Conclusões

Simulou-se, para as duas implementações, dois casos, o primeiro objetivando o rastreamento de uma rampa de baixa inclinação, $P_r = 0,004 \cdot t$, e o segundo objetivando o rastreamento de uma rampa mais forte, com $P_r = 0,04 \cdot t$.

A figura 7.17 mostra os resultados da primeira simulação para as duas implementações. Observe que existe rastreamento da potência elétrica tanto para a implementação com dois integradores no servo-compensador como na implementação com quatro integradores. Já o desvio de velocidade não rastreia o zero apresentando em regime um desvio de $0,270 \times 10^{-5}$ p.u.. Isto é fisicamente justificável uma vez que uma unidade geradora só pode variar a potência elétrica que fornece se sua velocidade variar. Convém salientar que se multiplicarmos o valor do desvio de velocidade pelo fator de proporcionalidade adequado teremos a taxa de variação da potência elétrica ou seja 0,004. Este fator de proporcionalidade é facilmente obtido a partir da equação linearizada da potência elétrica, ou seja:

$$P_e = F \text{ sen } (2\pi f \sigma) \quad ; \text{ linearizando:}$$

$$P_e \approx \underbrace{F \cdot 2\pi f}_k \cdot \sigma \quad ; \text{ substituindo os valores,}$$

a inclinação da rampa resulta:

$$\begin{bmatrix} -0,1 \\ -38,84 \\ -5,0 \\ 1,0 \\ 1,0 \\ -1,0 \\ 0,9197 \\ 16,0067 \\ 1,0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,1 \\ -1,0 \\ -5,0 \\ 1,0 \\ 1,0 \\ -1,0 \\ 0,9197 \\ 16,0067 \\ 1,0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 13,151 \\ 49,947 \\ 110,67 \\ 127,457 \\ 5,0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -8,348 \\ -31,334 \\ -65,266 \\ -64,536 \\ -3,4 \\ -12,836 \\ -48,455 \\ -106,048 \\ -115,17 \\ -4,91 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1,0 \\ 1,0 \\ 1,0 \\ 1,0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,4 \\ -0,4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} P_r \\ P_L \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \omega \\ P_m \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ \sigma \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{sen}(2\pi f_0) \end{bmatrix}$$

EQUAÇÃO 7.9 - UNIDADE TÉRMICA COM 4 INTEGRADORES NO SERVO-COMPENSADOR - COEFICIENTE DE SINCRONIZAÇÃO F = 4,0 p.u.

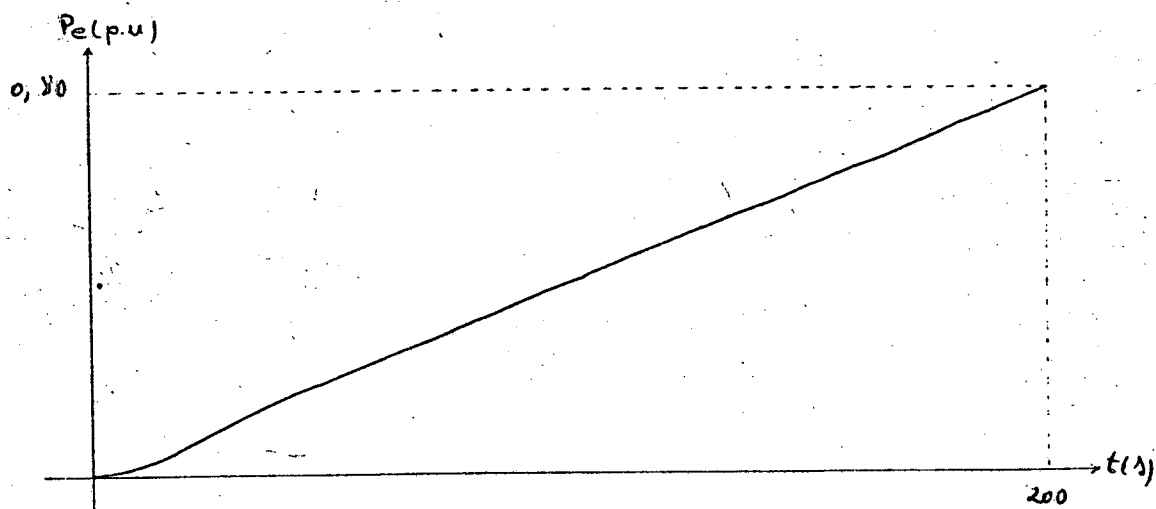
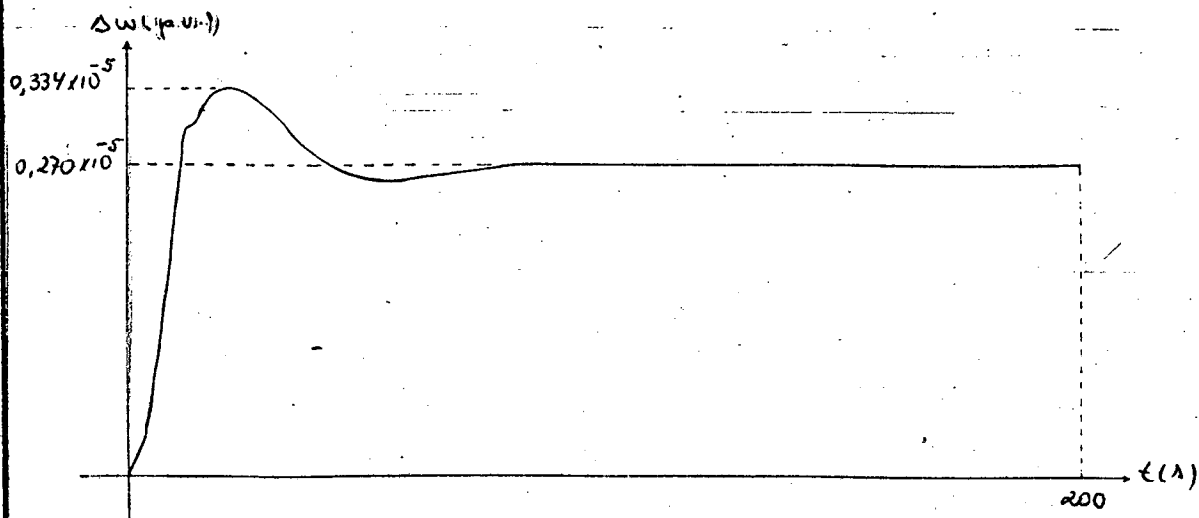


FIGURA 7.17-A - DOIS INTEGRADORES NO SERVO-COMPENSADOR

$$P_r = 0,004t$$

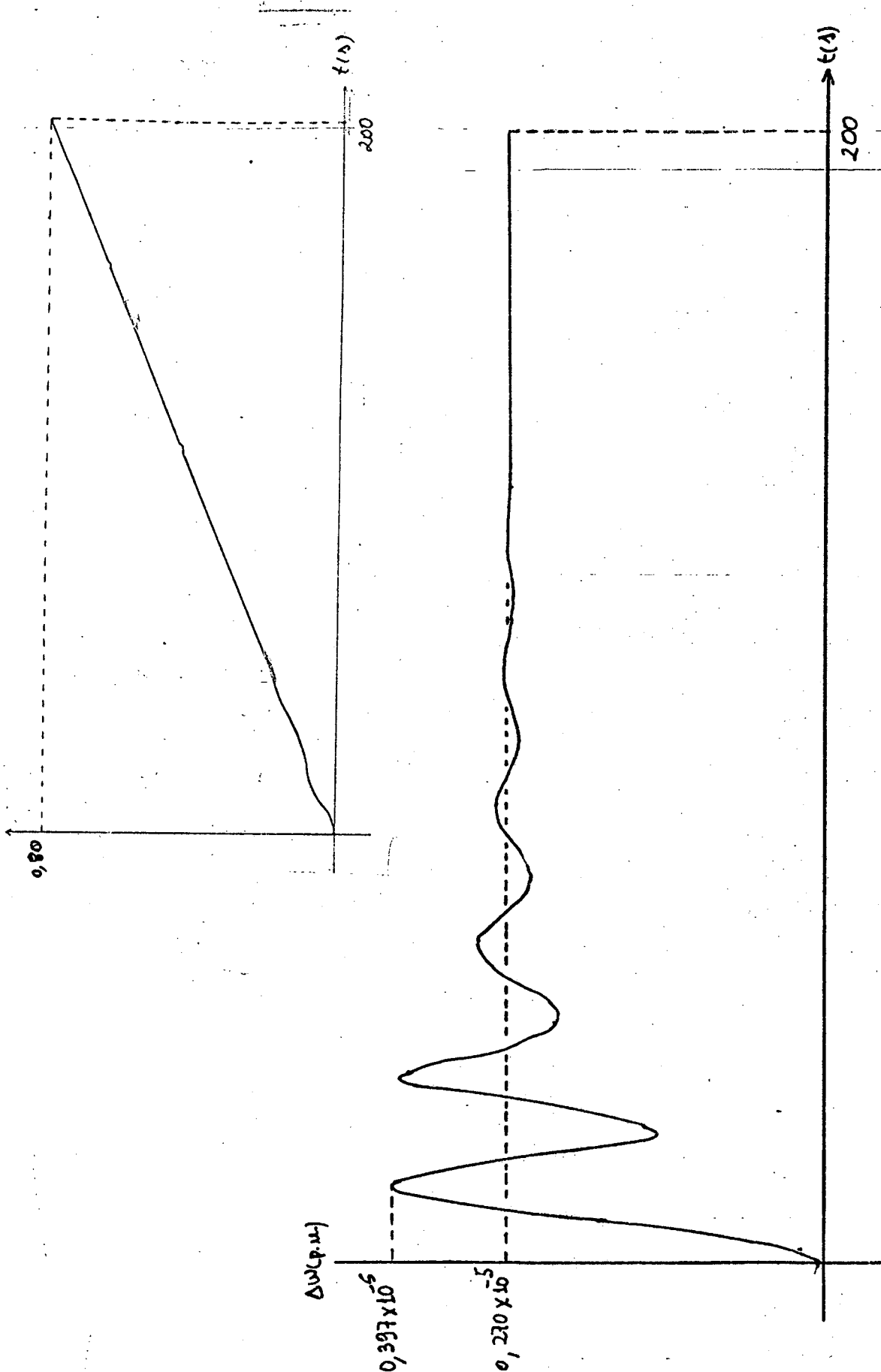


FIGURA 7.17-B - QUATRO INTEGRADORES NO SERVO-COMPENSADOR - $P_I = 0,004t$

$$\text{inclinação} = \bar{\omega} \times k = 0,270 \times 10^5 \times 4 \times 2 \times 3,1716 \times 60 = 0,004$$

Conclui-se então, para este primeiro caso, que para pequenas variações obtém-se o rastreamento de uma rampa mesmo com um servo-compensador projetado para um sistema linear. Isto é de se esperar, pois a função seno aproxima-se em muito, para pequenos valores de ângulo, a uma função linear. Outro fato que é interessante notar diz respeito ao aspecto oscilatório da resposta da implementação com 4 integradores no servo-compensador, o que parece ser comum sempre que se "superdimensiona" o servo-compensador.

A figura 7.18 mostra os resultados da simulação do segundo caso, rastreamento de uma rampa acentuada ($P_r = 0,04t$), para as duas implementações. Observa-se neste caso que a implementação com dois integradores não conseguiu rastrear a referência o que é devido a maior influência da não linearidade, a qual chega inclusive a levar o sistema à instabilidade no final da simulação. Fisicamente isto indica que a unidade geradora ultrapassou seu limite de estabilidade estático, isto é, ângulo de carga $\delta = \pi/2$ radianos. Já a implementação com o servo-compensador de 4 integradores apresenta uma resposta bem melhor, conseguindo rastrear aproximadamente a rampa até mais ou menos os primeiros 30 segundos da simulação, quando os efeitos da não linearidade se tornam forte o suficiente para neutralizar o efeito do servo-compensador, chegando o sistema ao final da simulação à instabilidade.

Fica com isto comprovada, através da prática, a hipótese levantada no capítulo 4 de que um sistema não linear poderia rastrear aproximadamente outras referências que não o sinal em de-

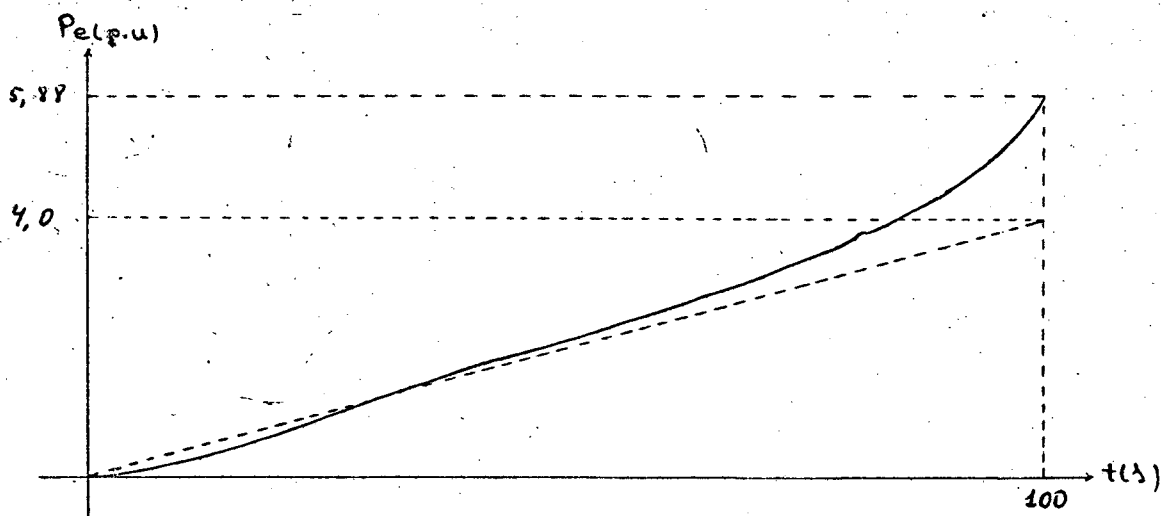
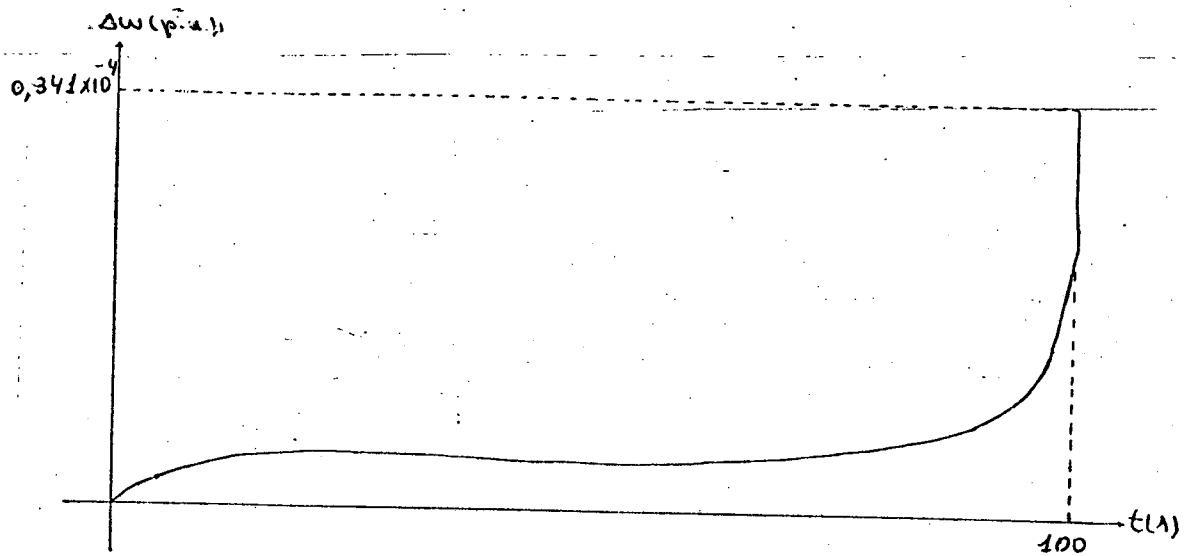


FIGURA 7.18-A - DOIS INTEGRADORES NO SERVO-COMPENSADOR

$$P_r = 0,04t$$

grau desde que o servo-compensador seja "superdimensionado" através de vários integradores em cascata. Um servo-compensador assim constituído teria a capacidade de rastrear uma polinomial de grau elevado, a qual deveria modelar por aproximação (série de Taylor) o movimento de referência \bar{X} . É evidente que na prática não é desejável superdimensionar os servo-compensadores pois isto acarreta em maior dispêndio de energia para a regulação além da resposta apresentar-se oscilatória para o rastreamento de referências como o de grau. Esta característica oscilatória é observável tanto através dos resultados desta simulação como nos da simulação do item 7.2. Deve-se considerar ainda que em sistemas de potência, referências como a rampa são pouco utilizadas, sendo quase sempre aproximada por uma sucessão de degraus.

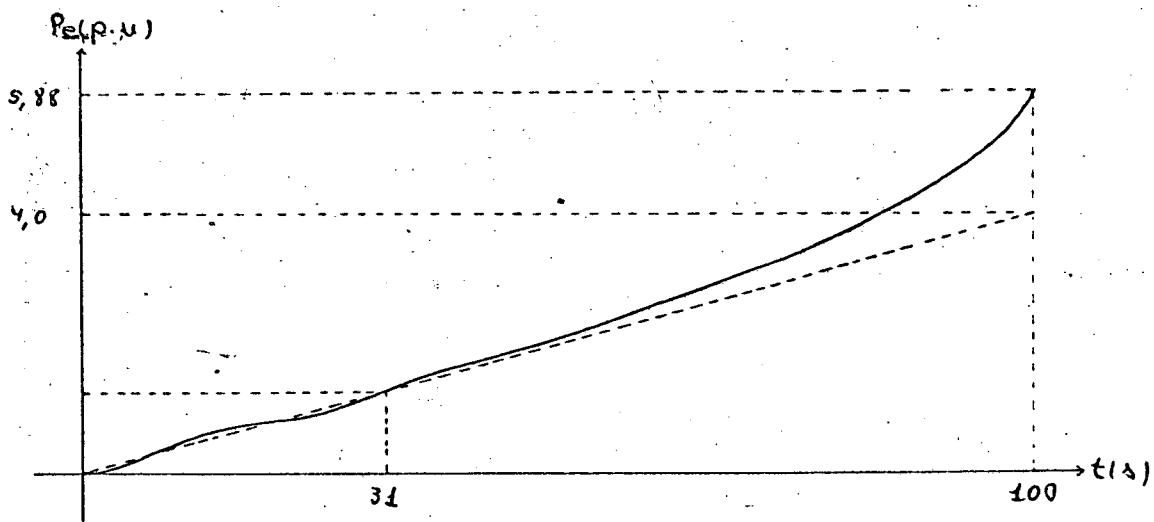
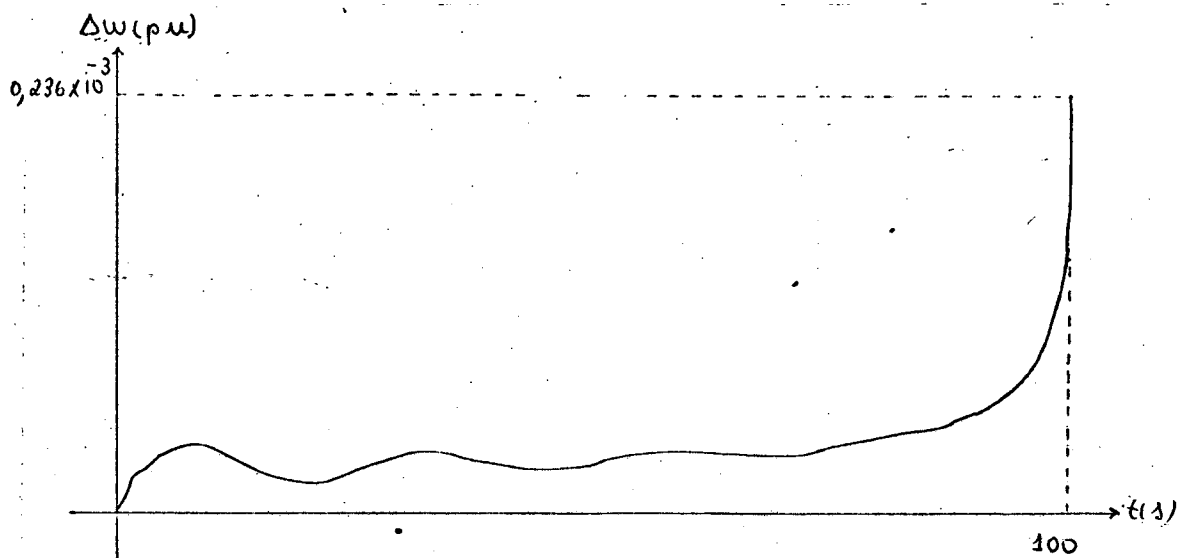


FIGURA 7.18-B - QUATRO INTEGRADORES NO SERVO-COMPENSADOR

$$P_r = 0,04t$$

7.6. APLICAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE CONTROLE PROPOSTA A UM SISTEMA DE TRÊS MÁQUINAS

Este último item apresenta os resultados da simulação de um sistema composto de três máquinas, cada uma das quais sujeita a estratégia de controle em discussão. Esta simulação demonstra também a eficiência da regulação descentralizada na obtenção de um sistema interligado estável.

A figura 7.19 mostra esquematicamente as três unidades interligadas pela rede de transmissão. As unidades geradoras identificadas nesta figura apresentam as seguintes características:

- Unidade número 1 - unidade hidráulica, figura 7.1
- Unidade número 2 - unidade hidráulica, figura 7.20
- Unidade número 3 - unidade térmica, figura 2.5

7.6.1. Projeto dos Servo-Compensadores e Regulação

O projeto dos servo-compensadores para estas 3 máquinas foi feito considerando:

- Unidade nº 1 e nº 3: rastrear referência em degrau e rejeitar perturbações em degrau e rampa.
- Unidade nº 2: rastrear referência em degrau e rejeitar perturbações em degrau.

Baseado nisto os servo-compensadores de cada unidade foram implementados da seguinte forma:

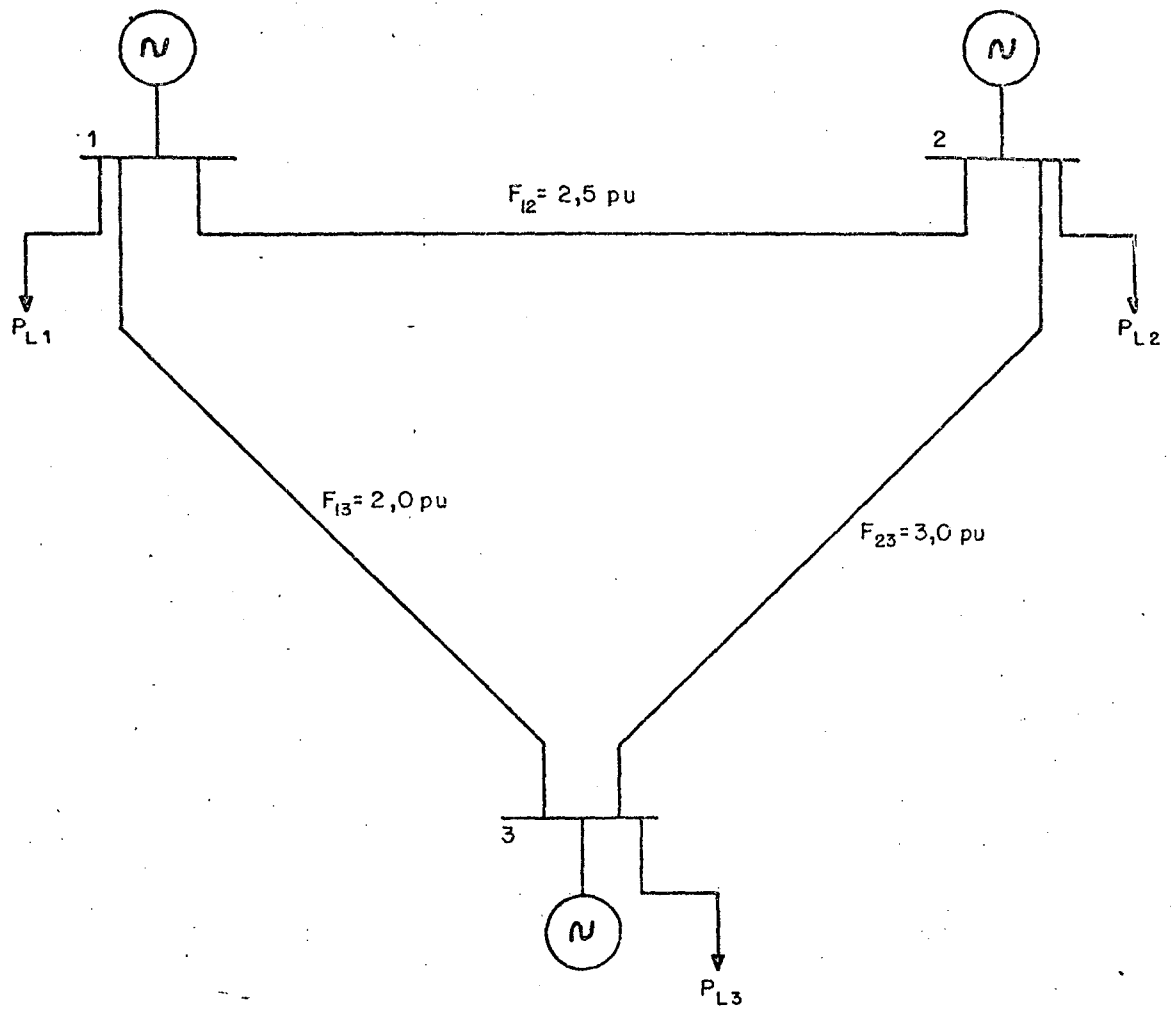


FIGURA 7.19 ESQUEMA DA REDE DE TRANSMISSÃO

- Unidade nº 1 - 2 integradores em cascata
- Unidade nº 2 - 1 integrador em cascata
- Unidade nº 3 - 2 integradores em cascata

Para o projeto dos compensadores dinâmicos usou-se os dados da tabela 7.1, obtendo-se os subsistemas a serem simulados. O subsistema da unidade nº 1 tem a forma final igual à unidade de geradora com dois integradores no servo-compensador simulado no item 7.2, equação 7.3 e figura 7.4.

A unidade número 3 toma forma final idêntica a simulada no item 7.4 para o caso em que $\lambda_0 = -0,75$. A matriz "A" desta unidade é a mesma apresentada na equação 7.8 sendo sua estrutura em diagrama de blocos mostrada na figura 7.12. A figura 7.20 mostra a estrutura, em diagrama de blocos, da unidade número 2 já conectada ao servo-compensador e compensador dinâmico. Os valores numéricos dos parâmetros identificados nesta figura estão na equação 7.10 a qual já integra os outros dois subsistemas e representa o sistema simulado.

7.6.2. Simulações e Conclusões

a. Tomada de Carga

Inicialmente fêz-se as três unidades transferirem energia pelas interligações de forma que obtivéssemos os seguintes fluxos nas linhas:

$$\cdot P_{e_{12}} = 0,3 \text{ p.u.}$$

$$\cdot P_{e_{13}} = 0,2 \text{ p.u.}$$

$$\cdot P_{e_{23}} = 0,6 \text{ p.u.}$$

TABELA 7.1

UNIDADE GERADORA Nº	ESTADOS MENSURÁVEIS	ÍNDICE DE OBSERVABILIDADE	AUTOVALORES DESEJÁVEIS
1	ω x_3 x_4 x_5	$p = 3$	$\lambda_1 = -10,0$; $\lambda_2 = -6,67$; $\lambda_3 = -6,67$; $\lambda_4 = -1,17$; $\lambda_5 = -1,0$; $\lambda_6 = -0,9$; $\lambda_7 = -0,8$; $\lambda_8 = -0,25$; $\lambda_9 = -0,20$; $\lambda_{10} = -0,117$.
2	ω x_2 x_3 x_4	$p = 2$	$\lambda_1 = -12,14$; $\lambda_2 = -3,144$; $\lambda_3 = -1,818$ $\lambda_4 = -1,0$; $\lambda_5 = -0,6$; $\lambda_6 = -0,5$ $\lambda_7 = -0,4$; $\lambda_8 = -0,3$.
3	ω x_2 x_3	$p = 2$	$\lambda_1 = -10,0$; $\lambda_2 = -1,0$; $\lambda_3 = -5,0$; $\lambda_4 = -0,75$; $\lambda_5 = -0,75$; $\lambda_6 = -0,75$; $\lambda_7 = -0,75$.

