



**XXIII SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GAT/24  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

## **GRUPO - IV**

### **GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA - GAT**

#### **AValiação do desempenho dinâmico e imunidade a falha de comutação para faltas remotas em HVDCs híbridos (retificador LCC inversor CCC) em linhas DC longas com modelagem inspirada no sistema Tapajós**

**Eduardo Y. Matias (\*)  
ABB AB**

**José Geraldo B. M. de Andrade  
ABB Ltda**

**Luiz C. P. da Silva  
Unicamp**

## **RESUMO**

Buscou-se neste trabalho avaliar o desempenho dinâmico e a imunidade a falhas de comutação de um HVDC híbrido, retificador LCC inversor CCC e comparar os resultados com um HVDC clássico.

Diferentes configurações foram investigadas de modo a ser obtida uma relação entre a margem de comutação e a imunidade a falha de comutação assim como a tecnologia empregada, ou seja, inversores CCC ou LCC.

Para a investigação o HVDC foi representado por um modelo bipolar utilizando como base o modelo Benchmark do Cigré (1) e os dados preliminares do HVDC de Tapajós disponíveis nas bases de dados públicas da EPE.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Falha de comutação, HVDC Híbrido, Line Commutated Converter, LCC, Capacitor Commutated Converter, CCC.

### **1.0 - INTRODUÇÃO**

A crescente demanda de energia do sistema elétrico brasileiro devido ao crescimento significativo do país nas últimas duas décadas gerou a expansão de sua rede elétrica nos últimos anos e grandes desafios surgirão para atender este crescimento futuramente.

Um dos principais desafios refere-se à geração de energia através de fontes renováveis em locais remotos e a transmissão desta energia para os grandes centros consumidores. O Brasil possui um grande potencial hídrico em suas bacias da região Norte, as quais começaram a ser exploradas recentemente através do projeto de transmissão do Rio Madeira, e futuramente através das obras do Rio Xingu e Rio Tapajós. Com relação aos centros consumidores, estes se concentram na região sudeste, principalmente nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais.

Neste contexto, a transmissão em corrente contínua, "High Voltage Direct Current" (HVDC), tem vocação e características adequadas para atender as demandas do sistema brasileiro. Sendo assim, esta tecnologia tem sido adotada e sua implementação tende a aumentar nos próximos anos.

Dentre suas vantagens em relação a transmissão em corrente alternada (AC) estão: o reduzido impacto ambiental das faixas de passagem das linhas de transmissão em corrente contínua (DC), menores custos em relação a perdas elétricas e investimentos financeiros, preservação do nível de curto-circuito, controlabilidade do fluxo de potência, autonomia das áreas interconectadas e melhoria na estabilidade do sistema.

Os sistemas HVDC clássicos, também chamados de "Line Commutated Converters" (LCC) são os mais executados no mundo e sua tecnologia é bastante conhecida, sendo utilizada durante décadas com excelência.

Mesmo com tantas vantagens os conversores LCC possuem algumas limitações, dois fatores complicadores são a sensibilidade a falhas de comutação nos inversores devido a quedas de tensão e/ou defasagens transitórias ocasionadas por faltas remotas e a necessidade de sistemas AC fortes em seus terminais para funcionamento adequado.

Uma tecnologia HVDC que possui a capacidade de minimizar estes limitantes é o arranjo “Capacitor Commutated Converter” (CCC). Esses conversores consistem em capacitores alocados entre as válvulas e os transformadores de potência dos conversores, chamados de “Commutation Capacitors” (CC).

Atualmente encontram-se em operação os HVDCs Back-to-Back CCC de Rapid City (EUA), Garabi (Brasil) e Rio Madeira (Brasil), este último com potência de 2x400 MW e tensão DC de 50kV. Estes projetos foram motivados principalmente pela melhoria na estabilidade do inversor, tornando o HVDC mais robusto em condições de sistemas AC fracos.

Dentre outras vantagens dos conversores CCC estão o aumento da banda de ângulo de disparo, o baixo consumo de potência reativa, consequentemente eliminando a necessidade de chaveamento de filtros, a reduzida sobretensão de rejeição de carga, a reduzida sensibilidade à ressonância de harmônicas de baixa ordem e a melhoria na imunidade a falha de comutação.

Em sistemas HVDC de 800 kV, os quais transmitem aproximadamente 5000 MW, a imunidade a falha de comutação é de especial interesse, podendo minimizar a probabilidade de instabilidade na rede de envio devido a ausência de carga quando o HVDC subitamente cessa a transmissão de potência, por exemplo, na ocorrência de faltas remotas na rede receptora.

Desta forma, buscou-se neste trabalho, avaliar o desempenho dinâmico do sistema e a imunidade a falhas de comutação de uma nova topologia híbrida, HVDC com retificador LCC e inversor CCC, comparando-se com a topologia HVDC clássica e abrindo-se a discussão para tal arranjo sem foco dedicado à viabilidade na fabricação dos equipamentos e ao dimensionamento preciso da solução, deixado estes para trabalhos futuros.

Diferentes configurações foram investigadas para obter a relação entre a margem de comutação e a imunidade a falha de comutação, assim como, a topologia e tecnologia utilizada, isto é, inversores CCC e inversores LCC.

A ferramenta utilizada para a simulação de transitórios eletromagnéticos é o “Alternative Transient Program” (ATP/EMTP).

Para a investigação do sistema de transmissão HVDC este foi representado por um modelo bipolar utilizando como base o modelo Benchmark do Cigré (1) e os dados preliminares do HVDC de Tapajós disponíveis nas bases de dados públicas de fluxo de potência (2) e curto-circuito (3) da EPE.

