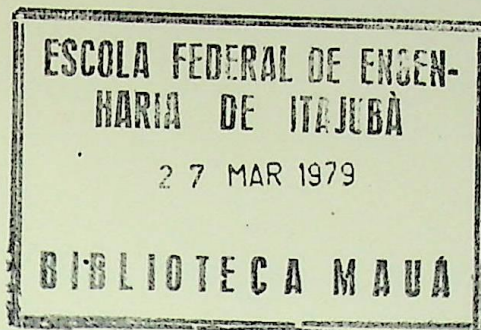


TESE
199



ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

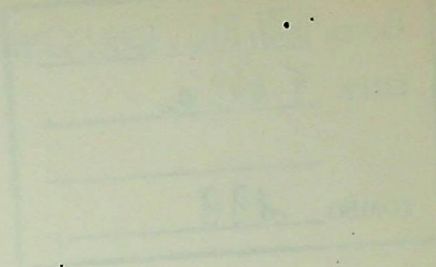


AVALIAÇÃO DA CONVENIÊNCIA DE ENSAIOS DE
VARIAÇÃO DE REFERÊNCIA DE TENSÃO PARA
IDENTIFICAÇÃO DE REGULADORES DE TENSÃO
DE CENTRAIS ELÉTRICAS COMPARATIVAMENTE
A ENSAIOS DE CURTO-CIRCUITO

Siles Paulino de Toledo

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão
de Pós-Graduação da Escola Federal de Engenharia
de Itajubá, como parte dos requisitos para
a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

ITAJUBÁ - 1978



DEDICATÓRIA

A querida esposa ROSANGELA

Ao dileto filho RODRIGO

Deus lhes pague.

CLASS. 621.316.722:621.311.21(043.2)

CUIT. 5 649 a

TOMBO 199

HOMENAGEM

Ao extremoso pai JOÃO PAULINO DE TOLEDO

A mãe exemplar ANNA AUXILIADORA GONÇALVES

Deus lhes pague.

AGRADECIMENTO

Aos orientadores Hélio Mocarzel e José Abel Royo dos Santos

Ao Prof. Waldir de Oliveira

As secretárias Inez, Marcia, Laurinha e Ruth

Ao pessoal do CPS

enfim a todos que me incentivaram

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

Considerações sobre o trabalho

- 1.1 - Objetivo
- 1.2 - Filosofia básica da abordagem
- 1.3 - Considerações sobre a identificação de funções de transferência de reguladores de grupos geradores de usinas hidrelétricas.

CAPÍTULO II

Técnica usada na simulação

- 2.1 - Introdução
- 2.2 - Procedimento aplicado
 - 2.2.1 - Escolha de modelos
 - 2.2.2 - Eliminação de Loop Algébrico



CAPÍTULO III

Descrição do programa

- 3.1 - Sistema Simulado
- 3.2 - Opções de utilização do programa
- 3.3 - Operações realizadas pelo programa
- 3.4 - Descrição do programa e de suas subrotinas
- 3.5 - Fluxograma simplificado do programa principal
- 3.6 - Valores dos parâmetros usados
 - 3.6.1 - Sistema de Excitação
 - 3.6.2 - Máquina Síncrona de Polos Salientes com Amortecedor
 - 3.6.3 - Sistema de Controle da Turbina
 - 3.6.4 - Linha de Transmissão
- 3.7 - Equivalência dos símbolos usados no programa.

CAPÍTULO IV

Cálculo das condições iniciais da máquina segundo as quais são definidas as condições de estado permanente do sistema.

4.1 - Determinação das condições de estado permanente do sistema

4.1.1 - Introdução

4.1.2 - Sistema de Controle da Turbina

4.1.3 - Sistema de Excitação

4.1.4 - Sistema de Geração

CAPÍTULO V

Teste do programa e verificação de sua exatidão

5.1 - Introdução

5.2 - Teste das condições de estado permanente

5.3 - Teste do c.c. trifásico nos terminais da máquina síncrona estando bloqueados os reguladores.

CAPÍTULO VI

Conclusões

CAPÍTULO VII

Considerações finais

APÊNDICES

I) Modelo usado na simulação do sistema de excitação e sua descrição.

II) Equações usadas na simulação da máquina síncrona do sistema, seu circuito equivalente e sua transformação em diagramas de blocos.

III) Modelo usado na simulação do sistema de controle da turbina e sua descrição.

IV) Substituição de blocos integradores compostos por blocos integradores simples adaptados para uso da técnica FACE.

ANEXOS

- I) Listagem do programa e características do sistema.
- II) Verificação do Estado permanente do sistema
- III) Curto circuito nos terminais do gerador mantendo-se bloqueados os reguladores.

BIBLIOGRAFIA

1.1 - FILOSOFIA BÁSICA DA INVESTIGAÇÃO

Este trabalho tem por objetivo estudar o comportamento de um sistema de energia elétrica sob condições de curto-circuito e variação de referência de tensão. Para isso, foram obtidos resultados experimentais e teóricos, sendo que os resultados experimentais foram obtidos através de um sistema de energia elétrica real, e os resultados teóricos foram obtidos através de um modelo matemático do sistema. A comparação entre os resultados obtidos pelos dois métodos mostrou que há uma boa concordância entre eles, confirmando a validade do modelo matemático utilizado.

1.2 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A IDENTIFICAÇÃO DE FUNÇÕES DE TRANSFERÊNCIA DE REGULADORES DE GRUPOS GERADORES DE USINAS HIDROELÉTRICAS

Quando adquiridos pelas companhias concessionárias de geração de energia elétrica os grupos geradores hidrelétricos são acompanhados por especificações dos seus reguladores. Essas especificações, no entanto, refletem a filosofia

CAPÍTULO I

CONSIDERAÇÕES SOBRE O TRABALHO

1.1 - OBJETIVO

Este trabalho faz parte de uma pesquisa que visa a identificação de funções de transferência de reguladores de tensão de grupos geradores de usinas hidroelétricas e tem por objetivo estudar a possibilidade de substituição do ensaio de curto circuito pelo ensaio de variação da referência nos grupos geradores, o que virá facilitar grandemente a identificação dessa função uma vez que a variação da referência nos grupos geradores é uma operação simples que não requer operações nem cálculos complicados enquanto que um ensaio de curto circuito deixa muito a desejar em termos de facilidade de execução.

1.2 - FILOSOFIA BÁSICA DA ABORDAGEM

Nesse trabalho faz-se o estudo de um método iterativo de cálculo de valores de um sistema elétrico composto de geração, linha de transmissão e barramento infinito ao qual se impõe situações de curto circuito e variação de referência após o que procede-se à comparação entre os resultados obtidos pelo processo do curto circuito e os obtidos pelo da variação da referência, concluindo finalmente sobre a viabilidade ou não da substituição do ensaio de curto circuito pelo ensaio de variação da referência.

1.3 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A IDENTIFICAÇÃO DE FUNÇÕES DE TRANSFERÊNCIA DE REGULADORES DE GRUPOS GERADORES DE USINAS HIDROELÉTRICAS

Quando adquiridos pelas companhias concessionárias de geração de energia elétrica os grupos geradores hidroelétricos veem acompanhados das especificações dos seus reguladores. Essas especificações, no entanto, refletem a situação

de projeto desses reguladores, situação essa que desde a saída do equipamento da fábrica sofre modificações devido à uma série de eventos tais como:

- a) Testes de ensaios dos grupos geradores nos quais são feitas alterações nestes grupos alterando seus reguladores e consequentemente suas características originais de projeto.
- b) Ajustes no campo dos grupos geradores durante a vida do equipamento que também alteram as características dos reguladores.
- c) A evolução tecnológica do sistema elétrico bem como seu próprio crescimento físico impõem novas demandas ou refinam as demandas impostas aos reguladores, o que implica na introdução de modificações nesses dispositivos.

Consequentemente os reguladores devem ser ensaiados com uma certa frequência para identificação de suas características reais.

Os métodos utilizados atualmente exigem ensaios onerosos e demorados e perturbam sobremaneira a operação do sistema, prejudicando sua produção.

Conclui-se portanto, que um método que utilize computadores digitais e analise os resultados de um outro tipo de ensaio deva ser mais rápido e menos oneroso que os métodos atuais com a vantagem maior de não implicar em interferências no sistema real.

CAPÍTULO II

TÉCNICA USADA NA SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE POTÊNCIA

2.1 - INTRODUÇÃO

Na elaboração do programa foi largamente usada a Técnica de Simulação FACE (Fortran Analog Computer Equivalent) a qual é um programa de análise digital desenvolvida para soluções, no domínio do tempo, de sistemas dinâmicos e problemas de controle.

O programa usa um algoritmo de integração passo a passo que oferece a chave da simplicidade e facilidade de uso.

2.2 - PROCEDIMENTO APLICADO

2.2.1 - Escolha de Modelos

Os modelos escolhidos são descritos com detalhes nos apêndices 1, 2 e 3.

A partir dos modelos foi feita uma adaptação dos blocos de integração a fim de que se tornasse possível a aplicação da técnica FACE, justificando-se também que a técnica citada necessita de uma apresentação clara e explícita da entrada e saída de cada integrador.

Torna-se importante frisar que a adaptação nos leva a um outro modo de representação sem com isto prejudicar a riqueza de detalhes do modelo não adaptado.

A substituição dos blocos por blocos adaptados é explicado com detalhes no apêndice 4. Feita a substituição teremos o diagrama geral do sistema, já adaptado para a aplicação do FACE, mostrado nas figuras 2.1, 2.2 e 2.3.

2.2.2 - Eliminação de Loop Algébrico

No modelo da máquina síncrona as correntes i_d e i_q (de eixo direto e em quadratura) serão funções de características do sistema objetivando desta forma a eliminação de um loop algébrico que complicaria a execução do programa.

O diagrama vetorial da figura 2.4 nos leva a fazer as seguintes considerações onde MEB é o módulo da tensão no barramento infinito.

Temos do diagrama que:

$$\begin{cases} \text{MEB} \cdot \cos \delta - e_q = i_d \cdot x_e - r_e \cdot i_q \\ \text{MEB} \cdot \sin \delta - e_d = -i_d \cdot r_e + x_e \cdot i_q \end{cases}$$

porém

$$\begin{cases} e_q = e''_q - i_d \cdot x''_d \\ e_d = e''_d + i_q \cdot x''_q \end{cases}$$

logo

$$\begin{cases} \text{MEB} \cdot \cos \delta - e''_q + i_d \cdot x''_d = i_d \cdot x_e - r_e \cdot i_q \\ \text{MEB} \cdot \sin \delta - e''_d - i_q \cdot x''_q = -i_d \cdot r_e + x_e \cdot i_q \end{cases}$$

ou

$$\begin{cases} \text{MEB} \cdot \cos \delta - e''_q = -(x_e + x''_d) i_d - r_e \cdot i_q \\ \text{MEB} \cdot \sin \delta - e''_d = -r_e \cdot i_d + (x_e + x''_q) i_q \end{cases}$$

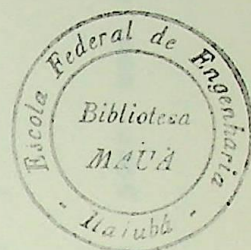
Resolvendo o sistema para i_d e i_q teremos:

$$i_d = \frac{\begin{vmatrix} (\text{MEB} \cdot \cos \delta - e''_q) & -r_e \\ (\text{MEB} \cdot \sin \delta - e''_d) & (x_e + x''_q) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -(x_e + x''_d) & -r_e \\ -r_e & (x_e + x''_q) \end{vmatrix}} \quad \text{logo:}$$

$$i_d = \frac{-[(MEB \cdot \cos \delta - e''_q)(x_e + x''_q) + r_e (MEB \cdot \sin \delta - e''_d)]}{[r_e^2 + (x_e + x''_d)(x_e + x''_q)]} \quad (1)$$

logo

$$i_q = \frac{\begin{vmatrix} -(x_e + x''_d) \cdot (MEB \cdot \cos \delta - e''_q) \\ -r_e \cdot (MEB \cdot \sin \delta - e''_d) \end{vmatrix}}{[r_e^2 + (x_e + x''_d)(x_e + x''_q)]}$$



ou

$$i_q = \frac{[(MEB \cdot \sin \delta - e''_d)(x_e + x''_d) - r_e (MEB \cdot \cos \delta - e''_q)]}{[r_e^2 + (x_e + x''_d)(x_e + x''_q)]} \quad (2)$$

As expressões (1) e (2) nos dão as correntes i_d e i_q eliminando um loop resultante da composição do diagrama da máquina síncrona com o Load-flow que seria necessário a determinação de i_d e i_q .

Para c.c. nos terminais da máquina faríamos $MEB = 0$, $r_e = 0$ e $x_e = 0$.

Para c.c. no barramento infinito faríamos apenas $MEB = 0$.

Fazendo as substituições por zero nas expressões (1) e (2) obteríamos as expressões de i_d e i_q para o c.c. correspondente.

Significado de algumas das variáveis apresentadas:

VAR (20) - ω_0 (Velocidade angular inicial) VAR (22) - Referência de Velocidade do Regulador de Velocidade

VAR (13) p.d. VAR (25) - P_m (Potencia mecânica) VAR (27) - P_e Potencia elétrica

OUT (12) δ (Ângulo de potencia do sistema)

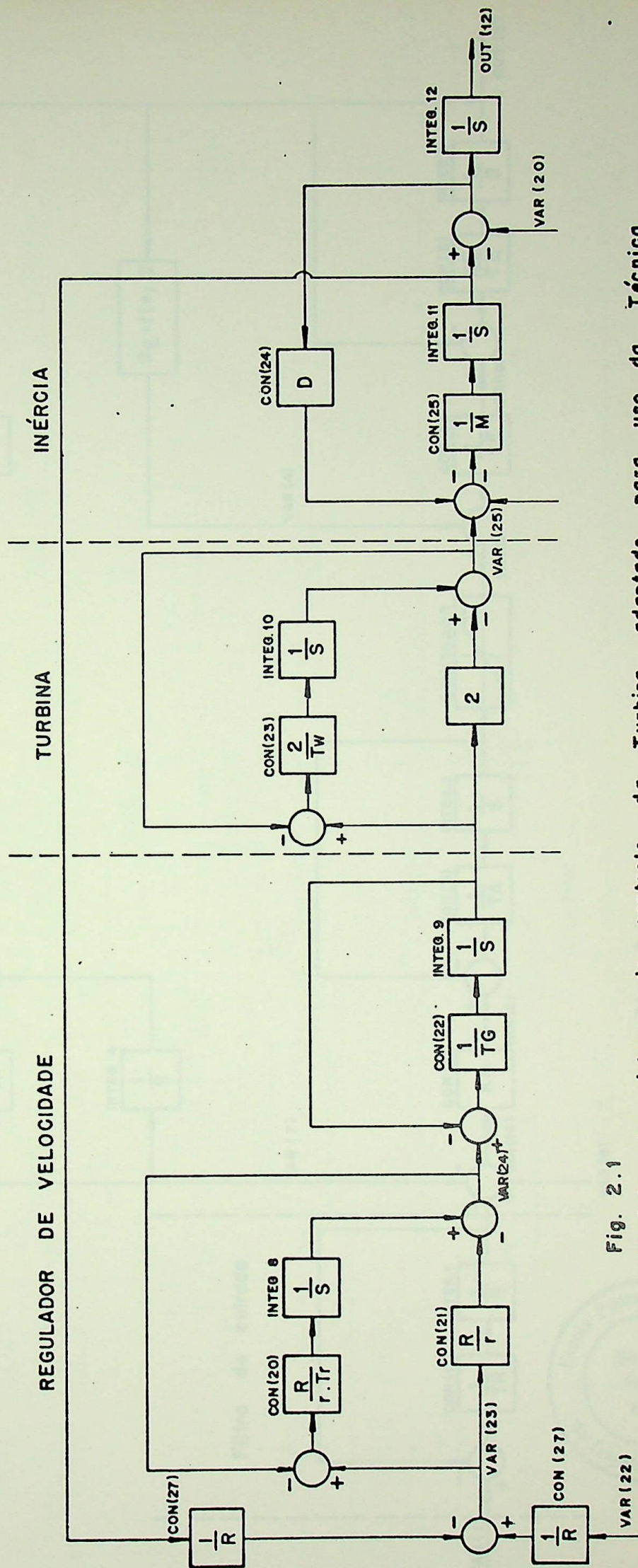


Fig. 2.1 Modelo do sistema de controle da Turbina adaptado para uso da Técnica de Simulação FACE.

Significado de algumas das variáveis apresentadas:
 VAR (1) - ef VAR (14) - Entrada do regulador de tensão VAR (3) - Saída do regulador de tensão
 VAR (6) - Referência de tensão do regulador de tensão OUT (3) - ef d

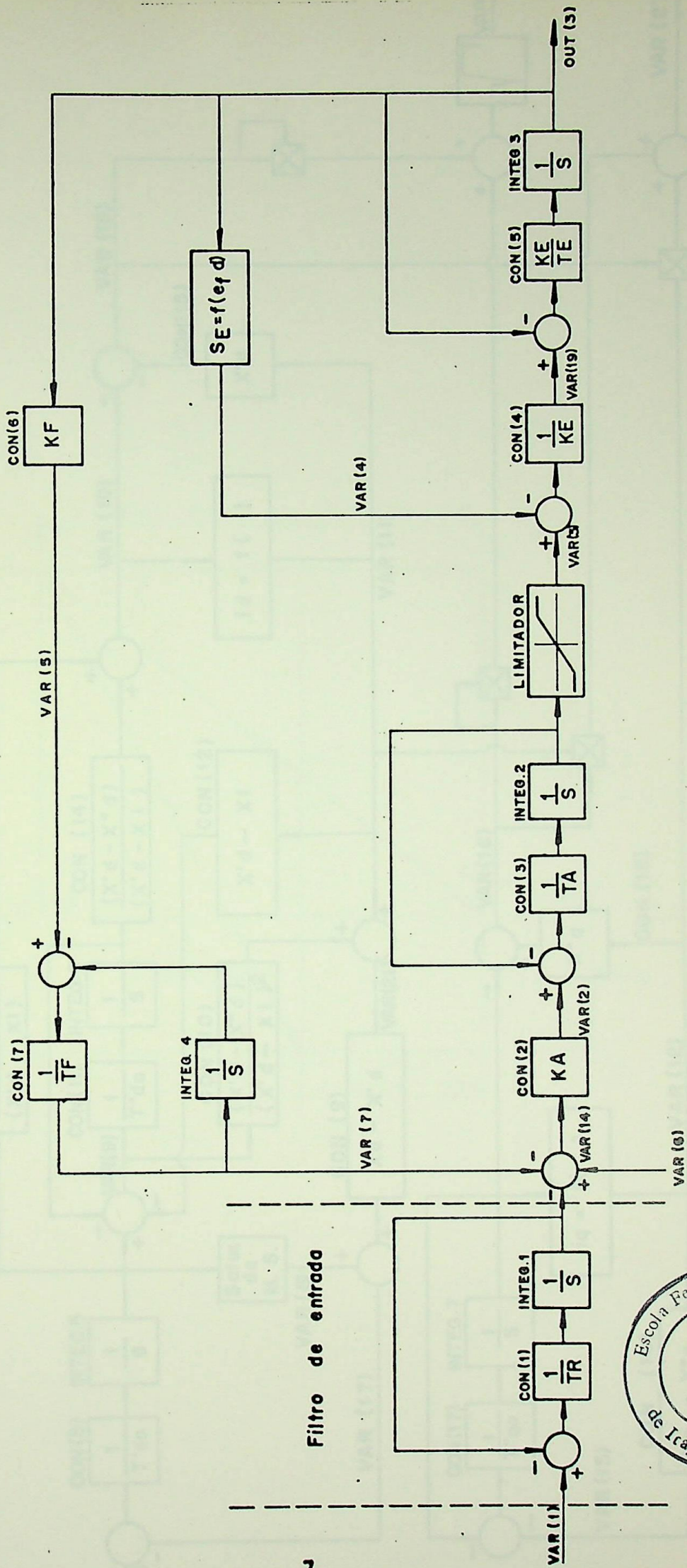
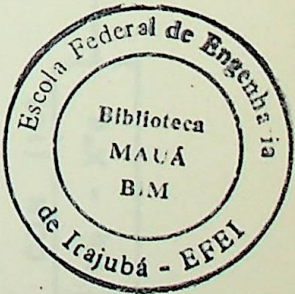


Fig. 2.2
 Modelo do sistema de excitação adaptado para uso da
 técnica de simulação FACE



Significado de algumas das variáveis apresentadas:

$\text{VAR}(10) = \psi''d = e''q$ $\text{VAR}(11) = id$ $\text{VAR}(12) = iq$ $\text{VAR}(16) = ed$

$\text{VAR}(18) = eq$ $\text{OUT}(5) = e'q$ $\text{OUT}(7) = \psi''q = -e''d$

$\text{VAR}(26) = \sqrt{[\text{VAR}(12)]^2 + [\text{VAR}(11)]^2} = \sqrt{iq^2 + id^2} = i$

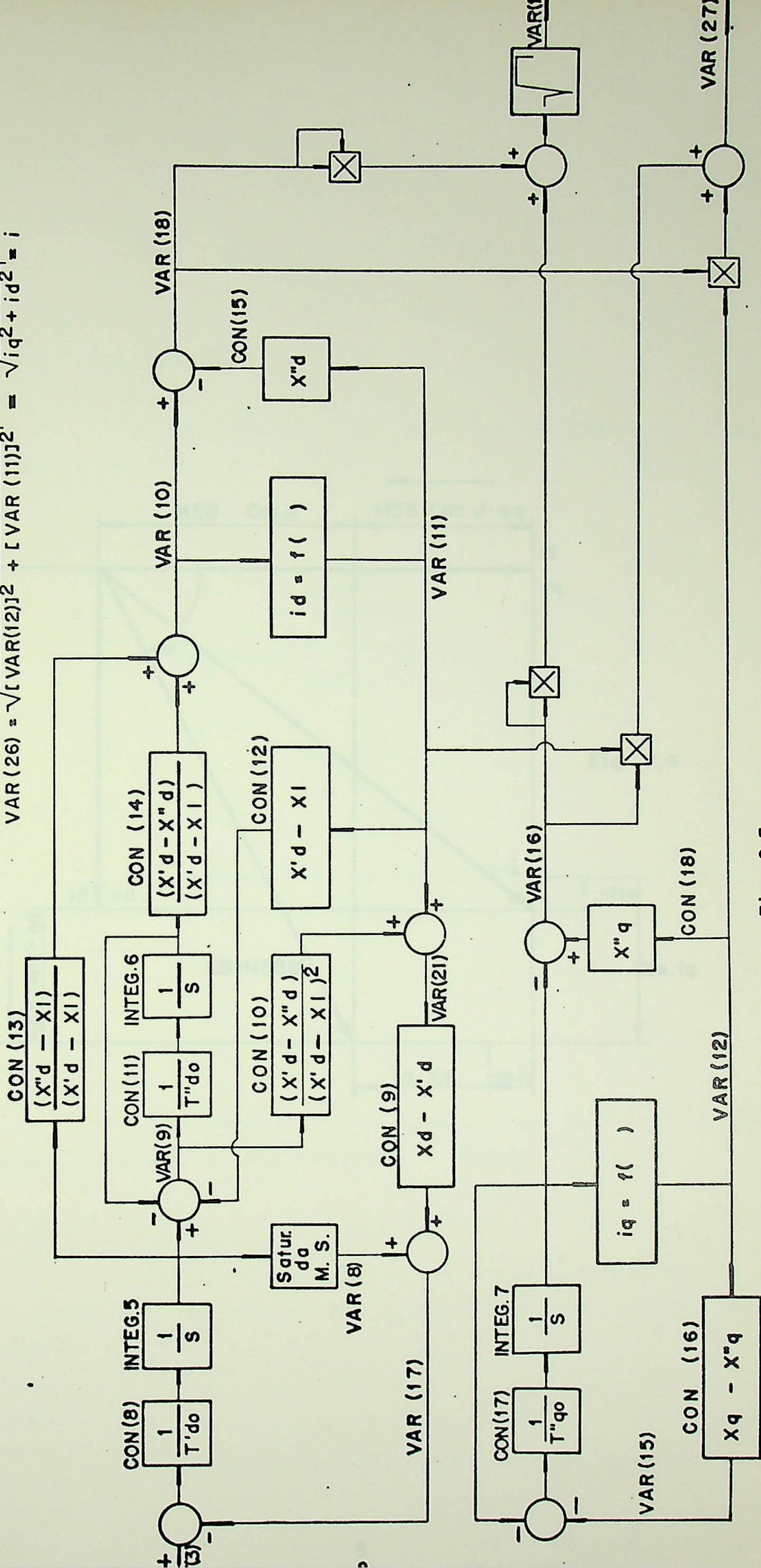


Fig. 2.3

Modelo da Máquina síncrona e linha de transmissão adaptados para aplicação da técnica de simulação FACE.

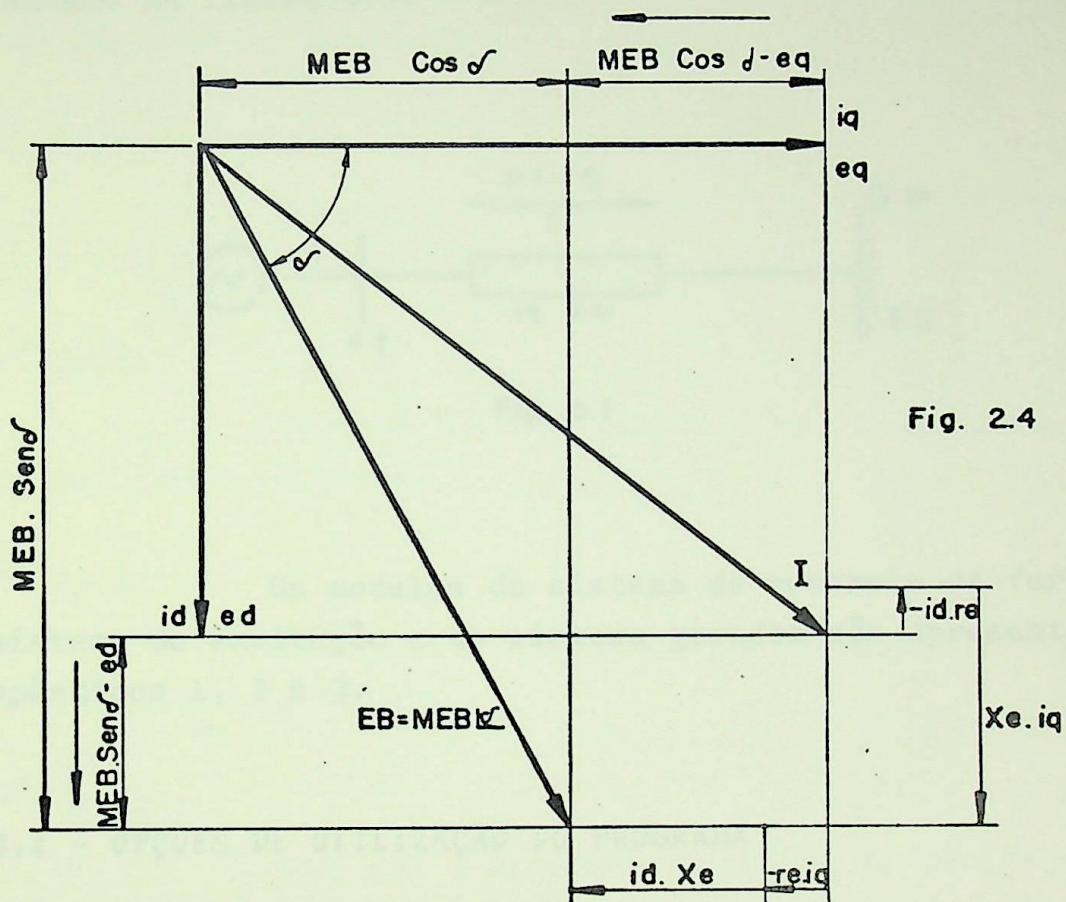


Fig. 2.4

CAPÍTULO III

DESCRIÇÃO DO PROGRAMA

3.1 - SISTEMA SIMULADO

O sistema simulado por este programa é o apresentado na figura 3.1.

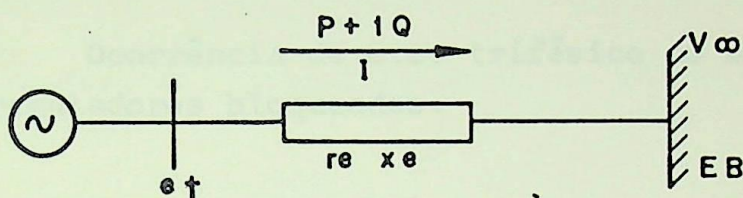


Fig. 3.1

Os modelos do sistema de controle da turbina, do sistema de excitação e do sistema gerador são apresentados nos apêndices 1, 2 e 3.

3.2 - OPÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA

O programa pode ser utilizado de nove maneiras diferentes as quais descreveremos a seguir.

1.^a Opção:

Teste das condições de estado permanente do sistema. Neste caso o sistema não é exposto a nenhum tipo de perturbação.

2.^a Opção:

Ocorrência de curto circuito trifásico no início

da linha.

3^a Opção:

Ocorrência de c.c. trifásico no barramento infinito.

4^a Opção:

Ocorrência de c.c. trifásico no início da linha com reguladores bloqueados.

5^a Opção:

Ocorrência de c.c. trifásico no barramento infinito com reguladores bloqueados.

6^a Opção:

Variação brusca positiva da tensão de referência do regulador de tensão.

7^a Opção:

Variação brusca negativa da tensão de referência do regulador de tensão.

8^a Opção:

Variação não brusca positiva da tensão de referência do regulador de tensão.

9^a Opção:

Variação não brusca negativa da tensão de referência do regulador de tensão.

Notas:

1) Da 2^a à 5^a opção devemos fornecer ao programa o tempo de duração do curto-circuito.

- 2) Nas 6^a e 7^a opções devemos fornecer a percentagem de variação e tempo de permanência da variação da tensão de referência.
- 3) Nas 8^a e 9^a opções deverão ser fornecidos a percentagem de variação da tensão de referência, o número de iterações para se atingir o valor máximo ou mínimo da tensão de referência e o número de iterações para se voltar ao valor original.

3.3 - OPERAÇÕES REALIZADAS PELO PROGRAMA

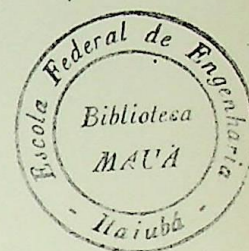
- 3.3.1 - Regressão polinomial da curva de saturação da máquina síncrona.
- 3.3.2 - Leitura da opção do programa, do tempo de c.c., da percentagem de variação da tensão de referência, do tempo de permanência da variação, do número de iterações para se atingir o valor máximo ou mínimo da tensão de referência e do número de iterações para se voltar ao valor original da mesma.
- 3.3.3 - Leitura dos parâmetros do sistema relativos a linha de transmissão, ao sistema de controle da turbina, ao sistema de excitação e a máquina síncrona.
- 3.3.4 - Cálculo das constantes apresentadas no diagrama de blocos descritivo de todo o sistema apresentado nas figuras 2.1, 2.2 e 2.3.
- 3.3.5 - Cálculo das condições iniciais de definição do sistema partindo-se dos valores da tensão terminal da máquina e da potência complexa transmitida.
- 3.3.6 - Fixação do valor da velocidade angular inicial ω_0 .

- 3.3.7 - Cálculo das variáveis, saídas de integradores, referência de tensão e referência de velocidade do sistema em estado permanente antes da ocorrência de qualquer tipo de perturbação.
- 3.3.8 - Determinação das características de plotagem.
- 3.3.9 - Impressão das características do sistema e de cabeçalhos explicativos.
- 3.3.10- Armazenamento dos valores iniciais das funções a serem plotadas ou gravadas.
- 3.3.11- Armazenamento dos valores que deverão ser alterados durante as perturbações, voltando porém ao seu valor original após a eliminação da perturbação.
- 3.3.12- Normalização dos integradores em estado permanente, ou seja, saída dos integradores iguais aos valores armazenados na rotina de integração.
- 3.3.12- Cálculo dos valores máximo e mínimo da tensão de referência no caso das opções para variação da tensão de referência.
- 3.3.14- Verificação do bloqueio ou não dos reguladores de tensão e velocidade.
- 3.3.15- Processo Iterativo.
Constará das seguintes partes:
- a) Contagem de tempo
 - b) Chamada da subrotina que simula o sistema de controle da turbina.
 - c) Chamada da subrotina que simula o sistema de excitação.
 - d) Chamada da subrotina que simula a máquina síncrona e a linha de transmissão.

- e) Rotina de integração FACE.
- f) Verificação do bloqueio ou não dos reguladores.
- g) Verificação da ocorrência ou da extinção das perturbações.
- h) Verificação dos valores a serem plotados.

3.3.16- Plotagem ou gravação dos valores armazenados referentes a variação de funções desejadas.

3.4 - DESCRIÇÃO DO PROGRAMA COM SUAS SUBROTINAS



Programa Principal

Realiza todas as operações não realizadas pelas subrotinas e faz a chamada das mesmas.

Subrotina RP

Faz a regressão polinomial da curva de saturação da máquina.

Subrotina CALCON

Faz o cálculo das constantes.

Subrotina SYST

Determina as condições definidoras do sistema a partir da tensão terminal da máquina, da potência complexa transmitida e da impedância da linha.

Subrotina CISCT1

Determina as condições iniciais do sistema de controle da turbina.

Subrotina CIIEE1

Determina as condições iniciais do sistema de excitação.

Subrotina CIGER1

Determina as condições iniciais da máquina síncrona e do circuito.

Subrotina PLOTAG

Determina as características de plotagem.

Subrotina SCT1

Simula o sistema de Controle da Turbina.

Subrotina IEE1

Simula o sistema de excitação.

Subrotina GER1

Simula a máquina síncrona e circuito.

Subrotina RGPL

Faz a correção de valores através da curva de saturação da máquina síncrona.

Subrotinas REGPOL e GJORD

Usadas na regressão polinomial da curva de saturação da máquina síncrona.

Subrotina IMPRE

Imprime as funções desejadas na forma de tabela ou gráfico.

3.5 - FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO PROGRAMA PRINCIPAL

Apresentado na figura 3.5.1.

3.6 - VALORES DOS PARÂMETROS USADOS

3.6.1 - Sistema de Excitação

TR = 0 KA = 400 TA = 0.05 KE = -0.243
 TE = 0.95 KF = 0.04 TF = 1.0 VRMAX = 4.12
 VRMIN = -4.12

A curva de saturação é dada pela expressão

$$SE = A_1 \cdot e^{B_1 \cdot e_{fd}}$$

onde:

$$A_1 = 0.0245$$

$$B_1 = 1.0276$$

e e_{fd} é a tensão no campo da máquina.

3.6.2 - Máquina Síncrona de Polos Salientes com Amortecedor

$T'_{d0} = 6.55$ $T''_{d0} = 0.039$ $T''_{q0} = 0.071$
 $X_d = 1.014$ $X'_d = 0.314$ $X''_d = 0.28$
 $X_q = 0.77$ $X'_q = 0.77$ $X''_q = 0.375$
 $X_l = 0.163$

O programa determina a equação da curva de saturação da máquina síncrona dados os seguintes pares de valores $E'_q \times X_{ad} \ I_{fd}$

E'_q	0.0	0.72	0.90	1.10	1.35
$X_{ad} \ I_{fd}$	0.0	0.72	1.00	1.44	2.50

3.6.3 - Sistema de Controle da Turbina

$M = 10$ $T_G = 0.5$ $T_\omega = 2$ $D = 2$
 $R = 0.1$ $r = 1.$ $T_r = 14.28$

3.6.4 - Linha de Transmissão

$$r_e = 0.1 \text{ (resist\^encia da L.T.)}$$

$$x_e = 0.4 \text{ (reat\^ancia da L.T.)}$$

3.7 - EQUIVAL\^ENCIA DOS S\^IMBOLOS USADOS NO PROGRAMA

Procuramos dar os verdadeiros nomes das vari\^aveis, as respectivas grandezas do programa, para efeito de programa\~ao.

Apresentaremos as excess\~oes.

$$TLDO - T'_{d0}$$

$$TLLDO - T''_{d0}$$

$$TLLQO - T''_{q0}$$

$$XD - X_d$$

$$XLD - X'_d$$

$$XLLD - X''_d$$

$$XQ - X_q$$

$$XLQ - X'_q$$

$$XLLQ - X''_q$$

$$XM - M$$

$$RMIN - r$$

$$RE - r_e$$

$$XE - X_e$$

$$TRMIN - T_r$$

$$ET - e_t$$

CNR - parte real da pot\^encia transmitida

CNI - parte complexa da pot\^encia transmitida

CN - pot\^encia complexa

MCN - m\^odulo de CN

DELTAN - \^angulo de CN

CI - c\^orrente complexa

MCI - m\^odulo de CI

FI - \^angulo de pot\^encia

DELTAI - ângulo de CI

Z - impedância da linha

EB - tensão complexa do barramento infinito

MEB - módulo de EB

DELTA2 - δ_2 - ângulo de EB

CXQ - JXq

CEQ - tensão E_q complexa

MEQ - módulo de E_q

DELTA1 - δ_1 - ângulo de E_q

DELTA - $\delta = \delta_1 + \delta_2$

ED - e_d EQ - e_q ID - i_d IQ - i_q

EFD - e_{fd} ELLQ - e''_q ELQ - e'_q PDELTA - $p\delta$

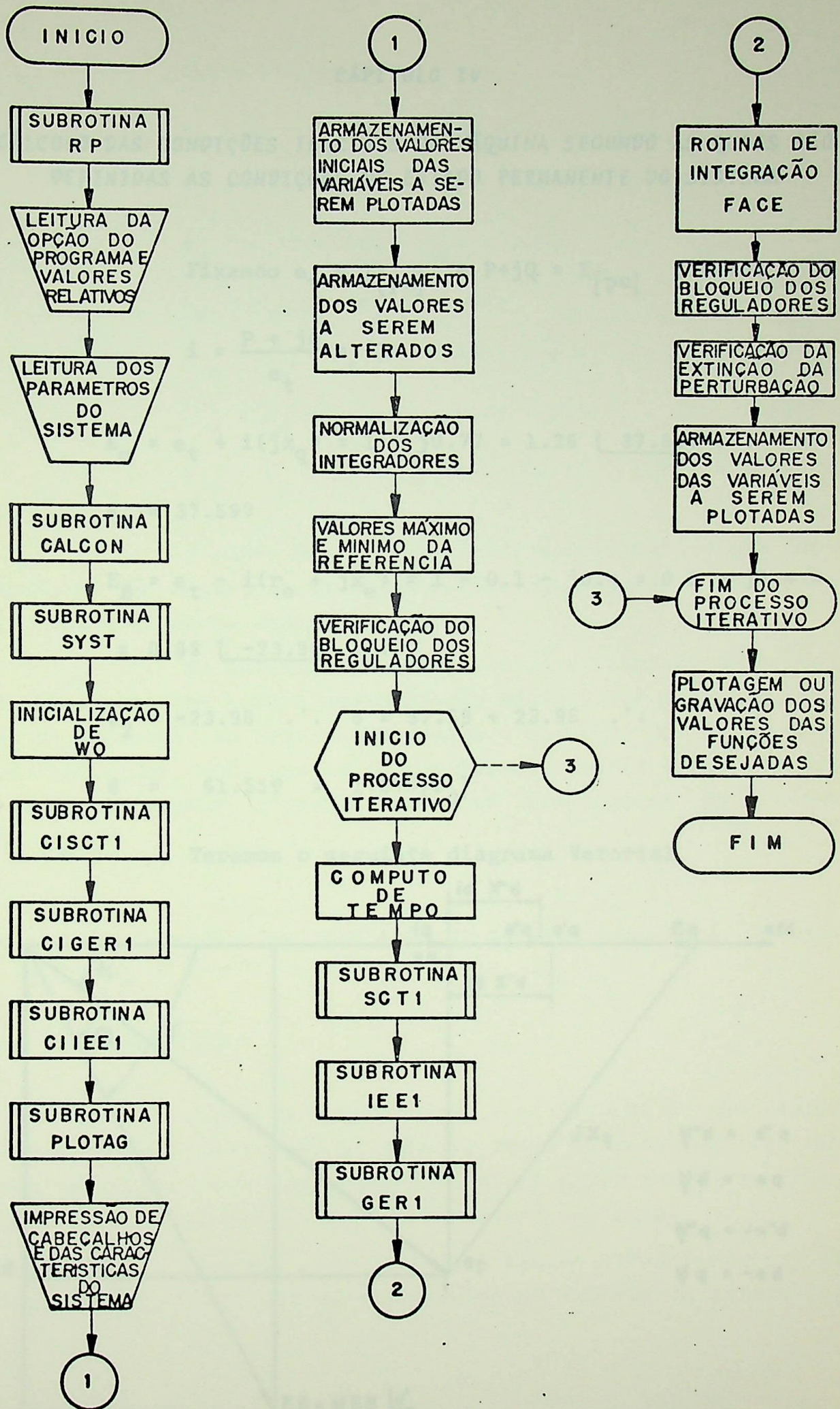
PE - P_e - potência elétrica

OBSERVAÇÃO :-

Os valores dos parâmetros usados foram extraídos de uma bibliografia especializada podendo ser diferentes de um sistema para outro. É óbvio que a alteração de um ou mais parâmetros poderá conduzir à respostas diferentes daquelas obtidas quando da utilização dos valores citados.

Fig. 3.5.1

FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO PROGRAMA



CAPÍTULO IV

CÁLCULO DAS CONDIÇÕES INICIAIS DA MÁQUINA SEGUNDO AS QUAIS SÃO
DEFINIDAS AS CONDIÇÕES DE ESTADO PERMANENTE DO SISTEMA

Fixando $e_t = 1$ [pu] e $P+jQ = 1$ [pu] teremos

$$i = \frac{P + jQ}{e_t} = 1$$

$$E_q = e_t + i(jx_q) = 1 + j0.77 = 1.26 \angle 37.59^\circ \dots$$

$$\delta_1 = 37.59^\circ$$

$$E_B = e_t - i(r_e + jx_e) = 1 - 0.1 - j0.4 = 0.9 - j0.4 =$$

$$= 0.98 \angle -23.96^\circ \dots$$

$$\delta_2 = -23.96^\circ \dots \quad \delta = 37.59 + 23.96 \dots$$

$$\delta = 61.55^\circ = 1.074[r_d]$$

Teremos o seguinte diagrama Vetorial

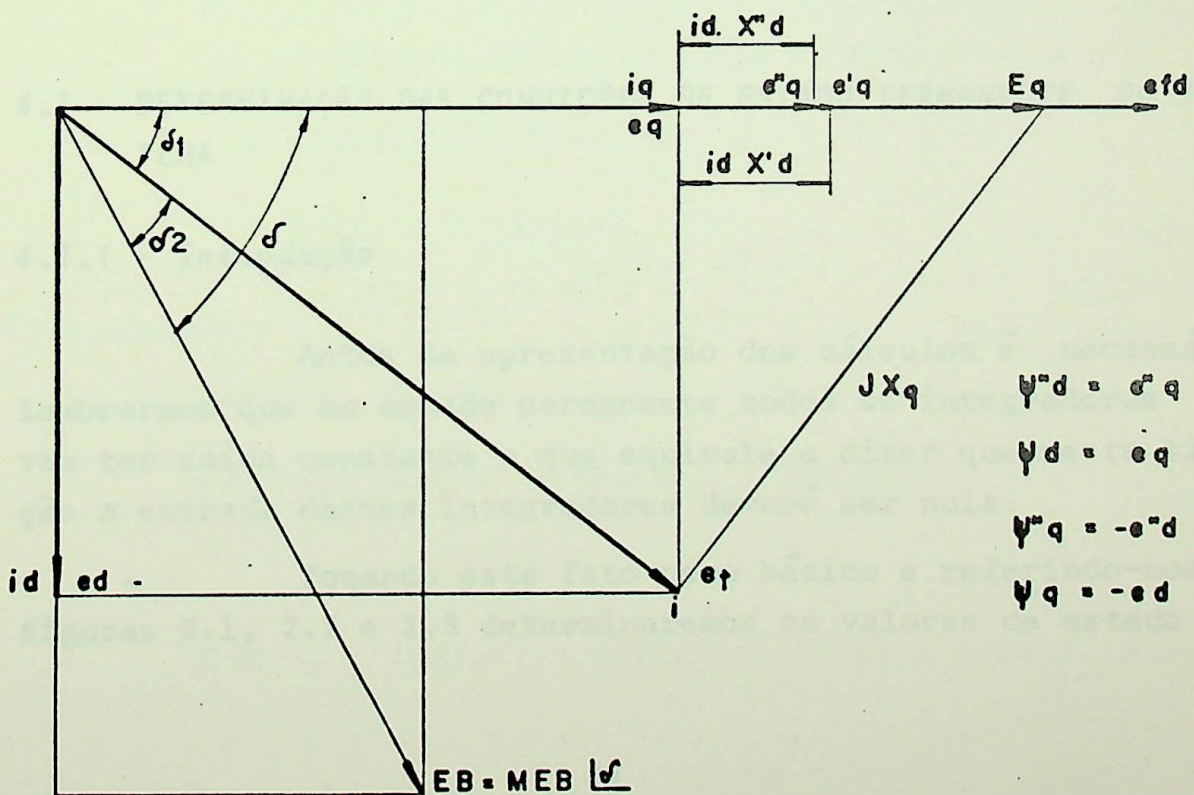


Fig. 4.1 20

Temos ainda:

$$i_d = i \cdot \cos (90 - \delta_1) = \cos (52.41^\circ) = 0.61$$

$$i_q = i \cdot \cos (\delta_1) = \cos (37.59^\circ) = 0.79$$

$$e_d = e_t \cdot \cos (90 - \delta_1) = 0.61$$

$$e_q = e_t \cdot \cos (\delta_1) = 0.79$$

$$e''_q = e_q + i_d \cdot x''_d = 0.79 + 0.61 \cdot 0.28 = 0.96$$

$$e'_q = e_q + i_d \cdot x'_d = 0.79 + 0.61 \cdot 0.314 = 0.98$$

$$e_{fd} = e_q + i_d \cdot x_d = 0.79 + 0.61 \cdot 1.014 = 1.14$$

O valor de e_{fd} calculado, corresponde a uma condição de não saturação da máquina síncrona segundo a qual construímos o diagrama vetorial.

Na determinação das condições iniciais do sistema notaremos que haverá uma correção neste valor já que a curva de saturação da máquina se presta a correção dos valores não saturados dando uma saída que corresponderia a condição de valores saturados, portanto haverá um novo cômputo do valor de e_{fd} .

4.1 - DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ESTADO PERMANENTE DO SISTEMA

4.1.1 - Introdução

Antes da apresentação dos cálculos é necessário lembrarmos que em estado permanente todos os integradores devem ter saída constante o que equivale a dizer que nesta situação a entrada desses integradores deverá ser nula.

Tomando este fato como básico e referindo-nos às figuras 2.1, 2.2 e 2.3 determinaremos os valores de estado per

manente de todo o sistema.

4.1.2 - Sistema de Controle da Turbina

$$\text{VAR}(27) = P_e = e_d \cdot i_d + e_q \cdot i_q = 1 \text{ por definição.}$$

Em estado permanente as potências elétrica e mecânica devem ser iguais e a entrada do integrador 11 deve ser nula, logo:

$$\text{VAR}(25) = P_m = P_e$$

Não havendo perturbação $\text{VAR}(13) = p\delta = 0$. Conhecendo δ_1 e δ_2 conhecemos também $\text{OUT}(12) = \delta = \delta_1 + \delta_2$.

$$\text{Se } \text{VAR}(13) = 0 \text{ logo } \text{OUT}(11) = \text{VAR}(20).$$

A entrada do integrador é nula logo:

$$\text{OUT}(9) = \text{VAR}(25)$$

Da parte do diagrama referente à turbina equacionamos:

$$\text{OUT}(10) - 2 \cdot \text{OUT}(9) = \text{VAR}(25) \text{ logo,}$$

$$\text{OUT}(10) = \text{VAR}(25) + 2 \cdot \text{OUT}(9)$$

A entrada dos integradores 9 e 8 são nulas . . .

$$\text{VAR}(24) = \text{OUT}(9) \text{ e}$$

$$\text{VAR}(23) = \text{VAR}(24)$$

Equacionamos:

$$\text{VAR}(23) \cdot \text{CON}(21) + \text{OUT}(8) = \text{VAR}(24) \text{ logo,}$$

$$\text{OUT}(8) = \text{VAR}(24) - \text{VAR}(23) \cdot \text{CON}(21)$$

E por fim:

$$\text{VAR}(22) \cdot \text{CON}(27) - \text{OUT}(11) \cdot \text{CON}(27) = \text{VAR}(23) \text{ . . .}$$

$$\text{VAR}(22) = \frac{\text{VAR}(23) + \text{OUT}(11) \cdot \text{CON}(27)}{\text{CON}(27)}$$

ou

$$\text{VAR}(22) = \frac{\text{VAR}(23)}{\text{CON}(27)} + \text{OUT}(11)$$

Notamos que a referência de velocidade VAR(22) é uma consequência das características do sistema e não um valor imposto como pode parecer a primeira vista.

4.1.3 - Sistema de Excitação

Por definição temos $\text{VAR}(1) = e_t = 1$

$$\text{VAR}(5) = \text{OUT}(3) \cdot \text{CON}(6)$$

A entrada dos integradores 3 e 4 devem ser nulas logo:

$$\text{VAR}(19) = \text{OUT}(3)$$

$$\text{OUT}(4) = \text{VAR}(5) \quad \text{e} \quad \text{VAR}(7) = 0$$

$$\text{VAR}(4) = A_1 \cdot e^{B_1 \cdot efd}$$

que é a função definidora da saturação da excitatriz.

Equacionamos:

$$[\text{VAR}(3) - \text{VAR}(4)] \cdot \text{CON}(4) = \text{VAR}(19)$$

logo:

$$\text{VAR}(3) = \frac{\text{VAR}(19)}{\text{CON}(4)} + \text{VAR}(4)$$

Em estado permanente devemos ter

$$\text{OUT}(2) = \text{VAR}(3)$$

A entrada do integrador 2 é nula, logo:

$$\text{VAR}(2) = \text{OUT}(2)$$

Temos que

$$\text{VAR}(2) = \text{VAR}(14) \cdot \text{CON}(2)$$

Podemos Equacionar:

$$\text{VAR}(6) - \text{OUT}(1) - \text{VAR}(7) = \text{VAR}(14)$$

logo

$$\text{VAR}(6) = \text{VAR}(14) + \text{OUT}(1) + \text{VAR}(7)$$

porém $\text{VAR}(7) = 0$ e se $\text{TR} = 0$ o filtro de entrada do regulador de tensão é eliminado o que equivale a dizer que $\text{VAR}(1) = e_t$ é aplicado diretamente no somador, logo:

$$\text{VAR}(6) = \text{VAR}(14) + \text{VAR}(1)$$

e $\text{CON}(19) = \text{VAR}(6)$ usado na lógica do problema.

Notamos que também a referência de tensão se tornou uma função das demais características do sistema.

4.1.4 - Sistema de Geração

Por definição temos:

$$\text{OUT}(5) = e'_q$$

$$\text{VAR}(11) = i_d$$

$$\text{VAR}(10) = e''_q$$

$$\text{VAR}(12) = i_q$$

$$\text{VAR}(16) = e_d$$

$$\text{VAR}(18) = e_q$$

$$\text{VAR}(26) = \sqrt{i_d^2 + i_q^2} = i$$

Teremos:

$\text{VAR}(8) = f(e'_q)$ ou função da curva de saturação da máquina síncrona cuja equação é determinada pelo programa.

A entrada do integrador 6 é nula logo

$$\text{VAR}(9) = 0$$

$$\text{VAR}(15) = \text{VAR}(12) \cdot \text{CON}(16)$$

Equacionamos

$$\text{OUT}(6) \cdot \text{CON}(14) + \text{OUT}(5) \cdot \text{CON}(13) = \text{VAR}(10)$$

logo

$$\text{OUT}(6) = \frac{\text{VAR}(10) - \text{OUT}(5) \cdot \text{CON}(13)}{\text{CON}(14)}$$

Se $\text{VAR}(9) = 0$ então

$$\text{VAR}(21) = \text{VAR}(11)$$

Também equacionamos:

$$\text{VAR}(12) \cdot \text{CON}(18) - \text{OUT}(7) = \text{VAR}(16)$$

logo:

$$\text{OUT}(7) = \text{VAR}(12) \cdot \text{CON}(18) - \text{VAR}(16)$$

A seguir temos:

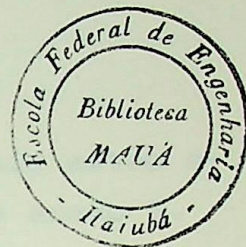
$$\text{VAR}(17) = \text{VAR}(21) \cdot \text{CON}(9) + \text{VAR}(8)$$

e por fim

$\text{VAR}(17) = \text{OUT}(3)$ para que a entrada do integrador 5 seja nula.

Neste ponto notamos a atuação corretiva da função de saturação da máquina síncrona. O valor de e_{fd} calculado anteriormente correspondia a uma condição de não saturação da máquina e já agora vemos que a condição de ser $\text{VAR}(17) = \text{OUT}(3)$ em estado permanente conduzirá forçosamente a uma correção no valor de $e_{fd} = \text{OUT}(3)$.

É necessário fazer notar também que a subrotina CIGER1, correspondente aos cálculos para determinação do estado permanente do sistema de geração, é chamada antes da subrotina CIIEE1 que calcula os valores de estado permanente do sistema de excitação pois desta forma evitamos um cálculo desnecessário.



cessário se tivéssemos que corrigir as condições de estado permanente do sistema de excitação no caso de haver uma correção no valor de e_{fd} .

Colocando nesta ordem o valor de e_{fd} calculado em CIGER1, já correspondente a uma condição de saturação, será um dado para o cálculo dos valores de estado permanente do sistema de excitação levando-nos a um resultado coerente com o estado de saturação da máquina.

Nota:

Os cálculos apresentados para condições iniciais estão apresentados na listagem do programa, apresentada no anexo 1.



CAPÍTULO V

TESTE DO PROGRAMA E VERIFICAÇÃO DA SUA EXATIDÃO

5.1 - INTRODUÇÃO

Foram feitos 2 testes para avaliação do programa. Um deles se refere às características de estado permanente do sistema e o outro se refere ao curto circuito trifásico nos terminais da máquina mantendo-se bloqueados os reguladores.

5.2 - TESTES DAS CONDIÇÕES DE ESTADO PERMANENTE

De posse dos valores de estado permanente cujo cálculo foi citado previamente, processamos o programa sem aplicarmos nenhum tipo de perturbação. É obvio que a simulação deverá conduzir a valores inalterados das variáveis do programa.

Apresentamos no anexo 2 as curvas relativas as principais grandezas do sistema quando da não ocorrência de perturbações no sistema.

Consideramos i_d , i_q , e_d , e_q e δ como as grandezas principais já que as outras podem ser obtidas em função destas. Em cada curva são também apresentados os valores de todas as variáveis e saídas de integradores antes e no fim do processo iterativo nos quais observamos erros mínimos levando-nos a concluir que o programa cumpre o seu objetivo.

5.3 - TESTE DO C.C. TRIFÁSICO NOS TERMINAIS DA MÁQUINA SÍNCRONA ESTANDO BLOQUEADOS OS REGULADORES

Da teoria temos:

$$i''_d = \frac{e''_q}{x''_d} = 3.4398$$

$$i''_q = - \frac{e''_d}{x''_q} = - 0.83458$$

$$i = \sqrt{i_d^2 + i_q^2} = \frac{e_{fd}}{x_d} = 1.64$$

Os valores retirados dos resultados do programa são:

$$i''_d = 3.44$$

$$i''_q = -0.835$$

$$i = 1.8397$$

Notamos que apenas i diverge do valor calculado. A explicação disto está no fato do tempo de simulação do programa não ter sido suficiente para que i atingisse seu valor de estado permanente.

Nota:

Os valores podem ser conferidos no anexo 3 onde temos as curvas resultantes da ocorrência de curto-circuito nos terminais da máquina com reguladores bloqueados.

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES

Até o presente momento fizemos o estudo da simulação de um mesmo regulador submetido a ensaios de curto circuito e de variação da referência.

Os resultados foram submetidos a 2 programas sendo que um deles utiliza o método de aproximantes de Padé [8] e o outro baseia-se no algoritmo de otimização de Melder e Mead. [9].

O programa de identificação usando aproximantes de Padé não consegue acompanhar pontos de quebra nas curvas de curto circuito e variação de referência resultantes das simulações.

Como os limitadores dos reguladores de tensão normalmente incluem tais tipos de variação, não foi possível obter uma boa identificação devido aos formatos contrastantes das curvas dada e ajustada frente aos tipos de perturbação.

Mesmo nos casos de pequena e suave variação da referência, as identificações não chegaram a ser úteis.

Podemos observar das figuras 6.1, 6.2 e 6.3 que a forma contrastante das curvas atesta a veracidade das afirmativas feitas.

Por outro lado, o programa de identificação que usa o algoritmo de otimização de Melder e Mead mostrou que o ensaio com variação da referência é perfeitamente equivalente ao de curto circuito, desde que os limitadores sejam atingidos, ou seja, que a variação de referência seja suficientemente grande.

Nas figuras 6.4, 6.5 e 6.6 temos respectivamente, as identificações referentes a curto circuito no barramento infinito, a variação de 3% na referência e a variação de 2% na mesma.

Da figura 6.6 notamos que para variações de referência relativamente pequenas não se obtém uma identificação tão

boa no coeficiente do limitador.

Como conclusão final podemos então dizer que, teoricamente, é válida a substituição de ensaios de curto circuito por ensaios de variação de referência para identificação de reguladores de tensão, utilizando-se o Algoritmo de Otimização de Melder e Mead.

É importante porém relembrar a existência de uma restrição no que se refere aos valores ótimos das tensões máxima e mínima do limitador de tensão já que os mesmos só serão verdadeiros se a porcentagem de variação da referência de tensão for suficiente para alcançar os valores máximo e mínimo da tensão de saída do regulador de tensão.

CAPÍTULO VII

CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 - GRUPO GERADOR A VAZIO

No decorrer deste trabalho apresentamos um estudo versando sobre a identificação de reguladores de tensão, estando o grupo gerador conectado a um sistema composto de linha de transmissão e barramento infinito.

A identificação obtida porém, é grosseira já que o critério de identificação empregado envolveu um número pequeno de parâmetros desse regulador considerando-se que para se identificar um regulador de uma maneira completa, são insuficientes os valores de KA (ganho), TA (constante de tempo) e valores máximo e mínimo da tensão de saída do regulador.

O motivo de tão poucos parâmetros para identificação reside no fato dos ensaios estudados envolverem um sistema que influencia diretamente o consumidor de energia elétrica.

Estes ensaios ficam limitados já que suas características deverão ser tais que não prejudiquem o consumidor.

Notamos então que melhor seria se contássemos com o gerador a vazio já que assim haverá possibilidade da execução de qualquer tipo de teste para uma identificação mais detalhada dos reguladores.

7.2 - ENFOQUE FINAL

Muito se poderia dizer ainda sobre métodos de identificação e reguladores, porém, seria supérfluo falar sobre o desenvolvimento dos nossos dias face às evidências.

É incontável o número de publicações que tratam dos assuntos citados acima sendo algumas delas citadas na bibliografia apresentada neste trabalho. Ainda sobre esse assunto é importante frisar que a referência 3 dos livros diz tudo que se necessita para o estudo de métodos de identificação.

Ajuste de funções referente a ensaio de C.C. trifásico no
barramento infinito, permanecendo a falta durante 0.1 seg.
(Método das Aproximantes de Padé)
Função dada - A Função ajustada - B

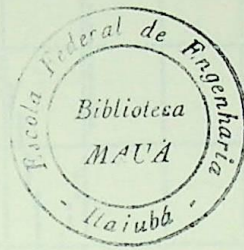
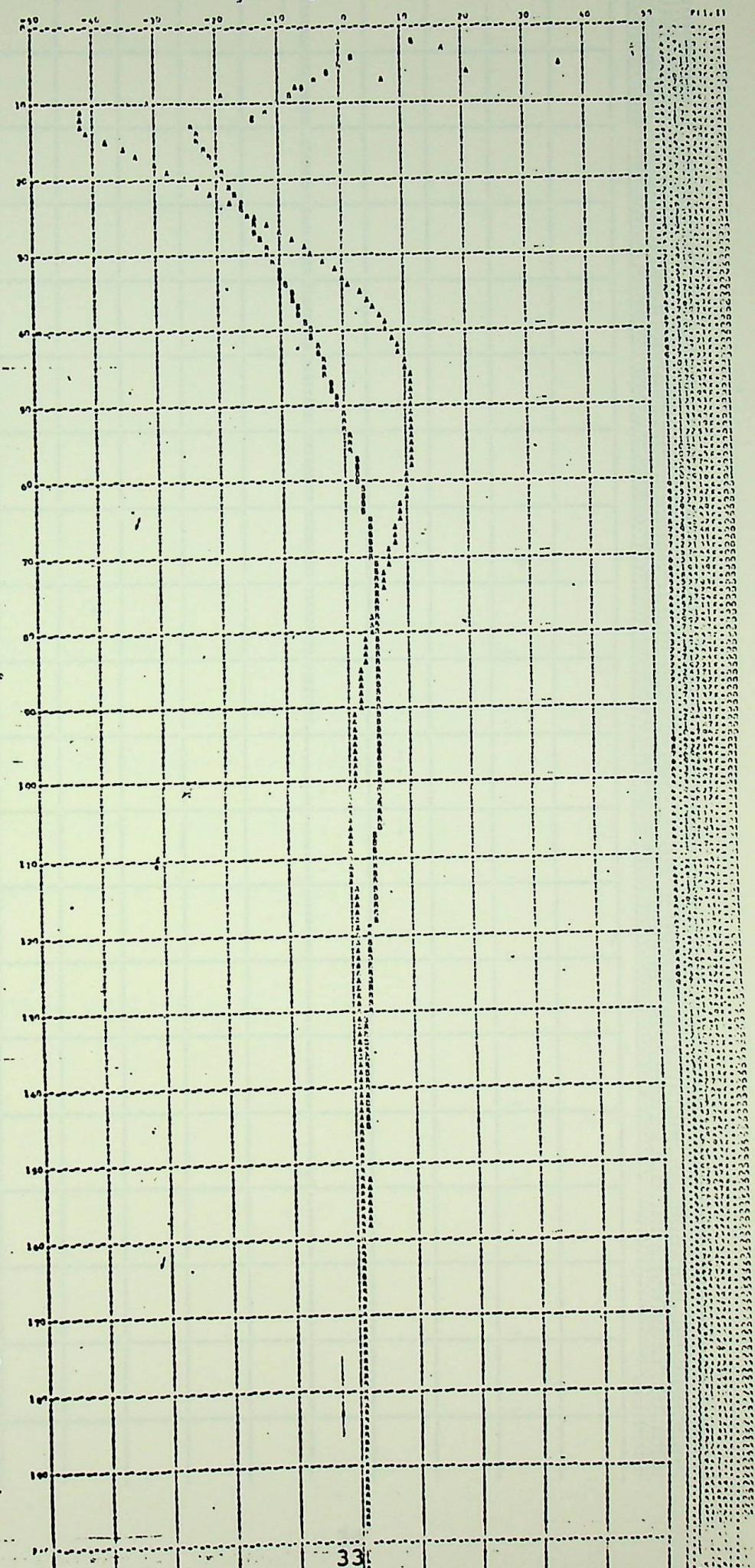


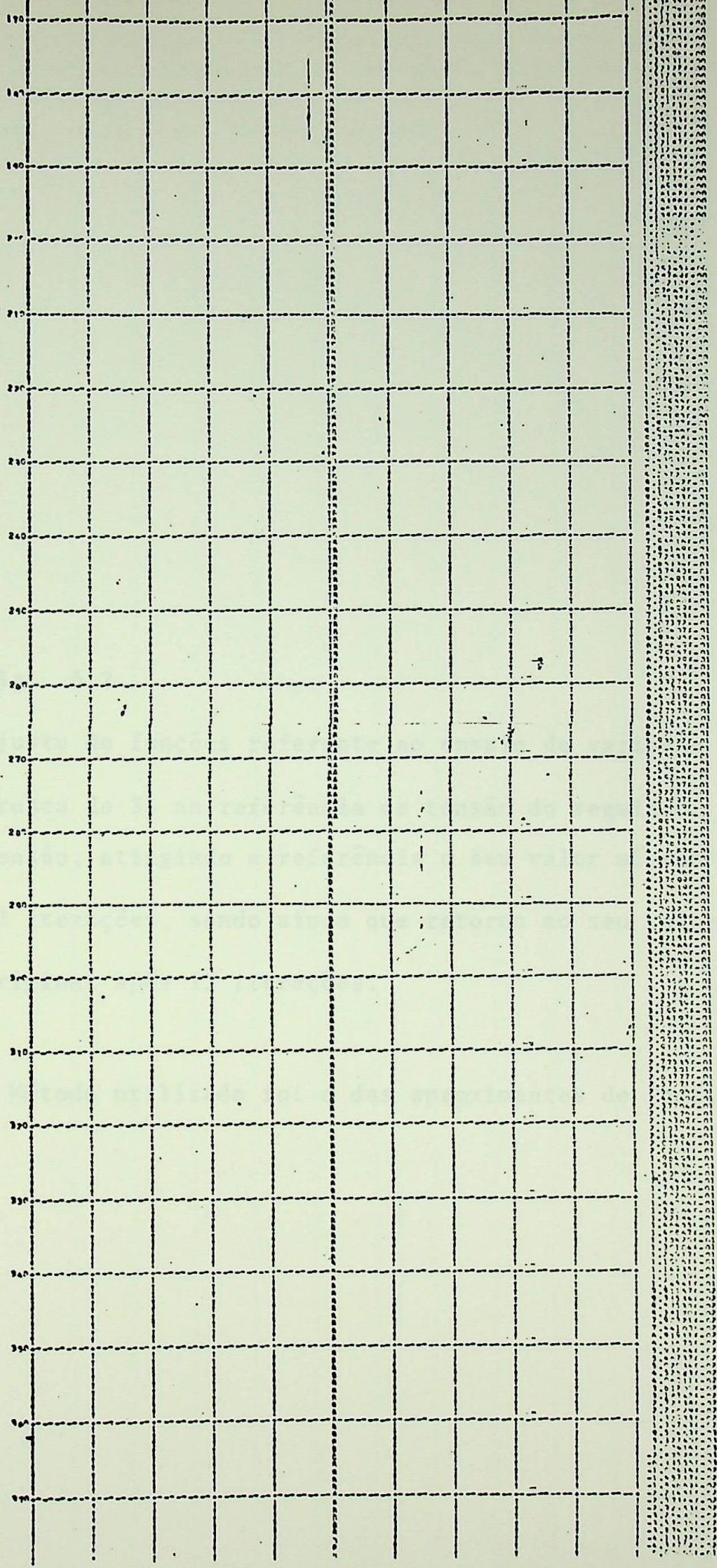
fig. 6.1

Ajuste de funções referente ao ensaio de curto circuito ' trifásico no barramento infinito, permanecendo a falta durante 0.1 segundos.

O Método usado foi o das Aproximantes de Padé.

Ajuste de funções referente ao ensaio de C.C. trifásico no barramento infinito, permanecendo a falta durante 0.1 seg.
 (Método das Aproximantes de Padé)
 função dada - A função ajustada - B





This is a blank page from a ledger or account book. The page contains a grid for recording data, with a vertical dashed line down the center. The left side is labeled with numbers from 190 to 990 in increments of 20. The right side of the page contains faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

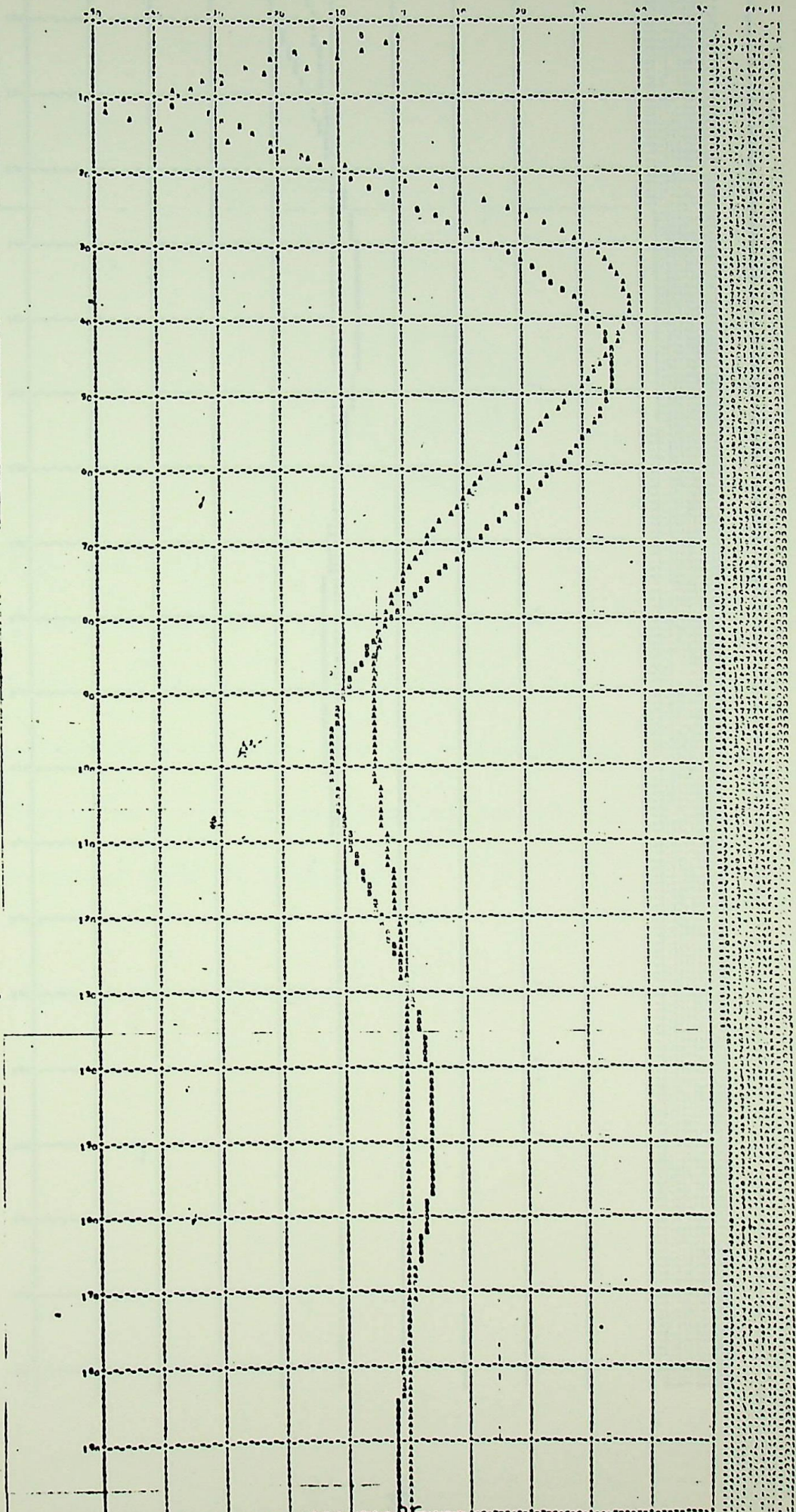
Ajuste de funções referente ao ensaio de variação não brusca de 3% na referência de tensão do regulador de tensão, atingindo a referência o seu valor mínimo após 13 iterações, sendo ainda que retorna ao seu valor original após 13 iterações.

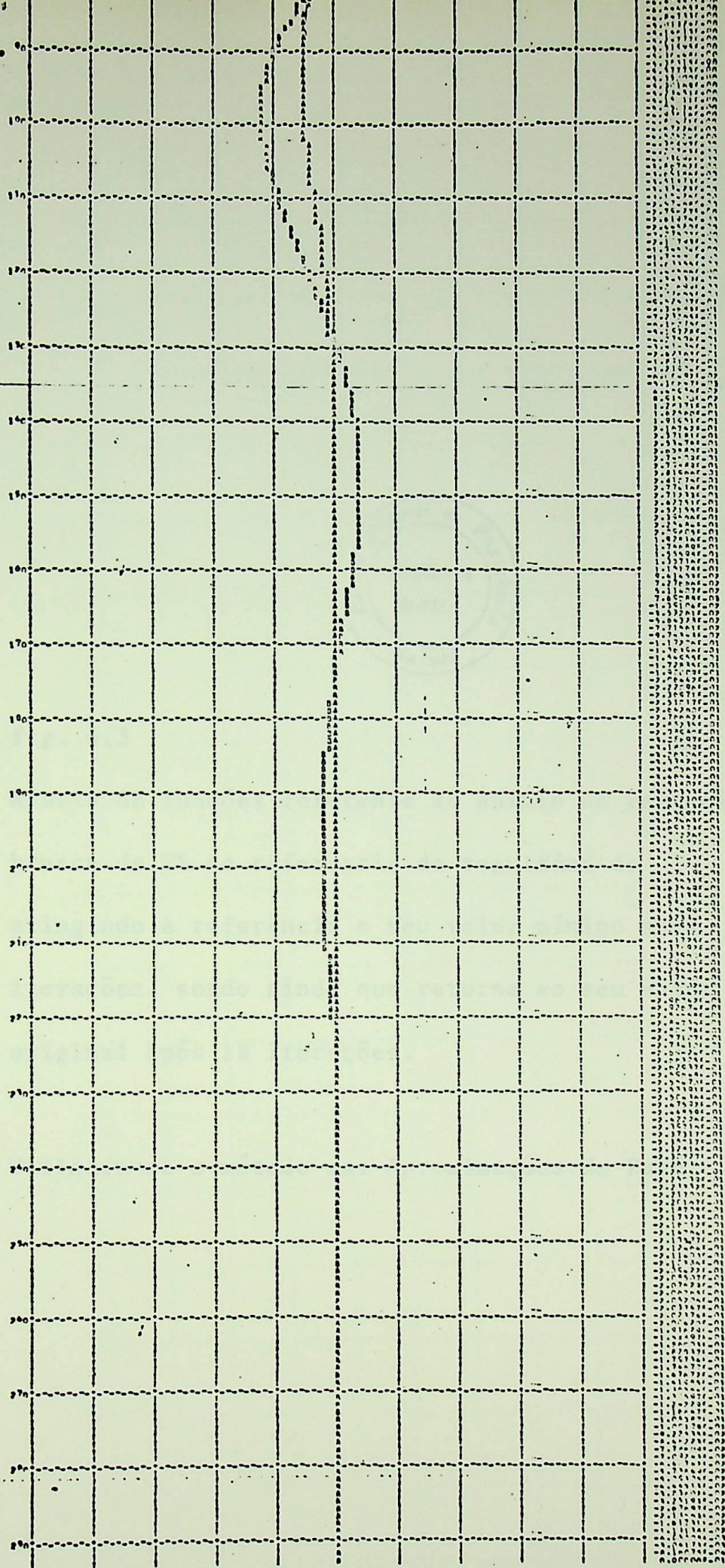
fig. 6.2

Ajuste de funções referente ao ensaio de variação não brusca de 3% na referência de tensão do regulador de tensão, atingindo a referência o seu valor mínimo após 13 iterações, sendo ainda que retorna ao seu valor original após 13 iterações.

O Método utilizado foi o das aproximantes de Padé.

Ajuste de funções referente ao ensaio de variação não brusca de 3% na referência de tensão do regulador de tensão.
 (Método das Aproximantes de Padé)
 função dada - A função ajustada - B





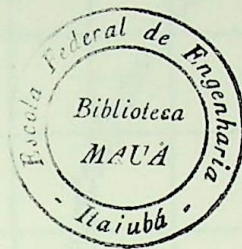
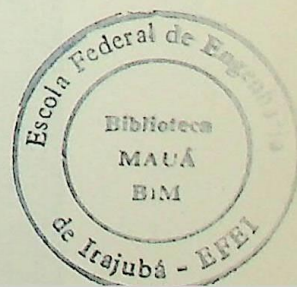


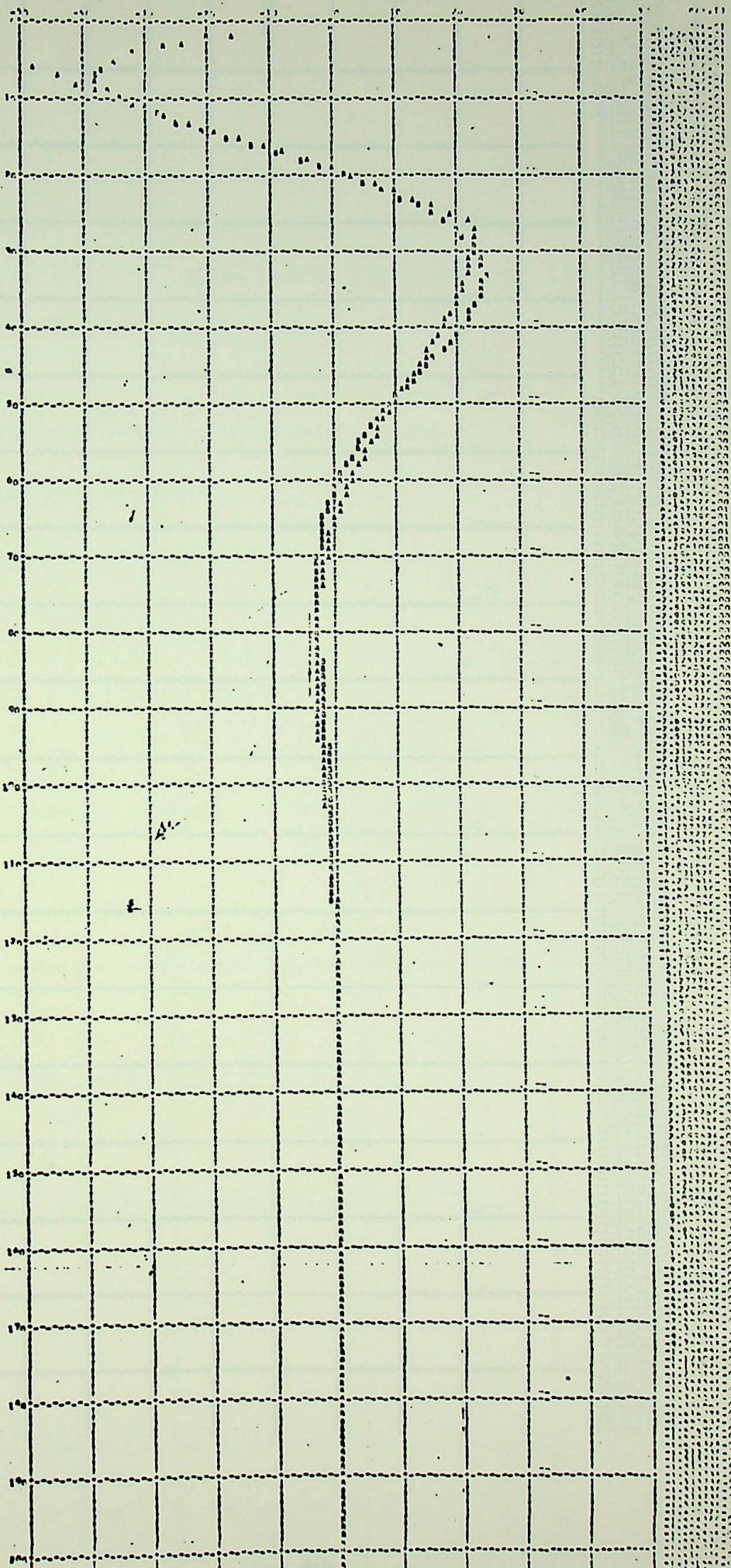
fig. 6.3

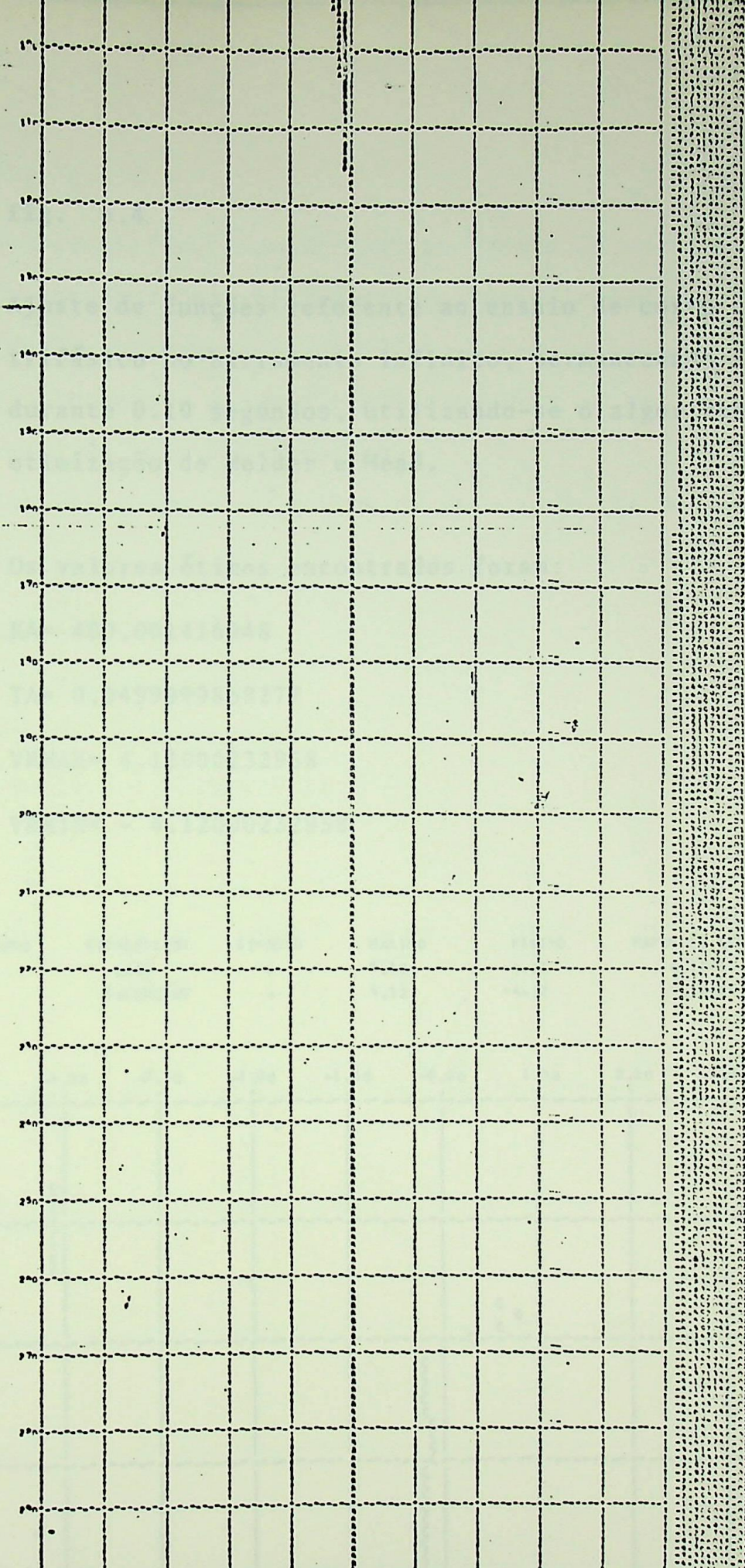
Ajuste de funções referente ao ensaio de variação não brusca de 2% na referência do regulador de tensão, atingindo a referência o seu valor mínimo após 8 iterações, sendo ainda que retorna ao seu valor original após 18 iterações.

Utilizou-se o método das Aproximações de Padé.



Ajuste de funções referente ao ensaio de variação de tensão brusca de 2% na referência de tensão do regulador de tensão.
 (Método das Aproximantes de Padé)
 função dada - A - função Ajustada - B





Vertical text on the right side of the page, possibly bleed-through from the reverse side. The text is faint and difficult to read, but appears to contain several lines of text.

fig. 6.5

Ajuste de funções referente ao ensaio de variação não brusca de 3% na referência de tensão do regulador de tensão, atingindo a referência o seu valor mínimo após 8 iterações, sendo ainda que retorna ao seu valor original após 18 iterações.

Foi utilizado o algoritmo de otimização de Melder e Mead.

Os valores ótimos encontrados foram:

KA= 400.000019390

TA= 0.0500002570018

VRMAX= 4.11999129184

VRMIN= - 4.11999129184

FUNÇÃO	NUMERO	SIGNIFICADO	SIMBOLO	MAXIMO	MINIMO	FATOR DE ESCALA	FINAL DE ESCALA
	1	LIDO	*	2.72	-4.12	0.1E+01	5.00
	2	CALCULADO	+	2.72	-4.12	0.1E+01	5.00

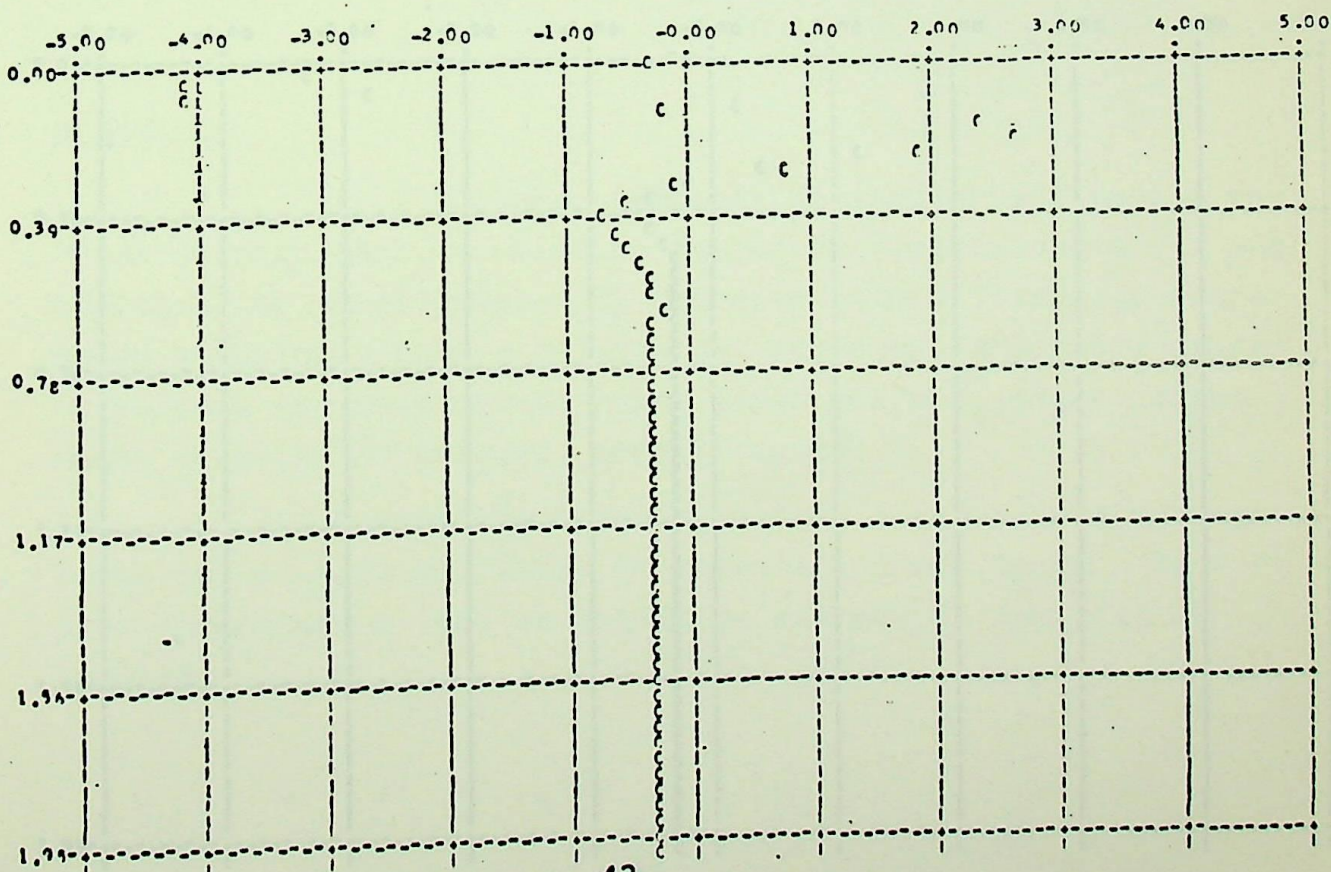


fig. 6.6

Ajuste de funções referente ao ensaio de variação não brusca de 2% na referência de tensão do regulador de tensão, atingindo a referência o seu valor mínimo após 6 iterações, sendo ainda que retorna o seu valor original após 20 iterações.

Foi utilizado o algoritmo de otimização de Melder e Mead.

Os valores ótimos encontrados foram:

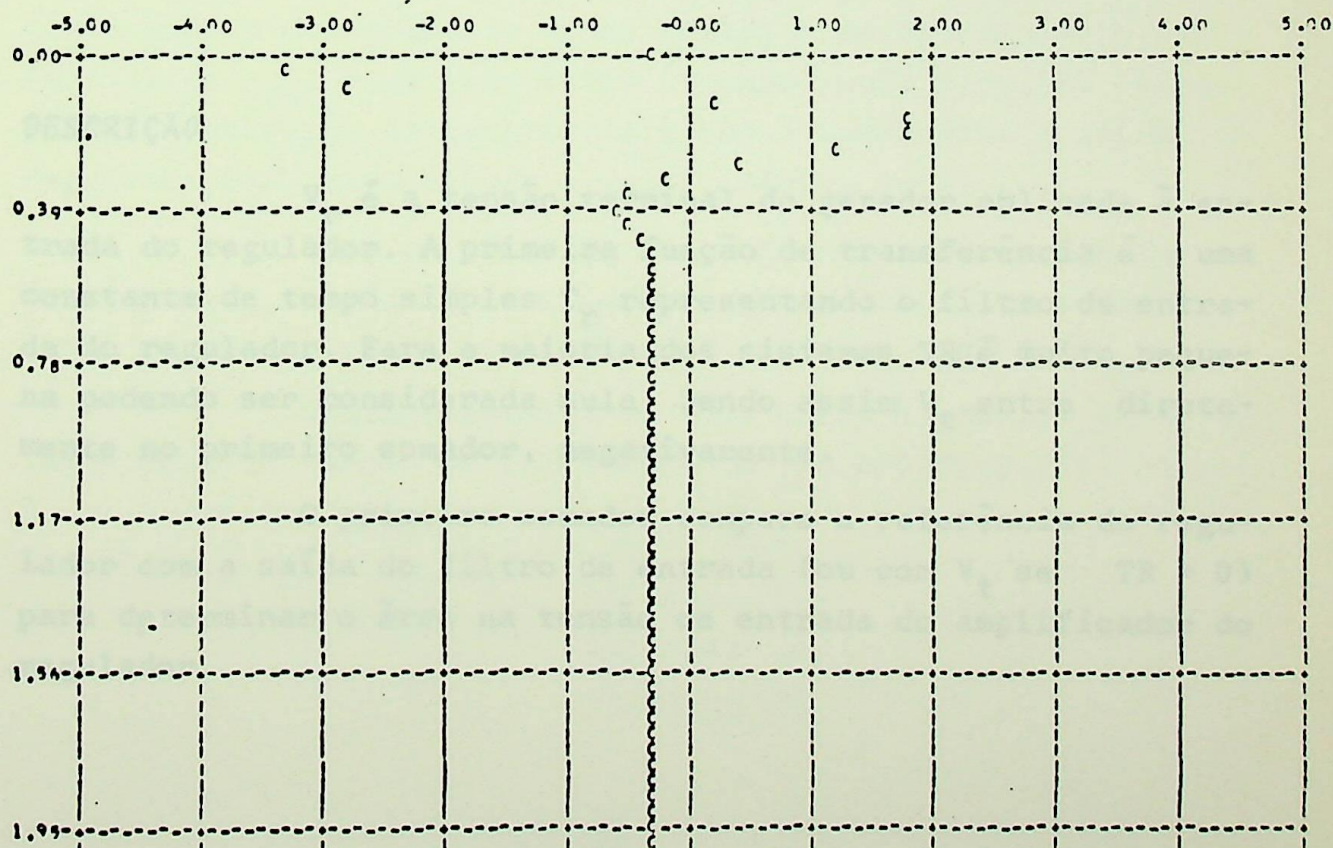
$$KA = 400.002140503$$

$$TA = 0.0500002471485$$

$$VRMAX = 3.90503428558$$

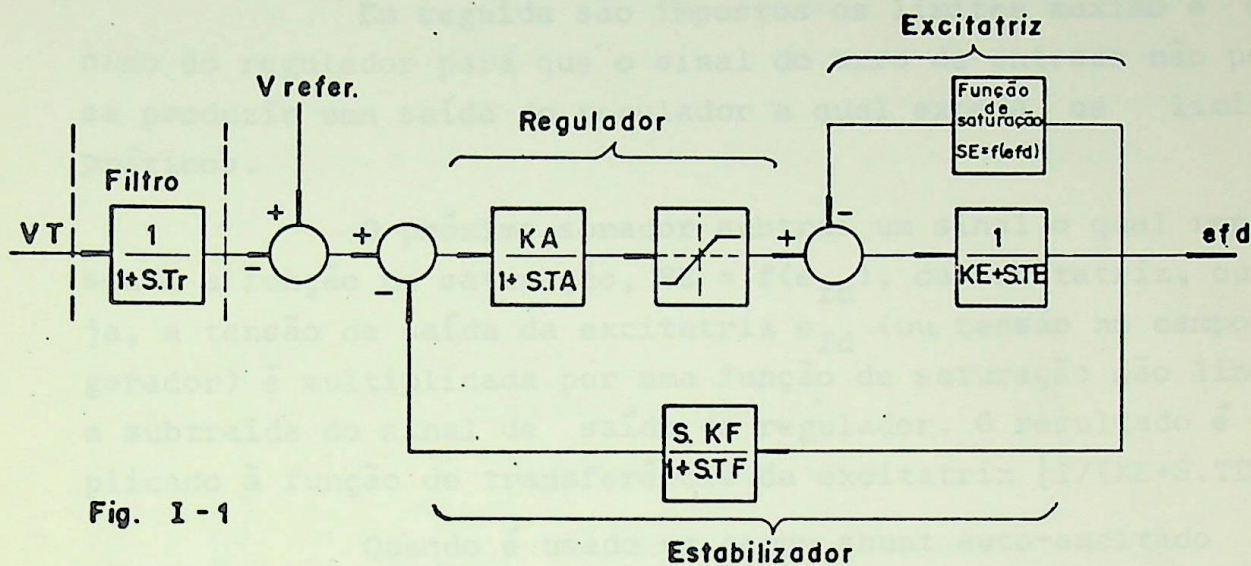
$$VRMIN = -3.90503428558$$

FUNÇÃO	NÚMERO	SIGNIFICADO	SÍMBOLO	MAXIMO	MINIMO	FATOR DE ESCALA	FINAL DE ESCALA
1		LIDO	*	1,83	-3,25	0,1E+01	5,00
2		CALCULADO	+	1,83	-3,25	0,1E+01	5,00



APÊNDICE I

MODELO USADO NA SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE EXCITAÇÃO E SUA DESCRIÇÃO



DESCRIÇÃO

V_r é a tensão terminal do gerador aplicada à entrada do regulador. A primeira função de transferência é uma constante de tempo simples T_r representando o filtro de entrada do regulador. Para a maioria dos sistemas TR é muito pequena podendo ser considerada nula. Sendo assim V_t entra diretamente no primeiro somador, negativamente.

O primeiro somador compara a referência do regulador com a saída do filtro de entrada (ou com V_t se $TR = 0$) para determinar o erro na tensão de entrada do amplificador do regulador.

Grande parte dos programas de computadores não necessitam da entrada V_{refer} mas a calculam assumindo V_t em estado permanente como sendo a própria.

O segundo somador combina o erro da tensão com o sinal de amortecimento do maior Loop da excitação. A função de transferência do regulador principal é representada como um ganho KA e uma constante de tempo TA.

Em seguida são impostos os limites máximo e mínimo do regulador para que o sinal do erro de entrada não possa produzir uma saída do regulador a qual exceda os limites práticos.

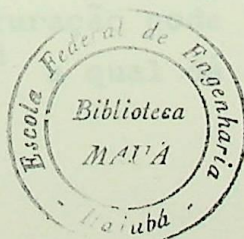
O próximo somador subtrai um sinal o qual representa a função de saturação, $SE = f(e_{fd})$, da excitatriz, ou seja, a tensão de saída da excitatriz e_{fd} (ou tensão no campo do gerador) é multiplicada por uma função de saturação não linear e subtraída do sinal de saída do regulador. O resultado é aplicado à função de transferência da excitatriz $[1/(KE+S.TE)]$.

Quando é usado um campo shunt auto-excitado KE representa a inclusão do campo shunt do reostado e produz uma realimentação positiva da saída da excitatriz.

Para estabelecer condições iniciais KE é muitas vezes tomado com grandeza igual a função de saturação no valor inicial de e_{fd} . Para este valor o campo shunt compensa exatamente a saturação da excitatriz e não é necessária a saída do regulador para estabelecer o valor inicial de e_{fd} .

Para os sistemas com uma excitatriz excitada separadamente, a saída do regulador é necessária para suprir o campo da excitatriz e estabelecer o valor inicial de e_{fd} .

O amortecimento do Loop maior é provido pela realimentação da função de transferência $[(S.KF)/(1+S.TF)]$ da saída da excitatriz e_{fd} .

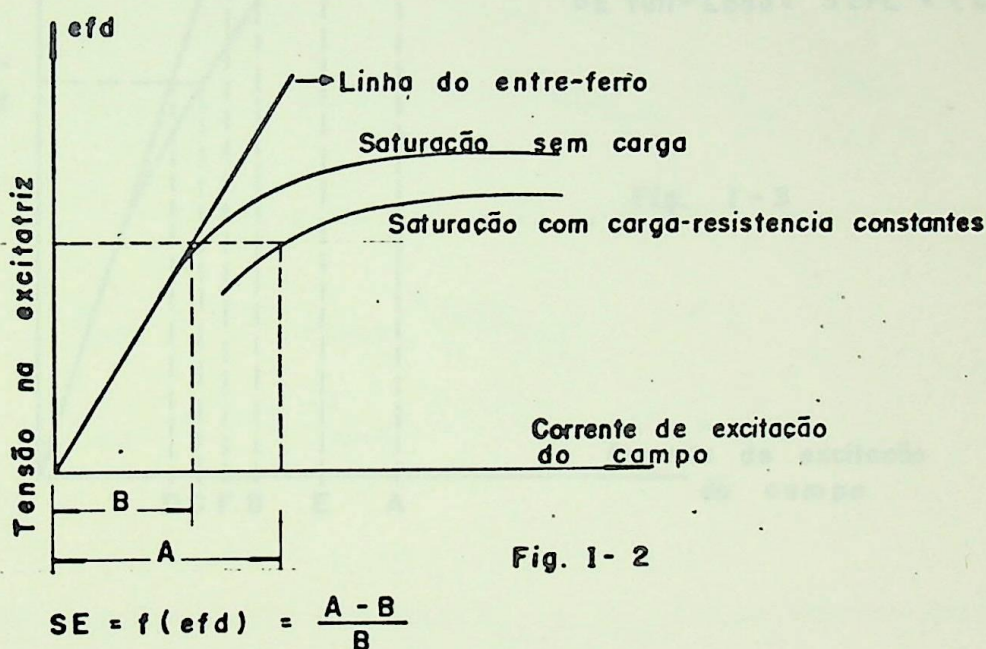


DETERMINAÇÃO DA FUNÇÃO DE SATURAÇÃO DA EXCITATRIZ

A função de saturação é definida como um multiplicador da saída da excitatriz e_{fd} para representar o acréscimo na excitação da excitatriz devido à saturação.

A figura I.2 ilustra o cálculo de um particular valor de S_E .

À uma data tensão de saída da excitatriz, os valores A e B são definidos como a excitação da excitatriz que produz a tensão de saída na curva de saturação carga-resistência constantes e linha de entre-ferro, respectivamente.



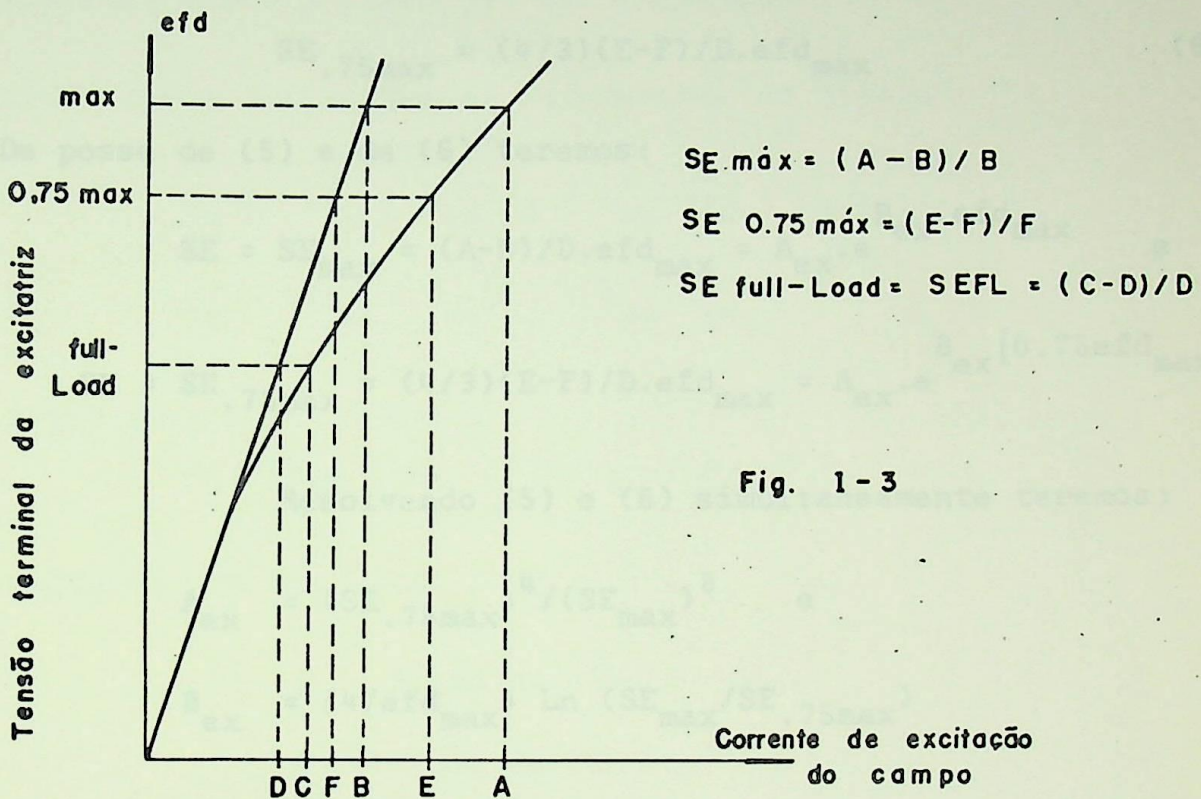
$$S_E = f(e_{fd}) = \frac{A - B}{B}$$

A curva de saturação pode também ser definida pela função $S_E \triangleq A_{ex} \cdot e^{B_{ex} \cdot e_{fd}}$ a qual dá a saturação aproximada para qualquer valor de e_{fd} .

DETERMINAÇÃO DE A_{ex} e B_{ex}

É feita usando-se os valores de efd_{max} , $0.75efd_{max}$, SE_{max} e $SE_{0.75max}$ dados como características do sistema.

A determinação de SE_{max} e $SE_{0.75max}$ parte da figura I.3 onde temos:



Em p.u. com efd_{FL} como base temos:

$$efd_{max} = efd_{max} [V] / efd_{FL} [V] = B/D [pu]$$

ou

$$B = D \cdot efd_{max} \quad (3)$$

Temos também:

$$B/F = 4/3 = (D \cdot efd_{max}) / F$$

ou

$$F = 0.75 \cdot D \cdot \text{efd}_{\max} \quad (4)$$

Combinando (3) e (4) podemos escrever:

$$\text{SE}_{\max} = (A-B)/B = (A-B)/D \cdot \text{efd}_{\max} \quad (5)$$

$$\text{SE}_{.75\max} = (E-F)/F = (E-F)/0.75 \cdot D \cdot \text{efd}_{\max} \quad \dots$$

$$\text{SE}_{.75\max} = (4/3)(E-F)/D \cdot \text{efd}_{\max} \quad (6)$$

De posse de (5) e de (6) teremos:

$$\text{SE} = \text{SE}_{\max} = (A-B)/D \cdot \text{efd}_{\max} = A_{\text{ex}} \cdot e^{B_{\text{ex}} \cdot \text{efd}_{\max}} \quad e$$

$$\text{SE} = \text{SE}_{.75\max} = (4/3)(E-F)/D \cdot \text{efd}_{\max} = A_{\text{ex}} \cdot e^{B_{\text{ex}} [0.75 \text{efd}_{\max}]}$$

Resolvendo (5) e (6) simultaneamente teremos:

$$A_{\text{ex}} = (\text{SE}_{.75\max})^4 / (\text{SE}_{\max})^3 \quad e$$

$$B_{\text{ex}} = (4/\text{efd}_{\max}) \text{Ln} (\text{SE}_{\max} / \text{SE}_{.75\max})$$

Nota:

Na simulação do sistema A_{ex} e B_{ex} foram representados pelas variáveis A_1 e B_1 respectivamente.

APÊNDICE II

EQUAÇÕES USADAS NA SIMULAÇÃO DA MÁQUINA SÍNCRONA DO SISTEMA, SEU CIRCUITO EQUIVALENTE E SUA TRANSFORMAÇÃO EM DIAGRAMA DE BLOCOS

Revisaremos inicialmente as equações da máquina síncrona dando a definição das variáveis:

a) Equações dos Fluxos de Acoplamento do Estator

$$\psi_d = -(L_\ell + L_{ad})i_d + L_{ad} \cdot i_{fd} + L_{ad} \cdot i_{kd}$$

$$\psi_q = -(L_\ell + L_{aq})i_q + L_{aq} \cdot i_{kq}$$

Notar que:

$$L_\ell + L_{ad} = L_d \quad \text{e} \quad L_\ell + L_{aq} = L_q$$

Definição de Variáveis

ψ_d - fluxo do eixo d

ψ_q - fluxo do eixo q

L_ℓ - indutância de dispersão

L_{ad} - indutância comum do eixo d

i_d - corrente do eixo d

i_{fd} - corrente de campo

i_{kd} - corrente no enrolamento amortecedor do eixo d

L_{aq} - indutância comum do eixo q

i_q - corrente do eixo q

i_{kq} - corrente no enrolamento amortecedor do eixo q

L_d - indutância do eixo d

L_q - indutância do eixo q

b) Equações dos Fluxos de Acoplamento do Rotor

$$\psi_d = -L_{ad} \cdot i_d + L_{ffd} \cdot i_{fd} + L_{fkd} \cdot i_{kd}$$

$$\psi_{kd} = -L_{ad} \cdot i_d + L_{fkd} \cdot i_{fd} + L_{kkd} \cdot i_{kd}$$

$$\psi_{kq} = -L_{aq} \cdot i_q + L_{kkq} \cdot i_{kq}$$

Note-se que as várias auto-indutâncias podem ser separadas em uma componente de dispersão e uma componente mútua com o estator a qual por escolha do sistema p.u. é L_{ad} no eixo d e L_{aq} no eixo q, ou seja,

$$L_{ffd} = L_{ad} + L_{fd}$$

$$L_{kkd} = L_{ad} + L_{kd}$$

$$L_{kkq} = L_{aq} + L_{kq}$$

c) Tensões no Estator

$$e_d = \frac{d}{d_t} \psi_d - \psi_q \cdot \omega - r \cdot i_d$$

$$e_q = \frac{d}{d_t} \psi_q + \psi_d \cdot \omega - r \cdot i_q$$

onde:

e_d - tensão no eixo d

e_q - tensão no eixo q

ω - velocidade angular

r - resistência do estator

d) Tensões no Rotor

$$e_{fd} = \frac{d}{dt} \psi_{fd} + r_{fd} \cdot i_{fd}$$

$$0 = \frac{d}{dt} \psi_{kd} + r_{kkd} \cdot i_{kd}$$

$$0 = \frac{d}{dt} \psi_{kq} + r_{kkq} \cdot i_{kq}$$

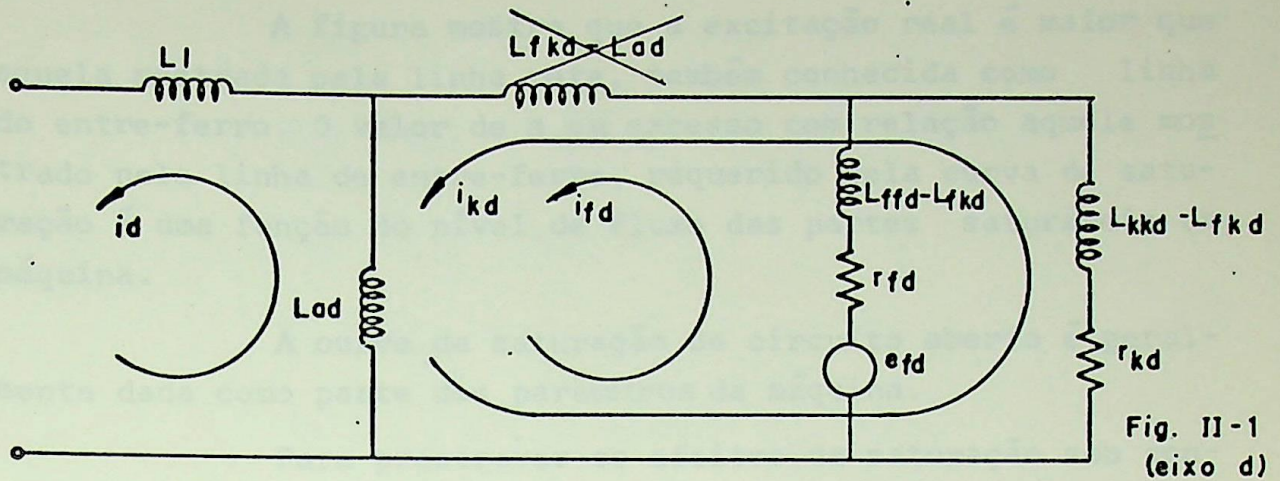
e) Potência e Torque

$$P = e_d \cdot i_d + e_q \cdot i_q$$

$$T = i_q \cdot \psi_d - i_d \cdot \psi_q$$

Circuitos Equivalentes de Eixos d e q

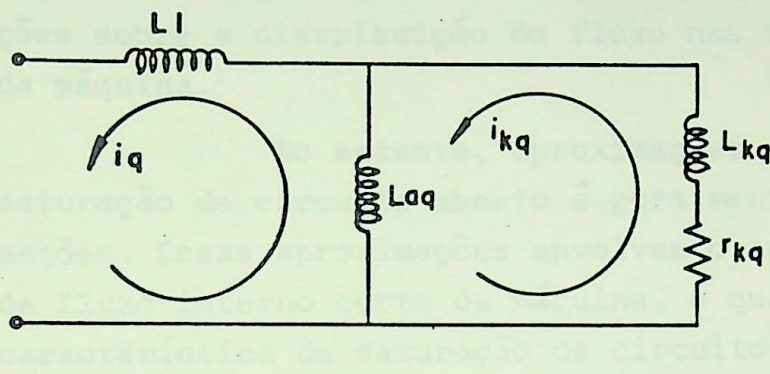
Nas figuras II.1 e II.2 temos os circuitos equivalentes de eixo d e q respectivamente.



$$L_{fd} - L_{fkd} = L_{fd}$$

$$L_{kqd} - L_{fkqd} = L_{kqd}$$

$$L_{fkd} \approx L_{ad} \therefore L_{fkd} - L_{ad} \approx 0$$



Efeito da Saturação

A figura II.3 mostra a relação da reta não saturada entre a tensão na armadura E_a [pu] e a excitação do campo $E_f = X_{ad} \cdot i_{fd}$ ou tensão de campo em pu.

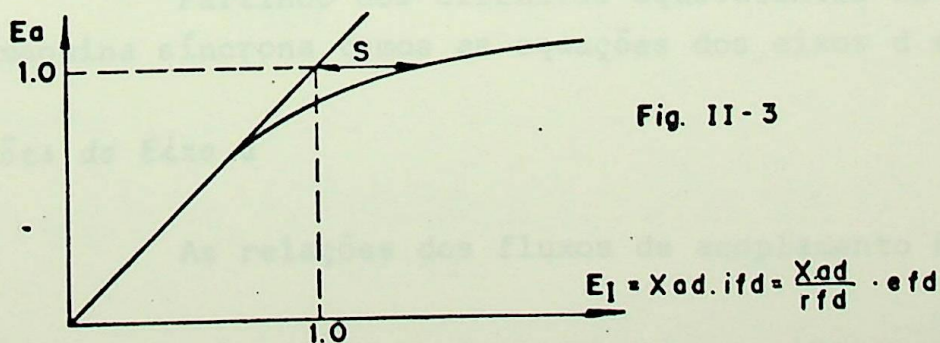
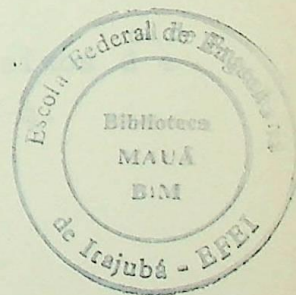


Fig. II-3



A figura mostra que a excitação real é maior que aquela mostrada pela linha reta, também conhecida como linha do entre-ferro. O valor de s em excesso com relação aquele mostrado pela linha de entre-ferro, requerido pela curva de saturação é uma função do nível de fluxo das partes saturáveis da máquina.

A curva de saturação de circuito aberto é geralmente dada como parte dos parâmetros da máquina.

Para prescrever os efeitos da saturação sob condições de carga é necessária uma grande quantidade de informações sobre a distribuição do fluxo nas várias partes do ferro da máquina.

No entanto, aproximações são feitas e a curva de saturação de circuito aberto é geralmente usada nessas aproximações. Essas aproximações envolvem o estabelecimento do nível de fluxo interno certo da máquina, o qual quando usado com a característica de saturação de circuito aberto dá o valor exato do efeito de saturação sob condições de carga.

No caso de máquinas de polos salientes devido ao grande entre-ferro do eixo q , o fluxo nesse eixo raramente sofrerá saturação. Por isto, no caso de máquinas de polos salientes a saturação é feita uma função de alguns fluxos do eixo d ao invés do fluxo total como no caso das máquinas de rotor cilíndrico.

Desde que não ocorra saturação no eixo q é evidente, observando-se o diagrama vetorial da figura 4.1, que o ângulo de potência δ da máquina não será afetado no caso de máquinas de polos salientes.

Partindo dos circuitos equivalentes de eixos d e q da máquina síncrona temos as equações dos eixos d e q .

Equações do Eixo d

As relações dos fluxos de acoplamento são:

$$\psi_{ad} = L_{ad}(i_{fd} + i_{kd} - i_d) - f(E'_q/\omega) \quad (1)$$

$$\psi_{fd} - \psi_{ad} = L_{fd} \cdot i_{fd} - (L_{fd}/L_{ad}) \cdot f(E'_q/\omega) \quad (2)$$

$$\psi_{kd} - \psi_{ad} = L_{kd} \cdot i_{kd} \quad (3)$$

$$\psi_d - \psi_{ad} = -L_\ell \cdot i_d \quad (4)$$

De (1) e (2) eliminando ψ_{ad} temos:

$$\psi_{fd} = (L_{ad} + L_{fd}) \cdot i_{fd} + L_{ad}(i_{kd} - i_d) - (1 + L_{fd}/L_{ad}) \cdot f(E'_q/\omega)$$

Multiplicando por (L_{ad}/L_{ffd}) onde $L_{ffd} = L_{ad} + L_{fd}$

$$\begin{aligned} \frac{L_{ad}}{L_{ffd}} \cdot \psi_{fd} &= (L_{ad} + L_{fd}) \frac{L_{ad}}{L_{ffd}} i_{fd} + L_{ad} \frac{L_{ad}}{L_{ffd}} (i_{kd} - i_d) \\ &\quad - \frac{L_{ad}}{L_{ffd}} \frac{L_{ad} + L_{fd}}{L_{ad}} f(E'_q/\omega) \dots \end{aligned}$$

$$\frac{L_{ad}}{L_{ffd}} \psi_{fd} = L_{ad} \cdot i_{fd} + \frac{L_{ad}^2}{L_{ffd}} (i_{kd} - i_d) - f(E'_q/\omega) \dots$$

$$L_{ad} \cdot i_{fd} = \frac{L_{ad}}{L_{ffd}} \psi_{fd} - \frac{L_{ad}^2}{L_{ffd}} (i_{kd} - i_d) + f(E'_q/\omega) \quad (5)$$

Temos que:

$$L'_d = L_\ell + \frac{L_{ad} \cdot L_{fd}}{L_{ad} + L_{fd}} = L_\ell + \frac{L_{ad} \cdot L_{fd}}{L_{ffd}}$$

$$L''_d = L_\ell + \frac{1}{\frac{1}{L_{ad}} + \frac{1}{L_{fd}} + \frac{1}{L_{kd}}}$$

$$L_d = L_\ell + L_{ad}$$

$$L_d - L'_d = L_{ad} - \frac{L_{ad} \cdot L_{fd}}{L_{ad} + L_{fd}} = \frac{L_{ad}^2 + L_{ad} \cdot L_{fd} - L_{ad} \cdot L_{fd}}{L_{ad} + L_{fd}}$$

$$L_d - L'_d = \frac{L_{ad}^2}{L_{ffd}}$$

$$\frac{E'_q}{\omega} = \frac{L_{ad}}{L_{ffd}} \cdot \psi_{fd}$$

(5) então se tornará:

$$L_{ad} \cdot i_{fd} = \frac{E'_q}{\omega} + (L_d - L'_d) i_d - (L_d - L'_d) i_{kd} + f(E'_q / \omega) \quad (6)$$

Resolvendo i_{kd} de (1) e (3)

$$\psi_{kd} = L_{ad}(i_{fd} - i_d) + (L_{ad} + L_{kd})i_{kd} - f(E'_q / \omega) \quad (7)$$

Substituindo $L_{ad} \cdot i_{fd}$ de (6), (7) se tornará:

$$\left(L_{kd} + \frac{L_{ad} \cdot L_{fd}}{L_{ffd}} \right) i_{kd} = \psi_{kd} - \frac{E'_q}{\omega} + \left(\frac{L_{ad} \cdot L_{fd}}{L_{ffd}} \right) i_d \quad (8)$$

$$\text{Temos também } \psi_d = \psi_{ad} - i_d \cdot L_\ell \quad (9)$$

Substituindo ψ_{ad} de (3), teremos:

$$\psi_d = \psi_{kd} - L_{kd} \cdot i_{kd} - i_d \cdot L_\ell$$

Substituindo i_{kd} da equação (8)

$$\psi_d = \psi_{kd} - \frac{L_{kd}}{L_{kd} + \frac{L_{ad} \cdot L_{fd}}{L'_{ad} + L_{fd}}} \cdot \left(\psi_{kd} - \frac{E' q}{\omega} \right) - \left(L_\ell + \frac{L_{ad} \cdot L_{fd} \cdot L_{kd}}{L_{kd}(L_{ad} + L_{fd}) + L_{ad} \cdot L_{fd}} \right) i_d \quad (10)$$

Temos outras identidades:

$$L_{kd} = \frac{(L'_d - L_\ell)(L''_d - L_\ell)}{(L'_d - L''_d)}$$

$$\frac{L_{ad} \cdot L_{fd}}{L_{ffd}} = L'_d - L_\ell$$

$$L_{fd} = L_{ad} \cdot \frac{L'_d - L_\ell}{L_d - L'_d}$$

Então (10) se tornará:

$$\psi_d = \psi_{kd} \left(\frac{L'_d - L''_d}{L'_d - L_\ell} \right) + \frac{E' q}{\omega} \left(\frac{L''_d - L_\ell}{L'_d - L_\ell} \right) - i_d \cdot L''_d \quad (11)$$

Temos

$$\psi_{kd} \left(\frac{L'_d - L''_d}{L'_d - L_\ell} \right) + \frac{E' q}{\omega} \left(\frac{L''_d - L_\ell}{L'_d - L_\ell} \right) = \psi''_d$$

logo

$$\psi_d = \psi''_d - i_d \cdot L''_d \quad (12)$$

De (11) ψ_{kd} e E'_q/ω são obtidos da integração das equações do rotor.

$$e_{fd} = r_{fd} \cdot i_{fd} + d \frac{\psi_{fd}}{dt}$$

Multiplicando por $\frac{L_{ad}}{L_{ffd}}$ e transformando

$$\frac{L_{ad}}{L_{ffd}} \cdot \psi_{fd} = \int (e_{fd} \cdot \frac{L_{ad}}{L_{ffd}} - \frac{r_{fd}}{L_{ffd}} \cdot L_{ad} \cdot i_{fd}) dt$$

ou seja

$$\frac{E'_q}{\omega} = \int (e_{fd} - L_{ad} \cdot i_{fd}) dt \quad (13)$$

$$\text{Também } i_{kd} \cdot r_{kd} + \frac{d \psi_{kd}}{dt} = 0$$

ou

$$\psi_{kd} = - \int i_{kd} \cdot r_{kd} dt \quad (14)$$

Usando (7) para i_{kd} em (14) teremos:

$$\psi_{kd} = - \int \frac{r_{kd}}{L_{kd} + \frac{L_{ad} \cdot L_{fd}}{L_{ffd}}} \left[\psi_{kd} - \frac{E'_q}{\omega} + \frac{L_{ad} \cdot L_{fd}}{L_{ad} + L_{fd}} \right] dt =$$

$$= - \frac{1}{T''_{d0}} \int \left[\psi_{rd} - \frac{E'_q}{\omega} + (L'_d - L_\ell) i_d \right] dt$$

finalmente usando (6) e (7) teremos:

$$L_{ad} \cdot i_{fd} = \frac{E'_q}{\omega} + f \left(\frac{E'_q}{\omega} \right) + i_d (L_d - L'_d) \left[1 + \frac{L'_d - L''_d}{L'_d - L_\ell} \right] \\ + \left(\frac{E'_q}{\omega} - \psi_{kd} \right) \left[\frac{(L_d - L'_d)(L'_d - L''_d)}{(L'_d - L_\ell)^2} \right]$$

Equações do Eixo q

As relações de fluxos enlaçados são as seguintes:

$$\psi_{aq} = L_{aq} (i_{kq} - i_q) \quad (15)$$

$$\psi_{kq} - \psi_{aq} = L_{kq} \cdot i_{kq} \quad (16)$$

$$\psi_q - \psi_{aq} = L_\ell \cdot i_q \quad (17)$$

Das equações (15) e (16) eliminando ψ_{aq} :

$$\psi_{kq} - L_{aq} (i_{kq} - i_q) - L_{kq} \cdot i_{kq} = 0$$

$$\psi_{kq} - i_{kq} (L_{aq} - L_{kq}) + L_{aq} \cdot i_q = 0$$

$$\psi_{kq} - i_{kq} \cdot L_{kkq} - L_{aq} \cdot i_q = 0 \quad (18)$$

Temos que:

$$L'_q = L''_q = L_\ell + \left(\frac{L_{aq} \cdot L_{kq}}{L_{kkq}} \right)$$

$$L_q = L_{aq} + L_\ell$$

então

$$L_q - L''_q = (L_{aq} - L_\ell) - L_\ell - \frac{L_{aq} \cdot L_{kq}}{L_{kkq}} = \frac{L_{aq}^2}{L_{kkq}}$$

Multiplicando (18) por $\frac{L_{aq}}{L_{kkq}}$, vem:

$$\psi_{kq} \cdot \frac{L_{aq}}{L_{kkq}} - i_{kq} \cdot L_{aq} + (L_q - L''_q) i_q = 0 \quad (19)$$

Substituindo ψ_{aq} de (15) em (17)

$$\psi_q - L_{aq}(i_{kq} - i_q) = -L_\ell \cdot i_q$$

$$\psi_q - L_{aq} \cdot i_{kq} = -i_q(L_{aq} + L_\ell) = -i_q \cdot L_q \quad (20)$$

Tirando i_{kq} de (19) e substituindo em (20)

$$\psi_q - L_{aq} \left[\frac{\psi_{kq}}{L_{kkq}} + \frac{(L_q - L'_q)}{L_{aq}} \cdot i_q \right] = -i_q \cdot L_q$$

$$\psi_q = \psi_{kq} \frac{L_{aq}}{L_{kkq}} - i_q \cdot L''_q = \psi''_q - i_q \cdot L''_q \quad (21)$$

onde $\psi''_q = \psi_{kq} \frac{L_{aq}}{L_{kkq}}$

Do enrolamento amortecedor temos:

$$r_{kq} \cdot i_{kq} + \frac{d \psi_{kq}}{d t} = 0$$

$$\psi_{kq} = - \int r_{kq} \cdot i_{kq} dt \quad (22)$$

De (19) tirando i_{kq} e substituindo em (22)

$$\psi_{kq} = - \int r_{kq} \cdot \left[\frac{\psi_{kq}}{L_{kkq}} + \frac{(L_q - L'_q)}{L_{aq}} \cdot i_q \right] dt \quad (23)$$

Multiplicando-se (23) por $\frac{L_{aq}}{L_{kkq}}$ vem:

$$\psi''_q = - \int \frac{r_{kq}}{L_{kkq}} \cdot L_{aq} \left[\frac{\psi_{kq}}{L_{kkq}} + \left(\frac{L_q - L''_q}{L_{aq}} \right) i_q \right] dt$$

Se $\frac{L_{kkq}}{r_{kq}} = T''_{q0}$ então

$$\psi''_q = - \frac{1}{T''_{q0}} \int \left[\psi''_q + (L_q - L''_q) i_q \right] dt \quad (24)$$

De posse das equações de eixo d e q podemos construir os diagramas de bloco de eixos d e q da máquina síncrona e que são apresentados nas figuras II.4 e II.5, respectivamente.

Observações:

Quando $\omega = 1.0$ pu indutâncias e reatâncias, tensões e fluxos, aos pares, são os mesmos valores p.u., por isso costuma-se ver os parâmetros nos diagramas de blocos expressos em reatâncias ao invés de indutâncias e voltagens ao invés de fluxos.

Definição de Parâmetros e Funções

- T'_{d0} - Constante de tempo transitório de eixo direto para circuito aberto.
- T''_{d0} - Constante de tempo subtransitória de eixo direto para circuito aberto.
- T''_{q0} - Constante de tempo subtransitória do eixo em quadratura para circuito aberto.
- X_d - Reatância síncrona do eixo direto não saturada.
- X'_d - Reatância transitória de eixo direto não saturada.
- X''_d - Reatância subtransitória de eixo direto não saturada.
- X_q - Reatância síncrona do eixo em quadratura não saturada.
- X'_q - Reatância transitória do eixo em quadratura não saturada.
- X''_q - Reatância subtransitória do eixo em quadratura não saturada.
- X_ℓ - Reatância de dispersão.

Observação:

Já que todas as variáveis e parâmetros da máquina são valores na forma *per unit* |pu|, a barra sobre os mesmos foi omitida por conveniência.

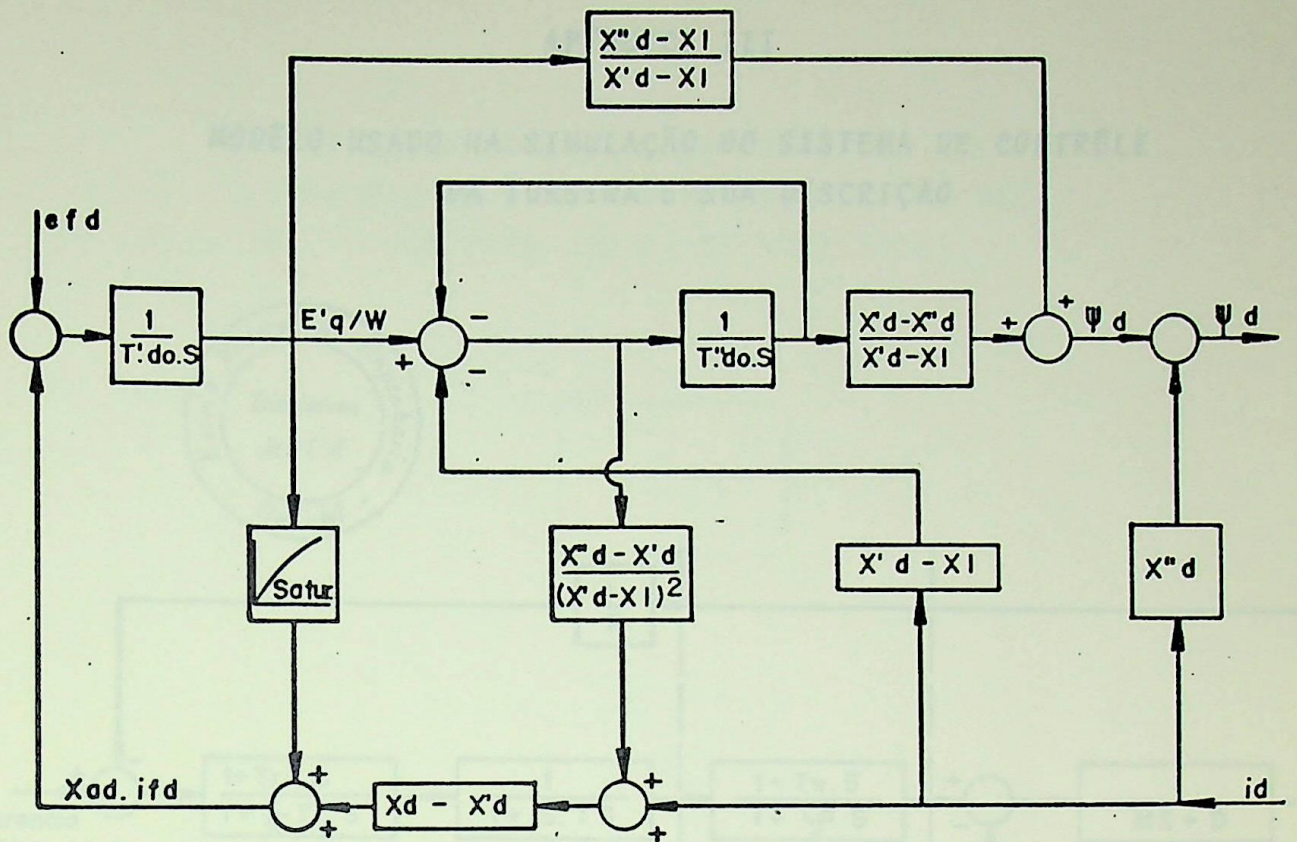


Fig. II-4

Diagrama de blocos do eixo direto da máquina síncrona de polos salientes com um amortecedor

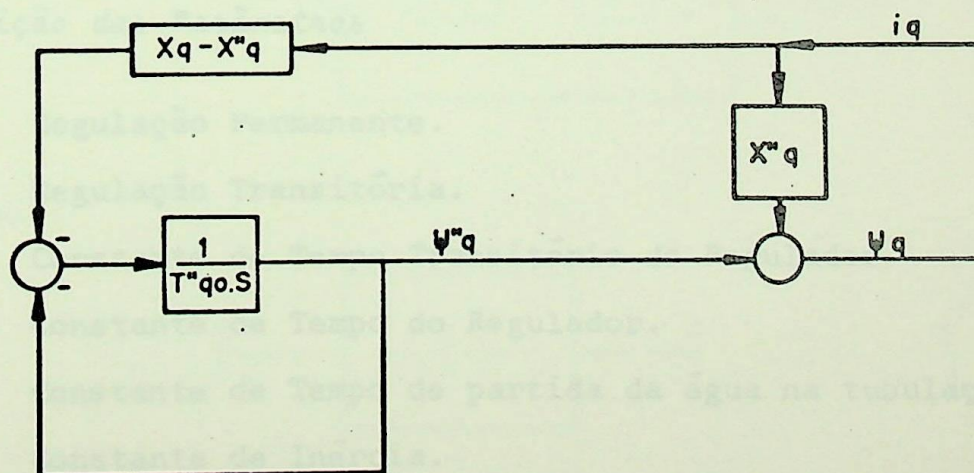
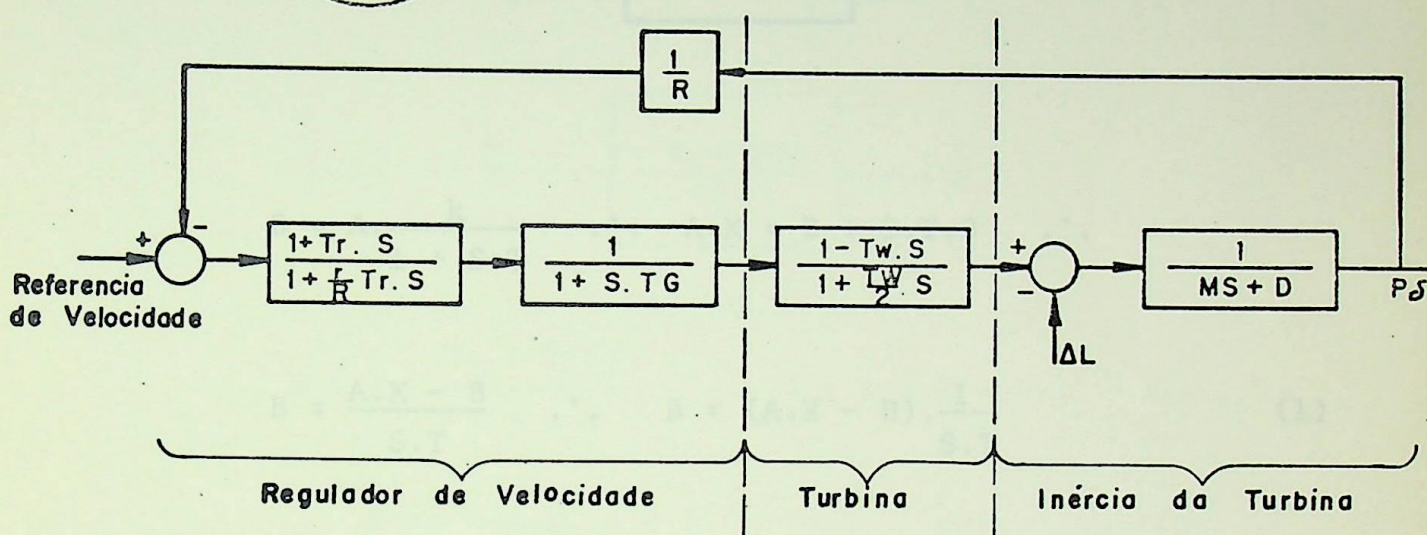
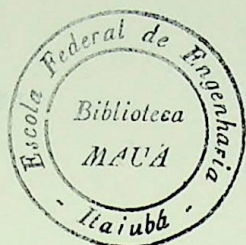


Fig. II-5

Diagrama de blocos do eixo q da máquina síncrona de polos salientes com um amortecedor.

APÊNDICE III

MODELO USADO NA SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE CONTRÔLE DA TURBINA E SUA DESCRIÇÃO



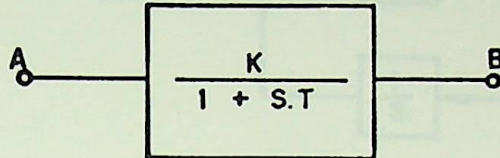
Definição dos Parâmetros

- R - Regulação Permanente.
- r - Regulação Transitória.
- T_r - Constante de Tempo Transitório do Regulador.
- T_G - Constante de Tempo do Regulador.
- T_w - Constante de Tempo de partida da água na tubulação.
- M - Constante de Inércia.
- D - Constante de Amortecimento.

APÊNDICE IV

SUBSTITUIÇÃO DE BLOCOS INTEGRADORES COMPOSTOS POR BLOCOS INTEGRADORES SIMPLES ADAPTA- DOS PARA USO DA TÉCNICA FACE.

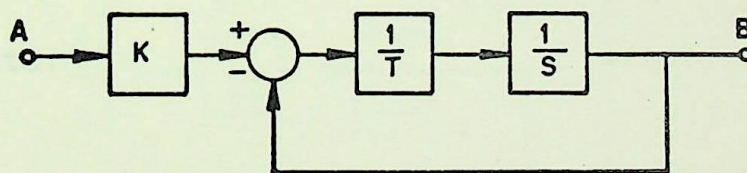
1º Tipo:



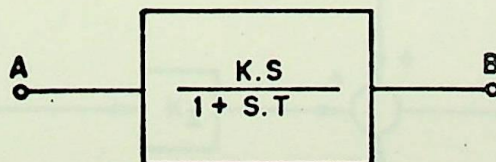
$$B = A \cdot \frac{K}{1 + S.T} \quad \therefore \quad A.K = B + S.T.B \quad \therefore$$

$$B = \frac{A.K - B}{S.T} \quad \therefore \quad B = (A.K - B) \cdot \frac{1}{S.T} \quad (1)$$

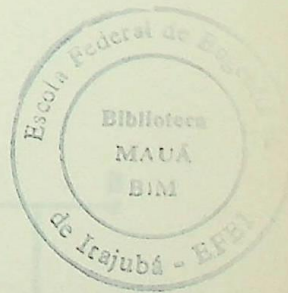
A expressão (1) conduz à seguinte composição de blocos:



2º Tipo:

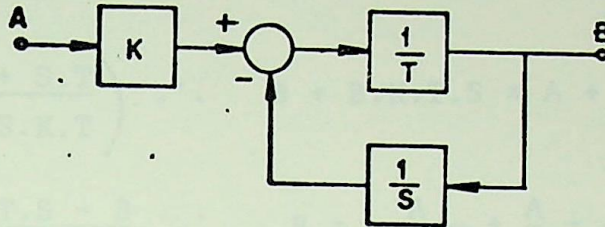


$$B = A \frac{K.S}{1 + S.T} \quad \therefore \quad B + B.S.T = A.K.S \quad \therefore$$

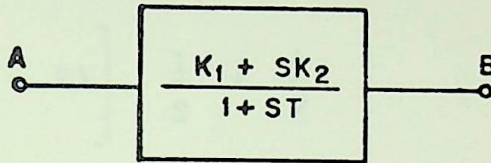


$$B = \frac{A.K.S - B}{S.T} \quad \therefore \quad B = \left(A.K - \frac{B}{S} \right) \cdot \frac{1}{T} \quad (2)$$

que conduz a:



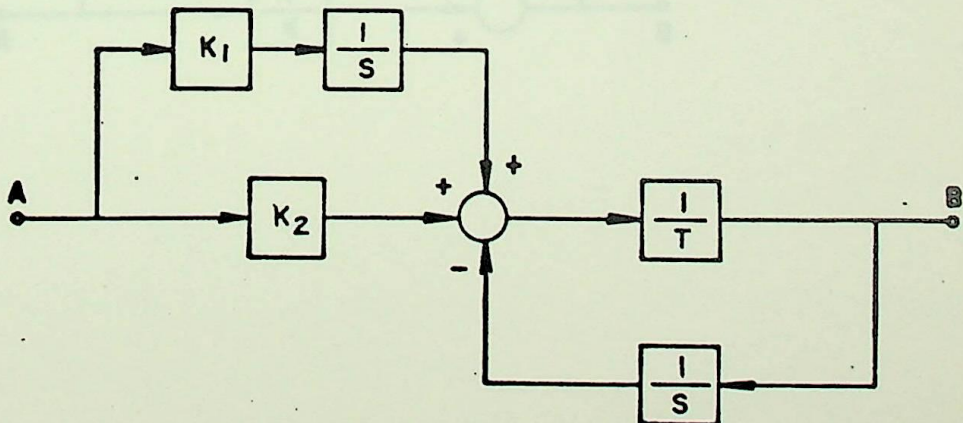
3º Tipo:



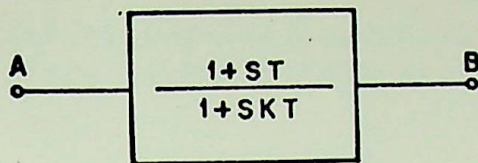
$$B = A \cdot \frac{K_1 + S.K_2}{1 + S.T} \quad \therefore \quad B + B.S.T = A.K_1 + A.K_2.S \quad \therefore$$

$$B = \frac{A.K_1 + A.K_2.S - B}{S.T} = \frac{A.K_1}{S.T} + \frac{A.K_2}{T} - \frac{B}{S.T} \quad (3)$$

que resulta:



4º Tipo:

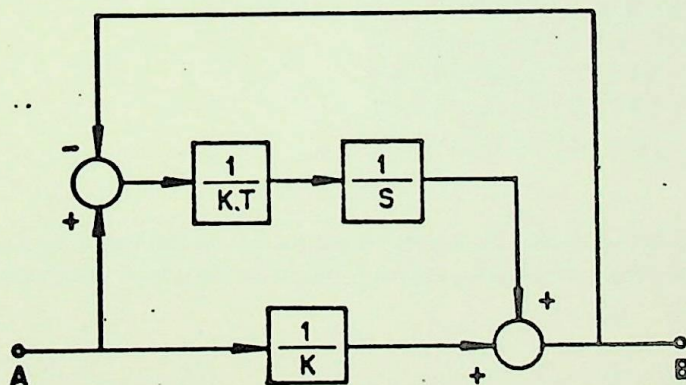


$$B = A \cdot \left(\frac{1 + S \cdot T}{1 + S \cdot K \cdot T} \right) \therefore B + B \cdot K \cdot T \cdot S = A + S \cdot A \cdot T \therefore$$

$$B = \frac{A + A \cdot T \cdot S - B}{K \cdot T \cdot S} \therefore B = \frac{A}{S \cdot K \cdot T} + \frac{A}{K} - \frac{B}{S \cdot K \cdot T} \therefore$$

$$B = \left[\frac{1}{K \cdot T} (A - B) \right] \cdot \frac{1}{S} + \frac{A}{K} \quad (4)$$

que conduz à seguinte composição de blocos:



ESTE PROGRAMA FAZ PARTE DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE
SILVIA MARINHO DE SOUZA

A N E X O I

LISTAGEM DO PROGRAMA E
CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

ESTE PROGRAMA FAZ PARTE DA DISSERTACAO DE MESTRADO DE
SILES PAULINO DE TOLEDO

OBJETIVO DO PROGRAMA : ESTUDO DA VARIACAO DAS GRANDEZAS DE UM SISTEMA COMPOSTO DE SISTEMA DE EXCITACAO, SISTEMA DE CONTROLE DE TURBINA, GERACAO E LINHA DE TRANSMISSAO FRENTE A UM BARRAMENTO INFINITO, DEVIDO A PERTURBACOES TAIS COMO CURTOS CIRCUITOS TRIFASICOS E VARIACOES NA REFERENCIA DE TENSAO DO REGULADOR DE TENSAO.

O PROGRAMA PODE SER DIVIDIDO EM DUAS FASES:

FASE 1: CALCULO DAS CONDICAOES DE ESTADO PERMANENTE.

FASE 2: CALCULO DAS VARIACOES EM PRESENCIA DE PERTURBACOES.

NOTA: O PROGRAMA TEM AINDA COMO OPCAO A CONFIRMACAO DOS VALORES INICIAIS DE ESTADO PERMANENTE QUANDO A SIMULACAO E FEITA SEM NENHUM TIPO DE PERTURBACAO.

INTEGER SIGNIF

COMPLEX*8 CN, CI, CEQ, EB, Z, CXQ

REAL KA, KE, KF, MFB, MEQ, MCI, IO, ID, MCN, MEB1

DIMENSION CON(50), VAR(50), PL(20), OUT(20), STORE(20), CDEF(11), X(100)

*Y(100)
COMMON F(5,1000), SIGNIF(5,3), TEMPO(1000)

REGRESSAO POLINOMIAL DA CURVA DE SATURACAO DA M.S.

CALL RP(M,X,Y,N,COEF,NP)

LEITURA DA OPCAO DO PROGRAMA, TEMPO DE C.C. , PORCENTAGEM DE VARIACAO DA REFERENCIA DE TENSAO, TEMPO DE PERMANENCIA DA VARIACAO, NUMERO DE ITERACOES PARA QUE SE ATINJA O VALOR MAXIMO OU MINIMO DA TENSAO DE REFERENCIA, PARTINDO-SE DA MESMA E O NUMERO DE ITERACOES PARA SE ATINGIR O VALOR ORIGINAL, PARTINDO-SE DE SEU VALOR MAXIMO OU MINIMO, DE ACORDO COM A OPCAO (NOP=3 OU NOP=4).

1 READ (12,1) NOP, TCC, PERC, TVAR, NDEG1, NDEG2
 1 FORMAT (I5, 3F5.2, 2I10)

NOP--->OPCAO DO PROGRAMA

* NOP=0 ---> NAO OCORRE PERTURBACAO.

* NOP<0 ---> C.C. TRIFASICO DEVENDO SER DADO:
 TCC - TEMPO DE DURACAO DA FALTA

**NOP=-1 - C.C. NO INICIO DA LINHA

**NOP=-2 - C.C. NO BARRAMENTO INFINITO

**NOP=-3 - C.C. NO INICIO DA LINHA COM REGULADORES BLOQUEADOS.

**NOP=-4 - C.C. NO BARRAMENTO INFINITO COM REGULADORES BLOQUEADOS.

* NOP>0 ---> VARIACAO NA TENSAO DE REFERENCIA*VAR(6)=CON(19)* DEVENDO SER DADO:

PERC - PORCENTAGEM DE VARIACAO

TVAR - TEMPO DE PERMANENCIA DA VARIACAO

NDEG1 - NUMERO DE DEGRAUS ANTES DE SE ATINGIR O VALOR MAXIMO OU MINIMO DA TENSAO DE REFERENCIA, PARTINDO-SE DA MESMA.

NDEG2 - NUMERO DE DEGRAUS PARA SE ATINGIR A TENSAO DE REFERENCIA PARTINDO-SE DE SEU VALOR MAXIMO OU MINIMO.

OBS: CADA DEGRAU CORRESPONDE AO TEMPO DE UMA ITERACAO, OU SEJA, DELT.

**NOP=1 - VARIACAO POSITIVA BRUSCA.

**NOP=2 - VARIACAO NEGATIVA BRUSCA.

**NOP=3 - VARIACAO POSITIVA NAO BRUSCA.

**NOP=4 - VARIACAO NEGATIVA NAO BRUSCA.

KEY=0

KEY--->PALAVRA QUE SO SERA DIFERENTE DE ZERO DEPOIS DE ELIMINADA A PERTURBACAO.

* KEY=-1 ---> ELIMINADO O C.C.

* KEY= 1 ---> TENSAO DE REFERENCIA VOLTA AO VALOR ORIGINAL

* KEY= 2 ---> TENSAO DE REFERENCIA ATINGE PONTO MAXIMO OU MINIMO E INICIA SUA VOLTA AO VALOR ORIGINAL.

LEITURA DOS PARAMETROS DO SISTEMA

1 READ (12,2) KA, TA, KE, TE, KF, TF, TR, VRMAX, VRMIN, A1, B1, TLDO, TLDO, TLLQ,
 * XD, XID, XLLD, XO, XLO, XLLQ, XL, XM, TG, TW, D, R, RMIN, RE, XE, TRMIN
 2 FORMAT (2 (10F8.4/), 10F8.4)

```
CALL CALCON(CON,KA,TA,KE,TE,KE,TF,TR,VRMAX,VRMIN,A1,B1,TLDO,TLLDO,
* TLLOO,XD,XLD,XLLD,XQ,XLQ,XLLQ,XL,XM,TG,TW,D,R,RMIN,RE,
* XE,TRMIN)
```

```
CALL SYST (FT,CNR,CNI,CN,MCN,DELTAN,Ci,MCI,FI,
* DELTA1,7,FB,MEB,DELTA2,CXQ,CEQ,MEQ,DELTA1,DELTA,PI,ED,EQ,
* ID,IO,FFD,ELLO,ELC,RE,XE,XQ,XD,XLLD,XLD)
```

REFERENCIAS INICIAIS

```
CON(1)=1.
CON(1) E O VALOR DE W0
VAR(20)=CON(1)
```

CALCULO DAS VARIÁVEIS E SAÍDAS DE INTEGRADORES PARA ESTADO PERMANENTE.

```
CALL CISCT1(CON,VAR,OUT,PE,ED,IO,EQ,IO,PDELTA,DELTA)
```

```
CALL CIGFP1(CON,VAR,OUT,ELLO,ELLO,IO,ED,IO,EQ,COEF)
```

```
CALL CIIFF1(CON,VAR,OUT,FFD,FT,A1,B1)
```

```
CALL PLOTAG(DFIT,TINIC,NPLOT,TFINAL,NIT,DPLOT,TPLDT,TLLDO)
```

```
WRITE(1,105)
```

```
105 FORMAT(// 30X,'PARAMETROS DO SISTEMA'//)
```

```
WRITE(1,106)KA,TA,KE,TE,KE,TF,TR,VRMAX,VRMIN,A1,B1
```

```
106 FORMAT(14X,'SISTEMA DE EXCITACAO'//14X,'KA=',F7.3,1X,'( GANHO DO
* REGULADOR DE TENSÃO )'//14X,'TA=',F7.3,1X,'( CONSTANTE DE TEMPO DO
* AMPLIFICADOR DO REGULADOR )'//14X,'KE=',F7.3,1X,'( CONSTANTE DA EXC
* ITATRIZ RELATIVA AO CAMPO AUTO EXCITADO )'//14X,'TE=',F7.3,1X,'( CO
* NSTANTE DE TEMPO DA EXCITATRIZ )'//14X,'KE=',F7.3,1X,'( GANHO DO CI
* RCUITO ESTABILIZADOR )'//14X,'TF=',F7.3,1X,'( CONSTANTE DE TEMPO DO
* CIRCUITO ESTABILIZADOR )'//14X,'TR=',F7.3,1X,'( CONSTANTE DE TEMPO
* DO FILTRO DE ENTRADA DO REGULADOR )'//14X,'VRMAX=',F5.2,1X,'( VOLT
* AGEM MAXIMA DE SAIDA DO REGULADOR )'//14X,'VRMIN=',F5.2,1X,'( VOLT
* GEM MINIMA DE SAIDA DO REGULADOR )'//14X,'A1=',F6.3,1X,'B1=',F6.3,1
* X,'( PARAMETROS USADOS NA SATURACAO DA EXCITATRIZ )'//)
```

```
WRITE(1,107) TLDO,TLLDO,TLLQO,XD,XLD,XLLD,XQ,XLQ,XLLQ,XL
```

```
107 FORMAT(14X,'GERACAO-MAGUINA SINCRONA DE POLOS SALIENTES COM UM AMN
* RTECEDOR'//14X,'TLDO=',F6.3,1X,'( CONSTANTE DE TEMPO TRANSITORIA
* DE EIXO DIRETO )'//14X,'TLLDO=',F5.3,1X,'( CONSTANTE DE TEMPO SUBTR
* ANSITORIA DE EIXO DIRETO )'//14X,'TLLQO=',F5.3,1X,'( CONTANTE DE TE
* MPO SUBTRANSITORIA DE EIXO EM QUADRATURA )'//14X,'XD=',F8.3,1X,'( R
* EATANCIA SINCRONA DO EIXO D NAO SATURADA )'//14X,'XLD=',F7.4,1X,'(
* REATANCIA TRANSITORIA DO EIXO D NAO SATURADA )'//14X,'XLLD=',F6.4,1
* X,'( REATANCIA SUBTRANSITORIA DO EIXO D NAO SATURADA )'//14X,'XQ=',
* F8.3,1X,'( REATANCIA SINCRONA DO EIXO Q NAO SATURADA )'//14X,'XLQ=',
* F7.4,1X,'( REATANCIA TRANSITORIA DO EIXO Q NAO SATURADA )'//14X,'X
* LLQ=',F6.3,1X,'( REATANCIA SUBTRANSITORIA DO EIXO Q NAO SATURADA )
* //14X,'XI=',F8.3,1X,'( REATANCIA DE DISPERSAO )'//14X,'OBSERVACAO
* : TLDO,TLLDO E TLLQO SAO CONSTANTES DE CIRCUITO ABERTO.'//)
```

```
WRITE(1,108)XM,TG,TW,D,R,RMIN,TRMIN
```

```
108 FORMAT(14X,'SISTEMA DE CONTROLE DA TURBINA'//14X,'XM=',F4.1,1X,'(
* CONSTANTE DE INERCIA DA TURBINA )'//14X,'TG=',F4.1,1X,'( CONSTANTE
```

```
* DE TEMPO DO REGULADOR )'/14X,'TW=' ,F4.1,1X,' ( CONSTANTE DE TEMPO
* DE PARTIDA DA AGUA NA TURBINA )'/14X,'D=' ,F5.1,1X,' ( CONSTANTE D
* E AMORTECIMENTO )'/14X,'R=' ,F5.1,1X,' ( REGULACAO PERMANENTE )'/14X
* , 'RMIN=' ,F2.0,1X,' ( REGULACAO TRANSITORIA )'/14X,'TRMIN=' ,F7.4,1X,
* '( CONSTANTE DE TEMPO TRANSITORIA DO REGULADOR )'////////)
```

```
WRITE(1,109) RE,XE
```

```
109 FORMAT(14X,'Linha de transmissao entre gerador e barramento infini
* to'////////14X,'RE=' ,F3.1,1X,' ( RESISTENCIA )'/14X,'XE=' ,F3.1,1X,' ( REA
* TANCIA )'////////)
```

```
WRITE(1,110)
```

```
110 FORMAT(1H1)
```

```
WRITE(1,111)
```

```
ET,CNR,CNI, MCN,DELTA,CI,MCI,DEL
* TA,FI,ER,MEB,DELTA2,CEQ,MEQ,DELTA1,DELTA,ED,IO,FO,IO,FLIO,ELO,EPD
111 FORMAT (////////14X,'VALORES DE ESTADO PERMANENTE DAS P
* RINCIPAIS GRANDEZAS DO SISTEMA'////////14X,'CALCULADOS TOMANDO-SE COMO F
* IXOS OS VALORES DA TENSAO TERMINAL DO GERADOR'////////14X,'E A POTENCIA
* COMPLEXA TRANSMITIDA'////////14X,'FT=' ,F5.2,1X,' ( TENSAO TERMINAL - REF
* ERENCIA VETORIAL )'/14X,'CN=' ,F5.2,1X,' ( POTENCIA COMPLE
* XA TRANSMITIDA )'/14X,'MCN=' ,F5.2,1X,' ( MODULO DA POTENCIA COMPLEX
* A TRANSMITIDA )'/14X,'DELTA=' ,F5.2,1X,' ( ANGULO DA POTENCIA COMPI
* EXA TRANSMITIDA )'/14X,'CI=' ,F5.2,1X,' ( MODULO DA CORRENTE )'/14X,
* 'DELTAI=' ,F5.2,1X,' ( ANGULO DA CORRENTE )'/14X,'FI=' ,F5.2,1X,' ( AN
* GULO DE POTENCIA )'/14X,'EB=' ,F5.2,1X,' ( TENSAO NO BARR
* AMENTO INFINITO )'/14X,'MEB=' ,F8.5,1X,' ( MODULO DE EB )'/14X,'DEIT
* A2=' ,F8.5,1X,' ( ANGULO DE EB )'/14X,'CEQ=' ,F5.2,1X,' ( V
* ETOR DEFINICAO DO EIXO Q )'/14X,'MEQ=' ,F8.5,1X,' ( MODULO DE CEQ )'
* /14X,'DELTA1=' ,F8.5,1X,' ( ANGULO DE CEQ )'/14X,'DELTA=' ,F8.5,1X,' (
* ANGULO ENTRE EB E CEQ )'/14X,'ED=' ,F8.5,3X,' ( TENSAO
* NO E CORRENTE DO EIXO D )'/14X,'EQ=' ,F8.5,3X,' ( TENSAO
* NO E CORRENTE DO EIXO Q )'/14X,'ELLQ=' ,F8.5,1X,' ( TENSAO SUBTRANSIT
* ORIA NO EIXO Q )'/14X,'ELO=' ,F8.5,1X,' ( TENSAO TRANSITORIA NO EIXO
* Q )'/14X,'EPD=' ,F8.5,1X,' ( TENSAO NO CAMPO DA MAQUINA )'
* //14X,'OBSERVACAO :'/14X,'O VALOR DE EPD CALCUL
* ADO CORRESPONDE AO ESTADO DE NAO SATURACAO DA MAQUINA.'////////)
```

```
WRITE(1,112) CON(1),CON(19),VAR(22)
```

```
112 FORMAT (////////14X,'REFERENCIAS INICIAIS'////////14X,'CON(1
* )=VAR(20)=WO=' ,F5.2,1X,' ( VELOCIDADE ANGULAR DE ESTADO PERMANENTE
* )'/14X,'CON(19)=VAR(6)=1, F5.2,1X,' ( REFERENCIA DE TENSAO DO SISTEM
* A DE EXCITACAO )'/14X,'VAR(22)=1, F5.2,1X,' ( REFERENCIA DE VELOCIDA
* DE DO SISTEMA DE CONTROLE DA TURBINA )')
```

```
WRITE(1,110)
```

```
WRITE(1,113) DELT,TINIC,NPLOT,TFINAL,NIT,DPLOT,TPLOT
```

```
113 FORMAT (//////////25X,'CARACTERISTICAS DA PLOTAGEM'////////14X,'DELT=' ,F6.4,1X,
* '( INTERVALO DE TEMPO ENTRE ITERACOES )'/14X,'TINIC=' ,F5.2,1X,' ( T
* EMPO INICIAL DE PLOTAGEM )'/14X,'NPLOT=' ,F5,1X,' ( NUMERO DE PONTOS
* A SER PLOTADOS )'/14X,'TFINAL=' ,F5.2,1X,' ( TEMPO FINAL DE PLOTAGEM
* )'/14X,'NIT=' ,F5,1X,' ( NUMERO DE ITERACOES )'/14X,'DPLOT=' ,F5.3,1
* X,' ( INTERVALO DE TEMPO ENTRE OS PONTOS DO GRAFICO )'/14X,'TPLOT='
* ,F5.3,1X,' ( TEMPO INICIAL DE PLOTAGEM )'////////)
```

```
WRITE(1,110)
```

```

WRITE(1,100)
100 FORMAT(//////////,40X,'OPCAO DO PROGRAMA'////)

IF(NOP.EQ.0) GO TO 1000

IF(NOP.LT.0) GO TO 2000

IF(NOP.GT.0) GO TO 3000

1000 WRITE(1,101)
101 FORMAT(21X,
*VERIFICACAO DO ESTADO PERMANENTE DO
*//21X,'SISTEMA QUANDO DA NA OCORRENCIA
*A DE'//21X,'NENHUM TIPO DE PERTURBACAO')
GO TO 1002

2000 IF(NOP.EQ.-1) GO TO 2001

IF(NOP.EQ.-2) GO TO 2002

IF(NOP.EQ.-3) GO TO 2003

IF(NOP.EQ.-4) GO TO 2004

2001 WRITE(1,201) TCC
201 FORMAT(21X,
*DETERMINACAO DA VARIACAO DAS GRANDE
*7 AS'//21X,'DO SISTEMA QUANDO DA OCORREN
*CIA DE C. C. '//21X,'TRIFASICO NOS TERMINA
*IS DO GERADOR'//21X,
*PERMANECENDO A FALTA DURANTE 'F7.2,'SE
*GUNDOS')
GO TO 1002

2002 WRITE(1,202) TCC
202 FORMAT(21X,
*DETERMINACAO DA VARIACAO DAS GRANDE
*7 AS'//21X,'DO SISTEMA QUANDO DA OCORREN
*CIA DE C. C. '//21X,'TRIFASICO NA ENTRADA
*DO BARRAMENTO'//21X,'INFINITO, PERMANE
*CENDO A FALTA DURANTE'//21X,'F5.2,'SEGUNDO
*SI)
GO TO 1002

2003 WRITE(1,203) TCC
203 FORMAT(21X,
*DETERMINACAO DA VARIACAO DAS GRANDE
*7 AS'//21X,'DO SISTEMA QUANDO DA OCORREN
*CIA DE C. C. '//21X,'TRIFASICO NOS TERMINA
*IS DO GERADOR'//21X,'PERMANECENDO A FAI
*TA DURANTE'F7.2,'SEGUNDOS'//21X,'E ESTAND
*O BLOQUEADOS OS REGULADORES SI)
GO TO 1002

2004 WRITE(1,204) TCC
204 FORMAT(21X,
*DETERMINACAO DA VARIACAO DAS GRANDE
*7 AS'//21X,'DO SISTEMA QUANDO DA OCORREN
*CIA DE C. C. '//21X,'TRIFASICO NA ENTRADA
*DO BARRAMENTO'//21X,'INFINITO, PERMANE
*CENDO A FALTA DURANTE'//21X,'F5.2,'SEGUND
*OS E ESTANDO BLOQUEADOS OS'//21X,'REGUL
*ADORES')

```

GO TO 1002

3000 IF(NOP.EQ.1) GO TO 3001

IF(NOP.EQ.2) GO TO 3002

IF(NOP.EQ.3) GO TO 3003

IF(NOP.EQ.4) GO TO 3004

3001 WRITE(1,301) PFRQ,TVAR

301 FORMAT(21X,

* D E T E R M I N A C A O D A V A R I A C A O D A S G R A N D E
 * 7 A S'///21X,'D O S I S T E M A Q U A N D O D A V A R I A C A
 * O B R U S C A '///21X,'P O S I T I V A D E',F5.2,'% N A R
 * F F E R E N C I A D E T E N S A O'///21X,'D O R E G U L A D O R
 * D E T E N S A O V O L T A N D O A'///21X,'R E F E R E N C I A
 * A O S S U V A L O R O R I G I N A L A P O S'///21X,F5.2,'S E
 * G U N D O S')

GO TO 1002

3002 WRITE(1,302) PFRQ,TVAR

302 FORMAT(21X,

* D E T E R M I N A C A O D A V A R I A C A O D A S G R A N D E
 * 7 A S'///21X,'D O S I S T E M A Q U A N D O D A V A R I A C A
 * O B R U S C A '///21X,'N E G A T I V A D E',F5.2,'% N A R
 * F F E R E N C I A D E T E N S A O'///21X,'D O R E G U L A D O R
 * D E T E N S A O V O L T A N D O A'///21X,'R E F E R E N C I A
 * A O S S U V A L O R O R I G I N A L A P O S'///21X,F5.2,'S E
 * G U N D O S')

GO TO 1002

3003 WRITE(1,303) PFRQ,NDEG1,NDEG2

303 FORMAT(21X,'D E T E R M I N A C A O D A V A R I A C A O D A S

* G R A N D E Z A S'///21X,'D O S I S T E M A Q U A N D O D A V
 * A R I A C A O N A O B R U S C A'///21X,'D E',F5.2,'% N A R E F
 * F R E N C I A D E T E N S A O D O'///21X,'R E G U L A D O R
 * D E T E N S A O A T I N G I N D O A'///21X,'R E F E R E N C I
 * A O S S U V A L O R M A X I M O A P O S',I5///21X,'I T E R
 * A C O E S , S E N D O A I N D A Q U E A T I N G I R A S S U'//
 */21X,'V A L O R O R I G I N A L A P O S',I5,'I T E R A C O E S')

GO TO 1002

3004 WRITE(1,304) PFRQ,NDEG1,NDEG2

304 FORMAT(21X,'D E T E R M I N A C A O D A V A R I A C A O D A S

* G R A N D E 7 A S'///21X,'D O S I S T E M A Q U A N D O D A V
 * A R I A C A O N A O B R U S C A'///21X,'D E',F5.2,'% N A R E F
 * F R E N C I A D E T E N S A O D O'///21X,'R E G U L A D O R D
 * E T E N S A O , A T I N G I N D O A'///21X,'R E F E R E N C I
 * A O S S U V A L O R M I N I M O A P O S',I5///21X,'I T E R
 * A C O E S , S E N D O A I N D A Q U E A T I N G I R A S S U'//
 */21X,'V A L O R O R I G I N A L A P O S',I5,'I T E R A C O E S')

1002 WRITE(1,110)

C IMPRESSAO DOS VALORES DAS VARIÁVEIS E DAS SAIDAS DOS INTEGRADORES
 C ANTES DA OCORRENCIA DA PERTURBACAO NO SISTEMA.

WRITE(1,9000)(VAR(II),II=1,27),(OUT(JJ),JJ=2,12)

9000 FORMAT(

//////14X,'VALORES DAS VARIÁVEIS E SAIDAS DE
 * INTEGRADORES'//14X,'ANTES DA OCORRENCIA DE PERTURBACOES (CONDICAO
 * S DE CONTORNO)'//14X,'V A R I A V E I S'//14X,'VAR(1)=FT=',F5.2,
 * IX,'(TENSÃO NOS TERMINAIS DA M.S.)'//14X,'VAR(2)=',F8.5/14X,'VAR
 * (3)=',F8.5/14X,'I SAIDA DO REGULADOR DE TENSÃO'//14X,'VAR(4)=',F8.

```

*5,16X,'VAR(5)='F10.7 /14X,'VAR(6)=CON(19)='F8.5,1X,'( REFERENCIA
* DE TENSÃO ) /14X,'VAR(7)='F8.5,16X,'VAR(8)='F7.4,1X,'( CURVA DE
* SATURACÃO ) /14X,'VAR(9)='F8.5,16X,'VAR(10)=ELLO='F8.5 /14X,'VA
* R(11)=ID='F8.5,12X,'VAR(12)=IQ='F8.5 /14X,'VAR(13)=PDRITA='F8.5
* /14X,'VAR(14)='F10.7,1X,'( ENTRADA DO REGULADOR DE TENSÃO ) /14X
* ,'VAR(15)='F8.5,15X,'VAR(16)=ED='F8.5 /14X,'VAR(17)=XAD.IFD='F7
* .4,8X,'VAR(18)=EQ='F8.5 /14X,'VAR(19)='F7.4,16X,'VAR(20)=CON(1)='
* WQ='F7.4 /14X,'VAR(21)='F8.5,15X,'VAR(22)='F5.3,1X,'( REFERÊNCI
* A DE VELOCIDADE ) /14X,'VAR(23)='F7.4,16X,'VAR(24)='F7.4 /14X,'V
* AR(25)='F7.4,1X,'( POT. MEC. )',2X
*
* 'VAR(26)=MCI='F7.4 /14X,'VAR(27)
* =PE='F7.4 /14X,'S A I D A S D O S I N T E G R A D O R E S' //
* 14X,'OUT(2)='F8.5,16X
*
* 'OUT(3)=EFD='F7.4 /14X,'OUT(4)='F10.6,14X,'ID
* OUT(5)=ELLO='F8.5 /14X,'OUT(6)='F8.5,16X,'OUT(7)=-ELLD='F8.5 /14X
* ,'OUT(8)='F8.5,16X,'OUT(9)='F8.5 /14X,'OUT(10)='F8.5,15X,'OUT(1
* 1)=PDELTA+W='F8.5 /14X,'OUT(12)=DELTA='F8.5 )

```

VALORES INICIAIS DAS FUNÇÕES ESCOLHIDAS PARA PLOTAGEM

NPONTD=1

```

F(1, NPONTD)=VAR(11)
F(2, NPONTD)=VAR(12)
F(3, NPONTD)=VAR(16)
F(4, NPONTD)=VAR(18)
F(5, NPONTD)=OUT(12)

```

ARMAZENAMENTO DOS VALORES A SEREM ALTERADOS DURANTE AS PERTURBAÇÕES.

```

VAR6=VAR(6)
RF1=RF
XE1=XE
MEB1=MEB

```

IF(NOP.LE.0) GO TO 40

PARA AS OPÇÕES NOP>0 PRECISAMOS CALCULAR OS VALORES MÁXIMO OU MÍNIMO DA TENSÃO DE REFERÊNCIA, SENDO:

```

VAR6A-->VALOR MÁXIMO
VAR6B-->VALOR MÍNIMO

```

```

VAR6A=CON(19)+(CON(19)/100.)*PERC
VAR6B=CON(19)-(CON(19)/100.)*PERC

```

OS VALORES ARMAZENADOS (STORE()) DEVEM SER IGUAIS AS SAÍDAS DOS INTEGRADORES (OUT()) EM ESTADO PERMANENTE.

```

40 DO 30 J=2,12
  STORE(J)=OUT(J)
30 CONTINUE

```

PARA C.C. COM REGULADORES DE TENSÃO E DE VELOCIDADE BLOQUEADOS, OU SEJA, DELTA=OUT(12) E EFD=OUT(3) CONSTANTES A OPÇÃO ESCOLHIDA DEVERÁ TER SIDA NOP=-3 OU NOP=-4.

```

IF(NOP.NE.-3.AND.NOP.NE.-4) GO TO 4020
OUT3=OUT(3)
OUT12=OUT(12)

```

```

C      INICIO DO PROCESSO ITERATIVO.
4020  DN 10 I=1,NIT
      ATEMPO=I*DELT

      CALL SCT1(CON,VAR,PL,OUT)

      CALL IEE1(CON,VAR,PL,OUT,VRMAX,VRMIN,NOP,PERC,A1,B1,KEY,VAR6,VAR6A
*VAR6B,NDFG1,NDFG2)

      CALL GER1(CON,VAR,PL,OUT,NOP,KEY,MEB,COEF,NP,RE,XE,XLLD,XLLQ,RE1,X
*F1,MFB1)

C      ROTINA DE INTEGRACAO

      DN 20 J=7,12
      Z=PL(J)*DELT
      STORE(J)=STORE(J)+Z
      OUT(J)=STORE(J)+0.5*Z
20  CONTINUE

C      VERIFICACAO DO BLOQUEIO OU NAO DOS REGULADORES.

      IF(NOP.NE.-3.AND.NOP.NE.-4) GO TO 4021
      OUT(3)=OUT3
      OUT(12)=OUT12

C      VERIFICACAO DA OCORRENCIA OU NAO DE UMA PERTURBACAO.
4021  IF(NOP.EQ.0) KEY=0

C      VERIFICACAO DA EXTINCAO OU NAO DA PERTURBACAO.

      IF(NOP.LT.0.AND.ATEMPO.GT.TCC)KEY=-1
      IF(NOP.EQ.1.OR.NOP.EQ.2.AND.ATEMPO.GT.TVAR)KEY=1

C      VERIFICACAO DO INICIO OU NAO DO ARMAZENAMENTO
C      DOS VALORES A SEREM PLOTADOS.

      IF(ATEMPO.LT.TPRINT) GO TO 10

      TPLOT=TPRINT+DPINT
      NPONTO=NPONTO+1

C      CONJUNTO DOS PONTOS A SEREM PLOTADOS

      TEMPO(NPONTO)=ATEMPO
      F(1,NPONTO)=VAR(11)
      F(2,NPONTO)=VAR(12)
      F(3,NPONTO)=VAR(16)
      F(4,NPONTO)=VAR(18)
      F(5,NPONTO)=OUT(12)

10  CONTINUE

C      FIM DO PROCESSO ITERATIVO.
C      LEITURA DO SIGNIFICADO DAS FUNCOES A SEREM PLOTADAS.
C      CHAMADA DA SUBROTINA PARA PLOTAGEM DOS VALORES ARMAZENADOS.

```

```

9010 READ(12,9010)((SIGNIF(MM,NN),NN=1,3),MM=1,5)
      FORMAT(5(2A4,4X))
      CALL IMPRE(NDI,NT,5)

```

```
WRITE(1,110)
```

C IMPRESSÃO DOS VALORES DAS VARIÁVEIS E DAS SAIDAS DOS INTEGRADORES
C APÓS SIMULAÇÃO.

```

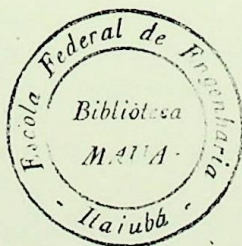
9001 WRITE(1,9001)(VAR(II),II=1,27),(OUT(JJ),JJ=2,12)
      FORMAT(
*INTEGRADORES APÓS SIMULAÇÃO
*          ///14X,'VALORES DAS VARIÁVEIS E SAIDAS DE
*          ///14X,'VARIÁVEIS'///14X,'VAR(1)=FT=',F5.2,
*1X,'( TENSÃO NOS TERMINAIS DA M.S. )'/14X,'VAR(2)=' ,F10.4/14X,'VAR
* (3)=i',F8.5,1X,'( SAÍDA DO REGULADOR DE TENSÃO )'/14X,'VAR(4)=' ,F8.
*5,16X,'VAR(5)=' ,F10.7 /14X,'VAR(6)=CON(19)=' ,F8.5,1X,'( REFERÊNCIA
* DE TENSÃO )'/14X,'VAR(7)=i',F8.5,16X,'VAR(8)=' ,F7.4,1X,'( CURVA DE
* SATURACÃO )'/14X,'VAR(9)=' ,F8.5,16X,'VAR(10)=ELLO=' ,F8.5 /14X,'VA
* R(11)=ID=' ,F8.5,12X,'VAR(12)=TQ=' ,F8.5 /14X,'VAR(13)=PDELTA=' ,F8.5
* /14X,'VAR(14)=i',F10.7,1X,'( ENTRADA DO REGULADOR DE TENSÃO )'/14X
* , 'VAR(15)=' ,F8.5,15X,'VAR(16)=ED=' ,F8.5 /14X,'VAR(17)=XAD.IFD=' ,F7
* .4,8X,'VAR(18)=FQ=' ,F8.5 /14X,'VAR(19)=' ,F9.4,14X,'VAR(20)=CON(1)='
* WQ=' ,F7.4 /14X,'VAR(21)=i',F8.5,15X,'VAR(22)=' ,F5.3,1X,'( REFERÊNCI
* A DE VELOCIDADE )'/14X,'VAR(23)=' ,F7.4,16X,'VAR(24)=' ,F7.4 /14X,'V
* AR(25)=' ,F7.4,1X,'( POT. MEC. )',2X,
*          'VAR(26)=MCI=' ,F7.4 /14X,'VAR(27)
* =PE=' ,F7.4 /14X,'( SAÍDAS DOS INTEGRADORES )'//
*14X,'OUT(2)=' ,F10.4,14X,
*          'OUT(3)=EFD=' ,F7.4 /14X,'OUT(4)=i',F10.6,14X,'IO
* UT(5)=ELC=' ,F8.5 /14X,'OUT(6)=' ,F8.5,16X,'OUT(7)=-ELLD=' ,F8.5 /14X
* , 'OUT(8)=' ,F8.5,16X,'OUT(9)=i',F8.5 /14X,'OUT(10)=' ,F8.5,15X,'OUT(1
* 1)=PDELTA+W=' ,F8.5 /14X,'OUT(12)=DELTA=' ,F8.5 )

```

```
WRITE(1,110)
```

```
STOP
```

```
END
```



SUBROUTINE SCTI(CON,VAR,PL,OUT)

C*** SISTEMA CONTROLADOR-TURBINA 1

DIMENSION CON(50),VAR(50),PL(20),OUT(20)

VAR(23)=(VAR(22)-OUT(11))*CON(27)

VAR(24)=(VAR(23)*CON(21))+OUT(8)

VAR(25)=OUT(10)-2.*OUT(9)

VAR(13)=OUT(11)-VAR(20)

PL(8)=(VAR(23)-VAR(24))*CON(20)

PL(9)=(VAR(24)-OUT(9))*CON(22)

PL(10)=(OUT(9)-VAR(25))*CON(23)

PL(11)=(VAR(25)-VAR(27)-(VAR(13)*CON(24)))*CON(25)

PL(12)=VAR(13)

RETURN

END

SUBROUTINE IFF1(CON,VAR,PL,OUT,VRMAX,VRMIN,NOP,PERC,A1,B1,KEY,VAR6
 *,VAR6A,VAR6B,NDEG1,NDEG2)

C*** SISTEMA DE EXCITACION 1

DIMENSION CON(50),VAR(50),PL(20),OUT(20)

C LIMITADOR

IF(OUT(2).GT.VRMAX)GO TO 2016

IF(OUT(2).LT.VRMIN)GO TO 2017

GO TO 2018

2016 VAR(3)=VRMAX

GO TO 2041

2017 VAR(3)=VRMIN

GO TO 2041

2018 VAR(3)=OUT(2)

2041 VAR(5)=OUT(3)*CON(6)

IF(NOP.LE.0) GO TO 1002

IF(NOP.EQ.1) GO TO 1011

IF(NOP.EQ.2) GO TO 1004

IF(NOP.EQ.3) GO TO 1005

IF(NOP.EQ.4) GO TO 1006

1011 VAR(6)=VAR6A

GO TO 1003

1004 VAR(6)=VAR6B

GO TO 1003

1005 IF(KEY.EQ.2) GO TO 1008

VAR(6)=VAR(6)+(VAR6A-VAR6)/NDEG1

IF(VAR(6).LT.VAR6A)GO TO 1002

VAR(6)=VAR6A

KEY=2

GO TO 1002

1008 VAR(6)=VAR(6)-(VAR6A-VAR6)/NDEG2

IF(VAR(6).GT.VAR6)GO TO 1002

GO TO 1009

1006 IF(KEY.EQ.2)GO TO 1010

VAR(6)=VAR(6)-(VAR6-VAR6B)/NDEG1

IF(VAR(6).GT.VAR6B)GO TO 1002

VAR(6)=VAR6B

KEY=2

GO TO 1002

1010 VAR(6)=VAR(6)+(VAR6-VAR6B)/NDEG2

IF(VAR(6).LT.VAR6)GO TO 1002

GO TO 1009

1003 IF(KEY.EQ.0)GO TO 1002

1009 VAR(6)=VAR6

1002 VAR(7)=(VAR(5)-OUT(4))*CON(7)

VAR(14)=VAR(6)-VAR(1)-VAR(7)

VAR(2)=VAR(14)*CON(2)

VAR(19)=(VAR(3)-VAR(4))*CON(4)

VAR(4)=A1*EXP(B1*OUT(3))

PL(2)=(VAR(2)-OUT(2))*CON(3)

PL(3)=(VAR(19)-OUT(3))*CON(5)

PL(4)=VAR(7)

RETURN

END

SUBROUTINE GERJ(CON,VAR,PL,OUT,NOP,KEY,MEB,COEF,NP,RE,XF,XLLD,XLLO
 *,RE1,XE1,MEB1)

C**** MAQUINA SINCRONA DE POLOS SALIENTES COM UM AMORTECEDOR.

REAL MEB,MEB1

DIMENSION CON(50),VAR(50),PL(20),OUT(20),COEF(11)

VAR(10)=OUT(6)*CON(14)+OUT(5)*CON(13)

NK=0

IF(NOP.GF.0) GO TO 1000

IF(NOP.EQ.-1.OR.NOP.EQ.-3) GO TO 1010

IF(NOP.EQ.-2.OR.NOP.EQ.-4) MEB=0

GO TO 1000

1010 MEB=0.

RE=0.

XF=0.

1000 VAR(11)=-(((MEB*CON(OUT(12))-VAR(10))*(XE+XLLD))+RE*(MEB*SIN(OUT(12)+OUT(7))))/(RE**2+(XE+XLLD)*(XE+XLLD))

VAR(12)=-(((MEB*SIN(OUT(12))+OUT(7))*(XE+XLLD))-RE*(MEB*CON(OUT(12)+OUT(7))-VAR(10)))/(RE**2+(XE+XLLD)*(XE+XLLD))

IF(NK.EQ.0) GO TO 1020

GO TO 1030

1020 IF(KEY.GF.0) GO TO 1030

NK=NK+1

MEB=MEB1

RE=RE1

XE=XE1

GO TO 1000

1030 VAR(9)=OUT(5)-(VAR(11)*CON(12))-OUT(6)

VAR(26)=SQRT((VAR(11)**2)+(VAR(12)**2))

VAR(21)=VAR(11)+VAR(9)*CON(10)

C**** CURVA DE SATURACAO DA MAQUINA SINCRONA.

V=OUT(5)

CALL RGP1(COEF,NP,V,VAR(8))

VAR(17)=VAR(8)+(VAR(21)*CON(9))

VAR(18)=(VAR(10)-VAR(11)*CON(15))

VAR(15)=VAR(12)*CON(16)

VAR(16)=VAR(12)*CON(18)-OUT(7)

VAR(1)=SQRT(VAR(16)**2+VAR(18)**2)

VAR(27)=(VAR(18)*VAR(12)+(VAR(16)*VAR(11))

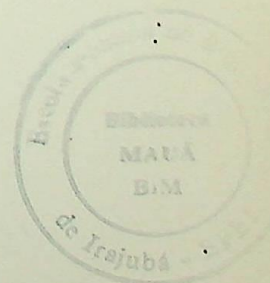
PL(5)=(OUT(3)-VAR(17))*CON(8)

PL(6)=VAR(9)*CON(11)

PL(7)=-((VAR(15)+OUT(7))*CON(17))

RETURN

END



```
SUBROUTINE RGP1(A,N,X,POL)
DIMENSION A(11)
POL=A(N)
N1=N-1
DO 2 I=1,N1
K=N1+1-I
2 POL=POL*X+A(K)
RETURN
END
```

SUBROUTINE CALCON(CON,KA,TA,KE,TE,KF,TF,TR,VRMAX,VRMIN,A1,B1,TLDO,
 * TLLO,XD,XLD,XLLO,XO,XLO,XLLO,XL,XM,TG,TW,
 * D,R,RMIN,RF,XE,TRMIN)

C CALCULO DAS CONSTANTES

```

REAL KA,KE,KF
DIMENSION CON(50)
CON(2)=KA
CON(3)=1./TA
CON(4)=1./KE
CON(5)=KF/TE
CON(6)=KF
CON(7)=1./TF
CON(8)=1./TLDO
CON(9)=XD-XLD
CON(10)=(XLD-XLID)/(XLD-XL)**2
CON(11)=1./TLLO
CON(12)=XID-XI
CON(13)=(XLLO-XI)/(XLD-XL)
CON(14)=(XLD-XLID)/(XLD-XL)
CON(15)=XILD
CON(16)=XD-XLID
CON(17)=1./TLLO
CON(18)=XILO
CON(20)=R/(RMIN*TRMIN)
CON(21)=R/RMIN
CON(22)=1./TG
CON(23)=2./TW
CON(24)=0
CON(25)=1./XM
CON(27)=1./R
CON(29)=RF
CON(30)=XF+XILD
CON(31)=XF+XILO
CON(32)=(RE**2)+(XE+XLLO)*(XF+XLLO)
RETURN
END
    
```

SUBROUTINE SYST

* (ET, CNR, CNI, CN, MCN, DELTAN, CI,
 * MCI, FI, DELTAI, Z, EB, MEB, DELTA2, CXQ, CEO, MEQ, DELTA1,
 * DELTA, PI, ED, EQ, ID, IO, FFD, ELLQ, ELQ, RE, XE, XO, XD, XLLD,
 * XLD)

C CONDICÖES QUE DEFINIRAO O SISTEMA

REAL MCI, MEB, MEQ, ID, IO, MCN
 COMPLEX CN, CI, Z, EB, CXQ, CEO

C LEITURA DOS VALORES DA TENSÃO TERMINAL ET,
 C DAS PARTES REAL E IMAGINARIA DA POTENCIA COMPLEXA CN
 C E DO VALOR DE PI

3 READ(12,3) FT, CNR, CNI, PI
 3 FORMAT(3F10.5, F20.18)

CN=CMPLX(CNR, CNI)
 MCN=CABS(CN)
 DELTAN=ATAN2(AIMAG(CN), REAL(CN))
 CI=CN/ET
 MCI=CABS(CI)
 DELTAI=ATAN2(AIMAG(CI), REAL(CI))
 FI=-DELTAI

C CALCULO DA TENSÃO NO BARRAMENTO INFINITO

Z=CMPLX(RE, XF)
 EB=ET-CI*Z
 MEB=CABS(EB)
 DELTA2=ATAN2(AIMAG(EB), REAL(EB))

C CALCULO DE CEO

CXQ=CMPLX(0., XQ)
 CEO=ET+CI*CXQ
 MEQ=CABS(CEO)
 DELTA1=ATAN2(AIMAG(CEO), REAL(CEO))

DELTA=DELTA1-DELTA2

ED= FT*COS(PI/2.-DELTA)
 EQ= ET*COS(DELTA1)

ID=MCI*COS(PI/2.-DELTA1+FI)
 IO=MCI*COS(DELTA1-FI)

ELLQ=EQ+ID*XLLD

ELQ=EQ+ID*XLD

FFD=EQ+ID*XD

RETURN

END

SUBROUTINE CISCT1(CON,VAR,OUT,PE,ED,IO,EQ,IQ,PDELTA,DELTA)

CONDICIONES INICIALES DEL SISTEMA CONTROLADOR-TURBINA

```

REAL IO, IQ
DIMENSION CON(50), VAR(50), OUT(20)
PE=ED*IO+EQ*IQ
VAR(27)=PF
VAR(25)=VAR(27)
PDELTA=0.
VAR(13)=PDELTA
OUT(12)=DELTA
OUT(11)=VAR(20)
OUT(9)=VAR(25)
OUT(10)=VAR(25)+2.*OUT(9)
VAR(24)=OUT(9)
VAR(23)=VAR(24)
OUT(8)=VAR(24)-VAR(23)*CON(21)
VAR(22)=(VAR(23)/CON(27))+OUT(11)
RETURN
END

```

SUBROUTINE CITEFF1(CON,VAR,OUT,EFD,ET,A1,B1)

CONDICIONES INICIAIS DO SISTEMA DE EXCITACAO

DIMENSION CON(50),VAR(50),OUT(20)

VAR(1) = ET

VAR(19) = OUT(3)

VAR(5) = OUT(3) * CON(6)

OUT(4) = VAR(5)

VAR(7) = 0.

VAR(4) = A1 * EXP(B1 * OUT(3))

VAR(3) = (VAR(19) / CON(4)) + VAR(4)

OUT(2) = VAR(3)

VAR(2) = OUT(2)

VAR(14) = VAR(2) / CON(2)

VAR(6) = VAR(1) + VAR(14)

CON(19) = VAR(6)

RETURN

END

SUBROUTINE CIGER1(CON, VAR, OUT, ELQ, ELLO, ID, ED, IQ, FO, COEF)

CONDICIONES INICIAIS DA M.S. E CIRCUITO

```

REAL ID, IQ
DIMENSION CON(50), VAR(50), OUT(20), COEF(11)
OUT(5) = F10
VAR(8) = COEF(1) + (COEF(2)*OUT(5)) + (COEF(3)*(OUT(5)**2))
VAR(9) = 0.0
VAR(10) = F1LQ
VAR(11) = ID
VAR(12) = IQ
VAR(26) = SQRT((VAR(11)**2) + (VAR(12)**2))
VAR(16) = F0
VAR(18) = F0
VAR(15) = VAR(12)*CON(16)
OUT(6) = (VAR(10) - OUT(5)*CON(13))/CON(14)
VAR(21) = VAR(11)
OUT(7) = VAR(12)*CON(18) - VAR(16)
VAR(17) = VAR(8) + VAR(21)*CON(9)
OUT(3) = VAR(17)
RETURN
END

```

SUBROUTINE PLOTAG(DELTA,TINIC,NPLOT,TFINAL,NIT,DPLOT,TPLOT,TLLDO)

C CHARACTERISTICAS DA PLOTAGEM

```

4  READ(12,4) TINIC,TFINAL,NPLOT
   FORMAT(2F10.5,I5)
   DELTA=TLLDO/10.
   NIT=(TFINAL-TINIC)/DELTA
   DPLOT=(TFINAL-TINIC)/NPLOT
   TPLOT=TINIC
   RETURN
   END

```

SUBROUTINE RP(M,X,Y,N,COEF,NP)

FAZ REGRESSAO POLINOMIAL DA CURVA DE SATURACAO DA MAQUINA

DIMENSION X(100),Y(100),COEF(11),B(10)

READ(12,101)M,(X(I),I=1,M)

101 FORMAT(15,7F10.5)

READ(12,102)(Y(I),I=1,M)

102 FORMAT(7F10.5)

READ(12,100)N

100 FORMAT(15)

DO 1005 I=1,10

1005 B(I)=0

CALL REGPOL(M,N,A,S,B,X,Y)

COEF(1)=A

DO 1002 I=1,N

1002 COEF(I+1)=B(I)

NP=N+1

WRITE(1,110)

110 FORMAT(1H1)

WRITE(1,4000)(X(I),Y(I),I=1,M)

4000 FORMAT(//////////14X,'PONTOS DADOS REFERENTES A CURVA DE SATUR
*ACAO DA H.S. i // 30X, 'ELO i, 10X, 'IXAD. IFO' // (19X,2F15.2) //)

WRITE(1,4001)N,COEF(1),COEF(2),COEF(3)

4001 FORMAT(////////14X,'A CURVA DE SATURACAO DA MAQUINA SINCRONA SERA RE
*PRESENTADA // 14X, 'PELO POLINOMIO DE GRAU // 15, 2X, 'CUJOS COEFICIENTES
* // 14X, 'SAO DADOS A SEGUIR : i // 14X,3F14.6)

WRITE(1,110)

RETURN

END

```

SUBROUTINE REGPOL(M,N,A,S,B,X,F)
  SUB-ROTINA  REGPOL - FA7 REGRESSAO POLINOMIAL
DIMENSION C(11,11),SX(20),SFX(10),CFX(10),B(10),X(100),F(100)
NDIIS = 2 * N
NM1 = N + 1
SF = 0.
SF2 = 0.
DO 1 I = 1, N
  NM1 = N + I
  SX(I) = 0.
  SX(NM1) = 0.
1 SFX(I) = 0.
  DO 3 I = 1, M
    SF = SF + F(I)
    SF2 = SF2 + F(I) * F(I)
    DUM = 1.
    DO 2 J = 1, N
      DUM = DUM * X(I)
      SX(J) = SX(J) + DUM
2 SFX(J) = SFX(J) + F(I) * DUM
    DO 3 J = NM1, NDIIS
      DUM = DUM * X(I)
3 SX(J) = SX(J) + DUM
  FM = M
  CF2 = SF2 - SF * SF / FM
  DO 4 I = 1, M
    CFX(I) = SFX(I) - SF * SX(I) / FM
    C(I,NM1) = CFX(I)
    DO 4 J = 1, N
      IMJ = I + J
4 C(I,J) = SX(IMJ) - SX(I) * SX(J) / FM
  CALL GJORD(N,C,B,EPS,1,11,DET)
  DUM = SF
  TEMP = CF2
  DO 5 I = 1, N
    DUM = DUM - B(I) * SX(I)
5 TEMP = TEMP - B(I) * CFX(I)
  A = DUM / FM
  DENOM = M - N - 1
  S = SQRT(TEMP/DENOM)
  RETURN
END

```

SUB-ROTINA GJORD - RESOLVE SISTEMAS DE EQUACOES E INVERTE
 MATRIZES PELO ALGORITMO DE GAUSS-JORDAN
 COM CONDENSACAO PIVOTAL TOTAL.
 PARA SISTEMAS ATE 50x50

```

SUBROUTINE GJORD( N, A, X, EPS, INDIC, NRC, DET)
DIMENSION IFILA(50), JCOL(50), JORD(50), Y(50), A(NRC,NRC), X(N)
IF ( N .LE. 50 ) GO TO 1
WRITE(1,2)
2 FORMAT(10X,'MUITO GRANDE!')
STOP
1 MAX = N
IF ( INDIC .GE. 0 ) MAX = N + 1

  INICIO DA ELIMINACAO

DET = 1.
DO 18 K = 1, N
  KM1 = K - 1

  BUSCA DO PIVO

  PIVO = 0.
  DO 11 I = 1, N
    DO 11 J = 1, N

  CORRIDA DOS CONJUNTOS IFILA E JCOL PARA DETERMINAR INDICES
  NAO VALIDOS PARA O PIVO

  IF ( K .EQ. 1 ) GO TO 9
  DO 8 ICOR = 1, KM1
  DO 8 JCOR = 1, KM1
  IF ( I .EQ. IFILA(ICOR) ) GO TO 11
8 IF ( J .EQ. JCOL(JCOR) ) GO TO 11
9 IF ( ABS(A(I,J)) .LE. ABS(PIVO) ) GO TO 11
  PIVO = A(I,J)
  IFILA(K) = I
  JCOL(K) = J
11 CONTINUE

  VERIFICACAO DE SE O PIVO SELECIONADO E MAIOR QUE EPS

  IF ( ABS(PIVO) .GT. EPS ) GO TO 13
  WRITE(1,12)
12 FORMAT(10X,'MATRIZ SINGULAR!')
  STOP

  ATUALIZACAO DO VALOR DO DETERMINANTE

13 IFILAK = IFILA(K)
  JCOLK = JCOL(K)
  DET = DET * PIVO

  NORMALIZACAO DA FILA DO PIVO

  DO 14 J = 1, MAX
14 A(IFILAK,J) = A(IFILAK,J) / PIVO

  ELIMINACAO E DETERMINACAO DA INVERSA

```

```

A(IFILAK, JCOLK) = 1. / PIVO
DO 18 I = 1, N
  AIJCK = A(I, JCOLK)
  IF ( I .EQ. IFILAK ) GO TO 18
  A(I, JCOLK) = -AIJCK / PIVO
DO 17 J = 1, MAX
17 IF ( J .NE. JCOLK ) A(I, J) = A(I, J) - AIJCK * A(IFILAK, J)
18 CONTINUE

```

C ORDENACAO DOS VALORES DE SOLUCAO (SE HOVER) E FORMACAO DE JORD

```

DO 20 I = 1, N
  IFILAI = IFILA(I)
  JCOLI = JCOL(I)
  JORD(IFILAI) = JCOLI
20 IF ( INDIC .GE. 0 ) X(JCOLI) = A(IFILAI, MAX)

```

C AJUSTE DO SINAL DO DETERMINANTE

```

INTCH = 0
NM1 = N - 1
DO 22 I = 1, NM1
  IP1 = I + 1
  DO 22 J = IP1, N
  IF ( JORD(J) .GE. JORD(I) ) GO TO 22
  JTEMP = JORD(J)
  JORD(J) = JORD(I)
  JORD(I) = JTEMP
  INTCH = INTCH + 1
22 CONTINUE
IF ( INTCH/2*2 .NE. INTCH ) DET = -DET

```

C SE INDIC FOR POSITIVO, RETURN

```

24 IF ( INDIC .LE. 0 ) GO TO 26
RETURN

```

C SE INDIC FOR NEGATIVO OU NULO, MONTAGEM DA INVERSA
C PRIMEIRO POR FILAS

```

26 DO 28 J = 1, N
  DO 27 I = 1, N
  IFILAI = IFILA(I)
  JCOLI = JCOL(I)
27 Y(JCOLI) = A(IFILAI, J)
  DO 28 I = 1, N
28 A(I, J) = Y(I)

```

C AGORA, POR COLUNAS

```

DO 30 I = 1, N
  DO 29 J = 1, N
  IFILAJ = IFILA(J)
  JCOLJ = JCOL(J)
29 Y(IFILAJ) = A(I, JCOLJ)
  DO 30 J = 1, N
30 A(I, J) = Y(J)
RETURN
END

```

SUBROUTINE IMPRE(NPONTO,NFUNC)

ESTA SUBROTINA IMPRIME 5 FUNCOES DO TEMPO PARA SAIR EM FORMA DE TABELA E DE GRAFICO

INTEGER BRANCO,COLUNA,COMUM,SIGNIF,SIMBOL,TRACO

INTEGER CODIGN

DIMENSION AJUSTE(3),AUX(5),BRANCO(2),COLUNA(5),DEIV(5),DIV(5),
 1NEXP(5),P(5),PP(5),SFRAC(5),SIMBOL(5),TRACO(2)

COMMON F(5,1000),SIGNIF(5,3),TEMPO(1000)

DATA BRANCO/1H ,1H-/,COMUM/1HC/,SIMBOL/1H*,1H+,1HX,1HO,1HN/

DATA TRACO/1H|,1H+|

DATA AJUSTE/1.5,101.5,51.5/,ESCALA/2*100.,50./

DATA SFRAC/1.,2.5,5.,7.5,10./

DATA AUX/5*0.0/

LOOP DE ESCALAMENTO ATE A DECLARACAO 9

DO 9 NF=1,NFUNC

CALCULA O MAXIMO E O MINIMO

FMAX(NF)=F(NF,1)

FMIN(NF)=FMAX(NF)

DO 4 I=1,NPONTO

IF(F(NF,I)-FMAX(NF)) 2,2,1

1 FMAX(NF)=F(NF,I)

2 IF(F(NF,I)-FMIN(NF)) 3,4,4

3 FMIN(NF)=F(NF,I)

4 CONTINUE

ACHA O MAXIMO EM VALOR ABSOLUTO

IF(ABS(FMAX(NF))-ABS(FMIN(NF)))6,5,5

5 DIV(NF)=ABS(FMAX(NF))

GO TO 7

6 DIV(NF)=ABS(FMIN(NF))

CALCULA O FATOR DE ESCALA DA FUNCAO

7 IF(DIV(NF).EQ.0.0) DIV(NF)=1.0

NEXP(NF)=FIX(DELTA LOG10(DIV(NF)))

IF(DIV(NF).LT.1.) NEXP(NF)=NEXP(NF)-1.

PP(NF)=10.**NEXP(NF)

P(NF)=10.**(-NEXP(NF))

CALCULA O FINAL DE ESCALA DE CADA FUNCAO

FRACT(NF)=DIV(NF)*P(NF)

DO 8 I=1,5

DIV(NF)=SFRAC(I)

IF(DIV(NF)-FRACT(NF)) 8,9,9

8 CONTINUE

9 CONTINUE

IMPRIME AS TABELAS DO TEMPO E DAS FUNCOES

IF(CODIGN.EQ.0) GO TO 39

WRITE(1,1000)((SIGNIF(NF,I),I=1,3),NF=1,NFUNC)

```

DN 10 K=1, NPONTN
WRITE(1,1010) TEMPN(K), (F(NF,K), NF=1, NFUNC)
10 CONTINUE

```

C MONTAGENS DOS FIXOS DAS FUNCOES ATE A DECLARACAO 17

```

39 DN 17 NF=1, NFUNC
IF(FMIN(NF)) 11, 12, 12
11 IF(FMAX(NF)) 13, 13, 14
12 INDICE(NF)=1
DY(NF,1)=0.
DELTAY(NF)=DIV(NF)/10.
GO TO 15
13 INDICE(NF)=2
DY(NF,1)=-DIV(NF)
DELTAY(NF)=DIV(NF)/10.0
DIV(NF)=-DIV(NF)
GO TO 15
14 INDICE(NF)=3
DY(NF,1)=-DIV(NF)
DELTAY(NF)=DIV(NF)/5.
15 DN 16 I=2, 11
16 DY(NF,I)=DY(NF,I-1)+DELTAY(NF)
17 CONTINUE

```

C IMPRESSAO DAS INFORMACOES SOBRE AS FUNCOES

```

WRITE(1,1020) (NF, (SIGNIF(NF,I), I=1,3), SIMBOL(NF), FMAX(NF),
*FMIN(NF), P(NF), DIV(NF), NF=1, NFUNC)
NFUNC1=NFUNC-1

```

C VERIFICACAO SE HA DOIS OU MAIS EIXOS IGUAIS

```

DN 20 I=1, NFUNC1
IF(AUX(I)) 20, 18, 18
18 I1=I+1
DN 20 IA=I1, NFUNC
IF(DIV(I)-DIV(IA)) 20, 19, 20
19 IF(INDICE(I)-INDICE(IA)) 20, 38, 20
38 AUX(IA)=-1
20 CONTINUE

```

C IMPRESSAO DOS FIXOS DAS FUNCOES

```

DN 24 NF=1, NFUNC
IF(AUX(NF)) 24, 21, 21
21 IF(NF-1) 22, 22, 23
22 WRITE(1,1030) (DY(NF,I), I=1, 11)
GO TO 24
23 WRITE(1,1040) (DY(NF,I), I=1, 11)
24 CONTINUE

```

C IMPRESSAO DOS PONTOS DAS FUNCOES ATE A DECLARACAO 37

```

NSAIDA=0
DN 37 J=i, NPONTN
IF(J-NSAIDA) 26, 26, 25
25 NA=2
NSAIDA=NSAIDA+10
GO TO 27
26 NA=1

```

```

27 DN 29 L=1,100,10
   DN 28 LA=1,9
28 LINHA(L+LA)=BRANCO(NA)
29 LINHA(L)=TRACO(NA)
   LINHA(101)=TRACO(NA)
   DN 30 NF=1,NFUNC
   IAUX=INDICE(NF)
   COLUNA(NF)=IPIX(F(NF,J)/ABS(DIV(NF))*ESCALA(IAUX)*P(NF)+
1 AJUSTE(IAUX))
   LINHA(COLUNA(NF))=SIMBOL(NF)
30 CONTINUE
   DN 34 I=1,NFUNC1
   IF(COLUNA(I)) 34,32,32
32 I1=I+1
   DN 34 IA=I1,NFUNC
   IF(COLUNA(I)-COLUNA(IA)) 34,33,34
33 COLUNA(IA)=-1
   LINHA(COLUNA(I))=COMUM
34 CONTINUE
   GO TO (35,36),NA
35 WRITE(1,1050) LINHA
   GO TO 37
36 WRITE(1,1060) TEMPO(J),LINHA
37 CONTINUE
1000 FORMAT(1H1///4X,IVALORES DAS FUNCOES EM FUNCAO DN TEMPO1///,
3 1X' TEMPO'4X,5(8X,3A4))
1010 FORMAT(6G20.5)
1020 FORMAT(1H1///5X,IFUNCAO NUMERO1,6X,'SIGNIFICADO',5X,ISIMBOLO1,
17X,IMAXIMO1,9X,IMINIMO1,7X,IFATOR DE ESCALA1,5X,IFINAL DE ESCALA1,
2//(1X,I1,11X,3A4,8X,A1,8X,G10.3,5X,G10.3,9X,E7.1,13XF6.2/))
1030 FORMAT(///4X,1F10.2/2X,11(9X,'. '))
1040 FORMAT(11X,'+',10(9(' - '),' + ')/2X,11(9X,'. ')/4X,11F10.2/2X,11(9X,
*' . '))
1050 FORMAT(11X,101A1)
1060 FORMAT(4X,1F6.2,'-',101A1)
   RETURN
   END

```

HP FEHLERFREI
KERNSPFICHERBEDARF: 7314 ZELLEN OHNE COMMON

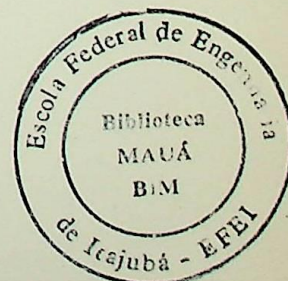
UP SCTI FEHLERFREI
KERNSPFICHERBEDARF: 301 ZELLEN OHNE COMMON

UP IEE1 FEHLERFREI
KERNSPFICHERBEDARF: 586 ZELLEN OHNE COMMON

UP GER1 FEHLERFREI
KERNSPFICHERBEDARF: 744 ZELLEN OHNE COMMON

UP RGPL FEHLERFREI
KERNSPFICHERBEDARF: 69 ZELLEN OHNE COMMON

UP CALCON FEHLERFREI
KERNSPFICHERBEDARF: 372 ZELLEN OHNE COMMON



UP SYST FEHLERFREI
KERNSPICHERBEDARF: 223 ZELLEN OHNE COMMON

UP CISCT1 FEHLERFREI
KERNSPICHERBEDARF: 239 ZELLEN OHNE COMMON

UP CIIEE1 FEHLERFREI
KERNSPICHERBEDARF: 240 ZELLEN OHNE COMMON

UP CIGER1 FEHLERFREI
KERNSPICHERBEDARF: 345 ZELLEN OHNE COMMON

UP PLOTAG FEHLERFREI
KERNSPICHERBEDARF: 59 ZELLEN OHNE COMMON

UP RP FEHLERFREI
KERNSPICHERBEDARF: 509 ZELLEN OHNE COMMON

UP REGPOL FEHLERFREI
KERNSPICHERBEDARF: 761 ZELLEN OHNE COMMON

UP GJORD FEHLERFREI
KERNSPICHERBEDARF: 1099 ZELLEN OHNE COMMON

UP IMPRE FEHLERFREI
KERNSPICHERBEDARF: 2047 ZELLEN OHNE COMMON

PROGRAMMLAENGE 35335

ENDE DER COMPILATION

PUNTO DE DATOS REFERENTES A CURVA DE SATURACION DE M.S.

ELP	MAD, IFU
0.00	0.00
0.72	0.72
0.90	1.90
1.10	1.44
1.35	2.50

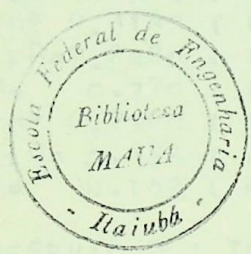
A CURVA DE SATURACION DE MAQUINA SINCRONIA SERA REPRESENTADA POR OBTENCION DE GRADU... COEFICIENTES... A SERVIDO

0.014628 -0.233710 1.409675

SISTEMA DE EXCITAÇÃO

PONTOS DADOS REFERENTES A CURVA DE SATURACAO DA M.S.

ELQ	XAD. IFD
0.00	0.00
0.72	0.72
0.90	1.00
1.10	1.44
1.35	2.50



A CURVA DE SATURACAO DA MAQUINA SINCRONA SERA REPRESENTADA PELO POLINOMIO DE GRAU 2 CUJOS COEFICIENTES SAO DADOS A SEGUIR :

0.014428 -0.233710 1.499475

PARAMETROS DO SISTEMA

SISTEMA DE EXCITACAO

KA=400.000 (GANHO DO REGULADOR DE TENSÃO)
TA= 0.050 (CONSTANTE DE TEMPO DO AMPLIFICADOR DO REGULADOR)
KF= -0.243 (CONSTANTE DA EXCITATRIZ RELATIVA AO CAMPO AUTO EXCITADO)
TF= 0.950 (CONSTANTE DE TEMPO DA EXCITATRIZ)
KF= 0.040 (GANHO DO CIRCUITO ESTABILIZADOR)
TF= 1.000 (CONSTANTE DE TEMPO DO CIRCUITO ESTABILIZADOR)
TR= 0.000 (CONSTANTE DE TEMPO DO FILTRO DE ENTRADA DO REGULADOR)
VRMAX= 4.12 (VOLTAGEM MÁXIMA DE SAÍDA DO REGULADOR)
VRMIN=-4.12 (VOLTAGEM MÍNIMA DE SAÍDA DO REGULADOR)
A1= 0.024 B1= 1.028 (PARÂMETROS USADOS NA SATURAÇÃO DA EXCITATRIZ)

GERACAO-MAQUINA SINCRONA DE POLOS SALIENTES COM UM AMORTECEDOR

TLD0= 6.550 (CONSTANTE DE TEMPO TRANSITORIA DE EIXO DIRETO)
TLLD0=0.030 (CONSTANTE DE TEMPO SUBTRANSITORIA DE EIXO DIRETO)
TLLQ0=0.071 (CONSTANTE DE TEMPO SUBTRANSITORIA DE EIXO EM QUADRATURA)
XD= 1.014 (REATANCIA SINCRONA DO EIXO D NÃO SATURADA)
XLD= 0.3140 (REATANCIA TRANSITORIA DO EIXO D NÃO SATURADA)
XLD0=0.2800 (REATANCIA SUBTRANSITORIA DO EIXO D NÃO SATURADA)
XQ= 0.770 (REATANCIA SINCRONA DO EIXO Q NÃO SATURADA)
XLQ= 0.7700 (REATANCIA TRANSITORIA DO EIXO Q NÃO SATURADA)
XLLQ= 0.375 (REATANCIA SUBTRANSITORIA DO EIXO Q NÃO SATURADA)
XI= 0.163 (REATANCIA DE DISPERSÃO)

OBSERVAÇÃO : TLD0, TLLD0 E TLLQ0 SÃO CONSTANTES DE CIRCUITO ABERTO.

SISTEMA DE CONTROLE DA TURBINA

XM=10.0 (CONSTANTE DE INERÇIA DA TURBINA)
TG= 0.5 (CONSTANTE DE TEMPO DO REGULADOR)
TW= 2.0 (CONSTANTE DE TEMPO DE PARTIDA DA ÁGUA NA TUBULAÇÃO)
D= 2.0 (CONSTANTE DE AMORTECIMENTO)
R= 0.1 (REGULACAO PERMANENTE)
RMIN=1. (REGULACAO TRANSITORIA)
TRMIN=14.2857 (CONSTANTE DE TEMPO TRANSITORIA DO REGULADOR)

LINHA DE TRANSMISSAO ENTRE GERADOR E BARRAMENTO INFINITO

RE=0.1 (RESISTENCIA)
XE=0.4 (REATANCIA)

VALORES DE ESTADO PERMANENTE DAS PRINCIPAIS GRANDEZAS DO SISTEMA
CALCULADOS TOMANDO-SE COMO FIXOS OS VALORES DA TENSÃO TERMINAL DO GERADOR
E A POTENCIA COMPLEXA TRANSMITIDA

ET= 1.00 (TENSÃO TERMINAL - REFERENCIA VETORIAL)
CN= 1.00+J 0.00 (POTENCIA COMPLEXA TRANSMITIDA)
MCN= 1.00 (MODULO DA POTENCIA COMPLEXA TRANSMITIDA)
DELTAN= 0.00 (ANGULO DA POTENCIA COMPLEXA TRANSMITIDA)
CI= 1.00 +J 0.00 (CORRENTE COMPLEXA TRANSMITIDA)
MCI= 1.00 (MODULO DA CORRENTE)
DELTAI= 0.00 (ANGULO DA CORRENTE)
FI= 0.00 (ANGULO DE POTENCIA)
EB= 0.90 +J-0.40 (TENSÃO NO BARRAMENTO INFINITO)
MEB= 0.99489 (MODULO DE EB)
DELTAE= -0.41822 (ANGULO DE EB)
CEQ= 1.00 +J 0.77 (VETOR DEFINICAO DO EIXO Q)
MEQ= 1.26210 (MODULO DE CEQ)
DELTAI= 0.65618 (ANGULO DE CEQ)
DELTA= 1.07440 (ANGULO ENTRE EB E CEQ)
ED= 0.61009 ID= 0.61009 (TENSÃO E CORRENTE DO FIXO D)
EQ= 0.79233 IQ= 0.79233 (TENSÃO E CORRENTE DO FIXO Q)
E1LQ= 0.26316 (TENSÃO SUBTRANSITORIA NO EIXO Q)
E1Q= 0.98390 (TENSÃO TRANSITORIA NO EIXO Q)
EFD= 1.41096 (TENSÃO NO CAMPO DA MAQUINA)

OBSERVAÇÃO :

O VALOR DE EFD CALCULADO CORRESPONDE AO ESTADO DE NÃO SATURACÃO DA MÁQUINA

REFERENCIAS INICIAIS

COM(1)=VAR(20)=WO= 1.00 (VELOCIDADE ANGULAR DE ESTADO PERMANENTE)
COM(19)=VAR(6)= 1.00 (REFERENCIA DE TENSÃO DO SISTEMA DE EXCITACÃO)
VAR(22)= 1.10 (REFERENCIA DE VELOCIDADE DO SISTEMA DE CONTROLE DA TURBINA)

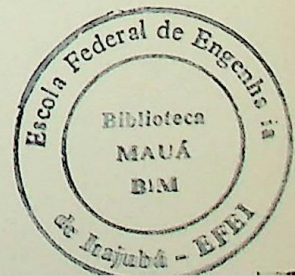
OPÇÃO DO PROGRAMA
VERIFICAÇÃO DO ESTADO PERMANENTE DO
SISTEMA QUANDO O HADO OCORRÊNCIA DE
NENHUM TIPO DE PERTURBAÇÃO

A N E X O II

VERIFICAÇÃO DO ESTADO PERMANENTE DO SISTEMA

O P C A O D O P R O G R A M A

VERIFICACAO DO ESTADO PERMANENTE DO
SISTEMA QUANDO DA NAO OCORRENCIA DE
NENHUM TIPO DE PERTURBACAO



VALORES DAS VARIÁVEIS E SAÍDAS DE INTEGRADORES

ANTES DA OCORRÊNCIA DE PERTURBAÇÕES (CONDIÇÕES DE CONTORNO)

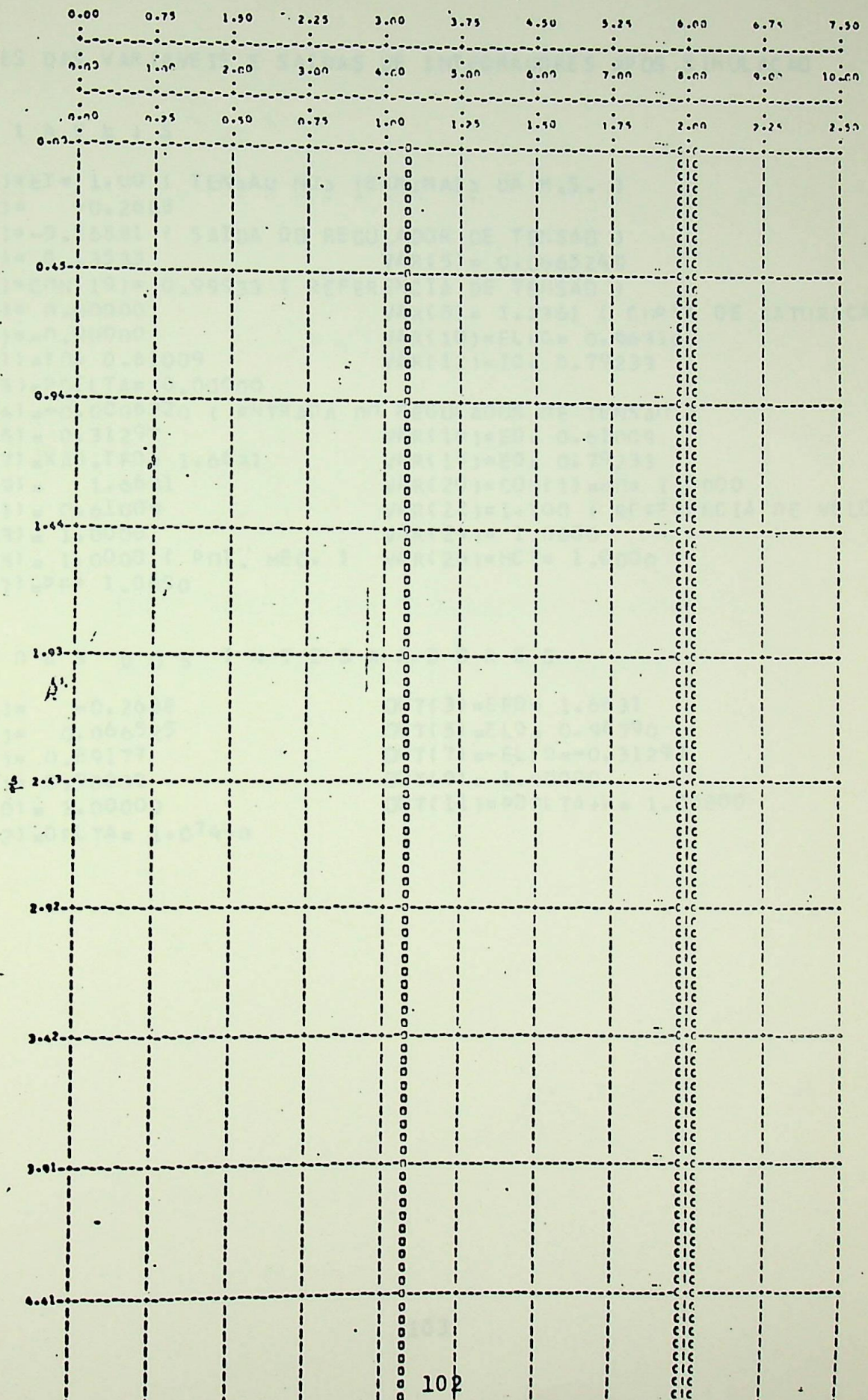
V A R I Á V E I S

VAR(1)=ET= 1.00 (TENSÃO NOS TERMINAIS DA M.S.)
VAR(2)=-0.26881
VAR(3)=-0.26881 (SAÍDA DO REGULADOR DE TENSÃO)
VAR(4)= 0.13533 VAR(5)= 0.0665249
VAR(6)=CON(19)= 0.99933 (REFERÊNCIA DE TENSÃO)
VAR(7)= 0.00000 VAR(8)= 1.2361 (CURVA DE SATURAÇÃO)
VAR(9)= 0.00000 VAR(10)=ELQ= 0.96316
VAR(11)=ID= 0.61009 VAR(12)=IQ= 0.79233
VAR(13)=PDELTA= 0.00000
VAR(14)=-0.0006720 (ENTRADA DO REGULADOR DE TENSÃO)
VAR(15)= 0.31297 VAR(16)=ED= 0.61009
VAR(17)=XAD.IDF= 1.6631 VAR(18)=EQ= 0.79233
VAR(19)= 1.6631 VAR(20)=CON(1)=W= 1.0000
VAR(21)= 0.61009 VAR(22)=1.100 (REFERÊNCIA DE VELOCIDADE)
VAR(23)= 1.0000 VAR(24)= 1.0000
VAR(25)= 1.0000 (POT. MEC.) VAR(26)=MCI= 1.0000
VAR(27)=PE= 1.0000

S A I D A S D O S I N T E G R A D O R E S

OUT(2)=-0.26881 OUT(3)=EFD= 1.6631
OUT(4)= 0.066525 OUT(5)=ELQ= 0.98390
OUT(6)= 0.89177 OUT(7)=-ELID=-0.31297
OUT(8)= 0.90000 OUT(9)= 1.00000
OUT(10)= 3.00000 OUT(11)=PDELTA+W= 1.00000
OUT(12)=DELTA= 1.07440

FUNCION NUMERO	SIGNIFICADO	SIMBOLO	MAXIMO	MINIMO	PATR DE ESCALA	FINAL DE ESCALA
1	VAR(11)=10	•	0.610	0.610	0.1E+00	7.50
2	VAR(12)=10	•	0.792	0.792	0.1E+00	10.00
3	VAR(16)=10	X	0.610	0.610	0.1E+00	7.50
4	VAR(18)=10	0	0.792	0.792	0.1E+00	10.00
5	DELTA	0	1.07	1.07	0.1E+01	2.50



VALORES DAS VARIÁVEIS E SAÍDAS DE INTEGRADORES APÓS SIMULAÇÃO

VARIÁVEIS

VAR(1)=ET= 1.00 (TENSÃO NOS TERMINAIS DA M.S.)
VAR(2)= -0.2688
VAR(3)=-0.26881 (SAÍDA DO REGULADOR DE TENSÃO)
VAR(4)= 0.13533 VAR(5)= 0.0665249
VAR(6)=CON(19)= 0.99933 (REFERÊNCIA DE TENSÃO)
VAR(7)= 0.00000 VAR(8)= 1.2361 (CURVA DE SATURAÇÃO)
VAR(9)=-0.00000 VAR(10)=ELIQ= 0.96316
VAR(11)=ID= 0.61009 VAR(12)=IQ= 0.79233
VAR(13)=PDELTA= 0.00000
VAR(14)=-0.0006720 (ENTRADA DO REGULADOR DE TENSÃO)
VAR(15)= 0.31297 VAR(16)=ED= 0.61009
VAR(17)=XAD.IFD= 1.6631 VAR(18)=E0= 0.79233
VAR(19)= 1.6631 VAR(20)=CON(1)=WID= 1.0000
VAR(21)= 0.61009 VAR(22)=1.100 (REFERÊNCIA DE VELOCIDADE)
VAR(23)= 1.0000 VAR(24)= 1.0000
VAR(25)= 1.0000 (PONT. MEC.) VAR(26)=MCI= 1.0000
VAR(27)=PE= 1.0000

SAÍDAS DOS INTEGRADORES

OUT(2)= -0.2688 OUT(3)=EFD= 1.6631
OUT(4)= 0.066525 OUT(5)=ELQ= 0.98390
OUT(6)= 0.89177 OUT(7)=-ELID=-0.31297
OUT(8)= 0.90000 OUT(9)= 1.00000
OUT(10)= 3.00000 OUT(11)=PDELTA+W= 1.00000
OUT(12)=DFLTA= 1.07440

A N E X O III

CURTO CIRCUITO NOS TERMINAIS DO GERADOR

MANTENDO-SE BLOQUEADOS OS REGULADORES.

OPCAO DO PROGRAMA

DETERMINACAO DA VARIACAO DAS GRANDEZAS
DO SISTEMA QUANDO DA OCORRENCIA DE C. ã.
TRIFASICO NOS TERMINAIS DO GERADOR
PERMANECENDO A FALTA DURANTE 10.00 SEGUNDOS
E ESTANDO BLOQUEADOS OS REGULADORES

VALORES DAS VÁRIÁVEIS E SAIDAS DE INTEGRADORES

ANTES DA OCORRENCIA DE PERTURBAÇÕES (CONDIÇÕES DE CONTORNO)

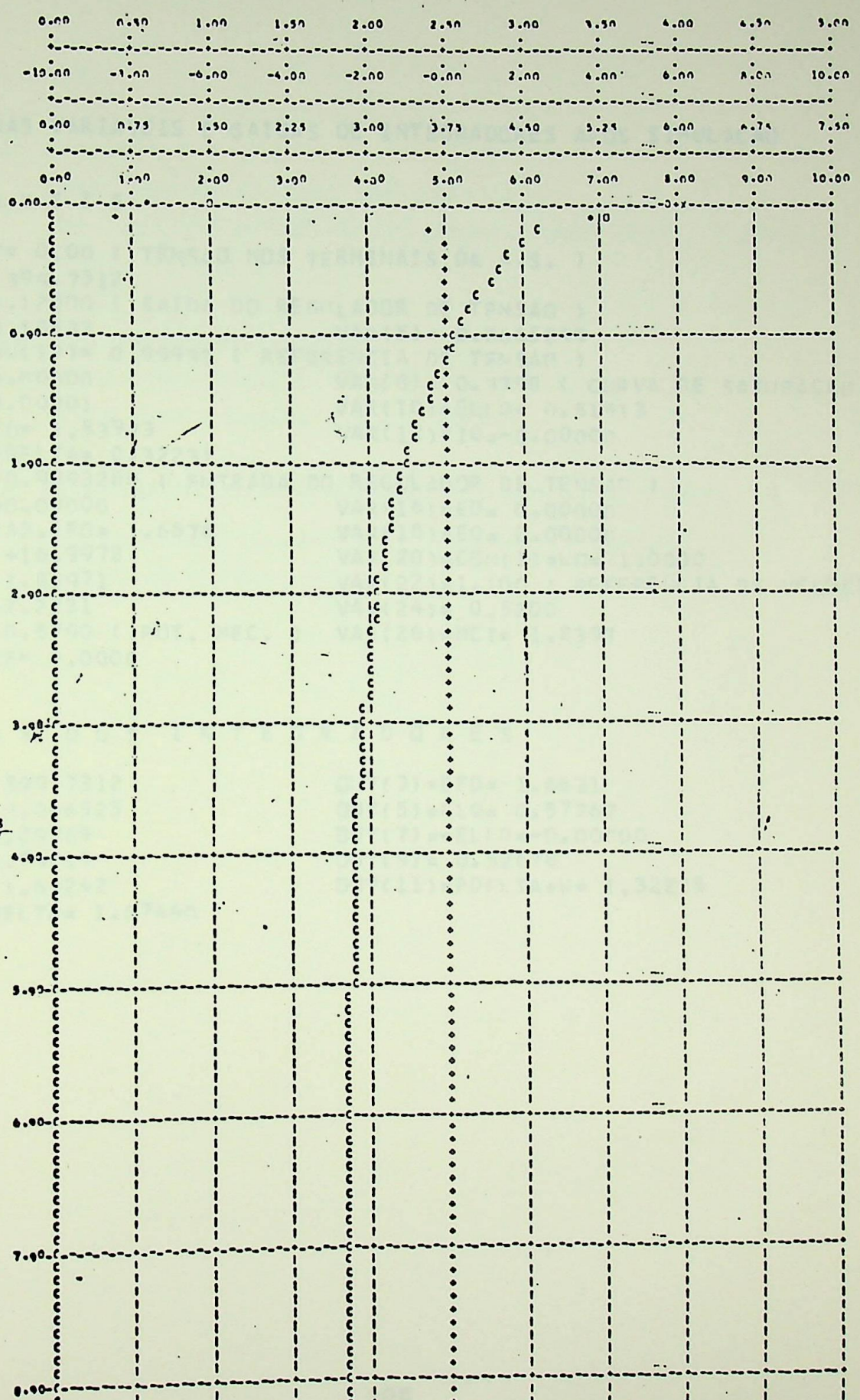
V A R I Á V E I S

VAR(1)=FT= 1.00 (TENSÃO NOS TERMINAIS DA M.S.)
VAR(2)=-0.26881
VAR(3)=-0.26881 (SAÍDA DO REGULADOR DE TENSÃO)
VAR(4)= 0.13533 VAR(5)= 0.0665249
VAR(6)=CON(19)= 0.99933 (REFERENCIA DE TENSÃO)
VAR(7)= 0.00000 VAR(8)= 1.2361 (CURVA DE SATURACÃO)
VAR(9)= 0.00000 VAR(10)=ELIQ= 0.96316
VAR(11)=ID= 0.61009 VAR(12)=IQ= 0.79233
VAR(13)=PDELTA= 0.00000
VAR(14)=-0.0006720 (ENTRADA DO REGULADOR DE TENSÃO)
VAR(15)= 0.31297 VAR(16)=ED= 0.61009
VAR(17)=XAD.IFD= 1.6631 VAR(18)=EQ= 0.79233
VAR(19)= 1.6631 VAR(20)=CON(1)=W= 1.0000
VAR(21)= 0.61009 VAR(22)=1.100 (REFERENCIA DE VELOCIDADE)
VAR(23)= 1.0000 VAR(24)= 1.0000
VAR(25)= 1.0000 (POT. MEC.) VAR(26)=MCI= 1.0000
VAR(27)=PE= 1.0000

S A I D A S D O S I N T E G R A D O R E S

OUT(2)=-0.26881 OUT(3)=EFD= 1.6631
OUT(4)= 0.066525 OUT(5)=ELQ= 0.98390
OUT(6)= 0.89177 OUT(7)=-ELID=-0.31297
OUT(8)= 0.90000 OUT(9)= 1.00000
OUT(10)= 3.00000 OUT(11)=PDELTA+W= 1.00000
OUT(12)=DELTA= 1.07440

POTENTIAL NUMBER	SIGNIFICANT	SIMBOL	MAXIMO	MINIMO	RATON DE ESCALA	FIGURA DE ESCALA
1	VAR(11)=D	e	3.44	0.610	0.1E+01	5.00
2	VAR(12)=I0	+	0.792	-0.835	0.1E+00	10.00
3	VAR(16)=E0	x	0.610	0.000	0.1E+00	7.50
4	VAR(18)=E0	0	0.792	0.000	0.1E+00	10.00
5	VAR(20)=ITOT	n	3.54	1.00	0.1E+01	5.00



VALORES DAS VARIÁVEIS E SAIDAS DE INTEGRADORES APÓS SIMULAÇÃO

VARIÁVEIS

VAR(1)=FT= 0.00 (TENSÃO NOS TERMINAIS DA M.S.)
VAR(2)= 399.7312
VAR(3)= 4.12000 (SAÍDA DO REGULADOR DE TENSÃO)
VAR(4)= 0.13533 VAR(5)= 0.0665249
VAR(6)=CON(19)= 0.99933 (REFERÊNCIA DE TENSÃO)
VAR(7)= 0.00000 VAR(8)= 0.3798 (CURVA DE SATURAÇÃO)
VAR(9)=-0.00001 VAR(10)=ELI0= 0.51513
VAR(11)=ID= 1.83973 VAR(12)=IQ=-0.00000
VAR(13)=PDELTA= 0.32231
VAR(14)= 0.9993280 (ENTRADA DO REGULADOR DE TENSÃO)
VAR(15)=-0.00000 VAR(16)=ED= 0.00000
VAR(17)=XAD.IFD= 1.6676 VAR(18)=EQ= 0.00000
VAR(19)= -16.3978 VAR(20)=CON(1)=W0= 1.0000
VAR(21)= 1.83971 VAR(22)=1.100 (REFERÊNCIA DE VELOCIDADE)
VAR(23)=-2.2231 VAR(24)= 0.5200
VAR(25)= 0.5790 (POT. MEC.) VAR(26)=MCI= 1.8397
VAR(27)=PE= 0.0000

SAÍDAS DOS INTEGRADORES

OUT(2)= 399.7312 OUT(3)=EFD= 1.6631
OUT(4)= 0.066525 OUT(5)=ELQ= 0.57767
OUT(6)= 0.29989 OUT(7)=-ELID=-0.00000
OUT(8)= 0.74219 OUT(9)= 0.52678
OUT(10)= 1.63242 OUT(11)=PDELTA+W= 1.32228
OUT(12)=DELTA= 1.07440

BIBLIOGRAFIA

LIVROS:

- 1) Anderson e Fouad
Power System Control and Stability
The Iowa State University Press, Ames, Iowa, U.S.A.
1977 - Volume 1

- 2) F.P. de Mello
Electrical Machine Dynamics 1 and 2
Power Technologies Inc. (P.T.I.)

- 3) Identification and System Parameter Estimation
International Federation of Automatic Control.
Edited by P. Eykhoff

PUBLICAÇÕES:

- 1) D.N. Ewart; F.P. de Mello
FACE, a Digital Dynamic Analysis Program
Power Industry Computer Applications
Conference - May 1967
- 2) Seminar on Load Rejection Overvoltages Transients
Volume 1
Fundamental Frequency Dynamics and Equipment Models
Power Technologies, Inc.
Schenectady, New York, May 1974
- 3) F.P. de Mello; A.C. Dolbek; D.A. Swann; M Temoshok
Analog Computer Studies of System Overvoltages Following
Load Rejections
IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems
Volume 82, nº 65, April 1963, pp 42-49
- 4) V.R. Moorthi; R.P. Aggarwal
Damping Effects of Excitation Control in Load - Frequency
Control System
Proc. IEEE, Vol, 121, nº 11, November 1974
- 5) Adalgiso Colombo; Frederico Redaelli; Giuseppe Ruckstuhl;
Angelo Vian
Determination of the Dynamic Response of Electrical
Systems by Means of a Digital Program
IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, June 1968
- 6) IEEE Comittee Report
Computer Representation of Excitation Systems
IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems,
Vol. PAS. 87, nº 6, June 1968

7) Hélio Mokarzel

Um algoritmo para Simulação de Sistemas Elétricos em Computadores Digitais.

Tese de Livre Docência, 1974

8) R.D. Teasdale

RCA Victor

Time Domain Approximation by use of Pade's Approximants
Camden, New Jersey

Convention Records 1953

9) Nelder, J.A., and R. Mead

"A Simplex method for functions minimization,"
computer J., 7,308-313, 1964



