

บทที่ 7

การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วม ต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า

การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า ในที่นี้จะได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ

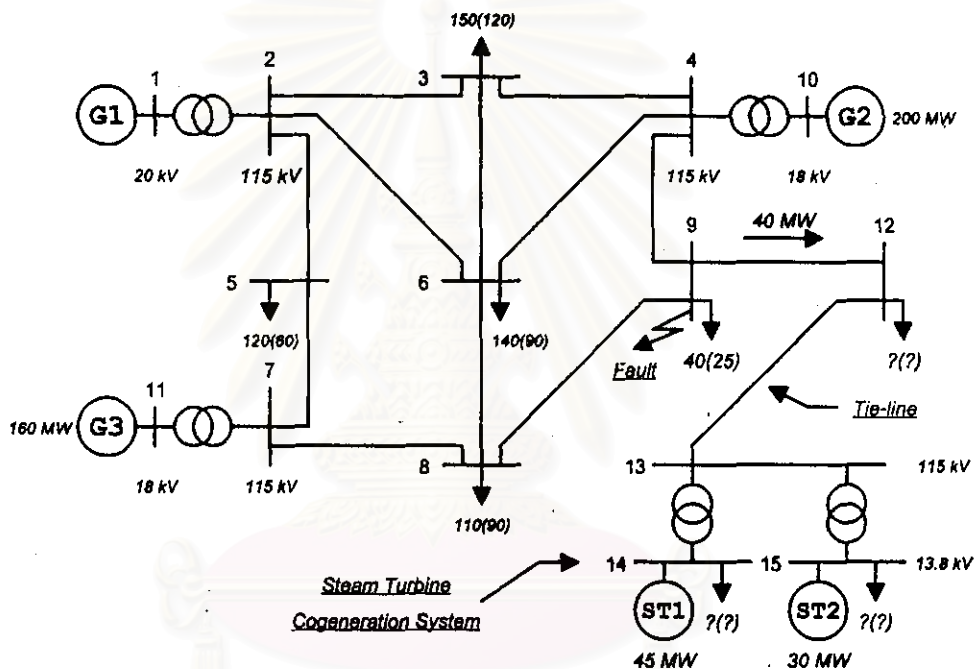
- 1). การวิเคราะห์ระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทกังหันไอน้ำ (Steam Turbine Cogeneration System)
- 2). การวิเคราะห์ระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle Cogeneration System)

โดยในการวิเคราะห์แต่ละส่วนจะกำหนดให้กำลังผลิตของระบบผลิตพลังงานร่วมไม่มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละกรณี แต่ภาระทางไฟฟ้าจะมีการจัดให้เป็นไปตามเงื่อนไขในการทดสอบ การทดสอบขั้นแรกจะใช้แบบจำลองอย่างง่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีกำลังไฟฟ้าไหลผ่านสายส่งเชื่อมต่อทั้งสองระบบ เปรียบเทียบกับผลตอบสนองที่ได้จากการใช้แบบจำลองอย่างละเอียด ต่อจากนั้นก็จะเป็นการทดสอบโดยใช้แบบจำลองอย่างละเอียดกับการเปลี่ยนแปลงการทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วมในทุกๆ กรณี ดังจะได้กล่าวต่อไป

7.1 การวิเคราะห์ระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทกังหันไอน้ำ (Steam Turbine Cogeneration System)

ในขั้นตอนการวิเคราะห์นี้ จะแบ่งกรณีที่ใช้ในการทดสอบระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทกังหันไอน้ำ (Steam Turbine Cogeneration System) ออกเป็น 5 กรณีหลักๆ ด้วยกัน โดยทุกกรณีจะเริ่มด้วยการเกิดความผิดปกติของขึ้นบริเวณใกล้เคียงกับบัสที่ 9 ที่เวลา 100 ms ระบบไฟฟ้าทำการกำจัดความผิดพร่องนั้นที่เวลา 200 ms ซึ่งสามารถทำให้เกิดการแยกของระบบผลิตพลังงานร่วมออกจากระบบไฟฟ้าได้ (Islanding) สำหรับระบบผลิตพลังงานร่วมจะมีการกำหนดให้รีเลย์ความถี่มีการทำงานที่ระดับความถี่เปลี่ยนแปลง 1% ของความถี่ปกติ การจัดการทางไฟฟ้าในส่วนของ

ระบบไฟฟ้า และระบบผลิตพลังงานร่วม จะนำมาใช้ในการกำหนดกรณีทดสอบ ที่แสดงถึงลักษณะการทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วมที่มีทั้งกรณีที่กำลังไฟฟ้าภายในระบบผลิตพลังงานร่วมมีความสมดุล และกรณีที่มีการซื้อขายกำลังไฟฟ้ากับระบบไฟฟ้าด้วย รูปที่ 7.1 แสดงระบบไฟฟ้า และระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทกังหันไอน้ำ ที่ใช้กำหนดกรณีทดสอบ โดยกำหนดให้ทุกกรณีมีการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง 9-12 ขนาด 40 MW จากระบบไฟฟ้าไปในทิศทางเข้าสู่ระบบผลิตพลังงานร่วมเป็นปริมาณคงที่ตลอด เพื่อให้ผลการเปรียบเทียบในทุกกรณีมีความสอดคล้องกัน จะแตกต่างกันเฉพาะการจัดกำลังของภาระทางไฟฟ้าในส่วนที่ทำให้เกิดระบบอิสระขึ้นเท่านั้น และกรณีต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบมีดังต่อไปนี้



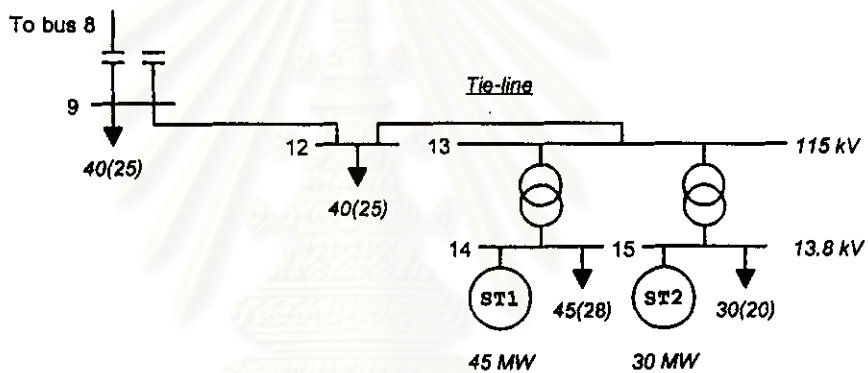
รูปที่ 7.1 ระบบไฟฟ้าและระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทกังหันไอน้ำ (Steam Turbine Cogeneration System) ที่ใช้กำหนดกรณีทดสอบ

กรณีที่ 1-1 การทดสอบระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้แบบจำลองอย่างง่าย (Case 1-1: Classical Model Test)

ในกรณีทดสอบนี้มีการกำหนดภาระทางไฟฟ้าในระบบดังรูปที่ 7.2 จะเห็นได้ว่าการกำหนดลักษณะนี้ภาระทางไฟฟ้าในระบบผลิตพลังงานร่วมจะสมดุลกับกำลังผลิต ทำให้ไม่มีกำลังไฟฟ้าไหลในสายส่งเชื่อมต่อ (Tie-line) ระหว่างระบบทั้งสอง นอกจากนี้สำหรับกรณีทดสอบที่ 1-1 ยังสามารถแยกออกเป็นกรณีย่อยได้อีก 3 กรณีด้วยกัน ดังนี้

กรณี 1-1-1 หลังจากเกิดความผิดปกติพร้อมขึ้นตามที่กำหนดแล้ว ให้มีการกำจัดความผิดปกติโดยการตัดสายส่ง 8-9 ออกที่เวลา 200 ms ซึ่งไม่ทำให้เกิดการแยกของระบบทั้งสองขึ้น (Islanding) พร้อมทั้งทำการกำหนดให้รีเลย์ความถี่ (Frequency Relays) ทำงานเป็นปกติในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบผลิตพลังงานร่วมที่ระดับ 1% เพื่อสั่งการให้ตัดสายส่งเชื่อมต่อระหว่างระบบทั้งสอง (Tie-line) ออก

กรณี 1-1-2 หลังจากเกิดความผิดปกติพร้อมขึ้นตามที่กำหนดแล้ว ให้มีการกำจัดความผิดปกติโดยการตัดสายส่ง 9-12 ออก ซึ่งทำให้เกิดการแยกของระบบทั้งสองขึ้น (Islanding) โดยไม่มีการกำหนดให้รีเลย์ความถี่ (Frequency Relays) ทำงานแต่อย่างใด



รูปที่ 7.2 ระบบศึกษาสำหรับกรณีทดสอบที่ 1-1 และ 1-2

กรณี 1-1-3 หลังจากเกิดความผิดปกติพร้อมขึ้นตามที่กำหนดแล้ว ให้มีการกำจัดความผิดปกติโดยการตัดสายส่ง 9-12 ออก ซึ่งทำให้เกิดการแยกของระบบทั้งสองขึ้น (Islanding) พร้อมทั้งทำการกำหนดให้รีเลย์ความถี่ (Frequency Relays) มีการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบผลิตพลังงานร่วมที่ระดับ 1% เพื่อสั่งการให้ตัดสายส่งเชื่อมต่อระหว่างระบบทั้งสอง (Tie-line) ออก

สำหรับการวิเคราะห์ในกรณีที่ 1-1 นี้ เนื่องจากการใช้แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างง่าย (Classical Model) ความถูกต้องในการวิเคราะห์จึงอยู่ในช่วง 1 ถึง 2 s เท่านั้น ดังนั้นในกรณีนี้จึงทำการวิเคราะห์ผลตอบสนองออกมาในช่วง 2 s เท่านั้น

**กรณีศึกษาที่ 1-2 การทดสอบระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้แบบจำลองอย่างละเอียดใน
สถานะที่ไม่มีกำลังไฟฟ้าไหลภายในสายส่งเชื่อมต่อ (Tie-line)
(Case 1-2: Power Balance in Cogeneration System)**

ในการทดสอบนี้มีการกำหนดภาระทางไฟฟ้าเช่นเดียวกันกับกรณีศึกษาที่ 1-1 เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลตอบสนองจากแบบจำลองระบบไฟฟ้าทั้งสองอย่าง โดยการวิเคราะห์ในกรณีศึกษาที่ 1-2 จะวิเคราะห์หรืออยู่ในช่วงเวลา 10 s เนื่องจากต้องการดูผลตอบสนองของระบบควบคุมที่มีต่อการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า และระบบผลิตพลังงานร่วม กรณีทดสอบที่ 1-2 นี้ยังได้แบ่งเป็นกรณีย่อยเช่นเดียวกันกับกรณีศึกษาที่ 1-1 ด้วย ดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1-2-1 ทำการทดสอบเช่นเดียวกับกรณีศึกษาที่ 1-1-1 แต่พิจารณาในช่วง 10 s

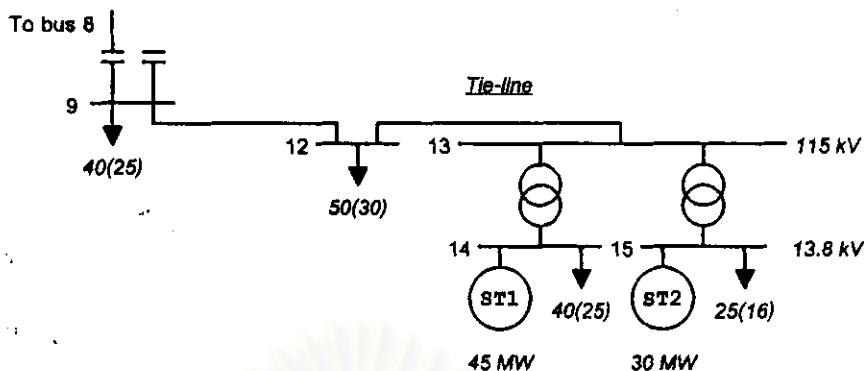
กรณีศึกษาที่ 1-2-2 ทำการทดสอบเช่นเดียวกับกรณีศึกษาที่ 1-1-2 แต่พิจารณาในช่วง 10 s

กรณีศึกษาที่ 1-2-3 ทำการทดสอบเช่นเดียวกับกรณีศึกษาที่ 1-1-3 แต่พิจารณาในช่วง 10 s

**กรณีศึกษาที่ 1-3 การทดสอบระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้แบบจำลองอย่างละเอียดใน
สถานะที่มีกำลังไฟฟ้าไหลออกจากระบบผลิตพลังงานร่วม
(Case 1-3: Power Out from Cogeneration System)**

ในการทดสอบนี้มีการกำหนดภาระทางไฟฟ้าในระบบดังรูปที่ 7.3 จะเห็นว่าในการกำหนดลักษณะนี้ภาระทางไฟฟ้าในระบบผลิตพลังงานร่วมจะน้อยกว่ากำลังผลิต ทำให้มีกำลังไฟฟ้าขนาด 10 MW ไหลผ่านสายส่งเชื่อมต่อ (Tie-line) ไปจ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้าส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้า เป็นลักษณะของการจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานร่วมนั่นเอง

การทดสอบระบบผลิตพลังงานร่วมในกรณีนี้จะทำการวิเคราะห์ในช่วงเวลา 10 s ตามขั้นตอน คือ หลังจากเกิดความผิดปกติขึ้นตามที่กำหนดแล้ว ให้มีการกำจัดความผิดปกติโดยการตัดสายส่ง 9-12 ออก พร้อมทั้งทำการกำหนดให้รีเลย์ความถี่ (Frequency Relays) ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบผลิตพลังงานร่วมที่ระดับ 1% สำหรับการตัดสายส่งเชื่อมต่อ (Tie-line) ออก

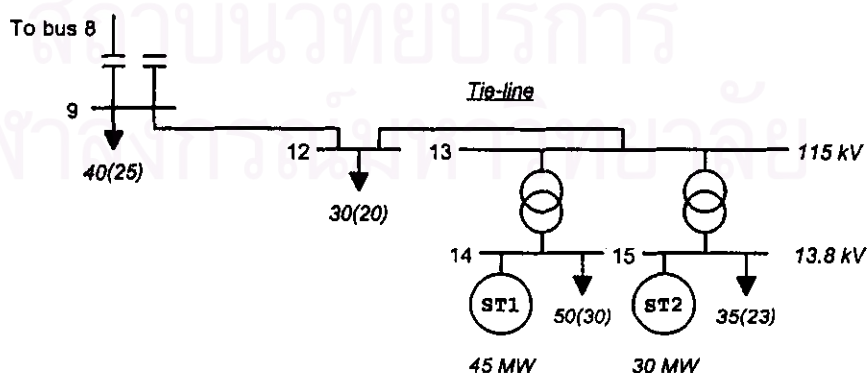


รูปที่ 7.3 ระบบศึกษาสำหรับกรณีทดสอบที่ 1-3

**กรณีที่ 1-4 การทดสอบระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้แบบจำลองอย่างละเอียดใน
สถานะที่มีกำลังไฟฟ้าไหลเข้าระบบผลิตพลังงานร่วม
(Case 1-4: Power Come to Cogeneration System)**

ในการทดสอบนี้มีการกำหนดภาระทางไฟฟ้าในระบบดังรูปที่ 7.4 ในการกำหนดลักษณะนี้ ภาระทางไฟฟ้าในระบบผลิตพลังงานร่วมจะมีปริมาณมากกว่ากำลังผลิต ทำให้มีกำลังไฟฟ้าขนาด 10 MW ไหลจากระบบไฟฟ้าผ่านสายส่งเชื่อมต่อ (Tie-line) เข้าสู่ระบบผลิตพลังงานร่วมเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าส่วนหนึ่งของระบบผลิตพลังงานร่วม เป็นลักษณะของการซื้อกำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้านั้นเอง

การทดสอบระบบผลิตพลังงานร่วมในกรณีนี้จะทำการวิเคราะห์ในช่วงเวลา 10 s ตามขั้นตอนเดียวกันกับกรณีที่ 1-3 ที่ได้กล่าวเอาไว้แล้ว

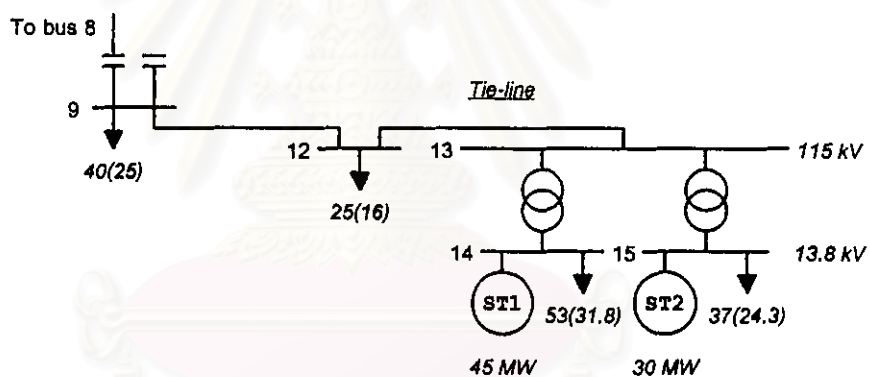


รูปที่ 7.4 ระบบศึกษาสำหรับกรณีทดสอบที่ 1-4

**กรณีศึกษาที่ 1-5 การทดสอบระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้แบบจำลองอย่างละเอียดใน
สถานะที่มีกำลังไฟฟ้าไหลเข้าระบบผลิตพลังงานร่วมเป็นปริมาณมาก ๆ
(Case 1-5: Overload in Cogeneration System)**

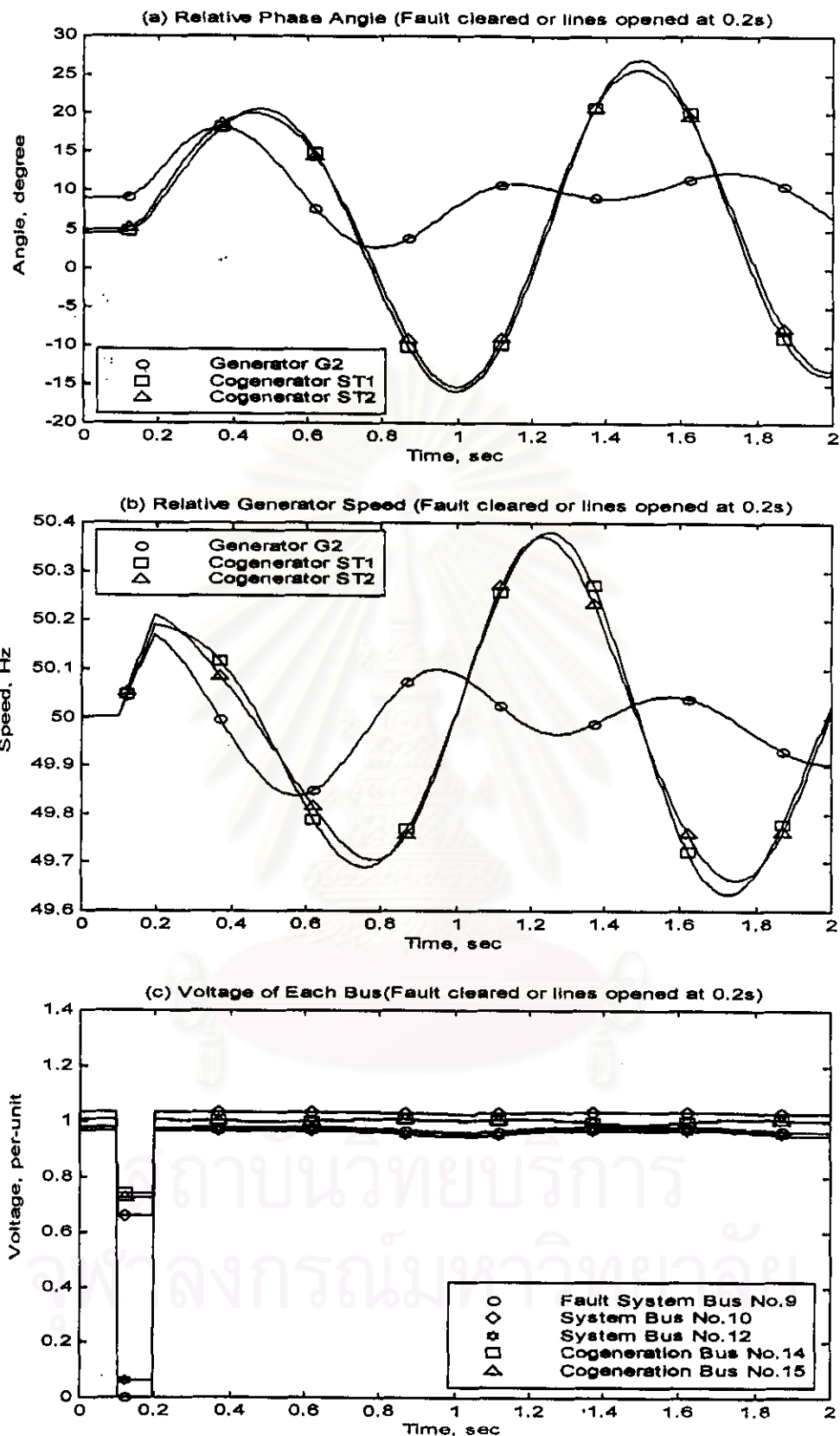
ในกรณีทดสอบนี้มีการกำหนดภาระทางไฟฟ้าในระบบดังรูปที่ 7.5 จะเห็นได้ว่าการกำหนดลักษณะนี้ภาระทางไฟฟ้าในระบบผลิตพลังงานร่วมจะมีปริมาณมากกว่ากำลังผลิตมาก ๆ ทำให้มีกำลังไฟฟ้าขนาดถึง 15 MW ไหลจากระบบไฟฟ้าผ่านสายส่งเชื่อมต่อ (Tie-line) เข้าสู่ระบบผลิตพลังงานร่วม ลักษณะเช่นนี้ปริมาณภาระทางไฟฟ้ามีผลต่อการรักษาเสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมในกรณีที่จะทดสอบนี้เป็นอย่างมาก

การทดสอบระบบผลิตพลังงานร่วมในกรณีนี้จะทำการวิเคราะห์ในช่วงเวลา 10 s ตามขั้นตอนเดียวกันกับกรณีศึกษาที่ 1-3 ที่ได้กล่าวเอาไว้แล้ว



รูปที่ 7.5 ระบบศึกษาสำหรับกรณีทดสอบที่ 1-5

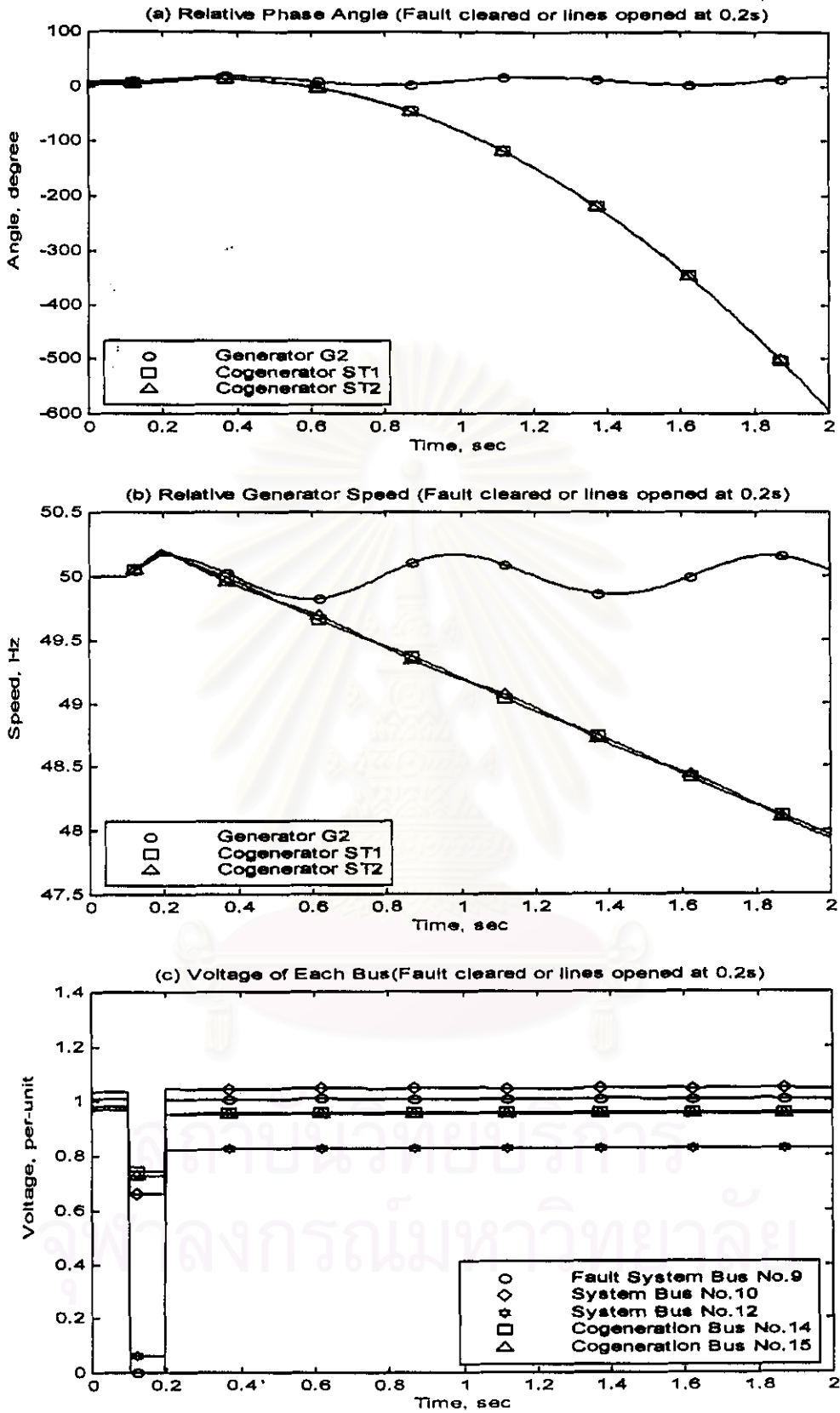
ผลการตอบสนองของระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทกังหันไอน้ำ และเวลาการทำงานของรีเลย์ความถี่ ต่อกรณีทดสอบทั้งหมด สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.6 ถึง 7.14 ตามลำดับ



รูปที่ 7.6 ผลตอบสนองของกรณี 1-1-1 เกิดความผิดพลาดแต่ไม่ทำให้เกิด Islanding ขึ้น

(a) มุม (δ), (b) ความเร็ว (ω) และ (c) แรงดันบัส (V)

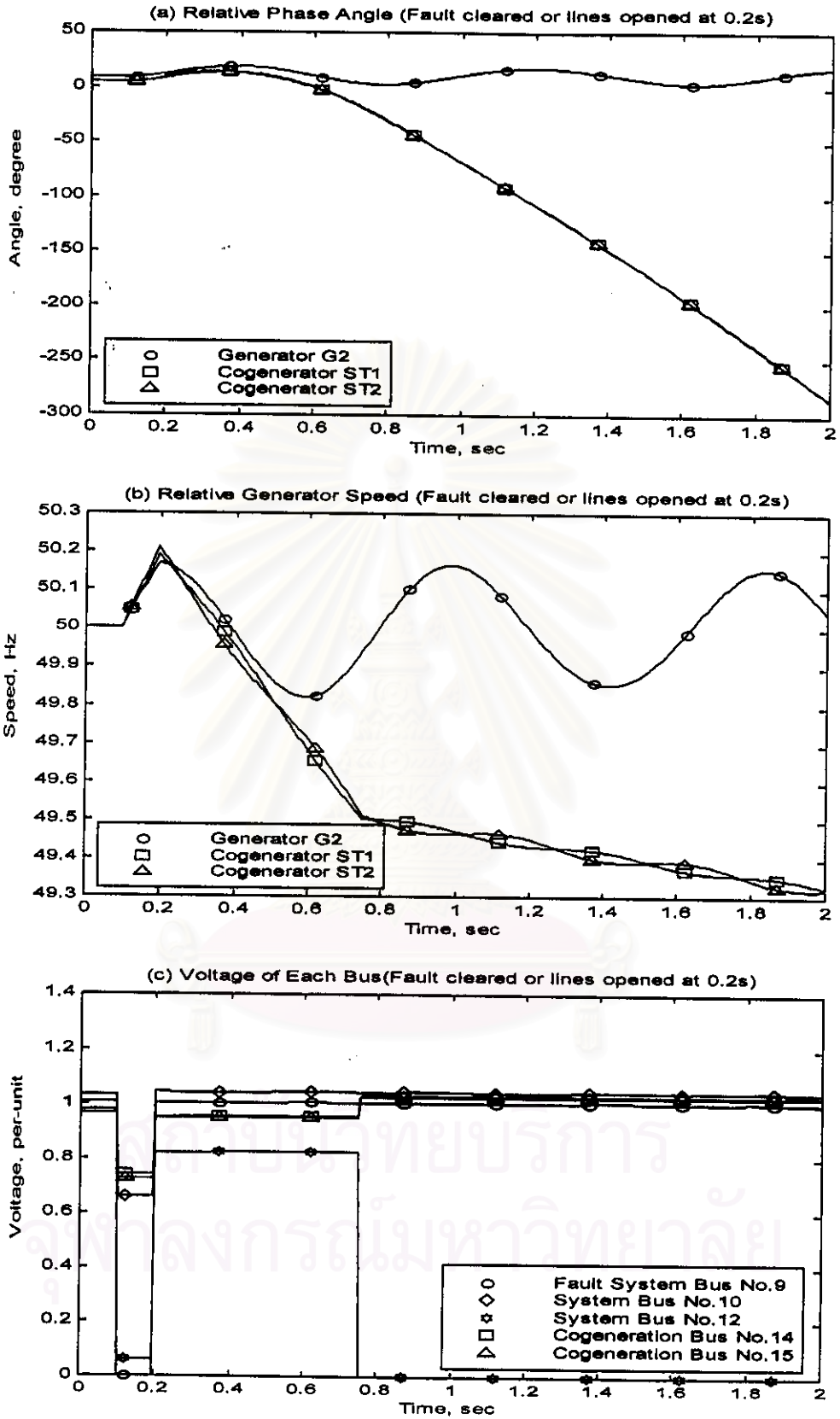
(Tie-line hasn't been tripped in Case 1-1-1)



รูปที่ 7.7 ผลตอบสนองของกรณี 1-1-2 เกิด Islanding ขึ้นแต่ไม่ทำให้รีเลย์ความถี่ทำงาน

(a) มุม (δ), (b) ความเร็ว (ω) และ (c) แรงดันบัส (V)

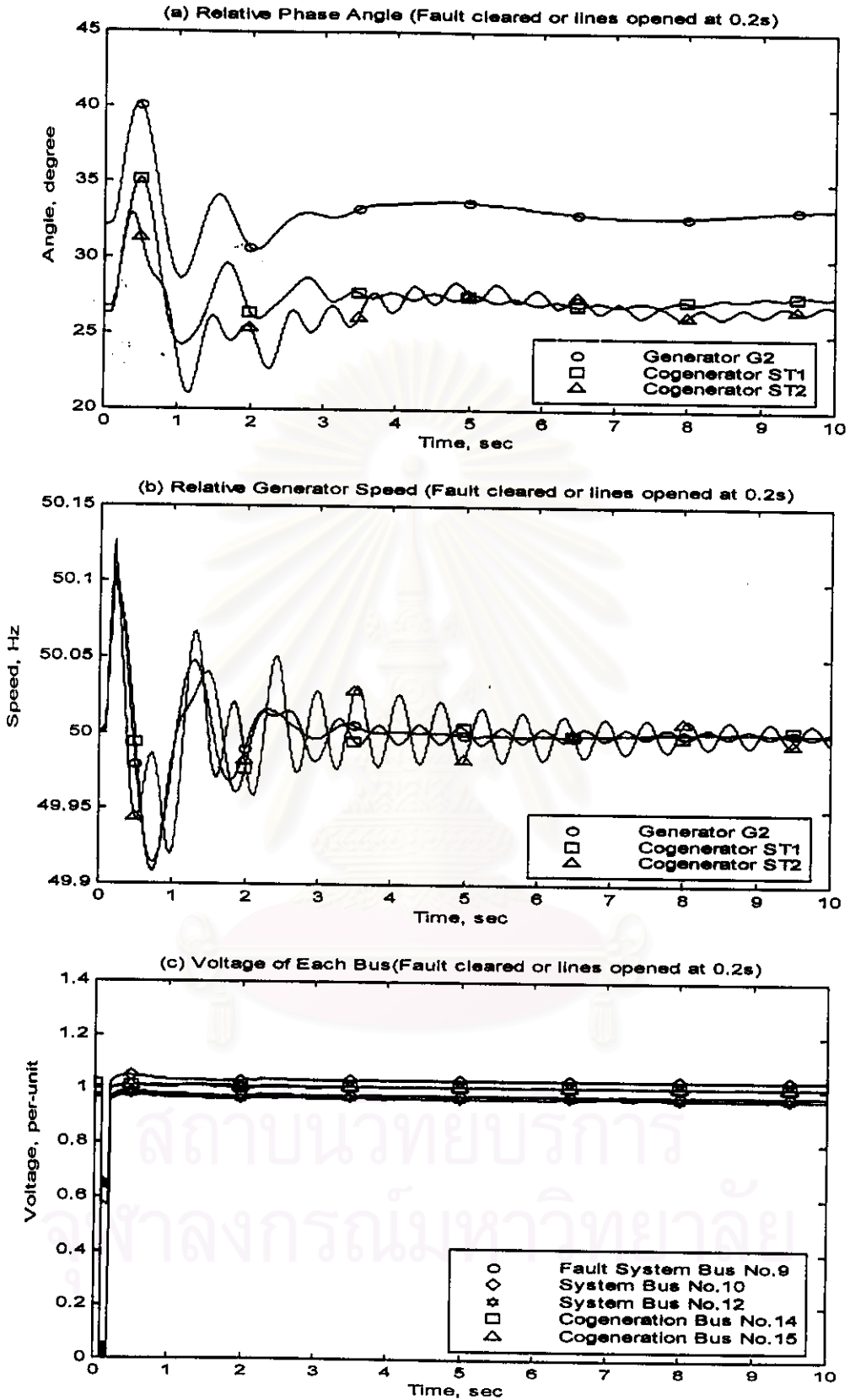
(Tie-line hasn't been tripped in Case 1-1-2)



รูปที่ 7.8 ผลตอบสนองของกรณี 1-1-3 เกิด Islanding และให้ร้อยละความถี่มีการทำงาน

(a) มุม (δ), (b) ความเร็ว (ω) และ (c) แรงดันบัล (V)

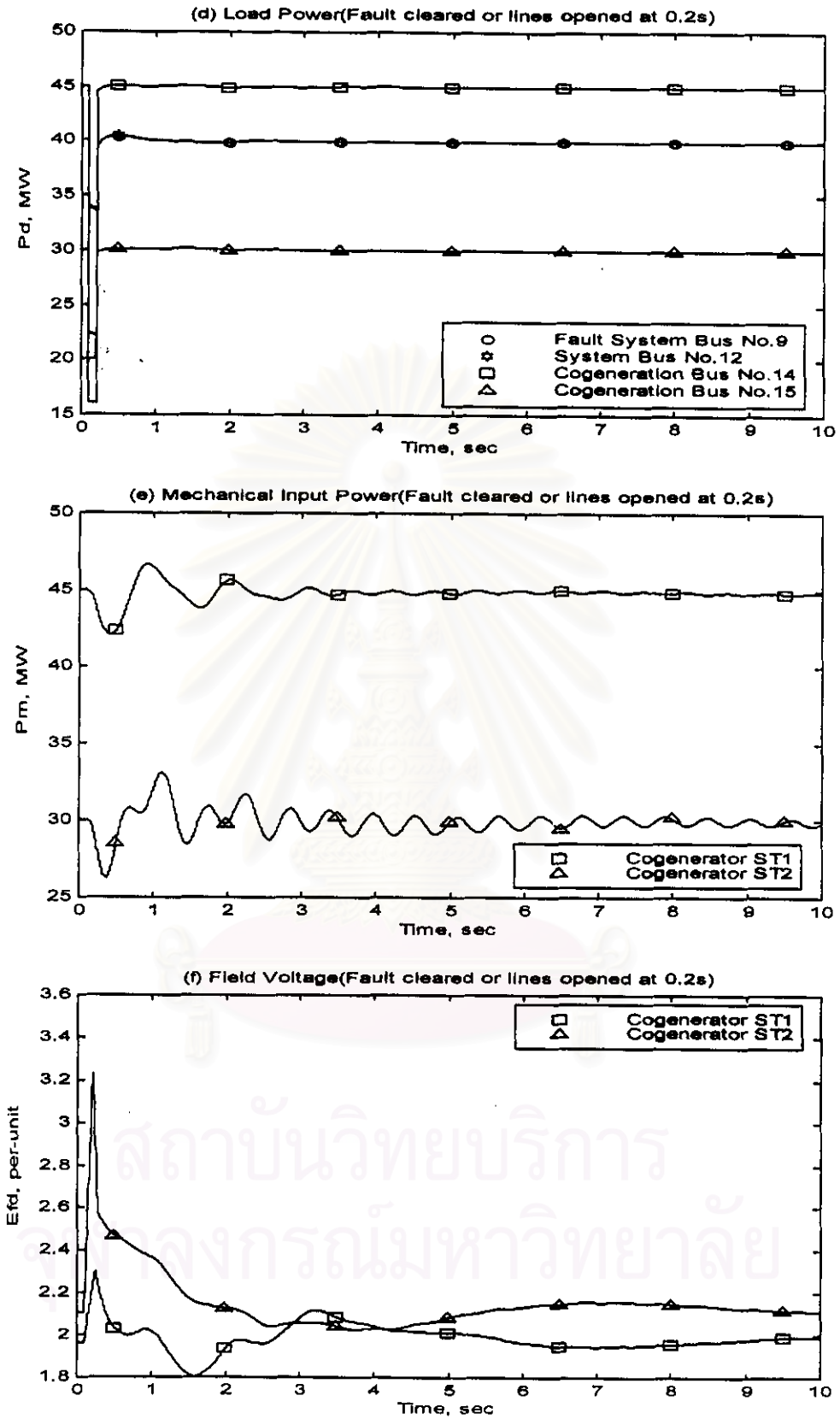
(Tie-line has been tripped at 756.93 msec in Case 1-1-3)



รูปที่ 7.9 ผลตอบสนองของกรณี 1-2-1 เกิดความผิดพลาดแต่ไม่ทำให้เกิด Islanding ขึ้น

(a) มุม (δ), (b) ความเร็ว (ω) และ (c) แรงดันบัส (V)

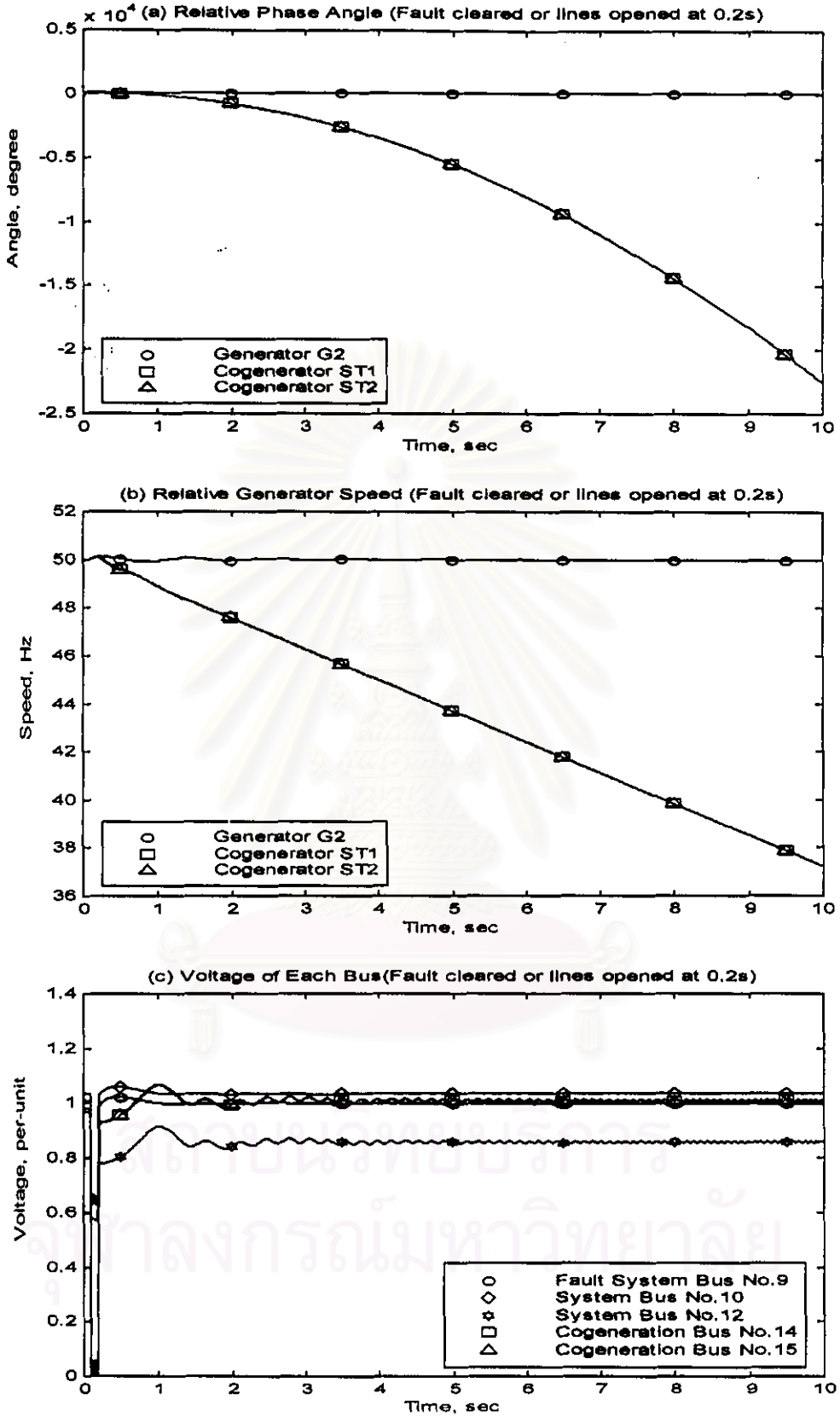
(Tie-line hasn't been tripped in Case 1-2-1)



รูปที่ 7.9 ผลตอบสนองของกรณี 1-2-1 เกิดความผิดพลาดแต่ไม่ทำให้เกิด Islanding ขึ้น (ต่อ)

(d) ภาระทางไฟฟ้า (P_D), (e) กำลังทางกล (P_m) และ (f) แรงดันกระตุ้นสนาม (E_{FD})

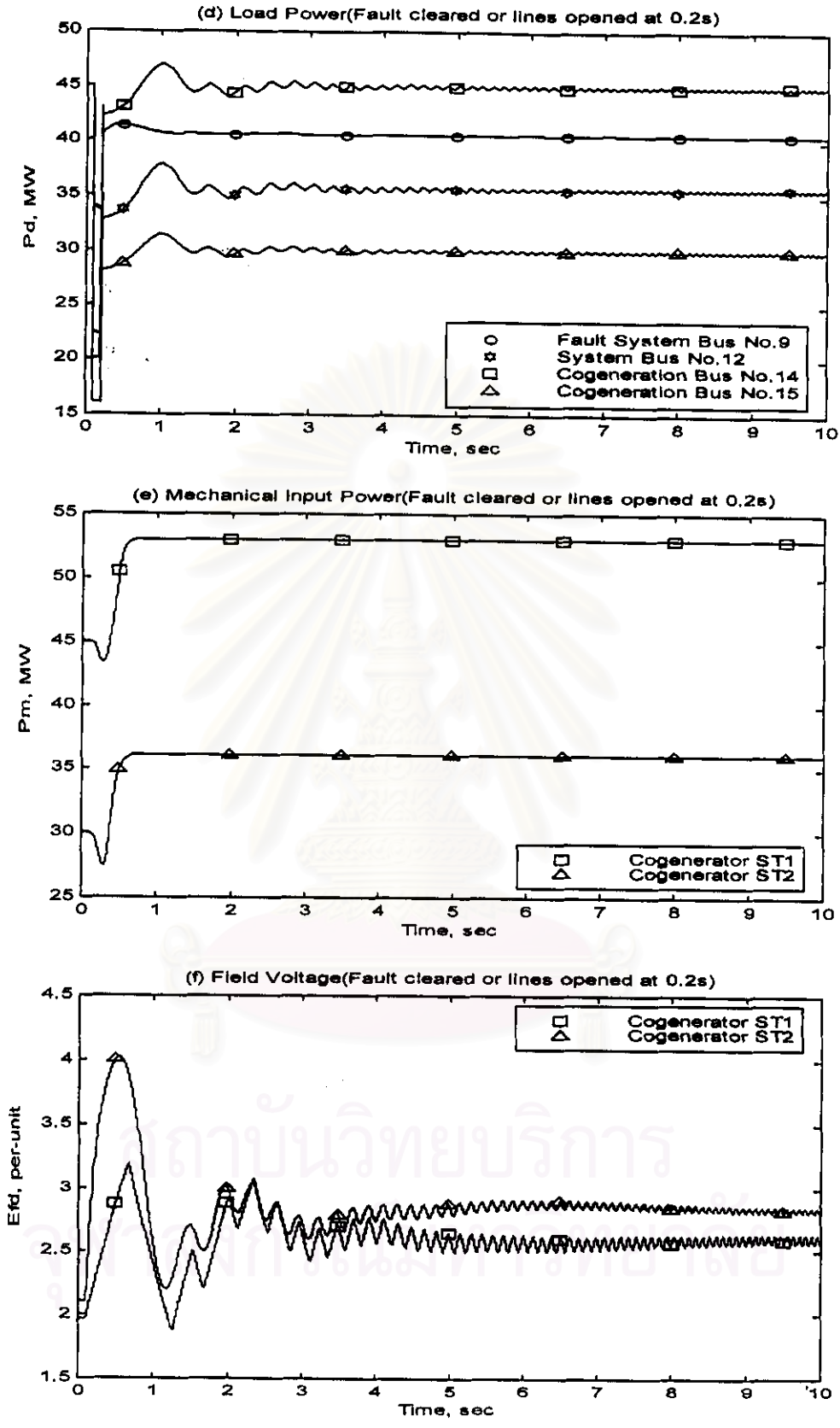
(Tie-line hasn't been tripped in Case 1-2-1)



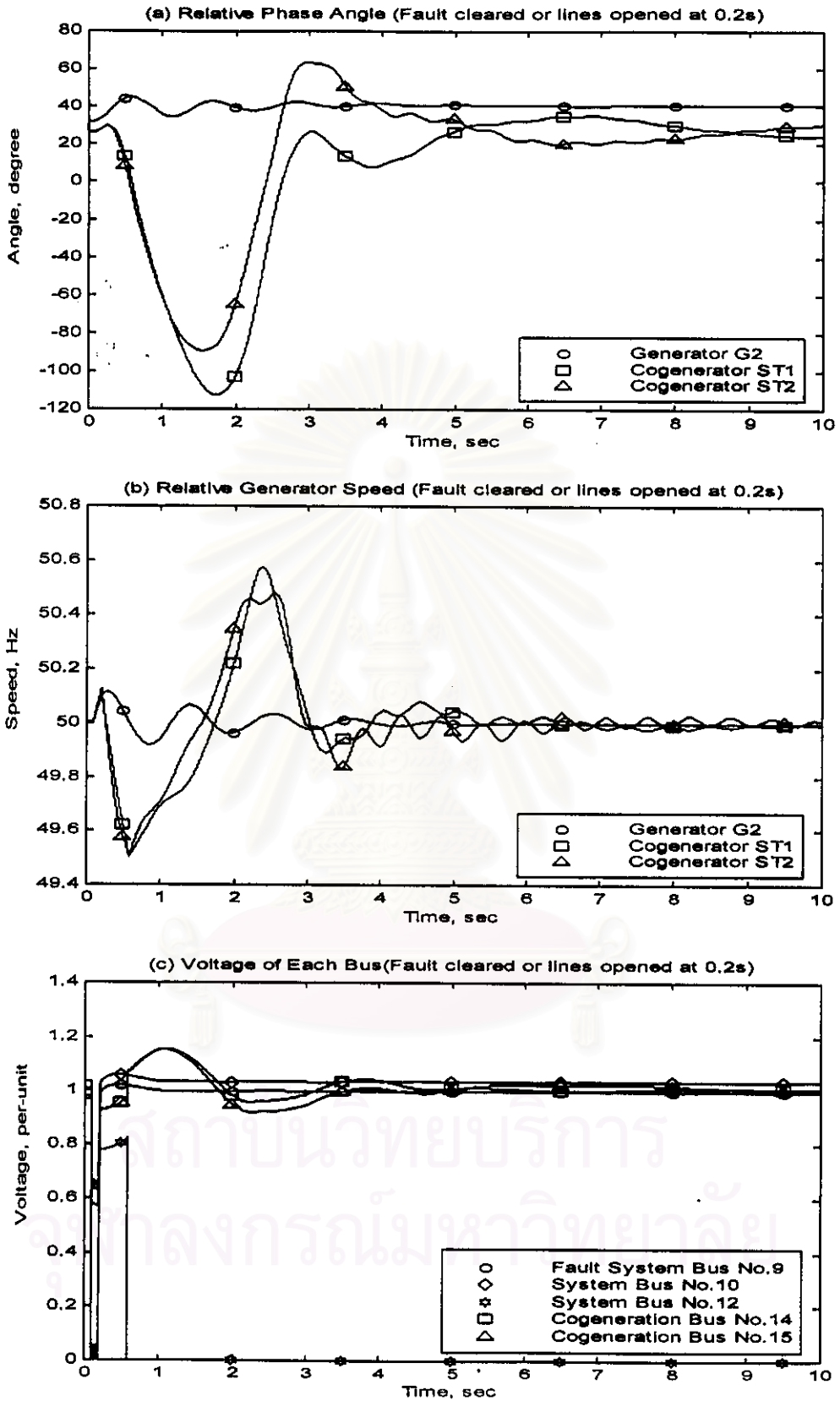
รูปที่ 7.10 ผลตอบสนองกรณีที่เกิด Islanding ขึ้นแต่ไม่ทำให้รีเลย์ความถี่ทำงาน

(a) มุม (δ), (b) ความเร็ว (ω) และ (c) แรงดันบัส (V)

(Tie-line hasn't been tripped in Case 1-2-2)



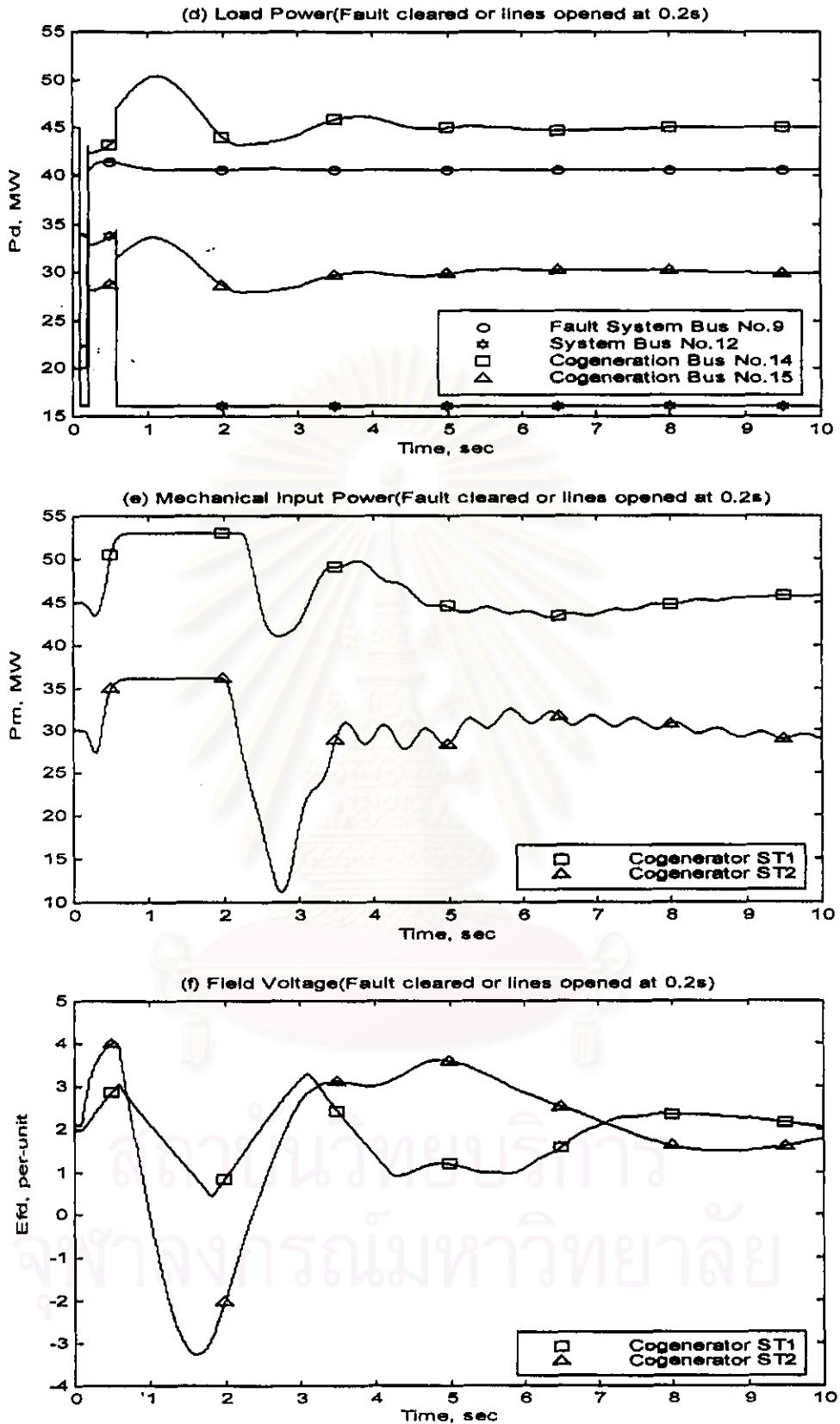
รูปที่ 7.10 ผลตอบสนองกรณีที่เกิด Islanding ขึ้นแต่ไม่ให้อิเล็กตรอนทำงาน (ต่อ)
(d) ภาระทางไฟฟ้า (P_d), (e) กำลังทางกล (P_m) และ (f) แรงดันกระตุ้นสนาม (E_{FD})
(Tie-line hasn't been tripped in Case 1-2-2)



รูปที่ 7.11 ผลตอบสนองของกรณีที่เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่มีการทำงาน

(a) มุม (δ), (b) ความเร็ว (ω) และ (c) แรงดันบัส (V)

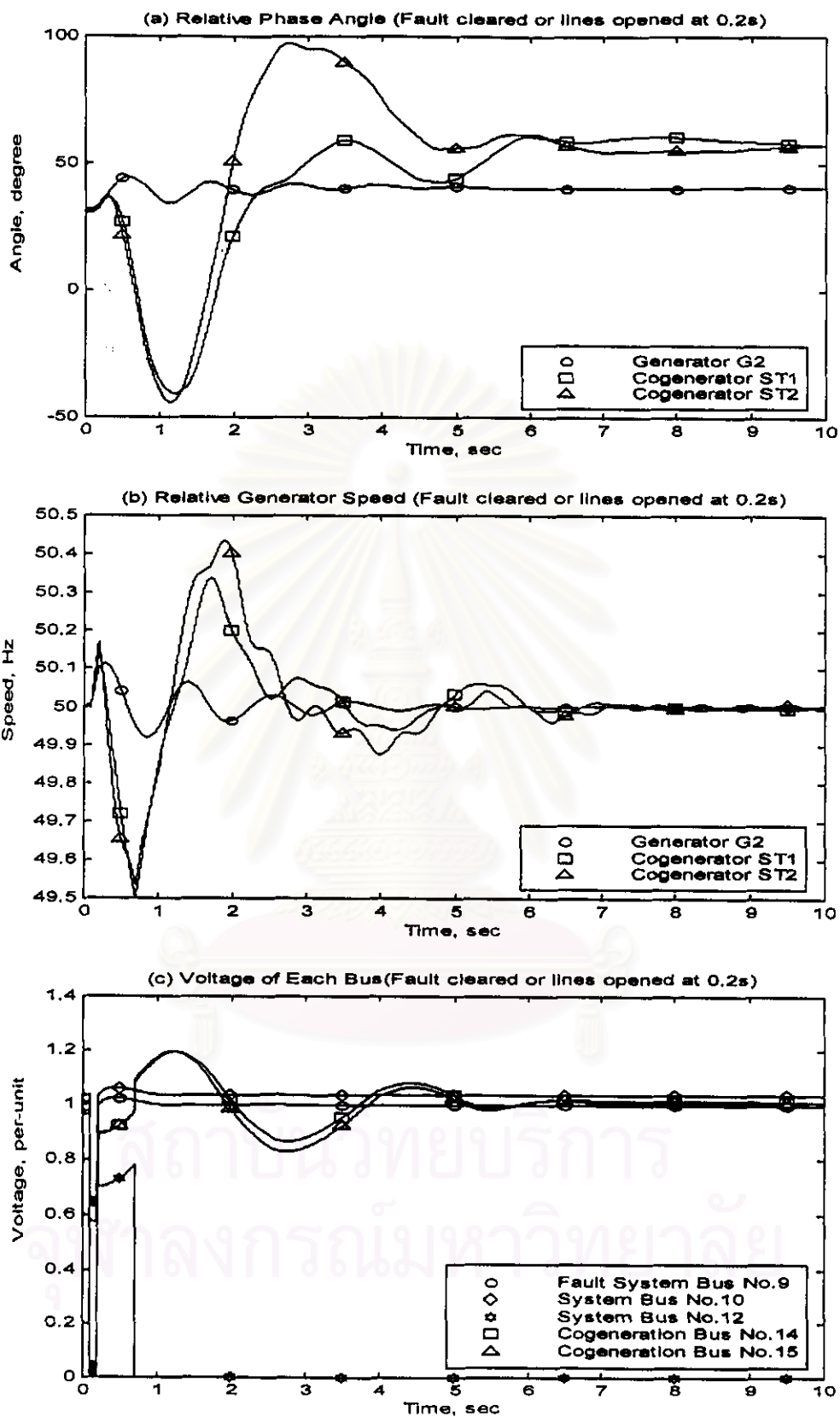
(Tie-line has been tripped at 588.71 msec in Case 1-2-3)



รูปที่ 7.11 ผลตอบสนองกรณีที่เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่มีการทำงาน (ต่อ)

(d) ภาระทางไฟฟ้า (P_d), (e) กำลังทางกล (P_m) และ (f) แรงดันกระตุ้นสนาม (E_{FD})

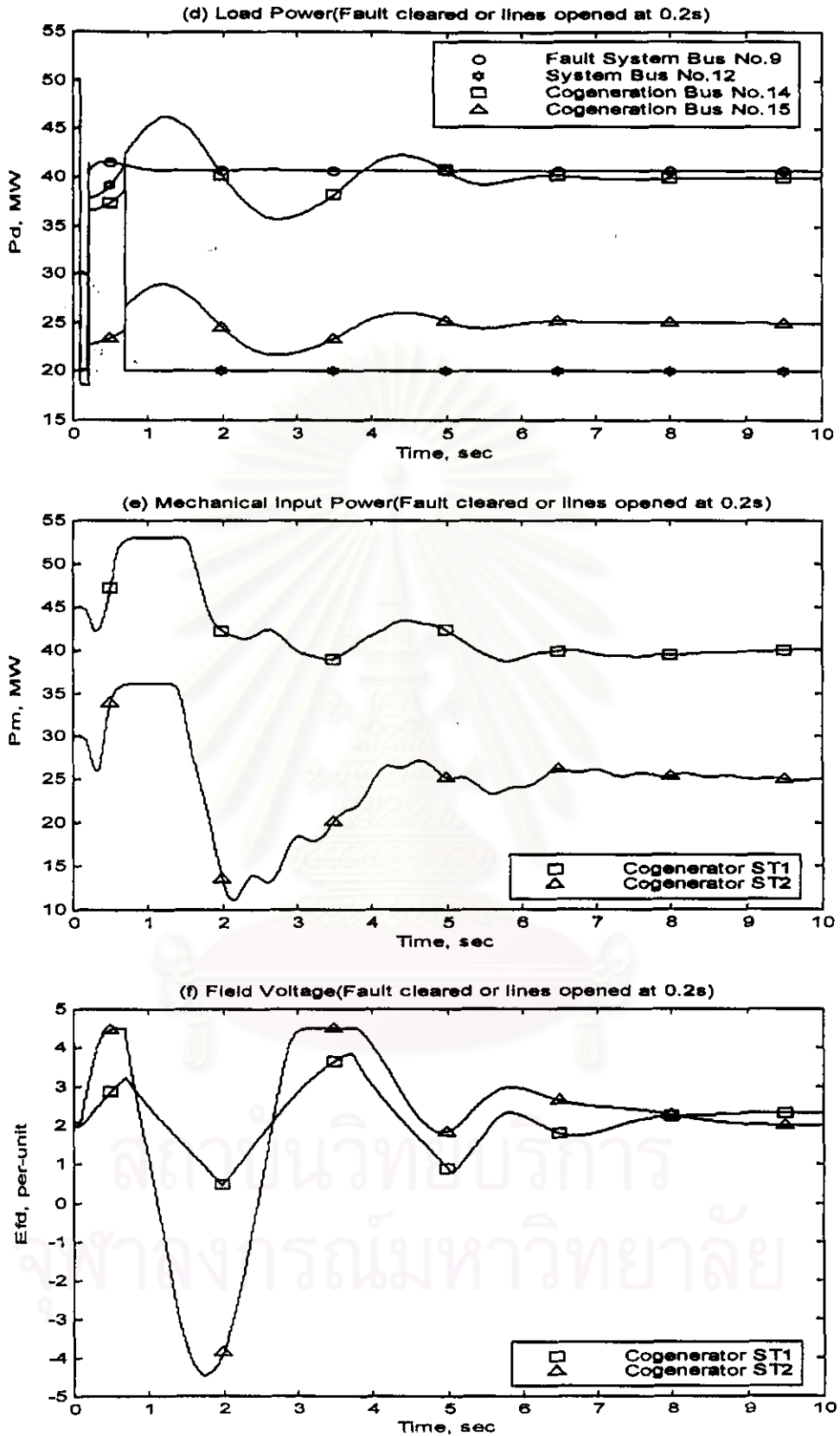
(Tie-line has been tripped at 588.71 msec in Case 1-2-3)



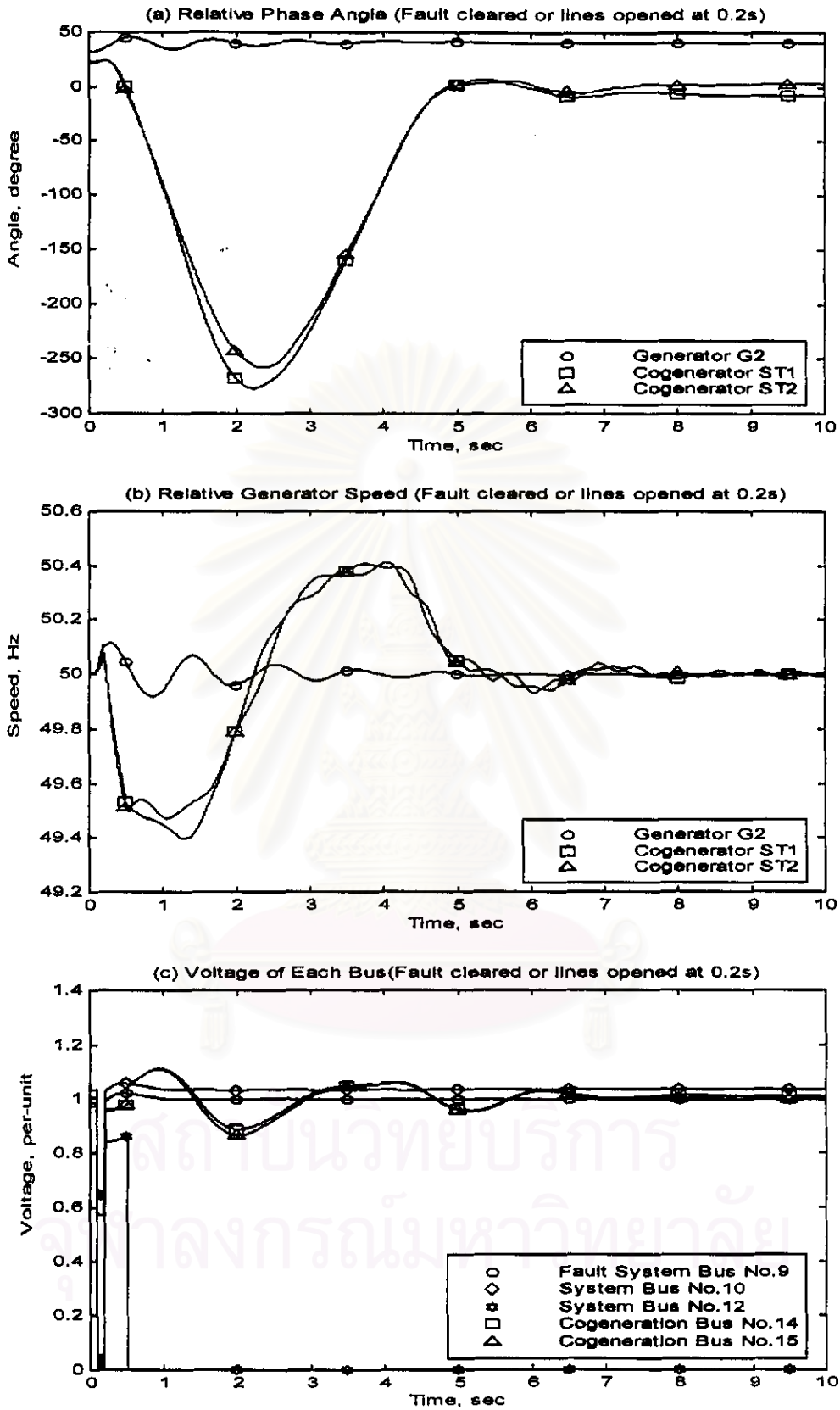
รูปที่ 7.12 ผลตอบสนองของกรณี 1-3 เกิด Islanding และให้รายละเอียดการทำงาน

(a) มุม (δ), (b) ความเร็ว (ω) และ (c) แรงดันบัส (V)

(Tie-line has been tripped at 692.99 msec in Case 1-3)



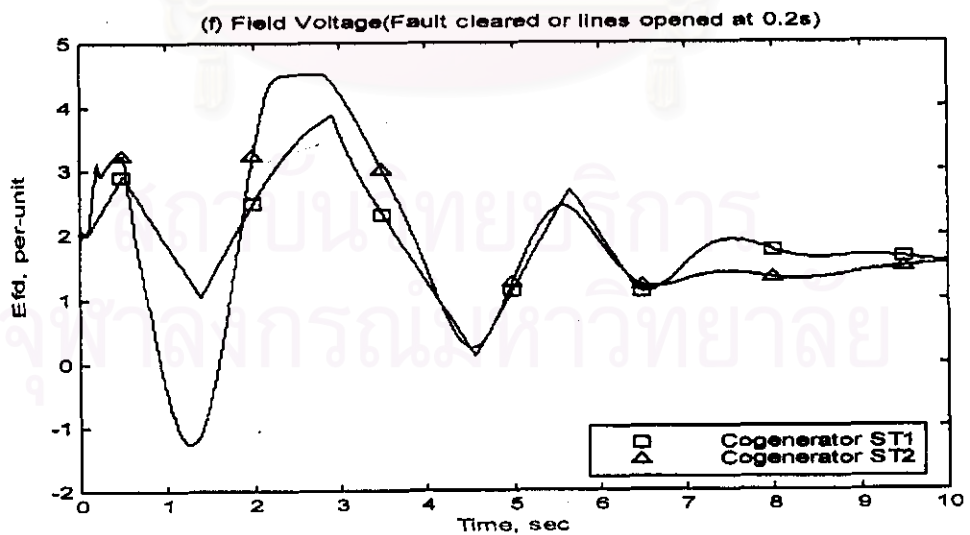
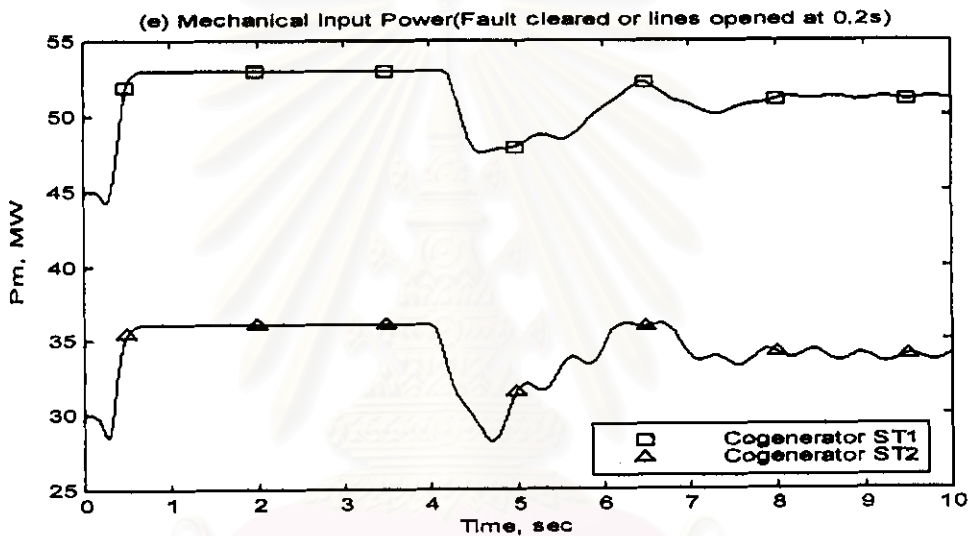
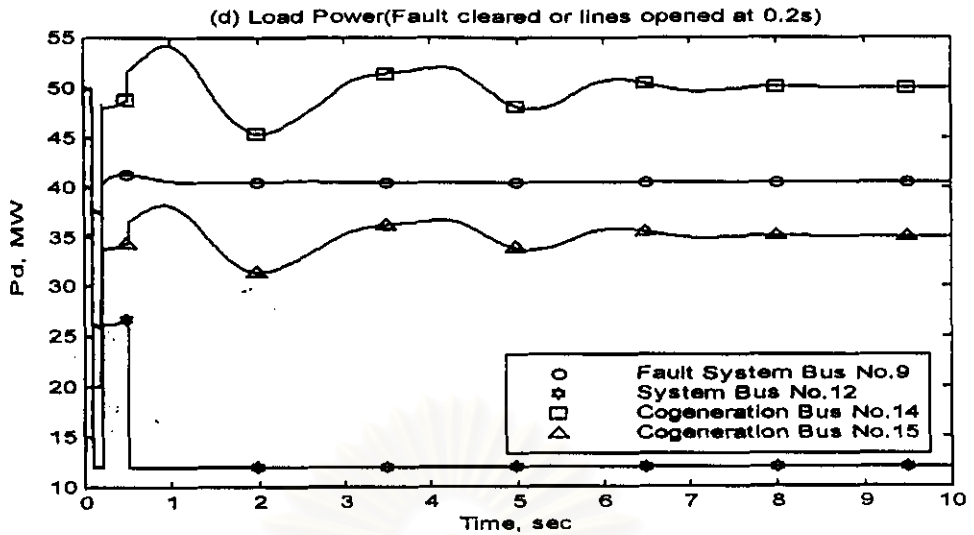
รูปที่ 7.12 ผลตอบสนองกรณีที่เกิด Islanding และให้รายละเอียดการทำงาน (ต่อ)
 (d) ภาระทางไฟฟ้า (P_d), (e) กำลังทางกล (P_m) และ (f) แรงดันกระตุ้นสนาม (E_{FD})
 (Tie-line has been tripped at 692.99 msec in Case 1-3)



รูปที่ 7.13 ผลตอบสนองของกรณีที่ 1-4 เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่มีการทำงาน

(a) มุม (δ), (b) ความเร็ว (ω) และ (c) แรงดันบัส (V)

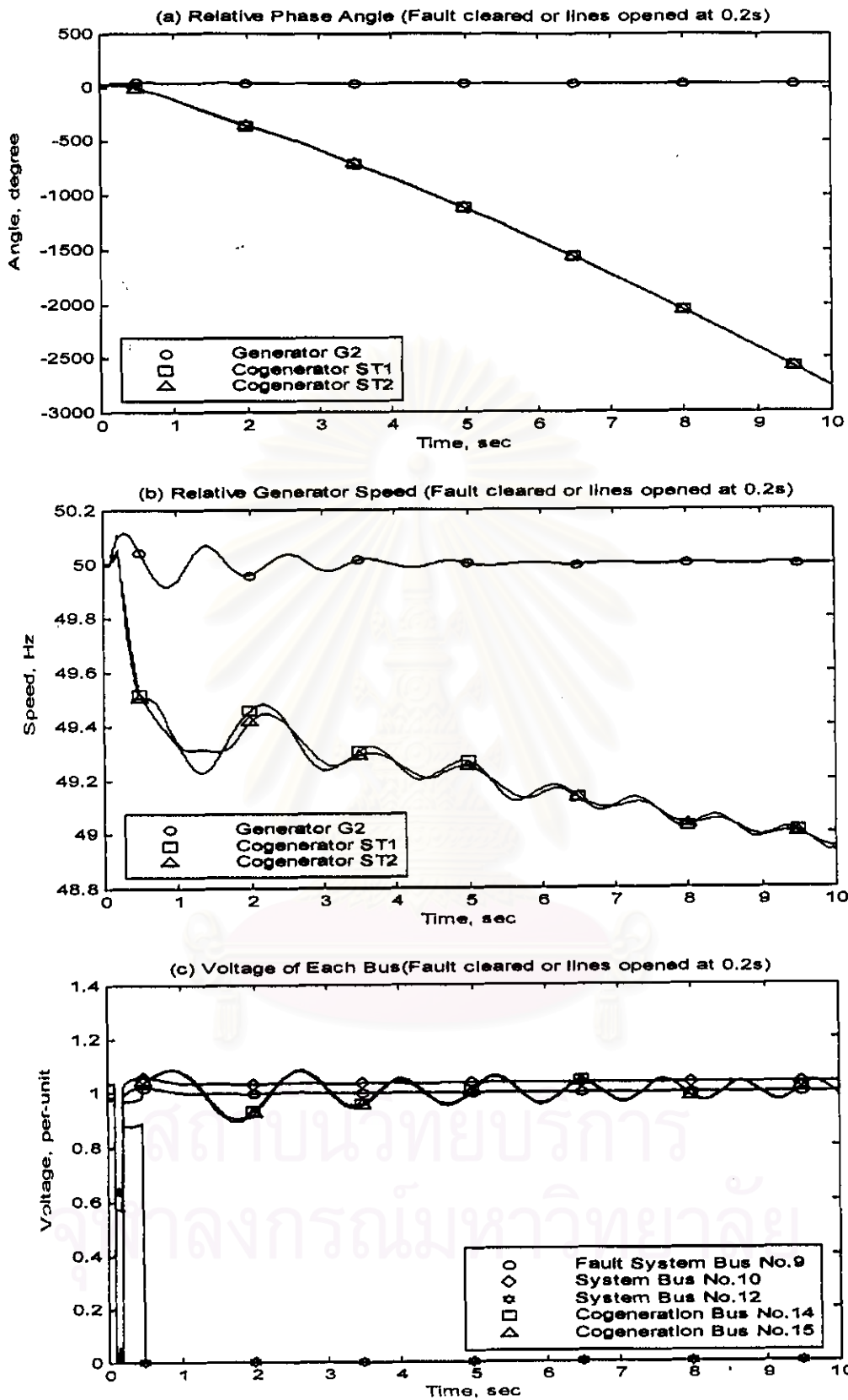
(Tie-line has been tripped at 511.47 msec in Case 1-4)



รูปที่ 7.13 ผลตอบสนองกรณีที่เกิด Islanding และให้รายละเอียดการทำงาน (ต่อ)

(d) ภาระทางไฟฟ้า (P_d), (e) กำลังทางกล (P_m) และ (f) แรงดันกระตุ้นสนาม (E_{FD})

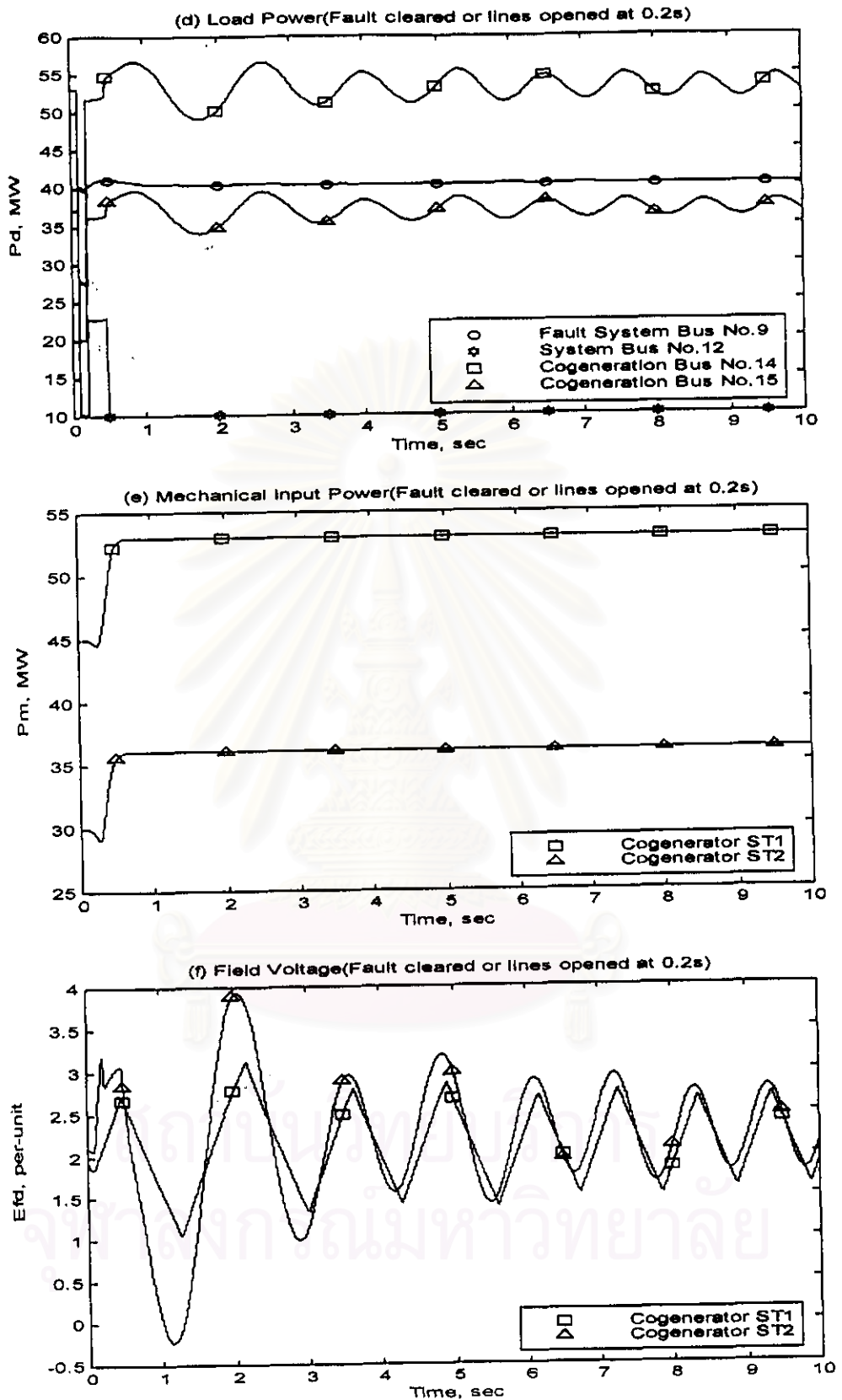
(Tie-line has been tripped at 511.47 msec in Case 1-4)



รูปที่ 7.14 ผลตอบสนองของกรณี 1-5 เกิด Islanding และให้รายละเอียดการทำงาน

(a) มุม (δ), (b) ความเร็ว (ω) และ (c) แรงดันบัส (V)

(Tie-line has been tripped at 478.26 msec in Case 1-5)



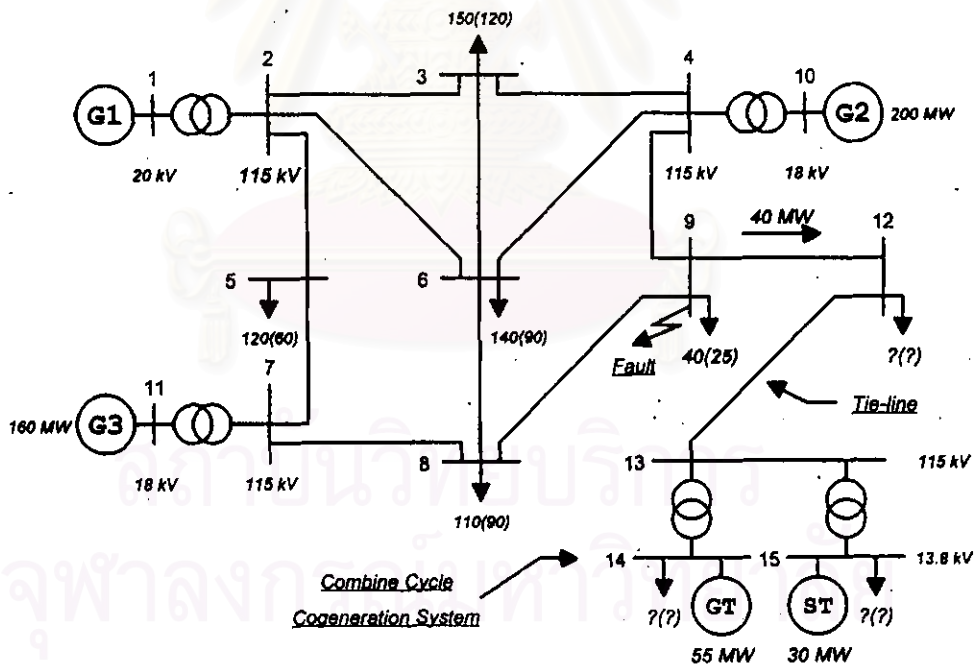
รูปที่ 7.14 ผลตอบสนองของกรณี 1-5 เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่มีการทำงาน (ต่อ)

(d) ภาระทางไฟฟ้า (P_d), (e) กำลังทางกล (P_m) และ (f) แรงดันกระตุ้นสนาม (E_{FD})

(Tie-line has been tripped at 478.26 msec in Case 1-5)

7.2 การวิเคราะห์ระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle Cogeneration System)

ในขั้นตอนการวิเคราะห์นี้ จะแบ่งกรณีที่ใช้ในการทดสอบระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle Cogeneration System) ออกเป็น 5 กรณีหลักๆ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ในส่วนของระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทกังหันไอน้ำ โดยทุกกรณีจะเริ่มต้นด้วยการเกิดความผิดปกติขึ้นบริเวณใกล้เคียงกับบัสที่ 9 ที่เวลา 100 ms และระบบไฟฟ้าทำการกำจัดความผิดพร่องนั้นที่เวลา 200 ms ซึ่งสามารถทำให้เกิดการแยกของระบบผลิตพลังงานร่วมออกจากระบบไฟฟ้าได้ (Islanding) มีการกำหนดให้ร้อยละความถี่ทำงานที่ระดับความถี่เปลี่ยนแปลง 1% ของความถี่ปกติ การจัดการระบบทางไฟฟ้าในส่วนระบบไฟฟ้า และระบบผลิตพลังงานร่วม จะนำมาใช้ในการกำหนดกรณีทดสอบ ที่แสดงถึงลักษณะการทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วมที่มีทั้งกรณีที่กำลังไฟฟ้าภายในระบบผลิตพลังงานร่วมมีความสมดุล และกรณีที่มีการซื้อขายกำลังไฟฟ้ากับระบบไฟฟ้าด้วย



รูปที่ 7.15 ระบบไฟฟ้าและระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle Cogeneration System) ที่ใช้กำหนดกรณีทดสอบ

รูปที่ 7.15 แสดงถึงระบบไฟฟ้าและระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม ซึ่งใช้ในการกำหนดกรณีทดสอบ กรณีต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบจะเหมือนกับระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทกังหันไอน้ำทุกประการ ทุกกรณีจะกำหนดให้มีการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง 9-12 ขนาด 40 MW คงที่ตลอด เพื่อให้ผลการเปรียบเทียบในทุกกรณีมีความสอดคล้องกัน จะมีความแตกต่างกันเฉพาะประเภทของระบบที่ใช้ และการจัดกำลังของภาระทางไฟฟ้าในส่วนที่ทำให้เกิดระบบอิสระขึ้นเท่านั้น โดยกรณีต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

กรณีที่ 2-1 การทดสอบระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้แบบจำลองอย่างง่าย

(Case 2-1: Classical Model Test)

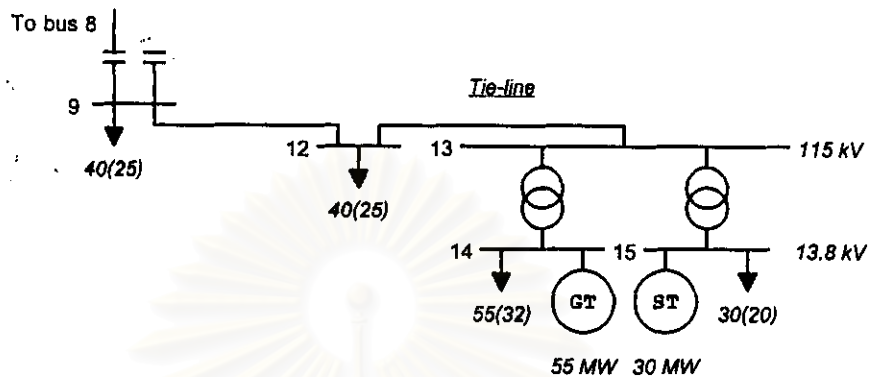
ในกรณีทดสอบนี้มีการกำหนดภาระทางไฟฟ้าในระบบดังรูปที่ 7.16 จะเห็นได้ว่าการกำหนดลักษณะนี้ภาระทางไฟฟ้าในระบบผลิตพลังงานร่วมจะสมดุลกับกำลังผลิต ทำให้ไม่มีกำลังไฟฟ้าไหลในสายส่งเชื่อมต่อ (Tie-line) ระหว่างระบบทั้งสอง นอกจากนี้สำหรับกรณีทดสอบที่ 2-1 ยังสามารถแยกออกเป็นกรณีย่อยได้อีก 3 กรณีด้วยกัน ดังนี้

กรณีที่ 2-1-1 หลังจากเกิดความผิดปกติพร้อมขึ้นตามที่กำหนดแล้ว ให้มีการกำจัดความผิดปกติโดยการตัดสายส่ง 8-9 ออกที่เวลา 200 ms ซึ่งไม่ทำให้เกิดการแยกของระบบทั้งสองขึ้น (Islanding) พร้อมทั้งทำการกำหนดให้รีเลย์ความถี่ (Frequency Relays) ทำงานเป็นปกติในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบผลิตพลังงานร่วมที่ระดับ 1% เพื่อสั่งการให้ตัดสายส่งเชื่อมต่อระหว่างระบบทั้งสอง (Tie-line) ออก

กรณีที่ 2-1-2 หลังจากเกิดความผิดปกติพร้อมขึ้นตามที่กำหนดแล้ว ให้มีการกำจัดความผิดปกติโดยการตัดสายส่ง 9-12 ออก ซึ่งทำให้เกิดการแยกของระบบทั้งสองขึ้น (Islanding) โดยไม่มีการกำหนดให้รีเลย์ความถี่ (Frequency Relays) ทำงานแต่อย่างใด

กรณีที่ 2-1-3 หลังจากเกิดความผิดปกติพร้อมขึ้นตามที่กำหนดแล้ว ให้มีการกำจัดความผิดปกติโดยการตัดสายส่ง 9-12 ออก ซึ่งทำให้เกิดการแยกของระบบทั้งสองขึ้น (Islanding) พร้อมทั้งทำการกำหนดให้รีเลย์ความถี่ (Frequency Relays) มีการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบผลิตพลังงานร่วมที่ระดับ 1% เพื่อสั่งการให้ตัดสายส่งเชื่อมต่อระหว่างระบบทั้งสอง (Tie-line) ออก

สำหรับการวิเคราะห์ในกรณีนี้ 2-1 นี้ จะทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับกรณีที่ 1.1 โดยจะทำการวิเคราะห์ผลตอบสนองออกมาในช่วง 2 s เท่านั้น ด้วยเหตุผลที่ใช้แบบจำลองอย่างง่ายนั่นเอง



รูปที่ 7.16 ระบบศึกษาสำหรับกรณีทดสอบที่ 2-1 และ 2-2

กรณี 2-2 การทดสอบระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้แบบจำลองอย่างละเอียดในสถานะที่ไม่มีกำลังไฟฟ้าไหลภายในสายส่งเชื่อมต่อ (Tie-line)
(Case 2-2: Power Balance in Cogeneration System)

ในกรณีทดสอบนี้มีการกำหนดภาระทางไฟฟ้าเช่นเดียวกันกับกรณี 2-1 เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลตอบสนองจากแบบจำลองระบบไฟฟ้าทั้งสองอย่าง โดยการวิเคราะห์ในกรณี 2-2 จะวิเคราะห์ที่อยู่ในช่วงเวลา 10 s เพราะต้องการดูผลของแบบจำลองอย่างละเอียด รวมทั้งระบบควบคุมต่างๆ ด้วย กรณีทดสอบที่ 2-2 นี้ยังได้แบ่งเป็นกรณีย่อยเช่นเดียวกันกับกรณี 2-1 ด้วย ดังต่อไปนี้

กรณี 2-2-1 ทำการทดสอบเช่นเดียวกับกรณี 2-1-1 แต่พิจารณาในช่วง 10 s

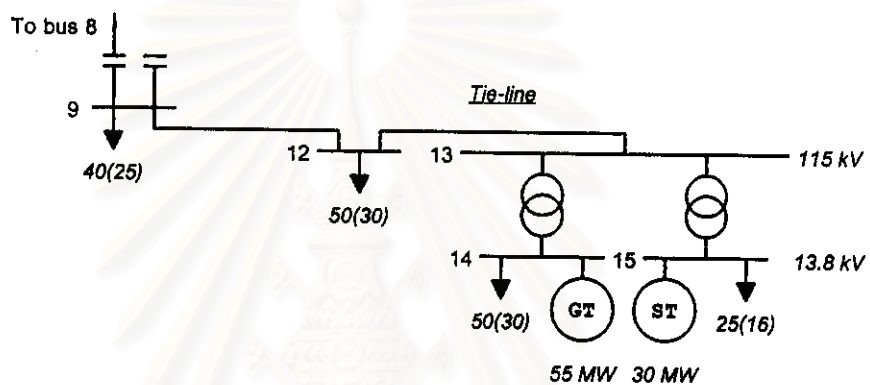
กรณี 2-2-2 ทำการทดสอบเช่นเดียวกับกรณี 2-1-2 แต่พิจารณาในช่วง 10 s

กรณี 2-2-3 ทำการทดสอบเช่นเดียวกับกรณี 2-1-3 แต่พิจารณาในช่วง 10 s

**กรณีศึกษาที่ 2-3 การทดสอบระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้แบบจำลองอย่างละเอียดใน
สถานะที่มีกำลังไฟฟ้าไหลออกจากระบบผลิตพลังงานร่วม**

(Case 2-3: Power Out from Cogeneration System)

ในกรณีทดสอบนี้มีการกำหนดภาระทางไฟฟ้าในระบบดังรูปที่ 7.17 จะเห็นได้ว่าในการกำหนดลักษณะนี้ภาระทางไฟฟ้าในระบบผลิตพลังงานร่วมจะน้อยกว่ากำลังผลิต ทำให้มีกำลังไฟฟ้าขนาด 10 MW ไหลผ่านสายส่งเชื่อมต่อ (Tie-line) ไปจ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้าส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้า เป็นลักษณะของการจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานร่วมนั่นเอง



รูปที่ 7.17 ระบบศึกษาสำหรับกรณีทดสอบที่ 2-3

การทดสอบระบบผลิตพลังงานร่วมในกรณีนี้จะทำการวิเคราะห์ในช่วงเวลา 10 s คือ หลังจากเกิดความผิดปกติขึ้นตามที่กำหนดแล้ว ให้มีการกำจัดความผิดปกติโดยการตัดสายส่ง 9-12 ออก พร้อมทั้งทำการกำหนดให้รีเลย์ความถี่ (Frequency Relays) ทำงานที่ระดับความถี่เปลี่ยนแปลง 1% ของระบบผลิตพลังงานร่วม สำหรับการสั่งการตัดสายส่งเชื่อมต่อ (Tie-line) ออก

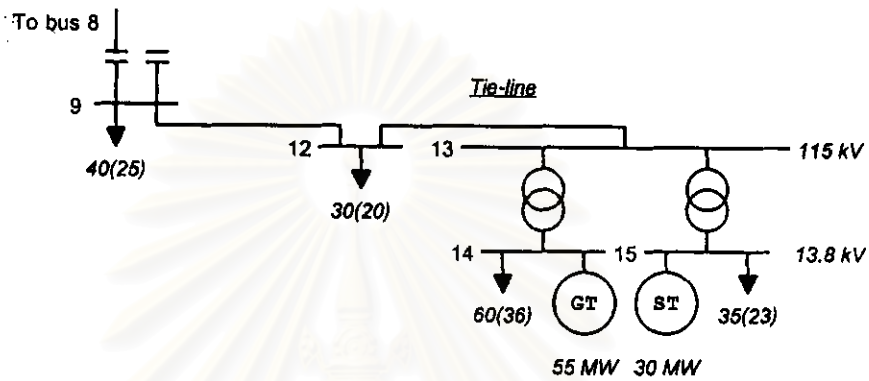
**กรณีศึกษาที่ 2-4 การทดสอบระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้แบบจำลองอย่างละเอียดใน
สถานะที่มีกำลังไฟฟ้าไหลเข้าระบบผลิตพลังงานร่วม**

(Case 2-4: Power Come to Cogeneration System)

ในกรณีทดสอบนี้มีการกำหนดภาระทางไฟฟ้าในระบบดังรูปที่ 7.18 ในการกำหนดลักษณะนี้ภาระทางไฟฟ้าในระบบผลิตพลังงานร่วมจะมีปริมาณมากกว่ากำลังผลิต ทำให้มีกำลังไฟฟ้าขนาด 10 MW ไหลจากระบบไฟฟ้าผ่านสายส่งเชื่อมต่อ (Tie-line) เข้าสู่ระบบผลิตพลังงาน

ร่วมเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าส่วนหนึ่งของระบบผลิตพลังงานร่วม เป็นลักษณะของการซื้อกำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้านั่นเอง

การทดสอบระบบผลิตพลังงานร่วมในกรณีนี้จะทำการวิเคราะห์ในช่วงเวลา 10 s ตามขั้นตอนเดียวกันกับกรณีที่ 2-3 ที่ได้กล่าวเอาไว้แล้ว

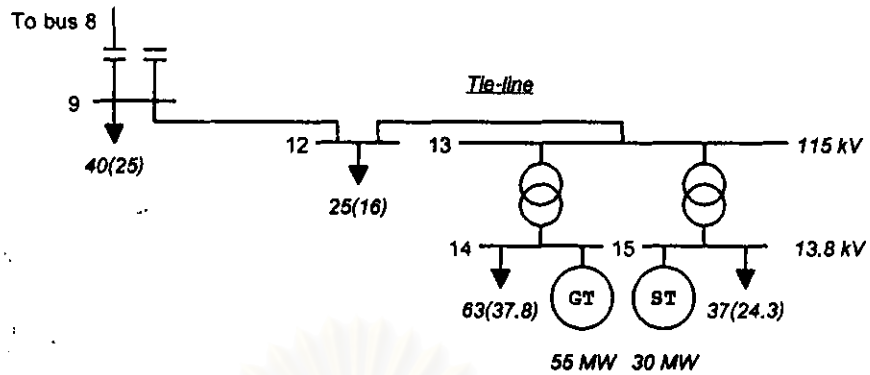


รูปที่ 7.18 ระบบศึกษาสำหรับกรณีทดสอบที่ 2-4

กรณีที่ 2-5 การทดสอบระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้แบบจำลองอย่างละเอียดในสถานะที่มีกำลังไฟฟ้าไหลเข้าระบบผลิตพลังงานร่วมเป็นปริมาณมาก ๆ (Case 2-5: Overload in Cogeneration System)

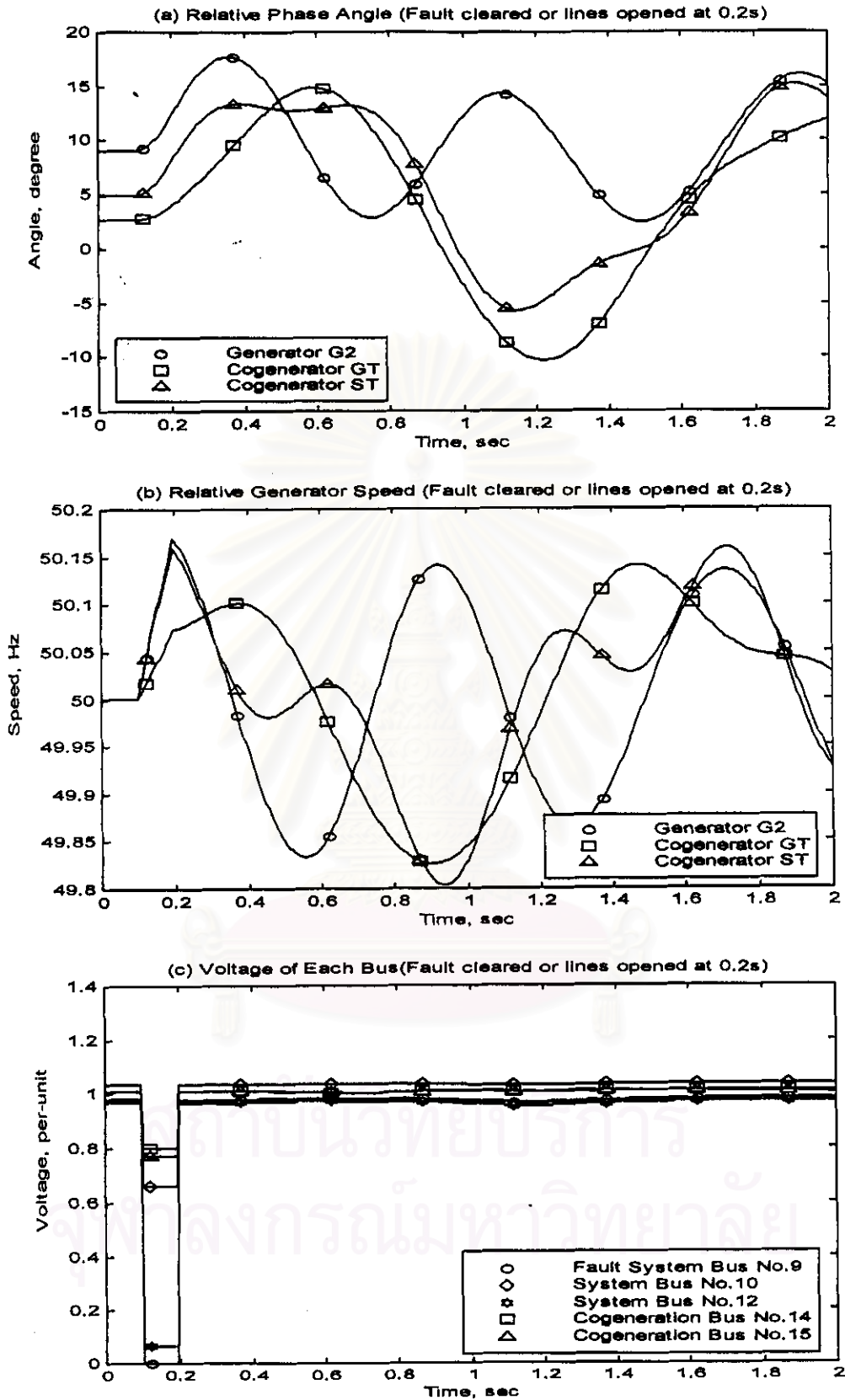
ในกรณีทดสอบนี้มีการกำหนดภาระทางไฟฟ้าในระบบดังรูปที่ 7.19 จะเห็นได้ว่าในการกำหนดลักษณะนี้ภาระทางไฟฟ้าในระบบผลิตพลังงานร่วมจะมีปริมาณมากกว่ากำลังผลิตมาก ทำให้มีกำลังไฟฟ้าขนาดถึง 15 MW ไหลจากระบบไฟฟ้าผ่านสายส่งเชื่อมต่อ (Tie-line) เข้าสู่ระบบผลิตพลังงานร่วม ลักษณะเช่นนี้ปริมาณภาระทางไฟฟ้ามีผลต่อการรักษาเสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมในกรณีที่จะทดสอบนี้เป็นอย่างมาก

การทดสอบระบบผลิตพลังงานร่วมในกรณีนี้จะทำการวิเคราะห์ในช่วงเวลา 10 s ตามขั้นตอนเดียวกันกับกรณีที่ 2-3 ที่ได้กล่าวเอาไว้แล้ว



รูปที่ 7.19 ระบบศึกษาสำหรับกรณีทดสอบที่ 2-5

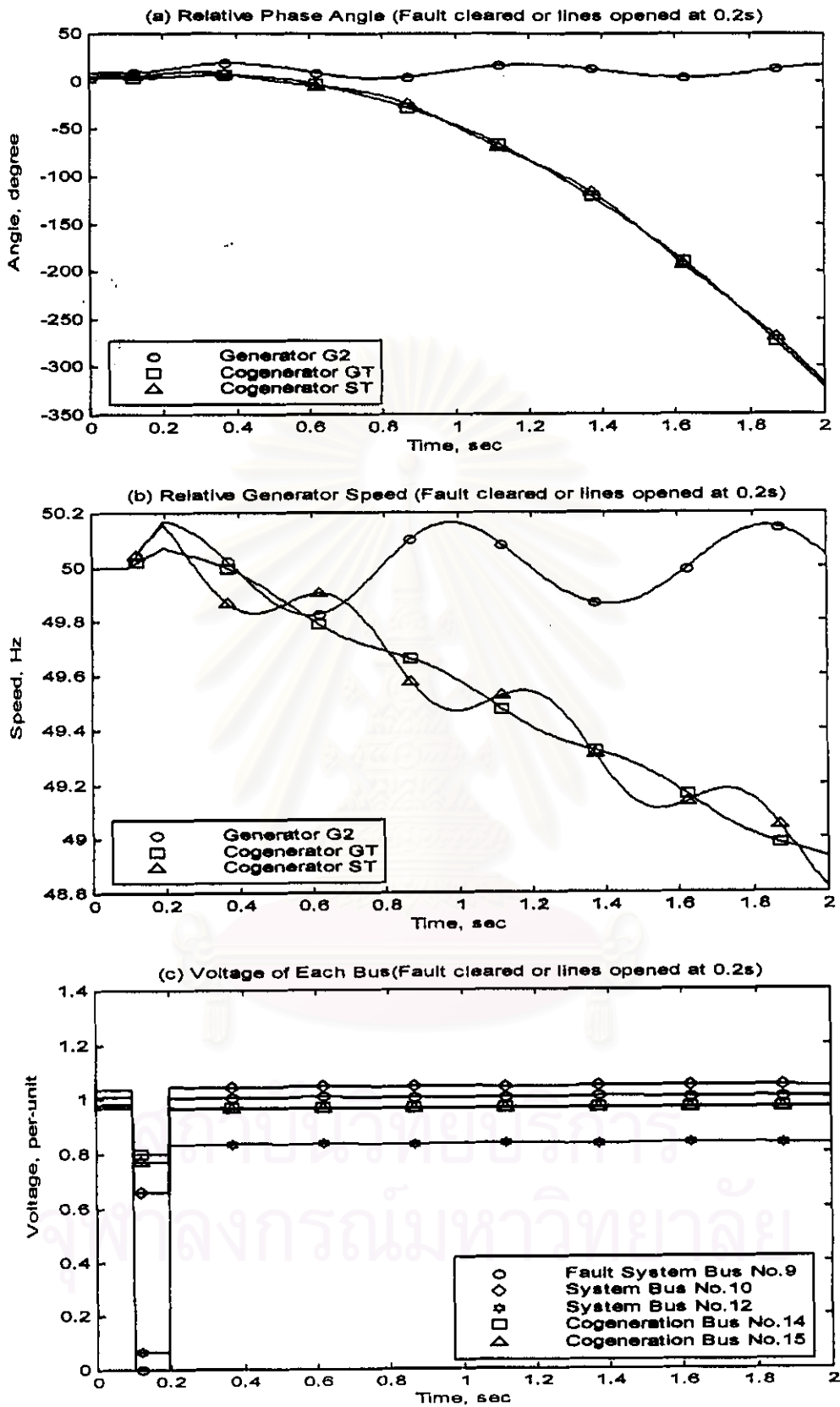
ผลการตอบสนองของระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม และเวลาการทำงานของรีเลย์ความถี่ ต่อกรณีทดสอบทั้งหมด สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.20 ถึง 7.28 ตามลำดับ



รูปที่ 7.20 ผลตอบสนองของกรณีนี้ที่ 2-1-1 เกิดความผิดพลาดแต่ไม่ทำให้เกิด Islanding ขึ้น

(a) มุม (δ), (b) ความเร็ว (ω) และ (c) แรงดันบัส (V)

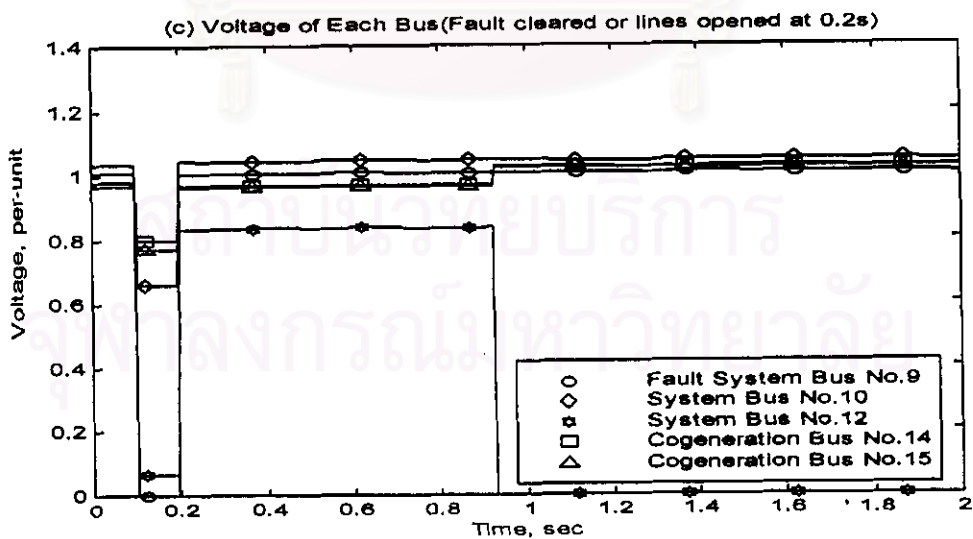
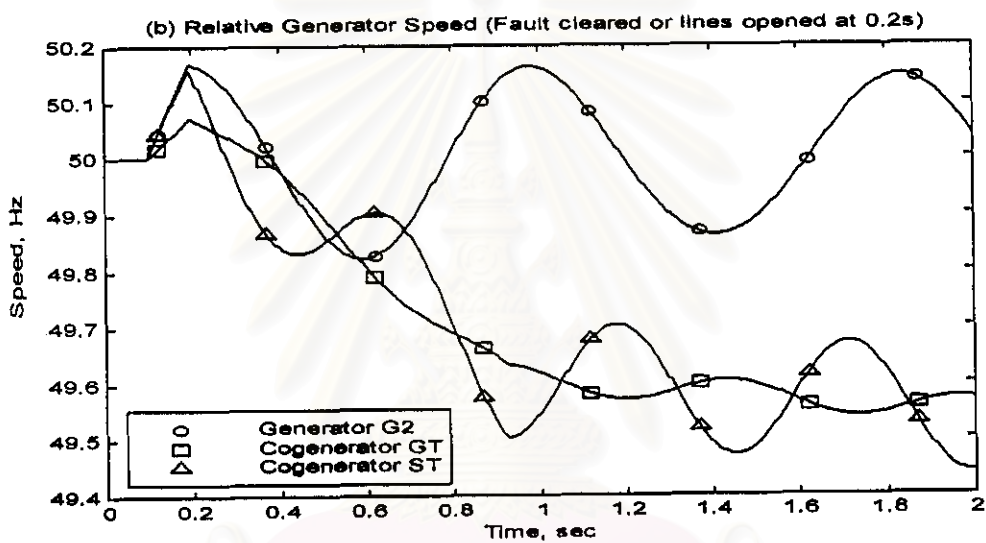
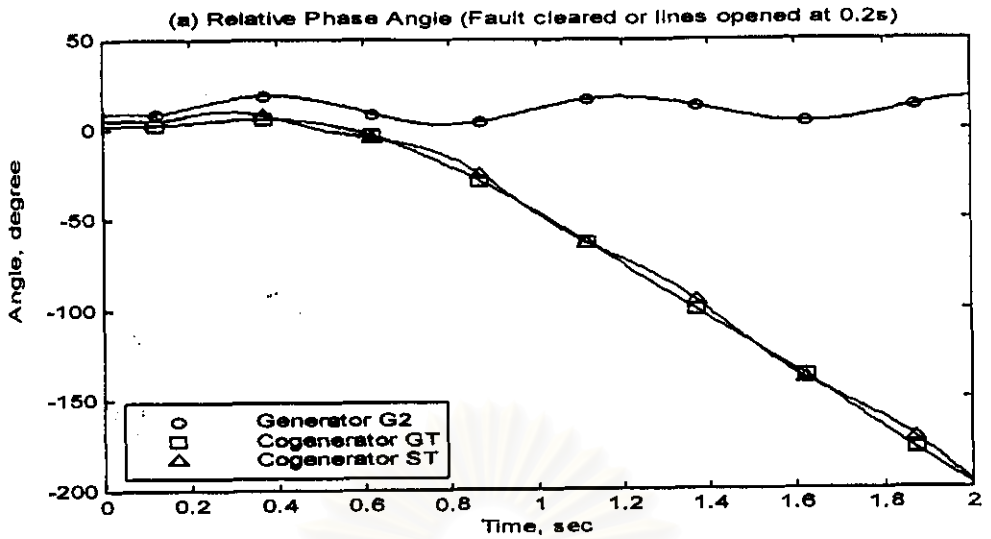
(Tie-line hasn't been tripped in Case 2-1-1)



รูปที่ 7.21 ผลตอบสนองกรณีที่เกิด Islanding ขึ้นแต่ไม่ให้เกิดความเสียหาย

(a) มุม (δ), (b) ความเร็ว (ω) และ (c) แรงดันบัส (V)

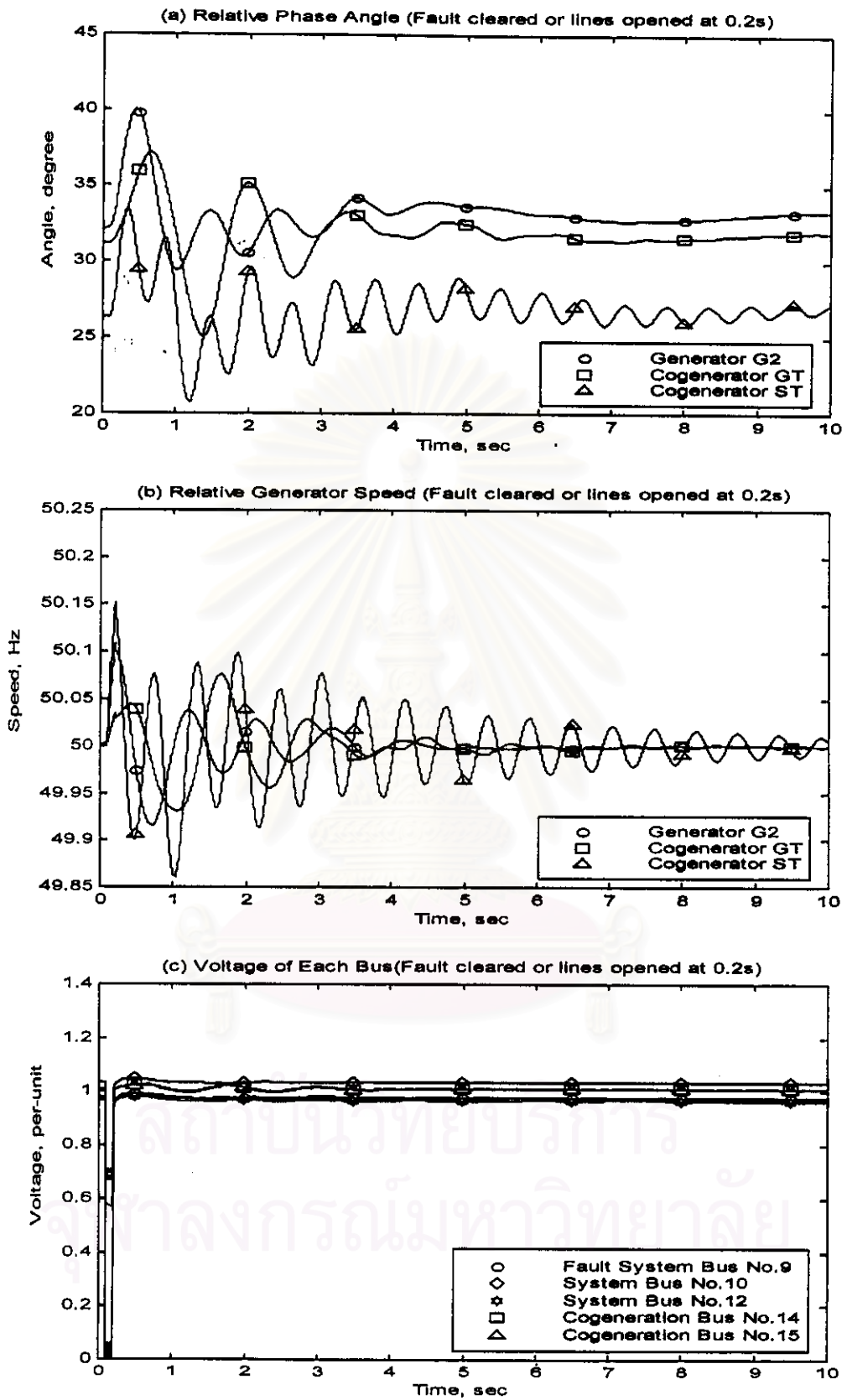
(Tie-line hasn't been tripped in Case 2-1-2)



รูปที่ 7.22 ผลตอบสนองกรณีที่เกิด Islanding และให้รายละเอียดการทำงาน

(a) มุม (δ), (b) ความเร็ว (ω) และ (c) แรงดันบัส (V)

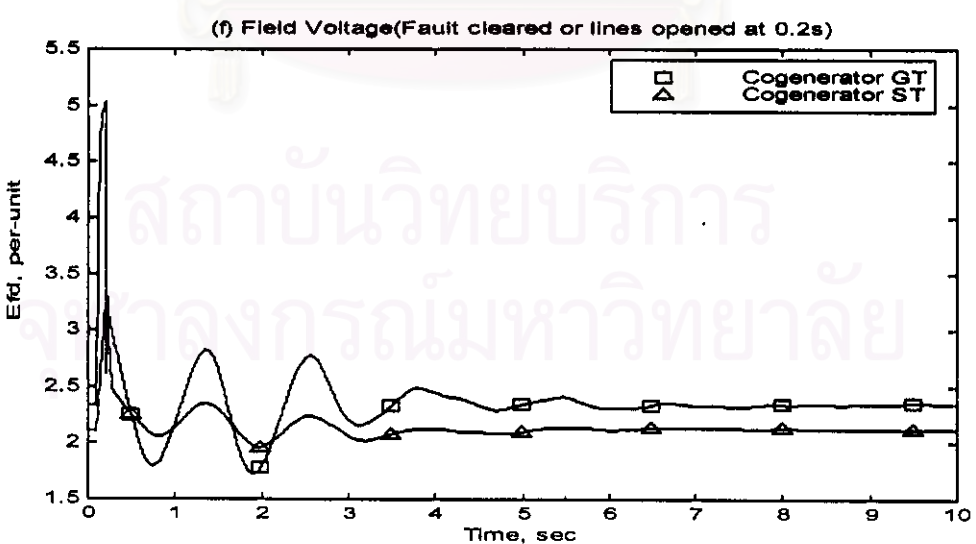
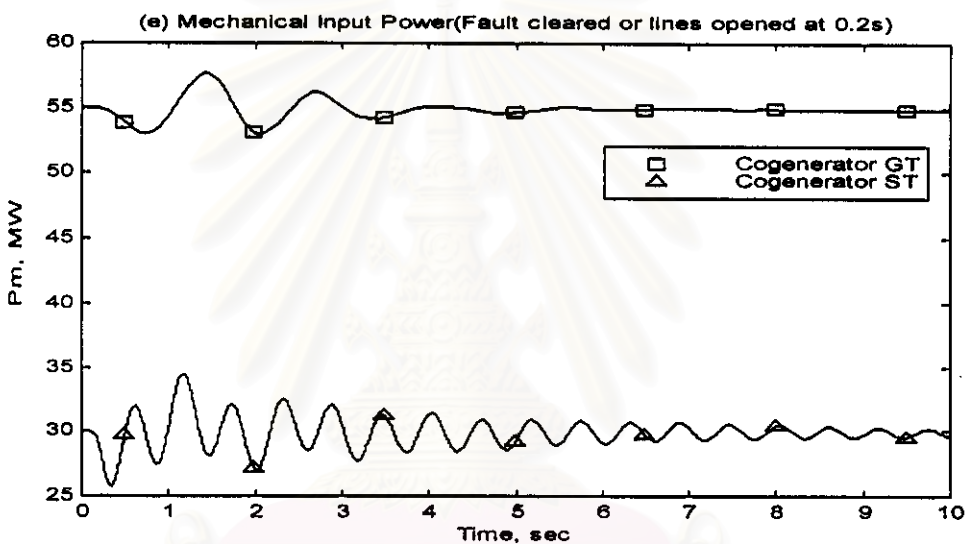
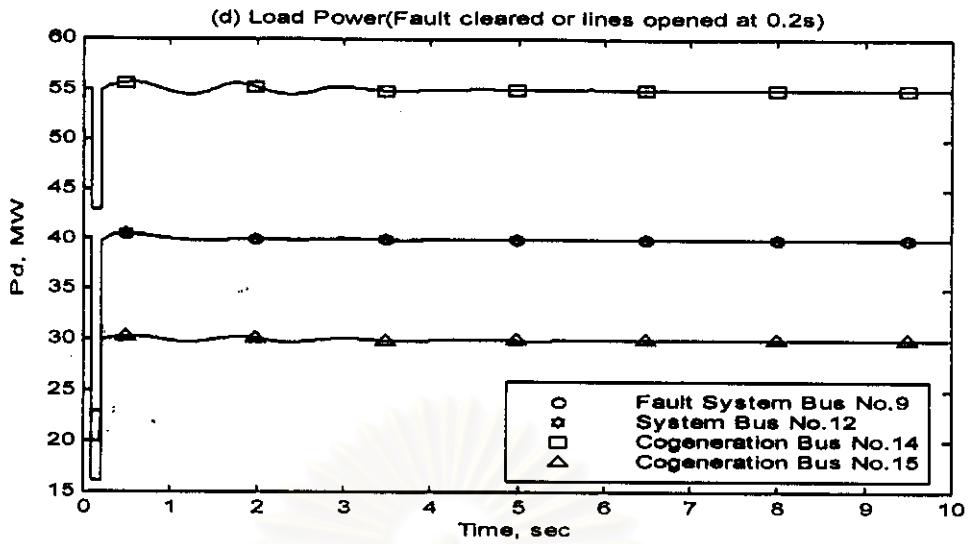
(Tie-line has been tripped at 932.78 msec in Case 2-1-3)



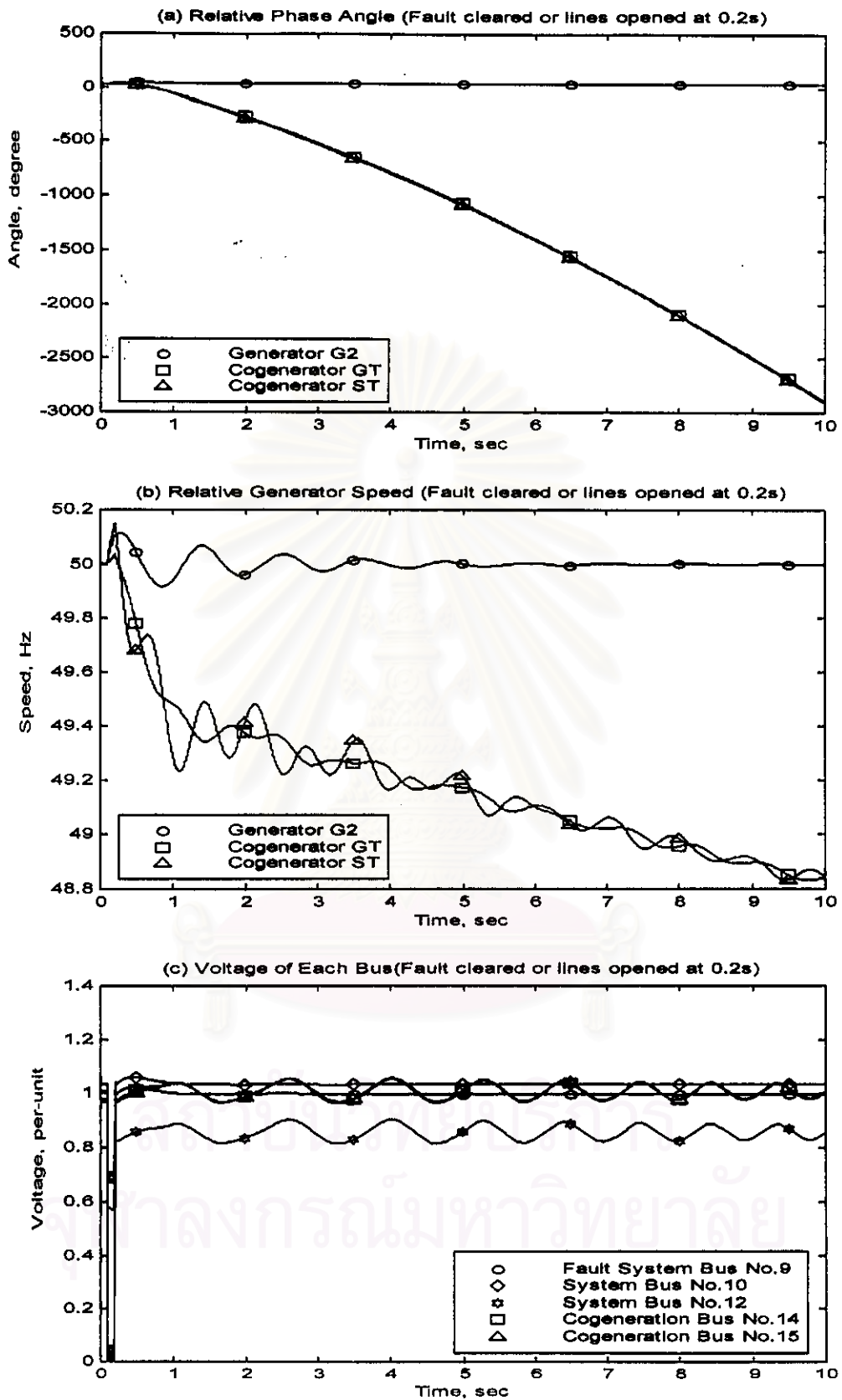
รูปที่ 7.23 ผลตอบสนองของกรณี 2-2-1 เกิดความผิดพลาดแต่ไม่ทำให้เกิด Islanding ขึ้น

(a) มุม (δ), (b) ความเร็ว (ω) และ (c) แรงดันบัส (V)

(Tie-line hasn't been tripped in Case 2-2-1)



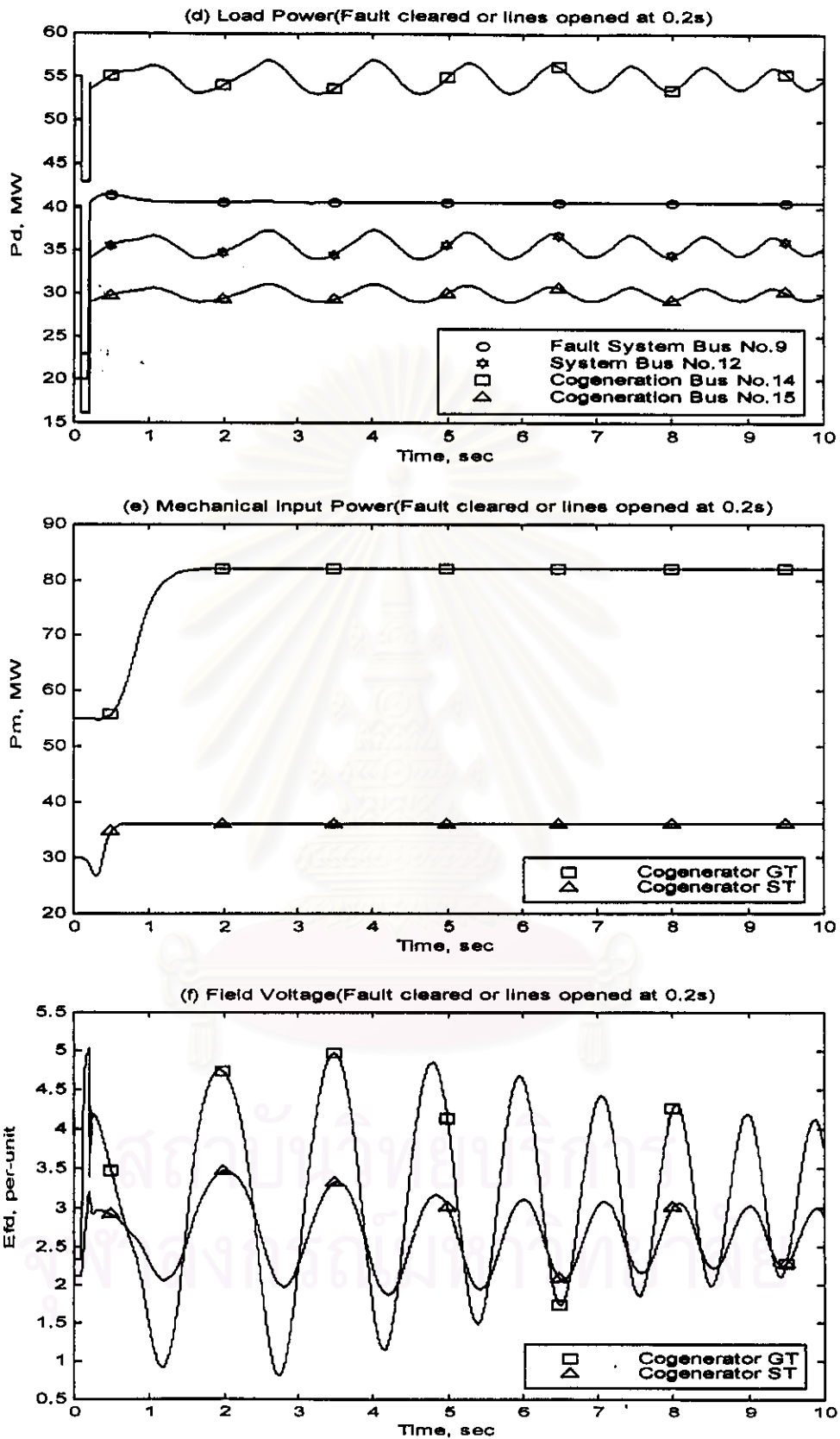
รูปที่ 7.23 ผลตอบสนองกรณีที่เกิดความผิดปกติแต่ไม่ทำให้เกิด Islanding ขึ้น (ต่อ)
 (d) ภาระทางไฟฟ้า (P_d), (e) กำลังทางกล (P_m) และ (f) แรงดันกระตุ้นสนาม (E_{FD})
 (Tie-line hasn't been tripped in Case 2-2-1)



รูปที่ 7.24 ผลตอบสนองกรณีที่เกิด Islanding ขึ้นแต่ไม่ให้รีเลย์ความถี่ทำงาน

(a) มุม (δ), (b) ความเร็ว (ω) และ (c) แรงดันบัส (V)

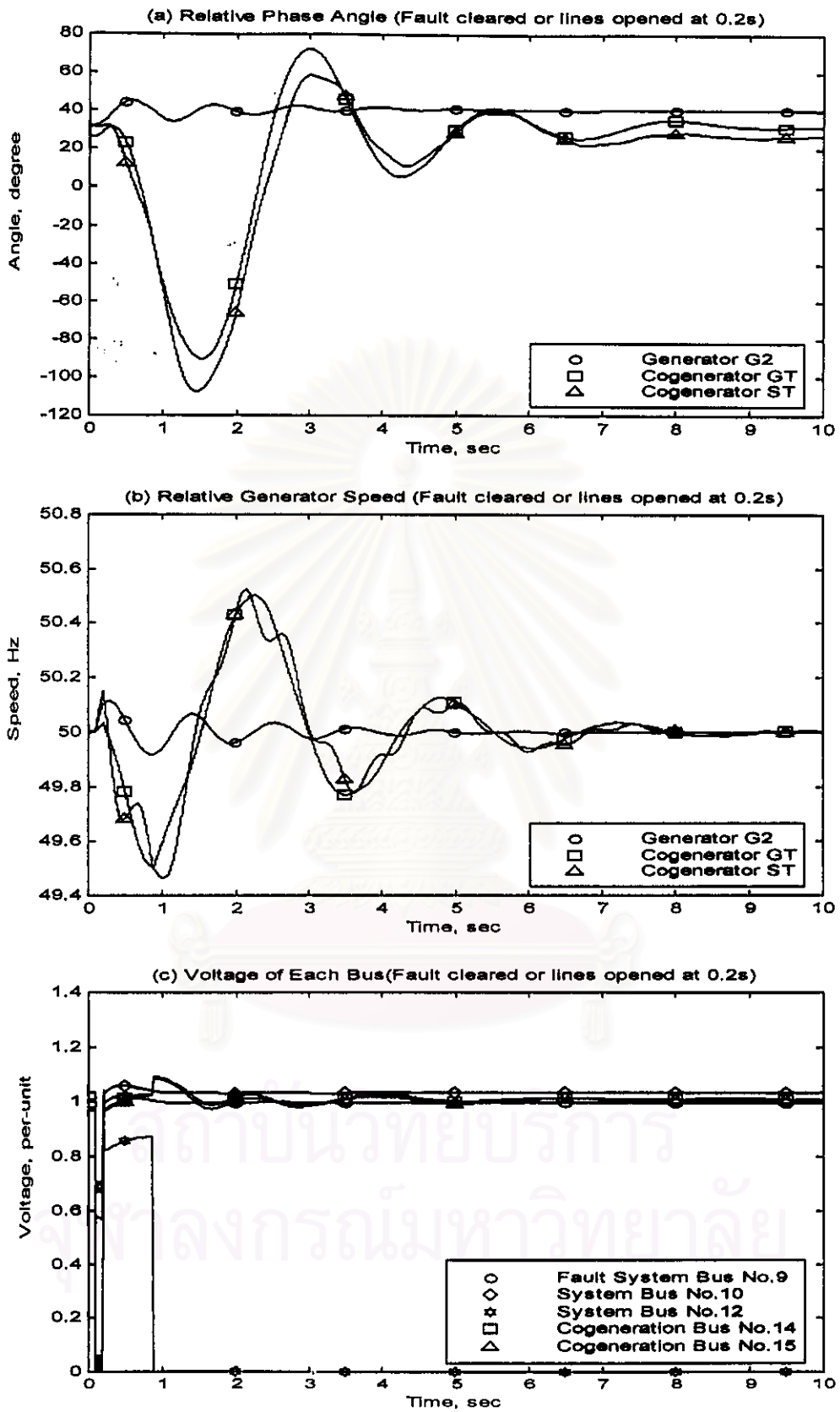
(Tie-line hasn't been tripped in Case 2-2-2)



รูปที่ 7.24 ผลตอบสนองกรณีนี้ที่ 2-2-2 เกิด Islanding ขึ้นแต่ไม่ทำให้รีเลย์ความถี่ทำงาน (ต่อ)

(d) ภาระทางไฟฟ้า (P_d), (e) กำลังทางกล (P_m) และ (f) แรงดันกระตุ้นสนาม (E_{FD})

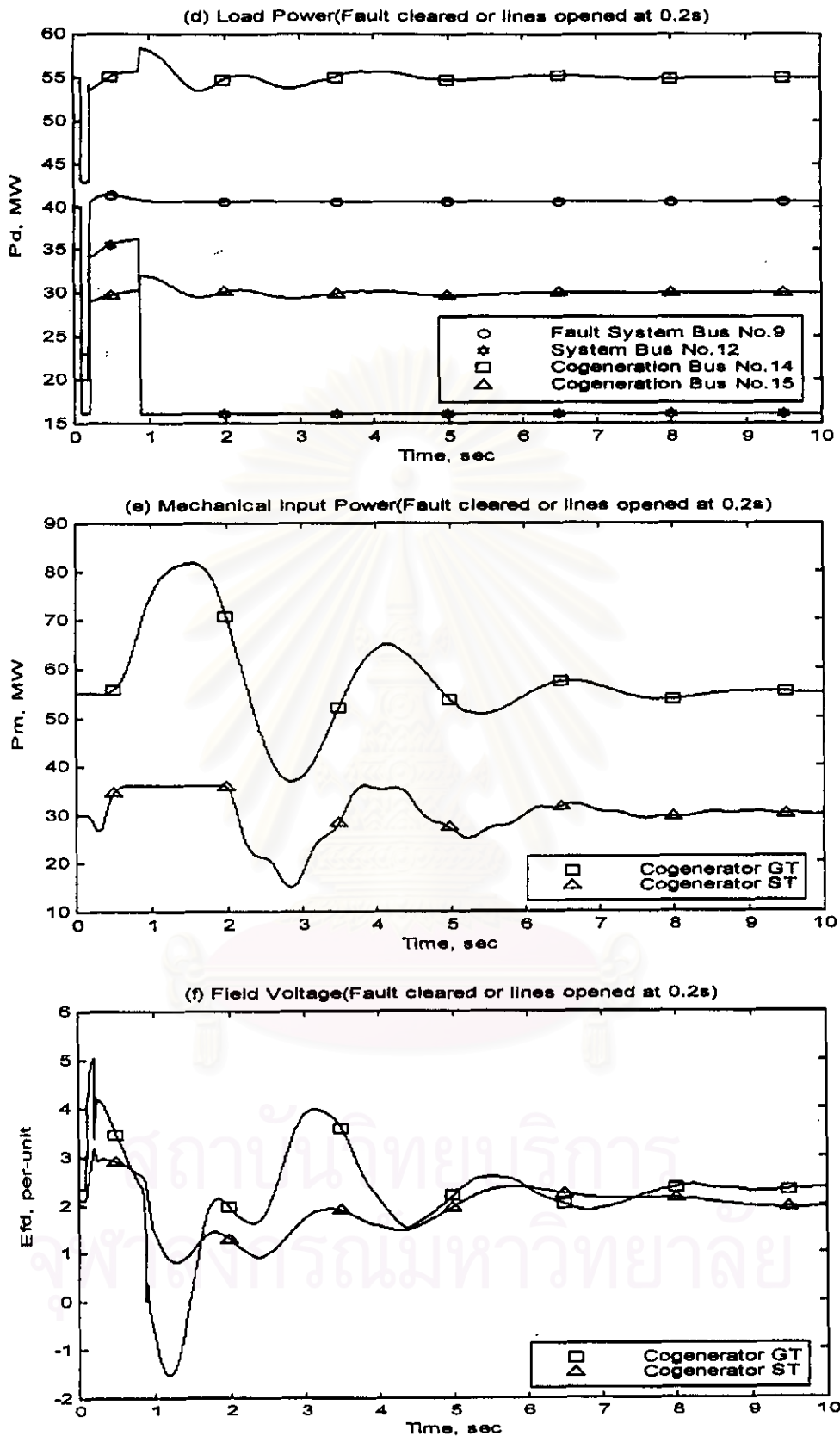
(Tie-line hasn't been tripped in Case 2-2-2)



รูปที่ 7.25 ผลตอบสนองของกรณีที่เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่มีการทำงาน

(a) มุม (δ), (b) ความเร็ว (ω) และ (c) แรงดันบัส (V)

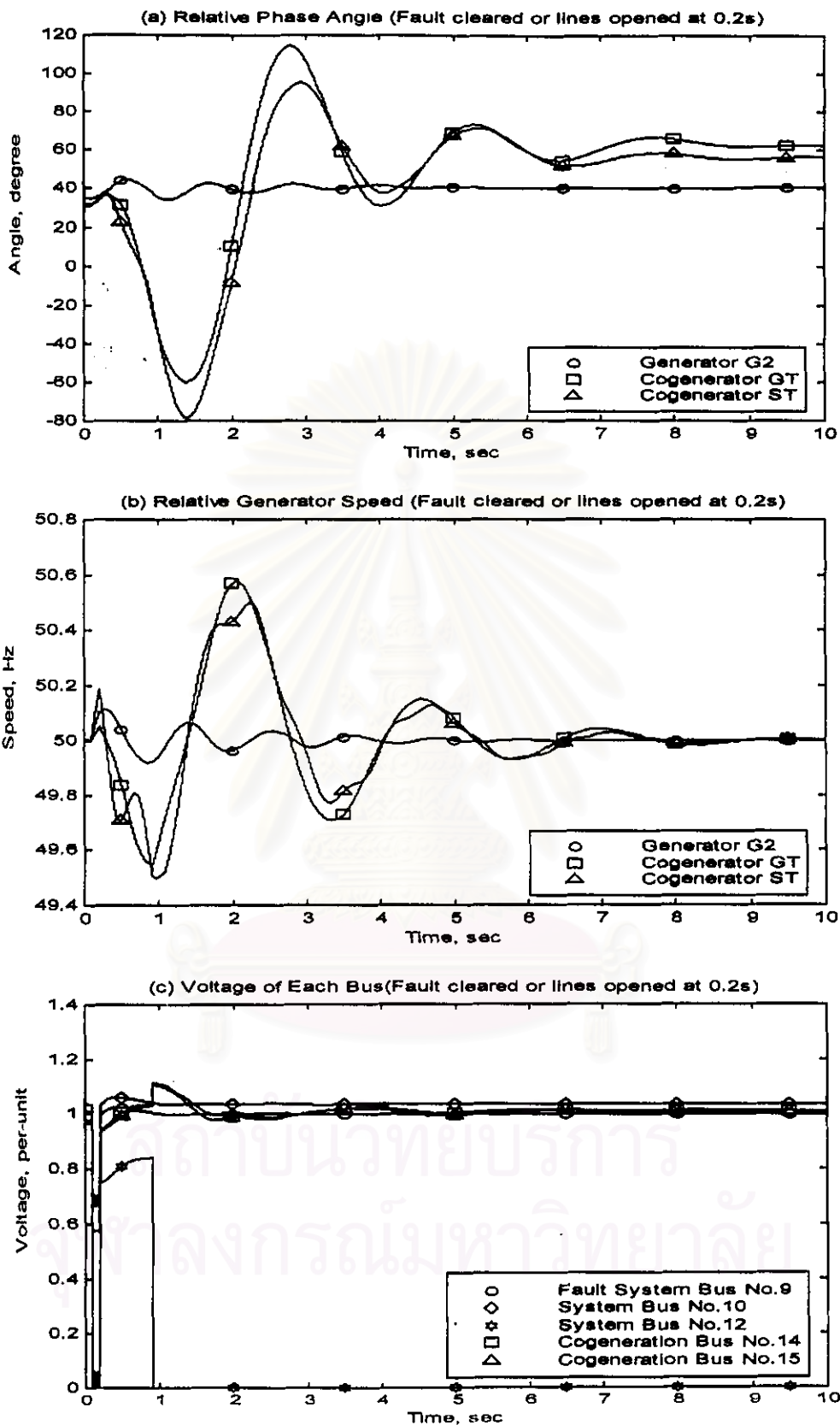
(Tie-line has been tripped at 872.74 msec in Case 2-2-3)



รูปที่ 7.25 ผลตอบสนองกรณีที่เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่มีการทำงาน (ต่อ)

(d) ภาระทางไฟฟ้า (P_d), (e) กำลังทางกล (P_m) และ (f) แรงดันกระตุ้นสนาม (E_{FD})

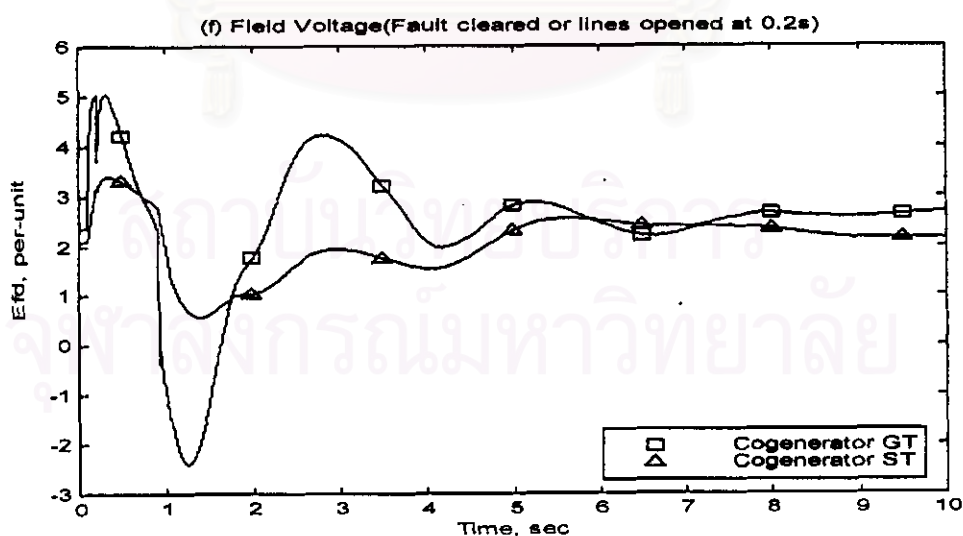
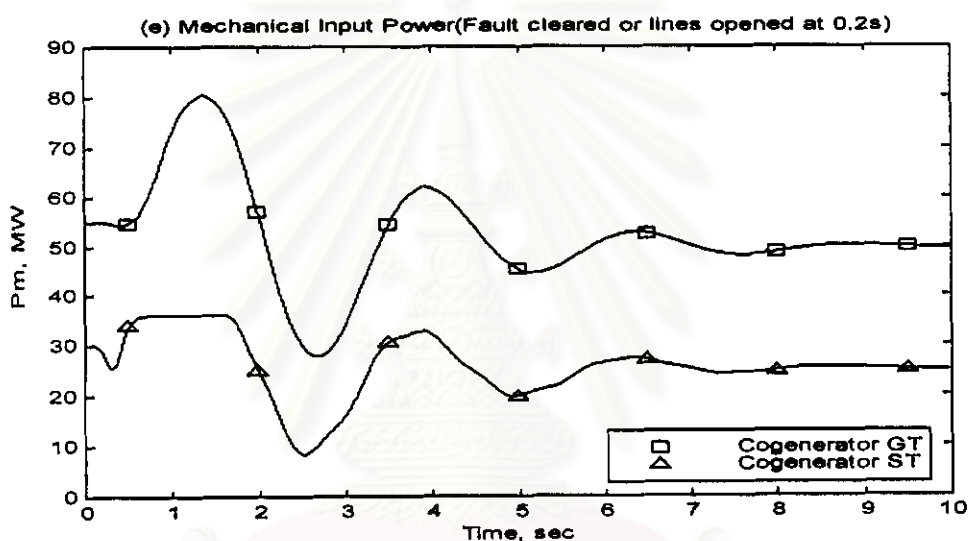
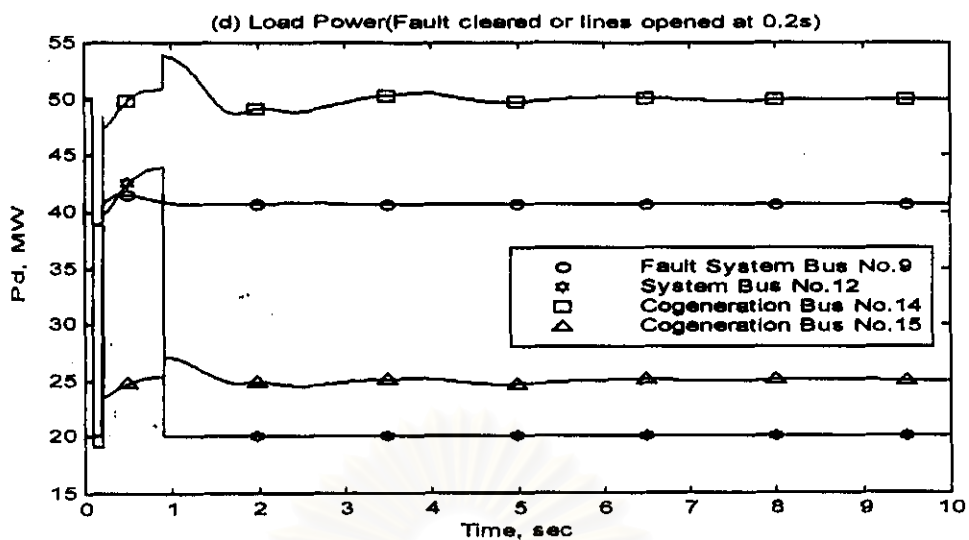
(Tie-line has been tripped at 872.74 msec in Case 2-2-3)



รูปที่ 7.26 ผลตอบสนองกรณีที่เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่มีการทำงาน

(a) มุม (δ), (b) ความเร็ว (ω) และ (c) แรงดันบัส (V)

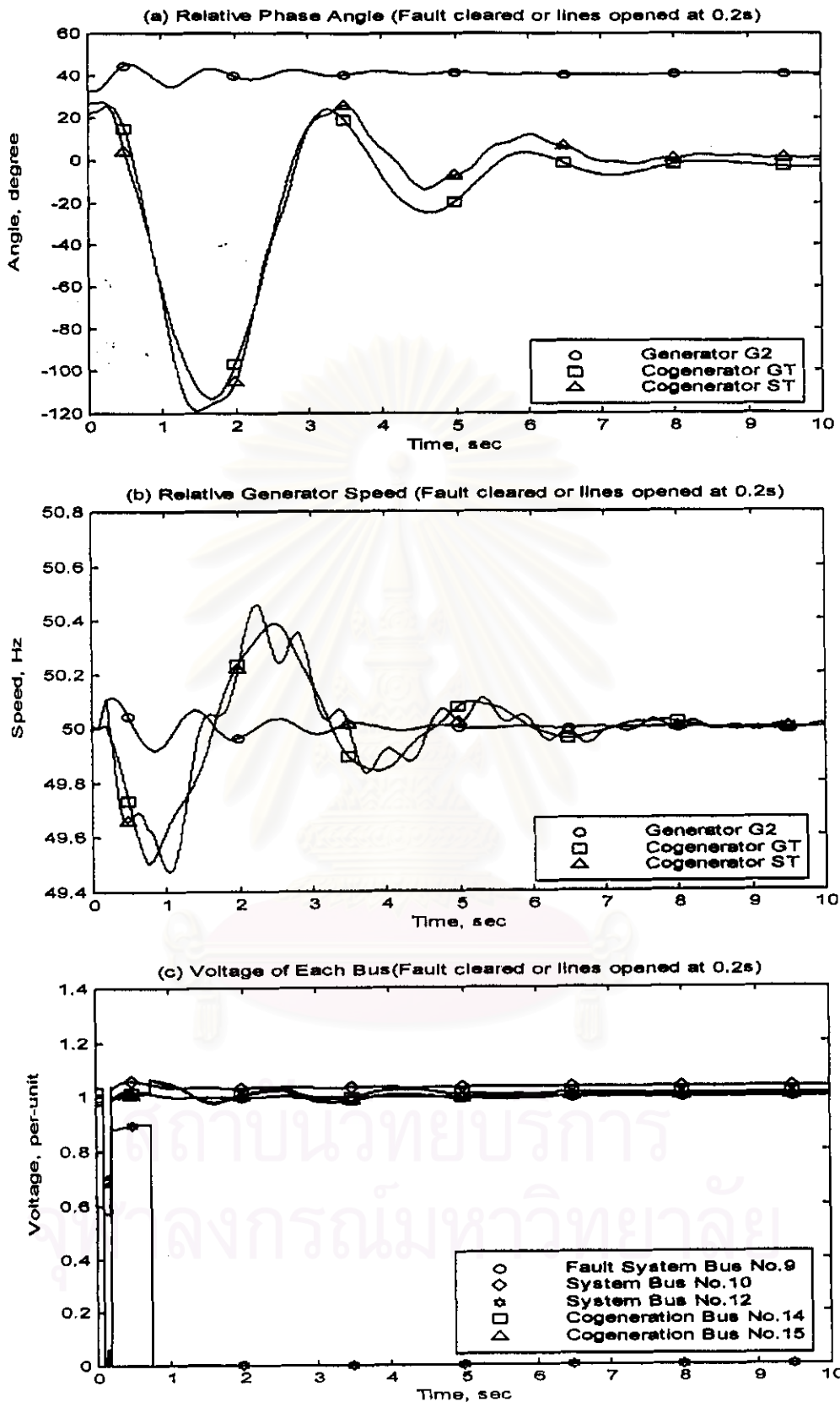
(Tie-line has been tripped at 912.40 msec in Case 2-3)



รูปที่ 7.26 ผลตอบสนองของกรณี 2-3 เกิด Islanding และให้รู้เลยความถี่มีการทำงาน (ต่อ)

(d) ภาระทางไฟฟ้า (P_d), (e) กำลังทางกล (P_m) และ (f) แรงดันกระตุ้นสนาม (E_{FD})

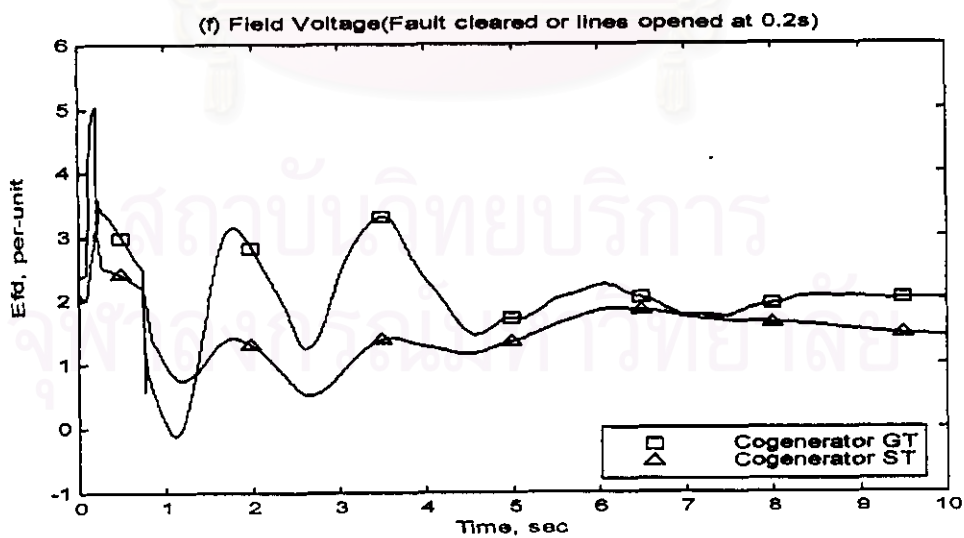
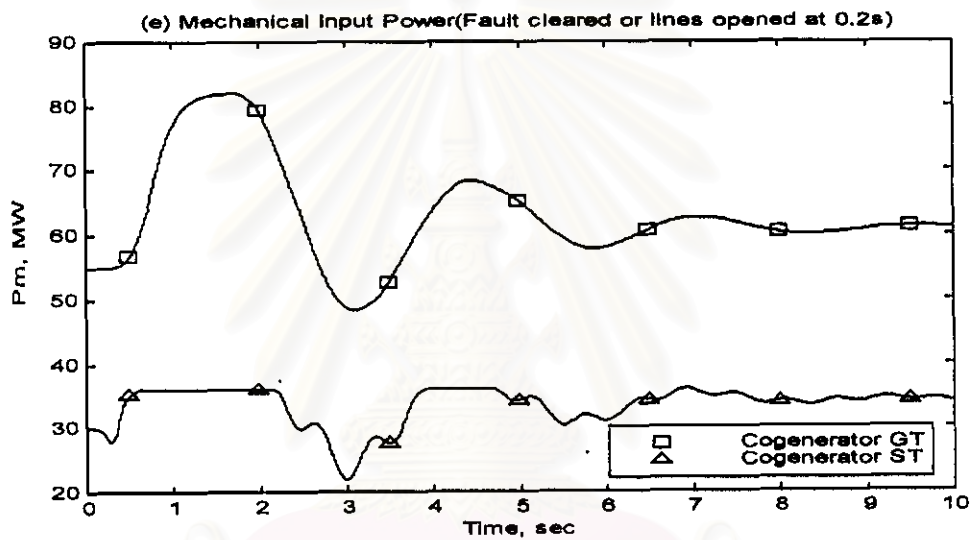
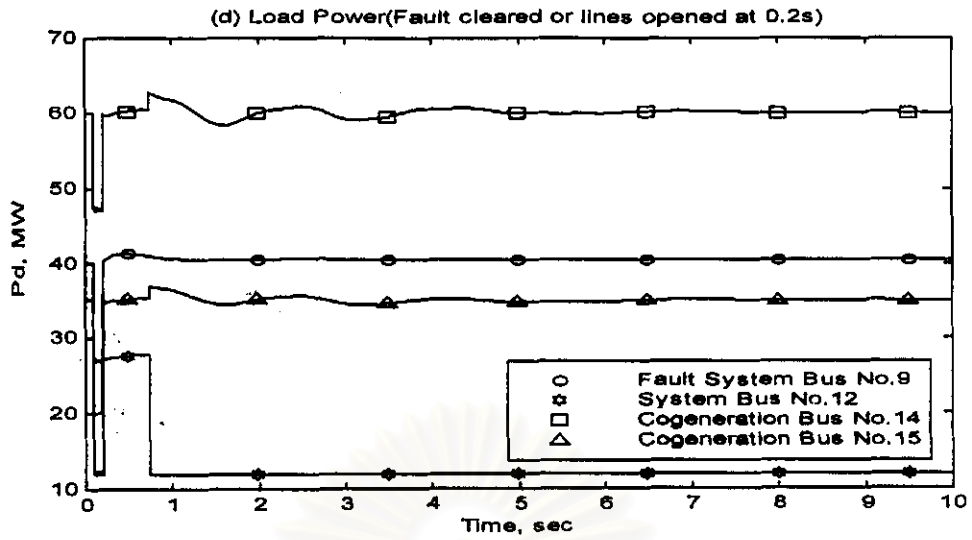
(Tie-line has been tripped at 912.40 msec in Case 2-3)



รูปที่ 7.27 ผลตอบสนองกรณีที่ 2-4 เกิด Islanding และให้รายละเอียดที่มีการทำงาน

(a) มุม (δ), (b) ความเร็ว (ω) และ (c) แรงดันบัส (V)

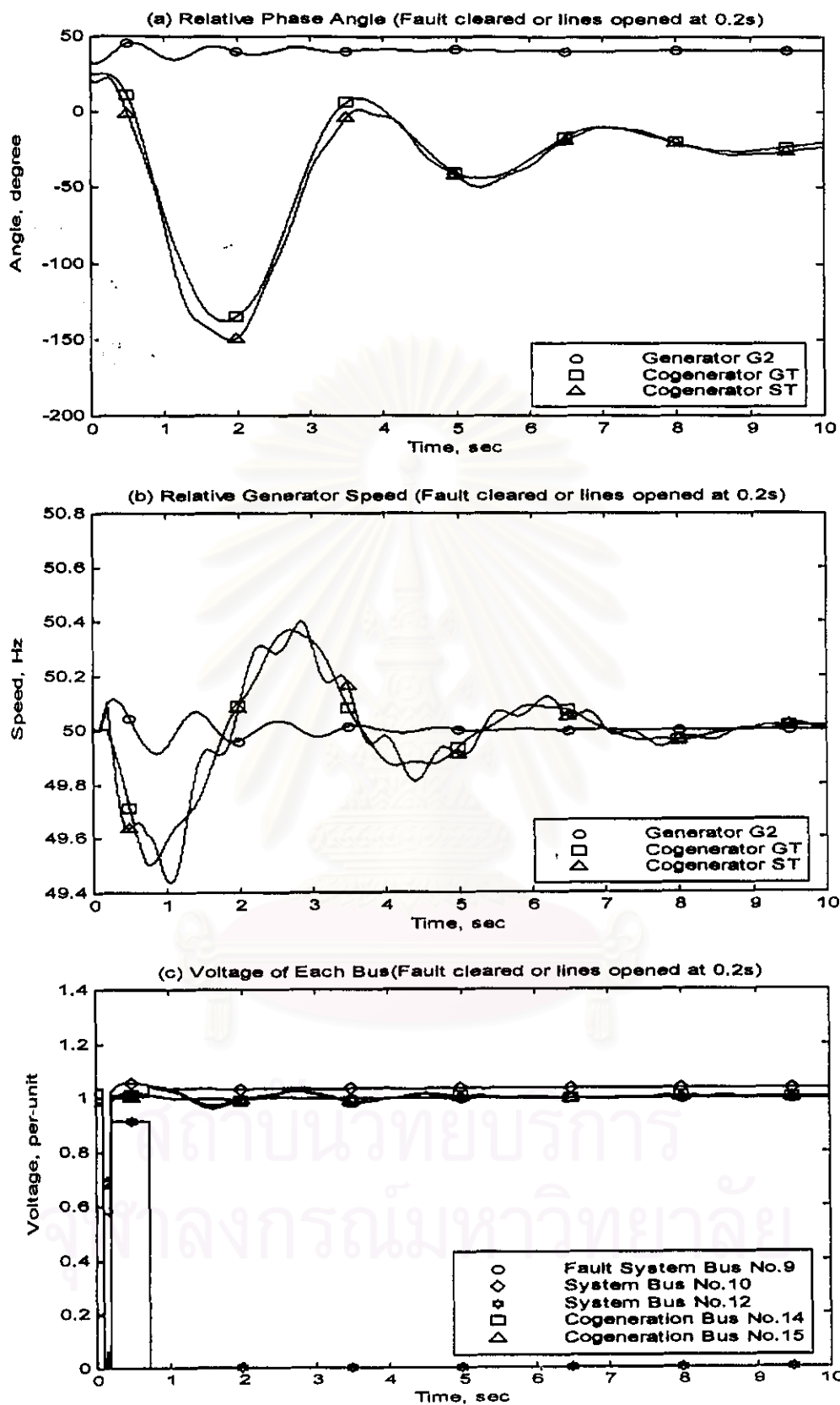
(Tie-line has been tripped at 754.87 msec in Case 2-4)



รูปที่ 7.27 ผลตอบสนองกรณีที่เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่มีการทำงาน (ต่อ)

(d) ภาระทางไฟฟ้า (P_d), (e) กำลังทางกล (P_m) และ (f) แรงดันกระตุ้นสนาม (E_{FD})

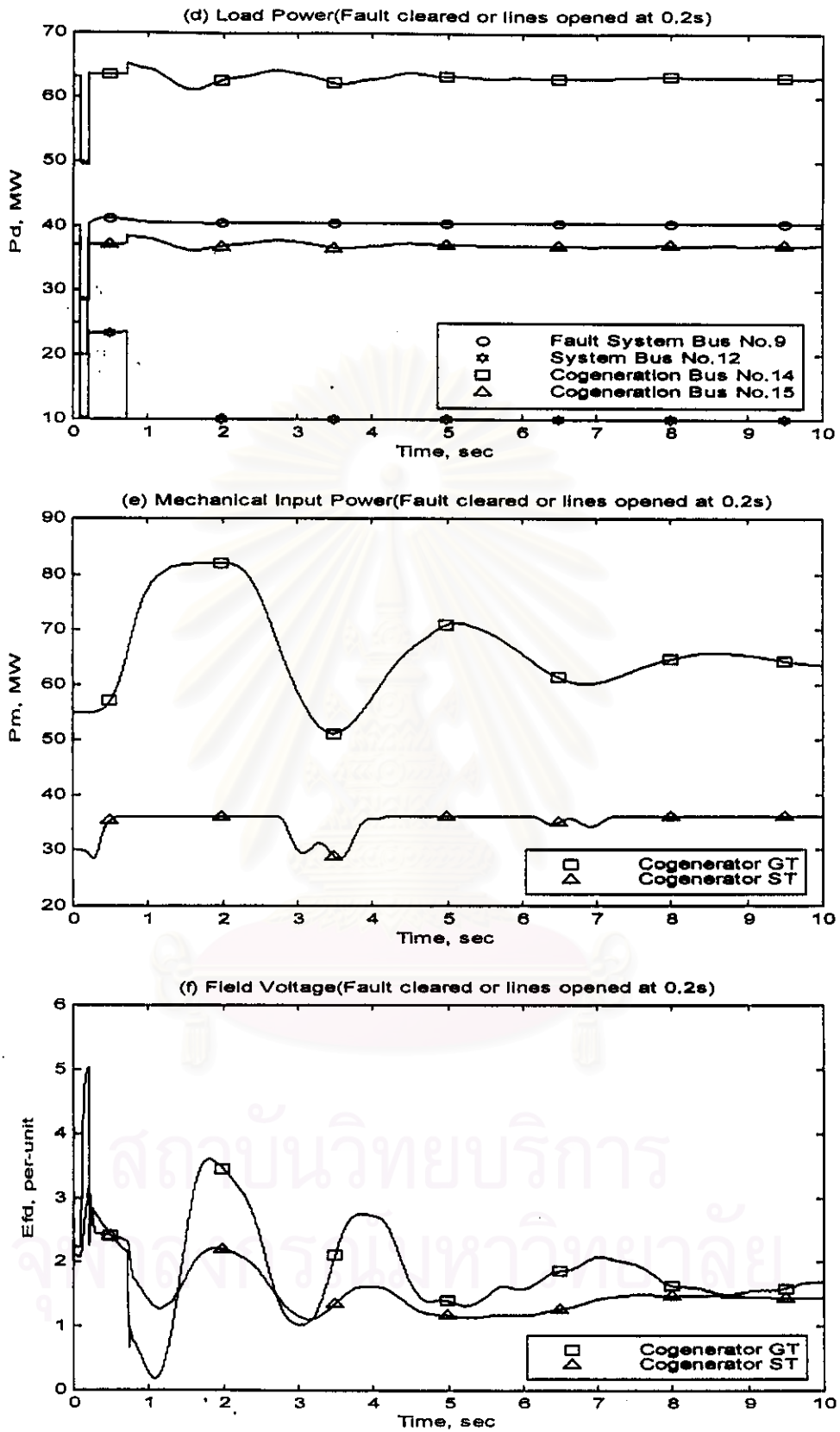
(Tie-line has been tripped at 754.87-msec in Case 2-4)



รูปที่ 7.28 ผลตอบสนองของกรณีที่ 2-5 เกิด Islanding และให้รายละเอียดการทำงาน

(a) มุม (δ), (b) ความเร็ว (ω) และ (c) แรงดันบัส (V)

(Tie-line has been tripped at 728.58 msec in Case 2-5)



รูปที่ 7.28 ผลตอบสนองกรณีที่เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่มีการทำงาน (ต่อ)

(d) ภาระทางไฟฟ้า (P_d), (e) กำลังทางกล (P_m) และ (f) แรงดันกระตุ้นสนาม (E_{FD})

(Tie-line has been tripped at 728.58 msec in Case 2-5)

7.3 ตารางสรุปผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วม

จากผลการวิเคราะห์เสถียรภาพระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า (Stability of Cogeneration System against Islanding) ที่ได้แสดงในลักษณะของผลตอบสนองในสภาวะชั่วคราว (Transient Response) ดังในส่วนที่ผ่านมา สามารถที่จะนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาสรุปในลักษณะของตาราง โดยแบ่งออกเป็นผลการวิเคราะห์สำหรับระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทกังหันไอน้ำ (Steam Turbine Cogeneration System) และระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle Cogeneration System) ดังแสดงในตารางที่ 7.1 และ 7.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 7.1

ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทกังหันไอน้ำ

| กรณี | การทดสอบระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทกังหันไอน้ำ | เวลาทำงานของรีเลย์ความถี่ | เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วม |
|-------|---|---------------------------|---------------------------------|
| 1-1 | แบบจำลองอย่างง่าย (Classical Model Test) | | |
| 1-1-1 | กรณีที่ไม่เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่ทำงานได้ | Non-trip | Stable |
| 1-1-2 | กรณีที่เกิด Islanding แต่ไม่ให้รีเลย์ความถี่ทำงาน | - | Non-stable |
| 1-1-3 | กรณีที่เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่ทำงานได้ | 756.93 msec | Non-stable |
| 1-2 | กำลังไฟฟ้าสมดุลในระบบผลิตพลังงานร่วม (Power Balance In Cogeneration System) | | |
| 1-2-1 | กรณีที่ไม่เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่ทำงานได้ | Non-trip | Stable |
| 1-2-2 | กรณีที่เกิด Islanding แต่ไม่ให้รีเลย์ความถี่ทำงาน | - | Non-stable |
| 1-2-3 | กรณีที่เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่ทำงานได้ | 588.71 msec | Stable |
| 1-3 | กำลังไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบผลิตพลังงานร่วม 10 MW (Power Out From Cogeneration System 10 MW) กรณีที่เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่ทำงานได้ | 692.99 msec | Stable |
| 1-4 | กำลังไฟฟ้าไหลเข้าสู่ระบบผลิตพลังงานร่วม 10 MW (Power Come To Cogeneration System 10 MW) กรณีที่เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่ทำงานได้ | 511.47 msec | Stable |
| 1-5 | ภาระทางไฟฟ้าสูงมากในระบบผลิตพลังงานร่วม 15 MW (Overload In Cogeneration System 15 MW) กรณีที่เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่ทำงานได้ | 478.26 msec | Non-stable |

ตารางที่ 7.2
ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วม
ประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม

| กรณี | การทดสอบระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม | เวลาทำงานของรีเลย์ความถี่ | เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วม |
|-------|---|---------------------------|---------------------------------|
| 2-1 | แบบจำลองอย่างง่าย (Classical Model Test) | | |
| 2-1-1 | กรณีที่ไม่เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่ทำงานได้ | Non-trip | Stable |
| 2-1-2 | กรณีที่เกิด Islanding แต่ไม่ให้รีเลย์ความถี่ทำงาน | - | Non-stable |
| 2-1-3 | กรณีที่เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่ทำงานได้ | 932.78 msec | Non-stable |
| 2-2 | กำลังไฟฟ้าสมดุลในระบบผลิตพลังงานร่วม (Power Balance In Cogeneration System) | | |
| 2-2-1 | กรณีที่ไม่เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่ทำงานได้ | Non-trip | Stable |
| 2-2-2 | กรณีที่เกิด Islanding แต่ไม่ให้รีเลย์ความถี่ทำงาน | - | Non-stable |
| 2-2-3 | กรณีที่เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่ทำงานได้ | 872.74 msec | Stable |
| 2-3 | กำลังไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบผลิตพลังงานร่วม 10 MW (Power Out From Cogeneration System 10 MW) กรณีที่เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่ทำงานได้ | 912.40 msec | Stable |
| 2-4 | กำลังไฟฟ้าไหลเข้าสู่ระบบผลิตพลังงานร่วม 10 MW (Power Come To Cogeneration System 10 MW) กรณีที่เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่ทำงานได้ | 754.87 msec | Stable |
| 2-5 | ภาระทางไฟฟ้าสูงมากในระบบผลิตพลังงานร่วม 15 MW (Overload In Cogeneration System 15 MW) กรณีที่เกิด Islanding และให้รีเลย์ความถี่ทำงานได้ | 728.58 msec | Stable |

หมายเหตุ

Non-trip หมายถึง ไม่มีการทำงานของรีเลย์ความถี่

Stable หมายถึง มีเสถียรภาพ

Non-Stable หมายถึง ขาดเสถียรภาพ