## 2.0 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO

Os sistemas clássico e híbrido são apresentados na Figura 1 e na Figura 2, respectivamente, assim como as redes equivalentes simplificadas do retificador e do inversor na Figura 3 e na Figura 4.

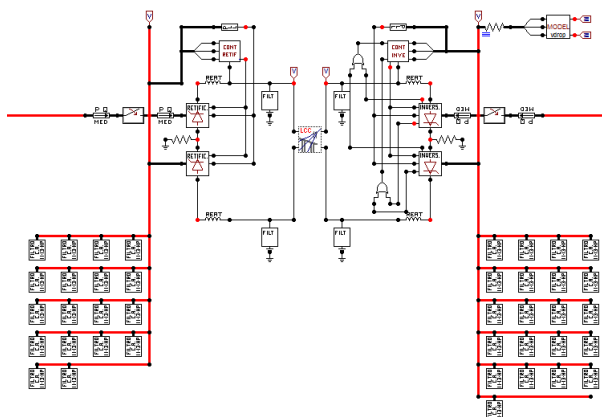


Figura 1 - Sistema HVDC clássico.

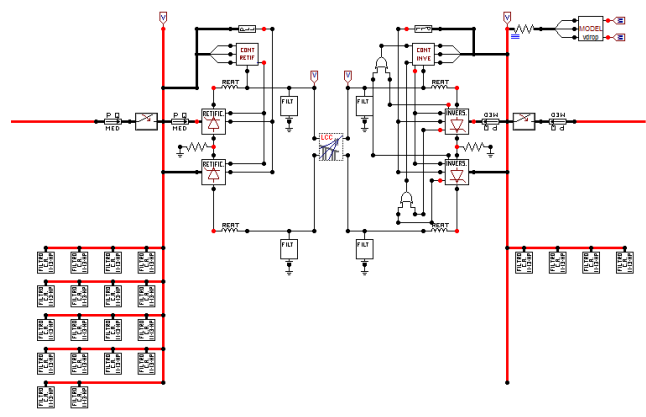


Figura 2 - Sistema HVDC híbrido.

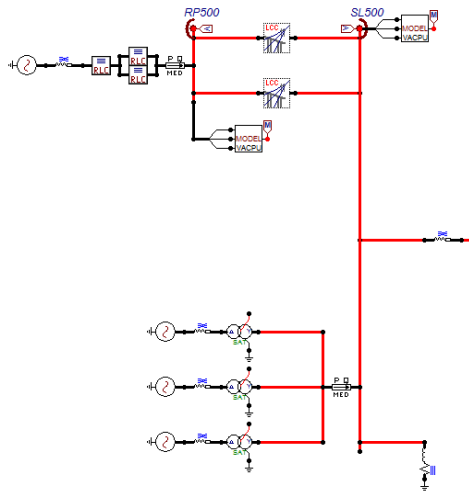


Figura 3 - Equivalente de rede simplificado do lado retificador.

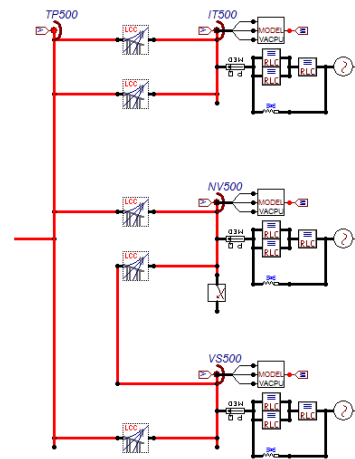


Figura 4 - Equivalente de rede simplificado do lado inversor.

### 3.0 - MODELAGEM DOS EQUIPAMENTOS PRINCIPAIS

A modelagem do sistema foi inspirada no sistema Tapajós, cujos dados preliminares estão disponíveis em (2) e (3) horizonte 2022. Demais parâmetros da topologia CCC foram adotados conforme (1).

#### 3.1 Dados nominais do HVDC clássico

Os dados nominais do sistema extraídos das referências (2) e (3) são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores nominais do HVDC clássico.

Dados	Valores	Descrição
<b>Pólos</b>	2	Número de pólos de 12 pulsos
$P_d$	5000 MVA	Potência nominal
$I_d$	3125 A	Corrente nominal
$U_{dR}$	800 kV	Tensão nominal do retificador
$U_{dI}$	799.1 kV	Tensão nominal do inversor
$f$	60 Hz	Frequência do sistema
$R_{linha}$	19.4 $\Omega$	Resistência da linha de transmissão DC
$X_{trR}$	17.78 %	Impedância do transformador conversor retificador
$S_{tr}$	1571 MVA	Potência dos transformadores conversores
$\frac{V_{pR}}{V_{sR}}$	500 kV / 335.8 kV	Relação de tensão do transformador conversor retificador
$\alpha_N$	15°	Ângulo de disparo nominal
$X_{trI}$	16.47 %	Impedância do transformador conversor inversor
$\frac{V_{pI}}{V_{sI}}$	500 kV / 328.8 kV	Relação de tensão do transformador conversor inversor
$\gamma_N$	17°	Margem de comutação

#### 3.1.1 Filtros de Harmônicas

Os filtros de harmônicas de (1) foram utilizados e replicados de acordo com o aumento da demanda de potência reativa dos conversores.

#### 3.2 Dados nominais do HVDC híbrido

Os dados nominais do sistema para o lado retificador são os mesmos para o HVDC híbrido. As alterações para o lado inversor são descritas nos itens a seguir.

##### 3.2.1 Transformadores Conversores CCC

Para manter a tensão nominal DC após inserção dos CCs a relação de tensão dos transformadores conversores inversores foi ajustada via simulação em 500 / 275 kV, sendo as impedâncias atualizadas mantendo-se a mesma impedância percentual do modelo clássico.

### 3.2.2 Varistores dos CCs

A característica dos varistores foi alterada de forma a manter a mesma margem em relação a tensão de operação contínua (COV) em (1). O novo valor de COV verificado via simulação é de 91.6 kV. A característica dos varistores é mostrada na Tabela 2.

### 3.3 Linha de Transmissão DC

Para a linha de transmissão DC foi utilizado o modelo J. Marti e as torres foram baseadas em uma silhueta de 800 kV típica, com 4 condutores "lapwing" por pólo de forma a obter a resistência de 19.4Ω para a distância estimada de 2155km. As dimensões das torres são mostradas na Tabela 3.

Tabela 2: Característica dos varistores

Corrente [A]	Tensão [kV]
0.004	193.399
0.500	211.201
1.000	215.376
2.000	219.552
4.000	227.024
20.000	252.738

Tabela 3: Parâmetros da linha de transmissão 800kV DC típica.

Rin [cm]	Rout [cm]	Resis DC [Ω/km]	Horiz [m]	Vtower [m]	Vmid [m]	Separ [cm]	Alpha [°]	NB
0.4207	1.911	0.036	12	50	30	50	45	4
0.4207	1.911	0.036	-12	50	30	50	45	4
0	0.187	6.702	13	65	50	0	0	0
0	0.187	6.702	-13	65	50	0	0	0

### 3.4 Equivalentes de Rede

Os equivalentes simplificados das redes do retificador e do inversor foram elaborados levando-se em consideração (2) e (3) com auxílio da ferramenta SAPRE/ANAFAS.

Foram utilizados equivalentes tipo resistor série, resistor parafuso, indutor paralelo (RRL) nas barras de fronteira e as linhas de transmissão AC foram baseadas nas linhas de 500 kV de (1). Os níveis de curto-circuito do equivalente em ATP/EMTP e da base de dados da rede completa são mostrados na Tabela 4:

## 4.0 - MODELAGEM DOS CONTROLES

Os controles foram mantidos conforme (1). Foram realizadas pequenas alterações para adaptar os controles CCC para a topologia LCC, descritas nos itens a seguir.

### 4.1 Alterações para controles LCC

A diferença entre os controles das duas topologias está no cálculo do ângulo mínimo de disparo ( $\alpha_{min}$ ) para o retificador e o ângulo máximo de disparo ( $\alpha_{max}$ ) para o inversor.

#### 4.1.1 Controle LCC do lado inversor

Alterou-se a função  $\alpha_{max}$  de forma que o ângulo de disparo seja calculado pela função  $\beta$  constante (5) que possui característica com inclinação positiva melhorando assim a estabilidade do sistema. A equação de  $\beta$  é mostrada na Figura 5.

#### 4.1.2 Controle LCC do lado retificador

A função  $\alpha_{min}$  foi alterada de forma que o ângulo mínimo de disparo seja 5°, mantendo-se tensão positiva suficiente no cátodo das válvulas no momento do disparo e durante transitórios com quedas de tensão no lado AC facilitando a recuperação do sistema.

Tabela 4 - Níveis de Curto-circuito dos Equivalentes.

Programa	Falta	PA	MG
ANAFAS	3F	22.804 -89.6°	14.475 -86.1°
	1F	26.655 -89.6°	11.752 -81.8°
ATP/EMTP	3F	23.460 -87.8°	15.750 -86.2°
	1F	27.500 -87.8°	14.480 -83.6°

$$\beta = \cos^{-1}(\cos \gamma_{ref} - 2dx \cdot \frac{i_{order}}{u_{di0}}) - k(i_{order} - i_d)$$

$$\alpha_{max} = 180^\circ - \beta$$

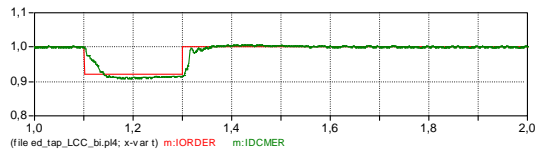
$\gamma_{ref}$  margem de comutação de referência  
 $dx$  queda de tensão devido ao "overlap" em p.u.  
 $i_{order}$  ordem de corrente em p.u.  
 $u_{di0}$  tensão ideal em p.u.  
 $k$  ganho de ajuste para estabilização  
 $i_d$  corrente DC medida em p.u.

Figura 5 - Equação para ângulo de disparo do inversor LCC

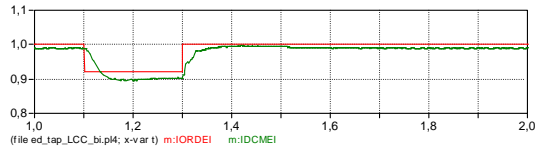
## 5.0 - ANÁLISE DO DESEMPENHO DINÂMICO

O desempenho dinâmico de um HVDC envolve a resposta durante condições transitórias. Tais condições incluem operação durante e após faltas ou distúrbios no sistema de potência. Três fatores principais governam o desempenho dinâmico de um HVDC: a característica dos conversores (particularmente seus dados nominais), a característica do sistema AC e a dinâmica do controle.