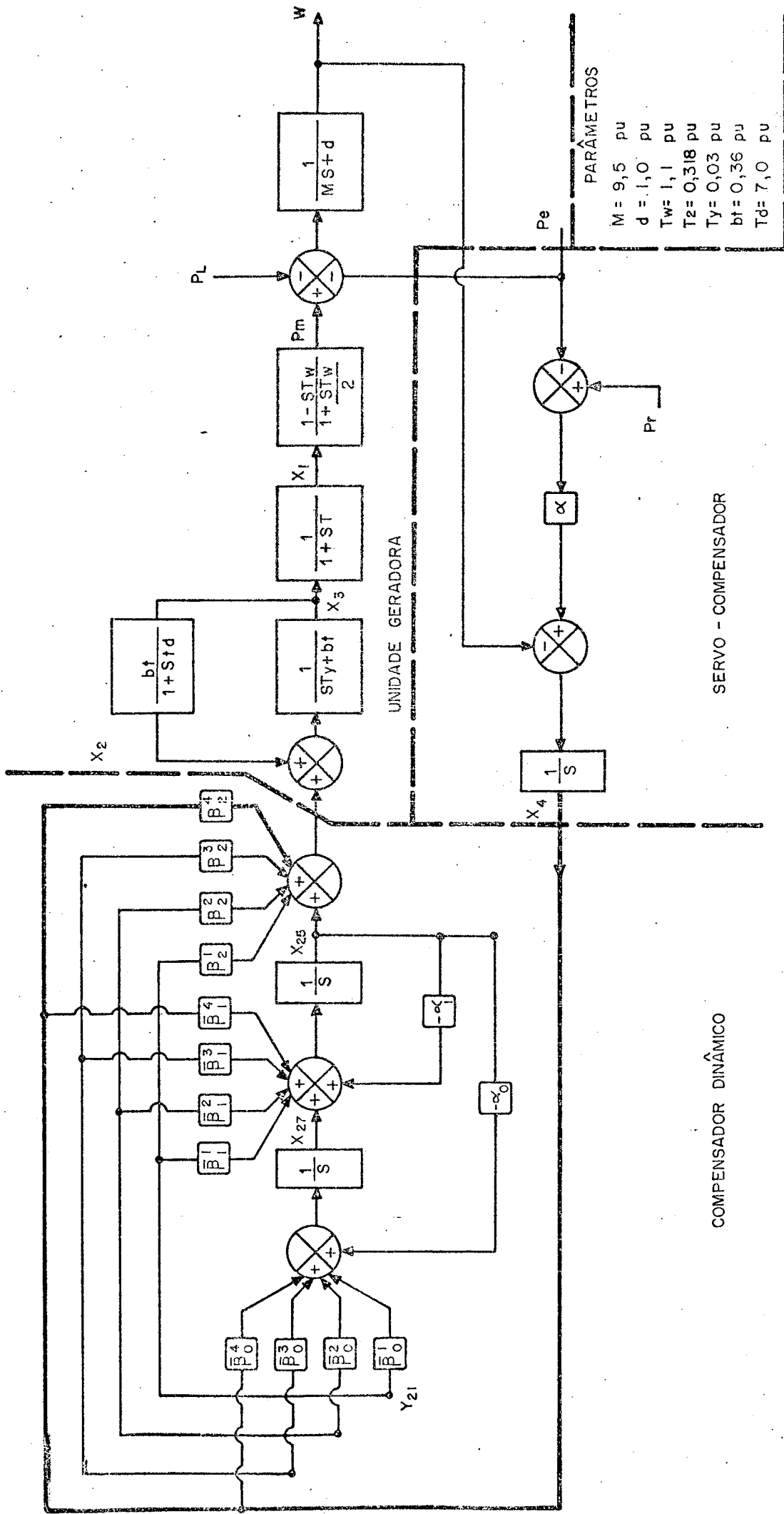


FIGURA 7.20 UNIDADE GERADORA NÚMERO 2 (HIDROELÉTRICA) COM SERVO-COMPENSADOR E COMPENSADOR DINÂMICO

Isto implica nos seguintes valores líquidos por unidade geradora (valores de referência):

- $P_{e_1} = 0,5 \text{ p.u.}$
- $P_{e_2} = 0,3 \text{ p.u.}$
- $P_{e_3} = -0,8 \text{ p.u.}$

Admitiu-se ainda que as três unidades estavam sujeitas às seguintes cargas locais:

- $P_{L_1} = 1,0 \text{ p.u.}$
- $P_{L_2} = 0,7 \text{ p.u.}$
- $P_{L_3} = 1,1 \text{ p.u.,}$

sendo a base para estes valores dada por:

- $S_b = 333,0 \text{ MVA}$
- $V_b = 500,0 \text{ KV}$

A figura 7.21 mostra a evolução do desvio de velocidade para as 3 máquinas onde observa-se que o desvio de velocidade aproxima-se do zero em aproximadamente 200 segundos. É interessante notar como as máquinas oscilam juntas, sendo as diferenças mínimas, notadas apenas pela pequena diferença na amplitude das oscilações. Os gráficos da potência elétrica para as três máquinas estão na figura 7.22 onde observa-se o rastreamento em regime após os primeiros 300 segundos.

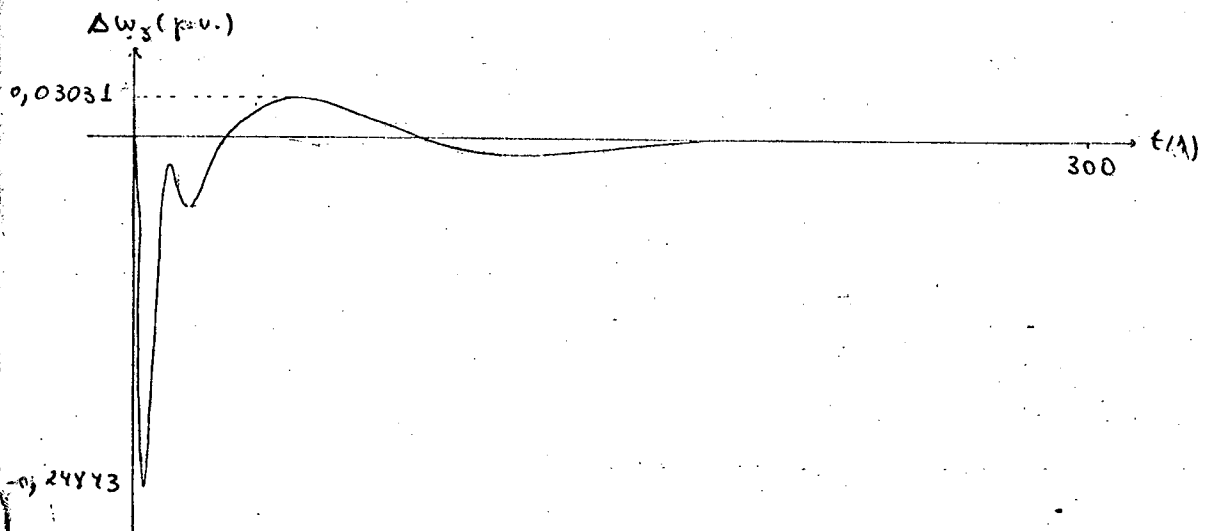
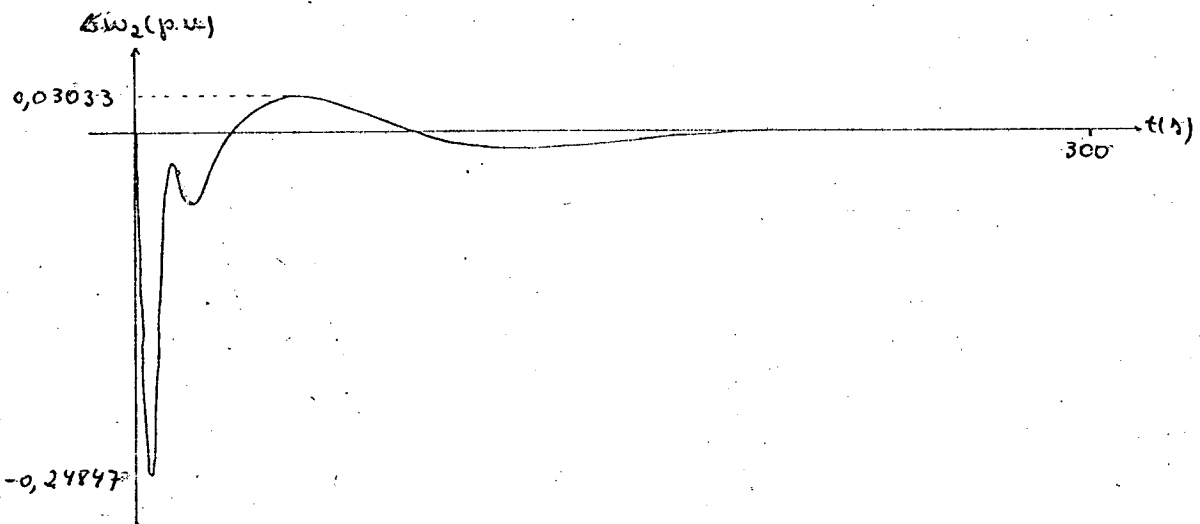
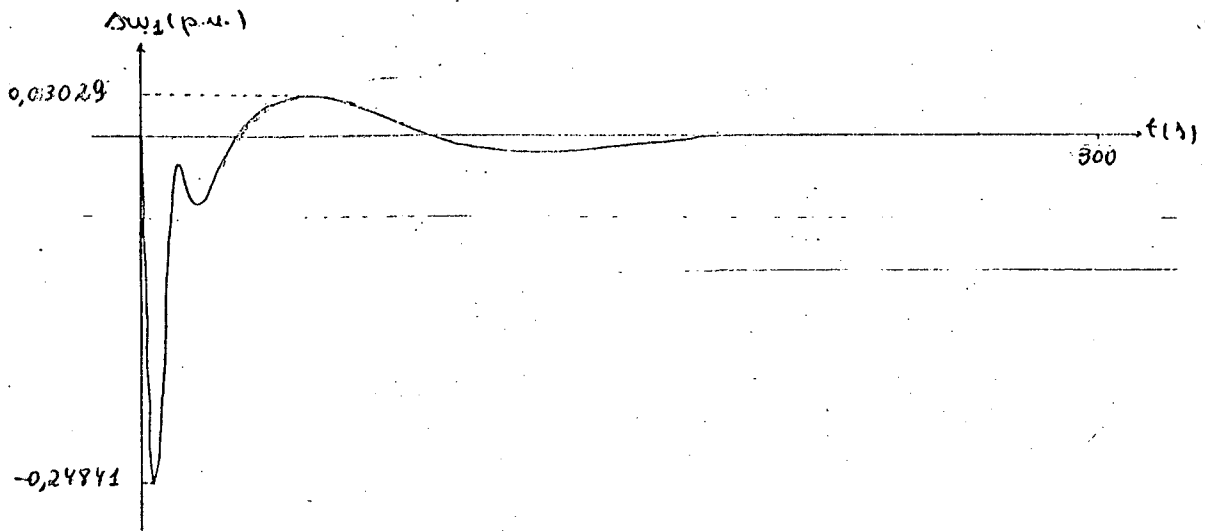


FIGURA 7.2.II - TOMADA DE CARGA - DESVIO DE VELOCIDADE

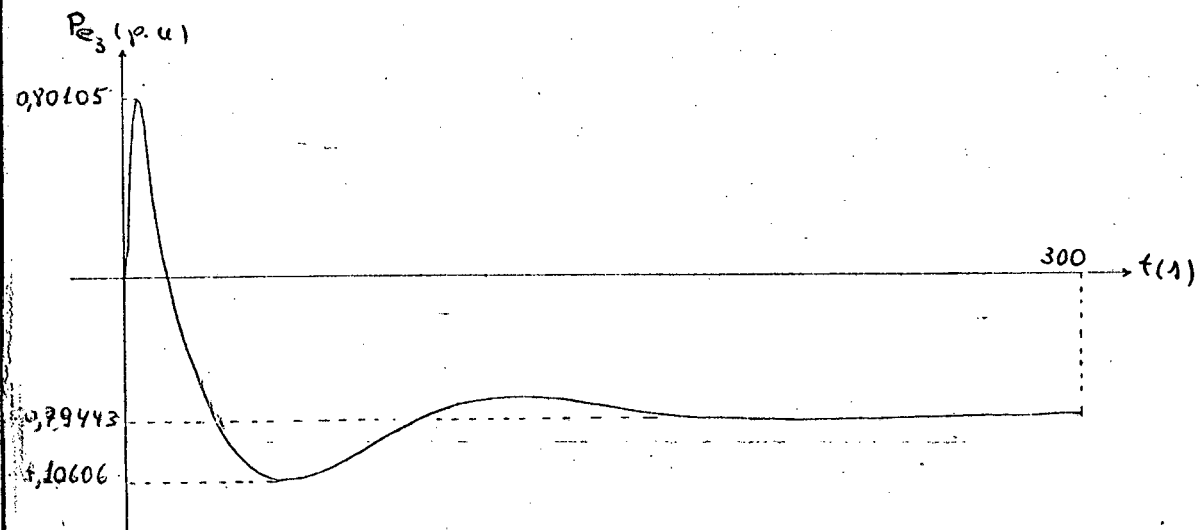
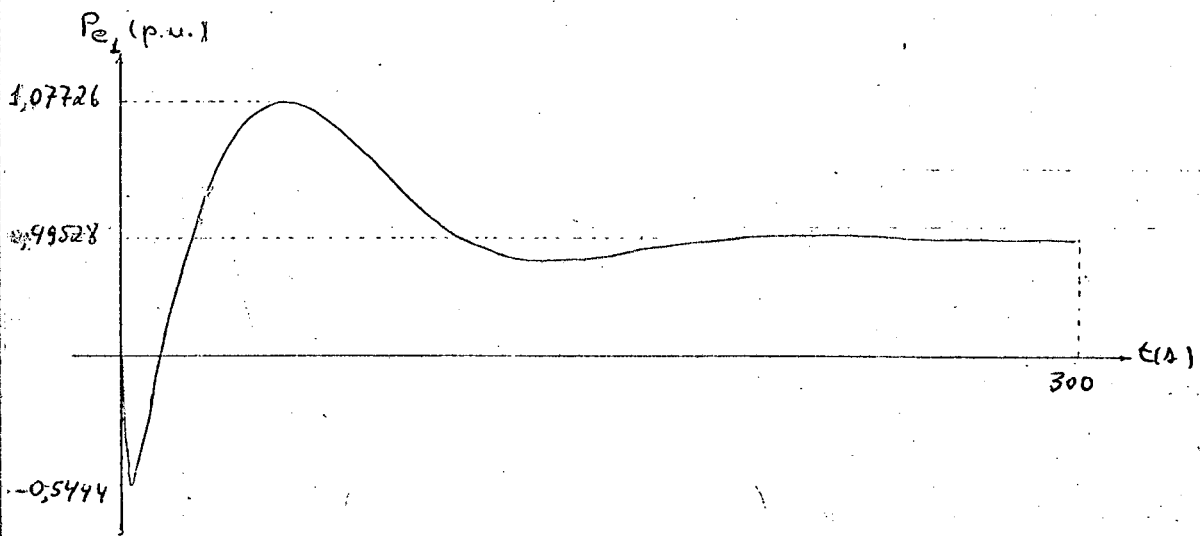
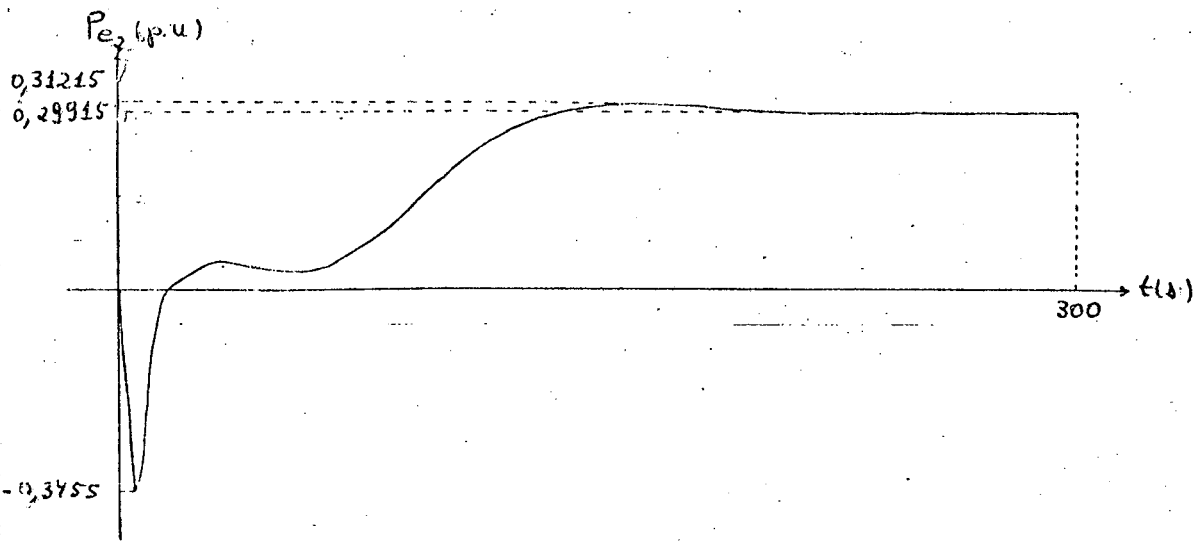


FIGURA 7.222 - TOMADA DE CARGA - POTÊNCIA ELÉTRICA

b. Variação da Carga Local Através de um Degrau

Após o sistema ter atingido o equilíbrio, simulou-se um aumento na carga local da máquina 2 de 0,3 p.u., ou seja, a carga local desta máquina passou a ser

$$P_{L_2} = 1,0 \text{ p.u.}$$

A figura 7.23 mostra o comportamento do desvio de velocidade e da potência elétrica para as três máquinas. Verifica-se, através destas figuras, que as 3 máquinas voltam a rastrear suas referências após o transitório o que demonstra validade da estrutura proposta para um sistema multimáquina.

c. Variação da Carga Local Através de uma Rampa

Como uma última simulação, aplicou-se ao sistema operando em regime, uma variação em rampa da carga local da máquina número 1. Escolheu-se esta máquina pois seu servo-compensador foi projetado para rejeitar perturbações em rampa. Em resumo as seguintes condições foram usadas nesta simulação.

. Condições Iniciais - iguais à condição de regime do subitem "a"

. Referências - $P_{r_1} = 0,5 \text{ p.u.}$

$P_{r_2} = 0,3 \text{ p.u.}$

$P_{r_3} = -0,8 \text{ p.u.}$

. Carga Local - $P_{L_1} = 1,0 + 0,0025 t \text{ p.u.}$

$P_{L_2} = 0,7 \text{ p.u.}$

$P_{L_3} = 1,1 \text{ p.u.}$

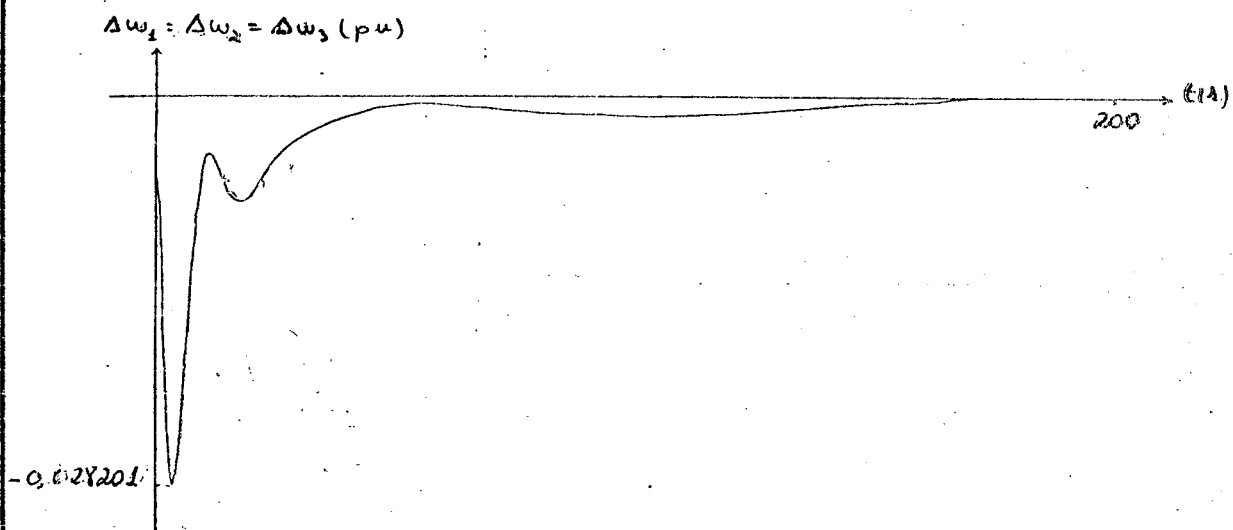


FIGURA 7.23-A - VARIAÇÃO DE CARGA EM DEGRAU - DESVIO DE VELOCIDADE

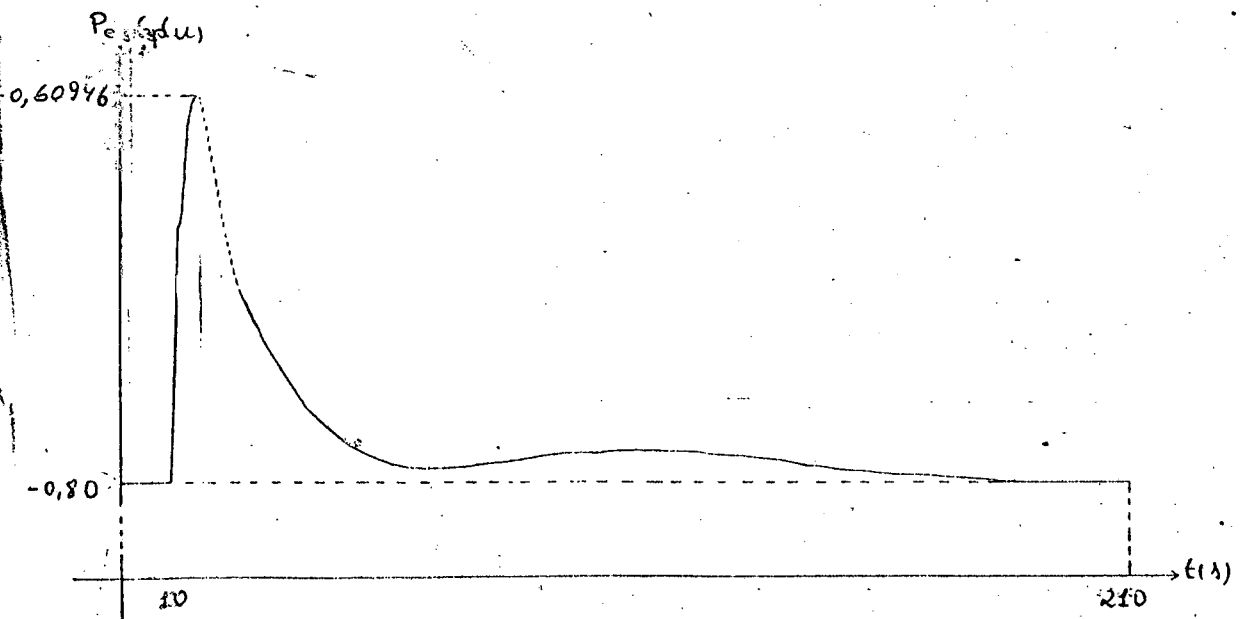
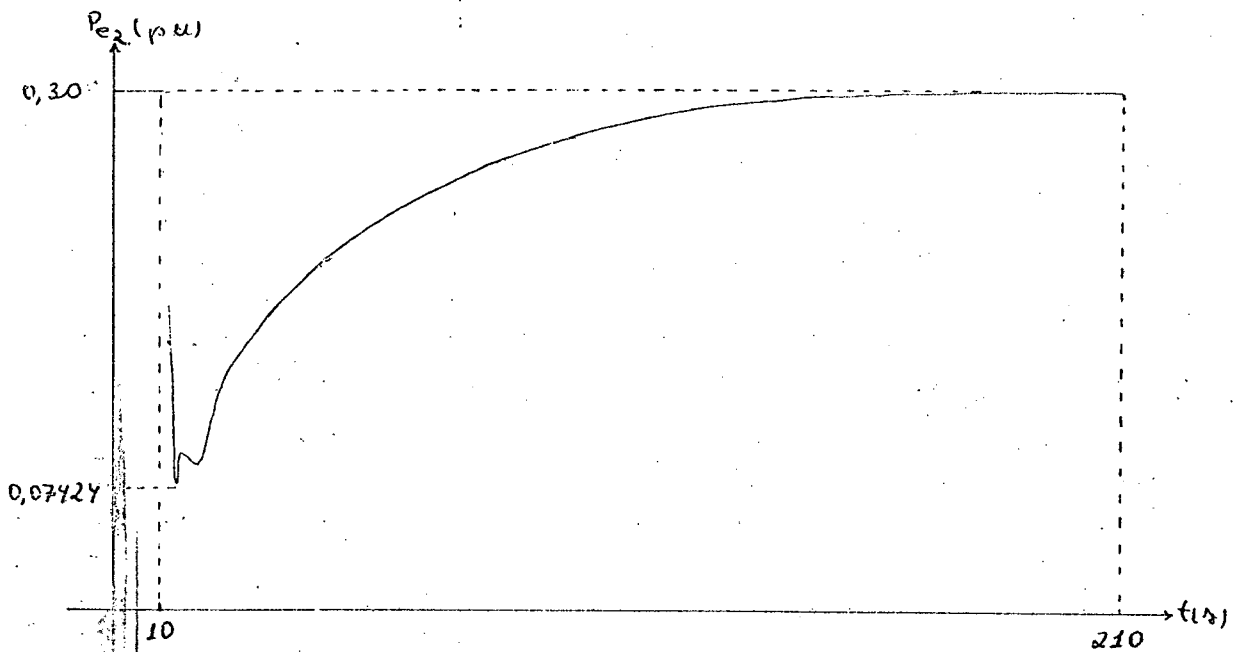
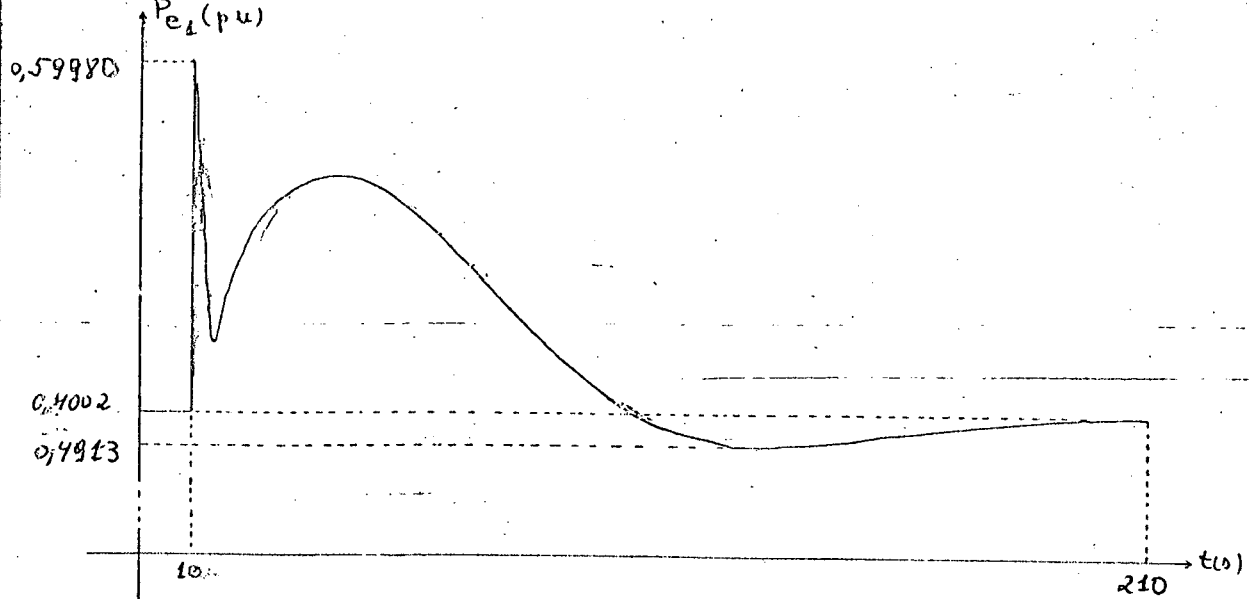


FIGURA 7.23-B -- VARIACÃO DA CARGA EM DEGRAU - POTÊNCIA ELÉTRICA

Os resultados desta simulação são mostrados nas figuras 7.25 e 7.26. Mais uma vez os servo-compensadores atuaram como previsto de forma que a geração da máquina 1 foi progressivamente aumentada de forma a neutralizar a influência da variação da carga na potência elétrica transmitida ao resto do sistema, voltando cada máquina a rastrear as referências após cessado o transitório. Fica assim mais uma vez demonstrada a capacidade de rastreamento a nível de sistema da estrutura de controle proposta, a qual baseia-se no princípio da descentralização das ações de controle.

