

TESE
157

CURTO - CIRCUITO

TRIFÁSICO

RESPOSTA TEMPO x CORRENTE

EFEI
- DISSERTAÇÃO DE MESTRAD

s/ data



ANÁLISE DA RESPOSTA TEMPO X CORRENTE PARA
CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO EM SISTEMAS DE
POTÊNCIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO:
FRANCISCO VACCARI

ORIENTADOR:
PROF. HÉLIO MOKARZEL

1977

A MINHA ALICE E MARIANA, PELA COMPREENSÃO E ESTÍMULO,
DEDICO TODO ESFORÇO DESTE MEU TRABALHO

Meus sinceros agradecimentos a todos que me incentivaram e colaboraram na execução deste trabalho.

- Ao meu orientador Prof. Hēlio Mocarzel, que nos pontos mais difíceis soube dar solução rápida e inteligente para os problemas.
- Ao pessoal da Divisão de Estudos Técnicos da Superintendência de Planejamento e Estudos Técnicos da CPFL: Lupo, Richard, Wellington, Maeyama, Kenji, que muito me auxiliaram na programação e preparo dos dados para computador.
- Ao projetista Carlos que mesmo atarefadíssimo, soube encontrar tempo para os desenhos.
- A Regina e Ivonilse no trabalho árduo de datilografia.

Meus profundos agradecimentos

CONTEÚDO

	<u>PÁG.</u>
INTRODUÇÃO	1
CONCEITUAÇÃO TEÓRICA	1
PROGRAMA PARA COMPUTADOR	4
EXEMPLO DE APLICAÇÃO	11
ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES	13
MÉTODO DE INTEGRAÇÃO NÚMERICA "BACKWARD - DIFFERENCE"	ANEXO 1
CONTRIBUIÇÕES DA MÁQUINA SÍNCRONA PA RA IMPEDÂNCIA EXTERNA " Z_E "	ANEXO 2
REPRESENTAÇÃO DA MÁQUINA SÍNCRONA PE LOS SEUS MODELOS DE EIXOS " d " e " q "	ANEXO 3

ANÁLISE DA RESPOSTA TEMPO X CORRENTE PARA CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA

, 1 - INTRODUÇÃO

Este trabalho objetiva a determinação da resposta tempo x corrente, da componente alternada da corrente de curto - circuito trifásico em sistemas de potência.

O período de tempo da análise será de cerca de dez ciclos, por conseguinte desprezaremos os efeitos dos reguladores de velocidade e de tensão das máquinas síncronas.

A simulação do comportamento dinâmico das máquinas síncronas, será feita através modelos de eixos "d" e "q", utilizando parâmetros tais como: X_d , X'_d , X''_d , X_q , X''_q , T'_{do} , T''_{do} , T''_{qo} | anexo 3, ref. 2,5|.

As cargas serão representadas por impedâncias equivalentes. Serão também representadas as impedâncias "shunt" dos reatores, capacitores, susceptâncias capacitivas relativas aos circuitos "π" das linhas de transmissão e as impedâncias equivalentes do circuito "π" dos transformadores com "tap" fora do nominal, |ref. 3,9|.

Um exemplo de aplicação para um sistema com 03 máquinas e cerca de 12 barras é relatado no parágrafo 4.

Uma análise dos resultados obtidos e conclusões são feitas no parágrafo 5.

Os anexos 1, 2 e 3 detalham respectivamente, o método de integração "Backward-Difference", as contribuições da máquina síncrona alimentando impedância externa, e os modelos utilizados para as máquinas síncronas.

2 - CONCEITUAÇÃO TEÓRICA

A figura 2-1-a exemplifica uma envoltória típica relativa à corrente total de curto-circuito trifásico bem como mostra a componente D.C., que desaparece em poucos ciclos. Se eliminarmos

a componente D.C. da corrente total obteremos a envoltória da componente A.C. (fig. 2-1-b), que será objeto de nosso estudo.

Para a obtenção da resposta tempo x corrente da componente A.C. da corrente de curto-circuito trifásico, aplicaremos o princípio da superposição que diz:

"As contribuições em cada elemento de um circuito linear, alimentado por "n" fontes, podem ser determinadas pela soma algébrica das contribuições parciais, obtidas considerando-se uma fonte ligada de cada vez ao circuito, considerando-se as outras (n-1) fontes com suas f.e.m. zeradas".

Com cada máquina síncrona "i" representada pelos seus modelos de eixos "d" e "q", alimentando uma impedância externa $Z_E(i)$, correspondente à impedância vista pela máquina de seus terminais, poderemos calcular sua contribuição parcial para o curto. Assim procedendo para cada máquina, por superposição de efeitos, determinaremos as contribuições totais para o defeito.

As impedâncias externas $Z_E(i)$ vistas por cada máquina (i) serão determinadas a partir da matriz " Z_{BUS} " de sequência positiva, obtida considerando-se a barra de curto como referência. As impedâncias $Z_E(i)$ correspondem ao elemento (i) da diagonal das matrizes " Z_{BUS} -MODIFICADA (i)", obtidas adicionando-se à matriz " Z_{BUS} " original, as (n-1) reatâncias das máquinas com f.e.m. nula, ligadas à referência, e mantendo-se apenas as barras de geração.

Seja por exemplo considerar um sistema com 3 máquinas (fig. 2-2).

A corrente I_{11} , injetada pelo gerador 1 na barra 1 é obtida conectando-se a impedância $Z_E(1) = Z_{11}$, da matriz " Z_{BUS} -MODIFICADA (1)", nos modelos de eixos "d" e "q" das máquinas.

O anexo 2 demonstra o cálculo das contribuições das máquinas alimentando a impedância externa Z_E .

As tensões V_{21} e V_{31} , correspondentes às tensões nas barras 2 e 3, relativas à injeção da corrente I_{11} , poderão ser obtidas através da matriz " Z_{BUS} -MODIFICADA (1)", como se segue:

$$\begin{bmatrix} Z_{BUS} - \text{MODIF. (1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Z_{BUS} - \text{MODIF. (1)} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_{11} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{11} \\ V_{21} \\ V_{31} \end{bmatrix}$$

$$\text{então, } V_{21} = Z_{21} \cdot I_{11}$$

$$V_{31} = Z_{31} \cdot I_{11}$$

As correntes I_{21} e I_{31} absorvidas pelos geradores serão obtidas por:

$$I_{21} = - \frac{V_{21}}{X_{m2}} \qquad I_{31} = - \frac{V_{31}}{X_{m3}}$$

Analogamente utilizando-se as matrizes " $Z_{BUS} - \text{MODIF. (2)}$ " e " $Z_{BUS} - \text{MODIF. (3)}$ ", obtem-se I_{22} e I_{33} , bem como I_{12} , I_{32} , I_{13} e I_{23} .

As injeções totais de cada máquina são obtidas por superposição:

$$I_{1T} = I_{11} + I_{12} + I_{13}$$

$$I_{2T} = I_{21} + I_{22} + I_{23}$$

$$I_{3T} = I_{31} + I_{32} + I_{33}$$

Tendo sido obtidas as injeções de corrente totais nas barras 1, 2 e 3 pode-se determinar as tensões e correntes em todo o sistema, pois temos que:

$$\begin{bmatrix} Z_{BUS} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_{1T} \\ I_{2T} \\ I_{3T} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \end{bmatrix}$$

As contribuições para o curto-trifásico em cada elemento do sistema serão determinadas por:

$$I_{pq} = \frac{V_p - V_q}{Z_{pq}} \quad \text{onde } Z_{pq} = \text{impedância da linha p-q}$$

A corrente total na barra em curto (barra 4) será:

$$I_4 = I_{34} + I_{54}$$

Por conseguinte, para obtenção da resposta tempo x corrente das contribuições relativas à componente A.C., para o curto-trifásico, deve-se a cada intervalo de integração, calcular as reatâncias das máquinas com f.e.m. nula, as matrizes " $Z_{BUS-MODIF.}(i)$ " de onde se extraem os valores de $ZE(i)$, as injeções parciais das máquinas " I_{ii} ", as correntes absorvidas pelas máquinas com f.e.m. nula " I_{ij} ", as injeções totais das máquinas " I_{iT} " e finalmente, através da matriz " Z_{BUS} ", as contribuições totais para o curto-circuito.

A figura 2-3 mostra o fluxograma dos cálculos utilizados na programação para computador.

3 - PROGRAMA PARA COMPUTADOR

Para a obtenção da resposta tempo-corrente da componente A.C. para a corrente de curto-circuito trifásico, foi desenvolvido um programa para computador digital, utilizando a linguagem "Fortran". Este programa tem uma construção modular, onde o programa principal tem apenas a função de chamar as subrotinas, e de contar os intervalos de integração.

São dados deste programa, os resultados obtidos de um "load-flow" inicial, com condições do sistema antes do curto-circuito, e valores da matriz " Z_{BUS} " obtida a partir da barra de curto como referência.

As subrotinas constantes do programa são as seguintes:

3.1 - SUBROTINA "ALICE"

Nesta subrotina são lidos e impressos os dados. Além dos resultados do "load-flow" e dos valores da matriz " Z_{BUS} ", são dados de entrada as constantes das máquinas, o número

de intervalos de integração, o valor do intervalo de integração, o número de máquinas do sistema (no máximo 10 máquinas), o número de barras adjacentes à barra de curto.

Para a formação da matriz " Z_{BUS} " as impedâncias equivalentes são determinadas como a seguir:

3.1.1 - CARGAS

Para a representação das cargas no estudo de curto-circuito foi necessário transformá-las em impedâncias equivalentes.

Do "load-flow" inicial obteve-se as tensões nas barras de carga, por conseguinte podemos determinar as impedâncias equivalentes das cargas utilizando-se estas tensões iniciais.

Temos que:

$$VI^* = P + jQ \quad I = \frac{P - jQ}{V^*}$$

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{|V|^2}{P - jQ}$$

onde $|V|$ = Módulo da tensão na barra de carga
 P = Potência ativa da carga
 Q = Potência reativa da carga

3.1.2 - CIRCUITO "π" DOS TRANSFORMADORES COM "TAP" FORA DO NOMINAL

Seja um transformador ligado em "tap" fora do nominal.

Seu circuito "π" equivalente será o representado na fig 3.1.2 (ref. 3,9).

3.1.3 - REATORES, CAPACITORES "SHUNT" E SUSCEPTÂNCIAS DE LINHAS

Estas reatâncias (capacitivas ou indutivas) serão de-

terminadas pela expressão:

$$x = \frac{|V|^2}{-jQ}$$

onde Q = Potência em p.u. do capacitor ou reator
 $|V|$ = Módulo da tensão da barra em p.u.

$Q > 0$ para reator

$Q < 0$ para capacitor

Escolhendo-se a barra de curto como referência, inicia-se a formação da matriz através uma impedância de linha ligada a uma barra adjacente ao curto.

As impedâncias das linhas e as equivalentes das cargas são então adicionadas uma a uma à matriz, indo até as barras terminais dos geradores. As reatâncias dos geradores não são consideradas na formação da matriz, pois os geradores serão representados pelos seus modelos de eixo "d" e "q" anexo 3.

As fórmulas utilizadas na formação da matriz " Z_{BUS} " são as seguintes: |ref. 3|.

3.1.4 - ELEMENTO LIGADO DA REFERÊNCIA A UMA NOVA BARRA

Seja "K" a nova barra, teremos:

$$Z_{ik} = Z_{ki} = 0 \quad i \neq k$$

$$Z_{kk} = Z_{0-k} = \text{impedância da linha } 0-k$$

(ver fig. 3.1.4a)

3.1.5 - ADIÇÃO DE UMA NOVA BARRA

Seja adicionar uma linha radial de uma barra "p" a uma nova barra "q".

$$\text{Teremos: } z_{qk} = z_{pk} \quad k \neq q$$

$$z_{kq} = z_{kp}$$

$$z_{qq} = z_{pp} + z_{p-q}$$

(ver fig. 3.1.4b)

3.1.6 - ADIÇÃO DE UMA LINHA COM FECHAMENTO DE MALHA "LOOP"

Deve-se acrescentar uma linha e coluna à matriz " z_{BUS} ", correspondente ao "loop" e depois através de redução de "Kron" modifica-se a matriz eliminando-se esta linha e coluna fictícias.

Os elementos da coluna e linha correspondentes ao "loop" são determinados por:

$$z_{loop, loop} = z_{pp} + z_{qq} - 2 z_{pq} + z_{p-q}$$

$$z_{i, loop} = z_{ip} - z_{iq} \quad i \neq loop$$

$$z_{loop, i} = z_{pi} - z_{qi} \quad i \neq loop$$

Pela redução de "Kron", modifica-se os elementos da matriz " z_{BUS} ".

$$z'_{ij} = z_{ij} - z_{i,loop} \cdot z_{j,loop} \cdot \frac{1}{z_{loop,loop}}$$

3.2 - SUBROTINA "FABI"

Esta subrotina calcula os valores iniciais (antes do curto) das correntes e tensões de eixos "d" e "q" das máquinas e os valores de constantes a serem utilizadas nos modelos de eixos "d" e "q".

Através um "load-flow" inicial determinam-se os módulos das tensões das barras de geração, seus respectivos ângulos com relação à barra "swing" de referência, e os valores das injeções de potência ativa e reativa das máquinas do sistema.

Para a determinação das correntes e tensões iniciais de eixos "d" e "q" de cada máquina, tomamos como barra de referência a barra "swing" do "load-flow".

Primeiramente devemos determinar os eixos "d" e "q" de cada máquina. A fig. 3.2 mostra a localização destes eixos, sendo dados a tensão terminal da máquina " e_t ", a corrente da armadura " i_a " e a reatância síncrona de eixo "q", " X_q " |ref. 5|.

A corrente " i_a " (em p.u.) é determinada através da potência injetada pela máquina.

Temos: $S = P + jQ$

S = Potência Aparente

P = Potência Ativa

Q = Potência Reativa

$$\dot{l}_t = |\dot{l}_t| \angle \delta_2, |\dot{l}_t| = \text{módulo da tensão terminal}$$

$$\delta_2 = \text{ângulo da tensão terminal}$$

$$i_a = \left(\frac{S}{l_t} \right)^* \quad i_a = \text{corrente da armadura da máquina}$$

$$\dot{E}_q = \dot{l}_t + j i_a X_q \quad \dot{E}_q = |\dot{E}_q| \angle \delta_1$$

O ângulo do vetor E_q com a referência (δ_1) localiza o eixo "q".

Temos que:

$$\delta = \delta_1 - \delta_2$$

$$\phi = \delta_1 - \delta_3$$

$$e_{do} = |l_t| \sin \delta$$

$$e_{qo} = |l_t| \cos \delta$$

$$i_{do} = |i_a| \sin \phi$$

$$i_{qo} = |i_a| \cos \phi$$

que são os valores iniciais das tensões e correntes da máquina nos eixos "d" e "q".

3.3 - SUBROTINA "MARA"

Calcula as reatâncias das máquinas com f.e.m. nula, relativas a cada intervalo de integração, utilizando as correntes existentes nas máquinas no intervalo anterior da integração.

A condição de f.e.m. para uma máquina síncrona é aquela em que a tensão no campo $\ell_{fd} = 0$. Para a determinação da reatância da máquina com f.e.m. nula, seja injetar nos modelos de eixo "d" e "q", correntes " i_d " e " i_q " obtidas em cada intervalo anterior de integração.

Injetando-se a corrente " i_d " no modelo de eixo "d", fig. AN-3-2b com $E_{fd} = e_{fd} \cdot \frac{L_{ad}}{r_{fd}} = 0$, obtém-se a tensão

$$e_q = \psi_d - X_d i_d.$$

Injetando-se uma corrente " i_q " no modelo de eixo "q" obtém-se a tensão $e_d = -\psi_q + X_q i_q$.

A reatância da máquina, vista pelos seus terminais, será dada por:

$$X_m = \frac{|\ell_t|}{|i_t|}$$

onde e_t = tensão terminal da máquina

i_t = corrente terminal da máquina

$$\text{sendo } |e_t| = \sqrt{e_d^2 + e_q^2}, \quad |i_t| = \sqrt{i_d^2 + i_q^2}$$

$$\text{vem que } X_m = \frac{\sqrt{e_d^2 + e_q^2}}{\sqrt{i_d^2 + i_q^2}}$$

As correntes " i_d " e " i_q " relativas a cada intervalo de integração, são determinadas conforme a fig. 3.3 por:

$$i_d = AI \cdot \text{Sen} (\delta_1 - A\text{IANG})$$

$$i_q = AI \cdot \text{Cos} (\delta_1 - A\text{IANG})$$

Onde: AI = corrente terminal

A\text{IANG} = ângulo do vetor AI com a referência

3.4 - SUBROTINA "MARLO"

Nesta subrotina são calculadas as impedâncias externas vistas pelas máquinas, necessárias para a determinação das correntes parciais injetadas no sistema, na aplicação do princípio da superposição.

As reatâncias das máquinas com f.e.m. nula são adicionadas à matriz " Z_{BUS} ", uma a uma, utilizando-se a redução de "KRON".

3.5 - SUBROTINA "MARCOS"

Esta subrotina calcula as contribuições parciais das máquinas com relação aos respectivos eixos " d " e " q " e com relação ao eixo de referência do sistema.

3.6 - SUBROTINA "LUCAS"

Através de injeção das correntes parciais das máquinas e consequente obtenção das tensões nas barras de geração, são calculadas nesta subrotina as correntes absorvidas pelas máquinas com f.e.m. nula.

3.7 - SUBROTINA "LUCINO"

Esta subrotina determina as contribuições totais de cada máquina, através da soma vetorial das correntes parciais, com as correntes absorvidas, quando operando com f.e.m. nula.

3.8 - SUBROTINA "MARINA"

Nesta subrotina são apresentados os resultados finais quais sejam: as contribuições das máquinas, as contribuições das barras adjacentes ao curto, as tensões nas barras de geração e nas barras adjacentes ao curto, e a corrente total de curto-circuito trifásico.

Todos os valores são apresentados em por-unidade (p.u.), nas bases de potência e tensão dos dados de entrada.

Os quadros 3-1 a 3-13 contêm as instruções do programa desenvolvido.

4 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Para verificação do programa e ilustrar este trabalho, escolhemos um sistema simplificado constituído por 12 barras e 3 máquinas, apresentado na ilustração 4-1.

Este sistema representa a área norte-nordeste da C.P.F.L. As cargas correspondem a Junho/74. A interligação com FURNAS na Usina Porto-Colômbia apresenta apenas uma máquina para a CPFL.

Foi colocada uma carga equivalente na barra Usina Marechal Mascarenhas de Moraes - 345, para representar o fluxo de potência das linhas de 345 kV que saem desta barra.

O "load-flow" inicial rodado com programa da "PECO", "Philadelphia Electric Company", apresentou os resultados mostrados no quadro 4-1.

Foram escolhidas as barras Usina Marechal Mascarenhas de Mo-

raes - 138 kV e S/E Ribeirão Preto - 138 kV, para a aplicação do curto-circuito trifásico. A primeira representa uma barra próxima à geração, sofrendo influência mais direta das máquinas, enquanto que a outra representa uma barra essencialmente de carga.

O quadro 4-2 mostra os dados de entrada para a formação das matrizes " Z_{BUS} " para o curto-circuito na barra de Ribeirão Preto, através do programa de curto-circuito da "PECO".

O quadro 4-3 mostra os valores das constantes das máquinas.

Os quadros 4-4 e 4-5 mostram as impedâncias próprias e de transferência das matrizes " Z_{BUS} ", necessárias para os cálculos no programa de obtenção da resposta tempo x corrente A.C. da corrente de curto-circuito trifásico.

Os dados das reatâncias e constantes de tempo das máquinas são mostrados no quadro 4-3, e estão em p.u. e em seg., respectivamente.

Os resultados das contribuições para o curto-circuito trifásico são mostrados, em valores p.u., na base 100 MVA, nos quadros 4-6 a 4-14, para o curto-circuito na barra SE Ribeirão Preto 138 kV, e nos quadros 4-15 a 4-23, para o curto-circuito na barra Usina Marechal Mascarenhas de Moraes, correspondendo aos tempos $t=0^+$, $t=0,01$ seg, $t = 0,02$ seg, $t = 0,03$ seg, $t = 0,04$ seg, $t = 0,05$ seg, $t = 0,10$ seg, $t = 0,15$ seg. e $t = 0,19$ seg.

Nos quadros mencionados, as barras adjacentes à barra de curto têm a seguinte identificação:

- CURTO NA BARRA S/A RIBEIRÃO PRETO - 138 kV

- . barra "4" : U.S. M.M.Moraes - 138 kV
- . barra "5" : S/E Araraquara - 138 kV
- . barra "6" : S/E Laranjeiras - 138 kV

- CURTO NA BARRA US. M.M.MORAES - 138 kV

- . barra "4" : U.S.M.M.Moraes - 345 kV
- . barra "5" : U.S.M.M.Moraes B- 13,8 kV
- . barra "6" : S/E Ribeirão Preto - 138 kV
- . barra "7" : S/E S.Joaquim - 138 kV

O intervalo de tempo de integração escolhido foi o de 0,01 seg., compatível com as constantes de tempo das máquinas.

A ilustração 4-2 mostra gráficos correspondentes à resposta tempo x corrente da envoltória da componente A.C. (valor eficaz), para curto-circuito trifásico nas barras U.S. Marechal Mascarenhas de Moraes 138 kV e S/E Ribeirão Preto 138 kV.

Pode-se notar a pronunciada variação da corrente de curto para a barra U.S: M.M.Moraes - 138 kV, cerca de 14% em 12 ciclos, com relação à barra S/E Ribeirão Preto - 138 kV, com cerca de 5% em 12 ciclos.

Para verificação da influência das cargas nos resultados das contribuições para o curto-circuito trifásico, rodamos um caso normal, sem cargas, pelo programa da "PECO".

Os quadros 4-24 e 4-25 mostram os resultados das contribuições para o curto nas barras Ribeirão - 138 kV e Us. Marechal Mascarenhas de Moraes 138 kV, respectivamente. Estes valores correspondem ao tempo $t = 0^+$, pois foram obtidos considerando-se as reatâncias sub-transitórias das máquinas.

5 - ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

Pode-se verificar, através da ilustração 4-2, que quando a barra escolhida de curto se aproxima da geração, é maior a variação da componente a.c da corrente de curto-circuito, pois os resultados das contribuições estão mais relacionados às variações das reatâncias das máquinas.

A influência da consideração das cargas existentes no sistema, antes do curto, foi pequena representando um acréscimo de apenas cerca de 5% nas contribuições.

Uma aplicação da curva resposta tempo x corrente da componente A.C. da corrente de curto-circuito trifásico, é o dimensionamento de disjuntores.

A norma USAS C37.06 a - 1968, estabeleceu as características nominais dos disjuntores baseadas na corrente simétrica de interrupção [ref. 10], que poderá ser determinada através da corrente assimétrica, como se segue:

A corrente eficaz assimétrica de curto-circuito correspondente a um determinado instante de tempo "t", é determinada por:

$$I_{TOTAL\ ef.} = \sqrt{I_{ac\ ef.}^2 + I_{dc\ ef.}^2} \quad (5-1)$$

onde $I_{ac\ ef}$ = componente A.C. determinada pela curva t x corrente (valor eficaz)

$I_{dc\ ef}$ = componente D.C. da corrente de curto (valor eficaz)

$$I_{dc\ ef} = \sqrt{2} \cdot I_{ac} (t = 0^+) \cdot e^{-t/T}$$

onde $T = \frac{L}{R} = \frac{X}{R \cdot 377}$

onde X = reatância equivalente do sistema no ponto de curto

R = resistência equivalente do sistema no ponto de curto

Seja "S" o fator de assimetria, obtido pela relação entre a corrente de interrupção assimétrica e a corrente de interrupção simétrica do disjuntor.

A fig. 5-1, [ref.-10], relaciona o fator de assimetria "S" com o tempo de abertura dos contatos dos disjuntores. Somando-se o tempo de atuação do relé de proteção ao tempo de abertura dos contatos do disjuntor, obtem-se o tempo de partida dos contatos do disjuntor. Com este tempo e através da equação (5-1) pode-se determinar a corrente assimétrica de curto, e através do fator "S" a corrente simétrica necessária para o dimensionamento dos disjuntores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - "TESE DE LIVRE DOCENCIA" - EFEI
HÉLIO MOKARZEL
- 2 - "MODELAGEM DE MÁQUINAS SÍNCRONAS"
TRABALHO DE PESQUISA - EFEI
HÉLIO MOKARZEL
- 3 - "SOLUTION OF LARGE NETWORKS BY MATRIX METHODS"
HOMER E. BROWN
JOHN WILEY & SONS, INC - 1975
- 4 - "COMPUTAÇÃO ANALÓGICA"
JOSÉ ABEL ROYO DOS SANTOS
LIVROS TÉCNICOS E CIENTÍFICOS EDITORA S/A - 1974
- 5 - ELECTRICAL MACHINES DYNAMICS I"
F. P. DE MELLO
- 6 - "DIGITAL COMPUTER SOLUTION OF POWER FLOW PROBLEMS"
J.B. WARD e H. W. HALE
TRANS. AIEE. VOL. 75, PART 3, PG. 398
- 7 - "Z - TRANSFORM TECHNIQUES FOR ANALYSIS OF SYSTEMS"
F. P. DE MELLO, AIEE CONFERENCE PAPER
60-1291, OCTOBER, 1960
- 8 - "FACE - A DIGITAL DYNAMIC ANALYSIS PROGRAM"
D.N. EWART, F. P. DE MELLO
P.I.C.A. May, 1967
- 9 - "ELECTRIC ENERGY SYSTEMS THEORY: AN INTRODUCTION"
OLLE I. ELGERD
MC GRAW - HILL BOOK COMPANY - 1971
- 10 - "TUTORIAL COURSE - IEEE -
APPLICATION OF POWER CIRCUIT BREAKERS" 1975.

ANEXO 1

MÉTODO DE INTEGRAÇÃO NUMÉRICA "BACKWARD-DIFFERENCE"

Na simulação de sistemas dinâmicos em computador digital, a programação de integradores representa a grande preocupação, uma vez que as outras funções do modelo, o computador digital executa sem maiores problemas, com rapidez e precisão.

Neste trabalho, adotamos o método "backward-difference" para resolver os integradores dos modelos equivalentes das máquinas síncronas [ref. 1].

Seja a fig. AN-1-1 onde representamos uma função contínua $f(t)$. Esta função pode ser representada através do operador "Z" (ref. 7 e 8) por:

$$Y = Y_0 Z^{-0} + Y_1 Z^{-1} + \dots + Y_n Z^{-n} + Y_{n+1} \cdot Z^{-(n+1)} + \dots$$

onde:

$$Y_n = \frac{1}{\Delta t} \cdot \int_{n\Delta t - \frac{\Delta t}{2}}^{n\Delta t + \frac{\Delta t}{2}} f(t) dt$$

$Y_n Z^{-n}$ só existe no intervalo "n" de uma série de intervalos Δt .

Um algoritmo de integração da função $f(t)$ pode ser desenvolvido pela resposta a impulsos discretos de valores $Y_n Z^{-n}$, pois a entrada do integrador é uma função representada por uma série de impulsos, e a saída do integrador será a soma das saídas, para cada impulso, em cada intervalo de tempo.

Na fig. AN-1-2-(a e b) vemos a resposta de um integrador contínuo a um impulso unitário. Seja representar a resposta de um integrador discreto ideal a um impulso unitário de largura Δt e altura $\frac{1}{\Delta t}$ (fig. AN-1-2-c), a saída será aquela da fig. AN-1-2(d).

Esta resposta pode ser representada por:

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

que pode ser também colocada na forma:

$$\frac{\Delta t}{2} \cdot \frac{1 + z^{-1}}{1 - z^{-1}} \quad \text{Assim poderíamos representar este integrador conforme a fig. AN-1-3a}$$

Este diagrama pode ainda ser expandido conforme a fig. AN-1-3b.

O bloco $\frac{1}{1 - z^{-1}}$ = $1 + z^{-1} + z^{-2} + \dots$ é um acumulador.

As equações que definem a Saída (t) em função da Entrada (t), extraídas do diagrama acima, são as seguintes:

$$\text{Saída (t)} = \text{Entrada (t)} \cdot \frac{\Delta t}{2} + \text{Soma (t-1)}$$

$$\text{Soma (t)} = \text{Soma (t-1)} + \text{Entrada (t)} \cdot \Delta t$$

Este integrador é equivalente ao conhecido por "Central Difference". Apresenta uma saída no mesmo instante "t" da entrada, e como normalmente a entrada é uma função da saída, o processo de integração necessita de um processo iterativo.

Colocando-se um atraso na entrada do integrador, obtém-se um integrador cuja saída não corresponde ao mesmo tempo "t" da entrada. Seja o diagrama da fig. AN-1-3c.

Cujas equações são:

$$\text{Saída (t)} = \text{Entrada (t-1)} \cdot \Delta t/2 + \text{Soma (t-1)}$$

$$\text{Soma (t)} = \text{Soma (t-1)} + \text{Entrada (t)} \cdot \Delta t$$

A determinação da Saída (t) não exige processo iterativo. Este é o processo equivalente ao integrador "Backward Difference". Com a escolha adequada do intervalo Δt , este processo é preciso e muito prático (ref. 1).

A fig. AN-1-4b representa a saída do integrador "Backward Difference" relativa a um pulso de entrada (fig. AN-1-4a).

ANEXO 2CONTRIBUIÇÕES DA MÁQUINA SÍNCRONA PARA IMPEDÂNCIA EXTERNA " Z_E "

Determinados os valores iniciais de tensão e corrente das máquinas: e_{do} , e_{qo} , i_{do} , i_{qo} , é mais conveniente adotar modelos equivalentes com grandezas incrementais Δe_d , Δe_q , Δi_d , Δi_q . As figuras AN-2-1 e AN-2-2 representam estes modelos para os eixos "d" e "q", alimentando uma carga externa " Z_E ", equivalente à impedância vista dos terminais da máquina até à barra em curto trifásico.

A ligação da impedância externa " Z_E " aos modelos, leva a uma dificuldade na determinação das correntes " i_d " e " i_q ", pois formam-se "loops" algébricos, ΔE_Q , E_Q , Z_E , ΔI_D , X_{D_2} , ΔE_D , E_D , Z_E , ΔI_Q , X_{Q_2} , que deverão ser eliminados para evitar instabilidade numérica na simulação.

A seguir, determinaremos as equações relativas à ligação da carga externa Z_E aos modelos, para solucionar os "loop-algébricos".

Temos que:

$$e_q = e_{qo} + \Delta e_q \quad (1)$$

$$e_d = e_{do} + \Delta e_d \quad (2)$$

Sendo Δe_q = Valor incremental da tensão no eixo "q"

Δe_d = Valor incremental da tensão no eixo "d"

Dos modelos "d" e "q" temos:

$$\Delta e_q = -\Delta i_d X''_d + \Delta \Psi''_d \quad (3)$$

$$\Delta e_d = \Delta i_q X''_q - \Delta \Psi''_q \quad (4)$$

A tensão de armadura da máquina (tensão terminal) é dada por:

$e_t = e_d + j e_q$, tomando-se o eixo "d" como referência.

A corrente terminal será:

$$i_t = i_d + j i_q = \frac{e_d + j e_q}{R_e + j X_e}$$

onde: $R_e + j X_e = Z_e$ impedância externa

Multiplicando-se pelo conjugado ($R_e - j X_e$) vem:

$$i_t = \frac{(e_d R_e + e_q X_e) + j(e_q R_e - e_d X_e)}{R_e^2 + X_e^2}$$

Vem que:

$$i_d = \frac{e_d R_e + e_q X_e}{R_e^2 + X_e^2} \quad e \quad i_q = \frac{e_q R_e - e_d X_e}{R_e^2 + X_e^2} \quad (5)$$

Substituindo as equações (1), (2), (3) e (4) nas equações (5) vem:

$$i_d = \frac{(e_{do} + \Delta i_q X_q'' - \Delta \Psi_q'') R_e + (e_{qo} + \Delta \Psi_d'' - \Delta i_d X_d'') X_e}{R_e^2 + X_e^2} \quad (6)$$

$$i_q = \frac{(e_{qo} + \Delta \Psi_d'' - \Delta i_d X_d'') R_e - (e_{do} + \Delta i_q X_q'' - \Delta \Psi_q'') X_e}{R_e^2 + X_e^2} \quad (7)$$

Temos que:

$$i_d = i_{do} + \Delta i_d \quad (8)$$

$$i_q = i_{qo} + \Delta i_q \quad (9)$$

Onde: Δi_d = Valor incremental da corrente de eixo "d"

Δi_q = Valor incremental da corrente de eixo "q"

Substituindo a equação (8) na equação (6), e tirando o valor de Δi_d vem:

$$\Delta i_d = \frac{K_2 \left[(e_{do} - \Delta \Psi''_q + \Delta i_q X''_q) R_e + (e_{qo} + \Delta \Psi''_d) X_e \right] - i_{do}}{1 + K_2 X''_d X_e} \quad (10)$$

$$\text{onde: } K_2 = \frac{1}{R_e^2 + X_e^2}$$

Substituindo a equação (9) na equação (7) e tirando o valor de Δi_q vem:

$$\Delta i_q = \frac{K_2 \left[(e_{qo} + \Delta \Psi''_d - \Delta i_d X''_d) R_e - (e_{do} - \Delta \Psi''_q) X_e \right] - i_{qo}}{1 + K_2 X''_q X_e} \quad (11)$$

$$\text{Fazendo } K_1 = \frac{1}{1 + K_2 X''_d X_e} \quad \text{na equação (10):}$$

$$\Delta i_d = K_1 K_2 \left[(e_{do} - \Delta \Psi''_q) R_e + (e_{qo} + \Delta \Psi''_d) X_e \right] - K_1 i_{do} + (K_1 K_2 X''_q R_e) \Delta i_q$$

$$\text{Fazendo } A = K_1 K_2 \left[(e_{do} - \Delta \Psi''_q) R_e + (e_{qo} + \Delta \Psi''_d) X_e \right] - K_1 i_{do}$$

$$\text{e } B = K_1 K_2 X''_q R_e$$

Vem:

$$\Delta i_d = A + B \Delta i_q \quad (12)$$

A e B são constantes para cada intervalo de integração.

$$\text{Fazendo: } K_3 = \frac{1}{1 + K_2 X''_q X_e} \quad \text{na equação (11):}$$

$$\Delta i_q = K_2 K_3 \left[(e_{qo} + \Delta \Psi''_d) R_e - (e_{do} - \Delta \Psi''_q) X_e \right] - K_3 i_{qo} - K_3 K_2 X''_d R_e \Delta i_d$$

Fazendo:

$$C = K_2 K_3 \left[(e_{qo} + \Delta \Psi''_d) R_e - (e_{do} - \Delta \Psi''_q) X_e \right] - K_3 i_{qo}$$

$$D = - K_2 K_3 X''_d R_e$$

Vem:

$$\Delta i_q = C + D \Delta i_d \quad (13)$$

C, D são constantes para cada intervalo de integração.

As equações (12) e (13) nos fornecem os valores de Δi_d e Δi_q para cada intervalo de integração.

ANEXO 3REPRESENTAÇÃO DA MÁQUINA SÍNCRONA PELOS SEUS MODELOS DE EIXO "d" E "q"1 - INTRODUÇÃO

A simulação do comportamento dinâmico das máquinas síncronas pode ser feita através de modelos nos eixos "d", "q" e "o", que poderão ser utilizados em computadores analógicos ou digitais.

Desenvolveremos os modelos em termos dos parâmetros derivados (L_d , L'_d , L''_d , T'_{do} , T''_{do} , etc) ao invés dos parâmetros originais dos circuitos equivalentes (L_{ad} , L_ℓ , r_{fd} , L_{kd} , etc) [ref. 2,5].

Serão consideradas para este estudo, máquinas com polos salientes com enrolamentos amortecedores e sem saturação.

2 - MODELO EQUIVALENTE DA MÁQUINA NO EIXO "d"

A fig. AN-3-2a mostra o circuito equivalente da máquina de polos salientes de eixo "d" [ref. 5].

As relações de fluxo enlaçado para o eixo "d" são (valores em p.u.):

$$\Psi_{ad} = L_{ad} (i_{fd} + i_{kd} - i_d) \quad (1)$$

$$\Psi_{fd} = \Psi_{ad} + L_{fd} \cdot i_{fd} \quad (2)$$

$$\Psi_{kd} = \Psi_{ad} + L_{kd} \cdot i_{kd} \quad (3)$$

$$\Psi_d = \Psi_{ad} - L_\ell \cdot i_d \quad (4)$$

De (1) e (2) eliminando Ψ_{ad} vem:

$$\Psi_{fd} = i_{fd} (L_{ad} + L_{fd}) + L_{ad} (i_{kd} - i_d) \quad (5)$$

Sendo a auto-indutância do campo,

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

Multiplicando-se ambos os membros da eq. (5) por

L_{ad}/L_{ffd} vem:

$$\Psi_{fd} \cdot \frac{L_{ad}}{L_{ffd}} = i_{fd} L_{ad} + \frac{L_{ad}^2}{L_{ffd}} (i_{kd} - i_d) \quad (6)$$

Da eq. (3) vem:

$$\Psi_{ad} = \Psi_{kd} - L_{kd} i_{kd}$$

Substituindo este valor em (1) vem:

$$\Psi_{kd} - L_{kd} i_{kd} = L_{ad} (i_{fd} + i_{kd} - i_d)$$

$$\Psi_{kd} = L_{ad} (i_{fd} - i_d) + i_{kd} (L_{ad} + L_{kd}) \quad (7)$$

Tirando o valor de $L_{ad} \cdot i_{fd}$ de (7) e substituindo em (6) vem:

$$\begin{aligned} \Psi_{fd} \frac{L_{ad}}{L_{ffd}} &= \Psi_{kd} + L_{ad} i_d - (L_{ad} + L_{kd}) i_{kd} + \frac{L_{ad}^2}{L_{ffd}} (i_{kd} - i_d) \\ \Psi_{fd} \frac{L_{ad}}{L_{ffd}} &= i_d \left[L_{ad} - \frac{L_{ad}^2}{L_{ffd}} \right] + \Psi_{kd} + i_{kd} \left[\frac{L_{ad}^2}{L_{ffd}} - (L_{ad} + L_{kd}) \right] \quad (8) \end{aligned}$$

Temos que:

$$L_{ad} - \frac{L_{ad}^2}{L_{ffd}} = \frac{L_{ad} L_{fd}}{L_{ffd}}$$

$$\frac{L_{ad}^2}{L_{ffd}} - (L_{ad} + L_{kd}) = - (L_{kd} + \frac{L_{fd} L_{ad}}{L_{ffd}})$$

Substituindo na eq. (8) vem:

$$\Psi_{fd} \frac{L_{ad}}{L_{ffd}} = i_d \frac{L_{ad} L_{fd}}{L_{ffd}} + \Psi_{kd} - i_{kd} \left[L_{kd} + \frac{L_{fd} L_{ad}}{L_{ffd}} \right] \quad (9)$$

Temos que $\Psi_d = \Psi_{ad} - i_d L_\ell$

Substituindo na eq. (3) vem:

$$\Psi_d = \Psi_{kd} - L_{kd} i_{kd} - i_d L_\ell \quad (10)$$

Tirando i_{kd} da eq. (9) e substituindo em (10) vem:

$$\Psi_d = \Psi_{kd} - L_{kd} \left[\frac{\Psi_{kd} + i_d \frac{L_{ad} L_{fd}}{L_{ffd}} - \Psi_{fd} \frac{L_{ad}}{L_{ffd}}}{L_{kd} + \frac{L_{fd} L_{ad}}{L_{ffd}}} \right] - i_d L_\ell$$

Fazendo $\frac{\Psi_{fd} L_{ad}}{L_{ffd}} = E' q / \omega$

$$\Psi_d = \Psi_{kd} - \frac{L_{kd} \left[\Psi_{kd} - E' q / \omega \right]}{L_{kd} + \frac{L_{fd} L_{ad}}{L_{ffd}}} - i_d \left[L_\ell + \frac{L_{ad} L_{fd} L_{kd}}{L_{ffd} L_{kd} + L_{fd} L_{ad}} \right] \quad (11)$$

$$\Psi_d = \Psi_{kd} \left[1 - \frac{L_{kd}}{L_{kd} + \frac{L_{fd} L_{ad}}{L_{ffd}}} \right] + L_{kd} \frac{E' q}{\omega} \frac{1}{L_{kd} + \frac{L_{fd} L_{ad}}{L_{ffd}}} - i_d \left[L_\ell + \frac{L_{ad} L_{fd} L_{kd}}{L_{ffd} L_{kd} + L_{fd} L_{ad}} \right] \quad (12)$$

Temos ainda que:

$$L'_d = L_\ell + \frac{L_{ad} L_{fd}}{L_{ffd}} = \text{indutância transitória de eixo "d"}$$

$$L''_d = L_\ell + \frac{1}{\frac{1}{L_{ad}} + \frac{1}{L_{fd}} + \frac{1}{L_{kd}}} = \text{indutância subtransitória de eixo "d"}$$

$$L_d = L_\ell + L_{ad} = \text{indutância síncrona de eixo "d"}$$

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

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

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

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

Substituindo os valores de L_{kd} , L_{fd} e $\frac{L_{ad} \cdot L_{fd}}{L_{ffd}}$ na eq. (12) vem:

$$\Psi_d = \Psi_{kd} \cdot \frac{L'_d - L''_d}{L'_d - L_\ell} + \frac{E'q}{\omega} \cdot \frac{L''_d - L_\ell}{L'_d - L_\ell} - i_d L''_d \quad (13)$$

$$\text{ou: } \Psi_d = \Psi''_d - i_d L''_d \quad (14)$$

$$\text{onde: } \Psi''_d = \Psi_{kd} \cdot \frac{L'_d - L''_d}{L'_d - L_\ell} + \frac{E'q}{\omega} \cdot \frac{L''_d - L_\ell}{L'_d - L_\ell}$$

Ψ_{kd} e $E'q/\omega$ são obtidos através de integração das equações do rotor.

Temos no enrolamento amortecedor:

$$i_{kd} r_{kd} + \frac{d\Psi_{kd}}{dt} = 0$$

$$\text{ou: } \Psi_{kd} = - \int i_{kd} r_{kd} dt \quad (15)$$

Da eq. (8) tirando o valor de i_{kd} :

$$i_{kd} = \left[\frac{E'q}{\omega} - i_d \left(L_{ad} - \frac{L_{ad}^2}{L_{ffd}} \right) - \Psi_{kd} \right] / \left[\frac{L_{ad}^2}{L_{ffd}} - (L_{ad} + L_{kd}) \right]$$

ou ainda:

$$i_{kd} = \left[\frac{E'q}{\omega} - i_d \frac{L_{ad}L_{fd}}{L_{ffd}} - \psi_{kd} \right] / - \left[\frac{L_{kd} + \frac{L_{fd}L_{ad}}{L_{ffd}}}{L_{ffd}} \right] \quad (16)$$

Substituindo em (15) vem:

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

$$\text{Sendo } T''_{do} = \left[\frac{L_{kd} + \frac{L_{ad}L_{fd}}{L_{ffd}}}{L_{ffd}} \right] \cdot \frac{1}{r_{kd}}$$

T''_{do} = constante de tempo sub-transitória de circuito aberto de eixo "d", vem que:

$$\psi_{kd} = - \frac{1}{T''_{do}} \int \left[\psi_{kd} - \frac{E'q}{\omega} + (L'_{qd} - L_{\ell}) i_d \right] dt \quad (18)$$

Do enrolamento de campo temos:

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

Multiplicando por L_{ad}/L_{ffd} e integrando:

$$\frac{L_{ad}}{L_{ffd}} \psi_{fd} = \int \left[\ell_{fd} \frac{L_{ad}}{L_{ffd}} - r_{fd} \cdot \frac{L_{ad}}{L_{ffd}} i_{fd} \right] dt \quad (19)$$

Sendo $T'_{do} = \frac{L_{ffd}}{r_{fd}}$ = constante de tempo transitória de circuito aberto de eixo "d"

A eq. (19) fica então:

$$\frac{E'q}{\omega} = \frac{1}{T'_{do}} \int \left[\ell_{fd} \frac{L_{ad}}{r_{fd}} - L_{ad} i_{fd} \right] dt$$

Fazendo $\frac{L_{fd} L_{ad}}{r_{fd}} = E_{fd}$, vem:

$$\frac{E'g}{\omega} = \frac{1}{T'_{do}} \int \left[E_{fd} - L_{ad} i_{fd} \right] dt \quad (20)$$

Da eq. (6) temos:

$$L_{ad} i_{fd} = \frac{E'g}{\omega} - \frac{L_{ad}^2}{L_{ffd}} (i_{kd} - i_d) \quad (21)$$

Substituindo o valor de i_{kd} da eq. (16) na eq. (21) vem:

$$L_{ad} i_{fd} = \frac{E'g}{\omega} + \frac{L_{ad}^2}{L_{ffd}} i_d + \frac{L_{ad}^2}{L_{ffd}} \left[\frac{\frac{E'g}{\omega} - i_d \frac{L_{ad} L_{fd}}{L_{ffd}} - \psi_{kd}}{L_{kd} + \frac{L_{fd} L_{ad}}{L_{ffd}}} \right]$$

$$L_{ad} i_{fd} = \frac{E'g}{\omega} + \left[\frac{E'g}{\omega} - \psi_{kd} \right] \left[\frac{\frac{L_{ad}^2}{L_{ffd}} \cdot \frac{1}{L_{kd} + \frac{L_{fd} L_{ad}}{L_{ffd}}}} \right] +$$

$$\frac{L_{ad}^2}{L_{ffd}} \cdot i_d \left[1 - \frac{L_{ad} L_{fd}}{L_{ffd}} \cdot \frac{1}{L_{kd} + \frac{L_{fd} L_{ad}}{L_{ffd}}} \right] \quad (22)$$

Como já vimos:

$$L_d - L'_d = \frac{L_{ad}^2}{L_{ffd}} \quad L_{kd} = \frac{(L'_d - L_\ell) (L''_d - L_\ell)}{L'_d - L''_d}$$

$$e: \quad L_{fd} = \frac{L_{ad} (L'_d - L_\ell)}{L_d - L'_d}$$

Substituindo em (22) vem:

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

$$+ i_d (L_d - L'_d) \left[1 - \frac{L'_d - L''_d}{L'_d - L_\ell} \right] \quad (23)$$

As equações necessárias para a elaboração do diagrama de blocos de eixo "d" da máquina, podem ser resumidas nas equações seguintes:

$$(De\ 13) \ \psi''_d = \psi_{kd} \left[\frac{L'_d - L''_d}{L'_d - L_\ell} \right] + \frac{E'q}{\omega} \left[\frac{L''_d - L_\ell}{L'_d - L_\ell} \right]$$

$$(14) \quad \psi_d = \psi''_d - i_d L''_d$$

$$(18) \quad \psi_{kd} = - \frac{1}{T''_{do}} \int \left[\psi_{kd} - \frac{E'q}{\omega} + (L'_d - L_\ell) i_d \right] dt$$

$$(20) \quad \frac{E'q}{\omega} = \frac{1}{T'_{do}} \int \left[E_{fd} - L_{ad} i_{fd} \right] dt$$

$$(23) \quad L_{ad} i_{fd} = \frac{E'q}{\omega} + \left[\frac{E'q - \psi_{kd}}{\omega} \right] \cdot \left[\frac{(L_d - L'_d)(L'_d - L''_d)}{(L'_d - L_\ell)^2} \right] +$$

$$+ i_d (L_d - L'_d) \left[1 - \frac{L'_d - L''_d}{L'_d - L_\ell} \right]$$

Admitindo-se $\bar{\omega} = 1.0$ p.u., ou seja, que após o curto a máquina mantém sua velocidade síncrona (durante cerca de 10 ciclos), as indutâncias L e a reatância $X = \omega L$ terão o mesmo valor em p.u.

A fig. AN-3-2b mostra o diagrama de blocos relativo ao modelo de eixo "d" da máquina síncrona.

3 - MODELO EQUIVALENTE DA MÁQUINA SÍNCRONA NO EIXO "q"

A fig. AN-3-3a mostra o circuito equivalente da máquina de polos salientes de eixo "q".

As relações de fluxos enlaçados são as seguintes:

$$\psi_{aq} = L_{aq} (i_{kq} - i_q) \quad (1) \quad (\text{valores em p.u.})$$

$$\psi_{kq} - \psi_{aq} = L_{kq} i_{kq} \quad (2)$$

$$\psi_q - \psi_{aq} = -L_\ell i_q \quad (3)$$

Das equações (1) e (2), eliminando ψ_{aq} :

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

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

$$\psi_{kq} - i_{kq} L_{kkq} + L_{aq} i_q = 0 \quad (4)$$

Temos que:

$$L'_q = L''_q = L_\ell + \frac{L_{aq} \cdot L_{kq}}{L_{kkq}} = \text{indutância subtransitória (transitória de eixo "q").}$$

$$L_q = L_{aq} + L_\ell = \text{indutância síncrona de eixo "q"}.$$

Então:

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

Multiplicando (4) por $\frac{L_{aq}}{L_{kkq}}$ vem:

$$\psi_{kq} \frac{L_{aq}}{L_{kkq}} - i_{kq} L_{aq} + (L_q - L''_q) i_q = 0 \quad (5)$$

Substituindo Ψ_{aq} de (1) em (3):

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

$$\Psi_q - L_{aq} i_{kq} = -i_q (L_{aq} + L_\ell) = -i_q L_q \quad (6)$$

Tirando i_{kq} de (5) e substituindo em (6).

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

$$\Psi_q = \Psi_{kq} \frac{L_{aq}}{L_{kkq}} - i_q L''_q = \Psi''_q - i_q L''_q \quad (7)$$

$$\text{onde } \Psi''_q = \Psi_{kq} \frac{L_{aq}}{L_{kkq}}$$

Do enrolamento amortecedor temos:

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

$$\Psi_{kq} = - \int r_{kq} i_{kq} dt \quad (8)$$

De (5) tirando i_{kq} e substituindo em (8):

$$\Psi_{kq} = - \int r_{kq} \left[\frac{\Psi_{kq}}{L_{kkq}} + \frac{(L_q - L''_q)}{L_{aq}} \cdot i_q \right] dt \quad (9)$$

Multiplicando-se (9) por $\frac{L_{aq}}{L_{kkq}}$:

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

Sendo $T''_{qo} = \frac{L_{kkq}}{r_{kq}}$ = constante de tempo sub-transitória de circuito aberto de eixo "q".

Vem:

$$\psi''_q = - \frac{1}{T''_{q0}} \int \left[\psi''_q + (L_q - L''_q) i_q \right] dt \quad (10)$$

Das equações (7) e (10) obtemos o diagrama de blocos de eixo "q" da máquina síncrona representados na fig. AN-3-3b.

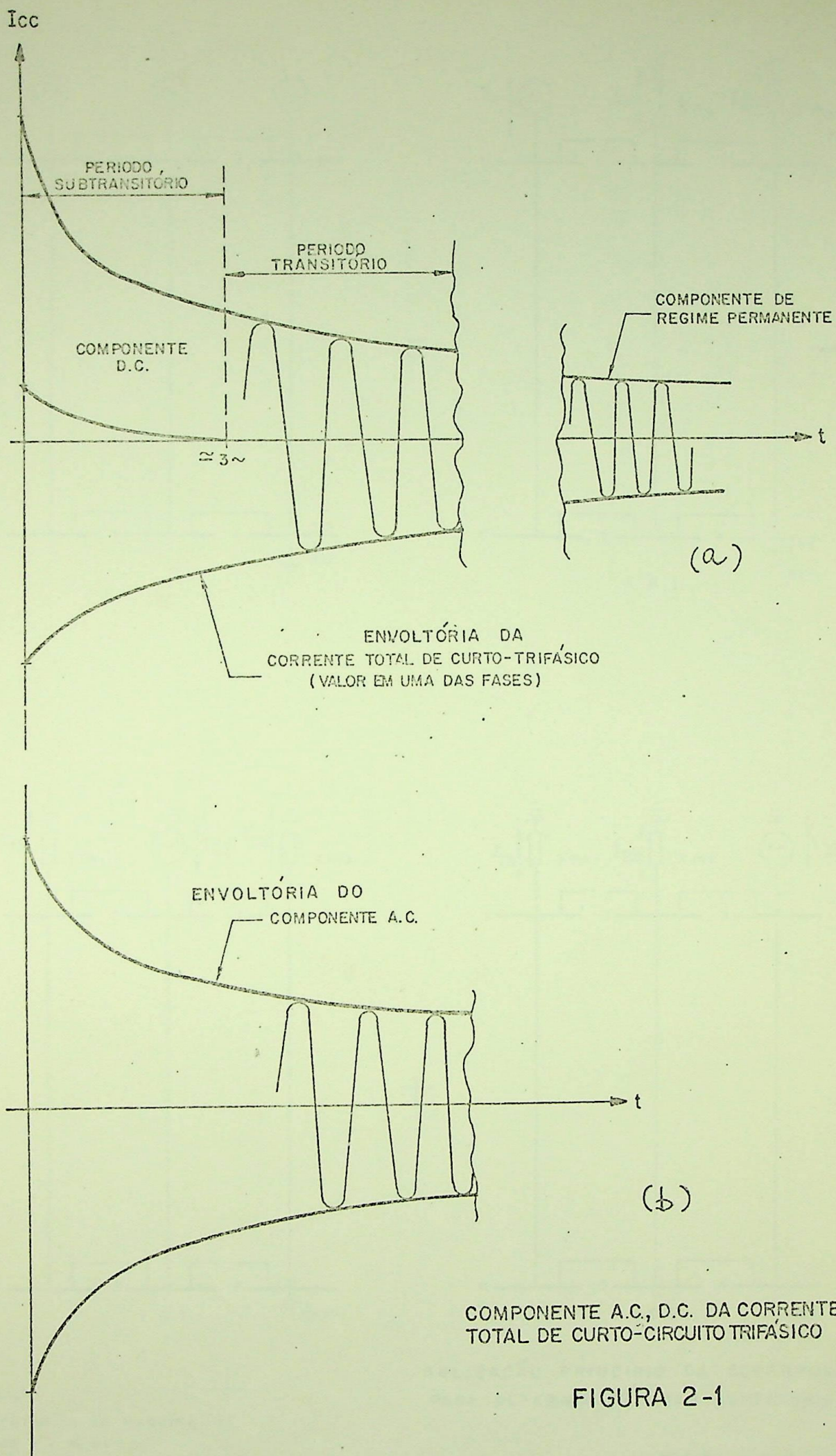
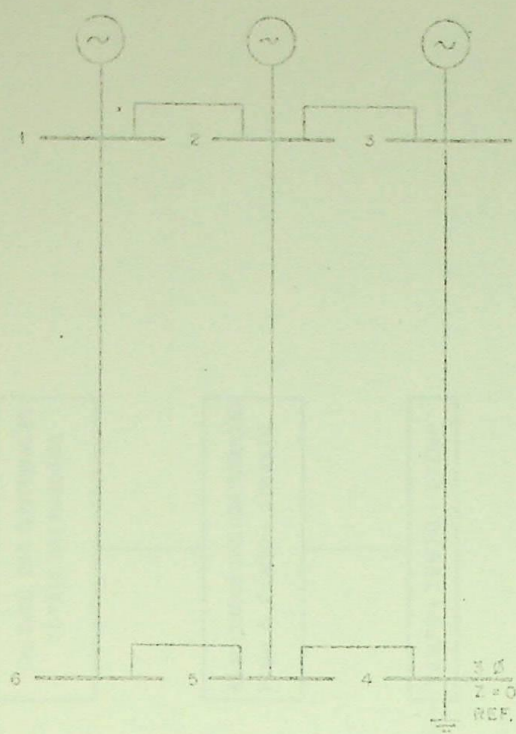
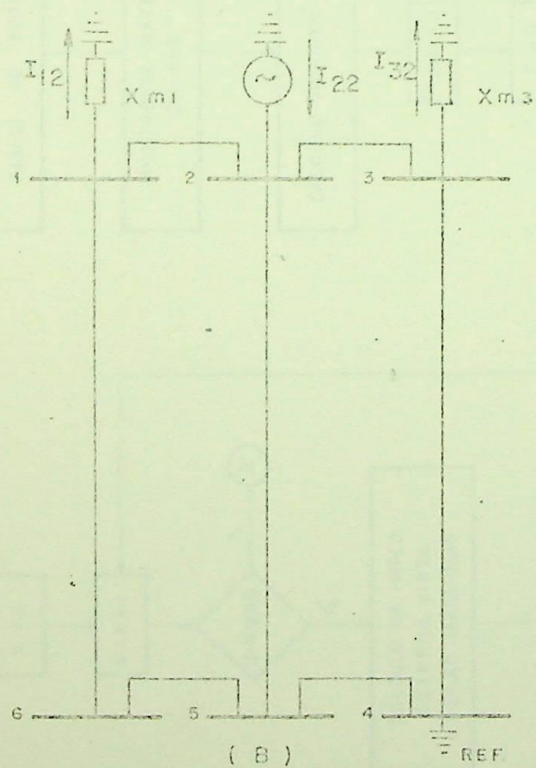
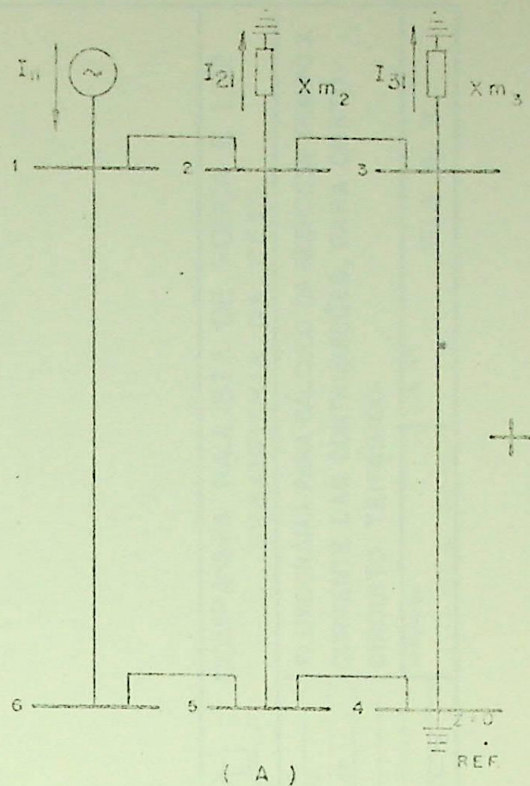


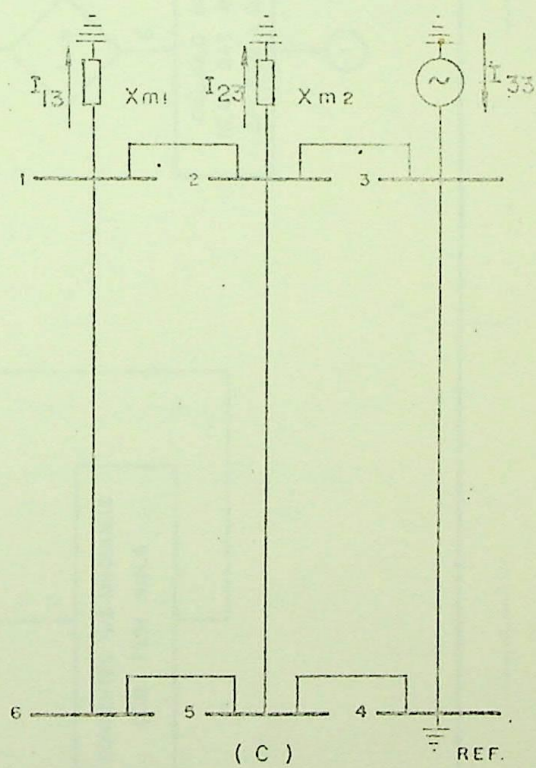
FIGURA 2-1



≡



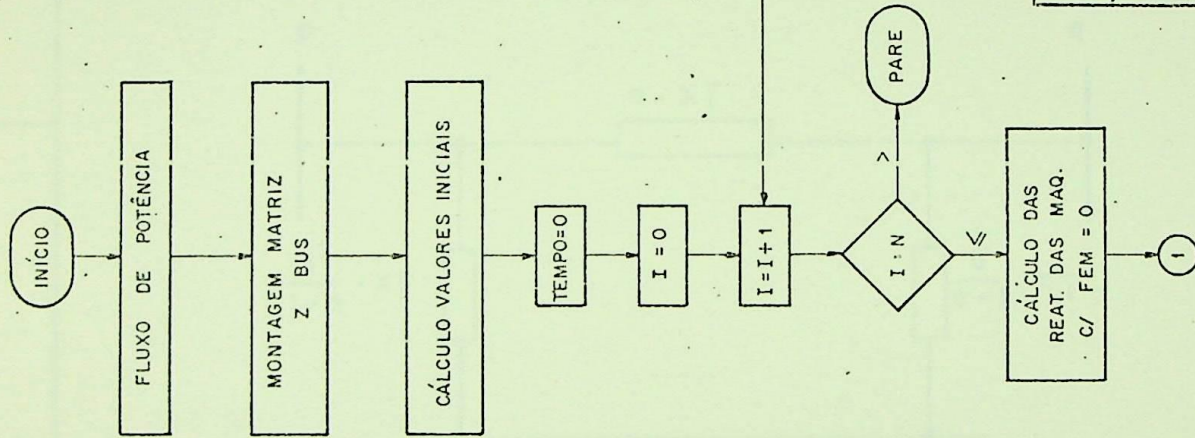
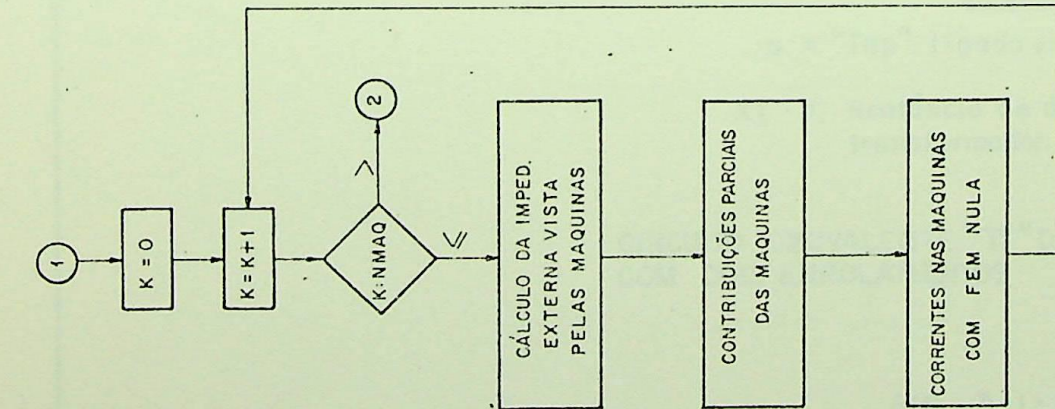
+



LEGENDA

X_{mi} - REATÂNCIA DA MÁQUINA "i"
COM F.E.M. NULA.

APLICAÇÃO PRINCÍPIO DA SUPERPOSIÇÃO
PARA DETERMINAÇÃO DAS CONTRIBUIÇÕES



LEGENDA

N = Nº INTERVALOS DE INTEGRAÇÃO

NMAQ = Nº DE MAQUINAS

DTEMP = INTERVALO DE INTEGRAÇÃO

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ
SUBSIDIÁRIA DA CESP

FLUXOGRAMA PARA CÁLCULO DA RESPOSTA TEMPO X
CORRENTE DAS CONTRIBUIÇÕES, PARA CURTO-
CIRCUITO TRIFÁSICO

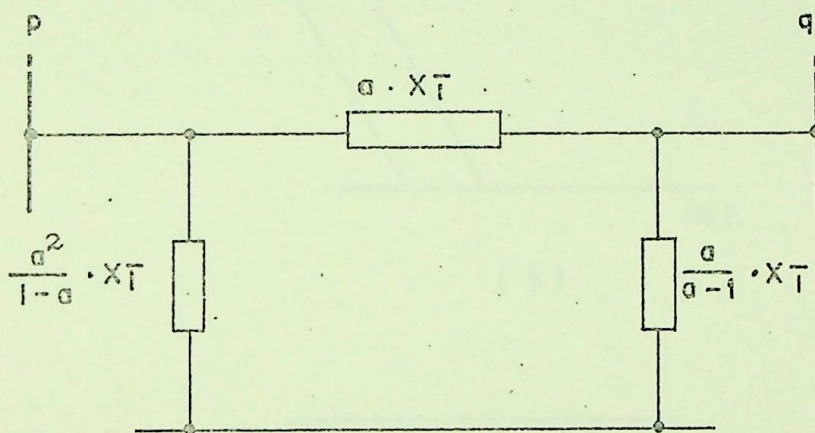
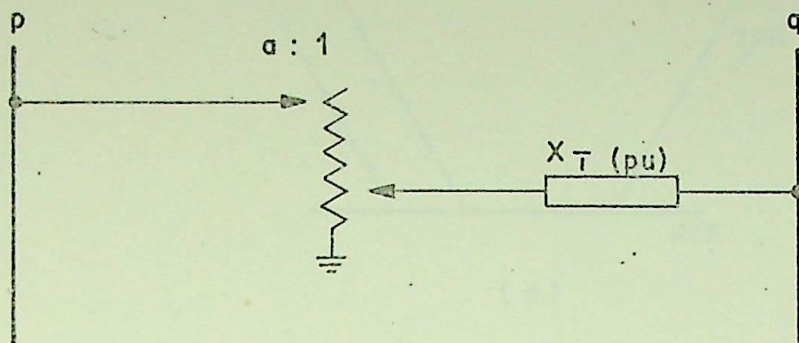
PROJETADO
DESENHADO
COPIADO CP
VERIF.
VISTO

APROVADO

CES. N.º

ESCALA
DATA 28-3-77

FIG 2-3



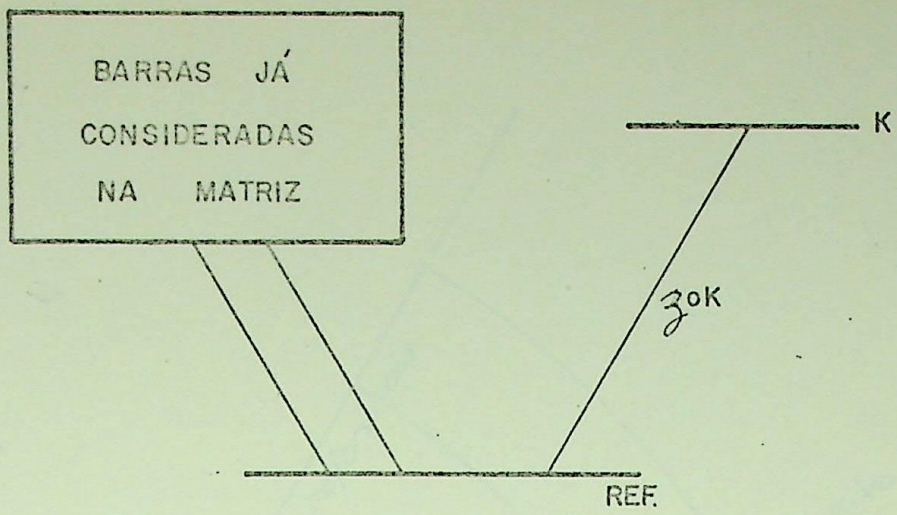
Legenda

a = "Tap" ligado em pu. do nominal

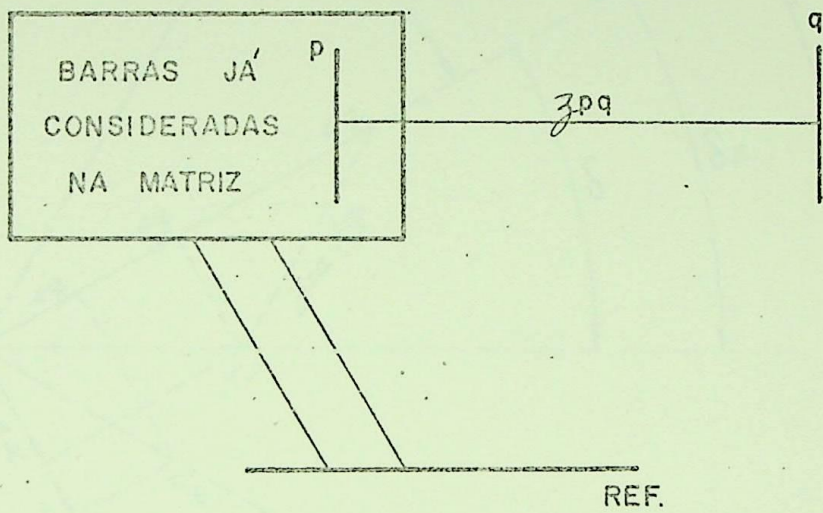
X_T = Reatância de dispersão do transformador. (p.u.)

CIRCUITO EQUIVALENTE "TT" DE TRANSFORMADOR
COM DOIS ENROLAMENTOS

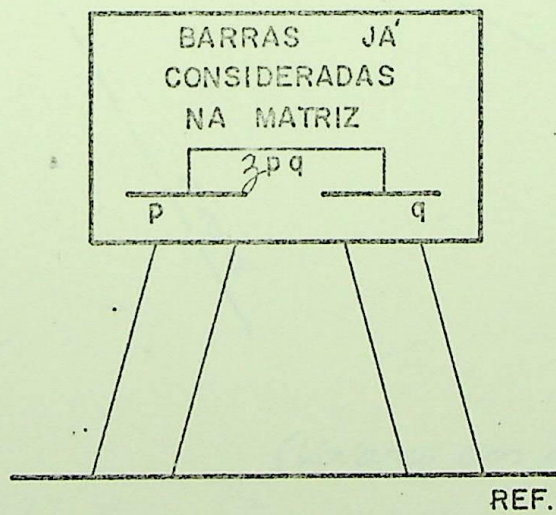
FIG. 3-1-2



(a)

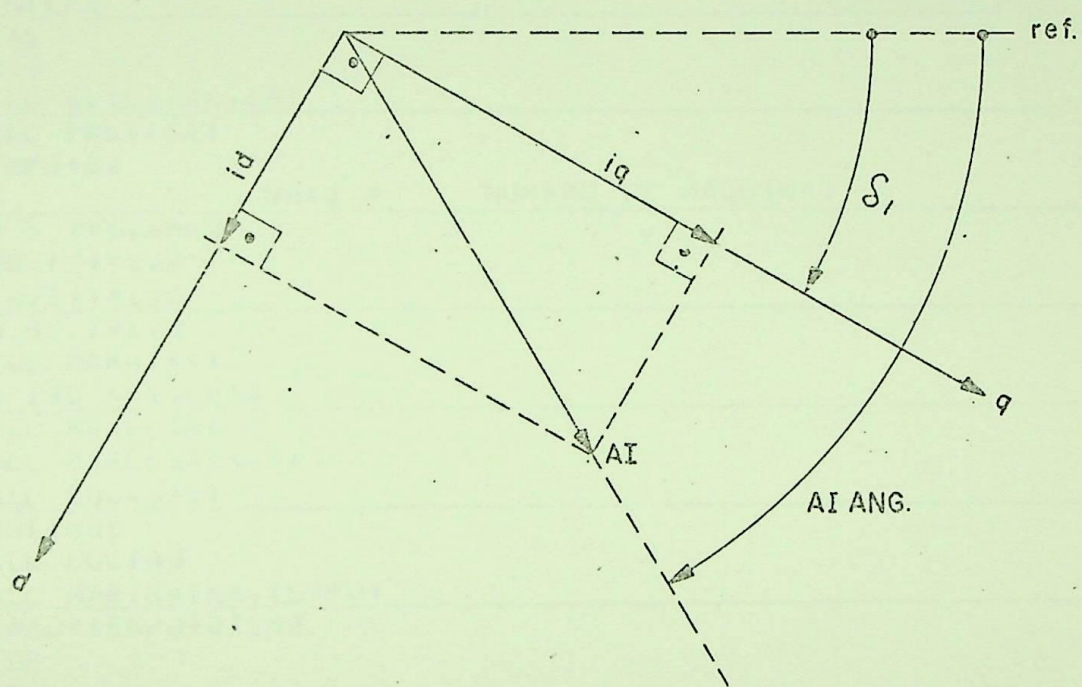


(b)



(c)

FIG. 3-1-4



DETERMINAÇÃO DAS CORRENTES DE EIXOS "d" e "q"

10N 74 1

05/350 FORTRAN H

```
FILE OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,
SOURCE,EBODIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NODEIT,NOLD,NXREF
C   CALCULO DE CURTO TRIFASICO RESPOSTA TEMPO X CORRENTE
C   *** FRANCISCO VACCARI ***
COMPLEX Z,S,ET,AMP,CXQ,EQC,REAT,ZLL,ZM,AIDQ,AIP,VM,AL,V,AICC,ZLNHA
*,ALINA,ZX
COMMON XD(10),XD1(10),XD2(10),XQ(10),XQ2(10),XL(10)
COMMON ID0(10),ID02(10),ID02(10),PL(10),Q(10),EIM(10),ALFAT(10)
COMMON R(20,10),X(20,10),RLNHA(20),XLNHA(20)
COMMON DELT(10),ED0(10),EQ(10),AID0(10),AIQ0(10)
COMMON BL(10),BL2(10),BL3(10),BL4(10),BL5(10),BL6(10)
COMMON SAID1(10),SAID2(10),SAID3(10),SOMA1(10),SOMA2(10),SOMA3(
10)
COMMON AIG(10),AID(10),AIMOD(20),AIANG(20)
COMMON VMDD(20),VAVG(20),XMAQ(10),AIDB(10),AIQQ(10)
COMMON AL(10,10),V(20),Z(20,10),ZLNHA(20),ZM(10,10),ZX(10,10)
COMMON SAD1(10),SAD2(10),SAD3(10),SOM1(10),SOM2(10),SOM3(10)
COMMON
      AIP(10,10),VM(10),REAT(10),ALINA(20)
COMMON N,NMAQ,NBARA,GRAUS,DTEMP,RE,XE,LB,NA,NMAX
C   LA,ALINA
      KK=5
      IM=5
      CALL ALICE(KK,IM)
      CALL FABI(KK)
      TEMPO=0.
C   NMAQ = NUMERO DE MAQUINAS
      DO 5 I=1,NMAQ
        AIDB(I)=1.0
        AIQQ(I)=1.0
      5
      DO 80 I=1,N
        CALL MARA(KK)
        DO 130 K=1,NMAQ
          CALL MARL(K)
          CALL MARCOS(K,K)
          CALL LUCAS(K)
        130
      CONTINUE
      CALL LUCIND
      CALL MARINA(KK,TEMPO)
      80
      TEMPO=TEMPO+DTEMP
      STOP
      END
```

```
FECT* NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,
FECT* SOURCE,EBODIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NODEIT,NOLD,NXREF
SOURCE STATEMENTS = 33 ,PROGRAM SIZE = 598
NO DIAGNOSTICS GENERATED
COMPILATION ***** 103K BYTES OF COR
```


C

```
2 FORMAT(5F10.5)
3 FORMAT(1H1,15X,'CALCULO DE CURTO CIRCUITO TRIFASICO',/22X,'RESPOSTA
  LA TEMPO CORRENTE',/15X,'IESE DE MESTRADO FRANCISCO VACCARI')
4 FORMAT(1//7/,21X,'NUMERO INTERVALOS INTEGRACAO =',13,21X,'INTERVALO
  2DE INTEGRACAO =',F10.5,'SEG',/21X,'NUMERO DE MAQUINAS
  3 =',13,721X,'BARRAS ADJACENTES AO CURTO =',13,721X,'CONVERSAR
  4RADIANOS5X6GRAUS =',F10.5,'MAX ITERACOES=',13)
5 FORMAT(10,10X,'MAQUINA NO',13,710X,'XD=',F10.5,2X,'XDI=',F10.5,'X
  LD2=',F10.5,2X,'XQ=',F10.5,2X,'XQ2=',F10.5,2X,'XL=',F10.5)
6 FORMAT(10X,'TD01=',F10.5,2X,'TD02=',F10.5,2X,'TQ02=',F10.5)
7 FORMAT(10(F8.4))
8 FORMAT(10,10X,'MATRIZ ZBARRA-RESISTENCIA PROPRIA E DE TRANSF. EN
  LTRE MAQUINAS',//)
9 FORMAT(10X,10(F8.4,2X))//)
10 FORMAT(10X,10X,'MATRIZ ZBARRA- REATANCIA PROPRIA E DE TRANSF. ENTRE
  LMAQUINAS',//)
11 FORMAT(10X,10X,'MATRIZ ZBARRA- RESIST. MUTUAS ENTRE BARRAS ADJACE.
  LAO CURTO E MAQUINAS',//)
12 FORMAT(10X,10X,'MATRIZ ZBARRA- REATANCIAS MUTUAS ENTRE BARRAS ADJA
  ICENTES AO CURTO E MAQUINAS',//)
13 FORMAT(10X,10X,'RESISTENCIA DAS LTS ENTRE BARRAS ADJAC AO CURTO E
  LBARRA EM CURTO',//)
14 FORMAT(10,10X,'REATANCIAS DAS LTS ENTRE BARRAS ADJAC AO CURTO E
  LBARRA EM CURTO',//)
  RETURN
  END
```

EFFECT* NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,
EFFECT* SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

SOURCE STATEMENTS = 63 ,PROGRAM SIZE = 3560

NO DIAGNOSTICS GENERATED

COMPILATION *****

83K BYTES OF CORE

JUN 74

DS/360 FORTRAN H

```

MPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,
SOURCE,EBODIC,NODELIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NODEFIT,NODED,NOXREF
SUBROUTINE FABL(KK)
C   CALCULOS DOS VALORES INICIAIS
   COMPLEX Z,S,PT,AMP,CXQ,EQC,REAT,ZLL,ZM,AIDQ,AIP,VM,AL,V,AICC,ZLNHA
*,ALNA,ZX
   COMMON XD(10),XD1(10),XD2(10),XQ(10),XQ2(10),XL(10)
   COMMON ID0(10),ID02(10),ID022(10),PI(10),QI(10),ETM(10),ALFAT(10)
   COMMON RI(20),RI1(20),RI2(20),RI22(20),XLNHA(20),XLNHA(20)
   COMMON DELT1(10),ED0(10),EQ0(10),AID0(10),AID02(10)
   COMMON BL1(10),BL2(10),BL3(10),BL4(10),BL5(10),BL6(10)
   COMMON SAID1(10),SAID2(10),SAID3(10),SOMA1(10),SOMA2(10),SOMA3(
10)
   COMMON AIQ(10),AID(10),AIMOD(20),AICANG(20)
   COMMON VMOD(20),VANG(20),XMAQ(10),AID01(10),AIQ0(10)
   COMMON AL(10,10),VI(20),Z(20,10),ZLNHA(20),ZM(10,10),ZX(10,10)
   COMMON SAD1(10),SAD2(10),SAD3(10),SOM1(10),SOM2(10),SOM3(10)
   COMMON AIP(10,10),VM(10),REAT(10),ALNA(20)
   COMMON N,NMAQ,NBARA,GRAUS,DTEMP,RE,XE,LE,NA,NMAX
C   *,ALNA
   DO 20 I=1,NMAQ
     S=CMPLX(PI(1),QI(1))
     ALFAT(1)=ALFAT(1)/GRAUS
     ETR=ETM(1)*COS(ALFAT(1))
     ETIM=ETM(1)*SIN(ALFAT(1))
     ET=CMPLX(ETR,ETIM)
     AMP=CONJG(S/ET)
     CXQ=CMPLX(0.,XQ(1))
     EQC=ET*AMP*CXQ
     DELT1(1)=ATAN2(AIMAG(EQC),REAL(EQC))
     DELT2=ATAN2(AIMAG(ET),REAL(ET))
     DELTA=DELT1(1)-DELT2
     ED0(1)=CABS(ET)*SIN(DELTA)
     EQ0(1)=CABS(ET)*COS(DELTA)
     DELT3=ATAN2(AIMAG(AMP),REAL(AMP))
     FI=DELT1(1)-DELT3
     AID0(1)=CABS(AMP)*SIN(FI)
     AIQ0(1)=CABS(AMP)*COS(FI)
     DELTA=DELTA*GRAUS
     DELT1(1)=DELT1(1)*GRAUS
     DELT2=DELT2*GRAUS
     DELT3=DELT3*GRAUS
     FI=FI*GRAUS
     WRITE(KK,151)
     WRITE(KK,15) DELT1(1),DELT2,DELT3,FI,DELTA
     WRITE(KK,17) AID0(1),AIQ0(1),ED0(1),EQ0(1)
C   CALCULOS PRELIMINARES
     BL1(1)=(XD1(1)-XD2(1))/(XD1(1)-XL1(1)**2)
     BL2(1)=XD1(1)-XL1(1)
     BL3(1)=(XD1(1)-XD2(1))/(XD1(1)-XL1(1))
     BL4(1)=XD1(1)-XD1(1)
     BL5(1)=XQ1(1)-XQ2(1)
     BL6(1)=(XD2(1)-XL1(1))/(XD1(1)-XL1(1))
     WRITE(KK,16) BL1(1),BL2(1),BL3(1),BL4(1),BL5(1),BL6(1)
     SAID1(1)=0.
     SAID2(1)=0.
     SAID3(1)=0.
     SOMA1(1)=0.

```

QUADRO 3-4

SOMA2(1)=0.

SOMA3(1)=0.

SAD1(1)=0.

SAD2(1)=0.

SAD3(1)=0.

SCM1(1)=0.

SOM2(1)=0.

SOM3(1)=0.

A1(1)=A1(0)

DEL1(1)=DEL1(1)/GRADUS

20 A1(1)=A1(0)

15 FORMAT(//LOX,'VALORES INICIAIS E CONSTANTES DOS DIAS, DE BLOCOS
LMAQUINA NO',I3,///)

16 FORMAT(LOX,'DELTA1=',F12.5,'DELTA2=',F12.5,'DELTA3=',F12.5,'FI=',F
12.5,'DELTA=',F12.5)

17 FORMAT(//LOX,'I00=',F12.5,'I00=',F12.5,'E00=',F12.5,'E00=',F12.5)

18 FORMAT(//LOX,'BL1=',F8.4,'BL2=',F8.4,'BL3=',F8.4,'BL4=',F8.4,'BL5=
1',F8.4,'BL6=',F8.4)

RETURN

END

* NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,

* SOURCE,EBCD(C,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NO*REF

SOURCE STATEMENTS = 63 ,PROGRAM SIZE = 2632

DIAGNOSTICS GENERATED

ILATION *****

91K BYTES OF CORE


```

C PILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,
      SOURCE,EBUDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NODEDIT,VOID,NOXREF
      SUBROUTINE NAKAIKKI
      CALCULO DA REATANCIA DAS MAQUINAS COM FEM NULAS
      COMPLEX Z,S,EI,AMP,CXQ,EQ,REAT,ZLL,ZM,AIDQ,AIP,VM,AI,V,AICD,ZLNHA
      *,AELNA,ZX
      COMMON XD(10),XD1(10),XD2(10),XQ(10),XQ2(10),XL(10)
      COMMON TD0(10),TD02(10),TD02(10),PI(10),Q(10),PTM(10),ALFAT(10)
      COMMON K(20,10),X(20,10),KLNHA(20),KLNHA(20)
      COMMON DELT(10),ED0(10),EQ0(10),AID0(10),AIDQ(10)
      COMMON BL(10),BL2(10),BL3(10),BL4(10),BL5(10),BL6(10)
      COMMON SAD1(10),SAD2(10),SAD3(10),SUM1(10),SUM2(10),SUM3(
10)
      COMMON AIQ(10),AID(10),AIMED(20),AIANG(20)
      COMMON VADD(20),VANG(20),XMAQ(10),AID0(10),AIQ(10)
      COMMON AI(10,10),V(20),Z(20,10),ZLNHA(20),ZM(10,10),ZX(10,10)
      COMMON SAD1(10),SAD2(10),SAD3(10),SUM1(10),SUM2(10),SUM3(10)
      COMMON AIQ(10,10),VM(10),REAT(10),AELNA(20)
      COMMON N,NMAQ,NBARA,GRAS,DTEMP,RE,XE,LB,NA,NMAX
      DO 100 L=1,NMAQ
      VA1=SAD2(L)*BL3(L)+SAD1(L)*BL6(L)
      EQ=VA1-XD2(L)*AID0(L)
      ED=XQ2(L)*AIQ(L)-SAD3(L)
      XMAQ(L)=(SQRT(EQ*EQ+ED*ED))/(SQRT(AID0(L)*AID0(L)+AIQ(L)*AIQ(L))
      *)
      WRITE(KK,32) L,XMAQ(L)
      VA3=SAD1(L)+BL4(L)*(AID0(L)+BL1(L)*(SAD1(L)-SAD2(L)-BL2(L)*AID0(L)
      *)
      ENTR1=VA3*(-1./TD01(L))
      ENTR2=(1./TD02(L))*(SAD1(L)-SAD2(L)-BL2(L)*AID0(L))
      ENTR3=(-1./TD02(L))*(SAD3(L)+BL5(L)*AIQ(L))
      A11=ENTR1*DTEMP
      A22=ENTR2*DTEMP
      A33=ENTR3*DTEMP
      SUM1(L)=SUM1(L)+A11
      SUM2(L)=SUM2(L)+A22
      SUM3(L)=SUM3(L)+A33
      SAD1(L)=SUM1(L)+A11/2.
      SAD2(L)=SUM2(L)+A22/2.
      SAD3(L)=SUM3(L)+A33/2.
100. CONTINUE
32  FORMAT(//10X,'REATANCIA DA MAQUINA',I4,' COM FEM NULA=',F8.4)
      RETURN
      END

```

```

FECT*      NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,
FECT*      SOURCE,EBUDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NODEDIT,VOID,NOXREF

SOURCE STATEMENTS =      37 ,PROGRAM SIZE =      1508

NO  DIAGNOSTICS GENERATED

COMPILATION *****      153K BYTES OF CORE

```



```

PILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=50,SIZE=3300K,
                SOURCE,EBCTIC,NOLIST,NIDECK,LOAD,NOMAP,NOLDT,NOIO,NOXREF
SUBROUTINE MARCUS(KK,KI)
C  CALCULO DAS CONTRIBUICOES PARCIAIS DAS MAQUINAS
  COMPLEX Z,S,ET,AMP,CXQ,EQC,REAT,ZLL,ZM,AIDQ,AIP,VM,AT,V,AICC,ZLNHA
*,A(LNA,ZX
  COMMON XD(10),XD1(10),XD2(10),XD3(10),XD4(10),XD5(10)
  COMMON IDO1(10),IDO2(10),IDO3(10),P(10),Q(10),ETM(10),ALFAT(10)
  COMMON KI(20,10),KI(20,10),KLNHA(20),KLNHA(20)
  COMMON DELT1(10),EDO1(10),EQO(10),AIDQ(10),AIDQ(10)
  COMMON BL1(10),BL2(10),BL3(10),BL4(10),BL5(10),BL6(10)
  COMMON SAID1(10),SAID2(10),SAID3(10),SUMA1(10),SUMA2(10),SUMA3(
110)
  COMMON AID(10),AID(10),ALMOD(20),ALANG(20)
  COMMON VMOD(20),VANG(20),XMAQ(10),AIDQ(10),AIDQ(10)
  COMMON A(10,10),V(20,10),Z(20,10),ZLNHA(20),ZM(10,10),ZX(10,10)
  COMMON SAD1(10),SAD2(10),SAD3(10),SUM1(10),SUM2(10),SUM3(10)
  COMMON AIP(10,10),VM(10),REAT(10),A(LNA(20)
  COMMON N,NMAQ,NBARA,GRASUS,DTEMP,RE,KE,LB,NA,NMAX
C  *,A(LNA
  VARI=SAID2(KI)*BL3(KI)+SAID1(KI)*BL6(KI)
  AK2=(1./1./RE*RE+XE*XE)
  AK1=(1./1./1.+AK2*XD2(KI)*XE)
  A=-AK1*AIDQ(KI)+AK2*AK2*(RE*(EDO(KI)-SAID3(KI))+XE*(EQO(KI)+VARI))
  B=AK1*AK2*XD2(KI)*RE
  AK3=(1./1./1.+AK2*XD2(KI)*XE)
  C=-AK3*AIDQ(KI)+AK3*AK2*(RE*(EQO(KI)+VARI)-XE*(EDO(KI)-SAID3(KI)))
  D=-AK3*AK2*XD2(KI)*RE
  WRITE(KK,11A,B,C,D)
1  FORMAT(10X,'A=',F10.4,'B=',F10.4,'C=',F10.4,'D=',F10.4)
  J=0
  XY=0.
  WZ=0.
  DIQ=XY
5  DID=A+B*DIQ
  DIQ=C+D*DIQ
  AA=ABS(DID-WZ)
  BB=ABS(DIQ-XY)
10 IF(AA-0.001)10,15,15
  IF(BB-0.001)10,15,15
15 WZ=DID
  XY=DIQ
  J=J+1
  IF(J-NMAX)5,5,17
17 WRITE(KK,21NMAX)
2  FORMAT(10X,'O NUMERO MAXIMO DE ITERACOES ',13,'FOI EXCEDIDO')
16 WRITE(KK,31DID,DIQ)
3  FORMAT(10X,'DID=',F10.4,'DIQ=',F10.4)
C
C
C
  AID(KI)=DID+AIDQ(KI)
  AID(KI)=DIQ+AIDQ(KI)
  WRITE(KK,20)K,AID(KI),AID(KI)
  WRITE(KK,33)K,RE,XE
  VAR3=SAID1(KI)+BL4(KI)*(DID+BL1(KI)*(SAID1(KI)-SAID2(KI)-BL2(KI)*DID))
  ENT1=VAR3*(1./IDO1(KI))
  ENT2=(1./IDO2(KI))*SAID1(KI)-SAID2(KI)-BL2(KI)*DID

```



```
ENT3=1-L./TQ02(K1)*[SAID3(K1)+D(Q*BL5(K1))
INTEGRACAO BACKWARD DIFFERENCE
A1=ENT1*DTMP
A2=ENT2*DTMP
A3=ENT3*DTMP
SOMA1(K1)=SOMA1(K1)+A1
SOMA2(K1)=SOMA2(K1)+A2
SOMA3(K1)=SOMA3(K1)+A3
SAID1(K1)=SOMA1(K1)+A1/2.
SAID2(K1)=SOMA2(K1)+A2/2.
SAID3(K1)=SOMA3(K1)+A3/2.
DEL1(K1)=DEL1(K1)/GRAUS
AIDQ=CMPLX(AID(K1),AIQ(K1))
GAMA1=ATAN2(AMAG(AIDQ),REAL(AIDQ))
GAMA2=GAMA1-3.1415/2.
GAMA3=DEL1(K1)+GAMA2
CURR=SQRT(AID(K1)*AID(K1)+AIQ(K1)*AIQ(K1))
AIR=CURR*COS(GAMA3)
AIM=CURR*SIN(GAMA3)
AIP(K,K1)=CMPLX(AIR,AIM)
AIMOD(K1)=CABS(AIP(K,K1))
AIANG(K1)=ATAN2(AMAG(AIP(K,K1)),REAL(AIP(K,K1)))
AIANG(K1)=AIANG(K1)*GRAUS
30 WRITE(IKK,21IK,AIR,AIM,AIMOD(K1),AIANG(K1))
33 FORMAT(//LOX,'RESISTENCIA VISTA PELA MAQUINA',14,'=',F8.4,'/LOX,'RE
LATANCIA=',15X,F8.4)
20 FORMAT(//LOX,'MAQUINA',13,'ID=',F8.4,'IQ=',F8.4)
21 FORMAT(//LOX,'MAQUINA',13,'IR=',F8.4,'IME=',F8.4,'IMOD=',F8.4,'IANG=
L',F8.4)
RETURN
END
```

```
LECT* NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,
LECT* SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NJID,NQXREF
SOURCE STATEMENTS = 76 ,PROGRAM SIZE = 3030
ID DIAGNOSTICS GENERATED
COMPILATION ***** 91K BYTES OF CORE
```



```

ILER OPTIONS - NAME= MAIN,DPT=00,LINECNT=50,SIZE=0000K,
                SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NODELT,NOLD,NOXREF
SUBROUTINE LUCASIKI
C   CALCULO DAS CORRENTES DAS MAQUINAS COM FEM NULAS
C
    COMPLEX Z,S,EI,AMP,CXQ,EQC,REAT,ZLL,ZM,AIDQ,AIP,VM,AI,V,AICC,ZLNH
    *,AILNA,ZX
    COMMON XD(10),XD1(10),XD2(10),XQ(10),XQ2(10),XL(10)
    COMMON ID01(10),ID02(10),IQ02(10),P(10),Q(10),BTM(10),ALFAT(10)
    COMMON RI(20,10),XI(20,10),RLNHA(20),XLNHA(20)
    COMMON DELT1(10),ED0(10),EQ0(10),AID0(10),AIQ0(10)
    COMMON BL1(10),BL2(10),BL3(10),BL4(10),BL5(10),BL6(10)
    COMMON SAID1(10),SAID2(10),SAID3(10),SOM1(10),SOM2(10),SOM3(
    110)
    COMMON AIQ(10),AID(10),ALMOD(20),ALANG(20)
    COMMON VMOD(20),VANG(20),XMAQ(10),AIDD(10),AIDQ(10)
    COMMON AI(10,10),V(20),Z(20,10),ZLNHA(20),ZM(10,10),ZX(10,10)
    COMMON SAD1(10),SAD2(10),SAD3(10),SOM1(10),SOM2(10),SOM3(10)
    COMMON
        AIP(10,10),VM(10),REAT(10),AILNA(20)
    COMMON N,NMAQ,NBARA,GR AUS,DTEMP,RE,XE,LB,NA,NMAX
C   *,AILNA
    DO 800 JM=1,NMAQ
    IF(JM-NI*810,800,810)
810   VM(JM)=AIP(K,K)*ZM(JM,K)
        A(P(JM,K))=-VM(JM)/REAT(JM)
        AIPMD=CABS(AIP(JM,K))
C   WRITE(15,1) AIPMD
C   1 FORMAT(17BOX,'MODULO DE CORRENTE DO GERADOR NA SUB LUCAS',F14.5)
800   CONTINUE
    RETURN
    END

```

ICT* NAME= MAIN,DPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,

ICT* SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NODELT,NOLD,NOXREF

SOURCE STATEMENTS = 22 ,PROGRAM SIZE = 694

DIAGNOSTICS GENERATED

IMPLICATION *****

103K BYTES OF CO


```

C  TITLE: OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,
      SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NUDECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF
      SUBROUTINE LUCIND
C  CALCULO DAS CONTRIBUICOES TOTAIS DAS MAQUINAS
      COMPLEX Z,S,ET,AMP,CXQ,EQ,REAT,ZLL,ZM,AIDQ,AIP,VM,AI,V,AICQ,ZLNH
      *,AILNA,ZX
      COMMON XD(10),XD1(10),XD2(10),XQ(10),XQ2(10),XL(10)
      COMMON IDU1(10),IDU2(10),IQ2(10),PI(10),QI(10),ETM(10),ALFAT(10)
      COMMON RI(20,10),XI(20,10),RLNHA(20),XLNHA(20)
      COMMON DEL1(10),ED0(10),EQ0(10),AID0(10),AIQ0(10)
      COMMON BL1(10),BL2(10),BL3(10),BL4(10),BL5(10),BL6(10)
      COMMON SAID1(10),SAID2(10),SAID3(10),SOMA1(10),SOMA2(10),SOMA3(
1101
      COMMON AIQ(10),AID(10),AIMCD(20),AIANG(20)
      COMMON VMOD(20),VANG(20),XMAQ(10),AID0(10),AIQ0(10)
      COMMON AI(10,10),VI(20,10),Z(20,10),ZLNHA(20),ZM(10,10),ZX(10,10)
      COMMON SAD1(10),SAD2(10),SAD3(10),SOM1(10),SOM2(10),SOM3(10)
      COMMON
      AIP(10,10),VM(10),REAT(10),AILNA(20)
      COMMON N,NMAQ,NBARA,GRASUS,DTEMP,RE,XE,LB,NA,NMAX
C  *,AILNA
      DO 820 JM=1,NMAQ
      AI(JM,10)=CMPLX(0.,0.)
C  AIMAG(AI(JM,10))=0.
      DO 830 JI=1,NMAQ
830  AI(JM,10)=AI(JM,10)+AIP(JM,10)
      AIMOD(JM)=CABS(AI(JM,10))
      AIANG(JM)=ATAN2(AIMAG(AI(JM,10)),REAL(AI(JM,10)))
      XX=DEL1(JM)-AIANG(JM)
      AID0(JM)=AIMOD(JM)*SIN(XX)
      AIQ0(JM)=AIMOD(JM)*COS(XX)
      AIANG(JM)=AIANG(JM)*GRASUS
820  CONTINUE
      RETURN
      END

```

ECT* NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,

ECT* SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NUDECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

SOURCE STATEMENTS = 27 ,PROGRAM SIZE = 972

0 DIAGNOSTICS GENERATED

OMP ILATION *****

103K BYTES OF CD

QUADRO 3-11


```

28 FORMAT( /LOX,'BARRA NO',I4,5X,'MODULO',F8.4,5X,'ANGULO',F8.4,'GRAU
   15')
29 FORMAT(///LOX,'TENSÃO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO')
30 FORMAT(/LOX,'BARRA NO',I4,5X,'MODULO',F8.4,5X,'ANGULO',F8.4,'GRAUS'
   1)
31 FORMAT(///LOX,'CORRENTE DE CURTO TOTAL',/LOX,'TEMPO',F8.4,5X,'MODU
   1LO',F8.4,5X,'ANGULO',F8.4,'GRAUS',IHL)
   RETURN
   END

```

```
*      NAME=  MAIN,DPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,
```

```
*      SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NODEIT,NODED,NOMREF
```

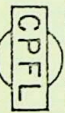
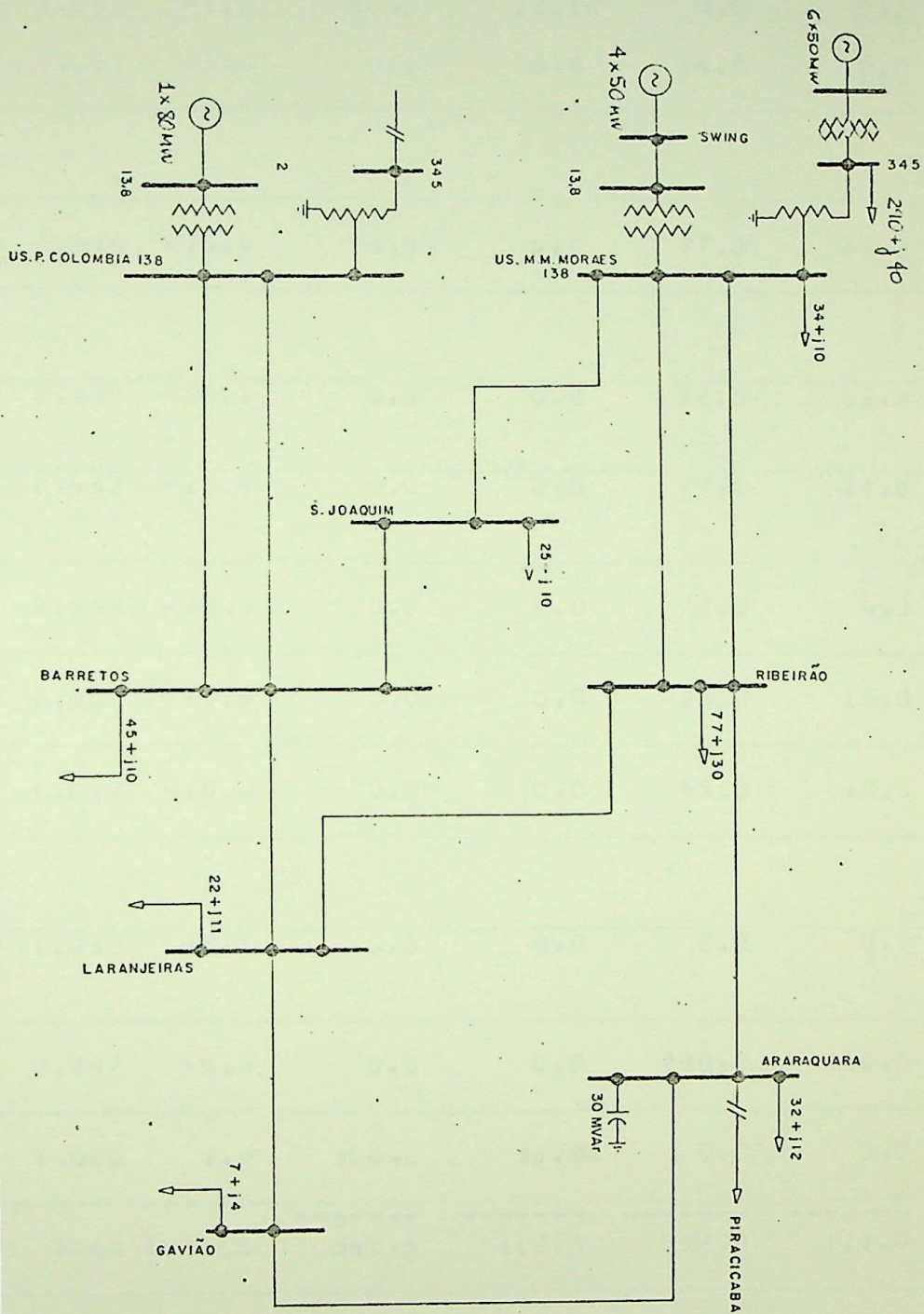
```
SOURCE STATEMENTS =      55 ,PROGRAM SIZE =      2578
```

```
DIAGNOSTICS GENERATED
```

```
ILATION *****
```

```
91K BYTES OF CORE NO
```

```
DIAGNOSTICS THIS STEP
```

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ
SUBSIDIÁRIA DA CESP

CARGAS: JULHO/74

PROJETADO
DESENHADO
COPIADO
VERIF.
VISTO
ESCALA
DATA

APROVADO

DES. N.º
ILUSTRAÇÃO: 4-1

LOAD FLOW - FRANCISCO VALLARTA

REPORT OF POWER FLOW CALCULATIONS FOR AREA 1.

X-----BUS DATA-----X								
BUS	NAME	VOLTS	ANGLE	X--GENERATION--X		X-----LOAD-----X		CAP/REAC
				MW	MVAR	MW	MVAR	MVAR
1	MMORAES13.88	1.000	0.0	151.5	60.9	0.0	0.0	
2	P.COLUMB13.8	1.000	-1.5	30.0	12.5R	0.0	0.0	
3	MMORAES138	1.017	-5.6	0.0	0.0	34.0	10.0	
4	RIBEIRAD138	0.974	-15.4	0.0	0.0	77.0	30.0	
5	ARARAQUAR138	0.995	-20.1	0.0	0.0	32.0	12.0	39.6
6	LARANJE 138	0.982	-15.4	0.0	0.0	22.0	11.0	
7	SAVIAD 138	0.989	-18.9	0.0	0.0	7.0	4.0	
8	S. JOAQUIM138	1.003	-9.9	0.0	0.0	25.0	10.0	
9	BARRETUS138	1.017	-10.7	0.0	0.0	45.0	10.0	
10	P.COLUMB138	1.038	-8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	
11	MMORAES345	0.992	-5.3	0.0	0.0	290.0	40.0	
12	MMORAES13.8A	1.000	1.9	300.0	33.9R	0.0	0.0	
AREA TOTALS				541.5	112.3	532.0	127.0	39.6

SOLUTION TIME 3.07 SECONDS
TOTAL TIME 8.00 SECONDS

LINE DATA (PERCENT Z)

TYPE	FROM BUS	TO BUS	LEN	RL	XL
ADDITION	12	11	0		4.11
ADDITION	11	3	0		6.53
ADDITION	3	1	0		6.22
ADDITION	4	3	0	8.04	31.75
ADDITION	4	3	0	8.04	31.75
ADDITION	3	8	0	8.58	24.45
ADDITION	3	9	0	7.54	21.49
ADDITION	9	10	0	4.54	12.55
ADDITION	9	10	0	4.54	12.55
ADDITION	10	2	0		14.70
ADDITION	9	5	0	9.59	25.72
ADDITION	5	7	0	5.55	15.04
ADDITION	7	5	0	5.05	10.26
ADDITION	4	5	0	15.12	25.34
ADDITION	4	5	0	5.38	13.41
ADDITION	4	13	0		1.00
ADDITION	0	13	0		-1.00
ADDITION	0	3	0		-1292.00
ADDITION	0	4	0		-1185.00
ADDITION	0	4	0		-2371.00
ADDITION	0	5	0		-227.05
ADDITION	0	4	0		-4743.00
ADDITION	0	6	0		-4821.00
ADDITION	0	5	0		-1753.00
ADDITION	0	9	0		-1880.00
ADDITION	0	9	0		-2955.00
ADDITION	0	8	0		-2874.00
ADDITION	0	8	0		-2515.00
ADDITION	0	3	0		-2585.00
ADDITION	0	9	0		-2063.00
ADDITION	0	10	0		-2154.00
ADDITION	0	6	0		-4821.00
ADDITION	0	7	0		-4890.00
ADDITION	0	7	0		-5520.00
ADDITION	0	5	0		-5500.00
ADDITION	0	3	0		-130.10
ADDITION	0	10	0		-308.70
ADDITION	0	1	0		123.90
ADDITION	0	2	0		294.00
ADDITION	0	3	0	279.98	82.35
ADDITION	0	4	0	105.97	41.68
ADDITION	0	5	0	271.24	101.71
ADDITION	0	6	0	350.65	175.33
ADDITION	0	7	0	1053.35	501.92
ADDITION	0	3	0	345.90	138.76
ADDITION	0	7	0	219.03	48.57
ADDITION	0	11	0	33.30	4.59

CALCULO DE CURTO CIRCUITO TRIFASICO
 RESPOSTA TEMPO CORRENTE
 IESE DE MESTRADO FRANCISCO VACCARI

NUMERO INTERVALOS INTEGRACAO = 20
 NUMERO DE MAQUINAS = 3
 BARRAS ADJACENTES AO CURTO = 3
 CONVERSACAO RADIANOS GRAUS = 57.29578MAX ITERACOES = 100
 INTERVALO DE INTEGRACAO = 0.010000000

MAQUINA NO 1

XD= 0.29000 XD1= 0.10200XD2= 0.08000 XQ= 0.24500 XQ2= 0.09400 XL= 0.08000
 POTENCIA ATIVA = 3.00000 POTENCIA REATIVA = 0.39900

MODULO DA TENSAO TERMINAL 1.00000 ANGULO= 1.9000000GRAUUS

ID01= 4.35000 ID02= 0.05500 ID02= 0.05500

MAQUINA NO 2

XD= 0.50200 XD1= 0.17800XD2= 0.14100 XQ= 0.50200 XQ2= 0.14200 XL= 0.14100
 POTENCIA ATIVA = 1.61500 POTENCIA REATIVA = 0.60900

MODULO DA TENSAO TERMINAL 1.00000 ANGULO= 0.0 GRAUUS

ID01= 7.28000 ID02= 0.08000 ID02= 0.08000

MAQUINA NO 3

XD= 0.25900 XD1= 0.08000XD2= 0.06900 XQ= 0.17900 XQ2= 0.05300 XL= 0.06900
 POTENCIA ATIVA = 0.80000 POTENCIA REATIVA = 0.12500

MODULO DA TENSAO TERMINAL 1.00000 ANGULO= -1.6000000GRAUUS

ID01= 3.50000 ID02= 0.05300 ID02= 0.05300

MATRIZ ZBARRA-RESISTENCIA PROPRIA E DE TRANSF. ENTRE MAQUINAS

0.0910	0.0673	0.0348	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0673	0.0529	0.0292	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0348	0.0292	0.1259	0.0	0.0	0.0	0.0

MATRIZ ZBARRA- REATANCIA PROPRIA E DE TRANSF. ENTRE MAQUINAS

0.1595	0.0703	0.0265	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0703	0.1401	0.0323	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0265	0.0323	0.3900	0.0	0.0	0.0	0.0

DE TRANSF.

MATRIZ ZBARRA- RESIST. MUTUA ENTRE BARRAS ADJACE. AO CURTO E MAQU

0.0706	0.0555	0.0305	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0074	0.0066	0.0269	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0128	0.0109	0.0405	0.0	0.0	0.0	0.0

DE TRANSF.

MATRIZ ZBARRA- REATANCIA MUTUA ENTRE BARRAS ADJACENTES AO CURTO E

0.0738	0.0851	0.0339	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0036	0.0043	0.0314	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0038	0.0109	0.0661	0.0	0.0	0.0	0.0

RESISTENCIA DAS LTS ENTRE BARRAS ADJAC AO CURTO E BARRA EM CURTO

0.0402	0.1612	0.0538
--------	--------	--------

REATANCIA DAS LTS ENTRE BARRAS ADJAC AO CURTO E BARRA EM CURTO

0.1587	0.2634	0.1841
--------	--------	--------

MATRIZ ZBARRA-RESISTENCIA PROPRIA E DE TRANSF. ENTRE MAQUINAS

0.0115	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.1338	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

MATRIZ ZBARRA- REATANCIA PROPRIA E DE TRANSF. ENTRE MAQUINAS

0.1026	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0590	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.3998	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

DE TRANSF.

MATRIZ ZBARRA- RESIST. ~~PROPRIA~~ ENTRE BARRAS ADJACE. AO CURTO E MAQUINAS

0.0115	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0370	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0651	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

DE TRANSF.

MATRIZ ZBARRA- REATANCIAS ~~PROPRIAS~~ ENTRE BARRAS ADJACENTES AO CURTO E MAQUINAS

0.0615	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0590	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0521	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.1096	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

RESISTENCIA DAS LTS ENTRE BARRAS ADJAC AO CURTO E BARRA EM CURTO

0.0	0.0	0.0402	0.0658
-----	-----	--------	--------

REATANCIAS DAS LTS ENTRE BARRAS ADJAC AO CURTO E BARRA EM CURTO

0.0653	0.0590	0.1587	0.2445
--------	--------	--------	--------

RESULTADOS-NO INTERV. DE INTEGRACAO= 20 TEMPO = 0.0

CONTRIBUICAO DAS MAQUINAS

BARRA NO 1 MODULO 3.2067ANGULO-39.2130GRAUS

BARRA NO 2 MODULO 2.6015ANGULO-62.3154GRAUS

BARRA NO 3 MODULO 1.5973ANGULO-70.2258GRAUS

CONTRIBUICAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO 4 MODULO 4.0056 ANGULO-76.8724GRAUS

BARRA NO 5 MODULO 0.3670 ANGULO-78.6190GRAUS

BARRA NO 6 MODULO 1.0954 ANGULO-82.1335GRAUS

TENSAO DAS BARRAS DE GERACAO

BARRA NO 1 MODULO 0.8577 ANGULO 5.9475GRAUS

BARRA NO 2 MODULO 0.7630 ANGULO 4.4542GRAUS

BARRA NO 3 MODULO 0.9048 ANGULO -0.8133GRAUS

TENSAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO 4 MODULO 0.5558 ANGULO -1.0370GRAUS

BARRA NO 5 MODULO 0.1133 ANGULO-20.0555GRAUS

BARRA NO 6 MODULO 0.2134 ANGULO-11.2473GRAUS

CORRENTE DE CURTO TOTAL
TEMPO 0.0 MODULO 5.4644 ANGULO-78.0430GRAUS

RESULTADOS-NO INTERV. DE INTEGRACAO= 20 TEMPO = 0.0100

CONTRIBUICAO DAS MAQUINAS

BARRA NO 1 MODULO 3.0578ANGULO-34.21093GRAUS

BARRA NO 2 MODULO 2.4896ANGULO-53.44273GRAUS

BARRA NO 3 MODULO 1.6162ANGULO-70.8903GRAUS

CONTRIBUICAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO 4 MODULO 3.8359 ANGULO-71.06753GRAUS

BARRA NO 5 MODULO 0.3621 ANGULO-76.32433GRAUS

BARRA NO 6 MODULO 1.0806 ANGULO-79.82583GRAUS

TENSAO DAS BARRAS DE GERACAO

BARRA NO 1 MODULO 0.8230 ANGULO 12.45016GRAUS

BARRA NO 2 MODULO 0.7274 ANGULO 10.81833GRAUS

BARRA NO 3 MODULO 0.9042 ANGULO 0.58573GRAUS

TENSAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO 4 MODULO 0.6230 ANGULO 4.71303GRAUS

BARRA NO 5 MODULO 0.1118 ANGULO-17.79083GRAUS

BARRA NO 6 MODULO 0.2106 ANGULO -8.94063GRAUS

CORRENTE DE CURTO TOTAL
TEMPO 0.0100 MODULO 5.2682 ANGULO-73.21853GRAUS

RESULTADOS-NO INTERV. DE INTEGRACAO= 20 TEMPO = 0.0200

CONTRIBUICAO DAS MAQUINAS

BARRA NO 1 MODULO 3.0602ANGULO-33.4613GRAUS

BARRA NO 2 MODULO 2.4801ANGULO-51.4028GRAUS

BARRA NO 3 MODULO 1.6062ANGULO-71.0389GRAUS

CONTRIBUICAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO 4 MODULO 3.8260 ANGULO-69.8725GRAUS

BARRA NO 5 MODULO 0.3603 ANGULO-75.8894GRAUS

BARRA NO 6 MODULO 1.0752 ANGULO-79.3902GRAUS

TENSAO DAS BARRAS DE GERACAO

BARRA NO 1 MODULO 0.8231 ANGULO 13.5525GRAUS

BARRA NO 2 MODULO 0.7244 ANGULO 12.1602GRAUS

BARRA NO 3 MODULO 0.9001 ANGULO 0.7962GRAUS

TENSAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO 4 MODULO 0.6264 ANGULO 5.9129GRAUS

BARRA NO 5 MODULO 0.1113 ANGULO-17.3559GRAUS

BARRA NO 6 MODULO 0.2095 ANGULO -8.5041GRAUS

CORRENTE DE CURTO TOTAL

TEMPO 0.0200 MODULO 5.2492 ANGULO-72.2261GRAUS

RESULTADOS-NO INTERV. DE INTEGRAÇÃO= 20 TEMPO = 0.0300

CONTRIBUIÇÃO DAS MÁQUINAS

BARRA NO	1	MÓDULO	3.0475	ÂNGULO-32.3026	GRAUS
BARRA NO	2	MÓDULO	2.4583	ÂNGULO-48.9021	GRAUS
BARRA NO	3	MÓDULO	1.6053	ÂNGULO-71.2441	GRAUS

CONTRIBUIÇÃO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO	4	MÓDULO	3.8054	ÂNGULO-68.3195	GRAUS
BARRA NO	5	MÓDULO	0.3590	ÂNGULO-75.2802	GRAUS
BARRA NO	6	MÓDULO	1.0715	ÂNGULO-78.7785	GRAUS

TENSÃO DAS BARRAS DE GERAÇÃO

BARRA NO	1	MÓDULO	0.8203	ÂNGULO 14.9999	GRAUS
BARRA NO	2	MÓDULO	0.7195	ÂNGULO 13.8876	GRAUS
BARRA NO	3	MÓDULO	0.8988	ÂNGULO 1.1532	GRAUS

TENSÃO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO	4	MÓDULO	0.6230	ÂNGULO 7.4659	GRAUS
BARRA NO	5	MÓDULO	0.1109	ÂNGULO-15.7467	GRAUS
BARRA NO	6	MÓDULO	0.2088	ÂNGULO -7.8923	GRAUS

CORRENTE DE CURTO TOTAL

TEMPO	0.0300	MÓDULO	<u>5.2209</u>	ÂNGULO-70.9326	GRAUS
-------	--------	--------	---------------	----------------	-------

RESULTADOS-NO INTERV. DE INTEGRACAO= 20 TEMPO = 0,0400

CONTRIBUICAO DAS MAQUINAS

BARRA NO 1 MODULO 3.0433ANGULO-31.5315GRAUS

BARRA NO 2 MODULO 2.4626ANGULO-47.2149GRAUS

BARRA NO 3 MODULO 1.5029ANGULO-71.3788GRAUS

CONTRIBUICAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO 4 MODULO 3.7946 ANGULO-67.2705GRAUS

BARRA NO 5 MODULO 0.3581 ANGULO-74.3836GRAUS

BARRA NO 6 MODULO 1.0585 ANGULO-78.3503GRAUS

TENSAO DAS BARRAS DE GERACAO

BARRA NO 1 MODULO 0.8192 ANGULO 15.9819GRAUS

BARRA NO 2 MODULO 0.7167 ANGULO 15.0541GRAUS

BARRA NO 3 MODULO 0.8973 ANGULO 1.3705GRAUS

TENSAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO 4 MODULO 0.5212 ANGULO 8.5150GRAUS

BARRA NO 5 MODULO 0.1106 ANGULO-16.3502GRAUS

BARRA NO 6 MODULO 0.2032 ANGULO -7.4941GRAUS

CORRENTE DE CURTO TOTAL

TEMPO 0.0400 MODULO 9.2042 ANGULO-70.0607GRAUS

RESULTADOS-NO INTERV. DE INTEGRACAO= 20 TEMPO = 0.0500

CONTRIBUICAO DAS MAQUINAS

BARRA NO 1 MODULO 3.0416ANGULO-30.9299GRAUS

BARRA NO 2 MODULO 2.4615ANGULO-45.9563GRAUS

BARRA NO 3 MODULO 1.6005ANGULO-71.4737GRAUS

CONTRIBUICAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO 4 MODULO 3.7890 ANGULO-66.4702GRAUS

BARRA NO 5 MODULO 0.3573 ANGULO-74.5752GRAUS

BARRA NO 6 MODULO 1.0664 ANGULO-78.0706GRAUS

TENSAO DAS BARRAS DE GERACAO

BARRA NO 1 MODULO 0.8139 ANGULO 16.7325GRAUS

BARRA NO 2 MODULO 0.7153 ANGULO 15.9423GRAUS

BARRA NO 3 MODULO 0.8961 ANGULO 1.5411GRAUS

TENSAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO 4 MODULO 0.6203 ANGULO 9.3153GRAUS

BARRA NO 5 MODULO 0.1104 ANGULO-15.0417GRAUS

BARRA NO 6 MODULO 0.2073 ANGULO -7.1845GRAUS

CORRENTE DE CURTO TOTAL

TEMPO 0.0500 MODULO 5.1942 ANGULO-69.3926GRAUS1

RESULTADOS-NO INTERV. DE INTEGRAÇÃO= 20 TEMPO = 0.1000

CONTRIBUICAO DAS MAQUINAS

BARRA NO	1	MODULO	3.0461	ANGULO-29.5892GRAUS
BARRA NO	2	MODULO	2.4750	ANGULO-43.4640GRAUS
BARRA NO	3	MODULO	1.5896	ANGULO-71.6659GRAUS

CONTRIBUICAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO	4	MODULO	3.7399	ANGULO-64.7794GRAUS
BARRA NO	5	MODULO	0.3555	ANGULO-73.9007GRAUS
BARRA NO	6	MODULO	1.0611	ANGULO-77.3937GRAUS

TENSAO DAS BARRAS DE GERACAO

BARRA NO	1	MODULO	0.8205	ANGULO 18.3305GRAUS
BARRA NO	2	MODULO	0.7152	ANGULO 17.8056GRAUS
BARRA NO	3	MODULO	0.8919	ANGULO 1.9074GRAUS

TENSAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO	4	MODULO	0.5205	ANGULO 11.0061GRAUS
BARRA NO	5	MODULO	0.1098	ANGULO-15.3672GRAUS
BARRA NO	6	MODULO	0.2067	ANGULO -6.5076GRAUS

CORRENTE DE CURTO TOTAL				
TEMPO	0.1000	MODULO	<u>5.1845</u>	ANGULO-67.9649GRAUS

RESULTADOS-NO INTERV. DE INTEGRACAO= 20 TEMPO = 0.1500

CONTRIBUICAO DAS MAQUINAS

BARRA NO	1	MODULO	3.0487	ANGULO-29.3421	GRAUS
BARRA NO	2	MODULO	2.4859	ANGULO-43.2046	GRAUS
BARRA NO	3	MODULO	1.5814	ANGULO-71.6595	GRAUS

CONTRIBUICAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO	4	MODULO	3.7954	ANGULO-64.5239	GRAUS
BARRA NO	5	MODULO	0.3547	ANGULO-73.7541	GRAUS
BARRA NO	6	MODULO	1.0585	ANGULO-77.2569	GRAUS

TENSAO DAS BARRAS DE GERACAO

BARRA NO	1	MODULO	0.8216	ANGULO 18.5759	GRAUS
BARRA NO	2	MODULO	0.7155	ANGULO 13.0785	GRAUS
BARRA NO	3	MODULO	0.8891	ANGULO 1.9836	GRAUS

TENSAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO	4	MODULO	0.6214	ANGULO 11.2515	GRAUS
BARRA NO	5	MODULO	0.1095	ANGULO-15.2307	GRAUS
BARRA NO	6	MODULO	0.2053	ANGULO -6.3708	GRAUS

CORRENTE DE CURTO TOTAL

TEMPO 0.1500 MODULO 5.1853 ANGULO-67.7326 GRAUS

RESULTADOS-NO INTERV. DE INTEGRACAO= 20 TEMPO = 0.1900

CONTRIBUICAO DAS MAQUINAS

BARRA NO 1 MODULO 3.0472ANGULO-29.3351GRAUS

BARRA NO 2 MODULO 2.4890ANGULO-43.2936GRAUS

BARRA NO 3 MODULO 1.5764ANGULO-71.6253GRAUS

CONTRIBUICAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO 4 MODULO 3.7955 ANGULO-64.5415GRAUS

BARRA NO 5 MODULO 0.3541 ANGULO-73.7449GRAUS

BARRA NO 6 MODULO 1.0569 ANGULO-77.2378GRAUS

TENSAO DAS BARRAS DE GERACAO

BARRA NO 1 MODULO 0.8214 ANGULO 18.5593GRAUS

BARRA NO 2 MODULO 0.7168 ANGULO 18.0551GRAUS

BARRA NO 3 MODULO 0.8871 ANGULO 2.0076GRAUS

TENSAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO 4 MODULO 0.6214 ANGULO 11.2439GRAUS

BARRA NO 5 MODULO 0.1094 ANGULO-15.2115GRAUS

BARRA NO 6 MODULO 0.2059 ANGULO -6.3517GRAUS

CORRENTE DE CURTO TOTAL

TEMPO 0.1900 MODULO 5.1841 ANGULO-67.7364GRAUS

RESULTADOS-NO INTERV. DE INTEGRACAO= 20 TEMPO = 0.0

CONTRIBUICAO DAS MAQUINAS

BARRA NO	1	MODULO	5.5922	ANGULO-68.72893GRAUS
BARRA NO	2	MODULO	5.5426	ANGULO-78.00683GRAUS
BARRA NO	3	MODULO	2.0724	ANGULO-72.66743GRAUS

CONTRIBUICAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO	4	MODULO	5.4539	ANGULO-79.32046GRAUS
BARRA NO	5	MODULO	5.5426	ANGULO-78.00683GRAUS
BARRA NO	6	MODULO	0.8089	ANGULO-93.83446GRAUS
BARRA NO	7	MODULO	1.0192	ANGULO-84.04716GRAUS

TENSAO DAS BARRAS DE GERACAO

BARRA NO	1	MODULO	0.5377	ANGULO 14.87576GRAUS
BARRA NO	2	MODULO	0.3270	ANGULO 11.99323GRAUS
BARRA NO	3	MODULO	0.3737	ANGULO -1.17123GRAUS

TENSAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO	4	MODULO	0.3561	ANGULO 10.67953GRAUS
BARRA NO	5	MODULO	0.3270	ANGULO 11.99323GRAUS
BARRA NO	6	MODULO	0.1324	ANGULO-18.04886GRAUS
BARRA NO	7	MODULO	0.2642	ANGULO-13.37633GRAUS

CORRENTE DE CURTO TOTAL
 TEMPO 0.0 MODULO 12.7945 ANGULO-80.03533GRAUS1

RESULTADOS-NO INTERV. DE INTEGRACAO= 20 TEMPO = 0.0100

CONTRIBUICAO DAS MAQUINAS

BARRA NO	1	MODULO	5.3873	ANGULO-61.2649GRAUS
BARRA NO	2	MODULO	5.1534	ANGULO-68.1678GRAUS
BARRA NO	3	MODULO	2.0598	ANGULO-71.6324GRAUS

CONTRIBUICAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO	4	MODULO	5.1622	ANGULO-71.8565GRAUS
BARRA NO	5	MODULO	5.1534	ANGULO-68.1678GRAUS
BARRA NO	6	MODULO	0.8040	ANGULO-92.7994GRAUS
BARRA NO	7	MODULO	1.0130	ANGULO-83.0121GRAUS

TENSAO DAS BARRAS DE GERACAO

BARRA NO	1	MODULO	0.5553	ANGULO 22.3396GRAUS
BARRA NO	2	MODULO	0.3043	ANGULO 21.8321GRAUS
BARRA NO	3	MODULO	0.5634	ANGULO -0.1362GRAUS

TENSAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO	4	MODULO	0.3371	ANGULO 18.1435GRAUS
BARRA NO	5	MODULO	0.3043	ANGULO 21.8321GRAUS
BARRA NO	6	MODULO	0.1315	ANGULO-17.0138GRAUS
BARRA NO	7	MODULO	0.2625	ANGULO-12.3419GRAUS

CORRENTE DE CURTO TOTAL			
TEMPO 0.0100	MODULO	12.0555	ANGULO-72.5765GRAUS

RESULTADOS-10 INTERV. DE INTEGRACAO= 20 TEMPO = 0.0200

CONTRIBUICAO DAS MAQUINAS

BARRA NO 1 MODULO 5.3234ANGULO-59.81193GRAUS

BARRA NO 2 MODULO 5.0771ANGULO-56.71433GRAUS

BARRA NO 3 MODULO 2.0553ANGULO-71.46993GRAUS

CONTRIBUICAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO 4 MODULO 5.1005 ANGULO-70.40343GRAUS

BARRA NO 5 MODULO 5.0771 ANGULO-66.71443GRAUS

BARRA NO 6 MODULO 0.8023 ANGULO-92.63693GRAUS

BARRA NO 7 MODULO 1.0108 ANGULO-82.84963GRAUS

TENSAO DAS BARRAS DE GERACAO

BARRA NO 1 MODULO 0.5495 ANGULO 23.79273GRAUS

BARRA NO 2 MODULO 0.2995 ANGULO 23.28563GRAUS

BARRA NO 3 MODULO 0.6665 ANGULO 0.02633GRAUS

TENSAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO 4 MODULO 0.3331 ANGULO 19.59653GRAUS

BARRA NO 5 MODULO 0.2995 ANGULO 23.28563GRAUS

BARRA NO 6 MODULO 0.1313 ANGULO-16.95133GRAUS

BARRA NO 7 MODULO 0.2620 ANGULO-12.17933GRAUS

CORRENTE DE CURTO TOTAL

TEMPO 0.0200 MODULO 11.8953 ANGULO-71.34123GRAUS1

RESULTADOS-NO INTERV. DE INTEGRACAO= 20 TEMPO = 0.0300

CONTRIBUICAO DAS MAQUINAS

BARRA NO	1	MODULO	5.2549	ANGULO	-57.7365	GRAUS
BARRA NO	2	MODULO	4.9909	ANGULO	-64.0944	GRAUS
BARRA NO	3	MODULO	2.0507	ANGULO	-71.2115	GRAUS

CONTRIBUICAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO	4	MODULO	5.0349	ANGULO	-68.3280	GRAUS
BARRA NO	5	MODULO	4.9909	ANGULO	-64.0944	GRAUS
BARRA NO	6	MODULO	0.8005	ANGULO	-92.3785	GRAUS
BARRA NO	7	MODULO	1.0035	ANGULO	-82.5912	GRAUS

TENSAO DAS BARRAS DE GERACAO

BARRA NO	1	MODULO	0.5425	ANGULO	25.8681	GRAUS
BARRA NO	2	MODULO	0.2945	ANGULO	25.9055	GRAUS
BARRA NO	3	MODULO	0.8646	ANGULO	0.2847	GRAUS

TENSAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO	4	MODULO	0.5288	ANGULO	21.6719	GRAUS
BARRA NO	5	MODULO	0.2945	ANGULO	25.9055	GRAUS
BARRA NO	6	MODULO	0.1310	ANGULO	-16.5929	GRAUS
BARRA NO	7	MODULO	0.2614	ANGULO	-11.9209	GRAUS

CORRENTE DE CURTO TOTAL
TEMPO 0.0300 MODULO 11.7223 ANGULO -69.3362 GRAUS

36

RESULTADOS-NO INTERV. DE INTEGRACAO= 20 TEMPO = 0.0400

CONTRIBUICAO DAS MAQUINAS

BARRA NO	1	MODULO	5.2082	ANGULO	-56.3946	GRAUS
BARRA NO	2	MODULO	4.9300	ANGULO	-62.5493	GRAUS
BARRA NO	3	MODULO	2.0469	ANGULO	-71.0565	GRAUS

CONTRIBUICAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO	4	MODULO	4.9901	ANGULO	-66.9861	GRAUS
BARRA NO	5	MODULO	4.9300	ANGULO	-62.5493	GRAUS
BARRA NO	6	MODULO	0.7990	ANGULO	-92.2234	GRAUS
BARRA NO	7	MODULO	1.0066	ANGULO	-82.4362	GRAUS

TENSAO DAS BARRAS DE GERACAO

BARRA NO	1	MODULO	0.5377	ANGULO	27.2100	GRAUS
BARRA NO	2	MODULO	0.2909	ANGULO	27.4501	GRAUS
BARRA NO	3	MODULO	0.3630	ANGULO	0.4393	GRAUS

TENSAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO	4	MODULO	0.3259	ANGULO	23.0138	GRAUS
BARRA NO	5	MODULO	0.2909	ANGULO	27.4501	GRAUS
BARRA NO	6	MODULO	0.1303	ANGULO	-16.4379	GRAUS
BARRA NO	7	MODULO	0.2609	ANGULO	-11.7659	GRAUS

CORRENTE DE CURTO TOTAL
TEMPO 0.0400 MODULO 11.6005 ANGULO -68.1098 GRAUS

RESULTADOS-NO INTERV. DE INTEGRACAO= 20 TEMPO = 0.0500

CONTRIBUICAO DAS MAQUINAS

BARRA NO	1	MODULO	5.1719	ANGULO-55.3440	GRAUS
BARRA NO	2	MODULO	4.8805	ANGULO-61.3259	GRAUS
BARRA NO	3	MODULO	2.0436	ANGULO-70.9353	GRAUS

CONTRIBUICAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO	4	MODULO	4.9553	ANGULO-65.9355	GRAUS
BARRA NO	5	MODULO	4.8805	ANGULO-61.3259	GRAUS
BARRA NO	6	MODULO	0.7977	ANGULO-92.1027	GRAUS
BARRA NO	7	MODULO	1.0050	ANGULO-82.3155	GRAUS

TENSAO DAS BARRAS DE GERACAO

BARRA NO	1	MODULO	0.5340	ANGULO	28.2607	GRAUS
BARRA NO	2	MODULO	0.2879	ANGULO	28.6741	GRAUS
BARRA NO	3	MODULO	0.8616	ANGULO	0.5604	GRAUS

TENSAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO	4	MODULO	0.3236	ANGULO	24.0645GRAUS
BARRA NO	5	MODULO	0.2879	ANGULO	23.6741GRAUS
BARRA NO	6	MODULO	0.1305	ANGULO-15.3172	GRAUS
BARRA NO	7	MODULO	0.2605	ANGULO-11.6453	GRAUS

CORRENTE DE CURTO TOTAL
TEMPO 0.0500 MODULO 11.5027 ANGULO-67.1458 GRAUS

RESULTADOS-NO INTERV. DE INTEGRACAO= 20 TEMPO = 0.1000

CONTRIBUICAO DAS MAQUINAS

BARRA NO	1	MODULO	5.0711	ANGULO-53.0163GRAUS
BARRA NO	2	MODULO	4.7272	ANGULO-58.7798GRAUS
BARRA NO	3	MODULO	2.0314	ANGULO-70.6832GRAUS

CONTRIBUICAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO	4	MODULO	4.5587	ANGULO-63.6078GRAUS
BARRA NO	5	MODULO	4.7272	ANGULO-58.7798GRAUS
BARRA NO	6	MODULO	0.7929	ANGULO-91.8501GRAUS
BARRA NO	7	MODULO	0.9990	ANGULO-82.0629GRAUS

TENSAO DAS BARRAS DE GERACAO

BARRA NO	1	MODULO	0.5235	ANGULO 30.5883GRAUS
BARRA NO	2	MODULO	0.2789	ANGULO 31.2201GRAUS
BARRA NO	3	MODULO	0.8584	ANGULO 0.3131GRAUS

TENSAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO	4	MODULO	0.3173	ANGULO 26.3922GRAUS
BARRA NO	5	MODULO	0.2789	ANGULO 31.2201GRAUS
BARRA NO	6	MODULO	0.1298	ANGULO-16.0645GRAUS
BARRA NO	7	MODULO	0.2590	ANGULO-11.3926GRAUS

CORRENTE DE CURTO TOTAL			
TEMPO 0.1000	MODULO	11.2192	ANGULO-55.1073GRAUS

RESULTADOS-NO INTERV. DE INTEGRACAO= 20 TEMPO = 0.1500

CONTRIBUICAO DAS MAQUINAS

BARRA NO	1	MODULO	5.0209	ANGULO-52.4958	GRAUS
BARRA NO	2	MODULO	4.6449	ANGULO-58.2716	GRAUS
BARRA NO	3	MODULO	2.0227	ANGULO-70.6309	GRAUS

CONTRIBUICAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO	4	MODULO	4.8107	ANGULO-63.0373	GRAUS
BARRA NO	5	MODULO	4.6449	ANGULO-58.2716	GRAUS
BARRA NO	6	MODULO	0.7895	ANGULO-91.7978	GRAUS
BARRA NO	7	MODULO	0.9947	ANGULO-82.0106	GRAUS

TENSAO DAS BARRAS DE GERACAO

BARRA NO	1	MODULO	0.5184	ANGULO 31.1038	GRAUS
BARRA NO	2	MODULO	0.2741	ANGULO 31.7234	GRAUS
BARRA NO	3	MODULO	0.3523	ANGULO 0.8653	GRAUS

TENSAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO	4	MODULO	0.3141	ANGULO 26.9126	GRAUS
BARRA NO	5	MODULO	0.2741	ANGULO 31.7234	GRAUS
BARRA NO	6	MODULO	0.1293	ANGULO-16.0123	GRAUS
BARRA NO	7	MODULO	0.2573	ANGULO-11.3404	GRAUS

CORRENTE DE CURTO TOTAL					
TEMPO 0.1500	MODULO	11.0770	ANGULO-64.7009	GRAUS	1

RESULTADOS-NO INTERV. DE INTEGRACAO= 20 TEMPO = 0.1900

CONTRIBUICAO DAS MAQUINAS

BARRA NO	1	MODULO	4.9921	ANGULO-52.3918GRAUS
BARRA NO	2	MODULO	4.6015	ANGULO-58.18123GRAUS
BARRA NO	3	MODULO	2.0167	ANGULO-70.62093GRAUS

CONTRIBUICAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO	4	MODULO	4.7830	ANGULO-62.98346GRAUS
BARRA NO	5	MODULO	4.5015	ANGULO-58.18123GRAUS
BARRA NO	6	MODULO	0.7872	ANGULO-91.7878GRAUS
BARRA NO	7	MODULO	0.9918	ANGULO-82.00066GRAUS

TENSAO DAS BARRAS DE GERACAO

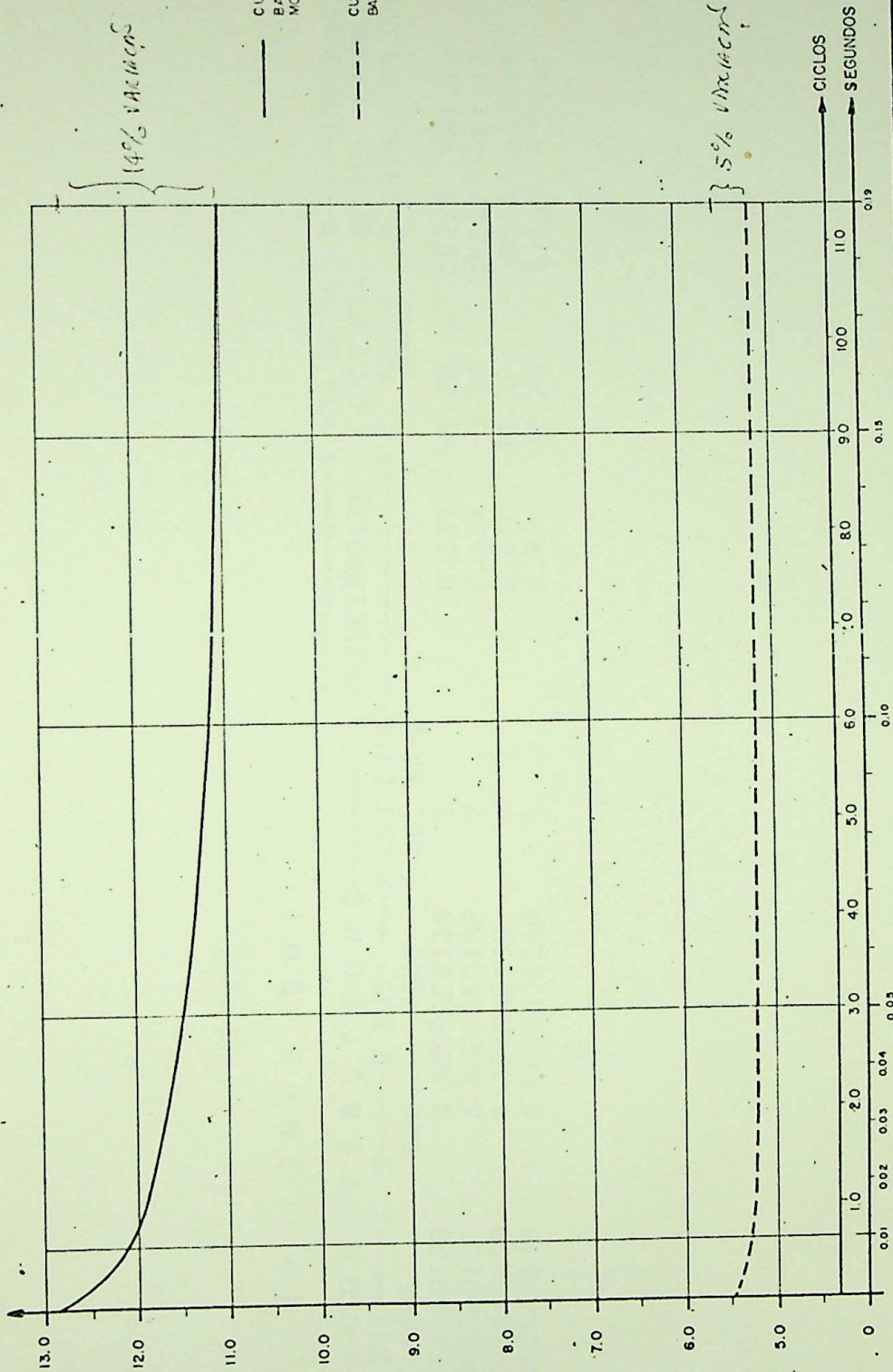
BARRA NO	1	MODULO	0.5154	ANGULO 31.2128GRAUS
BARRA NO	2	MODULO	0.2715	ANGULO 31.81873GRAUS
BARRA NO	3	MODULO	0.8502	ANGULO 0.37533GRAUS

TENSAO DAS BARRAS ADJACENTES AO CURTO

BARRA NO	4	MODULO	0.3123	ANGULO 27.01666GRAUS
BARRA NO	5	MODULO	0.2715	ANGULO 31.81876GRAUS
BARRA NO	6	MODULO	0.1239	ANGULO-16.00236GRAUS
BARRA NO	7	MODULO	0.2571	ANGULO-11.33046GRAUS

CORRENTE DE CURTO TOTAL
 TEMPO 0.1900 MODULO 11.0004 ANGULO-64.6359GRAUS

$I_{cc} (pu)$



LEGENDA

— CURTO 3 Ø
BARRA US MACCARENHAS DE
MORAES 138 KV

- - - CURTO 3 Ø
BARRA SE RIBEIRÃO 138 KV

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ
SUBSIDIÁRIA DA CESP

RESPOSTA TEMPO X CORRENTE DA
COMPONENTE A.C. PARA CURTO TRIFÁSICO



PROJETADO
DESENHADO
CONFERIDO
VERIF.
TISTO
ESCALA
DATA

DES. N.º ILUSTRAÇÃO 4-2

NON LITENSE OUT

X-----C O N T R I B U T I O N S-----X		+-----4-----X-----+ BUS TOTAL		X-----IMPEDANCE-----X		
X-----P BUS-----X		X (RIBEIRA0138)		Z1(FU) ANGLE X/R		
BUS	NAME	BUS	NAME	FAULT MVA	ANGLE	
4 RIBEIRA0138	3 MMORAES138	1	0.631	-5.38	192.7	-81.16
4 RIBEIRA0138	3 MMORAES138	2	0.631	-5.38	192.7	-81.16
4 RIBEIRA0138	5 ARARA0138	1	0.110	-11.27	35.6	-69.81
4 RIBEIRA0138	6 LARANJEI138	1	0.210	-6.73	107.8	-77.61
					<u>527.9</u>	
					0.1894	79.68
						5.492

QUADRO 4-24

CURTO CIRCUITO **** FRANCISCO VACCARI ****

06/30/77

NO LINES OUT				F A U L T C O N D I T			
C O N T R I B U T I O N S				F A U L T (LINE OPEN)---X			
BUS	NAME	BUS	NAME	BUS	NAME	BUS	NAME
3	MMORAES138	8	SJOAQUIM138	1	MMORAES138	1	MMORAES138
3	MMORAES138	1	MMORAES13.8B	1	MMORAES138	1	MMORAES138
3	MMORAES138	11	MMORAES345	1	MMORAES138	1	MMORAES138
3	MMORAES138	4	RIBEIRAO138	1	MMORAES138	1	MMORAES138
3	MMORAES138	4	RIBEIRAO138	2	MMORAES138	2	MMORAES138

F A U L T C O N D I T			
F A U L T (LINE OPEN)---X			
(Q BUS VOLTS	ANGLE)	(MVA FLOW	ANGLE)
3	MMORAES138	101.1	-78.00
3	MMORAES138	495.0	-90.00
3	MMORAES138	536.5	-90.00
3	MMORAES138	41.5	-78.79
3	MMORAES138	41.5	-78.79

F A U L T C O N D I T			
F A U L T (LINE OPEN)---X			
(Q BUS VOLTS	ANGLE)	(MVA FLOW	ANGLE)
3	MMORAES138	1212.3	88.24
3	MMORAES138	0.0825	32.623

QUADRO 4-25

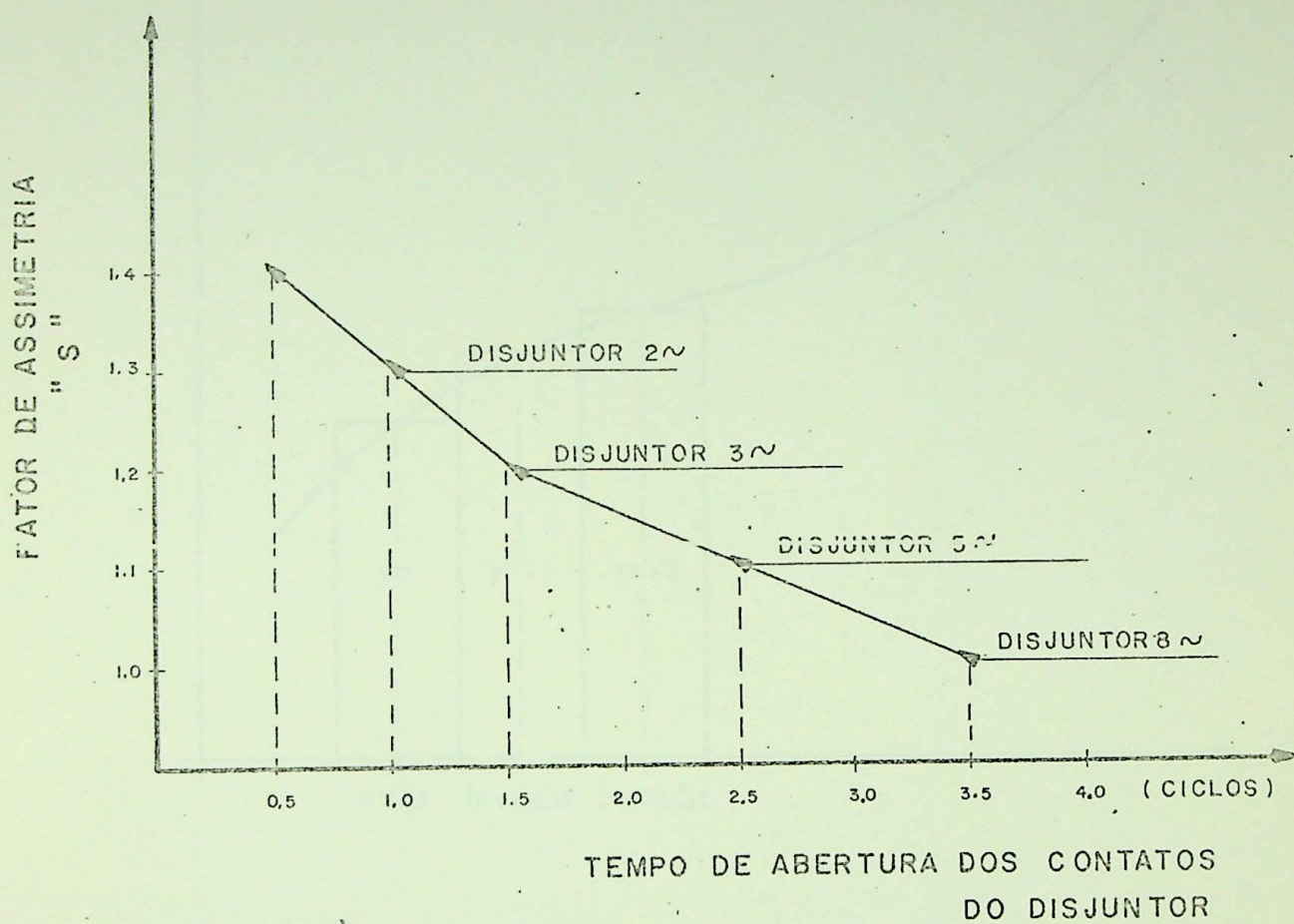


FIG. 5-1

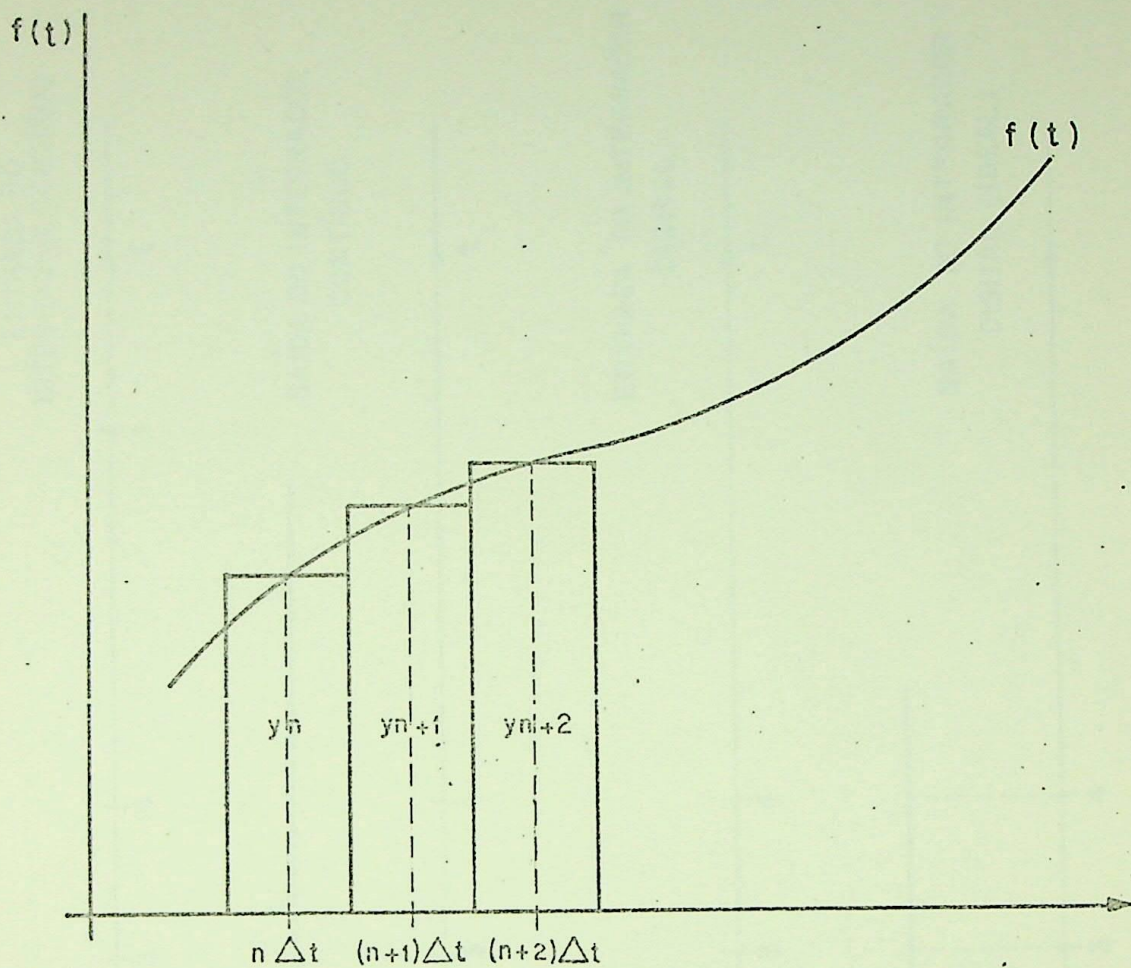


FIG. AN 1-1

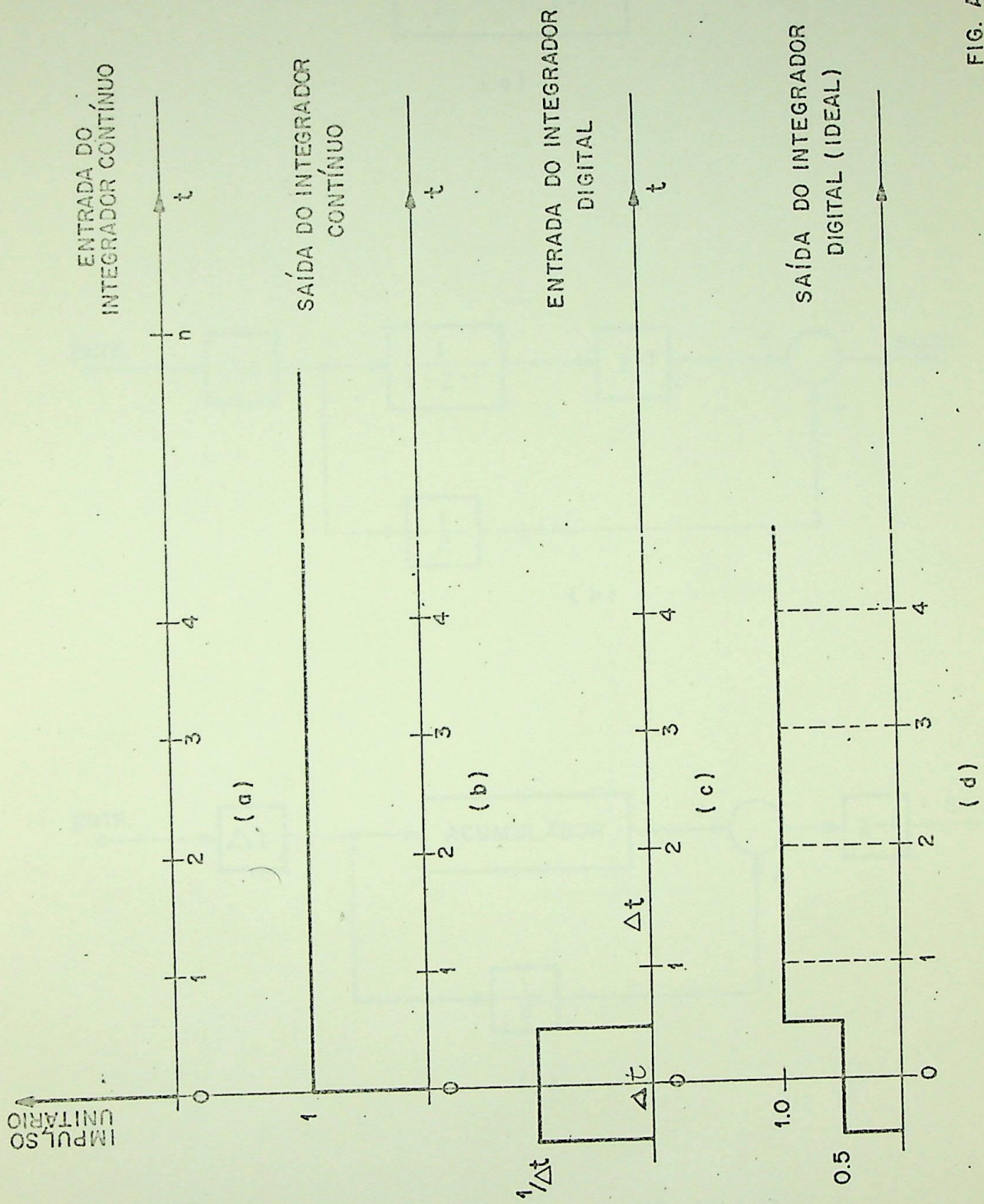
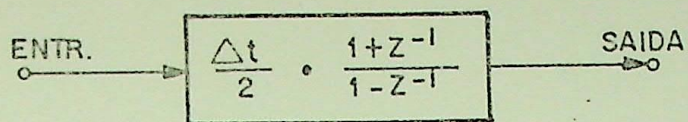
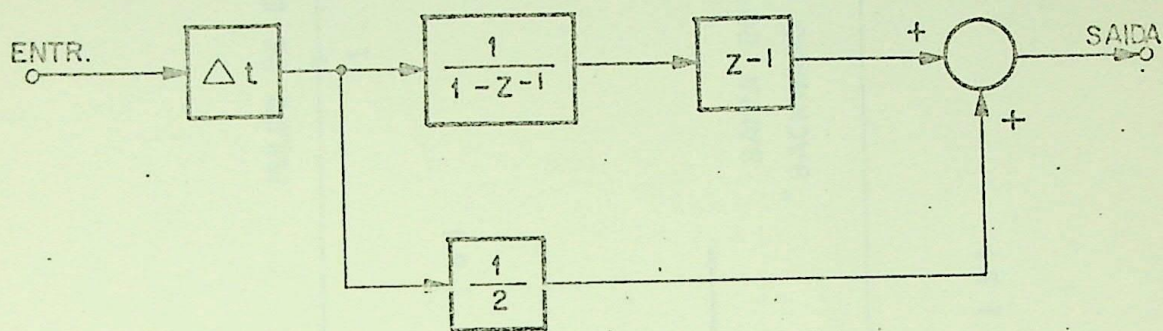


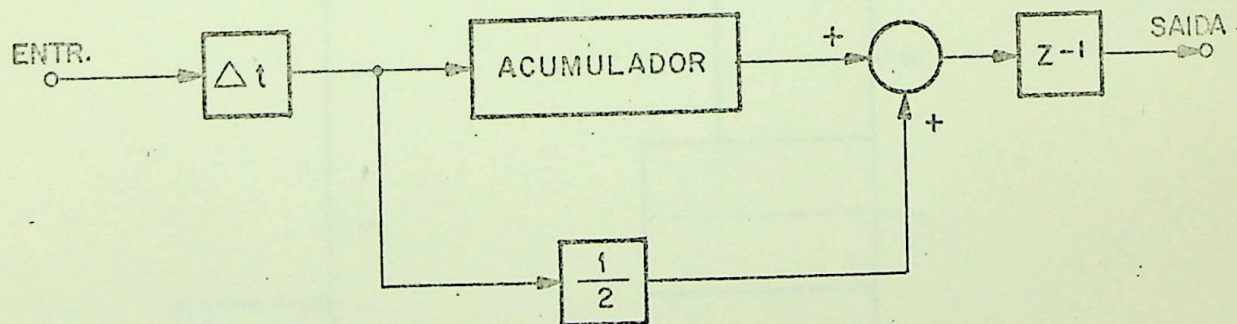
FIG. AN 1-2



(a)



(b)



(c)

FIG. AN 1-3

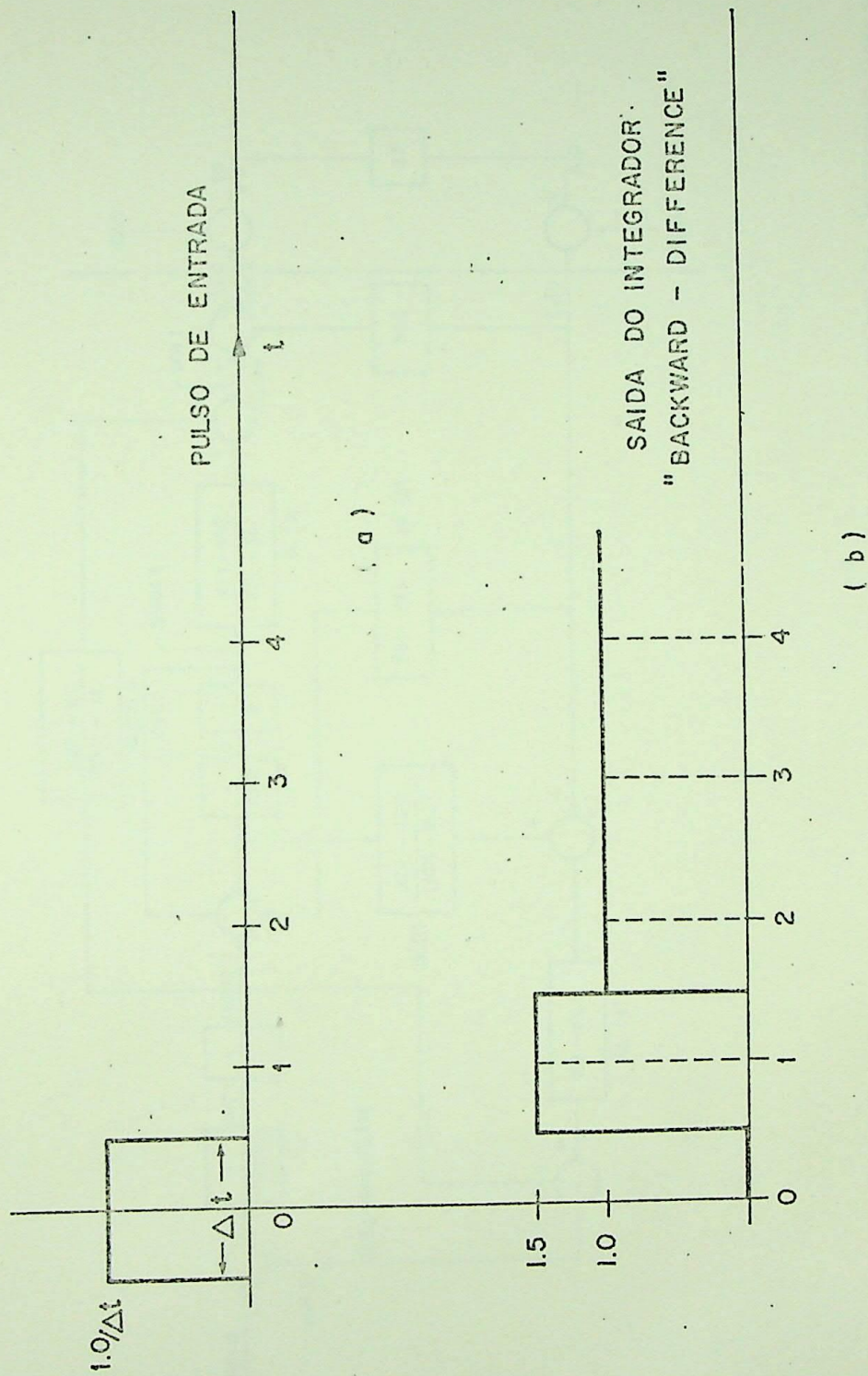
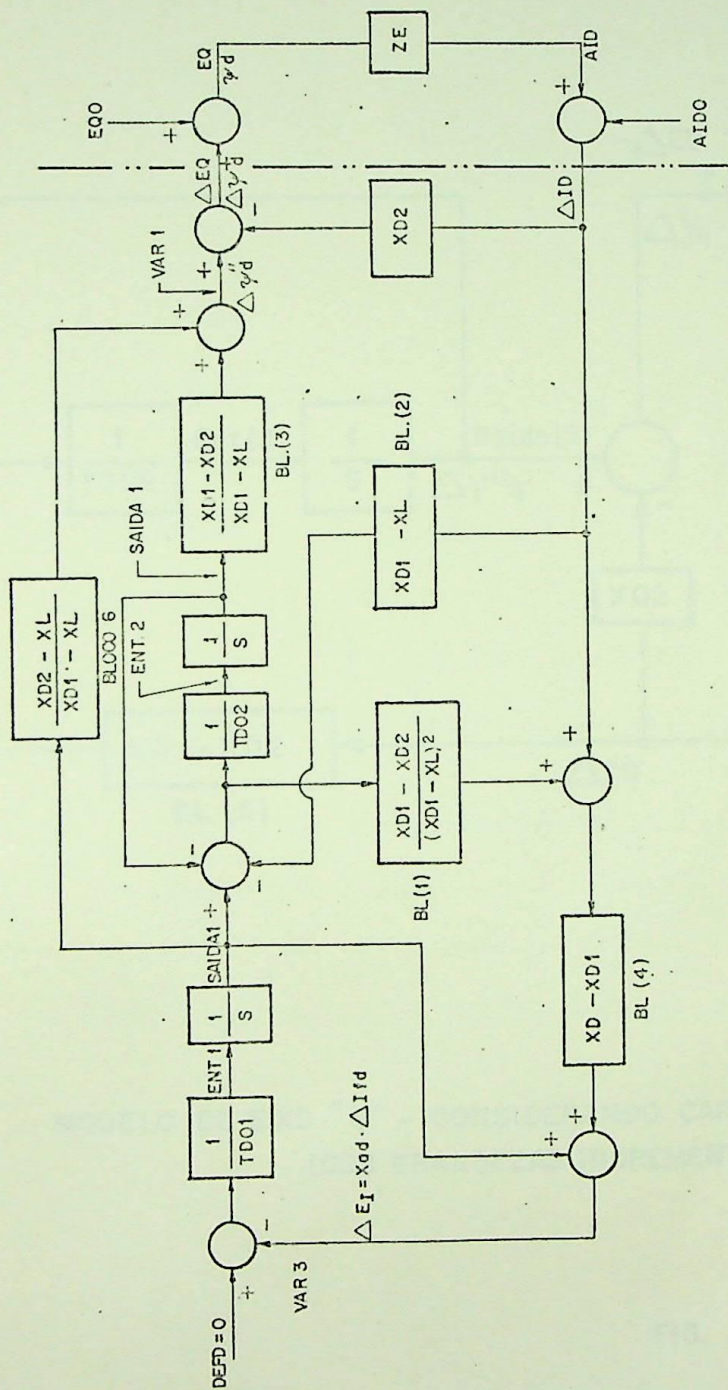
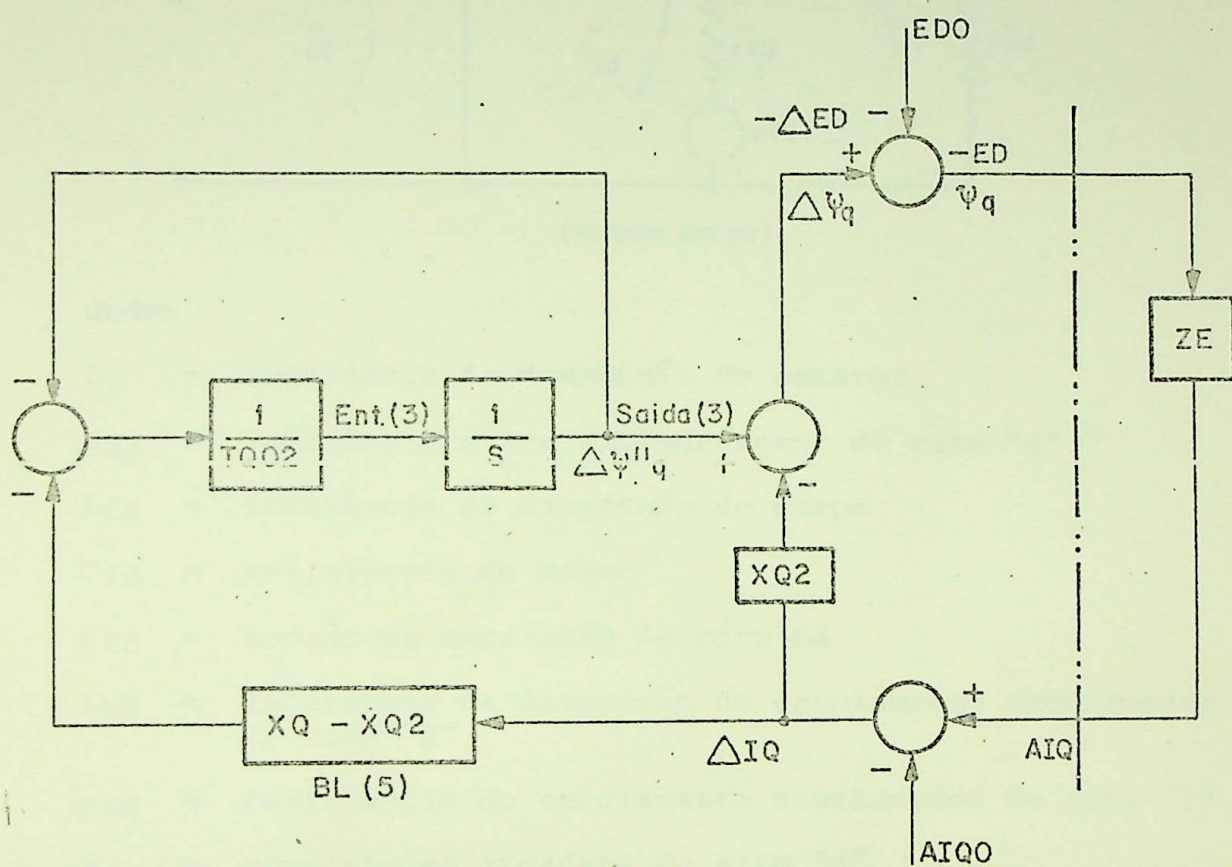


FIG. AN 1-4

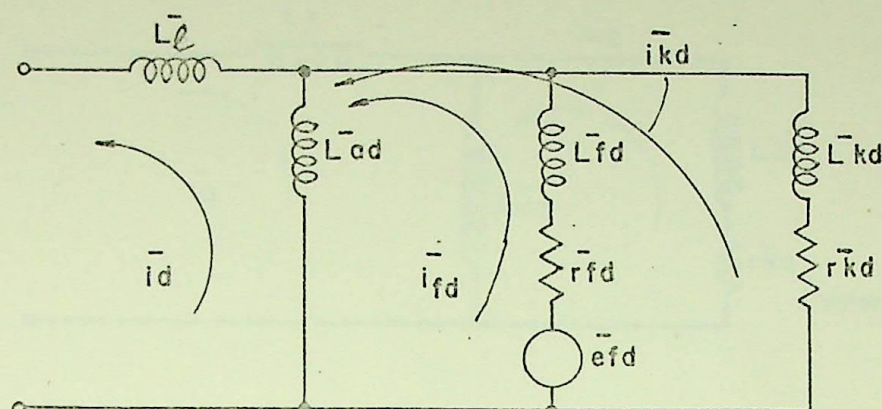


MODELO DE EIXO "d" - CONSIDERANDO CARGA EXTERNA "ZE"
COM (GRANDEZAS INCREMENTAIS)

FIG. AN2-1



MODELO DE EIXO "q" - CONSIDERANDO CARGA EXTERNA "ZE"
(COM GRANDEZAS INCREMENTAIS)



(Valores em pu)

Onde:

L_e = indutância de dispersão do estator

L_{cd} = indutância mútua estator-rotor de eixo "d"

L_{fd} = indutância de dispersão do campo

r_{fd} = resistência do campo

e_{fd} = tensão de excitação da máquina

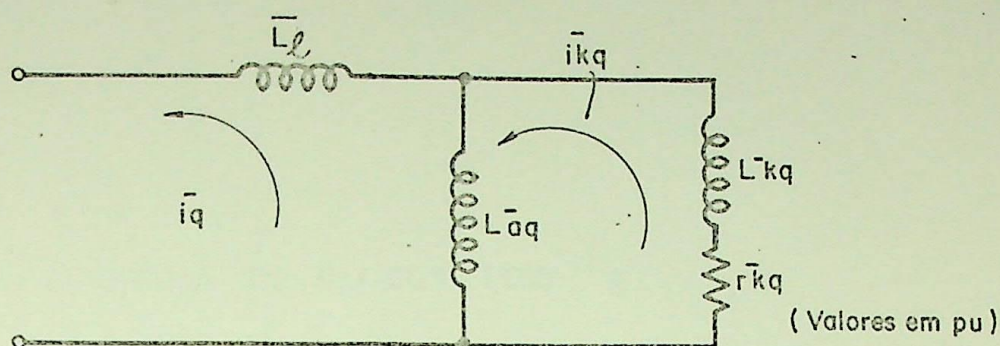
L_{kd} = indutância de dispersão do enrolamento amortecedor de eixo "d"

r_{kd} = resistência do enrolamento amortecedor de eixo "d"

i_d = corrente da armadura de eixo "d"

i_{fd} = corrente de campo do rotor

i_{kd} = corrente de enrolamento amortecedor de eixo "d"



- $\bar{L}_l$ = Indutância de dispersão do estator
 $\bar{L}_{aq}$ = indutância mútua estator-rotor de eixo "q"
 $\bar{i}_q$ = corrente da armadura de eixo "q"
 $\bar{L}_{kq}$ = indutância de dispersão do enrolamento amortecedor de eixo "q"
 $\bar{r}_{kq}$ = resistência do enrolamento amortecedor de eixo "q"
 $\bar{i}_{kq}$ = corrente do enrolamento amortecedor de eixo "q"

DIAGRAMA DE BLOCOS EIXO "q"

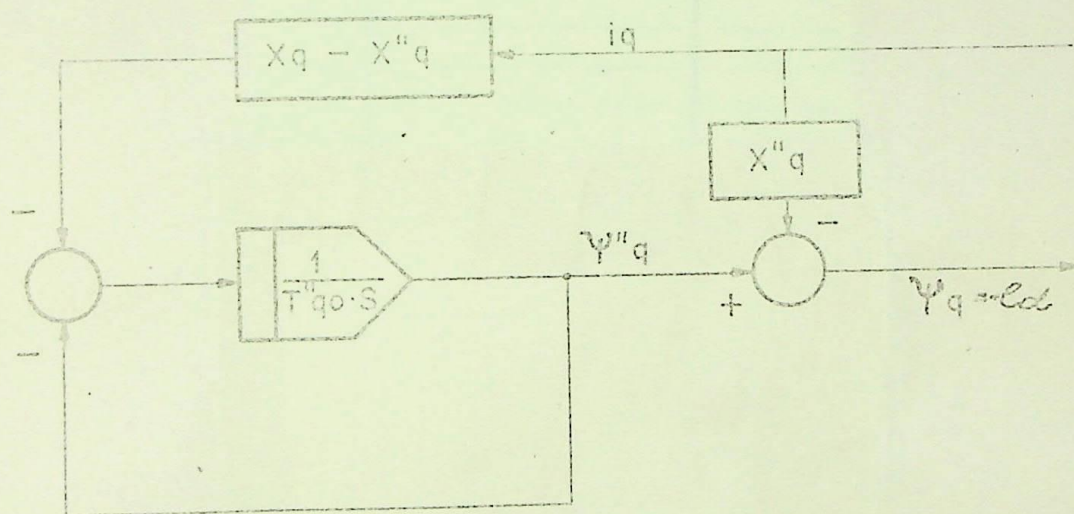


FIG. AN3 - 3b