

## รายการอ้างอิง

1. N. Noroozian, M. Ghandhari, Andersson, G. Gronquist, I. Hiskens. A Robust Control Strategy for Shunt and Series Reactive Compensators to Damp Electromechanical Oscillation. IEEE Transactions on Power Delivery 16, (4 October 2001): 812 – 817.
2. N. Noroozian, A.N. Petersson, B. Thorvaldson, B.A. Nilsson, and C.W. Taylor. Benefits of SVC and STATCOM for Electric Utility Application. IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition 2003 IEEE PES , 3, (7-12 September. 2003): 1143 – 1150.
3. J. Dragan, P. Nalin, Z. Mohamed, and A.H. Heba. SVC Dynamic Analytical Model. IEEE Transactions on Power Delivery 18, (4 October 2003): 1455 – 1461.
4. IEEE Special Stability Controls Working Group. Static Var Compensator Models for Power Flow and Dynamic Performance Simulation. IEEE Transactions on Power Systems 8, (1 February 1994): 113-121.
5. G.N. Taranto, J.K. Shiau, J.H. Chow, H.A. Othman. A Robust Decentralized Control Design For Damping Controller in FACTS Application Control Applications. Proceedings of the 4th IEEE Conference (28-29 September 1995) :233 – 238.
6. A.C Claudio, T.F. Zeno. Analysis of SVC and TCSC Controllers in Voltage Collapse. IEEE Transactions on Power system 14, (1 Febuary 1999): 158 – 165.
7. H. Ambriz-Pérez, E. Acha, C.R. Feuete-Esquivel. Advanced SVC Model for Newton-Raphson Load Flow and Newton Optimal Power Flow Studies. IEEE Transactions on Power Systems 15, (1 Febuary 2000).
8. F.P. deMello, C. Concordia. Concepts of Synchronous Machine Stability as Affected by Excitation Control. IEEE Transactions on Power System 88, (April 1969): 316-329.
9. A.R. Mahran, B.W. Hogg, M.L. El-Sayed. Co-ordinated Control of Synchronous Generator Excitation and Static Var Compensator. IEEE Transactions on Energy Conversion 7, (4 December 1992) :615-621.
10. L. Cong, Y. Wang, D.J. Hill. Transient Stability and Voltage Regulation Enhancement via Control of Generator Excitation and SVC. ELSEVIER Electrical Power and Energy System 27, (24 September 2004) :121-300.

11. C.M. Ong. Dynamic Simulation of Electric Machinery Using Matlab/Simulink. Prentice Hall PTR, 1998.
12. P Kundur. Power System Stability and Control. McGraw-Hill Inc., 1976.
13. พิทักษ์ ทางรัตนสุวรรณ. การปรับปรุงสรรณของระบบไฟฟ้ากำลังด้วยระบบส่งไฟฟ้า กระแสตรงแรงดันสูงและอุปกรณ์ FACTS. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
14. N.G. Hingorani, L. Gyugyi. Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible Ac Transmission Systems. New York: IEEE Press, 2000.
15. R. Mohan, and K. Rajiv. Thyristor-Based FACTS Controllers for Electrical Transmission Systems. New York: John Wiley & Sons, 2002.
16. P.M. Anderson, A.A. Foud. Power System Control and Stability. New York :IEEE Press 1993.
17. W. Peter Sauer, M.A. Pai. Power System Dynamic and Stability. Prentice Hall PTR.1998.
18. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. ข้อมูลระบบ และผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้(อย่างไม่เป็นทางการ). เมษายน , 2548. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)
19. ABB Power Transmission, SVC for Dvnamic Voltage Stabilization of 132 kV System in Western Canada. Available from: <http://www.abb.com/FACTS>.
20. ABB Power Transmission. Improving the Efficiency and Quality of AC Transmission Systems. Available from: <http://www.abb.com>.
21. Nokiancapacitors Corporation. Static Var Utility Compensator to Stabilize Voltage at Campos Substation near Rio de Janiero. Available from: <http://www.nokiancapacitors.com>.
22. TMT & D corporation, Lismor 250 MVA SVC. Available from: <http://www.tmt-d.com>.
23. IEEE Working Group. Computer representation of excitation systems. IEEE Transaction on Power Systems PAS-87: 1460-1464, 1968.
24. บดินทร์ โกศลพิศิษฐ์. การศึกษาผลของตัวเก็บประจุอนุกรมต่อสมรรถนะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า และชั้บซิงโครไนส์เรโซแนนซ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

25. R. You, M.H. Nehrir. A System Approach to Controller Design for SVC to Enhance Damping of Power System Oscillations. IEEE Transactions on Power Systems 5, 1 (February 2004): 398-426
26. Q. Zhao, J. Jiang. Robust SVC Controller Design for Improving Power System Damping. IEEE Transactions on Power Systems 10, 4(November 1995): 1927-1931.
27. M.A. Abido, Y.L. Abdel-Magid. Coordinated design of a PSS and an SVC-based controller to Enhance Power System Stability. ELSEVIER Electrical Power and Energy Systems 2, 25(April 2003):695-704.
28. C.L. Phillips, R.D. Harbor. Feedback Control Systems Fourth Edition. Prentice Hall PTR, 1998.
29. L. Rouco, F.L. Pagola. On the Sign of the Feedback Applied by Power System Damping Controllers. IEEE Proto Power Tech Conference 414, (10-13 September):1-7.
30. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. รายงานผลตอบสนองทางเวลาของกำลังไฟฟ้าที่ถ่ายโอนในระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้(อย่างไม่เป็นทางการ). มกราคม, 2548.(เอกสารไม่ตีพิมพ์)
31. นิตส์น์ วรพนพิพัฒน์. วิธีการประเมินค่า System Damping จากสัญญาณ. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2548.(เอกสารไม่ตีพิมพ์)

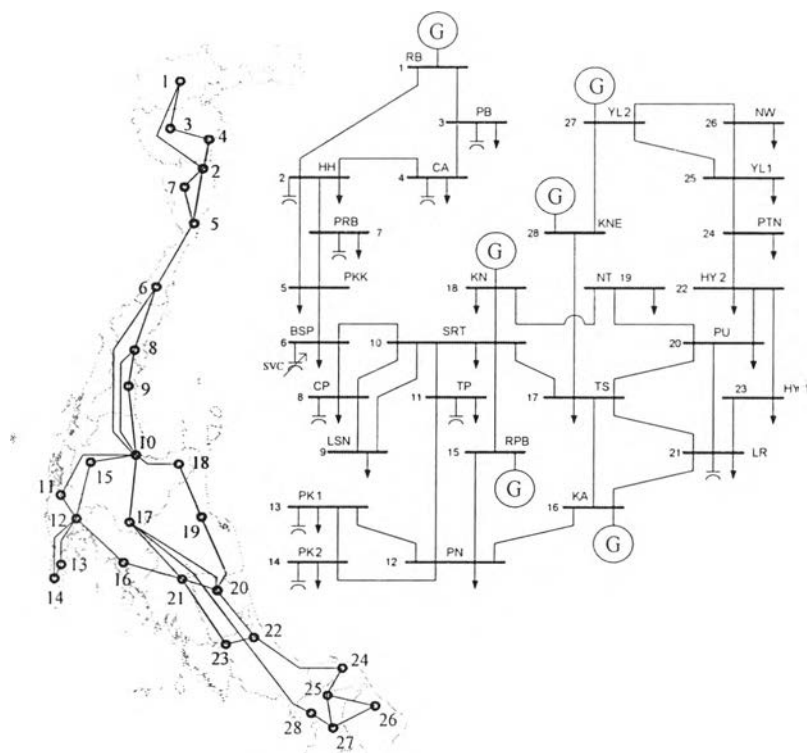
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้

ในภาคผนวก ก แสดงถึงข้อมูลของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงโยระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ ได้แก่ ข้อมูลบัส ณ จุดทำงานกรณีฐาน ข้อมูลกำลังการผลิตที่ป้อนเข้าสู่ระบบในกรณีฐาน และขีดจำกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ค่าพารามิเตอร์และขีดจำกัดของสายส่ง รหัสของบัสไฟฟ้า ข้อมูลกำลังการผลิต และค่าพารามิเตอร์ของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1. ข้อมูลในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ 28 บัสแบบติดตั้ง SVC



รูปที่ ก.1 แผนภาพเส้นเดียวของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงโยระหว่างภาคกลางและภาคใต้ แบบลดจำนวนบัส และสายส่ง [18]

จากรูปที่ ก.1 หมายเลขของบัสไฟฟ้า และรหัสที่เป็นตัวย่อภาษาอังกฤษจะบอกถึงรายชื่อบัสไฟฟ้าที่เป็นภาษาไทยได้ดังตารางที่ ก.1 โดยระบบแรงดันที่อ้างอิงไว้ในตารางนี้ในบางสถานีไฟฟ้า

จะทั้งมีระดับแรงดัน 115 kV และ 230 kV และมีแค่หม้อแปลงเชื่อมต่อกันโดยไม่มีสายส่งดังนั้นจึงกำหนดให้มีระดับแรงดันอยู่ที่ 230 kV

ตารางที่ ก.1 ชื่อของบัสไฟฟ้า และขนาดแรงดันที่ใช้งานของระบบ

บัสที่	รหัส	ชื่อบัสไฟฟ้า	ระบบแรงดัน
1	RB	ราชบุรี	230 kV
2	HH	หัวหิน	230 kV
3	PB	เพชรบุรี	115 kV
4	CA	ชะอำ	115 kV
5	PKK	ประจวบคีรีขันธ์	230 kV
6	BSP	บางสะพาน	230 kV
7	PRB	ปราณบุรี	115 kV
8	CP	ชุมพร	115 kV
9	LSN	หลังสวน	115 kV
10	SRT	สุราษฎร์ธานี	230 kV
11	TP	ตะกั่วป่า	115 kV
12	PN	พังงา	115 kV
13	PK1	ภูเก็ต 1	115 kV
14	PK2	ภูเก็ต 2	115 kV
15	RPB	รัชประภา	230 kV
16	KA	กระบี่	230 kV
17	TS	ทุ่งสง	230 kV
18	KN	ขนอม	230 kV
19	NT	นครศรีธรรมราช	230 kV
20	PU	พัทลุง	230 kV
21	LR	ลัมภูรา	115 kV
22	HY1	หาดใหญ่ 1	115 kV
23	HY2	หาดใหญ่ 2	230 kV
24	PTN	ปัตตานี	115 kV
25	YL1	ยะลา 1	115 kV
26	NW	นาราธิวาส	115 kV
27	YL2	ยะลา 2	230 kV
28	KNE	คลองแงะ	230 kV

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลบัสของระบบ ณ จุดทำงานกรณีฐาน

ข้อมูลบัส							
บัสที่	ชนิดบัส	โหลดจริง (MW)	โหลดรีแอกทีฟ (MVAR)	ชัตเซปแดนซ์ ขนาน (MVAR)	แรงดันพิกัด (kV)	Vmax (p.u)	Vmin (p.u)
1	(swing)	305.9	72.1	0	230	1.05	0.95
2	(P-Q)	101.0	8.0	23.2	230	1.05	0.95
3	(P-Q)	52.0	25.2	11.8	115	1.05	0.95
4	(P-Q)	36.8	17.9	4.4	115	1.05	0.95
5	(P-Q)	29.6	8.3	0	230	1.05	0.95
6	(P-Q)	103.0	6.7	0	230	1.05	0.95
7	(P-Q)	26.6	13.7	4.1	115	1.05	0.95
8	(P-Q)	55.7	13.0	6.0	115	1.05	0.95
9	(P-Q)	23.8	9.2	0	115	1.05	0.95
10	(P-Q)	169.6	89.8	0	230	1.05	0.95
11	(P-Q)	51.5	4.3	16.0	115	1.05	0.95
12	(P-Q)	40.8	17.2	0	115	1.05	0.95
13	(P-Q)	45.1	19.5	21.7	115	1.05	0.95
14	(P-Q)	139.0	75.8	86.5	115	1.05	0.95
15	(P-V)	8.7	3.4	0	230	1.05	0.95
16	(P-V)	52.9	26.5	0	230	1.05	0.95
17	(P-Q)	119.9	52.9	0	230	1.05	0.95
18	(P-V)	77.9	18.7	0	230	1.05	0.95
19	(P-Q)	123.2	46.6	0	230	1.05	0.95
20	(P-Q)	41.0	14.4	0	230	1.05	0.95
21	(P-Q)	88.3	44.8	37.2	115	1.05	0.95
22	(P-Q)	298.7	108.1	0	115	1.05	0.95
23	(P-Q)	52.8	10.6	0	230	1.05	0.95
24	(P-Q)	56.6	30.9	0	115	1.05	0.95
25	(P-Q)	59.3	25.7	0	115	1.05	0.95
26	(P-Q)	56.1	8.7	0	115	1.05	0.95
27	(P-V)	-	-	0	230	1.05	0.95
28	(P-V)	-	-	0	230	1.05	0.95

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลบัสกำลังการผลิตที่ป้อนเข้าสู่ระบบ และขีดจำกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ กรณีฐาน

ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า							
บัสที่	กำลังการผลิตจริง (MW)	กำลังการผลิตรีแอกทีฟ (MW)	Pmax (MVAR)	Pmin (p.u)	Qmax (kV)	Qmin (p.u)	ขนาดแรงดัน (p.u)
1	605.02	21.48	5000	0	3000	-3000	1.02
15	210.00	32.75	400	0	300	-300	1.03
16	300.00	34.35	400	1.011	300	-300	1.03
18	800.00	15.34	850	1.009	500	-500	1.03
27	51.2	30.17	70	0	40	-40	1.01
28	293.0	9.73	300	-300	300	-300	1.01

ตารางที่ ก.4 ค่าพารามิเตอร์ และขีดจำกัดของสายส่งของระบบ

ข้อมูลสายส่ง						
เส้นที่	จากบัสที่	ไปบัสที่	ความต้านทาน (p.u)	รีแอกแตนซ์ (p.u)	ชัตเซปแดนซ์ (p.u)	Limit (MVA)
1	1	2	0.00551	0.04355	0.3268	860
2	1	3	0.00832	0.055455	0.057	646.8
3	2	4	0.02913	0.08564	0.011	250
4	2	5	0.00431	0.033915	0.2556	858.8
5	2	7	0.02588	0.07609	0.0099	119.5
6	3	4	0.03245	0.09634	0.012	117.5
7	5	6	0.003098	0.018385	0.21952	858.8
8	5	7	0.06343	0.18649	0.0243	119.5
9	6	8	0.027365	0.08046	0.042	239.0
10	6	10	0.014355	0.11293	0.8512	858.8
11	8	9	0.05283	0.15532	0.0202	119.5
12	8	10	0.05147	0.15132	0.0197	119.5
13	9	10	0.00136	0.00401	0.0005	119.5
14	10	11	0.21605	0.37616	0.0394	82.1



ตารางที่ ก.4 (ต่อ) ค่าพารามิเตอร์ และขีดจำกัดของสายส่งของระบบบนฐาน 100 MVA

ข้อมูลสายส่ง						
เส้นที่	จากบัสที่	ไปบัสที่	ความต้านทาน (p.u)	รีแอกแตนซ์ (p.u)	ซีเอสเซปแดนซ์ (p.u)	Limit (MVA)
15	10	15	0.00256	0.020145	0.1518	858.8
16	10	17	0.00304	0.029425	0.5704	1718.0
17	10	18	0.003815	0.03003	0.2264	858.8
18	11	12	0.08537	0.14551	0.0158	82.1
19	12	13	0.03853	0.114485	0.0584	239.0
20	12	14	0.01894	0.12654	0.0709	250.0
21	12	15	0.015401	0.005493	0.1216	561.2
22	12	16	0.18486	0.31872	0.0340	82.1
23	13	14	0.01816	0.05338	0.0069	250.0
24	16	17	0.00389	0.02813	0.0256	250.0
25	16	21	0.16073	0.27696	0.0295	82.1
26	17	19	0.01009	0.07307	0.0406	429.4
27	17	21	0.05018	0.14754	0.0192	119.5
28	17	28	0.005085	0.052945	0.8942	1717.8
29	18	19	0.00487	0.03831	0.2888	858.8
30	19	20	0.00447	0.03518	0.2652	858.8
31	20	21	0.12065	0.20573	0.0224	82.1
32	20	22	0.004395	0.03459	0.2608	858.8
33	20	23	0.15526	0.26493	0.0288	82.1
34	22	23	0.005117	0.012718	0.0064	215.9
35	22	24	0.04821	0.141735	0.0738	239.0
36	22	28	0.00075	0.007785	0.1316	1718.0
37	24	25	0.03994	0.11866	0.0151	119.5
38	25	26	0.08739	0.18828	0.0227	96.4
39	25	27	0.000395	0.002645	0.00272	250.0
40	26	27	0.055	0.18	0.056	250.0
41	27	28	0.003148	0.030467	0.59066	250.0

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลของ SVC ณ จุดทำงานกรณีฐานบนฐาน 100 MVA

ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า							
บัสที่	กำลังการผลิตจริง (MW)	กำลังการผลิตรีแอกทีฟ (MVAR)	$X_c$ (p.u)	$X_l$ (p.u.)	มุมจุดชนวน (Degree)	Slope	แรงดันอ้างอิง (p.u)
6	0	-9.57	1	0.6667	108.276	0.05	1.037

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลบัสจากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้

ข้อมูลบัส					
บัสที่	ชนิดบัส	โหลดจริง (MW)	โหลดรีแอกทีฟ (MVAR)	ขนาดแรงดัน (p.u)	แรงดันพิกัด (kV)
1	(swing)	305.9	72.1	1.02 $\angle$ -7.9	230
2	(P-Q)	101.0	8.0	1.028 $\angle$ -13.003	230
3	(P-Q)	52.0	25.2	1.011 $\angle$ -10.605	115
4	(P-Q)	36.8	17.9	1.009 $\angle$ -12.708	115
5	(P-Q)	29.6	8.3	1.035 $\angle$ -14.498	230
6	(P-Q)	103.0	6.7	1.037 $\angle$ -15.014	230
7	(P-Q)	26.6	13.7	1.021 $\angle$ -14.145	115
8	(P-Q)	55.7	13.0	1.021 $\angle$ -14.560	115
9	(P-Q)	23.8	9.2	1.023 $\angle$ -11.874	115
10	(P-Q)	169.6	89.8	1.024 $\angle$ -11.759	230
11	(P-Q)	51.5	4.3	0.982 $\angle$ -16.344	115
12	(P-Q)	40.8	17.2	0.992 $\angle$ -13.072	115
13	(P-Q)	45.1	19.5	0.966 $\angle$ -19.192	115
14	(P-Q)	139.0	75.8	0.963 $\angle$ -20.602	115
15	(P-V)	8.7	3.4	1.03 $\angle$ -12.359	230
16	(P-V)	52.9	26.5	1.03 $\angle$ -9.444	230
17	(P-Q)	119.9	52.9	1.02 $\angle$ -12.314	230
18	(P-V)	77.9	18.7	1.03 $\angle$ -4.906	230
19	(P-Q)	123.2	46.6	1.01 $\angle$ -11.247	230
20	(P-Q)	41.0	14.4	1.005 $\angle$ -14.281	230
21	(P-Q)	88.3	44.8	0.984 $\angle$ -15.524	115
22	(P-Q)	298.7	108.1	1.0 $\angle$ -15.985	115

ตารางที่ ก.6 (ต่อ) ข้อมูลบัสจากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบส่งกำลังไฟฟ้า  
เชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้

ข้อมูลบัส					
บัสที่	ชนิดบัส	โหลดจริง (MW)	โหลดรีแอกทีฟ (MVAR)	ขนาดแรงดัน (p u)	แรงดันพิกัด (kV)
23	(P-Q)	52.8	10.6	0.996 $\angle$ -16.254	230
24	(P-Q)	56.6	30.9	0.973 $\angle$ -18.109	115
25	(P-Q)	59.3	25.7	1.008 $\angle$ -16.576	115
26	(P-Q)	56.1	8.7	0.983 $\angle$ -19.393	115
27	(P-V)	-	-	1.010 $\angle$ -16.415	230
28	(P-V)	-	-	1.010 $\angle$ -14.781	230

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลการไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับ  
ภาคใต้

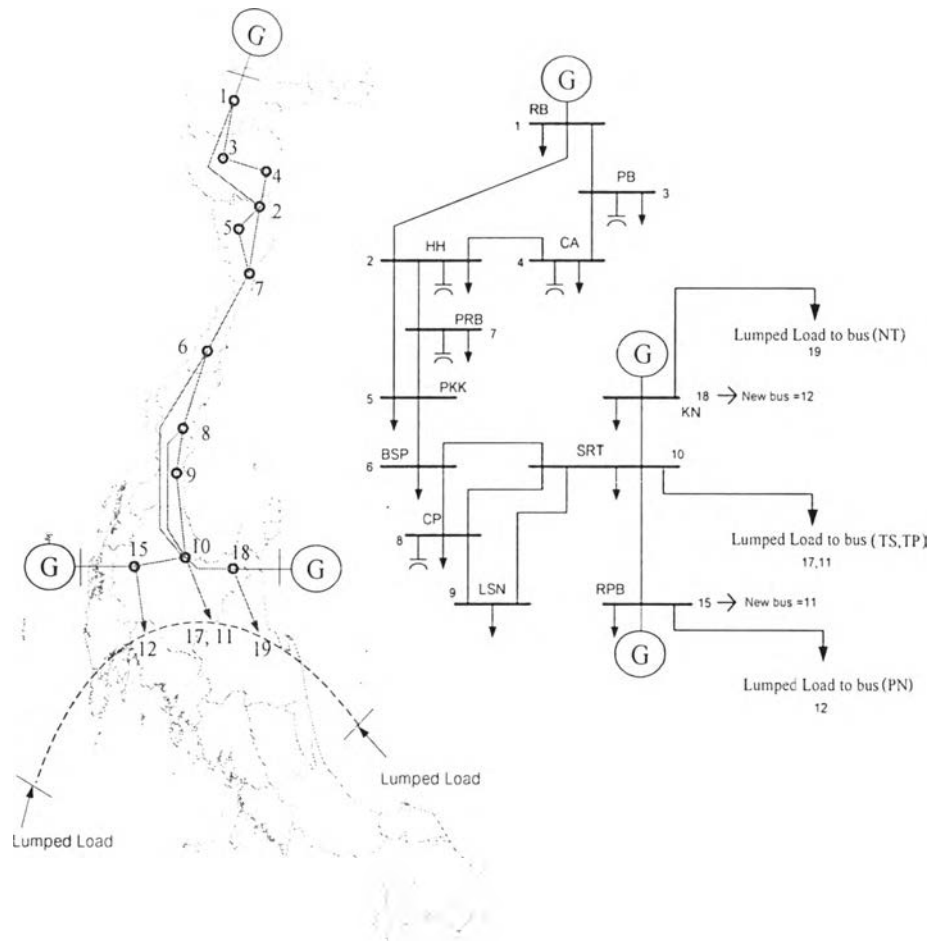
ข้อมูลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง								
เส้นที่	จากบัสที่	ไปบัสที่	From bus injection		To bus injection		Loss( $I^2 \times Z$ )	
			(MW)	(MVAR)	(MW)	(MVAR)	(MW)	(MVAR)
1	1	2	210.58	-52.74	-208.17	37.49	2.416	19.01
2	1	3	88.53	2.12	-87.91	-3.81	0.629	4.19
3	2	4	1.47	22.08	-1.33	-22.81	0.142	0.42
4	2	5	78.08	-42.90	-77.80	17.95	0.284	2.23
5	2	7	27.61	-0.15	-27.43	-0.34	0.187	0.55
6	3	4	35.91	-9.33	-35.47	9.39	0.433	1.29
7	5	6	48.99	-32.89	-48.91	9.83	0.082	0.49
8	5	7	-0.79	6.64	0.83	-9.09	0.038	0.11
9	6	8	-3.21	19.01	3.33	-23.11	0.118	0.35
10	6	10	-50.88	-25.96	51.28	61.31	0.398	3.13
11	8	9	-28.44	8.02	28.89	-8.81	0.451	1.33
12	8	10	-30.59	8.35	31.09	-8.92	0.505	1.48
13	9	10	-52.69	-0.39	52.73	0.45	0.036	0.11
14	10	11	21.43	-1.95	-20.48	-0.36	0.946	1.65
15	10	15	50.26	-43.91	-50.16	28.63	0.093	0.73

ตารางที่ ก.7(ต่อ) ข้อมูลการไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้

ข้อมูลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง								
เส้นที่	จากบัสที่	ไปบัสที่	From bus injection		To bus injection		Loss( $I^2 \times Z$ )	
			(MW)	(MVAR)	(MW)	(MVAR)	(MW)	(MVAR)
16	10	17	35.47	-19.67	-35.43	-39.55	0.040	0.38
17	10	18	-411.86	-45.52	418.15	-19.89	6.290	49.51
18	11	12	-31.02	11.48	32.00	-11.34	0.985	1.68
19	12	13	88.42	-5.36	-85.36	8.86	3.063	9.10
20	12	14	101.07	10.59	-99.07	-3.98	2.004	13.39
21	12	15	-242.28	-9.88	251.46	0.72	9.187	3.28
22	12	16	-20.02	-1.22	20.77	-0.96	0.753	1.30
23	13	14	40.26	-8.10	-39.93	8.42	0.327	0.96
24	16	17	189.05	13.14	-187.74	-6.30	1.318	9.53
25	16	21	37.27	-4.16	-35.16	4.81	2.115	3.64
26	17	19	-23.81	15.69	23.89	-19.25	0.086	0.62
27	17	21	42.04	10.55	-41.13	-9.78	0.916	2.69
28	17	28	85.03	-33.28	-84.67	-55.10	0.362	3.77
29	18	19	303.95	16.53	-299.67	-12.85	4.288	33.73
30	19	20	152.57	-14.50	-151.55	-4.39	1.02	8.03
31	20	21	12.21	1.89	-12.02	-3.78	0.189	0.32
32	20	22	87.07	-7.49	-86.74	-16.10	0.331	2.61
33	20	23	11.28	-4.41	-11.07	1.89	0.209	0.36
34	22	23	41.83	12.09	-41.73	-12.49	0.097	0.24
35	22	24	28.59	5.52	-28.15	-11.43	0.435	1.28
36	22	28	-282.38	-109.61	283.05	103.36	0.678	7.04
37	24	25	-28.45	-19.47	28.94	19.44	0.489	1.45
38	25	26	26.64	0.47	-26.03	-1.40	0.612	1.32
39	25	27	-114.88	-45.61	114.94	45.73	0.059	0.40
40	26	27	-30.07	-7.3	30.60	3.45	0.526	1.72
41	27	28	94.34	-19.02	94.61	-38.54	0.278	2.69
						Total loss	43.418	198.11

## 2. ข้อมูลในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ 12 บัสแบบไม่ติดตั้ง SVC

ข้อมูลในหัวข้อนี้จะเป็นแบบจำลองของระบบที่ลดจำนวนของบัสไฟฟ้าจากเดิม 28 บัสลงมาเป็น 12 บัส ดังแสดงในรูปที่ ก.2 และข้อมูลของระบบแสดงในตารางที่ ก.6-ก.10



รูปที่ ก.2 แผนภาพเส้นเดียวของระบบส่งไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ ที่จะศึกษาพฤติกรรมที่ภาวะชั่วคราวแบบไม่มี SVC ติดตั้งใช้งาน

รูปที่ ก.2 แสดงระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ ที่ไม่มีการติดตั้ง SVC และมีการตัดโครงข่ายส่วนร่างของระบบออกเพื่อความสะดวกในการนำไปวิเคราะห์พฤติกรรมเชิงพลวัตของระบบ จากนั้นก็ทำการเปลี่ยนหมายเลขของบัสเพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการใส่ข้อมูลในการวิเคราะห์ดังรูปที่ ก.2

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลบัสของระบบแบบมีจำนวน 12 บัส ณ จุดทำงานกรณีฐาน

ข้อมูลบัส							
บัสที่	ชนิดบัส	โหลดจริง (MW)	โหลดรีแอกทีฟ (MVAR)	ชัสเซปแตนซ์ ขนาน (MVAR)	แรงดันพิกัด (kV)	Vmax (p.u)	Vmin (p.u)
1	(swing)	305.9	72.1	0	230	1.05	0.95
2	(P-Q)	101.0	8.0	23.2	230	1.05	0.95
3	(P-Q)	52.0	25.2	11.8	115	1.05	0.95
4	(P-Q)	36.8	17.9	4.4	115	1.05	0.95
5	(P-Q)	29.6	8.3	0	230	1.05	0.95
6	(P-Q)	103.0	6.7	0	230	1.05	0.95
7	(P-Q)	26.6	13.7	4.1	115	1.05	0.95
8	(P-Q)	55.7	13.0	6.0	115	1.05	0.95
9	(P-Q)	23.8	9.2	0	115	1.05	0.95
10	(P-Q)	226.5	68.21	0	230	1.05	0.95
11	(P-V)	302.96	5.02	0	230	1.05	0.95
12	(P-V)	344.75	33.73	0	230	1.05	0.95

หมายเหตุ ค่าชัสเซปแตนซ์ที่มีเครื่องหมาย(+) จะเป็นคาปาซิเตอร์ขนาน และ (-) เป็นรีแอกเตอร์ขนาน

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลบัสกำลังการผลิตที่ป้อนเข้าสู่ระบบ และขีดจำกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ กรณีฐาน

ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า							
บัสที่	กำลังการผลิตจริง (MW)	กำลังการผลิตรีแอกทีฟ (MW)	Pmax (MVAR)	Pmin (p.u)	Qmax (kV)	Qmin (p.u)	ขนาดแรงดัน (p.u)
1	602.97	25.93	5000	0	3000	-3000	1.02
11	210.00	35.70	400	0	300	-300	1.03
12	800.00	17.30	850	1.009	500	-500	1.03

ตารางที่ ก.10 ค่าพารามิเตอร์ และขีดจำกัดของสายส่งของระบบบนฐาน 100 MVA

ข้อมูลสายส่ง						
เส้นที่	จากบัสที่	ไปบัสที่	ความต้านทาน (p.u)	รีแอกแตนซ์ (p.u)	ช้สเซปแดนซ์ (p.u)	Limit (MVA)
1	1	2	0.00551	0.04355	0.3268	860
2	1	3	0.00832	0.055455	0.057	646.8
3	2	4	0.02913	0.08564	0.011	250
4	2	5	0.00431	0.033915	0.2556	858.8
5	2	7	0.02588	0.07609	0.0099	119.5
6	3	4	0.03245	0.09634	0.012	117.5
7	5	6	0.003098	0.018385	0.21952	858.8
8	5	7	0.06343	0.18649	0.0243	119.5
9	6	8	0.027365	0.08046	0.042	239.0
10	6	10	0.014355	0.11293	0.8512	858.8
11	8	9	0.05283	0.15532	0.0202	119.5
12	8	10	0.05147	0.15132	0.0197	119.5
13	9	10	0.00136	0.00401	0.0005	119.5
14	10	11	0.00256	0.020145	0.1518	858.8
15	10	12	0.003815	0.03003	0.2264	858.8

ตารางที่ ก.11 ข้อมูลบัสจากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้

ข้อมูลบัส					
บัสที่	ชนิดบัส	โหลดจริง (MW)	โหลดรีแอกทีฟ (MVAR)	ขนาดแรงดัน (p.u)	แรงดันพิกัด (kV)
1	(swing)	305.9	72.1	1.02 $\angle$ -7.9	230
2	(P-Q)	101.0	8.0	1.026 $\angle$ -12.957	230
3	(P-Q)	52.0	25.2	1.011 $\angle$ -10.596	115
4	(P-Q)	36.8	17.9	1.008 $\angle$ -12.677	115
5	(P-Q)	29.6	8.3	1.032 $\angle$ -14.423	230
6	(P-Q)	103.0	6.7	1.033 $\angle$ -14.922	230
7	(P-Q)	26.6	13.7	1.019 $\angle$ -14.090	115
8	(P-Q)	55.7	13.0	1.019 $\angle$ -14.472	115
9	(P-Q)	23.8	9.2	1.023 $\angle$ -11.795	115

ตารางที่ ก.11(ต่อ) ข้อมูลบัสจากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบส่งกำลังไฟฟ้า  
เชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้

10	(P-Q)	226.5	68.21	1.024 $\angle$ -11.680	230
11	(P-V)	302.96	5.02	1.03 $\angle$ -12.284	230
12	(P-V)	344.75	33.73	1.03 $\angle$ -4.827	230

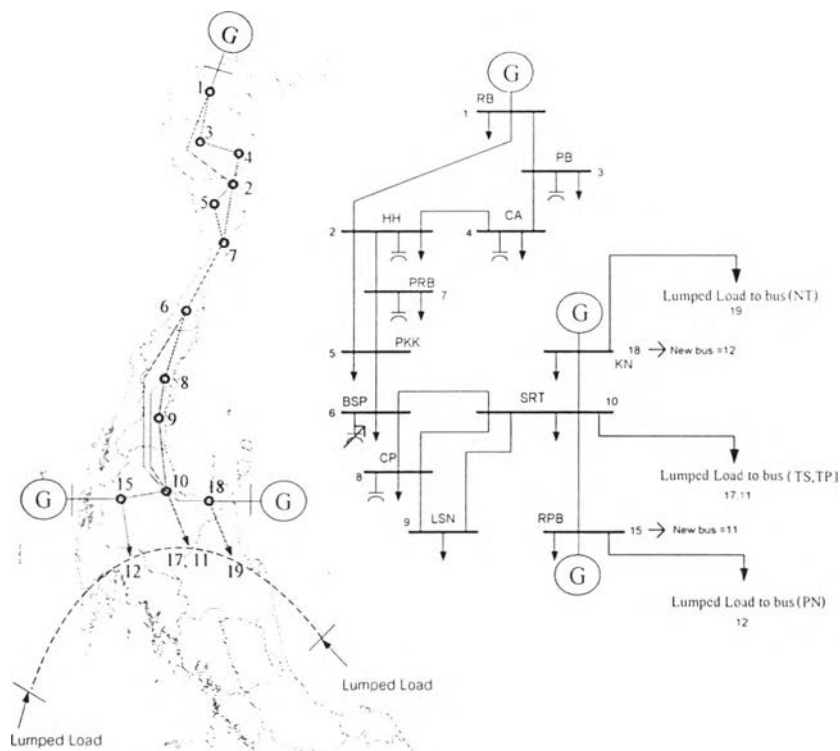
ตารางที่ ก.12 ข้อมูลการไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับ  
ภาคใต้

ข้อมูลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง									
เส้นที่	จากบัสที่	ไปบัสที่	From bus injection		To bus injection		Loss( $I^2 \times Z$ )		
			(MW)	(MVAR)	(MW)	(MVAR)	(MW)	(MVAR)	
1	1	2	208.78	-48.97	-206.41	33.35	2.363	18.59	
2	1	3	88.30	2.80	-87.67	-4.50	0.626	4.17	
3	2	4	1.55	22.29	-1.42	-22.05	0.133	0.39	
4	2	5	76.68	-38.58	-76.42	13.61	0.266	2.10	
5	2	7	27.48	0.37	-27.30	-0.86	0.186	0.55	
6	3	4	35.70	-8.63	-35.27	8.67	0.425	1.26	
7	5	6	47.78	-27.93	-47.70	4.96	0.074	0.44	
8	5	7	-0.77	6.07	0.80	-8.52	0.033	0.10	
9	6	8	-3.72	17.01	3.82	-21.15	0.099	0.29	
10	6	10	-50.82	-28.63	51.21	58.36	0.385	3.03	
11	8	9	-28.59	7.08	29.04	-7.86	0.449	1.32	
12	8	10	-30.74	7.35	31.24	-7.93	0.503	1.48	
13	9	10	-52.83	-1.33	52.86	1.39	0.036	0.11	
14	10	11	50.26	-46.82	-50.16	31.59	0.099	0.78	
15	10	12	-411.87	43.57	418.16	-17.93	6.289	49.51	
Total loss							11.966	84.10	

### 3. ข้อมูลในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ 12 บัสแบบติดตั้ง SVC

ในหัวข้อนี้เป็นการเพิ่มข้อมูลของ SVC เข้ามาประกอบกับการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าจากการติดตั้ง SVC เข้าใช้งานที่บัสไฟฟ้าบางสะพาน ดังแสดงในรูปที่ ก.3 และข้อมูลของระบบแสดงในตารางที่ ก.10-ก.14





รูปที่ ก.3 แผนภาพเส้นเดียวของระบบส่งไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้  
ที่จะศึกษาพฤติกรรมที่ภาวะชั่วคราวแบบมี SVC ติดตั้งใช้งาน

ในกรณีติดตั้ง SVC การพิจารณาข้อมูลของบัสจะกำหนดถูกให้มีค่าเท่าเดิมเหมือนกับกรณีไม่  
ติดตั้ง SVC แต่ข้อมูลอื่นจะเปลี่ยนไปดังจะแสดงต่อไป

ตารางที่ ก.13 ข้อมูลบัสกำลังการผลิตที่ป้อนเข้าสู่ระบบ และขีดจำกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ  
กรณีฐาน

ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า							
บัสที่	กำลังการผลิตจริง (MW)	กำลังการผลิตรีแอกทีฟ (MW)	Pmax (MVAR)	Pmin (p.u)	Qmax (kV)	Qmin (p.u)	ขนาดแรงดัน (p.u)
1	605.06	21.48	5000	0	3000	-3000	1.02
11	210.00	32.78	400	0	300	-300	1.03
12	800.00	15.36	850	1.009	500	-500	1.03

ตารางที่ ก.14 ข้อมูลของ SVC ณ จุดทำงานกรณีฐานบนฐาน 100 MVA

ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า							
บัสที่	กำลังการผลิตจริง (MW)	กำลังการผลิตรีแอกทีฟ (MVAR)	$X_{i1}$ (p.u)	$X_{i2}$ (p.u)	มุมจุดชนวน (Degree)	Slope	แรงดันอ้างอิง (p.u)
6	0	-9.586	1	0.6667	108.281	0.05	1.0365

หมายเหตุ ค่ากำลังรีแอกทีฟที่มีเครื่องหมาย(-) จะเป็นการจ่ายกำลังรีแอกทีฟ และ (+) เป็นการรับกำลังรีแอกทีฟกับระบบ

ตารางที่ ก.15 ข้อมูลบัสจากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้

ข้อมูลบัส					
บัสที่	ชนิดบัส	โหลดจริง (MW)	โหลดรีแอกทีฟ (MVAR)	ขนาดแรงดัน (p.u)	แรงดันพิกัด (kV)
1	(swing)	305.9	72.1	1.02 $\angle$ -7.9	230
2	(P-Q)	101.0	8.0	1.028 $\angle$ -13.004	230
3	(P-Q)	52.0	25.2	1.011 $\angle$ -10.605	115
4	(P-Q)	36.8	17.9	1.009 $\angle$ -12.708	115
5	(P-Q)	29.6	8.3	1.035 $\angle$ -14.500	230
6	(P-Q)	103.0	6.7	1.037 $\angle$ -15.017	230
7	(P-Q)	26.6	13.7	1.021 $\angle$ -14.147	115
8	(P-Q)	55.7	13.0	1.021 $\angle$ -14.565	115
9	(P-Q)	23.8	9.2	1.023 $\angle$ -11.880	115
10	(P-Q)	226.5	68.21	1.024 $\angle$ -11.765	230
11	(P-V)	302.96	5.02	1.03 $\angle$ -12.364	230
12	(P-V)	344.75	33.73	1.03 $\angle$ -4.911	230

ตารางที่ ก.16 ข้อมูลการไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้

ข้อมูลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง								
เส้นที่	จากบัสที่	ไปบัสที่	From bus injection		To bus injection		Loss( $I^2 \times Z$ )	
			(MW)	(MVAR)	(MW)	(MVAR)	(MW)	(MVAR)
1	1	2	210.63	-52.74	-208.21	37.49	2.417	19.02
2	1	3	88.54	2.12	-87.91	-3.80	0.629	4.19
3	2	4	1.44	22.07	-1.30	-22.81	0.142	0.42
4	2	5	78.14	-42.92	-77.86	17.97	0.284	2.24
5	2	7	27.62	-0.16	-27.43	-0.33	0.187	0.55
6	3	4	35.90	-9.34	-35.47	9.40	0.433	1.29
7	5	6	49.08	-32.91	-48.99	9.84	0.083	0.49
8	5	7	-0.80	6.65	0.84	-9.09	0.038	0.11
9	6	8	-3.16	19.01	3.28	-23.11	0.118	0.35
10	6	10	-50.84	-25.96	51.24	61.32	0.398	3.13
11	8	9	-28.44	8.02	28.89	-8.80	0.451	1.33
12	8	10	-30.58	8.34	31.09	-8.92	0.505	1.48
13	9	10	-52.71	-0.40	52.74	0.46	0.036	0.11
14	10	11	50.25	-43.95	-50.16	28.67	0.093	0.73
15	10	12	-411.87	45.50	418.16	-19.87	6.29	49.51
Total loss							12.103	84.94

#### 4. ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ค่าพารามิเตอร์ของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าราชบุรี ขนอม และรัชประภา นี้ได้จากการรวบรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกชนิดในโรงไฟฟ้านั้น ๆ เข้าด้วยกัน ซึ่งค่าพารามิเตอร์ในส่วนประกอบต่างๆ จะแสดงดังตารางต่างๆ ต่อไปนี้

ตารางที่ ก.17 ค่าพารามิเตอร์ของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ค่าพารามิเตอร์	ราชบุรี	ขนอม	รัชประภา
Capacity (MVA)	4464.8	1246.3	300
H(sec)	3.4696	3.0873	3.11689
$r_s$ (p.u)	0.0021	0.0019	0.0043

ตารางที่ ก.17(ต่อ) ค่าพารามิเตอร์ของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ค่าพารามิเตอร์	ราชบุรี	ขนอม	รัชประภา
$X_d$ (p.u)	1.693	2.02	1.675
$X_q$ (p.u)	1.636	1.860	1.648
$X_s$ (p.u)	0.228	0.205	0.304
$X'_d$ (p.u)	0.346	0.358	0.311
$X'_q$ (p.u)	0.991	0.565	0.979
$T'_{do}$ (sec)	6.580	9.1	5.4
$T'_{qo}$ (sec)	1.5	0.46	1.5
$D$ (p.u)	2	2	2

ตารางที่ ก.18 ค่าพารามิเตอร์ของระบบกระตุ้นของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ค่าพารามิเตอร์	ราชบุรี	ขนอม	รัชประภา
$K_A$	400	50	245
$T_A$ (sec)	0.02	0.02	0.05
$V_{Rmax}$ (p.u)	6.02	1.0	2.78
$V_{Rmin}$ (p.u)	-6.02	-1.0	-2.78
$T_E$ (sec)	0.015	0.1455	1.37
$K_E$	1.0	-0.0244	-0.17
$T_F$ (sec)	0.05	0.7750	1.0
$K_F$	0.04	0.0233	0.04
$A_{EX}$	0.1296	0.0015	0.0027
$B_{EX}$	0.3814	1.5833	1.639
$E_{FDmax}$ (p.u)	3.85	1.382	1.284
$E_{FDmin}$ (p.u)	-1.06	-1.382	-1.284

ตารางที่ ก.19 ค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมความเร็วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ค่าพารามิเตอร์	ราชบุรี	ขนอม	รัชประภา
$R$	0.05	0.05	0.05
$P_{max}$ (MW)	3955.3	1063.27	240
$T_1$ (sec)	0.18	0.25	0.25
$T_2$ (sec)	0	0	0
$T_3$ (sec)	0.04	0.1	0

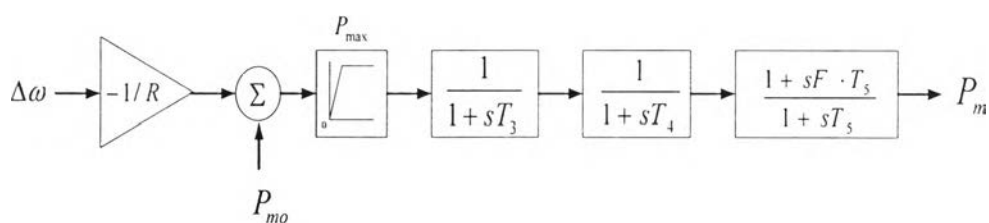
ตารางที่ ก.19(ต่อ) ค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมความเร็วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ค่าพารามิเตอร์	ราชบุรี	ขนอม	รัชประภา
$T_4$ (sec)	0.2	0.3	0.05
$T_5$ (sec)	5	5	12
$F$	0.3	0.32	0.549

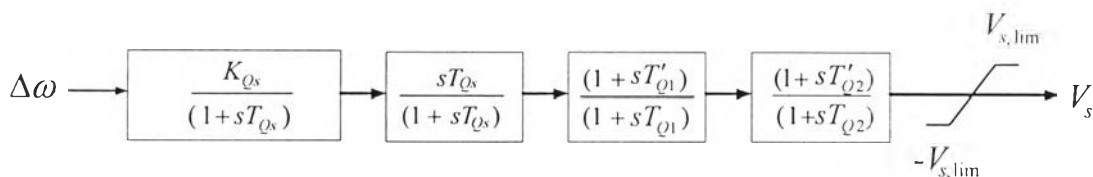
ตารางที่ ก.20 ค่าพารามิเตอร์ของระบบรักษาเสถียรภาพ(PSS) ของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ค่าพารามิเตอร์	ราชบุรี	ขนอม	รัชประภา
$K_{Qs}$	-	1.53	-
$T_Q$	-	3.0	-
$T'_{Q1}$ (sec)	-	0.15	-
$T_{Q1}$ (sec)	-	0.05	-
$T'_{Q2}$ (sec)	-	0.15	-
$T_{Q2}$ (sec)	-	0.05	-
$V_{s,lim}$ (p.u.)	-	0.1	-

แบบจำลองของระบบควบคุมความเร็ว(Governor System) และระบบรักษาเสถียรภาพ(PSS) ของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีลักษณะดังรูปที่ ก.4 และรูปที่ ก.5 ตามลำดับ



รูปที่ ก.4 แบบจำลองของระบบควบคุมความเร็ว

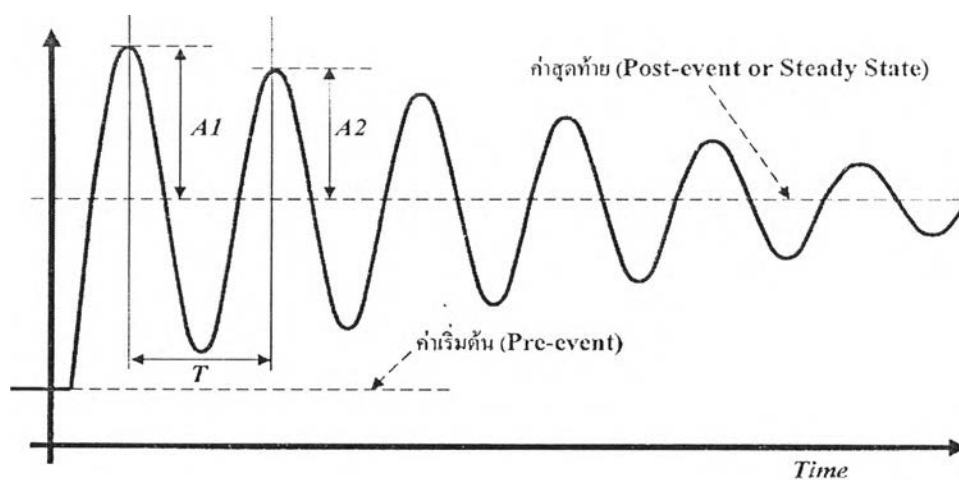


รูปที่ ก.5 แบบจำลองของระบบรักษาเสถียรภาพ

## ภาคผนวก ข

## วิธีการประมาณค่าอัตราการหน่วงของระบบจากสัญญาณ

ในภาคผนวก ข จะแสดงถึงวิธีการประมาณค่าอัตราการหน่วงของกำลังไฟฟ้าในระบบ[31] เมื่อระบบไฟฟ้ามีการแกว่งของกำลังไฟฟ้า(Power Oscillation) มีค่าแอมพลิจูดที่แสดงผลตอบสนองนั้น ประกอบด้วย  $\lambda = -\sigma \pm j\omega$  ซึ่งค่าความหน่วง(Damping,  $\xi$ ) นิยามโดย  $\xi = \frac{-\sigma}{\sqrt{\sigma^2 + \omega^2}}$  และเมื่อนำค่านี้คูณกับ 100 จะกลายเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าความหน่วง(Percent Damping,  $\% \xi$ ) ในทางปฏิบัตินี้อาจไม่สามารถที่จะหาค่าแอมพลิจูดได้โดยตรง โดยเฉพาะเมื่อทำการจำลองระบบในโดเมนเวลา(Time Domain Simulation) เช่น ในโปรแกรม PSS/E 1 ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต หรือในกรณีที่ต้องทำการรันโปรแกรมในหลาย ๆ กรณีศึกษา ก็จะทำให้การหาค่าแอมพลิจูดของระบบนั้นใช้เวลานาน และยุ่งยาก การใช้นิยามดังกล่าวจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถทำได้โดยการอ่านค่าความหน่วงจากผลตอบสนองทางโดเมนเวลา โดยอาศัยการอ่านค่าของจุดคลื่นที่เกิดการแกว่งสองค่าในคาบเวลาที่แกว่ง แล้วนำมาคำนวณค่าความหน่วงได้ ตัวอย่างเช่น เมื่อมีการแกว่งของสัญญาณในรูปที่ ข.1

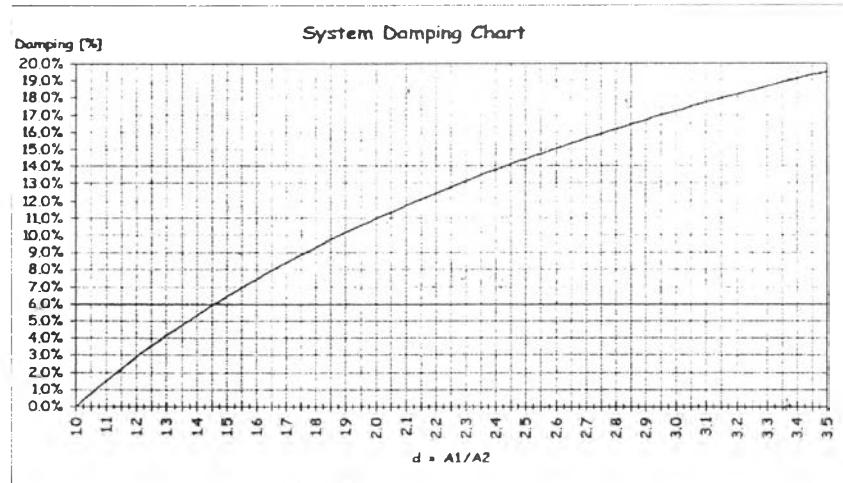


รูปที่ ข.1 สัญญาณที่มีการแกว่ง

กำหนดให้ค่า  $d$  คือ อัตราส่วนของยอดคลื่นในคาบเวลา(T) ที่ 1 และที่ 2 ตามลำดับดังสมการที่ ข.1

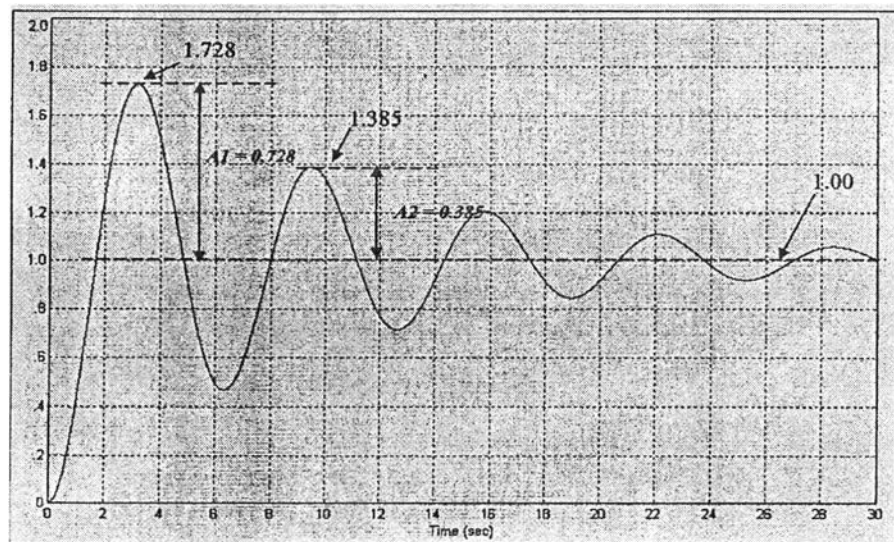
$$d = \frac{A_1}{A_2} \quad (\text{ข.1})$$

ค่าความหน่วงสามารถประมาณได้จากแผนภาพในรูปที่ ข.2 โดยเมื่อรู้ค่า  $d$  (ในแกนนอน) แล้วจะสามารถเทียบหาค่าเปอร์เซ็นต์ความหน่วง(ในแกนตั้ง) ได้



รูปที่ ข.2 กราฟความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนค่ายอดกับเปอร์เซ็นต์ความหน่วง

ตัวอย่างที่ 1 การประมาณค่า ในรูปที่ ข.3 เป็นสัญญาณของระบบที่มีค่าความหน่วง 10% ให้ประมาณค่าความหน่วงจากสัญญาณ



รูปที่ ข.3 สัญญาณของระบบที่มีค่าความหน่วง 10%

วิธีทำ  $d = \frac{A_1}{A_2} = \frac{0.728}{0.385} = 1.89$  อ่านค่าจากกราฟในรูป ข.2 ได้ค่าความหน่วงประมาณ 10%

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสมยศ ตันติภัทรกุล เกิดวันที่ 28 ตุลาคม พ.ศ. 2525 ที่อยู่ปัจจุบัน 530/86 ม.1 ตำบลแพรงษาใหม่ อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10280 เป็นบุตรของ นายสมนึก ตันติภัทรกุล และ นางจุฑา ตันติภัทรกุล สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนสตรีสมุทรปราการ ปี พ.ศ. 2540 สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ จากวิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ ปี พ.ศ. 2543 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ปี พ.ศ. 2547