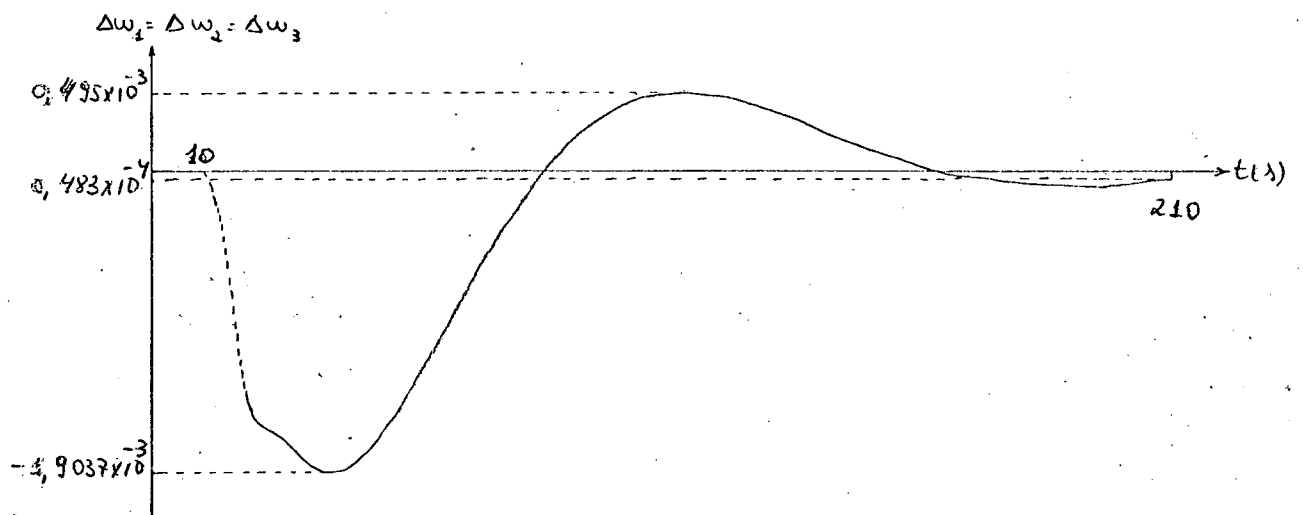


FIGURA 7.25 - VARIAÇÃO DA CARGA LOCAL EM RAMPA - DESVIO DE VELOCIDADE

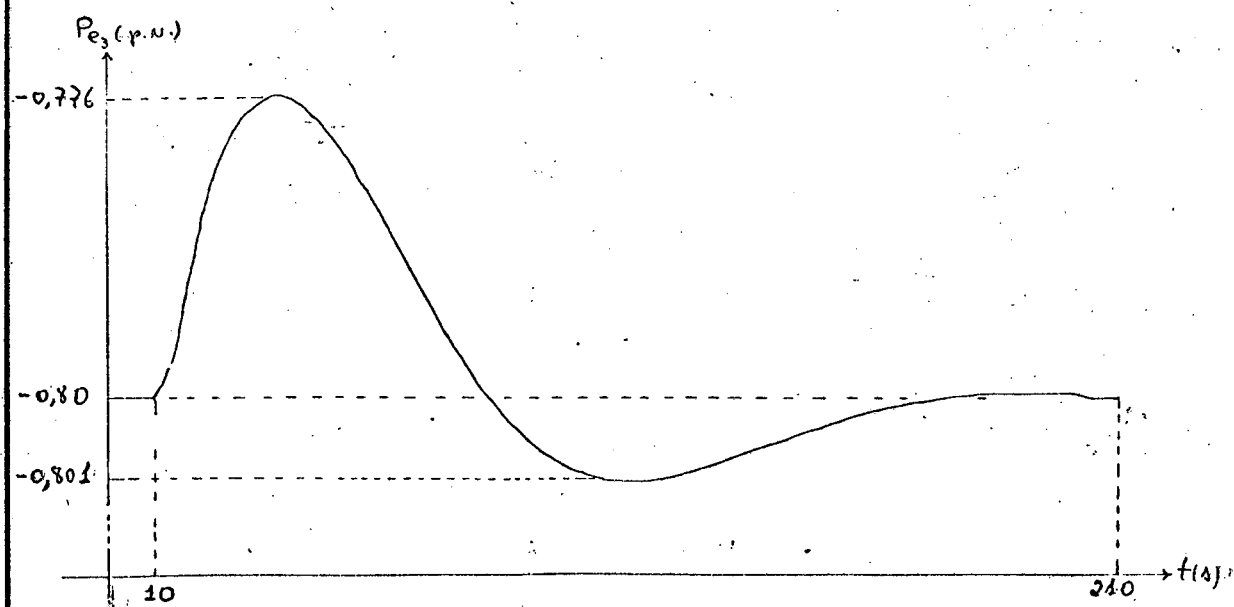
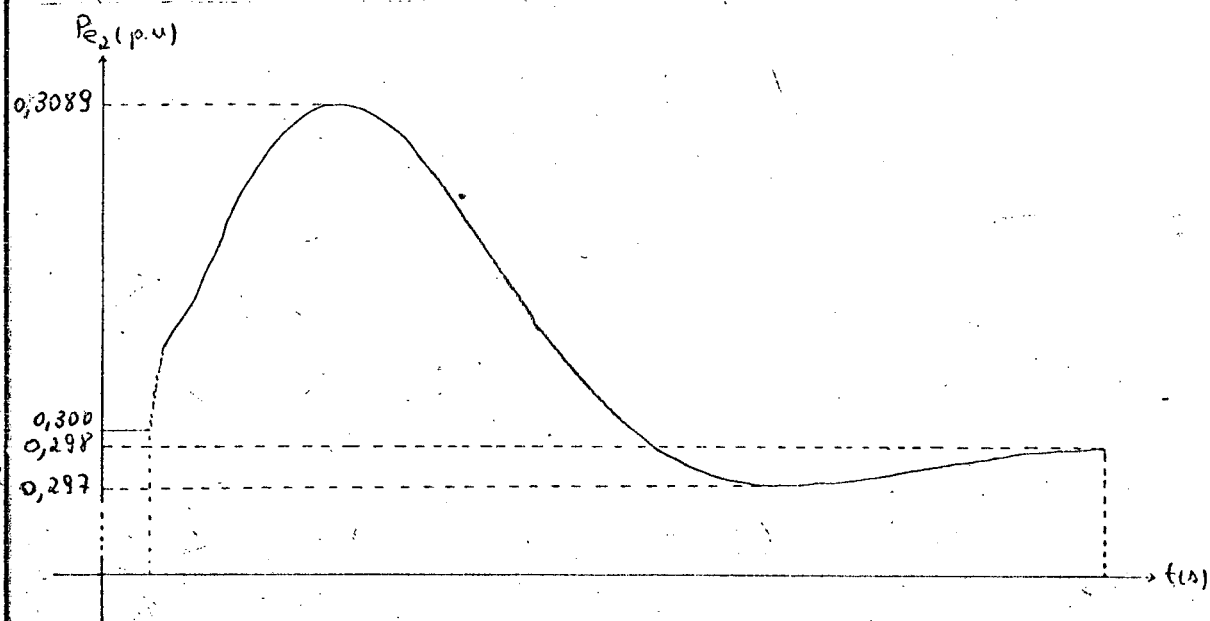
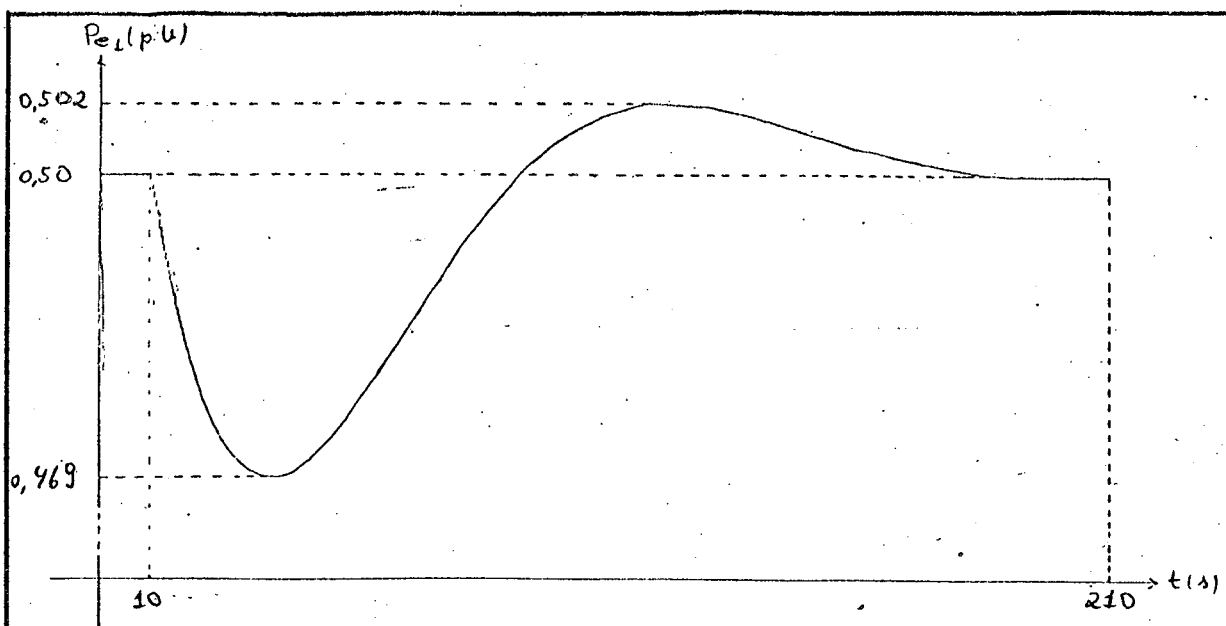


FIGURA 7.26 - VARIAÇÃO DA CARGA EM RAMPA - POTÊNCIA ELÉTRICA

C A P Í T U L O VIII

CONCLUSÕES

O capítulo de simulações examinou em detalhe o desempenho da estrutura de controle proposta nos capítulos anteriores. Esta estrutura compila resultados obtidos em diversos outros estudos adequando-os, quando necessário, ao problema de controle automático de geração em sistemas de potência. Cita-se entre estes estudos trabalhos como os elaborados por Doraiswami [8], Davison [6], Pearson [9], Costa [20] e Livramento [19] .

A estrutura é altamente descentralizada o que a torna atrativa tanto sob aspectos econômicos como de confiabilidade. Esta estrutura divide-se basicamente em dois compensadores, um responsável pelo atendimento dos objetivos de um controle carga-freqüência ou seja, desvio em regime da freqüência nominal nulo e potência elétrica em regime nas interligações igual ao programado. O outro compensador é responsável pela regulação dos subsistemas, unidades geradoras e consiste basicamente numa unificação da teoria de controle clássico, compensadores PID, lead-lag, etc, com a teoria de controle moderno a qual consiste na especificação dos autovalores do sistema através de realimentação de estado.

Os servo-compensadores mostraram-se eficientes mesmo diante da não linearidade do modelo, rastreamento as referências e rejeitando perturbações e variações de parâmetros sempre que eram

atendidas as condições de projeto. A abordagem teórica dos servo-compensadores analisou extensamente o problema de utilização de tais compensadores em um sistema não linear da classe em estudo. Devido as características de sistemas de potência estes compensadores podem ser generalizados por n integradores em cascata, sendo que para seu projeto não necessita-se conhecer os parâmetros do modelo da carga, basta conhecer-se o grau do polinômio que modela a evolução do seu valor médio. O mesmo se aplica para as referências que deverão ser rastreadas.

As simulações comprovaram de forma bastante clara um fato previsto na teoria, o qual origina-se da não-linearidade do modelo. Estas simulações mostraram que é possível rastrear aproximadamente sinais outros que não o degrau desde que se faça uma análise detalhada dos sinais do movimento de referência, definindo-se um grau de compromisso entre a precisão do rastreamento com a complexidade do servo-compensador.

A abordagem da regulação do sistema foi feita de forma a justificar-se a aplicação da teoria de sistema lineares ao sistema não linear usado para modelar o sistema de potência e também de forma a mostrar que a regulação descentralizada pode conduzir a um sistema global estável. Este procedimento mostrou-se bastante eficiente nas simulações e conduzem quase que invariavelmente a um sistema estável. Apesar dos bons resultados obtidos, considera-se que o problema de descentralização requer ainda maiores estudos sendo necessário estabelecer-se critérios mais quantitativos que garantem a estabilidade de todo o sistema. Para tal seria necessária uma análise mais aprofundada nos trabalhos de Davison [26], Dorais

wami [28], e de Geromel [18], tendo este último trabalho sido publicado recentemente no 1º SIMPÓSIO EM CONTROLE DE PROCESSOS POR COMPUTADOR.

No anexo, situado ao final deste texto, apresenta-se as listagens dos programas usados no desenvolvimento deste trabalho, sendo que particularmente o mais importante é o programa para projeto de compensadores dinâmicos. Devido a sua generalidade e a alta interatividade homem/máquina pode ser utilizado em outros trabalhos, podendo ser aplicado inclusive na área didática em conjunto com o programa de simulação.

REFERÊNCIAS

- [1] - ANDERSON & FOUAD - Power System Control and Stability,
The Iowa State University Press, Ames, Iowa,
1977.
- [2] - SOARES, J.M.C. e SOARES, V.L.C. - Determinação de Parâ
metros de Reguladores de Velocidade Para Tur
binas Hidráulicas, Publicação Interna da
UFMS, Tecnologia, Santa Maria, V.3, jan/77.
- [3] - DORAISWAMI, R & GONDAR - The Design and Stability of
Multiarea Load Frequency Control under Varying
Loads, IEEE - PES, Winter Power Meeting, fe
bruary 1978.
- [4] - IEEE TOUTORIAL COURSE - The Role of the Prime Movers
in Power Systems Stability, 1975 Summer
Meeting, July 1975.
- [5] - EPRI - Development of Dynamic Equivalents for Transient
Stability Studies, EPRI EL - 456, Project
763, may 1977.

- [6] - DAVISON, E.J. - The Robust Control of a Servomechanism for Linear Invariant Multivariable Systems, IEEE Trans., Vol. AC-21, nº 1, fev/76.
- [7] - DESOER, C.A. & WANG, Y.T. - Linear Time-Invariant Robust Servomechanism Problem: A Self - Contained Exposition", Electronics Research Laboratory, Memorandum nº UCB/ERL/M77/50. University of California, Berkeley, 94720, EUA.
- [8] - DORAISWAMI, R. - Robust Decentralized Control of Servomechanism Problem for a Class of Non-Linear System, IEE - Proceedings, vol.128, nº 2, março de 1981.
- [9] - PEARSON, J.B. - Compensator Design for Dinamic Optimization, Int. J. Control, 1969, vol. 9, nº 4.
- [10] - PEARSON, J.B. & DING, C.Y. - Compensator Design for Multivariable Linear Systems, IEEE, vol.AC-14, nº 2, April 1969.
- [11] - MELLO, F.P. & UNDRILL, J.M. - Automatic Generation Control, IEEE Tutorial Course, 1977 Summer Meeting, July 1977, México.

- [12] - DORAISWAMI, R & RODRIGUES, A. - A Decentralized Control Strategy for the Multi Area Load Frequency Problem - 3rd International Symposium On Large Engineering Systems, Memorial University of Newfoundland. St. John's, Newfoundland, Canadá, July 1980.
- [13] - ANDERSON, B.D.O. & MOORE, J.B. - Linear Optimal Control, Prentice Hall Inc, N.J., 1971.
- [14] - CHEN, C.T. - Introduction to Linear System Theory, Holt Rinehart and Winston Inc., 1970.
- [15] - NOBLE, A. - Applied Linear Algebra, Mac Graw-Hill, New York, 1971.
- [16] - ZADECH, L.A. & DESOER, C.A. - Linear System Theory, Mac Graw-Hill, New York, 1966.
- [17] - DORAISWAMI, R. e RODRIGUES, A. - Problema do Servo-Mecanismo Robusto para certa classe de sistemas não lineares: Controle Carga-Freqüência - 3º Congresso Brasileiro de Automática, Rio de Janeiro, setembro de 1980.

- [18] - GEROMEL, J.C. - Controle Descentralizado, Técnicas e Aplicações - 1º Simpósio em Controle de Processos por Computador, Rio de Janeiro, maio 1981.
- [19] - LIVRAMENTO, C.A. - Controlador Digital Analógico para Controle de Sistemas Amostrados, Dissertação de Mestrado submetida à UFSC em 1980.
- [20] - COSTA, L.A. - Projeto e Implementação de Controle Direto Digital Baseado na Teoria de Servo-Mecanismo Robusto, Dissertação de Mestrado submetida a UFSC em 1979.
- [21] - D'AZZO, J.J. & HOUPIS - Feedback Control System Analysis, McGraw - Hill, New York, 1966.

A N E X O

A N E X OPROGRAMAS1. APRESENTAÇÃO

Este anexo apresenta os programas utilizados no desenvolvimento e teste da estrutura de controle apresentada, os quais são:

- Programa para projeto de compensadores dinâmicos;
- Programa para simulação de um sistema multimáquina;
- Programa para determinação dos autovalores de uma matriz real.

Os dois primeiros programas foram desenvolvidos durante a execução deste trabalho, sendo que o último foi apenas adaptado aos objetivos desejados, adaptação esta que se resumiu na elaboração do programa principal e das rotinas de entrada e saída.

Estes programas foram implementados num computador PDP 11/40 da Digital Equipment Corporation com 24 Kbytes de memória e utilizam uma técnica de programação estruturada a qual baseia-se na divisão do objetivo do programa em várias funções, sendo cada função executada por um módulo (sub-rotina). Esta forma de programar facilita a depuração de erros na fase de testes e a manutenção dos programas posteriormente, pois cada módulo é pequeno e possui uma função bem definida. Além disto procurou-se ex-

plorar ao máximo as facilidades interativas proporcionadas pelo computador PDP 11/40 de forma a facilitar a entrada de dados pelo usuário e a seleção das várias opções de processamento e de saída que os programas oferecem. Os programas são interrelacionados formando um sistema de software, passando e recebendo dados um do outro através de arquivos em disco e de rotinas de acesso aos mesmos. Deve-se citar ainda que os programas usam estruturas de overlay em virtude da pouca memória principal disponível no computador onde os programas foram implementados.

2. PROGRAMA PARA PROJETO DE COMPENSADORES DINÂMI- COS

Este programa objetiva a determinação de compensadores dinâmicos para um determinado sistema, sendo cada compensador determinado a partir de um conjunto de autovalores desejáveis, especificados pelo usuário em tempos de execução. Os resultados podem ser gravados em disco.

2.1 Estrutura

A figura A.1 apresenta a estrutura de overlay adotada, sendo as funções de cada sub-rotina listada a seguir.

- Programa principal: é o programa residente na memória principal e tem a função de coordenar a chamada das rotinas do nível 1 da estrutura de overlay;
- Sub-rotina SUB1 - Tem a função de determinar o índice de observabilidade e de coordenar as rotinas que fornecem dados para esta determinação;
- Sub-rotina ESUB1 - Entrada de dados;
- Sub-rotina MOBS - Constrói a matriz de observabilidade;
- Sub-rotina SSBUL - Fatora a matriz de observabilidade;
- Sub-rotina SUB2 - Tem a função de fazer o posicionamento de polos e coordenar a chamada das rotinas auxiliares;
- Sub-rotina DETERMFI - Determinação do polinômio característico desejável (função dos autovalores desejáveis);

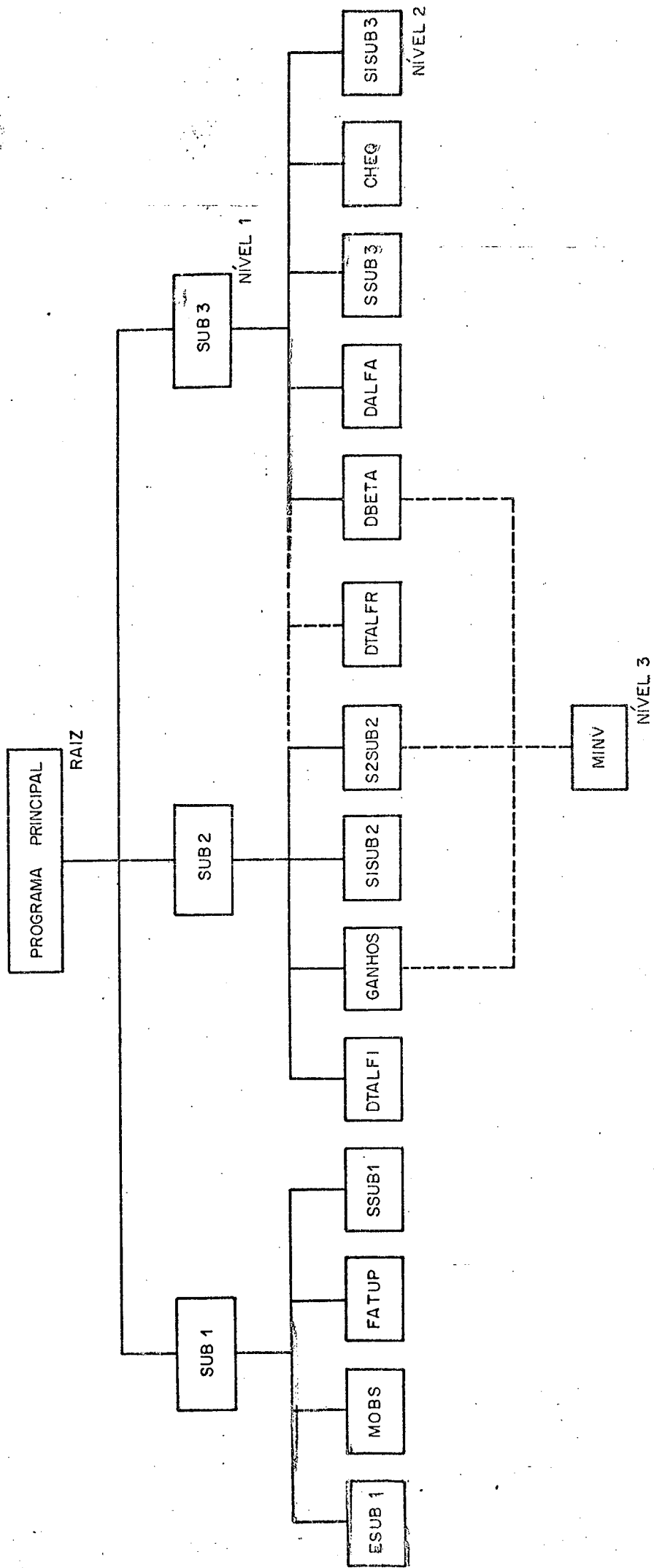


FIGURA A.1 PROGRAMA PARA PROJETO DE COMPENSADORES DINÂMICOS - ESTRUTURA DE OVERLAY

- Sub-rotina GANHOS - Determinação dos ganhos de realimentação;
- Sub-rotina DTALFR - Determinação do polinômio característico de uma matriz real;
- Sub-rotina S1SUB2 e S2SUB2 - Saída dos resultados calculados por SUB2;
- Sub-rotina MINV - Inversão de matrizes;
- Sub-rotina SUB3 - Tem a função de coordenar a execução das rotinas que determinam os parâmetros do compensador;
- Sub-rotina DBETA - Determina os parâmetros β_i^j ;
- Sub-rotina CHEQ - Determina a matriz "A" formada pelo processo e compensador dinâmico;
- Sub-rotina SSUB3 e S1SUB3 - Saídas dos resultados calculados por SUB3;
- Sub-rotina DALFA - determina os parâmetros α_i .

2.2. Listagens

```
C
C   PROGRAMA PRINCIPAL PARA DETERMINACAO DOS PARAMETROS DO COMPENSADOR
C   DINAMICO.
C   ROTINAS CHAMADAS: SUB1
C                       SUB2
C                       SUB3
C
0001 REAL*8 A(10,10),C(10,30),B(10),A1(10,10),GR(10)
0002 INTEGER*2 P
0003 COMMON /DADOS/A,B,C,N,M,NAR1,NV1
0004 COMMON /POSPL/GR,IXAV
0005 COMMON /OBSER/P,A1,M1,IRANK
0006 COMMON /AUX/ NAR2,NV2
0007 DATA A/100*0.00/
0008 PAUSE ' NAO FOI ESQUECIDO NENHUM ASSIGN?'
0009 WRITE(7,1)
0010 1  FORMAT(' ENTRE COM O NUMERO LOGICO DO ARQUIVO DE DADOS',
1' AUXILIAR(MAT "C")')
0011 READ(5,2)NAR1
0012 2  FORMAT(2I4)
0013 DEFINE FILE NAR1(10,120,U,NV1)
0014 IXAV=0
0015 CALL SUB1
0016 IF(N+P.GT.10) STOP '*** N+P>10 ***'
0018 4  DO 100 I=1,N
0019 100 A(I,N+1)=B(I)
0020 DO 101 I=1,P-1
0021 101 A(N+I,N+I+1)=1.
0022 DO 102 I=1,N+P-1
0023 102 B(I)=0
0024 B(N+P)=1.
0025 CALL SUB2
0026 NV1=1
0027 DO 103 I=1,N
0028 103 B(I)=A(I,N+1)
0029 103 READ(NAR1(NV1))(C(I,J),J=1,M1)
0030 CALL SUB3
0031 WRITE(7,3)
0032 3  FORMAT(' DESEJA OBTER PARAMETROS PARA NOVOS POLOS? 1-SIM, 0-NAO')
0033 READ(5,2)IXAV
0034 IF(IXAV.EQ.1) GO TO 4
0036 STOP ' DETERMINACAO PARAMETROS COMPENSADOR DINAMICO'
0037 END
```


NAME	OFFSET	ATTRIBUTES	
SUB1	000000	REAL*4	PROCEDURE
I	000454	INTEGER*2	VARIABLE
SUB2	000000	REAL*4	PROCEDURE
J	000456	INTEGER*2	VARIABLE
SUB3	000000	REAL*4	PROCEDURE

COMMON BLOCK /DADOS/ LENGTH 006330

A	000000	REAL*8	ARRAY (10,10)	VECTORED
B	001440	REAL*8	ARRAY (10)	
C	001560	REAL*8	ARRAY (10,30)	VECTORED
N	006320	INTEGER*2	VARIABLE	
M	006322	INTEGER*2	VARIABLE	
NAR1	006324	INTEGER*2	VARIABLE	
NV1	006326	INTEGER*2	VARIABLE	

COMMON BLOCK /POSPL/ LENGTH 000122

GR	000000	REAL*8	ARRAY (10)	
IXAV	000120	INTEGER*2	VARIABLE	

COMMON BLOCK /OBSER/ LENGTH 001446

P	000000	INTEGER*2	VARIABLE	
A1	000002	REAL*8	ARRAY (10,10)	VECTORED
M1	001442	INTEGER*2	VARIABLE	
IRANK	001444	INTEGER*2	VARIABLE	

COMMON BLOCK /AUX/ LENGTH 000004

NAR2	000000	INTEGER*2	VARIABLE	
NV2	000002	INTEGER*2	VARIABLE	

0001 SUBROUTINE SUB1

C
C
C
C
C
C
C
C
C
C

ROTINA PARA DETERMINACAO DO INDICE DE OBSERVABILIDADE DE UM
SISTEMA LINEAR.
ROTINAS CHAMADAS:
ESUB1
MOBS
FATUP
SSUB1

0002 REAL*8 A(10,10),C(10,30),B(10),A1(10,10),GR(10)
0003 INTEGER*2 P
0004 COMMON /POSPL/ GR,IXAV
0005 COMMON /OBSER/ P,A1,M1,IRANK
0006 COMMON /DADOS/ A,B,C,N,M,NAR1,NV1
0007 CALL ESUB1
0008 P=0
0009 2 CALL MOBS
0010 NV1=1
0011 DO 100 I=1,N
0012 100 WRITE(NAR1'NV1')(C(I,J),J=1,M1)
0013 CALL FATUP
0014 IF(IRANK.GE.N) GO TO 1
0015 IF(P.GE.N-1) STOP '*** SISTEMA NAO OBSERVAVEL ***'
0016 P=P+1
0017 NV1=1
0018 DO 101 I=1,N
0019 101 READ(NAR1'NV1')(C(I,J),J=1,M)
0020 GO TO 2
0021 1 CALL SSUB1
0022 RETURN
0023 END

FORTRAN IV STORAGE MAP

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES	
ESUB1	000000	REAL*4	PROCEDURE
MOBS	000090	INTEGER*2	PROCEDURE
I	000150	INTEGER*2	VARIABLE
J	000152	INTEGER*2	VARIABLE
FATUP	000000	REAL*4	PROCEDURE
SSUB1	000000	REAL*4	PROCEDURE

COMMON BLOCK /POSPL/ LENGTH 000122

GR	000000	REAL*8	ARRAY (10)
IXAV	000120	INTEGER*2	VARIABLE

COMMON BLOCK /OBSER/ LENGTH 001446

P	000000	INTEGER*2	VARIABLE
A1	000002	REAL*8	ARRAY (10,10) VECTORED
M1	001442	INTEGER*2	VARIABLE
IRANK	001444	INTEGER*2	VARIABLE

COMMON BLOCK /DADOS/ LENGTH 006330

A	000000	REAL*8	ARRAY (10,10) VECTORED
B	001440	REAL*8	ARRAY (10)
C	001560	REAL*8	ARRAY (10,30) VECTORED
N	006320	INTEGER*2	VARIABLE
M	006322	INTEGER*2	VARIABLE
NAR1	006324	INTEGER*2	VARIABLE
NV1	006326	INTEGER*2	VARIABLE

```
0001 SUBROUTINE ESUB1
      C
      C ROTINA DE ENTRADA DE DADOS BASICOS. CHAMADA PELA ROTINA SUB1
      C
0002 REAL*8 A(10,10),C(10,30),B(10),AUX
0003 COMMON /DADOS/A,B,C,N,M,NARI,NV1
0004 IXAV=1
0005 WRITE(7,1)
0006 1 FORMAT(' ENTRE COM A ORDEM DO SISTEMA E O NUMERO DE SAIDAS')
0007 READ(5,2)N,M
0008 2 FORMAT(10I4)
0009 WRITE(7,3)
0010 3 FORMAT(' ENTRE COM A MATRIZ "A". 8 ELEMENTOS POR LINHA')
0011 DO 100 I=1,N
0012 WRITE(7,4)I
0013 4 FORMAT(' LINHA ',I2)
0014 100 READ(5,5)(A(I,J),J=1,N)
0015 5 FORMAT(8F10.1)
0016 51 WRITE(7,6)
0017 6 FORMAT(/,' IMPRESSAO PARA CONFERENCIA')
0018 DO 101 I=1,N
0019 GO TO (56,57,58),IXAV
0020 56 WRITE(7,7)I,(A(I,J),J=1,N)
0021 7 FORMAT(' L',I2,'=' ,6(F10.5,1X),/,T5,6(F10.5,1X))
0022 GO TO 101
0023 57 WRITE(7,7)I,B(I)
0024 GO TO 101
0025 58 WRITE(7,7)I,(C(I,J),J=1,M)
0026 101 CONTINUE
0027 WRITE(7,8)
0028 8 FORMAT(' DESEJA ALTERAR ALGUM ELEMENTO? 1-SIM, 0-NAO')
0029 READ(5,2)I
0030 IF(I.EQ.0)GO TO 50
0032 52 WRITE(7,9)
0033 9 FORMAT(' ENTRE COM "I", "J" E "VALOR". PARAR <RET>')
0034 READ(5,10)I,J,AUX
0035 10 FORMAT(2I4,F12.5)
0036 IF(I.EQ.0) GO TO 51
0038 GO TO (53,54,55),IXAV
0039 53 A(I,J)=AUX
0040 GO TO 52
0041 54 B(I)=AUX
0042 GO TO 52
0043 55 C(I,J)=AUX
0044 GO TO 52
0045 50 IXAV=IXAV+1
0046 GO TO (61,59,60,61),IXAV
0047 59 WRITE(7,11)
0048 11 FORMAT(' ENTRE COM O VETOR "R"')
0049 DO 102 I=1,N
0050 WRITE(7,4)I
0051 102 READ(5,5)B(I)
0052 GO TO 51
0053 60 WRITE(7,12)
```

```

0054 12  FORMAT(' ENTRE COM A MATRIZ 'C'' )
0055      DO 103 I=1,N
0056      WRITE(7,4)I
0057 103  READ(5,5)(C(I,J),J=1,M)
0058      GO TO 51
0059 61   NV1=1
0060      DO 104 I=1,N
0061 104  WRITE(NAR1,NV1)(C(I,J),J=1,M)
0062      RETURN
0063      END

```

FORTRAN IV STORAGE MAP

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
AUX	000630	REAL*8 VARIABLE
IXAV	000640	INTEGER*2 VARIABLE
I	000642	INTEGER*2 VARIABLE
J	000644	INTEGER*2 VARIABLE

COMMON BLOCK /DADOS/ LENGTH 006330

A	000000	REAL*8	ARRAY (10,10) VECTORED
B	001440	REAL*8	ARRAY (10)
C	001560	REAL*8	ARRAY (10,30) VECTORED
N	006320	INTEGER*2	VARIABLE
M	006322	INTEGER*2	VARIABLE
NAR1	006324	INTEGER*2	VARIABLE
NV1	006326	INTEGER*2	VARIABLE

```
0001 SUBROUTINE MOBS A.11
      C
      C ROTINA PARA A FORMACAO DA MATRIZ DE OBSERVABILIDADE
      C
0002 REAL*8 A(10,10),C(10,30),B(10),A1(10,10),GR(10)
0003 INTEGER*2 P,M1
0004 COMMON /POSPL/ GR,IXAV
0005 COMMON /OBSER/ P,A1,M1,IRANK
0006 COMMON /DADOS/ A,B,C,N,M,NAR1,NV1
0007 DO 100 I=1,N
0008 DO 100 J=1,N
0009 100 A1(I,J)=A(I,J)
0010 IF=0
0011 M1=M
0012 2 IF(IP.GE.P.AND.M1.GE.N) GO TO 3
0014 IF=IF+1
0015 M1=M1+M
0016 IF(IP.EQ.1) GO TO 1
0018 DO 101 I=1,N
0019 DO 102 J=1,N
0020 GR(J)=0.
0021 DO 102 K=1,N
0022 102 GR(J)=GR(J)+A1(I,K)*A(K,J)
0023 DO 101 J=1,N
0024 A1(I,J)=GR(J)
0025 101 CONTINUE
0026 1 DO 103 I=1,N
0027 DO 103 J=1,M
0028 I1=J+IF*M
0029 IF(I1.GT.30) STOP 'NUM COLUNAS MAT OBS > DIMENSION'
0031 C(I,I1)=0.
0032 DO 103 K=1,N
0033 103 C(I,I1)=C(I,I1)+A1(K,I)*C(K,J)
0034 GO TO 2
0035 3 P=IP
0036 RETURN
0037 END
```

FORTRAN IV STORAGE MAP

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
I	000150	INTEGER*2 VARIABLE
J	000152	INTEGER*2 VARIABLE
IP	000154	INTEGER*2 VARIABLE
K	000156	INTEGER*2 VARIABLE
IL	000160	INTEGER*2 VARIABLE

COMMON BLOCK /POSPL/ LENGTH 000122

GR	000000	REAL*8	ARRAY (10)
IXAV	000120	INTEGER*2	VARIABLE

COMMON BLOCK /OBSER/ LENGTH 001446

P	000000	INTEGER*2	VARIABLE
A1	000002	REAL*8	ARRAY (10,10) VECTORED
M1	001442	INTEGER*2	VARIABLE
IRANK	001444	INTEGER*2	VARIABLE

COMMON BLOCK /DADOS/ LENGTH 006330

A	000000	REAL*8	ARRAY (10,10) VECTORED
B	001440	REAL*8	ARRAY (10)
C	001560	REAL*8	ARRAY (10,30) VECTORED
N	006320	INTEGER*2	VARIABLE
M	006322	INTEGER*2	VARIABLE
NAR1	006324	INTEGER*2	VARIABLE
NV1	006326	INTEGER*2	VARIABLE

```

0001 SUBROUTINE FATUP A.13
      C
      C ROTINA PARA FATORACAO DE UMA MATRIZ RETANGULAR.
      C ELCOLHE AS COLUNAS/LINHAS LINEARMENTE INDEPENDENTES
      C CHAMADA PELA ROTINA SUB1
      C
0002 REAL*8 A(10,10),C(10,30),B(10),A1(10,10),AUX,AUX1
0003 INTEGER*2 F
0004 COMMON /OBSER/ F,A1,M1,IRANK
0005 COMMON /DADOS/ A,B,C,N,M,NAR1,NV1
0006 DO 200 I=1,N
0007 KL=0
0008 5 KC=0
0009 2 AUX=C(I,I)
0010 IF(DABS(AUX).GT.1.D-10) GO TO 1
0012 C(I,I)=0.
0013 IF(I+KC+1.LE.M1) GO TO 3
0015 IF(I+KL+1.LE.N) GO TO 202
0017 I=I-1
0018 GO TO 201
0019 202 KL=KL+1
0020 DO 100 I1=1,M1
0021 AUX=C(I,I1)
0022 C(I,I1)=C(I+KL,I1)
0023 100 C(I+KL,I1)=AUX
0024 GO TO 5
0025 3 KC=KC+1
0026 DO 400 I1=1,N
0027 AUX=C(I1,I)
0028 C(I1,I)=C(I1,I+KC)
0029 400 C(I1,I+KC)=AUX
0030 GO TO 2
0031 1 IF(I.EQ.N) GO TO 201
0033 4 I1=I+1
0034 DO 600 I1=I1,N
0035 AUX1=C(I1,I)
0036 C(I1,I)=0.
      C
      C COMANDO PARA AUMENTAR VELOCIDADE DE PROCESSAMENTO.
      C DIMINUI A PRECISAO.
      C
0037 IF(DABS(AUX1).LT.1.D-10) GO TO 600
      C
0039 DO 601 J=I1,M1
0040 601 C(I1,J)=C(I1,J)-C(I,J)*AUX1/AUX
0041 600 CONTINUE
0042 200 CONTINUE
0043 201 IRANK=I
0044 RETURN
0045 END

```


NAME	•	OFFSET	ATTRIBUTES
AUX		000120	REAL*8 VARIABLE
AUX3		000130	REAL*8 VARIABLE
I		000140	INTEGER*2 VARIABLE
KL		000142	INTEGER*2 VARIABLE
KC		000144	INTEGER*2 VARIABLE
DABS		000000	REAL*8 PROCEDURE
II		000146	INTEGER*2 VARIABLE
II		000150	INTEGER*2 VARIABLE
J		000152	INTEGER*2 VARIABLE

COMMON BLOCK /OBSER/ LENGTH 001446

P		000000	INTEGER*2 VARIABLE
A1		000002	REAL*8 ARRAY (10,10) VECTORED
M1		001442	INTEGER*2 VARIABLE
IRANK		001444	INTEGER*2 VARIABLE

COMMON BLOCK /DADOS/ LENGTH 006330

A		000000	REAL*8 ARRAY (10,10) VECTORED
B		001440	REAL*8 ARRAY (10)
C		001560	REAL*8 ARRAY (10,30) VECTORED
N		006320	INTEGER*2 VARIABLE
M		006322	INTEGER*2 VARIABLE
NAR1		006324	INTEGER*2 VARIABLE
NV1		006326	INTEGER*2 VARIABLE

```
0001  SUBROUTINE SSUB1                                A.15
      C
      C  ROTINA PARA A IMPRESSAO DOS DADOS DE USO COMUM E DOS RESULTADOS
      C  DA ROTINA SUB1 (INDICE DE OBSERVABILIDADE)
      C
0002  REAL*8 A(10,10),C(10,30),B(10),A1(10,10)
0003  INTEGER*2 P
0004  COMMON /OBSER/F,A1,M1,IRANK
0005  COMMON /DADOS/A,B,C,N,M,NAR1,NV1
0006  WRITE(6,1)N,M
0007  1  FORMAT(//,T20,'PROGRAMA PARA A DETERMINACAO DO INDICE DE OBSERVA
      ILIDADE',//,T20,'IMPRESSAO DOS DADOS',//,T10,'-- NUM. DE ESTADOS = '
      22,4X,'-- NUM. DE SAIDAS = ',I2)
0008  WRITE(6,2)
0009  2  FORMAT(/,T10,'- MATRIZ A')
0010  DO 100 I=1,N
0011  100 WRITE(6,3)I,(A(I,J),J=1,N)
0012  3  FORMAT(/,' LINHA ',I2,' --> ',8(1X,F12.5)//,T15,8(1X,F12.5)//,T1
      18(1X,F12.5)//,T15,8(1X,F12.5))
0013  WRITE(6,4)
0014  4  FORMAT(/,T10,'- VETOR B')
0015  DO 101 I=1,N
0016  101 WRITE(6,3)I,B(I)
0017  NV1=1
0018  WRITE(6,5)
0019  5  FORMAT(/,T10,'- MATRIZ C')
0020  DO 102 I=1,N
0021  READ(NAR1/NV1)(C(I,J),J=1,M1)
0022  102 WRITE(6,3)I,(C(I,J),J=1,M)
0023  WRITE(7,8)
0024  8  FORMAT(' DESEJA IMPRESSAO MAT OBS? 1-SIM, 0-NAO')
0025  READ(5,9)I
0026  9  FORMAT(I1)
0027  IF(I.NE.1) GO TO 10
0029  WRITE(6,6)
0030  6  FORMAT(//T10,'IMPRESSAO DOS RESULTADOS',//,T10,'MAT. OBSERV.')
0031  DO 103 I=1,N
0032  103 WRITE(6,3)I,(C(I,J),J=1,M1)
0033  10  WRITE(6,7)P
0034  7  FORMAT(/,T10,'INDICE DE OBSERVABILIDADE = ',I3)
0035  REWIND 6
0036  RETURN
0037  END
```

NAME . OFFSET . ATTRIBUTES

A.16

I 000710 INTEGER*2 VARIABLE
J 000712 INTEGER*2 VARIABLE

COMMON BLOCK /OBSER/ LENGTH 001446

P 000000 INTEGER*2 VARIABLE
A1 000002 REAL*8 ARRAY (10,10) VECTORED
M1 001442 INTEGER*2 VARIABLE
IRANK 001444 INTEGER*2 VARIABLE

COMMON BLOCK /DADOS/ LENGTH 006330

A 000000 REAL*8 ARRAY (10,10) VECTORED
B 001440 REAL*8 ARRAY (10)
C 001560 REAL*8 ARRAY (10,30) VECTORED
N 006320 INTEGER*2 VARIABLE
M 006322 INTEGER*2 VARIABLE
NAR1 006324 INTEGER*2 VARIABLE
NV1 006326 INTEGER*2 VARIABLE

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
I	000372	INTEGER*2 VARIABLE
J	000374	INTEGER*2 VARIABLE
IXV	000376	INTEGER*2 VARIABLE
N	000400	INTEGER*2 VARIABLE
DTALFF	000000	REAL*4 PROCEDURE
DTALFT	000000	REAL*4 PROCEDURE
GANHOS	000000	REAL*4 PROCEDURE
S1SUB2	000000	REAL*4 PROCEDURE
S2SUB2	000000	REAL*4 PROCEDURE

COMMON BLOCK /DADOS/ LENGTH 006330

A	000000	REAL*8	ARRAY (10,10) VECTORED
B	001440	REAL*8	ARRAY (10)
C	001560	REAL*8	ARRAY (10,30) VECTORED
NN	006320	INTEGER*2	VARIABLE
M	006322	INTEGER*2	VARIABLE
NAR1	006324	INTEGER*2	VARIABLE
NV1	006326	INTEGER*2	VARIABLE

COMMON BLOCK /POSPL/ LENGTH 000122

GR	000000	REAL*8	ARRAY (10)
IXAW	000120	INTEGER*2	VARIABLE

COMMON BLOCK /OBSER/ LENGTH 001446

P	000000	INTEGER*2	VARIABLE
A1	000002	REAL*8	ARRAY (10,10) VECTORED
M1	001442	INTEGER*2	VARIABLE
IRAWK	001444	INTEGER*2	VARIABLE

```
0001      SUBROUTINE DTALFR(N)
C
C      ROTINA PARA DETERMINACAO DO POL. CARCTR. DE UMA MATRIZ REAL QUA
C      RESULTADO ARMazenADO EM C(1,2*N+1), I=1,N
C      OBS: DESTROI MATRIZ "C" ORIGINAL (MATRIZ DE OBSERV.) QUE DEVE T
C      PREVIAMENTE GRAVADA EM DISCO
C
0002      REAL*8 A(10,10),C(10,30),B(10)
0003      COMMON /DADOS/ A,B,C,NN,M,NAR1,NV1
0004      NA=2*N
0005      DO 100 I=1,N
0006      DO 107 J=1,N
0007 107   C(I,J)=0.
0008 100   C(I,I)=1.
0009      DO 101 IG=1,N
0010      DO 102 I=1,N
0011      DO 102 J=1,N
0012      C(I,J+N)=0.
0013      DO 102 K=1,N
0014      C(I,J+N)=C(I,J+N)+C(I,K)*A(K,J)
0015 102   CONTINUE
0016      C(1,NA+IG)=0.
0017      DO 103 I=1,N
0018      C(1,NA+IG)=C(1,NA+IG)-C(I,I+N)
0019 103   CONTINUE
0020      C(1,NA+IG)=C(1,NA+IG)/FLOAT(IG)
0021      DO 105 I=1,N
0022      DO 105 J=1,N
0023      C(I,J+N)=0.
0024      DO 104 K=1,N
0025 104   C(I,J+N)=C(I,J+N)+A(I,K)*C(K,J)
0026      IF(I.EQ.J) C(I,J+N)=C(I,J+N)+C(1,NA+IG)
0028 105   CONTINUE
0029      DO 101 I=1,N
0030      DO 101 J=1,N
0031      C(I,J)=C(I,J+N)
0032 101   CONTINUE
0033      RETURN
0034      END
```

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
N	000014	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
NA	000112	INTEGER*2 VARIABLE
I	000114	INTEGER*2 VARIABLE
J	000116	INTEGER*2 VARIABLE
IG	000120	INTEGER*2 VARIABLE
K	000122	INTEGER*2 VARIABLE
FLOAT	000000	REAL*4 PROCEDURE

COMMON BLOCK /DADOS/ LENGTH 006330

A	000000	REAL*8	ARRAY (10,10) VECTORED
B	001440	REAL*8	ARRAY (10)
C	001560	REAL*8	ARRAY (10,30) VECTORED
NN	006320	INTEGER*2	VARIABLE
M	006322	INTEGER*2	VARIABLE
NAR1	006324	INTEGER*2	VARIABLE
NV1	006326	INTEGER*2	VARIABLE

```

C
C
C   ROTINA PARA DETERMINACAO DO POLINOMIO CARACTERISTICO DESEJAVEL P
C   TIR DOS POLOS DESEJAVEIS.
C   RESULTADO ARMAZENADO EM C(2,2*N+I), I=1,N
C   OBS:DESTROIA MATRIZ DE OBSERVABILIDADE.
C

```

```

0001   SUBROUTINE DTALFI(N)
0002   REAL*8 A(10,10),C(10,30),B(10)
0003   COMMON /DADOS/ A,B,C,NN,M,NAR1,NV1
0004   NA=2*N
0005   DO 100 I=1,N
0006       C(5,NA+I)=1.
0007 100   C(6,NA+I)=0.
0008       DO 101 IG=1,N
0009           C(7,NA+1)=0.
0010           DO 102 I=1,N
0011               C(7,NA+2)=C(3,NA+I)*C(5,NA+I)-C(4,NA+I)*C(6,NA+I)
0012               C(7,NA+1)=C(7,NA+1)-C(7,NA+2)
0013               C(6,NA+I)=C(4,NA+I)*C(5,NA+1)+C(3,NA+I)*C(6,NA+I)
0014 102   C(5,NA+I)=C(7,NA+2)
0015       C(2,NA+IG)=C(7,NA+1)/FLOAT(IG)
0016       DO 103 I=1,N
0017 103   C(5,NA+I)=C(5,NA+I)+C(2,NA+IG)
0018 101   CONTINUE
0019       RETURN
0020       END

```

FORTRAN IV STORAGE MAP

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
N	000014	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
NA	000112	INTEGER*2 VARIABLE
I	000114	INTEGER*2 VARIABLE
IG	000116	INTEGER*2 VARIABLE
FLOAT	000000	REAL*4 PROCEDURE

COMMON BLOCK /DADOS/ LENGTH 006330

A	000000	REAL*8	ARRAY (10,10) VECTORED
B	001440	REAL*8	ARRAY (10)
C	001560	REAL*8	ARRAY (10,30) VECTORED
NN	006320	INTEGER*2	VARIABLE
M	006322	INTEGER*2	VARIABLE
NAR1	006324	INTEGER*2	VARIABLE
NV1	006326	INTEGER*2	VARIABLE


```
0001      SUBROUTINE GANHOS(N)
C
C      ROTINA PARA A DETERMINACAO DOS GANHOS DE REALIMENTACAO DO POSIC
C      DOS POLOS
C      RESULTADOS ARMazenADOS EM "GR(I),I=1,N"
C      OBS: DESTROI A MATRIZ C
C
C      POL. CARACTERISTICO DO SISTEMA ARMazenADO EM C(1,2*N+I),I+1,N
C      POL. CARCTERISTICO DESEJAVEL ARMazenADO EM C(2,2*N+I),1+1,N
C
0002      REAL*8 A(10,10),B(10),C(10,30),GR(10)
0003      COMMON /DADOS/ A,B,C,NN,MM,NAR1,NV1
0004      COMMON /POSPL/ GR,IXAV
0005      NA=2*N
0006      DO 100 I=1,N
0007          J=N-I+1
0008      100  C(5,NA+I)=C(1,NA+J)-C(2,NA+J)
0009          DO 101 I=1,N
0010      101  C(I,N)=B(I)
0011          M=N-1
0012          DO 102 I=1,M
0013              I1=N-I
0014              DO 102 J=1,N
0015                  C(J,I1)=C(1,NA+I)*B(J)
0016              DO 102 JJ=1,N
0017      102  C(J,I1)=C(J,I1)+A(J,JJ)*C(JJ,I1+1)
0018          CALL MINV(N)
0019          DO 103 I=1,N
0020              GR(I)=0.
0021          DO 103 J=1,N
0022      103  GR(I)=GR(I)+C(5,NA+J)*C(J,I)
0023          RETURN
0024          END
```

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
N	000014	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
NA1	000112	INTEGER*2 VARIABLE
I	000114	INTEGER*2 VARIABLE
J	000116	INTEGER*2 VARIABLE
M1	000120	INTEGER*2 VARIABLE
I1	000122	INTEGER*2 VARIABLE
JJ	000124	INTEGER*2 VARIABLE
MINV	000000	INTEGER*2 PROCEDURE

COMMON BLOCK /DADOS/ LENGTH 006330

A	000000	REAL*8	ARRAY (10,10) VECTORED
B	001440	REAL*8	ARRAY (10)
C	001560	REAL*8	ARRAY (10,30) VECTORED
NN	006320	INTEGER*2	VARIABLE
MM	006322	INTEGER*2	VARIABLE
NAR1	006324	INTEGER*2	VARIABLE
NV1	006326	INTEGER*2	VARIABLE

COMMON BLOCK /POSPL/ LENGTH 000122

GR	000000	REAL*8	ARRAY (10)
IXAV	000120	INTEGER*2	VARIABLE

```
0001      SUBROUTINE S1SUB2(N)                                A.24
      C
      C      ROTINA PARA IMPRESSAO DOS DADOS E PARTE DOS RESULTADOS DO
      C      POSICIONAMENTO DE POLOS
      C
0002      REAL*8 A(10,10),B(10),C(10,30),GR(10)
0003      COMMON /DADOS/ A,B,C,NN,MM,NAR1,NV1
0004      COMMON /POSPL/ GR,IXAV
0005      NA=2*N
0006      IF(IXAV.EQ.1) GO TO 1
0008      WRITE(6,2)
0009      2  FORMAT(///,T20,'*** POSICIONAMENTO DE POLOS ***',
1///,T10,'IMPRESSAO DOS DADOS',//,T10,'- MATRIZ A')
0010      DO 100 I=1,N
0011      100 WRITE(6,3)I,(A(I,J),J=1,N)
0012      3  FORMAT(/,' LINHA ',I2,' --> ',8(1X,F12.5),/,T15,8(1X,F12.5))
0013      WRITE(6,4)(I,B(I),I=1,N)
0014      4  FORMAT(//,T10,'- VETOR B (EXCITACOES)',//,5(' B(',I2,')=' ,F12.5)
0015      WRITE(6,5)(I,C(1,I+NA),I=1,N)
0016      5  FORMAT(//,T10,'- POLINOMIO CARCTERISTICO DO SISTEMA',//,4(' ALFA
1,I2,')=' ,E12.5))
0017      1  WRITE(6,6)
0018      6  FORMAT(//,1X,120('*'),/,T10,'- POLOS EM:')
0019      WRITE(6,7)(I,C(3,NA+I),C(4,NA+I),I=1,N)
0020      7  FORMAT(/,3(' POLO ',I2,'=' ,F12.5,'+J(',F12.5,')'))
0021      WRITE(6,8)
0022      8  FORMAT(1X,120('*'))
0023      WRITE(6,9)(I,C(2,NA+I),I=1,N)
0024      9  FORMAT(//,T10,'- POLINOMIO CARCTERISTICO DESEJAVEL',//,4(' ALFA
1,I2,')=' ,E12.5))
0025      WRITE(6,10)(I,GR(I),I=1,N)
0026      10  FORMAT(//,T10,'- GANHOS DE REALIMENTACAO',//6(' K(',I2,')=' ,E12.
0027      REWIND 6
0028      RETURN
0029      END
```

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
N	000014	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
NA	000756	INTEGER*2 VARIABLE
I	000760	INTEGER*2 VARIABLE
J	000762	INTEGER*2 VARIABLE

COMMON BLOCK /DADG/ LENGTH 006330

A	000000	REAL*8	ARRAY (10,10) VECTORED
B	001440	REAL*8	ARRAY (10)
C	001560	REAL*8	ARRAY (10,30) VECTORED
NN	006320	INTEGER*2	VARIABLE
MM	006322	INTEGER*2	VARIABLE
NAR1	006324	INTEGER*2	VARIABLE
NV1	006326	INTEGER*2	VARIABLE

COMMON BLOCK /POSPL/ LENGTH 000122

GR	000000	REAL*8	ARRAY (10)
IXAV	000120	INTEGER*2	VARIABLE

```

0001      SUBROUTINE S2SUB2(N,IXV)                                A.26
      C
      C      ROTINA PARA A IMPRESSAO DOS RESULTADOS NECESSARIOS
      C      PARA A VERIFICACAO DO SUCESSO DO
      C      POSICIONAMENTO DE FOLIOS
      C
0002      REAL*8 A(10,10),B(10),C(10,30)
0003      COMMON /DADOS/ A,B,C,NN,MM,NAR1,NV1
0004      NA=2*N
0005      WRITE(6,1)
0006  1     FORMAT(//T10,'- POLINOMIO CARCTERISTICO DO SISTEMA REALIMENTADO
0007      WRITE(6,2)(I,C(1,NA+I),I=1,N)
0008  2     FORMAT(/,4(' ALFA(',I2,')=',E12.5))
0009      IF(IXV.EQ.0) RETURN
0011      WRITE(6,3)
0012  3     FORMAT(//,T10,'- MATRIZ A+BK')
0013      DO 800 I=1,N
0014  100   WRITE(6,4)I,(A(I,J),J=1,N)
0015  4     FORMAT(/,' LINHA',I2,' --> ',8(1X,F12.5),/,T15,8(1X,F12.5))
0016      RETURN
0017      END

```

FORTRAN IV STORAGE MAP

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
N	000014	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
IXV	000016	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
NA	000330	INTEGER*2 VARIABLE
I	000332	INTEGER*2 VARIABLE
J	000334	INTEGER*2 VARIABLE

COMMON BLOCK /DADOS/ LENGTH 006330

A	000000	REAL*8	ARRAY (10,10) VECTORED
B	001440	REAL*8	ARRAY (10)
C	001560	REAL*8	ARRAY (10,30) VECTORED
NN	006320	INTEGER*2	VARIABLE
MM	006322	INTEGER*2	VARIABLE
NAR1	006324	INTEGER*2	VARIABLE
NV1	006326	INTEGER*2	VARIABLE

```
0001      SUBROUTINE SUB3
      C
      C      ROTINA PARA DETERMINACAO DOS PARAMETROS ALFA E BETA DO COMP DIN
      C      ROTINAS CHAMADAS: DBETA1, MINV, DBETA2, DALFA, SSUB3
      C
0002      REAL*8 A(10,10), B(10), C(10,30), A1(10,10), GR(10), ALFA(10), BETA(30)
0003      INTEGER*2 P
0004      COMMON /DADOS/ A, B, C, N, M, NAR1, NV1
0005      COMMON /OBSER/ P, A1, M1, IRANK
0006      COMMON /POSPL/ GR, IXAV
0007      COMMON /PARAM/ ALFA, BETA
0008      COMMON /AUX/ NAR2, NV2
0009      CALL DBETA
0010      CALL DALFA
0011      CALL SSUB3
0012      REWIND 6
0013      WRITE(7,1)
0014      1  FORMAT(' DESEJA OBTER MATRIZ PROCESSO+COMP.DIN.? 1-SIM 0-NAO')
0015      READ(5,2) NV2
0016      2  FORMAT(I4)
0017      IF(NV2.EQ.0) GO TO 3
0019      CALL CHEQ(NN)
0020      CALL DTALFR(NN)
0021      CALL S1SUB3(NN)
0022      DO 100 I=1,N+P
0023      DO 100 J=1,N+P
0024      IF(I.LE.N.AND.J.LE.N) A(I,J)=A1(I,J)
0026      IF(I.GT.N.OR.J.GT.N) A(I,J)=0.D0
0028      100 CONTINUE
0029      3  RETURN
0030      END
```

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES	
DBETA	000000	REAL*4	PROCEDURE
DALFA	000000	REAL*4	PROCEDURE
SSUB3	000000	REAL*4	PROCEDURE
CHEQ	000000	REAL*4	PROCEDURE
NN	000210	INTEGER*2	VARIABLE
DTALFR	000000	REAL*4	PROCEDURE
S1SUB3	000000	REAL*4	PROCEDURE
I	000212	INTEGER*2	VARIABLE
J	000214	INTEGER*2	VARIABLE

COMMON BLOCK /DADOS/ LENGTH 006330

A	000000	REAL*8	ARRAY (10,10) VECTORED
B	001440	REAL*8	ARRAY (10)
C	001560	REAL*8	ARRAY (10,30) VECTORED
N	006320	INTEGER*2	VARIABLE
M	006322	INTEGER*2	VARIABLE
NAR1	006324	INTEGER*2	VARIABLE
NV1	006326	INTEGER*2	VARIABLE

COMMON BLOCK /OBSER/ LENGTH 001446

P	000000	INTEGER*2	VARIABLE
A1	000002	REAL*8	ARRAY (10,10) VECTORED
M1	001442	INTEGER*2	VARIABLE
IRANK	001444	INTEGER*2	VARIABLE

COMMON BLOCK /POSPL/ LENGTH 000122

GR	000000	REAL*8	ARRAY (10)
IXAV	000120	INTEGER*2	VARIABLE

COMMON BLOCK /PARAM/ LENGTH 000500

ALFA	000000	REAL*8	ARRAY (10)
BETA	000120	REAL*8	ARRAY (30)

COMMON BLOCK /AUX/ LENGTH 000004

NAR2	000000	INTEGER*2	VARIABLE
NV2	000002	INTEGER*2	VARIABLE

```
0001      SUBROUTINE DBETA                                A.29
      C
      C      ROTINA PARA PREPARACAO DAS MATRIZES PARA O CALCULO DA PSEUDO-IN
      C      ROTINA PARA A DETERMINACAO DOS PARAMENTROS BETA
      C      OBS: UTILIZA A MATRIZ AUXILIAR A1(N,N).
      C
0002      REAL*8 A(10,10),C(10,30),B(10),A1(10,10),GR(10)
0003      REAL*8 ALFA(10),BETA(30),AUX
0004      INTEGER*2 F
0005      COMMON /DADOS/ A,B,C,N,M,NAR1,NV1
0006      COMMON/OBSER/ F,A1,M1,IRANK
0007      COMMON /POSPL/ GR,IXAV
0008      COMMON /PARAM/ ALFA,BETA
0009      DO 100 I=1,N
0010      DO 100 J=1,N
0011      A1(I,J)=0.
0012      DO 100 K=1,M1
0013 100    A1(I,J)=A1(I,J)+C(I,K)*C(J,K)
0014      DO 101 I=1,N
0015      DO 101 J=1,N
0016 101    C(I,J)=A1(I,J)
0017      N1=N
0018      CALL MINV(N1)
      C
      C      ROTINA PARA DETERMINACAO FINAL DOS PARAMETROS BETA
      C      USA MATRIZ AUXILIAR A1
      C
0019      DO 105 I=1,N
0020      DO 105 J=1,N
0021 105    A1(I,J)=C(I,J)
0022      NV1=1
0023      DO 106 I=1,N
0024 106    READ(NAR1,NV1)(C(I,J),J=1,M1)
0025      DO 102 I=1,N
0026      AUX=0.
0027      DO 103 J=1,N
0028 103    AUX=AUX+A1(I,J)*GR(J)
0029 102    A1(I,1)=AUX
0030      DO 104 I=1,M1
0031      BETA(I)=0.
0032      DO 104 J=1,N
0033 104    BETA(I)=BETA(I)+C(J,I)*A1(J,1)
0034      RETURN
0035      END
```


NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
AUX	000110	REAL*8 VARIABLE
I	000120	INTEGER*2 VARIABLE
J	000122	INTEGER*2 VARIABLE
K	000124	INTEGER*2 VARIABLE
N1	000126	INTEGER*2 VARIABLE
MINV	000000	INTEGER*2 PROCEDURE

COMMON BLOCK /DADOS/ LENGTH 006330

A	000000	REAL*8	ARRAY (10,10)	VECTORED
B	001440	REAL*8	ARRAY (10)	
C	001560	REAL*8	ARRAY (10,30)	VECTORED
N	006320	INTEGER*2	VARIABLE	
M	006322	INTEGER*2	VARIABLE	
NAR1	006324	INTEGER*2	VARIABLE	
NV1	006326	INTEGER*2	VARIABLE	

COMMON BLOCK /OBSER/ LENGTH 001446

P	000000	INTEGER*2	VARIABLE	
A1	000002	REAL*8	ARRAY (10,10)	VECTORED
M1	001442	INTEGER*2	VARIABLE	
IRANK	001444	INTEGER*2	VARIABLE	

COMMON BLOCK /POSPL/ LENGTH 000122

GR	000000	REAL*8	ARRAY (10)	
IXAV	000120	INTEGER*2	VARIABLE	

COMMON BLOCK /PARAM/ LENGTH 000500

ALFA	000000	REAL*8	ARRAY (10)	
BETA	000120	REAL*8	ARRAY (30)	

```

0001      SUBROUTINE DALFA
          C
          C      ROTINA PARA DETERMINACAO DOS PARAMETROS ALFA
          C
0002      REAL*8 A(10,10),B(10),C(10,30),A1(10,10),GR(10)
0003      REAL*8 ALFA(10),BETA(30),AUX
0004      INTEGER*2 F
0005      COMMON /DADOS/ A,B,C,N,M,NAR1,NV1
0006      COMMON /POSPL/ GR,IXAV
0007      COMMON/OBSER/ F,A1,M1,IRANK
0008      COMMON /PARAM/ ALFA,BETA
0009      DO 100 I=1,F
0010      ALFA(I)=-GR(I+N)
0011      DO 100 K=1,M
0012      I1=I+1
0013      DO 100 J=I1,F+1
0014      IC=M*(J-I-1)+K
0015      AUX=0.
0016      DO 101 JJ=1,N
0017 101    AUX=AUX+C(JJ,IC)*B(JJ)
0018      IC=M*(J-1)+K
0019      ALFA(I)=ALFA(I)+BETA(IC)*AUX
0020 100    CONTINUE
0021      RETURN
0022      END

```

A.31

FORTRAN IV

STORAGE MAP

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
AUX	000110	REAL*8 VARIABLE
I	000120	INTEGER*2 VARIABLE
K	000122	INTEGER*2 VARIABLE
I1	000124	INTEGER*2 VARIABLE
J	000126	INTEGER*2 VARIABLE
IC	000130	INTEGER*2 VARIABLE
JJ	000132	INTEGER*2 VARIABLE

COMMON BLOCK /DADOS/ LENGTH 006330

A	000000	REAL*8	ARRAY (10,10) VECTORED
B	001440	REAL*8	ARRAY (10)
C	001560	REAL*8	ARRAY (10,30) VECTORED
N	006320	INTEGER*2	VARIABLE
M	006322	INTEGER*2	VARIABLE
NAR1	006324	INTEGER*2	VARIABLE
NV1	006326	INTEGER*2	VARIABLE

COMMON BLOCK /POSPL/ LENGTH 000122

GR 000000 REAL*8 ARRAY (10)
IXAW 000120 INTEGER*2 VARIABLE

COMMON BLOCK /OBSER/ LENGTH 001446

P 000000 INTEGER*2 VARIABLE
A1 000002 REAL*8 ARRAY (10,10) VECTORED
M1 001442 INTEGER*2 VARIABLE
IRANK 001444 INTEGER*2 VARIABLE

COMMON BLOCK /PARAM/ LENGTH 000500

ALFA 000000 REAL*8 ARRAY (10)
BETA 000120 REAL*8 ARRAY (30)

```

0001      SUBROUTINE SSUB3
      C
      C      ROTINA PARA IMPRESSAO DOS RESULTADOS. - PARAM. DO CP DINAMICO
      C
0002      REAL*8 A(10,10),B(10),C(10,30),A1(10,10),GR(10),ALFA(10)
0003      REAL*8 BETA(30),AUX
0004      INTEGER*2 P
0005      COMMON /DADOS/ A,B,C,N,M,NAR1,NV1
0006      COMMON /POSPL/ GR,IXAV
0007      COMMON /OBSER/ P,A1,M1,IRANK
0008      COMMON /PARAM/ ALFA,BETA
0009      WRITE(6,1)
0010 1     FORMAT(///,T20,'PROGRAMA PARA DETERMINACAO DOS PRARAMETROS ALFA
      IETA DE UM COMPENSADOR DINAMICO',///,T10,'IMPRESSAO DOS DADOS')
0011      WRITE(6,2)
0012 2     FORMAT(//,T10,'- REALIMENTACOES DO PROCESSO')
0013      WRITE(6,3)(I,GR(I),I=1,N)
0014 3     FORMAT(/,8(' K(',I2,')=' ,E12.5))
0015      WRITE(6,4)
0016 4     FORMAT(//,T10,'- REALIMENTACOES DO COMPENSADOR')
0017      WRITE(6,5)(I,GR(I+N),I=1,P)
0018 5     FORMAT(/,8(' KC(',I2,')=' ,E12.5))
0019      WRITE(6,14)
0020 14    FORMAT(//,T10,'- VALORES DE BETA')
0021      I=0
0022 61    DO 60 J=1,M
0023      JJ=I*M+J
0024      II=P*M+J
0025      BETA(JJ)=BETA(JJ)-ALFA(I+1)*BETA(II)
0026 60    CONTINUE
0027      I=I+1
0028      IF(I.LT.P) GO TO 61
0030      I=0
0031 67    J=1
0032      IF(J.GT.M) GO TO 62
0034 66    JJ=I*M+J
0035      WRITE(6,15)I,J,BETA(JJ)
0036 15    FORMAT(/,' BETA(',I2,',',I2,')=' ,F15.5)
0037      J=J+1
0038      IF(J.GT.M) GO TO 62
0040      JJ=I*M+J
0041      WRITE(6,63)I,J,BETA(JJ)
0042 63    FORMAT(1H+,T31,' BETA(',I2,',',I2,')=' ,F15.5)
0043      J=J+1
0044      IF(J.GT.M) GO TO 62
0046      JJ=I*M+J
0047      WRITE(6,64)I,J,BETA(JJ)
0048 64    FORMAT(1H+,T60,' BETA(',I2,',',I2,')=' ,F15.5)
0049      J=J+1
0050      IF(J.GT.M) GO TO 62
0052      JJ=I*M+J
0053      WRITE(6,65)I,J,BETA(JJ)
0054 65    FORMAT(1H+,T90,' BETA(',I2,',',I2,')=' ,F15.5)
0055      J=J+1

```

```

0056      IF(J.LE.M) GO TO 66
0058  62   I=I+1
0059      IF(I.LE.P) GO TO 67
0061      WRITE(6,16)
0062  16   FORMAT(/, '(10, '- VALORES DE ALFA')
0063      WRITE(6,17)(I,ALFA(I),I=1,P)
0064  17   FORMAT(/,5(' ALFA (' ,I2,') = ',F12.5,1X))
0065      RETURN
0066      END

```

FORTRAN IV STORAGE MAP

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
AUX	000734	REAL*8 VARIABLE
I	000744	INTEGER*2 VARIABLE
J	000746	INTEGER*2 VARIABLE
JJ	000750	INTEGER*2 VARIABLE
II	000752	INTEGER*2 VARIABLE

COMMON BLOCK /DADOS/ LENGTH 006330

A	000000	REAL*8	ARRAY (10,10) VECTORED
B	001440	REAL*8	ARRAY (10)
C	001560	REAL*8	ARRAY (10,30) VECTORED
N	006320	INTEGER*2	VARIABLE
M	006322	INTEGER*2	VARIABLE
NAR1	006324	INTEGER*2	VARIABLE
NV1	006326	INTEGER*2	VARIABLE

COMMON BLOCK /POSEL/ LENGTH 000122

A.35

GR 000000 REAL*8 ARRAY (10)
IXAV 000120 INTEGER*2 VARIABLE

COMMON BLOCK /OBSER/ LENGTH 001446

P 000000 INTEGER*2 VARIABLE
A1 000002 REAL*8 ARRAY (10,10) VECTORED
M1 001442 INTEGER*2 VARIABLE
IRANK 001444 INTEGER*2 VARIABLE

COMMON BLOCK /PARAM/ LENGTH 000500

ALFA 000000 REAL*8 ARRAY (10)
BETA 000120 REAL*8 ARRAY (30)

```
0001      SUBROUTINE CHEQ(NN)
      C
      C      ROTINA PARA DETERMINACAO DA MATRIZ A DO PROCESSO+COMP.DIN.
      C
0002      REAL*8 C(10,30),A(10,10),B(10),A1(10,10),ALFA(10),BETA(30)
0003      INTEGER*2 P
0004      COMMON /DADOS/ A,B,C,N,M,NAR1,NV1
0005      COMMON /OBSER/ P,A1,M1,IRANK
0006      COMMON /PARAM/ ALFA,BETA
0007      COMMON /AUX/ NAR2,NV2
0008      NV1=1
0009      DO 100 I=1,N
0010      READ(NAR1'NV1')(C(I,J),J=1,M)
0011      DO 100 J=1,N
0012 100    A1(I,J)=A(I,J)
0013      DO 101 I=1,P+1
0014      NV1=(P-I+1)*M
0015      DO 101 J=1,N
0016      C(I,J+M)=0.
0017      DO 101 K=1,M
0018 101    C(I,J+M)=C(I,J+M)+BETA(NV1+K)*C(J,K)
0019      DO 102 I=1,N
0020      A(I,N+1)=B(I)
0021      IF(B(I).EQ.0) GO TO 102
0022      DO 103 J=1,N
0024 103    A(I,J)=A(I,J)+B(I)*C(1,J+M)
0025 102    CONTINUE
0026      DO 104 I=1,P
0027      IF(I.LT.P) A(N+I,N+I+1)=1.
0029      A(N+I,N+1)=-ALFA(P-I+1)
0030      DO 104 J=1,N
0031 104    A(N+I,J)=C(I+1,J+M)
0032      NN=N+P
0033      WRITE(7,1)
0034 1    FORMAT(' DESEJA GRAVAR EM DISCO ESTA MATRIZ? 1-SIM,0-NAO')
0035      READ(5,2)NAR2
0036 2    FORMAT(I5)
0037      IF(NAR2.NE.1) GO TO 3
0039      WRITE(7,4)
0040 4    FORMAT(' ENTRE COM O NUMERO LOGICO DO ARQUIVO')
0041      READ(5,2)NAR2
0042      DEFINE FILE NAR2(11,44,U,NV2)
0043      NV2=1
0044      DO 105 I=1,NN
0045 105    WRITE(NAR2'NV2')(A(I,J),J=1,NN)
0046 3    RETURN
0047      END
```

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
NN	000014	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
I	000260	INTEGER*2 VARIABLE
J	000262	INTEGER*2 VARIABLE
K	000264	INTEGER*2 VARIABLE

COMMON BLOCK /DADOS/ LENGTH 006330

A	000000	REAL*8	ARRAY (10,10) VECTORED
B	001440	REAL*8	ARRAY (10)
C	001560	REAL*8	ARRAY (10,30) VECTORED
N	006320	INTEGER*2	VARIABLE
M	006322	INTEGER*2	VARIABLE
NAR1	006324	INTEGER*2	VARIABLE
NV1	006326	INTEGER*2	VARIABLE

COMMON BLOCK /ORSER/ LENGTH 001446

P	000000	INTEGER*2	VARIABLE
A1	000002	REAL*8	ARRAY (10,10) VECTORED
M1	001442	INTEGER*2	VARIABLE
IRANK	001444	INTEGER*2	VARIABLE

COMMON BLOCK /PARAM/ LENGTH 000500

ALFA	000000	REAL*8	ARRAY (10)
BETA	000120	REAL*8	ARRAY (30)

COMMON BLOCK /AUX/ LENGTH 000004

NAR2	000000	INTEGER*2	VARIABLE
NV2	000002	INTEGER*2	VARIABLE


```

0001      SUBROUTINE S1SUB3(N)
          C
          C      ROTINA P/ IMPRESSAO MATRIZ A E POLINOMIO CARCTERISTICO
          C
0002      REAL*8 A(10,10),B(10),C(10,30)
0003      COMMON /DADOS/ A,B,C,NN,MM,NAR1,NV1
0004      COMMON /AUX/ NAR2,NV2
0005      WRITE(6,1)
0006 1     FORMAT(///,' MATRIZ "A" (PROCESSO+COMP. DINAMICO)')
0007      IF(NAR2.EQ.0) GO TO 2
0009      WRITE(6,4) NAR2
0010 4     FORMAT(' **** ARQUIVO FTN',I2,'.DAT ****')
0011 2     DO 100 I=1,N
0012 100   WRITE(6,3)I,(A(I,J),J=1,N)
0013 3     FORMAT(/,' LINHA ',I2,' --> ',8(1X,F12.5),/,T15,8(1X,F12.5))
0014      NA=2*N -
0015      WRITE(6,5)(I,C(1,I+NA),I=1,N)
0016 5     FORMAT(//,T10,'- POLINOMIO CARCTERISTICO DO SISTEMA'//,4(' ALF
1,I2,')=' ',E12.5))
0017      REWIND 6
0018      RETURN
0019      END

```

FORTRAN IV

STORAGE MAP

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
N	000014	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
I	000402	INTEGER*2 VARIABLE
J	000404	INTEGER*2 VARIABLE
NA	000406	INTEGER*2 VARIABLE

COMMON BLOCK /DADOS/ LENGTH 006330

A	000000	REAL*8	ARRAY (10,10) VECTORED
B	001440	REAL*8	ARRAY (10)
C	001560	REAL*8	ARRAY (10,30) VECTORED
NN	006320	INTEGER*2	VARIABLE
MM	006322	INTEGER*2	VARIABLE
NAR1	006324	INTEGER*2	VARIABLE
NV1	006326	INTEGER*2	VARIABLE

COMMON BLOCK /AUX/ LENGTH 000004

NAR2	000000	INTEGER*2	VARIABLE
NV2	000002	INTEGER*2	VARIABLE

```
0001      SUBROUTINE MINV(N)
0002      REAL*8 X1(10,10),X2(10),A(10,30),B(10,10)
0003      REAL*8 DEL,AMAX,ATMP,BTMP,DIV,AMULT,EPS
0004      COMMON /DADOS/ X1,X2,A,NN,MM,NAR1,NV1
0005      COMMON /OBSER/ IM,B,M1,IRANK
0006      EPS=1.D-10
      C
      C      CONSTROI A MATRIZ UNITARIA B(I,J)
      C
0007      DO 6 I=1,N
0008      DO 5 J=1,N
0009      IF(I-J)4,3,4
0010      3      B(I,J)=1.0
0011      GO TO 5
0012      4      B(I,J)=0.0
0013      5      CONTINUE
0014      6      CONTINUE
      C
      C      COLOCA MAIOR A(I,K) SOBRE OU ABAIXO DIAGONAL PRINCIPAL
      C
0015      DEL=1.0
0016      DO 45 K=1,N
0017      IF(K-N)12,30,30
0018      12      IMAX=K
0019      AMAX=DABS(A(K,K))
0020      KP1=K+1
0021      DO 20 I=KP1,N
0022      IF(AMAX-DABS(A(I,K)))15,20,20
0023      15      IMAX=I
0024      AMAX=DABS(A(I,K))
0025      20      CONTINUE
      C
      C      TROCA LINHAS IMAX E K SE IMAX NAO E IGUAL A K
      C
0026      IF(IMAX-K)25,30,25
0027      25      DO 29 J=1,N
0028      ATMP=A(IMAX,J)
0029      A(IMAX,J)=A(K,J)
0030      A(K,J)=ATMP
0031      BTMP=B(IMAX,J)
0032      B(IMAX,J)=B(K,J)
0033      29      B(K,J)=BTMP
0034      DEL=-DEL
0035      30      CONTINUE
      C
      C      TESTE DE SINGULARIDADE
      C
0036      IF(DABS(A(K,K))-EPS)93,93,35
0037      35      DEL=A(K,K)*DEL
      C
      C      DIVIDE PIVO DA LINHA PELA SEU ELEMENTO DA DIAGONAL PRINCIPAL
      C
0038      DIV=A(K,K)
0039      DO 38 J=1,N
```

```

0040      A(K,J)=A(K,J)/DIV
0041  38   B(K,J)=B(K,J)/DIV
        C
        C   COLOCA CADA LINHA COMO COMBINACAO LINEAR COM O FIVO DA LINHA
        C
0042      DO 43 I=1,N
0043      AMULT=A(I,K)
0044      IF(I-K)39,43,39
0045  39   DO 42 J=1,N
0046      A(I,J)=A(I,J)-AMULT*A(K,J)
0047  42   B(I,J)=B(I,J)-AMULT*B(K,J)
0048  43   CONTINUE
0049  45   CONTINUE
0050      DO 50 I=1,N
0051      DO 50 J=1,N
0052  50   A(I,J)=B(I,J)
        D   WRITE(6,100)DEL
0053      GO TO 75
0054  93   STOP 'MATRIZ SINGULAR NO POS DE POLOS'
0055  75   RETURN
0056  100  FORMAT(//,' DETERMINANTE', F10.5,//)
0057      END
    
```

FORTRAN IV STORAGE MAP

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
N	000014	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
DEL	000212	REAL*8 VARIABLE
AMAX	000222	REAL*8 VARIABLE
ATMP	000232	REAL*8 VARIABLE
BTMP	000242	REAL*8 VARIABLE
DIV	000252	REAL*8 VARIABLE
AMULT	000262	REAL*8 VARIABLE
EPS	000272	REAL*8 VARIABLE
I	000302	INTEGER*2 VARIABLE
J	000304	INTEGER*2 VARIABLE
K	000306	INTEGER*2 VARIABLE
IMAX	000310	INTEGER*2 VARIABLE
DABS	000000	REAL*8 PROCEDURE
KP1	000312	INTEGER*2 VARIABLE

COMMON BLOCK /DADOS/ LENGTH 006330

X1	000000	REAL*8	ARRAY (10,10) VECTORED
X2	001440	REAL*8	ARRAY (10)
A	001560	REAL*8	ARRAY (10,30) VECTORED
NN	006320	INTEGER*2	VARIABLE
MMM	006322	INTEGER*2	VARIABLE

NAR1 006324 INTEGER*2 VARIABLE
NVI 006326 INTEGER*2 VARIABLE

A.41

COMMON BLOCK /OBSER/ LENGTH 001446

IM 000000 INTEGER*2 VARIABLE
B 000002 REAL*8 ARRAY (10,10) VECTORED
M1 001442 INTEGER*2 VARIABLE
IRANK 001444 INTEGER*2 VARIABLE

3. PROGRAMA PARA SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA MULTIMÁQUINA

Este programa simula um sistema multimáquina (até 3 máquinas) cujo modelo tenha a forma geral dada pela equação 6.1, isto é, um modelo que considere as não linearidades da linha de transmissão. O programa utiliza técnicas de esparsidade para armazenamento da matriz "A", o que neste caso além de proporcionar economia de memória aumentou a velocidade de execução, pois elimina uma série de multiplicações por zeros. A entrada de dados pode ser manual ou através de arquivos previamente criados pelo próprio programa ou por outros como o de projeto de compensadores dinâmicos. Esta maneira de entrar dados minimiza o trabalho do usuário, especialmente quando as matrizes são de ordem elevada e além disto permite a criação de arquivos com casos típicos.

A saída dos resultados poder ser feita de diversas maneiras, quais sejam:

- Saída gráfica na tela;
- Saída gráfica no registrador X - Y;
- Saída em um arquivo em disco.

A gravação dos resultados em disco permite que os mesmos possam ser utilizados em outras simulações tanto para condições iniciais como para dar continuidade a simulações.

3.1 Estrutura

A figura A.2 apresenta a estrutura de overlay adota

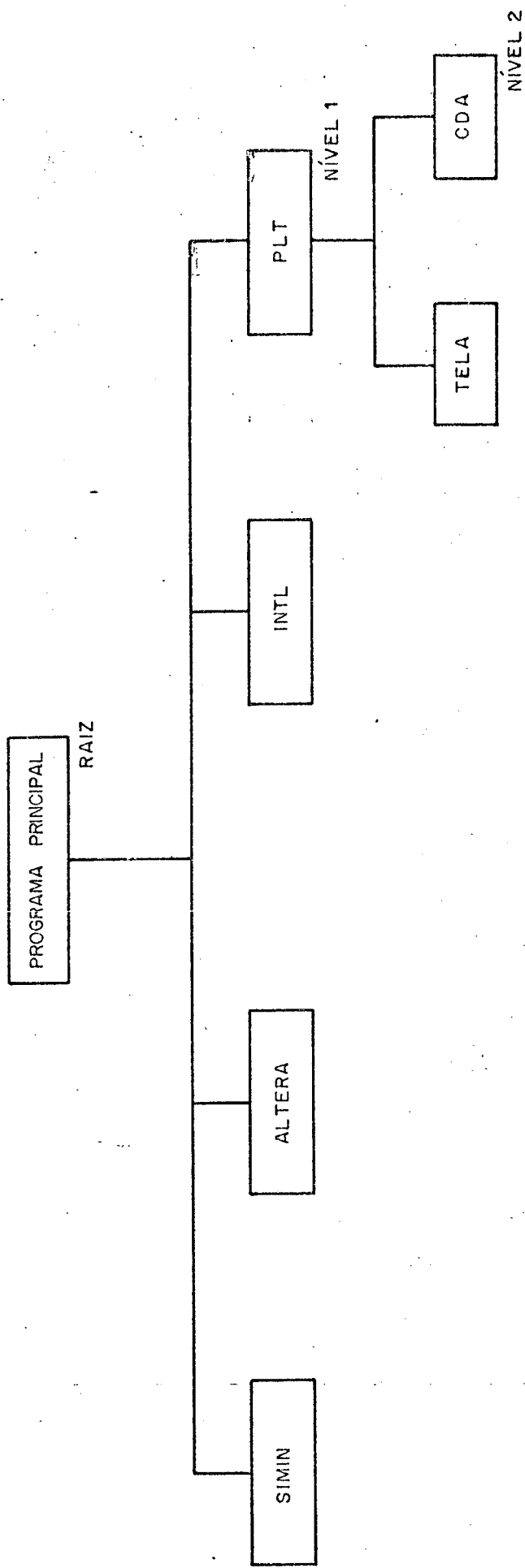


FIGURA A.2 PROGRAMA PARA SIMULAÇÃO MULTIMÁQUINA - ESTRUTURA DE OVERLAY

da neste programa, sendo as funções de cada sub-rotina dadas por:

- Programa Principal - Responsável pela coordenação das demais rotinas e também pelo gerenciamento de entrada e saída;
- Sub-rotina SIMIN - rotina de interface entre os arquivos gerados pelo programa de projeto de compensadores dinâmicos e os deste programa;
- Sub-rotina ALTERA - rotina para incluir, eliminar ou alterar elementos nos vetores que armazenam a matriz A. Usa técnicas de esparsidade;
- Sub-rotina INTL - rotina para integração numérica do sistema de equações. Usa o método de Runge-Kuta de 4.^a ordem;
- Sub-rotina PLT - Rotina para saída gráfica dos resultados (tela e registrador X-Y);
- Sub-rotina TELA - Rotina em assembler para saída na tela de um ponto da curva;
- Sub-rotina CDA - Rotina em assembler para ativação do conversor digital/analógico para fins de traçar o gráfico no registrador.

3.2. Listagens

```
0001      DIMENSION A(150),B(6),X(34,105),COEF(3,6)      A.44
0002      DIMENSION ILINR(34),ICOLB(6),ICONTB(6),FIJ(3)
0003      DIMENSION ILINA(34),ICOLA(150),ICONTA(150)
0004      COMMON /ARTUR/ X
0005      COMMON /AUX/ NPT1,NPT2,LXAV,KARQ,KNV
0006      DATA ILINA/34*0/,ILINR/34*0/
0007      DATA A/150*0./,B/6*0./,X/3570*0./,COEF/18*0./
0008      KAR1=0
0009      KNV=0
0010      NPT1=0
0011      NPT2=1
0012      WRITE(7,3)
0013  3      FORMAT(' ENTRE COM O NUMERO LOGICO DO ARQUIVO DE DADOS')
0014      READ(5,2)NARQ
0015  2      FORMAT(10I5)
0016      DEFINE FILE NARQ(172,8,U,NREG)
0017      LX=0
0018      NV=150
0019      NC=34
0020      IBX=0
0021      NF=105
0022      MD=6
0023      WRITE(7,1)
0024  1      FORMAT(' ENTRE COM O NUM. DE MAR, N E M')
0025      READ(5,2)NMAQ,N,M
0026      IF(N.GT.30) STOP 'ERRO. PROGRAMA NAO ACEITA N>30'
0028  400    FORMAT(' ENTRE COM OS COEFICIENTES FIJ (1-2; 1-3; 2-3)')
0029      WRITE(7,401)
0030  401    FORMAT(' ENTRE COM O ESTADO ASSOCIADO A EXCITACAO ESCOLHIDA',
1' PARA MONITORACAO')
0031      READ(5,2)NEX
0032      WRITE(7,4)
0033  4      FORMAT(' A MATRIZ A JA ESTA GRAVADA EM DISCO? 1-SIM, 0-NAO',
1', -1- SERA MONTADA')
0034      READ(5,2)IXA
0035      IF(IXA.GE.0) GO TO 685
0037      CALL SIMIN(NMAQ,IFIM,A,ILINA,ICOLA,ICONTA)
0038      GO TO 203
0039  685    IF(IXA.EQ.0) GO TO 200
0041      NREG=1
0042      READ(NARQ/NREG)IFIM
0043      IKNV=N/4
0044      IF(IKNV*4.LT.N) IKNV=IKNV+1
0046      DO 8968 I=1,IKNV
0047      K=(I-1)*4+1
0048      J=K+3
0049  8970  IF(J.LE.N) GO TO 8969
0051      J=J-1
0052      GO TO 8970
0053  8969  READ(NARQ/NREG)(ILINA(KK),KK=K,J)
0054  8968  CONTINUE
0055      DO 103 I=1,IFIM
0056  103   READ(NARQ/NREG)ICOLA(I),A(I),ICONTA(I)
0057      GO TO 203
```



```
0058 200 WRITE(7,5)
0059 5  FORMAT(' ENTRE COM A MATRIZ A')
0060     IFIM=0
0061     DO 100 I=1,N
0062     WRITE(7,6)I
0063 6  FORMAT(' ENTRE COM A LINHA',I3,', ' 8 ELEM. P/ LINHA')
0064     READ(5,8)(X(5,J),J=1,N)
0065 8  FORMAT(8F10.0)
0066     K=0
0067     DO 122 J=1,N
0068     IF(X(5,J).EQ.0) GO TO 122
0069     IFIM=IFIM+1
0070     A(IFIM)=X(5,J)
0071     ICOLA(IFIM)=J
0072     ICONTA(IFIM)=K
0073     K=IFIM
0074     CONTINUE
0075 122 ILINA(I)=K
0076     CONTINUE
0077 100 WRITE(7,9)
0078 203 FORMAT(' DESEJA CONFERIR A? 0-NAO, 1-FORMA COMUM, 2-FORMA',
0079 9  1' ESPARCA')
0080     READ(5,2)I
0081     IF(I.EQ.0) GO TO 201
0082     WRITE(6,10)
0083 10  FORMAT(/,Y10,'MATRIZ A')
0084     IF(I.EQ.1) GO TO 150
0085     WRITE(6,133)(ILINA(I),I=1,N)
0086 133 FORMAT(' VETOR LINHA:',2I13)
0087     DO 101 I=1,IFIM
0088 101 WRITE(6,134)I,ICOLA(I),A(I),ICONTA(I)
0089 134 FORMAT(1X,I2,' --> ',I3,2X,F15.6,2X,I3)
0090     REWIND 6
0091     GO TO 201
0092 150 DO 126 I=1,N
0093     DO 127 J=1,N
0094 127 X(5,J)=0.
0095     L=ILINA(I)
0096     IF(L.EQ.0) GO TO 138
0097 128 K=ICOLA(L)
0098     X(5,K)=A(L)
0099     L=ICONTA(L)
0100     IF(L.NE.0) GO TO 128
0101 138 WRITE(6,11)I,(X(5,J),J=1,N)
0102 126 CONTINUE
0103 11  FORMAT(' LINHA',I3,', ':',8(F12.5,1X)/T11,8(F12.5,1X)/
0104 11T11,8(F12.5,1X)/T11,8(F12.5,1X)/T11,8(F12.5,1X))
0105     REWIND 6
0106 201 WRITE(7,12)
0107 12  FORMAT(' DESEJA ALTERAR ELEMENTOS DA MATRIZ? 1-SIM,0-NAO')
0108     READ(5,2)I
0109     IF(I.EQ.0) GO TO 202
0110 204 WRITE(7,13)
0111 13  FORMAT(' ENTRE COM I, J E ELEM. PARAR <CR>')
```

```
0116 READ(5,14)I,J,AUX
0117 14 FORMAT(2I4,E12.0)
0118 IF(I.EQ.0) GO TO 203
0120 CALL ALPORA(NC,NV,N,IFIM,I,J,AUX,A,ICOLA,ILINA,ICONTA)
0121 GO TO 204
0122 202 IF(IXA.EQ.1) GO TO 205
0124 NREG=J
0125 WRITE(NARQ'NREG)IFIM
0126 IKNV=N/4
0127 IF(IKNV*4.LT.N) IKNV=IKNV+1
0129 DO 8971 I=1,IKNV
0130 K=(I-1)*4+1
0131 J=K+3
0132 8972 IF(J.LE.N) GO TO 8973
0134 J=J-1
0135 GO TO 8972
0136 8973 WRITE(NARQ'NREG)(ILINA(KK),KK=K,J)
0137 8971 CONTINUE
0138 DO 102 I=1,IFIM
0139 102 WRITE(NARQ'NREG)ICOLA(I),A(I),ICONTA(I)
0140 IXA=1
0141 205 IF(IXB.EQ.1) GO TO 206
0143 WRITE(7,15)
0144 15 FORMAT(' A MATRIZ B JA ESTA GRAVADA EM DISCO? 1-SIM, 0-NAO')
0145 READ(5,2)IXB
0146 IF(IXB.EQ.0) GO TO 207
0148 IKNV=N/4
0149 IF(IKNV*4.LT.N) IKNV=IKNV+1
0151 NREG=IFIM+IKNV+2
0152 READ(NARQ'NREG)IFB
0153 DO 8974 I=1,IKNV
0154 K=(I-1)*4+1
0155 J=K+3
0156 8975 IF(J.LE.N) GO TO 8976
0158 J=J-1
0159 GO TO 8975
0160 8976 READ(NARQ'NREG)(ILINB(KK),KK=K,J)
0161 8974 CONTINUE
0162 DO 104 I=1,IFB
0163 104 READ(NARQ'NREG)ICOLB(I),B(I),ICONTB(I)
0164 GO TO 206
0165 207 WRITE(7,16)
0166 16 FORMAT(' ENTRE COM A MATRIZ B')
0167 IFB=0
0168 DO 105 I=1,N
0169 WRITE(7,6)I
0170 READ(5,8)(X(5,J),J=1,M)
0171 K=0
0172 DO 139 J=1,M
0173 IF(X(5,J).EQ.0) GO TO 139
0175 IFB=IFB+1
0176 B(IFB)=X(5,J)
0177 ICOLB(IFB)=J
0178 ICONTB(IFB)=K
```

```
0179      K=IFB
0180 139  *CONTINUE
0181      ILINB(1)=K
0182 105  *CONTINUE
0183 206  WRITE(7,18)
0184 18   FORMAT(' DESEJA CONFERIR "B"? 0-NAO, 1-F COMUM, 2-F-ESPARCA')
0185      READ(5,2)I
0186      IF(I.EQ.0) GO TO 208
0188      WRITE(6,19)
0189 19   FORMAT(/TRM)/MATRIZ B')
0190      IF(I.EQ.1) GO TO 151
0192      WRITE(6,133)(ILINB(I),I=1,N)
0193      DO 146 I=1,IFB
0194 146  WRITE(6,134)I,ICOLB(I),B(I),ICONTB(I)
0195      REWIND 6
0196      GO TO 208
0197 151  DO 106 I=1,N
0198      DO 140 J=1,M
0199 140  X(5,J)=0.
0200      L=ILINB(I)
0201      IF(L.EQ.0) GO TO 141
0203 142  K=ICOLB(L)
0204      X(5,K)=B(L)
0205      L=ICONTB(L)
0206      IF(L.NE.0) GO TO 142
0208 141  WRITE(6,11)I,(X(5,J),J=1,M)
0209 106  CONTINUE
0210      REWIND 6
0211 208  WRITE(7,12)
0212      READ(5,2)I
0213      IF(I.EQ.0) GO TO 209
0215 210  WRITE(7,13)
0216      READ(5,14)I,J,AUX
0217      IF(I.EQ.0) GO TO 206
0219      CALL ALTERA(NC,MD,M,IFB,I,J,AUX,B,ICOLB,ILINE,ICONTB)
0220      GO TO 210
0221 209  IF(IXB.EQ.1) GO TO 211
0223      IKNV=N/4
0224      IF(IKNV*4.LT.N) IKNV=IKNV+1
0226      NREG=IFIM+IKNV+2
0227      WRITE(NARQ/NREG)IFB
0228      DO 8977 I=1,IKNV
0229      K=(I-1)*4+1
0230      J=K+3
0231 8978 IF(J.LE.N) GO TO 8979
0233      J=J-1
0234      GO TO 8978
0235 8979 WRITE(NARQ/NREG)(ILINB(KK),KK=K,J)
0236 8977 CONTINUE
0237      DO 107 I=1,IFB
0238 107  WRITE(NANQ/NREG)ICOLB(I),B(I),ICONTB(I)
0239      IXB=1
0240 211  WRITE(7,400)
0241      READ(5,8)FIJ(1),FIJ(2),FIJ(3)
```

```
0242 WRITE(7,22)
0243 22 FORMAT(' ENTRE COM OS COEF. DAS "M" PERTURBACOES, 1 P/ LINHA',
1' COM ATE 3 COEF P/ PERT.')
0244 DO 700 J=1,M
0245 READ(5,8)(COEF(I,J),I=1,3)
0246 700 WRITE(6,42)(COEF(I,J),I=1,3)
0247 42 FORMAT(//,' COEFICIENTES DAS PERT.',4(F10.5,2X))
0248 IF(LX.EQ.0) GO TO 46
0250 WRITE(7,43)
0251 43 FORMAT(' ENTRE COM TF, DELTAT E NUM PONTOS')
0252 T0=TF
0253 READ(5,44)TF,H,NPT
0254 44 FORMAT(2F10.0,I4)
0255 GO TO 46
0256 46 WRITE(7,23)
0257 23 FORMAT(' ENTRE COM T0,TF, DELTAT E NUM. DE PONTOS')
0258 READ(5,24)T0,TF,H,NPT
0259 24 FORMAT(3F10.0,I4)
0260 45 AUX=(TF-T0)/(H*FLOAT(NPT))
0261 IH1=IFIX(AUX)
0262 230 NPT=(TF-T0)/(H*FLOAT(IH1))
0263 IF(KNV.EQ.0) GO TO 38
0265 WRITE(7,446)
0266 446 FORMAT(' DESEJA MUDAR NUM LOGICO ARQUIVO RESULTADOS? 1-SIM, 0-
1'NAO')
0267 READ(5,2)I
0268 IF(I.NE.1) GO TO 212
0270 NPT2=0
0271 38 WRITE(7,37)
0272 37 FORMAT(' ENTRE NUM LOGICO ARQUIVO RESULT. SIMULACAO')
0273 READ(5,2)KARQ
0274 DEFINE FILE KARQ(340,210,U,KNV)
0275 KNV=1
0276 IF(NPT.LE.1000) GO TO 212
0278 IF(IH1.EQ.IFIX(AUX)) PAUSE 'SO SERAO ARMazenADOS 1000 PONTOS'
0280 IH1=IH1+1
0281 GO TO 230
0282 212 IF(KNV.EQ.1) GO TO 1025
0284 WRITE(7,41)
0285 41 FORMAT(' DESEJA RE-INICIALIZAR O ARQUIVO OU CONTINUAR? 1-SIM',
1' 0-NAO')
0286 READ(5,2)I
0287 IF(I.EQ.1) NPT2=0
0289 1025 WRITE(6,25) T0,TF,H,NPT
0290 25 FORMAT(//,' TEMPO INICIAL = ',F8.2,' TEMPO FINAL = ',F8.2,
1' INCREMENTO NO TEMPO = ',F5.3,' NUM. DE PONTOS PLOTADOS = ',
0291 IF(LX.NE.0) GO TO 806
0293 WRITE(7,4004)
0294 4004 FORMAT(' AS CI JA ESTAO GRAVIDAS? 1-SIM, 0-NAO')
0295 READ(5,2)I
0296 IF(I.EQ.0) GO TO 4005
0298 WRITE(7,4006)
0299 4006 FORMAT(' ENTRE COM NUM. LOGICO ARQUIVO')
0300 READ(5,2)I
```

```
0301      IF(I.EQ.KAR1) GO TO 4007
0303      KAR1=1
0304      DEFINE FILE KAR1(1,68,U,KNV2)
0305 4007  READ(KAR1'1)(X(I,1),I=1,N)
0306      GO TO 806
0307 4005  WRITE(7,26)
0308 26    FORMAT(' ENTRE COM AS CI'S')
0309      READ(5,8)(X(I,1),I=1,N)
0310 806   WRITE(6,27)
0311      WRITE(6,28)(I,X(I,1),I=1,N)
0312      REWIND 6
0313      WRITE(7,4001)
0314 4001  FORMAT(' DESEJA GRAVAR ESTAS CONDICOES INICIAIS? 1-SIM,0-NAO')
0315      READ(5,2)I
0316      IF(I.EQ.0) GO TO 4002
0318      WRITE(7,4006)
0319      READ(5,2)I
0320      IF(I.EQ.KAR1) GO TO 4008
0322      KAR1=I
0323      DEFINE FILE KAR1(1,68,U,KN2)
0324 4008  WRITE(KAR1'1)(X(I,1),I=1,N)
0325 4002  CALL INTL(N,M,TO,TF,H,IH1,A,ILINA,ICOLA,ICONTA,
1B,ILINB,ICOLB,ICONTB,COEF,NPT,NC,MD,NP,NV,NMAQ,NEX,FIJ)
0326      NPT=NPT1
0327      AUX=H*FLOAT(IH1)
0328 27    FORMAT(//,' CONDICOES INICIAIS')
0329 28    FORMAT(6(1X,'X(',I2,')=' ,E12,5))
0330      WRITE(6,29)
0331 29    FORMAT(//,' CONDICOES FINAIS')
0332      WRITE(6,28)(I,X(I,NPT),I=1,N)
0333      REWIND 6
0334 215  WRITE(7,30)
0335 30    FORMAT(' ENTRE COM O NUMERO DO ESTADO A SER PLOTADO, PARAR CR')
0336      READ(5,2)I
0337      IF(I.EQ.0) GO TO 214
0339      CALL PLT(I,NMAQ,N)
0340      GO TO 215
0341 214  WRITE(7,31)
0342 31    FORMAT(' SE QUIZER REICLAR BATA *1*')
0343      READ(5,2)I
0344      IF(I.NE.1) GO TO 803
0346      WRITE(7,804)
0347 804  FORMAT(' DESEJA CI=CF? 1-SIM,0-NAO')
0348      READ(5,2)LX
0349      IF(LX.EQ.0) GO TO 203
0351      KNV=KNV-N-LXAV-1
0352      DO 910 I=1,N
0353 910   READ(KARQ'KNV)(X(I,J),J=1,NPT)
0354      KNV=KNV+LXAV+1
0355      DO 805 I=1,N
0356 805   X(I,1)=X(I,NPT)
0357      GO TO 203
C803    WRITE(7,33)
C33     FORMAT(' DESEJA REGRAVAR A 1-SIM, 0-NAO')
```

```
C      READ(5,2)I
C      IF(I.EQ.0) GO TO 216
C      NREG=1
CC     WRITE(NARQ'NREG)IFIM,(ILINA(I),I=1,N)
C      DO 508 I=1,IFIM
C508   WRITE(NARQ'NREG)ICOLA(I),A(I),ICONTA(I)
C216   WRITE(7,34)
C34    FORMAT(' DESEJA REGRAVAR B? 1-SIM, 0-NAO')
C      READ(5,2)I
C      IF(I.EQ.0) STOP
C      NREG=IFIM+2
C      WRITE(NARQ'NREG)IFB,(ILINB(I),I=1,N)
C      DO 109 I=1,IFB
C109   WRITE(NARQ'NREG)ICOLB(I),B(I),ICONTB(I)
0358  803  STOP ' SIMULACAO 2 MAQUINAS'
0359  END
```

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
A	000006	REAL*4 ARRAY (150)
B	001136	REAL*4 ARRAY (6)
COEF	001166	REAL*4 ARRAY (3,6) VECTORED
ILINB	001276	INTEGER*2 ARRAY (34)
ICOLB	001402	INTEGER*2 ARRAY (6)
ICONTB	001416	INTEGER*2 ARRAY (6)
FIJ	001432	REAL*4 ARRAY (3)
ILINA	001446	INTEGER*2 ARRAY (34)
ICOLA	001552	INTEGER*2 ARRAY (150)
ICONTA	002226	INTEGER*2 ARRAY (150)
KAR3	006504	INTEGER*2 VARIABLE
NAR3	006506	INTEGER*2 VARIABLE
NREG	006510	INTEGER*2 VARIABLE
LX	006512	INTEGER*2 VARIABLE
NV	006514	INTEGER*2 VARIABLE
NC	006516	INTEGER*2 VARIABLE
IBX	006520	INTEGER*2 VARIABLE
NP	006522	INTEGER*2 VARIABLE
MD	006524	INTEGER*2 VARIABLE
NMAQ	006526	INTEGER*2 VARIABLE
N	006530	INTEGER*2 VARIABLE
M	006532	INTEGER*2 VARIABLE
NEX	006534	INTEGER*2 VARIABLE
IXA	006536	INTEGER*2 VARIABLE
SIMIN	000000	REAL*4 PROCEDURE
IFIM	006540	INTEGER*2 VARIABLE
IKNV	006542	INTEGER*2 VARIABLE
I	006544	INTEGER*2 VARIABLE
K	006546	INTEGER*2 VARIABLE
J	006550	INTEGER*2 VARIABLE
KK	006552	INTEGER*2 VARIABLE
L	006554	INTEGER*2 VARIABLE
AUX	006556	REAL*4 VARIABLE
ALTERA	000000	REAL*4 PROCEDURE
IXB	006562	INTEGER*2 VARIABLE
IFB	006564	INTEGER*2 VARIABLE
TO	006566	REAL*4 VARIABLE
TF	006572	REAL*4 VARIABLE
H	006576	REAL*4 VARIABLE
NPT	006602	INTEGER*2 VARIABLE
FLOAT	000000	REAL*4 PROCEDURE
IH1	006604	INTEGER*2 VARIABLE
IFIX	000000	INTEGER*2 PROCEDURE
KNV2	006606	INTEGER*2 VARIABLE
KN2	006610	INTEGER*2 VARIABLE
INTL	000000	INTEGER*2 PROCEDURE
PLT	000000	REAL*4 PROCEDURE

COMMON BLOCK /ARTUR/ LENGTH 033710

X	000000	REAL*4	ARRAY (34,105) VECTORED
---	--------	--------	-------------------------

NAME OFFSET ATTRIBUTES

COMMON BLOCK /AUX/ LENGTH 000012

NPT1	000000	INTEGER*2	VARIABLE
NPT2	000002	INTEGER*2	VARIABLE
LXAV	000004	INTEGER*2	VARIABLE
KARQ	000006	INTEGER*2	VARIABLE
KNV	000010	INTEGER*2	VARIABLE


```
0001      SUBROUTINE ALTERA(NC,NV,N,IFIM,I,J,AUX,A,ICOLA,ILINA,ICONTA)
0002      DIMENSION A(NV),ILINA(NC),ICOLA(NV),ICONTA(NV)
0003      L=ILINA(I)
0004      IF(L.EQ.0) GO TO 1
0006 126    JJ=ICOLA(L)
0007      IF(JJ.EQ.J) GO TO 125
0009      L1=L
0010      L=ICONTA(L)
0011      IF(L.NE.0) GO TO 126
0013 1      IF(AUX.NE.0) GO TO 127
0015      PAUSE 'O ELEM. A SER ZERADO NAO FOI ENCONTRADO; COMANDO IGNORADO'
0016      RETURN
0017 127    IFIM=IFIM+1
0018      IF(IFIM.LE.NV) GO TO 160
0020      PAUSE 'ESTOUROU DIMENSION VERIFIQUE MATRIZ'
0021      RETURN
0022 160    ICONTA(IFIM)=ILINA(I)
0023      ILINA(I)=IFIM
0024      A(IFIM)=AUX
0025      ICOLA(IFIM)=J
0026      RETURN
0027 125    IF(AUX.EQ.0) GO TO 128
0028      A(L)=AUX
0030      RETURN
0031 128    IF(L.EQ.ILINA(I)) GO TO 129
0033      ICONTA(L1)=ICONTA(L)
0034      ICOLA(L)=ICOLA(IFIM)
0035      A(L)=A(IFIM)
0036      IF(ICONTA(IFIM).NE.L) ICONTA(L)=ICONTA(IFIM)
0038      ILINA(N)=L
0039      IFIM=IFIM-1
0040      RETURN
0041 129    ILINA(I)=ICONTA(L)
0042      IFIM=IFIM-1
0043      IF(L.EQ. IFIM+1) RETURN
0045      DO 130 K=L,IFIM
0046      ICOLA(K)=ICOLA(K+1)
0047      ICONTA(K)=ICONTA(K+1)
0048      A(K)=A(K+1)
0049 130    CONTINUE
0050      DO 131 I=1,N
0051      IF(ILINA(I).GT.L) ILINA(I)=ILINA(I)-1
0053 131    CONTINUE
0054      DO 132 I=1,IFIM
0055      IF(ICONTA(I).GT.L) ICONTA(I)=ICONTA(I)-1
0057 132    CONTINUE
0058      RETURN
0059      END
```

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
A	000032	REAL*4 PARAMETER ARRAY (NV)
NV	000016	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
ILINA	000036	INTEGER*2 PARAMETER ARRAY (NC)
NC	000014	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
ICOLA	000034	INTEGER*2 PARAMETER ARRAY (NV)
ICONTA	000040	INTEGER*2 PARAMETER ARRAY (NV)
N	000020	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
IFIM	000022	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
I	000024	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
J	000026	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
AUX	000030	REAL*4 PARAMETER VARIABLE
L	000200	INTEGER*2 VARIABLE
JJ	000202	INTEGER*2 VARIABLE
L1	000204	INTEGER*2 VARIABLE
K	000206	INTEGER*2 VARIABLE

```
0001      SUBROUTINE SIMIN(NMAQ,IFIM,A,ILINA,ICOLA,ICONTA)      A.55
0002      REAL A(150),X(34,105)
0003      INTEGER ILINA(34),ICOLA(150),ICONTA(150)
0004      COMMON /ARTUR/ X
0005      IFIM=0
0006      DO 100 I1=1,NMAQ
0007      WRITE(7,1)I1
0008 1      FORMAT(' ENTRE COM A POSICAO QUE O ELEM. A(1,1)',
1'DA MAT "A" DA MAQ ',I1,' DEVE OCUPAR NA MAT SIST. '/
2' E COM A ORDEM DESTA SUBMATRIZ')
0009      READ(5,2)I2,N1
0010 2      FORMAT(3I5)
0011      WRITE(7,3)I1
0012 3      FORMAT(' ENTRE COM O NUMERO LOGICO DO ARQUIVO DA MAQ.',I2)
0013      READ(5,2)NAR1
0014      DEFINE FILE NAR1(11,44,U,NV)
0015      NV=1
0016      DO 100 I=I2,I2+N1-1
0017      READ(NAR1'NV')(X(5,J),J=1,2*N1)
0018      K=0
0019      DO 101 J=1,2*N1,2
0020      IF(X(5,J).EQ.0) GO TO 101
0022      IFIM=IFIM+1
0023      A(IFIM)=X(5,J)
0024      ICOLA(IFIM)=(J+1)/2+I2-1
0025      ICONTA(IFIM)=K
0026      K=IFIM
0027 101      CONTINUE
0028      ILINA(I)=K
0029 100      CONTINUE
0030      RETURN
0031      END
```

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
A	000020	REAL*4 PARAMETER ARRAY (150)
ILINA	000022	INTEGER*2 PARAMETER ARRAY (34)
ICOLA	000024	INTEGER*2 PARAMETER ARRAY (150)
ICONTA	000026	INTEGER*2 PARAMETER ARRAY (150)
NMAR	000014	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
IFIM	000016	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
I1	000644	INTEGER*2 VARIABLE
I2	000646	INTEGER*2 VARIABLE
N1	000650	INTEGER*2 VARIABLE
NAR1	000652	INTEGER*2 VARIABLE
NV	000654	INTEGER*2 VARIABLE
I	000656	INTEGER*2 VARIABLE
J	000660	INTEGER*2 VARIABLE
K	000662	INTEGER*2 VARIABLE

COMMON BLOCK /ARTUR/ LENGTH 033710

X	000000	REAL*4	ARRAY (34,105) VECTORED
---	--------	--------	-------------------------

C
 C ROTINA INTEGRACAO 3 MAQUINAS COM INTERLIGACAO NAO LINEAR
 C AS VARIAVEIS DE ESTADO DE REDE= DELTA1-DELTA2 DEVEM SER OS ULTIMOS
 C ESTADOS. TAMBEM RODAVEL PARA UMA MAQUINA OU DUAS

C
 C ***ATENCAO: MODELO 2N VARIABIES, ISTO E CONSIDERA TODAS AS VARIABIES
 C DE REDE

C ***A MATRIZ LAMBDA (VEJA TESE) ANEXADA AS ULTIMAS
 C COLUNAS DA MATRIZ "A" (COLUNAS CORESPONDENTES AS VARIABIES
 C DE REDE)

C ***NO CASO DE SIMULACAO DE DUAS MAQUINAS AS COLUNAS DE LAMBDA CORESPONDENTES
 C A "PE1" DEVEM SER MULTIPLICADAS POR MENOS UM (-1)
 C POIS O PROGRAMA NAO FAZ PE1=-PE2

0001

C SUBROUTINE INTL(N,M,TO,TF,H,H1,A,ILINA,ICOLA,ICONTA,
 C 1B,ILINB,ICOLB,ICONTB,COEF,II,NC,MD,NP,NV,NMAQ,NEX,FIJ)

