

ANATEM Model - User Manual

Modelo ANATEM- Manual do Usuário

Study Report - M03

Xingu Converter Station

Estreito Converter Station

Belo Monte Transmission System



HVDC 4000MW +/-800kV

Contract: DT-019/2015

Technical Classification:

ECCN: _	AL: _
---------	-------

CLASSIFICATION "ECCN/AL NOT EQUAL TO N"

This document contains controlled Technology and is subject to German/European and/or U.S. export regulations. Diversion is prohibited.

CLASSIFICATION "ECCN/AL EQUAL TO N"

Technology not specified in the CCL or AL and no US-Know-How commingled! This document is not subject to German/European and/or U.S. export regulations.

DESTINATION CONTROL STATEMENT

These items are controlled by the U.S. Government (when labeled with "ECCN" unequal "N") and authorized for export only to the country of ultimate destination for use by the ultimate consignee or end-user(s) herein identified. They may not be resold, transferred, or otherwise disposed of, to any other country or to any person other than the authorized ultimate consignee or end-user(s), either in their original form or after being incorporated into other items, without first obtaining approval from the U.S. Government or as otherwise authorized by U.S. law and regulations. Items labeled with "AL" unequal "N" are subject to European / national export authorization. Items without label or with label "AL:N" / "ECCN:N", may require authorization from responsible authorities depending on the final end-use, or the destination.

Restricted © Siemens AG, 2014

Transmittal, reproduction, dissemination and/or editing of this document as well as utilization of its contents and communication thereof to others without express authorization are prohibited. Offenders will be held liable for payment of damages. All rights created by patent grant or registration of a utility model or design patent are reserved.

Índice:

1	Introdução.....	7
2	Modelo ANAREDE.....	8
2.1	Código DELO.....	8
2.2	Código DCBA	9
2.3	Código DCLI	10
2.4	Código DCNV.....	10
2.5	Código DCCV.....	11
2.6	Código DBSH.....	11
3	Modelo ANATEM	13
3.1	Introdução	13
3.2	Código DARQ	16
3.3	Código DCLI	16
3.4	Código DCNV.....	17
3.5	Código DFCM	17
3.6	Código DCNE.....	18
3.6.1	CDU 95000 ("Station Control")	19
3.6.2	CDU 9110 / 9120 / 9130 / 9140 ("Tap-Changer Control")	20
3.6.3	CDU 9210/9220 ("AC Filter Control").....	21
3.6.4	CDU 97010 / 97020 ("DC Line Fault Protection and Restart Sequence").....	28
3.6.5	CDU 97761 / 97762 / 97763 / 97764 ("Pole Control")	28
3.6.6	CDU 96000 ("Sistema Especial de Proteção - SEP").....	29
4	Exemplos de Simulação	33
4.1	Rampa na referência de potência	33
4.2	Runup/Runback manual	35
4.3	Bloqueio de polo.....	36
4.3.1	Exemplo 1: Xingú → Estreito.....	36
4.3.2	Exemplo 2: Estreito → Xingú.....	37
4.4	Falta no meio da linha DC.....	38
4.4.1	Exemplo 1: Falta na linha DC com religamento com sucesso na 1ª tentativa (tensão normal).....	38
4.4.2	Exemplo 2: Falta na linha DC do Polo 2 – Religamento com sucesso na 4ª tentativa com tensão reduzida.....	40
4.4.3	Exemplo 3: Falta permanente na linha DC – bloqueio após 4 tentativas de religamento	41
4.5	Faltas AC	42
4.5.1	Exemplo 1: Curto-circuito 3f em Xingú (retificador).....	42
4.5.2	Exemplo 2: Curto-circuito 3f em Estreito (inversor).....	43
4.6	Atuação do Tap-Changer Control	44
4.6.1	Exemplo 1: Degrau na barra infinita	44
4.6.2	Exemplo 2: Rampa de Potência	46

4.7	Atuação do Voltage Limitation Control	48
4.7.1	Exemplo 1: Isolate 1	48
4.7.2	Exemplo 2: Isolate 2	49
4.8	Transição entre Modos de Controle	50
4.8.1	Exemplo 1: Transição Ud-Control → γ -Control (inversor)	50
4.9	Atuação das Lógicas do SEP	51
4.9.1	Exemplo 1: Lógica 1A1	51
4.9.2	Exemplo 2: Lógica 2A1	52
4.9.3	Exemplo 3: Lógica 1A1+2A1	53
4.9.4	Exemplo 4: Lógica 2A2	54
4.9.5	Exemplo 5: Lógica 1B1+2B1	55
4.9.6	Exemplo 6: Lógica 3	56
4.9.7	Exemplo 7: Lógica 4 – Sinal Externo Tipo 3	57
4.9.8	Exemplo 8: Lógica 5	58
5	Appendix	59
6	Referências	59

Lista de Figuras:

Figura 2.1 – Código DELO (Bipolar)	8
Figura 2.2 – Código DELO (Monopolar).....	8
Figura 2.3 – Código DCBA (Xingú→Estreito).....	9
Figura 2.4 – Código DCBA (Estreito→Xingú).....	9
Figura 2.5 – Código DCLI	10
Figura 2.6 – Código DCNV (Xingú→Estreito).....	10
Figura 2.7 – Código DCNV (Estreito→Xingú).....	10
Figura 2.8 – Código DCCV (Xingú→Estreito).....	11
Figura 2.9 – Código DCCV (Estreito→Xingú).....	11
Figura 2.10 – Representação dos filtros no ANAREDE.....	11
Figura 2.11 – Código DBSH.....	12
Figura 3.1 – Código DARQ	16
Figura 3.2 – Código DCLI	16
Figura 3.3 – Código DCNV	17
Figura 3.4 – Código DFCM (Xingú→Estreito)	17
Figura 3.5 – Código DCBA (Estreito→Xingú).....	18
Figura 3.6 – Código DCNE	18
Figura 3.7 – Código DCNV – Tap-Changer Control	20
Figura 3.8 – Parâmetros do Tap-Changer Control	21
Figura 3.9 – Código DCNE – AC Filter Control	21
Figura 3.10 – Blocos para chaveamento manual de filtros – AC Filter Control	23
Figura 3.11 – Parâmetros do ACFC (Xingú)	25
Figura 3.12 – Parâmetros do ACFC (Estreito).....	25
Figura 3.13 – Parâmetros do ACFC – Q Control (Xingú)	25
Figura 3.14 – Parâmetros do ACFC – Q Control (Estreito).....	26
Figura 3.15 – Parâmetros do ACFC – U Control (Xingú).....	26
Figura 3.16 – Parâmetros do ACFC – U Control (Estreito).....	26
Figura 3.17 – ACFC – Voltage Limitation Control (Xingú)	26
Figura 3.18 – Parâmetros do ACFC – Voltage Limitation Control (Estreito)	27
Figura 3.19 – Parâmetros do AC Filter Control – Harmonic Performance Control (Xingú)	27
Figura 3.20 – Parâmetros do ACFC – Harmonic Performance Control (Estreito)	27
Figura 3.21 – Código DCNE - DC Line Fault Protection	28
Figura 3.22 – DEVT – Desligamento de duas unidades geradoras em Belo Monte	32
Figura 4.1 – Parâmetro para rampa de potência	33
Figura 4.2 – DEVT – Rampa de -500MW.....	33
Figura 4.3 – Rampa de -500MW a taxa de 10MW/s.....	34
Figura 4.4 – Parâmetro para runup/runback	35
Figura 4.5 – DEVT – Runback de 1000MW	35
Figura 4.6 – Runback de 1000MW a taxa de 5000MW/s	35
Figura 4.7 – DEVT – Bloqueio do polo 2.....	36
Figura 4.8 – Bloqueio do polo 2 – (Xingú→Estreito)	36
Figura 4.9 – DEVT – Bloqueio do polo 2.....	37
Figura 4.10 – Bloqueio do polo 2 (Estreito→Xingú)	37
Figura 4.11 – DEVT – Falta DC com religamento (0.1s)	38
Figura 4.12 – Parâmetros do Controle de Falta DC	38
Figura 4.13 – Falta DC com religamento.....	39
Figura 4.14 – DEVT – Falta DC com religamento (1.0s)	40
Figura 4.15 – Falta DC com religamento na 4ª tentativa	40
Figura 4.16 – DEVT – Falta DC	41
Figura 4.17 – Parâmetros do Controle de Falta DC	41

Figura 4.18 – DEVT – Falta permanete na linha DC	41
Figura 4.19 – DEVT – Curto-circuito 3f em Xingu	42
Figura 4.20 – Curto-circuito 3f em Xingú.....	42
Figura 4.21 – DEVT – Curto-circuito 3f em Estreito.....	43
Figura 4.22 – Curto-circuito 3f em Estreito.....	43
Figura 4.23 – DEVT – Degrau negativo na tensão da barra infinita de Xingu.....	44
Figura 4.24 – Degrau negativo na tensão da barra infinita de Xingu	44
Figura 4.25 – DEVT – Degrau negativo na tensão da barra infinita de Estreito.....	44
Figura 4.26 – Degrau negativo na tensão da barra infinita de Estreito	45
Figura 4.27 – DEVT – Rampa de -1000MW no Bipolo 1	46
Figura 4.28 – Rampa de -1000MW no Bipolo 1 (Xingu)	46
Figura 4.29 – Rampa de -1000MW no Bipolo 1 (Estreito)	47
Figura 4.30 – DEVT – Degraus na tensão da barra infinita de Estreito	48
Figura 4.31 – DEVT – Degraus na tensão da barra infinita de Estreito	48
Figura 4.32 – DEVT – Degraus na tensão da barra infinita de Xingú	49
Figura 4.33 – Degraus na tensão da barra infinita de Xingú.....	49
Figura 4.34 – DEVT – Degraus sucessivos na tensão da barra infinita de Estreito	50
Figura 4.35 – Degraus sucessivos na tensão da barra infinita de Estreito	50
Figura 4.36 – DEVT - Abertura de 1 circuito da LT Xingu – Tucuruí.....	51
Figura 4.37 – Abertura de 1 circuito da LT Xingu – Tucuruí	51
Figura 4.38 – DEVT - Abertura simultânea de 2 circuitos da LT Xingu – Tucuruí	52
Figura 4.39 – Abertura simultânea de 2 circuitos da LT Xingu – Tucuruí.....	52
Figura 4.40 – DEVT - Abertura escalonada de 2 circuitos da LT Xingu – Tucuruí.....	53
Figura 4.41 – Abertura escalonada de 2 circuitos da LT Xingu – Tucuruí.....	53
Figura 4.42 – DEVT - Abertura simultânea de 2 circuitos da LT Xingu – Tucuruí	54
Figura 4.43 – Abertura simultânea de 2 circuitos da LT Xingu – Tucuruí.....	54
Figura 4.44 – DEVT - Abertura escalonada de 2 circuitos da LT Xingu – Tucuruí.....	55
Figura 4.45 – Abertura escalonada de 2 circuitos da LT Xingu – Tucuruí.....	55
Figura 4.46 – DEVT – Bloqueio de polo.....	56
Figura 4.47 – Bloqueio de polo (ultimo polo).....	56
Figura 4.48 – DEVT – Recepção de sinal externo Tipo 3.....	57
Figura 4.49 – Recepção de sinal externo Tipo 3.....	57
Figura 4.50 – DEVT – Trip de duas unidades geradoras em Belo Monte	58
Figura 4.51 – Trip de duas unidades geradoras em Belo Monte	58

1 Introdução

Este documento tem como objetivo descrever o modelo do Bipolo 1 do sistema de transmissão HVDC de Belo Monte, desenvolvido para o programa ANATEM, bem como apresentar os procedimentos básicos para o usuário do modelo configurar, parametrizar e utilizar o modelo de forma apropriada.

O modelo foi desenvolvido utilizando “Controles Definidos pelo Usuário” (CDU), uma ferramenta disponível no programa ANATEM que permite ao usuário desenvolver sistemas de controle a partir de uma linguagem própria baseada em diagramas de blocos de funções elementares. O modelo foi desenvolvido com elevado grau de detalhamento e automatismo, minimizando a necessidade de intervenções manuais pelo usuário via DEVT (dados de eventos) para representar ações executadas automaticamente pelo sistema de controle. Intervenções manuais demandam experiência e conhecimento prévio do modelo por parte do usuário e nem sempre conseguem reproduzir de forma precisa o evento desejado.

O modelo ANATEM foi baseado em um modelo detalhado disponibilizado no programa PSCAD, [1], e em diversos relatórios técnicos e descritivos funcionais, [2], [3], [4] e [5]. O sistema de controle no PSCAD foi desenvolvido a partir da biblioteca padrão do PSCAD, constituindo uma tradução fiel das principais funções de transferência dos controles físicos reais da SIEMENS e, portanto, serviu de referência para o modelo no programa ANATEM.

O modelo desenvolvido é compatível com a versão 11.02.00 do ANATEM ou superior.

2 Modelo ANAREDE

O modelo do Bipolo 1 de Belo Monte para os estudos de fluxo de potência foi representado através dos códigos de execução do programa ANAREDE. Tanto para o cenário Xingú→Estreito como para o cenário Estreito→Xingú. A seguir estão descritos os códigos de execução do ANAREDE para as condições de operação do Bipolo 1.

2.1 Código DELO

No código DELO são inseridos os dados de Elo CC. Para a configuração monopolar deve-se apenas desligar o polo correspondente no código DELO sem precisar alterar os demais códigos, como ilustrado na Figura 2.1 e Figura 2.2.

```
DELO
(No) O ( V ) ( P ) ( Identificacao ) M E
3001      800. 2000. XINGU-ESTREITO POLO1 N L
3002      800. 2000. XINGU-ESTREITO POLO2 N L
99999
```

Figura 2.1 – Código DELO (Bipolar)

```
DELO
(No) O ( V ) ( P ) ( Identificacao ) M E
3001      800. 2000. XINGU-ESTREITO POLO1 N L
3002      800. 2000. XINGU-ESTREITO POLO2 N L
99999
```

Figura 2.2 – Código DELO (Monopolar)

2.2 Código DCBA

Neste código são inseridos os dados de barra CC. A Figura 2.3 apresenta o código DCBA referente ao cenário Xingú→Estreito e Figura 2.4 apresenta o código DCBA referente ao cenário Estreito→Xingú.

DCBA				
(No)	O	TP(Nome)	Gl(Vd)	(Rs) (Elo
3101	1	+XINGU-P1	800.	3001
3102		+ESTREITO-P1	765.3	3001
3103		ONEUOELO01X	0.	3001
3104		ONEUOELO01E	0.	3001
3105	1	+XINGU-P2	800.	3002
3106		+ESTREITO-P2	765.3	3002
3107		ONEUOELO02X	0.	3002
3108		ONEUOELO02E	0.	3002
99999				

Figura 2.3 – Código DCBA (Xingú→Estreito)

DCBA				
(No)	O	TP(Nome)	Gl(Vd)	(Rs) (Elo
3101		+XINGU-P1	771.6	3001
3102	1	+ESTREITO-P1	800.	3001
3103		ONEUOELO01X	0.	3001
3104		ONEUOELO01E	0.	3001
3105		+XINGU-P2	771.6	3002
3106	1	+ESTREITO-P2	800.	3002
3107		ONEUOELO02X	0.	3002
3108		ONEUOELO02E	0.	3002
99999				

Figura 2.4 – Código DCBA (Estreito→Xingú)

2.3 Código DCLI

No código DCLI é feita a entrada de dados de linha CC como exemplificado na Figura 2.5. É importante ressaltar que caso a operação esteja sendo feita com retorno metálico o valor da resistência de linha CC deve ser dobrado.

DCLI						
(De)	O	(Pa)	Nc	P	(R) (L)	(Cn)
3101		3102	1	F	13.9	2000
3105		3106	1	F	13.9	2000
99999						

Figura 2.5 – Código DCLI

2.4 Código DCNV

No código DCNV é feita a leitura dos dados de conversor CA-CC e também onde é definido o tipo de operação de cada polo (Retificador ou Inversor), portanto deve-se altera-lo dependendo de qual o sentido do fluxo de potência no Elo. Exemplos dos dois tipos de operação podem ser vistos na Figura 2.6 e Figura 2.7.

DCNV													
(No)	O	(CA)	(CC)	(EL)	T	p	(Ino)	(Xc)	(Vfs)	(Snt)	(Rra)	(Lra)	(CCC) Fr
3201		8100	3101	3103	R	2	2500.	16.	335.7	1188.	0.		
3202		3010	3102	3104	I	2	2500.	16.	329.5	1165.	0.		
3203		8100	3105	3107	R	2	2500.	16.	335.7	1188.	0.		
3204		3010	3106	3108	I	2	2500.	16.	329.5	1165.	0.		
99999													

Figura 2.6 – Código DCNV (Xingú→Estreito)

DCNV													
(No)	O	(CA)	(CC)	(EL)	T	p	(Ino)	(Xc)	(Vfs)	(Snt)	(Rra)	(Lra)	(CCC) Fr
3201		8100	3101	3103	I	2	2500.	16.	335.7	1188.	0.		
3202		3010	3102	3104	R	2	2500.	16.	329.5	1165.	0.		
3203		8100	3105	3107	I	2	2500.	16.	335.7	1188.	0.		
3204		3010	3106	3108	R	2	2500.	16.	329.5	1165.	0.		
99999													

Figura 2.7 – Código DCNV (Estreito→Xingú)

2.5 Código DCCV

Neste código são inseridos os dados de controle de conversor CA-CC e assim como o código DCNV, também depende do sentido do fluxo de potência no Elo.

DCCV														
(No)	O	FMC	(Vsp)	(Marg	(IMax	(Dsp)	(Dtn)	(Dtm)	(Tmn)	(Tmx)	(S	(Vmn	(Tmh)	(Ttr)
3201		P	2000.		0.	14.3	12.7	17.3	.9375	1.25		900	1.25	1.25
3202	F	P	2000.	0.	0.	18.4	18.	21.	.9375	1.25		900	1.25	1.25
3203		P	2000.		0.	14.3	12.7	17.3	.9375	1.25		900	1.25	1.25
3204	F	P	2000.	0.	0.	18.4	18.	21.	.9375	1.25		900	1.25	1.25
99999														

Figura 2.8 – Código DCCV (Xingú→Estreito)

DCCV														
(No)	O	FMC	(Vsp)	(Marg	(IMax	(Dsp)	(Dtn)	(Dtm)	(Tmn)	(Tmx)	(S	(Vmn	(Tmh)	(Ttr)
3201	F	P	1635.	0.	0.	19.6	18.	21.	.9375	1.25		900	1.25	1.25
3202		P	1635.		0.	15.2	12.7	17.3	.9375	1.25		900	1.25	1.25
3203	F	P	1635.	0.	0.	19.6	18.	21.	.9375	1.25		900	1.25	1.25
3204		P	1635.		0.	15.2	12.7	17.3	.9375	1.25		900	1.25	1.25
99999														

Figura 2.9 – Código DCCV (Estreito→Xingú)

2.6 Código DBSH

Por fim, no código DBSH é feita a leitura dos dados de bancos de capacitores e/ou reatores individualizados conectados às barras CA ou linhas de transmissão. A Figura 2.10 apresenta a representação dos bancos existentes nas barras de Xingu e Estreito e a Figura 2.11 apresenta a entrada de dados destes bancos nas barras de Xingú e Tucuruí.



Figura 2.10 – Representação dos filtros no ANAREDE

```
DBSH
(NFr) O (NTo) Nc C (Vmn (Vmx Bctrl (Qini) T A (Extr
3010          F 0800 1200 3010 1750. C
(G O E (U) UOp (Sht )
10          3 3 220.
20          3 3 180.
30          6 2 275.
FBAN
(NFr) O (NTo) Nc C (Vmn (Vmx Bctrl (Qini) T A (Extr
8100          F 0800 1200 8100 1600. C
(G O E (U) UOp (Sht )
20          3 3 220.
30          3 3 180.
40          2 2 200.
FBAN
99999
```

Figura 2.11 – Código DBSH

3 Modelo ANATEM

3.1 Introdução

O modelo do Bipolo 1 de Belo Monte foi representado através de 14 CDUs no programa ANATEM. Uma das premissas básicas era desenvolver um conjunto único de CDUs que funcionasse corretamente em qualquer configuração (bipolar ou monopolar) e sentido de transmissão de potência ($X \rightarrow E$ e $E \rightarrow X$), sem a necessidade de alterar arquivos de modelo em função destas condições. Assim, o modelo detecta automaticamente a configuração e o modo de operação dos conversores (retificador/inversor), inicializa as variáveis apropriadamente e habilita o conjunto correspondente de funções dentro de cada CDU, deixando as demais funções virtualmente desabilitadas.

O modelo emprega o recurso de Topologia de Controladores Definidos pelo Usuário (TDU) para aquelas CDUs cuja topologia é igual para ambos os polos e/ou terminais.

A Tabela 3.1 lista as CDUs utilizadas no modelo, apresentando os nomes e números das CDUs, os números das TDUs (quando usadas), assim como uma descrição básica e uma lista de funções de controle implementadas em cada uma delas.

Os itens a seguir apresentam o passo a passo para configuração e parametrização do modelo, bem como uma descrição mais detalhada das funções representadas em cada CDU do modelo.

Tabela 3.1 – Lista de CDUs do modelo

Número TDU	Número CDU	Nome CDU	Descrição	Funções implementadas
-	95000	BMTE-STATION	“Station Control”	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Rampa de referência de potência ✓ Runup e Runback manual ✓ Power Oscillation Damping (POD) ✓ System Frequency Control (SFC) ✓ Local Frequency Control (LFC) ✓ (Frequency Control e Frequency Limit Control)
97760	97761	PC-XINGU-P1	“Pole Control”	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Current Order Calculation (COC) – Função P/U ✓ Pole Current Limitation (PCL) ✓ Current Margin Compensation (CMC) ✓ Pole Current Order Coordination (PCOC) ✓ Current Margin Switching (CMS) ✓ VDCL e Transient Fault Recovery Controls ✓ DC Current Controller ✓ DC Voltage Controller ✓ Gamma Controller ✓ Current Error Characteristic (CEC) ✓ Error Selection e PI-Controller ✓ Firing Angle Limitation (alpha limits) ✓ Alpha Scaling ✓ Current Error Modulation (CEM) ✓ Force Retard ✓ AC Undervoltage Detection (ACUV) ✓ Commutation Failure Mitigation
	97762	PC-ESTR-P1		
	97763	PC-XINGU-P2		
	97764	PC-ESTR-P2		
9100	9110	BM-TAP-P1-X	“Tap-Changer Control”	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Operação AUTO ou MANUAL (tape fixo) ✓ Angle Control (α no retificador e γ no inversor)
	9120	BM-TAP-P1-E		
	9130	BM-TAP-P2-X		
	9140	BM-TAP-P2-E		

Número TDU	Número CDU	Nome CDU	Descrição	Funções implementadas
-	9210	BM-ACFC-X	“AC Filter Control”	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Operação AUTO ou MANUAL ✓ Q-Control ✓ Uac-Control ✓ Voltage Limitation Control (VLC) ✓ Harmonic Performance Control (HPC) ✓ Inibição de chaveamentos pelo Q-control após faltas AC
	9220	BM-ACFC-E		
97000	97010	BM-DCLFRS-P1	“DC Line Fault Protection and Restart Sequence”	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Detecção automática de faltas (proteção DC) ✓ Detecção automática de faltas permanentes (controle DC) ✓ Sequência de religamento (0 a 4 tentativas) ✓ Seleção automática do tempo de deionização e tensão de religamento (tensão normal ou reduzida) ✓ Lógica de reset do ciclo de religamento ✓ Bloqueio automático do polo após a última tentativa ✓ Interrupção da sequência em caso de falta bipolar
	97020	BM-DCLFRS-P2		
-	96000	BMTE-SEP	“Sistema Especial de Proteção (SEP)”	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Lógica 1 (1A1, 1A2 e 2B1) – Perda simples LT XIN-TUC ✓ Lógica 2 (2A1, 2A2 e 2B1) – Perda dupla LT XIN-TUC ✓ Lógica 3 – Perda de bipolo (ou do último polo) ✓ Lógica 4 – Contingências externas na interligação N/SE ✓ Lógica 5 – Perda de UG em Belo Monte

3.2 Código DARQ

O código DARQ efetua a leitura dos arquivos onde os CDUs do modelo são definidos.

```
(
(
(
4. HVDC BELO MONTE
(
(
DARQ
((Tipo) (C) ( Nome do Arquivo
CDU      .\BDados\HVDC Belo Monte\BMTE_BP1_STATION_CONTROL_v1.cdu
CDU      .\BDados\HVDC Belo Monte\BMTE_BP1_POLE_CONTROL_v7.cdu
CDU      .\BDados\HVDC Belo Monte\BMTE_BP1_TAP_CONTROL_v0.CDU
CDU      .\BDados\HVDC Belo Monte\BMTE_BP1_DCLFR5_v5.cdu
CDU      .\BDados\HVDC Belo Monte\BMTE_BP1_ACF5_v8.CDU
CDU      .\BDados\HVDC Belo Monte\BMTE_BP1_SEP_v0.cdu
CDU      .\BDados\HVDC Belo Monte\BMTE_DLOC.cdu
((
999999
```

Figura 3.1 – Código DARQ

3.3 Código DCLI

No código DCLI é feita a entrada de dados de indutâncias de linhas CC.

```
(=====
( INDUTANCIAS DE LINHAS CC
(=====
DCLI
(De)      (Pa)Nc      ( L )
3101      3102 1      2332.6
3105      3106 1      2332.6
999999
```

Figura 3.2 – Código DCLI

No caso de operação com retorno metálico, deve-se somar ao valor da outra linha (1732.6 mH) à indutância.

3.4 Código DCNV

Neste código é feita a associação dos conversores aos seus respectivos sistemas de controle (controle de conversor e controle de tape) como ilustrado na Figura 3.3.

```

DCNV
(
  *****
  ( CONVERSORES DO ELO CC DE BELO MONTE - BIPOLLO 1
  ( *****
  (
  (Nc) (Gkb)(Amn)(Amx)(Gmn)( Mc )u( S1 )u( S2 )u( S3 )u( S4 )u(tap )u
  3201 97761u 9110u
  3202 97762u 9120u
  (Nc) (Gkb)(Amn)(Amx)(Gmn)( Mc )u( S1 )u( S2 )u( S3 )u( S4 )u(tap )u
  3203 97763u 9130u
  3204 97764u 9140u
  (
  999999
  
```

Figura 3.3 – Código DCNV

3.5 Código DFCM

O código DFCM apresenta os dados para falha de comutação automática nos pólos que estejam operando como inversor, portando deve ser alterado conforme a direção do fluxo nos elos.

Os dois cenários estão exemplificados na Figura 3.4 e Figura 3.5

```

(=====
( DADOS DE FALHA AUTOMATICA DE COMUTACAO
(=====
DFCM
(
(
  BELO MONTE BP1 - XINGU -> ESTREITO
( ***** POLO 1 ***** )
(Nm) (Vfc) (Gfc) (Thd)
(3202 12.0 0.016
3202 12.0 0.100
( ***** POLO 2 ***** )
(3204 12.0 0.016
3204 12.0 0.100
(
  999999
  
```

Figura 3.4 – Código DFCM (Xingú→Estreito)

```

(=====
( DADOS DE FALHA AUTOMATICA DE COMUTACAO
(=====
DFCM
(
(          BELO MONTE BP1 - XINGU -> ESTREITO
( ***** POLO 1 ***** )
(Nm) (Vfc) (Gfc) (Thd)
(3201      12.0 0.016
3201      12.0 0.100
( ***** POLO 2 ***** )
(3203      12.0 0.016
3203      12.0 0.100
(
999999

```

Figura 3.5 – Código DCBA (Estreito→Xingú)

3.6 Código DCNE

Neste código é feita a leitura de dados de associação de controladores não específicos ao respectivo modelo. Nele são definidos os controles: Station Control, DC Line Fault Protection P1/P2, AC Filter Control Xingu/Estreito e SEP.

```

(=====
( CONTROLADORES NAO ESPECÍFICOS
(=====
DCNE
( Bipolo Xingu -> Estreito (BMTE - Siemens)
(Nc) ( Mc )u
9991 95000u Station Control
9010 97010U DC Line Fault Protection P1
9020 97020U DC Line Fault Protection P2
9210 9210U AC Filter Control Xingu
9220 9220U AC Filter Control Estreito
9992 96000u SEP
999999

```

Figura 3.6 – Código DCNE

Os CDU não específicos são descritos nos itens a seguir.

3.6.1 CDU 95000 (“Station Control”)

O Station Control possui as seguintes funções:

- Operação em ambos os sentidos de transmissão
- Operação em configuração bipolar ou monopolar
- Rampa de referência de potência (taxa definida via DEFPAR #RAMPA)
- Runup/Runback (taxa definida via DEFPAR #TAXA)
- Power Oscillation Damping (POD)
- Lógica de conexão/desconexão do POD (rampa suave)
- System Frequency Control (SFC)
- Local Frequency Control (LFC)
 - ✓ Funções Frequency Control (FC) e Frequency Limit Control (FLC)
 - ✓ Representado em Xingu e Estreito
 - ✓ Seleção Xingu (preferencial) ou Estreito feita pelo usuário (DEFPAR #LFCLC)
- Seleção SFC x LFC
 - ✓ Automaticamente quando há abertura dos dois circuitos LT XI-TUC
 - ✓ ou manualmente pelo usuário (DEFPAR #LFCON)
- Atraso de telecomunicação quando a frequência ou a saída do controlador é enviada de um terminal para o outro ($T_{EL}=30ms$)
- Correção automática do sinal do Local Frequency Control quando ele está ativo no terminal inversor
- Chaves para habilitar/desabilitar individualmente cada função de estabilidade (#FCON, #POD) e uma chave geral para habilitar/desabilitar as funções de estabilidade como um todo (#STAB)

3.6.2 CDU 9110 / 9120 / 9130 / 9140 (“Tap-Changer Control”)

O Tap-Changer Control (TCC) é formado por um total de 4 CDUs, onde cada um é designado para um pólo específico. São eles:

- 9110 → TCC Polo 1 Xingu
- 9120 → TCC Polo 1 Estreito
- 9130 → TCC Polo 2 Xingu
- 9140 → TCC Polo 2 Estreito

Os CDUs devem ser relacionados aos seus respectivos pólos no código de dados do conversor (DCNV) como ilustrado na Figura 3.7.

```

DCNV
( *****
( CONVERSORES DO ELO CC DE BELO MONTE - BIPOLLO 1
( *****
(
(Nc) (Gkb)(Amn)(Amx)(Gmn)( Mc )u( S1 )u( S2 )u( S3 )u( S4 )u(tap )u
3201 97761u 9110u
3202 97762u 9120u
(Nc) (Gkb)(Amn)(Amx)(Gmn)( Mc )u( S1 )u( S2 )u( S3 )u( S4 )u(tap )u
3203 97763u 9130u
3204 97764u 9140u
(
999999

```

Figura 3.7 – Código DCMV – Tap-Changer Control

O TCC possui as seguintes funções:

- Operação como retificador ou inversor no mesmo CDU
- Seleção modo Auto ou Manual (tape fixo) (DEFPAR #AUTO)
- Tap-changer em “Angle-Control”:
 - ✓ Alfa no retificador → $12.7^{\circ} \leq \alpha \leq 17.3^{\circ}$
 - ✓ Gama no inversor → $18^{\circ} \leq \gamma \leq 21^{\circ}$
- Variações discretas de tape (tap step=1.25%) e dentro dos limites físicos (entre 93.75% e 125%, i.e. posições -5 a +20)
- Temporização de 5 segundos para cada mudança de tape
- Inibição da ação do tap-changer control durante eventos transitórios, como faltas AC e DC

A Figura 3.8 apresenta os parâmetros de configuração do Tap-Changer Control

```
(-----
(EFPAR (npar) ( valpar )
DEFPAR #AUTO 1 # AUTO=1 / MANUAL=0
DEFPAR #TCANG 0.1 # CONSTANTE DE TEMPO MEDIÇÃO ANGULO (SEGUNDOS)
DEFPAR #DELAY 5. # TAP DELAY (SEGUNDOS)
DEFPAR #AMIN 12.7 # ALFA MINIMO (GRAUS)
DEFPAR #AMAX 17.3 # ALFA MAXIMO (GRAUS)
DEFPAR #GMIN 18.0 # GAMA MINIMO (GRAUS)
DEFPAR #GMAX 21.0 # GAMA MAXIMO (GRAUS)
DEFPAR #TSTEP 0.0125 # TAP STEP (PU)
DEFPAR #TPMIN 0.9375 # TAP RATIO MIN
DEFPAR #TPMAX 1.25 # TAP RATIO MAX
```

Figura 3.8 – Parâmetros do Tap-Changer Control

3.6.3 CDU 9210/9220 (“AC Filter Control”)

O AC Filter Control (ACFC) é formado por um CDU para cada estação conversora formando um total de 2 CDUs:

- 9210 → ACFC Xingu
- 9220 → ACFC Estreito

Estes CDUs devem ser declarados durante o código de controladores não-específicos (DCNE) como ilustrado na Figura 3.9.

```
(=====
( CONTROLADORES NAO ESPECÍFICOS
(=====
DCNE
( Bipolo Xingu -> Estreito (BMTE - Siemens)
(Nc) ( Mc )u
9991 95000u Station Control
9010 97010U DC Line Fault Protection P1
9020 97020U DC Line Fault Protection P2
9210 9210U AC Filter Control Xingu
9220 9220U AC Filter Control Estreito
9992 96000u SEP
999999
```

Figura 3.9 – Código DCNE – AC Filter Control

Visão geral:

- Filtros representados por bancos shunt individualizados conforme representado no programa ANAREDE:
 - ✓ Xingu → 3xA (220 Mvar) + 3xB (180 Mvar) + 2xC (200 Mvar)
 - ✓ Estreito → 3xA (220 Mvar) + 3xB (180 Mvar) + 6xC (275 Mvar)
- Operação como retificador ou inversor
- Seleção modo Auto ou Manual (DEFPAR #AUTO):
 - ✓ AUTO → todas as funções de controle operam automaticamente e de forma coordenada
 - ✓ MANUAL → cada sub-banco deve ser chaveado manualmente pelo usuário através do comando DEVT (não corresponde ao modo MANUAL do controle real)
- Operação na configuração bipolar ou monopolar
- É assumido que todos os filtros estão disponíveis.
- Sequência de conexão:
 - ✓ Xingu → A-B-A-B-A-B-C-C
 - ✓ Estreito → A-B-A-B-A-B-C-C-C-C-C-C
- Sequência de desconexão:
 - ✓ Xingu → C-C-B-A-B-A-B-A
 - ✓ Estreito → C-C-C-C-C-C-B-A-B-A-B-A
- Se um filtro não estiver disponível, só é possível inicializar o modelo em MANUAL (“AUTO=0”) e os filtros devem ser chaveados individualmente via DEVT.
- **Se uma configuração diferente for usada em AUTO, acontecerá um erro de inicialização e o modelo não será executado.**

Tabela 3.2 – Configuração obrigatória de filtros em Xingú

Número de filtros			
Total	Banco A	Banco B	Banco C
2	1	1	
3	2	1	
4	2	2	
5	3	2	
6	3	3	
7	3	3	1
8	3	3	2

Tabela 3.3 – Configuração obrigatória de filtros em Estreito

Número de filtros			
Total	Banco A	Banco B	Banco C
2	1	1	
3	2	1	
4	2	2	
5	3	2	
6	3	3	
7	3	3	1
8	3	3	2
9	3	3	3
10	3	3	4
11	3	3	5
12	3	3	6

Para o chaveamento manual dos filtros é necessário efetuar eventos do tipo TCDU durante a simulação nos blocos relacionados na Figura 3.10.

```
( SINAIS DE INTERESSE CDU 9210 (XINGU):
(
( BLOCO 10 - F01_M - ENTRAD PARA MANOBRA DO SUB-BANCO 1 (TIPO A) EM MODO MANUAL
( BLOCO 11 - F02_M - ENTRAD PARA MANOBRA DO SUB-BANCO 2 (TIPO B) EM MODO MANUAL
( BLOCO 12 - F03_M - ENTRAD PARA MANOBRA DO SUB-BANCO 3 (TIPO A) EM MODO MANUAL
( BLOCO 13 - F04_M - ENTRAD PARA MANOBRA DO SUB-BANCO 4 (TIPO B) EM MODO MANUAL
( BLOCO 14 - F05_M - ENTRAD PARA MANOBRA DO SUB-BANCO 5 (TIPO A) EM MODO MANUAL
( BLOCO 15 - F06_M - ENTRAD PARA MANOBRA DO SUB-BANCO 6 (TIPO B) EM MODO MANUAL
( BLOCO 16 - F07_M - ENTRAD PARA MANOBRA DO SUB-BANCO 7 (TIPO C) EM MODO MANUAL
( BLOCO 17 - F08_M - ENTRAD PARA MANOBRA DO SUB-BANCO 8 (TIPO C) EM MODO MANUAL
(
( SINAIS DE INTERESSE CDU 9220 (ESTREITO):
(
( BLOCO 10 - F01_M - ENTRAD PARA MANOBRA DO SUB-BANCO 1 (TIPO A) EM MODO MANUAL
( BLOCO 11 - F02_M - ENTRAD PARA MANOBRA DO SUB-BANCO 2 (TIPO B) EM MODO MANUAL
( BLOCO 12 - F03_M - ENTRAD PARA MANOBRA DO SUB-BANCO 3 (TIPO A) EM MODO MANUAL
( BLOCO 13 - F04_M - ENTRAD PARA MANOBRA DO SUB-BANCO 4 (TIPO B) EM MODO MANUAL
( BLOCO 14 - F05_M - ENTRAD PARA MANOBRA DO SUB-BANCO 5 (TIPO A) EM MODO MANUAL
( BLOCO 15 - F06_M - ENTRAD PARA MANOBRA DO SUB-BANCO 6 (TIPO B) EM MODO MANUAL
( BLOCO 16 - F07_M - ENTRAD PARA MANOBRA DO SUB-BANCO 7 (TIPO C) EM MODO MANUAL
( BLOCO 17 - F08_M - ENTRAD PARA MANOBRA DO SUB-BANCO 8 (TIPO C) EM MODO MANUAL
( BLOCO 1017 - F09_M - ENTRAD PARA MANOBRA DO SUB-BANCO 9 (TIPO C) EM MODO MANUAL
( BLOCO 2017 - F10_M - ENTRAD PARA MANOBRA DO SUB-BANCO 10 (TIPO C) EM MODO MANUAL
( BLOCO 3017 - F11_M - ENTRAD PARA MANOBRA DO SUB-BANCO 11 (TIPO C) EM MODO MANUAL
( BLOCO 4017 - F12_M - ENTRAD PARA MANOBRA DO SUB-BANCO 12 (TIPO C) EM MODO MANUAL
```

Figura 3.10 – Blocos para chaveamento manual de filtros – AC Filter Control

Funções:

- Q-Control → chaveamento por intercâmbio de potência reativa
- U-Control → chaveamento por tensão AC
- Voltage Limitation Control (VLC) → chaveamento por violação de limite de tensão (subtensão e sobretensão)
- Harmonic Performance Control (HPC) → chaveamento por desempenho harmônico
- Em Q-Control, o usuário fornece QREF, conforme disponibilizado na IHM. O modelo calcula automaticamente QMIN e QMAX.
- Em U-Control, o usuário fornece UREF e BANDWIDTH.
- Coordenação entre as funções de acordo com hierarquia de prioridades.
- Filtros podem ser desconectados pelo "AC Filter Control" até o mínimo operacional, i.e. 2 filtros.
- A única exceção é em caso de bloqueio do bipolo estando o ACFC em modo Q-Control. Neste caso, o modelo desliga todos os filtros sucessivamente em intervalos de 200ms (se houver sobretensão, o VLC pode retirar filtros com tempo inferior).
- O limite de corrente DC por rating não está representado no modelo
- Atrasos para chaveamento dos filtros e intervalos entre chaveamentos consecutivos são definidos para cada função através de parâmetros (DEFPAR).
- Os níveis para chaveamento ("connect level" e "isolate levels") e inibição de chaveamentos ("inhibit connect" e "inhibit isolate") do VLC também podem ser alterados pelo usuário através do campo DEFPAR.
- Chaveamentos pelo Q-Control são inibidos por 15 segundos após a detecção de falta AC
- Os pontos de chaveamento pela função HPC também podem ser alterados pelo usuário via DEFPAR. Diferentes parâmetros são fornecidos para operação monopolar e bipolar. O modelo detecta automaticamente a configuração (bipolar/monopolar) e utiliza o conjunto correto de parâmetros.
- Representação de atraso adicional de 120ms quando há um comando de chaveamento de filtros devido a tempos de comunicação, processamento para cálculo do POW e operação do disjuntor


```
(ncdu) ( nome cdu )
9210 BM-ACFC-X
(-----)
(EFPAR (npar) ( valpar )
DEFPAR #AUTO 1 # AUTO=1 / MANUAL=0
DEFPAR #Q/U 0 # 0-> UAC-CONTROL / 1-> Q-CONTROL
(
(EFPAR (npar) ( valpar )
DEFPAR #MXFLT 8 # NUMERO MAXIMO DE FILTROS
DEFPAR #MNFLT 2 # NUMERO MINIMO DE FILTROS
(
(EFPAR (npar) ( valpar )
DEFPAR #CNV-1 9981 # CONVERSOR XINGU POLO 1
DEFPAR #CNV-2 9983 # CONVERSOR XINGU POLO 2
DEFPAR #ACBUS 9971 # BARRA AC XINGU
DEFPAR #FA 9901 # FILTRO XINGU TIPO A (TT 3/11/50) - 220 MVAR
DEFPAR #FB 9902 # FILTRO XINGU TIPO B (TT 13/24/36) - 180 MVAR
DEFPAR #FC 9903 # FILTRO XINGU TIPO C (ST 58) - 200 MVAR
```

Figura 3.11 – Parâmetros do ACFC (Xingú)

```
(ncdu) ( nome cdu )
9220 BM-ACFC-E
(-----)
(EFPAR (npar) ( valpar )
DEFPAR #AUTO 1 # AUTO=1 / MANUAL=0
DEFPAR #Q/U 0 # 0-> UAC-CONTROL / 1-> Q-CONTROL
(
(EFPAR (npar) ( valpar )
DEFPAR #MXFLT 12 # NUMERO MAXIMO DE FILTROS
DEFPAR #MNFLT 2 # NUMERO MINIMO DE FILTROS
(
(EFPAR (npar) ( valpar )
DEFPAR #CNV-1 9982 # CONVERSOR ESTREITO POLO 1
DEFPAR #CNV-2 9984 # CONVERSOR ESTREITO POLO 2
DEFPAR #ACBUS 9970 # BARRA AC ESTREITO
DEFPAR #FA 9801 # FILTRO ESTREITO TIPO A (TT 3/11/50) - 220 MVAR
DEFPAR #FB 9802 # FILTRO ESTREITO TIPO B (TT 13/24/36) - 180 MVAR
DEFPAR #FC 9803 # FILTRO ESTREITO TIPO C (ST 58) - 275 MVAR
```

Figura 3.12 – Parâmetros do ACFC (Estreito)

```
(Q-CONTROL
DEFPAR #QREF 200 # REFERÊNCIA DE POTÊNCIA REATIVA EM Q-CONTROL, EM MVAR
(
# RETIFICADOR: -424 <= QREF <= 390 (DEFAULT: 390 MVAR)
# INVERSOR: -79 <= QREF <= 390 (DEFAULT: 390 MVAR)
DEFPAR #QMARG 50 # MARGEM DE POTÊNCIA REATIVA, EM MVAR
DEFPAR #QNEXT 220 # POTÊNCIA REATIVA DO MAIOR SUB-BANCO, EM MVAR
DEFPAR #TDQ 3.0 # TEMPO DE ATRASO Q-CONTROL, EM SEGUNDOS
DEFPAR #TSWQ 3.0 # INTERVALO ENTRE CHAVEAMENTOS CONSECUTIVOS PELO Q-CONTROL
DEFPAR #TSBLK 0.20 # INTERVALO ENTRE CHAVEAMENTOS CONSECUTIVOS APÓS BLOQUEIO
```

Figura 3.13 – Parâmetros do ACFC – Q Control (Xingú)

```
(Q-CONTROL
DEFPAR #QREF          350      # REFERÊNCIA DE POTÊNCIA REATIVA EM Q-CONTROL, EM MVAR
(
DEFPAR #QMARG          40      # MARGEM DE POTÊNCIA REATIVA, EM MVAR
DEFPAR #QNEXT          275     # POTÊNCIA REATIVA DO MAIOR SUB-BANCO, EM MVAR
DEFPAR #TDQ            3.0     # TEMPO DE ATRASO Q-CONTROL, EM SEGUNDOS
DEFPAR #TSQW           3.0     # INTERVALO ENTRE CHAVEAMENTOS CONSECUTIVOS PELO Q-CONTROL
DEFPAR #TSBLK          0.20    # INTERVALO ENTRE CHAVEAMENTOS CONSECUTIVOS APÓS BLOQUEIO
```

Figura 3.14 – Parâmetros do ACFC – Q Control (Estreito)

```
(U-CONTROL
(EFPAR (nome) ( valor )
DEFPAR #UREF          525.     # REFERÊNCIA DE TENSÃO AC EM UAC-CONTROL, EM KV
DEFPAR #UBAND          50.     # BANDWIDTH DO UAC-CONTROL, EM KV
DEFPAR #TAXAU          0.16667 # TAXA PARA RAMP A DA REFERÊNCIA DE TENSÃO AC EM UAC-CONTROL, EM KV/SEG
DEFPAR #TDUAC          5.0     # TEMPO DE ATRASO UAC-CONTROL, EM SEGUNDOS
DEFPAR #TSWU           5.0     # INTERVALO ENTRE CHAVEAMENTOS CONSECUTIVOS PELO UAC-CONTROL
```

Figura 3.15 – Parâmetros do ACFC – U Control (Xingú)

```
(U-CONTROL
(EFPAR (nome) ( valor )
DEFPAR #UREF          525.     # REFERÊNCIA DE TENSÃO AC EM UAC-CONTROL, EM KV
DEFPAR #UBAND          50.     # BANDWIDTH DO UAC-CONTROL, EM KV
DEFPAR #TAXAU          0.16667 # TAXA PARA RAMP A DA REFERÊNCIA DE TENSÃO AC EM UAC-CONTROL, EM KV/SEG
DEFPAR #TDUAC          5.0     # TEMPO DE ATRASO UAC-CONTROL, EM SEGUNDOS
DEFPAR #TSWU           5.0     # INTERVALO ENTRE CHAVEAMENTOS CONSECUTIVOS PELO UAC-CONTROL
```

Figura 3.16 – Parâmetros do ACFC – U Control (Estreito)

```
(VOLTAGE LIMITATION CONTROL (VLC)
(EFPAR (nome) ( valor )
DEFPAR #TFV           0.02     # CONSTANTE DE TEMPO DE MEDIÇÃO DA TENSÃO AC PARA VLC, EM SEGUNDOS
(
(EFPAR (nome) ( valor )
DEFPAR #CONL          0.93     # CONNECT LEVEL VLC, EM PU
DEFPAR #ISOIL          0.97     # ISOLATE INHIBIT LEVEL VLC, EM PU
DEFPAR #CONIL          1.088    # CONNECT INHIBIT LEVEL VLC, EM PU
DEFPAR #ISOL1          1.12     # ISOLATE LEVEL 1 VLC, EM PU
DEFPAR #ISOL2          1.20     # ISOLATE LEVEL 2 VLC, EM PU
DEFPAR #ISOL3          1.27     # ISOLATE LEVEL 3 VLC, EM PU
(
(EFPAR (nome) ( valor )
DEFPAR #TCONV          5.0     # TEMPO DE ATRASO CONNECT VLC, EM SEGUNDOS
DEFPAR #TISO1          1.0     # TEMPO DE ATRASO ISOLATE LEVEL 1 VLC, EM SEGUNDOS
DEFPAR #TISO2          0.285    # TEMPO DE ATRASO ISOLATE LEVEL 2 VLC, EM SEGUNDOS
DEFPAR #TISO3          0.185    # TEMPO DE ATRASO ISOLATE LEVEL 3 VLC, EM SEGUNDOS
(
(EFPAR (nome) ( valor )
DEFPAR #TSWVC          5.0     # INTERVALO ENTRE CHAVEAMENTOS CONSECUTIVOS PELO VLC - CONNECT
DEFPAR #TSWV1          0.5     # INTERVALO ENTRE CHAVEAMENTOS CONSECUTIVOS PELO VLC - ISOLATE 1
DEFPAR #TSWV2          0.15    # INTERVALO ENTRE CHAVEAMENTOS CONSECUTIVOS PELO VLC - ISOLATE 2
DEFPAR #TSWV3          0.15    # INTERVALO ENTRE CHAVEAMENTOS CONSECUTIVOS PELO VLC - ISOLATE 3
```

Figura 3.17 – ACFC – Voltage Limitation Control (Xingú)

```
(VOLTAGE LIMITATION CONTROL (VLC)
(EFPAR (nome) ( valor )
DEFPAR #TFV 0.02 # CONSTANTE DE TEMPO DE MEDIÇÃO DA TENSÃO AC PARA VLC, EM SEGUNDOS
(
(EFPAR (nome) ( valor )
DEFPAR #CONL 0.93 # CONNECT LEVEL VLC, EM PU
DEFPAR #ISOIL 0.962 # ISOLATE INHIBIT LEVEL VLC, EM PU
DEFPAR #CONIL 1.080 # CONNECT INHIBIT LEVEL VLC, EM PU
DEFPAR #ISOL1 1.12 # ISOLATE LEVEL 1 VLC, EM PU
DEFPAR #ISOL2 1.20 # ISOLATE LEVEL 2 VLC, EM PU
DEFPAR #ISOL3 1.27 # ISOLATE LEVEL 3 VLC, EM PU
(
(EFPAR (nome) ( valor )
DEFPAR #TCONV 5.0 # TEMPO DE ATRASO CONNECT VLC, EM SEGUNDOS
DEFPAR #TISO1 1.0 # TEMPO DE ATRASO ISOLATE LEVEL 1 VLC, EM SEGUNDOS
DEFPAR #TISO2 0.285 # TEMPO DE ATRASO ISOLATE LEVEL 2 VLC, EM SEGUNDOS
DEFPAR #TISO3 0.185 # TEMPO DE ATRASO ISOLATE LEVEL 3 VLC, EM SEGUNDOS
(
(EFPAR (nome) ( valor )
DEFPAR #TSWVC 5.0 # INTERVALO ENTRE CHAVEAMENTOS CONSECUTIVOS PELO VLC - CONNECT
DEFPAR #TSWV1 0.5 # INTERVALO ENTRE CHAVEAMENTOS CONSECUTIVOS PELO VLC - ISOLATE 1
DEFPAR #TSWV2 0.15 # INTERVALO ENTRE CHAVEAMENTOS CONSECUTIVOS PELO VLC - ISOLATE 2
DEFPAR #TSWV3 0.15 # INTERVALO ENTRE CHAVEAMENTOS CONSECUTIVOS PELO VLC - ISOLATE 3
```

Figura 3.18 – Parâmetros do ACFC – Voltage Limitation Control (Estreito)

```
(HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC)
DEFPAR #TDHPC 1.5 # TEMPO DE ATRASO HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC), EM SEGUNDOS
DEFPAR #TSHPC 1.5 # INTERVALO ENTRE CHAVEAMENTOS CONSECUTIVOS PELO HPC
(
(DEFVA (stip) (vdef) ( d1 )
DEFVAL HPCL1B 0.30 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 2 FILTROS BIPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL2B 0.37 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 3 FILTROS BIPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL3B 0.72 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 4 FILTROS BIPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL4B 0.84 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 5 FILTROS BIPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL5B 0.95 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 6 FILTROS BIPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL6B 1.00 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 7 FILTROS BIPOLAR, EM PU
(
DEFVAL HPCL1M 0.55 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 2 FILTROS MONOPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL2M 0.70 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 3 FILTROS MONOPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL3M 0.85 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 4 FILTROS MONOPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL4M 1.13 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 5 FILTROS MONOPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL5M 1.33 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 6 FILTROS MONOPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL6M 1.33 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 7 FILTROS MONOPOLAR, EM PU
```

Figura 3.19 – Parâmetros do AC Filter Control – Harmonic Performance Control (Xingú)

```
(HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC)
DEFPAR #TDHPC 1.5 # TEMPO DE ATRASO HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC), EM SEGUNDOS
DEFPAR #TSHPC 1.5 # INTERVALO ENTRE CHAVEAMENTOS CONSECUTIVOS PELO HPC
(
(DEFVA (stip) (vdef) ( d1 )
DEFVAL HPCL1B 0.30 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 2 FILTROS BIPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL2B 0.35 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 3 FILTROS BIPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL3B 0.87 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 4 FILTROS BIPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL4B 0.95 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 5 FILTROS BIPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL5B 1.05 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 6 FILTROS BIPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL6B 1.10 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 7 FILTROS BIPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL7B 1.25 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 8 FILTROS BIPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL8B 1.33 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 9 FILTROS BIPOLAR, EM PU
(
DEFVAL HPCL1M 0.63 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 2 FILTROS MONOPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL2M 1.15 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 3 FILTROS MONOPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL3M 1.33 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 4 FILTROS MONOPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL4M 1.13 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 5 FILTROS MONOPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL5M 1.33 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 6 FILTROS MONOPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL6M 1.33 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 7 FILTROS MONOPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL7M 1.33 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 8 FILTROS MONOPOLAR, EM PU
DEFVAL HPCL8M 1.33 # HARMONIC PERFORMANCE CONTROL (HPC) -> NÍVEL MÁXIMO IDC COM 9 FILTROS MONOPOLAR, EM PU
```

Figura 3.20 – Parâmetros do ACFC – Harmonic Performance Control (Estreito)

3.6.4 CDU 97010 / 97020 (“DC Line Fault Protection and Restart Sequence”)

O CDU de proteção contra falta CC é formado por 2 CDUs:

- 97010 → DCLFRS - Polo 1
- 97020 → DCLFRS – Polo 2

Estes, devem ser adicionados ao caso através do código DCNE como mostrado na Figura 3.21

```

(=====
( CONTROLADORES NAO ESPECÍFICOS
(=====
DCNE
( Bipolo Xingu -> Estreito (BMTE - Siemens)
(Nc) ( Mc )u
9991 95000u Station Control
9010 97010u DC Line Fault Protection P1
9020 97020u DC Line Fault Protection P2
9210 9210u AC Filter Control Xingu
9220 9220u AC Filter Control Estreito
9992 96000u SEP
999999

```

Figura 3.21 – Código DCNE - DC Line Fault Protection

Funções:

- Detecção automática de falta na linha DC com base em dv/dt e di/dt (ação da proteção DC) → ajustado para não atuar durante faltas AC e falhas de comutação.
- Detecção de faltas permanentes - bolted faults (ação do controle DC).
- Detecção manual de faltas na linha DC (apenas para testes).
- Force Retard e sequência de religamento (default: 4 tentativas).
- Usuário pode ajustar o número máximo de tentativas (0 a 4).
- Tempo de deionização parametrizável para cada tentativa de religamento (default: 150ms, 200ms, 250ms, 250ms).
- Tensão de referência parametrizável para cada tentativa de religamento (default: 1pu, 1pu, 1pu e 0.7pu).
- Reset do ciclo de restart se o intervalo entre faltas sucessivas for superior a 6 segundos.
- Bloqueio automático do polo se a última tentativa de religamento for mal sucedida.
- Interrupção da sequência de religamento e bloqueio dos dois polos se ambos os polos detectarem falta na linha DC simultaneamente.

3.6.5 CDU 97761 / 97762 / 97763 / 97764 (“Pole Control”)

O controle de polo, ou Pole Control, é formado por 4 CDUs:

- 97761 → Pole Control - Polo 1 Xingu
- 97762 → Pole Control - Polo 1 Estreito
- 97763 → Pole Control - Polo 2 Xingu
- 97764 → Pole Control - Polo 2 Estreito

E possui as seguintes funções:

- Current Order Calculation (COC) – Função P/U
- Pole Current Limitation (PCL)
- Current Margin Compensation (CMC)
- Pole Current Order Coordination (PCOC)
- Current Margin Switching (CMS)
- VDCL e Transient Fault Recovery Controls
- DC Current Controller
- DC Voltage Controller
- Gamma Controller
- Current Error Characteristic (CEC)
- Error Selection e PI-Controller
- Firing Angle Limitation
- Current Error Modulation
- Force Retard
- AC Undervoltage Detection
- Commutation Failure Mitigation

É possível, na simulação, a identificação da malha de controle ativa nos terminais em determinado momento através de duas variáveis:

- Retificador (bloco 2748 – variável “LICR”)
 - ✓ LICR = 2 → Id-Control
 - ✓ LICR = 4 → Ud-Control (rectifier)
- Inversor (bloco 4748 – variável “LICI”)
 - ✓ LICI = 1 → γ -Control
 - ✓ LICI = 2 → Id-Control
 - ✓ LICI = 3 → Ud-Control (inverter)

3.6.6 CDU 96000 (“Sistema Especial de Proteção - SEP”)

Neste CDU é feita a representação funcional de todas as lógicas propostas pelo ONS (Tabela 3.4) e comanda as seguintes ações automaticamente:

- Runup/Runback
- Bloqueio do bipolo
- Trip de unidades geradoras em Belo Monte
- Trip de unidades geradoras em Tucuruí

Os sinais necessários para o funcionamento do CDU do SEP são:

- Status das linhas Xingu – Tucuruí C1 e C2
- Sentido de transmissão de potência nas linhas Xingu – Tucuruí
- Fluxo de potência nas linhas Xingu – Tucuruí C1 e C2
- Status do bipolo Xingu – Estreito
- Sentido de transmissão de potência no bipolo
- Potência transmitida pelo bipolo
- Fluxo na interligação Norte-Sul
- Potência na usina de Belo Monte

Tabela 3.4 – Lógicas do SEP

Lógica	Disparo da lógica	Condição	Ações via CDU
1A1	Perda simples Xingu-Tucuruí	Xingu → Estreito Xingu → Tucuruí	Runup Trip UG Belo Monte (overtrip)
1A2	Perda simples Xingu-Tucuruí	Xingu → Estreito Tucuruí → Xingu	Runback
1B1	Perda simples Xingu-Tucuruí	Estreito → Xingu	Runback
2A1	Perda dupla Xingu-Tucuruí	Xingu → Estreito Xingu → Tucuruí	Runup Trip UG Belo Monte (undertrip)
2A2	Perda dupla Xingu-Tucuruí	Xingu → Estreito Tucuruí → Xingu	Runback Block bipole Trip UG Tucuruí
2B1	Perda dupla Xingu-Tucuruí	Estreito → Xingu	Runback Block bipole
3	Bloqueio de bipolo ou do último polo	Xingu → Estreito LT XIN-TUC em operação Nível de FNS	Trip UG Belo Monte Trip UG Tucuruí
4	Recepção de sinal externo (tipo 1, 2 ou 3)	LT XIN-TUC em operação Xingu → Estreito (só para trip de UG)	Runup Trip UG Belo Monte (overtrip)

Lógica	Disparo da lógica	Condição	Ações via CDU
5	Trip de UG em Belo Monte	Xingu → Estreito LT XIN-TUC fora de operação (por $T > 10s$)	Runback

Visão geral:

- Inclusão de chave que permite habilitar ou desabilitar o SEP (DEFPAR #ON)
- Inclusão de chave que permite habilitar ou desabilitar especificamente a lógica 5 (DEFPAR #L5_ON)
- Tempo de atuação do SEP é definido pelo usuário via DEFPAR (#TSEP). O mesmo tempo de atuação é usado para todas as lógicas (default: 150ms).
- Utilização de valores pré-falta para grandezas AC e DC.
- Lógica de congelamento das medidas pré-falta por 5 segundos para coordenação das lógicas 1 e 2.
- Coordenação das lógicas 1 e 2 → se a perda da segunda linha ocorrer dentro da janela de congelamento da medição pré-falta da primeira contingência (5 segundos), as ações da lógica 2 são determinadas com base nos valores pré-falta antes da atuação da lógica 1, mas levando em consideração as ações já realizadas pela lógica 1
- Runups são executados com taxa definida pelo usuário via DEFPAR (#TAXA). A mesma taxa é usada para todas as lógicas (default: 14000 MW/s).
- Max power capability (Pmax) é definido pelo usuário via DEFPAR (default: #MXPXE = 1.33 pu e #MXPEX = 1.087275 pu).
- Incluído um parâmetro que permite definir um limite máximo de Runup para as lógicas 1A1 e 2A1 (DEFPAR #MXRUP).
- O valor em MW de Pmin (0.1 pu) e de Pmax são corrigidos automaticamente em função da configuração (bipolar ou monopolar) e do sentido de transmissão ($X \rightarrow E$ ou $E \rightarrow X$).
- O fluxo FNS, utilizado pela lógica 3, é medido automaticamente pelo modelo (conforme definido no arquivo "FLUXBR 1017.dat").
- As ações de "over trip" e "under trip" são representadas na CDU, dependendo da lógica atuada.
- Nas lógicas 2A2 e 2B1, se o nível de Runback levar a uma potência inferior a Pmin, um comando para bloqueio do bipolo será originado e as ações consequentes do bloqueio serão automaticamente realizadas (e.g. desligamento de filtros AC em Q-control).
- Nas lógicas 4 e 5, o atraso de 10 segundos para detecção da condição de perda dupla foi considerado no modelo. Se as linhas já estiverem desconectadas no caso de fluxo de potência, o modelo já importa o status como "OPEN", mas se elas forem desligadas durante a simulação, este atraso de 10 segundos é considerado.

- A desconexão de unidades geradoras em Belo Monte (barra 6729) é feita na ordem: Grupo 10 → Grupo 20 → Grupo 30.
- A desconexão de unidades geradoras em Tucuruí (Fase 1) é feita na ordem: Barra 6419 → Barra 6420 → Barra 6422. Não é feito corte nas máquinas localizadas nas demais barras.
- **A versão atual do ANATEM não permite que a impedância do transformador elevador da usina seja feita automaticamente via CDU em função do número de máquinas conectadas. O código já está pronto, mas encontra-se comentado no modelo até que o CEPEL implemente a funcionalidade.**
- **IMPORTANTE:** como o número de unidades geradoras em Belo Monte e Tucuruí (Fase 1) passa a ser definido pelo modelo através do bloco “EXPORT STGER”, **não é mais possível realizar trip de unidades geradoras via código RMGR.**
- O trip de geradores de Belo Monte e Tucuruí (Fase 1) deve ser feito por meio da variável TRIPUG (bloco 3500 da CDU 92000), via código TCDU.
- Por exemplo, para comandar o trip de 2 UG em Belo Monte:

```
(TRIP DE 2 UG EM BELO MONTE
(Tp) ( Tempo)( El )( Pa)Nc( Ex) ( % ) (ABS ) Gr Und      (Bl)P ( Rc ) ( Xc ) ( Bc ) (Defas)
TCDU 0.1      92000                2                3500
```

Figura 3.22 – DEVT – Desligamento de duas unidades geradoras em Belo Monte

- A lógica 4 é ativada através de blocos ENTRAD via comando TCDU:
 - ✓ Tipo 1 → Bloco 4000 (variável “RUPEX1”)
 - ✓ Tipo 2 → Bloco 4010 (variável “RUPEX2”)
 - ✓ Tipo 3 → Bloco 4020 (variável “RUPEX3”)
- Não há representação das ações e medições realizadas externamente ao SEP da BMTE (e.g. cálculos no CLP de Serra da Mesa, trip de UG em Tucuruí pelo SEP da N-S, etc.).

4 Exemplos de Simulação

Os exemplos a seguir têm como objetivo ilustrar como eventos típicos podem ser simulados usando o modelo desenvolvido, bem como mostrar as ações automáticas executadas pelos controles representados no modelo em diferentes condições de operação.

4.1 Rampa na referência de potência

Através de um comando TCDU no código DEVT, é possível comandar uma rampa de potência positiva ou negativa com uma taxa em MW/s previamente estabelecida no parâmetro #RAMPA do CDU Station Control (Figura 4.1)

```
(ncdu) ( nome cdu )
95000 BMTE-STATION
-----
(EFPAR (npar) (      valpar      )
DEFPAR #STAB      1.0      # HABILITA FUNÇÕES DE ESTABILIDADE (1->LIGADO / 0->DESLIGADO)
DEFPAR #FCON      1.0      # HABILITA CONTROLES DE FREQUÊNCIA (1->LIGADO / 0->DESLIGADO)
DEFPAR #LFCON      0.0      # LOCAL FREQUENCY CONTROL (SELEÇÃO OPERADOR): 0->SISTÊMICO / 1->LOCAL
DEFPAR #LFCLC      1.0      # LOCAL FREQUENCY CONTROL (TERMINAL): 0->ESTREITO / 1->XINGU
(
DEFPAR #RAMPA      10.      # TAXA PARA RAMPA DE POTÊNCIA NORMAL (BIPOLAR), EM MW/S
DEFPAR #TAXA      14000.    # TAXA PARA RUN-BACK OU RUN-UP MANUAL, EM MW/S
(
DEFPAR #PNOM      2000.    # POTÊNCIA NOMINAL (POLO), EM MW
(
DEFPAR #PMAX      5320.    # POTÊNCIA MÁXIMA (BIPOLAR), INCLUINDO SOBRECARGA "LONGA DURAÇÃO", EM MW
(EFPAR (npar) (      valpar      )
DEFPAR #CNVX1      9981    # CONVERSOR XINGU POLO 1
DEFPAR #CNVE1      9982    # CONVERSOR ESTREITO POLO 1
DEFPAR #CNVX2      9983    # CONVERSOR XINGU POLO 2
DEFPAR #CNVE2      9984    # CONVERSOR ESTREITO POLO 2
DEFPAR #BAR-X      9971    # BARRA AC XINGU
DEFPAR #BAR-E      9970    # BARRA AC ESTREITO
DEFPAR #LTXT1      9951    # LT XINGU-TUCURUI C1
DEFPAR #LTXT2      9952    # LT XINGU-TUCURUI C2
(
DEFPAR #RUNUP      9542    # LOCAL REMOTO RUNUP EXTERNO SEP
(
(EFPAR (npar) (      valpar      )
DEFPAR #TELCM      0.03    # TEMPO DE TELECOM ENTRE ESTAÇÕES, EM SEGUNDOS
(
(EFPAR (npar) (      valpar      )
DEFPAR #TF          0.05    # CONSTANTE DE TEMPO DE MEDIÇÃO DA FREQUÊNCIA, EM SEGUNDOS
```

Figura 4.1 – Parâmetro para rampa de potência

A Figura 4.2 exemplifica o código a ser adicionado no DEVT para a execução de uma rampa negativa de 500MW a uma taxa de 10MW/s e a Figura 4.3 mostra o resultado desta simulação.

```
( RAMPA DE -500 MW NA REFERÊNCIA DE POTÊNCIA DO BIPOLO 1
(Tp) ( Tempo) ( El ) ( Pa)Nc( Ex ) ( % ) (ABS ) Gr Und (Bl)P ( Rc ) ( Xc ) ( Bc ) (Defas)
TCDU 2.00 95000 -500 400
```

Figura 4.2 – DEVT – Rampa de -500MW

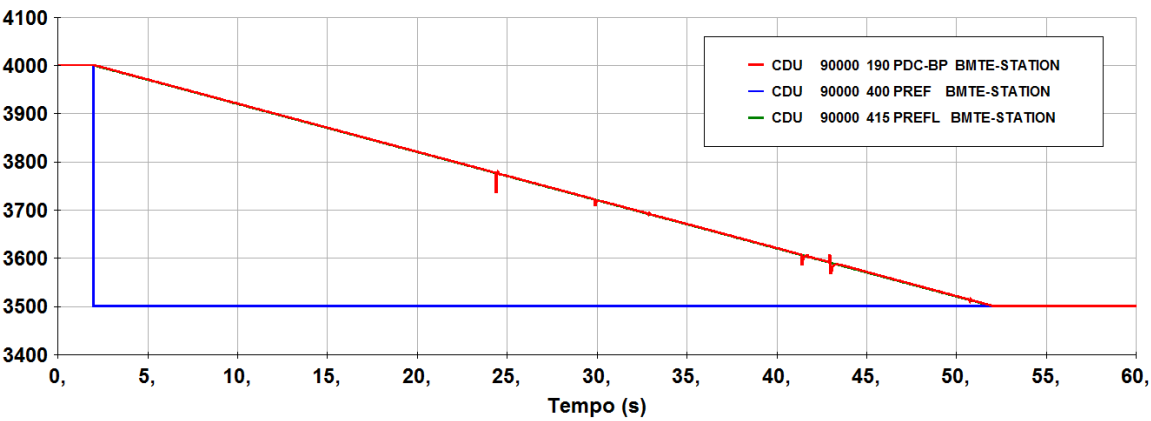


Figura 4.3 – Rampa de -500MW a taxa de 10MW/s

Restricted © Siemens AG, 2017. All Rights reserved.

4.2 Runup/Runback manual

```
(ncdu) ( nome cdu )
95000 BMTE-STATION
(
(EFFPAR (npar) ( valpar )
DEFFPAR #STAB 1.0 # HABILITA FUNÇÕES DE ESTABILIDADE (1->LIGADO / 0->DESLIGADO)
DEFFPAR #FCON 1.0 # HABILITA CONTROLES DE FREQUÊNCIA (1->LIGADO / 0->DESLIGADO)
DEFFPAR #LFCON 0.0 # LOCAL FREQUENCY CONTROL (SELEÇÃO OPERADOR): 0->SISTÊMICO / 1->LOCAL
DEFFPAR #LFCLC 1.0 # LOCAL FREQUENCY CONTROL (TERMINAL): 0->ESTREITO / 1->XINGU
(
DEFFPAR #RAMPA 10. # TAXA PARA RAMPA DE POTÊNCIA NORMAL (BIPOLAR), EM MW/S
DEFFPAR #TAXA 14000. # TAXA PARA RUN-BACK OU RUN-UP MANUAL, EM MW/S
(
DEFFPAR #PNOM 2000. # POTÊNCIA NOMINAL (POLO), EM MW
(
DEFFPAR #PMA 5320. # POTÊNCIA MÁXIMA (BIPOLAR), INCLUINDO SOBRECARGA "LONGA DURAÇÃO", EM MW
(
(EFFPAR (npar) ( valpar )
DEFFPAR #CNVX1 9981 # CONVERSOR XINGU POLO 1
DEFFPAR #CNVE1 9982 # CONVERSOR ESTREITO POLO 1
DEFFPAR #CNVX2 9983 # CONVERSOR XINGU POLO 2
DEFFPAR #CNVE2 9984 # CONVERSOR ESTREITO POLO 2
DEFFPAR #BAR-X 9971 # BARRA AC XINGU
DEFFPAR #BAR-E 9970 # BARRA AC ESTREITO
DEFFPAR #LTXT1 9951 # LT XINGU-TUCURUI C1
DEFFPAR #LTXT2 9952 # LT XINGU-TUCURUI C2
(
DEFFPAR #RUNUP 9542 # LOCAL REMOTO RUNUP EXTERNO SEP
(
(EFFPAR (npar) ( valpar )
DEFFPAR #TELCM 0.03 # TEMPO DE TELECOM ENTRE ESTAÇÕES, EM SEGUNDOS
(
(EFFPAR (npar) ( valpar )
DEFFPAR #TF 0.05 # CONSTANTE DE TEMPO DE MEDIÇÃO DA FREQUÊNCIA, EM SEGUNDOS
/
```

Figura 4.4 – Parâmetro para runup/runback

```
( RUNBACK DE 1000 MW
(Tp) ( Tempo) ( El ) ( Pa)Nc ( Ex ) ( % ) (ABS ) Gr Und (Bl)P ( Rc ) ( Xc ) ( Bc ) (Defas)
TCDU 0.1 95000 -1000 450
```

Figura 4.5 – DEVT – Runback de 1000MW

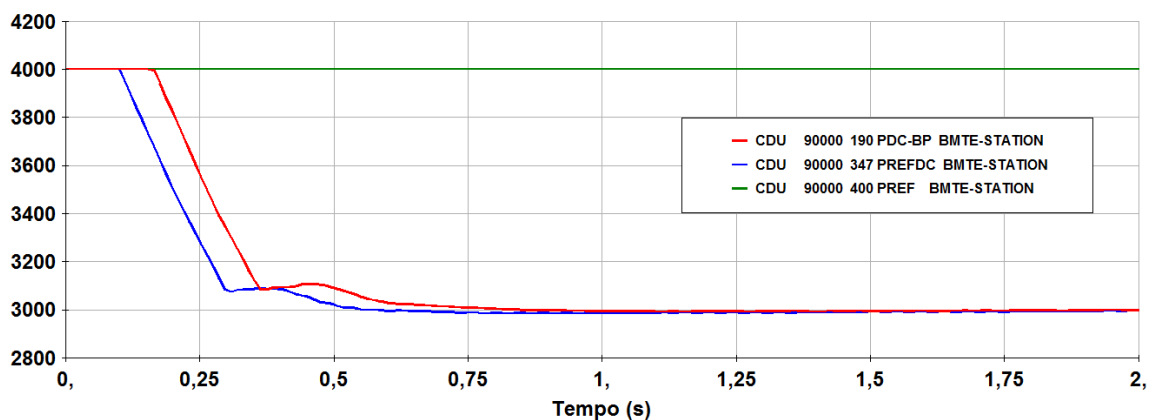


Figura 4.6 – Runback de 1000MW a taxa de 5000MW/s

4.3 Bloqueio de polo

4.3.1 Exemplo 1: Xingú → Estreito

- $P_{DC}=4000$ MW (1.0 pu)
- Configuração Bipolar

```
(BLOQUEIO DO POLO 2
(Tp) ( Tempo)( El )( Pa)Nc( Ex) ( % ) (ABS ) Gr Und      (Bl)P ( Rc ) ( Xc )
BELO 0.1      3002                                     +
```

Figura 4.7 – DEVT – Bloqueio do polo 2

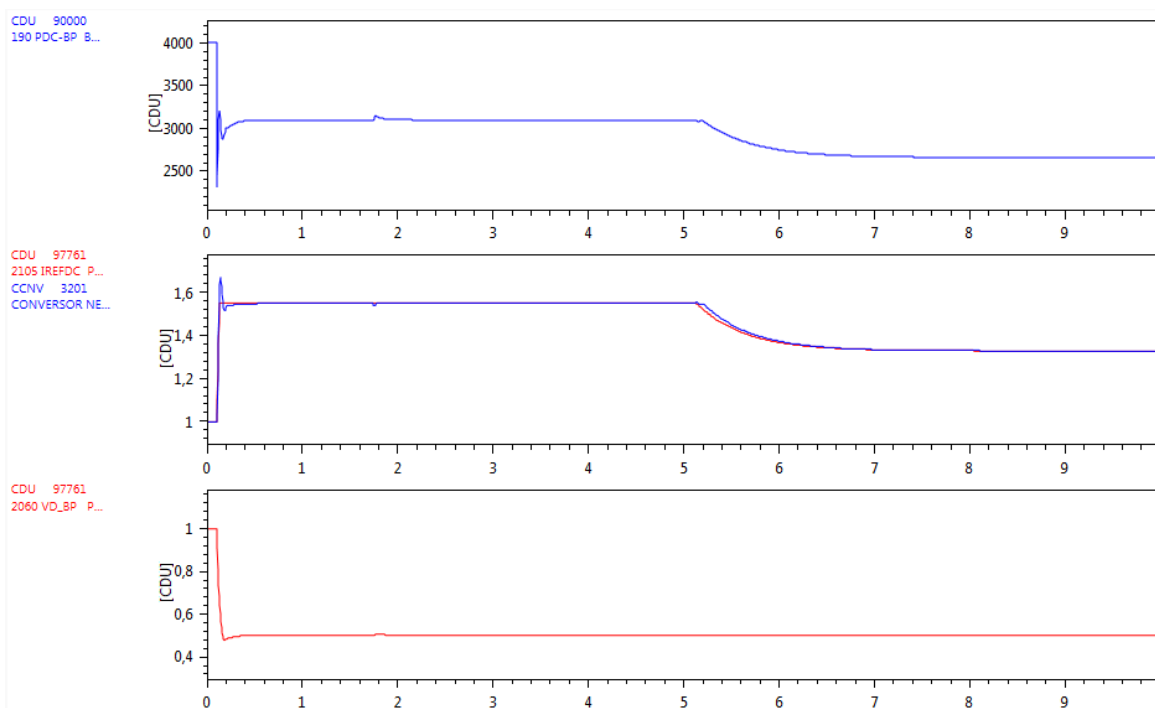


Figura 4.8 – Bloqueio do polo 2 – (Xingú→Estreito)

4.3.2 Exemplo 2: Estreito → Xingú

- $P_{DC}=3270$ MW (0.8175 pu)
- Configuração Bipolar

```
(BLOQUEIO DO POLO 2
(Tp) ( Tempo)( El )( Pa)Nc( Ex) ( % ) (ABS ) Gr Und      (Bl)P ( Rc ) ( Xc )
BELO 0.1      3002                                     +
```

Figura 4.9 – DEVT – Bloqueio do polo 2

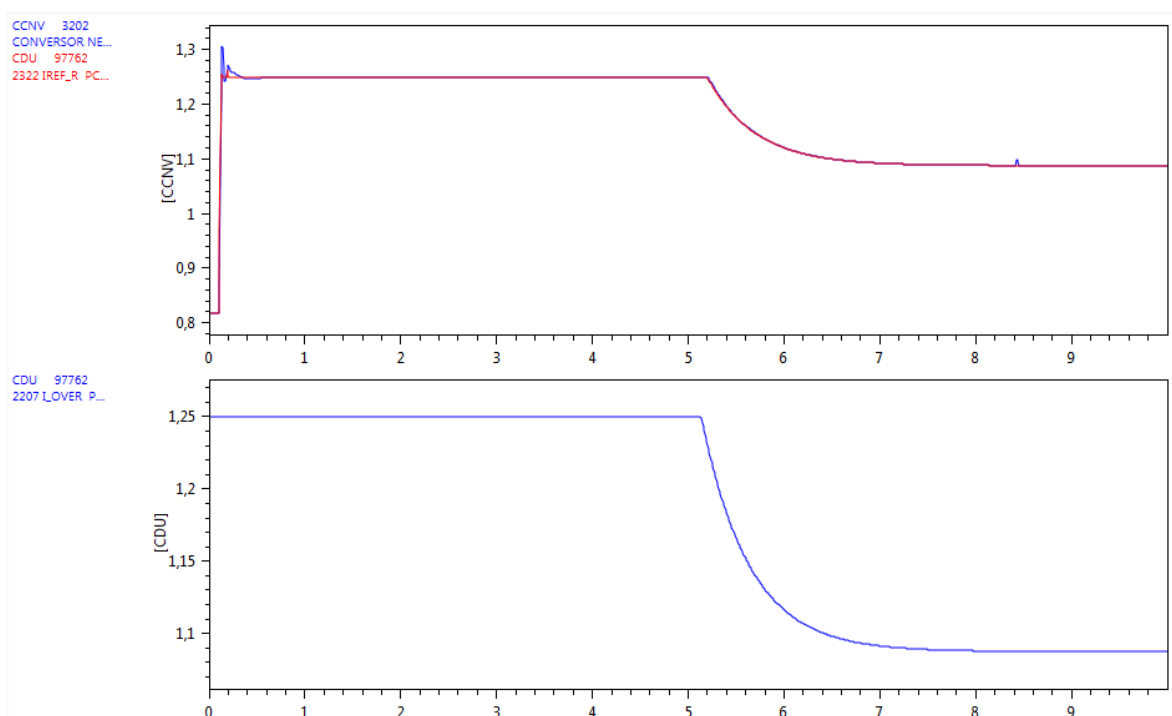


Figura 4.10 – Bloqueio do polo 2 (Estreito→Xingú)

4.4 Falta no meio da linha DC

4.4.1 Exemplo 1: Falta na linha DC com religamento com sucesso na 1ª tentativa (tensão normal)

- $P_{DC}=4000$ MW
- Sentido X→E
- Configuração Bipolar

```
(FALTA NA LINHA DC - RELIGAMENTO NA 1ª TENTATIVA
(Tp) ( Tempo)( El )( Pa)Nc( Ex) ( % ) (ABS ) Gr Und      (Bl)P ( Rc ) ( Xc )
ACLC 0.1      3101 3102 1
RCLC 0.2      3101 3102 1
```

Figura 4.11 – DEVT – Falta DC com religamento (0.1s)

```
(EFPAR (npar) (      valpar      )
DEFPAR #NRELI 4          # NUMERO MÁXIMO DE TENTATIVAS DE RELIGAMENTO
(
(EFPAR (npar) (      valpar      )
DEFPAR #UREF1 1.0        # TENSÃO DC DE RELIGAMENTO - 1ª TENTATIVA
DEFPAR #UREF2 1.0        # TENSÃO DC DE RELIGAMENTO - 2ª TENTATIVA
DEFPAR #UREF3 1.0        # TENSÃO DC DE RELIGAMENTO - 3ª TENTATIVA
DEFPAR #UREF4 0.7        # TENSÃO DC DE RELIGAMENTO - 4ª TENTATIVA
```

Figura 4.12 – Parâmetros do Controle de Falta DC

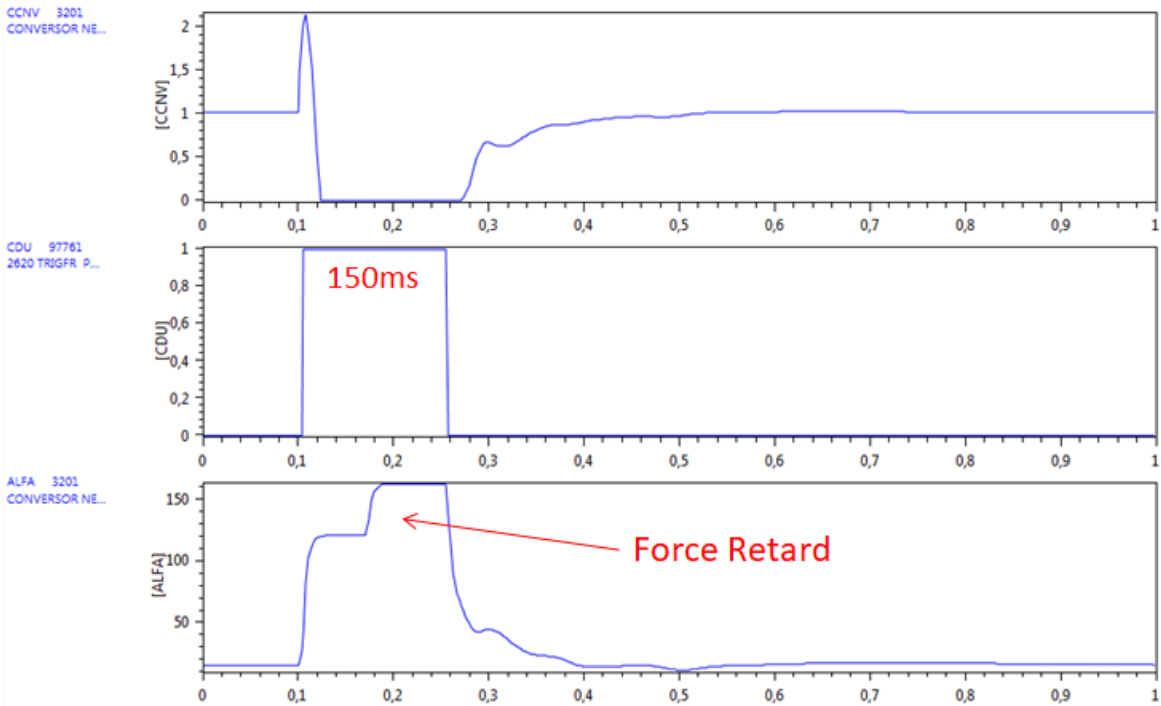


Figura 4.13 – Falta DC com religamento

Restricted © Siemens AG, 2017. All Rights reserved.

4.4.2 Exemplo 2: Falta na linha DC do Polo 2 – Religamento com sucesso na 4ª tentativa com tensão reduzida

- $P_{DC}=4000$ MW
- Sentido X→E
- Configuração Bipolar

```
(FALTA NA LINHA DC - RECUPERAÇÃO NA 4ª TENTATIVA
(Tp) ( Tempo) ( El ) ( Pa)Nc( Ex) ( % ) (ABS ) Gr Und      (Bl)P ( Rc ) ( Xc )
ACLC 0.1      3101 3102 1
RCLC 1.1      3101 3102 1
```

Figura 4.14 – DEVT – Falta DC com religamento (1.0s)

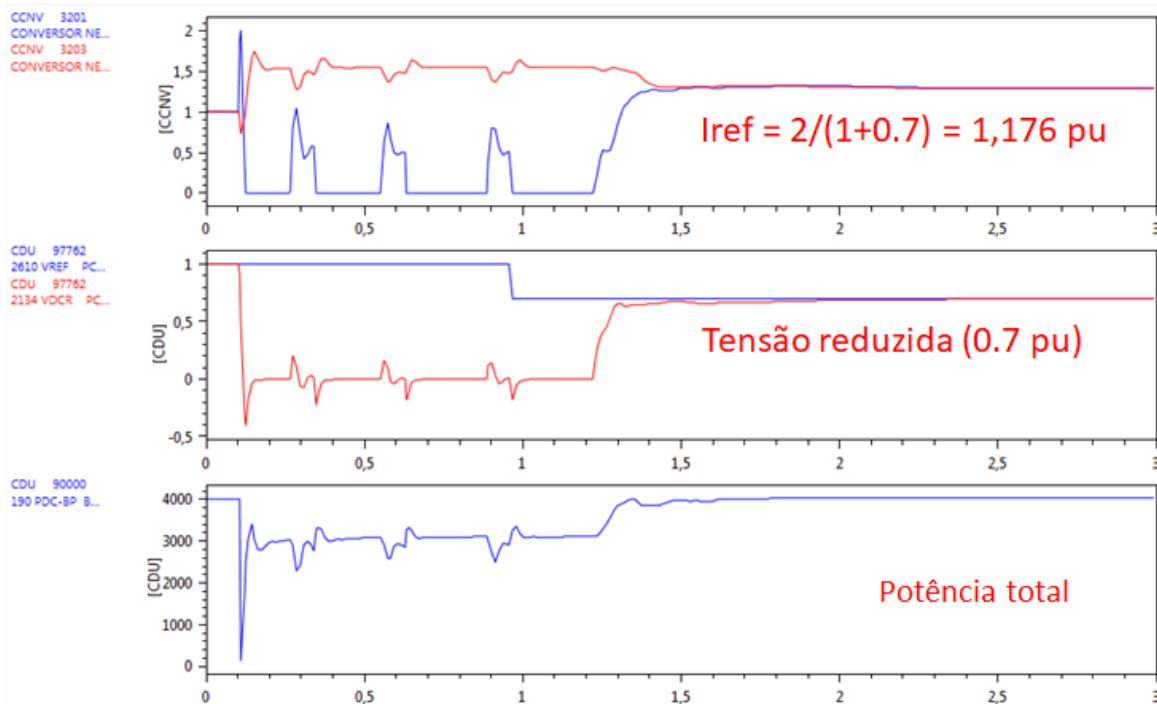


Figura 4.15 – Falta DC com religamento na 4ª tentativa

4.4.3 Exemplo 3: Falta permanente na linha DC – bloqueio após 4 tentativas de religamento

- $P_{DC}=4000$ MW
- Sentido X→E
- Configuração Bipolar

```
(FALTA PERMANENTE NA LINHA DC
(Tp) ( Tempo) ( El ) ( Pa)Nc( Ex) ( % ) (ABS ) Gr Und      (Bl)P ( Rc ) ( Xc )
ACLC 0.1      3101 3102 1
```

Figura 4.16 – DEVT – Falta DC

```
(EFPAR (npar) (      valpar      )
DEFPAR #NRELI 4          # NUMERO MÁXIMO DE TENTATIVAS DE RELIGAMENTO
(
(EFPAR (npar) (      valpar      )
DEFPAR #UREF1 1.0        # TENSÃO DC DE RELIGAMENTO - 1ª TENTATIVA
DEFPAR #UREF2 1.0        # TENSÃO DC DE RELIGAMENTO - 2ª TENTATIVA
DEFPAR #UREF3 1.0        # TENSÃO DC DE RELIGAMENTO - 3ª TENTATIVA
DEFPAR #UREF4 0.7        # TENSÃO DC DE RELIGAMENTO - 4ª TENTATIVA
```

Figura 4.17 – Parâmetros do Controle de Falta DC

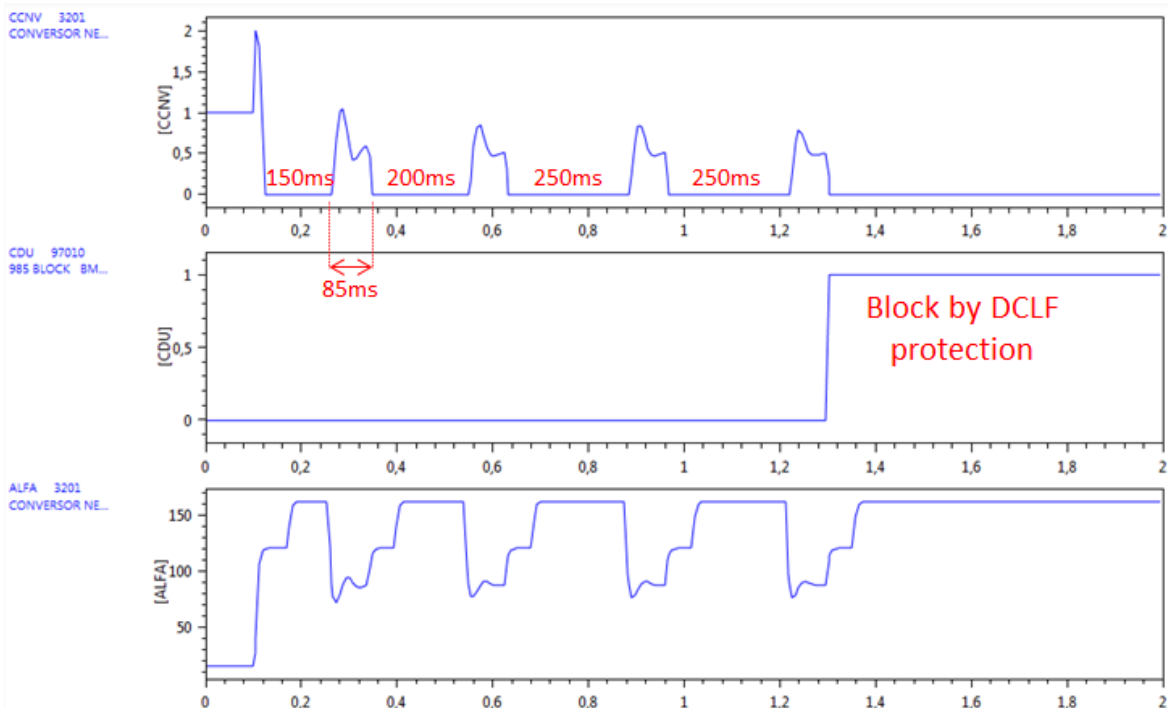


Figura 4.18 – DEVT – Falta permanente na linha DC

4.5 Faltas AC

4.5.1 Exemplo 1: Curto-circuito 3f em Xingú (retificador)

- $P_{DC}=4000$ MW
- Sentido X→E
- Configuração Bipolar
- Curto-circuito 3f em Xingu (retificador)

```
(CURTO-CIRCUITO 3F EM XINGU 500 KV
(Tp) ( Tempo)( El )( Pa)Nc( Ex) ( % ) (ABS ) Gr Und      (B1)P ( Rc ) ( Xc )
APCB 0.1      8100
RMCB 0.2      8100
```

Figura 4.19 – DEVT – Curto-circuito 3f em Xingu

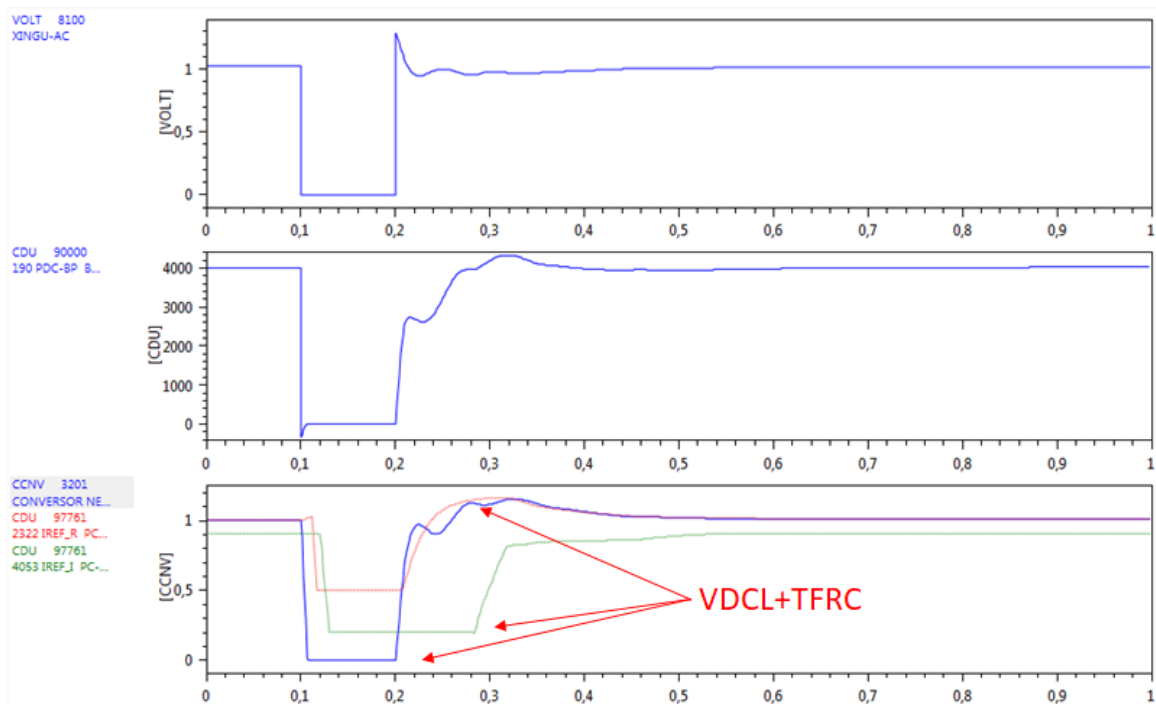


Figura 4.20 – Curto-circuito 3f em Xingú

4.5.2 Exemplo 2: Curto-circuito 3f em Estreito (inversor)

- $P_{DC}=4000$ MW
- Sentido X→E
- Configuração Bipolar
- Curto-circuito 3f em Estreito (inversor)

```
( CURTO-CIRCUITO 3F EM ESTREITO 500 KV
(Tp) ( Tempo) ( El ) ( Pa)Nc( Ex ) ( % ) (ABS ) Gr Und      (B1)P ( Rc ) ( Xc )
APCB 0.1      3010
RMCB 0.2      3010
```

Figura 4.21 – DEVT – Curto-circuito 3f em Estreito

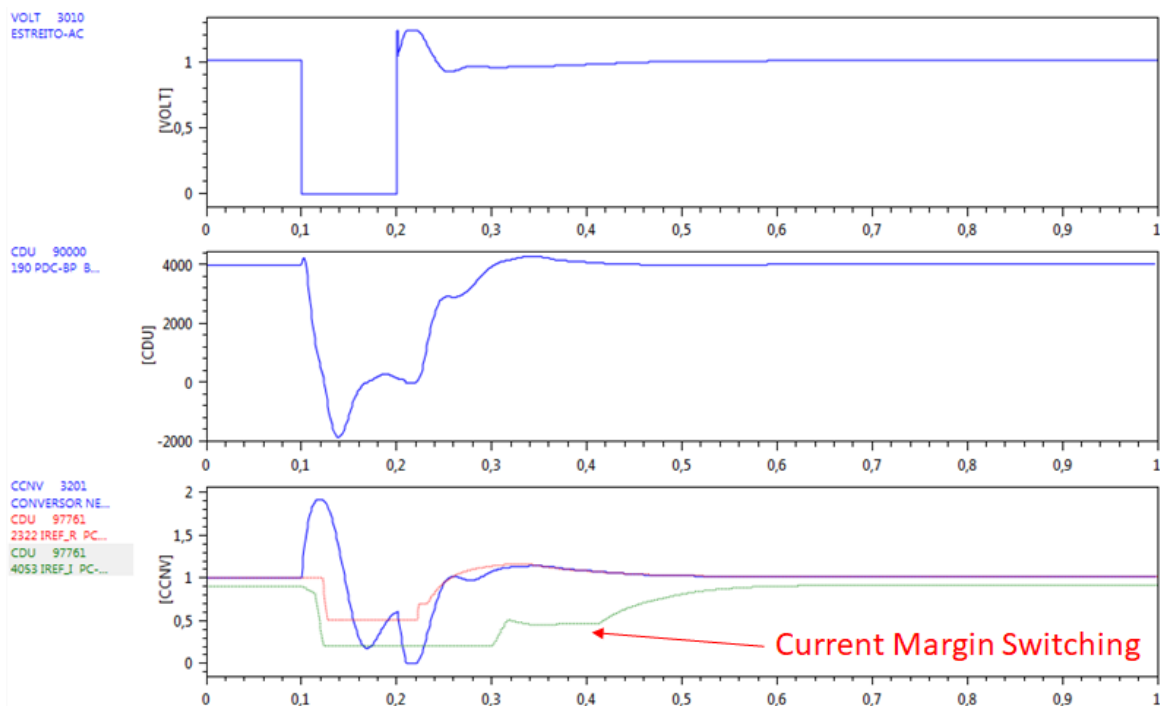


Figura 4.22 – Curto-circuito 3f em Estreito

4.6 Atuação do Tap-Changer Control

4.6.1 Exemplo 1: Degrau na barra infinita

```
( DEGRAU DE -2% NA BARRA INFINITA DO RETIFICADOR - XINGU
(Tp) ( Tempo)( El )( Pa)Nc( Ex) ( % ) (ABS ) Gr Und      (B1)P ( Rc ) ( Xc )
TINF 1.0          1          -0.02
```

Figura 4.23 – DEVT – Degrau negativo na tensão da barra infinita de Xingu

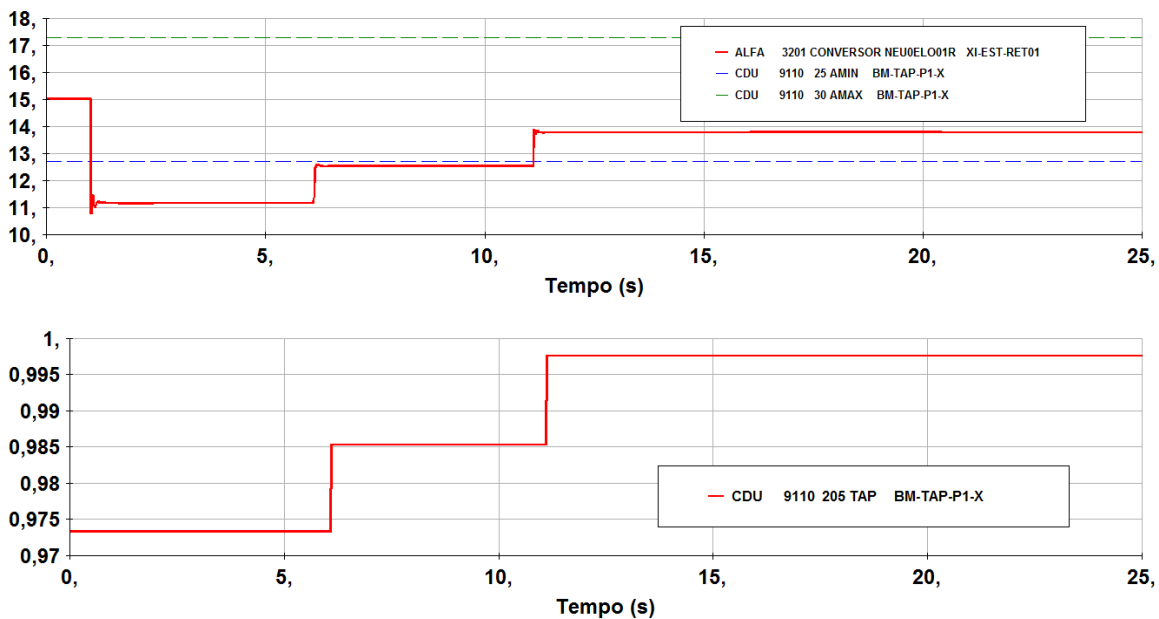


Figura 4.24 – Degrau negativo na tensão da barra infinita de Xingu

```
( DEGRAU DE -2% NA BARRA INFINITA DO INVERSOR - ESTREITO
(Tp) ( Tempo)( El )( Pa)Nc( Ex) ( % ) (ABS ) Gr Und      (B1)P ( Rc ) ( Xc )
TINF 1.0          2          0.02
```

Figura 4.25 – DEVT – Degrau negativo na tensão da barra infinita de Estreito

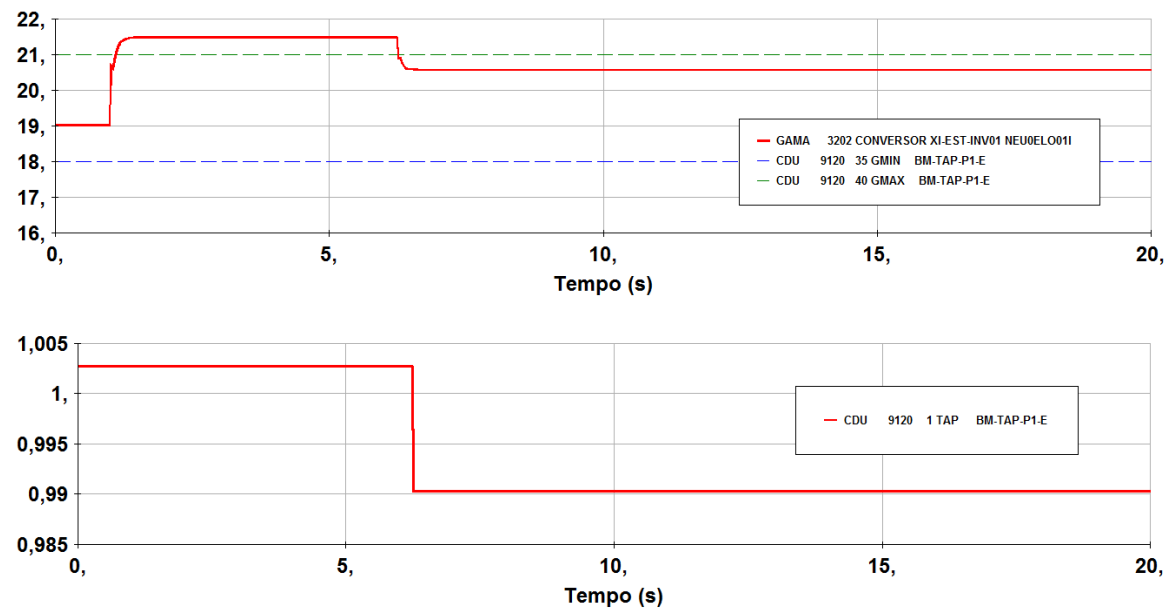


Figura 4.26 – Degrau negativo na tensão da barra infinita de Estreito

Restricted © Siemens AG, 2017. All Rights reserved.

4.6.2 Exemplo 2: Rampa de Potência

(RAMPA DE -1000 MW NA REFERÊNCIA DE POTÊNCIA DO BIPOLO 1									
(Tp)	(Tempo)	(El)	(Pa)	Nc	(Ex)	(%)	(ABS)	Gr	Und
(B1)P	(Rc)	(Xc)	(Bc)	(Defas)					
TCDU	2.00	90000				-1000		400	

Figura 4.27 – DEVT – Rampa de -1000MW no Bipolo 1

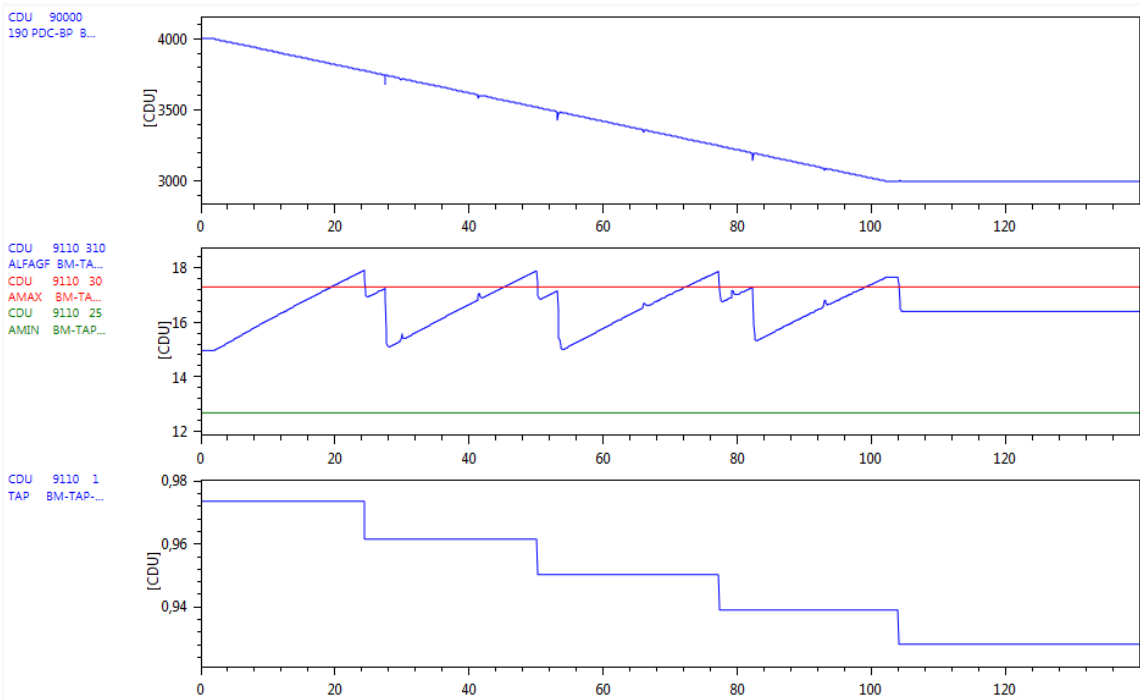


Figura 4.28 – Rampa de -1000MW no Bipolo 1 (Xingu)

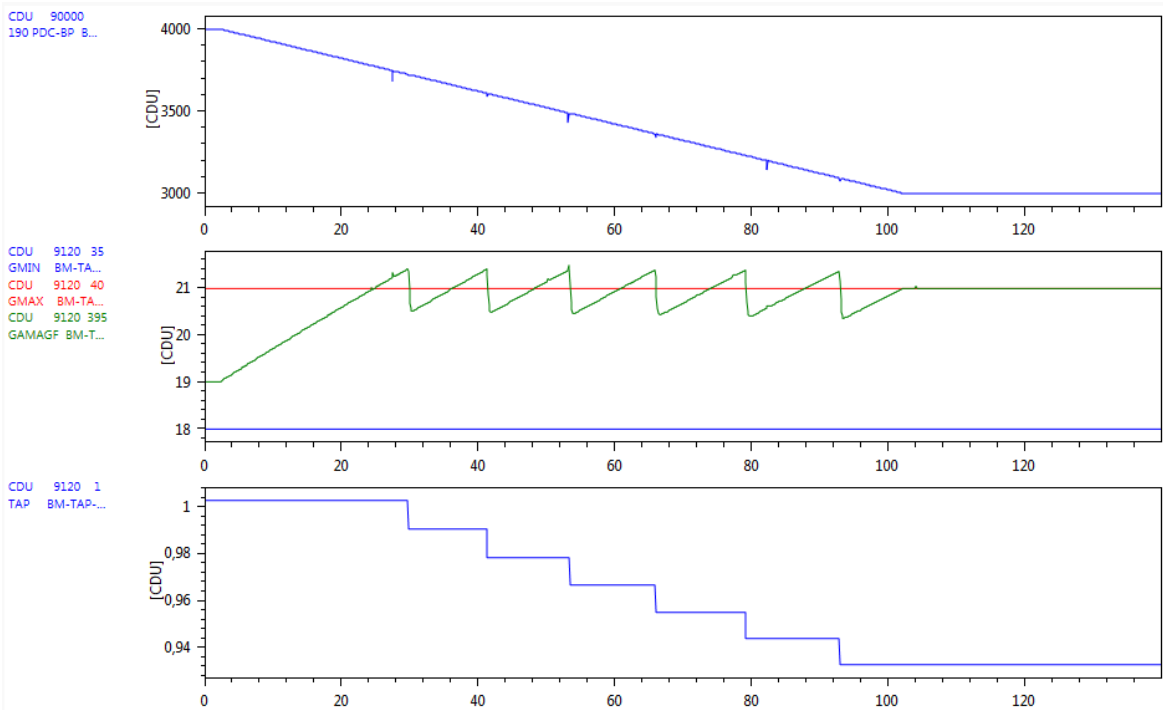


Figura 4.29 – Rampa de -1000MW no Bipolo 1 (Estreito)

Restricted © Siemens AG, 2017. All Rights reserved.

4.7 Atuação do Voltage Limitation Control

4.7.1 Exemplo 1: Isolate 1

- $P_{DC}=1635$ MW
- Sentido E→X
- Configuração Monopolar
- Degrau de +15% na barra infinita de Estreito
- Estreito em U-Control (#UREF=510 kV e #UBAND=20 kV)
- Numero de filtros inicial = 4

```
(DEGRAU DE +15% NA TENSÃO DA BARRA INFINITA DE ESTREITO
(Tp) ( Tempo)( El )( Pa)Nc( Ex ) ( % ) (ABS ) Gr Und      (Bl)P ( Rc ) ( Xc ) ( Bc ) (Defas)
TINF 0.1          2          +0.15
```

Figura 4.30 – DEVT – Degraus na tensão da barra infinita de Estreito

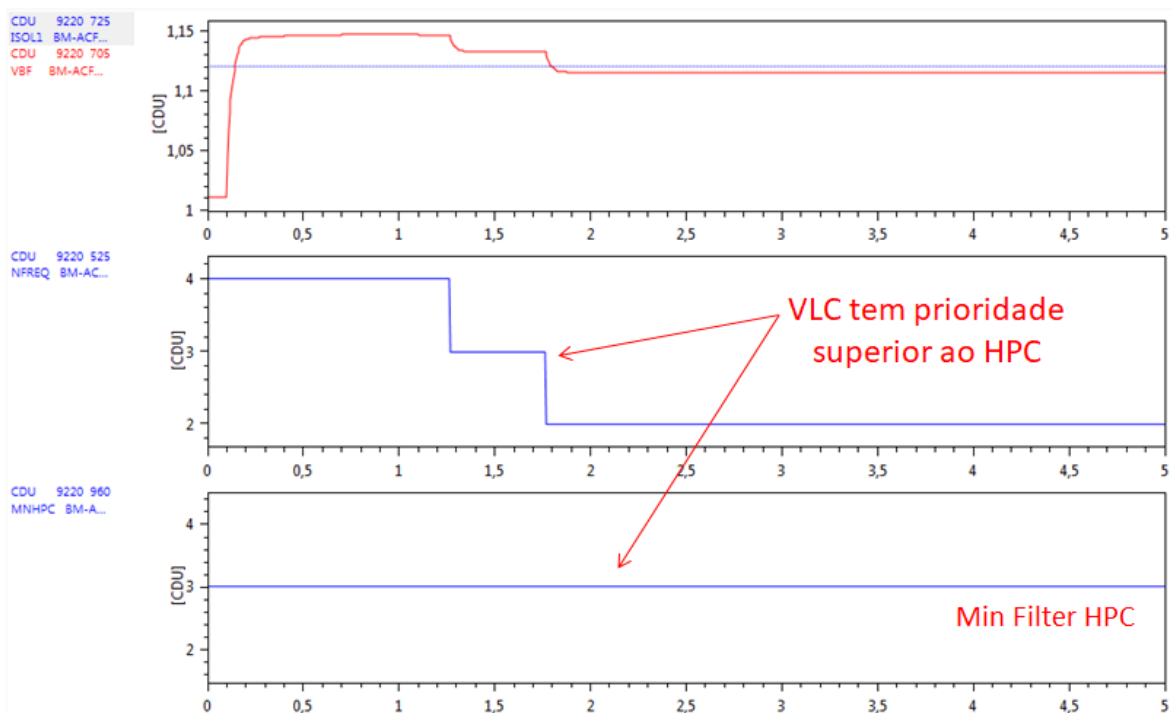


Figura 4.31 – DEVT – Degraus na tensão da barra infinita de Estreito

4.7.2 Exemplo 2: Isolate 2

- $P_{DC}=1000$ MW
- Sentido X→E
- Configuração Monopolar
- Degrau de +20% na barra infinita de Xingu
- Xingu em Q-Control (#QREF=200 Mvar)
- Numero de filtros inicial = 3

```
(DEGRAU DE +15% NA TENSÃO DA BARRA INFINITA DE XINGU
(Tp) ( Tempo)( El )( Pa)Nc( Ex) ( % ) (ABS ) Gr Und      (Bl)P ( Rc ) ( Xc )
TINF 0.1          1          +0.20
```

Figura 4.32 – DEVT – Degraus na tensão da barra infinita de Xingú

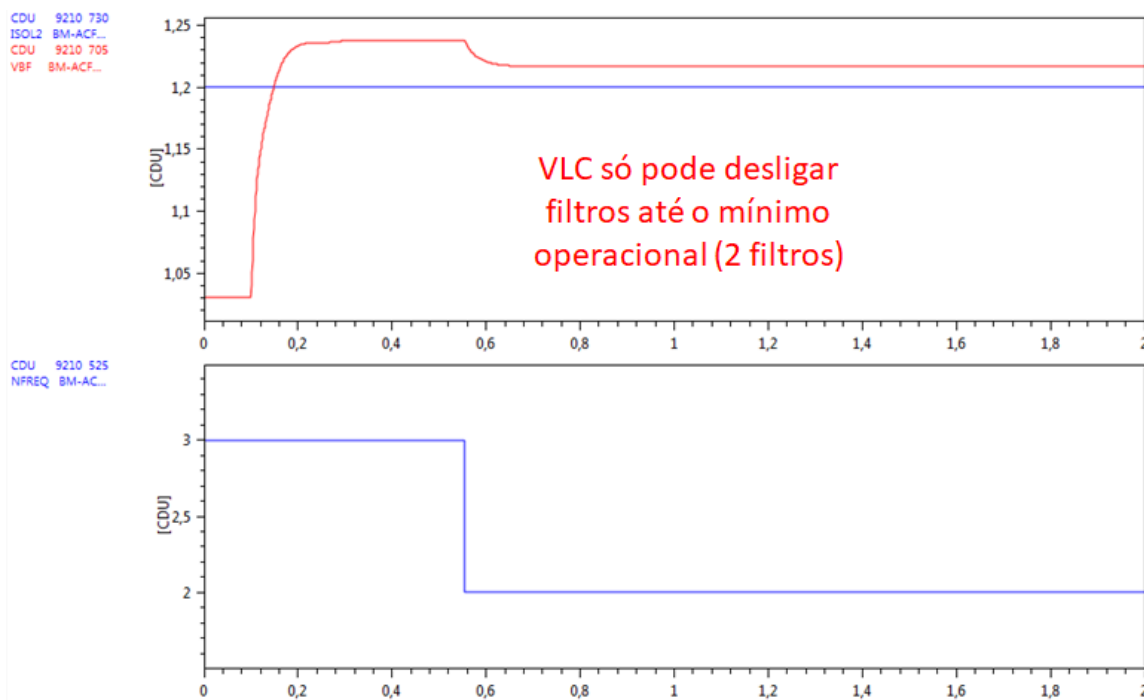


Figura 4.33 – Degraus na tensão da barra infinita de Xingú

4.8 Transição entre Modos de Controle

4.8.1 Exemplo 1: Transição Ud-Control → γ -Control (inversor)

- $P_{DC}=4000$ MW
- Sentido X→E
- Configuração Bipolar
- Degraus sucessivos de -0.25% na tensão da barra infinita de Estreito (inversor)
- TCC e ACFC desabilitados

(DEGRAUS SUCESSIVOS DE -0.25% NA BARRA INFINITA DO INVERSOR - ESTREITO									
(Tp)	(Tempo)	(El)	(Pa)	Nc	(Ex)	(%)	(ABS)	Gr Und	(Bl)P (Rc) (Xc)
TINF	0.50			2			- .0025		
TINF	1.00			2			- .0025		
TINF	1.50			2			- .0025		
TINF	2.00			2			- .0025		
TINF	2.50			2			- .0025		
TINF	3.00			2			- .0025		

Figura 4.34 – DEVT – Degraus sucessivos na tensão da barra infinita de Estreito

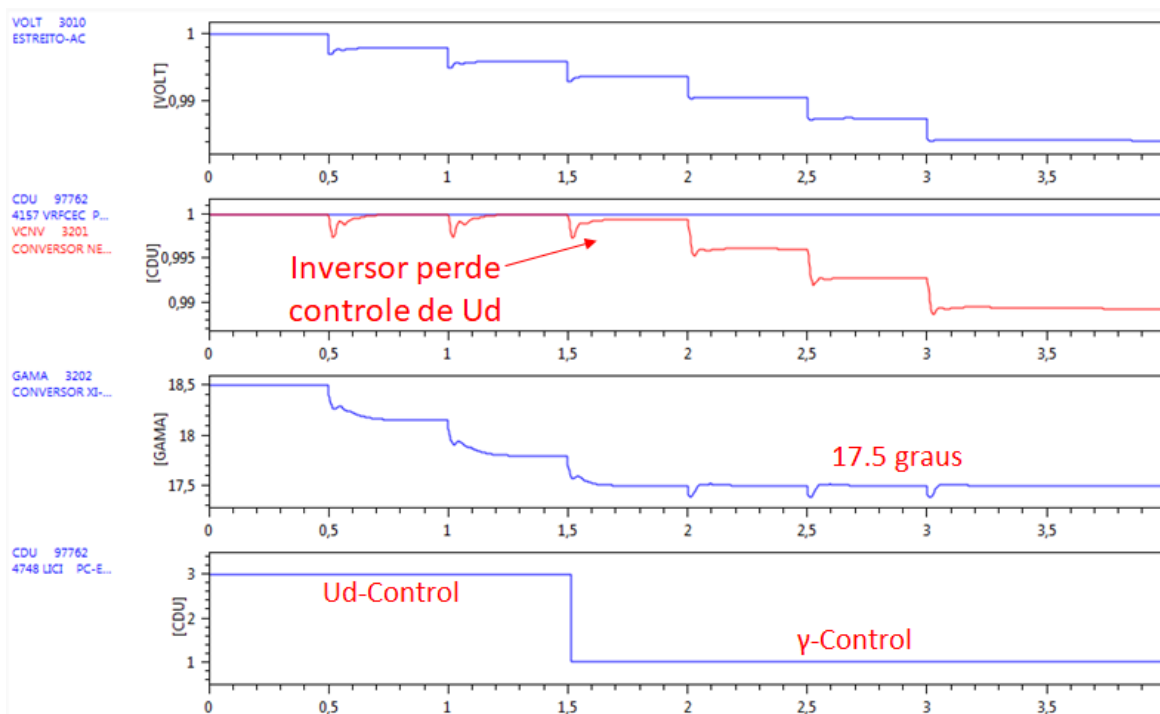


Figura 4.35 – Degraus sucessivos na tensão da barra infinita de Estreito

4.9 Atuação das Lógicas do SEP

4.9.1 Exemplo 1: Lógica 1A1

- $P_{DC}=4000$ MW
- Sentido X→E, Configuração Bipolar
- Fluxo de 3600 MW no sentido Xingu → Tucuruí
- Belo Monte com 18 UG e potência de 10450 MW
- Evento: trip de 1 circuito da LT Xingu – Tucuruí
- Resultado esperado:
 - Runup de 1000 MW

```
(ABERTURA DA LT XINGU-TUCURUI C1
(Tp) ( Tempo)( El )( Pa)Nc( Ex ) ( % ) (ABS ) Gr Und          (B1)P ( Rc ) ( Xc ) ( Bc ) (Defas)
ABCI 0.10      8101 6430 1
```

Figura 4.36 – DEVT - Abertura de 1 circuito da LT Xingu – Tucuruí

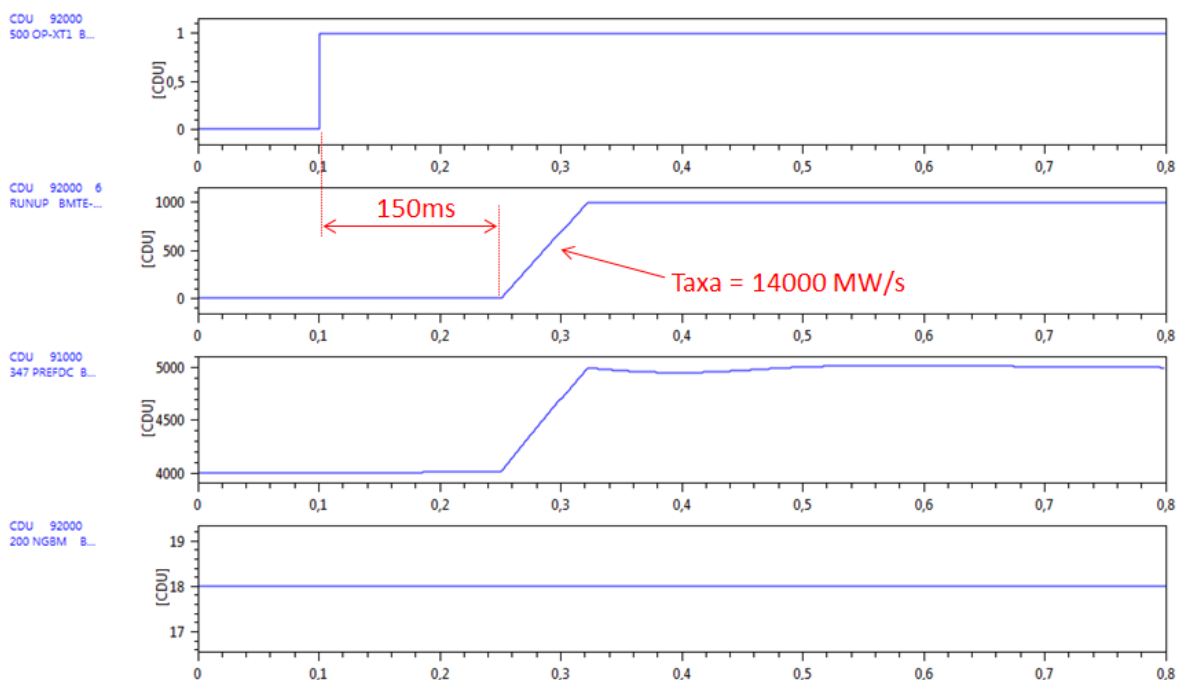


Figura 4.37 – Abertura de 1 circuito da LT Xingu – Tucuruí

4.9.2 Exemplo 2: Lógica 2A1

- $P_{DC}=4000$ MW
- Sentido X→E, Configuração Bipolar
- Fluxo de 3600 MW no sentido Xingu → Tucuruí
- Belo Monte com 18 UG e potência de 10450 MW
- Evento: trip simultâneo de 2 circuitos da LT Xingu – Tucuruí
- Resultado esperado:
 - Runup de 1320 MW
 - Trip de 3 UG em Belo Monte (under-trip)

```
(ABERTURA DA LT XINGU-TUCURUI C1+C2
(Tp) (Tempo) (El) (Pa) Nc (Ex) (%) (ABS) Gr Und (B1) P (Rc) (Xc) (Bc) (Defas)
ABCI 0.10 8101 6430 1
ABCI 0.10 8102 6430 2
```

Figura 4.38 – DEVT - Abertura simultânea de 2 circuitos da LT Xingu – Tucuruí

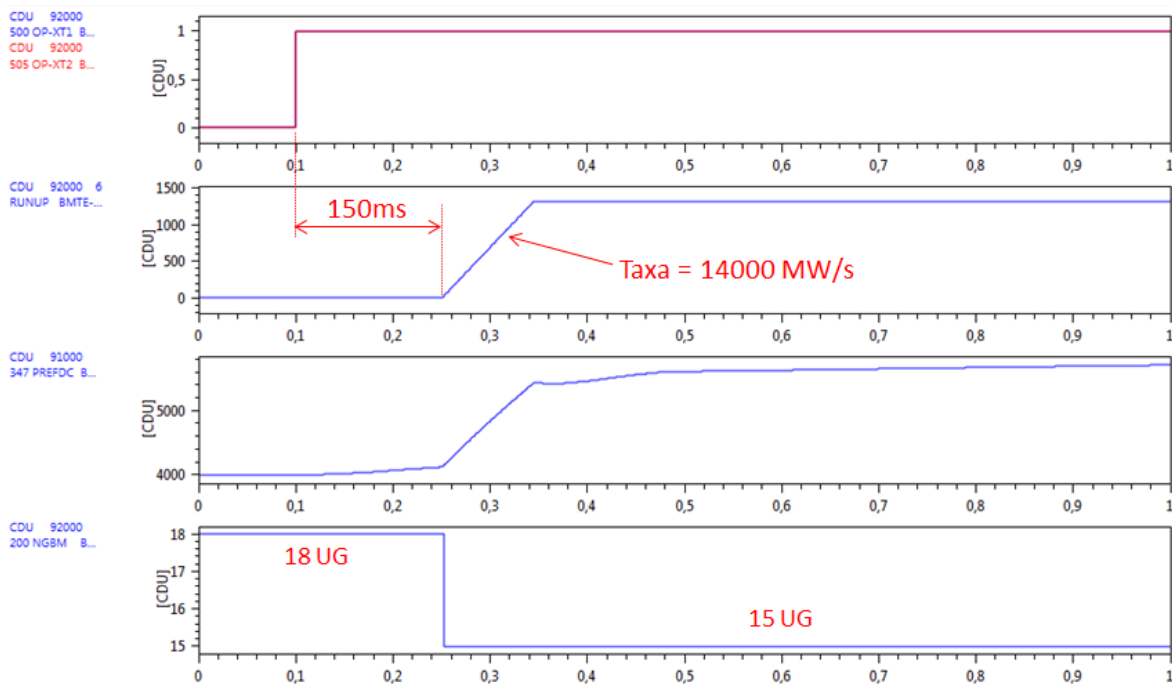


Figura 4.39 – Abertura simultânea de 2 circuitos da LT Xingu – Tucuruí

4.9.3 Exemplo 3: Lógica 1A1+2A1

- $P_{DC}=4000$ MW
- Sentido X→E, Configuração Bipolar
- Fluxo de 3600 MW no sentido Xingu → Tucuruí
- Belo Monte com 18 UG e potência de 10450 MW
- Evento: trip escalonado de 2 circuitos da LT Xingu – Tucuruí
- Resultado esperado:
 - Evento 1: Runup de 1000 MW
 - Evento 2: Runup de 320 MW + trip de 3 UG em B. Monte

```
(ABERTURA DA LT XINGU-TUCURUI C1+C2
(Tp) ( Tempo) ( El ) ( Pa)Nc( Ex ) ( % ) (ABS ) Gr Und      (Bl)P ( Rc ) ( Xc ) ( Bc ) (Defas)
ABCI 0.10      8101  6430  1
ABCI 0.80      8102  6430  2
```

Figura 4.40 – DEVT - Abertura escalonada de 2 circuitos da LT Xingu – Tucuruí

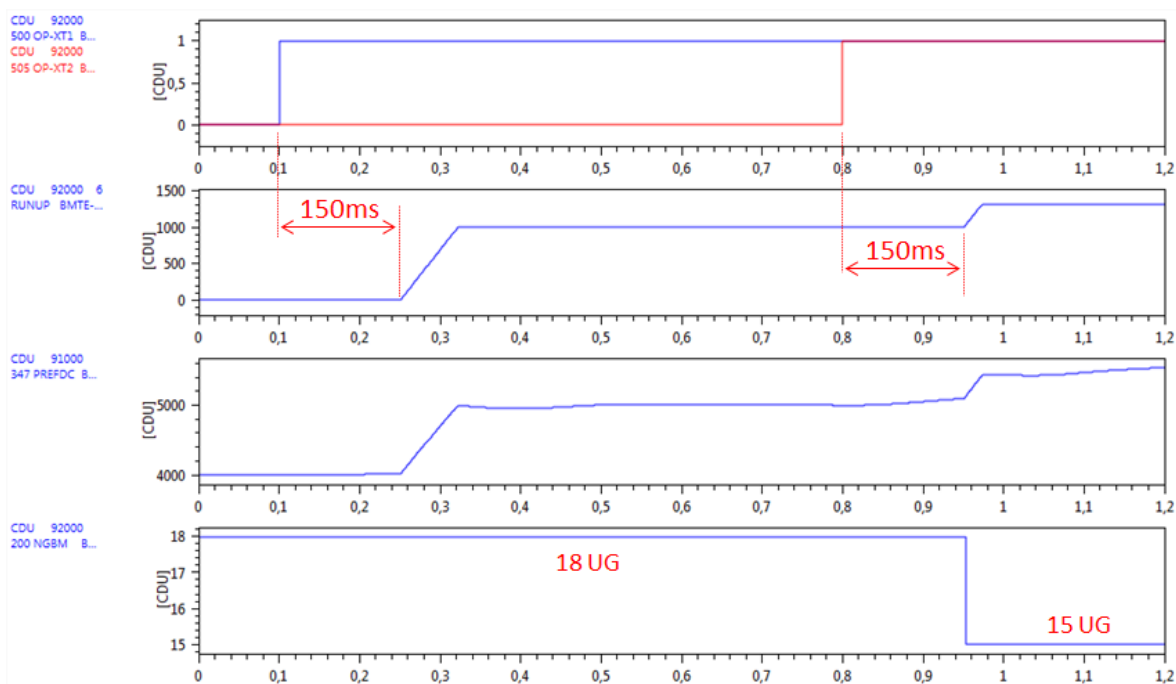


Figura 4.41 – Abertura escalonada de 2 circuitos da LT Xingu – Tucuruí

4.9.4 Exemplo 4: Lógica 2A2

- $P_{DC}=4000$ MW
- Sentido X→E, Configuração Bipolar
- Fluxo de 1000 MW no sentido Tucuruí → Xingu
- Belo Monte com 10 UG e potência de 4500 MW
- Evento: trip simultâneo de 2 circuitos da LT Xingu – Tucuruí
- Resultado esperado:
 - Runback de 1000 MW
 - Trip de 2 UG em Tucuruí

```
(ABERTURA DA LT XINGU-TUCURUI C1+C2
(Tp) ( Tempo) ( El ) ( Pa)Nc( Ex ) ( % ) (ABS ) Gr Und      (B1)P ( Rc ) ( Xc ) ( Bc ) (Defas)
ABCI 0.10      8101  6430  1
ABCI 0.10      8102  6430  2
```

Figura 4.42 – DEVT - Abertura simultânea de 2 circuitos da LT Xingu – Tucuruí

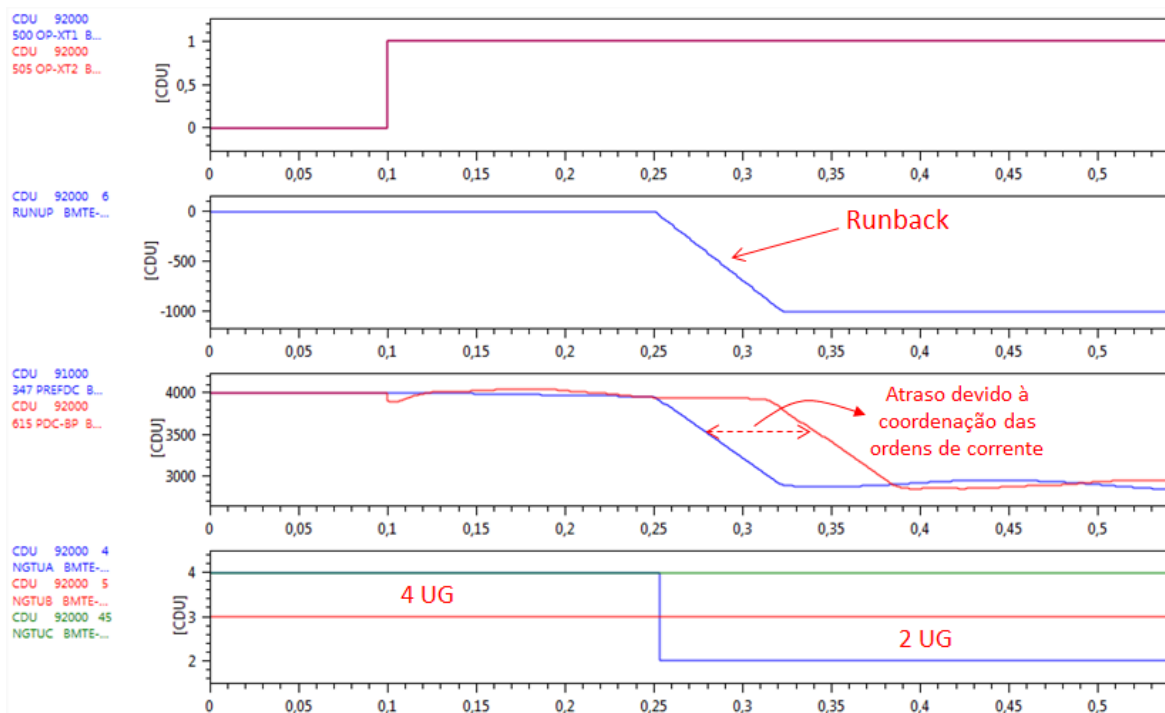


Figura 4.43 – Abertura simultânea de 2 circuitos da LT Xingu – Tucuruí

4.9.5 Exemplo 5: Lógica 1B1+2B1

- $P_{DC}=3270$ MW
- Sentido E→X, Configuração Bipolar
- Fluxo de 3154 MW no sentido Tucuruí → Xingu
- Belo Monte com 3 unidades operando como CS
- Evento: trip escalonado de 2 circuitos da LT Xingu – Tucuruí
- Resultado esperado:
 - Evento 1: Runback de 554 MW
 - Evento 2: Bloqueio do bipolo

```
(ABERTURA DA LT XINGU-TUCURUI C1+C2
(Tp) ( Tempo) ( El ) ( Pa)Nc( Ex ) ( % ) (ABS ) Gr Und      (Bl)P ( Rc ) ( Xc ) ( Bc ) (Defas)
ABCI 0.10      8101  6430  1
ABCI 0.80      8102  6430  2
```

Figura 4.44 – DEVT - Abertura escalonada de 2 circuitos da LT Xingu – Tucuruí

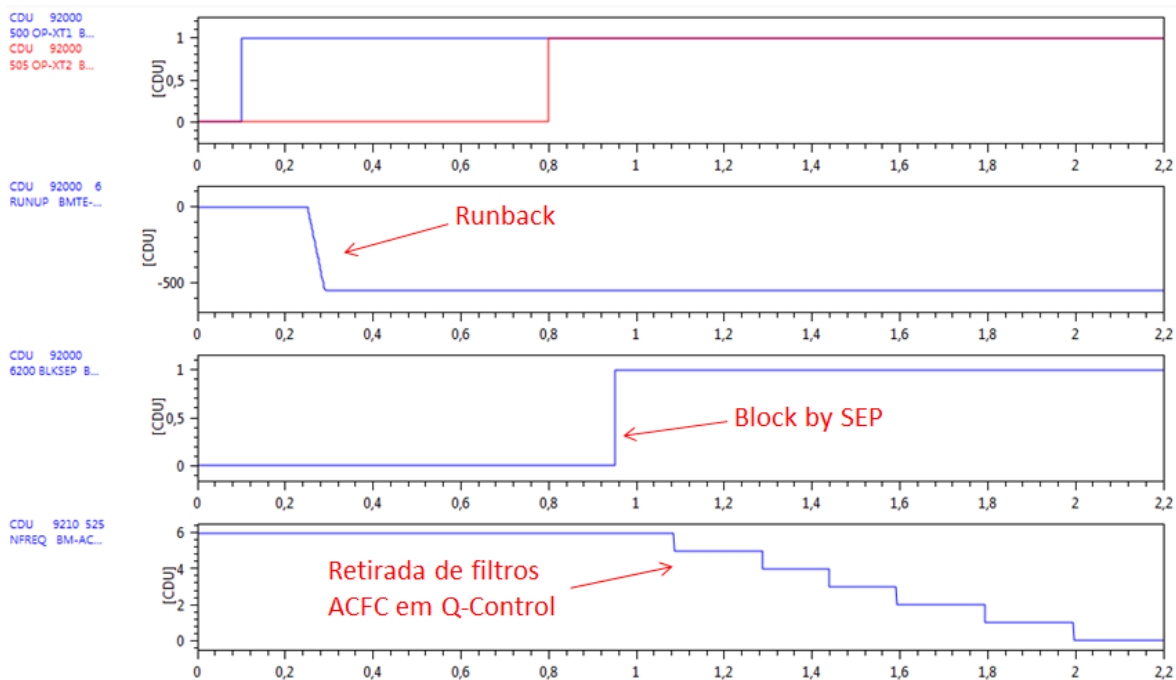


Figura 4.45 – Abertura escalonada de 2 circuitos da LT Xingu – Tucuruí

4.9.6 Exemplo 6: Lógica 3

- $P_{DC}=2000$ MW
- Sentido X→E, Configuração Monopolar
- Fluxo de 1000 MW no sentido Tucuruí → Xingu
- Fluxo Norte-Sul (FNS) de 3000 MW
- Belo Monte com 4 UG e potência de 2000 MW
- Evento: bloqueio de polo (último polo)
- Resultado esperado:
 - Trip de 4 UG em Belo Monte + 4 UG em Tucuruí

```
( BLOQUEIO DO POLO 1
(Tp) ( Tempo)( El )( Pa)Nc( Ex) ( % ) (ABS ) Gr Und (Bl)P ( Rc ) ( Xc ) ( Bc ) (Defas)
BELO 0.1 3001 +
```

Figura 4.46 – DEVT – Bloqueio de polo

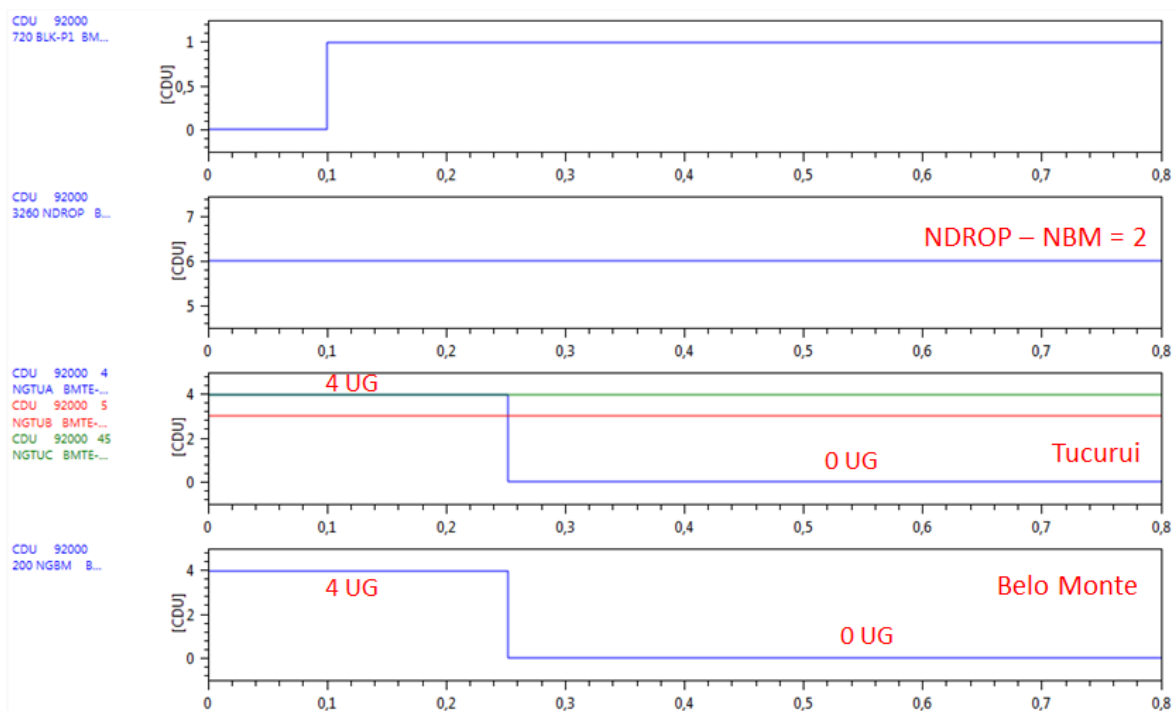


Figura 4.47 – Bloqueio de polo (ultimo polo)

4.9.7 Exemplo 7: Lógica 4 – Sinal Externo Tipo 3

- $P_{DC}=4000$ MW
- Sentido X→E, Configuração Bipolar
- Fluxo de 3600 MW no sentido Xingu → Tucuruí
- Belo Monte com 18 UG e potência de 10450 MW
- Evento: Recepção de sinal externo Tipo 3 (DPO=2100 MW)
- Resultado esperado:
 - Runup de 1320 MW
 - Trip de 2 UG em Belo Monte (over-trip)

```

(LÓGICA 4 - RECEPÇÃO DE SINAL EXTERNO TIPO 3
(Tp) ( Tempo) ( El ) ( Pa)Nc( Ex ) ( % ) (ABS ) Gr Und      (Bl)P ( Rc ) ( Xc ) ( Bc ) (Defas)
TCDU 0.1      92000      1      4020
    
```

Figura 4.48 – DEVT – Recepção de sinal externo Tipo 3

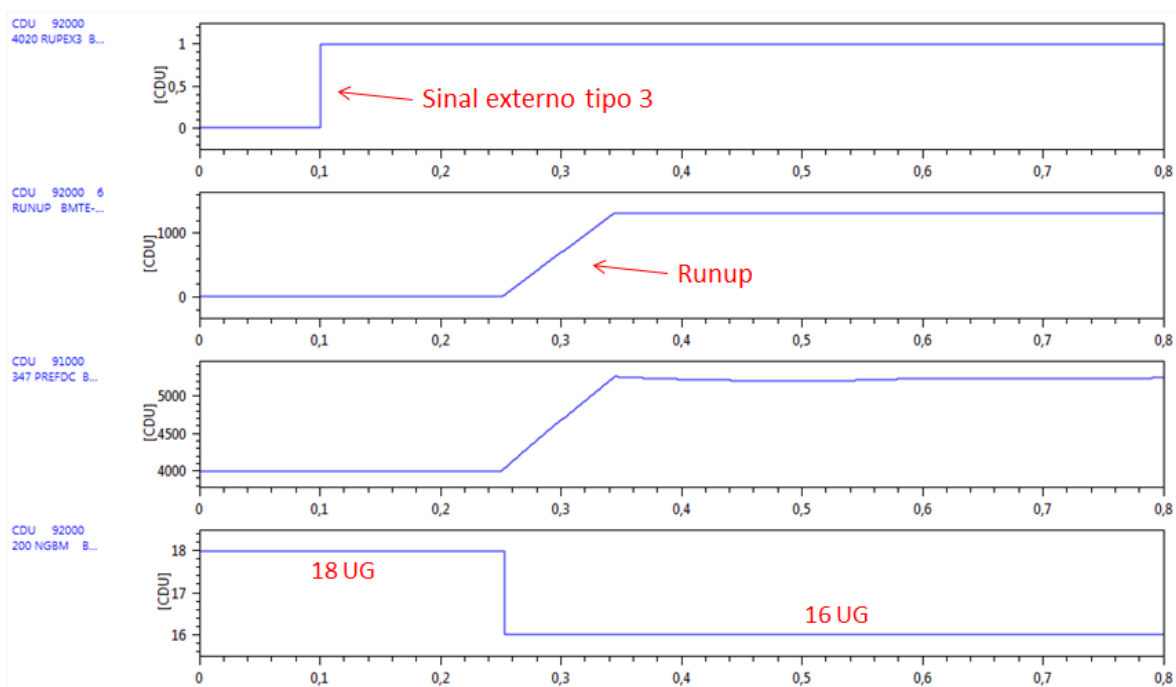


Figura 4.49 – Recepção de sinal externo Tipo 3

4.9.8 Exemplo 8: Lógica 5

- $P_{DC}=4000$ MW
- Sentido X→E, Configuração Bipolar
- LT Xingu → Tucuruí C1 e C2 previamente desligados
- Belo Monte com 10 UG e potência de 4500 MW
- Evento: Trip de 2 UG em Belo Monte
- Resultado esperado:
 - Runback de 900 MW

(Tp)	(Tempo)	(El)	(Pa)	Nc	(Ex)	(%)	(ABS)	Gr	Und	(B1)	P	(Rc)	(Xc)	(Bc)	(Defas)
TCDU	0.1	92000					2				3500				

Figura 4.50 – DEVT – Trip de duas unidades geradoras em Belo Monte

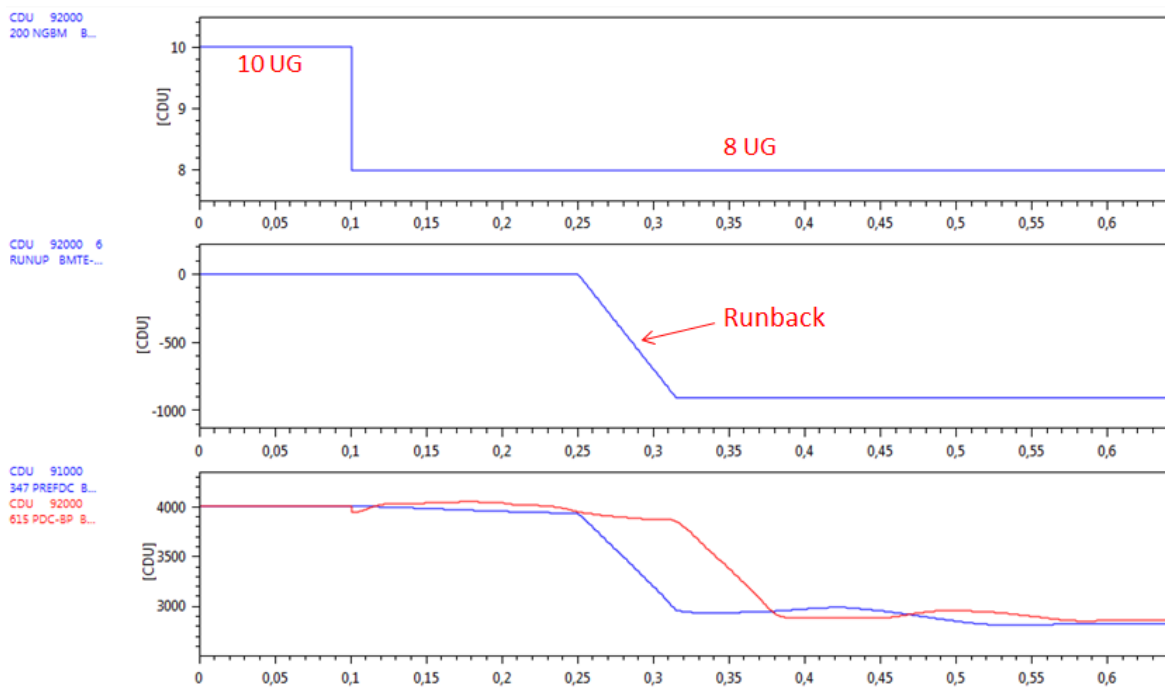


Figura 4.51 – Trip de duas unidades geradoras em Belo Monte

5 Appendix

Document No.	Title
M03_E_D1_0098_5_App002_XE	ANATEM Model - User Manual, Appendix 001 - Validation Tests
M03_E_D1_0098_5_App002_XE	ANATEM Model
M03_E_D1_0098_5_App003_XE	ANATEM Model, Appendix 003 - User Manual - POD and f-Controller
M03_E_D1_0098_5_App004_XE	ANATEM Model - User Manual, Appendix 004 - Validation (SINARQ)

6 Referências

- [1] PSCAD: BM_v02w_Conceptual_G6P_TS.psc
- [2] P-012003_E_B2_0341_XE – Pole Control System Information Manual
- [3] P-012003_E_D4_0321_XE – DC Station Control - Control and Protection Design Specification
- [4] ONS RE 3/0093/2017 - Estudos pré-operacionais para integração da UHE Belo Monte - TERMO DE REFERÊNCIA
- [5] ONS RE 3/0074/2017 - MEDIDAS ESPECIAIS DE CONTROLE SISTÊMICO RELACIONADAS ÀS FUNÇÕES DE ESTABILIDADE DO BIPOLO XINGU - ESTREITO