

7

Análise do Efeito do Controle de Tensão com Compensadores Estáticos de Reativos (CER) em um Sistema-Teste de 39 Barras, em Regime Permanente e Dinâmico

7.1

Introdução

Neste capítulo, para comprovar a possibilidade de ocorrência de fenômenos associados à estabilidade de tensão, serão simulados eventos associados ao controle de tensão, utilizando um compensador estático de potência reativa. Será avaliado o efeito de ações de controle em regime permanente e no domínio do tempo.

O sistema a ser utilizado é o *New England* IEEE-39 barras, com 10 geradores e 12 transformadores, modificado com a inserção de um CER na barra 16. O diagrama unifilar deste sistema está mostrado na Figura 7.1.

Para efeito de testes, será alterada a tensão de referência da barra 16, barra onde está conectado o compensador e é controlada por ele, e observada a resposta do compensador estático. É esperado que, ao aumentar a tensão de referência da barra em questão, o CER aumente sua susceptância equivalente.

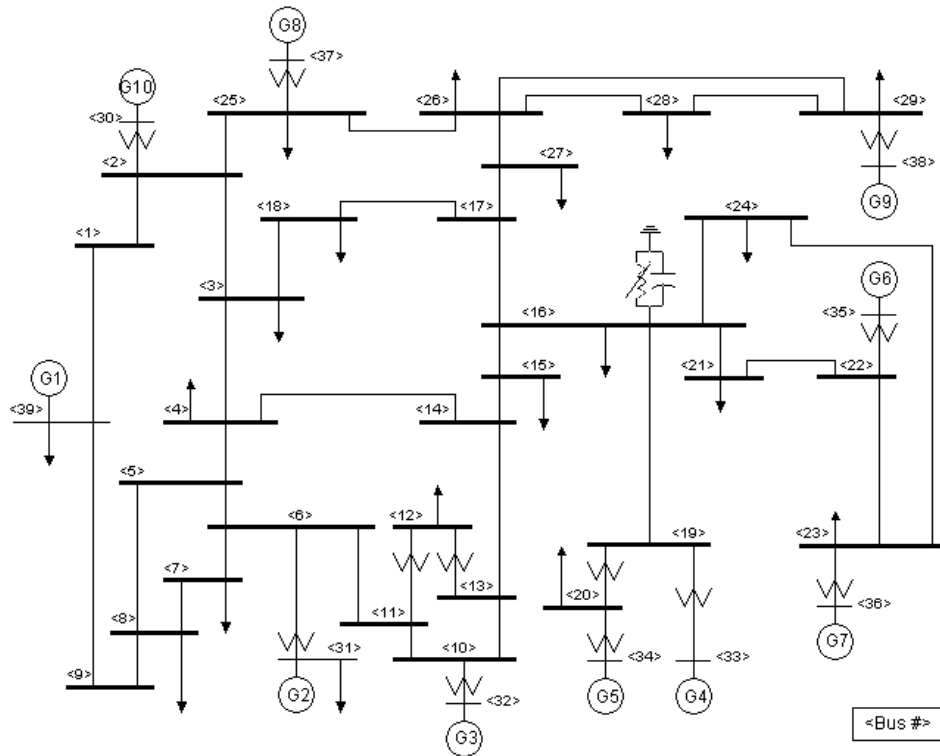


Figura 7.1 – Diagrama unifilar do sistema-teste de IEEE-39 barras *New England*

Os parâmetros das linhas e transformadores estão apresentados na Tabela 7.1 e na Tabela 7.2.

Tabela 7.1 – Dados dos circuitos CA do sistema-teste de 39 barras

Barra DE	Barra PARA	Nº do circuito	Resistência (%)	Reatância (%)	Susceptância (Mvar)
1	2	1	0,35	4,11	69,9
1	39	1	0,10	2,50	75,0
2	3	1	0,13	1,51	25,7
2	25	1	0,70	0,86	14,6
3	4	1	0,13	2,13	22,1
3	18	1	0,11	1,33	21,4
4	5	1	0,08	1,28	13,4
4	14	1	0,08	1,29	13,8
5	6	1	0,02	0,26	4,3
5	8	1	0,08	1,12	14,8
6	7	1	0,06	0,92	11,3
6	11	1	0,07	0,82	13,9
7	8	1	0,04	0,46	7,8
8	9	1	0,23	3,63	38,0
9	39	1	0,10	2,50	120,0
10	11	1	0,04	0,43	7,3
10	13	1	0,04	0,43	7,3
13	14	1	0,09	1,01	17,2
14	15	1	0,18	2,17	36,6
15	16	1	0,09	0,94	17,1
16	17	1	0,07	0,89	13,4
16	19	1	0,16	1,95	30,4
16	21	1	0,08	1,35	25,5
16	24	1	0,03	0,59	6,8
17	18	1	0,07	0,82	13,2
17	27	1	0,13	1,73	32,2
21	22	1	0,08	1,40	25,7
22	23	1	0,06	0,96	18,5
23	24	1	0,22	3,50	36,1
25	26	1	0,32	3,23	51,3
26	27	1	0,14	1,47	24,0
26	28	1	0,43	4,74	78,0
26	29	1	0,57	6,25	102,9
28	29	1	0,14	1,51	24,9

Tabela 7.2 – Dados dos transformadores do sistema-teste de 39 barras

Barra DE	Barra PARA	Nº do circuito	Resistência (%)	Reatância (%)	Tape
2	30	1	0,00	1,81	1,025
6	31	1	0,00	2,50	1,070
10	32	1	0,00	2,00	1,070
11	12	1	0,16	4,35	1,006
12	13	1	0,16	4,35	1,006
19	20	1	0,07	1,38	1,060
19	33	1	0,07	1,42	1,070
20	34	1	0,09	1,80	1,009
22	35	1	0,00	1,43	1,025
23	36	1	0,05	2,72	1,000
25	37	1	0,06	2,32	1,025
29	38	1	0,08	1,56	1,025

O CER utilizado nas simulações em regime permanente é próximo ao ideal, com X_{SL} igual a 0,001%. Desta forma, baseado em (4.6), na página 73.

$$X_{SL} = \frac{V_{\min} - V_{\max}}{I_{\max} - I_{\min}} \approx 0 \quad (7.1)$$

X_{SL} é a inclinação (negativa) da reta de controle do CER, conforme Figura 4.4 e Figura 4.5.

Aplicando em (4.9):

$$V_{cont} - V_{esp} - X_{SL} I = 0 \Rightarrow V_{cont} \approx V_{esp} \quad (7.2)$$

Operando com seus limites máximo e mínimo abertos, o CER estará sempre na região controlada, controlando a tensão da barra 16.

O modo de controle adotado foi potência gerada e a modelagem de carga utilizada nas simulações em regime permanente e também no regime dinâmico foi 100% P^{cte} .

Para as simulações no domínio do tempo, os geradores foram modelados como barra infinita ou sem regulador de tensão, a fim de não haver sobreposição de controles. Foram utilizados dois modelos para o CER: o único pré-definido

(*built-in*) do programa computacional ANATEM e um customizado, cujos diagramas de blocos estão mostrados na Figura 7.2 e na Figura 7.3.

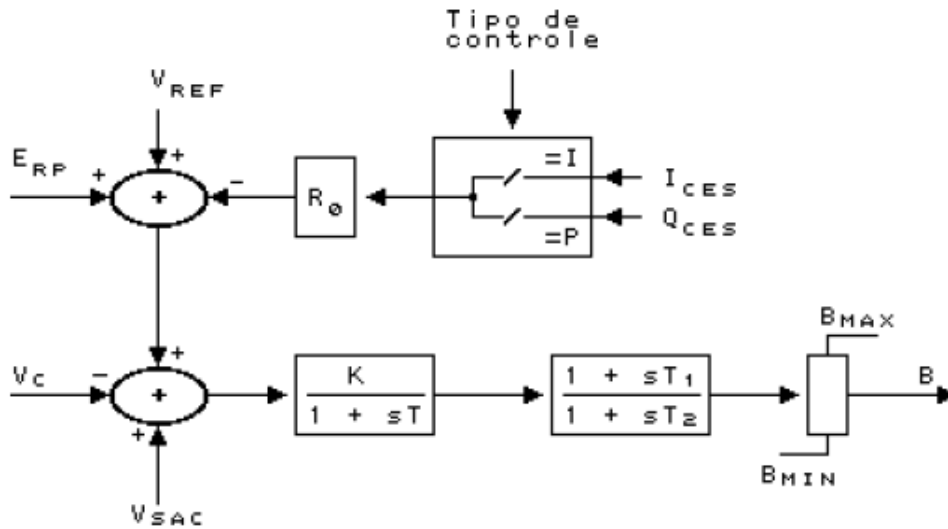


Figura 7.2 – Modelo *built-in* para simulação dinâmica do CER

onde:

- i. V_c é tensão da barra controlada pelo CER (pu);
- ii. V_{sac} é o sinal estabilizador aplicado no CER (pu);
- iii. V_{ref} é tensão de referência (valor desejado para a tensão da barra controlada) (pu);
- iv. B_{min} é susceptância mínima total do CER (pu);
- v. B_{max} é susceptância máxima total do CER (pu);
- vi. B é susceptância total do CER (pu);
- vii. R_0 é o estatismo do CER, em pu de tensão / pu de potência;
- viii. I_{ces} é a corrente injetada pelo CER (pu) – positiva se operando na faixa capacitiva – apenas para o modo de corrente;
- ix. Q_{ces} é a potência reativa injetada pelo CER (pu) – positiva se operando na faixa capacitiva;
- x. E_{rp} é o sinal adicional (pu) para fechamento das condições iniciais do fluxo de potência.

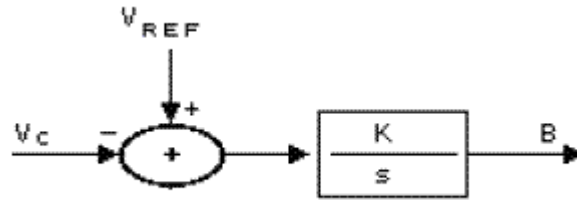


Figura 7.3 – Modelo customizado para simulação dinâmica do CER

- i. V_c é tensão da barra controlada pelo CER (pu);
- ii. V_{ref} é tensão de referência (valor desejado para a tensão da barra
- iii. B é susceptância total do CER (pu);

7.2

Análise em Regime Permanente

A análise em regime permanente serve para verificar a região de operação na qual se encontram os pontos testados e ainda fornecer o ponto de operação inicial para a análise dinâmica.

7.2.1

Regiões Normal e Anormal de Operação

Para esta simulação, foi utilizado o ponto de operação da Tabela 7.3. Foram feitas alterações na tensão controlada pelo CER na barra 16 e obtidos os pontos de operação da Tabela 7.4, onde está mostrada a variação da potência do CER, do módulo da tensão na barra 16 e a susceptância do compensador. A Figura 7.4 apresenta graficamente os valores da Tabela 7.4.

Tabela 7.3 – Ponto de operação inicial

Barra	Tensão (pu)	Ângulo (°)	Geração (MW)	Geração (Mvar)	Carga (MW)	Carga (Mvar)
1	0,966	-17,0	-	-	-	-
2	0,933	-28,0	-	-	-	-
3	0,915	-35,0	-	-	338,40	2.522,00
4	0,896	-35,0	-	-	525,50	193,40
5	0,904	-32,0	-	-	-	-
6	0,909	-31,0	-	-	-	-
7	0,895	-32,0	-	-	245,70	88,28
8	0,893	-32,0	-	-	548,60	185,00
9	0,942	-19,0	-	-	-	-
10	0,921	-30,0	-	-	-	-
11	0,916	-30,0	-	-	-	-
12	0,893	-31,0	-	-	8.934,00	92,49
13	0,915	-31,0	-	-	-	-
14	0,908	-35,0	-	-	-	-
15	0,917	-41,0	-	-	336,30	160,80
16	0,940	-41,0	-	-	1.104,00	473,00
17	0,923	-39,0	-	-	-	-
18	0,918	-38,0	-	-	166,10	31,53
19	0,980	-36,0	-	-	-	-
20	0,934	-38,0	-	-	714,70	108,30
21	0,947	-39,0	-	-	288,00	120,90
22	0,977	-33,0	-	-	-	-
23	0,970	-34,0	-	-	260,10	88,92
24	0,948	-41,0	-	-	324,30	(96,90)
25	0,922	-27,0	-	-	235,40	49,61
26	0,897	-33,0	-	-	146,10	17,87
27	0,900	-38,0	-	-	295,30	79,35
28	0,866	-29,0	-	-	216,50	29,01
29	0,862	-25,0	-	-	298,00	28,27
30	0,951	-25,0	250,00	219,60	-	-
31	0,919	-20,0	573,20	310,70	9.669,00	4.835,00
32	0,916	-20,0	650,00	307,90	-	-
33	0,940	-30,0	632,00	162,90	-	-
34	0,972	-33,0	508,00	249,80	-	-
35	0,993	-28,0	650,00	313,90	-	-
36	1,003	-25,0	560,00	153,20	-	-
37	0,898	-19,0	540,00	20,00	-	-
38	0,841	-14,0	830,00	34,53	-	-
39	0,980	-11,0	954,10	131,10	-	-

Tabela 7.4 – Resultado da variação da potência reativa gerada pelo CER, da tensão controlada (barra 16) e da susceptância do compensador

Ponto de Operação	Q gerada pelo CER (Mvar)	Módulo de V_{16} (pu)	Susceptância do CER (pu)
1	579,8	0,940	6,562
2	377,9	0,950	4,187
3	250,4	0,960	2,717
4	204,4	0,970	2,172
5	192,6	0,980	2,005
6	190,8	0,985	1,967
7	195,2	0,990	1,992
8	227,8	1,000	2,278
9	306,0	1,010	3
10	400,7	1,020	3,851
11	498,3	1,030	4,697
12	599,5	1,040	5,543
13	709,0	1,050	6,431
14	819,9	1,060	7,297
15	917,3	1,070	8,012

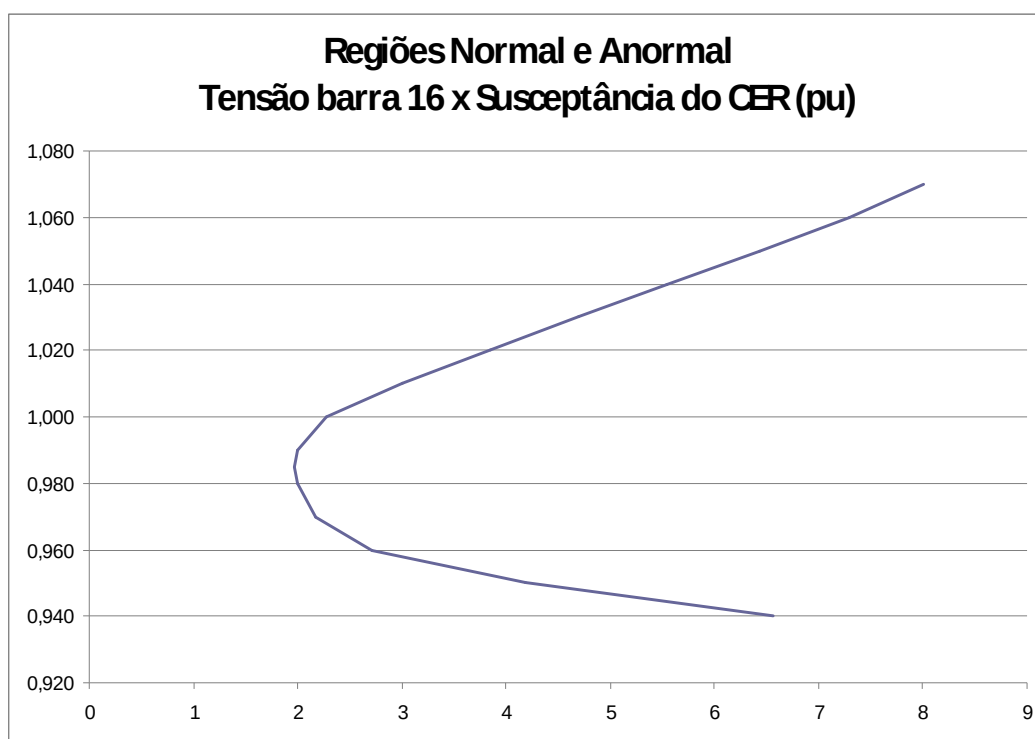


Figura 7.4 – Resultado da variação da tensão da barra 16 x susceptância do CER

Conforme pode ser observado, os pontos de operação 1 a 5 apresentam comportamento diferentes se comparados com os pontos de operação 7 a 15.

Nos pontos de operação 7 a 15, há um acréscimo da susceptância, através da adequação do ângulo de disparo dos tiristores, quando do aumento da tensão controlada, lógica usual de controle, indicando pontos na região normal de operação. Já nos pontos de 1 a 5, a relação entre grandeza controlada e controladora é invertida, indicando que o sistema encontra-se na região anormal de operação. O ponto de operação 6 encontra-se na transição entre as regiões normal e anormal.

7.3

Análise no Domínio do Tempo

7.3.1

Região Normal de Operação

Para esta simulação, foi utilizado o ponto de operação 10 da Tabela 7.4. A partir deste, foi alterada a tensão de referência do CER em +0,01 pu, em $t=5$ s, repetindo a perturbação aplicada entre os pontos 10 e 11 da Tabela 7.4. As variações da tensão controlada, da potência reativa e da susceptância equivalente são apresentadas segundo orientação abaixo

- i. Figura 7.5 a Figura 7.8 – Controlador do CER *built-in* e reguladores de tensão dos geradores barra infinita;
- ii. Figura 7.9 a Figura 7.12 – Controlador do CER customizado e reguladores de tensão dos geradores barra infinita;
- iii. Figura 7.13 a Figura 7.16 – Controlador do CER customizado e sem reguladores de tensão nos geradores.

Verifica-se que a lógica usual de controle foi empregada: a susceptância foi aumentada (através da alteração adequada do ângulo de disparo dos tiristores) para alcançar a uma tensão de referência mais alta.

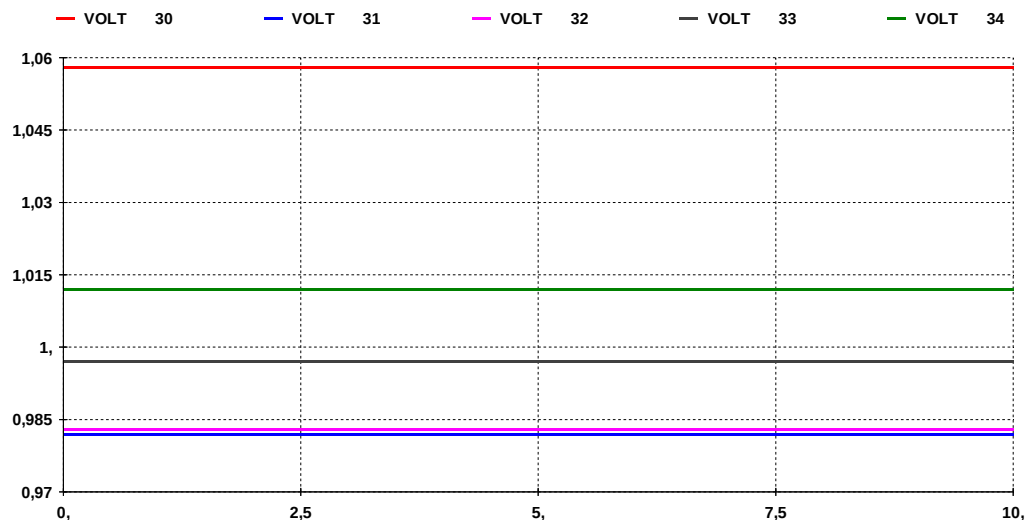


Figura 7.5 - Resultado da variação da tensão dos geradores ligados às barras 30 a 34, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER *built-in* e reguladores de tensão dos geradores como barra infinita

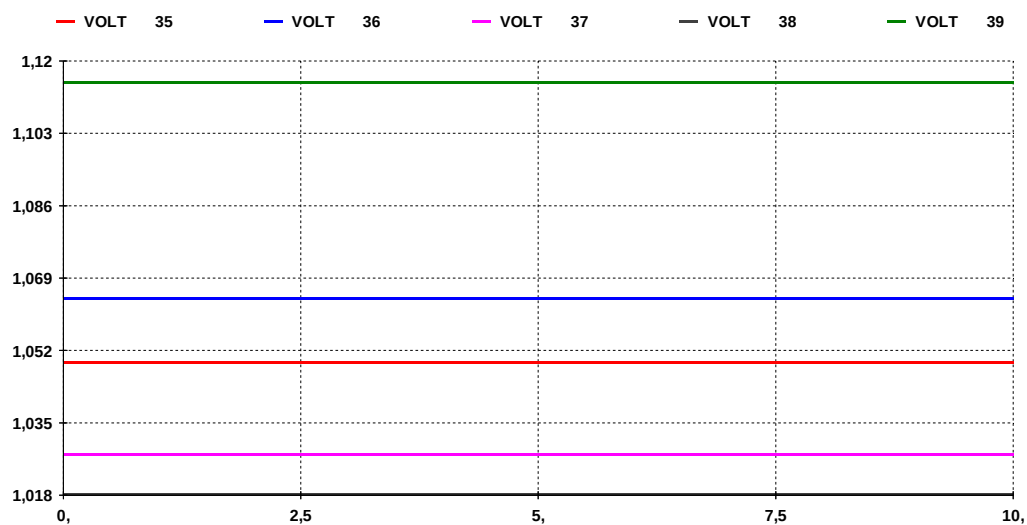


Figura 7.6 - Resultado da variação da tensão dos geradores ligados às barras 35 a 39, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER *built-in* e reguladores de tensão dos geradores como barra infinita

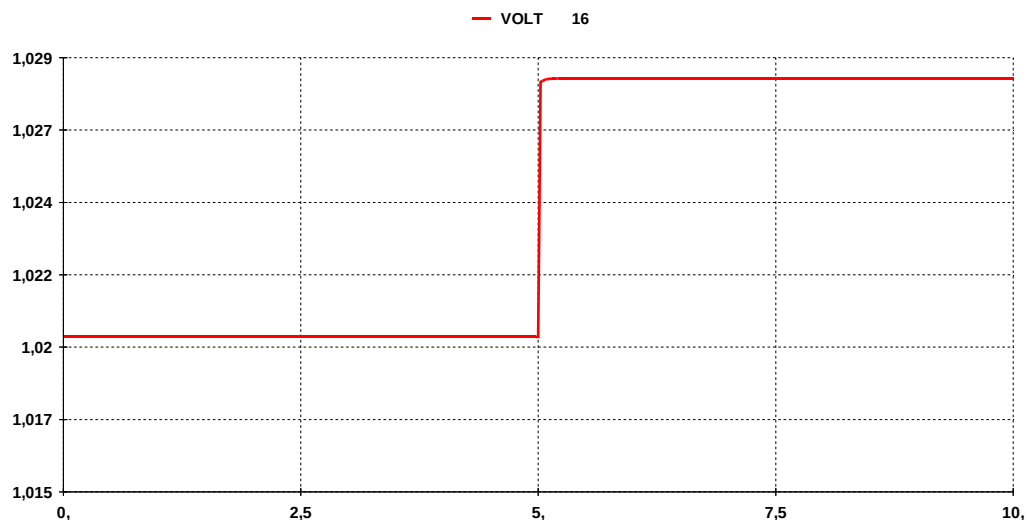


Figura 7.7 - Resultado da variação da tensão da barra 16, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER *built-in* e reguladores de tensão dos geradores como barra infinita

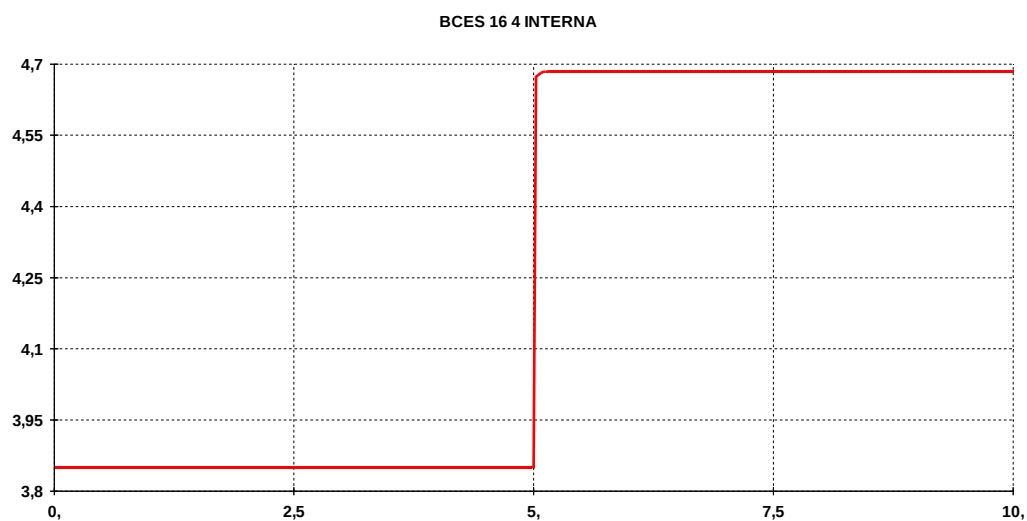


Figura 7.8 - Resultado da variação da susceptância do CER, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER *built-in* e reguladores de tensão dos geradores como barra infinita



Figura 7.9 - Resultado da variação da tensão dos geradores ligados às barras 30 a 34, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER customizado e reguladores de tensão dos geradores como barra infinita

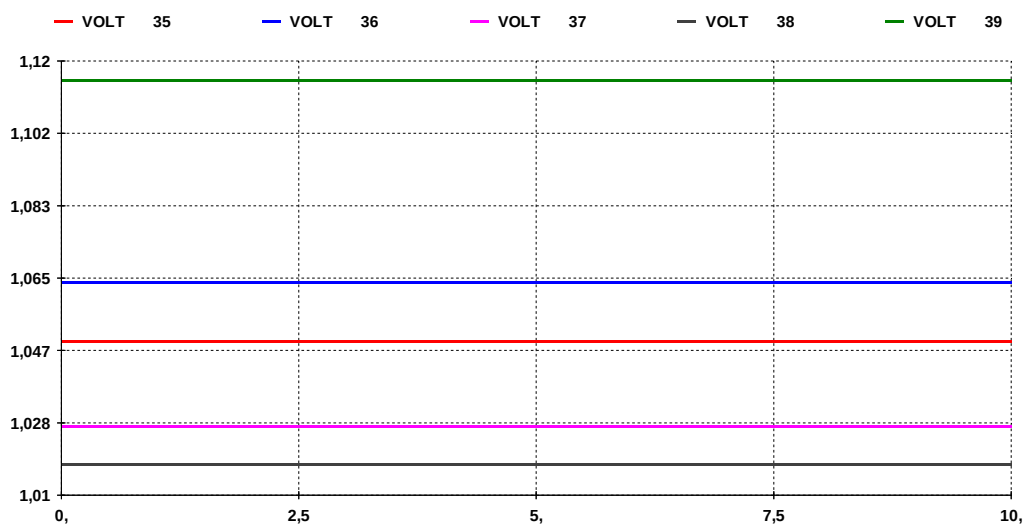


Figura 7.10 - Resultado da variação da tensão dos geradores ligados às barras 35 a 39, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER customizado e reguladores de tensão dos geradores como barra infinita

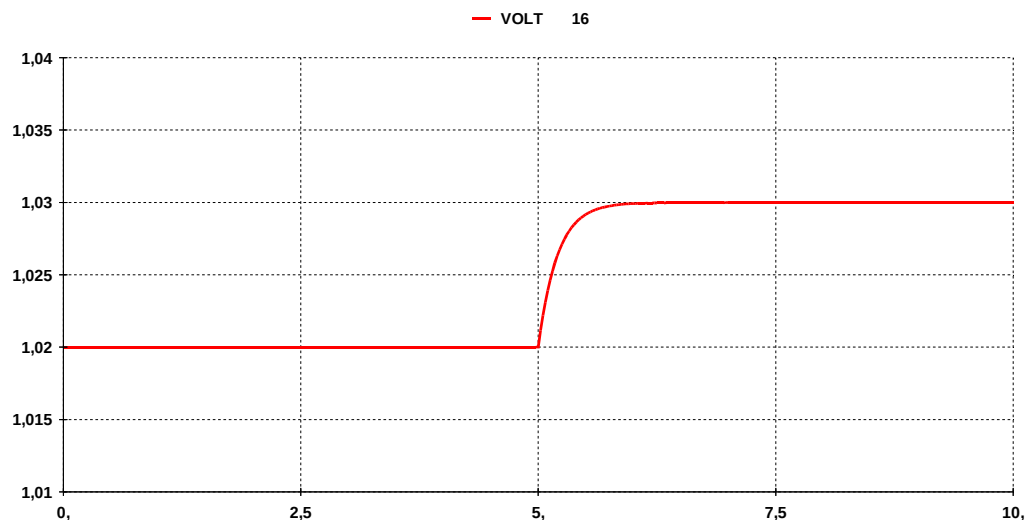


Figura 7.11 - Resultado da variação da tensão da barra 16, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER customizado e reguladores de tensão dos geradores como barra infinita

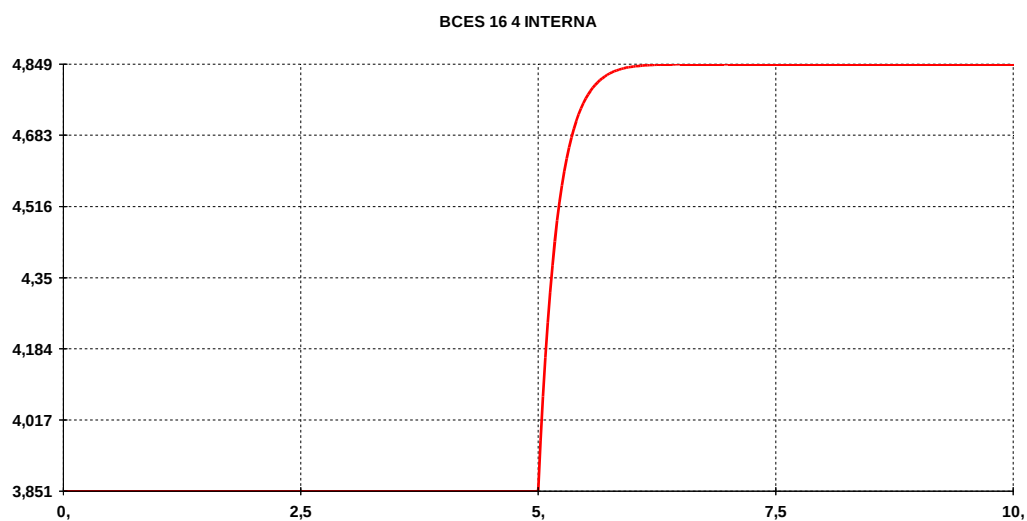


Figura 7.12 - Resultado da variação da susceptância do CER, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER customizado e reguladores de tensão dos geradores como barra infinita

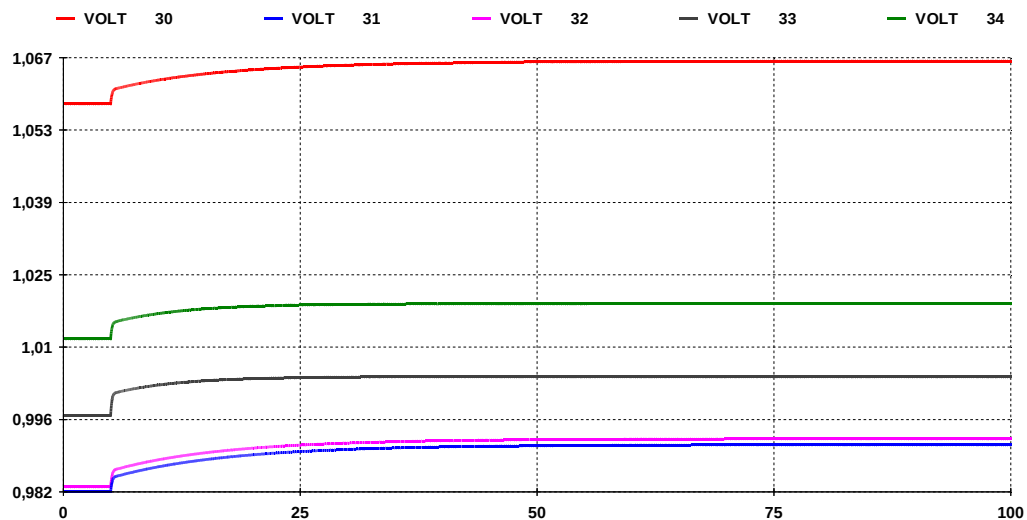


Figura 7.13 - Resultado da variação da tensão dos geradores ligados às barras 30 a 34, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER customizado e sem reguladores de tensão dos geradores

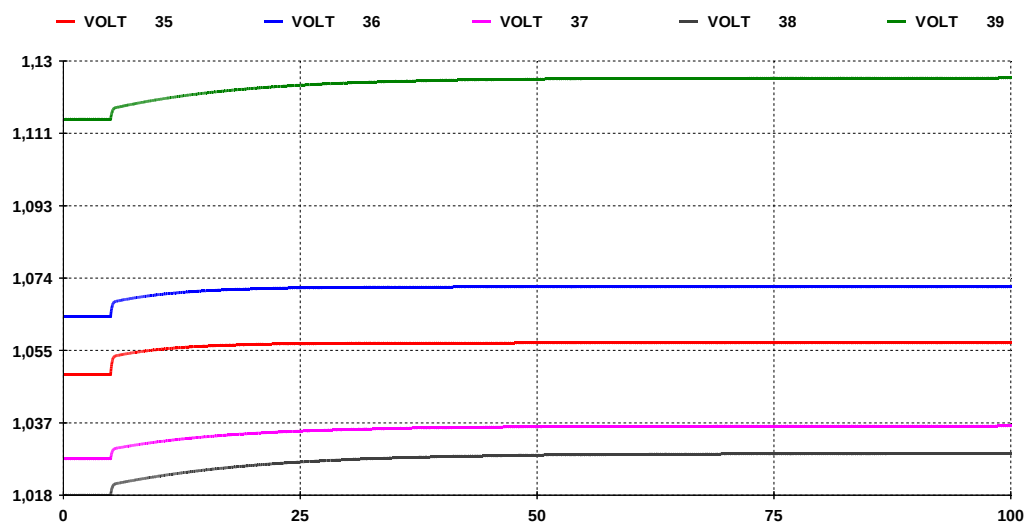


Figura 7.14 - Resultado da variação da tensão dos geradores ligados às barras 35 a 39, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER customizado e sem reguladores de tensão nos geradores

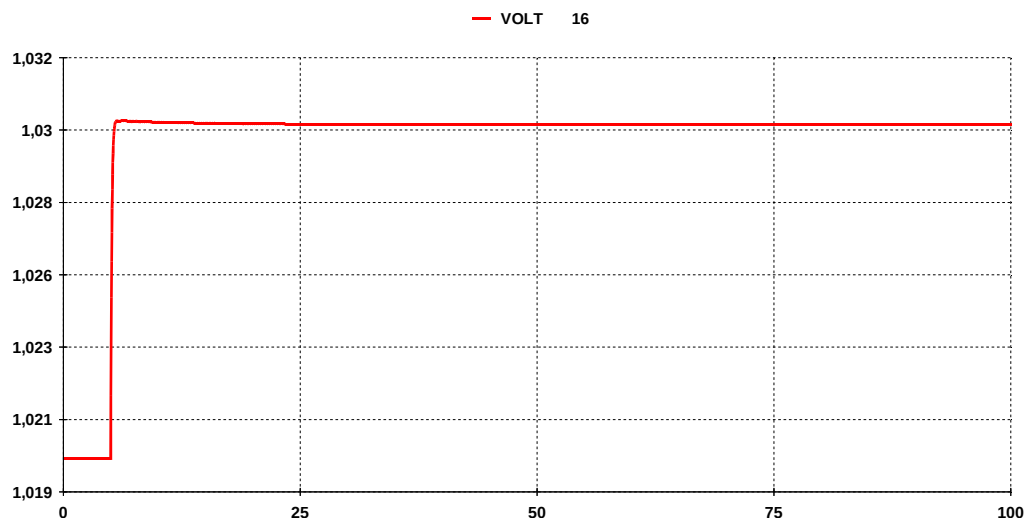


Figura 7.15 - Resultado da variação da tensão da barra 16, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER customizado e sem reguladores de tensão nos geradores

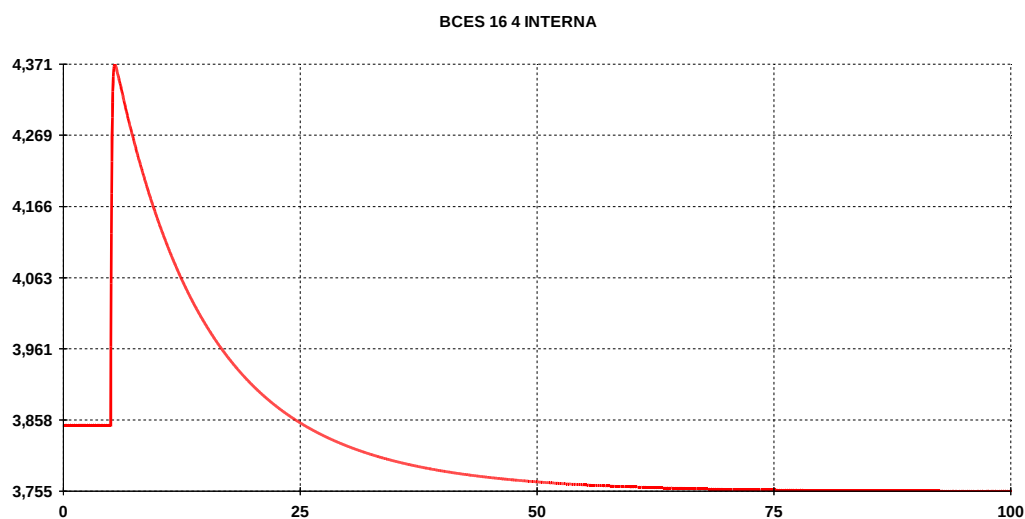


Figura 7.16 - Resultado da variação da susceptância do CER, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER customizado e sem reguladores de tensão nos geradores

Os pontos de operação inicial e final da simulação no domínio do tempo são apresentados na Tabela 7.5, Tabela 7.6 e Tabela 7.7. Comparando os valores destas tabelas com a Tabela 7.4, conclui-se que os pontos de operação são coerentes.

Com o regulador *built-in*, a tensão na barra 16 converge em um valor ligeiramente inferior ao solicitado. Ao utilizar o regulador customizado, integral, o erro é reduzido a zero.

Tabela 7.5 - Pontos iniciais (0 s) e finais (10 s) da simulação no domínio do tempo, com regulador do CER *built-in*

Ponto de Operação	Q gerada pelo CER (Mvar)	Módulo de V_{16} (pu)	Susceptância do CER (pu)
10	400,655	1,020	3,851
11	495,432	1,028	4,688

Tabela 7.6 - Pontos iniciais (0 s) e finais (10 s) da simulação no domínio do tempo, com regulador do CER customizado

Ponto de Operação	Q gerada pelo CER (Mvar)	Módulo de V_{16} (pu)	Susceptância do CER (pu)
10	400,655	1,020	3,851
11	514,490	1,030	4,849

Tabela 7.7 - Pontos iniciais (0 s) e em $t=10$ s da simulação no domínio do tempo, com regulador do CER customizado e sem regulador de tensão nos geradores

Ponto de Operação	Q gerada pelo CER (Mvar)	Módulo de V_{16} (pu)	Susceptância do CER (pu)
10	400,655	1,020	3,851
11	439,678	1,030	4,145

As simulações estática e dinâmica apresentam resultados equivalentes. As variações da tensão na barra 16 e da susceptância do CER ocorrem no mesmo sentido. Quando da redução da tensão de referência, o CER se torna mais indutivo, efeito esperado, caracterizando um caso na região normal de operação.

7.3.2 Região Anormal de Operação

Para esta simulação, foi utilizado o ponto de operação 2 da Tabela 7.4. Foi aplicada uma variação de tensão de +0,01 pu em $t=5$ s, repetindo o ocorrido entre os pontos de operação 2 e 3 da Tabela 7.4. As variações da tensão controlada, da potência reativa absorvida e da susceptância equivalente são apresentadas segundo orientação abaixo.

- i. Figura 7.17 a Figura 7.20 – Controlador do CER *built-in* e reguladores de tensão dos geradores barra infinita;

- ii. Figura 7.21 a Figura 7.24 – Controlador do CER customizado e reguladores de tensão dos geradores barra infinita;
- iii. Figura 7.25 a Figura 7.28 – Controlador do CER customizado e sem reguladores de tensão dos geradores.

Verifica-se que a lógica usual de controle foi empregada: a susceptância foi aumentada (através da alteração adequada do ângulo de disparo dos tiristores) para alcançar a uma tensão de referência mais alta.

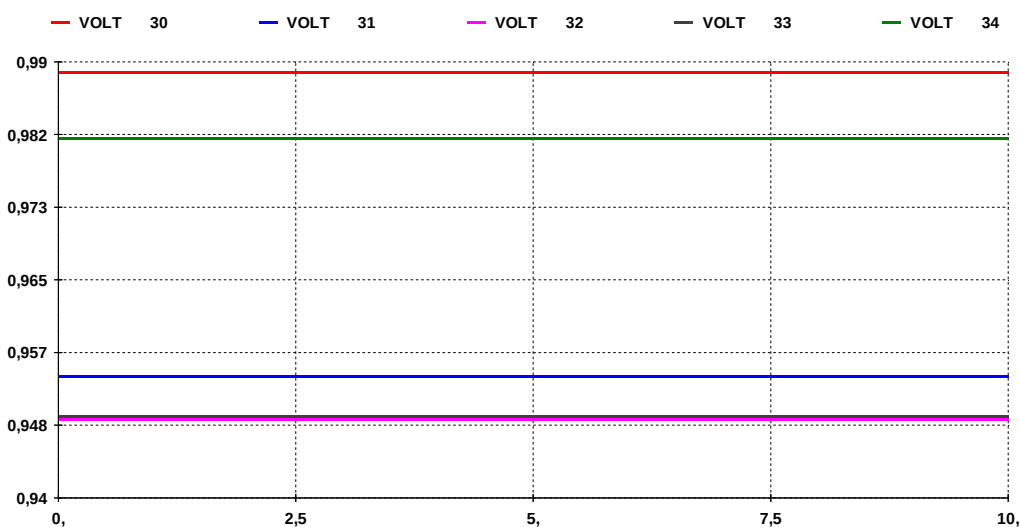


Figura 7.17 - Resultado da variação da tensão dos geradores ligados às barras 30 a 34, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER *built-in* e reguladores de tensão dos geradores como barra infinita

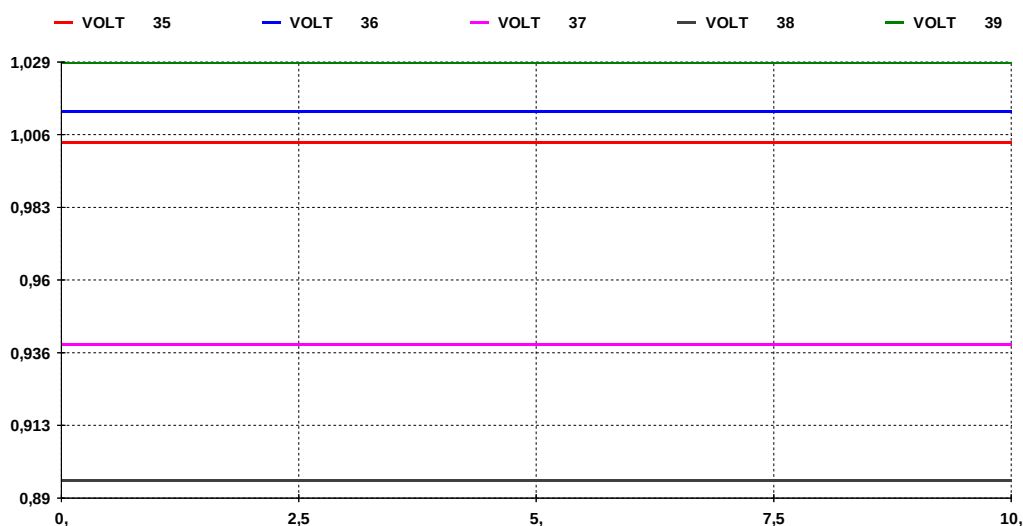


Figura 7.18 - Resultado da variação da tensão dos geradores ligados às barras 35 a 39, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER *built-in* e reguladores de tensão dos geradores como barra infinita

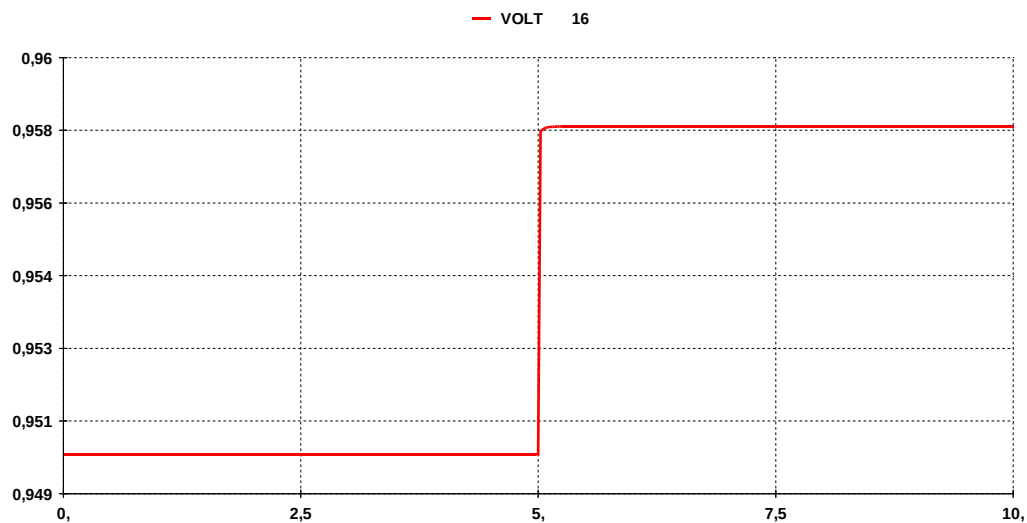


Figura 7.19 - Resultado da variação da tensão da barra 16, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER *built-in* e reguladores de tensão dos geradores como barra infinita

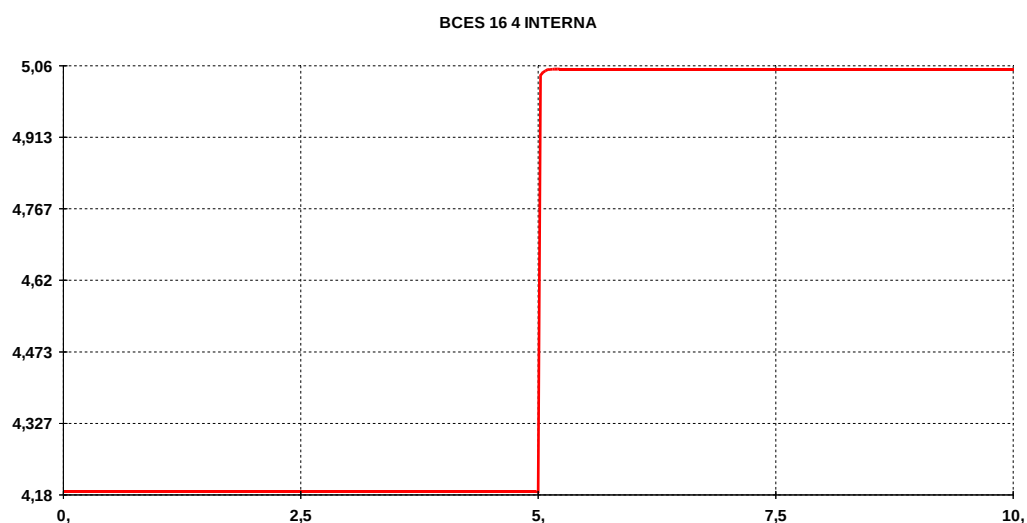


Figura 7.20 - Resultado da variação da susceptância do CER, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER *built-in* e reguladores de tensão dos geradores como barra infinita

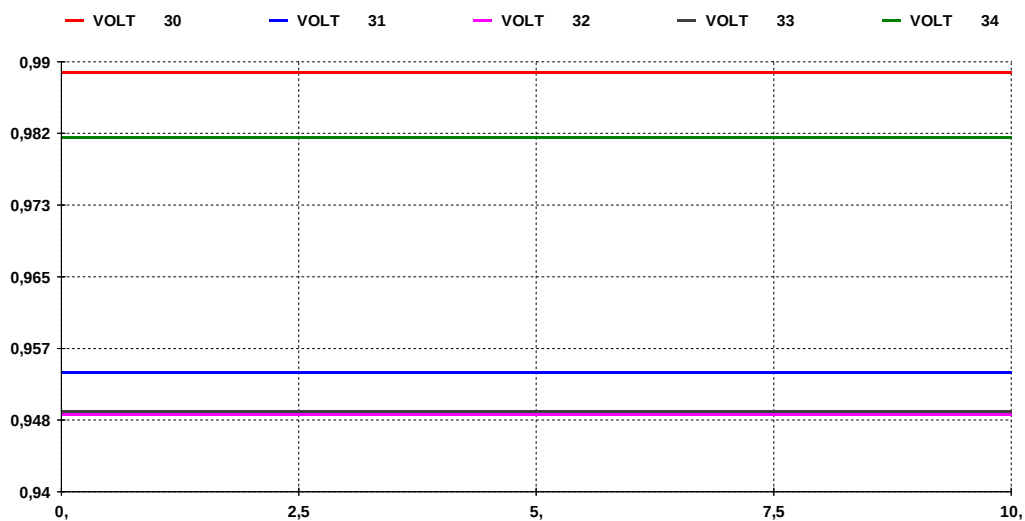


Figura 7.21 - Resultado da variação da tensão dos geradores ligados às barras 30 a 34, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER customizado e reguladores de tensão dos geradores como barra infinita

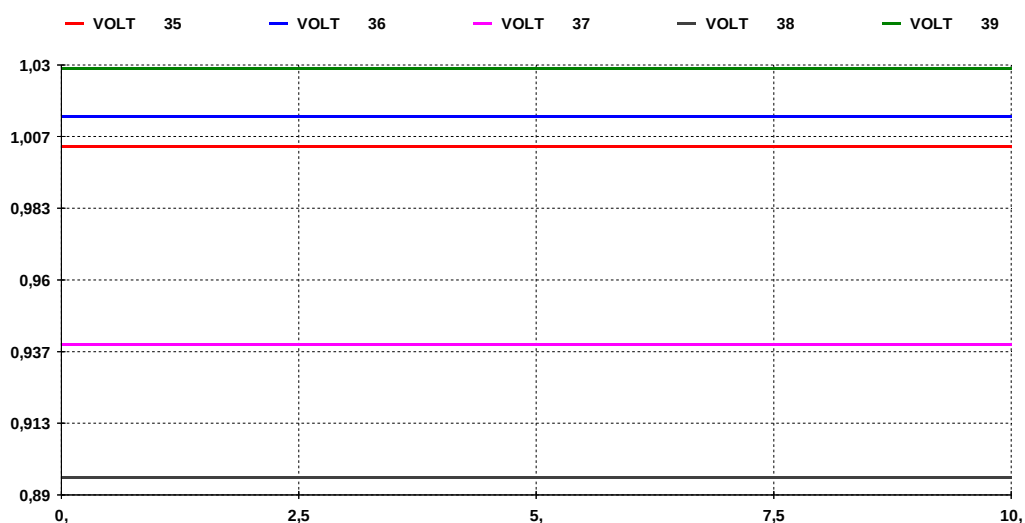


Figura 7.22 - Resultado da variação da tensão dos geradores ligados às barras 35 a 39, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER customizado e reguladores de tensão dos geradores como barra infinita

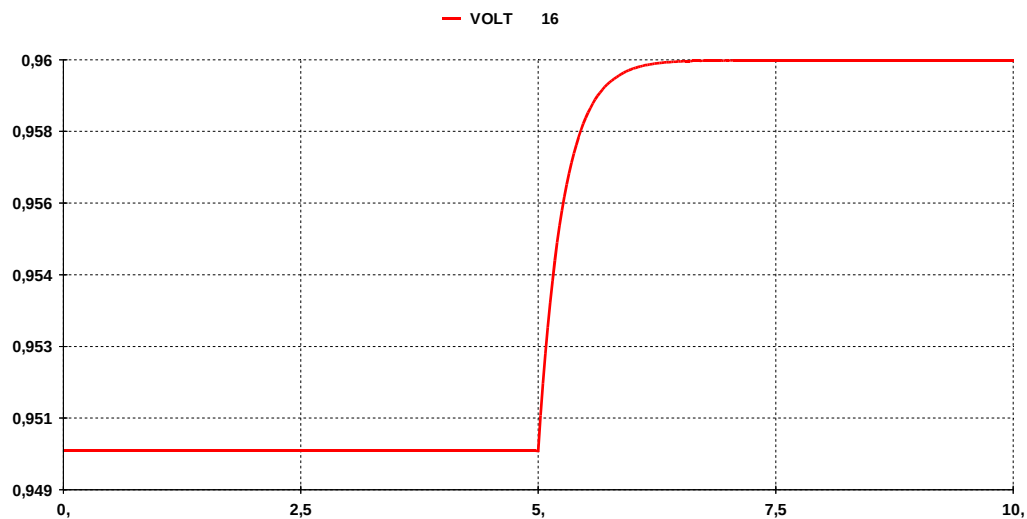


Figura 7.23 - Resultado da variação da tensão da barra 16, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER customizado e reguladores de tensão dos geradores como barra infinita

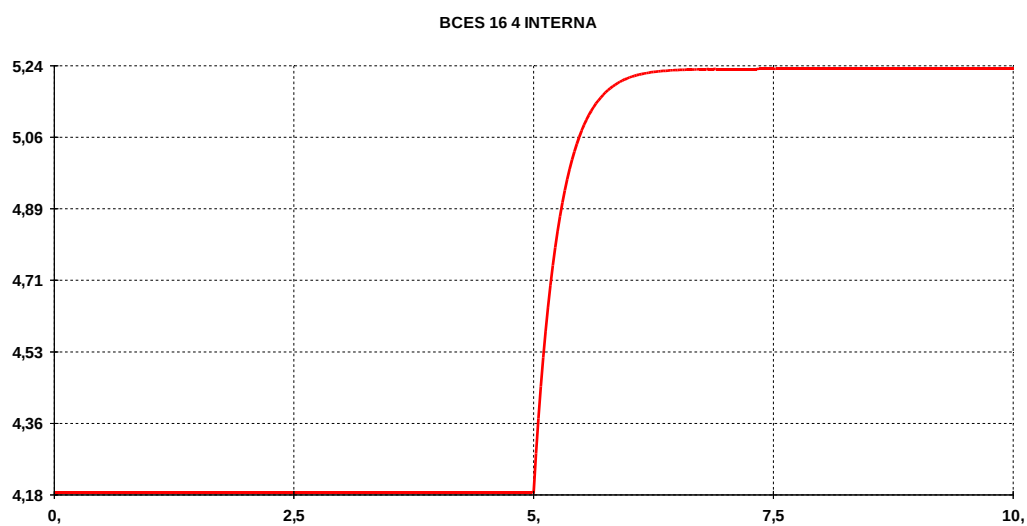


Figura 7.24 - Resultado da variação da susceptância do CER, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER customizado e reguladores de tensão dos geradores como barra infinita

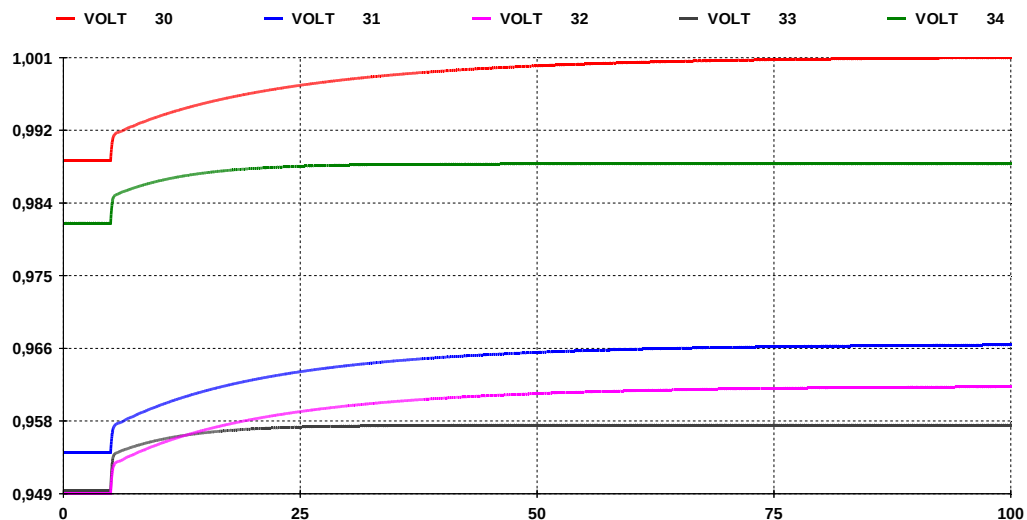


Figura 7.25 - Resultado da variação da tensão dos geradores ligados às barras 30 a 34, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER customizado e sem reguladores de tensão dos geradores

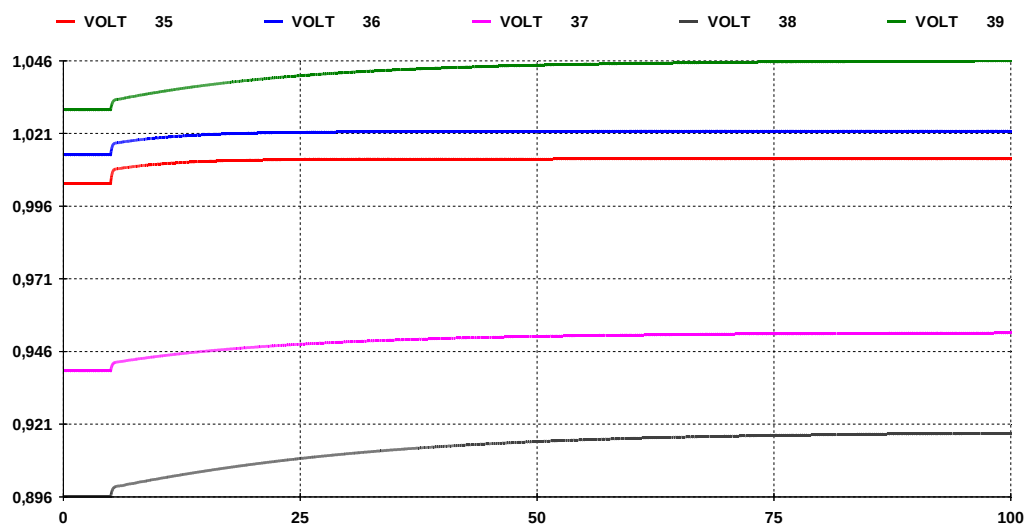


Figura 7.26 - Resultado da variação da tensão dos geradores ligados às barras 35 a 39, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER customizado e sem reguladores de tensão nos geradores

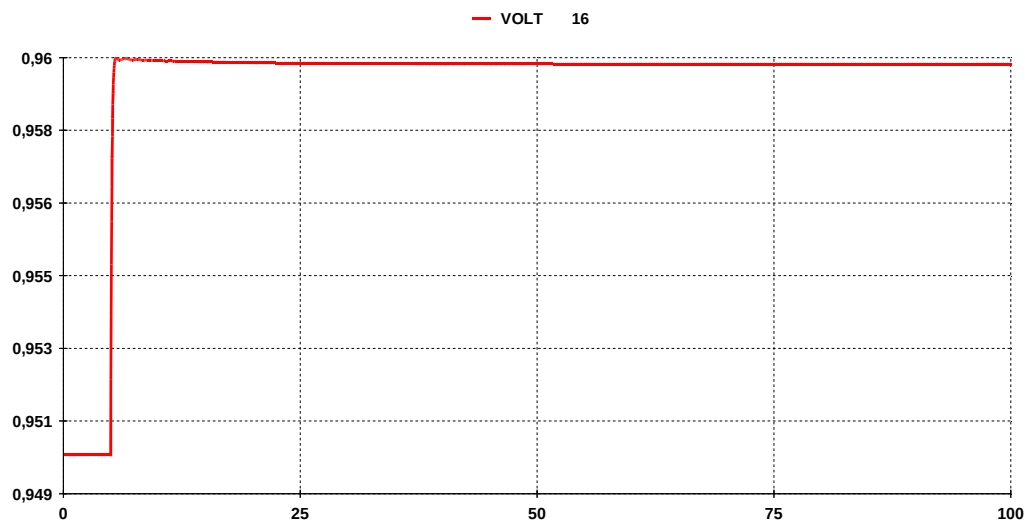


Figura 7.27 - Resultado da variação da tensão da barra 16, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER customizado e sem reguladores de tensão nos geradores

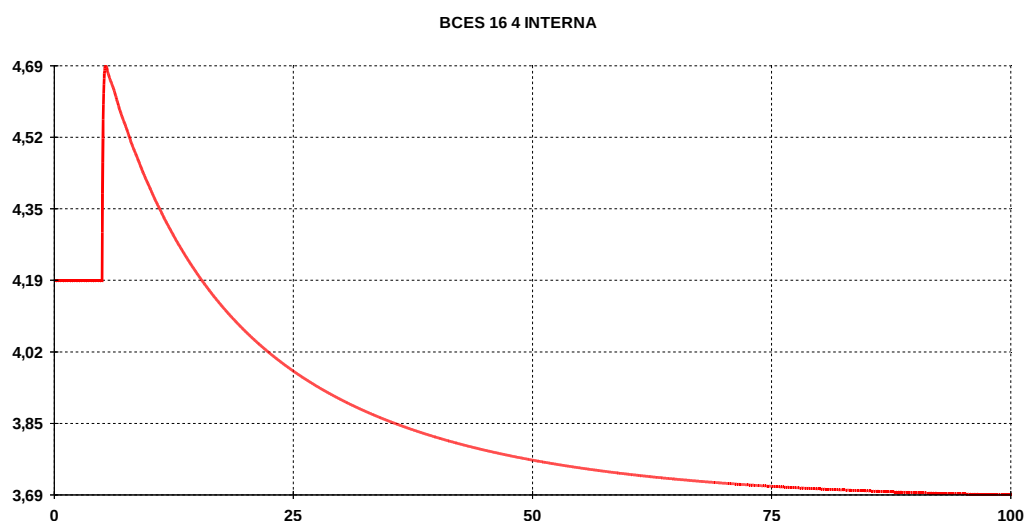


Figura 7.28 - Resultado da variação da susceptância do CER, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER customizado e sem reguladores de tensão nos geradores

Os pontos de operação inicial e final da simulação no domínio do tempo são apresentados na Tabela 7.8, Tabela 7.9 e Tabela 7.10. Comparando estas tabelas com a Tabela 7.4, conclui-se que os pontos de operação são bem diferentes, isto é, apesar dos pontos de operação iniciais serem idênticos para as simulações estáticas e dinâmicas, os diferentes algoritmos convergiram para diferentes pontos de equilíbrio.

Tabela 7.8 - Pontos iniciais (0 s) e finais (10 s) da simulação no domínio do tempo, com regulador do CER *built-in*

Ponto de Operação	Q gerada pelo CER (Mvar)	Módulo de V_{16} (pu)	Susceptância do CER (pu)
2	377,867	0,950	4,187
3	464,064	0,958	5,056

Tabela 7.9 - Pontos iniciais (0 s) e finais (10 s) da simulação no domínio do tempo, com regulador do CER customizado

Ponto de Operação	Q gerada pelo CER (Mvar)	Módulo de V_{16} (pu)	Susceptância do CER (pu)
2	377,867	0,950	4,187
3	482,239	0,960	5,232

Tabela 7.10 - Pontos iniciais (0 s) e em $t=10$ s da simulação no domínio do tempo, com regulador do CER customizado e sem regulador de tensão nos geradores

Ponto de Operação	Q gerada pelo CER (Mvar)	Módulo de V_{16} (pu)	Susceptância do CER (pu)
2	377,867	0,950	4,187
3	405,861	0,960	4,404

As simulações estática e dinâmica apresentam resultados opostos quanto ao sentido de variação das grandezas. As variações da tensão na barra 16 e a susceptância do CER ocorrem no mesmo sentido. Quando do aumento da tensão de referência, a susceptância do CER também se eleva, contrariando os resultados da simulação executada na seção 7.2.1, onde a variação da susceptância é negativa quando da variação positiva da tensão de referência.

É interessante notar que, embora as susceptâncias tenham variado em sentidos opostos nas simulações estática e dinâmica, ambos os algoritmos encontram soluções estáveis, diferentes, é claro. Não se espera que isso sempre aconteça. Por exemplo, empregando a lógica usual de controle, o algoritmo da simulação no domínio do tempo poderia divergir, interrompendo a trajetória, caso não houvesse outra solução naquela direção.

Da Figura 7.29 a Figura 7.36 são apresentadas as saídas das simulações dinâmicas dos pontos de operação 4 a 8 da Tabela 7.4, pontos próximos à região de transição da região normal para a região anormal, utilizando das mesmas perturbações da simulação estática e os controladores de CER e configurações de reguladores de tensão dos geradores já utilizadas nas seções 7.2.1 e 7.3.1. A Tabela 7.11, Tabela 7.12 e Tabela 7.13 resumem estas simulações.

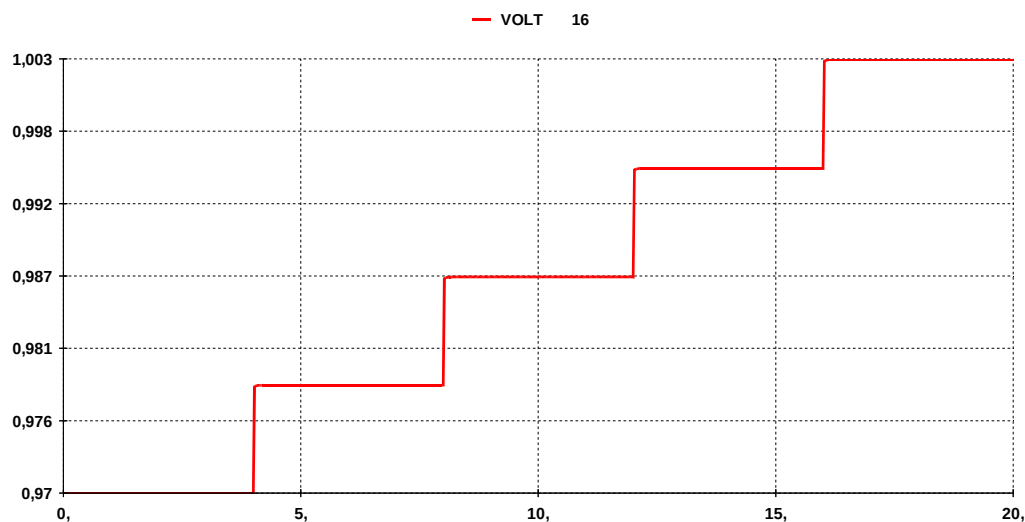


Figura 7.29 - Resultado da variação da tensão controlada pelo CER, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER *built-in* e reguladores de tensão dos geradores como barra infinita

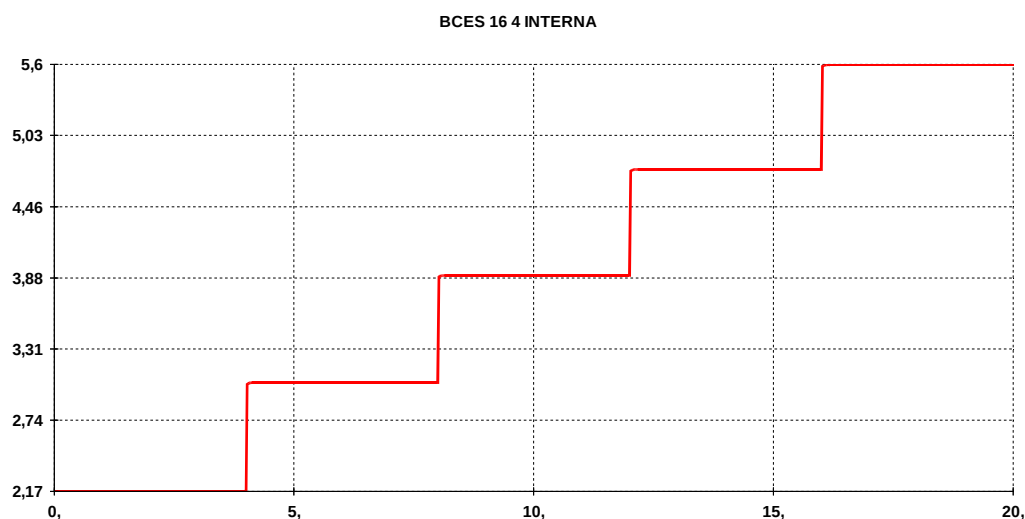


Figura 7.30 - Resultado da variação da susceptância do CER, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER *built-in* e reguladores de tensão dos geradores como barra infinita

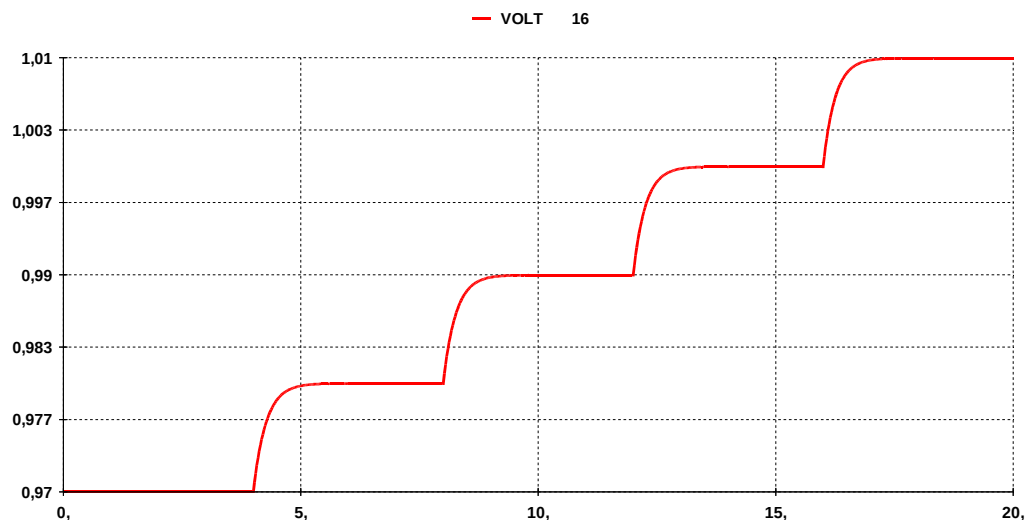


Figura 7.31 - Resultado da variação da tensão controlada pelo CER, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER customizados e reguladores de tensão dos geradores como barra infinita

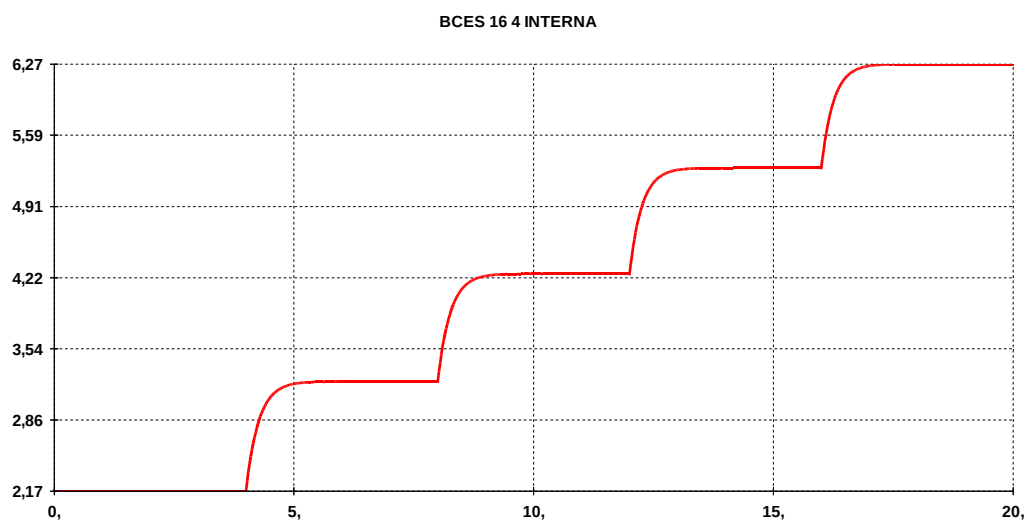


Figura 7.32 - Resultado da variação da susceptância do CER, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER customizados e reguladores de tensão dos geradores como barra infinita

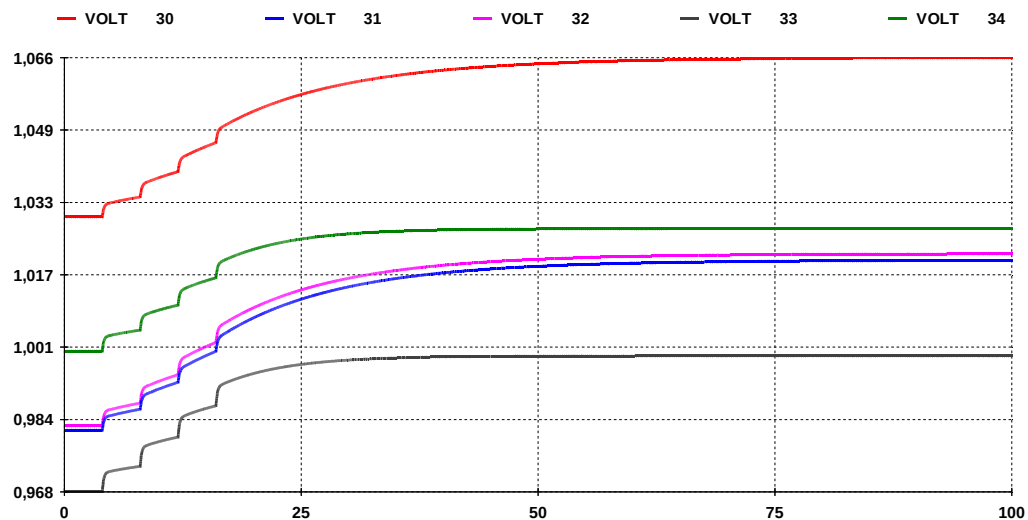


Figura 7.33 - Resultado da variação da tensão dos geradores, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER customizado e sem reguladores de tensão nos geradores

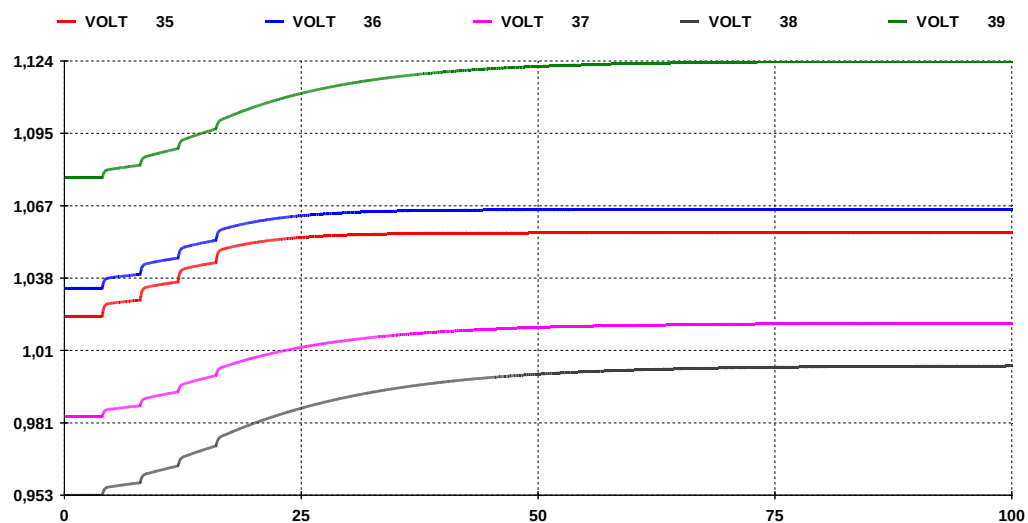


Figura 7.34 - Resultado da variação da tensão dos geradores, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER customizado e sem reguladores de tensão nos geradores

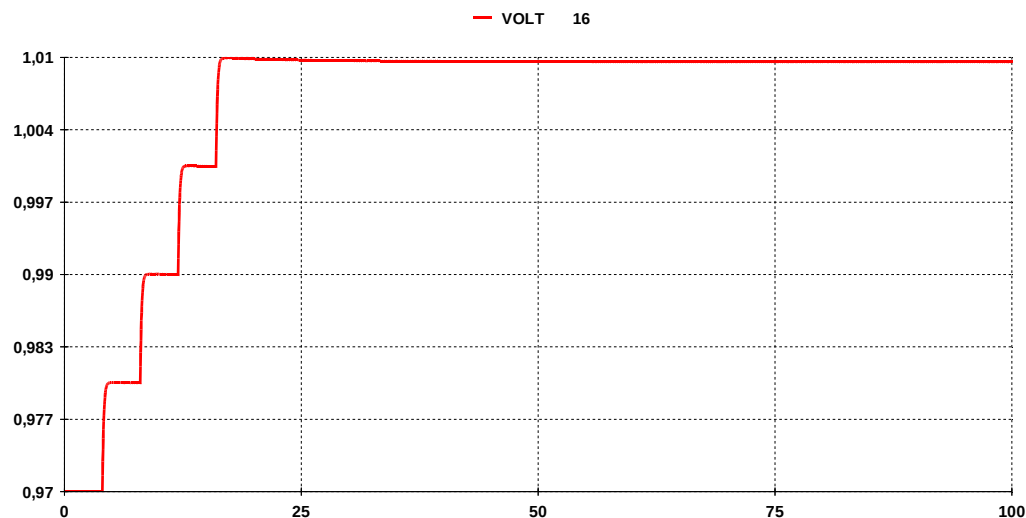


Figura 7.35 - Resultado da variação da tensão controlada pelo CER, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER customizado e sem reguladores de tensão nos geradores

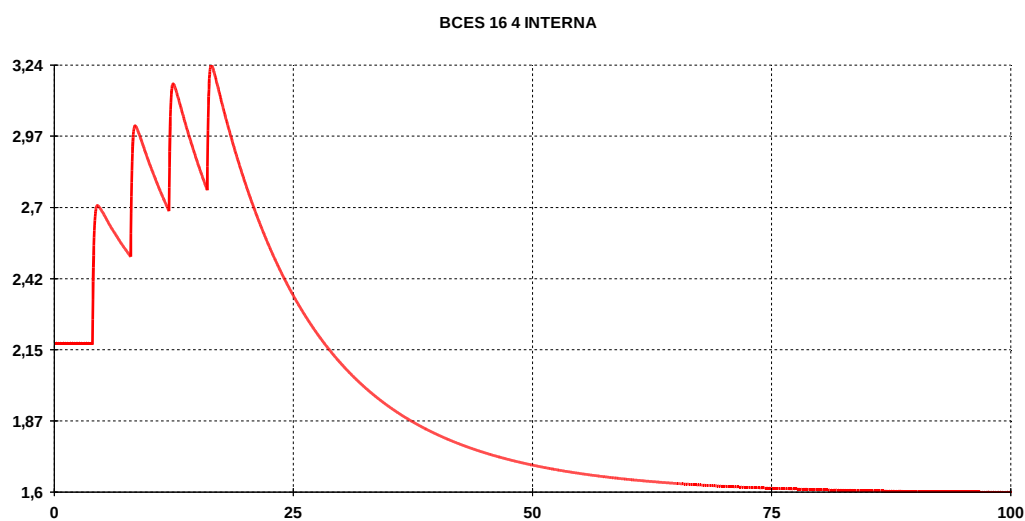


Figura 7.36 - Resultado da variação da susceptância do CER, no domínio do tempo, simulação com regulador do CER customizado e sem reguladores de tensão nos geradores

Tabela 7.11 - Pontos de operação em 0s (4), 4+ s (5), 8+ s (6) 12+ s (7), 16+ s (8) da simulação no domínio do tempo, com regulador do CER *built-in* e reguladores de tensão dos geradores como barra infinita

Ponto de Operação	Q gerada pelo CER (Mvar)	Módulo de V_{16} (pu)	Susceptância do CER (pu)
4	204,384	0,970	2,172
5	291,329	0,978	3,046
6	380,099	0,987	3,902
7	470,720	0,995	4,755
8	563,184	1,003	5,598

Tabela 7.12 - Pontos de operação em 0s (4), 4+ s (5), 8+ s (6) 12+ s (7), 16+ s (8) da simulação no domínio do tempo, com regulador do CER customizados e reguladores de tensão dos geradores como barra infinita

Ponto de Operação	Q gerada pelo CER (Mvar)	Módulo de V_{16} (pu)	Susceptância do CER (pu)
4	204,384	0,970	2,172
5	309,796	0,980	3,225
6	417,549	0,990	4,26
7	527,641	1,000	5,276
8	640,073	1,010	6,274

Tabela 7.13 - Pontos de operação em 0s (4), 4+ s (5), 8+ s (6) 12+ s (7), 16+ s (8) da simulação no domínio do tempo, com regulador do CER customizado e sem reguladores de tensão nos geradores

Ponto de Operação	Q gerada pelo CER (Mvar)	Módulo de V_{16} (pu)	Susceptância do CER (pu)
4	204,384	0,970	2,172
5	259,596	0,980	2,699
6	294,330	0,990	2,999
7	317,144	1,000	3,165
8	329,525	1,010	3,243

Ao contrário do observado na seção 7.2.1, não há uma mudança na relação tensão controlada x susceptância do CER. As variações destas grandezas ocorrem sempre no mesmo sentido, conforme lógica usual de controle do compensador estático.

7.4

Análise dos resultados

A simulação na região normal de operação apresentou resultados conclusivos com todas as configurações testadas.

Para a simulação estática na região anormal de operação, foi verificado o efeito oposto ao esperado. Partindo deste ponto estático, com carga 100% P^{cte} , caso mais severo, a simulação dinâmica apresentou resultados diferentes da simulação em regime permanente. Conclui-se que os programas de simulação estática e dinâmica apresentaram resultados diferentes para um mesmo ponto de operação, em todas as configurações testadas.

Ao alterar a modelagem do controlador do CER para integral, o erro em regime permanente foi reduzido a zero, embora não tenha havido nenhuma alteração substancial no resultados das simulações. Ao retirar o regulador de tensão dos geradores, as tensões de máquinas estabilizaram-se em tempos muito superiores àquelas quando se faz uso dos reguladores de tensão em função da falta de regulação secundária.