C
 C * * * * *
 C * SUBROTINA 'INTL' - INTEGRACAO NUMERICA DE UM SISTEMA DE EQUACOE
 C * DIFERENCIAIS *
 C * * * * *

C
 C PARAMETROS

C N - ORDEM DA MATRIZ A
 C M - NUMERO DE FUNCOES EXCITACAO
 C M1 - NUMERO DE PERTURBACOES 'KSI'
 C TO - TEMPO DE INICIO DE CALCULO
 C TF - TEMPO FINAL DE CALCULO
 C H - PASSO PARA CALCULO
 C H1 - NUM. DE PASSOS DE CALCULO A SEREM IGNORAD. A CADA ARMA
 C X(NC,NP) - VARIABEL COM OS 'N' ESTADOS E 'NP' PONTOS CALCULADOS
 C OBS - A PRIMEIRA COLUNA DE X DEVE CONTER OS VALORES INICIAIS DOS
 C - ESTA SUBROTINA ADMITE ATE 30 ESTADOS - PARA AUMENTAR, MODIFICAR
 C DIMENSÕES DAS VARIABIES X1,KX
 C X(1) ... X(N) - RESULTADOS COM OS N ESTADOS
 C X(N+1) ... X(N+NMAQ) - POT. ELETRICA NAS LINHAS
 C X(N+NMAQ+1) - EXCITACAO DA UNIDADE GERADORA SELECIONADA POR I*NE

0002 REAL A(NV),B(MD),X(34,105),COEF(3,MD),FIJ(3)
 0003 INTEGER ILINA(NC),ICOLA(NV),ICONTA(NV),ILINB(NC),ICOLB(MD)
 0004 INTEGER ICONTB(MD)
 0005 REAL X1(34),KX(34,4)
 0006 INTEGER H1,H0
 0007 COMMON /ARTUR/ X
 0008 COMMON /AUX/ NPT1,NPT2,NMA,KARQ,KNV

C
 C INICIALIZA VARIABIES, INCLUSIVE CARREGA O ESTADO INICIAL
 C NA VARIABEL AUXILIAR X1(I)

C
 C
 0009 II=1
 0010 NMA=NMAQ
 0011 IF(NMAQ.EQ.2) NMA=1
 0013 IF(NPT2.EQ.0)KNV=1
 0015 IF(KNV.EQ.1) GO TO 300

```

0017     K=N+MMA+1
0018     KNU=KNU-K
0019     DO 301 I=1,K
0020 301  READ(KARQ,KNU)(X(I,J),J=1,NPT1)
0021     IF(NPT1.NE.100) KNU=KNU-K
0022     II=NPT1
0023     IF(II.EQ.100) II=0
0024 300  H0=1
0025     T=T0
0026
0027     C
0028     C   VARRE AS 'N' VARIAVEIS DE ESTADO
0029     C
0030     J=1
0031     IF(II.NE.0) GO TO 306
0032     II=100
0033     J=0
0034 306  DO 100 I=1,N
0035 100  X1(I)=X(I,II)
0036     IF(J.EQ.0) II=0
0037     C
0038     C   CALCULA OS 4 COEFICIENTES KX PARA CADA ESTADO
0039     C
0040     DO 101 J=1,4
0041 101  DO 101 I=1,N
0042     KX(I,J)=0.
0043     L=ILINA(I)
0044 102  K=ICOLA(L)
0045     DT=0.
0046     IF(J.EQ.2.OR.J.EQ.3) DT=H*KX(K,J-1)/2.
0047     IF(J.EQ.4) DT=H*KX(K,J-1)
0048     IF(NMAQ.EQ.1.AND.K.EQ.N) GO TO 106
0049     IF(NMAQ.EQ.3.AND.K.GE.N-2) GO TO 108
0050     IF(NMAQ.EQ.2.AND.K.GE.N-1) GO TO 106
0051     KX(I,J)=KX(I,J)+A(L)*(X1(K)+DT)
0052     GO TO 107
0053 106  KX(I,J)=KX(I,J)+A(L)*SIN(377.*(X1(K)+DT))
0054     GO TO 107
0055 108  ILLL=N-K+1
0056     GO TO (111,110,109),ILLL
0057 109  KX(I,J)=KX(I,J)+A(L)*SIN(377.*(X1(N-2)+DT))+
0058     1A(L)*SIN(377.*(X1(N-1)+DT))
0059     GO TO 107
0060 110  KX(I,J)=KX(I,J)+A(L)*SIN(377.*(-X1(N-2)-DT))+
0061     1A(L)*SIN(377.*(X1(N)+DT))
0062     GO TO 107
0063 111  KX(I,J)=KX(I,J)+A(L)*SIN(377.*(-X1(N-1)-DT))+
0064     1A(L)*SIN(377.*(-X1(N)-DT))
0065 107  L=ICONTA(L)
0066     IF(L.NE.0) GO TO 102
0067     C
0068     C   OS 4 COMANDOS ASSEGUIR NAU SAO NECESSARIOS SE A REFERENCIA
0069     C   E AS PERTURBACOES FOREM CONSTANTES
0070     C
0071     DT=0.

```

```

0068      IF(J.EQ.2.OR.J.EQ.3) DT=H/2.
0070      IF(J.EQ.4) DT=H
0072      DT=T+DT
C
C      CALCULA AS EXCITACOES
C
0073      L=ILINB(1)
0074 201   IF(L.EQ.0) GO TO 200
0076      K=ICOLB(L)
0077      KX(I,J)=KX(I,J)+B(L)*(COEF(1,K)+COEF(2,K)*DT+COEF(3,K)*DT**2)
0078      L=ICONTB(L)
0079      GO TO 201
0080 200   CONTINUE
0081 101   CONTINUE
C
C      CALCULA OS 'N' ESTADOS PATA T=T+H
C
0082      DO 103 I=1,N
0083      X1(I)=X1(I)+(KX(I,1)+KX(I,2)*2.+KX(I,3)*2.+KX(I,4))*H/6.
0084 103   CONTINUE
C
C      * - VERIFICA SE DEVE ARMAZENAR OS 'N' VALORES CALCULADOS
C      PARA ESTE TEMPO T=T+H
C
0085      IF(H0.LT.H1) GO TO 2
C
C      CALCULO DA VARIABEL DE EXCITACAO
C
0087      II=II+1
0088      X(N+NMA+1,II)=0.
0089      L=ILINA(NEX)
0090 701   K=ICOLA(L)
0091      IF(K.NE.NEX) X(N+NMA+1,II)=X(N+NMA+1,II)+A(L)*X1(K)
0093      L=ICONTA(L)
0094      IF(L.NE.0)GO TO 701
0096      L=ILINB(NEX)
0097 703   IF(L.EQ.0)GO TO 702
0099      K=ICOLB(L)
0100      X(N+NMA+1,II)=X(N+NMA+1,II)+B(L)*
1(COEF(1,K)+COEF(2,K)*T+COEF(3,K)*T**2)
0101      L=ICONTR(L)
0102      GO TO 703
C
C      CALCULO DA POTENCIA ELETRICA
C
0103 702   IF(IT.EQ.2) X(N+NMA+1,1)=X(N+NMA+1,2)
0105      IF(NMAQ.EQ.3) GO TO 704
0107      X(N+1,II)=FIJ(1)*SIN(377*X1(N))
0108      IF(II.EQ.2) X(N+1,1)=X(N+1,2)
0110      GO TO 705
0111 704   X(N+1,II)=FIJ(1)*SIN(377*X1(N-2))+FIJ(2)*SIN(377.*X1(N-1))
0112      X(N+2,II)=-FIJ(1)*SIN(377*X1(N-2))+FIJ(3)*SIN(377.*X1(N))
0113      X(N+3,II)=-X(N+1,II)-X(N+2,II)
0114      IF(II.NE.2) GO TO 705

```

```
0116      X(N+1,1)=X(N+1,2)
0117      X(N+2,1)=X(N+2,2)
0118      X(N+3,1)=X(N+3,2)
0119  705   HO=0
0120      DO 104 I=1,N
0121  104   X(I,II)=X1(I)
0122      IF(NPT2.NE.2) GO TO 303
0124      DO 304 I=1,NMA+1
0125  304   X(N+I,1)=X(N+I,2)
0126  303   NPT2=NPT2+1
0127      IF(II.LT.100.AND.T.LT.TF) GO TO 2
0129      DO 305 I=1,N+NMA+1
0130  305   WRITE(KARQ'KNV')(X(I,J),J=1,II)
0131      NPT1=II
0132      II=0
      C
      C   TESTA SE T=TF, SE SIM VAI PARA O FINAL
      C
0133      IF(T.GE.TF) GO TO 3
0135      T=T+H
0136      HO=HO+1
0137      GO TO 1
0138      3   RETURN
0139      END
```


NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
A	000030	REAL*4 PARAMETER ARRAY (NV)
NV	000032	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
B	000040	REAL*4 PARAMETER ARRAY (MD)
MD	000056	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
COEF	000050	REAL*4 PARAMETER ARRAY (3,MD)
FIJ	000070	REAL*4 PARAMETER ARRAY (3)
ILINA	000032	INTEGER*2 PARAMETER ARRAY (NC)
NC	000054	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
ICOLA	000034	INTEGER*2 PARAMETER ARRAY (NV)
ICONTA	000036	INTEGER*2 PARAMETER ARRAY (NV)
ILINB	000042	INTEGER*2 PARAMETER ARRAY (NC)
ICOLB	000044	INTEGER*2 PARAMETER ARRAY (MD)
ICONTB	000046	INTEGER*2 PARAMETER ARRAY (MD)
X1	000072	REAL*4 ARRAY (34)
KX	000302	REAL*4 ARRAY (34,4) VECTORED
N	000014	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
M	000016	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
TO	000020	REAL*4 PARAMETER VARIABLE
TF	000022	REAL*4 PARAMETER VARIABLE
H	000024	REAL*4 PARAMETER VARIABLE
H1	000026	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
II	000052	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
NP	000060	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
NMAQ	000064	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
NEX	000066	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
HO	001670	INTEGER*2 VARIABLE
K	001672	INTEGER*2 VARIABLE
I	001674	INTEGER*2 VARIABLE
J	001676	INTEGER*2 VARIABLE
T	001700	REAL*4 VARIABLE
L	001704	INTEGER*2 VARIABLE
DT	001706	REAL*4 VARIABLE
SIN	000000	REAL*4 PROCEDURE
ILLL	001712	INTEGER*2 VARIABLE

COMMON BLOCK /ARTUR/ LENGTH 033710

X 000000 REAL*4 ARRAY (34,105) VECTORED

COMMON BLOCK /AUX/ LENGTH 000012

NFT1	000000	INTEGER*2	VARIABLE
NFT2	000002	INTEGER*2	VARIABLE
NMA	000004	INTEGER*2	VARIABLE
KARQ	000006	INTEGER*2	VARIABLE
KNV	000010	INTEGER*2	VARIABLE

```
0001 SUBROUTINE FLT(I,NXX,N)
0002 DIMENSION A(34,105)
0003 COMMON /ARTUR/ A
0004 COMMON /AUX/ NPT1,NPT2,NMAQ,KARQ,KNV
0005 WRITE(7,7)
0006 7 - FORMAT(' ENTRE-NUM. ATRASOS PLOTAGEM. INTERV:0-34')-
0007 READ(5,5)IDLY
0008 IF(IDLY.LE.34) GO TO 8
0010 PAUSE 'ERRO - SERAO CONSIDERADOS 34 ATRASOS'
0011 IDLY=34
0012 8 H=1
0013 WRITE(7,4)NPT2
0014 4 FORMAT(' ENTRE COM O PTO INICIAL E FINAL. MAX=',I4)
0015 READ(5,5)N1,N2
0016 5 FORMAT(4I5)
0017 I1=N1/100
0018 IF(I1*100.NE.N1)I1=I1+1
0020 I2=N2/100
0021 IF(I2*100.NE.N2) I2=I2+1
0023 I3=KNV
0024 I4=I2-I1+1
0025 DO 107 K=1,I4
0026 KNV=(N+NMAQ+1)*(I1+K-2)+I
0027 107 READ(KARQ'KNV)(A(K,J),J=1,100)
0028 J1=IABS((I1-1)*100-N1)
0029 J2=IABS((I2-1)*100-N2)
0030 AMAX=A(1,J1)
0031 AMIN=A(1,J1)
0032 DO 108 K=1,I4
0033 II=1
0034 JJ=100
0035 IF(K.EQ.1) II=J1
0037 IF(K.EQ.I4) JJ=J2
0039 DO 108 J=II,JJ
0040 IF(A(K,J).GT.AMAX) AMAX=A(K,J)
0042 IF(A(K,J).LT.AMIN) AMIN=A(K,J)
0044 108 CONTINUE
0045 WRITE(7,11)
0046 11 FORMAT(' OPTE: 1-GRAFICO TELA 2-GRAFICO PAPEL')
0047 READ(5,3)IXAV
0048 3 FORMAT(I3)
0049 I=IABS(N2-N1)
0050 ESCX=4000./FLOAT(I)
0051 ESCY=4095./ABS(AMAX-AMIN)
0052 XI=FLOAT(1)*ESCX
0053 YJ=(A(1,J1)-AMIN)*ESCY
0054 II=IFIX(XI)
0055 JJ=IFIX(YJ)
0056 IF(IXAV.EQ.1) CALL TELA(II,JJ)
0058 IF(IXAV.EQ.2) CALL CDA(II,JJ)
0060 PAUSE ' AJUSTE OS PLOTER''S'
0061 T=0.
0062 DO 101 I=1,I4
0063 I1=1
```

0064 I2=100
0065 IF(I.EQ.1) I1=J1
0067 IF(I.EQ.I4) I2=J2
0069 DO 101 K=I1,I2
0070 T=T+1
0071 XI=T*ESCX
0072 YJ=(A(I,K)-AMIN)*ESCY
0073 II=IFIX(XI)
0074 JJ=IFIX(YJ)
0075 IF(K.EQ.J1) GO TO 103
0077 AUX=(YJ-Y0)/(XI-X0)
0078 L=IFIX(XI-X0)
0079 DO 102 M=1,L
0080 X0=X0+1.
0081 II=IFIX(X0)
0082 IF(II.GT.4000) II=4000
0084 Y=AUX*FLOAT(M)+Y0
0085 JJ=IFIX(Y)
0086 IF(IXAV.EQ.1) CALL TELA(II,JJ)
0088 IF(IXAV.EQ.2) CALL CDA(II,JJ)
0090 102 CONTINUE
0091 103 X0=XI
0092 Y0=YJ
C
C PROCESSAMENTO PARA PROVOCAR UM RETARDO NA PLTAGEM
C
0093 IF(IXAV.NE.2.OR.IDLY.EQ.0) GO TO 101
0095 DO 100 II=1,IDLY
0096 DO 100 JJ=1,105
0097 AUX=A(II,1)*A(II,JJ)
0098 100 CONTINUE
C
C FIM DO PROCESSAMENTO PARA RETARDO
C
0099 101 CONTINUE
0100 WRITE(7,1)
0101 1 FORMAT(/,72('*'))
0102 X0=ABS(A(1,J1))
0103 Y0=ABS(A(I4,J2))
0104 IF(X0.LT.1.E-3.OR.Y0.LT.1.E-3) GO TO 104
0106 WRITE(7,2)A(1,J1),A(I4,J2)
0107 2 FORMAT(/,' * VALOR INICIAL =',F15.5,T40,' VALOR FINAL =',F15.5)
0108 GO TO 105
0109 104 WRITE(7,6)A(1,J1),A(I4,J2)
0110 6 FORMAT(/,' * VALOR INICIAL =',E15.8,T40,' VALOR FINAL =',E15.8)
0111 105 X0=ABS(AMAX)
0112 Y0=ABS(AMIN)
0113 IF(X0.LT.1.E-3.OR.Y0.LT.1.E-3) GO TO 106
0115 WRITE(7,400) AMAX,AMIN
0116 400 FORMAT(/,' * VALOR MAXIMO =',F15.5,T40,' VALOR MINIMO =',
1F15.5,/,72('*'))
0117 GO TO 455
0118 106 WRITE(7,500) AMAX,AMIN
0119 500 FORMAT(/,' * VALOR MAXIMO =',E15.8,T40,' VALOR MINIMO =',

1E15.8, //, 72(' * '))

A.64

```

0120 455 KNU=13
0121     RETURN
0122     END

```

FORTRAN IV STORAGE MAP

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
I	000014	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
NXX	000016	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
N	000020	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
IDLY	001176	INTEGER*2 VARIABLE
H	001200	REAL*4 VARIABLE
N1	001204	INTEGER*2 VARIABLE
N2	001206	INTEGER*2 VARIABLE
I1	001210	INTEGER*2 VARIABLE
I2	001212	INTEGER*2 VARIABLE
I3	001214	INTEGER*2 VARIABLE
I4	001216	INTEGER*2 VARIABLE
K	001220	INTEGER*2 VARIABLE
J	001222	INTEGER*2 VARIABLE
J1	001224	INTEGER*2 VARIABLE
IABS	000000	INTEGER*2 PROCEDURE
J2	001226	INTEGER*2 VARIABLE
AMAX	001230	REAL*4 VARIABLE
AMIN	001234	REAL*4 VARIABLE
II	001240	INTEGER*2 VARIABLE
JJ	001242	INTEGER*2 VARIABLE
IXAV	001244	INTEGER*2 VARIABLE
ESCX	001246	REAL*4 VARIABLE
FLOAT	000000	REAL*4 PROCEDURE

ESCY	001252	REAL*4	VARIABLE
ABS	000000	REAL*4	PROCEDURE
XI	001256	REAL*4	VARIABLE
YJ	001262	REAL*4	VARIABLE
IFIX	000000	INTEGER*2	PROCEDURE
TELA	000000	REAL*4	PROCEDURE
CDA	000000	REAL*4	PROCEDURE
T	001266	REAL*4	VARIABLE
AUX	001272	REAL*4	VARIABLE
YO	001276	REAL*4	VARIABLE
XO	001302	REAL*4	VARIABLE
L	001306	INTEGER*2	VARIABLE
M	001310	INTEGER*2	VARIABLE
Y	001312	REAL*4	VARIABLE

COMMON BLOCK /ARTUR/ LENGTH 033710

A 000000 REAL*4 ARRAY (34,105) VECTORED

COMMON BLOCK /AUX/ LENGTH 000012

NPT1	000000	INTEGER*2	VARIABLE
NPT2	000002	INTEGER*2	VARIABLE
NMAQ	000004	INTEGER*2	VARIABLE
KARQ	000006	INTEGER*2	VARIABLE
KNV	000010	INTEGER*2	VARIABLE

```

1          .TITLE TELA
2          .GLOBL TELA
3          000005      R5=%5
4          000007      FC=%7
5          170416      STR=170416
6          170420      BX=170420
7          170422      BY=170422
8 000000 017567 TELA:  MOV @2(R5),BX
          000002
          170420'
9 000006 017567      MOV @4(R5),BY
          000004
          170422'
10 00014 012767      MOV #2003,STR
          002003
          170416'
11 00022 105767 LOOP:  TSTB STR
          170416'
12 00026 100375      BPL LOOP
13 00030 000207      RTS FC
14          000001'      .END
    
```

TELA RT-11 MACRO VM02-12 2-SEP-80 17:06:44 PAGE 14
 SYMBOL TABLE

BX	= 170420	BY	= 170422	LOOP	000022R
FC	=%000007	R5	=%000005	STR	= 170416

```

TELA      000000RG
. ABS.    000000      000
          000032      001
    
```

ERRORS DETECTED: 0
 FREE CORE: 12367. WORDS

,LP:/L=DX1:TELA

```
1          .TITLE CDA
2          .GLOBL CDA
3          000005      R5=Z5
4          000007      PC=Z7
5 000000 017567 CDA:   MOV @2(R5),176160
              000002
              176160'
6 000006 017567      MOV @4(R5),176162
              000004
              176162'
7 000014 000207      RTS PC
8          000001'    .END
```

CDA RT-11 MACRO VM02-12 2-SEP-80 17:07:44 PAGE 1+

SYMBOL TABLE

CDA 000000RG PC =Z000007 R5 =Z000005

. ABS. 000000 000
000016 001ERRORS DETECTED: 0
FREE CORE: 12383. WORDS

,LF:/L=DX1:CDA

4. PROGRAMA PARA DETERMINAÇÃO DOS AUTOVALORES DE UMA MATRIZ REAL

Este programa determina os autovalores de uma matriz real. As rotinas principais deste programa são de autoria de J.GRAD, M.A.BREBNER e D.W.RISCHMILLER. Neste trabalho foram desenvolvidas apenas as rotinas para gerenciamento de entrada e saída e interface entre arquivos em disco.

4.1 Estrutura

A figura A.3 mostra a estrutura de overlay utilizada neste programa. A descrição genérica das funções de cada rotina é:

- Programa Principal - Responsável pela coordenação da execução das demais rotinas;
- Sub-rotina ENTRA - Coordena a entrada de dados;
- Sub-rotina DATAIN - Rotina de interface entre os arquivos gerados pelo programa de projeto de compensadores dinâmicos e as deste programa;
- Sub-rotina EIGVAL - Rotina para determinação dos autovalores;
- Sub-rotinas EIGSC1 e HESQR - Rotinas auxiliares para determinação dos autovalores;
- Sub-rotina SAÍDA - Saída de resultados.

4.2 Listagem

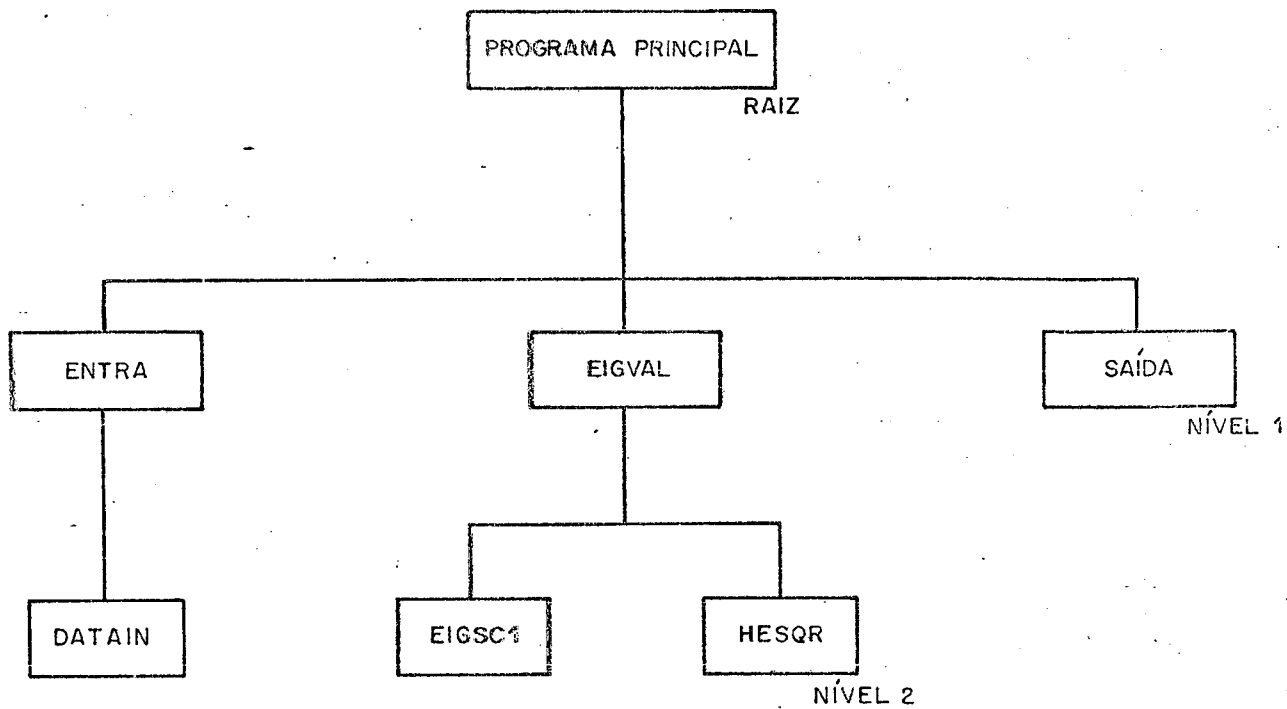


FIGURA A.3 PROGRAMA PARA DETERMINAÇÃO DE AUTOVALORES -
-ESTRUTURA DE OVERLAY

C
C
C

PROGRAMA PRICIPAL PARA DETERMINACAO DE AUTOVALORES

```

0001 REAL*8 A(30,30),EVR(30),EVI(30)
0002 INTEGER INDIC(30)
0003 DATA A/900*0.00/
0004 WRITE(7,3)
0005 3 FORMAT(' ENTRE COM O NUMERO LOGICO DO ARQUIVO DE DADOS')
0006 READ(5,2)NARQ
0007 2 FORMAT(10I5)
0008 DEFINE FILE NARQ(30,120,U,NREG)
0009 904 CALL ENTRA(N,A,NARQ,NREG)
0010 ISCALE=1
0011 CALL EIGVAL(A,N,EVR,EVI,ISCALE,INDIC)
0012 CALL SAIDA(N,EVR,EVI,INDIC)
0013 WRITE(7,31)
0014 31 FORMAT(' SE QUIZER RECICLAR BATA *1*')
0015 READ(5,2)I
0016 IF(I.EQ.1) GO TO 904
0018 STOP 'DETERMINACAO DE AUTOVALORES'
0019 END

```

FORTRAN IV

STORAGE MAP

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
A	000006	REAL*8 ARRAY (30,30) VECTORED
EVR	016046	REAL*8 ARRAY (30)
EVI	016426	REAL*8 ARRAY (30)
INDIC	017006	INTEGER*2 ARRAY (30)
NARQ	017366	INTEGER*2 VARIABLE
NREG	017370	INTEGER*2 VARIABLE
ENTRA	000000	REAL*4 PROCEDURE
N	017372	INTEGER*2 VARIABLE
ISCALE	017374	INTEGER*2 VARIABLE
EIGVAL	000000	REAL*4 PROCEDURE
SAIDA	000000	REAL*4 PROCEDURE
I	017376	INTEGER*2 VARIABLE

```
0001      SUBROUTINE ENTRA(N,A,NARQ,NREG)
          C
          C      ENTRADA DE DADOS PARA DETERMINACAO DE AUTOVALORES
          C
0002      REAL*8 A(30,30)
0003      WRITE(7,1)
0004      1  FORMAT(' ENTRE COM A ORDEM DA MATRIZ "A"')
0005      READ(5,2)N
0006      2  FORMAT(4I4)
0007      WRITE(7,4)
0008      4  FORMAT(' A MATRIZ A JA ESTA GRAVADA EM DISCO? 1-SIM, 0-NAO',
1' 2-SERA MONTADA')
0009      READ(5,2)IXA
0010      IF(IXA.EQ.0) GO TO 200
0012      IF(IXA.EQ.1) GO TO 203
0014      CALL DATAIN(A)
0015      GO TO 2203
0016      203 NREG=1
0017      DO 103 I=1,N
0018      READ(NARQ,NREG)(A(I,J),J=1,N)
0019      103 CONTINUE
0020      GO TO 2203
0021      200 WRITE(7,5)
0022      5  FORMAT(' ENTRE COM A MATRIZ A')
0023      DO 100 I=1,N
0024      WRITE(7,6)I
0025      6  FORMAT(' ENTRE COM A LINHA',I3,', ' 8 ELEM. P/ LINHA')
0026      100 READ(5,8)(A(I,J),J=1,N)
0027      8  FORMAT(8E10.3)
0028      2203 WRITE(7,9)
0029      9  FORMAT(' DESEJA CONFERIR A? 0-NAO,6-LP,7-TT')
0030      READ(5,2)NREG
0031      IF(NREG.EQ.0) GO TO 201
0033      WRITE(NREG,10)
0034      10  FORMAT(/,T10,'MATRIZ A')
0035      DO 101 I=1,N
0036      101 WRITE(NREG,11)I,(A(I,J),J=1,N)
0037      11  FORMAT(' LINHA',I3,', ':',8(F12.5,1X)/T11,8(F12.5,1X)/
1T11,8(F12.5,1X)/T11,8(F12.5,1X)/T11,8(F12.5,1X))
0038      REWIND NREG
0039      201 WRITE(7,12)
0040      12  FORMAT(' DESEJA ALTERAR ELEMENTOS DA MATRIZ? 1-SIM,0-NAO')
0041      READ(5,2)I
0042      IF(I.EQ.0) GO TO 202
0044      204 WRITE(7,13)
0045      13  FORMAT(' ENTRE COM I, J E ELEM. PARAR <CR>')
0046      READ(5,14)I,J,AUX
0047      14  FORMAT(2I4,E12.0)
0048      IF(I.EQ.0) GO TO 2203
0050      A(I,J)=AUX
0051      GO TO 204
0052      202 WRITE(7,17)
0053      17  FORMAT(' DESEJA GRAVAR EM DX1 "A"? 1-SIM, 0-NAO')
0054      READ(5,2)IXA
```

```
0055      IF(IXA.EQ.0) GO TO 205
0057      NREG=1
0058      DO 102 I=1,N
0059 102    WRITE(NARQ,NREG)(A(I,J),J=1,N)
0060 205    RETURN
0061      END
```

FORTRAN IV STORAGE MAP

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
A	000016	REAL*8 PARAMETER ARRAY (30,30) VECTORED
N	000014	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
NARQ	000020	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
NREG	000022	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
IXA	001010	INTEGER*2 VARIABLE
DATAIN	000000	REAL*4 PROCEDURE
I	001012	INTEGER*2 VARIABLE
J	001014	INTEGER*2 VARIABLE
AUX	001016	REAL*4 VARIABLE

```

0001      SUBROUTINE DATAIN(A)
          C
          C      SUBROTINA PARA MONTAR MATRIZ "A" PARA O PROGRAMA PPAUT
          C      CONSIDERA "N" SUBMATRIZES COLOCADAS NA DIAGONAL
          C
0002      REAL*8 A(30,30)
0003      NARQ=0
0004      201  WRITE(7,1)
0005      1    FORMAT(' ENTRE COM ORDEM E NUM. DA LINHA DO PRIM.',
1'ELEM. DA SUBMATRIZ. PARAR <CR>')
0006      READ(5,2)L,K
0007      2    FORMAT(4I4)
0008      IF(L.EQ.0) RETURN
0010      WRITE(7,3)
0011      3    FORMAT(' ENTRE NUM. LOGICO ARQUIVO SUBMATRIZ')
0012      READ(5,2)M
0013      IF(M.EQ.NARQ) GO TO 200
0015      NARQ=M
0016      DEFINE FILE NARQ(11,44,U,M)
0017      M=1
0018      200  DO 100 I=K,L+K-1
0019      100  READ(NARQ,M)(A(I,J),J=K,L+K-1)
0020      GO TO 201
0021      END

```

FORTRAN IV

STORAGE MAP

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
A	000014	REAL*8 PARAMETER ARRAY (30,30) VECTORED
NARQ	000312	INTEGER*2 VARIABLE
L	000314	INTEGER*2 VARIABLE
K	000316	INTEGER*2 VARIABLE
M	000320	INTEGER*2 VARIABLE
I	000322	INTEGER*2 VARIABLE
J	000324	INTEGER*2 VARIABLE

```
0001      SUBROUTINE SAIDA(N,EVR,EVI,INDIC)
      C
      C      SAIDA DE RESULTADOS DA DETERMINACAO DE AUTOVALORES
      C
0002      REAL*8 EVR(30),EVI(30)
0003      INTEGER INDIC(30)
0004      IY=1
0005      WRITE(7,1)
0006      1  FORMAT(' DESEJA A IMPRESSAO DOS RESULTADOS EM: 7-TT',
1' 6-LF, 0-AMBOS')
0007      READ(5,2)IX
0008      2  FORMAT(I4)
0009      IF(IX.NE.0) GO TO 4
0011      IY=IX
0012      IX=7
0013      4  DO 1022 I=1,N
0014          IF(INDIC(1).EQ.0) GO TO 144
0016          WRITE(IX,15)I,EVR(I),EVI(I)
0017      15  FORMAT(' AUTOVALOR',I3,' = ',F12.6,'+J(',F12.6,')')
0018          IF(DABS(EVR(I)).LE..09D0) WRITE(IX,3)EVR(I)
0020      3  FORMAT(1H+,T49,'PARTE REAL = ',E14.7)
0021          GO TO 1022
0022      144  WRITE(IX,16)I
0023      16  FORMAT(' O AUTOVALOR',I3,' NAO FOI DETERMINADO')
0024      1022 CONTINUE
0025      IF(IX.EQ.6) REWIND 6
0027      IF(IY.EQ.1) RETURN
0029      IY=1
0030      IX=6
0031      GO TO 4
0032      END
```

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
EVR	000016	REAL*8 PARAMETER ARRAY (30)
EVI	000020	REAL*8 PARAMETER ARRAY (30)
INDIC	000022	INTEGER*2 PARAMETER ARRAY (30)
N	000014	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
IY	000302	INTEGER*2 VARIABLE
IX	000304	INTEGER*2 VARIABLE
I	000306	INTEGER*2 VARIABLE
UABS	000000	REAL*8 PROCEDURE

0001 SUBROUTINE EIGVAL(A,N,EVR,EVI,ISCALE,INDIC) A.75
0002 IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
0003 INTEGER T
0004 DIMENSION A(30,30),WA(30,30),W(30),EVR(30),EVI(30),INDIC(30)

C
C SUBROTINA EIGVAL - OBJETIVO: ENCONTRAR TODOS OS AUTOVALORES DE
C UMA MATRIZ REAL QUALQUER
C DESCRICAO DOS PARAMETROS:
C ENTRADA - N- ORDEM DA MATRIZ
C NM- PRIMEIRA DIMENSAO DOS ARRANJOS DUPLAMENTE INDEXADOS
C N- SEGUNDA DIMENSAO
C A- MATRIZ DE ORDEM N (DESTRUIDA)
C ISCALE- ISCALE=1 SE A MATRIZ A DEVE SER ESCALONADA
C ISCALE=0 SE A MATRIZ NAO DEVE SER ESCALONADA
C T- O NUMERO DE BITS NA MANTISSA DE A /NUMERO DE PONTO FLUTUANTE
C SAIDA EVR- PARTE REAL OS N AUTOVALORES
C EVI- PARTE IMAGINARIA
C INDIC - INDICA O SUCESSO DA SUBROTINA COMO SEGUE:
C INDIC(I)=0 AUTOVALOR I NAO ENCONTRADO
C INDIC(I)=1 AUTOVALOR I ENCONTRADO

C
C SUBPROGRAMAS CHAMADOS: EIGSC1,HESQR

C
C METODO: PRIMEIRAMENTE, NA SUBROTINA EIGSC1, A MATRIZ E' ECALONA
C DE TAL FORMA QUE AS LINHAS E COLUNAS CORRESPONDENTES SAO
C APROXIMADAMENTE BALANCEADAS E ENTAO A MATRIZ E' NORMALIZADA DE
C QUE O VALOR DA NORMA EUCLIDIANA DA MATRIZ E' IGUAL A UM. OS AUT
C SAO CALCULADOS PELO METODO QR DUPLO PASSO NA SUBROTINA HESQR

C
C REFERENCE:

C WILKINSON,J.H.(1965)- THE ALGEBRAIC EIGVALUE PROBLEM
C OXFORD, CLAREDON PRESS
C J. GRAD AND M.A. BREBNER - COMMUNICATIONS OF THE ACM, VOL. 11,
C NO.12, DEC 1968

C
C LINGUAGEM: FORTRAN

C
C AUTOR: J.GRAD AND M.A.BREBNER

C
C REVISADA POR: D. W. RISCHMILLER, MARCO DE 1971

C
0005 T=40
0006 IF(N.NE.1) GO TO 1
0008 EVR(1)=A(1,1)
0009 EVI(1)=0.000
0010 INDIC(1)=1
0011 GO TO 25
C
0012 1 IF(ISCALE.EQ.1) GO TO 2
0014 GO TO 3
C
0015 2 CALL EIGSC1(N,A,WA,ENORM)
C
C CALCULO DOS AUTOVALORES DA MATRIZ NORMALIZADA


```

C
0016 3 EX=DEXP(-T*DLOG(2.0D0))
0017 CALL HESQR(N,A,WA,EVR,EVI,W,INDIC,EPS,EX)
0018 IF(ISCALE.EQ.0) GO TO 25
0020 KON=1
0021 DO 24 I=1,N
0022 IF(INDIC(I).EQ.0) GO TO 24
0024 L=0
0025 IF(EVI(I).EQ.0.0D0) GO TO 16
0027 L=1
0028 IF(KON.EQ.0) GO TO 16
0030 KON=0
0031 GO TO 24

C
C CALCULO DOS AUTOVALORES DA MATRIZ ORIGINAL - NON NORMALIZADA
C
0032 16 IF(L.EQ.1) GO TO 21
0034 EVR(I)=EVR(I)*ENORM
0035 GO TO 24

C
0036 21 KON=1
0037 EVR(I)=EVR(I)*ENORM
0038 EVR(I-1)=EVR(I)
0039 EVI(I)=EVI(I)*ENORM
0040 EVI(I-1)=-EVI(I)
0041 24 CONTINUE
0042 25 RETURN
0043 END

```

FORTRAN IV

STORAGE MAP

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
A	000014	REAL*8 PARAMETER ARRAY (30,30) VECTORED
WA	000030	REAL*8 ARRAY (30,30) VECTORED
W	016070	REAL*8 ARRAY (30)
EVR	000020	REAL*8 PARAMETER ARRAY (30)
EVI	000022	REAL*8 PARAMETER ARRAY (30)
INDIC	000026	INTEGER*2 PARAMETER ARRAY (30)
N	000016	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
ISCALE	000024	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
T	016554	INTEGER*2 VARIABLE
EIGSC1	000000	REAL*8 PROCEDURE
ENORM	016556	REAL*8 VARIABLE
EX	016566	REAL*8 VARIABLE
DEXP	000000	REAL*8 PROCEDURE
DLOG	000000	REAL*8 PROCEDURE
HESQR	000000	REAL*8 PROCEDURE
EPS	016576	REAL*8 VARIABLE
KON	016606	INTEGER*2 VARIABLE
I	016610	INTEGER*2 VARIABLE
L	016612	INTEGER*2 VARIABLE


```
0007 2 M=N-2
0008 DO 12 K=1,M
0009 L=K+1
0010 S=0.0D0
0011 DO 3 I=L,N
0012 H(I,K)=A(I,K)
0013 3 S=S+DABS(A(I,K))
0014 IF(S.NE.DABS(A(K+1,K))) GO TO 4
0015 SUBDIA(K)=A(K+1,K)
0016 H(K+1,K)=0.0D0
0017 GO TO 12
0018
0019 4 SR2=0.0D0
0020 DO 5 I=L,N
0021 SR=A(I,K)
0022 SR=SR/S
0023 A(I,K)=SR
0024 5 SR2=SR2+SR*SR
0025 SR=DSQRT(SR2)
0026 IF(A(L,K).LT.0.0D0) GO TO 6
0027 SR=-SR
0028
0029 6 SR2=SR2-SR*A(L,K)
0030 A(L,K)=A(L,K)-SR
0031 H(L,K)=H(L,K)-SR*S
0032 SUBDIA(K)=SR*S
0033 X=S*DSQRT(SR2)
0034 DO 7 I=L,N
0035 H(I,K)=H(I,K)/X
0036 7 SUBDIA(I)=A(I,K)/SR2
C
C PREMULTIPLICACAO PELA MATRIZ PR
C
0037 DO 9 J=L,N
0038 SR=0.0D0
0039 DO 8 I=L,N
0040 8 SR=SR+A(I,K)*A(I,J)
0041 DO 9 I=L,N
0042 9 A(I,J)=A(I,J)-SUBDIA(I)*SR
C POSTMULTIPLICACAO PELA MATRIZ PR
C
0043 DO 11 J=1,N
0044 SR=0.0D0
0045 DO 10 I=L,N
0046 10 SR=SR+A(J,I)*A(I,K)
0047 DO 11 I=L,N
0048 11 A(J,I)=A(J,I)-SUBDIA(I)*SR
0049 12 CONTINUE
0050 DO 13 K=1,M
0051 13 A(K+1,K)=SUBDIA(K)
C
C TRANSFERE A METADE SUPERIOR DA MATRIZ A PARA O ARRANJO H
C E CALCULA O MENOR NUMERO POSITIVO *EPS
C
0052 SUBDIA(N-1)=A(N,N-1)
0053 14 EPS=0.0D0
```

```
0054      DO 15 K=1,N
0055      INDIC(K)=0
0056      IF(K.NE.N)EPS=EPS+SUBDIA(K)**2
0058      DO 15 I=K,N
0059      H(K,I)=A(K,I)
0060 15     EPS=EPS+A(K,I)**2
0061      EPS=EX*ISQRT(EPS)
      C
      C      PROCESSO QR ITERATIVO A MATRIZ H UPPER-HESSENBERGER E' REDUZIDA
      C      TRIANGULAR SUPERIOR MODIFICADA
      C
      C      DETERMINACAO DO DESVIO DA ORIGEM PARA O PRIMEIRO PASSO DO PROCESSO
      C      ITERATIVO
0062      SHIFT=A(N,N-1)
0063      IF(N.LE.2) SHIFT=0.000
0065      IF(A(N,N).NE.0.000) SHIFT=0.000
0067      IF(A(N-1,N).NE.0.000) SHIFT=0.000
0069      IF(A(N-1,N-1).NE.0.000) SHIFT=0.000
0071      M=N
0072      NS=0
0073      MAXST=N*10
      C
      C      VERIFICA SE PARTE SUPERIOR DA MATRIZ E' ZERO. SE SIM NAO E' NECESSARIO
      C      O PROCESSO QR
      C
0074      DO 16 I=2,N
0075      DO 16 K=I,N
0076      IF(A(I-1,K).NE.0.000) GO TO 18
0078 16     CONTINUE
0079      DO 17 I=1,N
0080      INDIC(I)=1
0081      EVR(I)=A(I,I)
0082 17     EVI(I)=0.000
0083      GO TO 37
      C
      C      INICIA O LACO PRINCIPAL DO PROCESSO QR
      C
0084 18     K=M-1
0085      M1=K
0086      I=K
      C
      C
      C
0087      IF(K)37,34,19
0088 19     IF(DABS(A(M,K)).LE.EPS) GO TO 34
0090      IF(M-2.EQ.0) GO TO 35
0092 20     I=I-1
0093      IF(DABS(A(K,I)).LE.EPS) GO TO 21
0095      K=I
0096      IF(K.GT.1) GO TO 20
0098 21     IF(K.EQ.M1) GO TO 35
      C
```

```
C      TRANSFORMACAO DA MATRIZ DE ORDEM MAIOR QIE 2
C
0100      S=A(M,M)+A(M1,M1)+SHIFT
0101      SR=A(M,M)*A(M1,M1)-A(M,M1)*A(M1,M)+0.25*SHIFT**2
0102      A(K+2,K)=0.000

C
C      CALCULATE X1,Y1,Z1 PARA A SUBMATRIZ OBTIDA PELA DECOMPOSICAO
C
0103      X=A(K,K)*(A(K,K)-S)+A(K,K+1)*A(K+1,K)+SR
0104      Y=A(K+1,K)*(A(K,K)+A(K+1,K+1)-S)
0105      R=DABS(X)+DABS(Y)
0106      IF(R.EQ.0.000) SHIFT=A(M,M-1)
0108      IF(R.EQ.0.000) GO TO 21
0110      Z=A(K+2,K+1)*A(K+1,K)
0111      SHIFT=0.000
0112      NS=NS+1

C
C      O LACO PARA UM PASSO DO PROCESSO "QR"
C
0113      DO 33 I=K,M1
0114      IF(I.EQ.K) GO TO 22

C
C      CALCULA XR,YR,ZR
C
0116      X=A(I,I-1)
0117      Y=A(I+1,I-1)
0118      Z=0.000
0119      IF(I+2.GT.M) GO TO 22
0121      Z=A(I+2,I-1)
0122  22  SR2=DABS(X)+DABS(Y)+DABS(Z)
0123      IF(SR2.EQ.0.000) GO TO 23
0125      X=X/SR2
0126      Y=Y/SR2
0127      Z=Z/SR2
0128  23  S=DSQRT(X*X+Y*Y+Z*Z)
0129      IF(X.LT.0.000) GO TO 24
0131      S=-S
0132  24  IF(I.EQ.K) GO TO 25
0134      A(I,I-1)=S*SR2
0135  25  IF(SR2.NE.0.000) GO TO 26
0137      IF(I+3.GT.M) GO TO 33
0139      GO TO 32
0140  26  SR=1.000-X/S
0141      S=X-S
0142      X=Y/S
0143      Y=Z/S

C
C      PREMULTIPLICACAO PELA MATRIZ PR
C
0144      DO 28 J=I,M
0145      S=A(I,J)+A(I+1,J)*X
0146      IF(I+2.GT.M) GO TO 27
0148      S=S+A(I+2,J)*Y
0149  27  S=S*SR
```

```
0150      A(I,J)=A(I,J)-S
0151      A(I+1,J)=A(I+1,J)-S*X
0152      IF(I+2.GT.M) GO TO 28
0154      A(I+2,J)=A(I+2,J)-S*Y
0155  28    CONTINUE
      C
      C      POS-MULTIPLICACAO PELA MATRIZ PR
      C
0156      L=I+2
0157      IF(I.LT.M1) GO TO 29
0159      L=M
0160  29    DO 31 J=K,L
0161          S=A(J,I)+A(J,I+1)*X
0162          IF(I+2.GT.M) GO TO 30
0164          S=S+A(J,I+2)*Y
0165  30    S=S*SR
0166          A(J,I)=A(J,I)-S
0167          A(J,I+1)=A(J,I+1)-S*X
0168          IF(I+2.GT.M) GO TO 31
0170          A(J,I+2)=A(J,I+2)-S*Y
0171  31    CONTINUE
0172          IF(I+3.GT.M) GO TO 33
0174          S=-A(I+3,I+2)*Y*SR
0175  32    A(I+3,I)=S
0176          A(I+3,I+1)=S*X
0177          A(I+3,I+2)=S*Y+A(I+3,I+2)
0178  33    CONTINUE
      C
0179      IF(NS.GT.MAXST) GO TO 37
0181      GO TO 18
      C
      C      CALCULA O ULTIMO AUTOVALOR
      C
0182  34    EVR(M)=A(M,M)
0183          EVI(M)=0.000
0184          INDIC(M)=1
0185          M=K
0186          GO TO 18
      C
      C      CALCULA OS AUTOVALORES DA ULTIMA MATRIZ 2X2 OBTIDA POR DECOMPOS
      C
0187  35    R=0.500*(A(K,K)+A(M,M))
0188          S=0.500*(A(M,M)-A(K,K))
0189          S=S*S+A(K,M)*A(M,K)
0190          INDIC(K)=1
0191          INDIC(M)=1
0192          IF(S.LT.0.000) GO TO 36
0194          T=DSQRT(S)
0195          EVR(K)=R-T
0196          EVR(M)=R+T
0197          EVI(K)=0.000
0198          EVI(M)=0.000
0199          M=M-2
0200          GO TO 18
```

```
0150      A(I,J)=A(I,J)-S
0151      A(I+1,J)=A(I+1,J)-S*X
0152      IF(I+2.GT.M) GO TO 28
0154      A(I+2,J)=A(I+2,J)-S*Y
0155  28-  CONTINUE
      C
      C      POS-MULTIPLICACAO PELA MATRIZ PR
      C
0156      L=I+2
0157      IF(I.LT.M1) GO TO 29
0159      L=M
0160  29  DO 31 J=K,L
0161      S=A(J,I)+A(J,I+1)*X
0162      IF(I+2.GT.M) GO TO 30
0164      S=S+A(J,I+2)*Y
0165  30  S=S*SR
0166      A(J,I)=A(J,I)-S
0167      A(J,I+1)=A(J,I+1)-S*X
0168      IF(I+2.GT.M) GO TO 31
0170      A(J,I+2)=A(J,I+2)-S*Y
0171  31  CONTINUE
0172      IF(I+3.GT.M) GO TO 33
0174      S=-A(I+3,I+2)*Y*SR
0175  32  A(I+3,I)=S
0176      A(I+3,I+1)=S*X
0177      A(I+3,I+2)=S*Y+A(I+3,I+2)
0178  33  CONTINUE
      C
0179      IF(NS.GT.MAXST) GO TO 37
0181      GO TO 18
      C
      C      CALCULA O ULTIMO AUTOVALOR
      C
0182  34  EVR(M)=A(M,M)
0183      EVI(M)=0.000
0184      INDIC(M)=1
0185      M=K
0186      GO TO 18
      C
      C      CALCULA OS AUTOVALORES DA ULTIMA MATRIZ 2X2 OBTIDA POR DECOMPOS
      C
0187  35  R=0.500*(A(K,K)+A(M,M))
0188      S=0.500*(A(M,M)-A(K,K))
0189      S=S*S+A(K,M)*A(M,K)
0190      INDIC(K)=1
0191      INDIC(M)=1
0192      IF(S.LT.0.000) GO TO 36
0194      T=DSQRT(S)
0195      EVR(K)=R-T
0196      EVR(M)=R+T
0197      EVI(K)=0.000
0198      EVI(M)=0.000
0199      M=M-2
0200      GO TO 18
```

```
0201 36 T=DSQRT(-S)
0202     EVR(K)=R
0203     EVI(K)=T
0204     EVR(M)=R
0205     EVI(M)=-T
0206     M=M-2
0207     GO TO 18
0208 37 RETURN
0209     END
```


FORTRAN IV STORAGE MAP

A.83

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
A	000016	REAL*8 PARAMETER ARRAY (30,30) VECTORED
H	000020	REAL*8 PARAMETER ARRAY (30,30) VECTORED
EVR	000022	REAL*8 PARAMETER ARRAY (30)
EVI	000024	REAL*8 PARAMETER ARRAY (30)
SUBDIA	000026	REAL*8 PARAMETER ARRAY (30)
INDIC	000030	INTEGER*2 PARAMETER ARRAY (30)
N	000014	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
EPS	000032	REAL*8 PARAMETER VARIABLE
EX	000034	REAL*8 PARAMETER VARIABLE
M	000132	INTEGER*2 VARIABLE
K	000134	INTEGER*2 VARIABLE
L	000136	INTEGER*2 VARIABLE
S	000140	REAL*8 VARIABLE
I	000150	INTEGER*2 VARIABLE
DABS	000000	REAL*8 PROCEDURE
SR2	000152	REAL*8 VARIABLE
SR	000162	REAL*8 VARIABLE
DSQRT	000000	REAL*8 PROCEDURE
X	000172	REAL*8 VARIABLE
J	000202	INTEGER*2 VARIABLE
SHIFT	000204	REAL*8 VARIABLE
NS	000214	INTEGER*2 VARIABLE
MAXST	000216	INTEGER*2 VARIABLE
M1	000220	INTEGER*2 VARIABLE
Y	000222	REAL*8 VARIABLE
R	000232	REAL*8 VARIABLE
Z	000242	REAL*8 VARIABLE
T	000252	REAL*8 VARIABLE

```

0001 SUBROUTINE EIGSC1(N,A,H,ENORM)
0002 IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
0003 DIMENSION A(30,30),H(30,30)

```

```

C
C SUBROUTINE ET8SC1, CHAMADA PELA SUBROTINA EIGVAL
C OBJETIVO: ESCALONAR UMA MATRIZ

```

```

C DESCRICAO DOS PARAMETROS:

```

```

C ENTRADA: N- OREDEM DA MATRIZ A SER ESCALONADA
C NM- O PRIMEIRO DIMENSION DOS ARRANJOS DUPLAMENTE SUBSCRI-
C TADOS A E H. O SEGUNDO DIM. E' PELO MENOS N

```

```

C SAIDA: ENORM- OS AUTOVALORES DA MATRIZ ESCALONADA PRECISAM
C SER MULTIPLICADOS
C PELO ESCALAR ENORM A FIM DE SE OBTER OS AUTOVALORES DA
C MATRIZ NAO ESCALONADA
C SE ENORM=1.000 ENTAO "A" NAO FOI ESCALONADA

```

```

C ENTRADA E SAIDA: A- INICIALMENTE , "A" E' A MATRIZ A SER ESCALO-
C NO RETURN, OU "A" ESTA' ESCALONADA OU INALTERADA
C (VEJA DESCRICAO DO METODO
C AUXILIAR: H- ARRANJO BI-INDEXADO PARA ARMAZENAR "A"

```

```

C SUBPROGRAMAS CHAMADOS: NENHUM

```

```

C METODO:

```

```

C PRIMEIRAMENTE "A" E' ARMAZENADA EM "H". ENTAO "A" E' ESCALONADA
C TAL FORMA QUE O QUOCIENTE DO VALOR ABSOLUTODA SOMA DOS ELEMENTO
C FORA DA DIAGONALIA COLUNA I PELO VALOR ABSOLUTO
C DA SOMA DOS ELEMENTOS FORA DA DIAGONAL DA LINHA "I"CAIAM DENTRO
C DOS LIMITES DADOS POR: [0.75,1.33]. APOS A MATRIZ
C SER ESCALONADA, ELA E' NORMALIZADA DE TAL FORMA QUE O
C VALOR DA NORMA EUCLIDIANA SEJA 1. SEOPROCESSO DE ESCALONADMENT
C MAIS DE 30 ITERACOES, O PROCESSO FALHA E H E' ARMazenADA NOVAME
C REFERENCE:

```

```

C J. GRAD E M.A. BREGNER - COMMUNICATIONS OF THE ACM, VOL. 11
C NO. 12, DEC.1968

```

```

C LINGUAGEM: FORTRAN

```

```

C AUTOR: J. GRAD E M.A. BREGNER

```

```

C CONFERIDA POR D.W. RICHMILLER, MARCO?71

```

```

0004 DO 1 I=1,N
0005 DO 1 J=1,N
0006 1 H(I,J)=A(I,J)
0007 BOUND1=0.75D0
0008 BOUND2=1.33D0
0009 ITER=0
0010 3 NCOUNT=0
0011 DO 8 I=1,N
0012 COLUMN=0.00D0
0013 ROW=0.00D0

```

```
0014      DO 4 J=1,N
0015      IF(I.EQ.J) GO TO 4
0017      COLUMN=COLUMN+DABS(A(J,I))
0018      ROW=ROW+DABS(A(I,J))
0019  4     CONTINUE
0020      IF(COLUMN.EQ.0.DO) GO TO 5
0022      IF(ROW.EQ.0.DO) GO TO 5
0024      Q=COLUMN/ROW
0025      IF(Q.LT.BOUND1) GO TO 6
0027      IF(Q.GT.BOUND2) GO TO 6
0029  5     NCOUNT=NCOUNT+1
0030      GO TO 8
0031  6     FACTOR=DSQRT(Q)
0032      DO 7 J=1,N
0033      IF(I.EQ.J) GO TO 7
0035      A(I,J)=A(I,J)*FACTOR
0036      A(J,I)=A(J,I)/FACTOR
0037  7     CONTINUE
0038  8     CONTINUE
0039      ITER=ITER+1
0040      IF(ITER.GT.30) GO TO 11
0042      IF(NCOUNT.LT.N) GO TO 3

C
0044      FNORM=0.DO
0045      DO 9 I=1,N
0046      DO 9 J=1,N
0047      Q=A(I,J)
0048  9     FNORM=FNORM+Q*Q
0049      FNORM=DSQRT(FNORM)
0050      DO 10 I=1,N
0051      DO 10 J=1,N
0052  10    A(I,J)=A(I,J)/FNORM
0053      FNORM=FNORM
0054      GO TO 13
0055  11    DO 12 I=1,N
0056      DO 12 J=1,N
0057  12    A(I,J)=H(I,J)
0058      ENORM=1.DO
0059  13    RETURN
0060      ENM
```

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
A	000016	REAL*8 PARAMETER ARRAY (30,30) VECTORED
H	000020	REAL*8 PARAMETER ARRAY (30,30) VECTORED
N	000014	INTEGER*2 PARAMETER VARIABLE
ENDEM	000022	REAL*8 PARAMETER VARIABLE
I	000130	INTEGER*2 VARIABLE
J	000132	INTEGER*2 VARIABLE
BOUND1	000134	REAL*8 VARIABLE
BOUND2	000144	REAL*8 VARIABLE
ITER	000154	INTEGER*2 VARIABLE
NCOUNT	000156	INTEGER*2 VARIABLE
COLUMN	000160	REAL*8 VARIABLE
ROW	000170	REAL*8 VARIABLE
DABS	000000	REAL*8 PROCEDURE
Q	000200	REAL*8 VARIABLE
FACTOR	000210	REAL*8 VARIABLE
DSQRT	000000	REAL*8 PROCEDURE
FNORM	000220	REAL*8 VARIABLE