

## บทที่ 5

### ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการประยุกต์เครือข่ายประสาทเทียมแบบฟังก์ชันมูลฐานแนวล้อมมี ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาเพื่อลดความผิดพลาดของแบบจำลองเชิงเส้นที่ใช้ในการออกแบบตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีค่าพารามิเตอร์คงตัว ซึ่งตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีค่าพารามิเตอร์คงตัวสามารถทำงานได้ดีในสถานะการทำงานที่แบบจำลองเชิงเส้นนั้นสามารถจำลองคุณลักษณะของระบบไฟฟ้ากำลังได้ดี แต่เมื่อใดก็ตามที่สถานะการทำงานเปลี่ยนแปลงไปมากจนส่งผลให้แบบจำลองเชิงเส้นดังกล่าวไม่สามารถจำลองคุณลักษณะของระบบไฟฟ้าได้ดีเพียงพออาจทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีค่าพารามิเตอร์คงตัวดังกล่าวลดลงไป บทนี้ได้ทดสอบหาผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเครือข่ายประสาทเทียมแบบฟังก์ชันมูลฐานแนวล้อมมี ผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีค่าพารามิเตอร์คงตัว และผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังที่ไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะการทำงานต่างๆ ทั้งสถานะการทำงานที่มีการรบกวนขนาดเล็ก (Small disturbance) ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้พิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เมื่อเกิดการรบกวนมีขนาดไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าทั้งระบบ [6] หรือประมาณ 5 เมกะวัตต์ กล่าวคือ การปรับแรงดันอ้างอิงขาเข้าของตัวกระตุ้นในระบบควบคุมการกระตุ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการเปลี่ยนแปลงโหลดในระบบไฟฟ้ากำลัง และสถานะการทำงานที่มีการรบกวนขนาดใหญ่ (Large disturbance) ซึ่งเป็นกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เมื่อเกิดการรบกวนมีขนาดเกิน 5 เมกะวัตต์ขึ้นไป กล่าวคือ การเกิดลัดวงจรในสายส่ง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหน่วงการแกว่งของระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ ดังกล่าว โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อาศัยการจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อทดสอบสถานะการทำงานที่มีการรบกวนขนาดเล็ก และสถานะการทำงานที่มีการรบกวนขนาดใหญ่อ้างอิงได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

#### 5.1 วิธีการทดสอบ

##### 5.1.1 ระบบที่ใช้ในการทดสอบ

ระบบที่ใช้ในการทดสอบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักร และเพื่อทดสอบหาผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ เมื่อเกิดการรบกวนที่สถานะการทำงานต่างๆ ที่ไม่สามารถคาดเดามาก่อน ด้วยเหตุนี้จำเป็นต้องมีการสุ่มค่าพารามิเตอร์ที่มีอยู่ในระบบไฟฟ้า

กำลังเพื่อใช้เป็นสถานะการทำงานทดสอบของระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ โดยเงื่อนไขการสุ่มค่าพารามิเตอร์มีดังต่อไปนี้

- กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 (P2) ถูกสมมติให้จ่ายอยู่ในช่วง 90-163 เมกะวัตต์
- กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 3 (P3) ถูกสมมติให้จ่ายอยู่ในช่วง 75-115 เมกะวัตต์
- แรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกตัว (V1,V2,V3) อยู่ในช่วง 1.000-1.050 เปอรียูนิตซึ่งเป็นแรงดันที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั่วไปทำงานในสถานะการทำงานปกติ โดยที่ V1,V2,V3 เป็นแรงดันที่บัส 1, 2 และ 3 ตามลำดับ
- โหลดที่บัส 5 (L5) อยู่ในช่วง 100-125 เมกะวัตต์
- โหลดที่บัส 6 (L6) อยู่ในช่วง 72-90 เมกะวัตต์
- โหลดที่บัส 8 (L8) อยู่ในช่วง 80-100 เมกะวัตต์

ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สุ่มค่าพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้ากำลังทั้งสิ้น 20 กรณีเพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการหน่วงการแกว่งของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีระบบควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ในกรณีต่างๆ เมื่อเกิดการรบกวนแบบต่างๆ ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป โดยผลการสุ่มเป็นดังตารางข้างล่าง

กรณี	P2	P3	V1	V2	V3	L5	L6	L8
01	119.20	87.00	1.0275	1.0095	1.0300	117.50	75.24	90.20
02	131.61	93.80	1.0045	1.0050	1.0200	111.25	79.74	84.00
03	103.87	75.40	1.0030	1.0065	1.0405	111.00	90.00	83.60
04	148.40	94.20	1.0165	1.0350	1.0345	116.75	85.50	95.60
05	90.73	103.40	1.0035	1.0050	1.0180	105.50	73.26	84.60
06	120.66	86.60	1.0265	1.0485	1.0430	108.25	73.44	86.20
07	94.38	87.00	1.0110	1.0055	1.0180	123.00	85.68	86.40
08	103.14	100.60	1.0315	1.0500	1.0260	120.00	78.12	98.60
09	148.40	95.40	1.0185	1.0465	1.0200	117.50	89.64	98.40
10	117.01	109.40	1.0230	1.0400	1.0055	109.50	72.36	95.60
11	157.16	81.80	1.0335	1.0120	1.0170	105.75	87.30	98.60
12	106.79	79.40	1.0020	1.0195	1.0020	109.25	82.80	83.60
13	107.52	92.20	1.0435	1.0200	1.0025	123.25	89.10	88.40
14	155.70	87.00	1.0400	1.0130	1.0280	102.00	80.64	91.60
15	119.93	83.40	1.0285	1.0070	1.0355	116.00	84.06	96.40
16	138.91	76.20	1.0310	1.0450	1.0180	111.50	79.02	90.40
17	120.66	106.60	1.0220	1.0370	1.0410	107.25	84.42	82.40
18	100.95	92.20	1.0025	1.0310	1.0310	110.00	77.94	84.60
19	142.56	81.00	1.0015	1.0365	1.0320	103.75	78.84	90.60
20	140.37	78.60	1.0445	1.0330	1.0420	102.25	79.56	87.80

ตารางที่ 5.1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการทดสอบ

ซึ่งระบบเก๊าบัส สามเครื่องจักรที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 20 กรณีแสดงไว้ในภาคผนวก ง

### 5.1.2 เหตุการณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

เหตุการณ์จำลองที่ใช้ในการทดสอบหาผลตอบของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีระบบควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ในแบบต่างๆ มีดังต่อไปนี้

- การเพิ่มแรงดันอ้างอิงขาเข้าของตัวกระตุ้น ขนาด 0.01 เปอร์ยูนิต
- การลดแรงดันอ้างอิงขาเข้าของตัวกระตุ้น ขนาด 0.01 เปอร์ยูนิต
- การเพิ่มโหลดที่บัส 5 ขนาด 10 เปอร์เซ็นต์ของโหลด ณ เวลานั้น
- การลดโหลดที่บัส 5 ขนาด 10 เปอร์เซ็นต์ของโหลด ณ เวลานั้น
- การเกิดลัดวงจรที่สายส่งจากบัส 7 ไปบัส 5 โดยเกิดใกล้บัส 7 จากนั้น 0.1 วินาทีที่มีการปลดสายส่งจากบัส 7 ไปบัส 5 ดังกล่าวออกจากระบบ

โดยการทดสอบกระทำด้วยการจำลองทางคอมพิวเตอร์ เปรียบเทียบผลตอบทางเวลาของมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 สัมพันธ์กับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 เพื่อตรวจสอบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 มีเสถียรภาพของมุมโรเตอร์หรือไม่และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการหน่วงมุมโรเตอร์ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีระบบควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ในแบบต่างๆ และผลตอบทางเวลาของกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 จ่ายออกเพื่อตรวจสอบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการรบกวนแบบต่างๆ ช้างต้นโดยพิจารณาเงื่อนไขของระบบควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ในกรณีต่างๆ ดังต่อไปนี้

- กรณีไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังติดตั้งที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 (NOPSS) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดา
- กรณีมีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีค่าพารามิเตอร์คงตัวติดตั้งที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ด้วยค่าพารามิเตอร์แตกต่างกันจำนวน 3 ชุดเพื่อตรวจสอบว่าค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังที่แตกต่างกันส่งผลต่อผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด และใช้ในการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเครือข่ายประสาทเทียมที่สถานะการทำงานต่างๆ เมื่อเกิดการรบกวน โดยที่ฟังก์ชันของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังในแต่ละชุดเป็นดังนี้

$$CPSS1 = 8.6 \left( \frac{3s}{1+3s} \right) \left( \frac{1+0.204s}{1+0.05s} \right)^2 \quad (5.1.1)$$

$$CPSS2 = 7.47 \left( \frac{3s}{1+3s} \right) \left( \frac{1+0.229s}{1+0.05s} \right)^2 \quad (5.1.2)$$

$$CPSS3 = 10.55 \left( \frac{3s}{1+3s} \right) \left( \frac{1+0.187s}{1+0.05s} \right)^2 \quad (5.1.3)$$

- กรณีมีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้าที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเครือข่ายฟังก์ชัน  
มูลฐานแนวรัศมีติดตั้งที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ซึ่งฟังก์ชันของตัวสร้างเสถียรภาพ  
ระบบไฟฟ้ากำลังเป็นดังนี้

$$DEPSS = \frac{D_e}{K} \left( \frac{3s}{1+3s} \right) \left( \frac{1+T_a s}{1+0.05s} \right) \left( \frac{1+T_b s}{1+0.05s} \right) ; D_e(t=0) = 20 \quad (5.1.4)$$