O propósito da análise do desempenho dinâmico é alcançar os parâmetros ótimos do sistema de controle do HVDC de maneira que o desempenho total do sistema, isto é, retorno a operação normal seja tão rápido quanto possível após a falta e que seja segura e estável dentro das condições de operação especificadas. Foi verificado um desempenho dinâmico satisfatório dos sistemas HVDC para diversas faltas na rede equivalente, alguns casos básicos de faltas no lado inversor são mostrados a seguir.

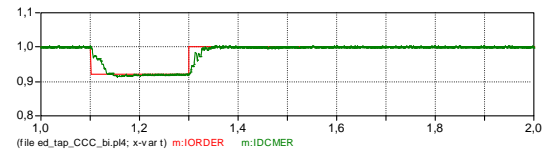


(a) Ordem de corrente e corrente DC medida do ret.

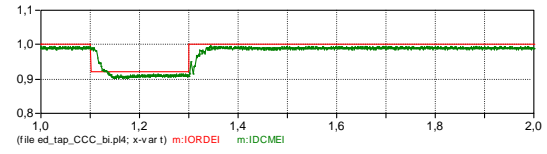


(b) Ordem de corrente e corrente DC medida do inv.

Figura 6 - Degrau na ordem de corrente (clássico)

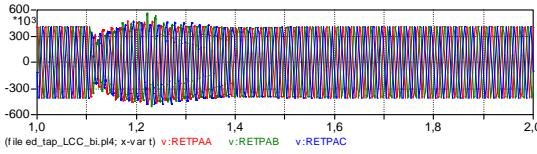


(a) Ordem de corrente e corrente DC medida do ret.

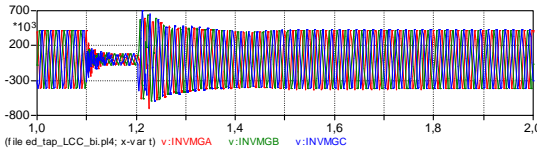


(b) Ordem de corrente e corrente DC medida do inv.

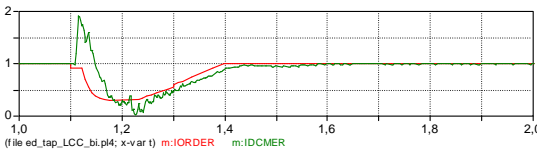
Figura 7 - Degrau na ordem de corrente (híbrido)



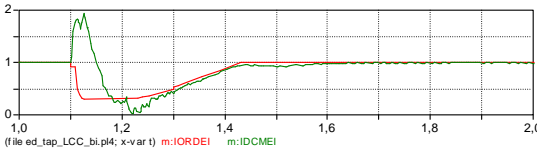
(a) Tensões AC do retificador.



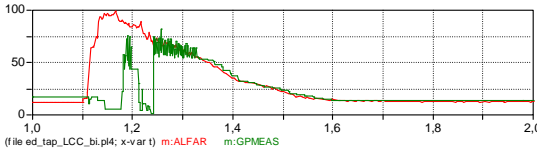
(b) Tensões AC do inversor.



(c) Ordem de corrente e corrente DC medida do ret.

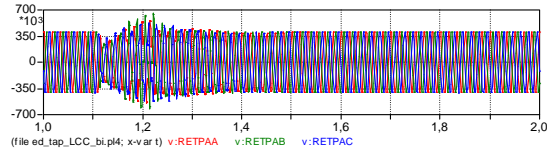


(d) Ordem de corrente e corrente DC medida do inv.

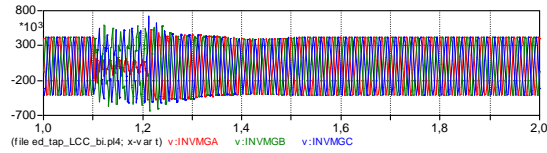


(e) Ângulo de disparo ( $\alpha$ ) do retificador, margem de comutação ( $\beta$ ) medida do inversor.

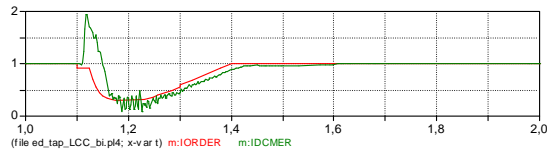
Figura 8 - Falta trifásica no lado inv. (clássico)



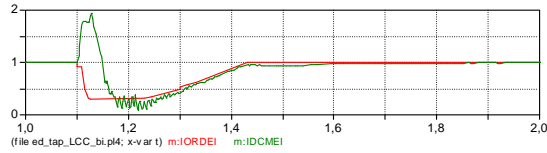
(a) Tensões AC do retificador.



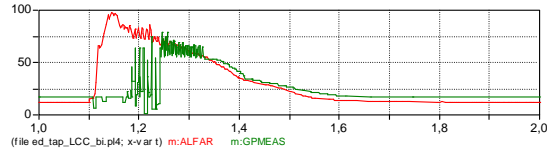
(b) Tensões AC do inversor.



(c) Ordem de corrente e corrente DC medida do ret.

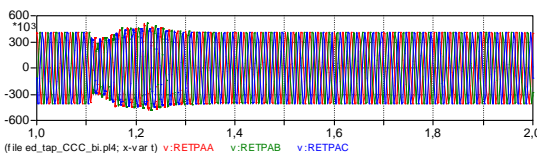


(d) Ordem de corrente e corrente DC medida do inv.

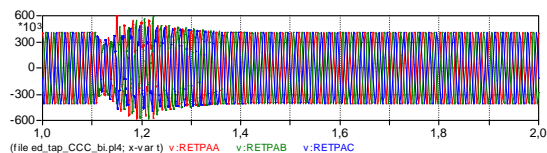


(e) Ângulo de disparo ( $\alpha$ ) do retificador, margem de comutação ( $\beta$ ) medida do inversor.

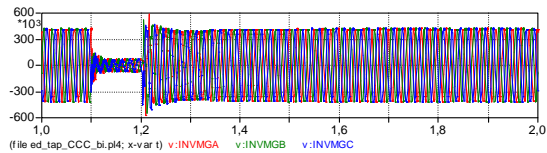
Figura 9 - Falta monofásica no lado inv. (clássico)



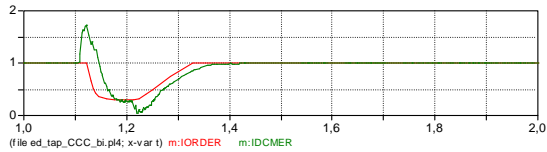
(a) Tensões AC do retificador.



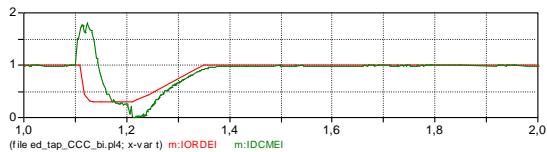
(a) Tensões AC do retificador.



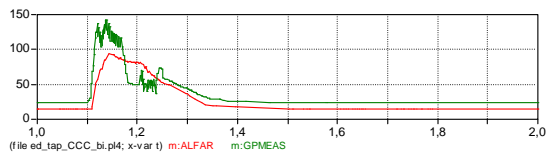
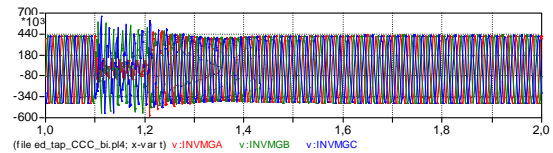
(b) Tensões AC do inversor.



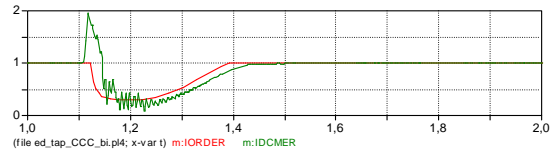
(c) Ordem de corrente e corrente DC medida do ret.



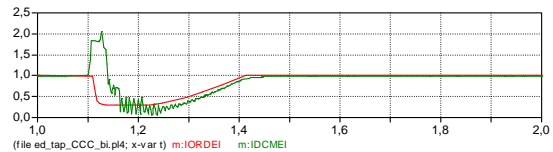
(d) Ordem de corrente e corrente DC medida do inv.

(e) Ângulo de disparo ( $\alpha$ ) do retificador, margem de comutação ( $\beta$ ) medida do inversor.

(b) Tensões AC do inversor.



(c) Ordem de corrente e corrente DC medida do ret.



(d) Ordem de corrente e corrente DC medida do inv.

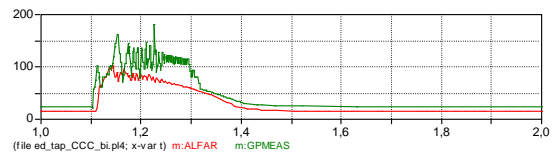
(e) Ângulo de disparo ( $\alpha$ ) do retificador, margem de comutação ( $\beta$ ) medida do inversor.

Figura 10 - Falta trifásica na rede do inversor (híbrido)

Figura 11 - Falta monofásica. na rede do inv. (híbrido)

## 6.0 - ANÁLISE DA IMUNIDADE A FALHA DE COMUTAÇÃO

A falha de operação mais comum de um inversor é a falha de comutação. Uma falha de comutação verdadeira não é devida a nenhuma falha de operação da válvula mas a condições nos circuitos AC ou DC externos a ponte tiristora em que a falha ocorre ou a controle inadequado do tempo de ignição.

Devido ao aumento da corrente, queda de tensão AC (causada por uma falta por exemplo), ignição atrasada, ou uma combinação destes, a comutação não é completada antes que a tensão alternada de comutação reverta-se. Sendo assim a corrente DC é deslocada da válvula que deveria conduzir para a válvula que iria cessar sua condução (5).

A análise da imunidade a falha de comutação neste trabalho visa as falhas de operação na ocorrência de distúrbios transitórios na rede AC, causados por faltas remotas. Diversas faltas foram aplicadas na barra NV500 do lado inversor. As faltas são modeladas através do chaveamento de impedâncias para terra por períodos de 100ms. As impedâncias possuem ângulos de 75°, 45° e 15° com a finalidade de avaliar a influência do tipo de falta na falha de comutação. Alguns casos limiares são mostrados nos itens a seguir.

### 6.1 Casos limiares para a configuração inversor LCC

Os casos limiares para inversores LCC são muito dependentes da margem de comutação nominal do HVDC e da magnitude do distúrbio, uma vez que os transitórios são rápidos e o controle não possui muito tempo para reagir aumentando a margem de comutação.

### 6.2 Casos limiares para a configuração inversor CCC

Os casos limiares para inversores CCC não são apenas dependentes da margem de comutação nominal do HVDC e da magnitude do distúrbio, mas também da dinâmica da tensão de comutação dos CCs, a qual aumenta com a variação da corrente DC durante a falta. Este fato resulta em uma tensão de comutação adicional para as válvulas, melhorando significativamente o desempenho do sistema e também a comutação principalmente durante faltas simétricas severas de baixa impedância.

O desbalanço dos CCs durante transitórios, mais evidente em faltas monofásicas, influenciam na recuperação durante a falha de comutação.

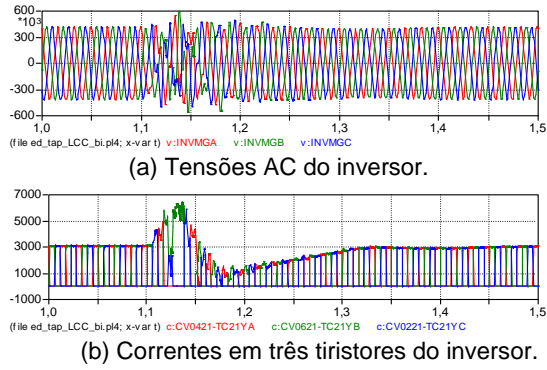


Figura 12 - LCC, falta trifásica,  $\gamma_N = 17^\circ$ ,  $Z = 370 \angle 75^\circ \Omega$

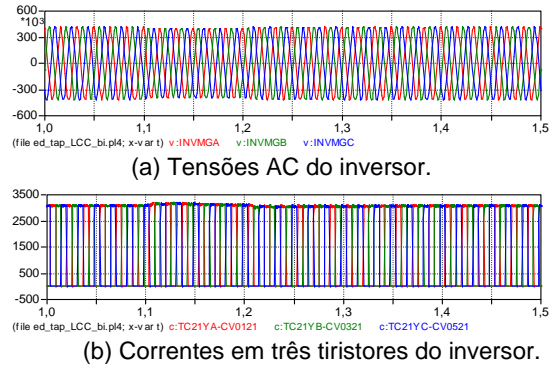


Figura 13 - LCC, falta trifásica,  $\gamma_N = 17^\circ$ ,  $Z = 380 \angle 75^\circ \Omega$

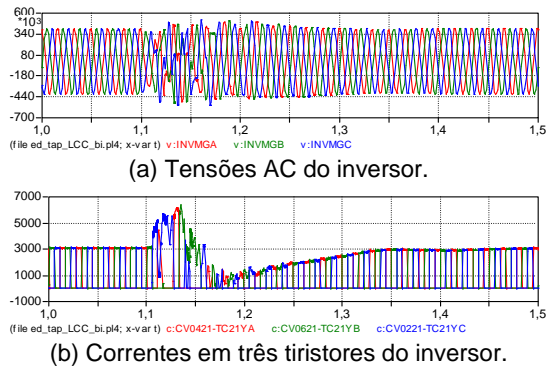


Figura 14 - LCC, falta trifásica,  $\gamma_N = 23^\circ$ ,  $Z = 130 \angle 75^\circ \Omega$

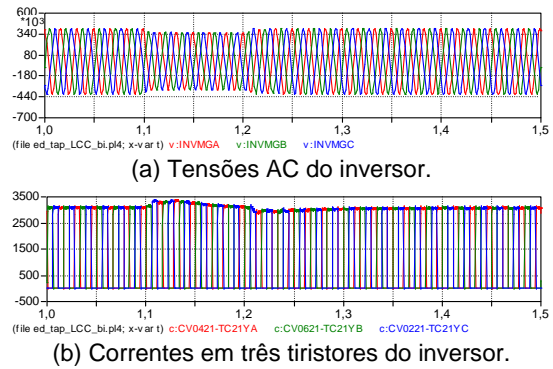


Figura 15 - LCC, falta trifásica,  $\gamma_N = 23^\circ$ ,  $Z = 140 \angle 75^\circ \Omega$

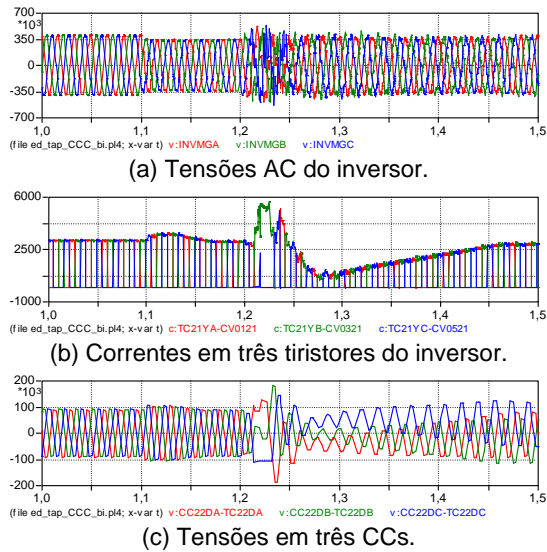


Figura 16 - CCC, falta trifásica,  $\gamma_N = 18^\circ$ ,  $Z = 70 \angle 45^\circ \Omega$

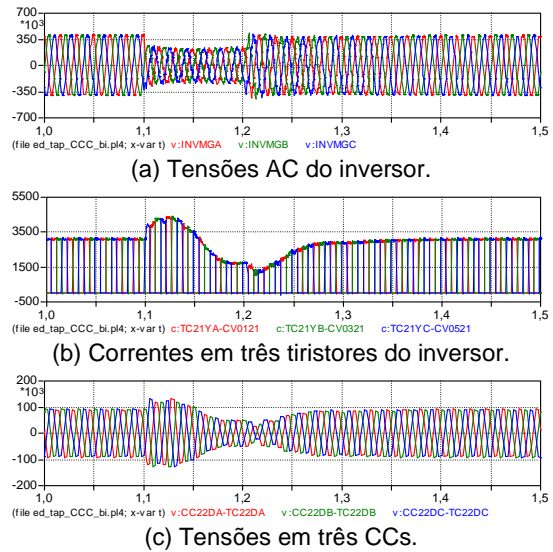
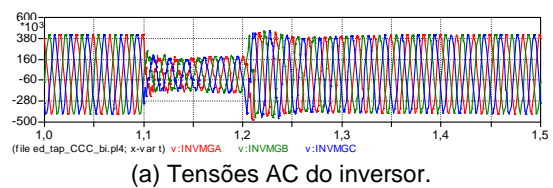
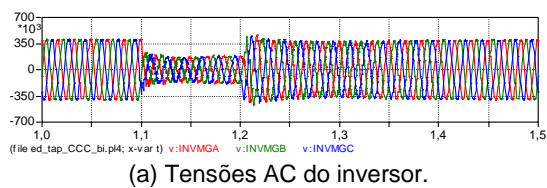


Figura 17 - CCC, falta trifásica,  $\gamma_N = 18^\circ$ ,  $Z = 20 \angle 75^\circ \Omega$





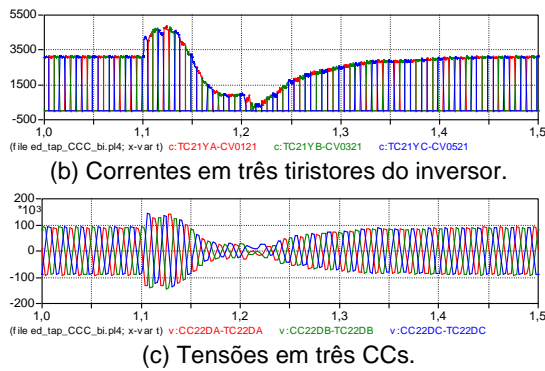


Figura 18 - CCC, falta trifásica,  $\gamma'_{N} = 18^\circ$ ,  $Z = 10 \angle 75^\circ \Omega$

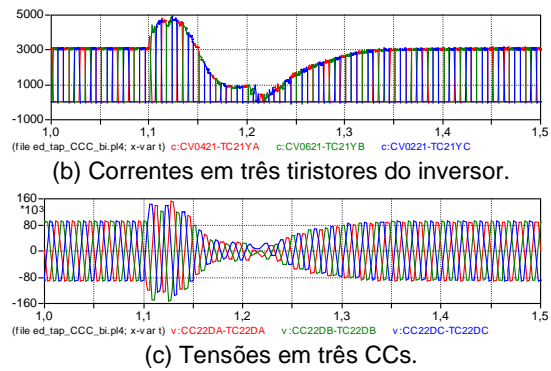


Figura 19 - CCC, falta trifásica  $\gamma'_{N} = 23^\circ$ ,  $Z = 10 \angle 75^\circ \Omega$

7.0 - RESUMO DOS RESULTADOS

Os resumos dos resultados para as topologias HVDC clássica e híbrida são mostrados na Tabela 5 e na Tabela 6, respectivamente. A impedância  $Z [\Omega]$  representa a menor impedância de falta a qual o HVDC é imune à falha de comutação, ou seja, quanto menor este valor, maior imunidade à falha de comutação é alcançada. A queda de tensão  $\Delta V [\%]$  representa a diferença entre o último pico de tensão antes da falta e o primeiro pico de tensão após a falta dividida pelo o último pico de tensão antes da falta, ou seja, quanto maior este valor, maior imunidade à falha de comutação é alcançada.

A Figura 20 e a Figura 21 mostram os resumos dos resultados de maneira gráfica, facilitando a interpretação da imunidade à falha de comutação em relação a cada configuração, topologia e tipo de falta.

Tabela 5 - Resultados da imunidade a falha de comutação para o HVDC clássico, inversor LCC.

Falt a	$\gamma'_{N}$	Ângulo da Impedância da Falta					
		75°		45°		15°	
		Z [Ω]	ΔV [%]	Z [Ω]	ΔV [%]	Z [Ω]	ΔV [%]
3F	17°	380	4.5	340	3.2	360	4.9
	23°	140	8.9	110	7.6	120	11.4
1F	17°	250	4.4	200	4.4	210	1.8
	23°	80	15.7	70	15.6	70	7.2

Tabela 6 - Resultados da imunidade a falha de comutação para o HVDC híbrido, inversor CCC.

Falt a	$\gamma'_{N}$	Ângulo da Impedância da Falta					
		75°		45°		15°	
		Z [Ω]	ΔV [%]	Z [Ω]	ΔV [%]	Z [Ω]	ΔV [%]
3F	18°	0	100 <sub>1</sub>	80 (<30) <sub>2</sub>	16.2 (100) <sub>2</sub>	160 (<10) <sub>2</sub>	12.8 (100) <sub>2</sub>
	23°	0	100 <sub>1</sub>	40 (<20) <sub>2</sub>	30.9 (100) <sub>2</sub>	90 (<10) <sub>2</sub>	9.0 (100) <sub>2</sub>
1F	18°	70	15.9	60	16.9	110	7.6
	23°	40	22.0	20	31.4	20	27.3

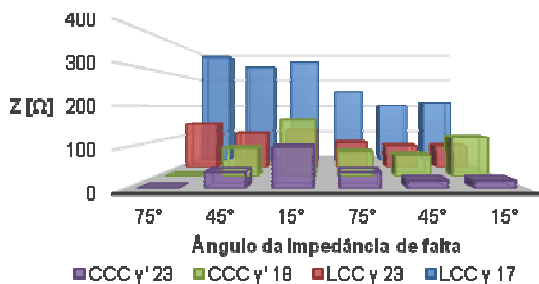


Figura 20 - Falha de comutação através da perspectiva de magnitude de impedância chaveada.

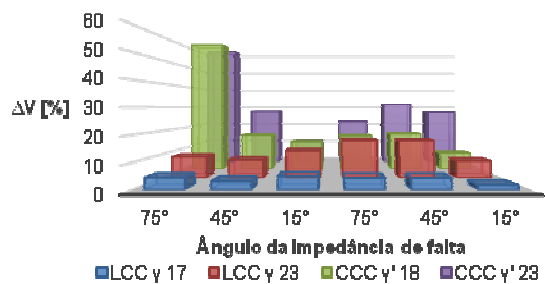


Figura 21 - Falha de comutação através da perspectiva de queda de tensão.

<sup>1</sup> Estes dados foram reduzidos para  $\Delta V [\%] = 60$  na Figura 21 para que facilitar a visualização e comparação dos demais dados.

<sup>2</sup> Os valores entre parênteses (< "valor") representam os casos em que reduzindo-se a impedância de falta evidencia-se comutação contínua durante o distúrbio portanto  $\Delta V [\%] = 100$ .

## 8.0 - CONCLUSÃO

Uma melhora significativa na falha de comutação foi apresentada para o HVDC híbrido em relação ao HVDC clássico. Uma melhora também foi apresentada para o conceito clássico através do aumento da margem de comutação de 17° para 23°. O desempenho geral é muito estável para a topologia híbrida. Os casos com margem de comutação de 23° mostraram um desempenho dinâmico expressivamente melhor em relação aos casos com margem de comutação de 18°, especialmente melhorando a imunidade a falhas de comutação para faltas na rede AC, bem como segurança às falhas de comutação durante a recuperação.

Em faltas no lado de inversores CCC o desempenho de recuperação melhora para faltas severas de baixa impedância devido ao aumento da tensão de comutação fornecida pelos CCs, o que resulta em comutação contínua durante todo o tempo de falta. Os inversores CCC apresentam baixas sobretensões de rejeição de carga devido ao menor necessidade de filtros no lado inversor em comparação com os inversores clássicos. Para o HVDC clássico as características das faltas, indutivas ou resistivas, não apresentam impacto considerável sobre a imunidade a falhas de comutação, uma vez que as magnitudes das impedâncias de falta para os casos limiares são próximas. Para o HVDC híbrido o desempenho dos inversores CCC é sensível à característica transitória do tipo de impedância, gerando perturbações mais severas no HVDC quanto mais resistiva é a falta.

## 9.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Barros, J.G.C.; Azevedo, R.M.; Carvalho, A.R.C.D.; Santo, S.E.; Gomes Júnior, S.; Lirio, F.L.; Macedo, N.J.P. ; Menzies, D.; Peixoto, C.A.O.; Ping W.W.; Luz, G.S., Interligações HVDC por Conversores com Capacitores de Comutação (C). Rio de Janeiro: Cigré Brasil, 2009 (Brochura Técnica Nacional).
- (2) Bases de dados EPE, fluxo de potência de 2015.
- (3) Bases de dados EPE, curto-circuito de 2015.
- (4) Reeve J., Baron J.A., Hanley G.A., "A Technical Assessment of Artificial Commutation of HVDC Converters with Series Capacitors", IEEE Trans on PAS, vol PAS-87, No. 10, October 1968.
- (5) Kimbark. E.W., Direct Current Transmission. 1 ed. Portland, Oregon. Livros Técnicos e Científicos. 1971. 1p.
- (6) "Alternative Transient Program (ATP) Rule Book", Leuven EMTP Center (LEC), July 1987.

## 10.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Eduardo Yada Matias** nasceu em São Paulo, São Paulo, em 1987. Possui graduação (2011) em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), com ênfase em Sistemas de Potência. Atualmente desenvolve diversos estudos para HVDCs LCCs, CCCs e VSCs focados em Coordenação de Isolamento, Sobretensões e Sobrecorrentes Transitórias, Descargas Atmosféricas e Performance Dinâmica na ABB AB em Ludvika, Suécia. Fez parte da ABB Brazil Consulting executando estudos necessários à integração e/ou modernização de sistemas elétricos existentes ao SIN atuando principalmente nos seguintes temas: HVDC, FACTS, coordenação de isolamento, simulação transitória, proteção de sistemas elétricos e aterramento.



**José Geraldo Barreto Monteiro de Andrade** nasceu em São Paulo, São Paulo, em 1974. Possui graduação (1999), mestrado (2001) e doutorado (2007) em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), com ênfase em Sistemas de Potência. Atualmente faz parte da ABB Brazil Consulting onde desenvolve diversos tipos de estudos necessários à integração e/ou modernização (inclusive através de dispositivos FACTS e HVDC) de sistemas elétricos existentes ao SIN. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência, atuando principalmente nos seguintes temas: coordenação de isolamento, simulação transitória, análise de estabilidade e proteção de sistemas elétricos



**Luiz Carlos Pereira da Silva** nasceu em Guaraí, Tocantins, em 1972. Possui graduação (1994) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Goiás (UFG), mestrado (1997) e doutorado (2001) pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Atualmente é professor associado ms5.2 da Universidade Estadual de Campinas. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Transmissão da Energia Elétrica e Distribuição da Energia Elétrica. Recebeu o prêmio de excelência acadêmica Zeferino Vaz da UNICAMP em 2012, seus interesses de pesquisa são: controle e estabilidade de sistemas de potência e geração distribuída.