



AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DINÂMICO DE COMPENSADORES ESTÁTICOS COM CONTROLE ADAPTATIVO E OPERANDO ELETRICAMENTE PRÓXIMOS EM SIMULADOR DIGITAL EM TEMPO REAL

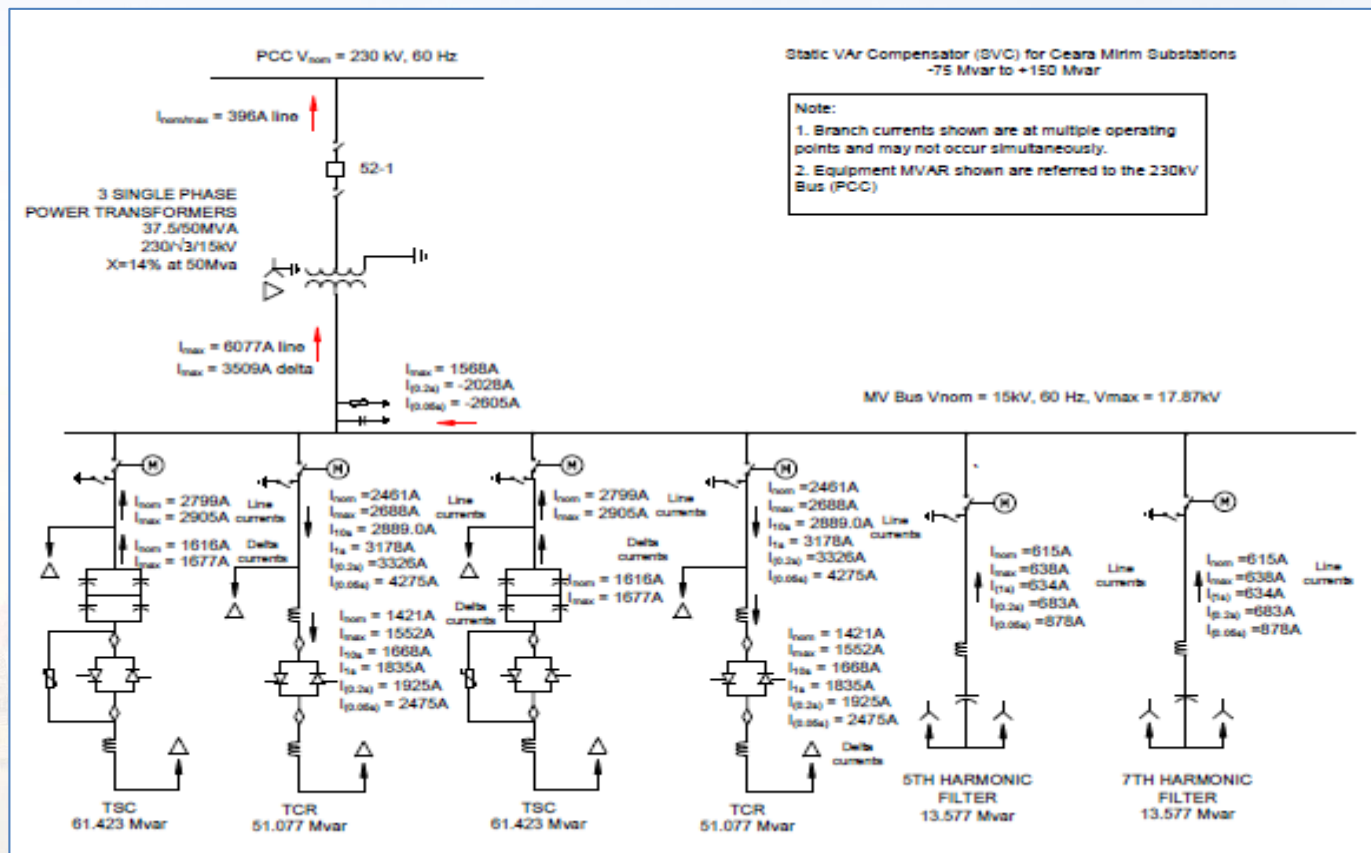
MANFREDO LIMA
CHESF (BRASIL)

PATRICIA FEINGOLD
STELLAR SOLUTIONS (USA)

JOHN SCHWARTZENBERG
GE POWER (USA)



SVC CEARÁ MIRIM: CIRCUITO PRINCIPAL



CONTROLE EM MALHA FECHADA

- ❖ Tensão de controle: produzida com base nos valores médios das tensões fase-neutro RMS da barra de 230kV.
- ❖ Sinais são quadrados e aplicados a filtros MAF PLL (Moving Average Phase Locked Loop) produzindo um sinal DC para cada fase.
- ❖ Raiz quadrada e média destes sinais produzem o valor médio quadrático das tensões AC de entrada (**3phRmsMeas**).
- ❖ Este sinal é comparado com a tensão de referencia produzindo o Sinal de Erro de Tensão (V_{ERROR}).

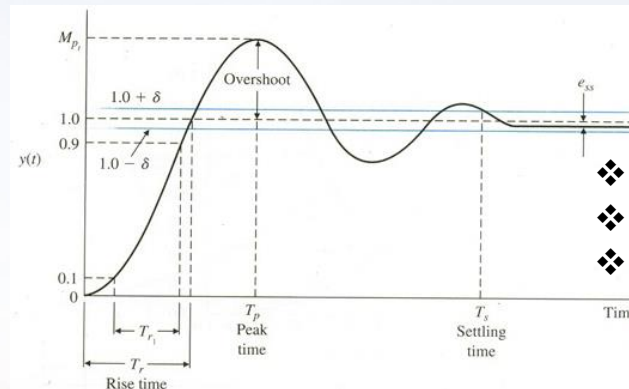
CONTROLE EM MALHA FECHADA

❖ Sequência de ganhos aplicada ao sinal V_{ERROR} :

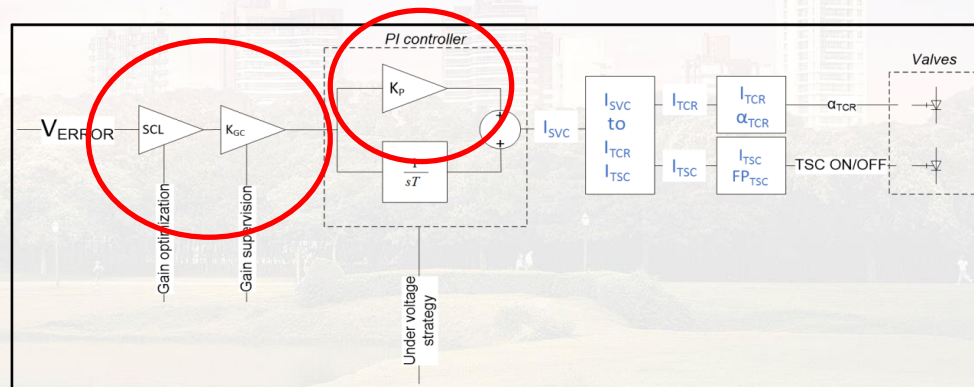
❖ **SCL** (Otimizador de Ganho – GO): Corrige V_{ERROR} com base na resposta ao degrau do SVC e na IEEE Guide Std 1031-2011.

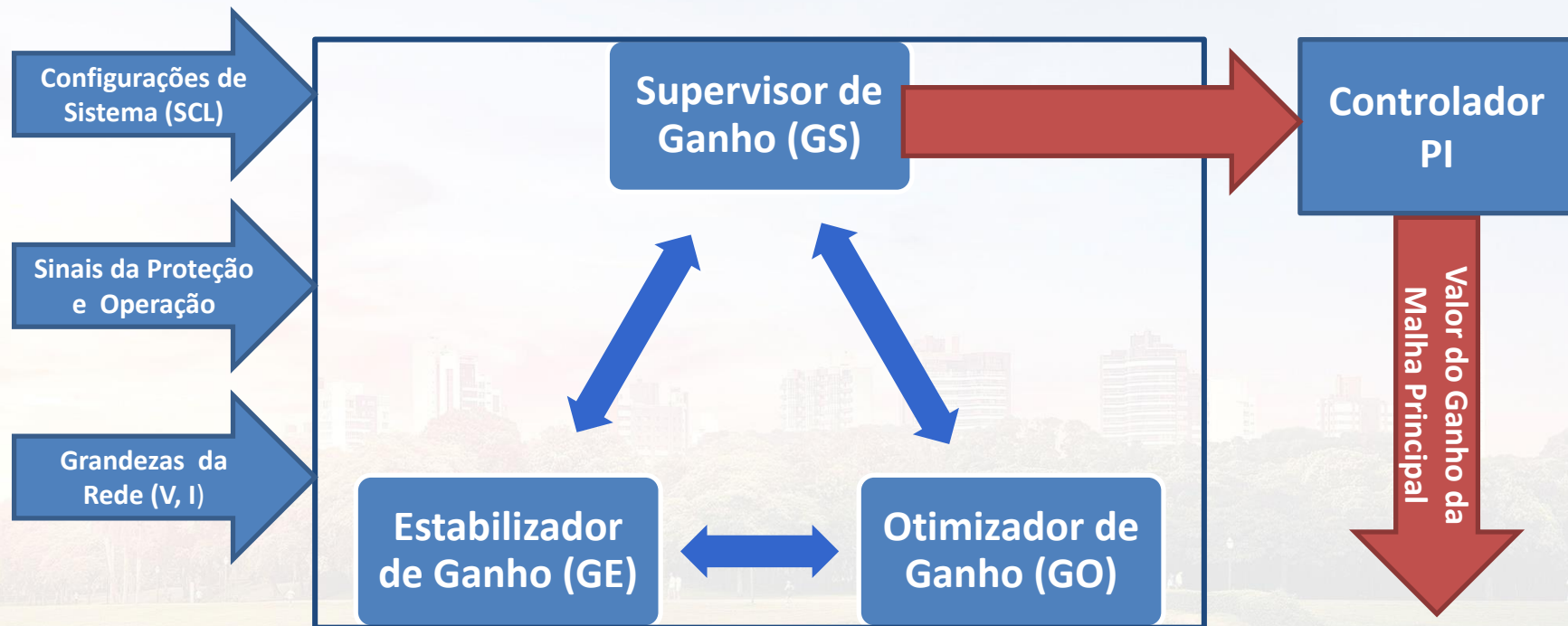
❖ **GS** (Supervisor de Ganho) garante operação satisfatória do SVC. Caso oscilações sejam detectadas no sinal de saída pelo GE, reduz K_{GC} .

❖ Malha Principal: Controlador PI (K_{GC}).



- ❖ Máximo Overshoot : 30%
- ❖ Máximo T_r : 33 ms
- ❖ Máximo T_s : 100 ms





OPERAÇÃO COORDENADA ENTRE OS SVCS CEARÁ MIRIM E EXTREMOZ

- ❖ Dois SVC operando eletricamente próximos: Para atendimento aos requisitos de desempenho, ganhos dos seus controles em malha fechada devem ser ajustados considerando a dinâmica da rede e a influência do SVC vizinho.
- ❖ Coeficiente de sensibilidade $V \times Q$: estimado através da injeção de pulso de susceptância e da medição da variação de tensão ou potência reativa resultante.
- ❖ Caso um segundo SVC opere próximo daquele cujo GO encontra-se ativo, esta medição será afetada pela resposta do segundo SVC => cálculo incorreto do ganho.
- ❖ Estratégia para contornar este problema: implementação de esquema de controle e de um link rápido de telecom entre os SVCs que operam eletricamente próximos.



OPERAÇÃO COORDENADA ENTRE SVCS CEARÁ MIRIM E EXTREMOZ

- ❖ Principais características: Algoritmo distribuído, Interface “hardwired” para troca de sinais essenciais entre os SVCs e informações adicionais transmitidas via protocolo DNP3.
- ❖ Distância elétrica de 30km entre SVCs Ceará Mirim e Extremoz SVCs: é viável considerar o mesmo SCL no 230kV para ambos os equipamentos.
- ❖ SVCs Extremoz e Ceará Mirim fornecidos por diferentes fabricantes: estratégia implementada sem a necessidade de troca de informações relativas ao cálculo dos ganhos de cada SVC.
- ❖ Estratégia preserva aspectos de confidencialidade e propriedade intelectual de cada projeto.

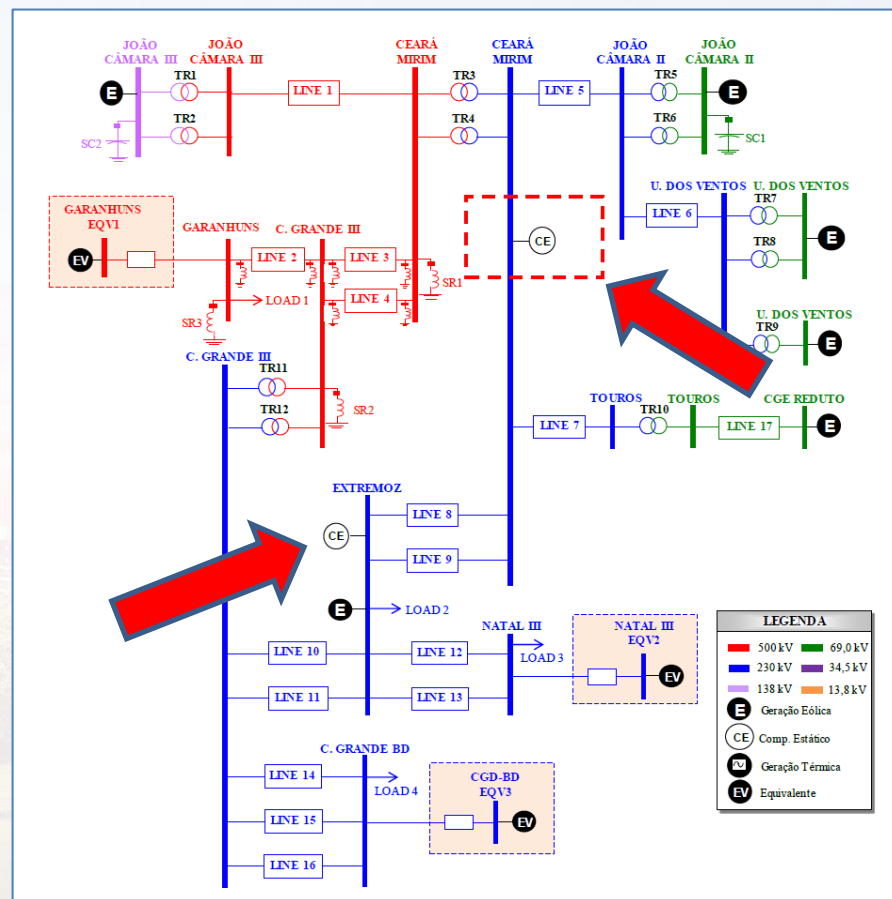
- ❖ Verificação da performance de funções associadas à operação do SVC em malha aberta e proteções (start-up, shut-down, transição entre modos de controle, redundância dos controles, religamento automático, mudança do slope).
- ❖ SCL no 230kV variado entre valores máximo (4,9 GVA) e mínimo (1,97 GVA).
- ❖ Testadas funções de proteção associadas ao controle de malha fechada (bloqueio por subtensão, desligamento de emergência, transição de automático para manual).
- ❖ Levantamento das curvas $V \times I$ e $V \times Q$ do SVC vistas do 230kV.
- ❖ Testadas as funções GO e GS, além da funcionalidade do esquema de operação coordenada entre os SVCs Ceará Mirim e Extremoz.

TESTES HIL: RESPOSTA AO DEGRAU

- ❖ Realizados variando-se os valores de slope, magnitude do degrau e tensão inicial de referência para o SVC Ceará Mirim. Para o SVC Extremoz, usado slope de 5%.
- ❖ Utilizada representação completa da rede com valores de SCL mínimo (1,97 GVA - SCL Low) e máximo (4,9 GVA - SCL High) no 230kV. SVC Extremoz operando em automático (ON) e desconectado (OFF).
- ❖ Violações observadas nos valores do Tempo de Estabelecimento (T_s) com o SVC Extremoz em automático (Casos 7, 8 e 11).
- ❖ Violação nos valores do Tempo de Estabelecimento (T_s) para testes com slope 0% (Casos 4 e 5). Não houve violações nos demais testes realizados.

Case #	SCL	SVC ETD	Slope (%)	V _{REF1} (pu)	V _{REF2} (pu)	Ts (msec)	Tr (msec)	PO (%)	V _{REF3} (pu)	Ts (msec)	Tr (msec)	PO (%)
1	Low	Off	2	0,9761	0,9957	87	19	0,28	0,9761	79	29	0,17
2	High	Off	2	0,9761	0,9957	75	25	0,13	0,9761	78	30	0,17
3	Low	Off	2	0,9761	0,9957	90	20	0,29	0,9761	97	24	0,30
4	High	Off	0	0,9850	0,9957	169	26	0,15	0,9850	121	32	0,26
5	Low	Off	0	0,9850	0,9957	117	21	0,19	0,9850	157	23	0,26
6	Low	Off	2	0,980	1,004	56	25	0,26	0,980	90	22	0,37
7	Low	On	2	0,980	1,004	128	17	0,54	0,980	134	19	0,47
8	Low	On	2	0,980	1,020	1800	23	2,94	0,980	127	11	1,14
9	High	Off	2	1,000	1,0152	60	24	0,10	1,000	89	23	0,10
10	High	On	2	1,000	1,0152	99	20	0,24	1,000	80	22	0,24
11	High	On	2	1,000	1,0261	132	24	0,86	1,000	57	17	0,16

TESTES HIL: REDE REPRESENTADA NO RTDS



TESTES HIL: PERFORMANCE EM GRANDES PERTURBAÇÕES

- ❖ Rede completa operando com níveis máximo e mínimo de SCL, SVC Extremoz em automático.
- ❖ SVC Ceará Mirim: slope 2%. SVC Extremoz: slope 5%.
- ❖ Energização de autotransformador 500/230kV, 450MVA em Ceará Mirim.
- ❖ Energização de transformador 230/69kV, 150MVA em Extremoz.
- ❖ Aplicação de faltas 1 ϕ , 2 ϕ -T e 3 ϕ -T em linhas de 230 kV e 500kV, eliminadas em 100ms com abertura da linha em falta, variando-se o terminal da falta.
- ❖ Manobra de reatores de barra 150Mvar/500kV nas subestações Ceará Mirim e Campina Grande III.

- ❖ O SVC Ceará Mirim apresentou desempenho satisfatório atendendo aos requisitos da SPEC nas condições analisadas nos testes HIL de aceitação em fábrica, cujo resumo é apresentado neste trabalho.
- ❖ Uma descrição da funcionalidade e dos testes do esquema de controle desenvolvido para possibilitar a operação conjunta coordenada entre os SVCs Ceará Mirim e Extremoz é também apresentada.
- ❖ Durante os testes apresentados neste trabalho e com os parâmetros de controle adotados, não foram registradas interações adversas entre os SVCs Ceará Mirim e Extremoz.