## 5.2 ผลการทดสอบ

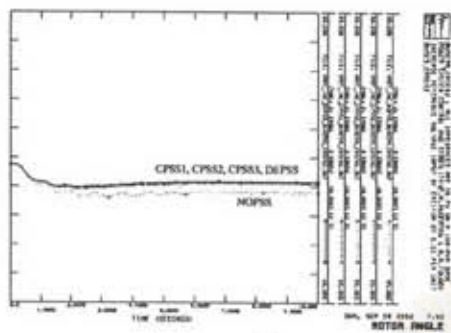
จากวิธีการทดสอบที่กล่าวข้างต้น ทำให้ได้ผลการทดสอบจำนวนมาก โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอกล่าวถึงสถานะการทำงานที่สำคัญเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบซึ่งเป็นสถานะการทำงานที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีแนวโน้มที่จ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นประจำและมักเกิดปัญหาการหน่วงการแกว่งของระบบไฟฟ้ากำลังไม่เพียงพอ กล่าวคือสถานะการทำงานที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้าใกล้ค่าพิกัดหรือประมาณ 80-100 เปอร์เซ็นต์ของค่าพิกัด ดังนั้นผลการทดสอบจะแสดงผลตอบสนองของมุมโรเตอร์สัมพันธ์และกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 จ่ายกำลังไฟฟ้า (P2) อยู่ในช่วง 130.56-163.20 เมกะวัตต์ ดังแสดงค่าแรงดันที่บัสต่างๆ พร้อมด้วยกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 (P2) และโหลดที่บัส 5 (L5) ในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ ตามตารางข้างล่าง

กรณีที่	แรงดันบัส									P2	L5
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
2	1.004	1.005	1.020	0.999	0.977	0.995	1.010	1.006	1.024	131.61	111.25
4	1.016	1.035	1.034	1.013	0.993	1.008	1.033	1.024	1.039	148.40	116.75
9	1.018	1.046	1.020	1.014	0.995	1.004	1.038	1.023	1.030	148.40	117.50
11	1.033	1.012	1.017	1.022	0.996	1.008	1.017	1.007	1.025	157.16	105.75
14	1.040	1.013	1.028	1.029	1.004	1.019	1.022	1.017	1.035	155.70	102.00
16	1.031	1.045	1.018	1.027	1.008	1.018	1.042	1.028	1.033	138.91	111.50
19	1.001	1.036	1.032	1.006	0.993	1.005	1.034	1.025	1.037	142.56	103.75
20	1.044	1.033	1.042	1.036	1.015	1.023	1.036	1.025	1.032	140.37	102.25

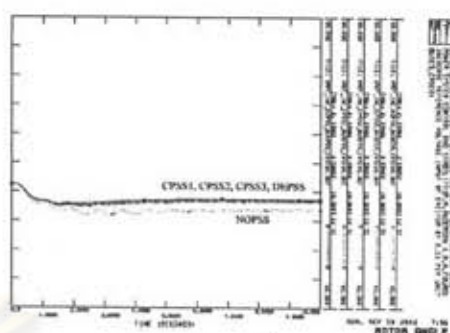
ตารางที่ 5.2 ระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบแสดงผลตอบทางเวลาของมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 สัมพันธ์กับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 และกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีค่าพารามิเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 5.2 เมื่อเกิดเหตุการณ์ต่างๆ ดังนี้

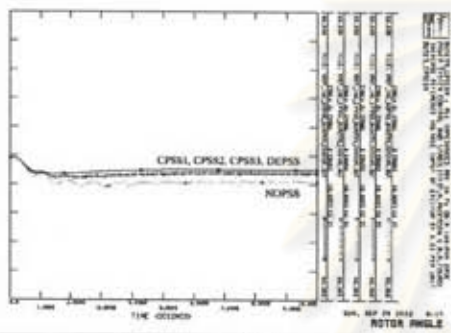
### 5.2.1 การเพิ่มแรงดันอ้างอิงขาเข้าของตัวกระตุ้น ขนาด 0.01 เปรอ์ยูนิต



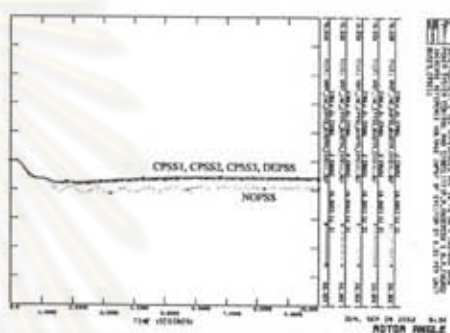
(ก) กรณีที่ 2



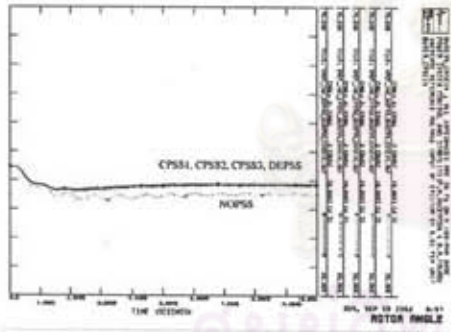
(ข) กรณีที่ 4



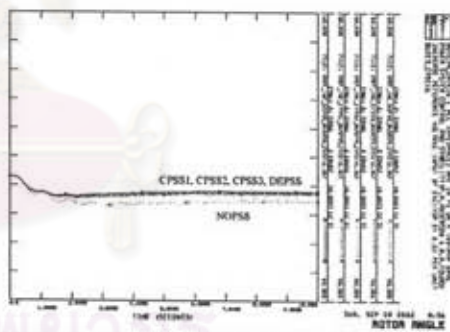
(ค) กรณีที่ 9



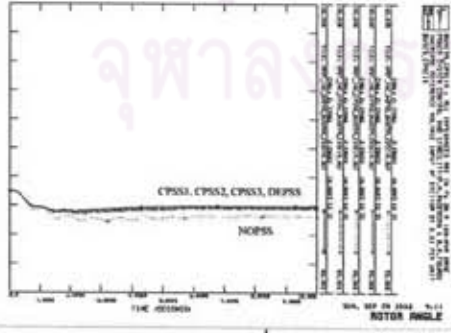
(ง) กรณีที่ 11



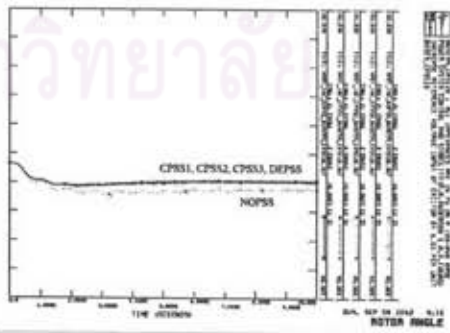
(จ) กรณีที่ 14



(ฉ) กรณีที่ 16

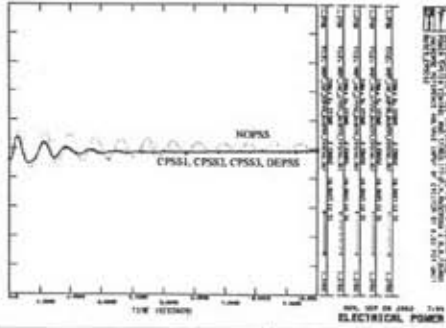


(ช) กรณีที่ 19

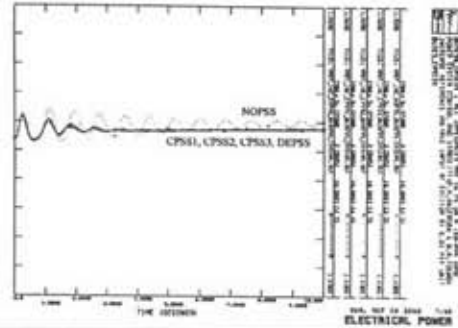


(ซ) กรณีที่ 20

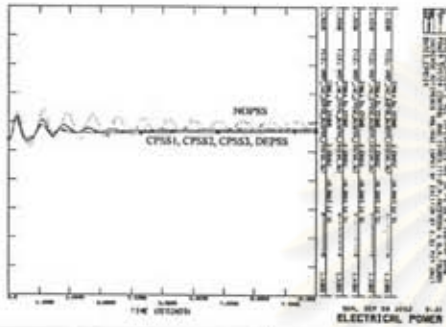
รูปที่ 5.1 ผลตอบทางเวลาของมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 สัมพันธ์กับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 เมื่อเพิ่มแรงดันอ้างอิงขาเข้าของตัวกระตุ้น ขนาด 0.01 เปรอ์ยูนิต



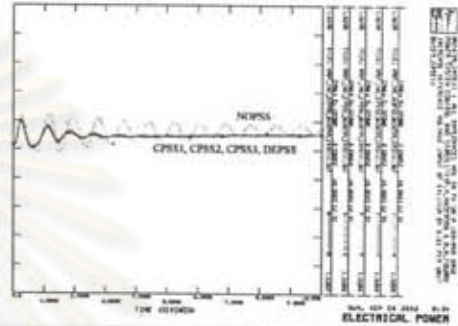
(ก) กรณีที่ 2



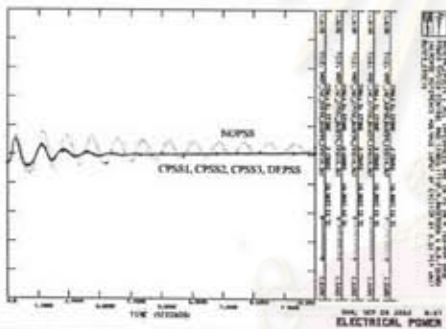
(ข) กรณีที่ 4



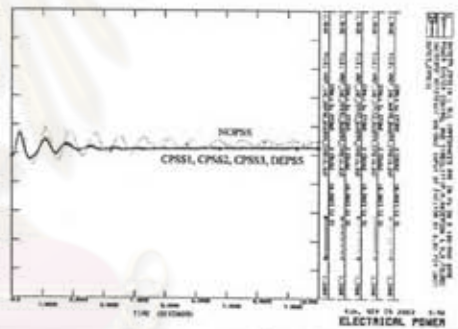
(ค) กรณีที่ 9



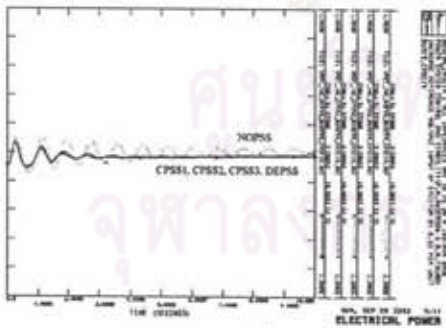
(ง) กรณีที่ 11



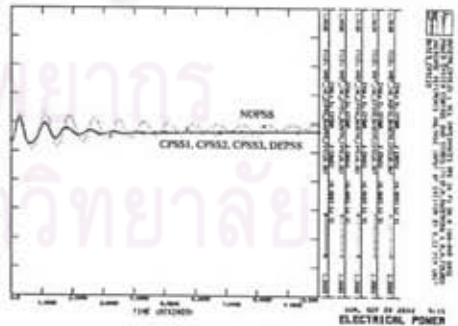
(จ) กรณีที่ 14



(ฉ) กรณีที่ 16



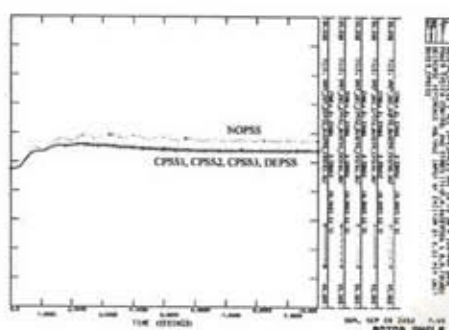
(ช) กรณีที่ 19



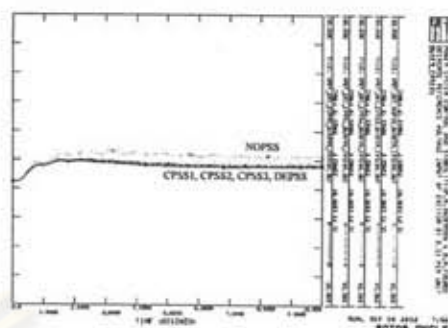
(ซ) กรณีที่ 20

รูปที่ 5.2 ผลตอบทางเวลาของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2  
เมื่อเพิ่มแรงดันอ้างอิงขาเข้าของตัวกระตุ้น ขนาด 0.01 เปอรฺยุนิต

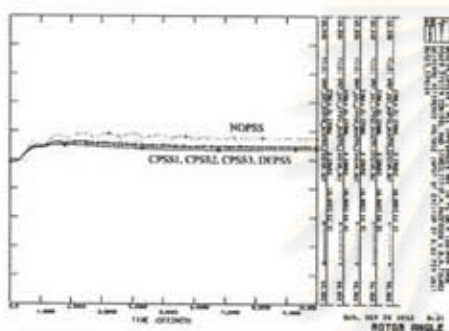
### 5.2.2 การลดแรงดันอ้างอิงขาเข้าของตัวกระตุ้น ขนาด 0.01 เปรอริยูนิต



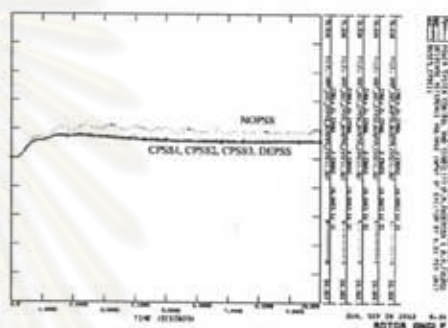
(ก) กรณีที่ 2



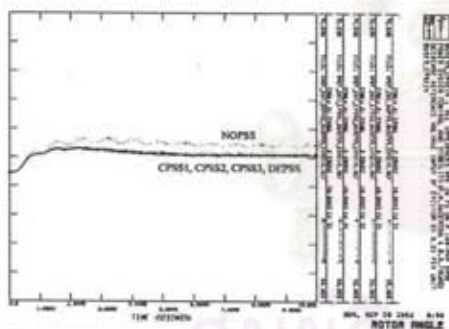
(ข) กรณีที่ 4



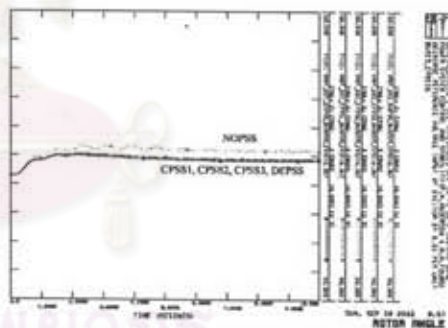
(ค) กรณีที่ 9



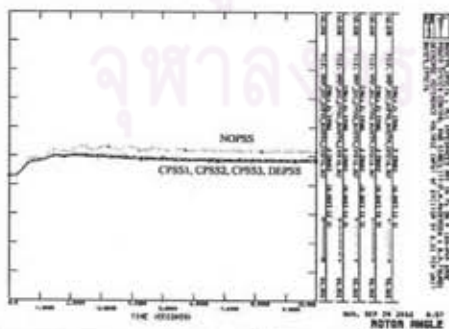
(ง) กรณีที่ 11



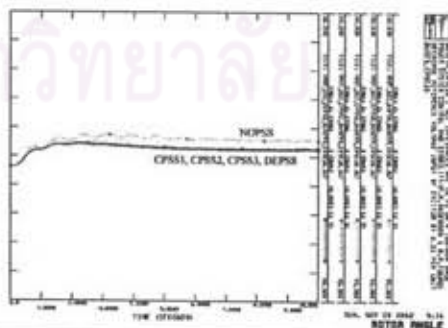
(จ) กรณีที่ 14



(ฉ) กรณีที่ 16

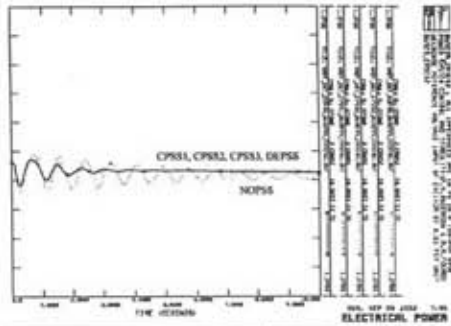


(ช) กรณีที่ 19

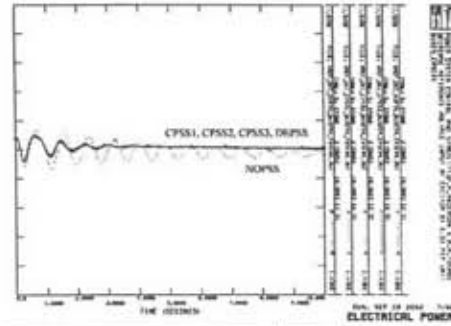


(ซ) กรณีที่ 20

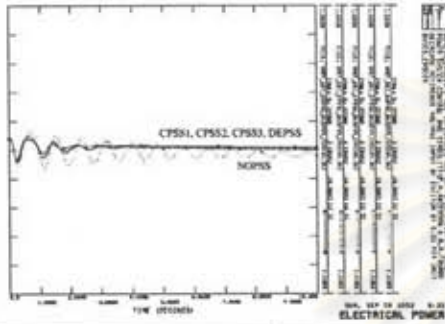
รูปที่ 5.3 ผลตอบทางเวลาของมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 สัมพัทธ์กับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 เมื่อลดแรงดันอ้างอิงขาเข้าของตัวกระตุ้น ขนาด 0.01 เปรอริยูนิต



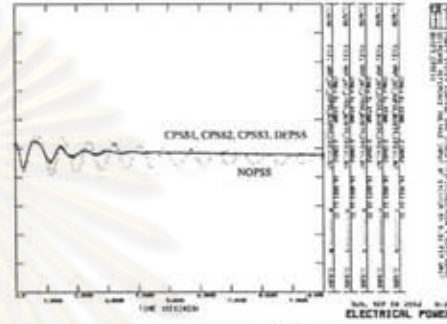
(ก) กรณีที่ 2



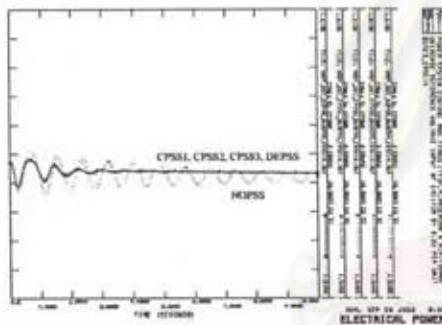
(ข) กรณีที่ 4



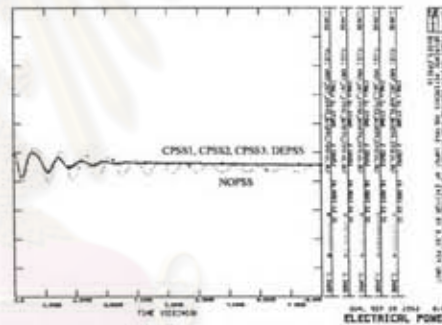
(ค) กรณีที่ 9



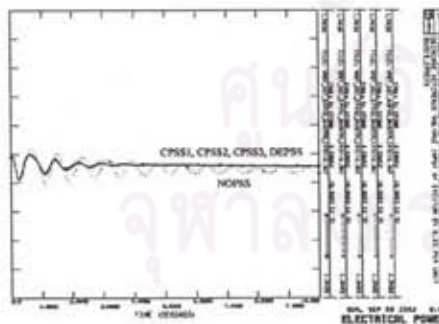
(ง) กรณีที่ 11



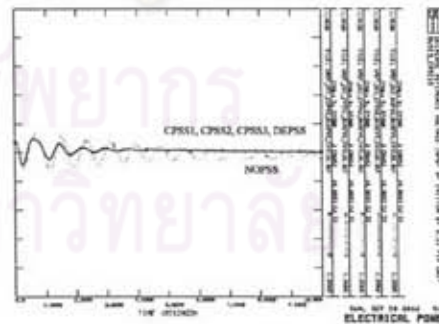
(จ) กรณีที่ 14



(ฉ) กรณีที่ 16



(ช) กรณีที่ 19

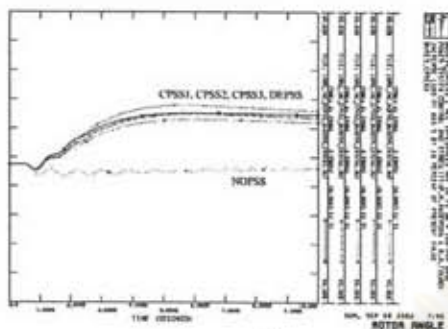


(ซ) กรณีที่ 20

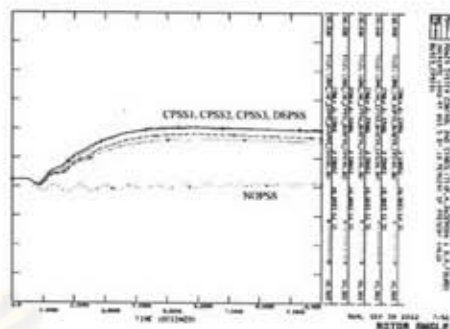
รูปที่ 5.4 ผลตอบทางเวลาของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2  
เมื่อลดแรงดันอ้างอิงขาเข้าของตัวกระตุ้น ขนาด 0.01 เปอรฺยุนิต



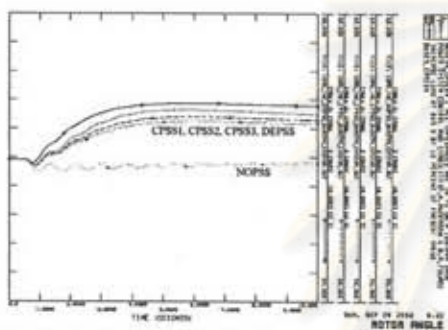
### 5.2.3 การเพิ่มโหลดในระบบ ในที่นี้คือเพิ่มโหลดที่บัส 5 ขนาด 10 เปอร์เซ็นต์



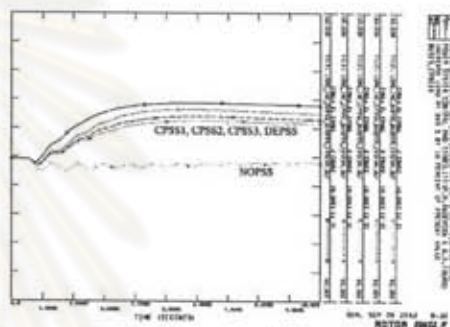
(ก) กรณีที่ 2



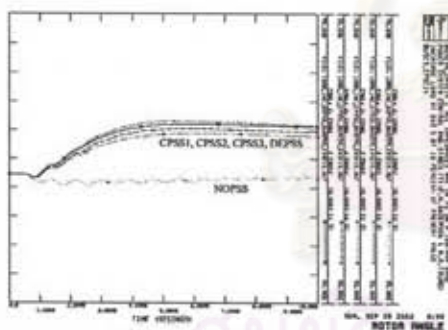
(ข) กรณีที่ 4



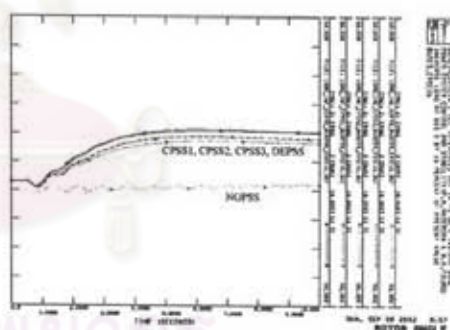
(ค) กรณีที่ 9



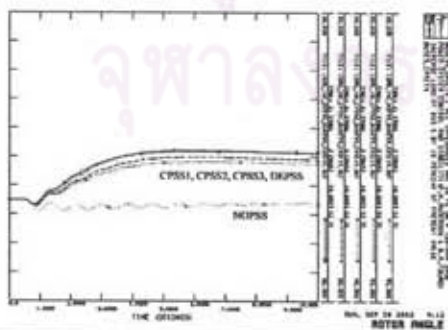
(ง) กรณีที่ 11



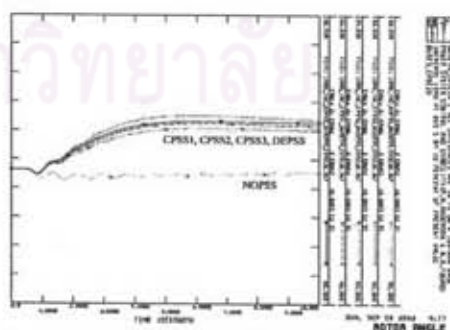
(จ) กรณีที่ 14



(ฉ) กรณีที่ 16

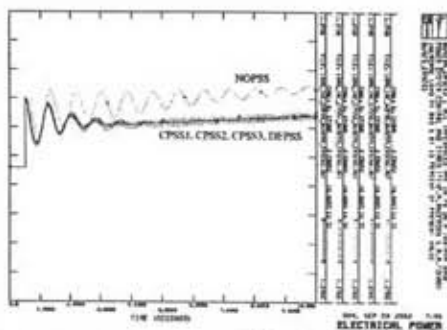


(ช) กรณีที่ 19

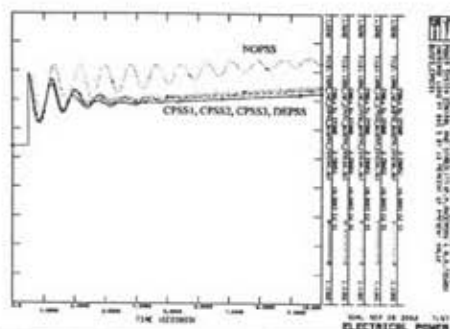


(ซ) กรณีที่ 20

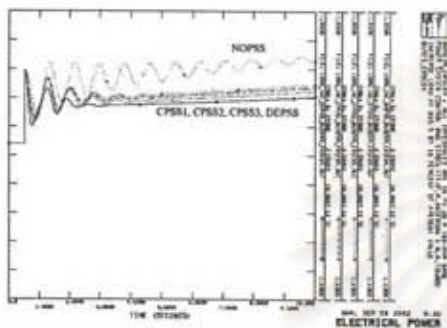
รูปที่ 5.5 ผลตอบทางเวลาของมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 สัมพันธ์กับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 เมื่อเพิ่มโหลดที่บัส 5 ขนาด 10 เปอร์เซ็นต์



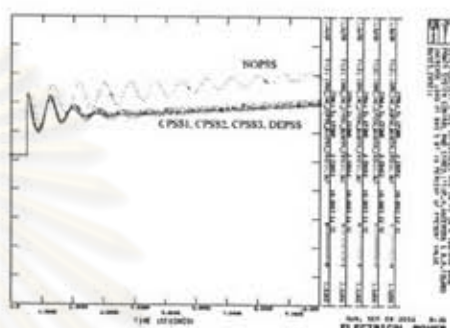
(ก) กรณีที่ 2



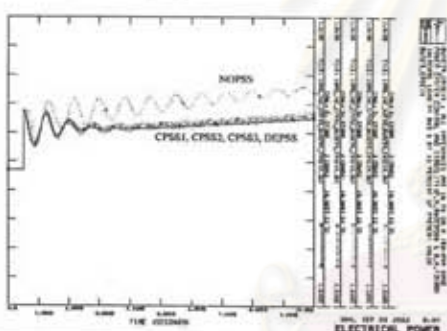
(ข) กรณีที่ 4



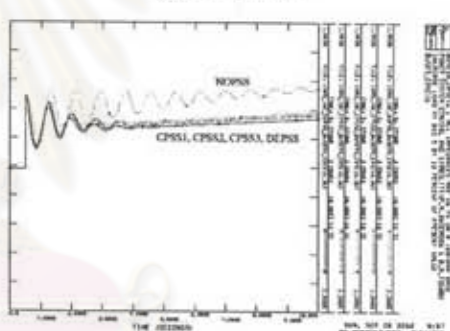
(ค) กรณีที่ 9



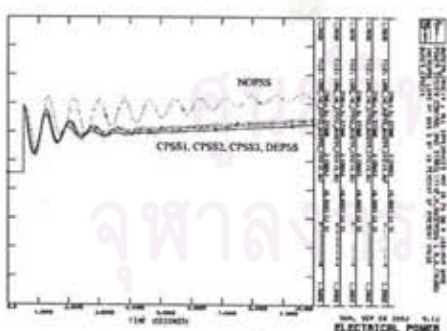
(ง) กรณีที่ 11



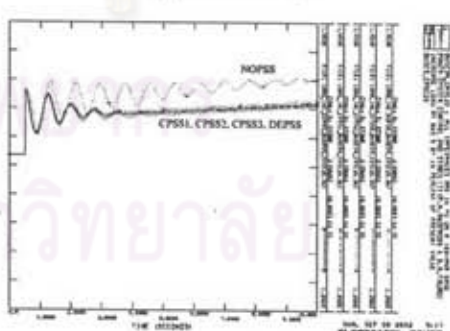
(จ) กรณีที่ 14



(ฉ) กรณีที่ 16



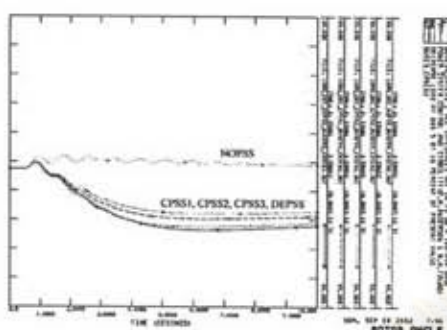
(ช) กรณีที่ 19



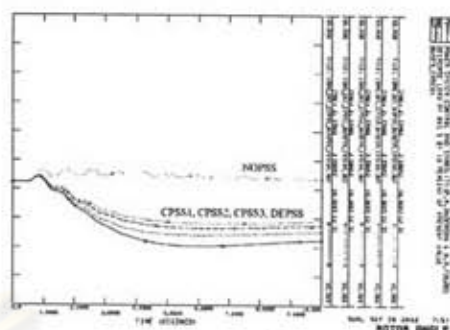
(ซ) กรณีที่ 20

รูปที่ 5.6 ผลตอบทางเวลาของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2  
เมื่อเพิ่มโหลดที่บัส 5 ขนาด 10 เมอร์เซ็นต์

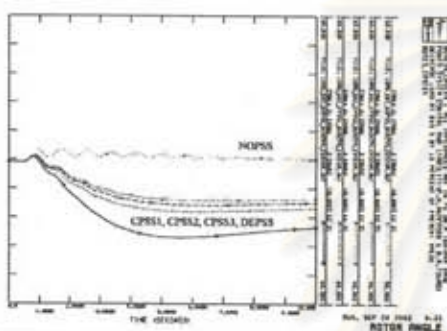
### 5.2.4 การลดโหลดในระบบ ในที่นี้คือลดโหลดที่บัส 5 ขนาด 10 เปอร์เซ็นต์



