

ADENDO II

A-2. DADOS DO SISTEMA-TESTE DE 16 BARRAS (STB-16)

Apresentam-se aqui dados, parâmetros elétricos e modelos dinâmicos do sistema-teste de 16 barras proposto no item 3.4 desta Dissertação. No final, uma tabela com as observações acerca dos dados é apresentada.

A-2.1. Dados de Barra

Nº	Nome	Tipo	Tensão	Faixa		Área
				Max	Min	
1	Gerador-1	PV	13,8	1,050	0,950	1
2	Barra-2	PQ	345	1,080	0,950	1
3	Barra-3	PQ	345	1,080	0,950	1
4	Barra-4	PQ	230	1,070	0,950	2
5	Barra-5	PQ	230	1,070	0,950	2
6	Barra-6	PQ	230	1,070	0,950	2
7	Barra-7	PQ	230	1,070	0,950	2
8	Barra-8	PQ	230	1,070	0,950	2
9	Síncrono	PV	13,8	1,050	0,950	2
10	Barra-10	PQ	345	1,080	0,950	1
11	Barra-11	PQ	345	1,080	0,950	1
12	Barra-12	PQ	345	1,080	0,950	1
13	Barra-13	PQ	345	1,080	0,950	1
14	Barra-14	PQ	138	1,050	0,950	1
15	Barra-15	PQ	345	1,080	0,950	1
16	Gerador-2	Vθ	13,8	1,050	0,950	2

Coluna	Descrição
Nº	Número de identificação da barra.
Nome	Nome de identificação da barra.
Tipo	Corresponde ao tipo de barra a ser representado nos dados de fluxo de potência, onde: Tipo Vθ = Barra de referência ou swing Tipo PV = Barra de tensão regulada ou de geração Tipo PQ = Barra de carga
Tensão	Tensão nominal de operação da barra, em kV.
Faixa	Faixa de tensão correspondente aos níveis máximos e mínimos de tensão que a barra pode operar em regime permanente, em pu.
Área	Número de identificação da área elétrica ou subsistema ao qual a barra pertence.

A-2.2. Dados de Linha

Seqüência Positiva e Negativa									Seqüência Zero	
De	Para	Nº	Tensão	R ₊	X ₊	B	Cn	Ce	R ₀	X ₀
2	3	1	345	0,45	4,96	84,8	300	330	2,64	20,96
2	3	2	345	0,45	4,96	84,8	300	330	2,64	20,96
3	12	1	345	0,24	2,64	45,05	300	330	2,40	7,77
3	15	1	345	0,79	8,38	30,63	200	220	7,70	30,73
3	15	2	345	0,79	8,38	30,63	200	220	7,70	30,73
4	5	1	230	0,69	7,37	26,95	200	220	7,79	30,05
4	5	2	230	0,69	7,37	26,95	200	220	7,79	30,05
5	6	1	230	0,50	5,36	19,6	200	220	5,53	15,19
6	7	1	230	0,60	6,37	23,28	200	220	5,03	18,09
7	8	1	230	0,47	5,03	18,38	200	220	2,48	12,90
10	11	1	345	0,34	3,72	63,6	300	330	3,60	14,0
11	12	1	345	0,39	4,34	74,2	300	330	2,30	18,27
12	13	1	345	0,22	2,48	42,4	300	330	2,40	7,77
12	13	2	345	0,22	2,48	42,4	300	330	2,40	7,77

Impedância Mútua entre Linhas									
Linha 1				Linha 2				R _M	X _M
De	Para	Nº	Tensão	De	Para	Nº	Tensão		
2	3	1	345	2	3	2	345	2,57	13,72
4	5	1	230	4	5	2	230	3,32	4,86
3	15	1	345	3	15	2	345	11,82	20,94
12	13	1	345	12	13	2	345	2,01	10,67

Coluna	Descrição
De	Número de identificação da barra de origem.
Para	Número de identificação da barra de destino.
Nº	Número de identificação do circuito.
Tensão	Tensão nominal de operação do circuito, em kV.
R ₊	Resistência equivalente de seqüência positiva do circuito, em %.
X ₊	Reatância equivalente de seqüência positiva do circuito, em %.
B	Susceptância shunt total do circuito, em Mvar.
Cn	Capacidade de carregamento do circuito em condições normais de operação, em MVA.
Ce	Capacidade de carregamento do circuito em condições de emergência, em MVA.
R ₀	Resistência equivalente de seqüência zero do circuito, em %.
X ₀	Reatância equivalente de seqüência zero do circuito, em %.
Linha 1	Primeira linha de transmissão ou circuito um no caso de circuitos paralelos.
Linha 2	Segunda linha de transmissão ou circuito dois no caso de circuitos paralelos.
R _M	Parte resistiva da impedância mútua (seqüência zero do circuito), em %.
X _M	Parte reativa da impedância mútua (seqüência zero do circuito), em %.

A-2.3. Dados de Transformadores

Seqüência Positiva e Negativa											Seqüência Zero
De	Para	Nº	RT	Ligação	Pot	X ₊	Tap	Faixa			X ₀
								Min	Max	Pos	
1	2	1	13,8/345	Delta/Estrela aterrado	260	3,0	1,0	1,0	1,0	1	2,73
1	2	2	13,8/345	Delta/Estrela aterrado	260	3,0	1,0	1,0	1,0	1	2,73
3	14	1	345/138	Estrela aterrado/Estrela aterrado	165	8,33	*	0,90	1,10	21	7,56
9	8	1	13,8/230	Delta/Estrela aterrado	190	12,5	1,0	1,0	1,0	1	11,17

Seqüência Positiva e Negativa											Seqüência Zero
De	Para	Nº	RT	Ligação	Pot	X ₊	Tap	Faixa			X ₀
								Min	Max	Pos	
10	8	1	345/230	Estrela aterrado/Estrela aterrado	260	10,0	*	0,90	1,10	21	9,26
15	4	1	345/230	Estrela aterrado/Estrela aterrado	300	6,67	*	0,90	1,10	21	5,14
16	6	1	13,8/230	Delta/Estrela aterrado	150	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	4,03
16	6	2	13,8/230	Delta/Estrela aterrado	150	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	4,03
16	6	3	13,8/230	Delta/Estrela aterrado	150	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	4,03

Tabela das derivações de tapes em pu																				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10

Coluna	Descrição
De	Número de identificação da barra de origem.
Para	Numero de identificação da barra de destino.
Nº	Número de identificação da unidade transformadora.
RT	Relação de transformação da unidade transformadora, em kV.
Ligação	Forma de ligação dos enrolamentos da unidade transformadora no sistema.
Pot	Potência nominal da unidade transformadora, em MVA.
X ₊	Reatância equivalente de seqüência positiva da unidade transformadora, em %.
Tap	Valor definido do tape da unidade transformadora para operação em tape fixo, em pu.
Faixa Min	Valor mínimo que o tape da unidade transformadora pode assumir para transformadores com variação automática de tape, em pu.
Faixa Max	Valor máximo que o tape da unidade transformadora pode assumir para transformadores com variação automática de tape, em pu.
Pos	Número de posições entre tape mínimo e tape máximo para transformadores de tape variável.
X ₀	Reatância equivalente de seqüência zero da unidade transformadora, em %.

A-2.4. Dados de Carga

Barra	Patamares de Carga					
	Pesada		Média		Leve	
	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar
3	47	31	41	26	26	16
4	106	70	90	60	58	39
5	31	20	26	17	16	11
6	17	12	14	10	10	7
7	15	14	14	12	9	8
8	39	24	33	21	21	13
10	42	30	35	25	23	16
11	40	28	34	23	22	15
12	101	56	86	47	56	31
13	59	34	51	29	33	19
14	57	39	48	33	32	21
Total	554	358	472	303	306	196

A-2.5. Dados de Equipamentos de Controle de Tensão

Capacitores Shunt						
Barra	Nome	Tensão	Nº	Potência	Total	Manobrável
10	Barra-10	345	1	20	20	Sim
Total			1		20	

Reatores Shunt						
Barra	Nome	Tensão	Nº	Potência	Total	Manobrável
3	Barra-3	345	1	90	90	Sim
11	Barra-11	345	1	30	30	Sim
13	Barra-13	345	1	30	30	Sim
Total			3		150	

Coluna	Descrição
Barra	Número de identificação da barra que o equipamento está conectado.
Nome	Nome de identificação da barra que o equipamento está conectado.
Tensão	Tensão nominal do equipamento, em kV.
Nº	Quantidade de equipamentos.
Potência	Potência nominal gerada por equipamento, em Mvar.
Total	Potência total gerada, em Mvar.
Manobrável	Indica a existência ou não de disjuntor para chaveamento do equipamento, ou seja, se o equipamento é manobrável através de disjuntor.

A-2.6. Dados de Máquinas

Geração de Potência Ativa (MW)				
Barra	Nome	Nº de Máquinas	Geração Máxima por Máquina	Geração Máxima Total
1	Gerador-1	1	380	380
16	Gerador-2	3	126	378
	Total			758

Geração e Absorção de Reativos das Máquinas (Mvar)						
Barra	Nome	Nº de Máquinas	Absorção		Geração	
			Por Máquina	Total	Por Máquina	Total
1	Gerador-1	1	180	180	180	180
9	Síncrono	1	50	50	70	70
16	Gerador-2	3	60	180	60	180
	Total			410		430

A-2.7. Modelo e Dados de Geradores

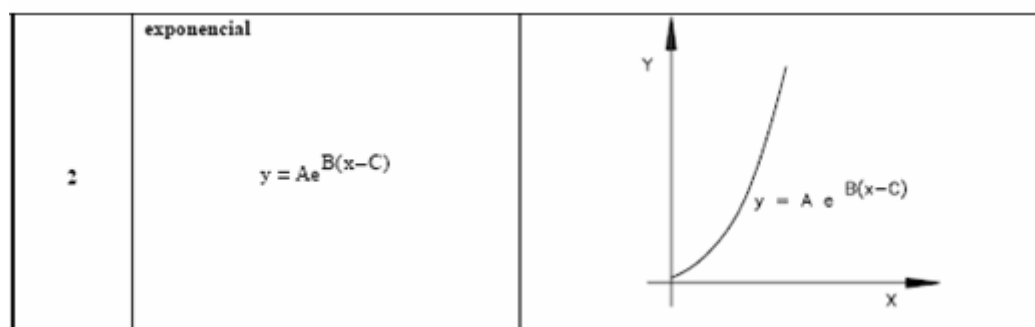
Nota: O modelo de gerador utilizado foi o MD02 do programa ANATEM [14] para pólos salientes que utiliza um enrolamento de campo e dois enrolamentos amortecedores, sendo um no eixo direto e outro no eixo em quadratura.

Bar	Nome	Nº	Xd	Xq	X'd	X''d	Xl	T'd	T''d	T''q	H	P	FP	T
1	Gerador-1	1	100,0	69,0	30,0	20,0	14,0	5,7	0,060	0,160	4,910	422	0,9	H
9	Síncrono	1	198,0	125,0	43,0	25,0	17,7	9,2	0,093	0,041	1,270	70	-	-
16	Gerador-2	3	102,0	67,0	32,0	28,0	18,0	6,29	0,07	0,17	2,17	140	0,9	H

Coluna	Descrição
Bar	Número de identificação da barra onde está ligada a unidade geradora.
Nome	Número da unidade geradora.
Nº	Número de unidades geradoras da usina.
Xd	Reatância síncrona de eixo direto por máquina, em %.
Xq	Reatância síncrona de eixo em quadratura por máquina, em %.
X'd	Reatância transitória de eixo direto por máquina, em %.
X''d	Reatância subtransitória de eixo direto por máquina, em %.
Xl	Reatância de dispersão da armadura por máquina, em %.
T'd	Constante de tempo transitória de eixo direto em circuito aberto, em segundos.
T''d	Constante de tempo subtransitória de eixo direto em circuito aberto, em segundos.
T''q	Constante de tempo subtransitória de eixo em quadratura em circuito aberto, em segundos.
H	Constante de inércia, em segundos. Representa a relação entre a energia cinética armazenada no grupo turbina-gerador, à velocidade síncrona, e a potência aparente nominal da máquina.
P	Potência aparente nominal da unidade geradora, em MVA, usada como base para os parâmetros.
FP	Fator de potência da unidade geradora.
T	Tipo de fonte de energia da usina: H= Hidráulica e T=Térmica

Curva de Saturação					
Núm	Máq	Tipo	Y1	Y2	X1
1	Gerador-1	2	0,0248	6,6089	0,8
2	Gerador-2	2	0,02529	7,5413	0,8
3	Síncrono	2	0,019	8,371	0,8

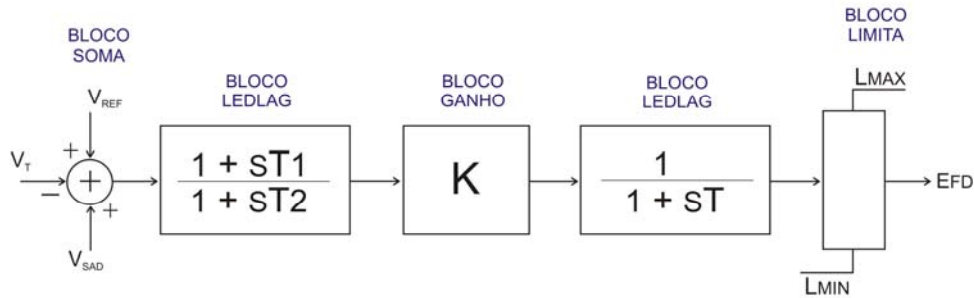
Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação da curva de saturação.
Máq	Nome da unidade geradora.
Tipo	Indica o tipo de equação usada para curva de saturação. Tipo 2 corresponde a uma exponencial (ver figura abaixo).
Y1	Valor do parâmetro A, em pu.
Y2	Valor do parâmetro B, em pu.
X1	Valor do parâmetro C, em pu.



Equação e curva de saturação

A-2.8. Modelo e Dados do Sistema de Controle de Excitação - Regulador de Tensão

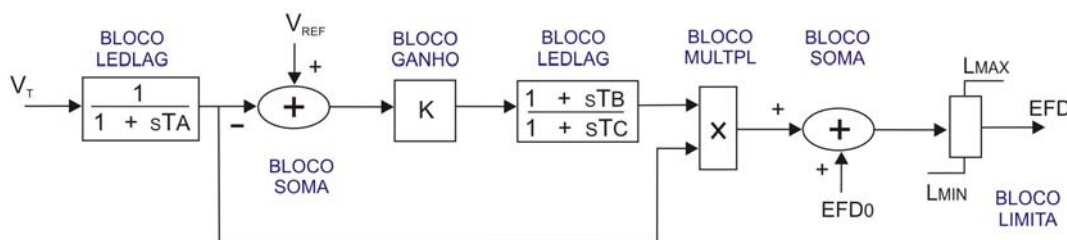
Nota-1: O modelo de regulador de tensão utilizado nos geradores foi baseado no modelo MD02 do programa ANATEM [14], e corresponde a um sistema de excitação estática [15] com dois blocos “avanço-atraso”, conforme o diagrama de blocos mostrado na figura a seguir:



Parâmetros do Regulador de Tensão							
Núm	Máq	K	T	T1	T2	Lmax	Lmin
11	Gerador-1	50	0,003	1,0	5,0	5	-4
12	Gerador-2	50	0,003	1,0	5,0	5	-4

Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação do modelo de regulador de tensão usado no arquivo de dados.
Máq	Nome da unidade geradora.
K	Ganho do sistema de excitação, em pu/pu.
T	Constante de tempo efetiva na ação de regulação de tensão, em segundos.
T1	Constante de tempo de avanço do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
T2	Constante de tempo de atraso do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
Lmax	Limite superior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Lmin	Limite inferior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Vt	Sinal de entrada do regulador de tensão, em pu.
Vsad	Sinal estabilizador aplicado no regulador de tensão, em pu.
Vref	Sinal de referência, em pu.
Efd	Tensão de campo da máquina, em pu.

Nota-2: O modelo de regulador de tensão utilizado para o compensador síncrono corresponde a um modelo de excitação estática, utilizado na máquina de Salto Caxias do sistema elétrico brasileiro, conforme o diagrama de blocos mostrado na figura a seguir:

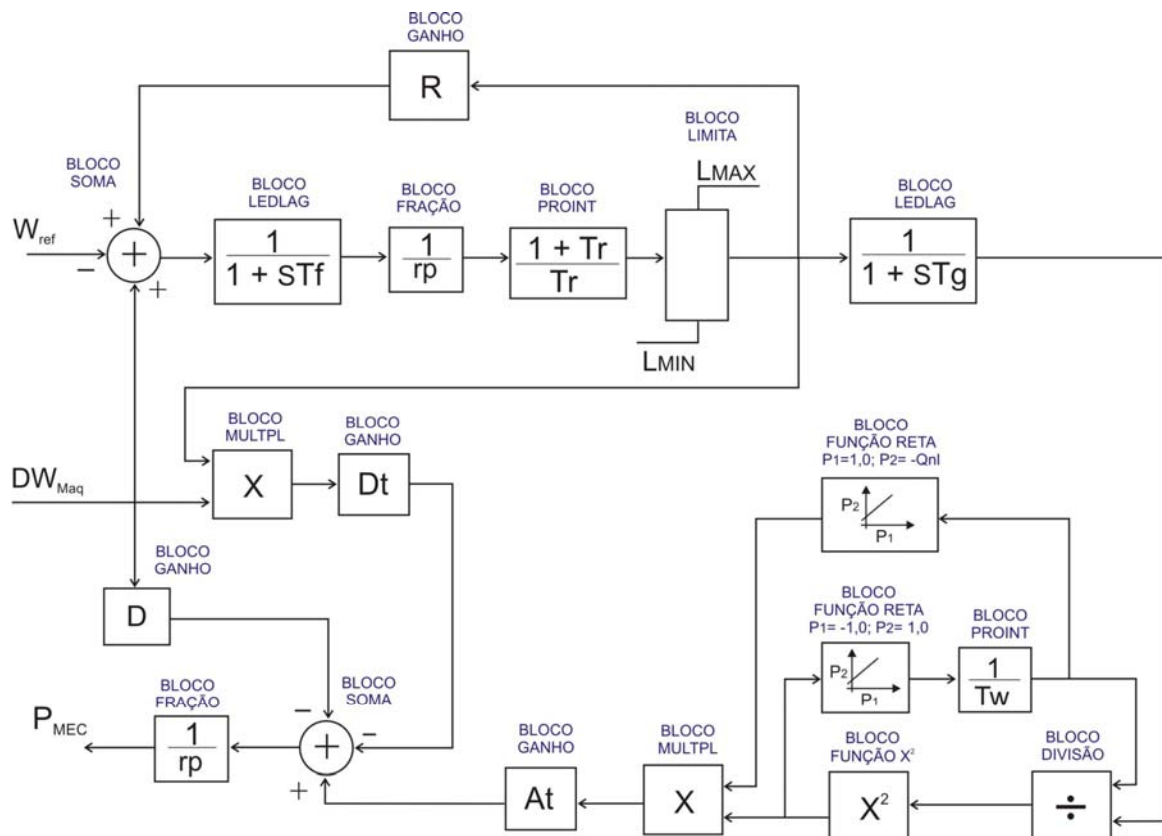


Parâmetros do Regulador de Tensão							
Núm	Máq	K	TA	TB	TC	Lmax	Lmin
13	Síncrono	200	0,016	1,2	6,0	4	-3,4

Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação do modelo de regulador de tensão usado no arquivo de dados.
Máq	Nome da unidade geradora.
K	Ganho do sistema de excitação, em pu/pu.
TA	Constante de tempo do transdutor de tensão, em segundos.
TB	Constante de tempo de avanço do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
TC	Constante de tempo de atraso do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
Lmax	Limite superior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Lmin	Limite inferior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Vt	Sinal de entrada do regulador de tensão, em pu.
Vref	Sinal de referência, em pu.
Efd	Tensão de campo da máquina, em pu.
Efd0	Valor inicial da tensão de campo da máquina, em pu.

A-2.9. Modelo e Dados do Sistema de Controle de Velocidade e Turbina - Regulador de Velocidade

Nota: Foi utilizado o modelo de regulador de velocidade da UHE Furnas que consta no banco de dados dinâmicos do SIN e corresponde ao modelo 10 (PTI Padrão) conforme o diagrama de blocos mostrado na figura a seguir:

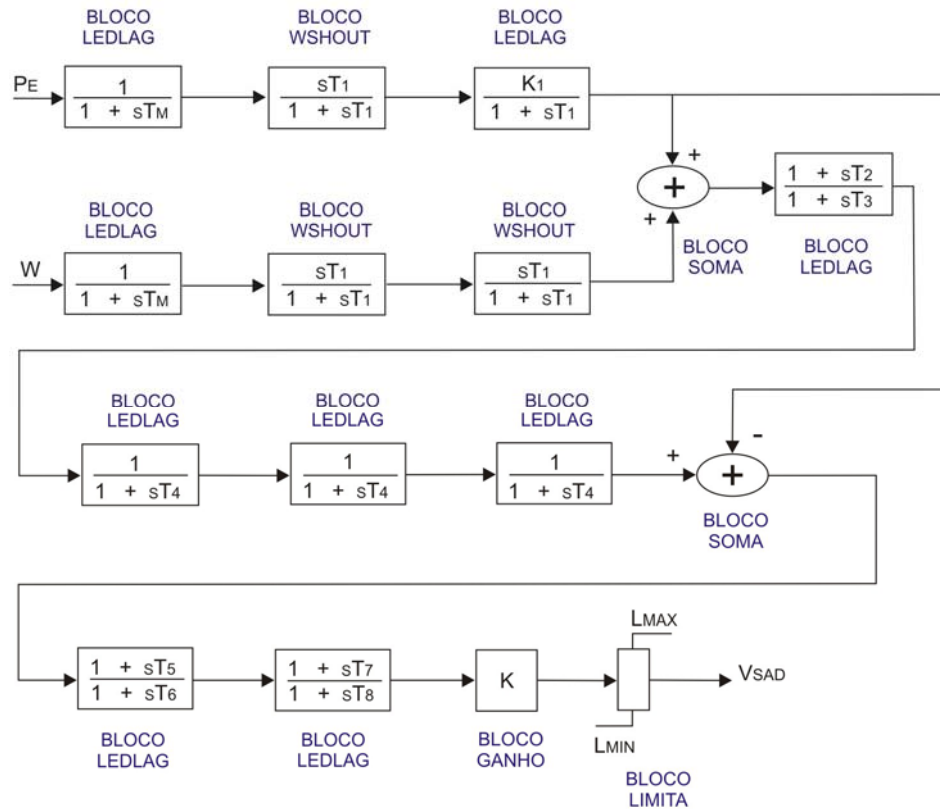


Parâmetros do Regulador de Velocidade															
Núm	Máq	At	D	Dt	Lmax	Lmin	PBmaq	Pbtur	Qnl	R	rp	Tf	Tg	Tr	Tw
21	Gerador-1	1,2	1,0	0,5	0,984	0,0	422	422	0,15	0,05	0,38	0,05	0,5	7,0	1,5
22	Gerador-2	1,2	1,0	0,5	0,984	0,0	140	140	0,15	0,05	0,38	0,05	0,5	7,0	1,5

Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação do modelo de regulador de tensão usado no arquivo de dados.
Máq	Nome da unidade geradora
At	Ganho da turbina, em pu/pu.
D	Fator de amortecimento da carga, em pu
Dt	Fator de amortecimento da turbina, em pu
Lmax	Limite superior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Lmin	Limite inferior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
PBmaq	Potência base do gerador, em MVA.
PBtur	Potência base da turbina em MW.
Qnl	Vazão sem carga, em pu.
R	Estatismo permanente, em pu.
rp	Estatismo transitório, adimensional.
Tf	Constante de tempo de filtragem, em segundos.
Tg	Constante de tempo do servomotor, em segundos.
Tr	Constante de tempo do regulador, em segundos.
Tw	Constante de tempo da água, em segundos.
Wref	Sinal de referência, em pu.
DWmaq	Desvio da velocidade angular da máquina, em pu.
PMEC	Potência mecânica da máquina, em pu na base da máquina.

A-2.10. Modelo e Dados do Sistema Estabilizador (PSS) Aplicado ao Regulador de Tensão

Nota: O modelo de estabilizador utilizado foi o MD11 do programa ANATEM [14], que apresenta duas entradas de sinal: velocidade ou frequência e potência elétrica, conforme o diagrama de blocos mostrado na figura a seguir:



Parâmetros do Estabilizador (PSS)														
Num	Máq	K	K1	TM	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Lmax	Lmin
31	Gerador-1	2,0	0,31	0,02	3,0	0,4	0,1	0,1	0,2	0,04	0,36	0,12	0,1	-0,1
32	Gerador-2	2,0	0,69	0,02	3,0	0,4	0,1	0,1	0,2	0,04	0,36	0,12	0,1	-0,1

Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação do modelo de estabilizador aplicado em regulador de tensão.
Máq	Nome da unidade geradora.
K	Ganho do sistema de excitação, em pu/pu.
K1	Constante dada pela relação de T1 dividido por 2H.
TM	Filtro de transdução, em segundos.
T1	Valor de reset, em segundos.
T2, T3	Constante de tempo efetiva na ação de regulação de tensão, em segundos.
T4	Constante de tempo do rastreador de rampa, em segundos.
T5, T7	Constante de tempo de avanço do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
T6, T8	Constante de tempo de atraso do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
Lmax	Limite superior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Lmin	Limite inferior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
W	Desvio da velocidade angular da máquina, em pu.
PE	Potência elétrica ativa gerada pela máquina, em pu na base da máquina.
VSAD	Sinal estabilizador aplicado no regulador de tensão, em pu.

Observações	
(i)	Os valores em por cento (%) corresponde ao valor em pu multiplicado por 100.
(ii)	Os parâmetros estão referenciados a potência base do sistema, igual a 100 MVA, e a tensão nominal.
(iii)	Todas as linhas de transmissão suportam uma sobrecarga de até 10% por um tempo máximo de 60 minutos. Este valor corresponde ao limite de curta duração que é determinado pela capacidade física do equipamento e de seus respectivos acessórios na condução de corrente.
(iv)	Todas as linhas de transmissão são do tipo aérea.
(v)	Os transformadores elevadores das usinas estão ligados em Delta no lado de baixa (usina) e Estrela Aterrada no lado de alta tensão (linha).
(vi)	Todos os transformadores possuem dois enrolamentos e suportam uma sobrecarga de até 10% por um tempo máximo de 30 minutos.
(vii)	(*) Indica que o valor do tape é variável e depende do ponto de operação. Não desejando que ele varie, pode-se fixá-lo num determinado valor dentro da faixa de operação, conforme tabela de tapes.
(viii)	As reatâncias dos transformadores correspondem ao valor de XPS para representação em fluxo de potência.
(ix)	As variações de tensão nas barras provocadas por chaveamento de reatores ou capacitores não deverão exceder a 10% dos níveis estabelecidos.

* * *