

SIMULAÇÃO DE FLUXO DE CARGAS AC/DC



ELIANE MARISE RAPOSO DE CARVALHO

SIMULAÇÃO DE FLUXO DE CARGAS AC/DC

Dissertação apresentada à Coordenação dos Cursos de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento parcial às exigências para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: **PROCESSAMENTO DA ENERGIA**

ORIENTADOR: Prof. WELLINGTON SANTOS MOTA

Campina Grande, abril de 1983

A meus pais
Antônio e Liene

E a meu esposo
Alfredo

Agradecimentos a todos aqueles que contribuíram na realização deste trabalho. Entretanto, desejo registrar a minha especial gratidão ao professor Wellington Santos Mota, que como orientador, contribuiu com uma parcela significativa e ao professor José Calazans de Castro pelo seu decisivo apoio.



C331s Carvalho, Eliane Marise Raposo de.
Simulação de fluxo de cargas AC/DC / Eliane Marise Raposo de Carvalho. - Campina Grande, 1983.
98 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrica).
Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia.

1. Fluxo de Carga - Engenharia Eletrica. 2. Processamento da Energia. 3. Fluxo de Energia AC/DC. 4. Dissertação. I. Mota, Wellington Santos, Prof. Dr. II. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande (PB) III. Título

CDU 621.3.016.3(043)



CPgEE/CCT-UFPB

COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

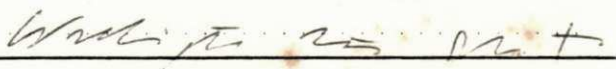
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

ELIANE MARISE RAPOSO DE CARVALHO

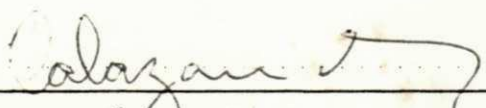
TÍTULO: "Simulação de Fluxo de Cargas AC/DC"

CONCEITO: APROVADO

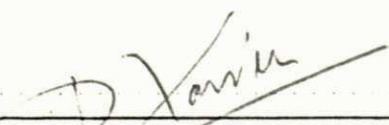
COMISSÃO EXAMINADORA:



PROF. WELLINGTON SANTOS MOTA - Ph.D
- Presidente -



PROF. JOSÉ CALAZANS DE CASTRO - Doutor
- Examinador Interno -



PROF. DRUMOND XAVIER CAVALCANTI LIMA - Doutor
- Examinador Interno -

Campina Grande, 18 de abril de 1983.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Estudos Preliminares	2
1.3. Principais trabalhos estudados	4
1.4. Contribuições do trabalho	6
1.5. Descrição de cada Capítulo	6
2. REPRESENTAÇÃO DA TRANSMISSÃO EM CORRENTE CONTÍ NUA DE ALTA TENSÃO	9
2.1. Introdução	9
2.2. Circuito equivalente para o modelo DC	9
2.3. Equações características	11
2.4. Sistema DC em p.u.	16
3. CONTROLE E OPERAÇÃO DO SISTEMA HVDC	19
3.1. Introdução	19
3.2. Controles do sistema HVDC	19
3.3. Modo de operação do sistema HVDC	21
4. O MÉTODO DE NEWTON RAPHSON PARA SOLUÇÃO DO FLU XO DE CARGAS DC	26
4.1. Introdução	26
4.2. Arranjo matricial e implementação do mode lo DC em computador digital	26
4.3. Integração da subrotina DC, no programa de fluxo de cargas AC	29

5. SISTEMAS ANALISADOS	33
5.1. Introdução	33
5.2. Principais sistemas estudados	33
5.3. Influência da transmissão DC, nos sistemas AC	46
6. CONCLUSÃO	61
APÊNDICES	
I. Dados de entrada para o fluxo de cargas AC/DC	63
II. Listagem do programa desenvolvido	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97

FIGURAS

Figura 1.1-1	7
Figura 1.1-2	7
Figura 1.1-3	8
Figura 1.1-4	8
Figura 2.2-1	17
Figura 2.2-2	17
Figura 2.2-3	17
Figura 2.2-4	17
Figura 2.2-5	18
Figura 3.3-1	25
Figura 3.3-2	25
Figura 3.3-3	25
Figura 4.2-1	31
Figura 4.3-1	32

Figura 5.2-1	56
Figura 5.2-2	56
Figura 5.2-3	57
Figura 5.2-4	58
Figura 5.2-5	58
Figura 5.2-6	59
Figura 5.3-1	60
Figura 5.3-2	60
Figura 5.3-3	60

355

Principais Símbolos

- V valor eficaz da tensão fase-fase nos barramentos de interface
- V_d valor da tensão contínua nos terminais dos conversores
- V_{d_0} valor da tensão contínua em vazio
- P_d potência a ser transmitida na linha DC
- I_d corrente contínua na entrada ou saída dos conversores
- Q potência reativa
- α ângulo de disparo do retificador ou extinção do inversor
- γ ângulo de comutação
- a taps dos transformadores conversores
- R_C reatância de comutação
- $\cos\phi$ fator de potência
- K constante adimensional, que depende do número de pulsos de cada ponte
- E_m valor máximo da tensão AC
- ΔV queda de tensão nas pontes conversoras
- X reatância de dispersão dos transformadores conversores
- R_D resistência da linha DC
- R_R resistência do terminal conversor
- r = índice que se refere ao retificador
- i = índice que se refere ao inversor
- s = índice que significa valor controlado

RESUMO

Este trabalho apresenta uma metodologia para simulação de linhas de transmissão em corrente contínua (DC) em programas de fluxo de cargas em corrente alternada (AC).

A técnica desenvolvida é para transmissão DC sem derivações intermediárias, porém para qualquer que seja a configuração das linhas, que interligam sistemas AC, em estado permanente.

A partir de um conjunto de equações que caracterizam o funcionamento real das linhas de transmissão DC e seus respectivos equipamentos conversores, elaborou-se um modelo matemático para solução do fluxo de carga DC, utilizando o método iterativo de Newton Raphson. Sendo este incorporado em um programa de fluxo de carga AC, desenvolvido anteriormente. (5)

A comprovação do novo esquema implantado, verificou-se através de vários sistemas, os quais foram testados por programas AC/DC pertencentes a diversas empresas, que serão mencionadas posteriormente. Com estes sistemas, destacou-se a utilização da transmissão DC nas suas possíveis aplicações em sistemas de potência, envolvendo os diversos tipos de controles que podem ser aplicados às estações conversoras e a influência destas linhas nos sistemas em corrente alternada, na condição de interligação e funcionamento em paralelo com linha AC.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1. GENERALIDADES

A manutenção dos níveis de tensão e a transmissão a distância, problemas tão comuns nos dias de hoje, apresentam dificuldades, tanto para a corrente alternada, quanto para a contínua. A corrente alternada apresenta problemas com as linhas de alta impedância, os quais têm sido compensados pela utilização de capacitores ligados em série, ou pelo controle da tensão ao longo da linha de transmissão, ou ainda pela escolha de tensão de operação maior. Com relação a corrente contínua, as variáveis a se considerar ocorrem em número bem menor, razão pela qual a tecnologia (HVDC) corrente contínua de alta tensão, constitui uma alternativa para o transporte de energia a longas distâncias. As tensões adotadas para a transmissão por HVDC não indicam qualquer inconveniência nos níveis de elevação de tensão. A escolha dos níveis de tensão presume uma economia direta no custo, do sistema DC. A esse respeito, o fornecimento dos parâmetros é feito, geralmente, em função da tensão, com a qual se transmite ao longo da linha. Além de suas vantagens para transmissão a distância, a técnica pode ser utilizada para reforçar linhas de transmissão em corrente alternada e interligação entre sistemas AC. Caso típico para interligação entre sistemas AC, seria a ligação entre os sistemas geradores das regiões Nordeste e Sudeste. A aplicação da transmissão em corrente contínua de alta tensão é feita, tanto por mo

tivos técnicos, quanto por razões econômicas.

Do ponto de vista elétrico, algumas propriedades diferem completamente nos casos de corrente alternada e corrente contínua, e isto conduz a diferentes concepções para o projeto das linhas de transmissão. Entre estes pode-se citar: características de isolamento, efeito corona e efeitos de campos.

As necessidades de utilização da tecnologia HVDC em sistemas de potência, implica em vários estudos para o novo esquema implantado, uma vez que o método apresenta sistemas de planejamento alternativo da transmissão em corrente alternada.

1.2. ESTUDOS PRELIMINARES

- Princípio de funcionamento da transmissão DC
- Tipos de linhas DC existentes
- Subestações conversoras

A transmissão de energia elétrica em corrente contínua funciona em princípio da seguinte maneira: (fig. 1.1.-1). Em cada extremidade da linha é necessário o emprego de uma subestação conversora, sendo uma retificadora e a outra inversora. A tensão trifásica gerada é retificada. A linha DC transmite tensão e corrente contínua. No local de utilização a tensão contínua é transformada em tensão trifásica, através da subestação inversora. A linha DC comporta-se como uma resistência. A potência reativa para os conversores e sistemas interligados, deve ser fornecida pelos geradores dos sistemas ou no caso de um sistema de distribuição, pelos compensadores síncronos que são introduzidos para atender o consumo de reativos necessários aos sistemas DC e AC. Com relação a regulação de frequência e tensão é feita pelos geradores dos sistemas e pelo controle da transmissão AC. É evidente

que a transmissão DC é bem mais complicada e necessita de vários equipamentos, em comparação à transmissão AC. No entanto, existem casos em que é a única maneira possível de transporte de energia, como por exemplo: interligando sistemas assíncronos.

Uma das características da transmissão DC é que o próprio solo pode ser usado como condutor, com perdas relativamente pequenas. As possíveis configurações para transmissão aérea, pelo emprego do sistema HVDC são: (fig. 1.1-2).

Linha monopolar com apenas um condutor, utilizando o solo como condutor de retorno.

Linha homopolar com dois ou mais condutores de mesma polaridade e utilizando o solo como retorno.

Linha bipolar com dois condutores de diferentes polaridades, com ou sem o solo como elemento de retorno. A corrente, então, nos dois condutores é igual e, neste caso, o solo não conduz energia. Se, no entanto, um dos condutores falhar, o solo será usado como condutor.

A maioria das linhas de transmissão em operação no mundo são do tipo bipolar. Duas das mais longas linhas de transmissão existentes apresentam torres monopolares gêmeas. Uma delas, a Cabora Bassa, para operar com ± 533 KV a uma distância de 1400 Km, situada na África. Um dos motivos para separar os dois polos em torres monopolares distintas, foi a alta ocorrência de defeitos naquela região.

O custo total para uma linha monopolar, incluindo as perdas por descapitalização, é aproximadamente oitenta por cento mais alto que para linhas bipolares, tomando-se sempre uma mesma capacidade de transmissão.

As subestações conversoras são compostas essencialmente pelos transformadores e equipamentos de conversão. Uma das características das subestações de HVDC é serem os equipamentos projetados para resistir a tensões constantes. Os equipamentos conversores podem ser ligados em série ou em paralelo. Com a ligação em série, superam-se os problemas da tensão no circuito (fig.1.1-3).

Em princípio não existem limitações no nível de tensão, no que se refere à utilização de conversores em série. A conexão em paralelo (fig. 1.1-4), depende das condições de funcionamento da linha. Em alguns sistemas de transmissão DC a ligação de conversores em paralelo caracteriza uma condição de emergência. No caso em que a linha DC for longa e houver capacidade ociosa, os conversores devem ser ligados em paralelo, desde que cinquenta por cento da capacidade de transmissão possa ser operada com apenas parte do condutor.

As subestações utilizam pontes de 6 ou 12 pulsos. A ligação em série de dois conversores de 6 pulsos, e transformadores com ligações respectivamente Y-Y e Y- Δ , origina um conversor de 12 pulsos. Estudos realizados, apontam um conversor de 12 pulsos para transmissão HVDC, bastante eficiente e econômico, uma vez que a alta frequência da ondulação implica, filtros baratos. A potência fixada e o máximo valor que um conversor pode suportar, muitos fatores influenciam.

A diferença efetiva entre a corrente contínua e a corrente alternada, se manifesta no emprego dos transformadores, onde a distribuição de tensão difere consideravelmente. O uso de elementos tiristores, permite menor risco de curto-circuito no sistema DC (equipamentos conversores, transformadores e linha DC), do que no sistema em corrente alternada, desde que para certos tipos de sobretensão, cada elemento tiristor desempenha um papel protetor para todo o sistema, contribuindo portanto para melhor confiabilidade da transmissão em corrente contínua de alta tensão.

1.3. PRINCIPAIS TRABALHOS ESTUDADOS

Para elaboração de um programa de fluxo de cargas AC/DC duas alternativas são possíveis. Uma resolve os sistemas AC e DC de maneira integrada, ou seja por meio de equações não lineares

simultâneas. A outra resolve as equações AC e DC separadamente. No entanto, o primeiro estudo consiste na escolha do método iterativo e a alternativa a serem utilizados. Partindo deste princípio, foram estudados vários trabalhos, entre os quais evidenciam-se: Duane, Leonard e Jewel (7) elaboraram um artigo, envolvendo interligações DC, diretamente no fluxo de cargas AC, utilizando o método iterativo de Newton Raphson. As equações DC são introduzidas no jacobiano do fluxo de cargas. A convergência do método não é alterada. O modelo e as equações DC podem ser utilizadas para linhas a dois ou mais terminais que interligam sistemas AC. Barker e Carré (8), apresentam uma metodologia, para introdução de linhas DC, em programa de fluxo de cargas AC, utilizando o método de Gauss-Seidel. Trata-se de uma solução integrada para os sistemas AC e DC. Marcio Scheztman (10), apresenta um método de solução para o fluxo DC, porém para linhas DC sem derivações intermediárias, utilizando o método de Newton Raphson. Após o estudo dos trabalhos citados, a escolha do método a ser empregado, recaiu no método de Newton Raphson, para o fluxo AC/DC, considerando a solução em separado para os respectivos sistemas. Os motivos que proporcionaram esta escolha, foram decorrentes do fato de ser o método de Newton Raphson mais eficiente que os demais e a alternativa de resolução em separado apresentar maiores facilidades de aplicação. Podendo ser usado qualquer programa de Fluxo de Cargas AC disponível.

Com relação às referências (7) e (8), ambas são bem mais trabalhosas computacionalmente em comparação à referência (10), uma vez que esta última determina a solução AC/DC separadamente, tornando-se evidente a sua simplificação em termos de programação e sobretudo porque oferece maiores disponibilidades para futuras modificações no fluxo DC. O programa base para o fluxo de carga AC utilizado, consta no trabalho apresentado por Drumond e Firmino(5).

1.4. CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

A metodologia desenvolvida neste trabalho engloba a modelagem detalhada da transmissão em corrente contínua, para qualuer configuração de linhas DC, através de seus circuitos equivaulentes e os diversos tipos de controles que definem a operação das linhas DC. Procurou-se elaborar um estudo completo para o fluxo de cargas AC/DC em regime permanente, que até então os trabalhos apresentados não contêm, pois destinam-se a modelagem simplificauda de condições específicas de determinados sistemas.

1.5. DESCRIÇÃO DE CADA CAPÍTULO

No capítulo 2, apresenta-se a representação da transmisuão DC, e as equações básicas para o estudo de fluxo de cargas.

No capítulo 3, apresenta-se os principais tipos de conutroles que podem ser aplicados nos sistemas DC, que interligam sisutemas AC e respectivos desempenhos, como componentes do sistema DC.

No capítulo 4, desenvolve-se o método de Newton Raphson para solução do fluxo DC. A formulação do modelo DC e sua interuligação com o sistema AC.

No capítulo 5, apresenta-se alguns dos sistemas analisaudos, objetivo de cada um e os resultados obtidos, destacando-se os controles aplicados aos sistemas DC.

No capítulo 6, as conclusões do estudo. E nos apêndiuces I e II, os principais dados de entrada para o fluxo de cargas AC/DC e listagem do programa desenvolvido.

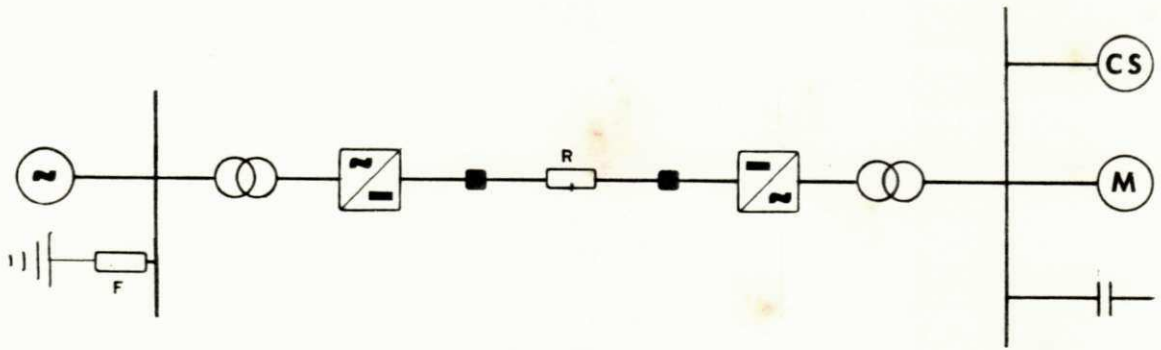


FIG. 1.1-1
 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA TRANSMISSÃO EM CORRENTE CONTÍNUA

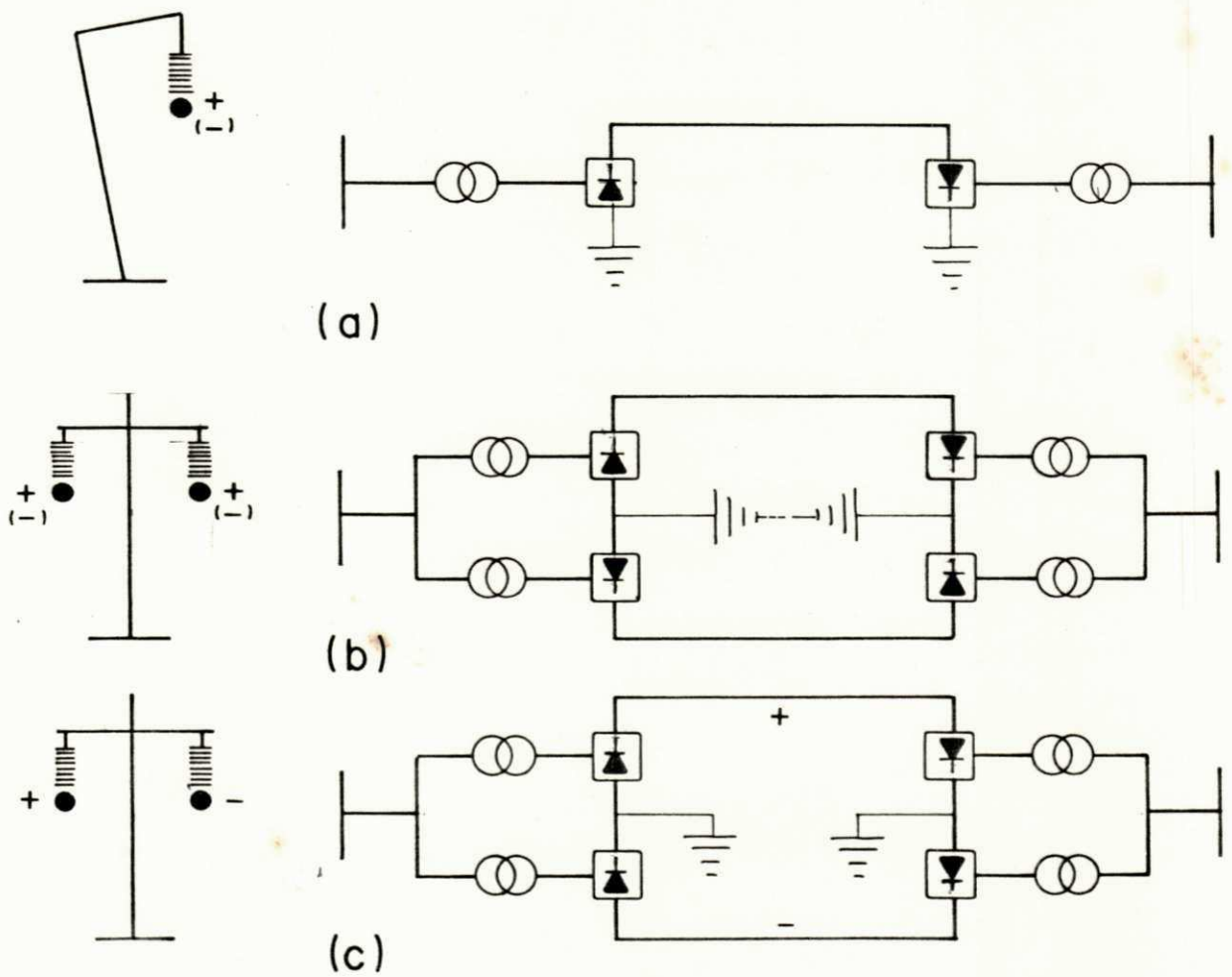


FIG. 1.1-2
 a) LINHA MONOPOLAR. b) LINHA HOMOPOLAR. c) LINHA BIPOLAR.

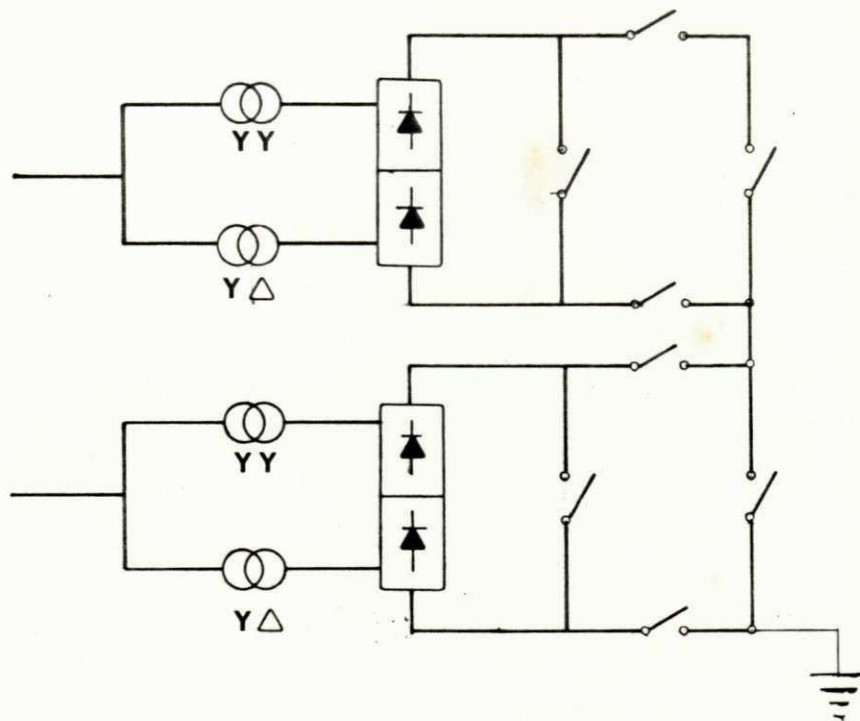


FIG. I.1-3
CONEXÃO DE CONVERSORES DE 12 PULSOS EM SÉRIE

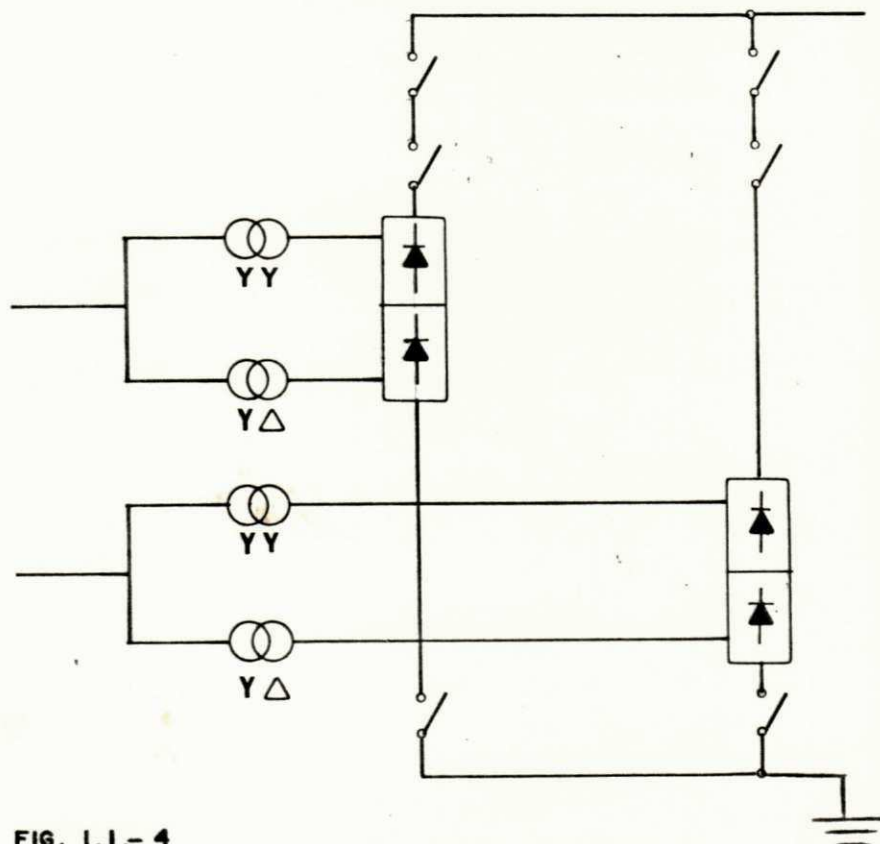


FIG. I.1.- 4
CONEXÃO DE CONVERSORES DE 12 PULSOS EM PARALELO

Capítulo 2

REPRESENTAÇÃO DA TRANSMISSÃO EM CORRENTE CONTÍNUA DE ALTA TENSÃO

2.1. INTRODUÇÃO

Representar a transmissão em corrente contínua a dois terminais que interligam sistemas AC, constitui-se em simular matematicamente a operação interligada retificador-inversor, por meio de equações que caracterizam o funcionamento do sistema DC. Estas equações são bastante conhecidas na literatura e podem ser encontradas em detalhes nas referências (2) e (15). A linha de transmissão e os respectivos equipamentos conversores são simulados, de maneira a tornar possível o estudo do fluxo de cargas, que consiste na determinação das tensões, potência ativa, consumo de reativos e perdas na transmissão, para determinadas condições, em regime permanente.

2.2. CIRCUITO EQUIVALENTE PARA O MODELO DC

Levando-se em consideração a aplicação à qual se destina o estudo, as seguintes suposições têm sido feitas:

1. O sistema AC possui tensão de forma senoidal e frequência constante. As tensões e correntes nas três fases são balanceadas.

2. As tensões e correntes DC são perfeitamente filtradas.
3. O terminal livre não conectado à linha de transmissão, das pontes equivalentes está conectado a um ponto de potencial nulo (terra).

Para determinação do fluxo DC, o sistema DC é representado por um circuito monopolar equivalente. Qualquer que seja a configuração da transmissão DC, pode ser transformada para o circuito equivalente, conforme figura (2.2-1). Com relação à configuração bipolar, o artifício utilizado é o seguinte: como os transformadores são parte integrante do sistema DC, estabelece-se um circuito série entre as linhas de transmissão (+KV e -KV), figura 1.1-2(c), através das pontes e transformadores, determinando-se portanto o circuito monopolar equivalente. Para operação com bipolos em paralelo, figura (2.2-2), emprega-se circuitos equivalentes nos quais a resistência da linha DC é alterada convenientemente em função das correntes nos polos paralelados (15).

Da figura (2.2-2), tem-se:

$$\text{Queda de tensão na linha: } R_D(I_1 + I_2)$$

$$\text{Perdas na linha: } R_D(I_1 + I_2)^2$$

Substituindo o circuito da figura (2.2-2), pelos circuitos das figuras (2.2-3) e (2.2-4), tem-se:

$$R_1 = R_D \left(1 + \frac{I_2}{I_1} \right)$$

$$\text{Queda de tensão na linha: } R_1 I_1 = R_D I_1 + R_D I_2$$

$$\text{Perdas na linha: } R_1 I_1^2 = R_D I_1^2 + R_D I_1 I_2$$

$$R_2 = R_D \left(1 + \frac{I_1}{I_2} \right)$$

$$\text{Queda de tensão na linha: } R_2 I_2 = R_D I_2 + R_D I_1$$

$$\text{Perdas na linha: } R_2 I_2^2 = R_D I_2^2 + R_D I_2 I_1$$

Verifica-se então, que a queda de tensão na linha, em ambos os circuitos das figuras (2.2-3) e (2.2-4) é igual à do circuito original e as perdas no circuito real é a soma das perdas nos respectivos circuitos. Portanto, pode-se simular a operação em paralelo através de duas operações, alterando-se apenas a resistência da linha DC (R_D) de acordo com as expressões R_1 e R_2 . A figura (2.2-5) apresenta um esquema básico, para transmissão DC, que interliga sistemas AC em regime permanente. Onde:

- r = índice que indica retificador
- i = índice que indica inversor
- V = valor da tensão na barra AC
- a = tap dos transformadores conversores
- V_d = tensão nos terminais dos conversores
- α = ângulo de disparo para o retificador e ângulo de extinção para o inversor
- I_d = corrente contínua na entrada ou saída dos conversores
- V_{do} = tensão DC em vazio
- R_D = resistência da linha DC
- R_C = resistência de comutação dos conversores

2.3. EQUAÇÕES CARACTERÍSTICAS

As equações, que traduzem o desempenho dos conversores, de acordo com (2) e (15), são:

Para o retificador:

$$V_{d_r} = V_{do_r} \cos \alpha_r - (R_C + R_R) I_{d_r} - \Delta V \quad \text{Eq. 2.3-1}$$

Para o inversor:

$$V_{d_i} = -V_{do_i} \cos \alpha_i + (R_C - R_R) I_{d_i} + \Delta V \quad \text{Eq. 2.3-2}$$

Onde: $V_{do_r} = K a_r V_r$

$$V_{do_i} = K a_i V_i$$

K = constante adimensional que depende do número de pulsos da ponte e neste trabalho vale 1,35, equivalente a uma ponte de 6 pulsos

$R_C I_d$ = queda de tensão indutiva devido a comutação.

$R_R I_d$ = queda de tensão resistiva devido a comutação

ΔV = queda de tensão nas pontes.

Os estudos de fluxo de cargas existentes, em sua maioria, utilizam equações mais simples, desprezando a queda de tensão nas pontes e a queda de tensão resistiva devido a comutação.

Devido a indutância do transformador conversor, a transferência de corrente de uma fase para outra requer um tempo finito, e em função deste determina-se o ângulo de comutação (γ). Em operação normal, o ângulo de comutação é inferior a 60° . Nos sistemas reais, este valor está entre 10° e 25° .

Determinação da expressão para o ângulo de comutação (1).

No final da comutação, tem-se:

$$I_d = I_{S_2} (\cos \alpha_r - \cos \alpha_i)$$

$$I_{S_2} = \frac{\sqrt{3} E_m}{2X} \quad (\text{corrente no secundário do transformador conversor})$$

X = reatância de dispersão do transformador

$$E_m = \sqrt{2} V_{LN} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} V_{LL}$$

E_m = valor máximo da tensão AC

$V_{LL} = V_R$ = valor eficaz da tensão AC, fase-fase

$$I_{S_2} = \frac{\sqrt{2} V_R}{2X}$$

$$I_d = \frac{\sqrt{2} V_R}{2X} (\cos \alpha_r - \cos \alpha_i)$$

$$\alpha_i = \alpha_r + \gamma_r$$

$$\frac{I_d 2X}{\sqrt{2} V_R} = \cos \alpha_r - \cos (\alpha_r + \gamma_r)$$

$$\gamma_r = \cos^{-1} \left(\cos \alpha_r - \frac{2I_d X}{\sqrt{2} V_R} \right) + \alpha_r \quad 2.3-3$$

$$\gamma_i = \cos^{-1} \left(\cos \alpha_i - \frac{2I_d X}{\sqrt{2} V_i} \right) + \alpha_i \quad 2.3-4$$

Equações da linha DC:

$$I_{d_r} = \frac{V_{d_r} - V_{d_i}}{R_D} \quad 2.3-5$$

$$I_{d_i}' = I_{d_r} = I_d \quad 2.3-6$$

Equações para potência ativa DC

$$P_{dc_r} = V_{d_r} \cdot I_d \quad 2.3-7$$

$$P_{dc_i} = V_{d_i} \cdot I_d \quad 2.3-8$$

A potência na barra AC, será igual a potência DC se forem desprezadas a queda de tensão resistiva e a queda de tensão nas pontes; caso contrário, tem-se:

$$P_{ac_r} = V_{d_r} \cdot I_d + I_d(R_R \cdot I_d + \Delta V) \quad 2.3-9$$

$$P_{ac_i} = V_{d_i} \cdot I_d - I_d(R_R \cdot I_d + \Delta V) \quad 2.3-10$$

Os conversores consomem potência reativa (9). Esta potência consumida é compensada através de capacitores estáticos, filtros ou compensadores síncronos, associados aos conversores.

Equações que determinam o consumo de potência reativa

$$Q_{ac_r} = P_{ac_r} * \operatorname{tg} \phi_r \quad 2.3-11$$

$$Q_{ac_i} = P_{ac_i} * \operatorname{tg} \phi_i \quad 2.3-12$$

Q_{ac} = potência reativa na barra AC

ϕ = ângulo do fator de potência dos conversores.

O fator de potência para maioria dos conversores está na ordem de 0,90 a 0,95. Podendo ser determinado pelas seguintes expressões: (1)

$$\cos \phi_r = \frac{\cos \alpha_r + \cos (\alpha_r + \gamma_r)}{2} \quad 2.3-13$$

$$\cos \phi_i = \frac{\cos \alpha_i + \cos (\alpha_i + \gamma_i)}{2} \quad 2.3-14$$

A potência reativa estimada para um sistema DC, considerando que este opere com fator de potência entre 0,9 a 0,95, ou seja 0,93 é:

$$Q_{dc} \approx 0,4 P_d$$

Onde: P_d é a potência que será transmitida pela linha. Isto é o que na prática se faz para inicializar o estudo dos reativos necessários a determinado sistema DC.

As equações (2.3-1), (2.3-2), (2.3-5) e (2.3-6) são as equações básicas para o estudo do fluxo DC. A partir destas, tem-se a determinar oito variáveis, ou seja:

Tensões nos terminais dos conversores (V_{d_r} e V_{d_i})

Taps dos transformadores (a_r e a_i)

Ângulo de disparo (α_r) e ângulo de extinção (α_i)

Correntes nos conversores (I_{d_r} e I_{d_i}).

No entanto, são necessárias mais quatro equações a fim de que seja possível, determinar tais variáveis. E estas equações são denominadas de controle e dependem das condições impostas para operação dos conversores. No capítulo seguinte, apresenta-se uma descrição para os principais controles usados nas subestações conversoras e os respectivos modos de operação para o sistema DC.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
Coordenação Setorial de Pós-Graduação
Rua Aprígio Veloso, 882 - Tel (083) 321-7222-R 355
58.100 - Campina Grande - Paraíba

2.4. SISTEMA DC EM p.u.

Nos estudos de fluxo de cargas AC, em geral se utiliza os valores por unidade, principalmente para os dados de linhas e tensões de barras. No entanto torna-se necessária a determinação de valores por unidade para o sistema DC, para que se torne compatível a interligação dos sistemas AC e DC.

Com relação a potência base a maioria dos autores (7,8, 10,13), utilizam como base a potência base AC. Para tensão base há alguma divergência. Para o presente trabalho a tensão base para o sistema DC é a tensão no secundário do transformador conversor. Em geral, esta não é conhecida, porém a partir da tensão nominal da linha DC e valores dos equipamentos conversores é possível determiná-la. Da referência (10), tem-se:

$$V_{dc(base)} = \frac{V_d}{R} \quad (\text{fase-neutro})$$

$$\text{Onde: } R = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cos\alpha_r(\text{nominal}) - \frac{X}{\sqrt{2}} \quad 2.4-1$$

X = reatância de dispersão do transformador em p.u.

V_d = tensão nominal da linha DC

A impedância base é dada por: $\frac{(V_{dc(base)})^2}{P_{dc(base)}}$

Corrente base: $I_{dc(base)} = \sqrt{3} I_{ac(base)}$

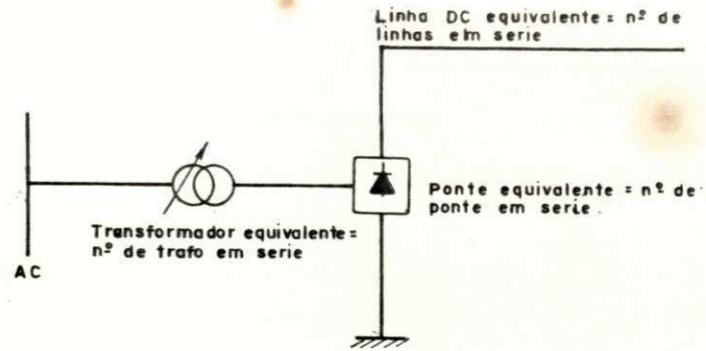


FIG. 2.2-1
CIRCUITO MONOPOLAR EQUIVALENTE

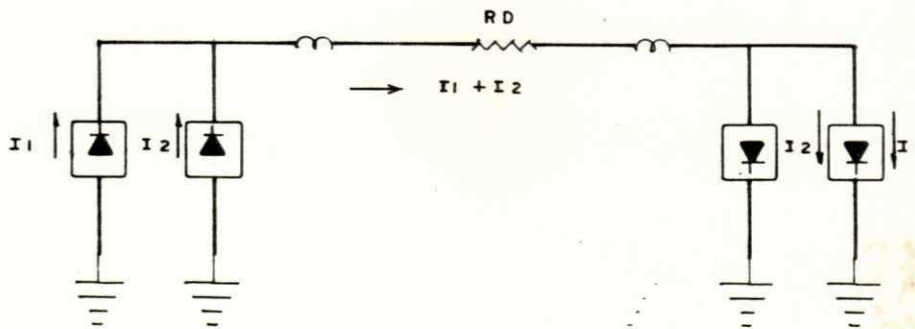


FIG. 2.2-2
CIRCUITO EQUIVALENTE PARA POLOS EM PARALELO

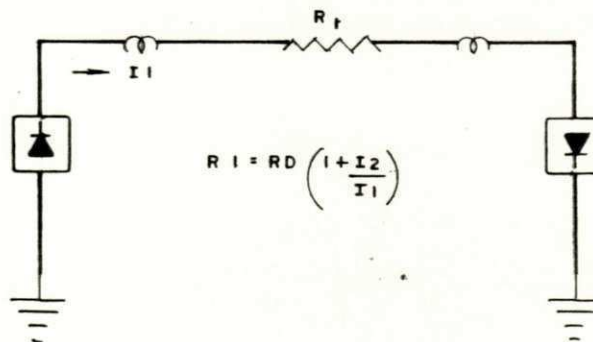


FIG. 2.2-3

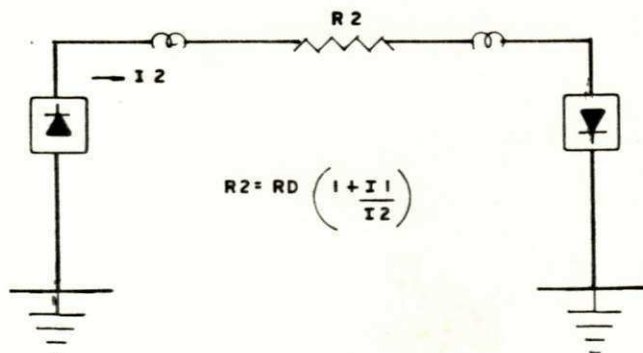


FIG. 2.2-4

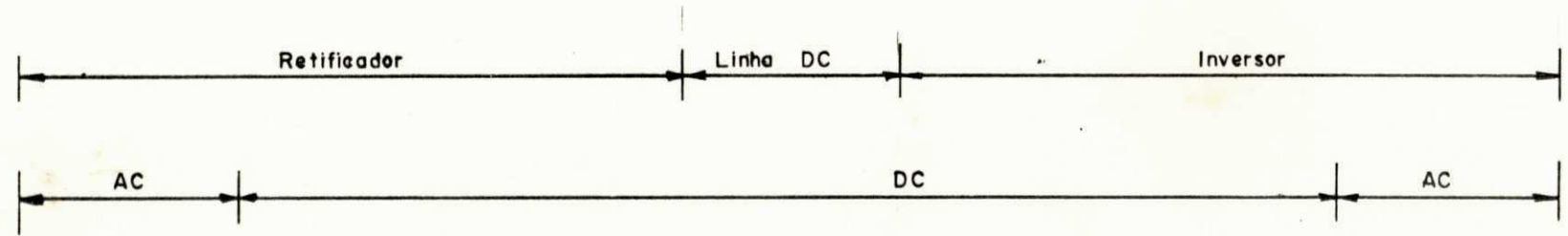
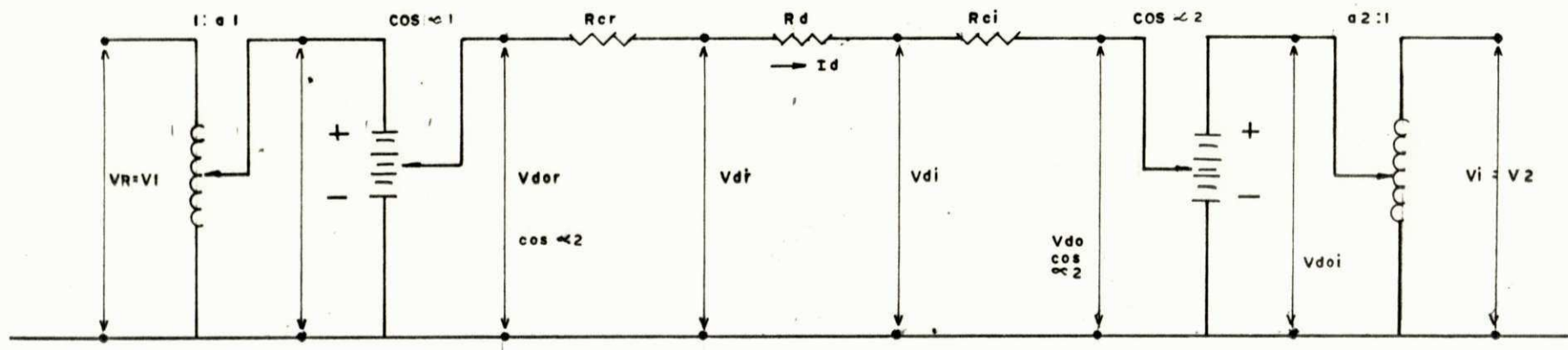


FIG. 2.2 - 5

CIRCUITO EQUIVALENTE PARA TRANSMISSÃO DC QUE INTERLIGA SISTEMA AC, EM REGIME PERMANENTE

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
 Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
 Coordenação Setorial de Pós-Graduação
 Rua Aprígio Veloso, 882 - Tel (083) 321-7222-R 355
 58.100 - Campina Grande - Paraíba

Capítulo 3

CONTROLE E OPERAÇÃO DO SISTEMA HVDC

3.1. INTRODUÇÃO

Os diversos tipos de controle que podem ser aplicados às subestações conversoras de um sistema DC, traduzem a maneira pela qual a linha DC está operando. Em função destes, determina-se as equações de controle que juntamente com as equações básicas (2.3-1), (2.3-2), (2.3-5) e (2.3-6) dos conversores e da linha DC, permitem determinar as variáveis para solução do fluxo de carga DC. Na transmissão DC, o controle de cada terminal conversor é feito independentemente, de acordo com as condições desejadas para funcionamento da linha.

3.2. CONTROLES DO SISTEMA HVDC

Os principais tipos de controle para o sistema HVDC são:

- Controle de potência
- Controle de corrente
- Controle do ângulo de disparo
- Controle do ângulo de extinção

Controle de tap do transformador conversor
Controle de tensão.

Os controles de potência, corrente, tensão e tap do transformador conversor, podem ser aplicados indiscriminadamente, tanto para o terminal retificador como para o inversor.

Conforme descrito no capítulo anterior, as variáveis que determinam o estudo do fluxo de cargas DC, são em número de oito (V_{d_r} , V_{d_i} , a_r , a_i , $\cos\alpha_r$, $\cos\alpha_i$, I_{d_r} , I_{d_i}), sendo necessárias oito equações para solução do fluxo DC. Quatro são equações básicas e as demais, denominadas equações de controle, dependem do modo de operação da transmissão DC.

Equações de Controle

$$V_{d_j} * I_{d_j} = P_{d_{sj}} \quad 3.2-1$$

j = índice que indica retificador ou inversor

$P_{d_{sj}}$ = valor da potência controlada, que se deseja obter na linha

$$I_{d_j} = I_{d_{sj}} \quad 3.2-2$$

$I_{d_{sj}}$ = valor da corrente que se deseja obter na linha, com relação aos terminais do retificador ou do inversor

$$\cos\alpha_j = \cos\alpha_{sj} \quad 3.2-3$$

$\cos\alpha_{sj}$ = valor do ângulo de disparo ou extinção constante

$$a_j = a_{sj} \quad 3.2-4$$

a_{sj} = valor do tap constante, para o transformador ligado ao retificador ou inversor.

$$V_{d_j} = V_{d_{sj}} \quad 3.2-5$$

$V_{d_{sj}}$ = valor da tensão constante, que se deseja obter nos terminais retificador ou inversor.

O modo de operação da transmissão DC, seleciona quatro equações, entre as cinco possíveis. Em geral, duas para o terminal retificador e duas para o terminal inversor.

3.3. MODO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA HVDC

Um modo de controle considerado padrão consiste em controlar corrente (ou potência) no retificador e tensão no inversor, mantendo constantes os ângulos de disparo (α_r) e extinção (α_i) (1, 10, 11, 14). A figura (3.3-1), descreve este tipo de operação. O ponto (P), define a condição de operação para o sistema. O terminal que possui o maior nível de tensão, controla a corrente. Se, por acaso, são atingidos o valor do tap máximo do transformador de retificador ($a_{r_{max}}$), ângulo mínimo de disparo deste conversor

($\alpha_{r_{min}}$), e a tensão em vazio do retificador ($V_{d_{or}}$) seja menor que a tensão em vazio do inversor ($V_{d_{oi}}$), o sistema DC passará a ope

rar no modo "reduzido" (fig. 3.3-2). Há uma mudança nos controles dos terminais. O ponto de operação fica definido pela corrente controlada no inversor e a tensão controlada pelo retificador. Existe uma redução tanto do nível de tensão, como do nível de corrente, e conseqüentemente da potência transmitida. Esta é da ordem de 15% com relação a corrente nominal. Portanto, não é aconselhável a operação de um sistema DC nestas condições.

De um modo geral, os sistemas HVDC operam com ângulo de disparo (α_r) e extinção (α_i) mínimos. Isto para minimizar o consumo de reativos, porém os seus valores devem ser compatíveis, para garantir com segurança a operação dos conversores.

São permitidas diversas combinações entre os modos de controle, para os sistemas HVDC. A escolha porém é feita em função da eficiência de operação e perdas da energia transmitida.

Uma importante parte do controle do sistema HVDC em regime permanente é realizada pela operação dos comutadores de tapas sob carga dos transformadores conversores. Em geral estes comutadores são conectados em série com os enrolamentos do lado dos transformadores conversores ligados ao sistema AC, conforme figura (3.3-3). Alteram a tensão AC no lado do conversor, mudando o ângulo de disparo ou extinção, a tensão e a corrente DC, de modo a manter as condições de controle impostas ao sistema.

Neste estudo, é possível simular seis tipos de controles, para o sistema HVDC. Cada tipo de controle determina quatro equações que em conjunto com as equações básicas, determinam a solução para o fluxo de cargas DC.

Controle tipo (1)

Equações de controle

$$\alpha_r = \alpha_{sr}$$

$$\alpha_i = \alpha_{si}$$

$$V_{d_r} * I_{d_r} = P_{d_{sr}}$$

$$V_{d_i} = V_{d_{si}}$$

Controle tipo (2)

Equações de controle

$$\alpha_r = \alpha_{sr}$$

$$\alpha_i = \alpha_{si}$$

$$I_{d_r} = I_{d_{sr}}$$

$$V_{d_i} = V_{d_{si}}$$

Controle tipo (3). Modo reduzido. Figura (3.3-2)

Equações de Controle

$$a_r = a_{r_{\max}}$$

$$\alpha_i = \alpha_{si}$$

$$V_{d_r} = V_{d_{sr}}$$

$$I_{d_i} = I_{d_{si}} \text{ (reduzida)}$$

Controle tipo (4)

Equações de controle

$$\alpha_r = \alpha_{sr}$$

$$a_i = a_{i_{\max}}$$

$$V_{d_r} = V_{d_{sr}}$$

$$I_{d_i} = I_{d_{si}}$$

Controle tipo (5)

Equações de controle

$$a_r = a_{rs}$$

$$\alpha_i = \alpha_{si}$$

$$V_{d_r} = V_{d_{sr}}$$

$$I_{d_i} = I_{d_{si}}$$

Controle tipo (6)

Equações de controle

$$\alpha_r = \alpha_{sr}$$

$$\alpha_i = \alpha_{si}$$

$$V_{d_r} * I_{d_r} = P_{d_{sr}}$$

$$V_{d_r} = V_{d_{rs}}$$

No capítulo 5, destaca-se os vários tipos de controle para os sistemas analisados.

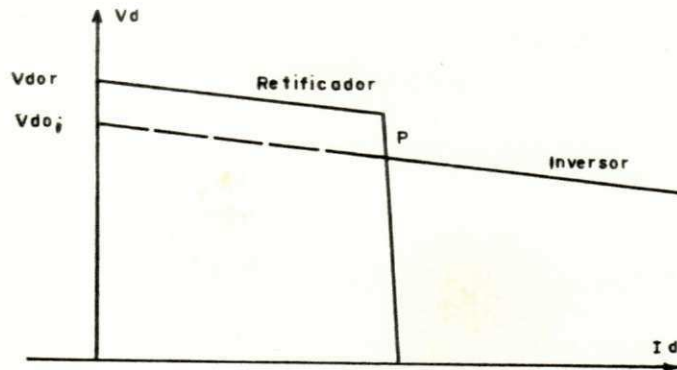


FIG. 3.3 - 1
MODO DE OPERAÇÃO PADRÃO DE UM SISTEMA DC

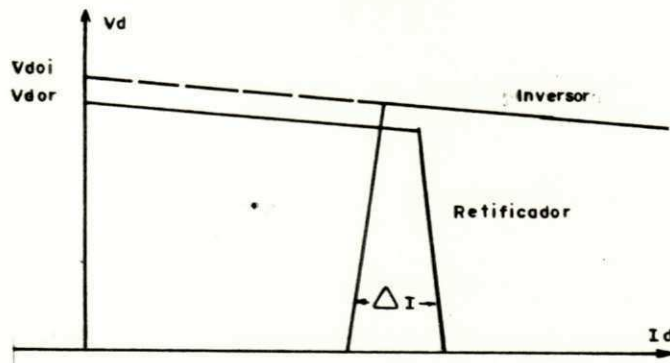


FIG. 3.3 - 2
MODO DE OPERAÇÃO REDUZIDO DE UM SISTEMA DC

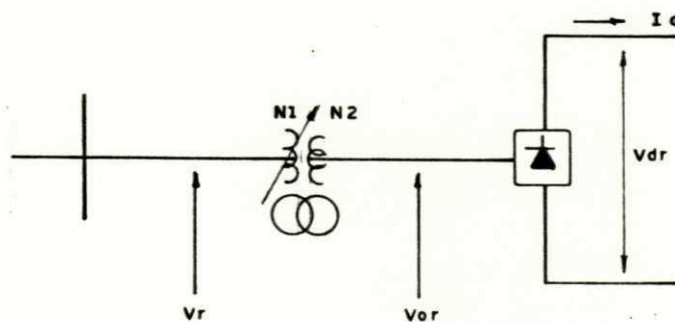


FIG. 3.3 - 3
REPRESENTAÇÃO DO COMUTADOR DE TAP. NO ENROLAMENTO DO TRANSFORMADOR CONVERSOR, LIGADO AO SISTEMA AC.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
 Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
 Coordenação Setorial de Pós-Graduação
 Rua Aprígio Veloso, 832 Tel (083) 321-7222-R 355
 58.100 - Campina Grande - Paraíba

Capítulo 4

O MÉTODO DE NEWTON RAPHSON PARA SOLUÇÃO DO FLUXO DE CARGAS DC

4.1. INTRODUÇÃO

O método de solução adotado para resolução do sistema de equações para transmissão em corrente contínua de alta tensão, foi o de Newton Raphson. Este permite conhecermos as variáveis de diferença " ΔR_i ", que devem ser adicionadas as estimativas iniciais $R_i^{(0)}$, a fim de se obter a solução para o sistema.

O número de equações que caracterizam o sistema HVDC, constitui uma matriz jacobiana "C", 8x8, em cada iteração DC. Torna-se necessária a definição dos resíduos de cada equação DC, e no final do processo iterativo, estes deverão ser inferiores a uma precisão especificada.

4.2. ARRANJO MATRICIAL E IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DC EM COMPUTADOR DIGITAL

Das equações (2.3-1), (2.3-2), (2.3-5) e (2.3-6) denominadas básicas, tem-se os seguintes resíduos:

- 1,35V ar 50Vr.

$$F1 = V_{d_r} - V_{d_{or}} \cos \alpha_r + (R_C + R_R) I_{d_r} + \Delta V = 0$$

$$F2 = V_{d_i} + V_{d_{oi}} \cos \alpha_i - (R_C - R_R) I_{d_i} - \Delta V = 0$$

$$F3 = I_{d_r} - G_d \cdot V_{d_r} + G_d \cdot V_{d_i} = 0$$

$$F4 = I_{d_i} - G_d \cdot V_{d_r} + G_d \cdot V_{d_i} = 0$$

$$G_d = \frac{1}{R_D}$$

Os demais resíduos, dependem do tipo de controle utilizado. Considerando um modo padrão tem-se:

$$F5 = \cos \alpha_{sr} - \cos \alpha_r = 0$$

$$F6 = \cos \alpha_{si} - \cos \alpha_i = 0$$

$$F7 = I_{d_{sr}} - I_{d_r} = 0$$

$$F8 = V_{d_{si}} - V_{d_i} = 0$$

O algoritmo de Newton Raphson consiste em resolver a equação:

$$F_i = C_{ii} \Delta R_i \quad 4.2-1$$

Onde:

$$C_{ii} = - \frac{\partial F_i}{\partial R_i}$$

$$\Delta R_i = [C_{ii}]^{-1} \cdot F_i$$

Arranjo matricial para equações, considerando o controle mencionado na página anterior.

$$\begin{array}{l}
 \left[\begin{array}{l}
 F1 \\
 F2 \\
 F3 \\
 F4 \\
 F5 \\
 F6 \\
 F7 \\
 F8
 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{cccccccc}
 KV_r \cos \alpha_r & 0 & -1 & 0 & KV_r a_r & 0 & -(R_C + R_R) & 0 \\
 0 & KV_i \cos \alpha_i & 0 & -(R_C - R_R) & 0 & KV_i a_i & 0 & -1 \\
 0 & 0 & G_d & 0 & 0 & 0 & -1 & -G_d \\
 0 & 0 & G_d & -1 & 0 & 0 & 0 & -G_d \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{l}
 \Delta a_r \\
 \Delta a_i \\
 \Delta V_{d_r} \\
 \Delta I_{d_i} \\
 \Delta \cos \alpha_r \\
 \Delta \cos \alpha_i \\
 \Delta I_{d_r} \\
 \Delta V_{d_i}
 \end{array} \right]
 \end{array}$$

No estudo desenvolvido, para qualquer tipo de controle utilizado, a matriz jacobiana não contém elemento nulo na diagonal. As equações básicas estão sempre presentes e as equações de controle (3.2-1), (3.2-2), (3.2-3), (3.2-4) e (3.2-5) dependem da maneira como o sistema opera e selecionadas quatro equações entre as cinco possíveis.

Para uma implementação do modelo de simulação DC em computador digital, a seguinte formulação sequencial se faz necessária:

1. Determinar valores iniciais para I_{d_r} , V_{d_r} , I_{d_i} e V_{d_i} .
2. Resolver equação 4.2-1.
3. Testar convergência das variáveis de diferença " ΔR_i ".
4. Calcular demais grandezas:

- Fluxo de potência ativa (2.3-7), (2.3-8)
- Ângulos de comutação (2.3-3), (2.3-4)
- Fator de potência (2.3-13), (2.3-14)
- Consumo de reativos (2.3-11), (2.3-12)
- Queda de tensão na linha DC
- Perdas na transmissão.

A figura (4.2-1) apresenta um fluxograma, o qual colocado em forma de subrotina, pode ser incorporado em qualquer programa de fluxo de cargas AC disponível.

4.3. INTEGRAÇÃO DA SUBROTINA DC, NO PROGRAMA DE FLUXO DE CARGAS AC

As barras do sistema AC, ligadas aos transformadores conversores, são denominadas de interface. As tensões V_r e V_i (fig. 2.2-5) são calculadas a cada iteração AC, e utilizadas na resolução das equações DC.

O sistema DC, uma vez convergido, determina os fluxos de potências ativas e consumo de reativos, através de conversores, que são introduzidos no sistema AC, como cargas, ligadas ao barramento de interface. Realiza-se uma iteração AC e novos valores de V_r e V_i são calculados. Com os novos valores de tensões V_r e V_i , processa-se outro ciclo iterativo para o sistema DC. O processo continua até que ambos os sistemas convirjam.

Os valores de V_r e V_i permanecem constantes durante a solução do sistema DC, bem como os valores das potências ativas e reativas (P_{ac_r} , Q_{ac_r} , P_{ac_i} , Q_{ac_i}) durante cada iteração para o fluxo AC.

Para o primeiro ciclo de iteração DC, V_r e V_i correspon

dem aos valores nominais dos barramentos de interface, uma vez que não foi realizada nenhuma iteração AC.

A figura (4.3-1) apresenta um fluxograma simplificado para a solução do fluxo de carga AC/DC.

Para integração da subrotina DC, no programa AC, os valores utilizados para ambos os sistemas são valores normalizados ou seja por unidade.

Com relação ao programa AC, que serviu de base para este estudo, foram modificados alguns aspectos, a fim de permitir uma perfeita integração dos sistemas AC/DC.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
Coordenação Geral de Pós-Graduação
Rua Aprígio Veloso 832 Tel (083) 321 7222-R 355
58.100 - Campina Grande - Paraíba



FIG. 4.2 - 1
FLUXOGRAMA PARA O FLUXO DE CARGA - DC

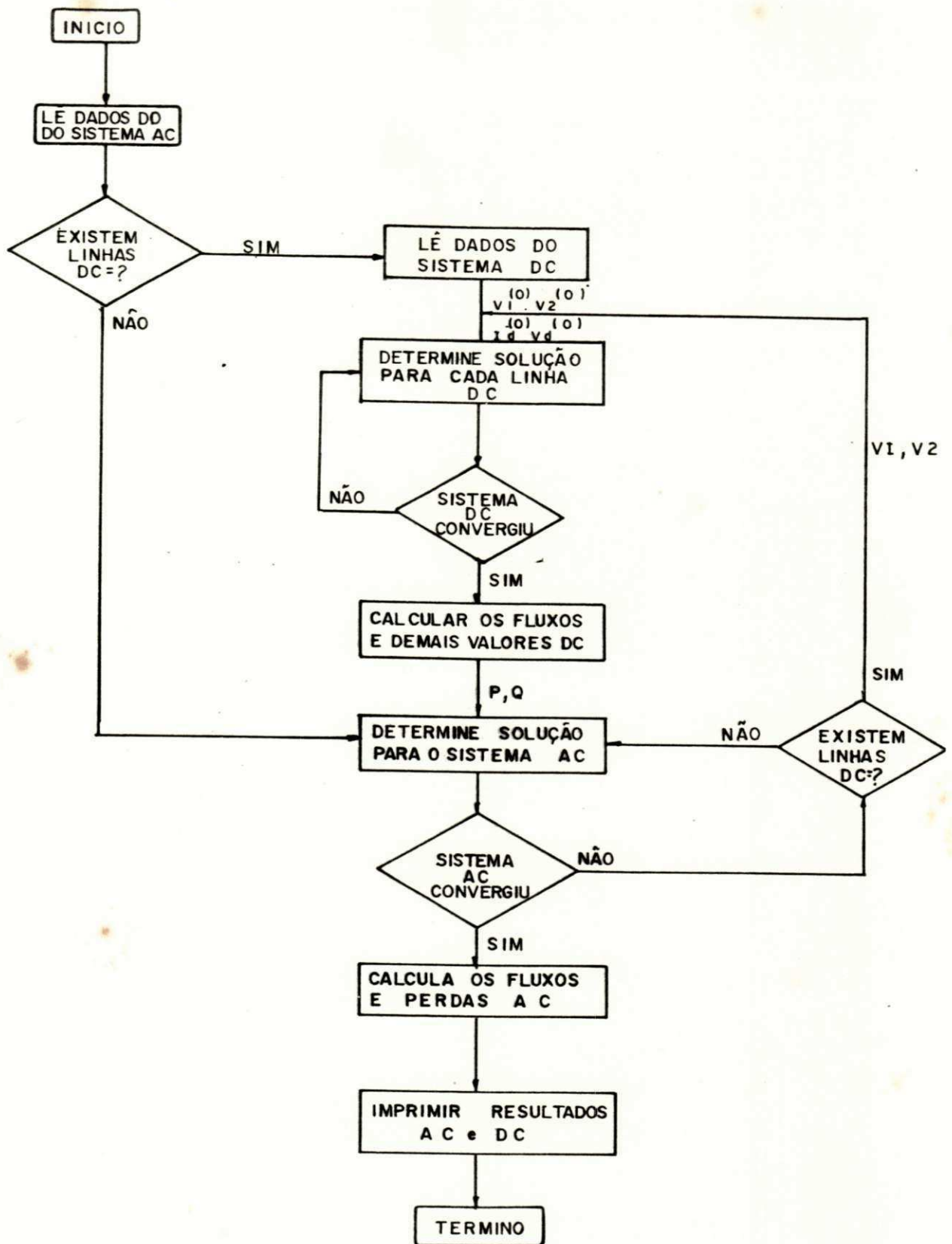


FIG. 4.3 - 1
 FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO PARA
 O FLUXO DE CARGA AC / DC

Capítulo 5

SISTEMAS ANALISADOS

5.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta os principais sistemas analisados, seus objetivos e resultados, dando destaque aos tipos de configurações usadas e controles dos sistemas conversores. Tem como finalidade a comprovação do esquema implantado, através de diversas simulações processadas, tornando possível obter as informações necessárias à análise de sistemas de potência que envolvem linhas de transmissão em corrente contínua.

5.2. PRINCIPAIS SISTEMAS ESTUDADOS

Sistema 250 KV

Este serviu de caso teste para o estudo desenvolvido, uma vez que foi processado pelo programa elaborado pelo CEPEL (10) e pelo programa da Commonwealth Edison Co. (7).

A linha possui a configuração apresentada na figura (5.2-1). Primeiramente foi considerado o controle de potência no retificador e tensão no inversor. Em seguida o controle de cor

rente no retificador e tensão no inversor. Os dados de entrada necessários à simulação DC, estão descritos no apêndice I. São apresentados a seguir, os dados de entrada e os resultados obtidos. A figura (5.2-2), estabelece a convenção de sinais para os terminais conversores. Verifica-se que para ambos os controles, o sistema comporta-se de maneira semelhante. A diferença está no número de iterações realizadas para cada caso. O sistema opera em condições normais, figura (3.3-1).

NUMERO DE LINKS DC..... 2

DADOS DE CONVERSORES E LINHAS DE CORRENTE CONTINUA.....

LINHA	FD	VD(KV)	NP	NL	NT
1 2	0.0018	247.9000	2	2	2
CONTROLE	XD(1)	TAP1MIN	TAP1MAX	TAP1	
1	0.1100	0.8500	1.1500	1.0000	
XD(2)	ALFA	ALFAMIN	TETA	TETAMIN	
0.1100	13.2000	13.2000	13.2000	13.2000	
RP	PD(MW)	TAP2MIN	TAP2MAX	TAP2	
1.3500	480.0000	0.8500	1.1500	0.0	

VALORES DE REFERENCIA

PDSET(MW)	IDSET(A)	VD1SET	VD2SET
480.7000	0.0	0.0	0.9710
ALFASET(G)	TETASET(G)		
13.2000	13.2000		

LINHA	FD	VD(KV)	NP	NL	NT
1 2	0.0018	247.9000	2	2	2
CONTROLE	XD(1)	TAP1MIN	TAP1MAX	TAP1	
2	0.1100	0.8500	1.1500	1.0000	
XD(2)	ALFA	ALFAMIN	TETA	TETAMIN	
0.1100	13.2000	13.2000	13.2000	13.2000	
RP	PD(MW)	TAP2MIN	TAP2MAX	TAP2	
1.3500	480.0000	0.8500	1.1500	1.0000	

VALORES DE REFERENCIA

PDSET(MW)	IDSET(A)	VD1SET	VD2SET
0.0	988.5000	0.0	0.9710
ALFASET(G)	TETASET(G)		
13.2000	13.2000		

-----RELATORIO DE LINKS DC-----

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
 Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
 Coordenação Setorial de Pós-Graduação
 Rua Aprigio Veloso, 832 - Tel (083) 321-7222-R 355
 58.100 - Campina Grande - Paraíba

	TERMINAL RETIFICADOR BARRA 1	TERMINAL INVERSOR BARRA 2
TENSÃO AC.....	1.000 PU	1.000 PU
TENSÃO DC.....	0.981 PU	0.971 PU
	243.11 KV	240.71 KV
ÂNGULO DE DISPARO E EXTINÇÃO	13.2 GRAUS	13.2 GRAUS
ÂNGULO DE COMUTAÇÃO.....	13.8 GRAUS	13.9 GRAUS
FATOR DE POTENCIA.....	0.93	0.93
TAP DO TRANSFORMADOR.....	1.052	1.042
POTENCIA DC.....	480.70 MW	-475.95 MW
CONSUMO DE REATIVOS.....	186.71 MVAR	185.47 MVAR
CORRENTE DC.....	988.7 AMPS	
PERDAS DC.....	4.7 MW	
QUEDA DC.....	2.4 KV	
NUMERO DE ITERACOES DC.....	3	

	TERMINAL RETIFICADOR BARRA 1	TERMINAL INVERSOR BARRA 2
TENSÃO AC.....	1.000 PU	1.000 PU
TENSÃO DC.....	0.981 PU	0.971 PU
	243.11 KV	240.71 KV
ÂNGULO DE DISPARO E EXTINÇÃO	13.2 GRAUS	13.2 GRAUS
ÂNGULO DE COMUTAÇÃO.....	13.8 GRAUS	13.9 GRAUS
FATOR DE POTENCIA.....	0.93	0.93
TAP DO TRANSFORMADOR.....	1.052	1.042
POTENCIA DC.....	480.63 MW	-475.89 MW
CONSUMO DE REATIVOS.....	186.68 MVAR	185.43 MVAR
CORRENTE DC.....	988.5 AMPS	
PERDAS DC.....	4.7 MW	
QUEDA DC.....	2.4 KV	
NUMERO DE ITERACOES DC.....	2	

Sistema CHESF

A transmissão em corrente contínua, neste sistema, é função da longa distância entre os pontos de interligação dos barramentos de Imperatriz e Camaçari. A energia gerada em Imperatriz será fornecida a Camaçari, por meio de duas linhas DC, uma com nível de tensão de 600 KV e outra de 300 KV. Ambas utilizam controle de corrente no conversor e tensão no inversor. A aplicação deste sistema consistiu em análise de um sistema real e também para comprovar a validade do estudo feito, comparado ao realizado pela THEMAG, o qual nos foi concedido pela Companhia Hidroelétrica do São Francisco-PE.

A figura 5.2-3 apresenta um diagrama unifilar para o sistema CHESF.

As linhas DC utilizam conversores de 12 pulsos e arranjo monopolar (figura 5.2-4).

Apresenta-se a seguir os dados de entrada e relatórios das linhas DC.

Sistema de Operação

Baseia-se no controle de corrente pelo retificador agindo sobre o ângulo de disparo (α_r) e a determinação da tensão no inversor mantendo-se constante o ângulo de extinção α_i . A redução do ângulo α_r , permite aumentar I_{d_r} , similarmente para diminuir I_{d_r} , aumenta-se o valor do ângulo α_r . A variação de I_{d_r} implica na variação de V_{d_i} . A primeira característica deste tipo de controle é determinar o valor de α_r , ajustado através da variação do comutador de tap do transformador conversor (retificador). A segunda característica consiste em determinar V_{d_r} , de modo a fornecer a corrente especificada. Mantendo-se α_i constante, o comutador de taps do transformador conversor (inversor) permite manter V_{d_i} constante.

NUMERO DE LINKS DC 2

DADOS DE CONVERSORES E LINHAS DE CORRENTE CONTINUA

LINHA	RD	VD(KV)	NP	NL	NT
1 2	0.0047	600.0000	4	1	4
CONTROLE	XD(1)	TAP1MIN	TAP1MAX	TAP1	
2	0.2000	0.9100	1.2000	1.0000	
XD(2)	ALFA	ALFAMIN	TETA	TETAMIN	
0.1783	11.5000	11.5000	15.0000	12.5000	
RP	PD(MW)	TAP2MIN	TAP2MAX	TAP2	
1.0000	1499.3398	0.9200	1.1200	1.0000	

VALORES DE REFERENCIA

PDSET(MW)	IDSET(A)	VD1SET	VD2SET
0.0	1944.0000	0.0	0.9608
ALFASET(G)	TETASET(G)		
12.5000	15.0000		

LINHA	RD	VD(KV)	NP	NL	NT
1 2	0.0186	300.0000	2	1	2
CONTROLE	XD(1)	TAP1MIN	TAP1MAX	TAP1	
2	0.2000	0.9100	1.2000	1.0000	
XD(2)	ALFA	ALFAMIN	TETA	TETAMIN	
0.1783	11.5000	11.5000	15.0000	12.5000	
RP	PD(MW)	TAP2MIN	TAP2MAX	TAP2	
1.0000	749.6699	0.9200	1.1200	1.0000	

VALORES DE REFERENCIA

PDSET(MW)	IDSET(A)	VD1SET	VD2SET
0.0	1944.0000	0.0	0.9217
ALFASET(G)	TETASET(G)		
12.5000	15.0000		

-----RELATORIO DE LINKS DC-----

	TERMINAL RETIFICADOR BARRA 1	TERMINAL INVERSOR BARRA 2
TENSÃO AC.....	1.000 PU	1.000 PU
TENSÃO DC.....	1.000 PU	0.961 PU
	600.01 KV	576.51 KV
ÂNGULO DE DISPARO E EXTINÇÃO	12.5 GRAUS	15.0 GRAUS
ÂNGULO DE COMUTAÇÃO.....	22.7 GRAUS	20.9 GRAUS
FATOR DE POTENCIA.....	0.90	0.89
TAP DO TRANSFORMADOR.....	0.974	0.945
POTENCIA DC.....	1166.42 MW	-1120.73 MW
CONSUMO DE REATIVOS.....	576.39 MVAR	579.67 MVAR
CORRENTE DC.....	1944.0 AMPS	
PERDAS DC.....	45.7 MW	
QUEDA DC.....	23.5 KV	
NUMERO DE ITERACOES DC.....	2	

	TERMINAL RETIFICADOR BARRA 1	TERMINAL INVERSOR BARRA 2
TENSÃO AC.....	1.000 PU	1.000 PU
TENSÃO DC.....	1.000 PU	0.922 PU
	299.92 KV	276.52 KV
ÂNGULO DE DISPARO E EXTINÇÃO	12.5 GRAUS	15.0 GRAUS
ÂNGULO DE COMUTAÇÃO.....	22.7 GRAUS	21.4 GRAUS
FATOR DE POTENCIA.....	0.90	0.89
TAP DO TRANSFORMADOR.....	0.974	0.910
POTENCIA DC.....	583.04 MW	-537.55 MW
CONSUMO DE REATIVOS.....	288.15 MVAR	282.50 MVAR
CORRENTE DC.....	1944.0 AMPS	
PERDAS DC.....	45.5 MW	
QUEDA DC.....	23.4 KV	
NUMERO DE ITERACOES DC.....	2	

Sistema HINGORANI

A configuração para o sistema, figura (5.2-5), consiste em um arranjo monopolar. O estudo deste sistema, permitiu a utilização do controle de potência no retificador e tensão V_{d_r} constante. Na prática, a tensão constante é determinada para o inversor. No entanto, o controle realizado para este sistema é uma forma de verificar-se o comportamento da linha DC, em estudos de planejamento.

A seguir, dados de entrada e resultados obtidos.

NUMERO DE LINKS DC..... 1

DADOS DE CONVERSORES E LINHAS DE CORRENTE CONTINUA.....

LINHA	RD	VD(KV)	NP	NL	NT
1 2	0.0020	1000.0000	1	1	1
CONTROLE	XD(1)	TAP1MIN	TAP1MAX	TAP1	
6	0.2000	0.8500	1.1500	1.0000	
XD(2)	ALFA	ALFAMIN	TETA	TETAMIN	
0.2000	16.0000	15.0000	18.0000	18.0000	
FP	PD(MW)	TAP2MIN	TAP2MAX	TAP2	
1.0000	4000.0000	0.8500	1.1500	1.0000	

VALORES DE REFERENCIA

PDSET(MW)	IDSET(A)	VD1SET	VD2SET
4000.0000	0.0	1.0200	0.0
ALFASET(G)	TETASET(G)		
16.0000	18.0000		

---RELATORIO DE LINKS DC---

	TERMINAL RETIFICADOR BARRA 1	TERMINAL INVERSOR BARRA 2
TENSAD AC.....	1.008 PU	1.000 PU
TENSAD DC.....	1.020 PU	0.961 PU
	1020.00 KV	961.18 KV
ANGULO DE DISPARO E EXTINCAO.....	16.0 GRAUS	18.0 GRAUS
ANGULO DE COMUTACAO.....	24.2 GRAUS	23.8 GRAUS
FATOR DE POTENCIA.....	0.86	0.85
TAP DO TRANSFORMADOR.....	0.995	1.030
POTENCIA DC.....	4000.00 MW	-3769.32 MW
CONSUMO DE REATIVOS.....	2345.83 MVAR	2354.63 MVAR
CORRENTE DC.....	3921.6 AMPS	
PERDAS DC.....	230.7 MW	
QUEDA DC.....	58.8 KV	
NUMERO DE ITERACOES DC.....	3	

Sistema de Itaipu

A figura (5.2-6) apresenta a configuração do sistema. O tipo de controle considerado para este sistema, trata-se de polos em paralelos. Conforme descrito anteriormente, a operação em paralelo é simulada através de duas operações, uma para cada ^{polo} paralelo lado. Este tipo de operação, caracteriza-se para o sistema de Itaipu, como uma operação de emergência. Neste modo de operação, polos de mesma polaridade podem operar em conjunto com uma mesma linha DC. A principal razão para especificar a operação paralela é para condições de falhas no sistema de transmissão, ou seja: falha da torre, ou perda de uma linha DC (15). Na falha de uma torre, o sistema perderia um bipolo, ou seja, metade de sua capacidade de transmissão. Com a operação paralela, é possível a transmissão da potência de ambos os circuitos dos bipolos sobre uma mesma e única torre que sustenta os circuitos do bipolo não afetado. Há, conseqüentemente, maiores perdas na transmissão, pois modificase a resistência da linha DC. Os controles básicos para cada polo são individualizados. Em conseqüência, os controles de paralelismo serão separados para cada par de polos de mesma polaridade. Portanto, este tipo de operação também cobre o caso de perda de um bipolo. De acordo com o exposto, a especificação da operação paralela, permite maiores condições para os sistemas DC.

A seguir, os dados de entrada e resultados para o sistema, com operação paralela. No estudo realizado, a simulação deste controle processa-se da seguinte maneira. Primeiramente o polo com maior ordem de corrente, mantendo-se $\alpha_i = \alpha_{si}$. Em seguida fixa-se o tap do transformador conversor inversor e processa-se o polo de menor corrente, a fim de que seja realizada a operação sincronizada dos comutadores de taps dos dois bipolos.

NUMERO DE LINKS DC..... 2

DADOS DE CONVERSORES E LINHAS DE CORRENTE CONTINUA.....

LINHA	FD	VD(KV)	NP	NL	NT
1 2	0.0080	600.0000	4	1	4
CONTROLE	XD(1)	TAP1MIN	TAP1MAX	TAP1	
5	0.1780	1.0000	1.0000	1.0000	
XD(2)	ALFA	ALFAMIN	TETA	TETAMIN	
0.1578	15.0000	12.5000	17.0000	17.0000	
PP	PD(MW)	TAP2MIN	TAP2MAX	TAP2	
1.0000	1575.0000	0.8500	1.1500	1.0000	

VALORES DE REFERENCIA

PDSET(MW)	IDSET(A)	VD1SET	VD2SET
0.0	2610.0000	1.0014	0.0
ALFASET(G)	TETASET(G)		
0.0	17.0000		

LINHA	FD	VD(KV)	NP	NL	NT
1 2	0.0105	600.0000	4	1	4
CONTROLE	XD(1)	TAP1MIN	TAP1MAX	TAP1	
4	0.1780	1.0050	1.0050	1.0000	
XD(2)	ALFA	ALFAMIN	TETA	TETAMIN	
0.1578	15.0000	12.5000	17.0000	17.0000	
PP	PD(MW)	TAP2MIN	TAP2MAX	TAP2	
1.0000	1575.0000	0.8500	1.1500	1.0000	

VALORES DE REFERENCIA

PDSET(MW)	IDSET(A)	VD1SET	VD2SET
0.0	2000.0000	1.0014	0.0
ALFASET(G)	TETASET(G)		
14.7000	0.0		

----RELATORIO DE LINKS DC----

-----POLOS EM PARALELO-----

	TERMINAL RETIFICADOR BARRA 1	TERMINAL INVERSOR BARRA 2
TENSÃO AC.....	1.000 PU	1.000 PJ
TENSÃO DC.....	1.001 PU	0.911 PU
	600.84 KV	546.62 KV
ANGULO DE DISPARO E EXTINÇÃO	14.2 GRAUS	17.0 GRAUS
ANGULO DE COMUTACAO.....	23.5 GRAUS	22.1 GRAUS
FATOR DE POTENCIA.....	0.88	0.87
TAP DO TRANSFORMADOR.....	1.000	1.098
POTENCIA DC.....	1568.19 MW	-1426.68 MW
CONSUMO DE REATIVOS.....	851.12 MVAR	817.84 MVAR
CORRENTE DC.....	2610.0 AMPS	
PERDAS DC.....	141.5 MW	
QUEDA DC.....	54.2 KV	
NUMERO DE ITERACOES DC.....	3	

	TERMINAL RETIFICADOR BARRA 1	TERMINAL INVERSOR BARRA 2
TENSÃO AC.....	1.000 PU	1.000 PU
TENSÃO DC.....	1.001 PU	0.911 PU
	600.84 KV	546.58 KV
ANGULO DE DISPARO E EXTINÇÃO	14.2 GRAUS	20.6 GRAUS
ANGULO DE COMUTACAO.....	19.7 GRAUS	16.5 GRAUS
FATOR DE POTENCIA.....	0.90	0.87
TAP DO TRANSFORMADOR.....	1.023	1.098
POTENCIA DC.....	1201.68 MW	-1093.16 MW
CONSUMO DE REATIVOS.....	586.86 MVAR	624.20 MVAR
CORRENTE DC.....	2000.0 AMPS	
PERDAS DC.....	108.5 MW	
QUEDA DC.....	54.3 KV	
NUMERO DE ITERACOES DC.....	3	

5.3. INFLUÊNCIA DA TRANSMISSÃO DC, NOS SISTEMAS AC

O sistema CEPEL foi utilizado para verificação da influência da transmissão DC, nos sistemas AC.

Inicialmente, foi estudado o sistema CEPEL, AC. A figura (5.3-1) apresenta o diagrama unifilar deste.

A finalidade deste estudo foi determinar uma solução para o fluxo AC, a qual será comparada com o sistema AC/DC.

Dados de entrada e resultados para o fluxo de cargas AC.

ESTUDO DE FLUXO DE CARGA

METODO DE NEWTON RAPHSON

SISTEMA* CEPEL

NUMERO MAXIMO DE ITERACOES..... 6
 BASE DE POTENCIA..... 100.0000
 TOLERANCIA PARA CONVERGENCIA..... 0.0010
 NUMERO DE RAMOS AC..... 9
 NUMERO DE BARRAS..... 8
 NUMERO DE CONTINGENCIAS..... 0

DADOS DE LINHAS DE CORRENTE ALTERNADA

NL	1	2	R	X		Y		TAP		LADO
1	1	2	0.0017	0.0289	.0	1.0828	0.0	0.0	0.0	0
2	1	2	0.0017	0.0292	.0	1.0941	0.0	0.0	0.0	0
3	2	3	0.0015	0.0258	.0	0.9646	0.0	0.0	0.0	0
4	2	4	0.0016	0.0264	.0	0.9871	0.0	0.0	0.0	0
5	4	5	0.0017	0.0286	.0	1.0716	0.0	0.0	0.0	0
6	3	5	0.0019	0.0327	.0	1.2298	0.0	0.0	0.0	0
7	5	6	0.0006	0.0100	.0	0.4225	0.0	0.0	0.0	0
8	1	7	0.0	0.0240	.0	0.0	1.0000	0.0	0.0	7
9	3	8	0.0	0.0241	.0	0.0	1.0000	0.0	0.0	3

DADOS DE BARRA

BARRA	TIPO	PG	QG	PC	QC	V	ANG
1	3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0500	0.0
			QSHT	QMAX	QMIN	CMAX	QNOM
			0.0	10000.00	-10000.00	1.0000	3.6000
				KV	PUPZ	PUQZ	VM
				500.0	0.0	0.0	1.0000
2	0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0200	-15.0000
			QSHT	QMAX	QMIN	CMAX	QNOM
			-300.0000	0.0	0.0	0.0	0.0
				KV	PUPZ	PUQZ	VM
				500.0	0.0	0.0	1.0000
3	0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0000	-26.0000
			QSHT	QMAX	QMIN	CMAX	QNOM
			-75.0000	0.0	0.0	0.0	0.0
				KV	PUPZ	PUQZ	VM
				500.0	0.0	0.0	1.0000
4	0	0.0	0.0	134.0000	-32.0000	1.0000	0.0
			QSHT	QMAX	QMIN	CMAX	QNOM
			-140.0000	0.0	0.0	0.0	0.0
				KV	PUPZ	PUQZ	VM
				500.0	0.0	0.0	1.0000
5	0	0.0	0.0	1300.0000	50.0000	1.0190	-35.0000
			QSHT	QMAX	QMIN	CMAX	QNOM
			-140.0000	0.0	0.0	0.0	0.0
				KV	PUPZ	PUQZ	VM
				500.0	0.0	0.0	1.0000
6	1	240.0000	0.0	0.0	0.0	1.0000	-34.0000
			QSHT	QMAX	QMIN	CMAX	QNOM
			0.0	10000.00	-10000.00	1.0000	3.6000
				KV	PUPZ	PUQZ	VM
				500.0	0.0	0.0	1.0000
7	0	0.0	0.0	180.0000	86.0000	1.0310	-6.0000
			QSHT	QMAX	QMIN	CMAX	QNOM
			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
				KV	PUPZ	PUQZ	VM
				345.0	0.0	0.0	1.0000
8	0	0.0	0.0	290.0000	48.0000	1.0070	-30.0000
			QSHT	QMAX	QMIN	CMAX	QNOM
			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
				KV	PUPZ	PUQZ	VM
				345.0	0.0	0.0	1.0000

RELATORIO DO SISTEMA# AC

NUMERO DE ITERACOES 5

TENSÃO EM CADA BARRA

BARRA	VREAL	VIMAG	VMOD	ANG
1	1.0500	0.0	1.0500	0.0
2	0.9853	-0.2085	1.0072	-11.9685
3	0.9389	-0.3960	0.9915	-23.5443
4	0.9165	-0.3889	0.9956	-22.9942
5	0.8342	-0.5370	0.9921	-32.7712
6	0.8535	-0.5211	1.0000	-31.4088
7	1.0283	-0.0412	1.0291	-2.2923
8	0.8652	-0.4535	0.9770	-27.6828

FLUXOS DE POTENCIA

LINHA	POTENCIA ATIVA MWATT	POTENCIA REATIVA MVAR
1 2	770.0020	70.5007
2 1	-760.3035	-134.8560
1 2	762.0039	67.7693
2 1	-752.5032	-136.1994
2 3	782.1411	-3.2655
3 2	-772.9626	-31.5308
2 4	730.6213	-30.0102
4 2	-722.1238	-27.7454
4 5	538.0708	-78.9997
5 4	-582.1265	-32.6777
3 5	482.8416	-112.0015
5 3	-478.3335	-52.3580
5 6	-239.5681	-102.7455
6 5	239.9407	25.1211
1 7	180.0777	95.0538
7 1	-180.0776	-86.0278
3 8	290.0735	69.8167
8 3	-290.0735	-47.9921

GERACAO E COMPENSACAO

BARRA	PALT	PCF	QGS	QCAP	QCR	NBAN	ERP
1	1712.08	0.0	233.32	0.0	0.0	0.0	0.00
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.04
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.05
4	0.0	134.00	0.0	0.0	-32.00	0.0	-0.05
5	0.0	1300.00	0.0	0.0	50.00	0.0	-0.03
6	240.00	0.0	25.11	0.0	0.0	0.0	-0.06
7	0.0	180.00	0.0	0.0	86.00	0.0	-0.08
8	0.0	290.00	0.0	0.0	48.00	0.0	-0.07

PERDAS ATIVAS
47.7002

PERDAS REATIVAS
-548.1467

Sistema CEPEL AC/DC

A figura (5.3-2) apresenta o diagrama unifilar deste sistema. A configuração para cada linha DC, está representada na figura (5.3-3).

O sistema possui uma linha DC funcionando em paralelo com uma linha AC e outra interligando barras do sistema AC.

Para ambas as linhas DC, qualquer tipo de controle pode ser utilizado. Para linha DC, funcionando em paralelo (4) com linha AC, em geral se utiliza controle de potência no retificador, tomando como base, a potência que se deseja transmitir na linha AC.

A aplicação de linhas DC, substituindo linha AC ou como reforço de linha AC, depende essencialmente do fator econômico. Estudos realizados, comprovam maior capacidade de transmissão para os sistemas AC/DC, comparado ao sistema contendo unicamente linhas AC.

Pelos resultados apresentados a seguir para o sistema em estudo, isto é comprovado verificando-se os fluxos de potências nas linhas para o sistema da figura (5.3-1) e o referente à figura (5.3-2).

A transmissão em corrente contínua de alta tensão além de sua aplicação como forma de transporte de energia a distância, apresentando vantagens técnicas e econômicas, também se destina a aumentar a capacidade de transmissão de sistemas já existentes.

Para os sistemas analisados, foram utilizados diversos tipos de controle, sendo apresentados aqueles que garantem uma melhor condição de funcionamento para o sistema. A segurança na operação está relacionada com valores do ângulo de disparo e extinção, ângulo de comutação e fator de potência. Existe uma faixa de variação para cada valor especificado, de maneira a ser possível verificar a eficiência do modo de operação utilizado.

Os ângulos de disparo e extinção estão entre 10 e 18°. O ângulo de comutação inferior a 30° e o fator de potência superior a 0,85.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior

Coordenação Setorial de Pós-Graduação

-50- Rua Aprígio Veloso 832 Tel (83) 321 7222-R 355
58.100 - Campina Grande - Paraíba

ESTUDO DE FLUXO DE CARGA
 METODO DE NEWTON RAPHSON

SISTEMA* CEPEL

NUMERO MAXIMO DE ITERACCES..... 20
 BASE DE POTENCIA..... 100.0000
 TOLERANCIA PARA CONVERGENCIA..... 0.0100
 NUMERO DE FASCIS AC..... 7
 NUMERO DE BARRAS..... 8
 NUMERO DE CONTINGENCIAS..... 0

DADOS DE LINHAS DE CORRENTE ALTERNADA

NL	LINHA	R	X	Y	TAP	LADO	
1	1 2	0.0017	0.0289	.0	1.0828	0.0	0
2	2 3	0.0015	0.0258	.0	0.9646	0.0	0
3	2 4	0.0016	0.0264	.0	0.9871	0.0	0
4	4 5	0.0017	0.0286	.0	1.0716	0.0	0
5	5 6	0.0006	0.0100	.0	0.4225	0.0	0
6	1 7	0.0	0.0240	.0	0.0	1.0000	7
7	3 8	0.0	0.0241	.0	0.0	1.0000	3

DADOS DE BARRA

BARRA	TIPO	PG	QG	PC	QC	V	ANG
1	3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0500	0.0
			OSHT	QMAX	QMIN	CMAX	QNOM
			0.0	10000.00	-10000.00	1.0000	3.6000
				KV	PUPZ	PUQZ	VM
				500.0	0.0	0.0	1.0000
BARRA	TIPO	PG	QG	PC	QC	V	ANG
2	1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0070	-15.0000
			OSHT	QMAX	QMIN	CMAX	QNOM
			65.0000	10000.00	-10000.00	1.0000	3.6000
				KV	PUPZ	PUQZ	VM
				500.0	0.0	0.0	1.0000
BARRA	TIPO	PG	QG	PC	QC	V	ANG
3	1	0.0	58.5000	0.0	0.0	1.0000	-26.0000
			OSHT	QMAX	QMIN	CMAX	QNOM
			175.0000	10000.00	-10000.00	1.0000	3.6000
				KV	PUPZ	PJQZ	VM
				500.0	0.0	0.0	1.0000
BARRA	TIPO	PG	QG	PC	QC	V	ANG
4	0	0.0	0.0	134.0000	-32.0000	1.0000	0.0
			OSHT	QMAX	QMIN	CMAX	QNOM
			-140.0000	0.0	0.0	0.0	0.0
				KV	PUPZ	PJQZ	VM
				500.0	0.0	0.0	1.0000
BARRA	TIPO	PG	QG	PC	QC	V	ANG
5	1	0.0	0.0	1300.0000	50.0000	0.9920	-35.0000
			OSHT	QMAX	QMIN	CMAX	QNOM
			70.0000	10000.00	-10000.00	1.0000	3.6000
				KV	PUPZ	PUQZ	VM
				500.0	0.0	0.0	1.0000
BARRA	TIPO	PG	QG	PC	QC	V	ANG
6	1	240.0000	0.0	0.0	0.0	1.0000	-34.0000
			OSHT	QMAX	QMIN	CMAX	QNOM
			0.0	10000.00	-10000.00	1.0000	3.6000
				KV	PUPZ	PUQZ	VM
				500.0	0.0	0.0	1.0000
BARRA	TIPO	PG	QG	PC	QC	V	ANG
7	0	0.0	0.0	180.0000	86.0000	1.0310	-6.0000
			OSHT	QMAX	QMIN	CMAX	QNOM
			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
				KV	PUPZ	PUQZ	VM
				345.0	0.0	0.0	1.0000
BARRA	TIPO	PG	QG	PC	QC	V	ANG
8	0	0.0	0.0	290.0000	48.0000	1.0070	-30.0000
			OSHT	QMAX	QMIN	CMAX	QNOM
			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
				KV	PUPZ	PUQZ	VM
				345.0	0.0	0.0	1.0000

NUMERO DE LINKS DC..... 2

DADOS DE CONVERSORES E LINHAS DE CORRENTE CONTINUA.....

LINHA	PD	VD(KV)	NP	NL	NT
1 2	0.0048	400.0000	2	2	2
CONTROLE	XD(1)	TAP1MIN	TAP1MAX	TAP1	
1	0.1000	0.8500	1.1500	1.0000	
XD(2)	ALFA	ALFAMIN	TETA	TETAMIN	
0.1000	10.0000	10.0000	18.0000	15.0000	
PP	PD(MW)	TAP2MIN	TAP2MAX	TAP2	
1.2000	800.0000	0.8500	1.1500	1.0000	

VALORES DE REFERENCIA

PDSET(MW)	IDSET(A)	VD1SET	VD2SET
770.0000	0.0	0.0	1.0200
ALFASET(G)	TETASET(G)		
17.0000	18.0000		

LINHA	PD	VD(KV)	NP	NL	NT
3 5	0.0054	400.0000	2	2	2
CONTROLE	XD(1)	TAP1MIN	TAP1MAX	TAP1	
2	0.1000	0.8500	1.1500	1.0000	
XD(2)	ALFA	ALFAMIN	TETA	TETAMIN	
0.1000	10.0000	10.0000	18.0000	15.0000	
PP	PD(MW)	TAP2MIN	TAP2MAX	TAP2	
1.2000	500.0000	0.8500	1.1500	1.0000	

VALORES DE REFERENCIA

PDSET(MW)	IDSET(A)	VD1SET	VD2SET
0.0	580.0000	0.0	1.0200
ALFASET(G)	TETASET(G)		
12.0000	18.0000		

RELATORIO DO SISTEMA* AC

NUMERO DE ITERACOES 4

TENSÃO EM CADA BARRA

BARRA	VREAL	VIMAG	VMOD	ANG
1	1.0500	0.0	1.0500	0.0
2	0.9840	-0.2141	1.0070	-12.2776
3	0.9147	-0.4041	1.0000	-23.8324
4	0.9134	-0.3951	0.9951	-23.3897
5	0.8295	-0.5440	0.9920	-33.2598
6	0.8490	-0.5284	1.0000	-31.8975
7	1.0283	-0.0412	1.0291	-2.2923
8	0.8712	-0.4612	0.9857	-27.8992

FLUXOS DE POTENCIA

LINHA	POTENCIA ATIVA MWATT	POTENCIA REATIVA MVAR
1 2	789.3845	74.0847
2 1	-779.1987	-130.1214
2 3	785.3491	-37.0506
3 2	-776.1711	0.6378
2 4	735.9272	-28.2668
4 2	-727.3005	-27.2393
4 5	593.2495	-79.3941
5 4	-587.1956	-30.3278
5 6	-239.5699	-103.7586
6 5	239.9434	26.1573
1 7	180.0777	95.0538
7 1	-180.0776	-86.0278
3 8	290.0742	69.4366
8 3	-290.0742	-47.9961

GERACAO E COMPENSACAO

BARRA	PALT	PCR	QGS	QCAP	QCR	NBAN	ERP
1	1739.46	0.0	441.44	0.0	0.0	0.0	0.00
2	0.0	0.0	64.93	0.0	0.0	0.0	-0.04
3	0.0	0.0	68.67	0.0	0.0	0.0	-0.06
4	0.0	134.00	0.0	0.0	-32.00	0.0	-0.05
5	0.0	1300.00	56.07	0.0	50.00	0.0	-0.04
6	240.00	0.0	26.15	0.0	0.0	0.0	-0.06
7	0.0	180.00	0.0	0.0	86.00	0.0	-0.08
8	0.0	290.00	0.0	0.0	48.00	0.0	-0.07

PERDAS ATIVAS
34.4180

PERDAS REATIVAS
-304.8118

-----RELATÓRIO DE LINKS DC-----

	TERMINAL RETIFICADOR BARRA 1	TERMINAL INVERSOR BARRA 2
TENSÃO AC.....	1.050 PU	1.007 PU
TENSÃO DC.....	1.058 PU	1.020 PU
	423.33 KV	408.00 KV
ÂNGULO DE DISPARO E EXTINÇÃO	12.0 GRAUS	18.0 GRAUS
ÂNGULO DE COMUTAÇÃO.....	12.8 GRAUS	10.4 GRAUS
FATOR DE POTÊNCIA.....	0.94	0.92
TAP DO TRANSFORMADOR.....	1.069	1.107
POTÊNCIA DC.....	770.00 MW	-742.12 MW
CONSUMO DE REATIVOS.....	272.30 MVAR	326.28 MVAR
CORRENTE DC.....	909.5 AMPS	
PERDAS DC.....	27.9 MW	
QUEDA DC.....	15.3 KV	
NUMERO DE ITERACOES DC.....	3	

	TERMINAL RETIFICADOR BARRA 3	TERMINAL INVERSOR BARRA 5
TENSÃO AC.....	1.000 PU	0.992 PU
TENSÃO DC.....	1.047 PU	1.020 PU
	419.00 KV	408.00 KV
ÂNGULO DE DISPARO E EXTINÇÃO	12.0 GRAUS	18.0 GRAUS
ÂNGULO DE COMUTAÇÃO.....	13.1 GRAUS	10.5 GRAUS
FATOR DE POTÊNCIA.....	0.94	0.91
TAP DO TRANSFORMADOR.....	1.112	1.124
POTÊNCIA DC.....	486.04 MW	-473.28 MW
CONSUMO DE REATIVOS.....	173.60 MVAR	209.06 MVAR
CORRENTE DC.....	580.0 AMPS	
PERDAS DC.....	12.8 MW	
QUEDA DC.....	11.0 KV	
NUMERO DE ITERACOES DC.....	2	

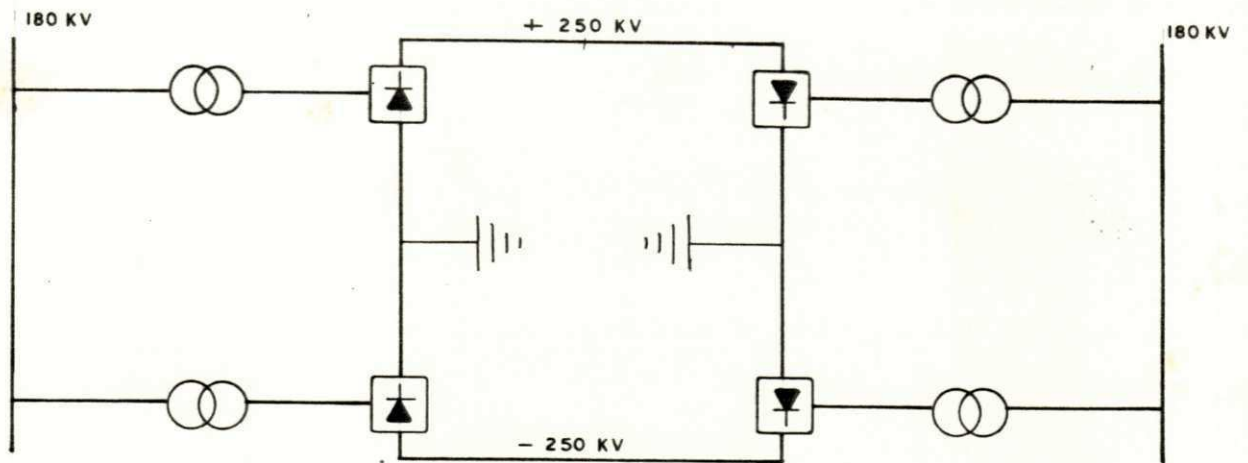


FIG. 5.2 - 1
CONFIGURAÇÃO PARA O CASO TESTE

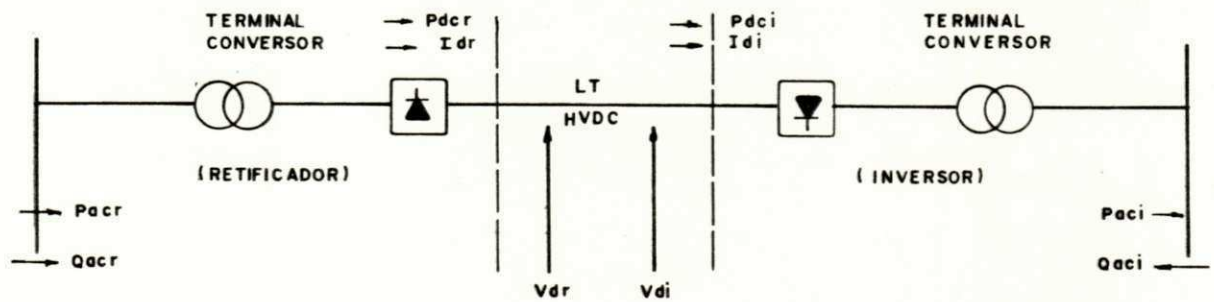
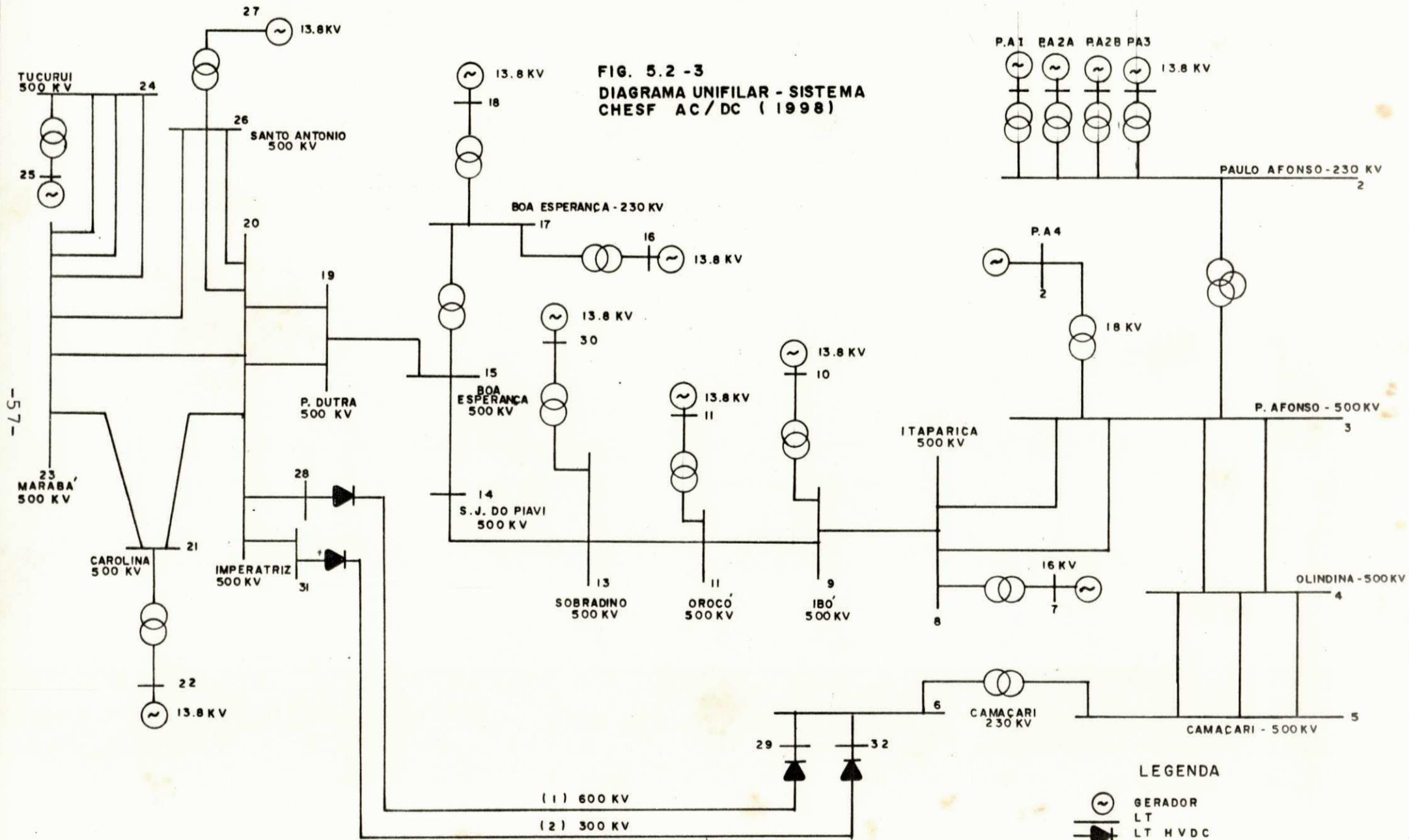


FIG. 5.2 - 2
CONVENÇÃO DE SINAIS PARA OS
TERMINAIS CONVERSORAS



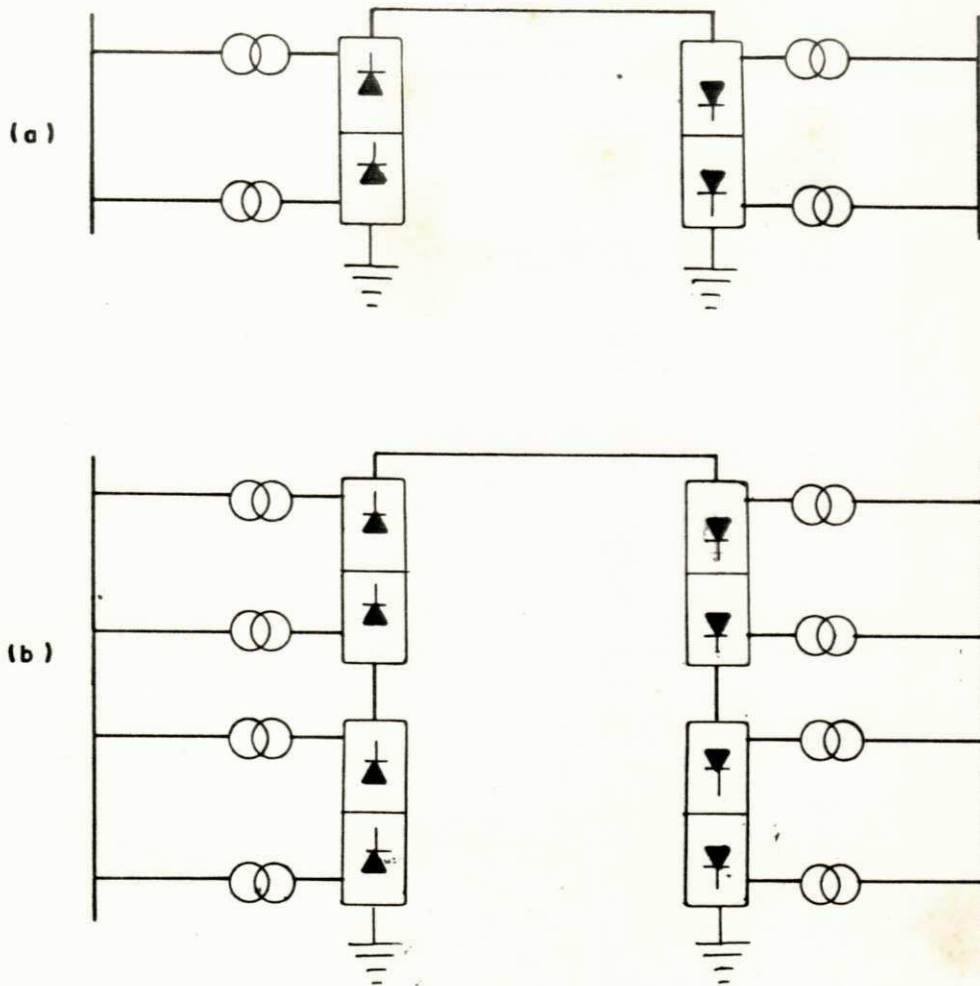


FIG. 5.2 - 4
CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DC - CHESF
 (a) 300 kV
 (b) 600 kV

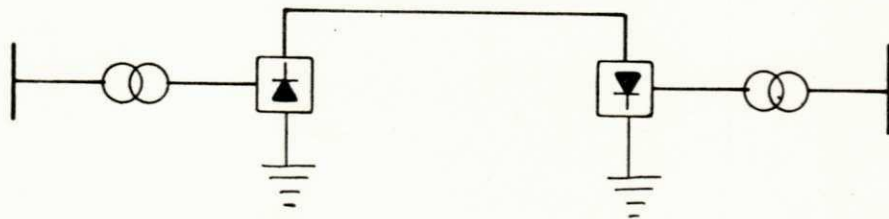


FIG. 5.2-5
CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA HINGORANI

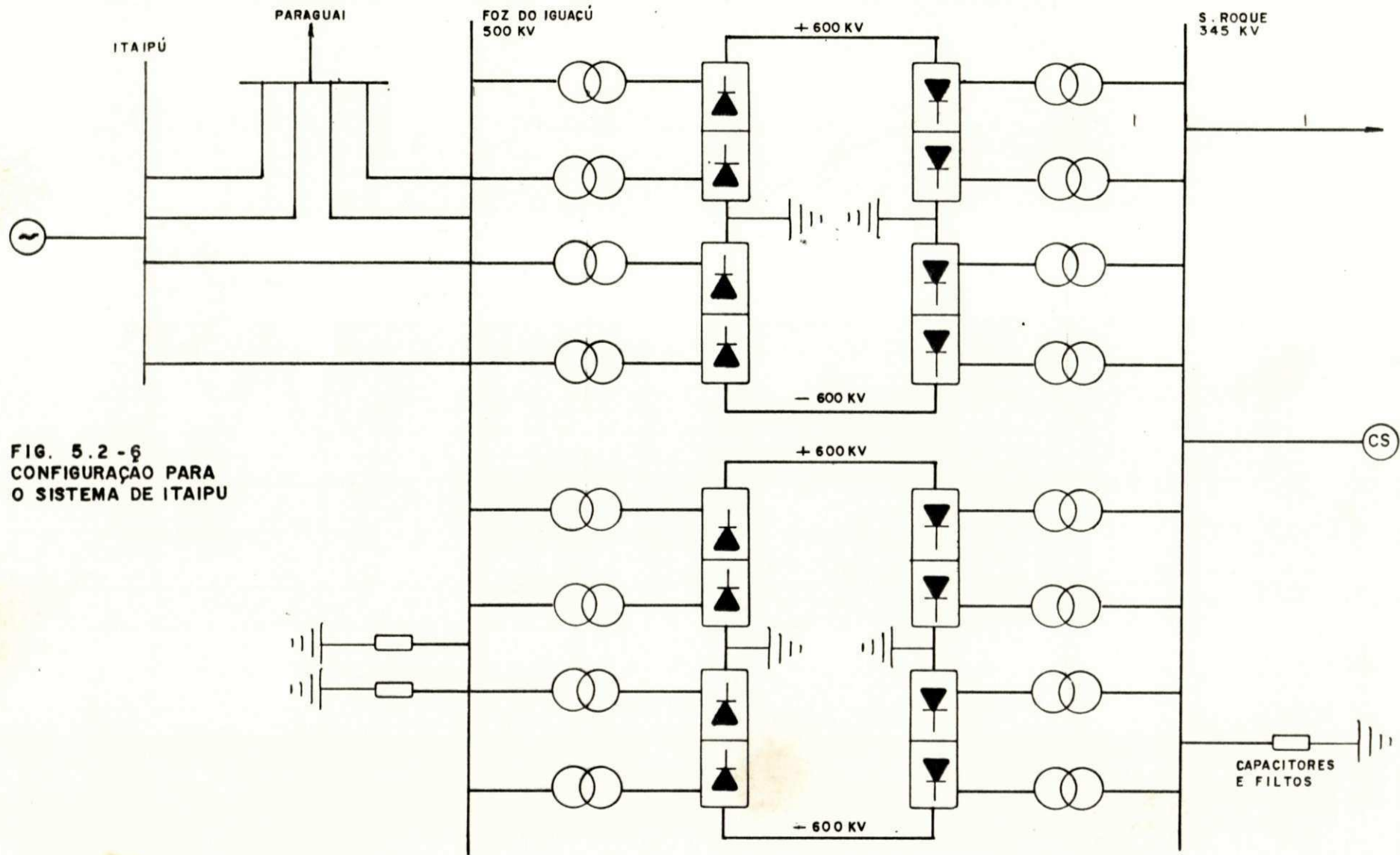


FIG. 5.2 - 6
 CONFIGURAÇÃO PARA
 O SISTEMA DE ITAIPU

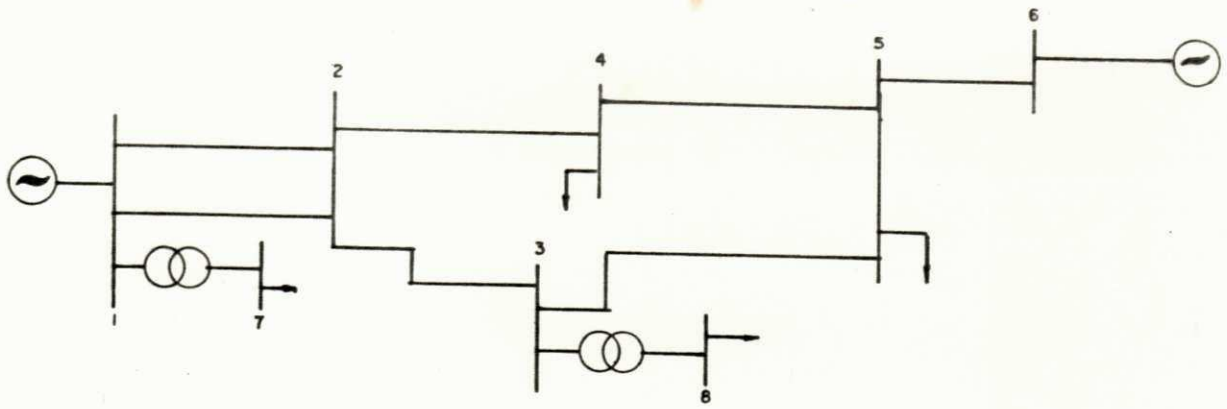


FIG. 5.3 - 1
SISTEMA AC - CEPEL

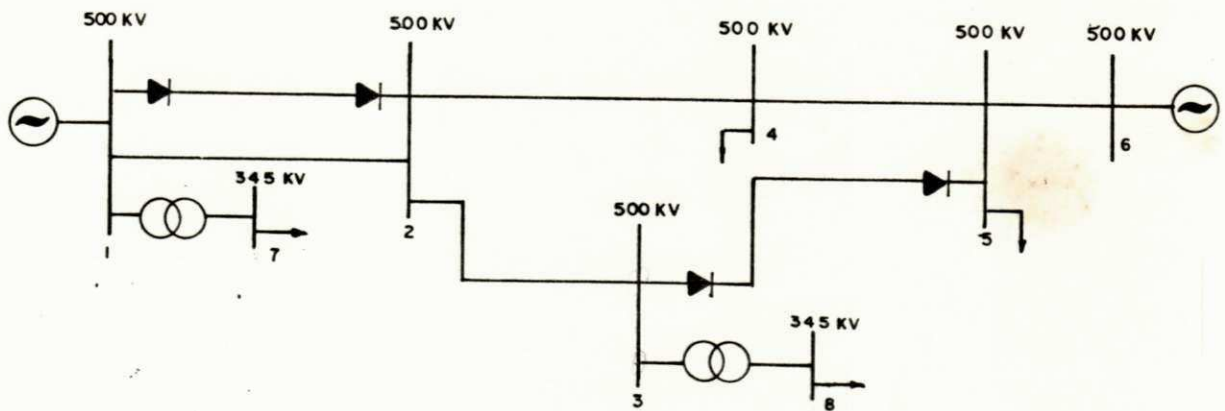


FIG. 5.3-2
DIAGRAMA DO SISTEMA CEPEL - AC/DC

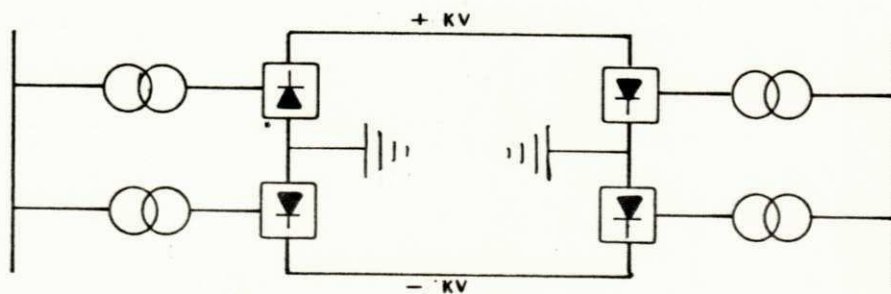


FIG. 5.3-3
CONFIGURAÇÃO PARA OS SISTEMAS DC - CEPEL
LT HVDC (1-2)
LT HVDC (3-5)

Capítulo 6

CONCLUSÃO

A técnica apresentada para simulação da transmissão em corrente contínua de alta tensão em regime permanente, oferece todas as informações necessárias à análise de sistemas de potência que envolvam linhas DC.

O modelo para simulação de linhas DC, é de caráter geral, podendo ser aplicado a qualquer programa de fluxo de carga AC. Na comparação com outros modelos desenvolvidos, a diferença em alguns valores é devida ao sistema de valores por unidade adotado, e as equações que caracterizam a transmissão DC. Com relação aos valores de base DC, não existe uma padronização para os sistemas até hoje estudados. Para equações, a maioria deles utilizam o modelo simplificado, enquanto as equações utilizadas neste trabalho representam o desempenho real da transmissão DC, levando em consideração todos os seus parâmetros.

O método de Newton Raphson para solução do fluxo de cargas DC, tem demonstrado sua eficiência. A representação de linhas DC, não afeta a convergência do método.

Para os sistemas apresentados, várias análises foram feitas de maneira a evidenciar os diversos controles existentes e a melhor condição de operação para a transmissão DC.

Procurou-se mostrar os passos fundamentais para determinação do fluxo de cargas DC e sua integração com o fluxo de cargas AC, porém de uma maneira simples e eficaz.

Espera-se que este trabalho tenha alcançado seu objetivo, fornecendo informações a respeito da nova tecnologia para

transporte de energia, que a cada dia vem ocupando lugar de destaque no campo da engenharia de sistemas de energia elétrica. E que este sirva de base para os futuros estudos de curto-circuitos e estabilidade envolvendo sistemas DC.

Apêndice I

Tem a finalidade de informar como introduzir os dados de entrada, referentes a um sistema AC/DC.

1. Dados Gerais

Cartão 1:

NPRO (colunas 1 a 3). Identifica o número de estudos que serão processados.

Cartão 2:

ITMAX (colunas 1 a 5). Número máximo de iterações para a convergência.

SBASE (colunas 6 a 15). Base de potência em MVA.

TOLER (colunas 16 a 25). Tolerância para convergência.

Cartão 3:

TITULO DO ESTUDO (colunas 1 a 24).

Cartão 4:

NL (colunas 1 a 5). Número de linhas de transmissão em corrente alternada.

NB (colunas 6 a 10). Número de barras do sistema.

NCNT (colunas 11 a 15). Número de contingências.

2. Dados para as linhas de transmissão em corrente alternada. Todos em p u.

Cartão 1:

LINE (colunas 1 a 3). Número da linha.

SB (colunas 4 a 6). Número da barra de saída.

EB (colunas 7 a 9). Número da barra de chegada.

R (colunas 10 a 19). Resistência série da linha.

X (colunas 20 a 29). Reatância indutiva da linha.

G (colunas 30 a 39). Condutância da linha.

B (colunas 40 a 49). Susceptância capacitiva da linha.

TT (colunas 50 a 59). Módulo do tap

(colunas 60 a 69). Fase do tap.

LADO (colunas 70 a 72). Barra em que está ligado o enrolamento que contém o tap.

3. Dados de barra

Cartão 1:

L (colunas 1 a 3). Número da barra.

KTP (colunas 4 a 6). Tipo de barra.

0 = barra de carga

1 = barra de tensão controlada

3 = barra de swing

PG (colunas 7 a 16). Potência ativa gerada em MW.

QG (colunas 17 a 26). Potência reativa gerada em MVAR.

PC (colunas 27 a 36). Carga ativa em MW.

QC (colunas 37 a 46). Carga reativa em MVAR.

VESP (colunas 47 a 56). Módulo da tensão.

ANG (colunas 57 a 66). Ângulo de fase da tensão.

QSHT (colunas 67 a 76). Capacitor (+) ou indutor (-) reguláveis.

Cartão 2:

QMAX (colunas 1 a 10). Limite máximo de potência reativa em MVAR.

QMIN (colunas 11 a 20). Limite mínimo de potência reativa em MVAR.

CMAX (colunas 21 a 30). Número de capacitores fixos.

QNOM (colunas 31 a 40). Potência nominal em MVAR para cada banco de capacitores.

PUPZ (colunas 41 a 50). Por unidade da potência ativa representada por impedância constante.

PUQZ (colunas 51 a 60). Por unidade de potência reativa representada por impedância constante.

VM (colunas 61 a 70). Módulo da tensão quando da medição da carga representada por impedância constante.

KV (colunas 71 a 80). Tensão nominal da barra em KV.

Cartão 3:

ND (colunas 1 a 5). Número de linhas DC. Mesmo que não exista linha DC, este cartão deve ser colocado a fim de informar o próximo passo a ser realizado.

4. Dados para transmissão DC

Cartão 1:

IB (colunas 1 a 5). Barra de interface ao lado do retificador.

LB (colunas 6 a 10). Barra de interface ao lado do inversor.

NO (colunas 11 a 15). Número de pontes em série.

IC (colunas 16 a 20). Variável que identifica o tipo de con

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
Coordenação Setorial de Pós-Graduação
Rua Aprígio Veloso, 882 - Tel (083) 321 7222-R 355
58.100 - Campina Grande - Paraíba

trolê para a transmissão DC.

- 1= Controle de potência no retificador e tensão no inversor.
- 2= Corrente no retificador e tensão no inversor.
- 3= Modo de operação reduzido.
- 4= Tensão no retificador e corrente no inversor $a_i = \text{constante}$.
- 5= Tensão no retificador e corrente no inversor $a_r = \text{constante}$.
- 6= Potência e tensão no retificador.
- NT (colunas 21 a 25). Número de transformadores em série.
- NLINE (colunas 26 a 30). Número de linhas em série.
- IP (colunas 31 a 35). Número de pulsos de cada ponte.
- NV (colunas 36 a 40). Variável que sendo diferente de zero, implica que há polos conversores em paralelo.
- RI (colunas 41 a 50). Valor que deve dividir a tensão DC nominal, para se determinar a tensão DC, base. (2.4-1)
- RR (colunas 51 a 60). Valor que sendo diferente de zero, indica que o tap do transformador conversor, está no lado da barra AC.
- DRN (colunas 61 a 70). Resistência para o terminal conversor (retificador).
- DRN1 (colunas 71 a 80). Resistência para o terminal inversor.

Cartão 2:

- RD (colunas 1 a 10). Resistência da linha DC em pu.
- VD (colunas 11 a 20). Tensão em KV, da linha DC.
- VDB (colunas 21 a 30). Tensão em KV, por ponte.
- SD1 (colunas 31 a 40). Potência nominal para o transforma

dor conversor(retificador).MW ou MVA.
SD2 (colunas 41 a 50). Potência nominal para o transformador
 conversor (inversor). MW ou MVA.
DVV (colunas 51 a 60). Queda de tensão em KV, para pontes em
 série.

Cartão 3:

XD1 (colunas 1 a 10). Reatância de dispersão do transforma -
 dor conversor (retificador) em pu.
TAP1 (colunas 11 a 20). Valor inicial para o tap(retificador).
ALFA1 (colunas 21 a 30). Ângulo de disparo nominal em graus.
XD2 (colunas 31 a 40). Reatância de dispersão do transforma-
 dor conversor (inversor) em pu.
TAP2 (colunas 41 a 50). Valor inicial para o tap (inversor).
ALFA2 (colunas 51 a 60). Ângulo de extinção em graus.
RK (colunas 61 a 70). Valor que depende do número de pulsos
 de cada ponte. Neste estudo = 1,35.
PD (colunas 71 a 80). Potência que se espera transmitir na
 linha.

Cartão 4:

ALFA1M (colunas 1 a 10). Ângulo de disparo mínimo em graus.
ALFA2M (colunas 11 a 20). Ângulo de extinção mínimo em graus.
TAP1M (colunas 21 a 30). Tap do transformador conversor (re-
 tificador) mínimo.
TAP1MA (colunas 31 a 40). Tap do transformador conversor (re-
 tificador) máximo.
TAP2M (colunas 41 a 50). Tap do transformador conversor (in-
 versor) mínimo.
TAP2MA (colunas 51 a 60). Tap do transformador conversor (in-
 versor) máximo.

RPI (colunas 61 a 70). Grandeza que fornece a relação MVA/MW para os transformadores conversores. Esta relação tem valores entre 1 e 1,35. Corresponde o valor que se deve multiplicar a potência ativa dos transformadores conversores, a fim de determinar os MVA nominais. Será igual a um, quando SD1 e SD2 corresponderem aos MVA nominais. Caso seja especificada a potência ativa e não mencionado o valor para "RPI", utiliza-se 1,2 (10).

SBDC (colunas 71 2 80). Base de potência em MVA.

Cartão 5: valores de referência

PD1S (colunas 1 a 10). Potência constante em MW.

IDS (colunas 11 a 20). Corrente constante em Amperes.

VD1S (colunas 21 a 30). Tensão constante para o retificador em pu.

VD2S (colunas 31 a 40). Tensão constante para o inversor em pu.

ALFA1S (colunas 41 a 50). Ângulo de disparo constante em graus.

ALFA2S (colunas 51 a 60). Ângulo de extinção constante em graus.

Apêndice II
LISTAGEM DO PROGRAMA DESENVOLVIDO

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
Pró-Reitoria Para Assuntos de Interior
Coordenação Setorial de Pós-Graduação
Rua Aprígio Veloso, 882 - Tel. (033) 321-7222-R 355
58.100 - Campina Grande - Paraíba

```

COMPLEX Y,ZSEP,YSHT,FLM,FML,VI,VII,YSEP,TAP,NCC,SUM,TT,CONJG,CAPLX
INTEGER SB,EB,R,W,FP
REAL ID1,ID2,IBDC,IDA,IDS
COMMON Y(103,103),ZSEP(188),YSHT(188),TAP(188),TT(188),VI(103),VII
*(103)
COMMON D(205,205),C(8,8)
COMMON LADD(183),LINE(188)
COMMON DPQ(205),X(205),DELV2(103),DELV4(103)
COMMON KTP(103),PG,103),QG,103),PC,103),QC,103),VESP,103),ANG,103)
COMMON QMAX(103),QMIN(103),QSH(103),QNDM(103),CMAX(103),SB(103)
COMMON EB(103),P(103),Q(103),PCZ(103),QCZ(103)
COMMON VMOD,103),PX,103),QX,103),X1,103),X2,103)
COMMON P1(103),P2(103),C1(103),Q2(103),P1R(103),P2I(103),Q1R(103)
COMMON Q2I(103),V1(103),V2(103),PV(103),QV(103)
COMMON PC1,103),PC2,103),QC1,103),QC2(103),T(8)
COMMON RD(5),ND(5),IC(5),XD1(5),XD2(5),TAP1(5),TAP1M(5),TAP1MA(5)
COMMON ALFA1(5),ALFA1M(5),ALF1MA(5),IR(5),LR(5),VD(5)
COMMON TAP2(5),TAP2M(5),TAP2MA(5),ALFA2(5),ALFA2M(5)
COMMON ALF2MA(5),ID1(5),ID2(5),IDS(5),IDA(5),IBDC(5),VD1(5),VD2(5)
COMMON VD1S(5),VD2S(5),SBDC(5),VBDC(5),NT(5),NLINE(5),RK(5),PD(5)
COMMON PD1S(5),FP1(5),FP2(5),RC1(5),RC2(5),GD(5),RPI(5),GAMA2(5)
COMMON PD1(5),VD1V(5),VD2V(5),GAMA1(5),GAMAR(5),GAMA1(5)
COMMON NV(5),VNJ(5),DRN(5),DVV(5),DRN1(5)
COMMON ALFA1S(5),ALFA2S(5),PT(5),ID1S(5),ID2S(5),VD01(5),VD02(5)
COMMON ITE(5),VD10(5),VD20(5),NCNT,W,R,NB,ITMAX,TOLER,SBASE,NL,KLB
COMMON VDB(5),SD1(5),SD2(5)
COMMON RI(5),RR(5),IBDC1(5),VBDC1(5)
COMMON KC,PRE,ND,ITER,DMAX
COMMON SS,SOMA
R=5
W=6
READ,R,1)NPRO
1 FORMAT(I3)
110 CALL LDCADC
IF,NCNT)105,105,106
106 CALL CONTIN
IF,NCNT)105,105,106
105 NPRO=NPRO-1
IF,NPRO-1)202,109,109
109 CONTINUE
GO TO 110
202 WRITE(W,1002)
1002 FORMAT(1H1)
READ,R,43)NLMAX,NBMAX,NDMAX
43 FORMAT(3I5)
WRITE,W,66)NLMAX,NDMAX,NBMAX
66 FORMAT(10X,'CAPACIDADE MAXIMA DO PROGRAMA',///,10X,'NUMERO MAXIMO
*DE LINHAS AC.....',I5,///,10X,'NUMERO MAXIMO DE LINHA
*S DC.....',I5,///,10X,'NUMERO MAXIMO DE BARRAS.....
*.....',I5,///)
STOP
END
    
```


SUBROUTINE LDCADC

COMPLEX Y,ZSER,YSHI,FLM,FML,VI,VII,YSER,TAP,NCC,SUM,TT,CUNJG,CMPLX
 INTEGER SB,EB,R,W,RR

REAL ID1,ID2,IBDC,IDA,IDS

REAL ID1S,ID2S,KV,IBDC1

COMMON Y(103,103),ZSER(188),YSHI(188),TAP(188),TT(188),VI(103),VII
 *(103)

COMMON D(205,205),C(8,8)

COMMON LADD(188),LINE(188)

COMMON DPQ,2C5),X,205),DELV2,103),DELV4,103)

COMMON KTP(103),PG(103),QG(103),PC(103),QC(103),VESP(103),AVG(103)

COMMON QMAX(103),QMIN(103),QSHT(103),QNM(103),CMAX(103),SB(103)

COMMON EB,103),P,103),Q,103),PCZ,103),QCZ,103)

COMMON VMOD(103),PX(103),QX(103),X1(103),X2(103)

COMMON P1(103),P2(103),C1(103),Q2(103),P1R(103),P2I(103),Q1R(103)

COMMON Q2I,103),V1,103),V2(103),PV(103),QV(103)

COMMON PC1(103),PC2(103),QC1(103),QC2(103),T(8)

COMMON RD(5),ND(5),IC(5),XD1(5),XD2(5),TAP1M(5),TAP1MA,5)

COMMON ALFA1(5),ALFA1M(5),ALF1MA(5),IB(5),LB(5),VD(5)

COMMON TAP2(5),TAP2M(5),TAP2MA(5),ALFA2(5),ALFA2M(5)

COMMON ALF2MA(5),ID1(5),ID2(5),IDS,5),IDA,5),IBDC,5),VD1,5),VD2,5)

COMMON VD1S(5),VD2S(5),SBDC(5),VBDC(5),NT(5),NL,INE(5),RK(5),PD(5)

COMMON PD1S(5),FP1(5),FP2(5),RC1(5),RC2(5),GD(5),RPI(5),GAMA2(5)

COMMON PD1,5),VD1V,5),VD2V,5),GAMA1,5),GAMAR,5),GAMA1,5)

COMMON NV(5),VNJ(5),DRN(5),DVV(5),DRN1(5)

COMMON ALFA1S(5),ALFA2S(5),PT(5),ID1S(5),ID2S(5),VD01(5),VD02(5)

COMMON ITE,5),VD10,5),VD20,5),NCNT,W,R,NB,ITMAX,TOLER,SBASE,NL,KLB

COMMON VDB(5),SD1(5),SD2(5)

COMMON RI(5),RR(5),IBDC1(5),VBDC1(5)

COMMON KC,PRE,ND,ITER,DMAX

COMMON SS,SOMA

DIMENSION TITUL(6),IP(2)

ITER=0

DMAX=0.5

3 KC=0

REA)(R,6)ITMAX,SBASE,TOLER

6 FORMAT(I5,2(F10.5))

WRITE(W,854)

854 FORMAT(1H1,/////,10X,'ESTUDO DE FLUXO DE CARGA',//,10X,'METODO DE

*NEWTON RAPHSON',///)

READ(R,7),TITUL(L),L=1,6)

7 FORMAT(6A4)

READ(R,901)NL,NB,NCNT

901 FORMAT,3I5)

WRITE(W,1)(TITUL(L),L=1,6)

1 FORMAT(10X,6A4,///)

WRITE(W,2)ITMAX,SBASE,TOLER,NL,NB,NCNT

2 FORMAT(10X,'NUMERO MAXIMO DE ITERACOES.....',I5,/,1

*0X,'BASE DE POTENCIA.....',F10.4,/,10X,'T

*OLERANCIA PARA CONVERGENCIA.....',F10.4,/,10X,'NUMERO

*DE RAMOS AC.....',I5,/,10X,'NUMERO DE BARR

*S.....',I5,/,10X,'NUMERO DE CONTINGENCIA

*S.....',I5,///)

DO 11 I=1,NB

TAP(I)=CMPLX(.0,.0)

DO 11 J=1,NB

11 Y(I,J)=CMPLX(.0,.0)

IF,NL.EQ.0) GO TO 308


```

WRITE(W,777)
777  FORMAT(10X,'DADOS DE LINHAS DE CORRENTE ALTERNADA',//)
WRITE(W,10)
10   FORMAT(2X,'NL',3X,'LINHA',5X,'R',9X,'X',15X,'Y',12X,'TAP',9X,'LADO
*')
DO 26 K=1,NL
READ(R,14)LINE(K),SB(K),EB(K),ZSER(K),YSHT(K),TT(K),LADO(K)
14   FORMAT(3I3,6F10.3,I3)
YSHT(K)=YSHT(K)/2.
WRITE(W,16)LINE(K),SB(K),EB(K),ZSER(K),YSHT(K),TT(K),LADO(K)
16   FORMAT(1X,I3,2(1X,I3),2(F9.4),4X,F2.1,3(F10.4),I5)
TT(K)=REAL(TT(K))*CMPLX(COS(AIMAG(TT(K))/57.2957),
1   SIN(AIMAG(TT(K))/57.2957))
YSER=1.0/ZSER(K)
15   I=SB(K)
      J=EB(K)
      Y(J,I)=Y(J,I)-YSER
      Y(I,J)=Y(I,J)-YSER
      Y(I,I)=Y(I,I)+YSER+YSHT(K)
      Y(J,J)=Y(J,J)+YSER+YSHT(K)
C++++ INCLUSAO DO TAP
      IF(LADO(K)-J)18,22,18
18     IF(LADO(K)-I)26,20,26
20     Y(J,J)=Y(J,J)+CABS(TT(K))**2-1.0)*YSER
      Y(I,J)=Y(I,J)+(CMPLX(1.,.0)-TT(K))*YSER
      Y(J,I)=Y(J,I)+(CMPLX(1.,.0)-CONJG(TT(K)))*YSER
      TAP(I)=TT(K)
      GO TO 26
22     Y(I,I)=Y(I,I)+(CABS(TT(K))**2-1.0)*YSER
      Y(J,I)=Y(J,I)+(CMPLX(1.,.0)-TT(K))*YSER
      Y(I,J)=Y(I,J)+(CMPLX(1.,.0)-CONJG(TT(K)))*YSER
      TAP(J)=TT(K)
26   CONTINUE
308  WRITE(W,300)
300  FORMAT(1H1,///,10X,'DADOS DE BARRA',//)
DO 38 K=1,NB
READ(R,32)L,KTP(L),PG(L),QG(L),PC(L),QC(L),VESP(L),ANG(L),QSHT(L)
32   FORMAT(2I3,7F10.4)
READ(R,33)QMAX(L),QMIN(L),CMAX(L),QNOM(L),PUPZ,PUQZ,VM,KV
33   FORMAT(2F10.2,6F10.4)
WRITE(W,28)
28   FORMAT(1X,'BARRA',2X,'TIPO',4X,'PG',8X,'QG',8X,'PC',8X,'QC',9X,'V'
*,7X,'ANG')
WRITE(W,34)L,KTP(L),PG(L),QG(L),PC(L),QC(L),VESP(L),ANG(L)
34   FORMAT(2X,I3,3X,I2,1X,6(F10.4))
WRITE(W,30)
30   FORMAT(26X,'QSHT',6X,'QMAX',6X,'QMIN',7X,'CMAX',4X,'QNOM')
WRITE(W,36)QSHT(L),QMAX(L),QMIN(L),CMAX(L),QNOM(L)
36   FORMAT(21X,F10.4,2F10.2,2F10.4)
WRITE(W,1001)
1001  FORMAT(37X,'KV',7X,'PUPZ',7X,'PUQZ',6X,'VM')
WRITE(W,37)KV,PUPZ,PUQZ,VM
37   FORMAT(36X,F5.1,3F10.4,/)
ANG(L)=ANG(L)/57.2957
VI(L)=VESP(L)*CMPLX(COS(ANG(L)),SIN(ANG(L)))
      PG(L)=PG(L)/SBASE
      QG(L)=QG(L)/SBASE
      PC(L)=PC(L)/SBASE

```



```

QC(L)=QC(L)/SBASE
QSHT(L)=QSHT(L)/SBASE
QMAX(L)=QMAX(L)/SBASE
QMIN(L)=QMIN(L)/SBASE
QNDM(L)=QNDM(L)/SBASE
PCZ(L)=(PC(L)*PUPZ)/(VM**2)
QCZ(L)=(QC(L)*PUQZ)/(VM**2)
Y(L,L)=Y(L,L)+CMPLX(PCZ(L),(QSHT(L)-QCZ(L)))
PC(L)=PC(L)*(1.-PUPZ)
  QC(L)=QC(L)*(1.-PUQZ)
  P(L)=PG(L)-PC(L)
Q(L)=QG(L)-QC(L)
30  CONTINUE
    READ(R,800)ND
800  FORMAT(I5)
    IF(ND.EQ.0) GO TO 9000
    WRITE(W,888)
888  FORMAT(1H1)
193  WRITE(W,877)ND
877  FORMAT(////,6X,'NUMERO DE LINKS DC.....',I5,/)
    WRITE(W,899)
899  FORMAT(6X,'DADOS DE CONVERSORES E LINHAS DE CORRENTE',/,6X
*, 'CONTINUA.....',/)
    DO 6005 I=1,ND
    READ(R,6006)IB(I),LB(I),NO(I),IC(I),NT(I),NLINE(I),IP(I),NV(I),RI
*I),RR(I),DRN(I),DRN1(I)
6006  FORMAT(8I5,F10.5,I10,2F10.5)
    READ(R,6016)RD(I),VD(I),VDB(I),SD1(I),SD2(I),DVV(I)
6016  FORMAT(6F10.5)
    READ(R,6014)XD1(I),TAP1(I),ALFA1(I),XD2(I),TAP2(I),ALFA2(I),RK(I),
-PD(I)
6014  FORMAT(8F10.5)
    READ(R,6015)ALFA1M(I),ALFA2M(I),TAP1M(I),TAP1MA(I),TAP2M(I),TAP2MA
*I),RPI(I),SBDC(I)
6015  FORMAT(8F10.5)
    READ(R,6010)PD1S(I),IDS(I),VD1S(I),VD2S(I),ALFA1S(I),ALFA2S(I)
6010  FORMAT(6F10.4)
    WRITE(W,6000)
6000  FORMAT(7X,'LINHA',5X,'RD',6X,'VD(KV)',3X,'NP',2X,'NL',2X,'NT')
    WRITE(W,6002)IB(I),LB(I),RD(I),VD(I),NO(I),NLINE(I),NT(I)
6002  FORMAT(5X,I3,I3,I3,F9.4,F10.4,2X,I2,2,2X,I2),/)
    WRITE(W,6003)
6003  FORMAT(6X,'CONTROLE',2X,'XD(1)',3X,'TAP1MIN',2X,'TAP1MAX',2X,'TAP1
1')
    WRITE(W,6004)IC(I),XD1(I),TAP1M(I),TAP1MA(I),TAP1(I)
6004  FORMAT(6X,I2,3X,2F10.4,F8.4,1X,F8.4,/)
    WRITE(W,6555)
6555  FORMAT(6X,'XD(2)',5X,'ALFA',4X,'ALFAMIN',3X,'TETA',4X,'TETAMIN')
    WRITE(W,6066)XD2(I),ALFA1(I),ALFA1M(I),ALFA2(I),ALFA2M(I)
6066  FORMAT(1X,3F10.4,1X,F8.4,1X,F8.4,/)
    WRITE(W,6068)
6068  FORMAT(6X,'RP',7X,'PD,MW',3X,'TAP2MIN',2X,'TAP2MAX',2X,'TAP2')
    WRITE(W,6067)RPI(I),PD(I),TAP2M(I),TAP2MA(I),TAP2(I)
6067  FORMAT(1X,3F10.4,F8.4,1X,F8.4,/)
    WRITE(W,6008)
6008  FORMAT(/,7X,'VALORES DE REFERENCIA',/)
    WRITE(W,6009)
6009  FORMAT(7X,'PDSET,MW',3X,'IDSET(A)',4X,'VD1SET',5X,'VD2SET')

```



```
WRITE(W,6069)PD1S(I),IDS(I),VD1S(I),VD2S(I)
6069  FORMAT(6X,F10.4,1X,2F10.4,1X,F10.4,/)
WRITE(W,6013)
6013  FORMAT(6X,'ALFASET,G)',3X,'TETASET,G')
WRITE(W,6011) ALFA1S(I),ALFA2S(I)
6011  FORMAT(6X,F10.4,3X,F10.4,/)
WRITE(W,7001)
7001  FORMAT(6X,'-----',/)
      IBDC(I)=(SBDC(I)*RI(I)/VDB(I))*(1./NT(I))*1000.
      IBDC1(I)=IBDC(I)
      VBDC(I)=VD(I)/RI(I)
      VBDC1(I)=VBDC(I)
      VD1(I)=RI(I)
      VD2(I)=VD1(I)
      GD(I)=1./(RD(I)*NLINE(I))
      XD1(I)=XD1(I)*(SBDC(I)/(RPI(I)*SD1(I)))
      XD2(I)=XD2(I)*(SBDC(I)/(RPI(I)*SD2(I)))
      FC1(I)=XD1(I)*(IP(I)/6.2832)
      FC2(I)=XD2(I)*(IP(I)/6.2832)
6005  CONTINUE
      CALL FCNDC
      IF(NL.EQ.0) GO TO 111
9000  CALL FCN
      GO TO 40
111   CALL FCNDC1
40    RETURN
      END
```


SUBROUTINE FCM

COMPLEX Y,ZSER,YSHT,FLM,FML,VI,VII,YSER,TAP,NCC,SUM,TT,CONJG,CMPLX
INTEGER SR,EB,R,W,FRCOMMON Y(103,103),ZSER(188),YSHT(188),TAP(188),TT(188),VI(103),VII
*(103)

COMMON D(205,205),C(8,8)

COMMON LADD(188),LINE(188)

COMMON DPQ,205),X,205),DELV2,103),DELV4,103)

COMMON KTP(103),PG(103),QG(103),PC(103),QC(103),VESP(103),ANG(103)

COMMON QMAX(103),QMIN(103),QSHT(103),QNOM(103),CMAX(103),SB(103)

COMMON EB,103),P,103),Q,103),PCZ,103),QCZ,103)

COMMON VMOD(103),PX(103),QX(103),X1(103),X2(103)

COMMON P1(103),P2(103),Q1(103),Q2(103),P1R(103),P2I(103),Q1R(103)

COMMON Q2I,103),V1(103),V2(103),PV(103),QV(103)

COMMON PC1(103),PC2(103),QC1(103),QC2(103),T(8)

COMMON RD(5),ND(5),IC(5),XD1(5),XD2(5),TAP1(5),TAP1M,5),TAP1MA,5)

COMMON ALFA1(5),ALFA1M(5),ALF1MA(5),IB(5),LB(5),VD(5)

COMMON TAP2(5),TAP2M(5),TAP2MA(5),ALFA2(5),ALFA2M(5)

COMMON ALF2MA(5),ID1,5),ID2,5),IDS,5),IDA,5),IBDC,5),VD1,5),VD2,5)

COMMON VD1S(5),VD2S(5),SBDC(5),VBDC(5),NT(5),NLINE(5),RK(5),PD(5)

COMMON PD1S(5),FP1(5),FP2(5),RC1(5),RC2(5),GD(5),RPI(5),GAMA2(5)

COMMON PD1,5),VD1V,5),VD2V,5),GAMA1,5),GAMAR,5),GAMA1,5)

COMMON NV(5),VNJ(5),DFN(5),DVV(5),DRN1(5)

COMMON ALFA1S(5),ALFA2S(5),PT(5),ID1S(5),ID2S(5),VD01(5),VD02(5)

COMMON ITE(5),VD10(5),VD20,5),NCNT,W,R,NB,ITMAX,TOLER,SBASE,NL,CLB

COMMON VDB(5),SD1(5),SD2(5)

COMMON RI(5),RR(5),IBDC1(5),VBDC1(5)

COMMON KC,PRE,ND,ITER,DMAX

COMMON SS,SCMA

IF(ND.EQ.0) GO TO 2002

4009 CALL FCNDC

IF(ITER.EQ.0) GO TO 2002

GO TO 19

2002 DO 10 I=1,NB

10 VI(I)=VESP(I)*CMPLX(COS(ANG(I)),SIN(ANG(I)))

VMOD,I)=VESP,I)

NDIM=2*(NB-1)

NDJ=NDIM+1

19 DMAX=0

IF(ND.EQ.0) GO TO 3333

DO 2006 K=1,ND

I=IB,K)

J=LB(K)

DO 4010 L=1,NB

IF(L.EQ.I) GO TO 3000

IF(L.EQ.J) GO TO 3001

GO TO 4010

3000 PC1(L)=PC(L)+P1(I)

QC1(L)=QC(L)+Q1(I)

P(L)=PG(L)-PC1(L)

Q(L)=QG(L)-QC1(L)

GO TO 4010

3001 PC2(L)=PC(L)+P2(J)

QC2(L)=QC(L)+Q2(J)

P(L)=PG(L)-PC2(L)

Q(L)=QG(L)-QC2(L)

4010 CONTINUE

2006 CONTINUE


```

GO TO 233
3333 DO 521 I=1,NB
      PV(I)=PC(I)
      QV(I)=QC(I)
521  CONTINUE
233  DO 520 I=2,NB
      SUM=(.0,.0)
      DO 21 J=1,NB
21   SUM=SUM+Y(I,J)*VI(J)
C++++CALCULO DA POTENCIA ATIVA E REATIVA LIQUIDA
      PX(I)=REAL(CONJG(VI(I))*SUM)
      QX(I)=-AIMAG(CONJG(VI(I))*SUM)
      IF(KTP(I).EQ.0) GO TO 530
      VII(I)=VI(I)/CABS(VI(I))*VESP(I)
      QX(I)=-AIMAG(((VESP(I)**2)*Y(I,I))+((CONJG(VII(I)))*(SUM-(VI(I)*Y(
      *I,I))))))
      QZ=QCZ(I)*(CABS(VII(I)**2)
      IF(QX(I)+QC(I)+QZ-QMAX(I))502,502,503
502  IF(QX(I)+QC(I)+QZ-QMIN(I))504,507,507
503  IF((QX(I)+QC(I)+QZ-QMAX(I))/(CABS(VII(I)**2)*QNOM(I))-CMAX(
      *I))507,507,506
507  VI(I)=VII(I)
      KTP(I)=1
      Q(I)=QX(I)
      PX(I)=REAL((VESP(I)**2)*Y(I,I)+CONJG(VII(I))*SUM-(VI(I)*Y(I,
      *I))))
      GO TO 530
506  Q(I)=QMAX(I)+CMAX(I)*QNOM(I)*(CABS(VI(I)**2))-QC(I)-QCZ(I)*C
      *ABS(VI(I)**2))
      GO TO 531
504  Q(I)=QMIN(I)-QC(I)-QCZ(I)*(CABS(VI(I)**2))
531  KTP(I)=-1
      QX(I)=-AIMAG(CONJG(VI(I))*SUM)
530  K=I+NB-1
      DPQ(K)=Q(I)-QX(I)
      DPQ(I)=P(I)-PX(I)
C*****CALCULA ERRO MAXIMO
      IF(ABS(DPQ(K)).GT.DMAX)DMAX=ABS(DPQ(K))
      IF(ABS(DPQ(I)).GT.DMAX)DMAX=ABS(DPQ(I))
520  CONTINUE
C++++TESTA TOLERANCIA
      IF(DMAX.LT.TOLER)GO TO 70
C++++FORMACAO DO JACOBIANO
1000 DO 46 I=2,NB
      M=I-1
      K=M+NB-1
      IF(REAL(Y(I,I)).EQ.0)Y(I,I)=CMPLX(.0001,AIMAG(Y(I,I)))
      TETA1=-ATAN2(AIMAG(Y(I,I)),REAL(Y(I,I)))
      SOM1=0.
      SOM2=0.
      SOM3=0.
      SOM4=0.
      DO 43 J=1,NB
      IF(I.EQ.J)GO TO 43
      IF(REAL(Y(I,J)).EQ.0)Y(I,J)=CMPLX(.0001,AIMAG(Y(I,J)))
      TETA2=-ATAN2(AIMAG(Y(I,J)),REAL(Y(I,J)))
      DELT=ANG(I)-ANG(J)
      SOM1=SOM1+CABS(VI(I)*VI(J)*Y(I,J))*SIN(TETA2+DELT)

```



```

SOM2=SOM2+CABS(VI(J)*Y(I,J))*COS(TETA2+DELT)
SOM3=SOM3+CABS(VI(I)*VI(J)*Y(I,J))*COS(TETA2+DELT)
SOM4=SOM4+CABS(VI(J)*Y(I,J))*SIN(TETA2+DELT)
IF(J.EQ.1)GO TO 43
N=J-1
L=N+NB-1
D(M,N)=CABS(VI(I)*VI(J)*Y(I,J))*SIN(TETA2+DELT)
D(M,L)=CABS(VI(I)*Y(I,J))*COS(TETA2+DELT)
D(K,N)=-CABS(VI(I)*VI(J)*Y(I,J))*COS(TETA2+DELT)
D(K,L)=CABS(VI(I)*Y(I,J))*SIN(TETA2+DELT)
43 CONTINUE
D(M,M)=-SOM1
D(M,K)=2.*CABS(VI(I)*Y(I,I))*COS(TETA1)+SOM2
D(K,M)=SOM3
D(K,K)=2.*CABS(VI(I)*Y(I,I))*SIN(TETA1)+SOM4
46 CONTINUE
DO 510 I=2,NB
K=I+NB-2
IF(KTP(I).NE.1)GO TO 510
DO 509 J=1,NDIM
D(K,J)=.0
509 D(J,K)=.0
D(K,K)=1.
510 CONTINUE
M=ND0
DO 511 K=1,NDIM
I=K+1
511 D(K,M)=DPQ(I)
CALL GAUSS
C++++CORRECOES DE ANG E VI
DO 55 I=2,NB
K=I+NB-2
MM=I-1
ANG(I)=ANG(I)+X(MM)
VMOD(I)=VMOD(I)+X(K)
IF(KTP(I).EQ.1)VMOD(I)=VESP(I)
VI(I)=(VMOD(I))*CMPLX(COS(ANG(I)),SIN(ANG(I)))
55 CONTINUE
C++++AVANCA ITERACAO
ITER=ITER+1
IF(ITER.EQ.ITMAX)GO TO 66
IF(ND.EQ.0)GO TO 19
GO TO 9988
C++++VAI CALCULAR POTENCIAS LIQUIDAS
66 WRITE(W,68)
68 FORMAT(10X,'O PROCESSO NAO CONVERGIU',//)
GO TO 9991
70 WRITE(W,1155)
1155 FORMAT(1H1)
WRITE(W,1156)
1156 FORMAT(10X,'RELATORIO DO SISTEMA* AC',//)
WRITE(W,72)ITER
72 FORMAT(10X,'NUMERO DE ITERACOES',15,//)
9988 DO 77 I=1,NB
X1(I)=CABS(VI(I))
X2(I)=57.2957*ATAN(AIMAG(VI(I))/REAL(VI(I)))
77 CONTINUE
IF(ND.EQ.0)GO TO 9991

```



```
IF, DMAX, LT, TOLER, OF, ITER, EQ, ITMAX) GO TO 9991
GO TO 4009
9991 WRITE(W, 374)
374  FORMAT(10X, 'TENSÃO EM CADA BARRA', /)
    WRITE(W, 74)
74   FORMAT(10X, 'BARRA', 5X, 'VREAL', 5X, 'VIMAG', 6X, 'VMOD', 7X, 'ANG')
    DO 78 I=1, NR
    WRITE(W, 76) I, VI(I), X1(I), X2(I)
76   FORMAT(11X, I2, 2X, 4(F10.4))
78   CONTINUE
332  CALL CFLPO
    IF(ND.EQ.0) GO TO 41
    CALL FCNDC1
41   RETURN
    END
```

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
Coordenação Setorial de Pós-Graduação
Rua Aprício Veloso, 822 Tel. (63) 321-7222-R 355
58100 - Campina Grande - Paraíba


```

SUBROUTINE CFLPO
COMPLEX Y,ZSER,YSHT,FLM,FML,SUM,VI,VII,YSER,TAP,TT,NCC,CONJG,CMPLX
COMPLEX ERRO
INTEGER SB,EB,R,W,RR
REAL NBAN
COMMON Y(103,103),ZSER(188),YSHT(188),TAP(188),TT(188),VI(103),VII
*(103)
COMMON D(205,205),C(8,8)
COMMON LADG(188),LINE(188)
COMMON DPQ(205),X(205),DELV2,103),DELV4,103)
COMMON KTP(103),PG(103),QG(103),PC(103),QC(103),VESP(103),ANG(103)
COMMON QMAX(103),QMIN(103),QSHT(103),QNQM(103),CMAX(103),SB(103)
COMMON ER,103),P,103),Q,103),PCZ,103),QCZ,103)
COMMON VMOD(103),PX(103),QX(103),X1(103),X2(103)
COMMON P1(103),P2(103),Q1(103),Q2(103),P1R(103),P2I(103),Q1R(103)
COMMON Q2I,103),V1,103),V2,103),PV,103),QV,103)
COMMON PC1(103),PC2(103),QC1(103),QC2(103),T(8)
COMMON RD(5),NO(5),IC(5),XD1(5),XD2(5),TAP1(5),TAP1M(5),TAP1MA(5)
COMMON ALFA1,5),ALFA1M,5),ALF1MA(5),IB(5),LB(5),VD(5)
COMMON TAP2(5),TAP2M(5),TAP2MA(5),ALFA2(5),ALFA2M(5)
COMMON ALF2MA(5),ID1(5),ID2(5),IDS(5),IDA(5),IBDC(5),VD1,5),VD2,5)
COMMON VD1S(5),VD2S(5),SBDC(5),VBDC(5),NT(5),NLINE(5),RK(5),PD(5)
COMMON PD1S(5),FP1(5),FP2(5),RC1(5),RC2(5),GD(5),RPI(5),GAMA2(5)
COMMON PD1(5),VD1V(5),VD2V,5),GAMA1,5),GAMAR,5),GAMA1,5)
COMMON NV(5),VNJ(5),DRN(5),DVV(5),DRN1(5)
COMMON ALFA1S(5),ALFA2S(5),PT(5),ID1S(5),ID2S(5),VD01(5),VD02(5)
COMMON ITE,5),VD10,5),VD20,5),NCNT,W,R,NB,ITMAX,TOLER,SBASE,NL,KLB
COMMON VDB(5),SD1(5),SD2(5)
COMMON RI(5),RR(5),IBDC1(5),VBDC1(5)
COMMON KC,PRE,ND,ITER,DMAX
COMMON SS,SOMA
DIMENSION ERRO(103),PALT(103),QGS(103),QCAP(103),NBAN(103),PCR(103
*) ,QCP,103),QPAR,103)
203 IF(KC.NE.1)KLB=0
C++++CALCULO DE POTENCIA NO SLACK
SUM=(.0,.0)
DO 78 I=1,NB
  ERRO(I)=CMPLX(.0,.0)
78 SUM=SUM+Y(1,I)*VI(1)
  P(1)=REAL(SUM*CONJG(VI(1)))
  Q(1)=-AIMAG(SUM*CONJG(VI(1)))
  WRITE(W,700)
700 FORMAT(//,10X,'FLUXOS DE POTENCIA',/)
C++++CALCULO DO FLUXO NAS LINHAS
WRITE(W,80)
80 FORMAT(10X,'LINHA',5X,'POTENCIA ATIVA',5X,'POTENCIA REATIVA',/,25X
*, 'MWATT',16X,'MVAR')
  PP=0.0
  QP=0.
  DO 86 I=1,NL
  IF(I.EQ.KLB)GO TO 86
  L=SB(I)
  M=EB,I)
  YSER=1./ZSER(I)
  IF(REAL(TT(I)))79,85,79
79 IF(CABS(TAP(L))-CABS(TAP(M)))81,85,83
C++++TAP DO LADG M
81 FLM=VI(L)*CONJG((VI(L)*((CABS(TAP(M))**2)-VI(M)*CONJG(TAP(M))))*

```



```

$YSER)
  FLM=VI(M)*CONJG(,VI,M)-TAP(M)*VI(L)*YSER)
  GO TO 87
C+++++TAP DO LADO L
83  FLM=VI(L)*CONJG(,VI,L)-TAP(L)*VI(M)*YSER)
  FLM=VI(M)*CONJG((VI(M)*((CABS(TAP(L)))**2)-VI(L)*CONJG(TAP(L)))*)
$YSER)
  GO TO 87
95  FLM=VI(L)*CONJG((VI(L)-VI(M))*((1./ZSER(I))+VI(L)*YSHT(I)))
  FLM=VI(M)*CONJG((VI(M)-VI(L))*((1./ZSER(I))+VI(M)*YSHT(I)))
87  FLM=CMPLX(SBASE,.0)*FLM
  FLM=CMPLX(SBASE,.0)*FML
  ERRO(L)=ERRO(L)+FLM
  ERRO(M)=ERRO(M)+FML
  PP=PP+REAL(FLM)+REAL(FML)
  QP=QP+AIMAG(FLM)+AIMAG(FML)
  WRITE(W,84) L, M, FLM
  WRITE(W,84) M, L, FML
94  FORMAT(7X,2,1X,I3),5X,F10.4,10X,F10.4)
86  CONTINUE
C+++++CALCULO DE PG,OG,QCAP,NBAN
  WRITE(W,800)
800  FORMAT(//,10X,'GERACAO E COMPENSACAO',/)
  WRITE(W,88)
88  FORMAT(3X,'BARRA',4X,'PALT',5X,'PCR',5X,'QGS',4X,'QCAP',5X,'QCR',4
  *X,'NBAN',9X,'ERP')
  DO 3006 I=1,NB
  PV(I)=PC(I)
  QV(I)=QC(I)
3006  CONTINUE
  IF(ND.EQ.0) GO TO 338
  DO 2004 K=1,ND
  N=IB(K)
  L=LB(K)
  DO 999 I=1,NR
  IF(I.EQ.N) GO TO 3013
  IF(I.EQ.L) GO TO 3009
  GO TO 999
3013  PV(I)=PC(I)+P1(I)
  QV(I)=QC(I)+Q1(I)
  GO TO 999
3009  PV(I)=PC(I)+P2(I)
  QV(I)=QC(I)+Q2(I)
999  CONTINUE
2004  CONTINUE
338  DO 98 I=1,NB
335  PCR(I)=PV(I)+PCZ(I)*((CABS(VI,I))**2)
  QCR(I)=QV(I)+QCZ(I)*((CABS(VI,I))**2)
334  IF(KTP(I).NE.0)GO TO 89
  PALT,I)=0
  QGS(I)=OG(I)
  QCAP(I)=0.
  NBAN,I)=0.
  GO TO 93
99  IF(Q(I)+QCF(I)-QMAX(I))$2,92,90
90  QCAP,I)=(Q,I)+QCF,I)-QMAX,I))*SBASE
  NBAN(I)=(QCAP(I)/((QNCM(I))*((CABS(VI(I)))**2)))/SBASE
  QGS(I)=QMAX(I)*SBASE

```



```
GO TO 94
92  NBAN(I)=0.
    QGS(I)=(Q(I)+QCF(I))*SBASE
    QCAP(I)=0.
94  PALT(I)=(P(I)+PCF(I))*SBASE
93  PCR(I)=PCR(I)*SBASE
    QCR(I)=QCR(I)*SBASE
    QPAR(I)=QSHT(I)*(CABS(VI(I)**2))*SBASE
95  ERRO(I)=ERRO(I)+CMLX((PCR(I)-PALT(I)),(QCR(I)-QGS(I)-QCAP(I)-QPAR
    *(I)))
98  CONTINUE
    IF(ND.EQ.0) GO TO 311
    DO 2003 K=1,ND
    L=IB(K)
    N=LB(K)
    DO 313 I=1,NB
    IF(I.EQ.L) GO TO 3001
    IF(I.EQ.N) GO TO 3002
    GO TO 313
3001 PCR(I)=PCR(I)-P1R(K)
    QCR(I)=QCR(I)-Q1R(K)
    GO TO 313
3002 PCR(I)=PCR(I)-P2I(K)
    QCR(I)=QCR(I)-Q2I(K)
313  CONTINUE
2003 CONTINUE
311  DO 312 I=1,NB
2333 WRITE(W,96)I,PALT(I),PCR(I),QGS(I),QCAP(I),QCR(I),NBAN(I),ERRO(I)
96  FORMAT(4X,I2,2X,8F8.2)
312  CONTINUE
    WRITE(W,100)
100  FORMAT(//,10X,'PERDAS ATIVAS',6X,'PERDAS REATIVAS')
    WRITE(W,102)PP,QP
102  FORMAT(10X,F10.4,11X,F10.4)
    RETURN
    END
```



```

SUBROUTINE CONTIN
COMPLEX Y,ZSER,YSHT,FLM,FML,SUM,VI,VII,YSER,TAP,TT,NCC,CONJG,CMPLX
INTEGER SB,EB,R,W,PR
COMMON Y(103,103),ZSER(188),YSHT(188),TAP(188),TT(188),VI(103),VII
*(103)
COMMON D(205,205),C(8,8)
COMMON LADD(188),LINE(188)
COMMON DPQ(205),X(205),DELV2(103),DELV4(103)
COMMON KTP,103),PG,103),QG,103),PC,103),QC,103),VESP,103),ANG,103)
COMMON QMAX(103),QMIN(103),QSHT(103),QNM(103),CMAX(103),SB(103)
COMMON ER(103),P(103),Q(103),PCZ(103),QCZ(103)
COMMON VMOD,103),PX,103),QX,103),X1,103),X2,103)
COMMON P1(103),P2(103),Q1(103),Q2(103),P1R(103),P2I(103),Q1R(103)
COMMON Q2I(103),V1(103),V2(103),PV(103),QV(103)
COMMON PC1,103),PC2(103),QC1(103),QC2(103),T(8)
COMMON RD(5),NG(5),IC(5),XD1(5),XD2(5),TAP1(5),TAP1M(5),TAP1MA(5)
COMMON ALFA1(5),ALFA1M(5),ALF1MA(5),IB(5),LR(5),VD(5)
COMMON TAP2(5),TAP2M(5),TAP2MA(5),ALFA2(5),ALFA2M(5)
COMMON ALF2MA(5),ID1(5),ID2(5),IDS(5),IDA(5),IBDC(5),VD1(5),VD2(5)
COMMON VD1S(5),VD2S(5),SBDC(5),VBDC(5),NT(5),NLIN(5),RK(5),PD(5)
COMMON PD1S(5),FP1(5),FP2(5),RC1(5),RC2(5),GD(5),RPI(5),GAMA2(5)
COMMON PD1(5),VD1V(5),VD2V(5),GAMA1(5),GAMAR(5),GAMA(5)
COMMON NV(5),VNJ(5),DRN(5),DVV(5),DRN1(5)
COMMON ALFA1S(5),ALFA2S(5),PT(5),ID1S(5),ID2S(5),VD01(5),VD02(5)
COMMON ITE(5),VD10(5),VD20(5),NCNT,W,R,NB,ITMAX,TOLER,SBASE,NL,KLB
COMMON VDB(5),SD1(5),SD2(5)
COMMON RI(5),RR(5),IBDC1(5),VBDC1(5)
COMMON KC,PRE,ND,ITER,DMAX
COMMON SS,SOMA
  IF(KC-1)112,110,108
108  P(KLB)=PAT
    QMAX(KLB)=PRE
    GO TO 112
110  NCC=(1.,.0)
    GO TO 150
112  NCNT=NCNT-1
    READ(R,114)KC,KLB,PA,PR
114  FORMAT(2I3,2F10.5)
    IF(KC.EQ.2)GO TO 116
    NCC=(-1.,.0)
    WRITE(W,115)SB(KLB),EB(KLB)
115  FORMAT(1H1,10X,'PERDA DA LINHA',2I3,///)
    GO TO 150
116  PAT =P(KLB)
    PRE=QMAX(KLB)
    PA=PA/SBASE
    PR=PR/SBASE
    P(KLB)=PA-PC(KLB)-PCZ(KLB)*{(CABS(VI(KLB)))**2}
    QMAX(KLB)=PR
    WRITE(W,120)KLB,PA,PR
120  FORMAT(10X,'PERDA DE GERACAO NA BARRA',I5,/,10X,'POTENCIA ATIVA...
*.....',F10.4,/,10X,'POTENCIA REATIVA.....',F10.4,///)
    CALL FCN
    RETURN
C+++++MOD. YBUS SAIDA E ENTRADA DE LINHA
150  I=SB(KLB)
    J=EB(KLB)
    YSER=1./ZSER(KLB)

```



```
Y(J,I)=Y(J,I)-YSER*NCC
Y(I,J)=Y(I,J)-YSER*NCC
Y(I,I)=Y(I,I)+YSER*NCC+YSHT(KLB)*NCC
Y(I,I)=Y(I,I)+YSER*NCC+YSHT(KLB)*NCC
Y(J,J)=Y(J,J)+YSER*NCC+YSHT(KLB)*NCC
C+++++INCLUSAO DO TAP
IF(LADD(KLB)-J)160,170,160
160 IF(LADD(KLB)-I)190,180,190
180 Y(J,J)=Y(J,J)+(CABS(TT,KLB)**2-1.)*YSER*NCC
Y(I,J)=Y(I,J)+(CMPLX(1.,.0)-TT(KLB))*YSER*NCC
Y(J,I)=Y(J,I)+(CMPLX(1.,.0)-CONJG(TT(KLB)))*YSER*NCC
TAP,I)=TT,KLB)
GO TO 190
170 Y(I,I)=Y(I,I)+(CABS(TT(KLB))**2-1.)*YSER*NCC
Y,I,J)=Y,I,J)+(CMPLX(1.,.0)-CONJG(TT,KLB)))*YSER*NCC
Y(J,I)=Y(J,I)+(CMPLX(1.,.0)-TT(KLB))*YSER*NCC
TAP(J)=TT(KLB)
190 AC=REAL,NCC)
IF(AC)39,39,112
39 CALL FCN
RETURN
END
```

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
Coordenação Setorial de Pós-Graduação
Rua Aprígio Veloso 832 Tel (083) 321-7222-R 355
58100 - Campina Grande - Paraíba


```
SUBROUTINE CMX,7,N1
DIMENSION Z(8,8),ZA(8,16)
NW=6
DO 26 I=1,N
DO 24 J=1,N
ZA(I,J)=Z(I,J)
  NJ=N+J
24  ZA(I,NJ)=0.
  NI=N+I
26  ZA(I,NI)=1.
  NP=2*N
DO 12 I=1,N
  ALFA=ZA(I,I)
  IF(ABS(ALFA).LT..0001) GO TO 35
DO 5 J=1,NP
5   ZA(I,J)=ZA(I,J)/ALFA
DO 11 K=1,N
  IF(K-I)8,11,8
8   BETA=ZA(K,I)
DO 10 J=1,NP
10  ZA(K,J)=ZA(K,J)-BETA*ZA(I,J)
11  CONTINUE
12  CONTINUE
DO 33 J=1,N
  JN=J+N
DO 33 I=1,N
33  Z(I,J)=ZA(I,JN)
  RETURN
35  WRITE(NW,36)
36  FORMAT,10X,'EXISTE UM ELEMENTO NULO NA DIAGONAL',//)
  RETURN
END
```



```

SUBROUTINE GAUSS
COMPLEX Y,ZSER,YSHT,FLM,FML,VI,VII,YSER,TAP,NCC,SUM,TT,CONJG,CMPLX
INTEGER SR,FB,R,W,FR
COMMON Y(103,103),ZSER(188),YSHT(188),TAP(188),TT(188),VI(103),VII
*(103)
COMMON D(205,205),C(8,8)
COMMON LADD,188),LINE,188)
COMMON DPO(205),X(205),DELV2(103),DELV4(103)
COMMON KTP(103),PG(103),QG(103),PC(103),QC(103),VESP(103),ANG(103)
COMMON QMAX(103),QMIN(103),QSHT(103),QNDM(103),CMAX(103),SB(103)
COMMON EB(103),P(103),Q(103),PCZ(103),QC7(103)
COMMON VMOD(103),PX(103),QX(103),X1(103),X2(103)
COMMON P1(103),P2(103),Q1(103),Q2(103),P1R(103),P2I(103),Q1R(103)
COMMON Q2I(103),V1(103),V2(103),PV(103),QV(103)
COMMON PC1(103),PC2(103),QC1(103),QC2(103),T(8)
COMMON ED(5),ND(5),IC(5),XD1(5),XD2(5),TAP1(5),TAP1M(5),TAP1MA(5)
COMMON ALFA1(5),ALFA1M(5),ALF1MA(5),IB(5),LB(5),VD(5)
COMMON TAP2(5),TAP2M(5),TAP2MA(5),ALFA2(5),ALFA2M(5)
COMMON ALF2MA(5),ID1(5),ID2(5),IDS(5),IDA(5),IBDC(5),VD1(5),VD2(5)
COMMON VD1S(5),VD2S(5),SBDC(5),VBDC(5),NT(5),NL INE(5),RK(5),PD(5)
COMMON PD1S(5),FP1(5),FP2(5),RC1(5),RC2(5),GD(5),RPI(5),GAMA2(5)
COMMON PD1(5),VD1V(5),VD2V(5),GAMA1(5),GAMAR(5),GAMA(5)
COMMON NV(5),VNJ(5),DFN(5),DVV(5),DRN1(5)
COMMON ALFA1S(5),ALFA2S(5),PT(5),ID1S(5),ID2S(5),VD01(5),VD02(5)
COMMON ITE(5),VD10(5),VD20(5),NCNT,W,R,NB,ITMAX,TOLER,SBASE,NL,KLB
COMMON VDR(5),SD1(5),SD2(5)
COMMON RI(5),FR(5),IBDC1(5),VBDC1(5)
COMMON KC,PRE,ND,ITER,DMAX
COMMON SS,SOMA
NN=2*(NB-1)
M=NN+1
KMAX=NN-1
DO 200 K=1,KMAX
L=0
CD=0.
DO 2 I=K,NN
IF(ABS(D(I,K))-CD)2,2,1
1 CD=ABS(D(I,K))
L=I
CONTINUE
IF(L.EQ.0) GO TO 500
IF(L.EQ.K) GO TO 4
DO 3 J=K,M
SS=D(K,J)
D(K,J)=D(L,J)
3 D(L,J)=SS
4 IMIN=K+1
DO 200 I=IMIN,NN
D(I,K)=D(I,K)/D(K,K)
DO 200 J=IMIN,M
200 D(I,J)=D(I,J)-D(I,K)*D(K,J)
X(NN)=D(NN,M)/D(NN,NN)
DO 300 K=1,KMAX
I=NN-K
SOMA=0.
JMIN=I+1
DO 220 J=JMIN,NN
220 SOMA=SOMA+D(I,J)*X(J)

```


G LEVEL 21

GAUSS

DATE = 83083

13/02/23

```
300 X(I)=(D(I,M)-SOMA)/D(I,I)
    NC=NB-1
    DO 900 I=1,NC
    DELV2(I+1)=X,I)
900 DELV4(I+1)=X(I+NC)
    GO TO 503
500 WRITE,W,502)
502 FORMAT(10X,'A MATRIZ E SINGULAR',//)
503 RETURN
    END
```



```

SUBROUTINE FCNDC
COMPLEX Y,ZSER,YSHT,FLM,FML,VI,VII,YSER,TAP,NCC,SUM,TT,CONJG,CMPLX
INTEGER SB,ER,R,W,RR
REAL ID1,ID2,IBDC,IDA,IDS
REAL ID1S,ID2S,KV,IBDC1
COMMON Y(103,103),ZSER(188),YSHT(188),TAP(188),TT(188),VI,103),VII
*(103)
COMMON D(205,205),C(8,8)
COMMON LADD(188),LINE(188)
COMMON DPQ(205),X(205),DELV2(103),DELV4(103)
COMMON KTP(103),PG(103),QG(103),PC(103),QC(103),VESP(103),AVG(103)
COMMON QMAX(103),QMIN(103),QSH(103),QNOM(103),CMAX,103),SB,103)
COMMON EB(103),P(103),Q(103),PCZ(103),QCZ(103)
COMMON VMOD(103),PX(103),QX(103),X1(103),X2(103)
COMMON P1,103),P2(103),Q1(103),Q2(103),P1R(103),P2I,103),Q1R(103)
COMMON Q2I(103),V1(103),V2(103),PV(103),QV(103)
COMMON PC1(103),PC2(103),QC1(103),QC2(103),T(8)
COMMON RD,5),NO,5),IC(5),XD1(5),XD2(5),TAP1(5),TAP1M(5),TAP1MA(5)
COMMON ALFA1(5),ALFA1M(5),ALF1MA(5),IB(5),LB(5),VD(5)
COMMON TAP2(5),TAP2M(5),TAP2MA(5),ALFA2(5),ALFA2M(5)
COMMON ALF2MA(5),ID1(5),ID2(5),IDS(5),IDA(5),IBDC(5),VD1(5),VD2(5)
COMMON VD1S(5),VD2S(5),SBDC(5),VBDC(5),NT(5),NLINE(5),RK(5),PD(5)
COMMON PD1S(5),FP1(5),FP2(5),RC1(5),RC2,5),GD,5),RPI(5),GAMA2(5)
COMMON PD1(5),VD1V(5),VD2V(5),GAMA1(5),GAMAR(5),GAMAI(5)
COMMON NV(5),VNJ(5),DRN(5),DVV(5),DRN1(5)
COMMON ALFA1S,5),ALFA2S(5),PT(5),ID1S(5),ID2S(5),VD01(5),VD02(5)
COMMON ITE(5),VD10(5),VD20(5),NCNT,W,R,NB,ITMAX,TOLER,SBASE,NL,KLB
COMMON VDR(5),SD1(5),SD2(5)
COMMON RI(5),RR(5),IBDC1(5),VBDC1(5)
COMMON KC,PRE,ND,ITER,DMAX
COMMON SS,SDMA
DIMENSION H(2),VY(2),TMAX(2),F1(2),F2(2),F3(2),F4(2),F5(2),F6(2)
DIMENSION F7(2),F8(2),AC1(2),AC2(2)
4008 NDC=8
DO 2000 K=1,ND
ITE(K)=1
VD1(K)=RI(K)
VD2(K)=VD1(K)
ID1(K)=(PD(K)/100.)*1./RI(K)
ID2(K)=ID1(K)
TMAX(K)=0
DVV(K)=DVV(K)/VBDC(K)
M=IB(K)
L=LB(K)
IF(ITER.NE.0) GO TO 188
DO 2004 N=1,NB
IF(N.EQ.M) V1(M)=VESP(N)
IF(N.EQ.L) V2(L)=VESP(N)
2004 CONTINUE
GO TO 209
188 DO 2006 N=1,NB
IF(N.EQ.M) V1(M)=CABS(VI(N))
IF(N.EQ.L) V2(L)=CABS(VI(N))
2006 CONTINUE
IF(RR(K).EQ.0) GO TO 209
GO TO 219
208 WRITE(W,8004)
8004 FORMAT(///,1CX,'CONVERSORES OPERANDO NO MODO REDUZIDO',////)

```



```

TMAX(K)=0
IC(K)=3
ID2S(K)=(IDS(K)*.15)/IBDC(K)
ID1S(K)=IDS(K)/IBDC(K)-ID2S(K)
VD1S(K)=VD2S(K)
IF(RR(K).EQ.0) GO TO 209
GO TO 219
210 ALFA1(K)=ARCOS(AC1(K))*57.2957
ALFA2(K)=ARCOS(AC2(K))*57.2957
TMAX(K)=0
IF(RF(K).NE.0) GO TO 219
C++++ +CONTROLE DE POTENCIA NO RETIFICADOR E TENSÃO NO INVERSOR
209 F1(K)=(VD1(K)-RK(K)*V1(M)*TAP1(K)*COS(ALFA1(K)/57.2957)+(RC1(K)+DR
*N(K))*ID1(K))+DVV(K)
F2(K)=(VD2(K)-RK(K)*V2(L)*TAP2(K)*COS(ALFA2(K)/57.2957)+(RC2(K)-DR
*N1(K))*ID2(K))-DVV(K)
F3(K)=ID1(K)-GD(K)*VD1(K)+GD(K)*VD2(K)
F4(K)=ID2(K)-GD(K)*VD1(K)+GD(K)*VD2(K)
GO TO 79
219 F1(K)=(VD1(K)-RK(K)*(V1(M)/TAP1(K))*COS(ALFA1(K)/57.2957)+(RC1(K)+
*DPN(K))*ID1(K))+DVV(K)
F2(K)=(VD2(K)-RK(K)*(V2(L)/TAP2(K))*COS(ALFA2(K)/57.2957)+(RC2(K)-
*DPN1(K))*ID2(K))-DVV(K)
F3(K)=ID1(K)-GD(K)*VD1(K)+GD(K)*VD2(K)
F4(K)=ID2(K)-GD(K)*VD1(K)+GD(K)*VD2(K)
79 IF(IC(K).EQ.1) GO TO 90
IF(IC(K).EQ.2) GO TO 96
IF(IC(K).EQ.3) GO TO 95
IF(IC(K).EQ.4) GO TO 68
IF(IC(K).EQ.5) GO TO 67
IF(IC(K).EQ.6) GO TO 69
90 F5(K)=COS(ALFA1S(K)/57.2957)-COS(ALFA1(K)/57.2957)
F6(K)=COS(ALFA2S(K)/57.2957)-COS(ALFA2(K)/57.2957)
PD1(K)=ID1(K)*VD1(K)
F7(K)=PD1S(K)/SBDC(K)-PD1(K)
F8(K)=VD2S(K)*RI(K)-VD2(K)
GO TO 91
96 F5(K)=COS(ALFA1S(K)/57.2957)-COS(ALFA1(K)/57.2957)
F6(K)=COS(ALFA2S(K)/57.2957)-COS(ALFA2(K)/57.2957)
F7(K)=IDS(K)/IBDC(K)-ID1(K)
F8(K)=VD2S(K)*RI(K)-VD2(K)
GO TO 91
95 F5(K)=TAP1MA(K)-TAP1(K)
F6(K)=COS(ALFA2S(K)/57.2957)-COS(ALFA2(K)/57.2957)
F7(K)=VD1S(K)*RI(K)-VD1(K)
F8(K)=ID1S(K)-ID2(K)
GO TO 91
68 ALFA1S(K)=ALFA1(K-1)
F5(K)=COS(ALFA1S(K)/57.2957)-COS(ALFA1(K)/57.2957)
TAP2MA(K)=TAP2(K-1)
F6(K)=TAP2MA(K)-TAP2(K)
F7(K)=VD1S(K)*RI(K)-VD1(K)
F8(K)=IDS(K)/IBDC1(K)-ID2(K)
GO TO 91
67 F5(K)=TAP1MA(K)-TAP1(K)
F6(K)=COS(ALFA2S(K)/57.2957)-COS(ALFA2(K)/57.2957)
F7(K)=VD1S(K)*RI(K)-VD1(K)
F8(K)=IDS(K)/IBDC1(K)-ID2(K)

```



```

GO TO 91
60 F5(K)=COS(ALFA1S(K)/57.2957)-COS(ALFA1(K)/57.2957)
F6(K)=COS(ALFA2S(K)/57.2957)-COS(ALFA2(K)/57.2957)
F7(K)=PD1S(K)/SBDC(K)-VD1(K)*ID1(K)
F8(K)=VD1S(K)*RI(K)-VD1(K)
91 IF(ABS(F1(K)).GT.TMAX(K)) TMAX(K)=ABS(F1(K))
IF(ABS(F2(K)).GT.TMAX(K)) TMAX(K)=ABS(F2(K))
IF(ABS(F3(K)).GT.TMAX(K)) TMAX(K)=ABS(F3(K))
IF(ABS(F4(K)).GT.TMAX(K)) TMAX(K)=ABS(F4(K))
IF(ABS(F5(K)).GT.TMAX(K)) TMAX(K)=ABS(F5(K))
IF(ABS(F6(K)).GT.TMAX(K)) TMAX(K)=ABS(F6(K))
IF(ABS(F7(K)).GT.TMAX(K)) TMAX(K)=ABS(F7(K))
IF(ABS(F8(K)).GT.TMAX(K)) TMAX(K)=ABS(F8(K))
IF(TMAX(K).LT.TOLER) GO TO 999
IF(IC(K).EQ.1) GO TO 93
IF(IC(K).EQ.2) GO TO 94
IF(IC(K).EQ.3) GO TO 97*
IF(IC(K).EQ.4) GO TO 98
IF(IC(K).EQ.5) GO TO 97
IF(IC(K).EQ.6) GO TO 100
93 DO 10 I=1,8
DO 10 J=1,8
C(I,J)=0.
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.1.AND.RR(K).NE.0) C(I,J)=-RK(K)*(V1(M)/TAP1(K)*
**2)*COS(ALFA1(K)/57.2957)
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.1.AND.RR(K).EQ.0)C(I,J)=RK(K)*V1(M)*COS(ALFA1(K)
*/57.2957)
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.3)C(I,J)=-(RC1(K)+DRN(K))
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.5.AND.RR(K).NE.0) C(I,J)=RK(K)*V1(M)/TAP1(K)
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.5.AND.RR(K).EQ.0) C(I,J)=RK(K)*V1(M)*TAP1(K)
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.7)C(I,J)=-1.
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.2.AND.RR(K).NE.0) C(I,J)=-RK(K)*V2(L)/TAP2(K)*
**2)*COS(ALFA2(K)/57.2957)
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.2.AND.RR(K).EQ.0)C(I,J)=RK(K)*V2(L)*COS(ALFA2(K)
*/57.2957)
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.4)C(I,J)=-(RC2(K)-DPN1(K))
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.6.AND.RR(K).NE.0) C(I,J)=RK(K)*(V2(L)/TAP2(K))
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.6.AND.RR(K).EQ.0)C(I,J)=PK(K)*V2(L)*TAP2(K)
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.8) C(I,J)=-1.
IF(I.EQ.3.AND.J.EQ.3)C(I,J)=-1.
IF(I.EQ.3.AND.J.EQ.7)C(I,J)=GD(K)
IF(I.EQ.3.AND.J.EQ.8)C(I,J)=-GD(K)
IF(I.EQ.4.AND.J.EQ.4)C(I,J)=-1.
IF(I.EQ.4.AND.J.EQ.7)C(I,J)=GD(K)
IF(I.EQ.4.AND.J.EQ.8)C(I,J)=-GD(K)
IF(I.EQ.5.AND.J.EQ.5)C(I,J)=1.
IF(I.EQ.6.AND.J.EQ.6)C(I,J)=1.
IF(I.EQ.7.AND.J.EQ.3)C(I,J)=VD1(K)
IF(I.EQ.7.AND.J.EQ.7) C(I,J)=ID1(K)
IF(I.EQ.8.AND.J.EQ.8)C(I,J)=1.
10 CONTINUE
GO TO 104
94 DO 37 I=1,8
DO 37 J=1,8
C(I,J)=0.
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.1.AND.RR(K).NE.0) C(I,J)=-RK(K)*(V1(M)/TAP1(K)*
**2)*COS(ALFA1(K)/57.2957)
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.1.AND.RR(K).EQ.0)C(I,J)=RK(K)*V1(M)*COS(ALFA1(K)

```

Vbore 135 Vac. Tap


```

*)/57.2957)
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.3)C(I,J)=-1.
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.5.AND.RR(K).NE.0) C(I,J)=RK(K)*(V1(M)/TAP1(K))
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.5.AND.RR(K).EQ.0) C,I,J)=RK,K)*V1,M)*TAP1,K)
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.7)C(I,J)=-(RC1(K)+DRN(K))
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.2.AND.RR(K).EQ.0)C(I,J)=RK(K)*V2(L)*COS(ALFA2(K
*)/57.2957)
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.2.AND.RR(K).NE.0) C(I,J)=-RK(K)*(V2(L)/TAP2(K)*
**2)*COS(ALFA2(K)/57.2957)
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.4)C(I,J)=-(RC2(K)-DRN1(K))
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.6.AND.RR(K).EQ.0)C(I,J)=RK(K)*V2(L)*TAP2(K)
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.6.AND.RR(K).NE.0) C(I,J)=RK(K)*V2,L)/TAP2,K)
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.8)C(I,J)=-1.
IF(I.EQ.3.AND.J.EQ.3)C(I,J)=GD(K)
IF(I.EQ.3.AND.J.EQ.7)C(I,J)=-1.
IF(I.EQ.3.AND.J.EQ.8) C(I,J)=-GD(K)
IF(I.EQ.4.AND.J.EQ.3) C(I,J)=GD(K)
IF(I.EQ.4.AND.J.EQ.4)C,I,J)=-1.
IF(I.EQ.4.AND.J.EQ.8)C(I,J)=-GD(K)
IF(I.EQ.5.AND.J.EQ.5)C(I,J)=1.
IF(I.EQ.6.AND.J.EQ.6) C,I,J)=1.
IF(I.EQ.7.AND.J.EQ.7) C(I,J)=1.
IF(I.EQ.8.AND.J.EQ.8) C(I,J)=1.
    
```

37

CONTINUE

GO TO 104

97

DO 31 I=1,8

DO 31 J=1,8

C(I,J)=0.

```

IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.1.AND.RR(K).NE.0) C(I,J)=RK(K)*(V1(M)/TAP1,K))
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.1.AND.RR(K).EQ.0)C(I,J)=RK(K)*V1(M)*TAP1(K)
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.3)C(I,J)=-(RC1(K)+DRN(K))
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.5.AND.RR(K).NE.0) C,I,J)=-RK,K)*V1,M)/TAP1,K)*
**2)*COS(ALFA1(K)/57.2957)
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.5.AND.RR(K).EQ.0)C(I,J)=RK(K)*V1(M)*COS(ALFA1(K
*)/57.2957)
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.7)C(I,J)=-1.
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.2.AND.RR(K).EQ.0)C(I,J)=RK(K)*V2(L)*COS(ALFA2(K
*)/57.2957)
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.2.AND.RR(K).NE.0) C(I,J)=-RK(K)*(V2(L)/TAP2(K)*
**2)*COS(ALFA2(K)/57.2957)
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.4)C,I,J)=-1.
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.6.AND.RR(K).NE.0) C(I,J)=RK(K)*(V2(L)/TAP2(K))
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.6.AND.RR(K).EQ.0)C(I,J)=RK(K)*V2(L)*TAP2(K)
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.8)C,I,J)=-RC2,K)-DRN1(K))
IF(I.EQ.3.AND.J.EQ.3)C(I,J)=-1.
IF(I.EQ.3.AND.J.EQ.4)C(I,J)=-GD(K)
IF(I.EQ.3.AND.J.EQ.7)C(I,J)=GD(K)
IF(I.EQ.4.AND.J.EQ.4)C(I,J)=-GD(K)
IF(I.EQ.4.AND.J.EQ.7)C(I,J)=GD(K)
IF(I.EQ.4.AND.J.EQ.8) C(I,J)=-1.
IF(I.EQ.5.AND.J.EQ.5)C(I,J)=1.
IF(I.EQ.6.AND.J.EQ.6)C,I,J)=1.
IF(I.EQ.7.AND.J.EQ.7)C(I,J)=1.
IF(I.EQ.8.AND.J.EQ.8)C(I,J)=1.
    
```

31

CONTINUE

GO TO 104

98

DO 32 I=1,8

DO 32 J=1,8

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
 Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
 Coordenação Setorial de Pós-Graduação
 Rua Aprígio Veloso, 832 Tel (083) 321-7222-R 355
 58.100 - Campina Grande - Paraíba


```

C(I,J)=0
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.1.AND.RR(K).NE.0) C(I,J)=-RK(K)*(V1(M)/TAP1(K)*
**2)*COS(ALFA1(K)/57.2957)
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.1.AND.RR(K).EQ.0) C(I,J)=RK(K)*V1(M)*COS(ALFA1,K
*)/57.2957)
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.3) C(I,J)=- (RC1(K)+DRN(K))
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.5.AND.RR(K).NE.0) C(I,J)=RK(K)*(V1(M)/TAP1(K))
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.5.AND.RR(K).EQ.0) C(I,J)=RK(K)*V1(M)*TAP1(K)
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.7) C(I,J)=-1.
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.2.AND.RR(K).NE.0) C(I,J)=RK(K)*(V2(L)/TAP2(K))
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.2.AND.RR(K).EQ.0) C(I,J)=RK(K)*V2(L)*TAP2(K)
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.4) C(I,J)=-1.
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.6.AND.RR(K).NE.0) C(I,J)=-RK(K)*(V2(L)/TAP2(K)*
**2)*COS(ALFA2(K)/57.2957)
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.6.AND.RR(K).EQ.0) C(I,J)=RK(K)*V2(L)*COS(ALFA2,K
*)/57.2957)
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.8) C(I,J)=- (RC2(K)-DRN1(K))
IF(I.EQ.3.AND.J.EQ.3) C(I,J)=-1.
IF(I.EQ.3.AND.J.EQ.4) C(I,J)=-GD(K)
IF(I.EQ.3.AND.J.EQ.7) C(I,J)=GD(K)
IF(I.EQ.4.AND.J.EQ.4) C(I,J)=-GD(K)
IF(I.EQ.4.AND.J.EQ.7) C(I,J)=GD(K)
IF(I.EQ.4.AND.J.EQ.8) C(I,J)=-1.
IF(I.EQ.5.AND.J.EQ.5) C(I,J)=1
IF(I.EQ.6.AND.J.EQ.6) C(I,J)=1
IF(I.EQ.7.AND.J.EQ.7) C(I,J)=1.
IF(I.EQ.8.AND.J.EQ.8) C(I,J)=1.
32 CONTINUE
GO TO 104
100 DO 34 I=1,8
DO 34 I=1,8
C(I,J)=0.
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.1.AND.RR(K).NE.0) C(I,J)=-RK(K)*(V1(M)/TAP1(K)*
**2)*COS(ALFA1(K)/57.2957)
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.1.AND.RR(K).EQ.0) C(I,J)=RK(K)*V1(M)*COS(ALFA1,K
*)/57.2957)
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.5.AND.RR(K).NE.0) C(I,J)=RK(K)*(V1(M)/TAP1(K))
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.5.AND.RR(K).EQ.0) C(I,J)=RK(K)*V1(M)*TAP1(K)
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.7) C(I,J)=- (RC1(K)+DRN(K))
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.8) C(I,J)=-1.
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.2.AND.RR(K).NE.0) C(I,J)=-RK(K)*(V2(L)/TAP2(K)*
**2)*COS(ALFA2(K)/57.2957)
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.2.AND.RR(K).EQ.0) C(I,J)=RK(K)*V2(L)*COS(ALFA2,K
*)/57.2957)
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.3) C(I,J)=-1.
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.4) C(I,J)=- (RC2(K)-DRN1(K))
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.6.AND.RR(K).NE.0) C(I,J)=RK(K)*(V2(L)/TAP2(K))
IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.6.AND.RR(K).EQ.0) C(I,J)=RK(K)*V2(L)*TAP2(K)
IF(I.EQ.3.AND.J.EQ.3) C(I,J)=-GD(K)
IF(I.EQ.3.AND.J.EQ.7) C(I,J)=-1.
IF(I.EQ.3.AND.J.EQ.8) C(I,J)=GD(K)
IF(I.EQ.4.AND.J.EQ.3) C(I,J)=-GD(K)
IF(I.EQ.4.AND.J.EQ.4) C(I,J)=-1.
IF(I.EQ.4.AND.J.EQ.8) C(I,J)=GD(K)
IF(I.EQ.5.AND.J.EQ.5) C(I,J)=1.
IF(I.EQ.6.AND.J.EQ.6) C(I,J)=1.
IF(I.EQ.7.AND.J.EQ.7) C(I,J)=VD1(K)
IF(I.EQ.7.AND.J.EQ.8) C(I,J)=ID1(K)

```



```

IF, I.EQ.8.AND. J.EQ.8) C(I,J)=1.
24 CONTINUE
104 CALL CMX(C, NDC)
DO 13 I=1,8
SOMA1=0.
DO 52 J=1,8
IF, J.EQ.1) SOMA1=SOMA1+C(I,J)*F1(K)
IF(J.EQ.2) SOMA1=SOMA1+C(I,J)*F2(K)
IF(J.EQ.3) SOMA1=SOMA1+C(I,J)*F3(K)
IF(J.EQ.4) SOMA1=SOMA1+C(I,J)*F4(K)
IF(J.EQ.5) SOMA1=SOMA1+C(I,J)*F5(K)
IF(J.EQ.6) SOMA1=SOMA1+C(I,J)*F6(K)
IF(J.EQ.7) SOMA1=SOMA1+C(I,J)*F7(K)
IF(J.EQ.8) SOMA1=SOMA1+C(I,J)*F8(K)
52 CONTINUE
T(I)=SOMA1
13 CONTINUE
IF, IC(K).EQ.1) GO TO 1002
IF(IC(K).EQ.2) GO TO 1003
IF(IC(K).EQ.3) GO TO 1004
IF, IC(K).EQ.4) GO TO 1005
IF(IC(K).EQ.5) GO TO 1004
IF(IC(K).EQ.6) GO TO 1007
1002 DO 555 I=1,8
IF(I.EQ.1) TAP1(K) =TAP1(K)+T(I)
IF(I.EQ.2) TAP2(K)=TAP2(K)+T(I)
IF, I.EQ.3) ID1(K)=ID1(K)+T(I)
IF(I.EQ.4) ID2(K)=ID2(K)+T(I)
IF(I.EQ.5) AC1(K)=COS(ALFA1(K)/57.2957)+T(I)
IF(I.EQ.6) AC2(K)=COS(ALFA2(K)/57.2957)+T(I)
IF(I.EQ.7) VD1(K)=VD1(K)+T(I)
IF(I.EQ.8) VD2(K)=VD2(K)+T(I)
VD01(K)=RK(K)*V1(M)*TAP1(K)
VD02(K)=RK(K)*V2(L)*TAP2(K)
IF, ALFA1(K).EQ.ALFA1M,K).AND.TAP1(K).EQ.TAP1M,K).AND.VD01(K).LT.V
*DC2(K)) GO TO 208
555 CONTINUE
GO TO 1008
1003 DO 556 I=1,8
IF(I.EQ.1) TAP1(K)=TAP1(K)+T(I)
IF, I.EQ.2) TAP2(K)=TAP2(K)+T(I)
IF(I.EQ.3) VD1(K)=VD1(K)+T(I)
IF(I.EQ.4) ID2(K)=ID2(K)+T(I)
IF(I.EQ.5) AC1(K)=COS(ALFA1(K)/57.2957)+T(I)
IF(I.EQ.6) AC2(K)=COS(ALFA2(K)/57.2957)+T(I)
IF(I.EQ.7) ID1(K)=ID1(K)+T(I)
IF(I.EQ.8) VD2(K)=VD2(K)+T(I)
556 CONTINUE
GO TO 1008
1004 DO 557 I=1,8
IF(I.EQ.1) AC1(K)=COS(ALFA1(K)/57.2957)+T(I)
IF, I.EQ.2) TAP2(K)=TAP2(K)+T(I)
IF(I.EQ.3) ID1(K)=ID1(K)+T(I)
IF(I.EQ.4) VD2(K)=VD2(K)+T(I)
IF, I.EQ.5) TAP1(K)=TAP1(K)+T(I)
IF(I.EQ.6) AC2(K)=COS(ALFA2(K)/57.2957)+T(I)
IF(I.EQ.7) VD1(K)=VD1(K)+T(I)
IF(I.EQ.8) ID2(K)=ID2(K)+T(I)

```


LEVEL 21

FCNDC

DATE = 83083

13/02/23

```
557 CONTINUE
GO TO 1008
1005 DO 558 I=1,8
IF(I.EQ.1) TAP1(K)=TAP1(K)+T(I)
IF(I.EQ.2) AC2(K)=COS(ALFA2(K)/57.2957)+T(I)
IF(I.EQ.3) ID1(K)=ID1(K)+T(I)
IF(I.EQ.4) VD2(K)=VD2(K)+T(I)
IF(I.EQ.5) AC1(K)=COS(ALFA1(K)/57.2957)+T(I)
IF(I.EQ.6) TAP2(K)=TAP2(K)+T(I)
IF(I.EQ.7) VD1(K)=VD1(K)+T(I)
IF(I.EQ.8) ID2(K)=ID2(K)+T(I)
558 CONTINUE
GO TO 1008
1007 DO 560 I=1,8
IF(I.EQ.1) TAP1(K)=TAP1(K)+T(I)
IF(I.EQ.2) TAP2(K)=TAP2(K)+T(I)
IF(I.EQ.3) VD2(K)=VD2(K)+T(I)
IF(I.EQ.4) ID2(K)=ID2(K)+T(I)
IF(I.EQ.5) AC1(K)=COS(ALFA1(K)/57.2957)+T(I)
IF(I.EQ.6) AC2(K)=COS(ALFA2(K)/57.2957)+T(I)
IF(I.EQ.7) ID1(K)=ID1(K)+T(I)
IF(I.EQ.8) VD1(K)=VD1(K)+T(I)
560 CONTINUE
1008 ITE(K)=ITE(K)+1
IF(ITE(K).EQ.ITMAX) GO TO 66
GO TO 210
999* P1(M)=VD1(K)*ID1(K)+ID1(K)*(DRN(K)*ID1(K)+DVV(K))
P1R(K)=VD1(K)*ID1(K)*SBDC(K)
P2(L)=-VD2(K)*ID2(K)+ID2(K)*(DRN1(K)*ID2(K)+DVV(K))
P2I(K)=-VD2(K)*ID2(K)*SBDC(K)
IDA(K)=(VD1(K)-VD2(K))/(RD(K)*NLINE(K))*IBDC(K)
VD1V(K)=VD1(K)*VBDC(K)
VD2V(K)=VD2(K)*VBDC1(K)
IF(RR(K).EQ.0) GO TO 8000
H(K)=(2.*XD1(K)*ID1(K))/(SQRT(2.)*(V1(M)/TAP1(K)))
VY(K)=(2.*XD2(K)*ID2(K))/(SQRT(2.)*(V2(L)/TAP2(K)))
GO TO 8001
8000 H(K)=(2.*XD1(K)*ID1(K))/(SQRT(2.)*TAP1(K)*V1(M))
VY(K)=(2.*XD2(K)*ID2(K))/(SQRT(2.)*TAP2(K)*V2(L))
8001 GAMA1(K)=ARCOS(COS(ALFA1(K)/57.2957)-H(K))-ALFA1(K)/57.2957
GAMA2(K)=ARCOS(COS(ALFA2(K)/57.2957)-VY(K))-ALFA2(K)/57.2957
805 GAMAR(K)=GAMA1(K)*57.2957
GAMA I(K)=GAMA2(K)*57.2957
803 FP1(K)=(COS(ALFA1(K)/57.2957)+COS(ALFA1(K)/57.2957+GAMAR(K)/57.295
*7))/2.
FP2(K)=(COS(ALFA2(K)/57.2957)+COS(ALFA2(K)/57.2957+GAMA I(K)/57.295
*7))/2.
Q1(M)=P1(M)*TAN(ARCOS(FP1(K)))
Q1R(K)=Q1(M)*SBDC(K)
Q2(L)=-P2(L)*TAN(ARCOS(FP2(K)))
Q2I(K)=Q2(L)*SBDC(K)
PT(K)=P1R(K)+P2I(K)
VD10(K)=VD1(K)/PI(K)
VD20(K)=VD2(K)/PI(K)
VNJ(K)=VD1V(K)-VD2V(K)
GO TO 2000
66 WRITE(W,7113)K
7113 FORMAT(10X,'O ELD DC NAO CONVERGIU',//,10X,'ELD NUMERO',15,//)
```

500
JDC = 500 / 100 * 1 / PAF

LEVEL 21

FCNDC

DATE = 83083

13/02/23

2000 CONTINUE
RETURN
END


```

SUBROUTINE FCNDC1
COMPLEX Y,ZSER,YSHT,FLM,FML,VI,VII,YSER,TAP,NCC,SUM,TT,CONJG,CMPLX
INTEGER SB,EB,R,W,RR
REAL ID1,ID2,IBDC,IDA,IDS
REAL ID1S,ID2S,KV,IBDC1
COMMON Y(103,103),ZSER(188),YSHT(188),TAP(188),TT(188),VI(103),VII
*(103)
COMMON D(205,205),C(8,8)
COMMON LADD(188),LINE(188)
COMMON DPQ(205),X(205),DELV2,103,DELV4,103)
COMMON KTP(103),PG(103),QG(103),PC(103),QC(103),VESP(103),AVG(103)
COMMON QMAX(103),QMIN(103),QSHT(103),QNOM(103),CMAX(103),SB(103)
COMMON EB,103),P,103),Q,103),PCZ,103),QCZ,103)
COMMON VMOD(103),PX(103),QX(103),X1(103),X2(103)
COMMON P1(103),P2(103),Q1(103),Q2(103),P1R(103),P2I(103),Q1R(103)
COMMON Q2I,103),V1(103),V2(103),PV(103),QV(103)
COMMON PC1(103),PC2(103),QC1(103),QC2(103),T(8)
COMMON RD(5),ND(5),IC(5),XD1(5),XD2(5),TAP1(5),TAP1M,5),TAP1MA,5)
COMMON ALFA1(5),ALFA1M(5),ALF1MA(5),IB(5),LB(5),VD(5)
COMMON TAP2(5),TAP2M(5),TAP2MA(5),ALFA2(5),ALFA2M(5)
COMMON ALF2MA(5),ID1,5),ID2,5),IDS,5),IDA,5),IBDC,5),VD1,5),VD2,5)
COMMON VD1S(5),VD2S(5),SBDC(5),VBDC(5),NT(5),NLINE(5),RK(5),PD(5)
COMMON PD1S(5),FP1(5),FP2(5),PC1(5),PC2(5),GD(5),RPI(5),GAMA2(5)
COMMON PD1,5),VD1V,5),VD2V,5),GAMA1,5),GAMAR,5),GAMA1,5)
COMMON NV(5),VNJ(5),DRN(5),DVV(5),DRN1(5)
COMMON ALFA1S(5),ALFA2S(5),PT(5),ID1S(5),ID2S(5),VD01(5),VD02(5)
COMMON ITE,5),VD10,5),VD20,5),NCNT,W,R,NB,ITMAX,TOLER,SBASE,NL,KLB
COMMON VDB(5),SD1(5),SD2(5)
COMMON RI(5),RR(5),IBDC1(5),VBDC1(5)
COMMON KC,PRE,ND,ITER,DMAX
COMMON SS,SOMA
WRITE(W,374)
374 FORMAT(1H1)
99 WRITE(W,9000)
9000 FORMAT(/////,2X,'----RELATORIO DE LINKS DC----',//)
DO 2000 K=1,ND
IF(NV(K).EQ.0) GO TO 8000
WRITE(W,8001)
8001 FORMAT(2X,'-----POLOS EM PARALELO-----',//)
8000 M=IB(K)
L=LB(K)
WRITE(W,9001)
9001 FORMAT(31X,'-----')
WRITE(W,9003)
9003 FORMAT(32X,'TERMINAL RETIFICADOR',3X,'TERMINAL INVERSOR')
WRITE(W,9002)IB(K),LB(K)
9002 FORMAT,34X,'BAPPA',I5,13X,'BARRA',I5)
WRITE(W,9004)
9004 FORMAT(31X,'-----',1X,'-----')
WRITE(W,9005)V1(M),V2(L)
9005 FORMAT(2X,'TENSAC AC.....',2X,F10.3,1X,'PU',11X,F9.3
*,1X,'PU')
WRITE(W,9006)VD10(K),VD20(K)
9006 FORMAT(2X,'TENSAC DC.....',2X,F10.3,1X,'PJ',11X,F9.3
*,1X,'PU')
WRITE(W,9007)VD1V(K),VD2V(K)
9007 FORMAT(32X,F10.2,1X,'KV',11X,F9.2,1X,'KV')
WRITE(W,9010)ALFA1(K),ALFA2(K)

```


LEVEL 21

FCNDC1

DATE = 83083

13/02/23

```
9010  FORMAT(2X,'ANGULO DE DISPARO E EXTINGUO',2X,F10.1,1X,'GRAJS',9X,F8
*.1,1X,'GRAUS')
      WRITE(W,9011) GAMAP(K),GAMAI(K)
9011  FORMAT(2X,'ANGULO DE COMUTACAO.....',2X,F10.1,1X,'GRAJS',9X,F8
*.1,1X,'GRAUS')
      WRITE(W,9012)FP1(K),FP2(K)
9012  FORMAT(2X,'FATOR DE POTENCIA.....',2X,F10.2,15X,F8.2)
1013  WRITE(W,9013)TAP1(K),TAP2(K)
9013  FORMAT(2X,'TAP DO TRANSFORMADOR.....',1X,F11.3,15X,F8.3)
      WRITE(W,9008) P1R(K),P2I(K)
9008  FORMAT(2X,'POTENCIA DC.....',2X,F10.2,1X,'MW',11X,F9.2
*.1X,'MW')
      WRITE(W,9009) Q1R(K),Q2I(K)
9009  FORMAT(2X,'CONSUMO DE REATIVOS.....',2X,F10.2,1X,'MVAR',9X,F9.
*.2,1X,'MVAR')
      WRITE(W,9014)IDA(K)
9014  FORMAT(//,2X,'CORRENTE DC.....',2X,F10.1,1X,'AMPS')
      WRITE(W,9015)PT(K),VNJ(K)
9015  FORMAT(2X,'PERDAS DC.....',2X,F10.1,1X,'MW',/,2X,'QU
*EDA DC.....',2X,F10.1,1X,'KV',/)
      WRITE(W,7114)ITE,K)
7114  FORMAT(2X,'NUMERO DE ITERACOES DC.....',I9,/)
      WRITE(W,1015)
1015  FORMAT(2X,'-----
*-----',//)
2000  CONTINUE
      RETURN
      END
```

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
Coordenação Setorial de Pós-Graduação
Rua Aprígio Veloso, 882 - Tel (083) 321-7222-R 355
58.100 - Campina Grande - Paraíba

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Edward Wilson Kimbark: *Direct Current Transmission*. Volume I. (1971). John Wiley & Sons.
- (2) Erich Uhlmann: *Power Transmission by Direct Current*. (1975). Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
- (3) Stagg and El-Abiad: *Computer Methods in Power System Analysis*. (1968). McGraw-Hill Kogakusha Ltd.
- (4) B. J. Cory: *Convertidores y Sistemas de Corriente Continua de Alta Tension*. (1969). Ediciones URMO.
- (5) Drumond Xavier e Manoel Firmino de Medeiros: *Fluxo de Cargas*. Novembro (1980). UFPE.
- (6) William F. Tinney: *Power Solution By Newton's Method*. IEEE. Transactions on Power Apparatus and Systems. Vol. PAS-86. Nº 11. November (1967).
- (7) Duane A. Braunagel, Leonard A. Kraft, Jewel L. Whysong: *Inclusion of DC Converter and Transmission Equations directly in a Newton Power Flow*. IEEE. Transactions on Power Apparatus and Systems. Vol. PAS-95. Nº 1. Jan/Feb (1976).
- (8) I. E. Barker and B. A. Carré: *Load Flow Calculations for Systems Containing HVDC Links*. IEE. Conference Publication. Number 22. High Voltage DC Transmission, pp. 115 a 118. (1966).
- (9) J. B. C. Bower, K. W. Huddart and W. G. Watson: *Reactive Power Requirements of AC Systems and AC/DC Converters*. IEE. Conference Publication. Number 22. High Voltage DC Transmission, pp. 104 a 108. (1966).
- (10) Marcio Scheztman: *Fluxo de cargas incluindo interconexões a corrente contínua*. (1977). CEPEL.

- (11) Jaimes F. Clifford and Albert H. Schmidt: *Digital Representation of a DC Transmission System and Its Controls*. IEEE. Trans. Power App. Syst. Jan. (1970).
- (12) J. D. Ainsworth and C. J. B. Martin: *The Influence of HVDC Links on AC Power Systems*. GEC. Journal of Science & Technology. Vol. 44. nº 1. (1977).
- (13) M. M. El-Marsafaway and R. M. Mathur: *A New Fast Technique for Load-Flow Solution of Integrated Multi-terminal DC/AC Systems*. IEEE. Transactions on Power Apparatus and Systems. Vol. PAS-99. Nº 1. Jan/Feb. (1980).
- (14) ASEA. *HVDC Control*. Information LFS. February. (1974).
- (15) Paulo Cesar Alves Fernandes, Dalton de Oliveira Camponês do Brasil, Jorge Batista da Veiga e Luiz Eduardo Barata Ferreira. *Programa Digital para Cálculo das Condições em Regime Permanente do Elo de Corrente Contínua de Itaipu*. VI SNPTEE. (1981).
- (16) Brener G. D., Luini J. F., Young C.C.: *Studies of Large AC/DC Systems on the Digital Computer*. IEEE. Transactions on Power Apparatus and Systems. Vol. PAS-85, pp. 1107-1116. November (1966).