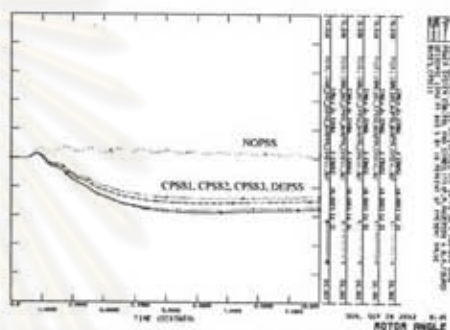
(ก) กรณีที่ 2



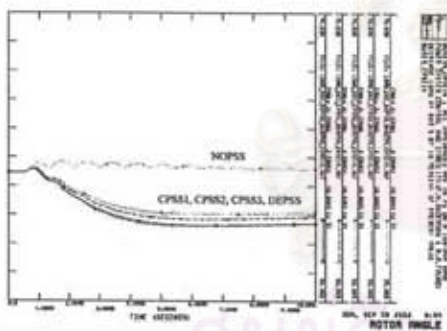
(ข) กรณีที่ 4



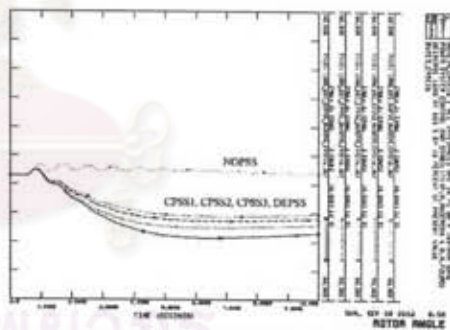
(ค) กรณีที่ 9



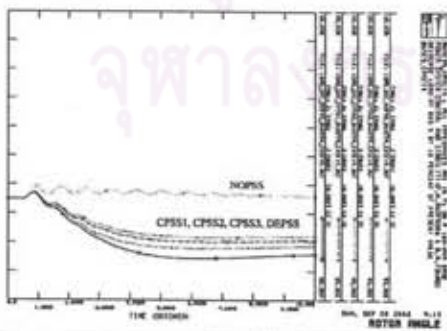
(ง) กรณีที่ 11



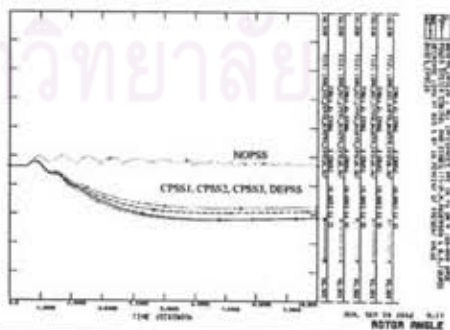
(จ) กรณีที่ 14



(ฉ) กรณีที่ 16

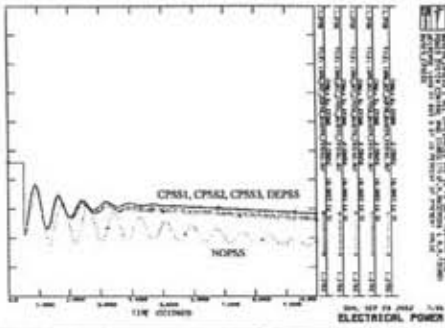


(ช) กรณีที่ 19

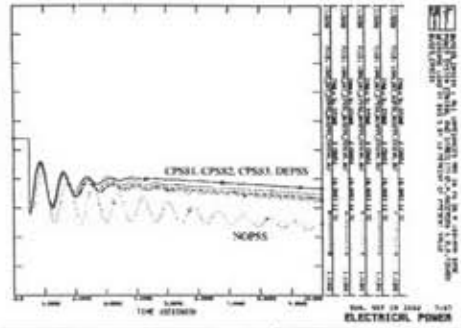


(ซ) กรณีที่ 20

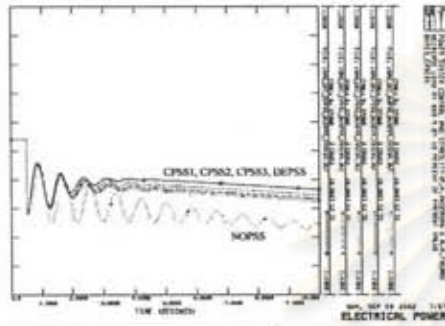
รูปที่ 5.7 ผลตอบทางเวลาของมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 สัมพัทธ์กับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 เมื่อลดโหลดที่บัส 5 ขนาด 10 เปอร์เซ็นต์



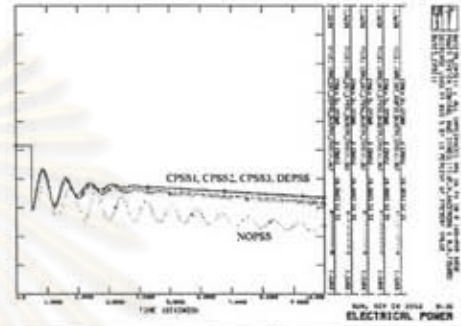
(ก) กรณีที่ 2



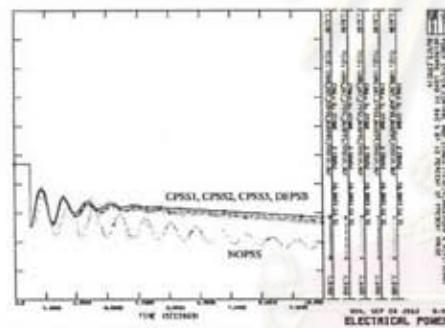
(ข) กรณีที่ 4



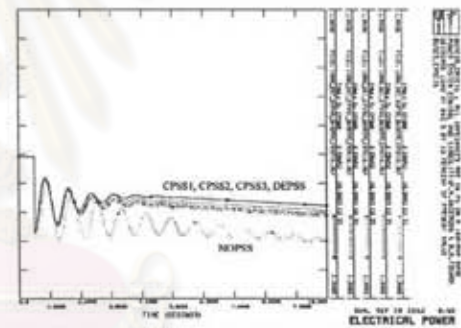
(ค) กรณีที่ 9



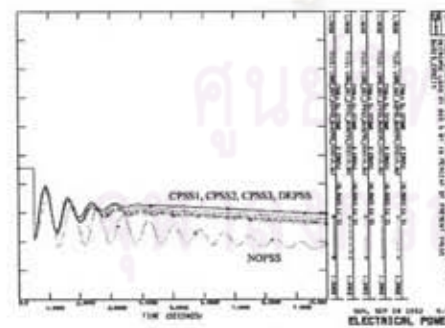
(ง) กรณีที่ 11



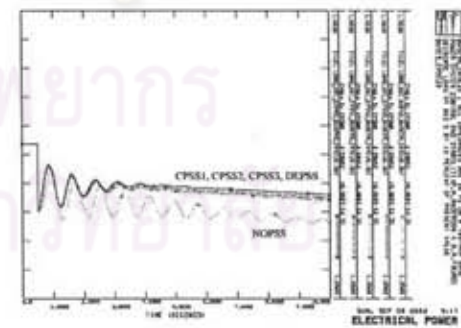
(จ) กรณีที่ 14



(ฉ) กรณีที่ 16



(ช) กรณีที่ 19

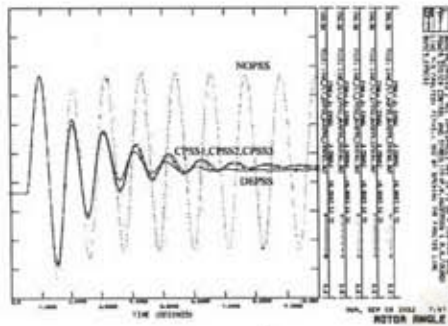


(ซ) กรณีที่ 20

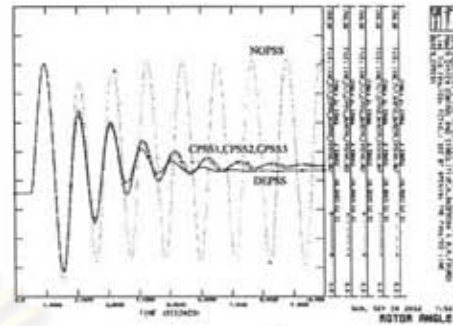
รูปที่ 5.8 ผลตอบทางเวลาของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2

เมื่อลดโหลดที่บัส 5 ขนาด 10 เปอร์เซนต์

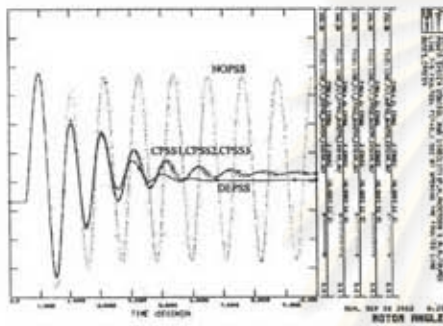
5.2.5 การเกิดลัดวงจรที่สายส่งจากบัส 7 ไปบัส 5 โดยเกิดใกล้บัส 7 จากนั้น 0.1 วินาทีที่มีการปลดสายส่งจากบัส 7 ไปบัส 5 ดังกล่าวออกจากระบบ มีดังนี้



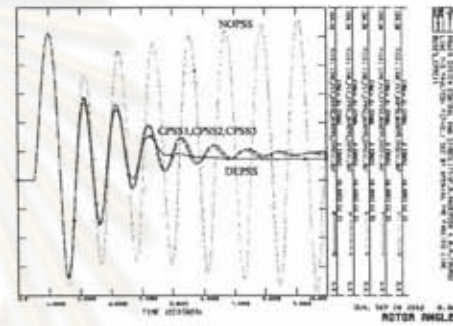
(ก) กรณีที่ 2



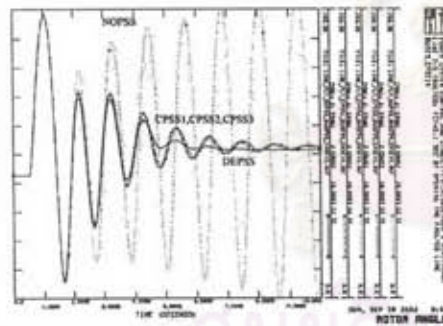
(ข) กรณีที่ 4



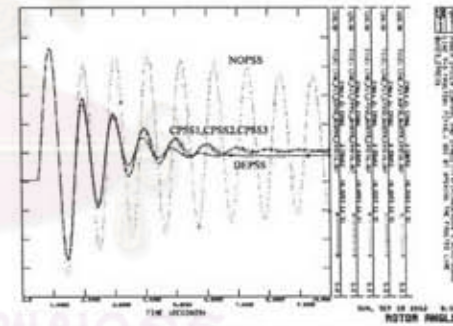
(ค) กรณีที่ 9



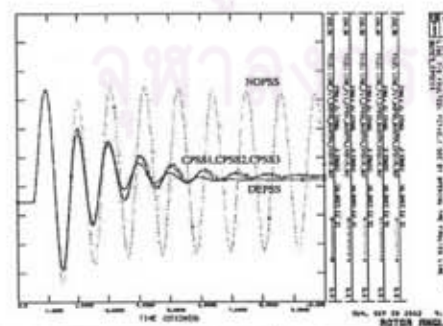
(ง) กรณีที่ 11



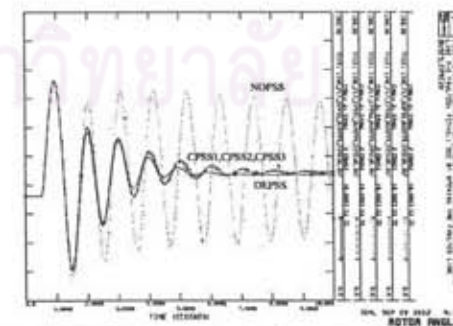
(จ) กรณีที่ 14



(ฉ) กรณีที่ 16

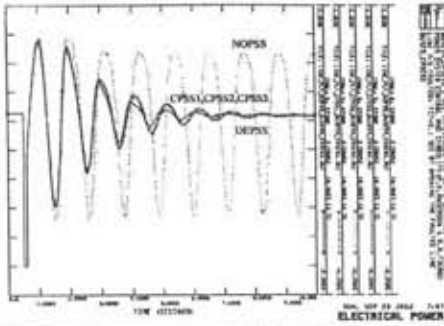


(ช) กรณีที่ 19

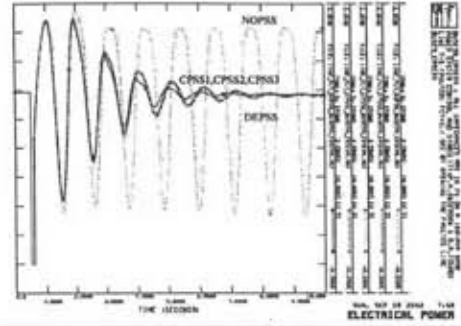


(ซ) กรณีที่ 20

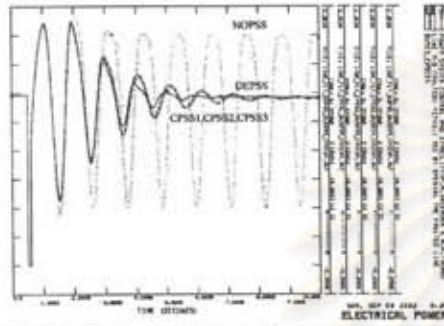
รูปที่ 5.9 ผลตอบทางเวลาของมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 สัมพันธ์กับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 เมื่อเกิดลัดวงจรที่สายส่งจากบัส 7 ไปบัส 5



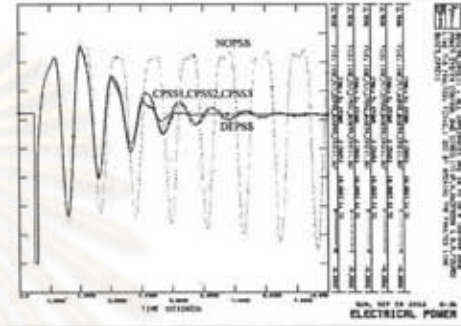
(ก) กรณีที่ 2



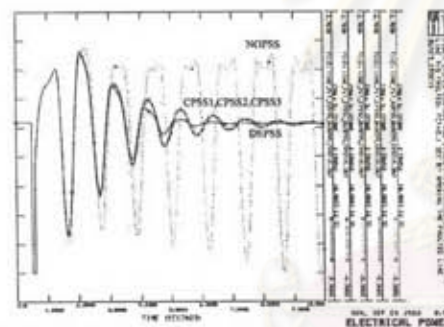
(ข) กรณีที่ 4



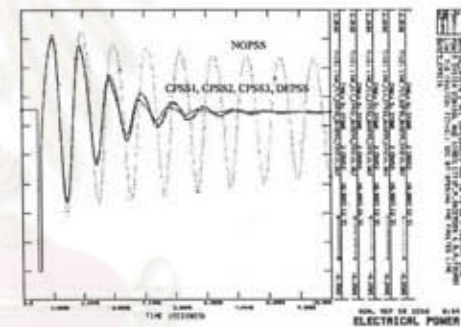
(ค) กรณีที่ 9



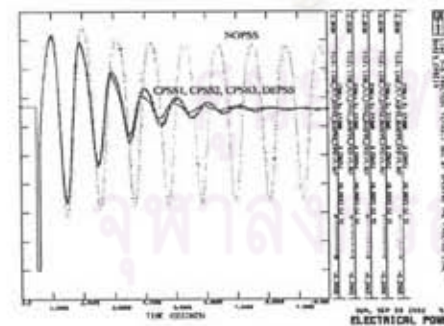
(ง) กรณีที่ 11



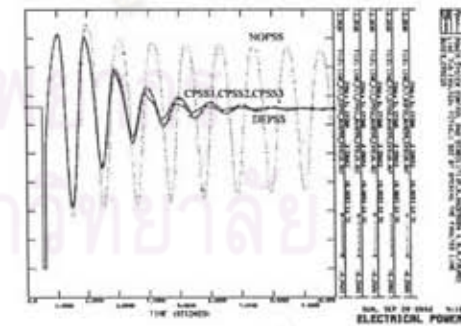
(จ) กรณีที่ 14



(ฉ) กรณีที่ 16



(ช) กรณีที่ 19



(ซ) กรณีที่ 20

รูปที่ 5.10 ผลตอบทางเวลาของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2  
เมื่อเกิดลัดวงจรที่สายส่งจากบัส 7 ไปบัส 5

### 5.3 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ

ในการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบนั้น กล่าวถึงเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังโดยอาศัยนิยามดั้งเดิมของเสถียรภาพ [6] ซึ่งกล่าวไว้ว่า “หากผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการแกว่งหลังจากเกิดการรบกวนถูกหน่วงและระบบค่อยๆ เข้าสู่สถานะการทำงานในช่วงเวลาจำกัดค่าหนึ่ง ระบบไฟฟ้ากำลังนั้นมีเสถียรภาพ มิเช่นนั้นระบบไฟฟ้ากำลังนั้นไม่มีเสถียรภาพ” ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณาผลตอบสนองของมุมโรเตอร์สัมพันธ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เทียบกับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 ถ้าหลังจากเวลาผ่านไป 5 วินาทีหลังเกิดการรบกวนต่างๆ แล้วขนาดของการแกว่งของมุมโรเตอร์รอบสถานะการทำงานลดลงตามเวลาและมีขนาดไม่เกิน 10 องศาให้ถือว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 มีเสถียรภาพของมุมโรเตอร์หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งคือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ยังคงรักษาซิงโครนัสกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 ไว้ได้ มิเช่นนั้นให้ถือว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ไม่มีเสถียรภาพของมุมโรเตอร์ นอกจากนั้นยังกล่าวถึงผลของการรบกวนต่างๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เพื่อวิเคราะห์ผลตอบสนองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ ทั้งที่ไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังและมีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบต่างๆ

จากผลการทดสอบสามารถแยกวิเคราะห์เหตุการณ์ได้ดังนี้

#### 5.3.1 การเพิ่มแรงดันอ้างอิงขาเข้าของตัวกระตุ้นขนาด 0.01 เปอรีย์นิต

จากรูปที่ 5.1 แสดงผลตอบสนองของมุมโรเตอร์สัมพันธ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เทียบกับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ โดยมีแกนตั้งอยู่ในช่วง 20 องศา พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที มุมโรเตอร์สัมพันธ์ดังกล่าวมีขนาดการแกว่งรอบสถานะการทำงานน้อยกว่า 1 องศาในลักษณะลดลงตามเวลา ทำให้สามารถสรุปได้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ในระบบไฟฟ้ากำลังในกรณีต่างๆ ที่แสดงไว้ในผลการทดสอบมีเสถียรภาพของมุมโรเตอร์ กล่าวคือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ยังคงรักษาซิงโครนัสกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 ได้นั่นเอง

จากรูปที่ 5.2 แสดงผลตอบสนองของกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ โดยมีแกนตั้งอยู่ในช่วง 10 MW พบว่าการเพิ่มแรงดันอ้างอิงขาเข้าของตัวกระตุ้นทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 จ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นขณะที่กำลังกลมีค่าคงตัว ซึ่งการรบกวนนี้ก่อให้เกิดกำลังเร่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2

เนื่องจากขนาดกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ที่เปลี่ยนแปลงมีค่าน้อยกว่า 1 MW ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การรบกวนดังกล่าวจัดเป็นการรบกวนขนาดเล็ก โดยความไม่สมดุลนี้ทำให้กำลังเร่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 มีค่าเป็นลบเนื่องจากกำลังกลมีค่าน้อยกว่ากำลังไฟ

ฟ้า ส่งผลให้ความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 มีขนาดลดลงด้วยความหน่วงอันเนื่องมาจากกำลังเร่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 นั้นเอง การลดลงของความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้เองส่งผลให้มุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 มีขนาดลดลง ขณะที่การรบกวนมีขนาดเล็กและค่าความเร็วเชิงมุมโรเตอร์มีความสัมพันธ์กับค่าคงที่ความเฉื่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กล่าวคือค่าคงที่ความเฉื่อยมีขนาดใหญ่ทำให้ความเร็วเชิงมุมโรเตอร์ที่ลดลงไปมีขนาดเล็กมาก ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 แทบจะไม่ได้รับผลกระทบเนื่องจากการรบกวนนี้ ทำให้มุมโรเตอร์สัมพันธ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เทียบกับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 มีขนาดลดลงดังเห็นได้จากรูปที่ 5.1

นอกจากนี้จากรูปที่ 5.2 ผลของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังในการแกว่งครั้งแรกของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ มีผลน้อยมากทำให้ผลตอบสนองของช่วงดังกล่าวในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ ที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบต่างๆ มีขนาดใกล้เคียงกับผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ ที่ไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง ขณะที่ในการแกว่งครั้งต่อไป ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ จะเริ่มมีผลการหน่วงให้เห็นเด่นชัดมากยิ่งขึ้นตามลำดับ

จากการที่ระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ ที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบต่างๆ เริ่มแสดงการหน่วงโดยลดกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ที่เปลี่ยนแปลงในรูปที่ 5.2 ส่งผลให้กำลังเร่งมีค่าน้อยกว่าในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ ที่ไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง ทำให้มุมโรเตอร์สัมพันธ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เทียบกับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 ลดลงจากสถานะการทำงานเดิมน้อยกว่าในระบบไฟฟ้ากำลังที่ไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังดังแสดงในรูปที่ 5.1

จากรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 พบว่าผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีค่าพารามิเตอร์คงตัวได้ผลคล้ายคลึงกับผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเครือข่ายประสาทเทียม กล่าวคือ ในกรณีนี้ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเครือข่ายประสาทเทียมให้ผลการหน่วงการแกว่งใกล้เคียงกับตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีค่าพารามิเตอร์คงตัว

### 5.3.2 การลดแรงดันอ้างอิงขาเข้าของตัวกระตุ้นขนาด 0.01 เปอรียูนิต

จากรูปที่ 5.3 แสดงผลตอบสนองของมุมโรเตอร์สัมพันธ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เทียบกับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ โดยมีแกนตั้งอยู่ในช่วง 20 องศา พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที มุมโรเตอร์สัมพันธ์ดังกล่าวมีขนาดการแกว่งรอบ



สถานะการทำงานน้อยกว่า 1 องศาในลักษณะลดลงตามเวลา ทำให้สามารถสรุปได้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ในระบบไฟฟ้ากำลังในกรณีต่างๆ ที่แสดงไว้ในผลการทดสอบมีเสถียรภาพของมุมโรเตอร์ กล่าวคือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ยังคงรักษาเชิงโคจรกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 ได้เช่นเดียวกับกรณีการเพิ่มแรงดันอ้างอิงขาเข้าของตัวกระตุ้น

จากรูปที่ 5.4 แสดงผลตอบสนองของกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ โดยมีแกนตั้งอยู่ในช่วง 10 MW พบว่าการลดแรงดันอ้างอิงขาเข้าของตัวกระตุ้นทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 จ่ายกำลังไฟฟ้าน้อยลงขณะที่กำลังกลมีค่าคงตัว ซึ่งการรบกวนนี้ก่อให้เกิดกำลังเร่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2

เนื่องจากขนาดกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ที่เปลี่ยนแปลงมีค่าน้อยกว่า 1 MW ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การรบกวนดังกล่าวจัดเป็นการรบกวนขนาดเล็ก โดยความไม่สมดุลนี้ทำให้กำลังเร่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 มีค่าเป็นบวกเนื่องจากกำลังกลมีค่ามากกว่ากำลังไฟฟ้า ส่งผลให้ความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 มีขนาดเพิ่มด้วยความเร่งอันเนื่องมาจากกำลังเร่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 นั่นเอง การเพิ่มของความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้เองส่งผลให้มุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 มีขนาดเพิ่มขึ้น ขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 แทบจะไม่ได้รับผลกระทบเนื่องจากเหตุผลที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ ทำให้มุมโรเตอร์สัมพัทธ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เทียบกับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 มีขนาดเพิ่มขึ้นดังเห็นได้จากรูปที่ 5.3

นอกจากนี้จากรูปที่ 5.4 ผลของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังในการแกว่งครั้งแรกของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ มีผลน้อยมากทำให้ผลตอบสนองช่วงดังกล่าวในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ ที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบต่างๆ มีขนาดใกล้เคียงกับผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ ที่ไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง ขณะที่ในการแกว่งครั้งต่อไป ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ จะเริ่มมีผลการหน่วงให้เห็นเด่นชัดมากยิ่งขึ้นตามลำดับ

จากการที่ระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ ที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบต่างๆ เริ่มแสดงการหน่วงโดยลดกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ที่เปลี่ยนแปลงในรูปที่ 5.4 ส่งผลให้กำลังเร่งมีค่าบวกน้อยกว่าในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ ที่ไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง ทำให้มุมโรเตอร์สัมพัทธ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เทียบกับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 สูงกว่าจากสถานะการทำงานเดิมน้อยกว่าในระบบไฟฟ้ากำลังที่ไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังดังแสดงในรูปที่ 5.3

จากรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 พบว่าผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีค่าพารามิเตอร์คงตัวได้ผลคล้ายคลึงกับผลตอบสนองของ

ระบบไฟฟ้ากำลังที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเครือข่ายประสาทเทียม กล่าวคือ ในกรณีนี้ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเครือข่ายประสาทเทียมให้ผลการหน่วงการแกว่งใกล้เคียงกับตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีค่าพารามิเตอร์คงตัว

### 5.3.3 การเพิ่มโหลดที่บัส 5 ขนาด 10 เปอร์เซนต์

จากรูปที่ 5.5 แสดงผลตอบสนองของมุมโรเตอร์สัมพันธ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เทียบกับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ โดยมีแกนตั้งอยู่ในช่วง 20 องศาพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที มุมโรเตอร์สัมพันธ์ดังกล่าวมีการแกว่งรอบสถานะการทำงานน้อยกว่า 1 องศาในลักษณะลดลงตามเวลา ทำให้สามารถสรุปได้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ในระบบไฟฟ้ากำลังในกรณีต่างๆ ที่แสดงไว้ในผลการทดสอบมีเสถียรภาพของมุมโรเตอร์ กล่าวคือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ยังคงรักษาเชิงโคจรกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 ได้นั่นเอง

จากรูปที่ 5.6 แสดงผลตอบสนองของกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ โดยมีแกนตั้งอยู่ในช่วง 10 MW พบว่าการเพิ่มโหลดที่บัส 5 ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกตัวในระบบไฟฟ้ากำลังเพิ่มกำลังไฟฟ้าเพื่อจ่ายโหลดที่เพิ่มขึ้นขณะที่กำลังกลมีค่าคงตัว ซึ่งการรบกวนนี้ก่อให้เกิดกำลังเร่งที่มีค่าลบในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกตัวเนื่องจากกำลังกลมีค่าน้อยกว่ากำลังไฟฟ้า โดยทันทีที่มีการเพิ่มโหลดที่บัส 5 การช่วยจ่ายโหลดส่วนที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัวขึ้นอยู่กับระยะห่างทางไฟฟ้า กล่าวคือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่อยู่ใกล้จุดโหลดที่เปลี่ยนแปลงจะช่วยจ่ายโหลดส่วนที่เพิ่มขึ้นมากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่อยู่ไกลจุดโหลดดังกล่าว หลังจากนั้นการช่วยจ่ายโหลดส่วนที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัวจะขึ้นอยู่กับค่าคงที่ความเฉื่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 จะช่วยจ่ายโหลดส่วนที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด ขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ช่วยจ่ายโหลดส่วนที่เพิ่มขึ้นรองลงมา และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 3 ช่วยจ่ายโหลดส่วนที่เพิ่มขึ้นน้อยสุดตามลำดับ เนื่องจากค่าคงที่ความเฉื่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1-3 มีค่าเท่ากับ 9.55 3.33 และ 2.35 วินาที ตามลำดับ

เนื่องจากขนาดกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ที่เปลี่ยนแปลงมีค่าน้อยกว่า 3 MW ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การรบกวนดังกล่าวจัดเป็นการรบกวนขนาดเล็ก โดยความไม่สมดุลนี้ทำให้กำลังเร่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 มีค่าเป็นลบ ส่งผลให้ความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 มีขนาดลดลงด้วยความหน่วงอันเนื่องมาจากกำลังเร่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 นั้นเอง การลดลงของความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้เองส่งผลให้มุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 มีขนาดลดลง ขณะที่มุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 และ 3 มีขนาดลดลงด้วยเหตุผลเดียวกันข้างต้น ทำให้มุมโรเตอร์สัมพันธ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เทียบกับมุมโรเตอร์ของ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้ากำลังที่ไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังมีขนาดลดลงเพียงเล็กน้อย

นอกจากนี้จากรูปที่ 5.6 ผลของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังในการแกว่งครั้งแรกของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 มีผลน้อยมากทำให้ผลตอบสนองของช่วงดังกล่าวในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบต่างๆ มีขนาดใกล้เคียงกับผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังที่ไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง ขณะที่ในการแกว่งครั้งต่อไป ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังในระบบไฟฟ้ากำลังแบบต่างๆ จะเริ่มมีผลการหน่วงให้เห็นเด่นชัดมากยิ่งขึ้นตามลำดับ

ขณะที่ผลของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ช่วยหน่วงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 กระจายโหลดส่วนที่เพิ่มขึ้น ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหลือต้องช่วยจ่ายโหลดเพิ่มขึ้นจากการช่วยจ่ายโหลดเดิม ซึ่งส่งผลให้กำลังเร่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหลือมีค่าลบมากขึ้นกว่าในระบบไฟฟ้ากำลังที่ไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง ทำให้มุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 และ 3 มีขนาดลดลงมากกว่าระบบไฟฟ้ากำลังที่ไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังอีก ขณะที่มุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 มีขนาดลดลงน้อยกว่าระบบไฟฟ้ากำลังที่ไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังทำให้มุมโรเตอร์สัมพัทธ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เทียบกับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 มีค่าเพิ่มขึ้นดังเห็นได้จากรูปที่ 5.5

จากรูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6 พบว่าผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีค่าพารามิเตอร์คงตัวได้ผลคล้ายคลึงกับผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเครือข่ายประสาทเทียม กล่าวคือ ในกรณีนี้ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเครือข่ายประสาทเทียมให้ผลการหน่วงการแกว่งใกล้เคียงกับตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีค่าพารามิเตอร์คงตัว

### 5.3.4 การลดโหลดที่บัส 5 ขนาด 10 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 5.7 แสดงผลตอบสนองของมุมโรเตอร์สัมพัทธ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เทียบกับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ โดยมีแกนตั้งอยู่ในช่วง 20 องศาพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที มุมโรเตอร์สัมพัทธ์ดังกล่าวมีการแกว่งรอบสถานะการทำงานน้อยกว่า 1 องศาในลักษณะลดลงตามเวลาเช่นเดียวกับกรณีการเพิ่มโหลดที่บัส 5 ทำให้สามารถสรุปได้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ในระบบไฟฟ้ากำลังในกรณีต่างๆ ที่แสดงไว้ในผล

การทดสอบมีเสถียรภาพของมุมโรเตอร์ กล่าวคือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ยังคงรักษาเชิงโคจรกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 ได้เช่นเดียวกับกรณีการเพิ่มโหลดที่บัส 5

จากรูปที่ 5.8 แสดงผลตอบสนองของกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ โดยมีแกนตั้งอยู่ในช่วง 10 MW พบว่าการลดโหลดที่บัส 5 ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกตัวในระบบไฟฟ้ากำลังลดกำลังไฟฟ้าเพื่อตอบสนองกับโหลดส่วนที่ลดลงขณะที่กำลังกลมีค่าคงตัว ซึ่งการรบกวนนี้ก่อให้เกิดกำลังเร่งที่มีค่าบวกในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกตัวเนื่องจากกำลังกลมีค่ามากกว่ากำลังไฟฟ้า โดยการลดจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัวเหมือนกับการช่วยจ่ายในกรณีการเพิ่มโหลด กล่าวคือทันทีที่มีการลดโหลด เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่อยู่ใกล้จุดโหลดจะลดการจ่ายกำลังไฟฟ้างมากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่อยู่ไกลจุดโหลดดังกล่าว หลังจากนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะลดการจ่ายกำลังไฟฟ้าตามค่าคงที่ความเฉื่อย ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 จะลดจ่ายกำลังไฟฟ้างมากที่สุด ขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ลดจ่ายกำลังไฟฟ้ารองลงมา และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 3 ลดจ่ายกำลังไฟฟ้าน้อยสุดตามลำดับ

เนื่องจากขนาดกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ที่เปลี่ยนแปลงมีค่าน้อยกว่า 3 MW ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การรบกวนดังกล่าวจัดเป็นการรบกวนขนาดเล็ก โดยความไม่สมดุลนี้ทำให้กำลังเร่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 มีค่าเป็นบวก ส่งผลให้ความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 มีขนาดเพิ่มขึ้นด้วยความเร่งอันเนื่องมาจากกำลังเร่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 นั้นเอง ความเร็วที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ส่งผลให้มุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 มีขนาดเพิ่มขึ้น ขณะที่มุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 และ 3 มีขนาดเพิ่มขึ้นด้วยเหตุเดียวกัน ทำให้มุมโรเตอร์สัมพันธ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เทียบกับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้ากำลังที่ไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังมีขนาดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

นอกจากนี้จากรูปที่ 5.8 ผลของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังในการแกว่งครั้งแรกของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 มีผลน้อยมากทำให้ผลตอบสนองช่วงดังกล่าวในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบต่างๆ มีขนาดใกล้เคียงกับผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังที่ไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง ขณะที่ในการแกว่งครั้งต่อไป ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังในระบบไฟฟ้ากำลังแบบต่างๆ จะเริ่มมีผลการหน่วงให้เห็นเด่นชัดมากยิ่งขึ้นตามลำดับ

ขณะที่ผลของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ช่วยหน่วงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 จ่ายโหลดที่เปลี่ยนแปลง ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหลือต้องลดกำลังไฟฟ้าจ่ายโหลดลงจากการจ่ายโหลดเดิม ซึ่งส่งผลให้กำลังเร่งมีค่าบวกมากขึ้นกว่าในระบบไฟฟ้ากำลังที่ไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง ทำให้มุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟ

ฟ้าที่บัส 1 และ 3 มีขนาดเพิ่มมากกว่าระบบไฟฟ้ากำลังที่ไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังอีก ขณะที่มุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 มีขนาดเพิ่มขึ้นน้อยกว่าระบบไฟฟ้ากำลังที่ไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังทำให้มุมโรเตอร์สัมพันธ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เทียบกับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 มีค่าลดลงดังเห็นได้จากรูปที่ 5.7

จากรูปที่ 5.7 และรูปที่ 5.8 พบว่าผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีค่าพารามิเตอร์คงตัวได้ผลคล้ายคลึงกับผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเครือข่ายประสาทเทียม กล่าวคือ ในกรณีนี้ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเครือข่ายประสาทเทียมให้ผลการหน่วงการแกว่งใกล้เคียงกับตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีค่าพารามิเตอร์คงตัว

5.3.3 การเกิดลัดวงจรที่สายส่งจากบัส 7 ไปบัส 5 โดยเกิดใกล้บัส 7 จากนั้น 0.1 วินาทีที่มีการปลดสายส่งจากบัส 7 ไปบัส 5 ดังกล่าวออกจากระบบ

จากรูปที่ 5.9 แสดงผลตอบสนองของมุมโรเตอร์สัมพันธ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เทียบกับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ โดยมีแกนตั้งอยู่ในช่วง 120-150 องศาพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที มุมโรเตอร์สัมพันธ์ดังกล่าวในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ ที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบต่างๆ มีการแกว่งรอบสถานะการทำงานน้อยกว่า 10 องศาในลักษณะลดลงตามเวลา ขณะที่มุมโรเตอร์สัมพันธ์ในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ ที่ไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังมีการแกว่งรอบสถานะการทำงานมากกว่า 10 องศาทำให้สามารถสรุปได้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ ที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบต่างๆ ที่แสดงไว้ในผลการทดสอบมีเสถียรภาพของมุมโรเตอร์ ขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ ที่ไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังที่แสดงไว้ในผลการทดสอบไม่มีเสถียรภาพของมุมโรเตอร์

จากรูปที่ 5.10 แสดงผลตอบสนองของกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ โดยมีแกนตั้งอยู่ในช่วง 225-270 MW พบว่าทันทีที่เกิดการลัดวงจรที่สายส่งจากบัส 7 ไปบัส 5 โดยเกิดใกล้กับบัส 7 ส่งผลให้แรงดันที่บัส 7 มีค่าใกล้ศูนย์ ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าออกมาได้ หลังจากเวลาผ่านไป 0.1 วินาทีที่มีการปลดสายส่งที่เกิดการลัดวงจรออกจากระบบไฟฟ้ากำลังทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 สามารถกลับมาจ่ายกำลังไฟฟ้าออกได้

เนื่องจากขนาดกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ที่เปลี่ยนแปลงมีค่ามากกว่า 130 MW ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การรบกวนดังกล่าวจัดเป็นการรบกวนขนาดใหญ่ โดยจากรูปที่ 5.9

ขณะเกิดการลัดวงจร ทำให้เกิดความไม่สมดุลภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 กล่าวคือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 มีกำลังแรงเป็นบวกเนื่องจากกำลังกลมีค่ามากกว่ากำลังไฟฟ้าที่มีค่าใกล้ศูนย์ ส่งผลให้ความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 มีขนาดเพิ่มขึ้นด้วยความเร่งอันเนื่องมาจากกำลังแรงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 นั่นเอง การเพิ่มขึ้นของความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ส่งผลให้มุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 มีขนาดเพิ่มขึ้น ขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหลืออยู่ในระบบไฟฟ้ากำลังต้องช่วยกันจ่ายโหลดส่วนที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เดิมจ่าย ทำให้มุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 มีขนาดลดลง ทำให้มุมโรเตอร์สัมพันธ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 มีขนาดเพิ่มขึ้นขณะเกิดการลัดวงจร และมีขนาดสูงมาก เนื่องจากการรบกวนมีขนาดใหญ่

หลังจากนั้นปลดสายส่งที่เกิดลัดวงจรออกจากระบบเมื่อเวลาผ่านไป 0.1 วินาที ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 สามารถกลับมาจ่ายกำลังไฟฟ้าได้อีกครั้ง แต่เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของมุมโรเตอร์ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 จ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีขนาดมากกว่ากำลังกล ก่อให้เกิดกำลังเร่งที่มีค่าเป็นลบ ส่งผลให้เกิดการหน่วงการเพิ่มขึ้นของมุมโรเตอร์จนกระทั่งมุมโรเตอร์ไปถึงจุดสูงสุดแล้วมีขนาดลดลงด้วยความหน่วงอันเกิดจากกำลังเร่งที่เป็นลบนี้เอง การเปลี่ยนแปลงกำลังแรงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 จะเกิดขึ้นอย่างนี้ตลอดเวลาจนกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เข้าสู่สภาวะสมดุลในระบบไฟฟ้ากำลังได้ มิเช่นนั้นอาจเกิดการแกว่งที่มีขนาดคงตัวหรือเพิ่มขึ้นตามเวลา ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ไม่มีเสถียรภาพของมุมโรเตอร์

นอกจากนี้จากรูปที่ 5.9 ผลของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังในการแกว่งครั้งแรกของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 มีผลน้อยมากทำให้ผลตอบสนองช่วงดังกล่าวในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบต่างๆ มีขนาดใกล้เคียงกับผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังที่ไม่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง ขณะที่ในการแกว่งครั้งต่อไป ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังในระบบไฟฟ้ากำลังแบบต่างๆ จะเริ่มมีผลการหน่วงให้เห็นเด่นชัดมากยิ่งขึ้นตามลำดับ

จากรูปที่ 5.10 หลังจากทีปลดสายส่งที่เกิดลัดวงจรออกจากระบบสักระยะ ผลของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ช่วยหน่วงการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการรบกวน ประกอบกับเมื่อถึงสถานการณ์ทำงานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 กลับมาจ่ายกำลังไฟฟ้ค่าเดิมก่อนเกิดเหตุ ซึ่งทำให้เกิดความสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลังเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง เปรียบได้กับมีโหลดส่วนที่เพิ่มขึ้นจากโหลดเดิมคล้ายกรณีการเพิ่มโหลดในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังที่กล่าวไปแล้ว ผลคือมุมโรเตอร์สัมพันธ์ของเครื่อง

กำเนิดไฟฟ้าที่บัล 2 เทียบกับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัล 1 มีค่าเพิ่มขึ้นดังเห็นได้จากรูปที่ 5.9

จากรูปที่ 5.9 และรูปที่ 5.10 พบว่าผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเครือข่ายประสาทย่อมมีการหน่วงการแกว่งที่มากกว่าผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีค่าพารามิเตอร์คงตัว กล่าวคือ ในกรณีนี้ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเครือข่ายประสาทย่อมให้ผลการหน่วงการแกว่งมากกว่าตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีค่าพารามิเตอร์คงตัว เนื่องจากระบบกวนมีขนาดใหญ่ ทำให้ค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีค่าพารามิเตอร์คงตัวไม่สอดคล้องกับระบบไฟฟ้ากำลังที่ไม่เป็นเชิงเส้น ขณะที่เครือข่ายประสาทย่อมปรับค่าพารามิเตอร์ช่วยลดความผิดพลาดของระบบไฟฟ้ากำลังที่ไม่เป็นเชิงเส้นดังกล่าว



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย