

บทที่ 6

การออกแบบโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วม ต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า (Islanding Program Design)

โปรแกรมการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าโดยทั่วไป [5-7,9,13,14,18] จะมีการคำนวณที่เป็นขั้นตอนของเวลา (Time Step) โดยมีการกำหนดเวลาของการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ ต่อระบบไฟฟ้าเข้าไป ได้แก่ การเกิดความผิดปกติ (Fault) ที่ตำแหน่งต่างๆ ในระบบไฟฟ้า การกำจัดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า (Clear Fault) การปลดสายส่งไฟฟ้ากำลัง (Remove Transmission Lines) หรือการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้า (Power System Protection) เป็นต้น เวลาที่ได้กำหนดลงไปนี้ จะเป็นตัวเปลี่ยนสถานะของระบบ จากการวิเคราะห์จะทำให้ทราบถึงผลตอบสนองของระบบไฟฟ้าในแต่ละช่วงของเวลา ทำให้รู้ว่าระบบไฟฟ้านั้นๆ มีเสถียรภาพเป็นอย่างไร เมื่อเกิดการรบกวนระบบขึ้น (System Disturbance) แล้วระบบยังสามารถทำงานต่อไปได้หรือไม่ เป็นตัวบอกให้ทราบถึงความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของระบบได้อีกทางหนึ่งด้วย

การศึกษาเสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า (Stability of Cogeneration System against Islanding) [5-7] จะเป็นการวิเคราะห์เสถียรภาพ โดยมีการสร้างแบบจำลองของระบบไฟฟ้า และระบบผลิตพลังงานร่วมขึ้นมาอย่างละเอียด [9] มีการคิดผลของระบบควบคุมต่างๆ (Exciter & Governor) เพื่อให้ผลตอบสนองมีความใกล้เคียงกับระบบที่ใช้งานกันอยู่ให้มากที่สุด ก่อนอื่นในการที่จะวิเคราะห์เกี่ยวกับการทำงานในลักษณะดังกล่าวของระบบผลิตพลังงานร่วม ต้องมีการกำหนดเงื่อนไขและขอบเขตของการวิเคราะห์ การจำลองเหตุการณ์ที่จะวิเคราะห์หรือขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมจะอยู่ในลำดับถัดมา สุดท้ายก็จะเป็นการกล่าวถึงระบบศึกษา (Case Study) [14] ที่จะใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้าต่อไป

6.1 เงื่อนไขและขอบเขตของการวิเคราะห์

เงื่อนไขและขอบเขตของการวิเคราะห์ สามารถทำการแยกออกเป็นหัวข้อหลักๆ ได้ดังนี้

1). การวิเคราะห์ระบบทั้งหมดจะคิดในลักษณะของระบบสามเฟสสมดุล หรือพิจารณาค่าต่างๆ เป็นลักษณะของค่าต่อหน่วย (Per-unit) เพื่อความสะดวกในการคำนวณ และสามารถทดสอบได้กับทุกระบบที่สนใจ โดยการแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้ขึ้นอยู่กับค่าฐาน (Base) เดียวกันเท่านั้น

2). ในส่วนการทำงานของระบบป้องกันสายส่งเชื่อมต่อ (Tie-line) [5,6] ระหว่างระบบผลิตพลังงานร่วมและระบบไฟฟ้า จะพิจารณาจากค่าของความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบผลิตพลังงานร่วมเป็นหลัก ในการสั่งการทำงานของอุปกรณ์ตัดวงจร (Circuit Breaker) เพื่อแยกระบบทั้งสองออกจากกัน ก่อนที่จะเกิดการสูญเสียเสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมไป

3). การตั้งค่าการทำงานของรีเลย์ความถี่ (Frequency Relays Setting) จะกำหนดที่ระดับความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปจากความถี่ปกติ 1% [8] เนื่องจากเหตุผลของการไม่ให้เกิดการสูญเสียอายุการใช้งานของอุปกรณ์ ได้แก่ กังหัน (Turbine) หรือใบจักร (Blade) ที่มีผลกระทบอย่างมากเกี่ยวกับปัญหาของการเกิดการสั่นอย่างรุนแรงที่ความถี่เรโซแนนท์ (Resonant Frequency) ของอุปกรณ์เหล่านี้ ตั้งได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 เรื่องผลกระทบจากการทำงานในสภาวะที่มีความถี่ผิดปกติ

4). สำหรับระบบไฟฟ้าที่ทำการวิเคราะห์นี้ จะเกี่ยวข้องกับระบบผลิตไฟฟ้า (Generation System) และระบบการส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission System) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีระดับแรงดันสูงมาก ทำให้ในการวิเคราะห์นี้จะไม่รวมผลการทำงานของอุปกรณ์ปิดวงจรกลับอัตโนมัติ (Auto-Reclosure) ซึ่งมักจะพบในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution System) ที่มีระดับแรงดันต่ำมากกว่า

5). ในส่วนของข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการวิเคราะห์นี้ (Input Data) จะประกอบไปด้วยข้อมูลหลักๆ ดังนี้

- ข้อมูลบัส (Bus Data)
- ข้อมูลสายส่งไฟฟ้ากำลัง (Line Data)
- ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Data)
- ข้อมูลระบบควบคุมการกระตุ้นสนาม (Exciter Data)
- ข้อมูลระบบควบคุมความเร็ว (Governor Data)
- ข้อมูลภาระทางไฟฟ้า (Load Data)

6). ในส่วนของผลการวิเคราะห์ (Results) จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ กรณีแรกคือมีการใช้แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างง่าย (Classical Model) ส่วนกรณีที่สองจะมีการคิดผลของลักษณะชั่วขณะเด่น (Saliency) และการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็ก (Changes in Field Flux Linkages) ด้วย

- ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองอย่างง่าย ประกอบไปด้วย

- การเปลี่ยนแปลงมุมของโรเตอร์ (δ) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว เทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัลอ้างอิง (Swing Bus Generator)

- การเปลี่ยนแปลงความเร็ว (ω) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว เทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัลอ้างอิง (Swing Bus Generator)

- การเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงดันที่บัลแต่ละบัล (V)

- เวลาการทำงานของรีเลย์ความถี่ (Frequency Relays Operating Time; t_p) ในการตัดสายส่งเชื่อมต่อ (Tie-line) ระหว่างระบบไฟฟ้าและระบบผลิตพลังงานร่วมออก

- ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองอย่างละเอียด ประกอบไปด้วย

- การเปลี่ยนแปลงมุมของโรเตอร์ (δ) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว เทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัลอ้างอิง (Swing Bus Generator)

- การเปลี่ยนแปลงความเร็ว (ω) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว เทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัลอ้างอิง (Swing Bus Generator)

- การเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงดันที่บัลแต่ละบัล (V)

- การเปลี่ยนแปลงค่ากำลังของภาระทางไฟฟ้า (P_D) ของแต่ละบัล อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันแต่ละบัล

- การเปลี่ยนแปลงของกำลังทางกลป้อนเข้า (P_m) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว เพื่อดูผลการตอบสนองของระบบควบคุมความเร็ว (Governor)

- การเปลี่ยนแปลงของแรงดันกระตุ้นสนาม (E_{FD}) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว เพื่อดูผลการตอบสนองของระบบควบคุมการกระตุ้นสนาม (Exciter)

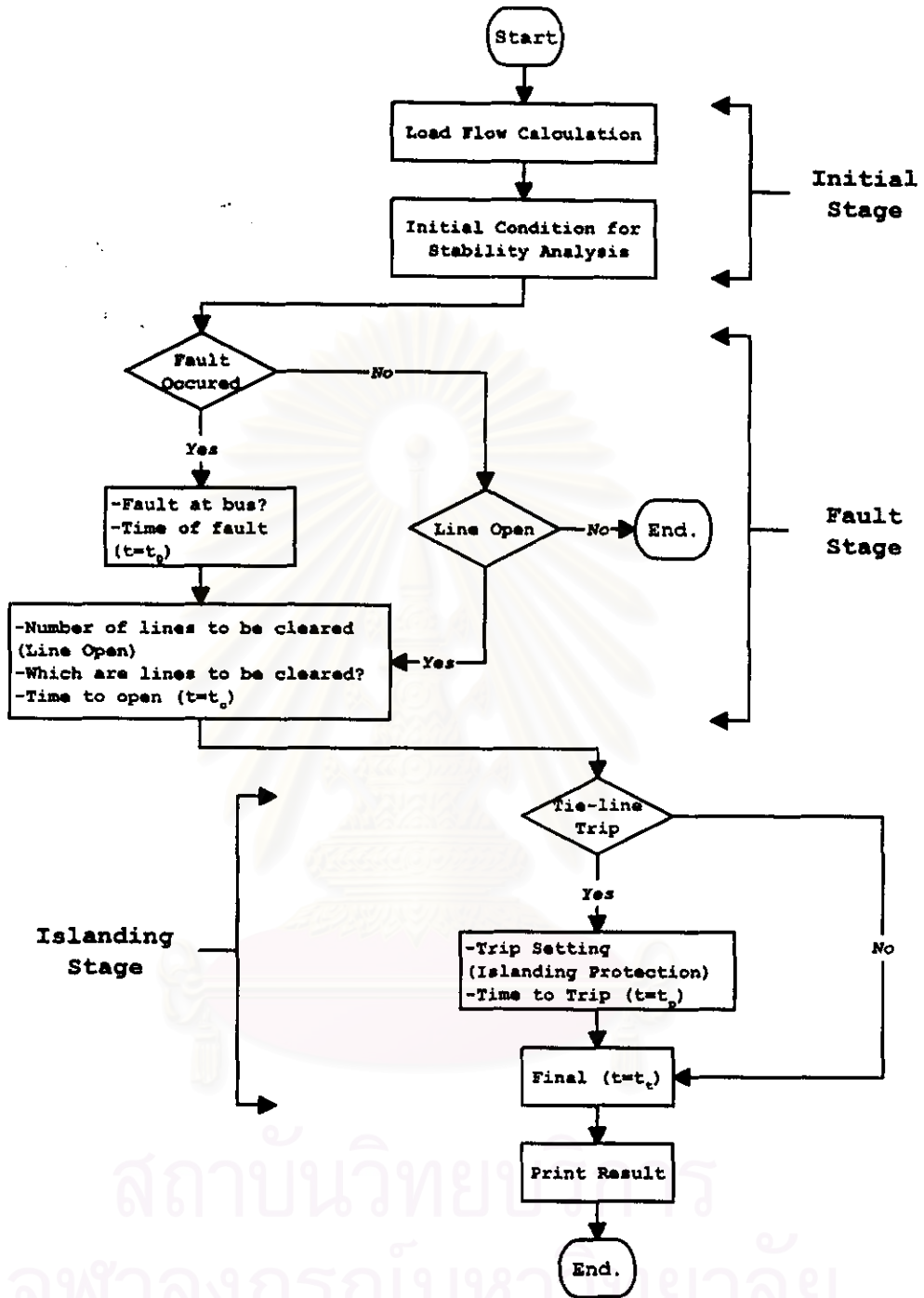
-เวลาการทำงานของรีเลย์ความถี่ (Frequency Relays Operating Time; t_p) ในการตัดสายส่งเชื่อมต่อ (Tie-line) ระหว่างระบบไฟฟ้าและระบบผลิตพลังงานร่วมออก

6.2 หลักการออกแบบโปรแกรมการวิเคราะห์

หลักการออกแบบโปรแกรมการวิเคราะห์ เป็นการกล่าวถึงขั้นตอนการวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ในการศึกษาเสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า (Stability of Cogeneration System against Islanding) ได้มีการกำหนดแต่ละขั้นตอน ดังนี้

- 1). เวลาเริ่มต้นการวิเคราะห์ (Starting Time; t_0) จะกำหนดไว้ที่ 0 s เสมอ
- 2). เวลาเริ่มต้นการเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า (Time of Fault; t_f)
- 3). เวลาการกำจัดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า (Time to Clear Fault; t_c)
- 4). เวลาการทำงานของรีเลย์ความถี่ (Frequency Relays Operating Time; t_p) เป็นเวลาที่ใช้ในการตัดสายส่งเชื่อมต่อ (Tie-line) ระหว่างระบบไฟฟ้าและระบบผลิตพลังงานร่วมออกเป็นอิสระต่อกัน เป็นการป้องกันระบบผลิตพลังงานร่วมขึ้นเบื้องต้นจากสภาวะความไม่สมดุลของกำลังผลิต และภาระทางไฟฟ้าในระบบอิสระ (Isolated System) โดยค่าเวลานี้ จะทราบได้ในช่วงที่ทำการวิเคราะห์เท่านั้น
- 5). เวลาสิ้นสุดการวิเคราะห์ (Final Time; t_f)

จากขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ได้กำหนดขึ้นมาข้างต้น สามารถใช้เป็นหลักในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองเหตุการณ์ สำหรับการศึกษาเสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้าได้ โดยแสดงในรูปของแผนผัง (Flowchart) ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 แผนผัง (Flowchart) หลักการออกแบบโปรแกรมการวิเคราะห์

จากแผนผัง (Flowchart) สำหรับแสดงหลักการออกแบบโปรแกรมการวิเคราะห์ จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยส่วนหลักๆ 3 ส่วนด้วยกัน สามารถอธิบายการทำงานแต่ละส่วนได้ดังนี้

ส่วนที่ 1 (Initial Stage) คือช่วงเริ่มต้นการวิเคราะห์ จะเป็นการกำหนดสถานะเริ่มต้นของระบบไฟฟ้าก่อนเกิดการรบกวนระบบขึ้น จากผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Load Flow Solution) และการปรับปรุงระบบให้เหมาะกับการวิเคราะห์เสถียรภาพนั่นเอง

ส่วนที่ 2 (Fault Stage) เป็นส่วนที่ใช้ในการกำหนดการเกิดการรบกวนแก่ระบบไฟฟ้า (System Disturbance) ซึ่งสามารถเลือกได้ว่าจะให้ความผิดปกติ (Fault) เกิดขึ้นหรือไม่ ถ้ามีก็จะให้ทำการกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

- ตำแหน่งของความผิดปกติ (Fault Bus)
- เวลาที่เกิดความผิดปกติขึ้น (Time of Fault)
- จำนวนและตำแหน่งของสายส่งที่จะทำการปลดเพื่อกำจัดความผิดปกติ
- เวลาที่ทำการกำจัดความผิดปกติ (Time to Clear Fault)

ถ้าไม่มีความผิดปกติขึ้นในระบบก็จะถามว่าให้เกิดการหลุดของสายส่งเกิดขึ้นหรือไม่ถ้ามีก็จะให้ทำการกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

- จำนวนและตำแหน่งของสายส่งที่จะทำการปลดเพื่อกำจัดความผิดปกติ
- เวลาที่เกิดการหลุดของสายส่ง (Time to Open)

แต่ถ้าไม่มีเหตุการณ์ใดๆ การวิเคราะห์เสถียรภาพก็จะไม่เกิดขึ้น

ส่วนที่ 3 (Islanding Stage) เป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในการกำหนดให้มีการทำงานของรีเลย์ความถี่ (Frequency Relays) หรือไม่ ถ้ามีในขั้นตอนการวิเคราะห์จะมีการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบผลิตพลังงานร่วมด้วย ถ้าการเปลี่ยนแปลงถึงค่าการทำงานของรีเลย์ก็จะเกิดการปลดสายส่งเชื่อมต่อ (Tie-line) ระหว่างระบบไฟฟ้าและระบบผลิตพลังงานร่วมออก ในขั้นนี้จะมีการคำนวณเวลาการทำงานของรีเลย์ความถี่ (Operating Time) ออกมาด้วย โดยโปรแกรมจะกำหนดให้ป้อนค่าต่างๆ ดังนี้

- ตำแหน่งของสายส่งเชื่อมต่อ (Tie-line)

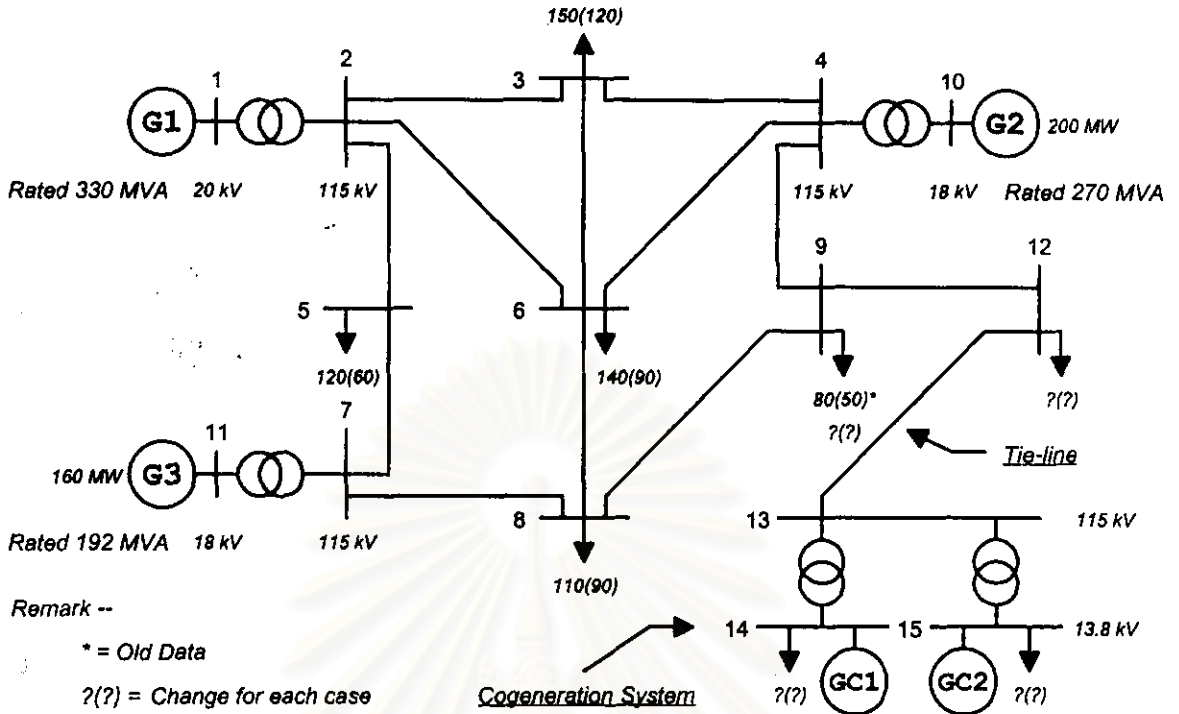
-ค่าการทำงานของรีเลย์ความถี่ โดยจะให้กำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปจากความถี่ปกติ ซึ่งในที่นี้จะกำหนดไว้ที่ 1% ด้วยเหตุผลที่ได้กล่าวไปแล้ว

ถ้าไม่มีการสั่งให้รีเลย์ความถี่ทำงานก็就不用มีการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของความถี่ดังที่กล่าวมา โปรแกรมก็จะทำการคำนวณแต่ละขั้นของเวลา (Time Step) ไปจนครบเวลาที่กำหนดแล้วก็จะทำการแสดงผลการวิเคราะห์หรือออกมาในรูปของกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าต่างๆตามต้องการ

6.3 ระบบศึกษาเสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า (Islanding Case Study)

ระบบศึกษาเสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า ที่จะใช้ในการวิเคราะห์นี้เป็นระบบที่แปลงมาจากระบบไฟฟ้า 11 บัส [14] โดยมีการเพิ่มเติมในส่วนของแบบจำลองระบบผลิตพลังงานร่วมเข้าไป และมีการแยกภาระทางไฟฟ้าบางส่วนจากระบบไฟฟ้าจากบัสที่ 9 ออกมาดังแสดงในบัสที่ 12 รูปที่ 6.2 ส่วนในตารางที่ 6.1 และ 6.2 จะแสดงถึงข้อมูลบัส (Bus Data) และข้อมูลสายส่ง (Line Data) ที่จะใช้ในการคำนวณสภาวะเริ่มต้นของระบบศึกษานี้ เพื่อการพิจารณาผลจากการเกิดการแยกของระบบทั้งสองออกจากกัน (Islanding) บัสที่ 13 จะเป็นบัสของระบบผลิตพลังงานร่วม (Common Bus) ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และภาระทางไฟฟ้าจากบัสที่ 14 และ 15 ต่ออยู่ ในที่นี้จะแยกระบบผลิตพลังงานร่วมที่จะทำการศึกษาออกเป็น 2 แบบด้วยกัน คือ

- 1). ระบบศึกษาสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทกังหันไอน้ำ (Steam Turbine)
- 2). ระบบศึกษาสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle)



รูปที่ 6.2 ระบบศึกษาเสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วม
ต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า (Islanding Case Study)

ตารางที่ 6.1 ข้อมูลบัส (Bus Data) ของระบบศึกษา

Frequency=50 Hz; BaseMVA=100 MVA; Accuracy=0.001; Max Iteration=10;

Bus No	Bus Code	Bus Voltage Mag.	Angle Degree	---Load---		-----Generator-----			Injected	
				MW	Mvar	MW	Mvar	Qmin	Qmax	Mvar
1	1	1.040	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
2	0	1.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
3	0	1.000	0.0	150.0	120.0	0.0	0.0	0	0	0
4	0	1.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
5	0	1.000	0.0	120.0	60.0	0.0	0.0	0	0	0
6	0	1.000	0.0	140.0	90.0	0.0	0.0	0	0	0
7	0	1.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
8	0	1.000	0.0	110.0	90.0	0.0	0.0	0	0	0
9	0	1.000	0.0	80.0*	50.0*	0.0	0.0	0	0	0
10	2	1.035	0.0	0.0	0.0	200.0	0.0	0	180	0
11	2	1.030	0.0	0.0	0.0	160.0	0.0	0	120	0
12	0	1.000	0.0	?.	?.	0.0	0.0	0	0	0
13	0	1.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
14	2	1.010	0.0	?.	?.	?.	0.0	0	?	0
15	2	1.010	0.0	?.	?.	?.	0.0	0	?	0

ตารางที่ 6.2 ข้อมูลสายส่ง (Line Data) ของระบบศึกษา

Bus nl	Bus nr	R p.u.	X p.u.	1/2 B p.u.	Line code = 1 for Lines > 1 or < 1 Tr. tap at bus nl
1	2	0.0000	0.0060	0.0000	1
2	3	0.0080	0.0300	0.0040	1
2	5	0.0040	0.0150	0.0020	1
2	6	0.0120	0.0450	0.0050	1
3	4	0.0100	0.0400	0.0050	1
3	6	0.0040	0.0400	0.0050	1
4	6	0.0150	0.0600	0.0080	1
4	9	0.0180	0.0700	0.0090	1
4	10	0.0000	0.0080	0.0000	1
5	7	0.0050	0.0430	0.0030	1
6	8	0.0060	0.0480	0.0000	1
7	8	0.0060	0.0350	0.0040	1
7	11	0.0000	0.0100	0.0000	1
8	9	0.0052	0.4800	0.0000	1
9	12	0.0060	0.0480	0.0000	1
12	13	0.0052	0.4800	0.0000	1
13	14	0.0000	0.0586	0.0000	1
13	15	0.0000	0.0586	0.0000	1

หมายเหตุ

* คือข้อมูลของระบบเดิมที่ยังไม่ได้มีการปรับปรุง

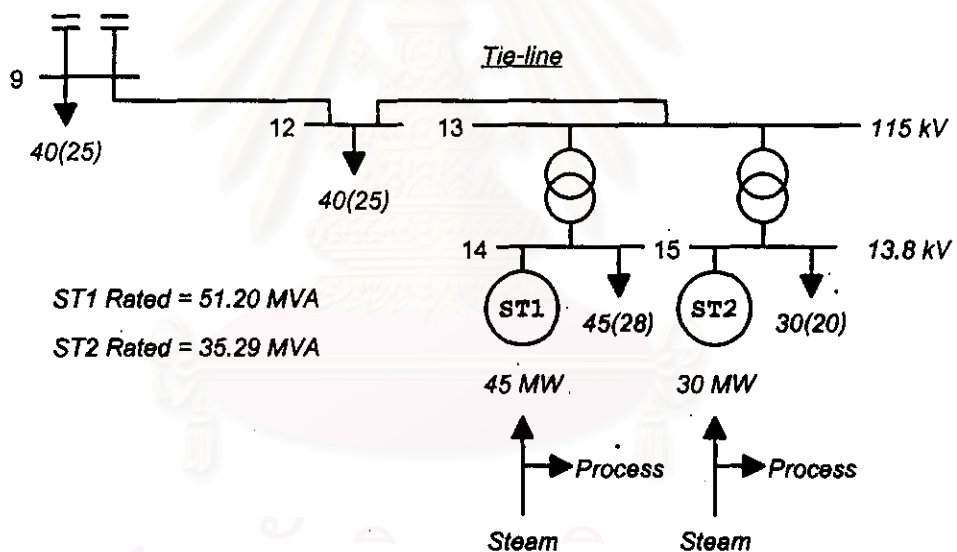
? คือข้อมูลที่ขึ้นอยู่กับกรณีศึกษา (Case Study) ที่ใช้ในการทดสอบ

ระบบศึกษาทั้งสองแบบนี้ ได้มีการกำหนดขนาดพิกัดของกำลังผลิต และภาระทางไฟฟ้า ในกรณีเริ่มต้น เพื่อการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า รวมทั้งข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Data) ระบบควบคุมการกระตุ้นสนาม (Exciter Data) ระบบควบคุมความเร็ว (Governor Data) และแบบจำลองของภาระทางไฟฟ้า (Load Data) ทั้งหมดอ้างอิงกับระดับความถี่ 50 Hz เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบศึกษาแต่ละแบบ ดังนี้

6.3.1 ระบบศึกษาสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทกังหันไอน้ำ (Steam Turbine)

ระบบศึกษาสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) จะประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำ (Steam Turbine Generator) 2 ตัว ตั้งอยู่ที่บัส 14 และ 15 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัวมีพิกัดกำลัง (Rated MVA) ที่ 51.20 MVA (ST1) และ 35.29 MVA (ST2) ตามลำดับ โดยในกรณีเริ่มต้นจะกำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัวทำงานผลิตกำลังไฟฟ้าที่ 45 MW (ST1) และ 30 MW (ST2) ตามลำดับ ค่ากำลังของภาระทางไฟฟ้าเริ่มต้นจะพิจารณาว่าไม่มีกำลังไฟฟ้าไหลระหว่างระบบไฟฟ้าและระบบผลิตพลังงานร่วมเลย สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.3

Cogeneration Test System (Steam Turbine)



รูปที่ 6.3 สถานะเริ่มต้นของระบบศึกษาสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วม
ประเภทกังหันไอน้ำ (Steam Turbine)

ในส่วน of ข้อมูลต่างๆ ที่ใช้หาการไหลของกำลังไฟฟ้า และข้อมูลที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมในแบบแรก ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 6.3 – 6.7

ตารางที่ 6.3 ข้อมูลบัส (Bus Data) เพิ่มเติมของระบบศึกษา
ประเภทกังหันไอน้ำ (Steam Turbine)

Bus No	Bus Code	Voltage Mag.	Angle Degree	---Load---		---Generator---			Injected	
				MW	Mvar	MW	Mvar	Qmin	Qmax	Mvar
9	0	1.000	0.0	40.0	25.0	0.0	0.0	0	0	0
12	0	1.000	0.0	40.0	25.0	0.0	0.0	0	0	0
14	2	1.010	0.0	45.0	28.0	45.0	0.0	0	35	0
15	2	1.010	0.0	30.0	20.0	30.0	0.0	0	25	0

ตารางที่ 6.4 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Load Flow Solution)
ในระบบศึกษาประเภทกังหันไอน้ำ (Steam Turbine)

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method
Maximum Power Mismatch = 0.00035347
No. of Iterations = 3

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected
			MW	Mvar	MW	Mvar	Mvar
1	1.040	0.000	0.000	0.000	246.762	203.752	0.000
2	1.028	-0.793	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.997	-2.031	150.000	120.000	0.000	0.000	0.000
4	1.024	-0.793	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	1.017	-1.290	120.000	60.000	0.000	0.000	0.000
6	0.993	-2.291	140.000	90.000	0.000	0.000	0.000
7	1.021	-0.239	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.986	-2.246	110.000	90.000	0.000	0.000	0.000
9	0.980	-3.411	40.000	25.000	0.000	0.000	0.000
10	1.035	0.072	0.000	0.000	200.000	140.956	0.000
11	1.030	0.632	0.000	0.000	160.000	91.036	0.000
12	0.969	-4.507	40.000	25.000	0.000	0.000	0.000
13	1.008	-4.532	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14	1.010	-4.532	45.000	28.000	45.000	32.090	0.000
15	1.010	-4.532	30.000	20.000	30.000	24.090	0.000
Total			675.000	458.000	681.762	491.923	0.000

ตารางที่ 6.5 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Data) ของระบบศึกษา
ประเภทกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) [15].

Gen. Bus	Ra p.u.	Xd p.u.	Xq p.u.	Xd' p.u.	Td0' sec.	H sec.
1	0	0.5900	0.5800	0.096	6.00	9.920
10	0	0.6300	0.6000	0.095	4.80	11.150
11	0	0.8600	0.8300	0.121	5.90	6.340
14	0	2.4822	2.4235	0.408	6.60	2.600
15	0	3.9700	3.8900	0.655	5.50	1.549

ตารางที่ 6.6 ข้อมูลระบบควบคุมการกระตุ้นสนาม (Exciter Data) ของระบบศึกษา
ประเภทกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) [15]

Gen. Bus	KA p.u.	TA sec	KF p.u.	TF sec	VRmin p.u.	VRmax p.u.	TR sec	KE p.u.	TE sec	EFDmax p.u.	SE.75max	SEmax
1	400	0.05	0.04	1.00	-3.81	3.81	0.00	-0.17	0.95	4.89	0.22	0.95
10	30	0.40	0.05	1.30	-4.59	4.59	0.00	-0.02	0.56	3.45	0.73	1.35
11	25	0.20	0.09	0.35	-1.00	1.00	0.06	-0.05	0.57	3.96	0.08	0.30
14	400	0.05	0.04	1.00	-0.61	0.61	0.00	-0.08	1.37	4.13	0.11	0.23
15	57	0.05	0.08	1.00	-1.00	1.00	0.00	-0.04	0.50	4.50	0.07	0.27

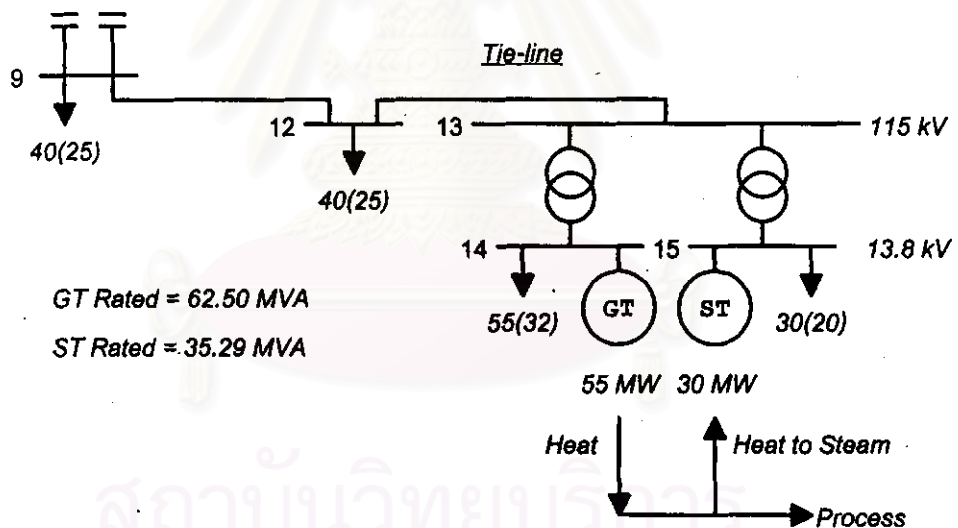
ตารางที่ 6.7 ข้อมูลระบบควบคุมความเร็ว (Governor Data) ของระบบศึกษา
ประเภทกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) [15]

Gen. Bus	R Droop	TG sec	Pmax MW	Pmin MW	T1 sec	T2 sec	T3 sec	F p.u.	KI p.u.
1	0.050	0.100	347.0	0.00	0.400	0.05	8.00	0.250	7
10	0.050	0.100	230.0	0.00	0.259	0.10	10.00	0.272	7
11	0.050	0.083	175.0	0.00	0.200	0.05	8.00	0.271	7
14	0.078	0.200	53.0	0.00	0.300	0.09	0.00	1.000	7
15	0.050	0.200	36.1	0.00	0.300	0.20	0.00	1.000	7

6.3.2 ระบบศึกษาสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle)

ระบบศึกษาสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle) จะประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันก๊าซ (Gas Turbine Generator) 1 ตัว ต่ออยู่ที่บัส 14 และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำ (Steam Turbine Generator) ที่ใช้พลังงานความร้อนซึ่งเหลือมาจากระบบกังหันก๊าซอีก 1 ตัว ต่ออยู่ที่บัส 15 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัวมีพิกัดกำลัง (Rated MVA) ที่ 62.50 MVA (GT) และ 35.29 MVA (ST) ตามลำดับ โดยในกรณีเริ่มต้นจะกำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัวทำงานผลิตกำลังไฟฟ้าที่ 55 MW (GT) และ 30 MW (ST) ตามลำดับ ค่ากำลังของภาระทางไฟฟ้าเริ่มต้นจะพิจารณาว่าไม่มีกำลังไฟฟ้าไหลระหว่างระบบไฟฟ้าและระบบผลิตพลังงานร่วมเลย สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.4

Cogeneration Test System (Combine Cycle)



รูปที่ 6.4 สภาวะเริ่มต้นของระบบศึกษาสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle)

ในส่วนของคุณสมบัติต่างๆ ที่ใช้หาการไหลของกำลังไฟฟ้า และข้อมูลที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมในแบบที่สอง ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 6.8 – 6.12

นอกจากนี้ในการวิเคราะห์ที่คิดผลการเปลี่ยนแปลงของภาระทางไฟฟ้า ที่ขึ้นอยู่กับระดับของแรงดันบัลที่ภาระทางไฟฟ้านั้นๆ ต่ออยู่ จึงจำเป็นต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับแบบจำลองภาระทางไฟฟ้า (Load Model Parameter) โดยจะใช้กับระบบศึกษาทั้ง 2 แบบ เหมือนกัน ดังแสดงในตารางที่ 6.13

ตารางที่ 6.8 ข้อมูลบัล (Bus Data) เพิ่มเติมของระบบศึกษาประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle)

Bus No	Bus Code	Voltage Mag.	Angle Degree	---Load---		-----Generator-----				Injected Mvar
				MW	Mvar	MW	Mvar	Qmin	Qmax	
9	0	1.000	0.0	40.0	25.0	0.0	0.0	0	0	0
12	0	1.000	0.0	40.0	25.0	0.0	0.0	0	0	0
14	2	1.010	0.0	55.0	32.0	55.0	0.0	0	40	0
15	2	1.010	0.0	30.0	20.0	30.0	0.0	0	25	0

ตารางที่ 6.9 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Load Flow Solution) ในระบบศึกษาประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle)

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method
Maximum Power Mismatch = 0.00035347
No. of Iterations = 3

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.040	0.000	0.000	0.000	246.762	203.752	0.000
2	1.028	-0.793	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.997	-2.031	150.000	120.000	0.000	0.000	0.000
4	1.024	-0.793	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	1.017	-1.290	120.000	60.000	0.000	0.000	0.000
6	0.993	-2.291	140.000	90.000	0.000	0.000	0.000
7	1.021	-0.239	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.986	-2.246	110.000	90.000	0.000	0.000	0.000
9	0.980	-3.411	40.000	25.000	0.000	0.000	0.000
10	1.035	0.072	0.000	0.000	200.000	140.956	0.000
11	1.030	0.632	0.000	0.000	160.000	91.036	0.000
12	0.969	-4.507	40.000	25.000	0.000	0.000	0.000
13	1.008	-4.532	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14	1.010	-4.532	55.000	32.000	55.000	36.090	0.000
15	1.010	-4.532	30.000	20.000	30.000	24.090	0.000
Total			685.000	462.000	691.762	495.923	0.000

ตารางที่ 6.10 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Data) ของระบบศึกษา
ประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle) [15]

Gen. Bus	Ra p.u.	Xd p.u.	Xq p.u.	Xd' p.u.	Td0' sec.	H sec.
1	0	0.5900	0.5800	0.096	6.00	9.920
10	0	0.6300	0.6000	0.095	4.80	11.150
11	0	0.8600	0.8300	0.121	5.90	6.340
14	0	2.6240	2.5200	0.254	7.50	7.135
15	0	3.9700	3.8900	0.655	5.50	1.549

ตารางที่ 6.11 ข้อมูลระบบควบคุมการกระตุ้นสนาม (Exciter Data) ของระบบศึกษา
ประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle) [15]

Gen. Bus	KA p.u.	TA sec	KF p.u.	TF sec	VRmin p.u.	VRmax p.u.	TR sec	KE p.u.	TE sec	EFDmax p.u.	SE.75max	SEmax
1	400	0.05	0.04	1.00	-3.81	3.81	0.00	-0.17	0.95	4.89	0.22	0.95
10	30	0.40	0.05	1.30	-4.59	4.59	0.00	-0.02	0.56	3.45	0.73	1.35
11	25	0.20	0.09	0.35	-1.00	1.00	0.06	-0.05	0.57	3.96	0.08	0.30
14	400	0.02	0.03	1.00	-7.30	7.30	0.00	1.00	0.25	7.30	0.50	0.86
15	57	0.05	0.08	1.00	-1.00	1.00	0.00	-0.04	0.50	4.50	0.07	0.27

ตารางที่ 6.12 ข้อมูลระบบควบคุมความเร็ว (Governor Data) ของระบบศึกษา
ประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle) [15]

Gen. Bus	R Droop	TG sec	Pmax MW	Pmin MW	T1 sec	T2 sec	T3 sec	F p.u.	KI p.u.
1	0.050	0.100	347.0	0.00	0.400	0.05	8.00	0.250	7
10	0.050	0.100	230.0	0.00	0.259	0.10	10.00	0.272	7
11	0.050	0.083	175.0	0.00	0.200	0.05	8.00	0.271	7
14	0.040	0.500	82.0	0.00	0.700	0.70	0.00	1.000	7
15	0.050	0.200	36.1	0.00	0.300	0.20	0.00	1.000	7

ตารางที่ 6.13 ข้อมูลแบบจำลองภาระทางไฟฟ้าของแต่ละบัส

(Load Model Parameter) [7]

Bus No	-Steam Turbine Load-		-Combine Cycle Load-		--Load Parameter--		
	MW	Mvar	MW	Mvar	A1	A2	A3
3	150.0	120.0	150.0	120.0	0.4	0.4	0.2
5	120.0	60.0	120.0	60.0	0.5	0.3	0.1
6	140.0	90.0	140.0	90.0	0.6	0.2	0.2
8	110.0	90.0	110.0	90.0	0.4	0.3	0.3
9	40.0	25.0	40.0	25.0	0.5	0.2	0.3
12	40.0	25.0	40.0	25.0	0.4	0.2	0.4
14	45.0	30.0	55.0	32.0	0.5	0.2	0.3
15	30.0	20.0	30.0	20.0	0.5	0.2	0.3

จากที่ได้กล่าวมาในบทนี้ เป็นการแสดงให้เห็นถึงหลักการในการออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า (Islanding) มีการกำหนดเงื่อนไขในการวิเคราะห์อย่างละเอียด กล่าวถึงขั้นเวลา (Time Step) ในการวิเคราะห์ รวมไปถึงข้อมูลของระบบผลิตพลังงานร่วมที่ใช้เป็นระบบศึกษา (Case Study) ทั้งแบบที่ใช้ระบบกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) และระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle) ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการที่จะวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้า ในบทต่อไปจะได้นำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ทดสอบกับกรณีการทำงานลักษณะต่างๆ ของระบบผลิตพลังงานร่วม และสังเกตผลตอบสนองเมื่อเกิดการดำเนินงานแยกจากระบบไฟฟ้า (Islanding) ขึ้น รวมทั้งทำการแสดงผลการทดสอบอย่างละเอียดในลำดับต่อไปด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย