

TESE

88

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - 1974

UM ALGORITMO PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS
ELETRICOS EM COMPUTADORES DIGITAIS

TESE DE LIVRE DOCTORANCIA

PROF. HELIO MOKARZEL

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ



UM ALGORITMO PARA SIMULAÇÃO DE
SISTEMAS ELÉTRICOS EM COMPUTADORES
DIGITAIS

TESE DE LIVRE DOCENCIA

Prof. Hélio Mokarzel

- 1 9 7 4 -

A P R E S E N T A Ç Ã O

Aproveitando nosso curso na firma Power Technologies Inc. em Schenectady - USA, procuramos desenvolver este trabalho para ser apresentado em nosso Concurso de Livre Docência na Escola Federal de Engenharia de Itajubá.

Foi nossa intenção ao elaborá-lo, emprestar nossa modesta contribuição ao desenvolvimento da Técnica em nosso País.

Se tivermos, mesmo em pequena escala, conseguido atingir este objetivo nos sentiremos completamente recompensados pelas inúmeras horas que devotamos ao mesmo.

HELIO MOKARZEL

AGRADECIMENTO ESPECIAL

A minha esposa e meus 5 filhos
pela compreensão da ausência
do esposo e pai, durante a el
boração deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Aos companheiros de curso e amigos professores Ademir Carnevalli Guimarães, Márcio Antônio Curi e Rubens Dário Fuchs, sem a colaboração e incentivo dos quais não teríamos conseguido concluir este trabalho, em tempo hábil.

Ao colega e amigo professor Amadeu Casal Caminha que, mesmo distante, emprestou-nos a força de seu incentivo.

Ao Eng^o Francisco Paulo de Mello pela orientação precisa e segura prestada à realização deste trabalho.

HOMENAGENS PÓSTUMAS

João Antonio Mocarzel

Nazira Bacha Mocarzel

Fernando Bacha Mocarzel

R E S U M O

Este trabalho apresenta de maneira acessível um Método de Simulação de Sistemas que alia simplicidade e relativa precisão com pequeno tempo de computação.

Na primeira parte desenvolve-se o algoritmo de integração e através de testes com sistemas bastante simples procura-se verificar e comparar sua precisão e tempo de computação.

Na segunda parte desenvolve-se a aplicação do Método de Simulação apresentado a um exemplo de Otimização de Ajuste de Parâmetros em Sistemas de Controle para verificar-se a eficácia do mesmo.

I N D I C E

1.0.0 - INTRODUÇÃO	1
2.0.0 - SIMULAÇÃO	3
2.1.0 - Introdução	3
2.2.0 - Algoritmo de Integração	3
2.2.1 - Definições	3
2.2.2 - Desenvolvimento Matemático	5
2.3.0 - Os Programas de Computação	9
2.3.1 - Fluxogramas Gerais	9
2.3.2 - Sistemas para Teste	12
2.3.3 - Programas	13
2.3.4 - Testes Executados	18
2.3.5 - Conclusões	39
3.0.0 - APLICAÇÃO - OTIMIZAÇÃO	40
3.1.0 - Introdução	40
3.2.0 - Performance Index PI	40
3.2.1 - Critério 1	41
3.2.2 - Critério 2	41
3.3.0 - Método de Otimização	41
3.3.1 - O Caminho do Maior Gradiente Parcial	41
3.3.2 - Variação dos Parâmetros	42
3.3.3 - O Método no Computador Digital	43
4.0.0 - ADAPTAÇÃO DO DIAGRAMA DE BLOCOS PARA SIMULAÇÃO	44
4.1.0 - Introdução	44
4.2.0 - Substituição de Blocos Compostos por Blocos Con-	
tando apenas Integradores Simples	44
4.3.0 - Blocos para Determinação de PI	47
4.3.1 - Critério 1	47
4.3.2 - Critério 2	48
4.4.0 - Exemplo: Regulador de Tensão	48
4.4.1 - Diagrama de Blocos adaptado	50
5.0.0 - PROGRAMAS	51
5.1.0 - Descrição Geral	51
5.2.0 - Sub-Rotinas de Integração: INTEG1 e INTEG2	51
5.3.0 - Sub-Rotinas Função de Transferência FTR1 e FTR2	54
5.4.0 - Programa Principal - HMLD1	55
5.4.1 - Fluxograma da 1ª parte: Otimização	55
5.4.2 - Fluxograma da 2ª parte: Diagrama de Bode	57

5.4.3 - Fluxograma das 3ª e 4ª partes: Cálculo dos Crossover Points	58
5.4.4 - Definição das Variáveis e Programas	59
6.0.0 - OTIMIZAÇÃO PELOS CRITÉRIOS 1 e 2	69
7.0.0 - VERIFICAÇÃO DA SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS OTIMIZADOS	103
8.0.0 - COMPARAÇÃO DOS DOIS CRITÉRIOS	120
9.0.0 - CONCLUSÕES	121
BIBLIOGRAFIA	122

1.0.0 - INTRODUÇÃO

Com o crescimento dos Sistemas Elétricos tem aumentado cada vez mais a necessidade de se levar em consideração a Dinâmica do Sistema. Estes estudos de um modo geral envolvem a necessidade da solução de equações diferenciais e, muitas vezes, de equações diferenciais não lineares.

Antes do aparecimento dos Computadores o esforço da Técnica era desenvolver métodos de solução de forma analítica e quando não possível, em forma numérica que envolvessem pouco no trabalho e, por isso mesmo, exigindo grandes simplificações, resultando em grande imprecisão.

Surgiu, então, a ideia da solução destes problemas em Modelos como: os Micro-sistemas, os Analizadores de Rede, bem como, pela Simulação em Computadores Analógicos para o qual o Integrador é um elemento bastante simples. Estes métodos, embora eficientes e precisos, e ainda usados até agora, apresentam limitações de capacidade, pois, para cada elemento do Sistema seria necessário, a rigor, um elemento no Modelo ou Simulador. A solução para este problema tem sido a compactação do Sistema através da composição conveniente de seus elementos, resultando sempre em perda da precisão e da resolução do mesmo.

A tendência atual é a Simulação em Computadores Digitais, em virtude de seu fácil acesso e de sua capacidade de representar um grande número de elementos.

O problema, no entanto, tem sido a representação de Integradores no qual os fatores antagônicos: Tempo de Computação versus Precisão têm desafiado os Técnicos da atualidade.

Este trabalho se propõe a apresentar de maneira acessível, um Método de Simulação que alia simplicidade, e Relativa Precisão com relativamente pequeno tempo de Computação.

Na primeira parte desenvolvemos o Algoritmo de Integração, e através de testes com sistemas bastante simples procuramos verificar e comparar a Precisão e o tempo de computação do mesmo.

Na segunda parte procuramos desenvolver a aplicação do Método de Simulação apresentado em um exemplo de Otimização de Ajuste de Parâmetros em Sistemas de Controle, aplicando a parte numérica a um típico Regulador de Tensão.

Escolhemos este exemplo porque ele alia não linearidades com um grande número de integrações (por envolver iterações), sem que o método seja mascarado pela complexidade do Sistema.

2.0.0 - SIMULAÇÃO

2.1.0 - Introdução

O problema da Simulação de Sistemas Dinâmicos em computador digital praticamente se resume na programação de Integradores, uma vez que as outras funções, o computador executa, diretamente, com grande facilidade rapidez e precisão.

Existem dezenas de métodos de Integração numérica, desde o simples método de Euler, até os processos de Runge-Kutta, de 2ª, 4ª ou maior ordem e mesmo processos mais sofisticados, como o Predictor Corrector e outros.

A precisão de cada um deles varia de acordo com o método propriamente dito e com o passo de integração, ambos acrescentando Tempo de Computação.

De um modo geral, aumentar a precisão significa aumentar o tempo de integração.

Para os problemas que exigem um grande número de integrações, seja pelo grande número de elementos, como nos grandes sistemas elétricos, seja pela necessidade de iterações, como nos problemas de Otimização e outros, deve ser escolhido um algoritmo de integração que alie razoável precisão com pequeno tempo de integração.

A primeira finalidade deste trabalho é procurar um algoritmo para satisfazer a estas condições.

Procuraremos desenvolver algoritmos de primeira ordem e, através aplicações bastante simples destes algoritmos, procuraremos comparar suas precisões e seus tempos de computação.

2.2.0 - Algoritmo de Integração

2.2.1 - Definições

Seja a função da Fig. 2.1, a função que se deseja integrar.

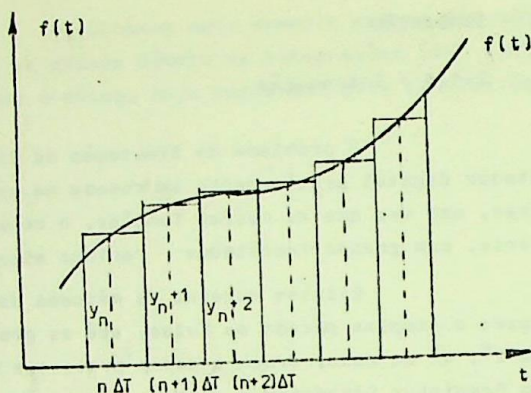


Fig. 2.1

Quando representamos uma função, variando continuamente no tempo, por valores discretos, igualmente espaçados no tempo, evidentemente perdemos a resolução da função dentro deste intervalo de tempo. Nos parece que a melhor representação, no entanto, para fins de integração, é aquela na qual a área debaixo da função naquele intervalo de tempo, seja a mesma que a da função representada pelos valores discretos, isto é:

$$y_n = \frac{1}{\Delta T} \int_{n\Delta T - \Delta T/2}^{n\Delta T + \Delta T/2} f(t) dt$$

Isto significa, com grande aproximação, tomar a média dos valores de $f(t)$, antes e depois do início do intervalo considerado (observação importante no caso de descontinuidade).

Uma maneira muito conveniente de representar uma série de valores discretos é usar o operador Z^{-n} da transformada Z de maneira que $y_n Z^{-n}$ só existe no intervalo "n" de uma série de intervalos ΔT . Assim, a função da figura 2.1 pode ser representada por:

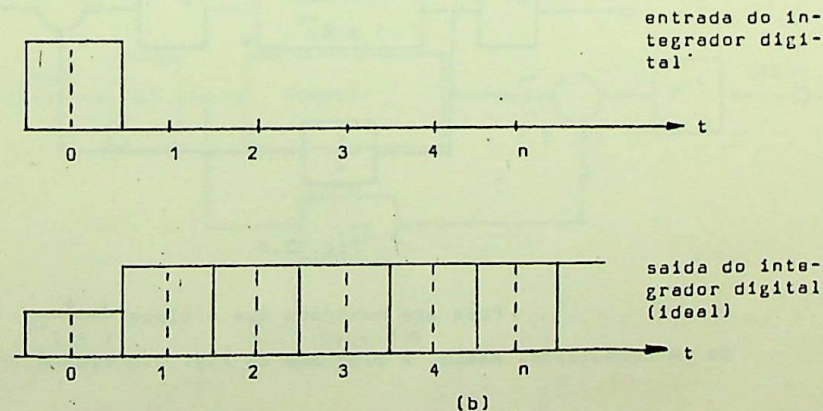
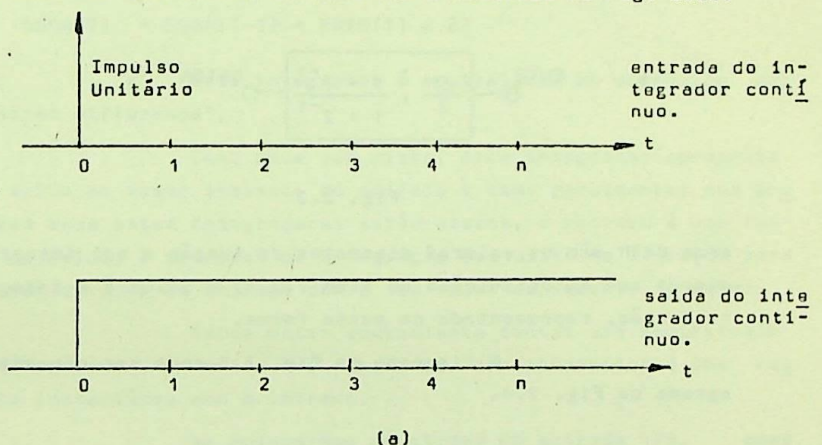
$$Y = y_0 Z^{-0} + y_1 Z^{-1} + y_2 Z^{-2} + \dots + y_n Z^{-n} + y_{n+1} Z^{-(n+1)} + \dots$$

2.2.2 - Desenvolvimento Matemático

Podemos desenvolver nosso algoritmo pela resposta a um impulso, pois a entrada do integrador é uma função representada por uma série de impulsos, e que são os valores discretos da função de entrada, e a saída do integrador será a soma das saídas, para cada impulso, em cada intervalo de tempo.

Para um integrador contínuo a resposta a um impulso unitário será um "step" unitário, conforme mostra a Fig. 2.2a

Para o integrador discreto, o impulso unitário é representado por um pulso de largura ΔT e de altura $1/\Delta T$. A resposta do integrador a este impulso, de acordo com as definições apresentadas no item 2.2.1, deveria ser a mostrada na Fig. 2.2b.



Esta resposta pode ser representada usando a transformação Z (ou o operador Z^{-n}), por:

$$\Delta T(1/2 Z^{-0} + Z^{-1} + Z^{-2} + \dots Z^{-n})$$

que, por sua vez, pode ser expressa na forma:

$$\frac{\Delta T}{2} \cdot \frac{1 - Z^{-1}}{1 + Z^{-1}}$$

quando se efetua uma longa divisão.

Assim, de um modo geral, poderíamos representar este Integrador pelo diagrama da Fig. 2.3.

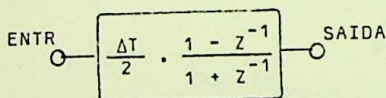


Fig. 2.3

onde ENTR são os valores discretos da função a ser integrada, de acordo com as definições do item 2.2.1, e SAIDA é a integral desta função, representada da mesma forma.

O diagrama da Fig. 2.3 pode ser expandido no diagrama da Fig. 2.4.

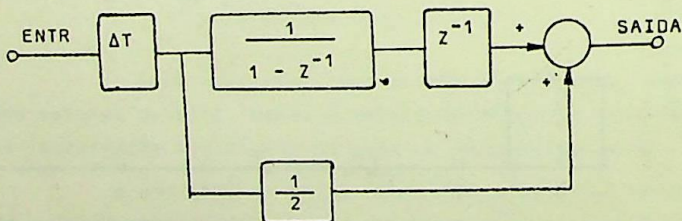


Fig. 2.4

Pode ser mostrado que o bloco $\frac{1}{1 - Z^{-1}}$ representa um acumulador. Assim, o diagrama da Fig. 2.4 ficará (Fig. 2.5):

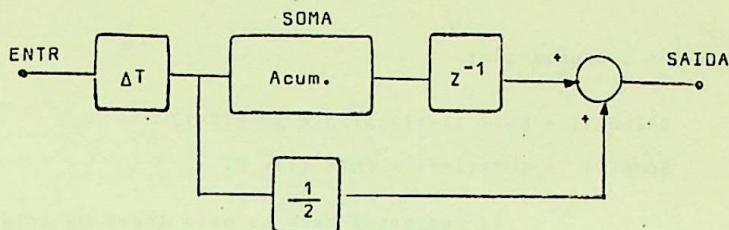


Fig. 2.5

e cujas equações são:

$$SAIDA(T) = ENTR(T) \times \Delta T/2 + SOMA(T-1)$$

$$SOMA(T) = SOMA(T-1) + ENTR(T) \times \Delta T$$

Este integrador é equivalente ao conhecido por "Central Difference".

Como pode ser visto, este integrador apresenta uma saída no mesmo instante da entrada e como geralmente, nos processos onde estes integradores serão usados, a entrada é uma função da saída, o processo de integração necessita de iteração para ajustar o valor de entrada com o seu valor dependente da saída.

Seria muito conveniente tentar uma modificação do integrador de maneira que sua saída, não apresentasse uma resposta instantânea com a entrada.

Se colocarmos um atraso na entrada $1/2$, como mostra a Fig. 2.6, conseguiremos este intento:

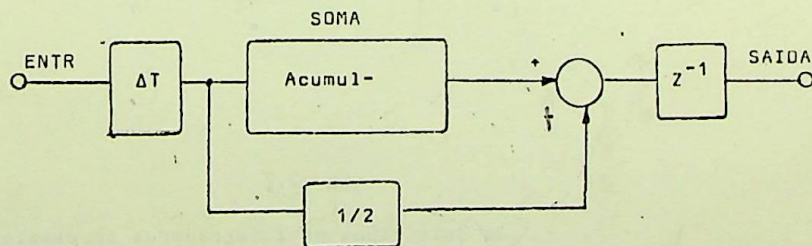


Fig. 2.6

$$SOMA(T) = SOMA(T-1) + ENTR(T) \times \Delta T/2$$

$$SAIDA(T) = SOMA(T) + ENTR(T) \times \Delta T/2$$

$$SAIDA(T) = 0$$

8

E cujas equações são:

$$SAIDA(T) = ENTR(T-1) \times \Delta T/2 + SOMA(T-1)$$

$$SOMA(T) = SOMA(T-1) + ENTR(T) \times \Delta T$$

As respostas para os dois tipos de integrador são mostrados na Fig. 2.7, para um pulso de entrada digital.

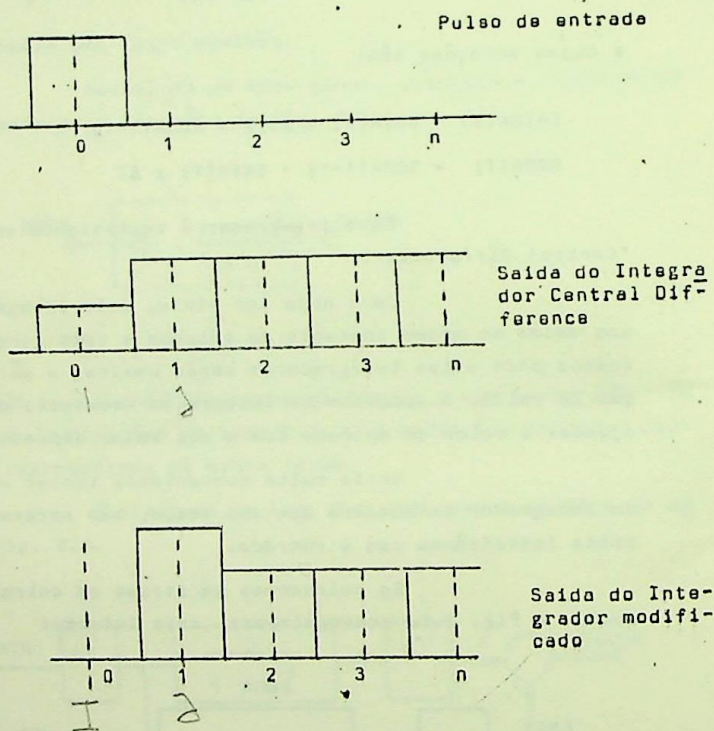


Fig. 2.7

Os dois tipos de integradores apresentam a mesma resposta, a partir do 2º intervalo, e a mesma área, a partir do 1º intervalo.

Estas respostas podem ser representadas por:

$$1/2 z^{-0}, z^{-1}, z^{-2}, z^{-3}, \dots z^{-n}$$

para o primeiro, contra

$$0 z^{-0}, 1.5 z^{-1}, z^{-2}, z^{-3}, \dots z^{-n},$$

para o segundo.

A resposta a um "step" será:

$$0.25 z^{-0}, z^{-1}, 2z^{-2}, 3z^{-3} \dots$$

para o primeiro, contra

$$0 z^{-0}, 0.75 z^{-1}, 2z^{-2}, 3z^{-3} \dots,$$

para o segundo.

Estas diferenças, para intervalos bastante pequenos, não serão significativas, sendo que o segundo processo, a equivalente ao integrador "Backward Difference", não exige iteração, pois, como vimos, a saída não é função instantânea da entrada.

2.3.0 - Os Programas de Computação

2.3.1 - Fluxogramas Gerais

Os programas de computação devem obedecer aos seguintes esquemas (Fig. 2.8 e Fig. 2.9).

1 - "Central Difference"

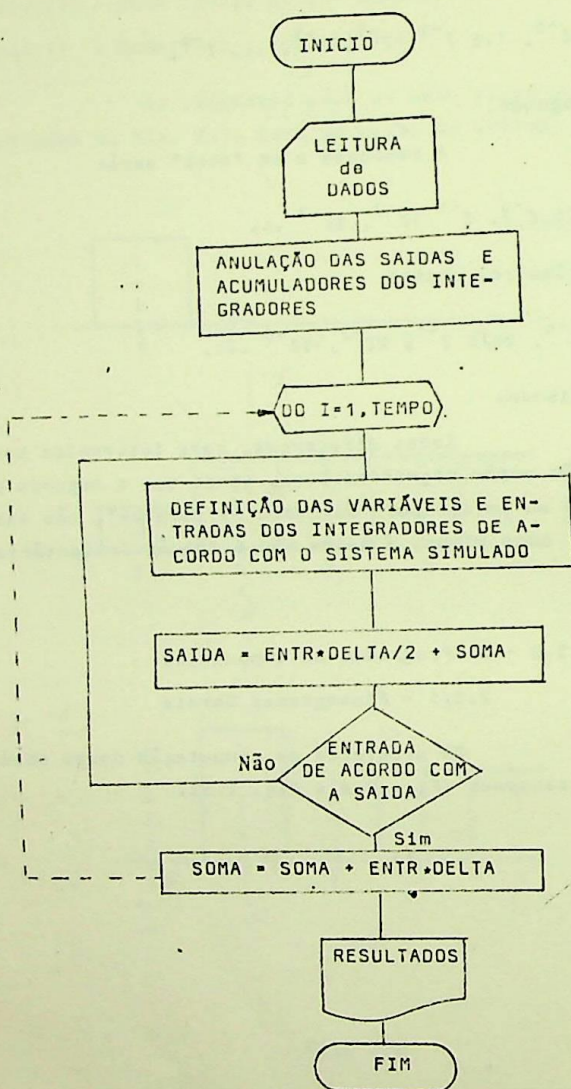


Fig. 2.8

2 - "BACKWARD DIFFERENCE"

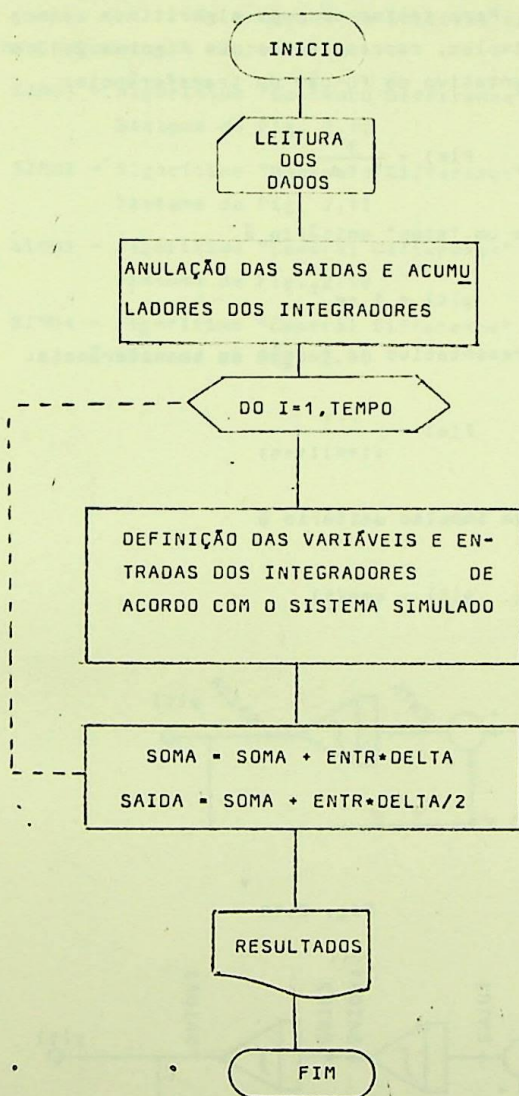


Fig. 2.9

2.3.2 - Sistemas para Teste

Para testar os dois algoritmos usamos dois sistemas bastante simples, representados nas figuras 2.10 e 2.11. O primeiro, representativo da função de transferência:

$$F(s) = \frac{1}{1+s}$$

e cuja resposta a um "step" unitário é

$$y(t) = 1 - e^{-t}$$

e o segundo, representativo da função de transferência:

$$F(s) = \frac{1}{(1+s)(1+s)}$$

cuja resposta a um impulso unitário é

$$y(t) = \sin(t)$$

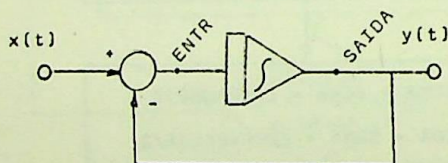


Fig. 2.10

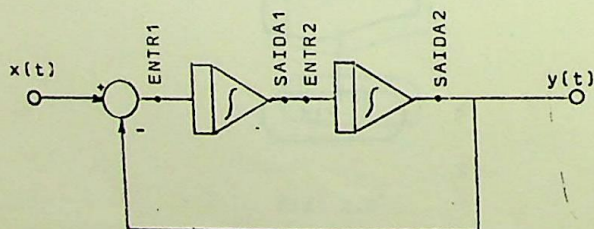


Fig. 2.11

2.3.3 - Programas

Os programas definitivos estão apresentados nas folhas seguintes e representam:

SIMU1 - Algoritmo "Backward Difference"
Sistema da Fig. 2.10

SIMU2 - Algoritmo "Backward Difference"
Sistema da Fig. 2.11

SIMU3 - Algoritmo "Central Difference"
Sistema da Fig. 2.10

SIMU4 - Algoritmo "Central Difference"
Sistema da Fig. 2.11

PROGRAMA SIMUL

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBA

TESE DE LIVRE DOCENCIA
PROF. HELIO MOKAPZELSIMULACAO DE INTEGRADOR - BACKWARD DIFFERENCE
TESTE COM FUNCAO EXPONENCIALN=NUMERO DE INTERVALOS DE INTEGRACAO
DELTA=INTERVALO DE INTEGRACAO

```

1100 DIMENSION TEMP(1000),Y(1000),YY(1000),ERRO(1000)
1110 10 READ,N,DELTA
1120 SOMA=0.
1130 SAIDA=0.
1140 N1=N+1
1150 DO 20 I=1,N1
1160 TEMP(I)=(I-1)*DELTA
1170 X=1.
1180 Y(I)=SAIDA
1190 FNTA=X-Y(I)
1200 A=FNTA*DELTA
1210 SOMA=SOMA+A
1220 SAIDA=SAIDA+0.5*A
1230 YY(I)=1.-EXP(-TEMP(I))
1240 20 ERRO(I)=(ABS(Y(I))-ABS(YY(I)))*10.
1250 INT=N/50
1260 INT1=INT+1
1270 P=(N+INT)*DELTA
1280 C=0.
1290 D=0.
1300 F=1.
1310 NV=3
1320 NP=51
1330 WRITE(1,100),NP,NV,TEMP(I),Y(I),YY(I),ERRO(I),
1340 1=INT1,N1,INT),P,C,D,E
1350 100 FORMAT(15,1X,15,/, (4F10.5,1X))
1360 CALL CLSEFF(1,"KAPINA")
1370 PRINT 200,N,DELTA
1380 200 FORMAT(1X,"BACKWARD DIFFERENCE",/,1X,"N=",14,/,1X,
1390 "DELTA=",F5.3,/)
1400 STOP
1410 END

```

```

1010C   PROGRAMA SIM12
1020C
1030C   ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBA
1040C
1050C   TESE DE LIVRE DOCENCIA
1060C   PROF. HELIO MOKARZEL
1070C
1080C   SIMULACAO DE INTEGRADOR - BACKLARD DIFFERENCE
1090C   TESTE COM FUNCAO SENDOIAL
1100C
1110C   N=NUMERO DE INTERVALOS DE INTEGRACAO
1120C   DELTA=INTERVALO DE INTEGRACAO
1130C
1140   DIMENSION TEMP(1000),Y(1000),YY(1000),EFP(1000)
1150 10 READ,N,DELTA
1160   SOMA1=0.
1170   SOMA2=0.
1180   SAIDA1=0.
1190   SAIDA2=0.
1200   N1=N+1
1210   DO 20 I=1,N1
1220   TEMP(I)=(I-1)*DELTA
1230   X=0.
1240   IF(1.EQ.1) X=1./DELTA
1250   Y(1)=SAIDA2
1260   ENTE1=X-Y(1)
1270   ENTE2=SAIDA1
1280   A1=ENTE1*DELTA
1290   A2=ENTE2*DELTA
1300   SOMA1=SOMA1+A1
1310   SOMA2=SOMA2+A2
1320   SAIDA1=SOMA1+0.5*A1
1330   SAIDA2=SOMA2+0.5*A2
1340   YY(1)=SIN(TEMP(1))
1350 20 EFP(I)=(ABS(YY(I))-ABS(Y(I)))*10.
1360   INT=N/50
1370   INT1=INT+1
1380   R=(N+INT)*DELTA
1390   C=0.
1400   D=-1.
1410   E=1.
1420   NV=3
1430   NP=51
1440   WRITE(1,100),NP,NV,(TEMP(I),Y(I),YY(I),EFP(I),
1450 I=INT1,N1,INT),R,C,D,E
1460 100 FORMAT(15,1X,15,/,,(4(F10.5,1X)))
1470   CALL CLOSE(F(1,"KARINA"))
1480   PRINT 200,N,DELTA
1490 200 FORMAT(1X,"BACKLARD DIFFERENCE",/,/,1X,"N=",14,/,1X,
1500 "DELTA=",F5.3,/)
1510   STOP
1520   END

```


PROGRAMA SIMU3

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBA

TESE DE LIVRE DOCENCIA
PROF. HELIO MOKARZELSIMULACAO DE INTEGRADOR - CENTRAL DIFFERENCE
TESTE COM FUNCAO EXPONENCIAL

N=NUMERO DE INTERVALOS DE INTEGRACAO

M=NUMERO DE ITERACOES

DELTA=INTERVALO DE INTEGRACAO

```

1100C
1110C
1115C
1120C
1130C
1140 DIMENSION TEMPO(1000),Y(1000),YY(1000),ERRO(1000)
1150 10 READ,N,M,DELTA
1160 SOMA=0.
1170 SAIDA=0.
1175 N1=N+1
1180 DO 20 I=1,N1
1190 TEMPO(I)=(I-1)*DELTA
1200 X=1.
1210 DO 15 J=1,M
1220 ENTR=X-SAIDA
1230 15 SAIDA=ENTR*DELTA/2.+SOMA
1240 SOMA=SOMA+ENTR*DELTA
1250 Y(I)=SAIDA
1260 YY(I)=1.-EXP(-TEMPO(I))
1270 20 ERRO(I)=(ABS(Y(I))-ABS(YY(I)))*10.
1280 INT=N/50
1285 INT1=INT+1
1290 R=(N+INT)*DELTA
1300 C=0.
1310 D=0.
1320 E=1.
1330 NV=3
1340 NP=51
1350 WRITE(1,100),NP,NV,(TEMPO(I),Y(I),YY(I),ERRO(I),
1360 I=INT1,N1,INT),R,C,D,E
1370 100 FORMAT(15,1X,15,/, (4(F10.5,1X)))
1380 CALL CLOSEF(1,"KARINA")
1382 PRINT 200,N,M,DELTA
1384 200 FORMAT(1X,"CENTRAL DIFFERENCE",/,/,1X,"N=",14,/,
1386 1X,"M=",14,/,1X,"DELTA=",F5.3,/,/,)
1390 STOP
1400 END

```

```

1010C      PROGRAMA SIMULA
1020C
1030C      ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJURA
1040C
1050C      TESE DE LIVRE DOCENCIA
1060C      PROF. HELIO MOKARZEL
1070C
1080C      SIMULACAO DE INTEGRADID - CENTRAL DIFFERENCE
1090C      TESTE COM FUNCAO SENOIDAL
1100C
1110C      N=NUMERO DE INTERVALOS DE INTEGRACAO
1120C      M=NUMERO DE ITERACOES
1130C      DELTA=INTERVALO DE INTEGRACAO
1140C
1150      DIMENSION TEMP(1000),Y(1000),YY(1000),ERR(1000)
1160 10 READ,N,M,DELTA
1170      SOMA1=0.
1180      SOMA2=0.
1190      SAIDA1=0.
1200      SAIDA2=0.
1210      N1=N+1
1220      DO 20 I=1,N1
1230      TEMP(I)=(I-1)*DELTA
1240      X=0.
1250      IF(I.EQ.1) X=1./DELTA
1260      DO 15 J=1,M
1270      ENTR1=X-SAIDA2
1280      ENTR2=SAIDA1
1290      SAIDA1=ENTR1*DELTA/2.+SOMA1
1300 15 SAIDA2=ENTR2*DELTA/2.+SOMA2
1310      SOMA1=SOMA1+ENTR1*DELTA
1320      SOMA2=SOMA2+ENTR2*DELTA
1330      Y(I)=SAIDA2
1340      YY(I)=SIN(TEMP(I))
1350 20 ERR(I)=(ABS(YY(I))-ABS(Y(I)))*10.
1360      INT=N/50
1370      INT1=INT+1
1380      B=(N+INT)*DELTA
1390      C=0.
1400      D=-1.
1410      E=1.
1420      NV=3
1430      NP=51
1440      WRITE(1,100),NP,NV,(TEMP(I),Y(I),YY(I),ERR(I),
1450      I=INT1,N1,INT),D,C,D,E
1460 100 FORMAT(15,1X,15,/, (4F10.5,1X)))
1470      CALL CLOSEFF(1,"KAFINA")
1480      PRINT 200,N,M,DELTA
1490 200 FORMAT(1X,"CENTRAL DIFFERENCE",/,/,1X,"N=",14,/,1X,
1500      "M=",14,/,1X,"DELTA=",F5.3,///)
1510      STOP
1520      END

```

2.3.4 - Testes Executados

Com o fim de compararmos a precisão e o tempo de computação dos dois algoritmos, utilizamos os programas do item 2.3.3, e, para ambos os algoritmos e ambos sistemas, variamos o intervalo de integração (e o número de iterações para o "Central Difference").

Os resultados estão indicados nas páginas seguintes, em forma de curvas de resposta no tempo.

Para estes gráficos foi adotada a seguinte convenção:

- * - Resposta obtida pelo algoritmo
- . - Resposta analítica
- + - 10 vezes a diferença do valor absoluto de ambas

Quando não aparece (*) significa que as respostas do Algoritmo e Analítico coincidem, dentro da precisão do gráfico.

N = Número de intervalos de integração

M = Número de iterações

DELTA = Intervalo de Integração

CPUS = Proporcional ao tempo de computação

X (LINEAR)

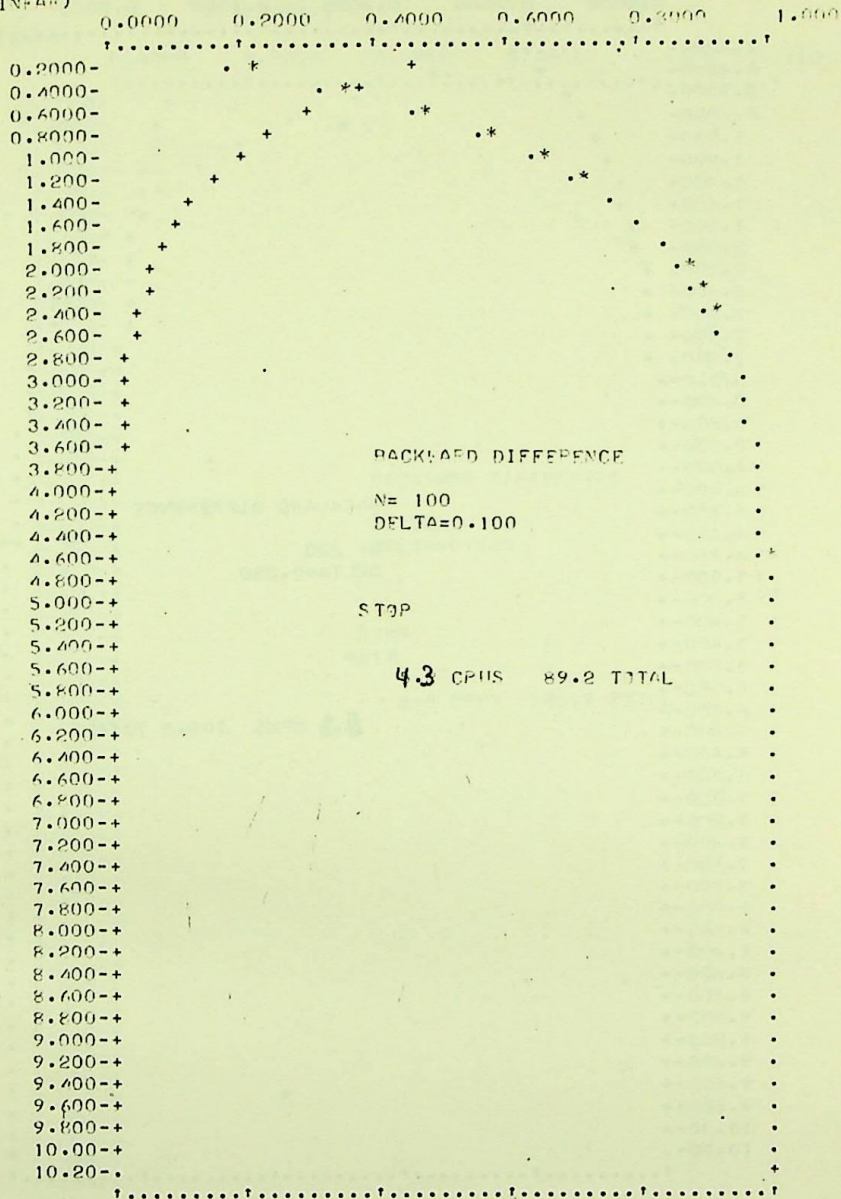


fig.2.13

X (LINEAR)

0.0000 0.2000 0.4000 0.6000 0.8000 1.000

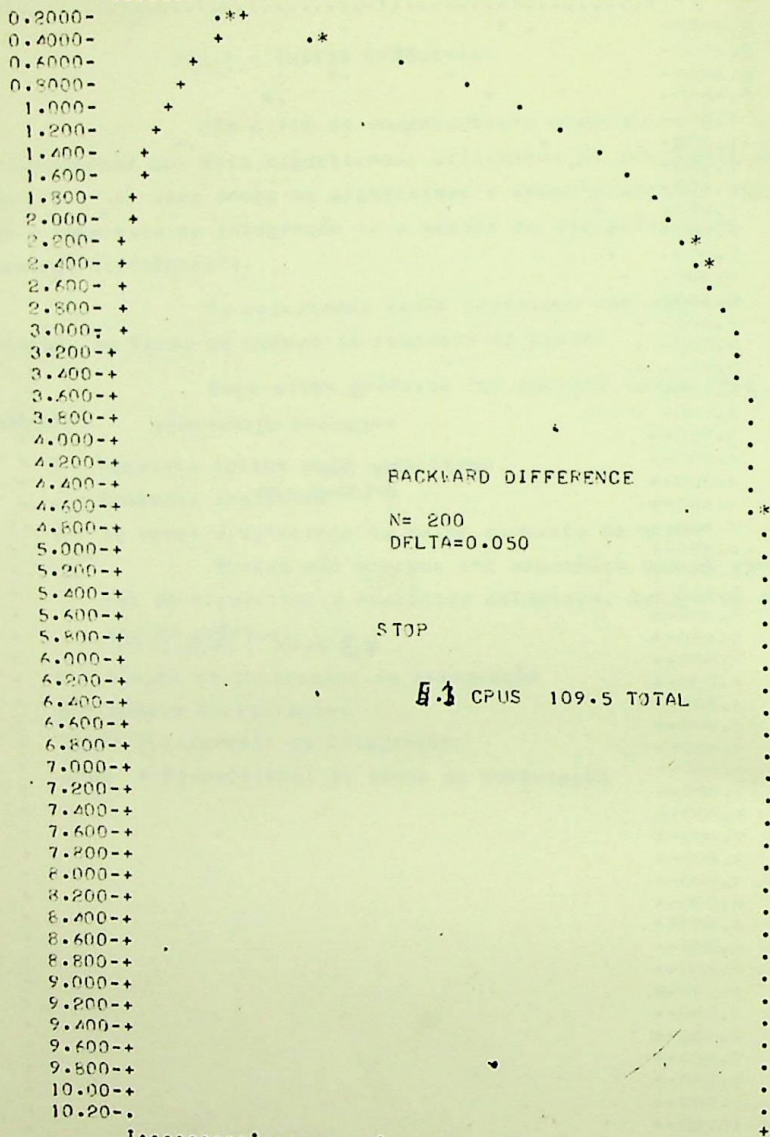


fig.2.13

Y (LINEAR)

X (LINEAR)

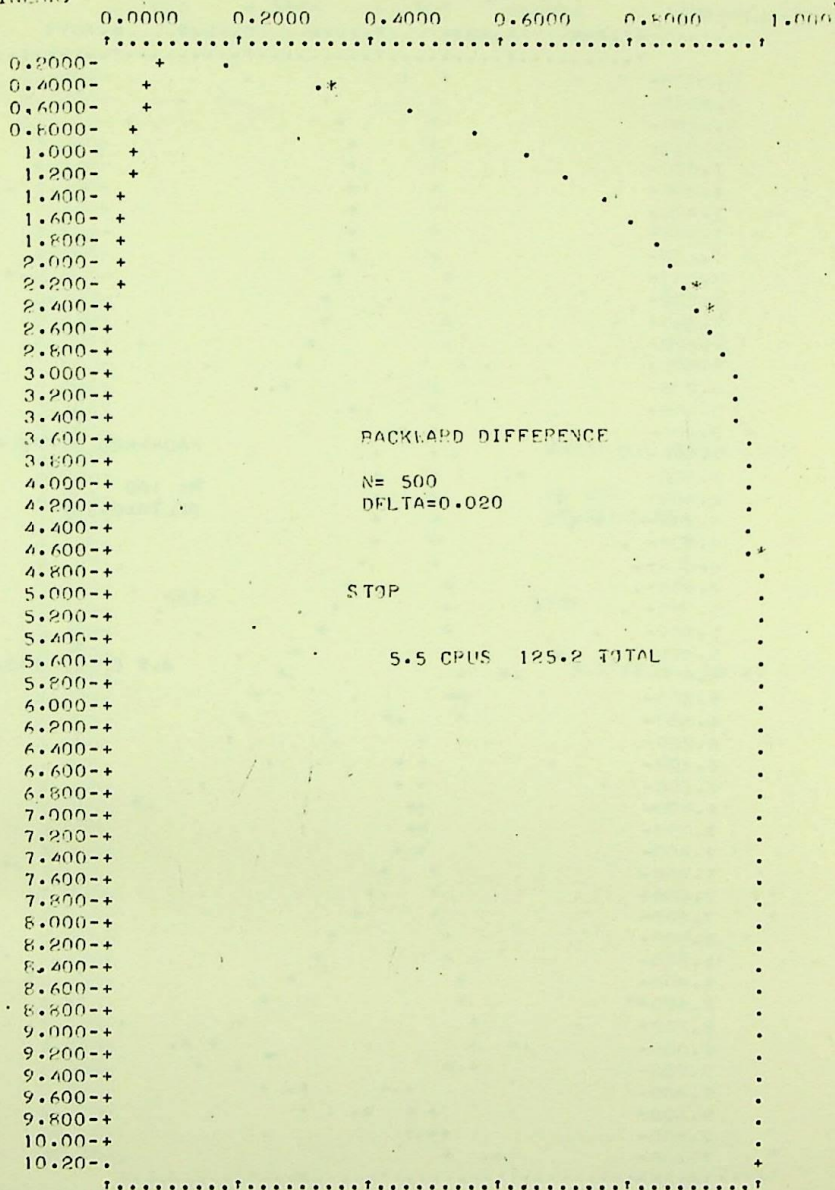
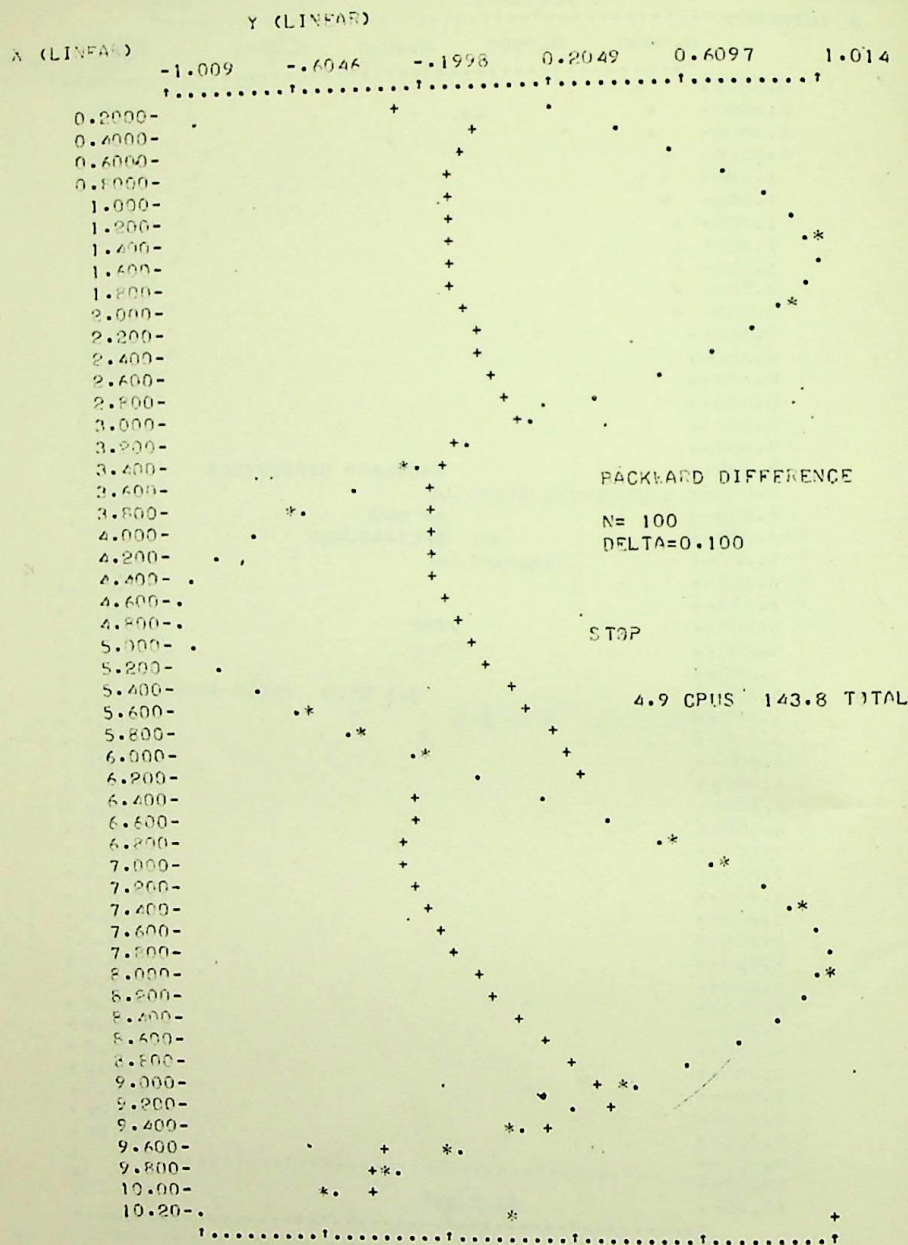


fig.2.14



Y (LINEAR)

X (LINEAR)

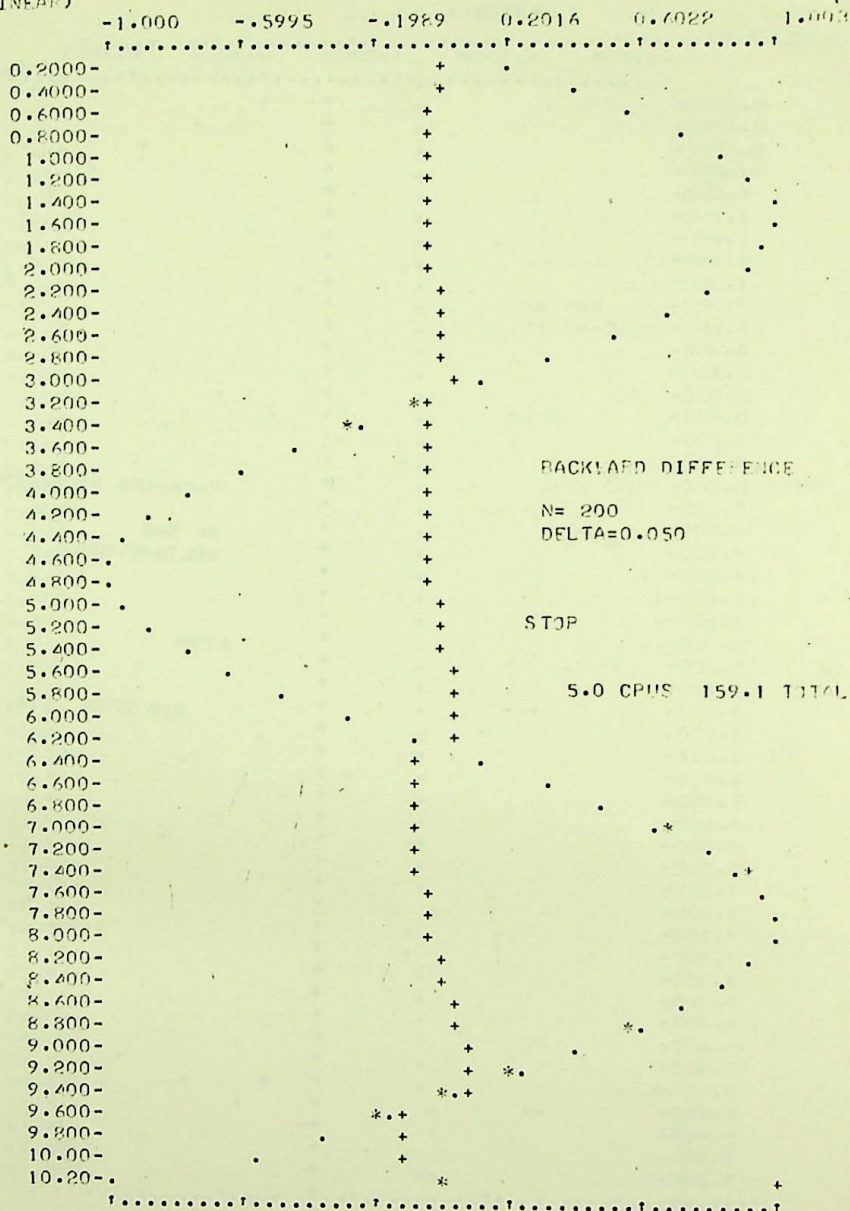


fig.2.16

Y (LINEAR)

X (LINEAR)

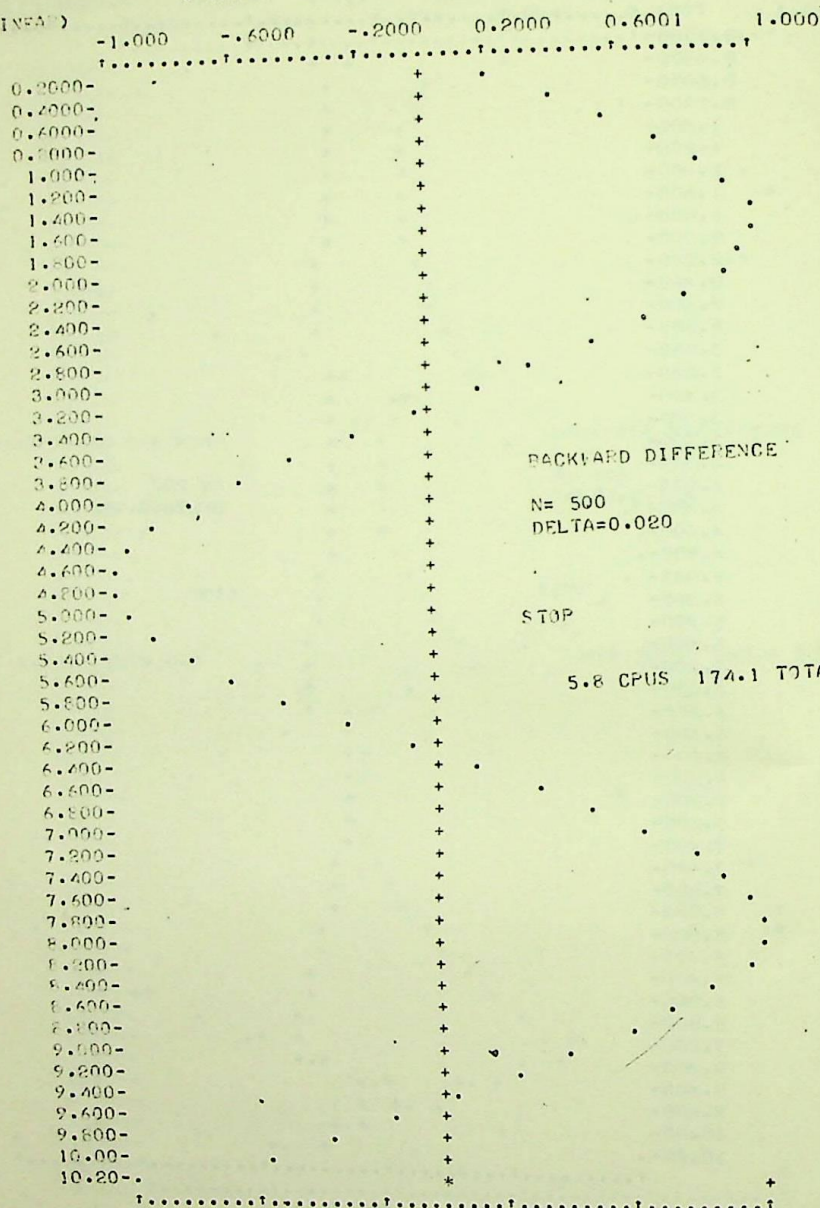


fig.2.17

X (LINEAR)

Y (LINEAR)

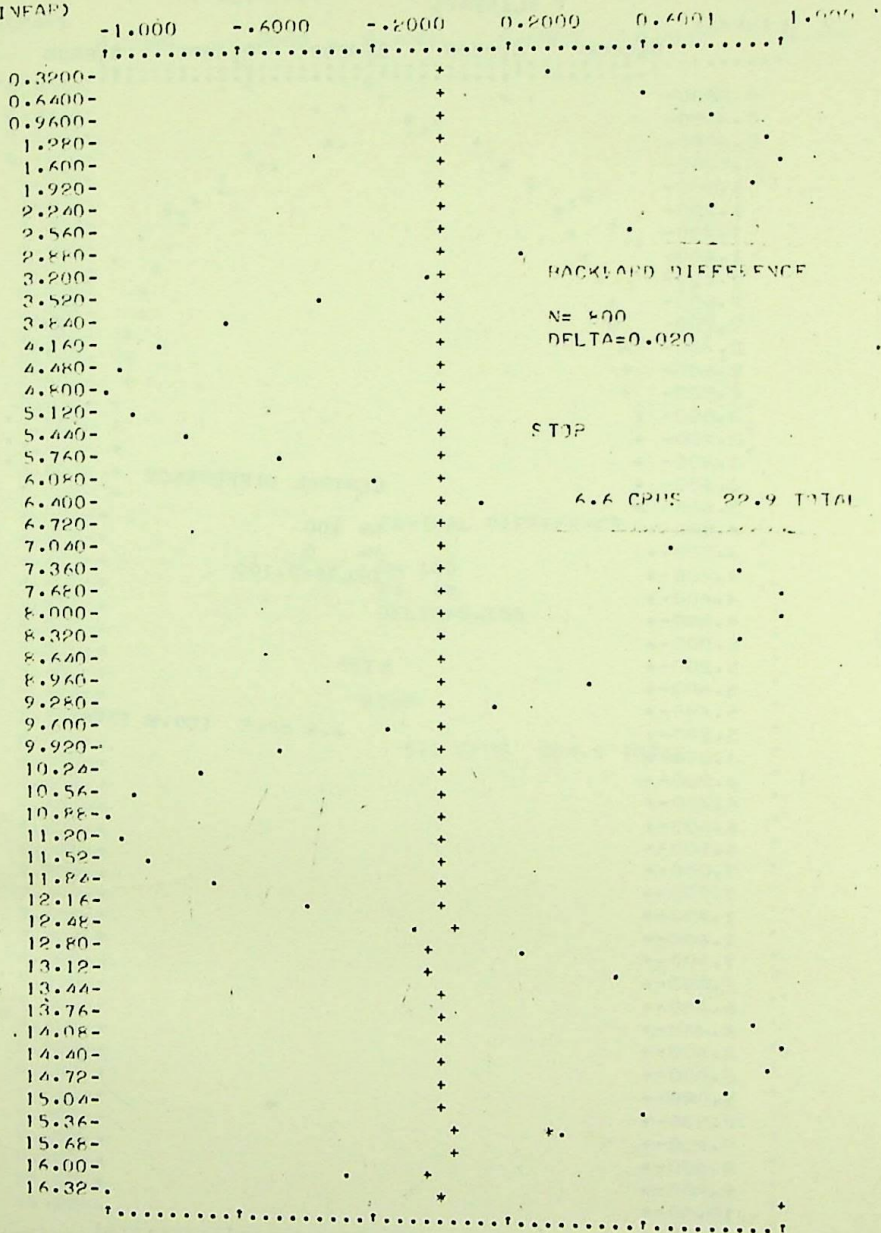


fig.2.18

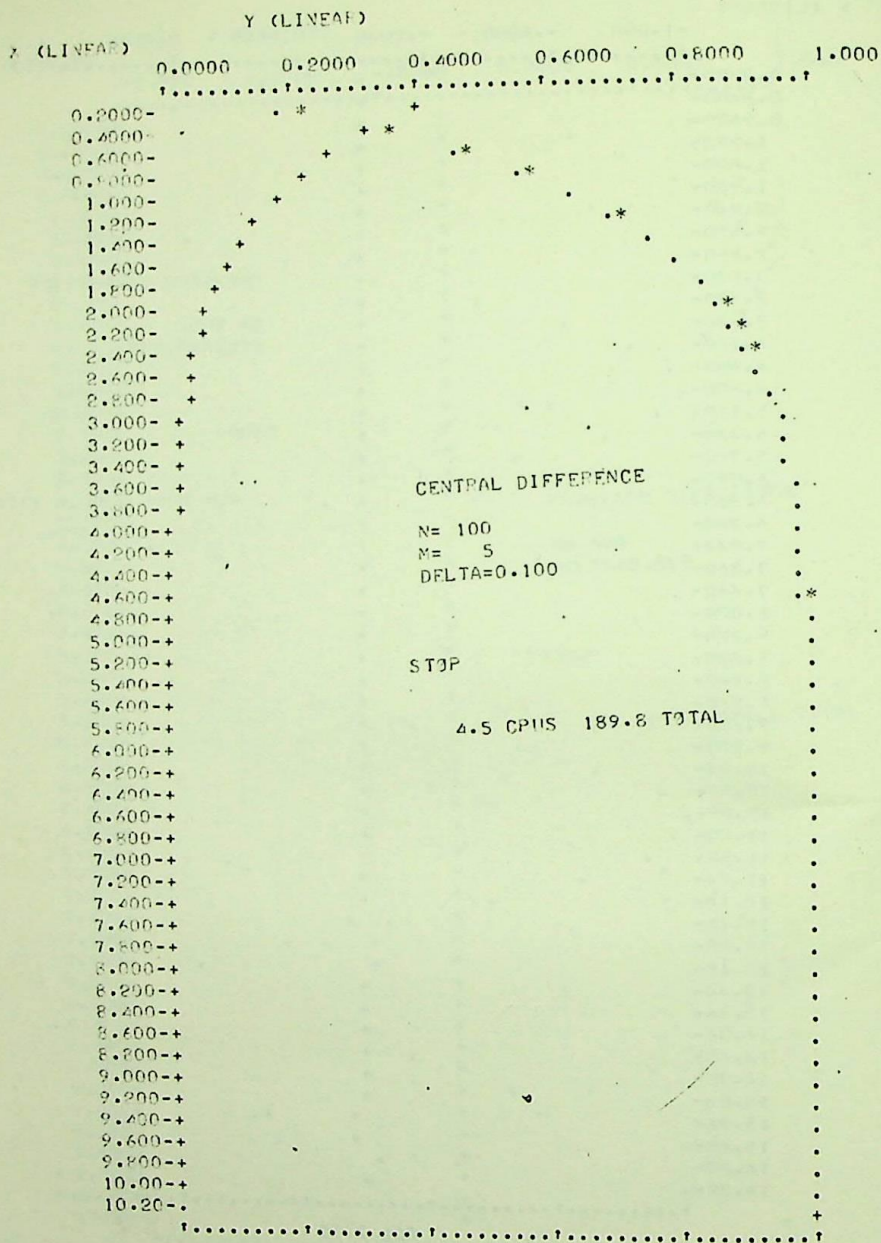
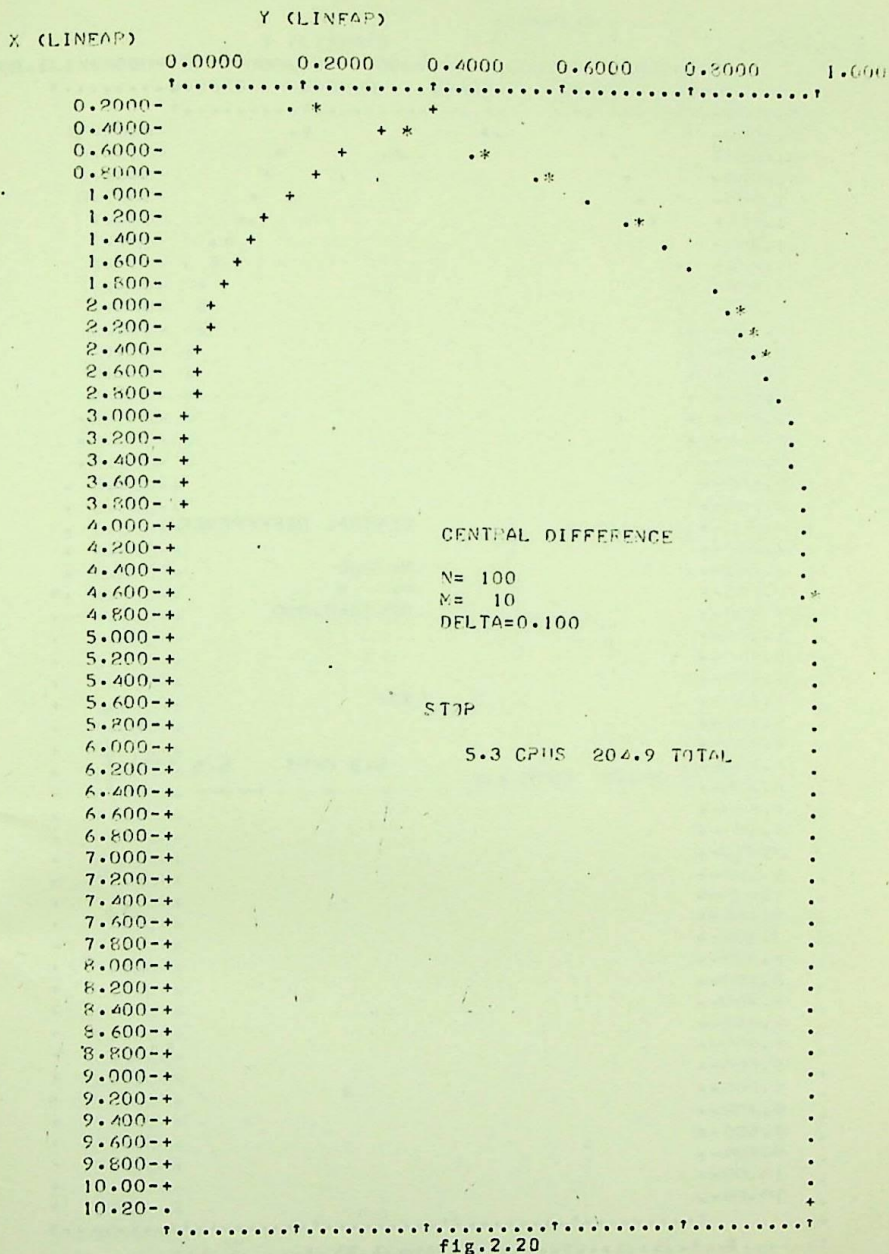


fig.2.19



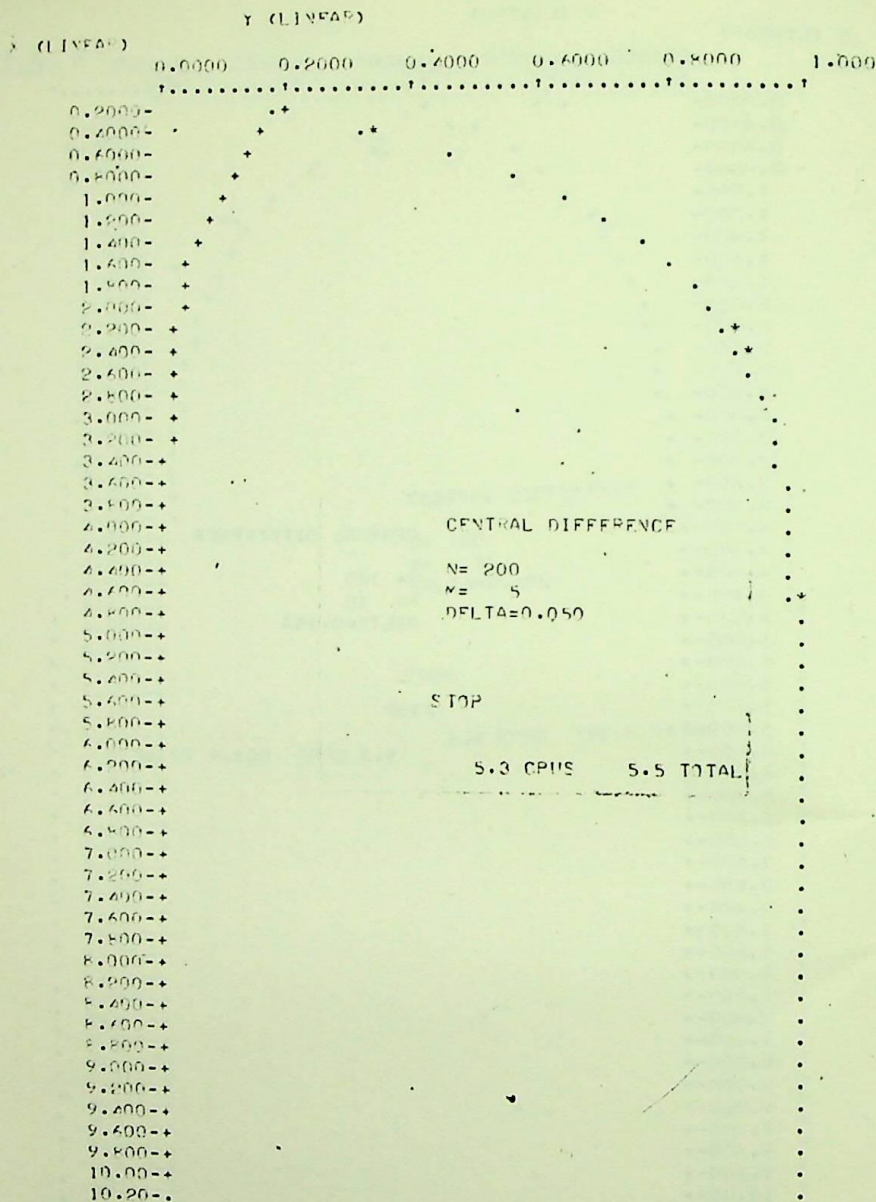
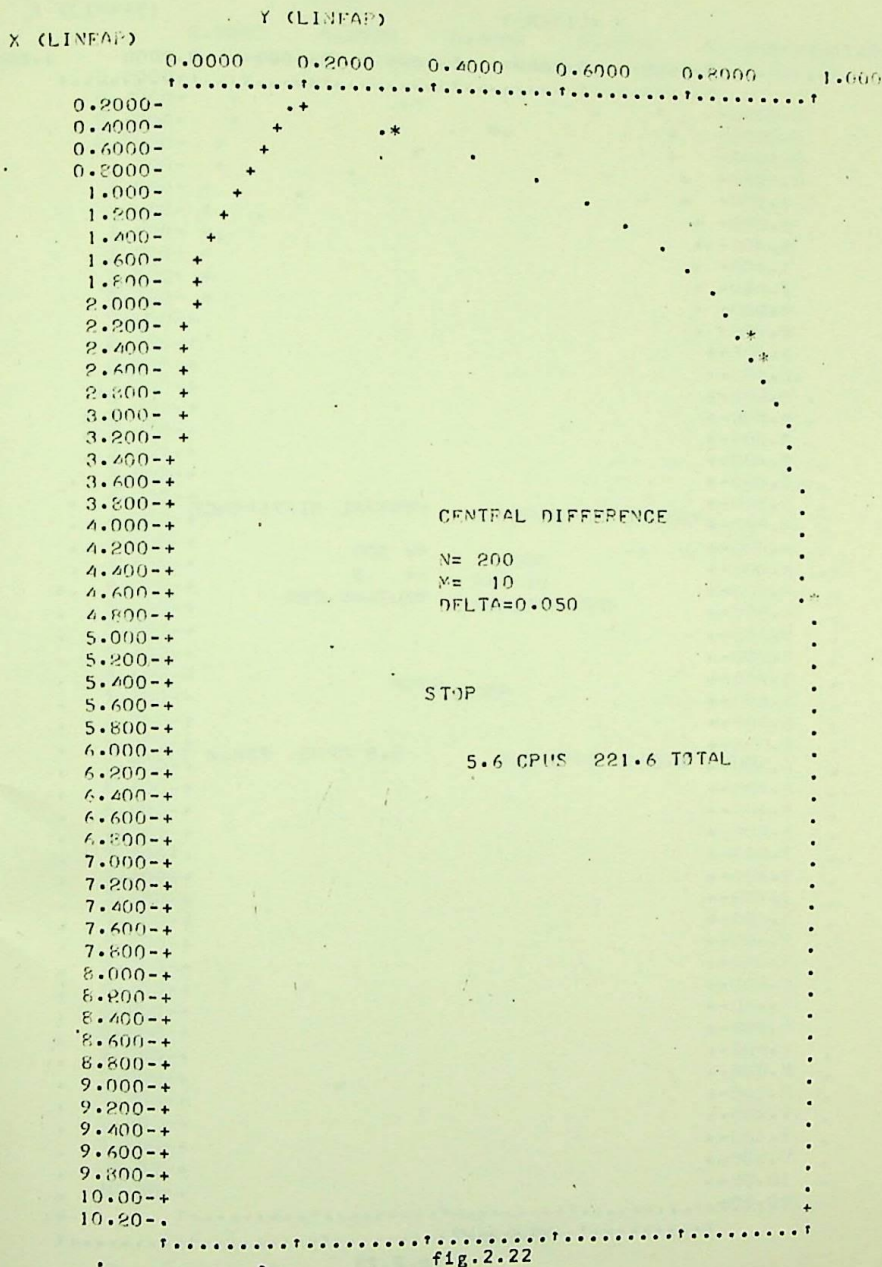


fig. 2.21



Y (LINEAR)

X (LINEAR)

0.0000 0.2000 0.4000 0.6000 0.8000 1.000

0.2000-

0.4000-

0.6000-

0.8000-

1.000-

1.200-

1.400-

1.600-

1.800-

2.000-

2.200-

2.400-

2.600-

2.800-

3.000-

3.200-

3.400-

3.600-

3.800-

4.000-

4.200-

4.400-

4.600-

4.800-

5.000-

5.200-

5.400-

5.600-

5.800-

6.000-

6.200-

6.400-

6.600-

6.800-

7.000-

7.200-

7.400-

7.600-

7.800-

8.000-

8.200-

8.400-

8.600-

8.800-

9.000-

9.200-

9.400-

9.600-

9.800-

10.00-

10.20-

CENTRAL DIFFERENCE

N= 500

M= 5

DELTA=0.020

STOP

5.8 CPUS 238.4 TOTAL

fig.2.23

Y (LINEAR)

X (LINEAR)

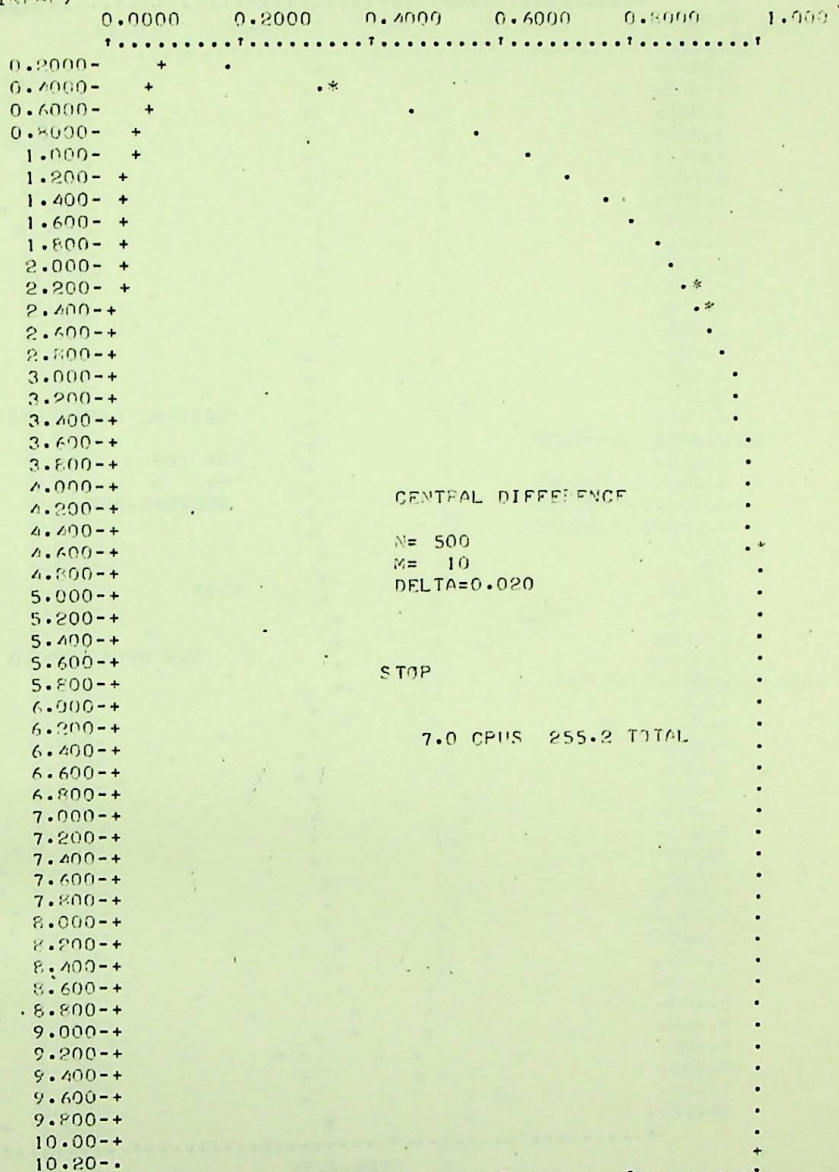
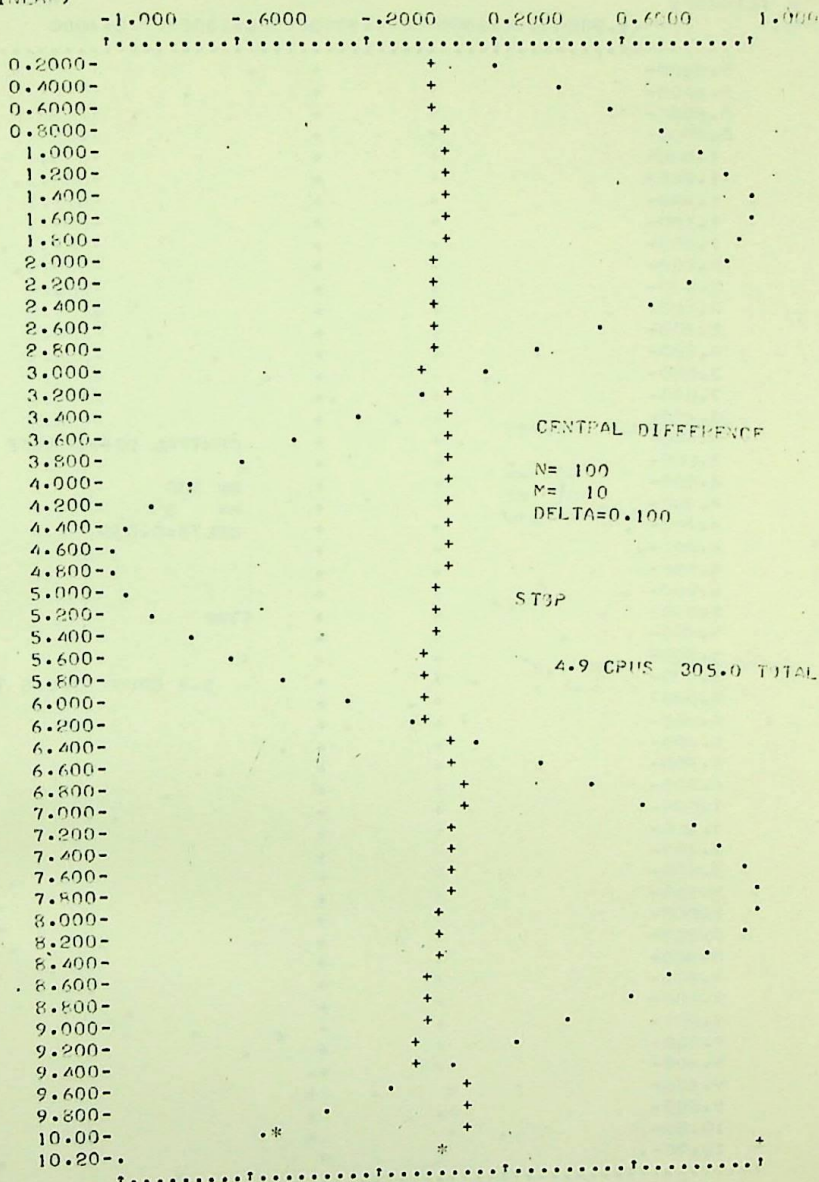


fig.2.24

Y (LINEAR)

X (LINEAR)

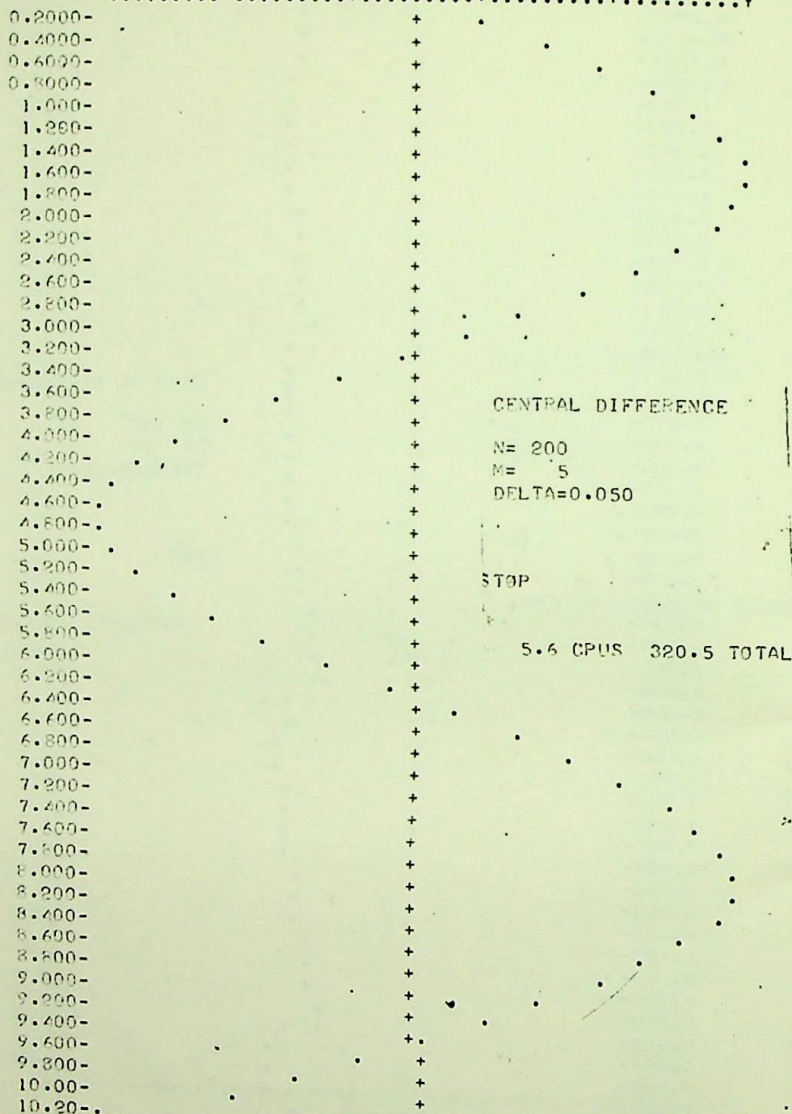


f1g.2.26

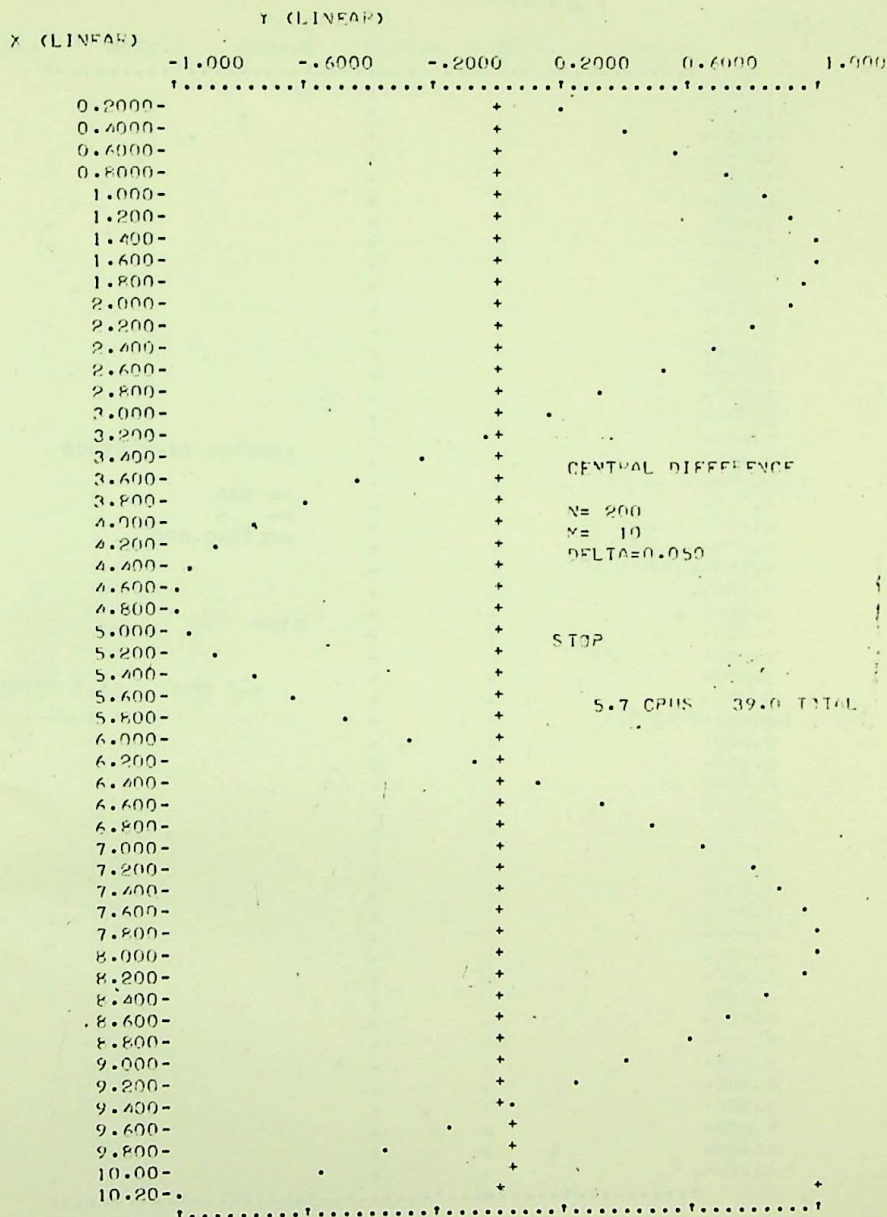
Y (LINEAR)

X (LINEAR)

-1.000 -.6000 -.2000 0.2000 0.6000 1.000

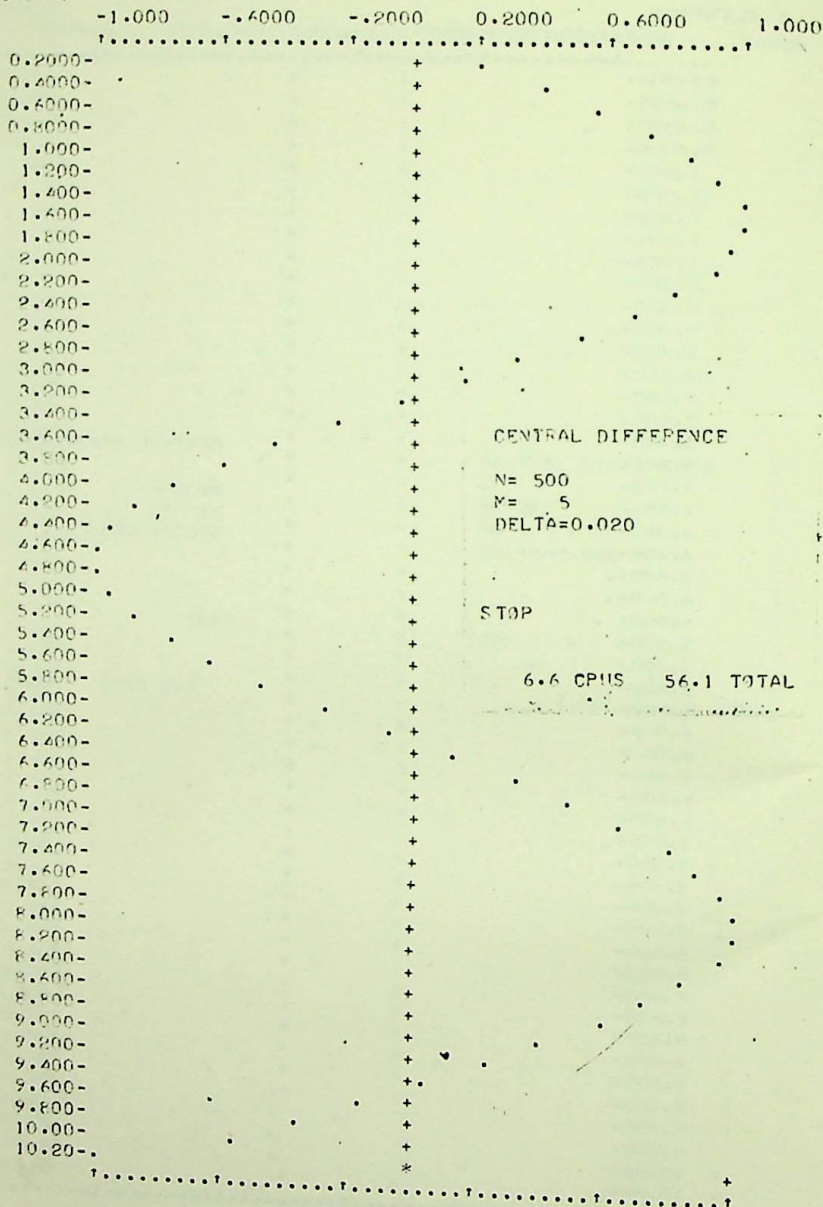


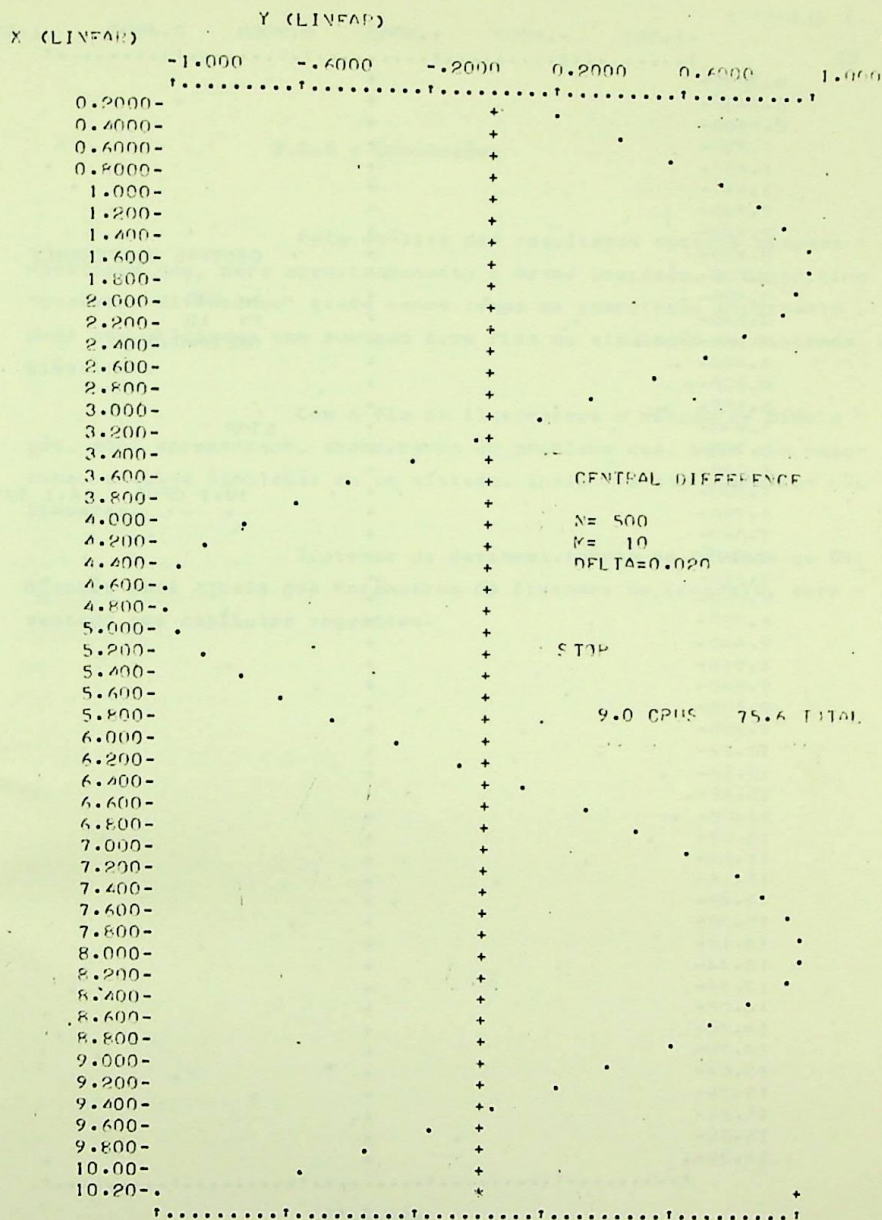
f1g.2.27



Y (LINEAR)

2 (LINEAR)





-1.000	-.6000	-.2000	0.2000	0.6000	1.000
--------	--------	--------	--------	--------	-------

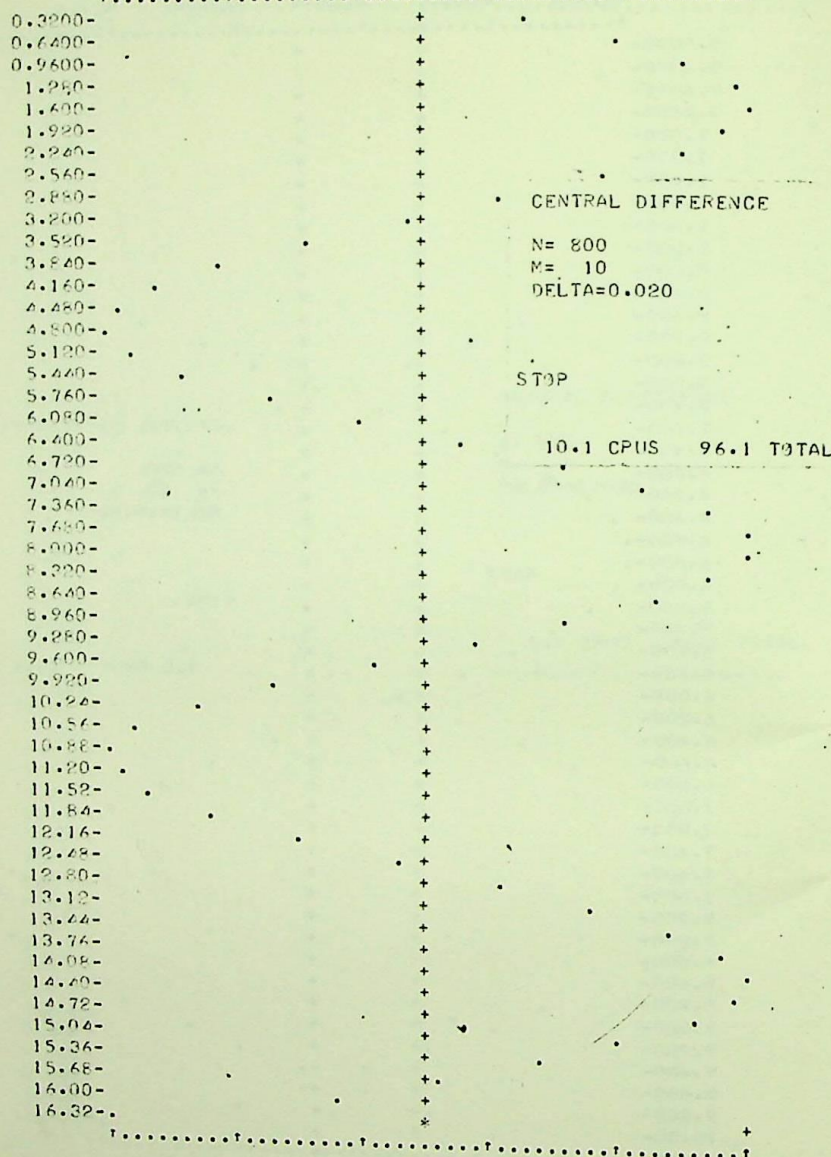


fig. 2.31

2.3.5 - Conclusões

Pela análise dos resultados obtidos podemos verificar que, para aproximadamente a mesma precisão, o algoritmo "Backward Difference" gasta menos tempo de computação e portanto, pode ser utilizado com sucesso para fins de simulação de Sistemas Elétricos.

Com o fim de ilustrarmos o método de Simulação, aqui apresentado, abordaremos um problema que, pela sua natureza, envolve Simulação de um sistema, inclusive com elementos não lineares.

Trata-se do desenvolvimento de Métodos de Otimização para Ajuste dos Parâmetros de Sistemas de Controle, apresentado nos capítulos seguintes.

3.0.0 - APLICAÇÃO - OTIMIZAÇÃO

3.1.0 - Introdução

Procuraremos desenvolver um método de otimização que dê uma resposta rápida, com pouca oscilação e com pequeno "over-shoot".

Matematicamente este objetivo poderá ser alcançado procurando-se o mínimo da integral do valor absoluto do erro, isto é, da diferença entre a entrada e a saída do sistema de controle. Esta integral poderá ainda ser ponderada com o tempo em que o erro está ocorrendo.

Neste trabalho desenvolveremos dois critérios, com finalidade de comparação da melhor otimização. O primeiro será sem ponderação do tempo e o segundo, com uma ponderação do tempo.

3.2.0 - "Performance Index" PI

Chamaremos de "Performance Index" a medida da integral do valor absoluto do erro durante um certo tempo. Depois, procuraremos minimizar esta grandeza.

Ela poderia ser definida, simplesmente, pela expressão:

$$PI = \int_0^t |ERRO| dt$$

e onde o limite superior do tempo deve ser escolhido suficientemente longo, para ser bastante significativo. Como uma boa resposta, deve ter retorno ao valor regulado em menos de 3[s], tomaremos $t = 5[s]$.

A definição acima não nos parece muito boa, pois, a minimização seria bastante lenta e, talvez, não conduza a bons resultados.

Para ser mais agressivo, usaremos as duas definições seguintes para, no final, comparar qual delas leva a melhores resultados.

3.2.1 - Critério 1

Este critério não leva em consideração o tempo em que o erro ocorre. É um dos critérios mais usados nestes casos. Aqui o "Performance Index" é definido pela expressão:

$$PI = \int_0^t |\text{ERRO}|^2 dt$$

3.2.2 - Critério 2

Neste critério ponderaremos o erro com o tempo. Muitas expressões poderiam ser usadas, entrando com o valor absoluto do erro ou com o erro do quadrado ponderado, com o valor do tempo ou com o valor do tempo ao quadrado. O programa que desenvolveremos permitirá usar qualquer expressão com relativa facilidade. Como só nos interessa o desenvolvimento de um método para o timização, usaremos o "Performance Index" definido pela expressão

$$PI = \int_0^t |\text{ERRO}| \times t \times dt$$

3.3.0 - Método de Otimização

3.3.1 - O Caminho do Maior Gradiente Parcial

Sem entrar em sofisticação matemática, o método de otimização que utilizaremos será o de atingir o mínimo valor do PI, seguindo-se o caminho do maior gradiente parcial, isto é, de terminaremos o gradiente da função:

$$PI = PI(K_1, K_2, K_3, \dots)$$

parcialmente para cada um dos parâmetros do sistema de controle $K_1, K_2, K_3, \dots$

$$\frac{\partial PI}{\partial K_1}, \frac{\partial PI}{\partial K_2}, \frac{\partial PI}{\partial K_3}, \dots$$

Em seguida, modificaremos o parâmetro que produziu maior variação do PI, no sentido de diminuir PI, procurando fazer, desta forma, com que todos estes gradientes tendam para zero ou próximo de zero. Neste ponto teremos a função PI passando pelo seu mínimo, o que, teoricamente, deve representar uma resposta ótima do sistema.

Evidentemente, o método poderá levar a valores dos parâmetros que não são viáveis tecnicamente. Isto poderá ser evitado, incluindo-se limites para os vários parâmetros.

O processo é ilustrado para dois parâmetros, na figura 3.1, onde a linha indica o caminho seguido para a variação dos parâmetros, suposto ser o caminho do maior gradiente parcial.

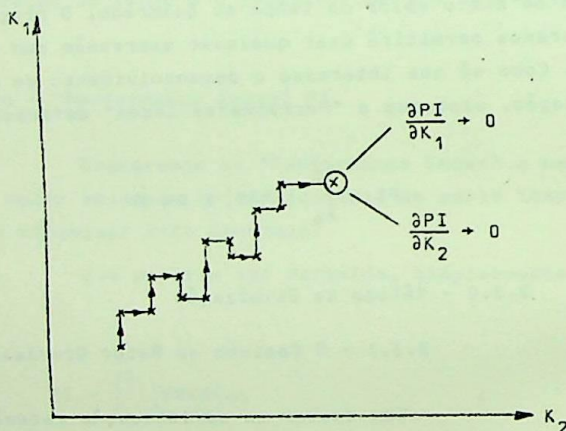


Fig. 3.1

Como os parâmetros podem adquirir valores muito diferentes, uns dos outros, é necessário que cada gradiente seja multiplicado pelo respectivo parâmetro, para que eles possam ser comparados entre si.

3.3.2 - Variação dos Parâmetros

A variação do parâmetro, indicado pelo processo

descrito anteriormente, deverá ser proporcional ao gradiente e proporcional ao próprio parâmetro.

Introduziremos, também, um fator de aceleração, com o fim de acelerar as iterações e evitar oscilação durante as mesmas. Assim, o novo valor da constante indicada para mudar será

$$K = K(1 - \frac{\partial PI}{\partial K} \times FA)$$

Apezar de inúmeras tentativas para estabelecer um valor, ou valores para FA, não conseguimos este intento. Por este motivo, o programa imprime os valores de

$$PI \quad e \quad \frac{\partial PI}{\partial K}$$

em cada iteração e o operador, pelos resultados obtidos, modifica rá convenientemente o FA de maneira a, ou acelerar o processo, ou evitar oscilação. Este valor foi fixado inicialmente em:

$$FA = 0.1$$

3.3.3 - O Método no Computador Digital

Para a solução do problema no computador digital devemos simular o sistema no mesmo, aplicar um "step" na referência e proceder à integração do sistema simulado, juntamente com a integração do erro, de acordo com o critério escolhido.

A seguir procede-se, sucessivamente, um pequeno acréscimo em cada parâmetro, determina-se para cada um o novo valor do PI e calcula-se a derivada parcial, pela relação do acréscimo sofrido por PI, e o acréscimo do parâmetro correspondente, multiplicando-se o resultado pelo valor do parâmetro para equalização dos valores, com a fim de comparação.

Em seguida, verifica-se qual parâmetro produziu o maior gradiente e modifica-se o valor deste parâmetro de acordo com o exposto no item 2.3.2.

Repete-se o processo até atingir um nível de $\partial PI / \partial K$ pré-estabelecido como suficiente. Em nosso caso, fixamos em

0.01 este valor.

Como vemos o método exige um processo de Simulação em Computador Digital que desenvolvemos no capítulo anterior.

4.0.0 - ADAPTAÇÃO DO DIAGRAMA DE BLOCO PARA SIMULAÇÃO

4.1.0 - Introdução

Dada a complexidade do processo de Simulação e Otimização, seria difícil estabelecer critérios, teoricamente. Por este motivo, vamos desenvolver o nosso trabalho, daqui para frente, sobre um exemplo numérico indicando, em cada passo, os processos e critérios adotados.

4.2.0 - Substituição de Blocos compostos por Blocos contendo apenas Integradores simples.

Apresentaremos aqui os equivalentes dos blocos que aparecem, mais comumente nos Sistemas de Controle.

1)

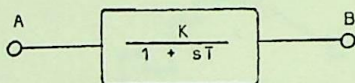


Fig. 4.1

$$B = \frac{AK}{1 + sT}$$

ou

$$B + sTB = AK$$

ou ainda

$$B = (AK - B) \frac{1}{sT}$$

que conduz ao seguinte diagrama

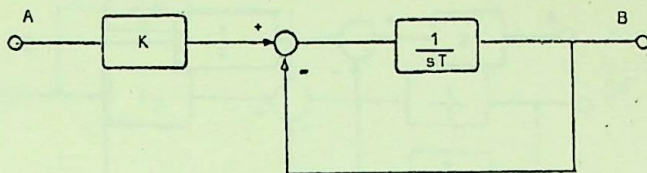


Fig. 4.2

Ou, no domínio do tempo:

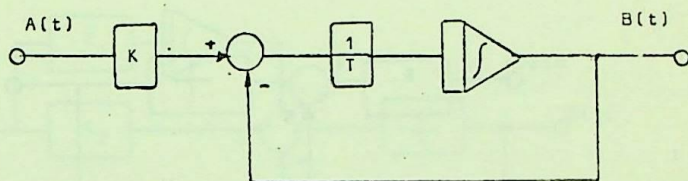


Fig. 4.3

2)

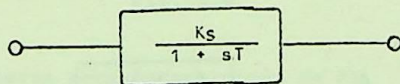


Fig. 4.4

$$B = \frac{AKs}{1 + sT}$$

ou

$$B = \frac{AK}{T} - \frac{B}{sT}$$

que conduz ao seguinte diagrama:

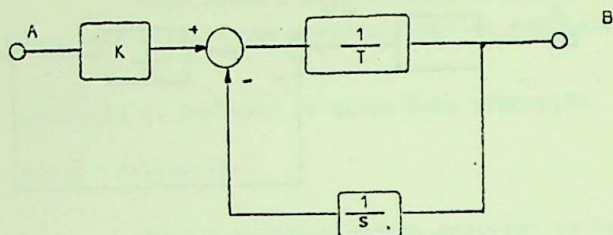


Fig. 4.5

Ou, no domínio do tempo:

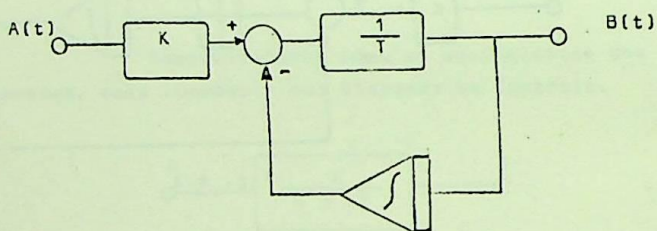


Fig. 4.6

3)

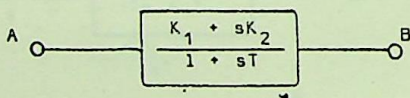


Fig. 4.7

$$B = \frac{K_1 + sK_2}{1 + sT} A$$

ou

$$B = \frac{K_1 A}{sT} + \frac{K_2 A}{T} - \frac{B}{sT}$$

que conduz ao seguinte diagrama:

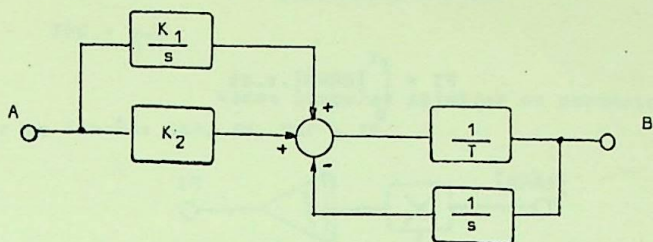


Fig. 4.8

Ou, no domínio do tempo:

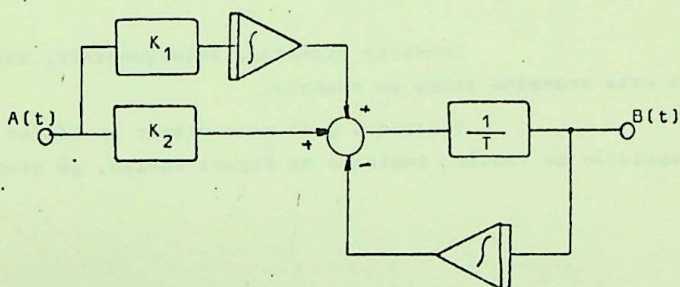


Fig. 4.9

4.3.0 - Blocos para Determinação de PI

4.3.1 - Critério 1

$$PI = \int_0^t |\text{ERRO}|^2 \cdot dt$$

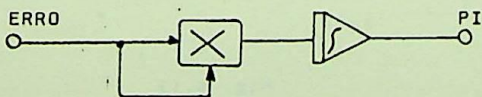


Fig. 4.10

4.3.2 - Critério 2

$$PI = \int_0^t |ERRO|.t.dt$$

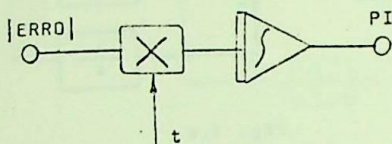


Fig. 4.11

4.4.0 - Exemplo: Regulador de Tensão

Conforme dissemos, anteriormente, desenvolva remos este trabalho sobre um exemplo.

Tomaremos para este mister um típico Sistema de Regulação de Tensão, indicado na figura abaixo, já simplificado:

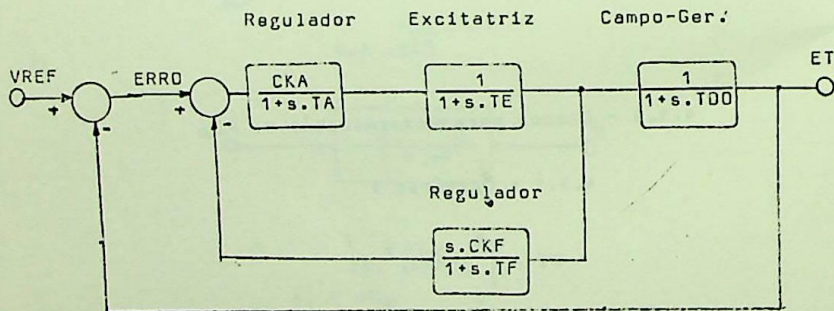


Fig. 4.12

Neste exemplo, vamos considerar, conhecidos os parâmetros da Excitatriz e do Gerador:

TE = 0.5

TDO = 5.0

Vamos procurar otimizar os parametros do Regu
lador de Tensão: CKA, TA, CKF e TF.

4.4.1 - Diagrama de Blocos adaptado

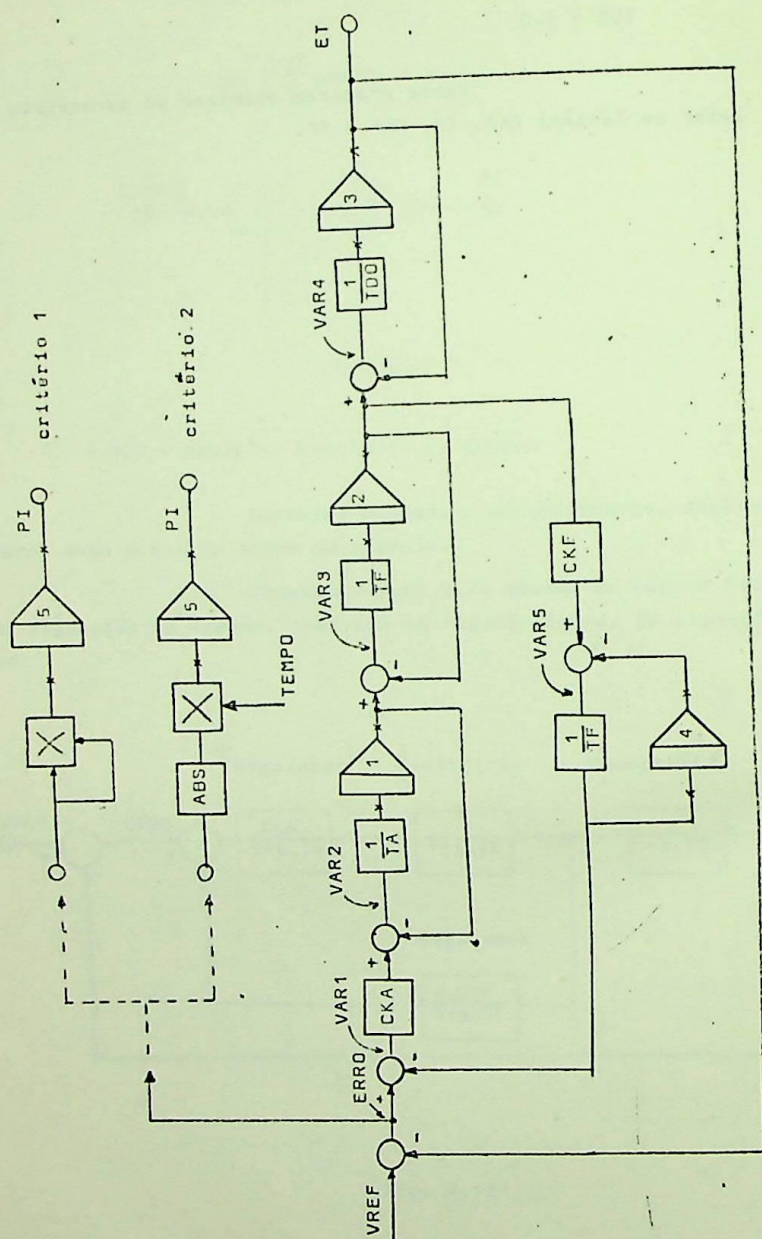


Fig. 4.13

5.0.0 - PROGRAMAS

5.1.0 - Descrição Geral

O programa constará de 4 partes distintas:

- 1) Na primeira parte, ou primeira fase, o programa receberá os parâmetros conhecidos e valores relativamente arbitrários dos parâmetros a serem otimizados e, automaticamente, procederá a otimização, permitindo ao operador acompanhar o andamento da otimização, bem como interferir para obter resultados parciais ou para alterar o fator de aceleração. Terminada a otimização ou por ter ela atingido os níveis pre-estabelecidos, ou por ordem do operador, o programa imprimirá os resultados da otimização, calculará a resposta no tempo a um "step" unitário na referência, permitindo seu traçado graficamente, e passará às 3 fases seguintes.
- 2) Na segunda parte (ou segunda fase) o programa calculará a resposta em frequência do sistema com as constantes otimizadas (Diagrama de Bode: Amplitude e Ângulo), permitindo o seu traçado graficamente.
- 3) Na terceira parte (ou terceira fase) o programa calculará e imprimirá a frequência e o ângulo do "Crossover Point" do "Loop" externo.
- 4) Na quarta parte (ou quarta fase) o programa calculará e imprimirá a frequência e o ângulo do "Crossover Point" do "Loop" interno.

Incluimos o Diagrama de Bode e os valores dos "Crossover Points" dos "Loops" externo e interno porque, em conjunto com a resposta no tempo a um "step" unitário, eles são ferramentas poderosas na análise do comportamento do Sistema de Controle.

5.2.0 - Sub-Rotinas de Integração : INTEG1 e INTEG2

As sub-rotinas de integração ou simulação INTEG1 e INTEG2 são as partes mais importantes deste programa. Elas permitem a simulação do Sistema no Computador Digital, possibilitando obter a resposta no domínio do tempo à qualquer excitação e para qualquer sistema linear ou não linear.

Vejamos a sua programação, para o sistema que estamos examinando.

Denominamos

ENTR(I) = Entrada do Integrador I

SAIDA(I) = Saída do Integrador I

SOMA(I) = Acumulador do Integrador I

VAR1, VAR2, VAR3, VAR4, VAR5, ERRO, ET, PI - as várias variáveis do sistema, conforme indicado no diagrama de bloco da figura 4.13.

Para cada intervalo de tempo DELTA devemos ter, então (Veja diagrama de bloco da Fig. 4.13.):

c DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

VREF = {função de DELTA, qualquer}

ET = SAIDA(3)

VAR4 = SAIDA(2) - SAIDA(3)

VAR3 = SAIDA(1) - SAIDA(2)

ERRO = VREF - SAIDA(3)

VAR5 = CKF*SAIDA(2) - SAIDA(4)

VAR1 = ERRO - VAR5/TF

VAR2 = VAR1*CKA - SAIDA(1)

PI = SAIDA(5)

c

c DEFINIÇÃO DAS ENTRADAS DOS INTEGRADORES

c

ENTR(1) = VAR2/TA

ENTR(2) = VAR3/TE

ENTR(3) = VAR4/TDO

ENTR(4) = VAR5/TF

ENTR(5) = ERRO**2 (para o critério 1)

ou ENTR(5) = ABS(ERRO)*TEMPO (para o critério 2)

c

c INTEGRAÇÃO OU DEFINIÇÃO DAS SAIDAS

c

DO I = 1,5

SOMA(I) = SOMA(I) + ENTR(I)*DELTA

SAIDA(I) = SOMA(I) + 0.5.* ENTR(I)*DELTA

Com este algoritmo podemos realizar a integração do Sistema para qualquer função de entrada VREF.

No nosso caso, VREF será um "step" unitário:

$$VREF = 1$$

Baseado neste algoritmo fizemos as sub-rotinas INTEG1 e INTEG2, respectivamente, para os critérios 1 e 2, incluindo outros detalhes necessários ao processo de otimização.

Assim, os parâmetros a serem otimizados são obtidos de uma matriz (4x5) CONST(I,J) onde I representa o parâmetro da seguinte maneira:

1 → CKA

2 → TA

3 → CKF

4 → TF

Da tal maneira que:

Na coluna 1 : Temos os valores dos parâmetros obtidos na iteração anterior.

Na coluna 2 : Os mesmos valores com CKA acrescido de DK (incremento do parâmetro)

Na coluna 3 : Os mesmos valores de 1 com TA acrescido de DK

Na coluna 4 : Idem com CKF acrescido de DK

Na coluna 5 : Idem com TF acrescido de DK

Durante uma iteração a sub-rotina é chamada 5 vezes: uma para calcular PI inicial e uma vez mais para calcular PI com cada parâmetro acrescido, valores estes que serão usados no programa principal para calcular cada uma das derivadas parciais.

A escolha adequada da coluna da matriz de parâmetros é controlada pelo índice IC.

Na primeira passada na sub-rotina são guardados em X(I) e Y(I) os valores do tempo e da saída do Sistema de Controle para o traçado da resposta no tempo, quando chamado pelo programa principal.

5.3.0 - Sub-Rotinas Função de Transferência FTR1 e FTR2

Estas sub-rotinas, FTR1 para o Loop externo, e FTR2 para o Loop interno, recebem do Programa principal o valor dos parâmetros do sistema e, através de um simples algoritmo de algebra complexa, calculam o fasor da resposta da malha aberta do sistema a uma excitação senoidal unitária para cada frequência fornecida pelo programa principal. Este fasor retorna ao programa principal através de seu módulo FMOD e de seu ângulo de fase ALFA.

Nestas sub-rotinas A, B, C, D, E e F são os complexos obtidos pela substituição de "s" por "jw" nas funções de transferência dos vários blocos, conforme indica a figura 5.1.

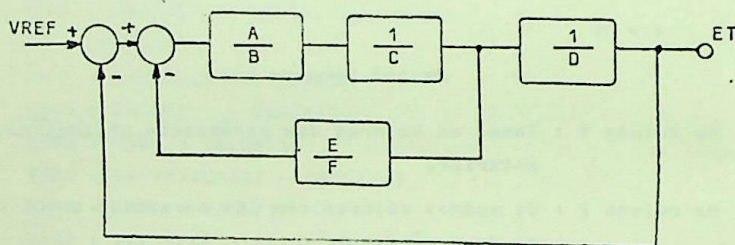


Fig. 5.1

FTMA é o complexo obtido pela substituição de "s" por "jw" na Função de Transferência de Malha Aberta do "Loop" em apreço.

Conforme pode ser visto pelo diagrama da figura 5.1, temos:

- 1) Para o "Loop" externo

$$FTMA = A \cdot F / (D \cdot (B \cdot C \cdot F + A \cdot E))$$

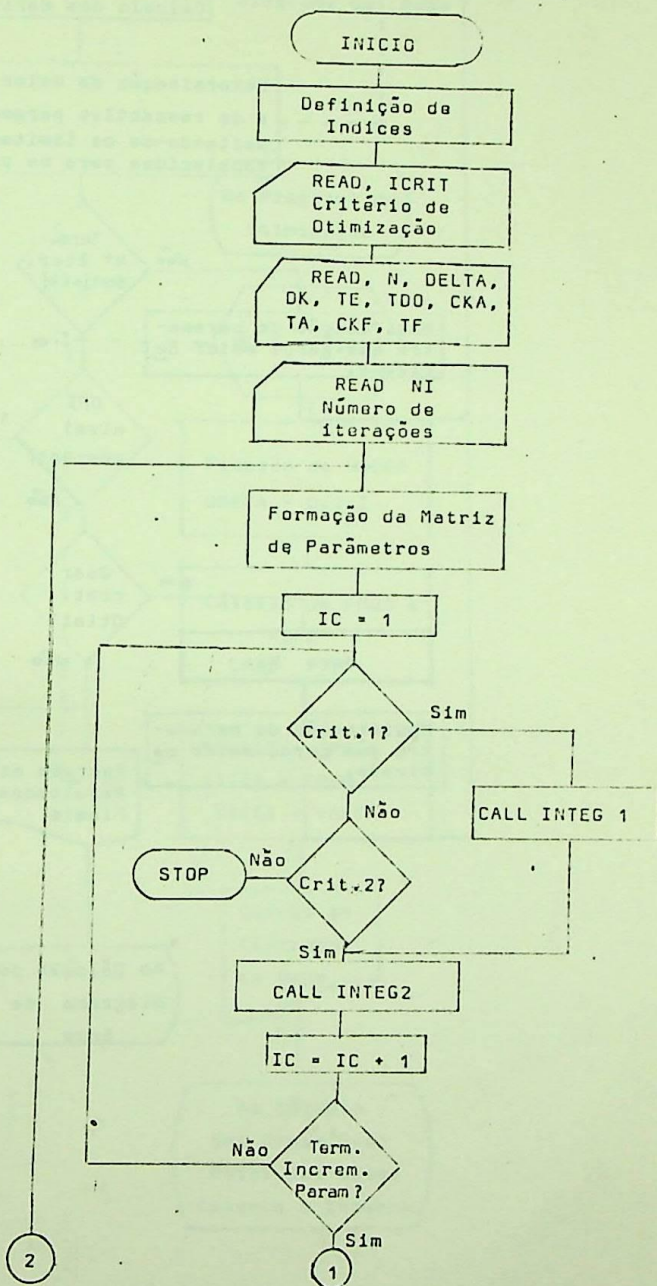
- 2) Para o "Loop" interno

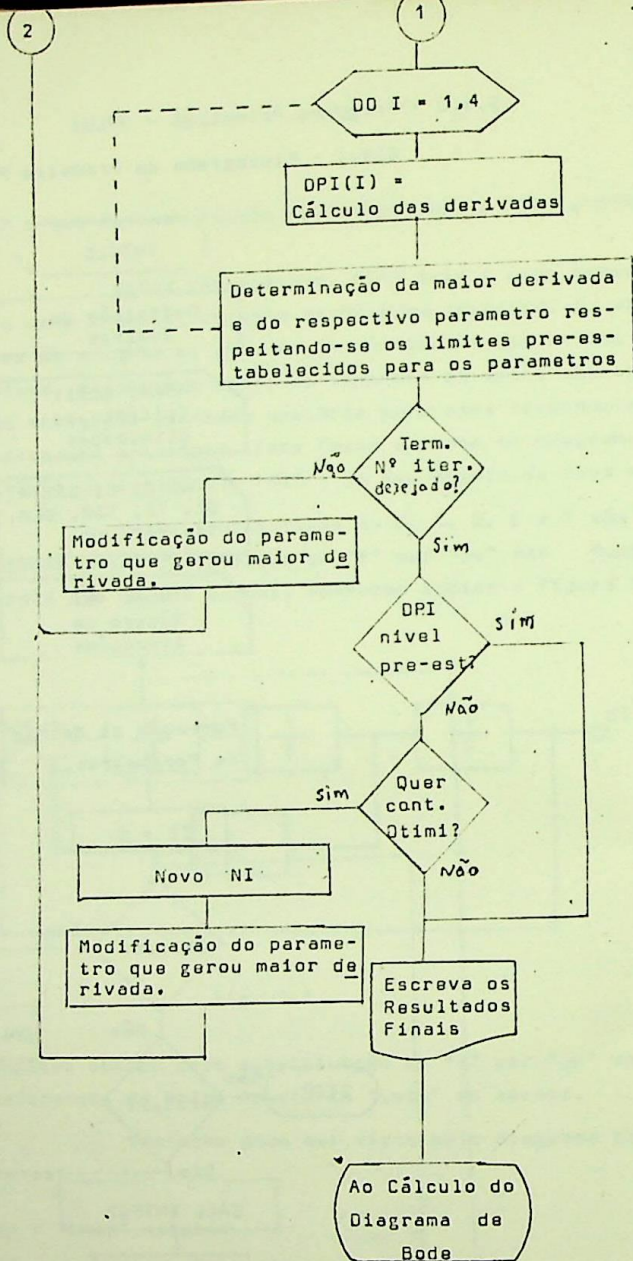
$$FTMA = A \cdot E / (B \cdot C \cdot F)$$

Estas sub-rotinas serão usadas para o cálculo do Diagrama de Bode e dos valores de "w" e "α" do "Crossover Point" (ponto no qual o módulo da Função de Transferência de Malha aberta é igual a 1) do "Loop" externo e do "Loop" interno.

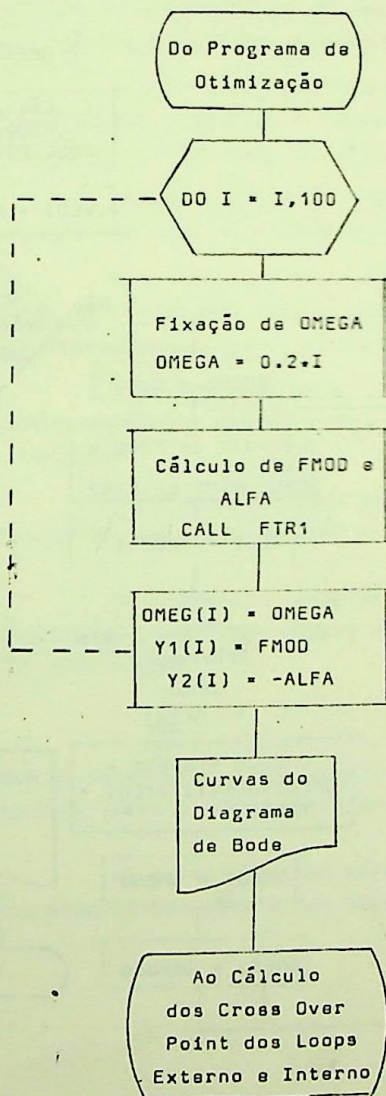
5.4.0 - Programa Principal - HMLD1

5.4.1 - Fluxograma da Primeira Parte - Otimização

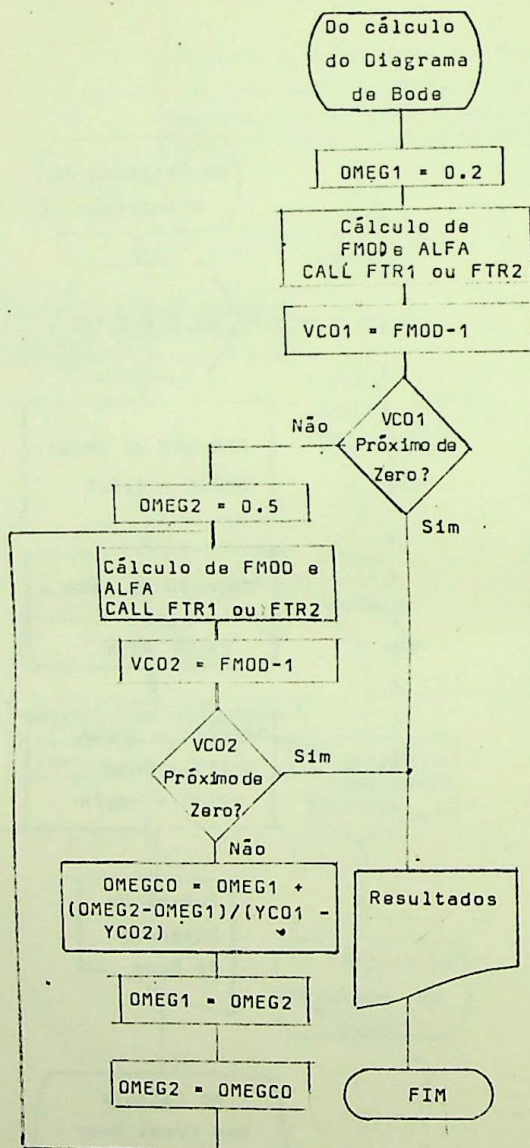




5.4.2 - Fluxograma da 2ª Parte -
Diagrama de Bode



5.4.3 - Fluxograma das 3ª e 4ª partes - Cálculo dos "Crossover Points"



5.4.4 - Definição das Variáveis e Programas

De acordo com os Fluxogramas anteriores fizemos o Programa de Otimização apresentado nas folhas seguintes.

O programa foi feito de maneira que o operador pode interferir no andamento da otimização, através da impressora de console, nos pontos em que for permitido pelo programa.

Assim, a entrada dos parâmetros do Regulador, o Critério de Otimização, bem como o número de Iterações desejado é sempre feito através do console, a pedido do computador.

A cada vez que o computador termina o número de Iterações dadas, ele pede novo número de iterações.

Se o operador pede zero iterações, o computador imprime todos os resultados finais dando ainda chance de continuar com mais iterações ou parar o programa.

Se o operador pede 1 iteração, o computador imprime resultados parciais, executa mais uma iteração e pede novo número de iterações.

Se o operador pede entre 2 e 100 iterações, o computador executa as iterações pedidas e pede novo número de iterações.

Se o operador pede um número maior que 100 iterações, o computador pede novo número de iterações e novo valor do fator de aceleração.

E assim por diante.

Durante as iterações, o operador pode observar o andamento da otimização, para decidir sobre a mudança do Fator de Aceleração e sobre o número de iterações a pedir, na próxima pausa.

As definições das principais variáveis estão apresentadas no próprio programa e nas páginas anteriores.

PROGRAMA PRINCIPAL - HMLDI

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBA

TÉSE DE LIVRE DOCÊNCIA

PROF. HELIO MOKANZEL

SIMULAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS

OTIMIZAÇÃO DE AJUSTE DE REGULADOR DE TENSÃO

OTIMIZA AUTOMATICAMENTE OS PARÂMETROS DADOS

CALCULA O DISSIPACAO DE POTENCIA COM ESTES PARÂMETROS

CALCULA O CROSSEOVER POINT DO LOOP EXTERNO

CALCULA O CROSSEOVER POINT DO LOOP INTERNO

DIMENSION MPEC(101),Y1(101),Y2(101),C3(4)

COMMON CONST(4,5),P1(5),DP1(4),X(1000),Y(1000),

N,IC,VREF,DELTA,TE,TD)

ENTRADA DE DADOS

DATA C3(1),I=1,4)/" CKA"," TA"," CKF"," TF"/

NV=1

FC=.1

KV=1

VREF=1.

PRINT,"ENTRE COM O CRITERIO DE OTIMIZACAO"

PRINT," 1-PERF.INDEX=INTEGRAL DO ERRO AO QUADRADO"

PRINT," 2-PERF.INDEX=INTEGRAL DO VALOR ABSOLUTO"

PRINT," DO SELO VEZES TEMP"

PRINT,">2-PARA"

READ,IC,IT

PRINT,"ENTRE COM OS VALORES DE N,DELTA,DK,TE,TD,"

PRINT,"SEPARADOS POR VIRGULAS"

PRINT,"N=NUMERO DE INTERVALOS DE INTEGRACAO"

PRINT,"DELTA=INTERVALO DE INTEGRACAO"

PRINT,"DK=INCREMENTO DA DERIVADA"

PRINT,"TE,TD: PARÂMETROS DO REGULADOR"

10 READ,N,DELTA,DK,TE,TD)

NP=N/10+2

PRINT,"ENTRE COM OS VALORES DOS PARÂMETROS DO REGULADOR"

PRINT,"A SEER OTIMIZADOS:CKA,TA,CKF,TE, SEPARADOS POR"

PRINT,"VI GULAS"

20 READ,CKA,TA,CKF,TE

PRINT,"ENTRE COM O NUMERO DE ITERACOES DESEJADO"

PRINT,"NI<100"

READ,NI

IF(NI.GT.1) PRINT 1700

FORMACAO DA MATRIZ DE PARÂMETROS

CONST(1,1)=CKA

CONST(2,1)=TA

CONST(3,1)=CKF

CONST(4,1)=TE


```

1570      DO 22 I=1,4
1580      22 DFI(I)=0.
1590      25 ISTOP=0
1600          IF(NI.EQ.1) PRINT 1700
1610          CONST(KM,1)=CONST(KM,1)*(1.0-DFI(KM)*FA)
1620      30 ISTOP=ISTOP+1
1630          DO 40 I=1,5
1640          CONST(1,I)=CONST(1,I)
1650          CONST(2,I)=CONST(2,I)
1660          CONST(3,I)=CONST(3,I)
1670      40 CONST(4,I)=CONST(4,I)
1680          DO 50 I=1,4
1690      50 CONST(1,1+I)=CONST(1,1+I)+DK
1700C
1710C      INTEGRAÇÃO
1720C
1730      IC=1
1740      60 IF(ICRIT.EQ.1) CALL INTEG1
1750      IF(ICRIT.EQ.2) CALL INTEG2
1760      IF(ICRIT.GT.2) STOP
1770C
1780C      CÁLCULO DAS DERIVADAS E REAJUSTE DOS PARÂMETROS
1790C
1800      IC=IC+1
1810      IF(IC.LE.5) GO TO 60
1820      DPIM=0.
1830      DO 70 I=1,4
1840      DPI(I)=((PI(I+1)-PI(I))*CONST(1,I))/DK
1850      IF(1.EQ.2.AND.CONST(2,I).LE.0.1) GO TO 70
1860      IF(1.EQ.1.AND.CONST(1,I).GE.1000.) GO TO 70
1870      A=ABS(DPI(I))
1880      IF(A.LE.DPIM) GO TO 70
1890      DPIM=A
1900      KM=I
1910      70 CONTINUE
1920      PRINT 1200,ISTOP,C(KM),DPIM,PI(1)
1930      IF(DPIM.LE.0.01) GO TO 80
1940      IF(ISTOP.EQ.NI) GO TO 75
1950      CONST(KM,1)=CONST(KM,1)*(1.0-DFI(KM)*FA)
1960      GO TO 30
1970C
1980C      ALTERNATIVA PARA CONTINUAR
1990C
2000      75 PRINT," "
2010      PRINT," "
2020      PRINT,"ENTRE COM O NÚMERO DE ITERAÇÕES DESEJADO"
2030      PRINT,"NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA"
2040      PRINT,"NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATÉ ESTE PONTO, PAROU"
2050      PRINT,"      MAIS UMA ITERAÇÃO E PERMITE CONTINUAR"
2060      PRINT,"NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERAÇÕES"
2070      PRINT,"NI>100- PEDE NOVO NÚMERO DE ITERAÇÕES E NOV"
2080      PRINT,"      VALOR DO FATOR DE ACELERAÇÃO"
2090      READ,ISTOP
2100      IF(ISTOP.GT.100) GO TO 170
2110      77 IF(ISTOP.GT.1) PRINT 1700
2120      NI=ISTOP

```

```

2130      IF(ISTOP.GT.1) GO TO 25
2140C
2150C      SAIDA DOS VALORES OTIMIZADOS
2160C
2170      20 C=0.
2180      D=0.
2190      E=(N+10)*DELTA
2200      F=1.25
2210      WRITE(1,500),NP,NV,C,D,(X(K),Y(K),K=11,N,10),E,F
2220      500 FORMAT(15,1X,15,/, (2(F10.5,1X)))
2230      CALL CLOSEFF(1,"MIAM")
2240      PRINT 550,IC,IT
2250      550 FORMAT(1X,/,," CRITERIO",I2)
2260      PRINT 600,TD,TF
2270      600 FORMAT(1X,/,,"PARAMETROS OTIMIZADOS",/,1X," TD=",
2280      F10.5," TE=",F10.5)
2290      PRINT 700,(CONST(K,1),K=1,4)
2300      700 FORMAT(1X," CKA=",F10.5," TA=",F10.5," CKF=",
2310      F10.5," TF=",F10.5)
2320      PRINT 800,(DPI(K),K=1,4)
2330      800 FORMAT(1X,/,,"DERIVADAS PARCIAIS",/,1X," DCK4=",
2340      F10.5," DTA=",F10.5," DCKF=",F10.5," DTF=",F10.5)
2350      PRINT 900,PI(1)
2360      900 FORMAT(1X,/,,"PERFORMANCE INDEX",/,1X," PI=",F10.5)
2370      1200 FORMAT(1X,15,5X,A4,2F12.5)
2380      IF(ISTOP.EQ.1) GO TO 25
2390C
2400C      DIAGRAMA DE BODE
2410C
2420      DO 100 I=1,100
2430      OMEGA=0.2*I
2440      OMEG(1)=OMEGA
2450      CALL FTF1(OMEGA,FMOD,ALFA)
2460      Y1(1)=FMOD
2470      100 Y2(1)=-ALFA
2480      KK=100
2490      LL=1
2500      WRITE(2,110),KK,LL,(OMEG(I),Y1(I),I=1,100)
2510      110 FORMAT(15,1X,15,/, (2(F10.5,1X)))
2520      CALL CLOSEFF(2,"MA")
2530      WRITE(3,110),KK,LL,(OMEG(I),Y2(I),I=1,100)
2540      CALL CLOSEFF(3,"MATA")
2550C
2560C      CROSSOVER POINT DO LOOP EXTERNO
2570C
2580      K1=0
2590      OMEG1=0.2
2600      OMEG2=OMEG1
2610      CALL FTF1(OMEG2,FMOD,ALFA)
2620      YC1=FMOD-1.
2630      PP=ABS(YC1)
2640      IF(PP.LE.0.01) GO TO 140
2650      OMEG2=0.5
2660      120 OMEG2=OMEG2
2670      CALL FTF1(OMEG2,FMOD,ALFA)
2680      YC2=FMOD-1.

```

```

2690 PP=ABS(YCJ2)
2700 IF(PP.LE.0.01) GO TO 140
2710 OMEG1=OMEG1+(YCJ1*(OMEG2-OMEG1))/(YCJ1-YCJ2)
2720 OMEG1=OMEG2
2730 OMEG2=OMEGC0
2740 YCJ1=YCJ2
2750 KI=KI+1
2760 IF(KI.GE.1000) GO TO 140
2770 GO TO 120
2780 140 PRINT 1500,FM0D,OMEGC0,ALFA
2790 1500 FORMAT(1X,/,,"CROSSOVER POINT DO LOOP EXTERNO",/,
2800 1X," MODULO=",F10.5," OMEGA=",F10.5," ALFA=",
2810 F8.2)
2820C
2830C CROSSOVER POINT DO LOOP INTERNO
2840C
2850 KI=0
2860 OMEG1=0.6
2870 OMEG0=OMEG1
2880 CALL FTR2(OMEG0,FM0D,ALFA)
2890 YCJ1=FM0D-1.
2900 PP=ABS(YCJ1)
2910 IF(PP.LE.0.01) GO TO 160
2920 OMEG2=1.5
2930 150 OMEG0=OMEG2
2940 CALL FTR2(OMEG0,FM0D,ALFA)
2950 YCJ2=FM0D-1.
2960 PP=ABS(YCJ2)
2970 IF(PP.LE.0.01) GO TO 160
2980 OMEG0=OMEG1+(YCJ1*(OMEG2-OMEG1))/(YCJ1-YCJ2)
2990 OMEG1=OMEG2
3000 OMEG2=OMEGC0
3010 YCJ1=YCJ2
3020 KI=KI+1
3030 IF(KI.GE.1000) GO TO 160
3040 GO TO 150
3050 160 PRINT 1600,FM0D,OMEGC0,ALFA
3060 1600 FORMAT(1X,/,,"CROSSOVER POINT DO LOOP INTERNO",/,
3070 1X," MODULO=",F10.5," OMEGA=",F10.7," ALFA=",
3080 F8.2)
3090 1700 FORMAT(1X,/,3X,"ITER",4X,"PARA",5X,"NAIJE",6X,"PRESENTE",
3100 1X,4X,"NO",5X,"MODIF",4X,"DEFIVADA",4X,"PEFF.IND.",/)
3110 GO TO 180
3120C
3130C ALTERNATIVA PARA CONTINUAR.
3140C
3150 170 PRINT," "
3160 PRINT,"ENTRE COM O NUMERO DE ITERACOES NI E COM"
3170 PRINT,"O NOVO VALOR DO FATOR DE ACCELERACAO"
3180 PRINT,"NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA"
3190 PRINT,"NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATÉ ESTE PONTO,EXECUTA"
3200 PRINT," MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR"
3210 PRINT,"NI>1- EXECUTA O NUMERO DE ITERACOES DADO"
3220 READ,ISTOP,FA
3230 GO TO 77
3240 180 PRINT," "

```



```
3250 PRINT, " "  
3260 PRINT, "ENTRE COM ZERO PARA PARAR E COM QUALQUER "  
3270 PRINT, "OUTRO NUMERO MAIOR QUE ZERO PARA CONTINUAR "  
3280 READ I15  
3290 IF (I15.GT.0) GO TO 75  
3300 STOP  
3310 END
```

SUB-ROTINA INTECI

ESCOLA FEDERAL DE EXCENHAÇÃO DE ITAJUBÁ

TESE DE LIVRE DOCÊNCIA
PROF. HELIO MOKAFZEL

SIMULAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS

OTIMIZAÇÃO DE AJUSTE DE REGULADOR DE TENSÃO

SUB-ROTINA DE INTEGRAÇÃO - CRITÉRIO 1

SUB-ROTINA INTECI

DIMENSION SAIDA(S), SOMA(S), ENTE(S)

COMMON CONST(4,5), PI(5), DPI(4), XC(1000), YC(1000),

N, IC, VREF, DELTA, TE, TD)

15 DO 20 I=1,5

SAIDA(I)=0.

20 SOMA(I)=0.

N1=N+1

DO 30 I=1, N1

TEMP0=(I-1)*DELTA

ET=SAIDA(3)

VAR4=SAIDA(2)-SAIDA(3)

VAR3=SAIDA(1)-SAIDA(2)

ERR1=VREF-SAIDA(3)

VAR5=CONST(3, IC)*SAIDA(2)-SAIDA(4)

VAR1=ERR1-VAR5/CONST(4, IC)

VAR2=VAR1*CONST(1, IC)-SAIDA(1)

PI(IC)=SAIDA(5)

ENTR(1)=VAR2/CONST(2, IC)

ENTR(2)=VAR3/TE

ENTR(3)=VAR4/TD)

ENTR(4)=VAR5/CONST(4, IC)

ENTE(5)=ERR1*2

IF(IC.GT.1) GO TO 25

X(1)=TEMP0

Y(1)=ET

25 DO 30 J=1,5

A=ENTR(J)*DELTA

SOMA(J)=SOMA(J)+A

30 SAIDA(J)=SOMA(J)+0.5*A

RETURN

END

to zero sempre

```

10100 SUBROUTINE INTEC2
10200
10300 ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBA
10400
10500 TERE DE LIVRE DOCENCIA
10600 PROF. HELIO MOKAFZEL
10700
10800 SIMULACAO DE SISTEMAS FLETRICOS
10900
11000 OTIMIZACAO DE AJUSTE DE REGULADOR DE TENSAO
11100
11200 SUB-ROTINA DE INTEGRACAO - CRITERIO 2
11300
11400
1150 SUBROUTINE INTEC2
1160 DIMENSION SAIDA(5), SOMA(5), ENTR(5)
1170 COMMON CONST(4,5), PI(5), DPI(4), A(1000), Y(1000),
1180 N, IC, VREF, DELTA, TE, TD)
1190 15 DO 20 I=1,5
1200 SAIDA(I)=0.
1210 20 SOMA(I)=0.
1220 N1=N+1
1230 DO 30 J=1,N1
1240 TEMPO=(J-1)*DELTA
1250 ET=SAIDA(2)
1260 VAR4=SAIDA(2)-SAIDA(3)
1270 VAR2=SAIDA(1)-SAIDA(2)
1280 ERRO=VREF-SAIDA(3)
1290 VAR5=CONST(3,IC)*SAIDA(2)-SAIDA(4)
1300 VAR1=ERRO-VAR5/CONST(4,IC)
1310 VAR2=VAR1*CONST(1,IC)-SAIDA(1)
1320 PI(IC)=SAIDA(5)
1330 ENTR(1)=VAR2/CONST(2,IC)
1340 ENTR(2)=VAR2/TE
1350 ENTR(3)=VAR4/TD)
1360 ENTR(4)=VAR5/CONST(4,IC)
1370 ENTR(5)=ABS(ERRO)*TEMPO
1380 IF(IC.GT.1) GO TO 25
1390 X(1)=TEMPO
1400 Y(1)=ET
1410 25 DO 30 J=1,5
1420 A=ENTR(J)*DELTA
1430 SOMA(J)=SOMA(J)+A
1440 30 SAIDA(J)=SOMA(J)+0.5*A
1450 RETURN
1460 END

```



```
1010C SUBROUTINE FTE1
1020C
1030C ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBA
1040C
1050C TESE DE LIVRE OBCENCIA
1060C PROF. HELIO MOKAPZEL
1070C
1080C SIMULACAO DE SISTEMAS ELETRICOS
1090C
1100C OTIMIZACAO DE AJUSTE DE REGULADOR DE TENSAO
1110C
1120C FUNCAO DE TRANSFERENCIA DO LIMP EXTERNO
1130C
1140C
1150 SUBROUTINE FTR1(OMEGA,FKID,ALFA)
1160 COMMON CONST(4,S),F1(S),F2(4),F3(1000),F4(1000),
1170 IF5,IF6,F7,F8,TE,TDI
1180 COMPLEX FTMA,P,C,D,E,F
1190 A=CONST(1,1)
1200 P=CMPLX(1.,OMEGA*CONST(2,1))
1210 C=CMPLX(1.,OMEGA*TE)
1220 D=CMPLX(1.,OMEGA*TDI)
1230 F=CMPLX(0.,OMEGA*CONST(3,1))
1240 F=CMPLX(1.,OMEGA*CONST(4,1))
1250 FTMA=A*F/(D*(P*C*F+A*E))
1260 FMOD=CABS(FTMA)
1270 R=REAL(FTMA)
1280 S=AIMAG(FTMA)
1290 ALFA=ATAN2(P,S)*180./3.141593
1300 RETURN
1310 END
```

1010C SUB-ROUTINE FTR2
1020C
1030C ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJURA
1040C
1050C TESE DE LIVRE DOCENCIA
1060C PROF. HELIO MOKARZEL
1070C
1080C SIMULACAO DE SISTEMAS ELETRICOS
1090C
1100C OTIMIZACAO DE AJUSTE DE REGULADOR DE TENSAO
1110C
1120C FUNCAO DE TRANSFERENCIA DO LOOP INTERNO
1130C
1140C
1150C SUBROUTINE FTR2(OMEGA,FMOD,ALFA)
1160C COMMON CONST(4,S),F1(S),F2(4),F3(1000),F4(1000),
1170C IF5,IF6,F7,F8,TE,TD)
1180C COMPLEX FTMA,B,C,E,F,D
1190C A=CONST(1,1)
1200C P=CMPLX(1.,OMEGA*CONST(2,1))
1210C C=CMPLX(1.,OMEGA*TE)
1220C D=CMPLX(1.,OMEGA*TD)
1230C E=CMPLX(0.,OMEGA*CONST(3,1))
1240C F=CMPLX(1.,OMEGA*CONST(4,1))
1250C FTMA=(A+E)/(P*C*F)
1260C FMOD=CABS(FTMA)
1270C B=REAL(FTMA)
1280C S=AIMAG(FTMA)
1290C ALFA=ATAN2(F,S)*180./3.141593
1300C RETURN
1310C END

6.0.0 - OTIMIZAÇÃO PELOS CRITÉRIOS 1 e 2

Teoricamente, o programa proceda a otimização partindo de quaisquer valores iniciais dos parâmetros a serem otimizados. No entanto, como ele envolve processo de integração, poderia levar muito tempo para convergir aos valores ótimos, se os parâmetros estiverem, inicialmente, muito distantes de valores razoáveis. Assim, sempre que possível, é interessante fazer-se um estudo teórico preliminar, para partir de valores razoáveis, economizando-se tempo de computação.

Como não é escopo deste trabalho desenvolver teoria de controles, deixamos de apresentar aqui estes estudos preliminares, que no exemplo em questão indicaram os seguintes valores:

CKA = 300.0
TA = 0.11
CKF = 0.1
TF = 2.0

Partindo destes valores, apresentamos a seguir os resultados da otimização utilizando os 2 critérios apresentados anteriormente.

CRITERIO 1

ENTRE COM O CRITERIO DE OTIMIZACAO

1-CHAF.INDEN=INTEGRAL DE ERRO AO QUADRADO
2-DEFI.INDEN=INTEGRAL DE VALOR ABSOLUTO
DE ERRO VEZES TEMPO

90-DATA
INUT:01300
71

ENTRE COM OS VALORES DE N,DELTA,DK,TE,TDE,
SEPARADOS POR VIRGULAS
NÚMEROS DE INTERVALOS DE INTEGRACAO
DECREAS=INTERVALO DE INTEGRACAO
DIF=INCREMENTO DA DERIVADA
TESTES: PARAMETROS DO REGULADOR
INUT:01400

7000,01,00001,0,5,5.

ENTRE COM OS VALORES DOS PARAMETROS DO REGULADOR
A SEREM OTIMIZADOS;CHA,TA,CKF,TF, SEPARADOS POR
VIRGULAS

INUT:01450
7000,0,11,1,2.

ENTRE COM O NÚMERO DE ITERACOES DESEJADO

N1=100
INUT:01400
750

ITER NO	PARAM MODIF	MAIOR DERIVADA	PRESENTE TEFF.IND.
1	TF	0.07000	0.16158
2	TF	0.07000	0.16097
3	TF	0.07000	0.16039
4	TF	0.07000	0.15983
5	TF	0.07000	0.15929
6	TF	0.07000	0.15877
7	TF	0.07000	0.15827
8	TF	0.06900	0.15779
9	TF	0.06750	0.15732
10	TF	0.06600	0.15687
11	TF	0.06450	0.15643
12	TF	0.06300	0.15601
13	TF	0.06150	0.15561
14	TF	0.06000	0.15522
15	TF	0.05850	0.15484
16	TF	0.05700	0.15448
17	TF	0.05550	0.15413
18	TF	0.05400	0.15380
19	TF	0.05250	0.15348
20	TF	0.05100	0.15317
21	TF	0.04950	0.15287
22	TF	0.04800	0.15258
23	TF	0.04650	0.15230
24	TF	0.04500	0.15204
25	TF	0.04350	0.15178

29	TF	0.04192	0.14192
27	TF	0.04191	0.14191
26	TF	0.04190	0.14190
25	TF	0.04189	0.14189
24	TF	0.04188	0.14188
23	TF	0.04187	0.14187
22	TF	0.04186	0.14186
21	TF	0.04185	0.14185
20	TF	0.04184	0.14184
19	TF	0.04183	0.14183
18	TF	0.04182	0.14182
17	TF	0.04181	0.14181
16	TF	0.04180	0.14180
15	TF	0.04179	0.14179
14	TF	0.04178	0.14178
13	TF	0.04177	0.14177
12	TF	0.04176	0.14176
11	TF	0.04175	0.14175
10	TF	0.04174	0.14174
9	TF	0.04173	0.14173
8	TF	0.04172	0.14172
7	TF	0.04171	0.14171
6	TF	0.04170	0.14170
5	TF	0.04169	0.14169
4	TF	0.04168	0.14168
3	TF	0.04167	0.14167
2	TF	0.04166	0.14166
1	TF	0.04165	0.14165

ENTRE COM O NUMERO DE ITERACOES DESEJADO
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATÉ ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR
 NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES
 NI>100- PEDE NOVO NUMERO DE ITERACOES E NOVO
 VALOR DO FATOR DE ACELERAÇÃO
 INPUT:02020
 ?200.-

ENTRE COM O NUMERO DE ITERACOES NI E COM
 O NOVO VALOR DO FATOR DE ACELERAÇÃO
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATÉ ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR
 NI>1- EXECUTA O NUMERO DE ITERACOES DADO
 INPUT:03220
 ?10.2

ITER NO	PARAM MODIF	VALOR DERIVADA	PRESENTE PERF. IND.
1	CKA	0.04157	0.14057
2	TF	0.04172	0.14032
3	CKA	0.04183	0.14023
4	CKA	0.04187	0.14030
5	CKA	0.04186	0.14030
6	TF	0.04097	0.14096
7	CKA	0.04096	0.14460
8	CKA	0.04072	0.14430
9	CKA	0.04041	0.14396
10	CKA	0.04055	0.14264

ENTRADA COM O NUMERO DE ITERACOES DESEJADO
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATÉ ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR
 NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES
 NI>100- DEBE NOVO NUMERO DE ITERACOES E NOVO
 VALOR DO FATOR DE ACELERAÇÃO
 INPUT:02090
 720

ITER NO	PARAM MODIF	VALOR DERIVADA	PRESENTE PERF.IND.
1	TF	0.04056	0.14331
2	CHA	0.04057	0.14379
3	CHA	0.04014	0.14266
4	CHA	0.04018	0.14234
5	CHA	0.03990	0.14222
6	TF	0.04014	0.14171
7	CHA	0.03924	0.14139
8	CHA	0.03954	0.14102
9	CHA	0.03936	0.14077
10	TF	0.03941	0.14043
11	CHA	0.03974	0.14016
12	CHA	0.03873	0.13985
13	CHA	0.03883	0.13954
14	TF	0.03870	0.13924
15	CHA	0.03877	0.13895
16	CHA	0.03866	0.13865
17	CHA	0.03824	0.13835
18	CHA	0.03833	0.13806
19	TF	0.03830	0.13777
20	CHA	0.03845	0.13749

ENTRADA COM O NUMERO DE ITERACOES DESEJADO
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATÉ ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR
 NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES
 NI>100- DEBE NOVO NUMERO DE ITERACOES E NOVO
 VALOR DO FATOR DE ACELERAÇÃO
 INPUT:02090
 720

ITER NO	PARAM MODIF	VALOR DERIVADA	PRESENTE PERF.IND.
1	CHA	0.03871	0.13719
2	CHA	0.03831	0.13690
3	CHA	0.03796	0.13661
4	TF	0.03791	0.13632
5	CHA	0.03779	0.13605
6	CHA	0.03750	0.13576

7	CKA	0.03705	0.13701	73
8	TF	0.03751	0.13751	
9	CKA	0.03792	0.13792	
10	CKA	0.03837	0.13837	
11	CKA	0.03881	0.13881	
12	CKA	0.03926	0.13926	
13	TF	0.03971	0.13971	
14	CKA	0.04016	0.14016	
15	CKA	0.04061	0.14061	
16	CKA	0.04106	0.14106	
17	CKF	0.04151	0.14151	
18	CKA	0.04196	0.14196	
19	CKA	0.04241	0.14241	
20	CKA	0.04286	0.14286	
21	CKA	0.04331	0.14331	
22	CKF	0.04376	0.14376	
23	CKA	0.04421	0.14421	
24	CKA	0.04466	0.14466	
25	CKA	0.04511	0.14511	
26	CKF	0.04556	0.14556	
27	CKA	0.04601	0.14601	
28	CKA	0.04646	0.14646	
29	CKA	0.04691	0.14691	
30	CKA	0.04736	0.14736	
31	CKF	0.04781	0.14781	
32	CKA	0.04826	0.14826	
33	CKA	0.04871	0.14871	
34	CKA	0.04916	0.14916	
35	CKA	0.04961	0.14961	
36	CKF	0.05006	0.15006	
37	CKA	0.05051	0.15051	
38	CKA	0.05096	0.15096	
39	CKA	0.05141	0.15141	
40	CKA	0.05186	0.15186	
41	CKF	0.05231	0.15231	
42	CKA	0.05276	0.15276	
43	CKA	0.05321	0.15321	
44	CKA	0.05366	0.15366	
45	CKA	0.05411	0.15411	
46	CKF	0.05456	0.15456	
47	CKA	0.05501	0.15501	
48	CKA	0.05546	0.15546	
49	CKA	0.05591	0.15591	
50	CKF	0.05636	0.15636	

ENTRE COM O NUMERO DE ITERACOES DESEJADO
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATÉ ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR
 NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES
 NI>100- PEDE NOVO NUMERO DE ITERACOES E NOVO
 VALOR DO FATOR DE ACELERAÇÃO

INPUT:02090
 20

PARAMETROS OTIMIZADOS

TEB= 5.00000 TE= 0.50000
 GHA= 506.03324 TA= 0.11000 CMF= 0.09522 TF= 2.65871

DERIVADAS PARCIAIS

DCHA= -.03291 DTA= 0.02723 DCMF= 0.03303 DTF= -.03290

PERFORMANCE INDEX

PI= 0.12489

CROSSOVER POINT DO LOOP EXTERNO

NECULO= 1.00699 OMEGA= 5.60382 ALFA= -167.08

CROSSOVER POINT DO LOOP INTERNO

NECULO= 1.00677 OMEGA= 16.91905 ALFA= -126.27

ENTRE COM ZERO PARA PARAR E COM QUALQUER
 OUTRO NUMERO MAIOR QUE ZERO PARA CONTINUAR
 INPUT:03290

?1

ENTRE COM O NUMERO DE ITERACOES DESEJADO

NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA

NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATÉ ESTE PONTO, EXECUTA

MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR

NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES

NI>100- PEDE NOVO NUMERO DE ITERACOES E NOVO

VALOR DO FATOR DE ACELERAÇÃO

INPUT:02090

?1

CRITERIO 1

PARAMETROS OTIMIZADOS

TEB= 5.00000 TE= 0.50000
 GHA= 506.03324 TA= 0.11000 CMF= 0.09522 TF= 2.65871

DERIVADAS PARCIAIS

DCHA= -.03291 DTA= 0.02723 DCMF= 0.03303 DTF= -.03290

PERFORMANCE INDEX

PI= 0.12489

ITER NO	PARAM MODIF	MAIOR DERIVADA	PRESENTE PERF. IND.
1	GHA	0.03351	0.12467

ENTRE COM 3 NUMEROS DE ITERACOES DESEJADAS
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATÉ ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR
 NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES
 NI>100- PEDE NOVOS NUMEROS DE ITERACOES E NOVO
 VALOR DO FATOR DE ACELERAÇÃO
 INPUT:02090
 ?1

CRITERIO 1

PARAMETROS OTIMIZADOS

TDC= 5.00000 TE= 0.50000
 CHA= 506.03084 TA= 0.11000 CNF= 0.09439 TF= 2.65871

DERIVADAS PARCIAIS

DCHA= -.03351 DTA= 0.02779 DCF= 0.03159 DTF= -.03148

PERFORMANCE INDEX

PI= 0.12467

ITER NO	PARAM MODIF	MAIOR DERIVADA	PRESENTE PERF. IND.
1	CHA	0.03297	0.12445

ENTRE COM 3 NUMEROS DE ITERACOES DESEJADAS
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATÉ ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR
 NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES
 NI>100- PEDE NOVOS NUMEROS DE ITERACOES E NOVO
 VALOR DO FATOR DE ACELERAÇÃO
 INPUT:02090
 ?1

CRITERIO 1

PARAMETROS OTIMIZADOS

TDC= 5.00000 TE= 0.50000
 CHA= 509.42479 TA= 0.11000 CNF= 0.09450 TF= 2.65871

DERIVADAS PARCIAIS

DCHA= -.03297 DTA= 0.02764 DCF= 0.03156 DTF= -.03175

PERFORMANCE INDEX

PI= 0.12445

ITER NO	PARAM MODIF	MAIOR DERIVADA	PRESENTE PERF. IND.
1	CHA	0.03274	0.12423

ENTRE COM O NUMERO DE ITERACOES DESEJADO
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATÉ ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E DEPOIS CONTINUA
 NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES
 NI>100- PEDIR NOVO NUMERO DE ITERACOES E NOVO
 VALOR DO FATOR DE ACCELERACAO
 INPUT:00000
 000

ITER NO	PARAM NLIIF	MAIOR DERIVADA	PRESENTE PEFF.IND.
1	OMA	0.00272	0.10400
2	OMF	0.00230	0.10351
3	OMA	0.00239	0.10360
4	OMA	0.00256	0.10363
5	OMA	0.00233	0.10317
6	OMA	0.00233	0.10296
7	OMF	0.00232	0.10273
8	OMA	0.00237	0.10255
9	OMA	0.00216	0.10234
10	OMA	0.00242	0.10213
11	OMA	0.00224	0.10193
12	OMF	0.00196	0.10172
13	OMA	0.00182	0.10152
14	OMA	0.00192	0.10132
15	OMA	0.00149	0.10112
16	OMA	0.00164	0.10092
17	OMF	0.00160	0.10072
18	OMA	0.00155	0.10053
19	OMA	0.00135	0.10033
20	OMA	0.00119	0.10013
21	OMA	0.00130	0.11994
22	OMF	0.00123	0.11974
23	OMA	0.00099	0.11953
24	OMA	0.00077	0.11936
25	OMA	0.00096	0.11917
26	OMA	0.00070	0.11898
27	OMF	0.00056	0.11879
28	OMA	0.00073	0.11861
29	OMA	0.00067	0.11842
30	OMA	0.00065	0.11820

ENTRE COM O NUMERO DE ITERACOES DESEJADO
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATÉ ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E DEPOIS CONTINUA
 NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES
 NI>100- PEDIR NOVO NUMERO DE ITERACOES E NOVO
 VALOR DO FATOR DE ACCELERACAO
 INPUT:00000
 0000

ENTRE COM O NUMERO DE ITERACOES DESEJADO
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATE ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR
 NI>1- EXECUTA O NUMERO DE ITERACOES DADO
 INPUT:00220
 ?10.4

ITER NO	PARAM MODIF	MAIOR DERIVADA	PRESENTE TEFF.IND.
1	CKF	0.03050	0.11736
2	CKA	0.03072	0.11750
3	CKA	0.03001	0.11710
4	CKA	0.03099	0.11677
5	CKA	0.02997	0.11641
6	CKF	0.02974	0.11606
7	CKA	0.02967	0.11536
8	CKA	0.02901	0.11501
9	CKA	0.02910	0.11467
10	CKA		

7 CKA 0.02900 3

ENTRE COM O NUMERO DE ITERACOES DESEJADO
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATE ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR
 NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES
 NI>100- PEDE NOVO NUMERO DE ITERACOES E NOVO
 VALOR DO FATOR DE ACELERAÇÃO
 INPUT:02090
 ?20

ITER NO	PARAM MODIF	MAIOR DERIVADA	PRESENTE TEFF.IND.
1	CKF	0.02699	0.11433
2	CKA	0.02604	0.11401
3	CKA	0.02602	0.11367
4	CKA	0.02600	0.11334
5	CKA	0.02639	0.11301
6	CKF	0.02604	0.11259
7	TA	0.02604	0.11230
8	CKA	0.02607	0.11206
9	CKA	0.02616	0.11174
10	CKA	0.02779	0.11143
11	CKF	0.02710	0.11112
12	TA	0.02615	0.11080
13	CKA	0.02763	0.11050
14	CKA	0.02769	0.11020
15	CKF	0.02700	0.10990
16	TA	0.02700	0.10950
17	CKA	0.02756	0.10920
18	CKA	0.02725	0.10890
19	CKA	0.02710	0.10870
20	CKF	0.02745	0.10841

ENTRE COM O NUMERO DE ITERACOES DESEJADO
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATE ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR
 NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES
 NI>100- PEDIR NOVOS NUMEROS DE ITERACOES E NOVO
 VALOR DO FATOR DE ACELERAÇÃO
 INPUT:02090
 720

ITER NO	PARAM MODIF	VALOR DERIVADA	PRESENTE PERT. IND.
1	TA	0.02703	0.10312
2	TA	0.02692	0.10732
3	CHF	0.02706	0.10733
4	TA	0.02727	0.10725
5	CHA	0.02692	0.10695
6	CHA	0.02663	0.10667
7	CHF	0.02634	0.10638
8	TA	0.02713	0.10611
9	CHA	0.02632	0.10582
10	CHA	0.02661	0.10554
11	CHA	0.02623	0.10526
12	CHF	0.02646	0.10499
13	TA	0.02676	0.10472
14	TA	0.02609	0.10443
15	CHF	0.02611	0.10416
16	CHA	0.02667	0.10390
17	CHA	0.02629	0.10362
18	CHA	0.02671	0.10335
19	CHA	0.02556	0.10309
20	CHF	0.02547	0.10283

ENTRE COM O NUMERO DE ITERACOES DESEJADO
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATE ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR
 NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES
 NI>100- PEDIR NOVOS NUMEROS DE ITERACOES E NOVO
 VALOR DO FATOR DE ACELERAÇÃO
 INPUT:02090
 7200

ENTRE COM O NUMERO DE ITERACOES NI E COM
 O NOVO VALOR DO FATOR DE ACELERAÇÃO
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATE ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR
 NI>1- EXECUTA O NUMERO DE ITERACOES DADO
 INPUT:03220
 7200.0

ITER NO	PARAM MODIF	VALOR DERIVADA	PERCENTE DEFF. IND.
1	CKA	0.02536	0.10225
2	CKA	0.02532	0.10130
3	CKA	0.02528	0.10131
4	CKA	0.02472	0.10021
5	CKA	0.02447	0.10032
6	CKF	0.02435	0.09993
7	CKA	0.02505	0.09970
8	CKA	0.02482	0.09931
9	CKA	0.02414	0.09944
10	CKA	0.02345	0.09929
11	CKF	0.02339	0.09755
12	CKA	0.02334	0.09715
13	CKF	0.01989	0.09670
14	CKF	0.01612	0.09541
15	CKF	0.01293	0.09623
16	CKF	0.01027	0.09511
17	CKF	0.00393	0.09603

CRITERIO 1

PARAMETROS OTIMIZADOS

TDS= 5.00000 TE= 0.50000
CKA=1015.76452 TA= 0.09962 CKF= 0.07229 TF= 2.45771

DERIVADAS PARCIAIS

DCKA= -0.02541 DTA= 0.03307 DCKF= 0.00609 DTF= -0.00740

PERFORMANCE INDEX

PI= 0.09603

CROSSOVER POINT DO LOOP EXTERNO

MODULO= 1.00340 OMEGA= 7.69972 ALFA= -160.37

CROSSOVER POINT DO LOOP INTERNO

MODULO= 1.00302 OMEGA= 22.41629 ALFA= -120.10

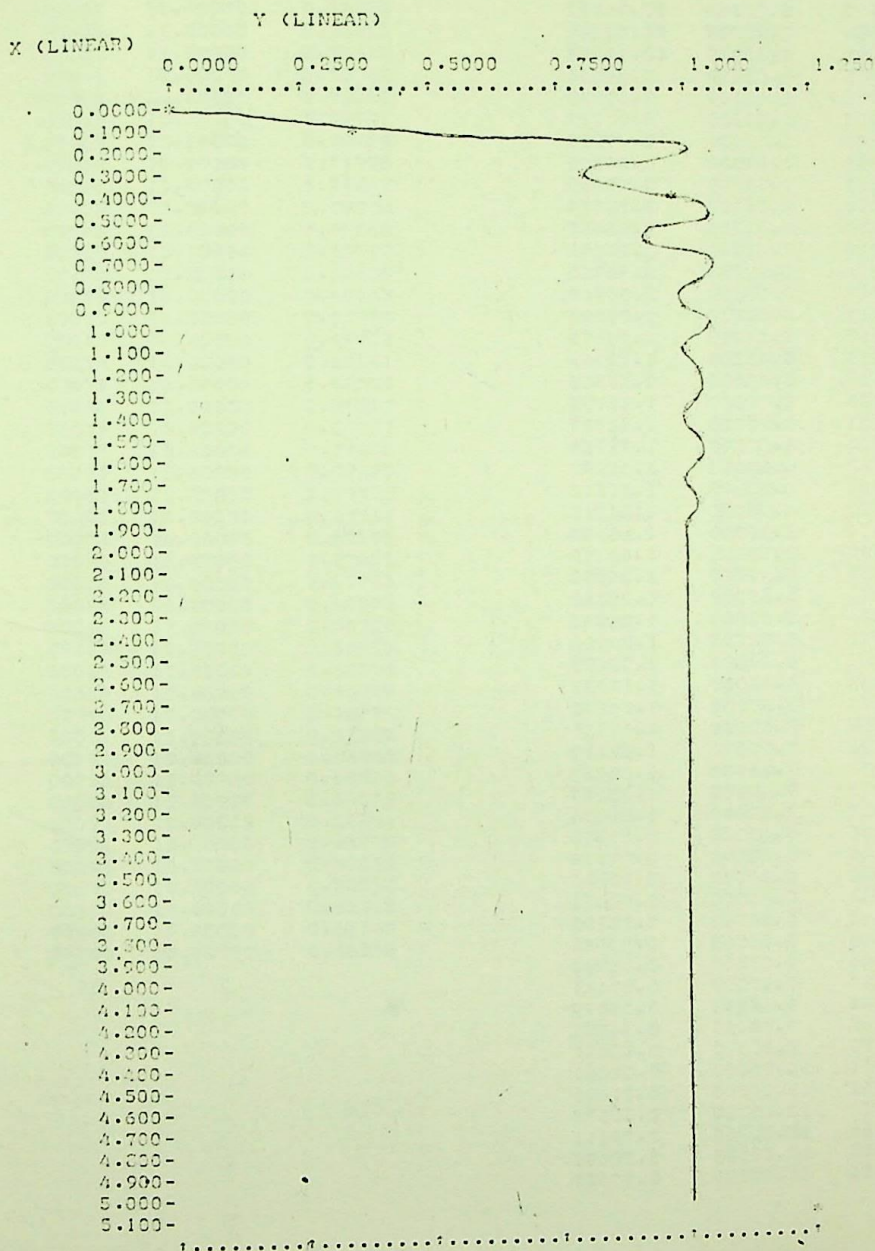
ENTRE COM ZERO PARA PARAR E COM QUALQUER
OUTRO NUMERO MAIOR QUE ZERO PARA CONTINUAR
INPUT:03280
?#-0

STOP

2894.8 CPU 2211.5 TOTAL

READY

	TEMP	ET
00001	0.00000	0.00000
00002	0.10000	0.04504
00003	0.20000	0.09398
00004	0.30000	0.14467
00005	0.40000	0.19724
00006	0.50000	0.25033
00007	0.60000	0.30375
00008	0.70000	0.35773
00009	0.80000	0.41263
00010	0.90000	0.46940
00011	1.00000	0.52798
00012	1.10000	0.58817
00013	1.20000	0.64988
00014	1.30000	0.71303
00015	1.40000	0.77764
00016	1.50000	0.84373
00017	1.60000	0.91132
00018	1.70000	0.98043
00019	1.80000	1.05108
00020	1.90000	1.12329
00021	2.00000	1.19700
00022	2.10000	1.27223
00023	2.20000	1.34900
00024	2.30000	1.42733
00025	2.40000	1.50725
00026	2.50000	1.58878
00027	2.60000	1.67195
00028	2.70000	1.75678
00029	2.80000	1.84330
00030	2.90000	1.93153
00031	3.00000	2.02159
00032	3.10000	2.11350
00033	3.20000	2.20728
00034	3.30000	2.30305
00035	3.40000	2.40083
00036	3.50000	2.50064
00037	3.60000	2.60250
00038	3.70000	2.70643
00039	3.80000	2.81246
00040	3.90000	2.92061
00041	4.00000	3.03090
00042	4.10000	3.14335
00043	4.20000	3.25798
00044	4.30000	3.37481
00045	4.40000	3.49386
00046	4.50000	3.61515
00047	4.60000	3.73870
00048	4.70000	3.86453
00049	4.80000	3.99267
00050	4.90000	4.12314
00051	5.00000	4.25606
00052	5.10000	4.39145
00053	5.20000	4.52944



OMEGA

FMOD

000001	0.000000	32.040000
000002	0.000000	21.61632
000003	0.000000	13.150000
000004	0.000000	9.440000
000005	0.000000	7.000000
000006	0.000000	6.000000
000007	0.000000	5.170000
000008	0.000000	4.500000
000009	0.000000	3.990000
000010	0.000000	3.500000
000011	0.000000	3.000000
000012	0.000000	2.500000
000013	0.000000	2.000000
000014	0.000000	1.750000
000015	0.000000	1.500000
000016	0.000000	1.250000
000017	0.000000	1.000000
000018	0.000000	0.750000
000019	0.000000	0.500000
000020	0.000000	0.250000
000021	0.000000	0.000000
000022	0.000000	0.000000
000023	0.000000	0.000000
000024	0.000000	0.000000
000025	0.000000	0.000000
000026	0.000000	0.000000
000027	0.000000	0.000000
000028	0.000000	0.000000
000029	0.000000	0.000000
000030	0.000000	0.000000
000031	0.000000	0.000000
000032	0.000000	0.000000
000033	0.000000	0.000000
000034	0.000000	0.000000
000035	0.000000	0.000000
000036	0.000000	0.000000
000037	0.000000	0.000000
000038	0.000000	0.000000
000039	0.000000	0.000000
000040	0.000000	0.000000
000041	0.000000	0.000000
000042	0.000000	0.000000
000043	0.000000	0.000000
000044	0.000000	0.000000
000045	0.000000	0.000000
000046	0.000000	0.000000
000047	0.000000	0.000000
000048	0.000000	0.000000
000049	0.000000	0.000000
000050	0.000000	0.000000
000051	0.000000	0.000000
000052	0.000000	0.000000
000053	0.000000	0.000000
000054	0.000000	0.000000
000055	0.000000	0.000000
000056	0.000000	0.000000

FRIDAY

10/04/74

JUNAR

PAGE 83

OMEGA

F Mod

00057	11.00000	0.76010
00058	11.00000	0.76035
00059	11.00000	0.76060
00060	11.00000	0.76085
00061	12.00000	0.76110
00062	12.00000	0.76135
00063	12.00000	0.76160
00064	12.00000	0.76185
00065	12.00000	0.76210
00066	13.00000	0.76235
00067	13.00000	0.76260
00068	13.00000	0.76285
00069	13.00000	0.76310
00070	13.00000	0.76335
00071	14.00000	0.76360
00072	14.00000	0.76385
00073	14.00000	0.76410
00074	14.00000	0.76435
00075	14.00000	0.76460
00076	15.00000	0.76485
00077	15.00000	0.76510
00078	15.00000	0.76535
00079	15.00000	0.76560
00080	15.00000	0.76585
00081	16.00000	0.76610
00082	16.00000	0.76635
00083	16.00000	0.76660
00084	16.00000	0.76685
00085	16.00000	0.76710
00086	17.00000	0.76735
00087	17.00000	0.76760
00088	17.00000	0.76785
00089	17.00000	0.76810
00090	17.00000	0.76835
00091	18.00000	0.76860
00092	18.00000	0.76885
00093	18.00000	0.76910
00094	18.00000	0.76935
00095	18.00000	0.76960
00096	19.00000	0.76985
00097	19.00000	0.77010
00098	19.00000	0.77035
00099	19.00000	0.77060
00100	19.00000	0.77085
00101	20.00000	0.77110

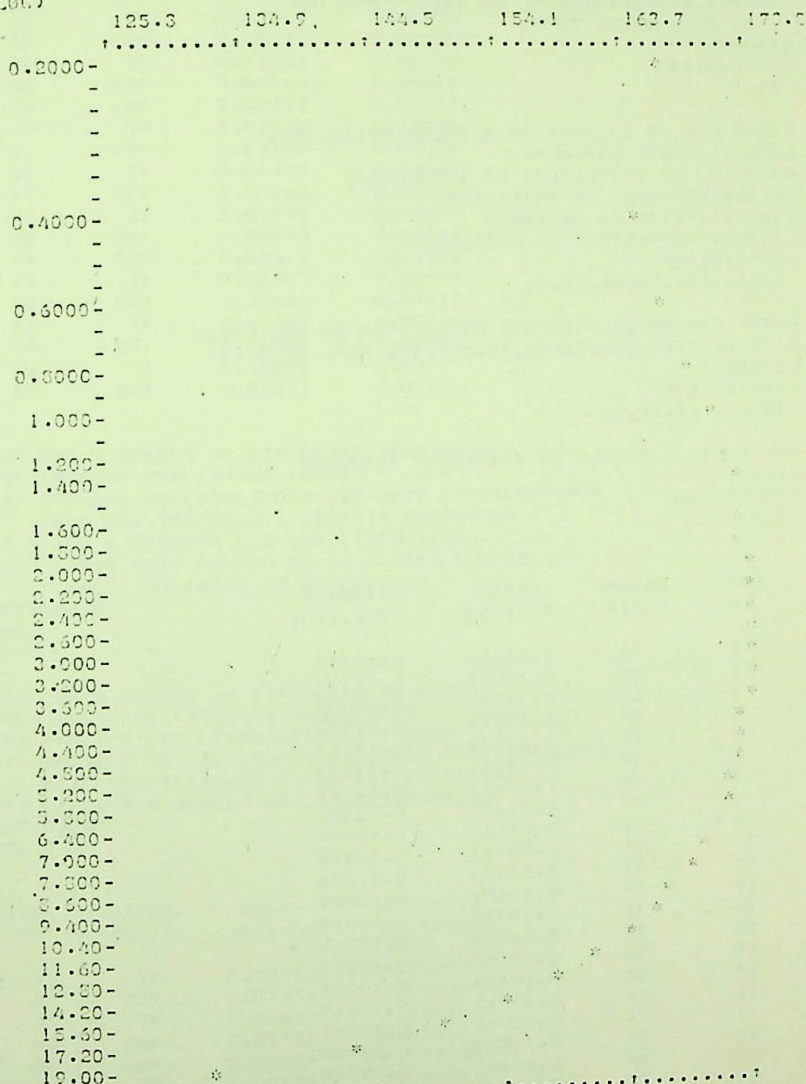
	OMEGA	ALFA
000001	100	
000002	0.20000	166.40703
000003	0.40000	164.70373
000004	0.60000	166.31107
000005	0.80000	163.80675
000006	1.00000	170.21555
000007	1.20000	171.20610
000008	1.40000	171.80240
000009	1.60000	172.39173
000010	1.80000	172.73235
000011	2.00000	172.75336
000012	2.20000	173.11156
000013	2.40000	173.12573
000014	2.60000	173.22937
000015	2.80000	173.22244
000016	3.00000	173.13222
000017	3.20000	173.11475
000018	3.40000	173.02257
000019	3.60000	172.91274
000020	3.80000	172.78475
000021	4.00000	172.64172
000022	4.20000	172.48538
000023	4.40000	172.31713
000024	4.60000	172.13210
000025	4.80000	171.94022
000026	5.00000	171.75124
000027	5.20000	171.54479
000028	5.40000	171.33037
000029	5.60000	171.10944
000030	5.80000	170.87927
000031	6.00000	170.64061
000032	6.20000	170.40042
000033	6.40000	170.15105
000034	6.60000	169.89521
000035	6.80000	169.63321
000036	7.00000	169.36432
000037	7.20000	169.08912
000038	7.40000	168.80727
000039	7.60000	168.52222
000040	7.80000	168.23255
000041	8.00000	167.93752
000042	8.20000	167.62220
000043	8.40000	167.30919
000044	8.60000	166.98916
000045	8.80000	166.66237
000046	9.00000	166.32926
000047	9.20000	165.99052
000048	9.40000	165.64029
000049	9.60000	165.28470
000050	9.80000	164.92124
000051	10.00000	164.54277
000052	10.20000	164.17006
000053	10.40000	163.79184
000054	10.60000	163.40465
000055	10.80000	162.97573
000056	11.00000	162.56304

OMEGA ALFA

00057	11.00000	162.18020
00058	11.00000	161.70000
00059	11.00000	161.25746
00060	11.00000	160.80113
00061	12.00000	160.32364
00062	12.00000	159.85439
00063	12.00000	159.38354
00064	12.00000	158.91000
00065	12.00000	158.44361
00066	13.00000	157.97378
00067	13.00000	157.50000
00068	13.00000	157.02700
00069	13.00000	156.55560
00070	13.00000	156.08470
00071	14.00000	155.61460
00072	14.00000	155.14470
00073	14.00000	154.67527
00074	14.00000	154.20530
00075	14.00000	153.73530
00076	15.00000	153.26520
00077	15.00000	152.79520
00078	15.00000	152.32520
00079	15.00000	151.85520
00080	15.00000	151.38520
00081	16.00000	150.91520
00082	16.00000	150.44520
00083	16.00000	149.97520
00084	16.00000	149.50520
00085	16.00000	149.03520
00086	17.00000	148.56520
00087	17.00000	148.09520
00088	17.00000	147.62520
00089	17.00000	147.15520
00090	17.00000	146.68520
00091	18.00000	146.21520
00092	18.00000	145.74520
00093	18.00000	145.27520
00094	18.00000	144.80520
00095	18.00000	144.33520
00096	19.00000	143.86520
00097	19.00000	143.39520
00098	19.00000	142.92520
00099	19.00000	142.45520
00100	19.00000	141.98520
00101	20.00000	141.51520

Y (LINEAR)

X (LOG)



CRITÉRIO 2

ENTRE COM O CRITÉRIO DE OTIMIZAÇÃO

1-PERF.INDEX=INTEGRAL DO ERRO AO QUADRADO

2-PERF.INDEX=INTEGRAL DO VALOR ABSOLUTO

DO ERRO VEZES TEMPO

>0-PARA

INPUT:01330

22

ENTRE COM OS VALORES DE N, DELTA, DK, TE, TD3,

SEPARADOS POR VIRGULAS

N=NUMERO DE INTERVALOS DE INTEGRAÇÃO

DELTA=INTERVALO DE INTEGRAÇÃO

DK=INCIDENTE DA DERIVADA

TE, TD3: PARÂMETROS DO REGULADOR

INPUT:01400

2500, .01, .00001, .5, .5.

ENTRE COM OS VALORES DOS PARÂMETROS DO REGULADOR

A SEPRM OTIMIZADOS:CKA, TA, CKF, TF, SEPARADOS POR

VIRGULAS

INPUT:01450

2000, .11, .1, 2, .

ENTRE COM O NUMERO DE ITERAÇÕES DESEJADO

N14100

INPUT:01480

250

ITER N1	PARAM MODIF	MAIOR DERIVADA	PRESENTE PERF.IND.
1	TF	0.43022	0.24503
2	TF	0.42004	0.22713
3	TF	0.41071	0.21003
4	TF	0.40094	0.19370
5	TF	0.39094	0.17813
6	TF	0.37911	0.16337
7	TF	0.36617	0.14947
8	TF	0.31456	0.13722
9	TF	0.26419	0.12826
10	TF	0.23111	0.12167
11	TF	0.20096	0.11666
12	TF	0.18151	0.11267
13	TF	0.16058	0.10956
14	TF	0.14606	0.10712
15	TF	0.12652	0.10515
16	TA	0.12614	0.10367
17	TF	0.12219	0.10217
18	TA	0.13250	0.10091
19	TA	0.11935	0.09923
20	TF	0.11945	0.09789
21	TA	0.12531	0.09659
22	TF	0.11544	0.09509
23	TA	0.12886	0.09399
24	TA	0.11323	0.09237
25	TA	0.11223	0.09100

26	TF	0.12309	0.08975
27	TA	0.11895	0.08843
28	TF	0.11108	0.08707
29	TF	0.08445	0.08601
30	CKF	0.07320	0.08538
31	TF	0.07334	0.08486
32	CKF	0.07529	0.08434
33	TF	0.07318	0.08379
34	CKF	0.07975	0.08328
35	TF	0.07400	0.08268
36	CKF	0.08115	0.08219
37	CKF	0.07497	0.08156
38	TF	0.08844	0.08105
39	CKF	0.07670	0.08038
40	TF	0.08427	0.07981
41	CKF	0.08110	0.07921
42	TF	0.07919	0.07858
43	CKF	0.08263	0.07804
44	CKF	0.07511	0.07739
45	TF	0.08683	0.07687
46	CKF	0.07683	0.07613
47	TF	0.08352	0.07561
48	CKF	0.08082	0.07499
49	TF	0.07869	0.07437
50	CKF	0.08247	0.07380

ENTRE COM O NUMERO DE ITERACOES DESEJADO

NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA

NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATE ESTE PONTO, EXECUTA
MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR

NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES

NI>100- PEDE NOVO NUMERO DE ITERACOES E NOVO
VALOR DO FATOR DE ACELERAÇÃO

INPUT:02090

7200

ENTRE COM O NUMERO DE ITERACOES NI E COM
O NOVO VALOR DO FATOR DE ACELERAÇÃO

NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA

NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATE ESTE PONTO, EXECUTA
MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR

NI>1- EXECUTA O NUMERO DE ITERACOES DADO

INPUT:03220

710.2

ITER NO	PARAM MODIF	MAIOR DERIVADA	PRESENTE PE F.F.IND.
1	TF	0.08854	0.07257
2	CKF	0.09354	0.07133
3	TF	0.07633	0.06978
4	CKF	0.09633	0.06892
5	CKF	0.08187	0.06723
6	TF	0.09436	0.06609
7	CKF	0.09386	0.06489
8	CKF	0.07141	0.06334
9	TF	0.08629	0.06238
10	CKF	0.08685	0.06134

ENTR COM 3 NUMERO DE ITERACOES DESEJADO
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATE ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR
 NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES
 NI>100- PEDE NOVO NUMERO DE ITERACOES E NOVO
 VALOR DO FATOR DE ACELERAÇÃO
 INPUT:02090
 220

ITER Nº	PARAM MODIF	MAIOR DERIVADA	PRESENTE PERF.IND.
1	CKF	0.07347	0.05997
2	TF	0.06084	0.05903
3	CKF	0.08499	0.05815
4	CKF	0.06734	0.05687
5	TF	0.07411	0.05605
6	CKF	0.08092	0.05535
7	CKF	0.06072	0.05421
8	TF	0.06662	0.05351
9	CKF	0.07028	0.05299
10	CKF	0.06011	0.05207
11	TF	0.05416	0.05140
12	CKF	0.06230	0.05107
13	CKF	0.05219	0.05023
14	TF	0.04736	0.04973
15	CKF	0.05678	0.04948
16	CKF	0.05230	0.04886
17	CKF	0.03982	0.04841
18	TF	0.05732	0.04810
19	CKF	0.04772	0.04782
20	CKF	0.04635	0.04737

ENTR COM 3 NUMERO DE ITERACOES DESEJADO
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATE ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR
 NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES
 NI>100- PEDE NOVO NUMERO DE ITERACOES E NOVO
 VALOR DO FATOR DE ACELERAÇÃO
 INPUT:02090
 220

ITER Nº	PARAM MODIF	MAIOR DERIVADA	PRESENTE PERF.IND.
1	CKF	0.03279	0.04703
2	TF	0.03760	0.04684
3	CKF	0.03752	0.04667
4	CKF	0.03370	0.04641
5	TF	0.02868	0.04622
6	CKF	0.03193	0.04615
7	CKF	0.02698	0.04596

8	TF	0.02134	0.04583
9	CKF	0.02260	0.04580
10	CKF	0.01964	0.04566
11	CKF	0.01720	0.04558
12	TF	0.02476	0.04553
13	CKF	0.02185	0.04550
14	CKA	0.01972	0.04542
15	CKA	0.01499	0.04535
16	TF	0.01653	0.04531
17	CKF	0.02275	0.04530
18	CKA	0.01372	0.04525
19	CKA	0.01528	0.04521
20	CKA	0.01731	0.04516

ENTRE COM O NUMERO DE ITERACOES DESEJADO

NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA

NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATÉ ESTE PONTO, EXECUTA
MAIS UMA ITERAÇÃO E PERMITE CONTINUAR

NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES

NI>100- PEDE NOVOS NUMEROS DE ITERACOES E NOVO
VALOR DO FATOR DE ACELERAÇÃO

INPUT:02090

230

ITER NO	PARAM MODIF	MAIOR DERIVADA	PRESENTE FEFF.IND.
1	CKA	0.01460	0.04510
2	TF	0.01648	0.04506
3	CKA	0.01778	0.04505
4	CKA	0.02012	0.04498
5	CKA	0.01495	0.04492
6	CKA	0.01475	0.04487
7	CKA	0.01790	0.04482
8	CKA	0.01239	0.04478
9	CKA	0.01382	0.04474
10	TF	0.01790	0.04471
11	CKA	0.01625	0.04468
12	CKA	0.01590	0.04463
13	CKA	0.01358	0.04458
14	CKA	0.01652	0.04454
15	CKA	0.01594	0.04449
16	TF	0.01353	0.04445
17	CKA	0.01764	0.04444
18	CKA	0.01373	0.04438
19	CKA	0.01728	0.04434
20	CKA	0.01422	0.04430
21	CKA	0.01286	0.04424
22	TF	0.01440	0.04421
23	CKA	0.01505	0.04421
24	CKA	0.01523	0.04416
25	CKA	0.01315	0.04411
26	CKA	0.01661	0.04408
27	CKA	0.01459	0.04403
28	CKA	0.01443	0.04399
29	TF	0.01707	0.04395
30	CKA	0.02048	0.04395

ENTRER COM O NUMERO DE ITERACOES DESEJADO
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATÉ ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR
 NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES
 NI>100- PEDE NOVO NUMERO DE ITERACOES E NOVO
 VALOR DO FATOR DE ACELERACAO
 INPUT:02090
 ?200

ENTRER COM O NUMERO DE ITERACOES NI E COM
 O NOVO VALOR DO FATOR DE ACELERACAO
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATÉ ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR
 NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES
 NI>1- EXECUTA O NUMERO DE ITERACOES DADO
 INPUT:03220
 ?22.05

ITER NO	PARAM MODIF	MAIOR DERIVADA	PRESENTE PEFF.IND.
1	CKA	0.01917	0.04393
2	CKA	0.01459	0.04391

ENTRER COM O NUMERO DE ITERACOES DESEJADO
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATÉ ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR
 NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES
 NI>100- PEDE NOVO NUMERO DE ITERACOES E NOVO
 VALOR DO FATOR DE ACELERACAO
 INPUT:02090
 ?2

ITER NO	PARAM MODIF	MAIOR DERIVADA	PRESENTE PEFF.IND.
1	CKA	0.01662	0.04390
2	CKA	0.01654	0.04388

ENTRER COM O NUMERO DE ITERACOES DESEJADO
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATÉ ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR
 NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES
 NI>100- PEDE NOVO NUMERO DE ITERACOES E NOVO
 VALOR DO FATOR DE ACELERACAO
 INPUT:02090
 ?2

ITER NO	PARAM MODIF	MAIOR DERIVADA	PRESENTE PEFF.IND.
1	CKA	0.01589	0.04387
2	CKA	0.01638	0.04386

ENTRE COM O NUMERO DE ITERACOES DESEJADO
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATÉ ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR
 NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES
 NI>100- PEDE NOVO NUMERO DE ITERACOES E NOVO
 VALOR DO FATOR DE ACELERACAO
 INPUT:02090
 .??

ITER NO	PARAM MODIF	MAIOR DERIVADA	PRESENTE PERF.IND.
1	CKA	0.01674	0.04384
2	CKA	0.01654	0.04383

ENTRE COM O NUMERO DE ITERACOES DESEJADO
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATÉ ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR
 NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES
 NI>100- PEDE NOVO NUMERO DE ITERACOES E NOVO
 VALOR DO FATOR DE ACELERACAO
 INPUT:02090
 ??

ITER NO	PARAM MODIF	MAIOR DERIVADA	PRESENTE PERF.IND.
1	CKA	0.01169	0.04382
2	CKA	0.01347	0.04381

ENTRE COM O NUMERO DE ITERACOES DESEJADO
 NI=0- IMPRIME RESULTADOS FINAIS E PARA
 NI=1- IMPRIME OS RESULTADOS ATÉ ESTE PONTO, EXECUTA
 MAIS UMA ITERACAO E PERMITE CONTINUAR
 NI=2 A 100 - EXECUTA 2 A 100 ITERACOES
 NI>100- PEDE NOVO NUMERO DE ITERACOES E NOVO
 VALOR DO FATOR DE ACELERACAO
 INPUT:02090
 ?10

ITER NO	PARAM MODIF	MAIOR DERIVADA	PRESENTE PERF.IND.
1	CKA	0.01062	0.04380
2	CKA	0.00993	0.04380

PARAMETROS OTIMIZADOS

TDI= 5.00000 TF= 0.50000
CKA= 331.42000 TA= 0.09966 CKF= 0.15396 TF= 4.27977

DERIVADAS PARCIAIS

DCKA= -.00993 DTA= 0.04584 DCKF= 0.00061 DTF= -.00273

PERFORMANCE INDEX

PI= 0.04380

CROSSOVER POINT DO LOOP EXTERNO

MODULO= 1.00261 OMEGA= 5.50035 ALFA= -163.62

CROSSOVER POINT DO LOOP INTERNO

MODULO= 1.00203 OMEGA= 13.62933 ALFA= -135.16

ENTRE COM ZERO PARA PARAR E COM QUALQUER
OUTRO NÚMERO MAIOR QUE ZERO PARA CONTINUAR

INPUT: 03280

20

STOP

1781.9 CPU 1782.9 TOTAL

READY

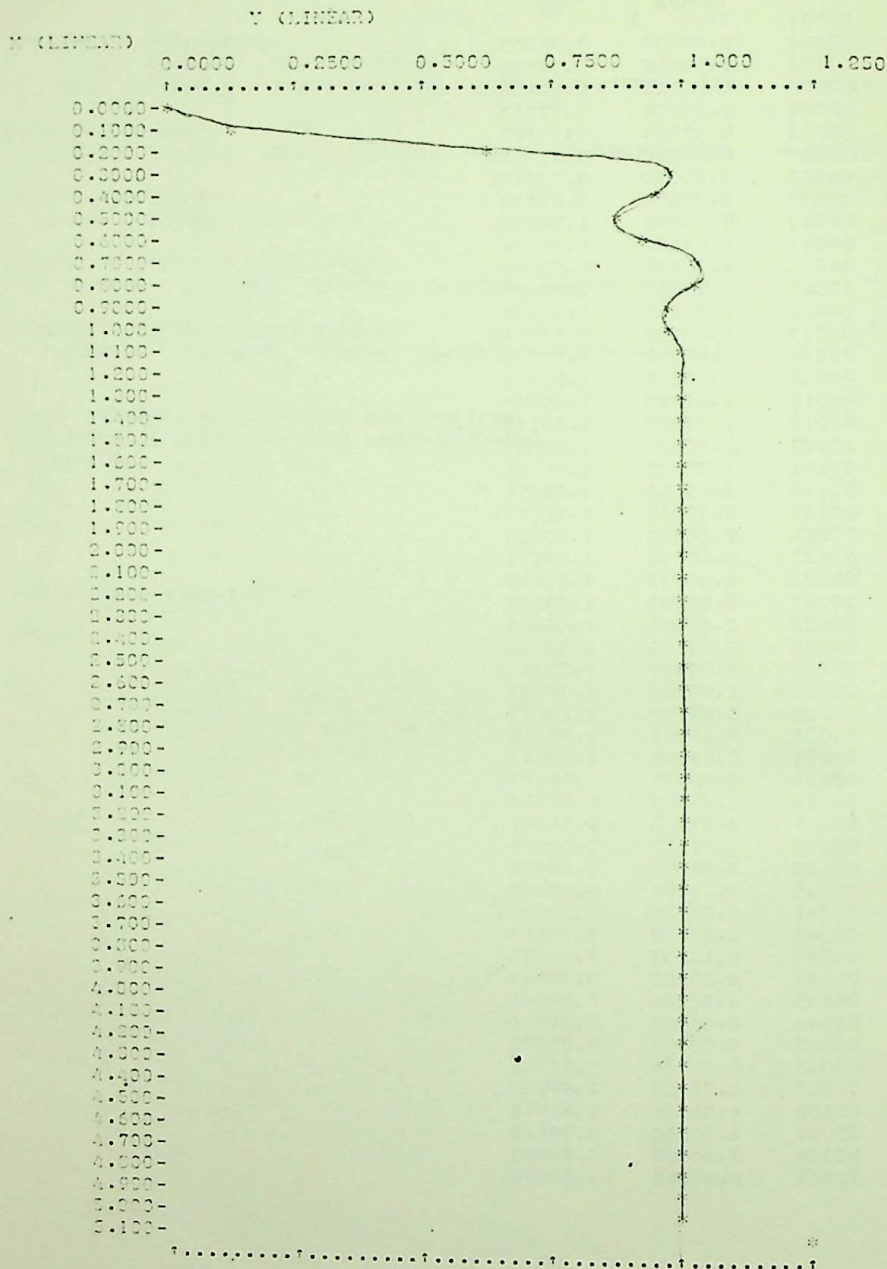
SAT.

12/01/74

NUTRIAN

95

	TEMP	ET
00001	52	
00002	0.00000	0.00000
00003	0.10000	0.12623
00004	0.20000	0.25153
00005	0.30000	0.37427
00006	0.40000	0.49727
00007	0.50000	0.61737
00008	0.60000	0.73545
00009	0.70000	1.01774
00010	0.80000	1.01679
00011	0.90000	0.93201
00012	1.00000	0.83514
00013	1.10000	1.03563
00014	1.20000	1.00029
00015	1.30000	0.99064
00016	1.40000	0.97704
00017	1.50000	1.00172
00018	1.60000	1.00305
00019	1.70000	1.00163
00020	1.80000	1.00010
00021	1.90000	1.00006
00022	2.00000	1.00174
00023	2.10000	1.00120
00024	2.20000	1.00060
00025	2.30000	1.00071
00026	2.40000	1.00090
00027	2.50000	1.00079
00028	2.60000	1.00055
00029	2.70000	1.00046
00030	2.80000	1.00046
00031	2.90000	1.00039
00032	3.00000	1.00027
00033	3.10000	1.00019
00034	3.20000	1.00010
00035	3.30000	1.00007
00036	3.40000	0.99999
00037	3.50000	0.99991
00038	3.60000	0.99983
00039	3.70000	0.99973
00040	3.80000	0.99972
00041	3.90000	0.99963
00042	4.00000	0.99950
00043	4.10000	0.99950
00044	4.20000	0.99947
00045	4.30000	0.99941
00046	4.40000	0.99936
00047	4.50000	0.99930
00048	4.60000	0.99925
00049	4.70000	0.99920
00050	4.80000	0.99915
00051	4.90000	0.99910
00052	5.00000	0.99905
00053	5.10000	1.25000



FRIDAY 10/04/74

1348

1240

ONEGA

FM00

00001	100	1
00002	0.20000	27.50589
00003	0.40000	13.14440
00004	0.60000	8.62212
00005	0.80000	6.42570
00006	1.00000	5.12732
00007	1.20000	4.26929
00008	1.40000	3.66093
00009	1.60000	3.20514
00010	1.80000	2.85269
00011	2.00000	2.57169
00012	2.20000	2.34255
00013	2.40000	2.15223
00014	2.60000	1.99173
00015	2.80000	1.85465
00016	3.00000	1.73628
00017	3.20000	1.63311
00018	3.40000	1.54246
00019	3.60000	1.46223
00020	3.80000	1.39078
00021	4.00000	1.32679
00022	4.20000	1.26920
00023	4.40000	1.21714
00024	4.60000	1.16988
00025	4.80000	1.12683
00026	5.00000	1.08748
00027	5.20000	1.05141
00028	5.40000	1.01825
00029	5.60000	0.98770
00030	5.80000	0.95948
00031	6.00000	0.93326
00032	6.20000	0.90914
00033	6.40000	0.88664
00034	6.60000	0.86571
00035	6.80000	0.84620
00036	7.00000	0.82799
00037	7.20000	0.81097
00038	7.40000	0.79504
00039	7.60000	0.78012
00040	7.80000	0.76611
00041	8.00000	0.75295
00042	8.20000	0.74056
00043	8.40000	0.72891
00044	8.60000	0.71791
00045	8.80000	0.70751
00046	9.00000	0.69767
00047	9.20000	0.68833
00048	9.40000	0.67946
00049	9.60000	0.67101
00050	9.80000	0.66293
00051	10.00000	0.65519
00052	10.20000	0.64775
00053	10.40000	0.64057
00054	10.60000	0.63362
00055	10.80000	0.62686
00056	11.00000	0.62024

S-104Y 10/04/74

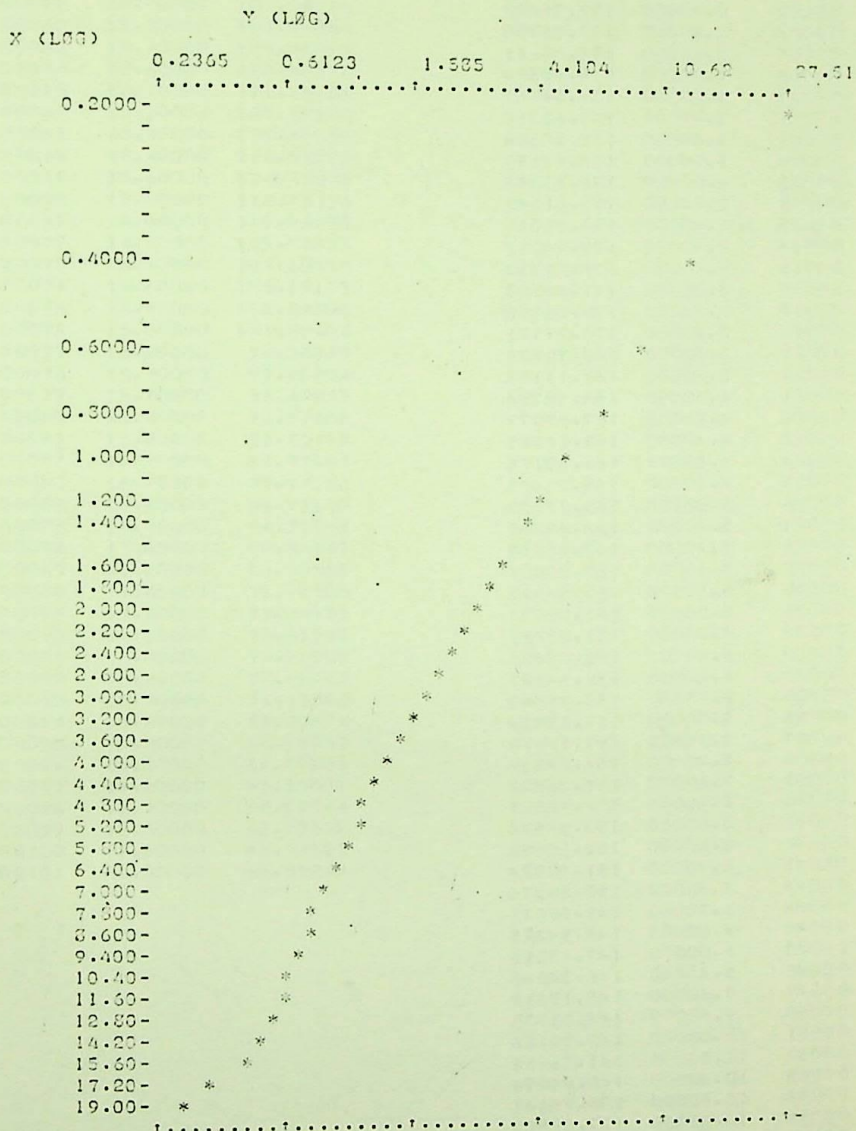
GNAR

PAGE 2

0MEGA

FM00

00057	11.00000	0.41375
00058	11.40000	0.60733
00059	11.60000	0.60097
00060	11.80000	0.59441
00061	12.00000	0.58824
00062	12.20000	0.58181
00063	12.40000	0.57530
00064	12.60000	0.56868
00065	12.80000	0.56192
00066	13.00000	0.55499
00067	13.20000	0.54787
00068	13.40000	0.54054
00069	13.60000	0.53299
00070	13.80000	0.52520
00071	14.00000	0.51715
00072	14.20000	0.50886
00073	14.40000	0.50030
00074	14.60000	0.49150
00075	14.80000	0.48245
00076	15.00000	0.47318
00077	15.20000	0.46366
00078	15.40000	0.45399
00079	15.60000	0.44413
00080	15.80000	0.43412
00081	16.00000	0.42400
00082	16.20000	0.41378
00083	16.40000	0.40350
00084	16.60000	0.39320
00085	16.80000	0.38289
00086	17.00000	0.37262
00087	17.20000	0.36240
00088	17.40000	0.35227
00089	17.60000	0.34225
00090	17.80000	0.33236
00091	18.00000	0.32262
00092	18.20000	0.31306
00093	18.40000	0.30368
00094	18.60000	0.29450
00095	18.80000	0.28553
00096	19.00000	0.27678
00097	19.20000	0.26826
00098	19.40000	0.25997
00099	19.60000	0.25191
00100	19.80000	0.24409
00101	20.00000	0.23651



OMEGA ALFA

00001	100	1
00002	0.20000	-179.85886
00003	0.40000	177.76422
00004	0.60000	177.25702
00005	0.80000	176.98861
00006	1.00000	176.49594
00007	1.20000	176.06361
00008	1.40000	175.61312
00009	1.60000	175.13596
00010	1.80000	174.64177
00011	2.00000	174.13366
00012	2.20000	173.61369
00013	2.40000	173.08318
00014	2.60000	172.54298
00015	2.80000	171.99357
00016	3.00000	171.43520
00017	3.20000	170.86793
00018	3.40000	170.29171
00019	3.60000	169.70636
00020	3.80000	169.11164
00021	4.00000	168.50724
00022	4.20000	167.89277
00023	4.40000	167.26763
00024	4.60000	166.63194
00025	4.80000	165.98465
00026	5.00000	165.32532
00027	5.20000	164.65359
00028	5.40000	163.96867
00029	5.60000	163.27001
00030	5.80000	162.55693
00031	6.00000	161.82877
00032	6.20000	161.08480
00033	6.40000	160.32423
00034	6.60000	159.54643
00035	6.80000	158.75047
00036	7.00000	157.93554
00037	7.20000	157.10082
00038	7.40000	156.24539
00039	7.60000	155.36937
00040	7.80000	154.46281
00041	8.00000	153.54576
00042	8.20000	152.59823
00043	8.40000	151.62524
00044	8.60000	150.62576
00045	8.80000	149.59877
00046	9.00000	148.54325
00047	9.20000	147.45916
00048	9.40000	146.34248
00049	9.60000	145.19519
00050	9.80000	144.01500
00051	10.00000	142.80186
00052	10.20000	141.55596
00053	10.40000	140.27074
00054	10.60000	138.95141
00055	10.80000	137.59529
00056	11.00000	136.20178

FRIDAY

10/02/74

PART A

PAGE

101

OMEGA

ALFA

00057	11.20000	134.77042
00058	11.40000	133.30089
00059	11.60000	131.79303
00060	11.80000	130.24657
00061	12.00000	128.66265
00062	12.20000	127.04084
00063	12.40000	125.38215
00064	12.60000	123.68756
00065	12.80000	121.95834
00066	13.00000	120.19604
00067	13.20000	118.40252
00068	13.40000	116.57995
00069	13.60000	114.73078
00070	13.80000	112.85776
00071	14.00000	110.96393
00072	14.20000	109.05256
00073	14.40000	107.12714
00074	14.60000	105.19135
00075	14.80000	103.24901
00076	15.00000	101.30404
00077	15.20000	99.36040
00078	15.40000	97.42204
00079	15.60000	95.49237
00080	15.80000	93.57668
00081	16.00000	91.67713
00082	16.20000	89.79747
00083	16.40000	87.94153
00084	16.60000	86.11170
00085	16.80000	84.31088
00086	17.00000	82.54147
00087	17.20000	80.80559
00088	17.40000	79.10505
00089	17.60000	77.44135
00090	17.80000	75.81572
00091	18.00000	74.22908
00092	18.20000	72.68213
00093	18.40000	71.17528
00094	18.60000	69.70876
00095	18.80000	68.28257
00096	19.00000	66.89653
00097	19.20000	65.55031
00098	19.40000	64.24344
00099	19.60000	62.97532
00100	19.80000	61.74527
00101	20.00000	60.55249

Y (LINEAR)

X (LOG)

-179.9 -108.3 -34.61 34.71 106.2 177.9

0.0000-*

0.4000-

0.8000-

1.2000-

1.600-

2.000-

2.400-

2.800-

3.200-

3.600-

4.000-

4.400-

4.800-

5.200-

5.600-

6.000-

6.400-

6.800-

7.200-

7.600-

8.000-

8.400-

8.800-

9.200-

9.600-

10.00-

10.40-

10.80-

11.20-

11.60-

12.00-

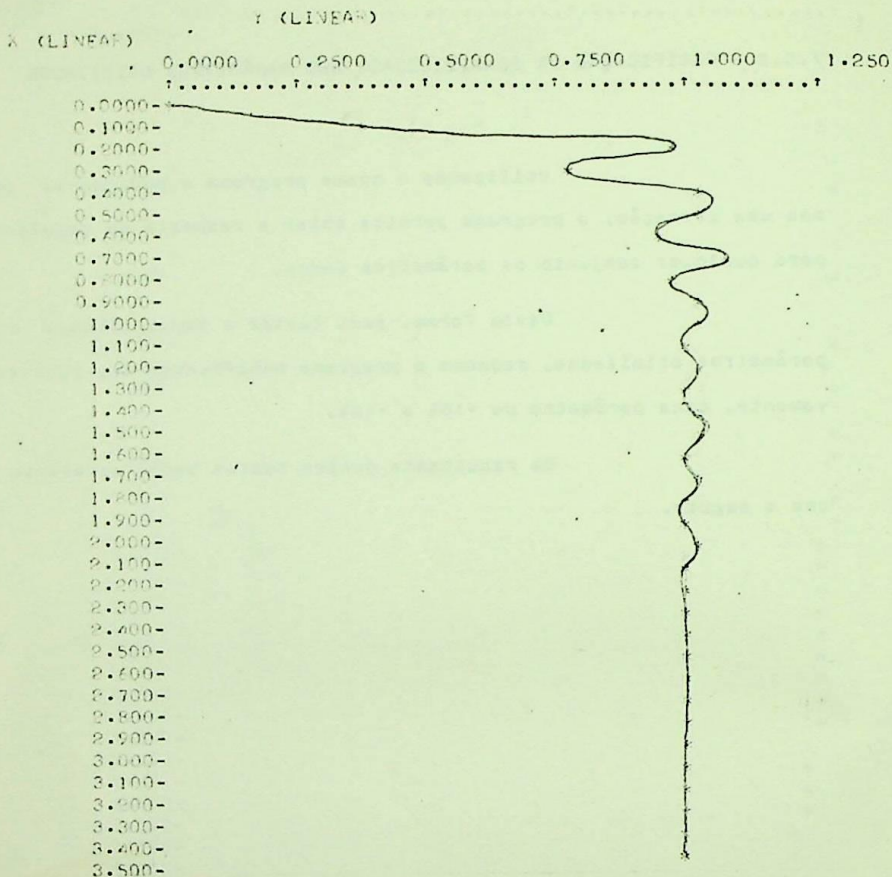
.....

7.0.0 - VERIFICAÇÃO DA SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS OTIMIZADOS

Utilizando o mesmo programa e pedindo-se apenas uma iteração, o programa permite obter a resposta do regulador para qualquer conjunto de parâmetros dados.

Desta forma, para testar a sensibilidade dos parâmetros otimizados, rodamos o programa modificando-se, sucessivamente, cada parâmetro de +10% e -10%.

Os resultados destes testes estão apresentados a seguir.



CRITERIO 1

PARAMETROS DEFINICION

CKA + 10%

TEP= 0.00000 TE= 0.00000
 DTA=1100.00000 TA= 0.10000 CNF= 0.07230 TF= 0.66000

DERIVADAS PARCIAIS

DCNA= -0.02401 DTA= 0.03150 DCNF= 0.01092 DTF= -0.01039

PERFORMANCE INDEX

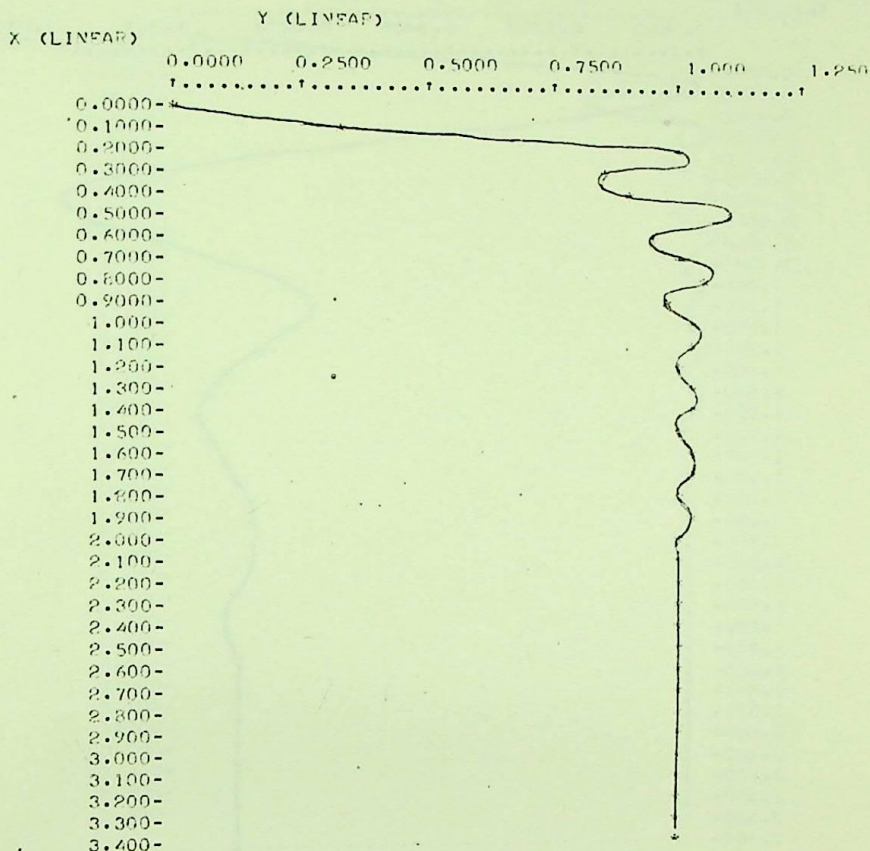
PI= 0.00419

CROSSOVER POINT DO LOOP EXTERNO

MEDULA= 1.00000 CNEGA= 7.00000 ALFA= -169.21

CROSSOVER POINT DO LOOP INTERNO

MEDULA= 1.00000 CNEGA= 23.00000 ALFA= -119.02



CRITERIA :

CKA - 10%

PARAMETRES STIMULEES

TDS= 5.00000 TE= 0.50000
CKA= 900.00000 TA= 0.10000 CKF= 0.07000 TF= 0.00000

DERIVADES PARCIALES

DCKA= -0.00049 DTA= 0.00070 DCKF= 0.00102 DTF= -0.00100

PERFORMANCE INDEX

PI= 0.99941

CROSSOVER POINT DE LOOP EXTERNE

MODULE= 1.00363 OMEGA= 7.74002 ALFA= -140.00

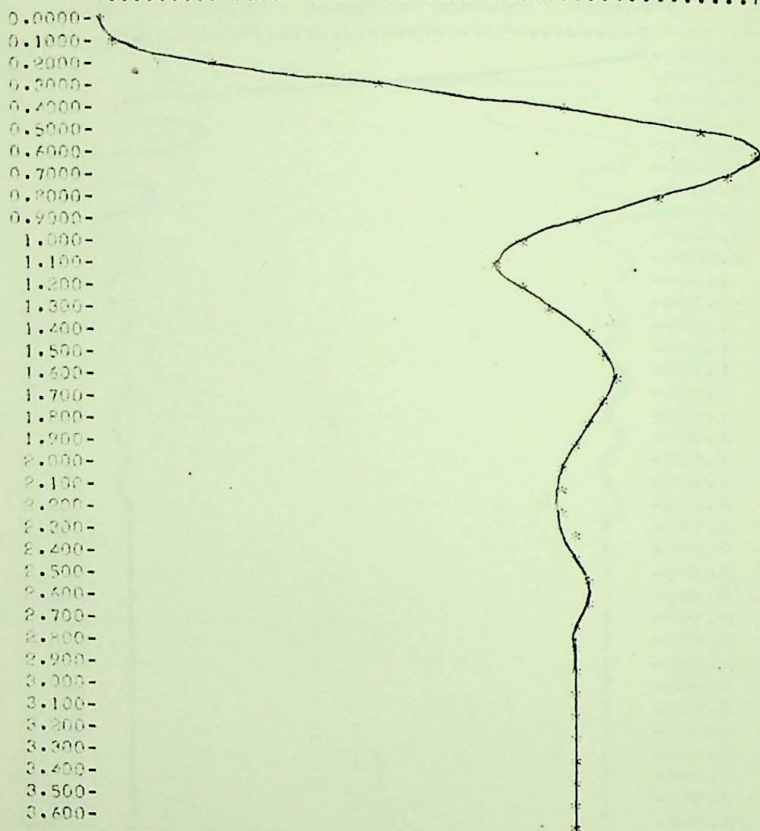
CROSSOVER POINT DE LOOP INTERNE

MODULE= 1.00102 OMEGA= 20.95200 ALFA= -101.00

Y (LINEAR)

X (LINEAR)

0.0000 0.2703 0.5406 0.8108 1.081 1.351



CRITERIO 1

PARAMETROS OTIMIZADOS

TA - 10%

TEC= 5.00000 TE= 0.50000
 CMA= 100.00000 TA= 0.11000 CMF= 0.07230 TF= 2.66000

DERIVADAS PARCIAIS

DCMA= -0.09708 DTA= 0.13197 DCMF= -0.12979 DTF= 0.12442

PERFORMANCE INDEX

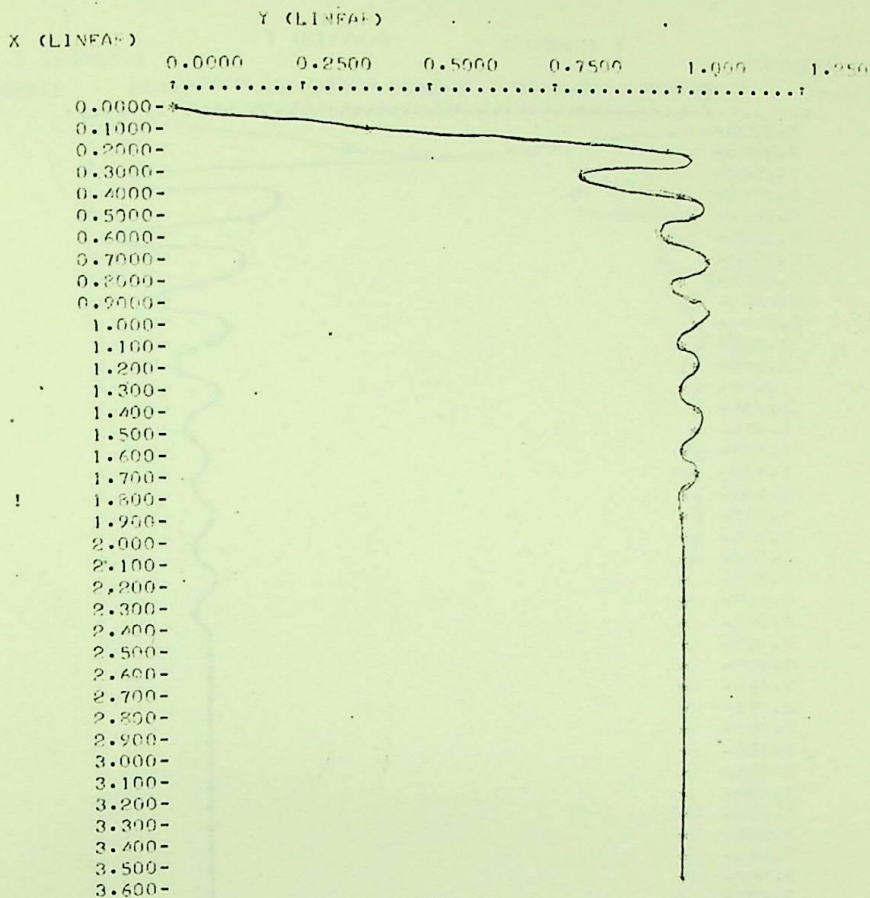
PI= 0.24774

CROSSOVER POINT DO LOOP EXTERNO

MAGN= 1.00120 ZMESA= 4.99129 ALFA= -127.93

CROSSOVER POINT DO LOOP INTERNO

MAGN= 1.00000 ZMESA= 4.41133 ALFA= 176.63



CRITERIO 1

TA-10%

PARAMETROS OTIMIZADOS

TEC=	0.30000	TE=	0.50000	GNT=	0.97000	TR=	0.00000
CH=	1000.00000	TA=	0.00000				

DERIVADAS PARCIAIS

BCMA=	-0.00000	BCA=	0.00000	BCMT=	0.00000	BCF=	-0.00000
-------	----------	------	---------	-------	---------	------	----------

PERFORMANCE INDEX

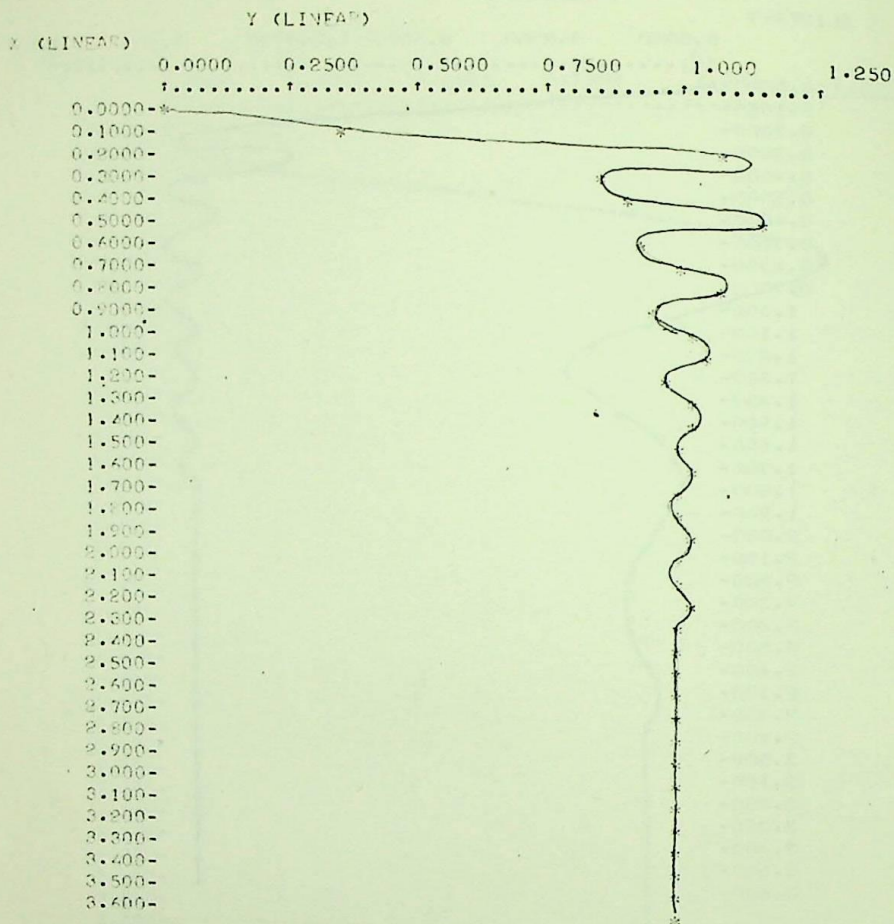
PI= 0.00000

CROSSOVER POINT DO LOOP EXTERNO

MODULO=	1.00000	CMCA=	7.61000	ALFA=	-107.00
---------	---------	-------	---------	-------	---------

CROSSOVER POINT DO LOOP INTERNO

MODULO=	1.00000	CMCA=	23.26000	ALFA=	-101.00
---------	---------	-------	----------	-------	---------



CRITERIO 1

PARAMETROS DEFINIDOS

CKF + 10%

TE=	0.00000	TA=	0.10000	CKF=	0.06500	TF=	2.66000
SCA=	1000.00000	DTA=	0.05494	DCKF=	-0.03013	DTF=	0.03068

DEFINIDAS PARCIALES

SCAL= -0.03147

PERFORMANCE INDEX

PI= 0.00765

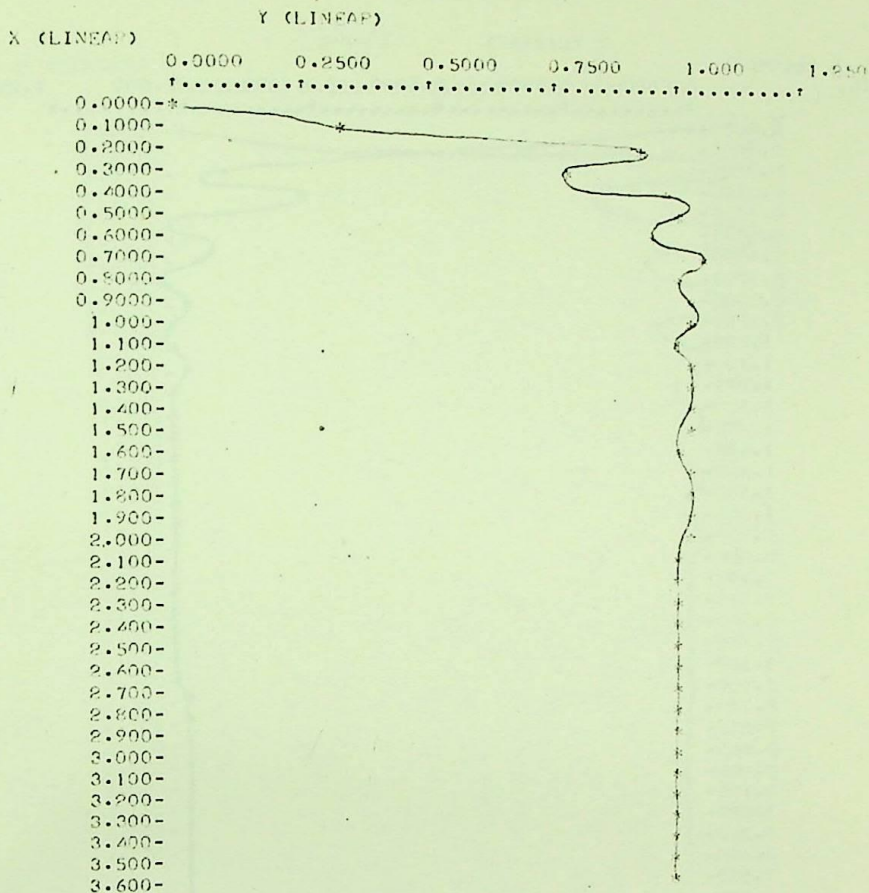
CROSSOVER POINT DE LOOP EXTERNA

MUWLB=	1.00048	OMEGA=	0.65563	ALFA=	-164.32
--------	---------	--------	---------	-------	---------

CROSSOVER POINT DE LOOP INTERNA

MUWLB=	1.00101	OMEGA=	20.94052	ALFA=	-122.01
--------	---------	--------	----------	-------	---------

5



CRITERIO 1

CKF - 10%

PARAMETROS ESTIMADOS

TEB= 0.00000	TEB= 0.50000		
CKA=1000.00000	TA= 0.10000	CKF= 0.07500	TF= 0.00000

DERIVADAS PARCIAIS

DCBA= -0.02210	DTA= 0.02336	DCKF= 0.00000	DTF= -0.00000
----------------	--------------	---------------	---------------

PERFORMANCE INDEX

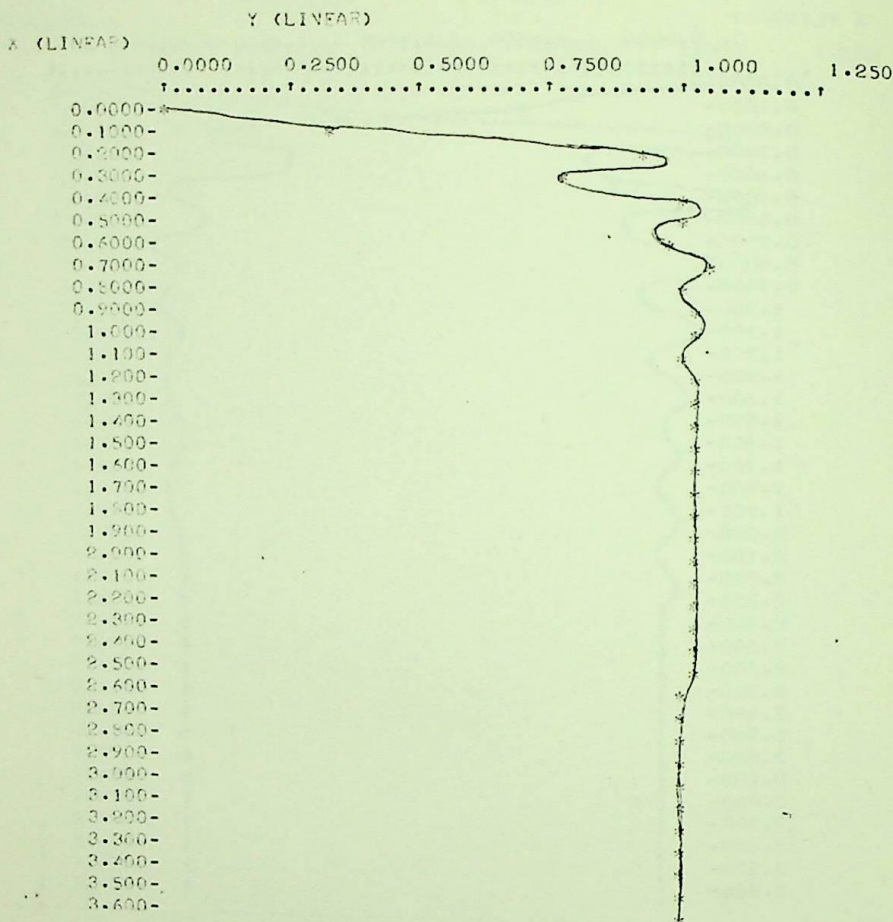
PI= 0.00001

CROSSOVER POINT DO LOOP INTERNO

MEDULA= 1.00153	OMEGA= 0.00127	ALFA= -170.00
-----------------	----------------	---------------

CROSSOVER POINT DO LOOP EXTERNO

MEDULA= 1.00553	OMEGA= 20.00000	ALFA= -110.00
-----------------	-----------------	---------------



CRITERIO 1

PARAMETROS ESTIMADOS

TF + 10%

TDS= 5.00000

TD=

0.50000

GMA=1000.00000

TA=

0.10000

CMF=

0.07230

TF=

2.30000

DERIVADAS PARCIAIS

DCTD=

-0.00001

DTA=

0.00223

DCTF=

0.03103

DTF=

-0.03116

PERFORMANCE INDEX

PI= 0.00000

CROSSOVER POINT DO LOOP EXTERNO

WUOL= 1.00120

OMEGA=

6.77765

ALFA= -170.03

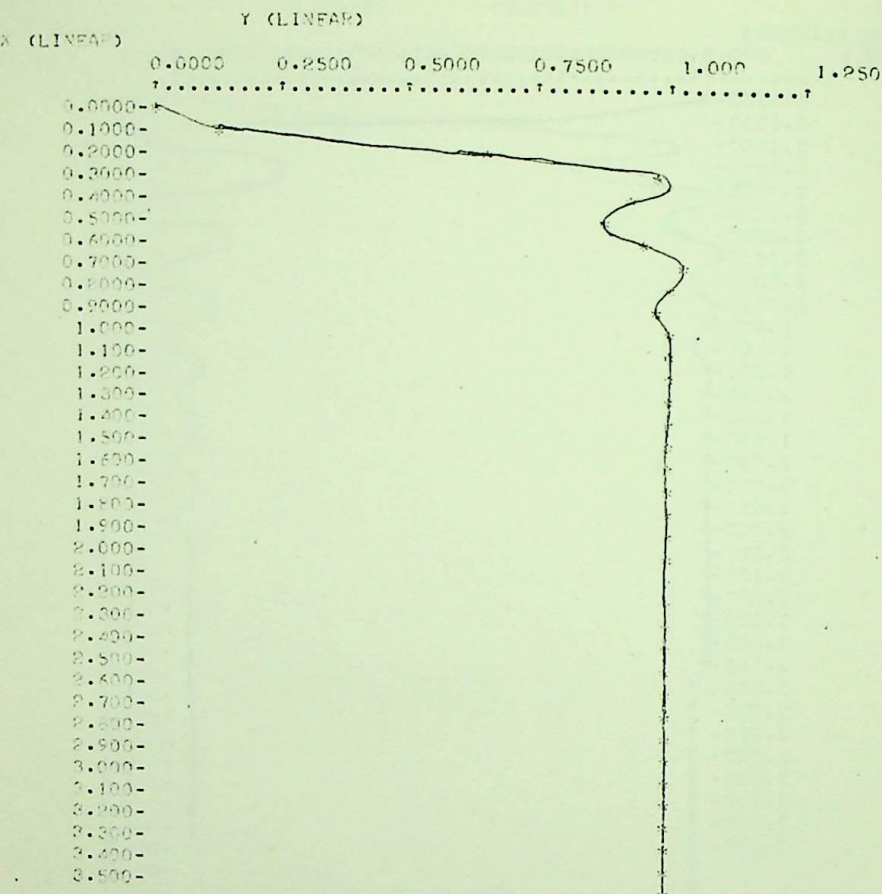
CROSSOVER POINT DO LOOP INTERNO

WUOL= 1.00131

OMEGA=

20.50540

ALFA= -113.90



CRITERIO 2

DERIVADAS ESTIMADAS

TE= 1.00000 TE= 0.50000
 DTE= 0.00000 DTE= 0.10000

CKA + 10%

CKF= 0.15400 TF= 4.28000

DERIVADAS PARCIAIS

TE= -1.00000 DTE= 0.04370

DCKF= 0.01334 DTF= -0.06348

PERFORMANCE INDEX

PI= 0.04211

COORDENADA PUNTO DE LOOP EXTERNO

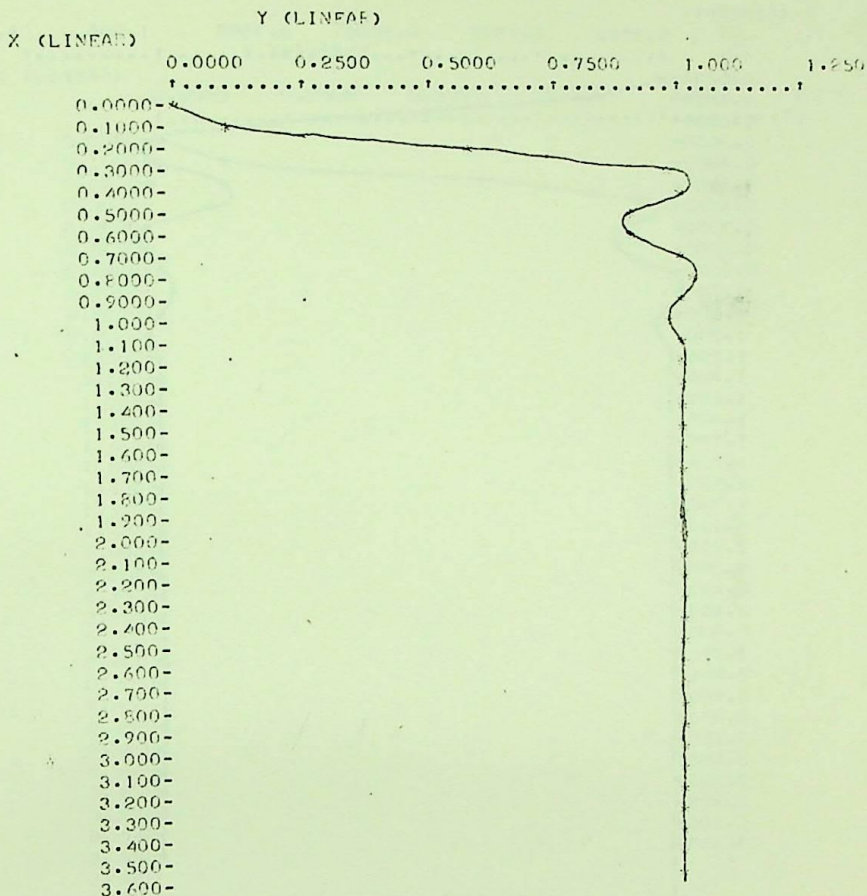
MODULO= 1.00260 ANGULO= 5.82360

ALFA= -164.93

COORDENADA PUNTO DE LOOP INTERNO

MODULO= 1.00257 ANGULO= 14.62021

ALFA= -133.03



CRITERIO 2

CKA - 1070

PARAMETROS ESTIMADOS

TE=	5.00000	TE=	0.50000	CKF=	0.10000	TF=	4.00000
CHA=	239.23000	TA=	0.10000				

DERIVADAS PARCIAIS

DCHA=	-0.03312	DTA=	0.06037	DCKF=	-0.03337	DTF=	0.14000
-------	----------	------	---------	-------	----------	------	---------

PERFORMANCE INDEX

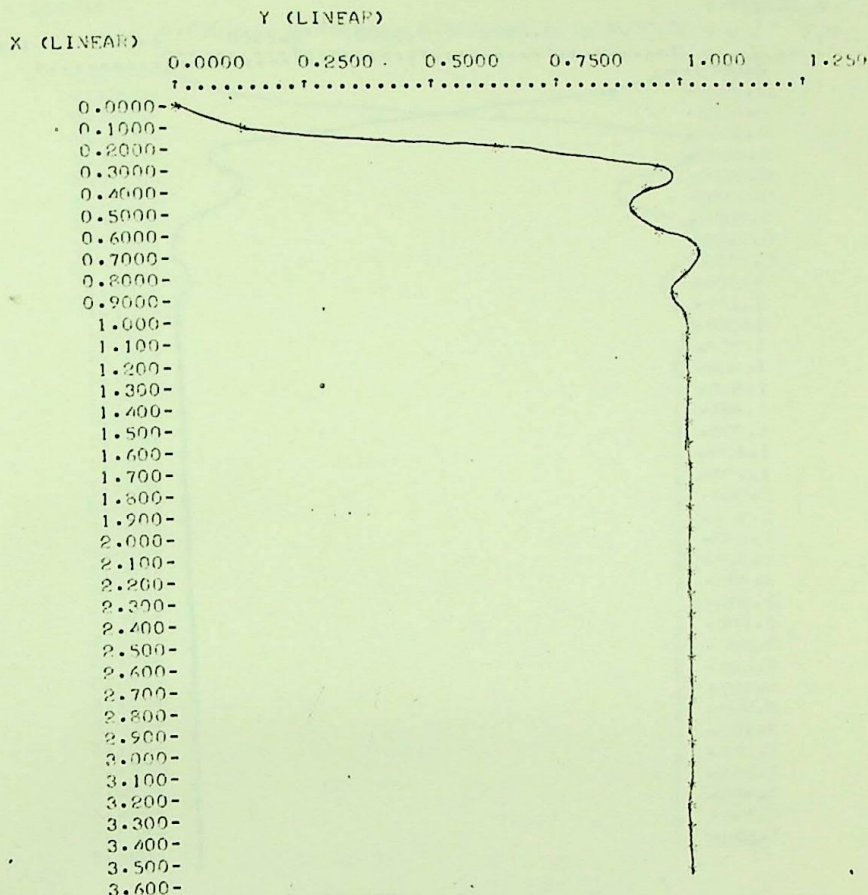
PI= 0.04773

CROSSOVER POINT DE LAMP EXTERNA

MODULO=	1.00247	OMEGA=	5.45251	ALFA=	-141.33
---------	---------	--------	---------	-------	---------

CROSSOVER POINT DE LAMP INTERNA

MODULO=	1.00051	OMEGA=	12.70533	ALFA=	-133.30
---------	---------	--------	----------	-------	---------



CRITERIA 2

TA - 10%

PARAMETERS OPTIMIZED

TEG=	5.00000	TE=	0.30000	GNF=	0.15400	TF=	1.00000
CKA=	391.42600	TA=	0.09000				

DERIVATES PARCIAIS

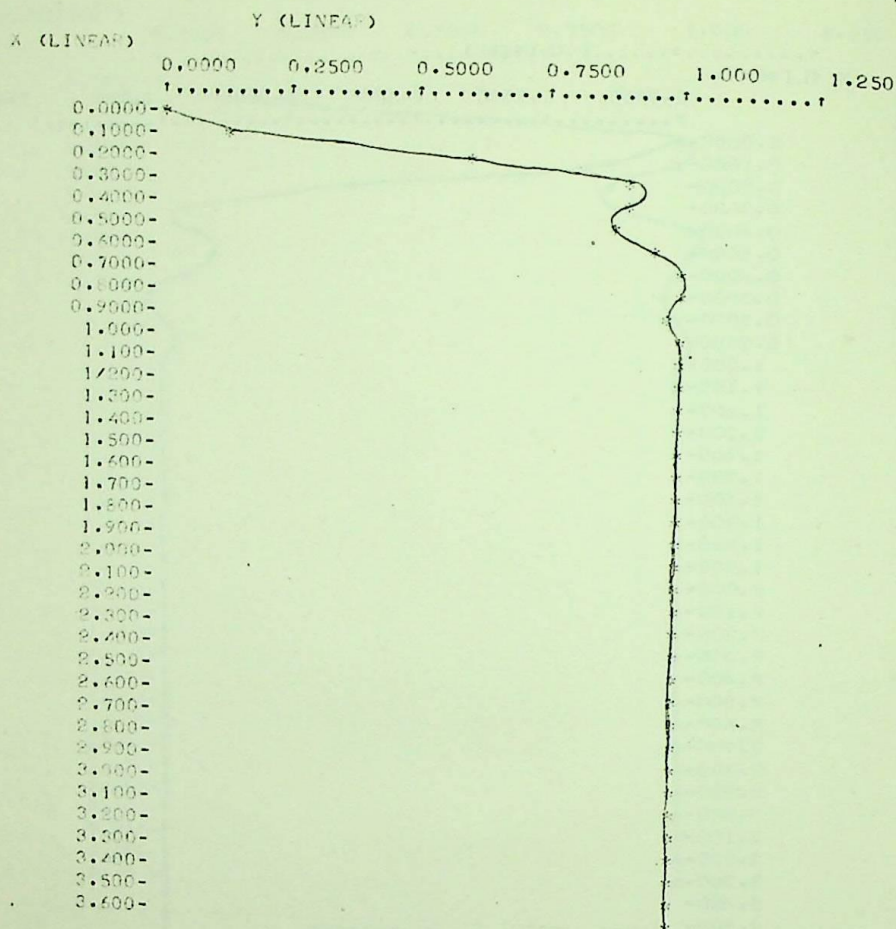
DCNA=	-0.01070	DTA=	0.00070	DCNF=	0.00000	DTF=	0.00000
-------	----------	------	---------	-------	---------	------	---------

PERFORMANCE INDEX

PI= 0.04005

CROSSOVER POINT OF LOSS	ENTERING		
MODULE= 1.00231	CHDGA= 5.43352	ALFA= -144.00	

CROSSOVER POINT OF LOSS	ENTERING		
MODULE= 1.00237	CHDGA= 14.33090	ALFA= -130.00	



CRITERIO 2

CKF + 10%

PARAMETROS ESTIMADOS

TDS= 0.00000

TE=

0.50000

CMA= 001.42000

CA=

0.10000

CKF=

0.17000

TF=

4.23000

PARAMETROS CALCULADOS

BOML= -0.00167

BTA=

0.02552

BCKF=

0.04692

BTF=

-1.11453

PERFORMANCE INDEX

PI= 0.04626

CROSSOVER POINT DE LOOP EXTERNO

WFOUL= 1.00123

OMEGA=

4.93494

ALFA= -166.32

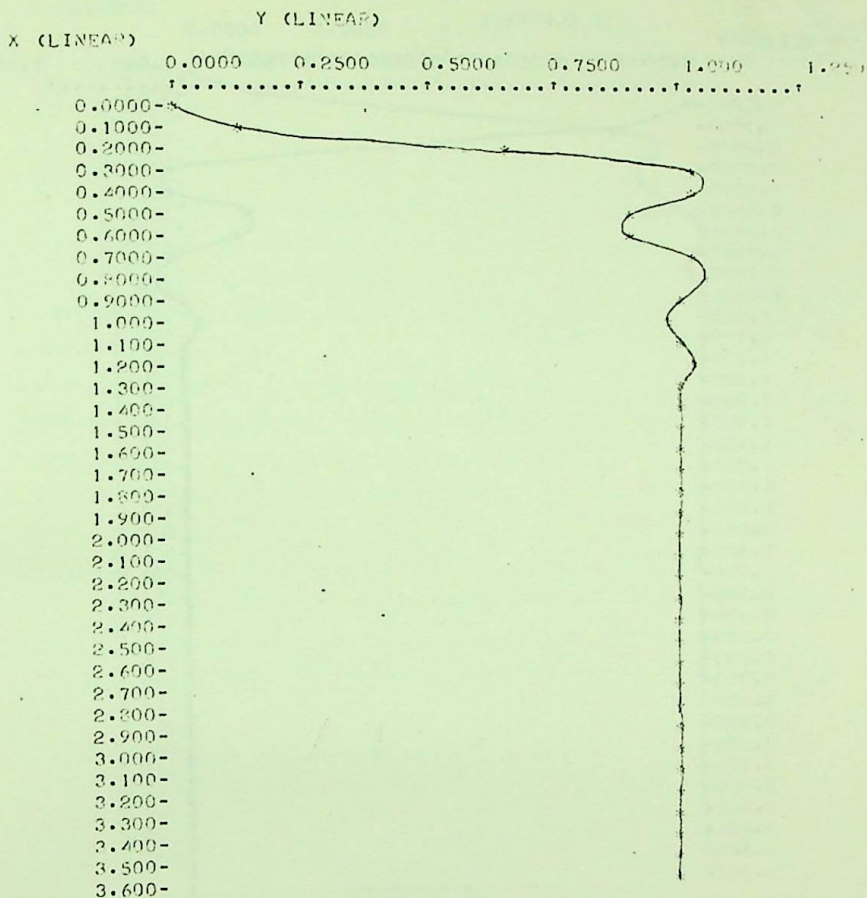
CROSSOVER POINT DE LOOP INTERNO

WFOUL= 1.00004

OMEGA=

14.65074

ALFA= -133.00



CRITERIO 2

CHF - 10%

PARAMETROS OTIMIZADOS

TD=	0.00000	TD=	0.50000	CHF=	0.14000	TF=	4.20000
CHA=	331.42000	TA=	0.10000				

DERIVADAS PARCIAIS

DCHA=	-0.04659	DTA=	0.11207	DCMT=	-0.11978	DTF=	0.00000
-------	----------	------	---------	-------	----------	------	---------

PERFORMANCE INDEX

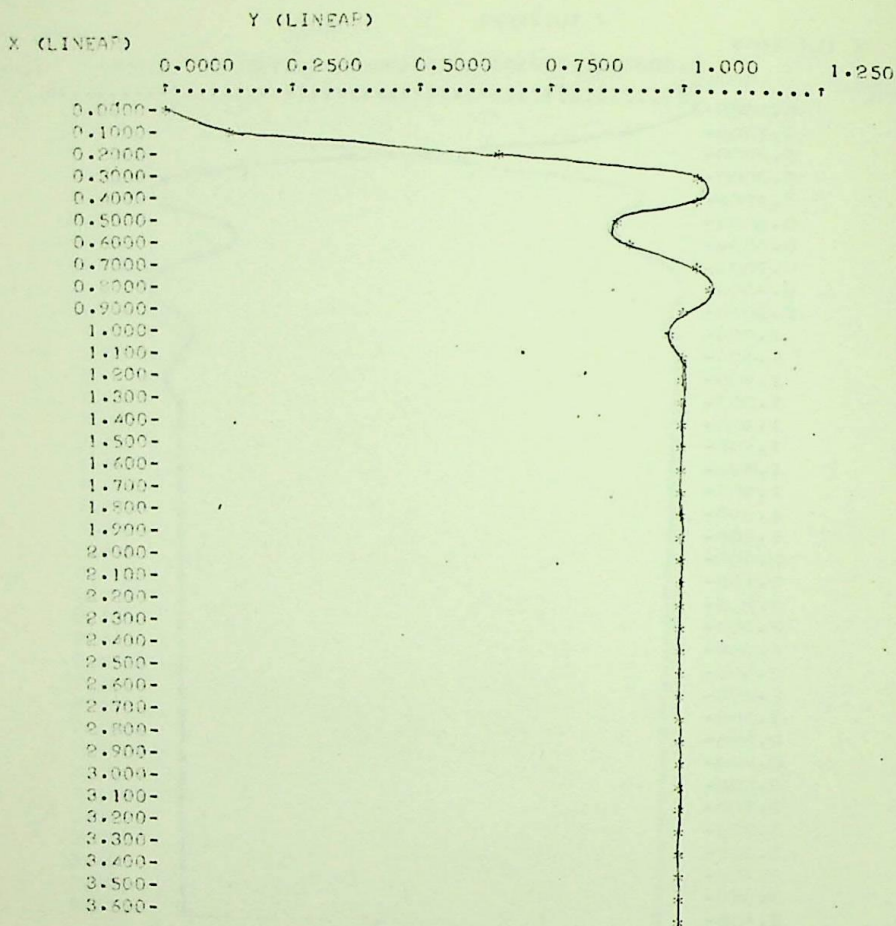
PI= 0.03042

CROSSOVER POINT DO LOOP EXTERNO

MODULO=	1.00513	OMEGA=	6.12732	ALFA=	-159.33
---------	---------	--------	---------	-------	---------

CROSSOVER POINT DO LOOP INTERNO

MODULO=	1.00100	OMEGA=	13.03092	ALFA=	-137.33
---------	---------	--------	----------	-------	---------



CRITERIO 2

TF + 10%

PARAMETROS DEFINIDOS

TF= 0.00000
 GA= 0.00000
 TF= 0.50000
 GA= 0.10000

CKF= 0.15400 TF= 4.71000

DERIVADAS PARCIAIS

DSHA= -0.00015 DTA= 0.10405 DCKF= -0.10941 DTF= 0.29790

PERFORMANCE INDEX

PI= 0.00075

CROSSOVER POINT DE LOOP EXTERNO

WCU= 1.00462 WCEGA= 6.14373

ALFA= -159.64

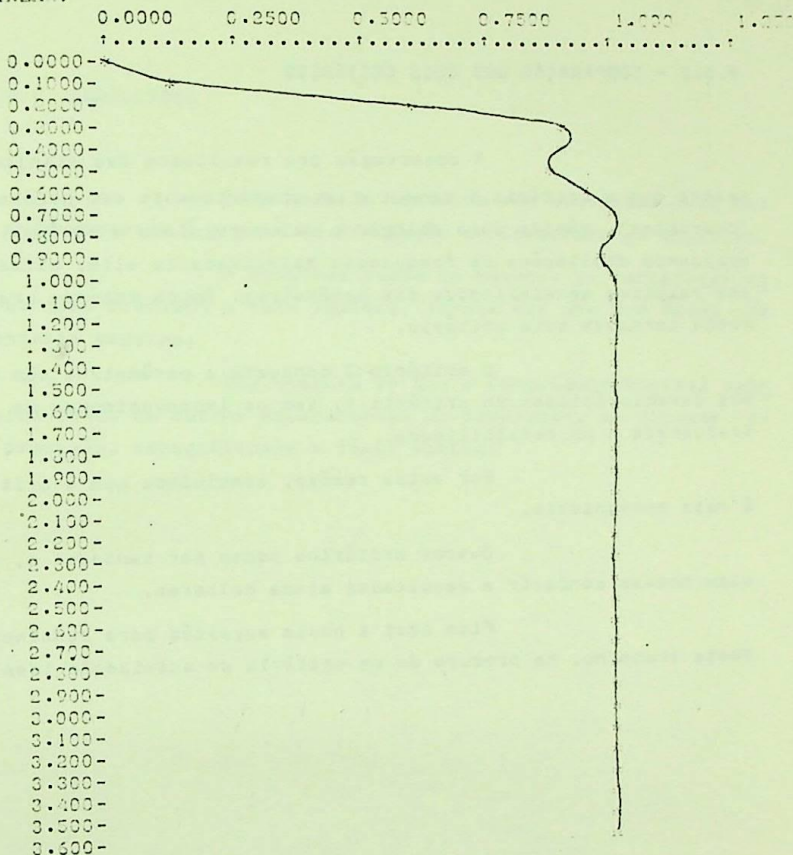
CROSSOVER POINT DE LOOP INTERNO

WCU= 1.00174 WCEGA= 13.02236

ALFA= -137.19

X (LINEAR)

Y (LINEAR)



CRITERIO 2

TF-10%

PARAMETROS OTIMIZADOS

TBM= 5.00000 TE= 0.50000

CMA= 331.42000 TA= 0.10000

CMF= 0.15400 TF= 0.01000

DERIVADAS PARCIAIS

DCCA= 0.02122 DTA= 0.01024

DCMF= 0.10667 DTF= -0.00077

PERFORMANCE INDEX

PI= 0.06796

CROSSOVER POINT DO LOOP EXTERNO

MODULE= 1.00135

OMEGA= 4.00127

ALFA= -166.74

CROSSOVER POINT DO LOOP INTERNO

MODULE= 1.00129

OMEGA= 14.72706

ALFA= -132.92

8.0.0 - COMPARAÇÃO DOS DOIS CRITÉRIOS

A observação dos resultados das otimizações mostra que o critério 1 conduz a um comportamento com pequeno "overshoot", rápido para atingir o valor regulado e estável. Porém apresenta oscilações de frequência relativamente alta, aliada a uma relativa sensibilidade dos parâmetros. Ambos fatores praticamente condenam este critério.

O critério 2 conduziu a parâmetros com as mesmas características do critério 1, sem os inconvenientes da alta frequência e da sensibilidade.

Por estas razões, concluímos que o critério 2 é mais conveniente.

Outros critérios podem ser tentados e, talvez eles possam conduzir a resultados ainda melhores.

Fica aqui a nossa sugestão para continuação deste trabalho, na procura de um critério de otimização ideal.

9.0.0 - CONCLUSÕES

Este modesto trabalho vem confirmar mais uma vez quão poderosa é a arma da Simulação em Computadores Digitais.

A contínua busca de métodos de integração, cada vez mais precisos e mais rápidos, parece ser uma das metas da engenharia moderna.

Dia chegará em que o Computador Digital substituirá todos os outros equipamentos de Simulação, em virtude de sua precisão, versatilidade e fácil acesso.

BIBLIOGRAFIA

1. F.P. de Mello - "Z-Transform Techniques for The Analysis of Systems" - AIEE Fall General Meeting - Chicago - 1960
2. Hovey, L.M. - "Optimum Adjustment of Hydro Governors on Manitoba Hydro System" - AIEE PAS - 81 - 1962
3. UNDRILL, J.M. and Woodward, J.L. - "Non-linear Hydro Governing Model and Improved Calculation for Determining Temporary Droop" - IEEE - PAS - 86 - 1967
4. Young, C.C. and Weblar, R.M. - "A new digital computer Program for Predicting Dynamics Performance of Electric Power Systems" - 1967 - PICA Conference Record.
5. Oldenbruger, R. and Donelson J. Jr. "Dynamics Response of a Hydroelectric Plant" - AIEE - PAS - 81 - 1962
6. Concordia, C. et al, "Effect of Prime Mover Response and Governing Characteristics on System Dynamics Performance" American Power Conference - Vol. 28 - 1966
7. Plant Dynamics and Control Analysis
PSA - Paper 63-1401 - 1963
8. Power System Stability - Vol. I
S.B. Cray - John Wiley
9. Power System Stability - Vol. II
S.B. Cray - John Wiley
10. Simulation as a Design Tool for Plant Jack Donough Boiler Controls - W.M. Stephens & D.N. Ewart
ISA - 7th National Power Instrumentation Symposium, Proceedings - 1966
11. Transients in Linear Systems - Vol. I
Gardner & Barnes - John Wiley
12. Linear Systems
Schwarz & Friedland
McGraw-Hill Book (1965)
13. Servomechanism Analysis
Thaler & Brown - McGraw Hill Book Co (1953)

14. Differential Equations - A Modern Approach Hochstadt
Holt, Rinehart & Winston - San Francisco- Cal. 1964
15. Techniques of Process Control
Buckley
John Wiley & Sons, Inc. - 1964
16. Optimum Settings for Automatic Controllers
J.G. Ziegler & N.B. Nichols
ASME - Transactions - Vol. 64 - 1942
17. A more precise method for Tuning Controllers
C.L. Smith and P. Murril
ISA Journal - May 1966
18. FACE-A Digital Dynamic Analysis Program
D.N. Ewart and F.P. de Mello
Power Industry Computer Applications
Conference - 1967
19. Automatic Generation Control - Part I
Process Modeling - F.P. de Mello, R.J. Mills and
W.F. B'Rolls - IEEE - PAS - 1973
20. Automatic Generation Control - Part II
Digital Control Techniques - F.P. de Mello, R.J. Mills
and W.F. B'Rolls - IEEE - PAS - 1973
21. Dynamics, Input/Output Concepts, J.M. Watson
Joint Automatic Control Conference - June 1965
22. Dynasar Applications, H.P. Durand
Dto. June 1965
23. Concordia C. "Dynamic Concepts of Interconnected Systems"
IEEE - CP - 1966
24. Fiedler, H.J. and Kirchmayer, L.K. "Developments in the Control
of Interconnected Systems" - NPIS - 1966
25. Modern Concepts of Power System Dynamics" - IEEE Tutorial
Course Text - 1970
26. Concepts of Synchronous Machine Stability as Affected by
Excitation Control - D.N. Ewart, F.P. de Mello - IEEE -
PAS - 88 - n° 4 - pp. 316-329

27. A digital Computer Program for the Automatic Determination of
Dynamic Stability Limits ", D.N. Ewart, F.P.de Mello -
IEEE - PAS - 86 - n° 7
28. F.P. de Mello - "Plant Dynamics & Control Analysis"
IEEE - Paper 63-1401 - PSA - Vol. S82 - 1963
29. D.N. Ewart and R.P. Schulz - "Face Multimachine Power System
Simulator Program - IEEE - PICA Conference - 1969
30. P.G. Brown, F.P. de Mello, E.H. Lenfest and R.J. Mills - "Effect
of Excitation Turbine Energy Control & Transmission on
Transient Stability" - IEEE - TP 203 - PWR
31. C. Concordia, M. Temoshok - Generator Excitation Systems and
Power System Performance - IEEE - CP 67-536 - 1970
32. W.G. Haffron, R.A. Phillips - "Effect of Modern Amplidyne Vol
tage Regulators on Underexcited Operation of Large Turbine
Generators - AIEE - Vol. 71 - 1952
33. F.R. Schleif, H.D. Hunkins, G.E. Martin, E.E. Hattan "Excita
tion Control to Improve Power Line Stability" - IEEE -PAS
86 - 1967
34. R.T. Byerly, J.W. Skooglund, F.W. Keay "Control of Generator
Excitation for Improved Power System Stability" - Procee
dings of the American Power Conference - 1967
- 35 - P.L. Dandeno, A.N. Karas, K.R. McClymont and W. Wilson -
"Effect of Hifh Speed Rectifier Excitation Systems on Ge
nerator Stability Limits" - IEEE - PAS-87 - 1968
36. F.R. Schleif & Others - "Control of Rotating Exciters for Po
wer System Damping: Pilot Experience and Applications -
IEEE - PAS - 88 - 1969
37. G.W. Stagg and A.H. El Abiad - "Computer Methods in Power Sys
tem Analysis - McGraw Hill - N.Y. 1968
38. C.J. Baldwin and P.T. Byerley - "Recent Advances in Digital Si
mulation of Power System Disturbances". Proceedings of
Thid Power System Computation Conference - 1969.

39. A Ralston - A first Course in Numerical Analysis - McGraw-Hill - N.Y. 1965
40. W.D. Humpage and B. Scott - "Predictor-Corrector Methods of Numerical Integration in Digital Computer Analysis of Power System Transient Stability - Proceedings IEEE - Vol. 112 - 1965
41. F.H. Brannin, Jr. "Computer Methods of Network Analysis - Proceedings IEEE - 1967 - Vol. 55.
42. M.S. Dyrkacz, C.C. Young and F.J. Maginniss - "A digital transient Stability program including the effects of regulator, exciter, and governor response - AIEE - PSA - 79 - 1961
43. F.P.de Mello - "Process Dynamics in Electric Utility Systems" ISA Paper - 1970
44. F.P.de Mello - "Modern Concepts of Power System Dynamics - The Effects of Control" - IEEE Tutorial Publication - 70 MG2 - PWR - 1970
45. J.M. UNDRILL, F.P.de Mello, T.E. Kostyniak and R.J. Mills - "Interactive Computation in Power System Analysis" - Proceedings of the IEEE - 1974
46. Mathematical Technique for the Analysis of Linear Systems" - R.J. Ragazzini & A.R. Bergen - Proceedings of the IRE - 1954
47. A simplified Method of Solving Linear and Nonlinear Systems R Boxer and S. Thaler - Proceedings of the IRE - 1966.