บทที่ 5

พฤติกรรมที่ภาวะชั่วครู่ของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ โดยใช้ SVC รักษาระดับแรงดัน

ในบทนี้จะได้แสดงถึงพฤติกรรมของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ เมื่อมีเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิดเกิดขึ้นในระบบ ได้แก่ เกิดลัดวงจรแบบสามเฟสลงกราวด์บนสายส่ง 1 เส้นในระบบ และการหลุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางยูนิตออกจากระบบ โดยจะเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มี SVC มีตัวควบคุมแบบรักษาระดับแรงดันเพียงอย่างเดียวกับกรณีที่ระบบไม่มี SVC ติดตั้งอยู่ในระบบ

5.1 ที่มาของการพิจารณาเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระบบ

การเลือกเหตุการณ์ในการจำลองพฤติกรรมของระบบส่งกำลังไฟฟ้าที่เชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้มีด้วยกัน 2 กรณีหลักดังนี้คือ

กรณีศึกษาที่ 1 การลัดวงจรแบบสามเฟสลงกราวด์บนสายส่ง 1 เส้น

กรณีศึกษาที่ 1.1 การลัดวงจรบนสายส่งระบบ 115 kV เชื่อมโยงระหว่างบัสไฟฟ้าสุราษฎร์ธานีกับหลังสวน ที่ตำแหน่งใกล้กับบัสไฟฟ้าสุราษฎร์ธานี

กรณีศึกษาที่ 1.2 การลัดวงจรบนสายส่งระบบ 115 kV เชื่อมโยงระหว่างบัสไฟฟ้าชุมพร กับหลังสวน ที่ตำแหน่งใกล้กับบัสไฟฟ้าชุมพร

กรณีศึกษาที่ 1.3 การลัดวงจรบนสายส่งระบบ 230 kV เชื่อมโยงระหว่างบัสไฟฟ้าบางสะพานกับบัสไฟฟ้าสุราษฎร์ธานี ที่ตำแหน่งใกล้กับบัสไฟฟ้าสุราษฎร์ธานี

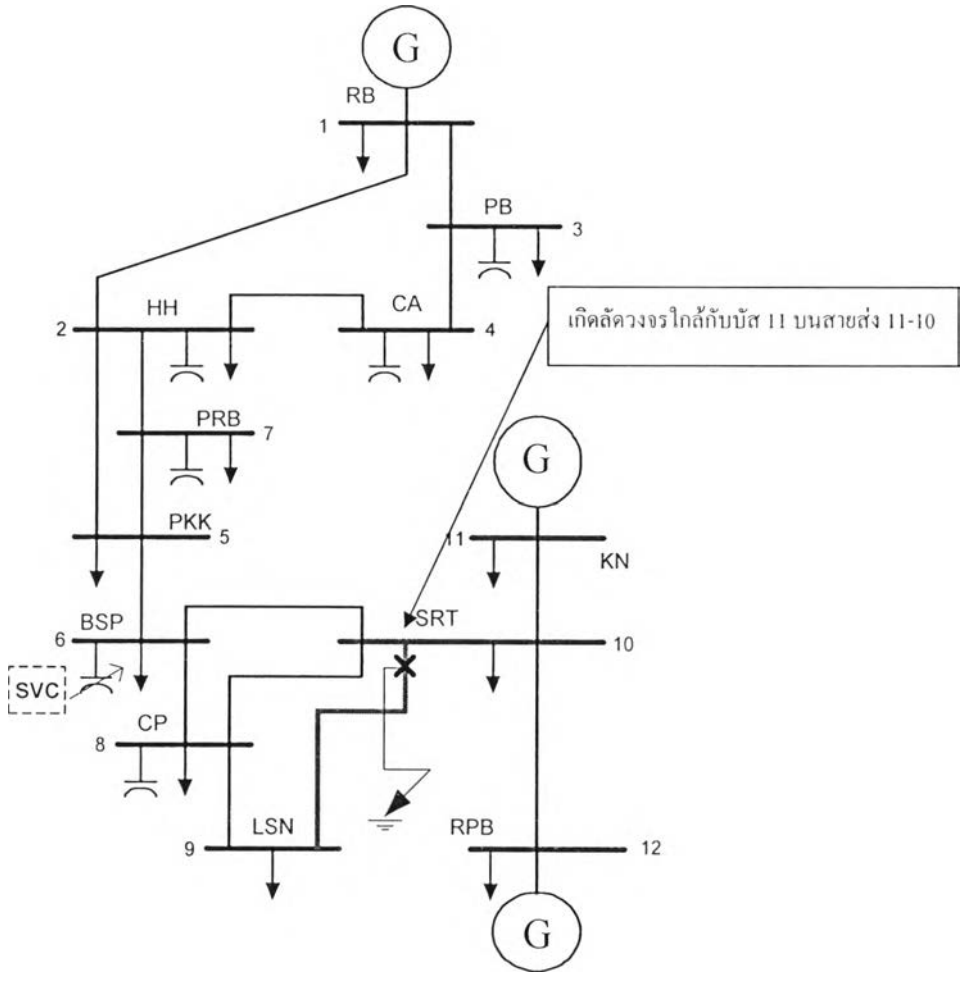
กรณีศึกษาที่ 2 การหลุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางยูนิตที่โรงไฟฟ้าขนอม

กรณีศึกษาที่ 2.1 การหลุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังผลิต 220 MW ณ กรณีฐานใน[18]

การกำหนดเหตุการณ์ที่เกิดในกรณีศึกษาที่ 1 มาจากการพิจารณางานวิจัยที่ผ่านมาใน[25] พบว่าเมื่อมีการติดตั้งตัวเก็บประจุอนุกรมในสายส่งที่เชื่อมต่อระหว่างบัสไฟฟ้าสุราษฎร์ธานีกับหลังสวน(SRT-LSN) หรือไฟฟ้าบัสหลังสวนกับชุมพร(LSN-CP) จะมีผลกระทบกับค่าขีดจำกัดในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า หรือ TTC ของสายส่งเส้นที่ยาวที่สุดที่เป็นเส้นทางสำคัญ และเป็นตัวจำกัด

การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ โดยสายส่งเส้นนี้จะเป็นระบบที่มีขนาดแรงดันเท่ากับ 230 kV และ 115 kV ซึ่งมีความยาวประมาณ 300 กิโลเมตร และมีค่าขีดจำกัดในการส่งกำลังไฟฟ้าสูงสุดรวมกันของทั้งสองระบบแรงดันเท่ากับ 858.8 MVA กับกระแสรวมสูงสุด 3356 A

ดังนั้นการเลือกตำแหน่งของจุดที่ลัดวงจรแบบสามเฟสลงกราวด์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงเป็นจุดที่เกิดขึ้นบนสายส่งที่เชื่อมต่อระหว่างบัสสุราษฎร์ธานีกับบัสหลังสวน(SRT-LSN) หรือบัสหลังสวนกับชุมพร(LSN-CP) และเพื่อความง่ายในการพิจารณาถึงการสร้างแบบจำลองของระบบขณะเกิดลัดวงจรขึ้น จึงกำหนดให้มีตำแหน่งของการเกิดลัดวงจรเกิดขึ้นใกล้ ๆ กับบัสไฟฟ้าใดบัสไฟฟ้าหนึ่งที่สายส่งเส้นที่เกิดลัดวงจรต่อเชื่อมโยงกันดังตัวอย่างหนึ่งในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ตัวอย่างตำแหน่งของการลัดวงจรแบบสามเฟสลงกราวด์ในระบบ

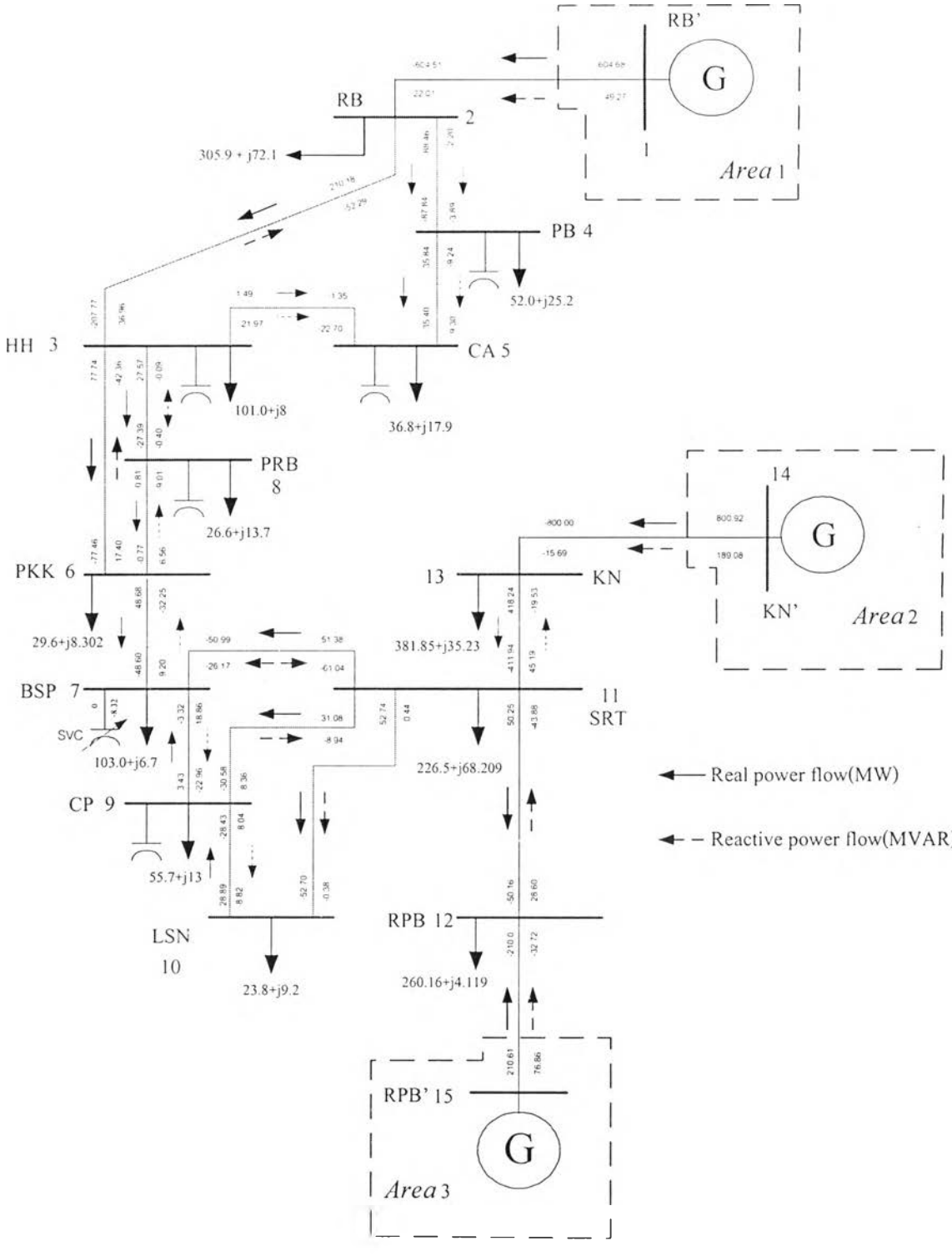
การกำหนดเหตุการณ์ที่เกิดในกรณีศึกษาที่ 2 ได้มีการพิจารณาถึงเรื่องของระบบผลิตไฟฟ้าหลักที่ทำหน้าที่จ่ายโหลดตั้งแต่ภาคกลางเริ่มที่สถานีไฟฟ้าราชบุรีจนมาถึงภาคใต้ตอนล่างที่สถานี

ไฟฟ้าคลองแงะว่ามี 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนแรกมาจาก HVDC ตรงบริเวณจุดเชื่อมต่อระบบส่งกำลังไฟฟ้าไทย-มาเลเซีย ที่ตำบลคลองแงะ จังหวัดนราธิวาส ส่วนที่สองมาจากโรงไฟฟ้าขนอม และส่วนสุดท้ายมาจากโรงไฟฟ้าราชบุรี ซึ่งการส่งกำลังไฟฟ้าจาก HVDC และ โรงไฟฟ้าราชบุรี ก็ยังสามารถทำได้อย่างจำกัด เพราะฉะนั้นกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดส่วนใหญ่ในภาคใต้นั้นมาจากโรงไฟฟ้าขนอมเป็นหลักที่มีค่าสูงถึง 800 MW เพราะฉะนั้นการที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางยูนิตในโรงไฟฟ้าขนอมหลุดออกไปจากระบบจะส่งผลให้มีการช่วยเหลือในการส่งกำลังไฟฟ้าจากภาคกลางโดยโรงไฟฟ้าราชบุรีลงมายังภาคใต้ โดยผ่านสายส่งเส้นที่เป็นขีดจำกัดที่ได้กล่าวไว้ในกรณีที่ 1 เมื่อ HVDC มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าเต็มพิกัดแล้วที่ 300 MW

เมื่อทราบถึงที่มาที่ไปของเหตุการณ์ต่างๆ ที่จำลองขึ้นในระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้แล้ว ในลำดับต่อมาก็ทำการพิจารณาถึงเรื่องของอุปกรณ์ SVC ที่มีการติดตั้งใช้งานอยู่ที่บัสไฟฟ้าบางสะพานว่าส่งผลกระทบต่อการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า หรือการช่วยปรับปรุงเสถียรภาพที่ภาวะชั่วครู่ของระบบอย่างไร โดยการเปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีการติดตั้ง SVC เพื่อรักษาระดับแรงดัน กับระบบที่ไม่มีการติดตั้ง SVC และผลตอบสนองที่ภาวะชั่วครู่ที่จะนำมาพิจารณาในการวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบมีดังนี้ คือ

1) ผลตอบสนองที่ภาวะชั่วครู่ของขนาดแรงดันที่บัสไฟฟ้าบางสะพาน
2) ผลตอบสนองที่ภาวะชั่วครู่ของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าขนอมกับรัชประภา ได้แก่ ขนาดของแรงดัน กำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายให้กับระบบ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ขนาดการเปลี่ยนแปลงของความเร็วซิงโครนัส รวมถึงความแตกต่างของมุมโรเตอร์ระหว่างกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
3) ผลตอบสนองที่ภาวะชั่วครู่ของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งเส้นที่มีความยาวมากที่สุดเชื่อมต่อระหว่างบัสไฟฟ้าบางสะพาน และบัสไฟฟ้าสุราษฎร์ธานี เป็นต้น

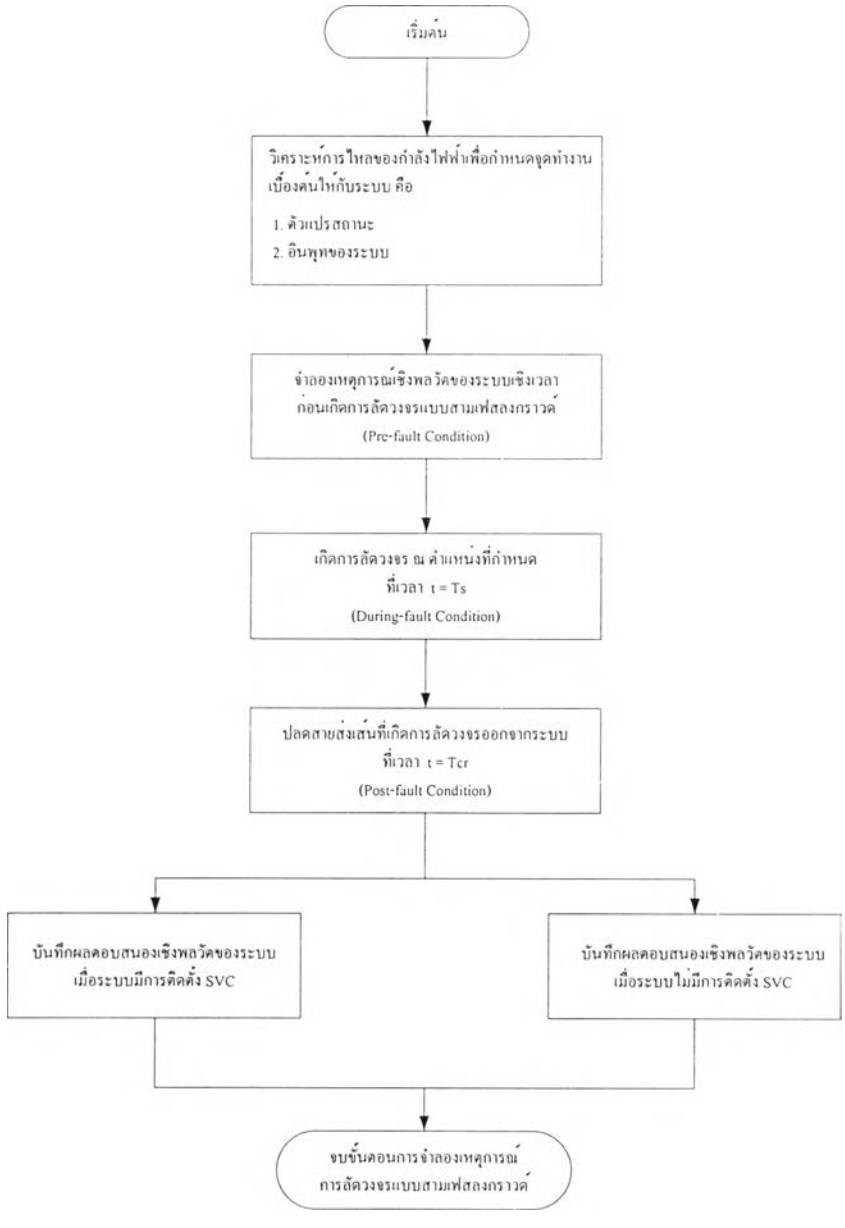
จากที่กล่าวมาข้างต้นเพื่อให้เข้าใจถึงการพิจารณาผลตอบสนองของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้จึงได้แสดงการไหลของกำลังไฟฟ้า ณ กรณีฐานไว้เพื่อประกอบการพิจารณาดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้า ณ กรณีฐาน[18]

5.2 ผลการจำลองเหตุการณ์การลัดวงจรแบบสามเฟสลงกราวด์บนสายส่ง 1 เส้น

การจำลองเหตุการณ์ของการลัดวงจรบนสายส่งในระบบเชื่อมโยงการส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ จะถูกแบ่งออกตามตำแหน่งที่เกิดการลัดวงจรดังหัวข้อที่ 5.2.1, 5.2.2 5.2.3 โดยมีขั้นตอนในการจำลองเหตุการณ์ทั้งหมด ตั้งแต่เวลาเริ่มต้นของการจำลองเหตุการณ์จนถึงขั้นตอนสุดท้ายดังแสดงในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แผนผังขั้นตอนการจำลองการเกิดลัดวงจรแบบสามเฟสลงกราวด์บนสายส่ง 1 เส้น

5.2.1 กรณีศึกษาที่ 1.1 การลัดวงจรบนสายส่งระบบ 115 kV เชื่อมโยงระหว่างบัสไฟฟ้าสุราษฎร์ธานีกับบัสไฟฟ้าหลังสวน ที่ตำแหน่งใกล้กับบัสไฟฟ้าสุราษฎร์ธานี

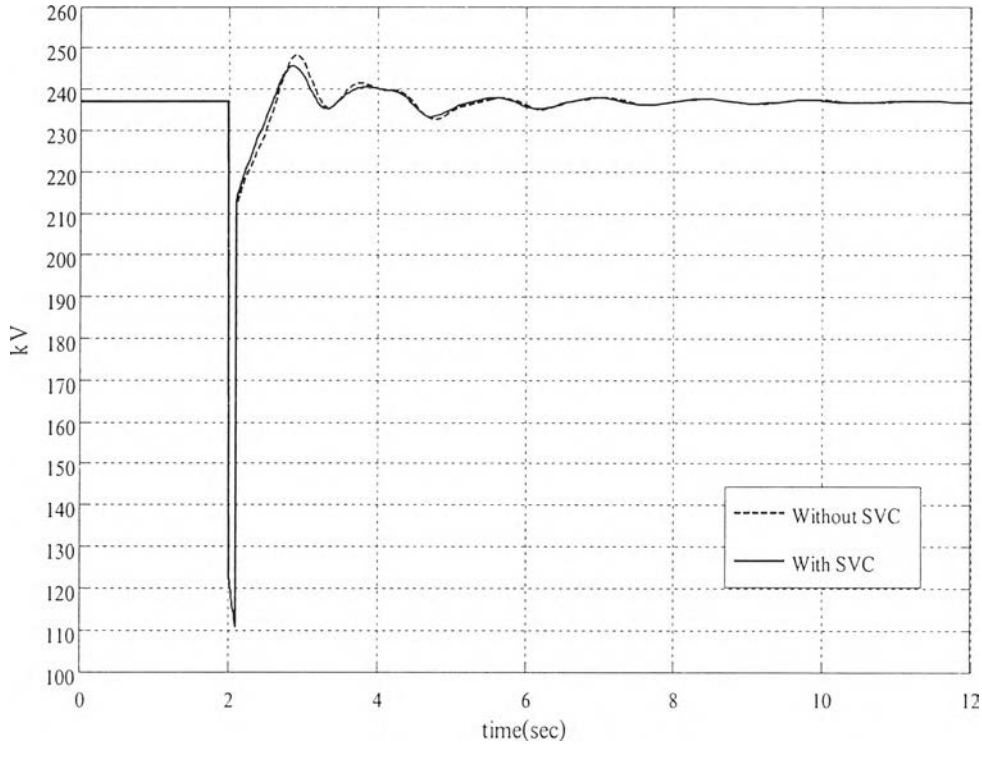
ขั้นตอนการจำลองเหตุการณ์ในกรณีศึกษาที่ 1.1 มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ที่เวลา t = 0 ระบบจะมีค่าเริ่มต้นเป็นค่าจุดทำงาน ณ กรณีฐานตามภาคผนวก(ก)

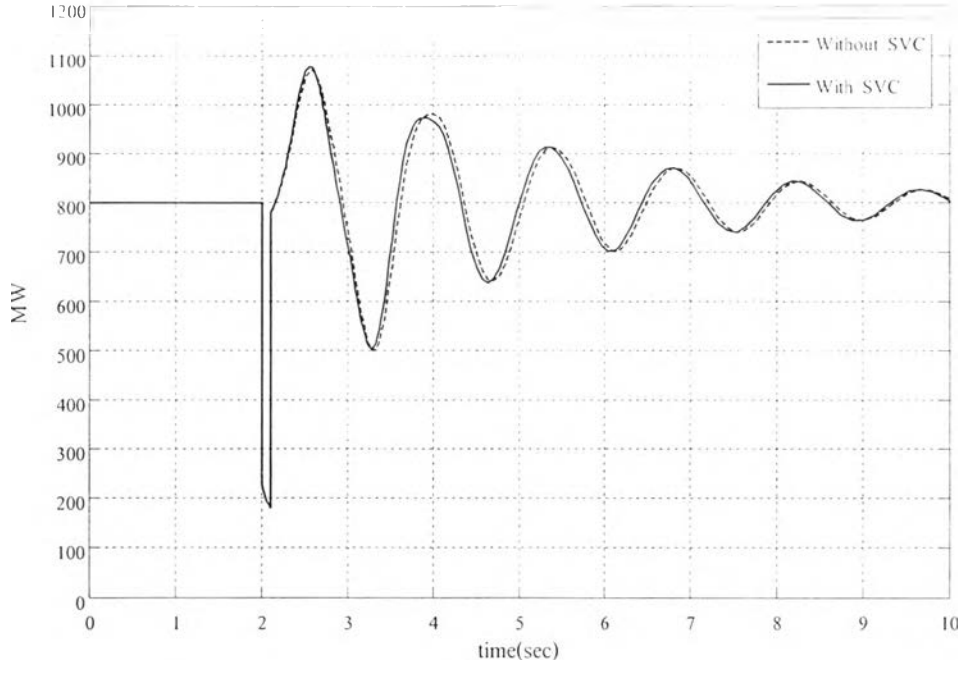
ขั้นตอนที่ 2 ที่เวลา t = Ts = 2 วินาที เกิดการลัดวงจรขึ้นบนสายส่งระหว่างบัส SRT-LSN ใกล้ ๆ กับบัส SRT

ขั้นตอนที่ 3 ที่เวลา t = Tcr = 2.1 วินาที ทำการตัดสายส่งที่มีการลัดวงจรออกจากระบบ โดยที่ใช้เวลาตั้งแต่เกิดการลัดวงจรจนตัดสายส่งออกไปเป็นเวลา 100 มิลลิวินาที

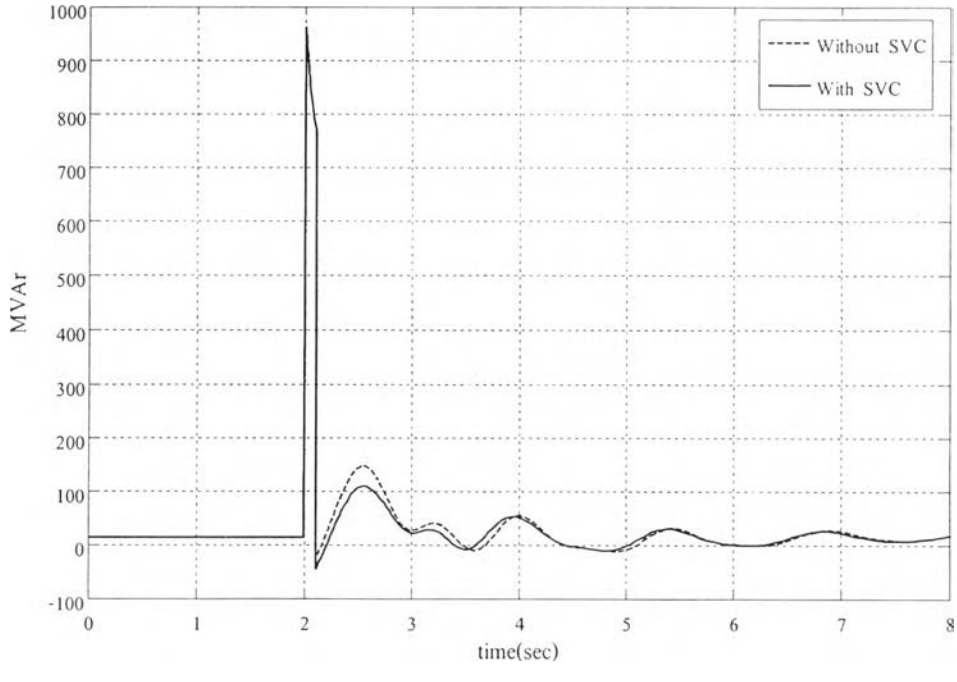
ผลตอบสนองที่ภาวะชั่วครู่ของระบบที่น่าสนใจแสดงไว้ดังรูปที่ 5.4-5.17



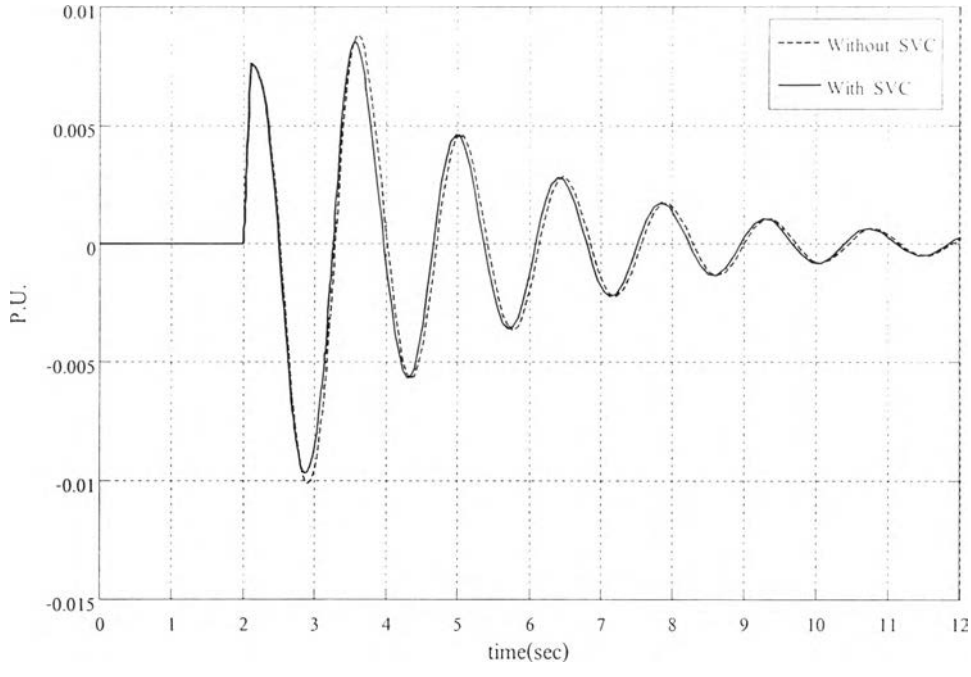
รูปที่ 5.4 แรงดันที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม



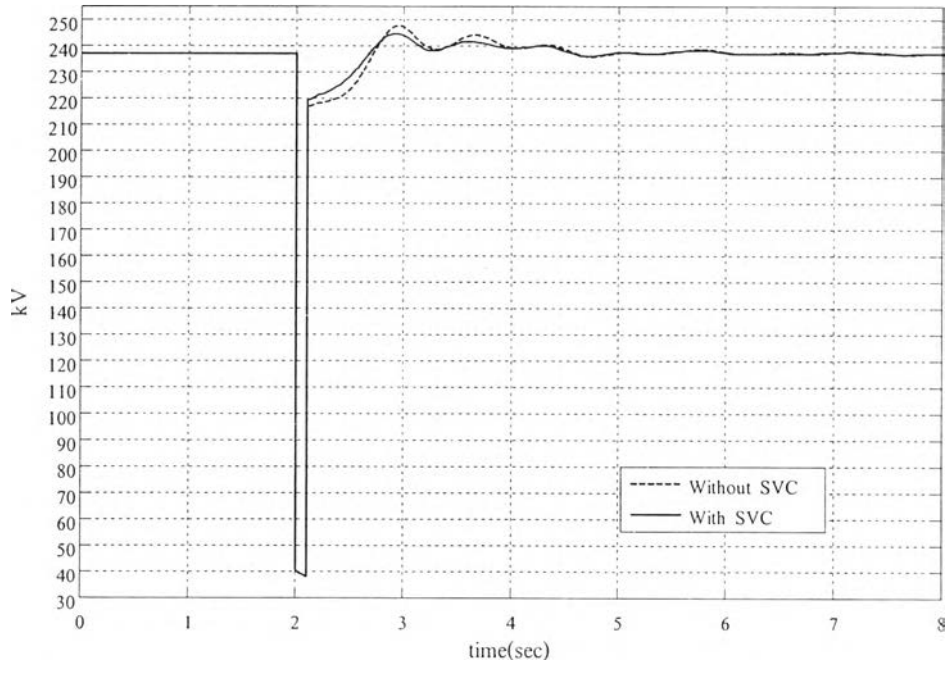
รูปที่ 5.5 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม



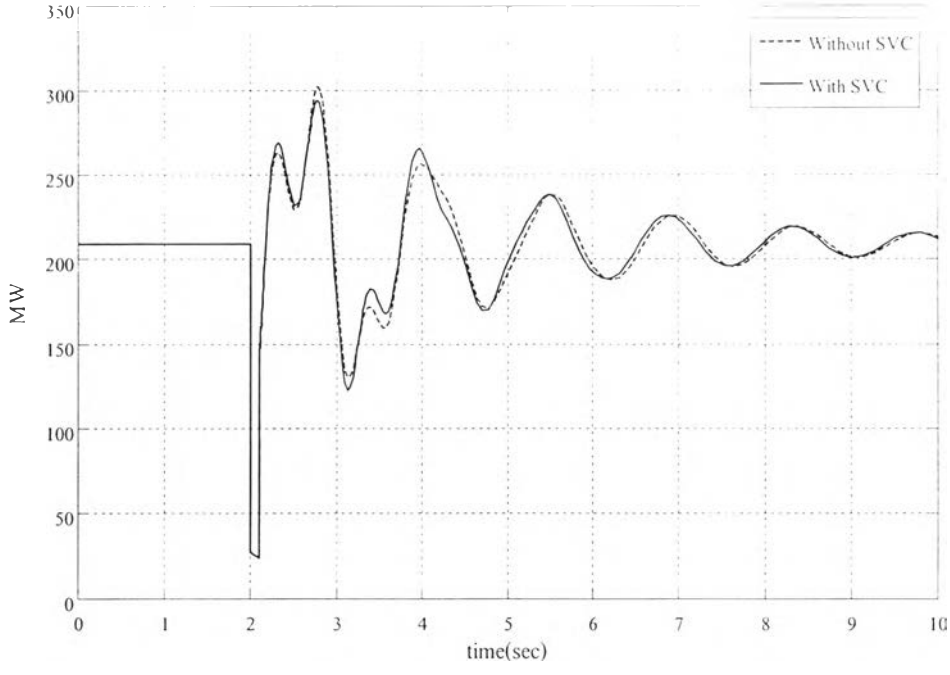
รูปที่ 5.6 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม



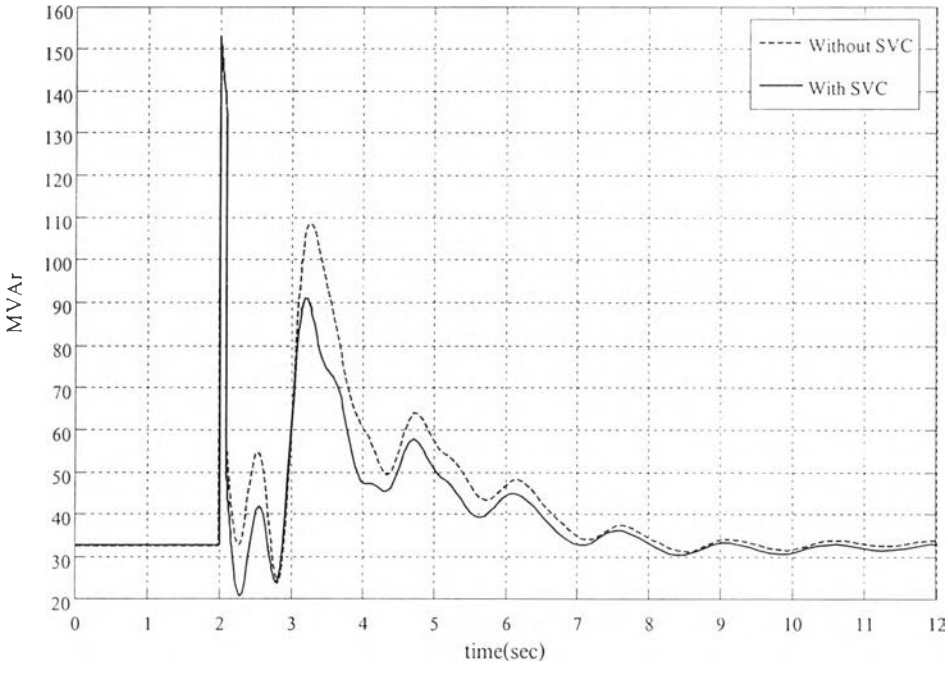
รูปที่ 5.7 ค่าการเปลี่ยนแปลงของความเร็วซิงโครนัสของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม



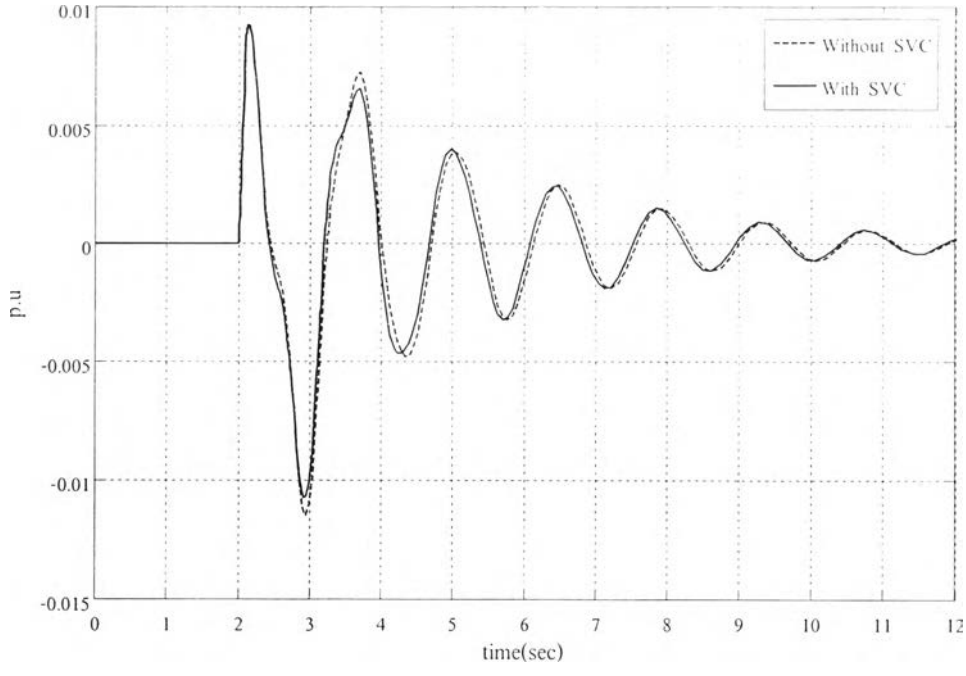
รูปที่ 5.8 แรงดันที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสรัชประภา



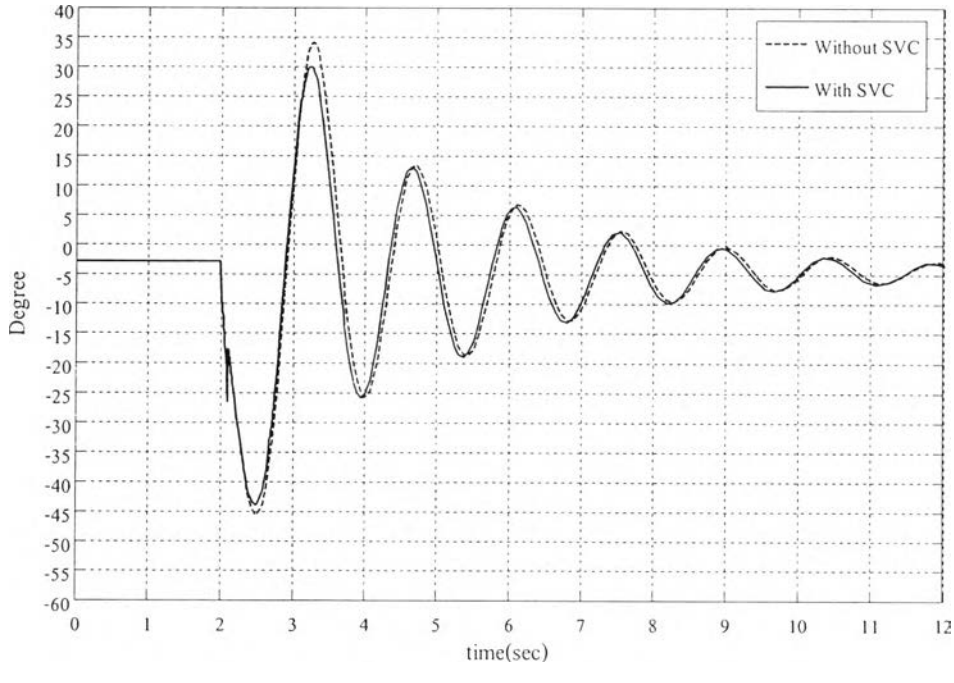
รูปที่ 5.9 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่รัชประภา



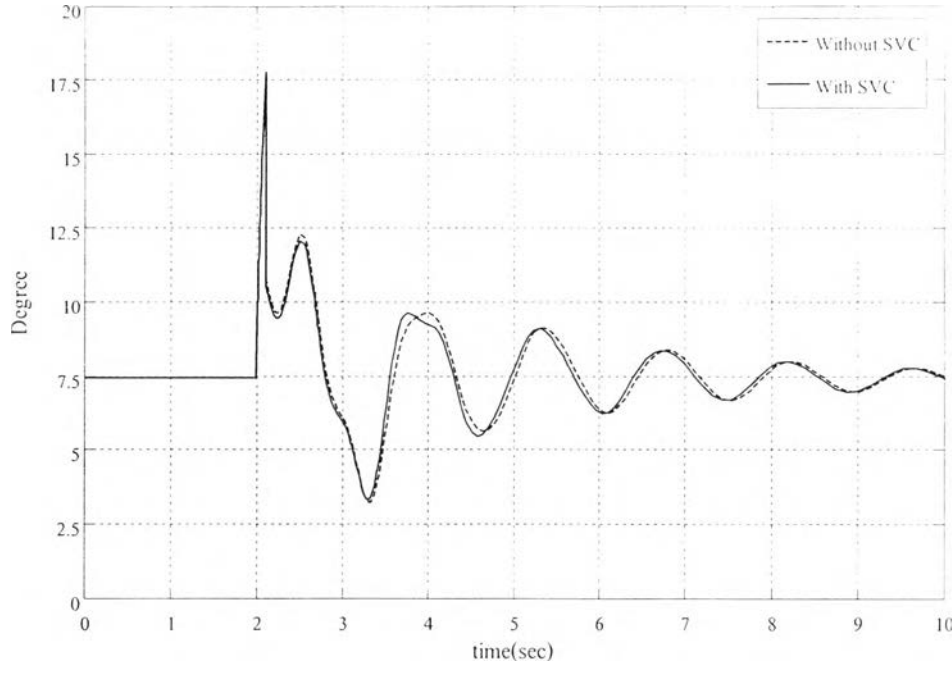
รูปที่ 5.10 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสรัชประภา



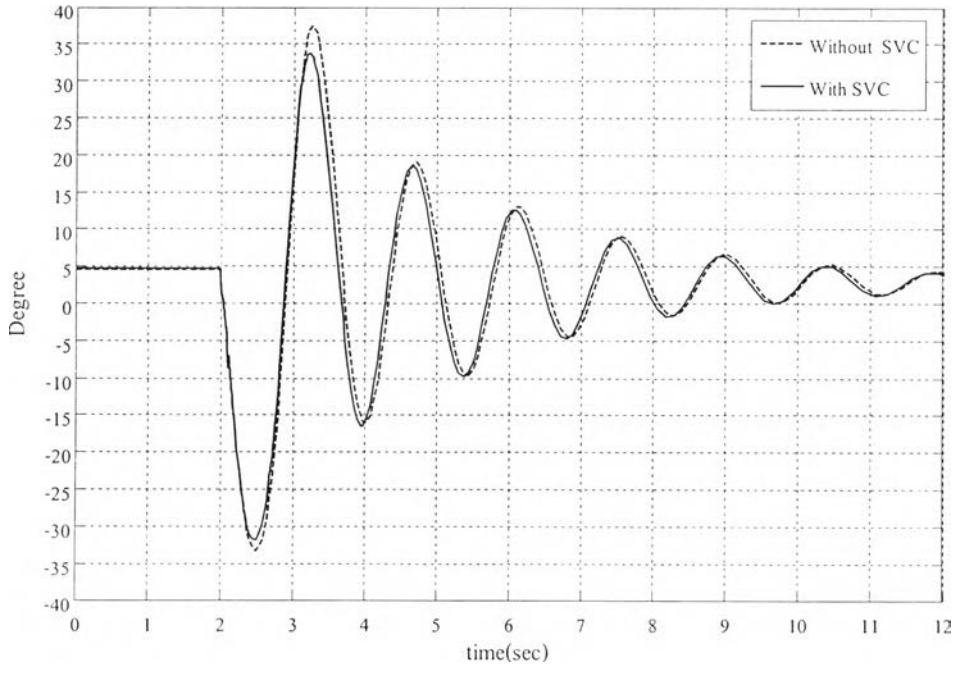
รูปที่ 5.11 ค่าการเปลี่ยนแปลงของความเร็วซิงโครนัสของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่รัชประภา



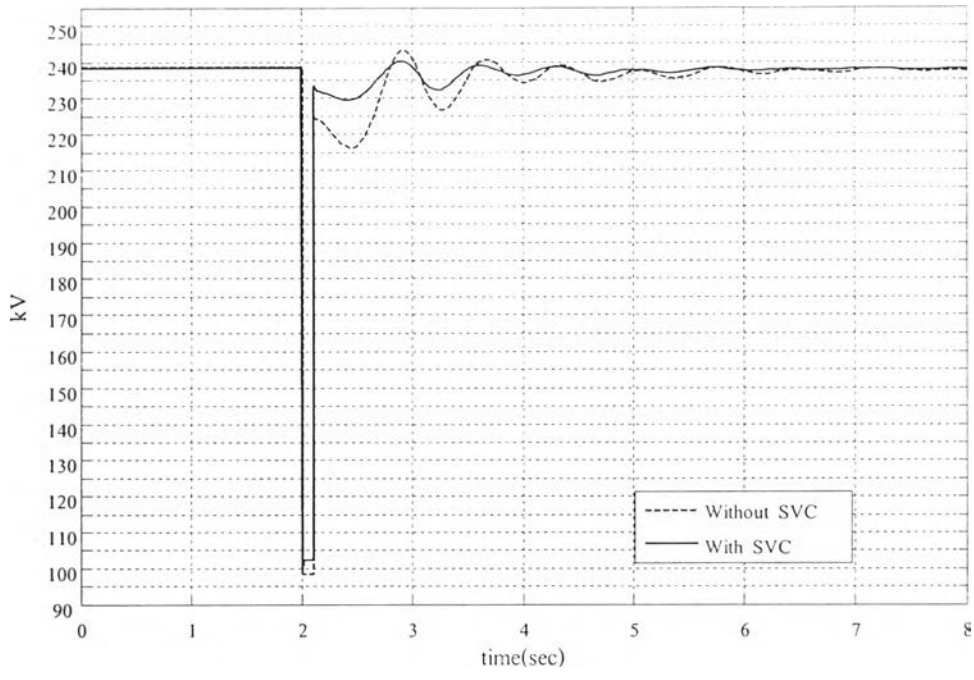
รูปที่ 5.12 ค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าที่บัสราชบุรีกับบัสขนอม



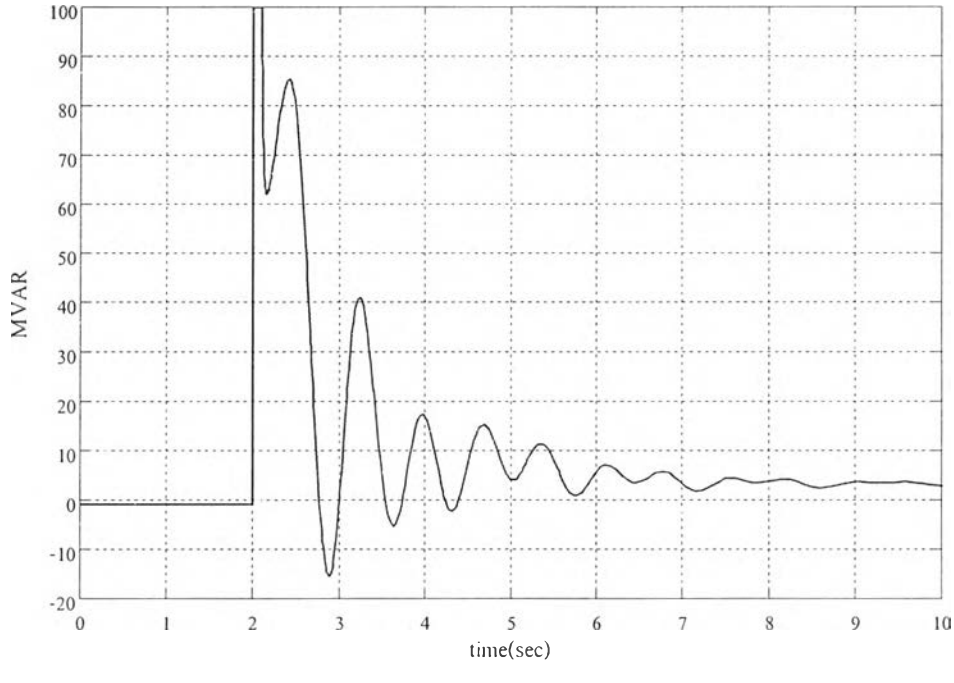
รูปที่ 5.13 ค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าที่บัสขนอมกับบัสรัชประภา



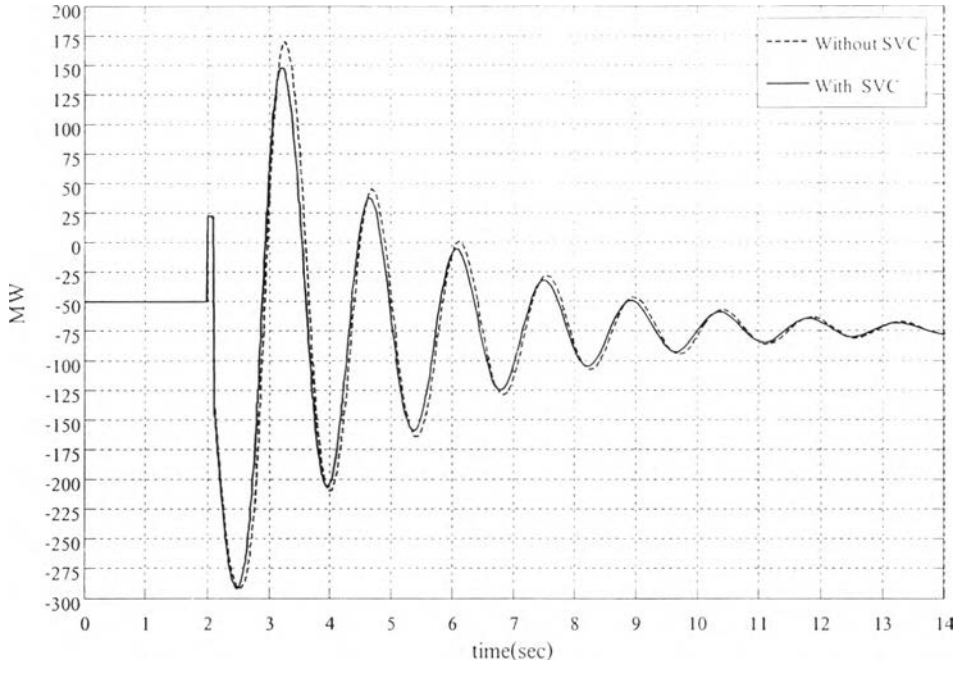
รูปที่ 5.14 ค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าที่บัสราชบุรีกับบัสรัชประภา



รูปที่ 5.15 แรงดันที่บัสบางสะพาน หรือที่บัสของ SVC



รูปที่ 5.16 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของ SVC ที่จ่ายให้กับระบบ



รูปที่ 5.17 กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัสบางสะพานไปสุราษฎร์ธานี

จากรูปที่ 5.4 รูปที่ 5.8 และรูปที่ 5.15 แสดงถึงขนาดของแรงดันที่บัสไฟฟ้าขนอม รัชประภา และบางสะพาน ที่มีการแกว่งตัวของขนาดแรงดันลดลง โดยเฉพาะที่บัสไฟฟ้าบางสะพานมีการแกว่งตัวของแรงดันลดลงอย่างเห็นได้ชัดกว่าที่บัสไฟฟ้าอื่น โดยจะสังเกตได้จากการแกว่งตัวครั้งแรกของขนาดแรงดันที่มีค่าแรงดันเพิ่มขึ้นมาประมาณ 15 kV เมื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบที่มี SVC กับระบบที่ไม่มี SVC ติดตั้งใช้งานในระบบ และอีกเรื่องหนึ่งที่ต้องพิจารณาคือ เวลาที่ใช้ในการลู่เข้าของขนาดแรงดันสู่ค่าจุดทำงานใหม่ที่ภาวะอยู่ตัวก็มีค่าเร็วขึ้นจากเดิมแต่จะมีค่าน้อยมากคืออยู่ในหน่วยมิลลิวินาที

จากรูปที่ 5.6 และรูปที่ 5.10 แสดงค่ากำลังรีแอคทีฟที่กลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนอมและรัชประภา จ่ายให้กับระบบ จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการติดตั้ง SVC แล้วจะทำให้กลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหล่ามีการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟให้กับระบบลดลง เนื่องจากมีกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่จ่ายออกจากตัว SVC มาช่วยทดแทนให้ส่วนหนึ่ง

จากรูปที่ 5.5 และ 5.9 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายให้กับระบบของกลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนอม และรัชประภา ซึ่งขนาดของกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากการแกว่งตัวของกำลังไฟฟ้าจริงนี้มีค่าสูงสุดเท่ากับ 300 MW และ 90 MW ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการติดตั้ง SVC แล้วการแกว่งของกำลังไฟฟ้าจริงจะลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่ได้ติดตั้ง SVC

ในกรณีศึกษานี้ และรูปที่ 5.17 แสดงขนาดกำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัสไฟฟ้าบางสะพานไปสุราษฎร์ธานีที่มีขนาดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดอยู่ที่ 250 MW ก็มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันกับ รูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.9 คือ ผลกระทบจากตัวควบคุมการรักษาระดับแรงดันของ SVC ไม่สามารถที่จะช่วยให้ลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าจริงได้มากนัก

ส่วนในรูปที่ 5.12 รูปที่ 5.13 และรูปที่ 5.14 แสดงค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ที่บัสไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่มีความสำคัญในการนำไปใช้พิจารณาเรื่องเสถียรภาพของระบบ โดยจะเห็นได้ว่าค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ในทั้งสามรูป มีค่าไม่เกิน 90 องศา และในกรณีที่มีการติดตั้ง SVC เข้าไปในระบบ จะเห็นได้ว่าไปช่วยในการลดการแกว่งของค่ามุมความแตกต่างนี้ได้เพียงเล็กน้อย ในช่วงแรกของการแกว่งสำหรับค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์นี้

5.2.2 กรณีศึกษาที่ 1.2 การลัดวงจรบนสายส่งระบบ 115 kV เชื่อมโยงระหว่างบัสไฟฟ้าชุมพรกับบัสไฟฟ้าหลังสวน ที่ตำแหน่งใกล้กับบัสไฟฟ้าชุมพร

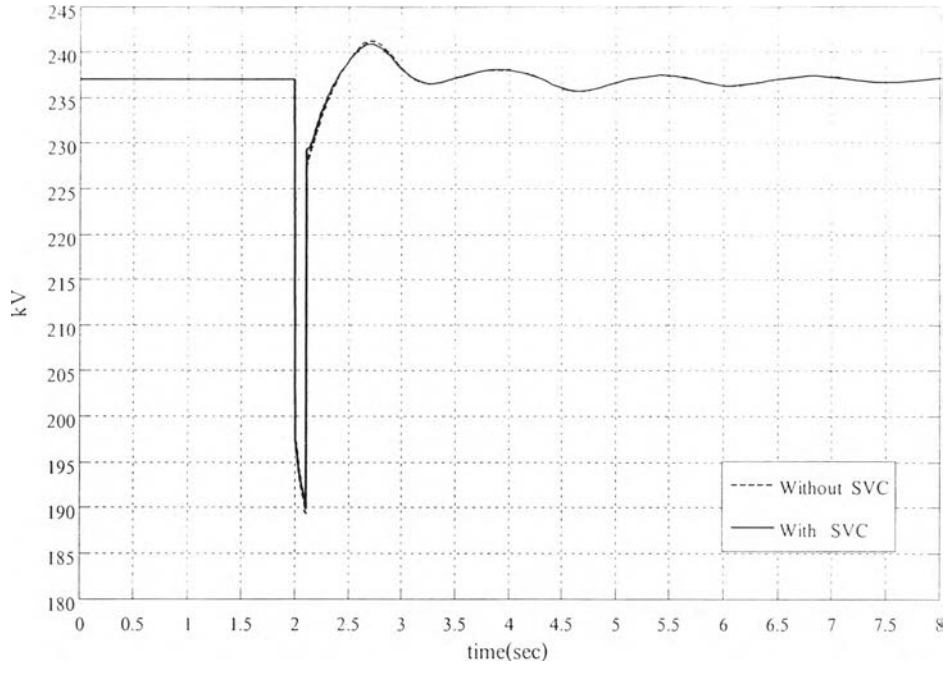
ขั้นตอนการจำลองเหตุการณ์ในกรณีศึกษาที่ 1.2 มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ที่เวลา t = 0 ระบบจะมีค่าเริ่มต้นเป็นค่าจุดทำงาน ณ กรณีฐานตามภาคผนวก(ก)

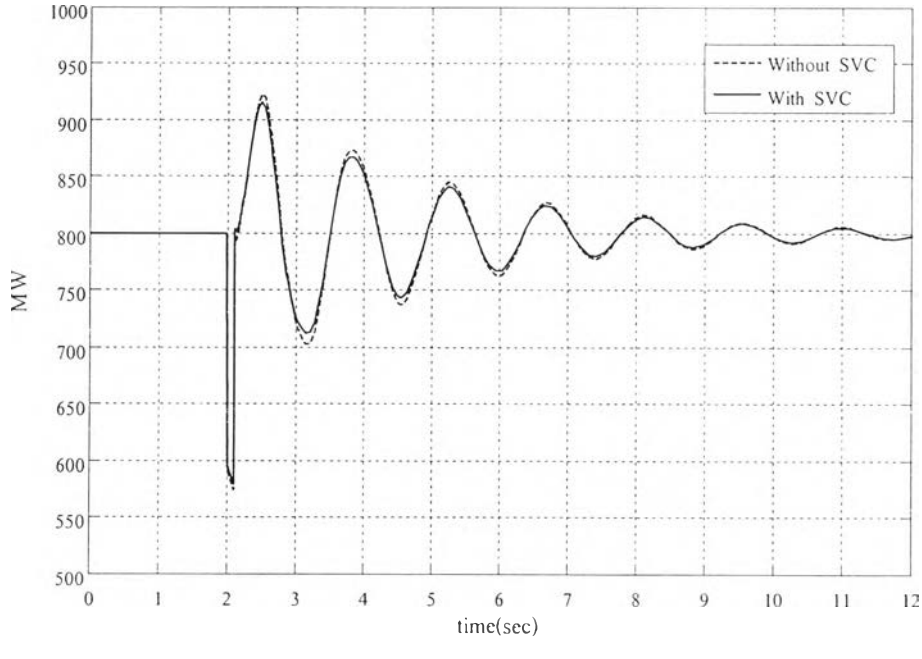
ขั้นตอนที่ 2 ที่เวลา t = Ts = 2 วินาที เกิดการลัดวงจรขึ้นบนสายส่งระหว่างบัส CP-LSN ใกล้ ๆ กับบัส LSN

ขั้นตอนที่ 3 ที่เวลา t = Tcr = 2.1 วินาที ทำการตัดสายส่งที่มีการลัดวงจรออกจากระบบโดยที่ใช้เวลาตั้งแต่เกิดการลัดวงจรจนตัดสายส่งออกไปเป็นเวลา 100 มิลลิวินาที

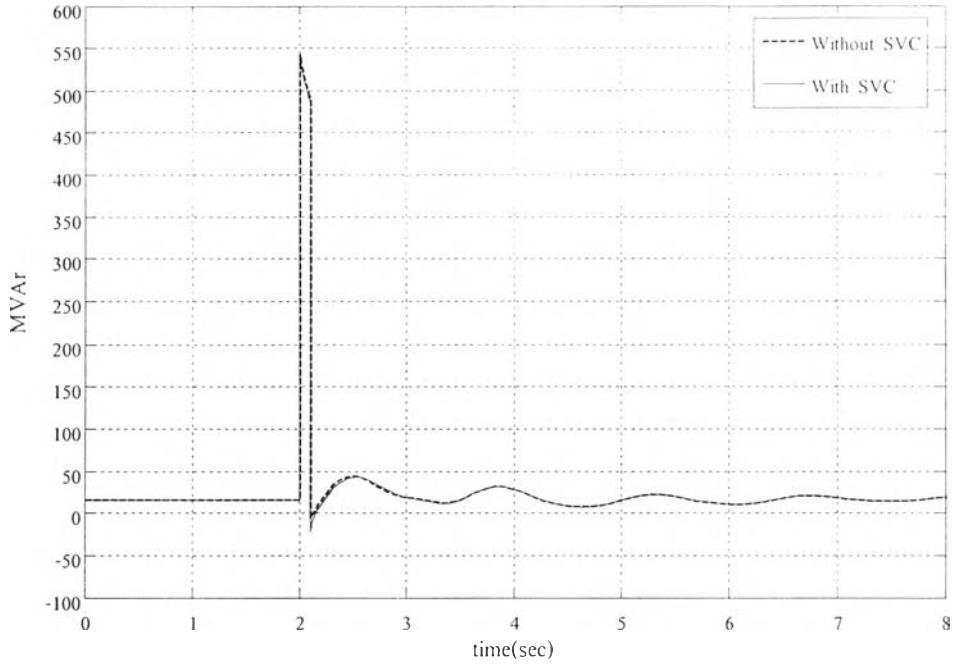
ผลตอบสนองของระบบที่สนใจได้แสดงไว้ดังรูปที่ 5.18-5.31



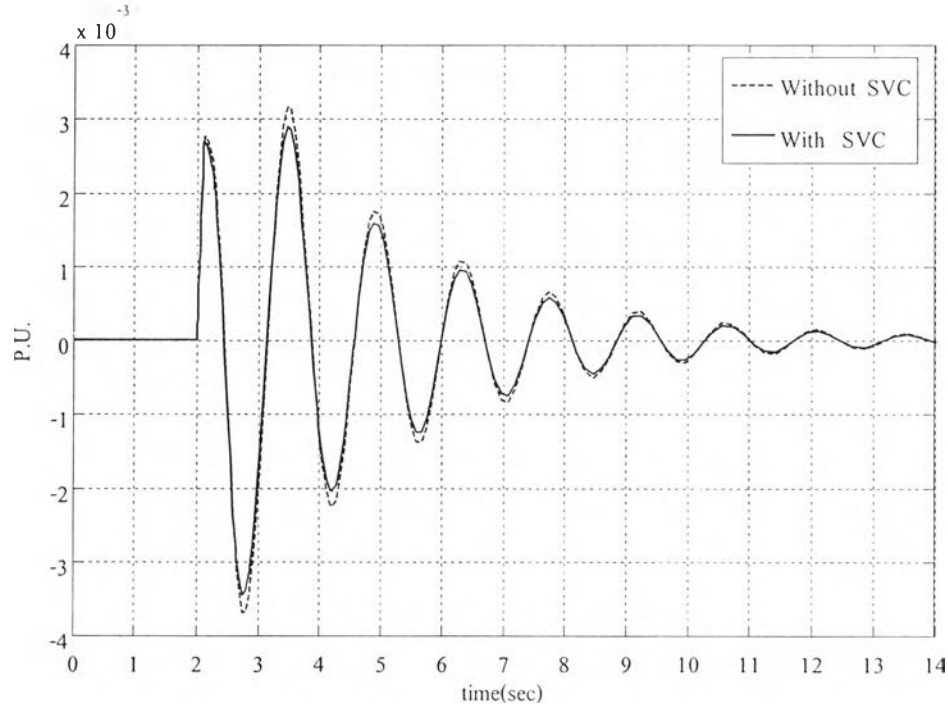
รูปที่ 5.18 แรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม



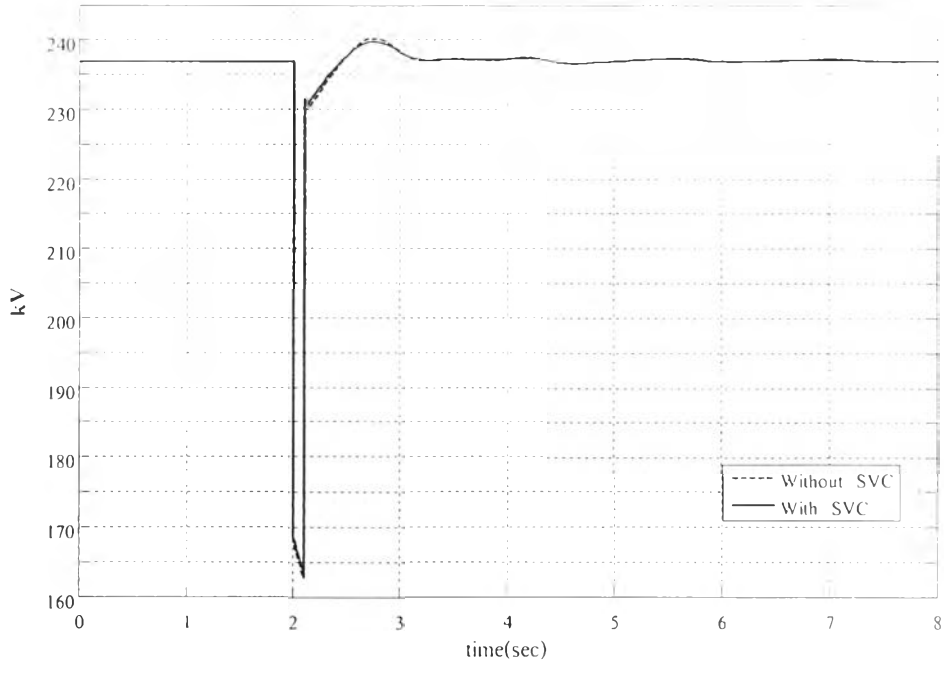
รูปที่ 5.19 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม



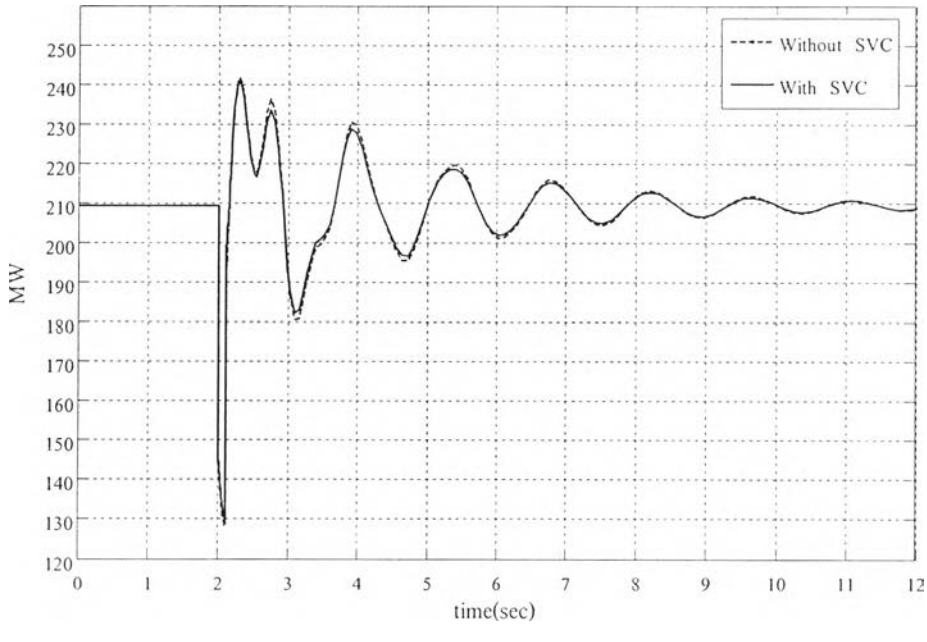
รูปที่ 5.20 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม



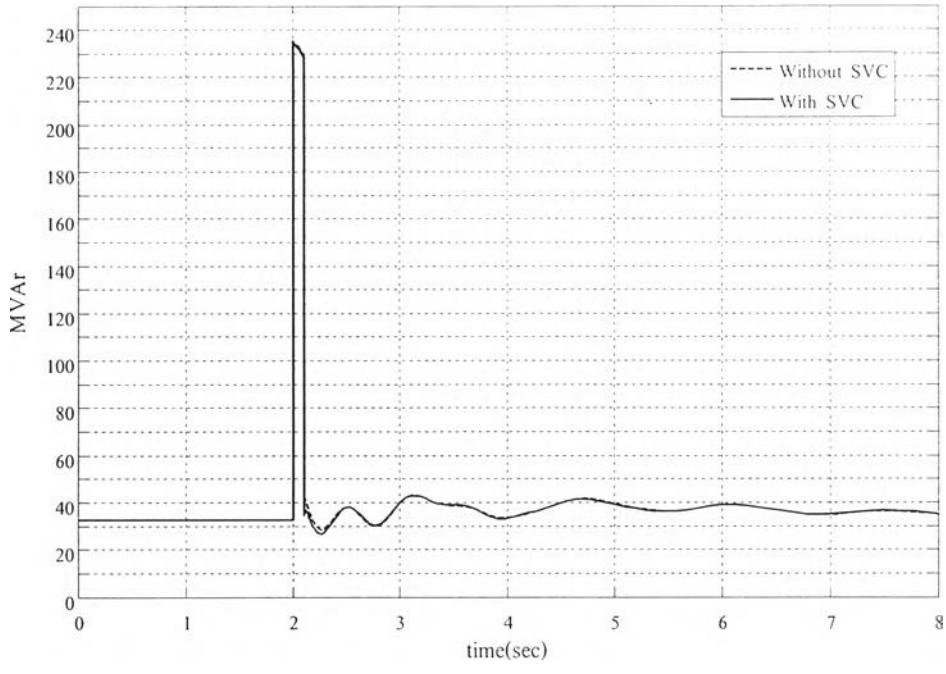
รูปที่ 5.21 ค่าการเปลี่ยนแปลงของความเร็วซิงโครนัสของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม



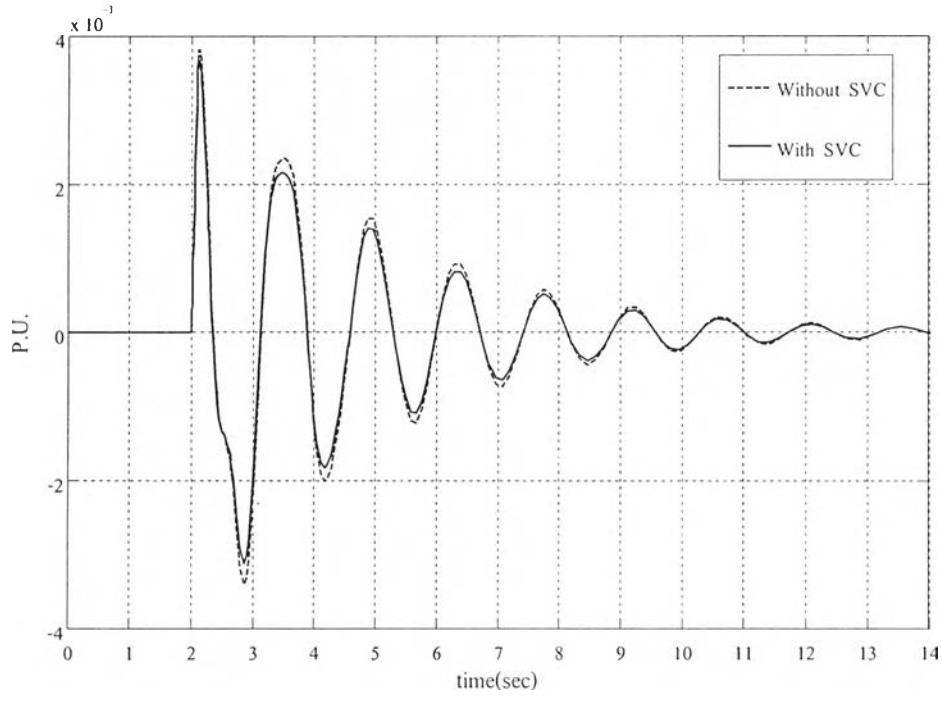
รูปที่ 5.22 แรงดันที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสรัชประภา



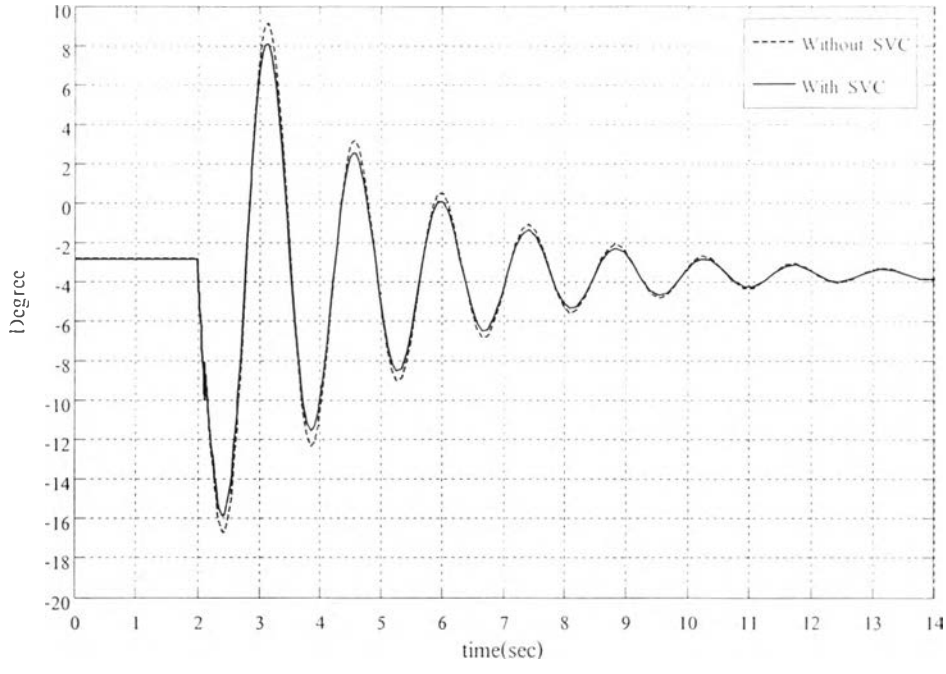
รูปที่ 5.23 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่รัชประภา



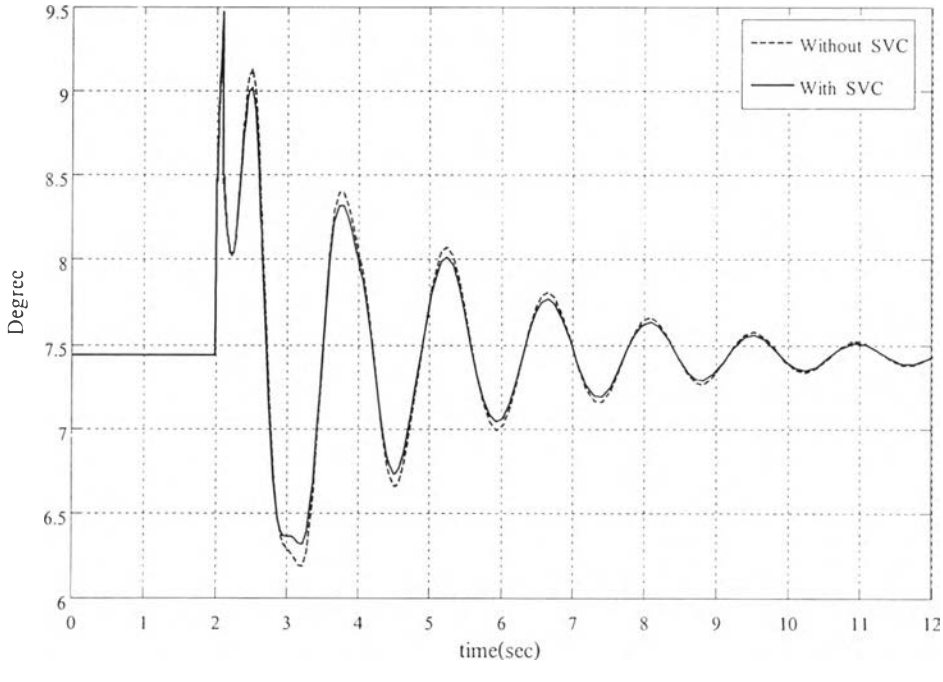
รูปที่ 5.24 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสรัชประภา



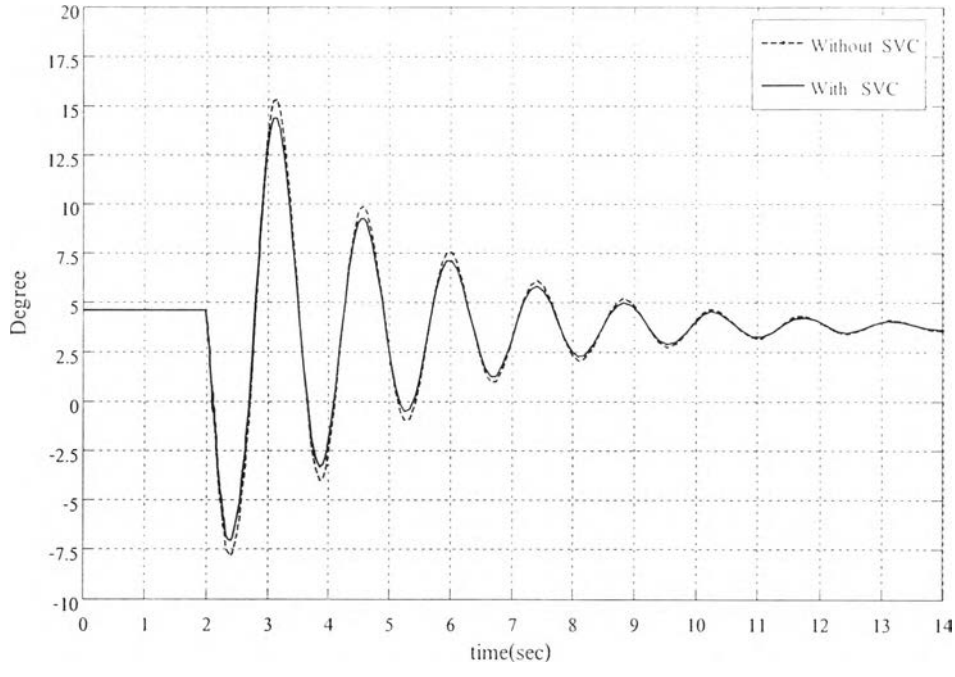
รูปที่ 5.25 ค่าการเปลี่ยนแปลงของความเร็วซิงโครนัสของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่รัชประภา



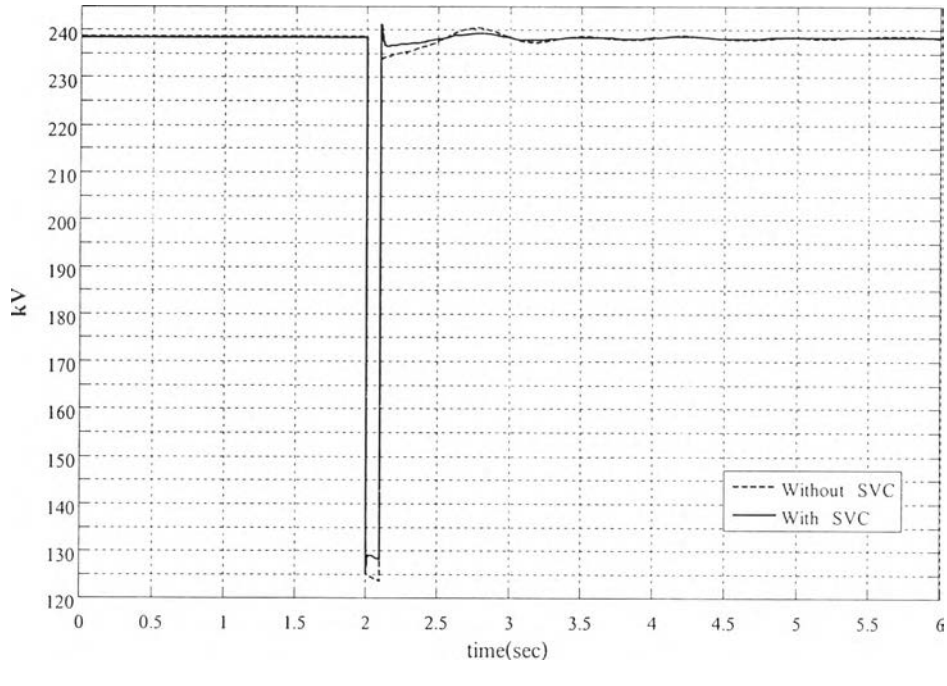
รูปที่ 5.26 ค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าที่บัสราชบุรีกับบัสขนอม



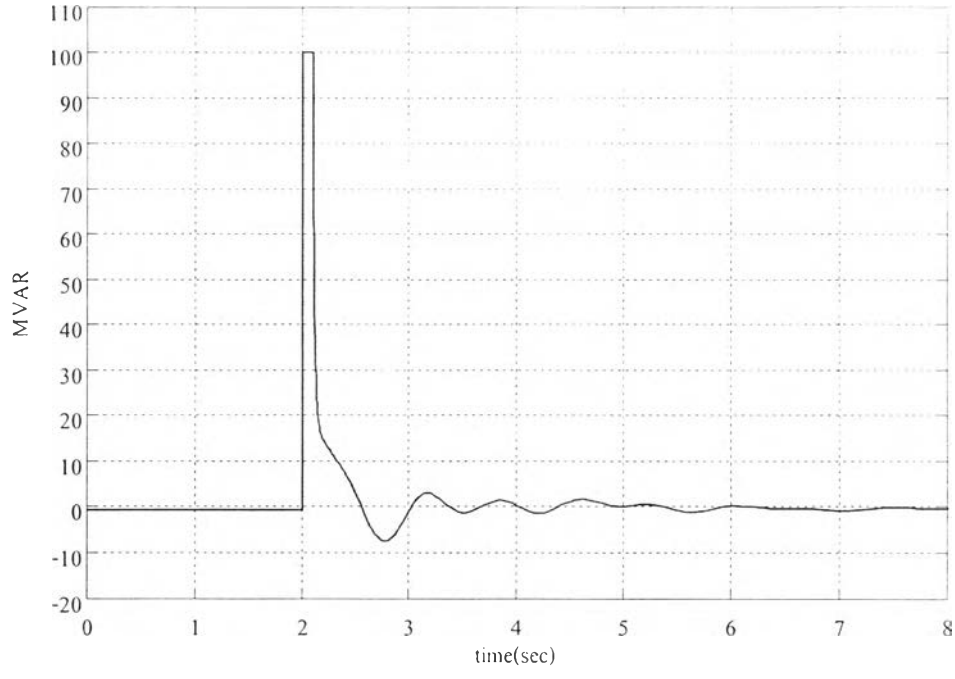
รูปที่ 5.27 ค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าที่บัสขนอมกับบัสรัชประภา



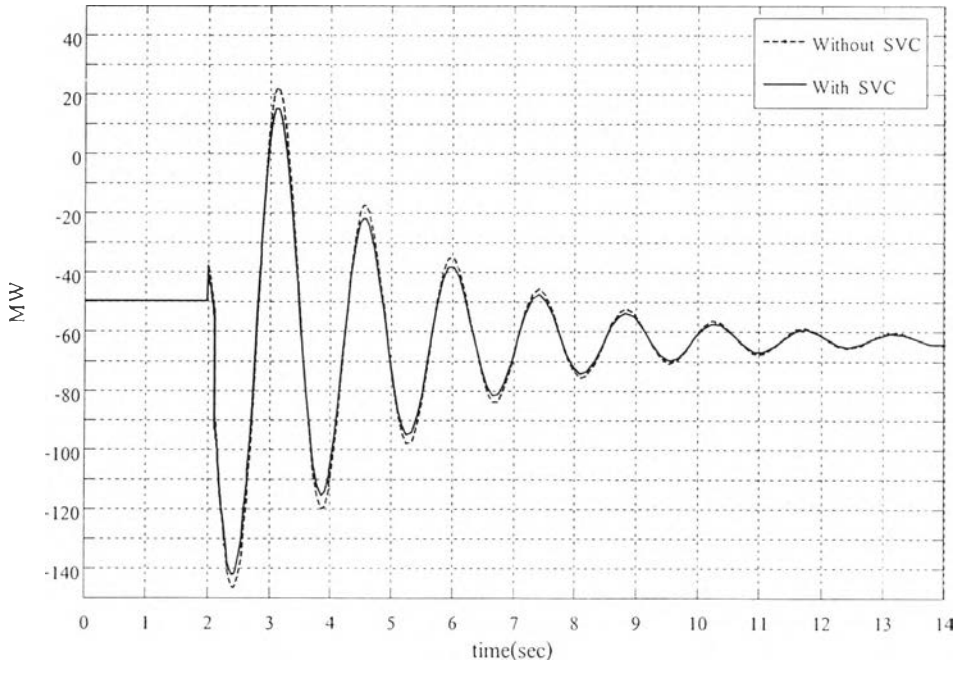
รูปที่ 5.28 ค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าที่บัสราชบุรีกับบัสรัชประภา



รูปที่ 5.29 แรงดันที่บัสบางสะพาน หรือที่บัสของ SVC



รูปที่ 5.30 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของ SVC ที่จ่ายให้กับระบบ



รูปที่ 5.31 กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัสบางสะพานไปสุราษฎร์ธานี

จากรูปที่ 5.18 รูปที่ 5.12 และรูปที่ 5.29 แสดงขนาดของแรงดันที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนอม และรัชประภา และที่บัสไฟฟ้าบางสะพานตามลำดับ ในกรณีศึกษาที่ 1.2 นี้ SVC ยังคงช่วยลดการแกว่งตัวของขนาดแรงดันได้เหมือนเดิม แต่จะไม่เห็นความแตกต่างมากนักระหว่างกรณีที่มีกับไม่มี SVC

จากรูปที่ 5.19 รูปที่ 5.23 และรูปที่ 5.31 จะเห็นได้ว่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าจริงมีค่าลดลงจากเดิมเล็กน้อยประมาณ 4-7 MW ในกรณีที่ติดตั้ง SVC เพื่อรักษาระดับแรงดันเพียงอย่างเดียว และมีขนาดของกำลังไฟฟ้าจริงที่แกว่งสูงสุดอยู่ที่ 120 MW ซึ่งตรงกับใน[15] ที่กล่าวไว้ว่า SVC ที่มีเพียงตัวควบคุมรักษาระดับแรงดันจะสามารถช่วยลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าจริงได้เพียงเล็กน้อย แต่ก็สามารถสังเกตได้ชัดเจนกว่าในกรณีศึกษาอื่น ที่ส่วนใหญ่ SVC จะช่วยลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าแค่ในช่วงการแกว่งตัวของสัญญาณในครั้งแรกเท่านั้น

จากรูปที่ 5.26 รูปที่ 5.27 และรูปที่ 5.28 แสดงถึงค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ระหว่างบัสไฟฟ้าราชบุรี ขนอม และรัชประภา ซึ่งจะเห็นได้ว่าการแกว่งตัวของค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์จะมีค่าสูงสุดไม่เกิน 20 องศา ซึ่งมีค่าน้อยกว่าในกรณีศึกษาที่ 1.1 และค่ามุมที่ว่านี้จะมีการแกว่งตัวที่ลดลงเช่นเดียวกันเมื่อมีการติดตั้ง SVC

5.2.3 กรณีศึกษาที่ 1.3 การลัดวงจรบนสายส่งระบบ 230 kV เชื่อมโยงระหว่างบัสไฟฟ้าบางสะพานกับบัสไฟฟ้าสุราษฎร์ธานี ที่ตำแหน่งใกล้กับบัสไฟฟ้าสุราษฎร์ธานี

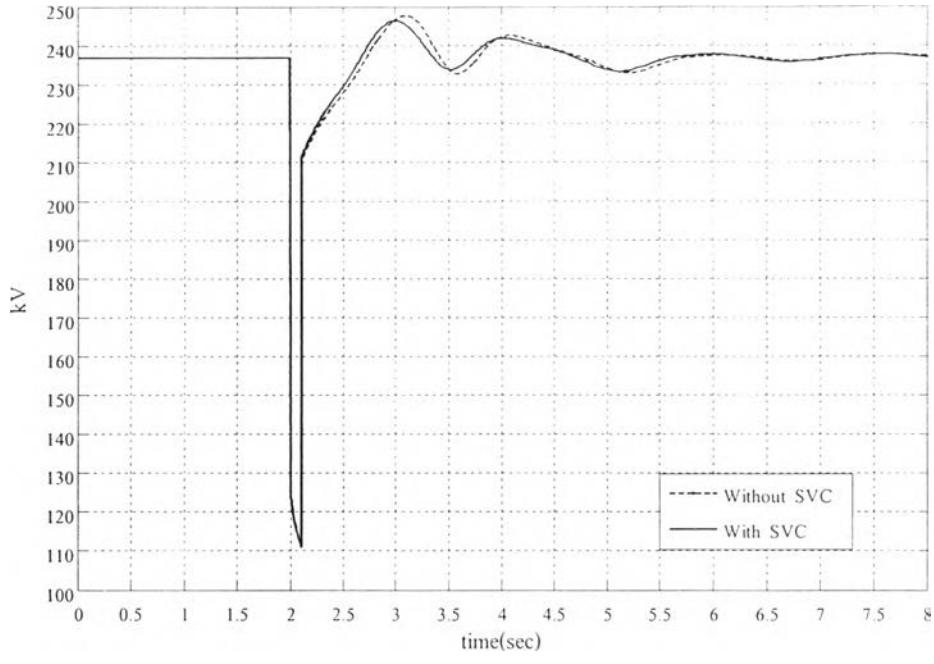
ขั้นตอนการจำลองเหตุการณ์ในกรณีศึกษาที่ 1.3 มีขั้นตอนดังนี้

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> ที่เวลา t = 0 ระบบจะมีค่าเริ่มต้นเป็นค่าจุดทำงาน ณ กรณีฐานตามภาคผนวก(ก)

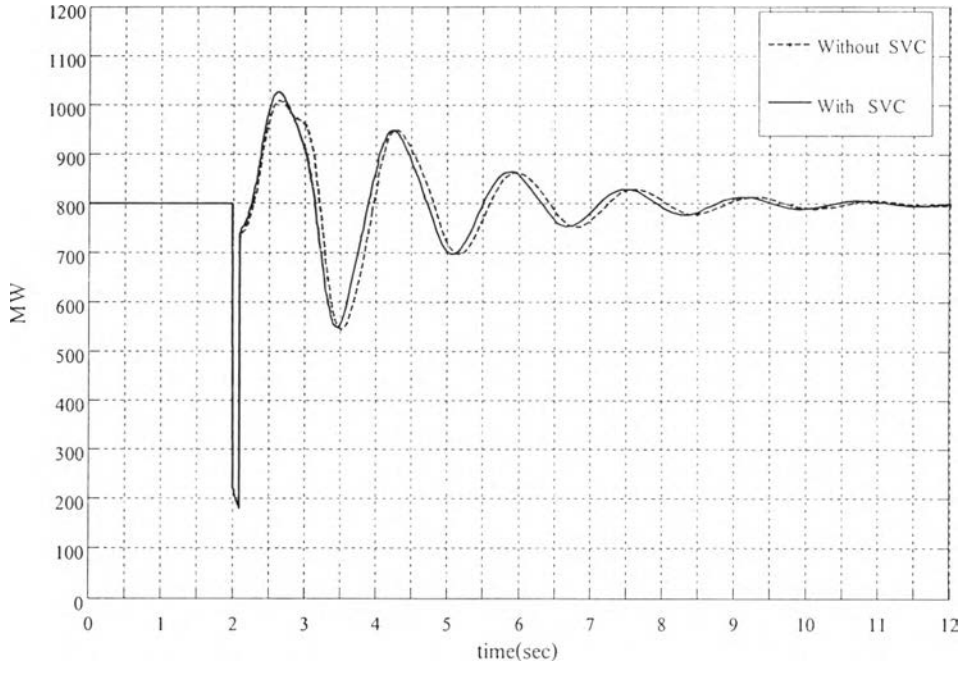
<u>ขั้นตอนที่ 2</u> ที่เวลา t = Ts = 2 วินาที เกิดการลัดวงจรขึ้นบนสายส่งระหว่างบัส BSP-SRT ใกล้ ๆ กับบัส SRT

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> ที่เวลา t = Tcr = 2.1 วินาที ทำการตัดสายส่งที่มีการลัดวงจรออกจากระบบ โดยที่ใช้เวลาตั้งแต่เกิดการลัดวงจรจนตัดสายส่งออกไปเป็นเวลา 100 มิลลิวินาที

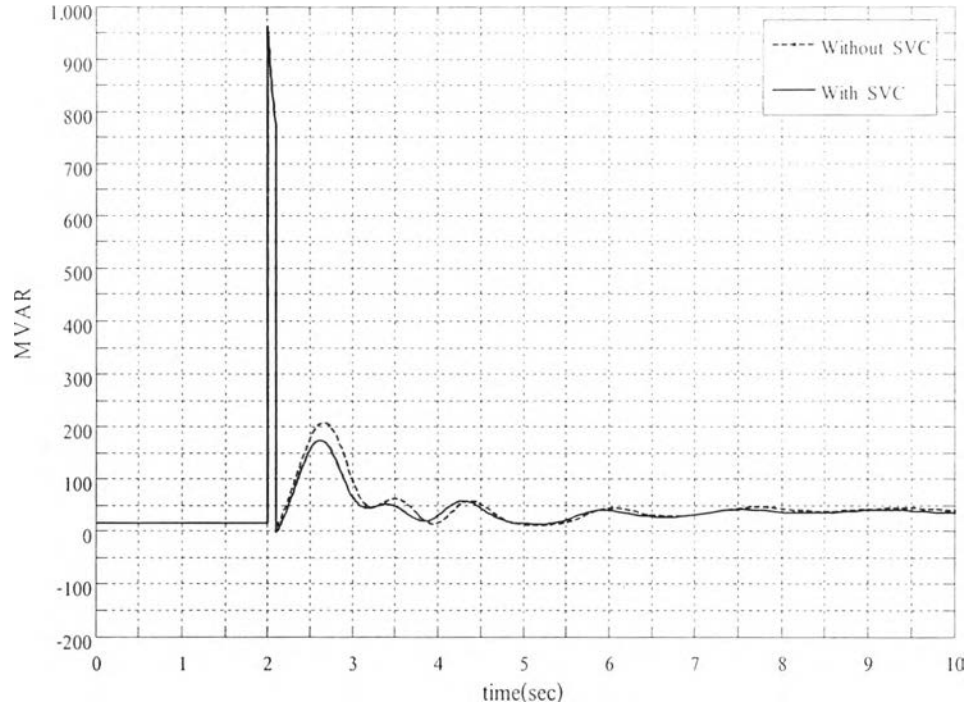
ผลตอบสนองของระบบที่สนใจได้แสดงไว้ดังรูปที่ 5.32-5.45



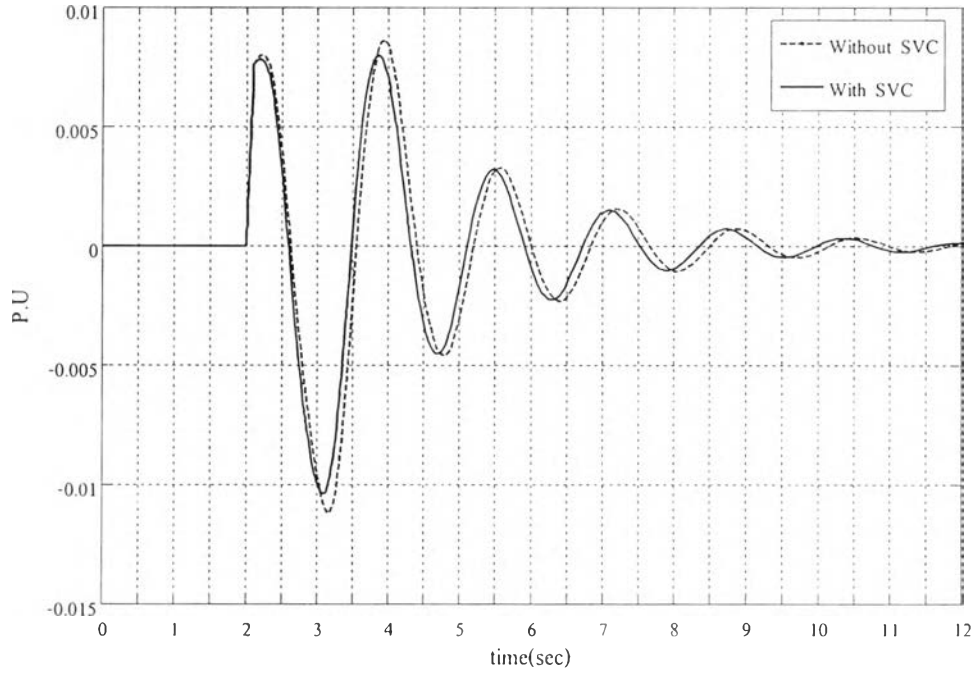
รูปที่ 5.32 แรงดันที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม



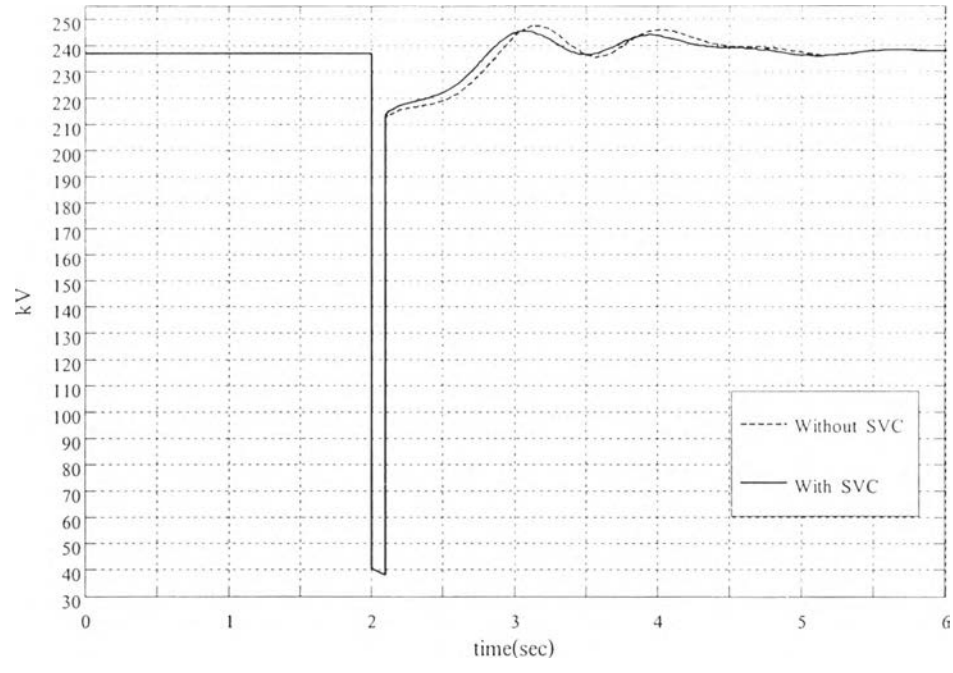
รูปที่ 5.33 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม



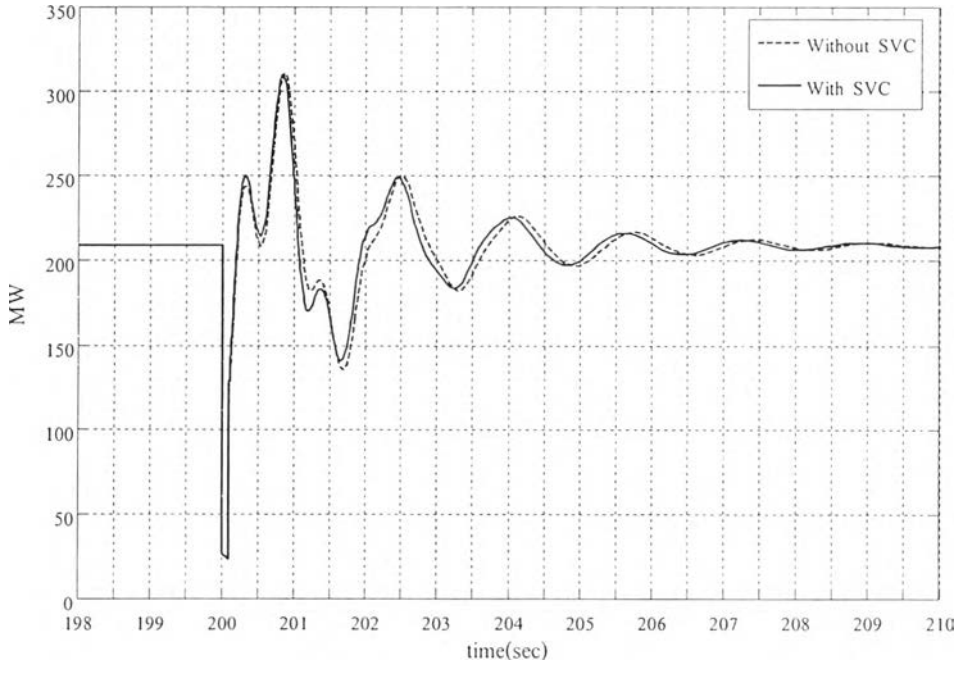
รูปที่ 5.34 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม



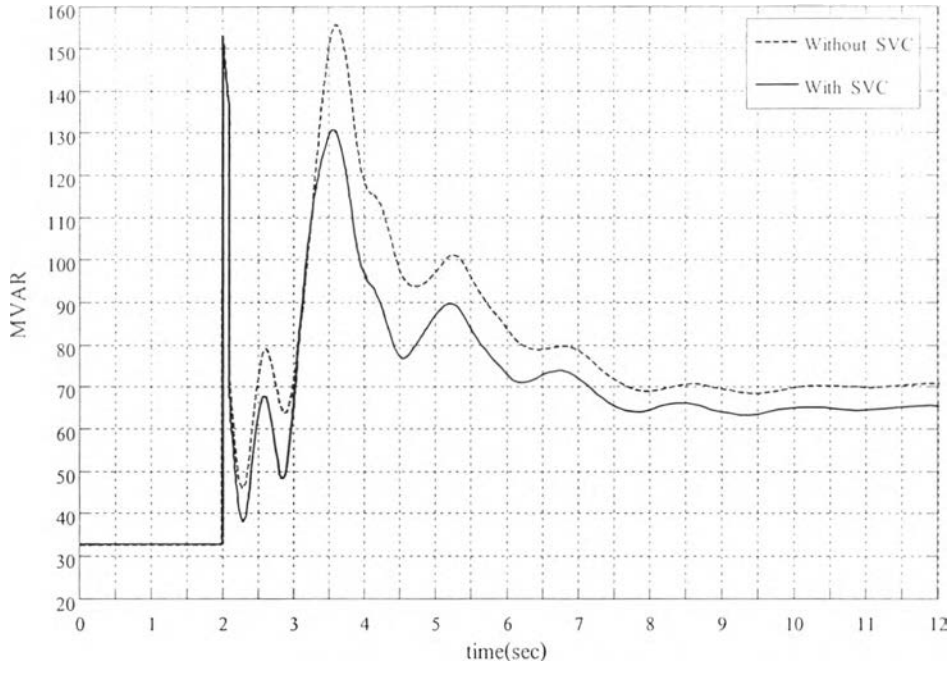
รูปที่ 5.35 ค่าการเปลี่ยนแปลงของความเร็วซิงโครนัสของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม



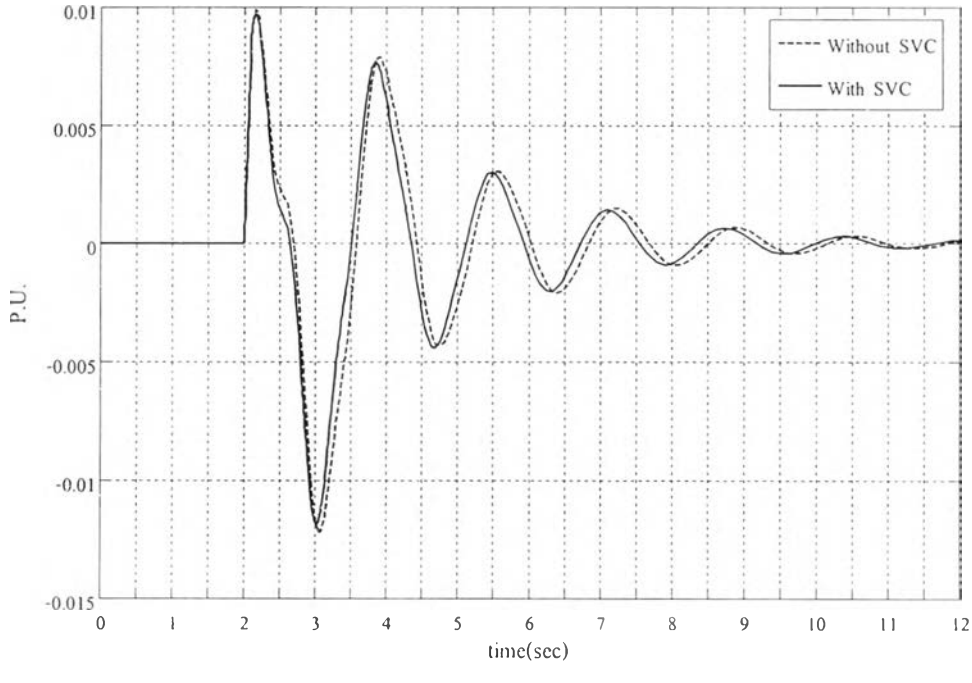
รูปที่ 5.36 แรงดันที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสรัชประภา



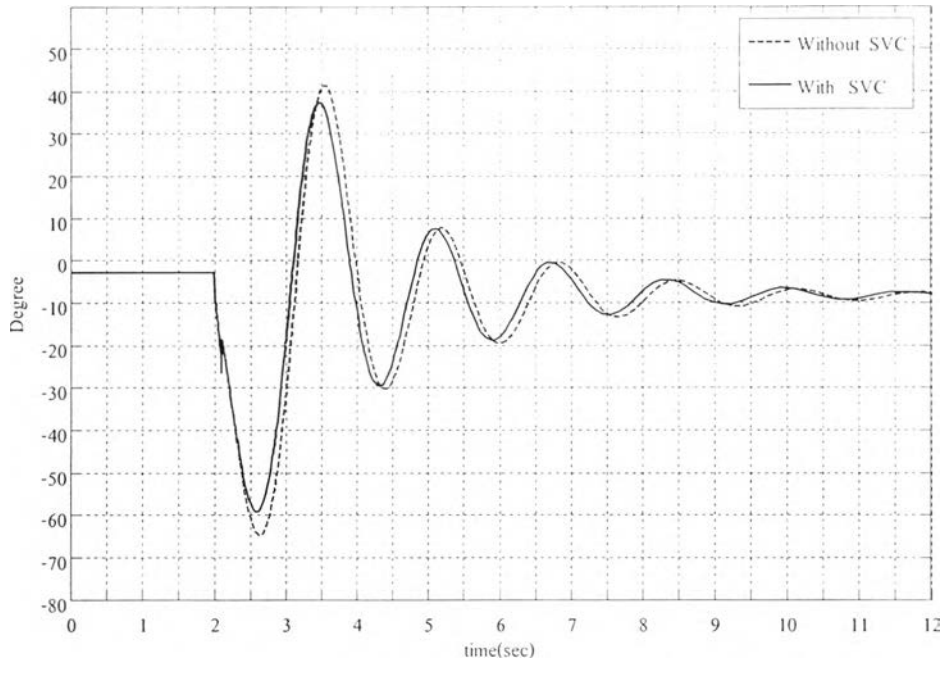
รูปที่ 5.37 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่รัชประภา



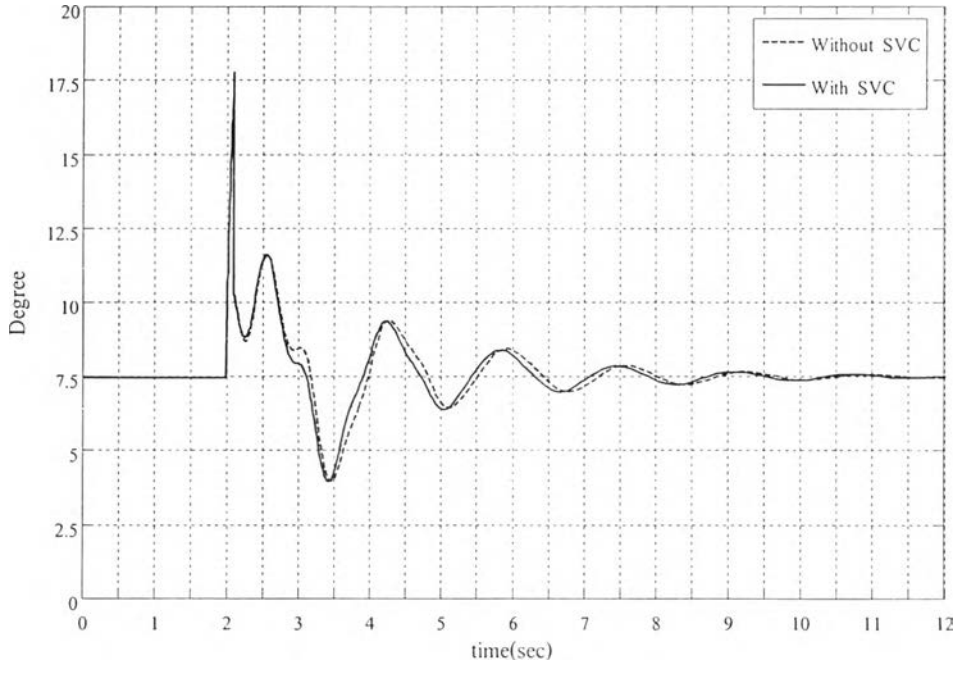
รูปที่ 5.38 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสรัชประภา



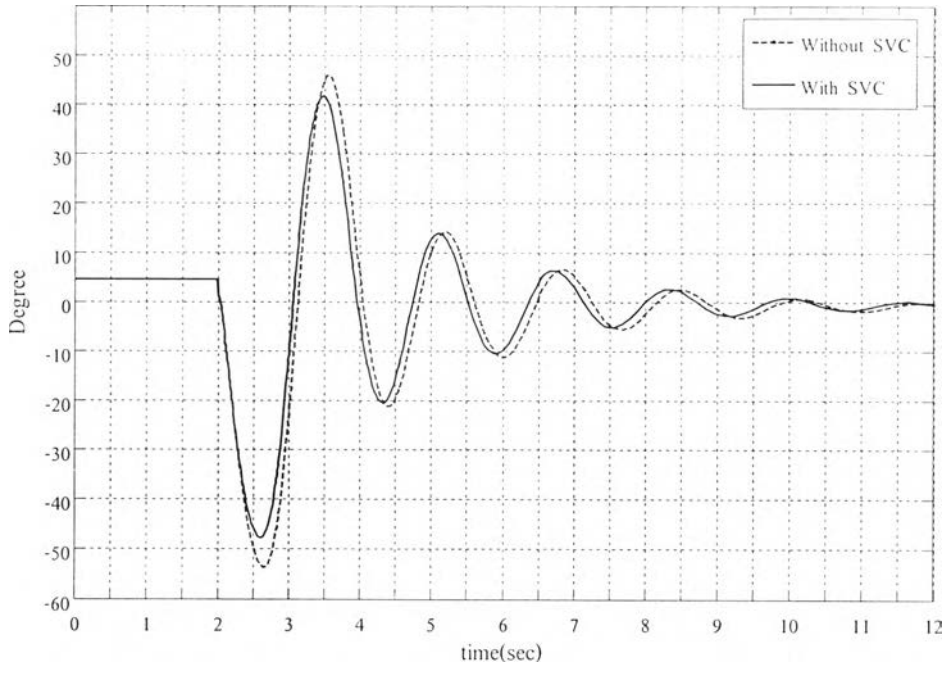
รูปที่ 5.39 ค่าการเปลี่ยนแปลงของความเร็วซิงโครนัสของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่รัชประภา



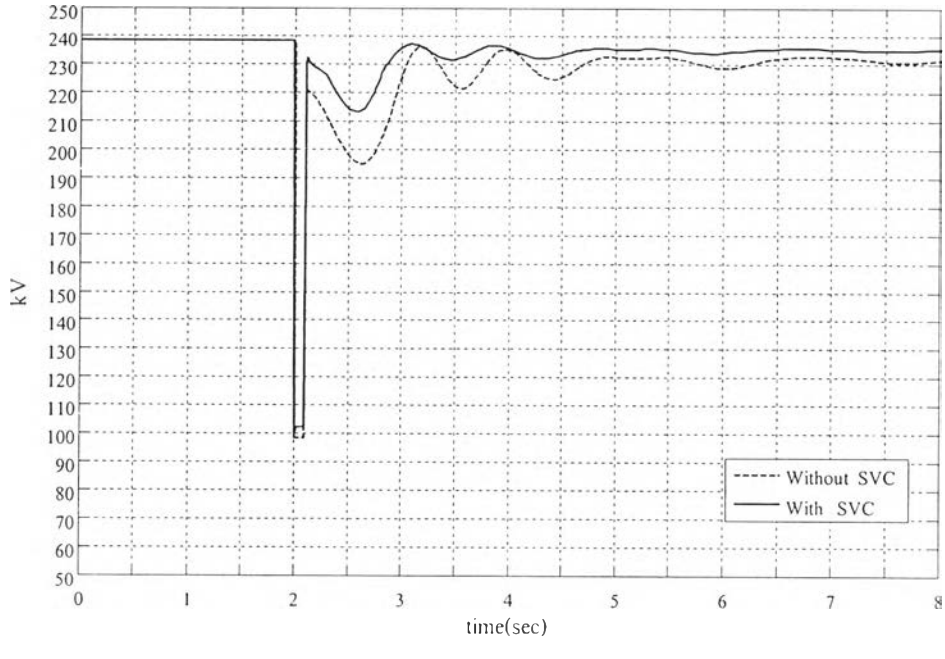
รูปที่ 5.40 ค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าที่บัสราชบุรีกับบัสขนอม



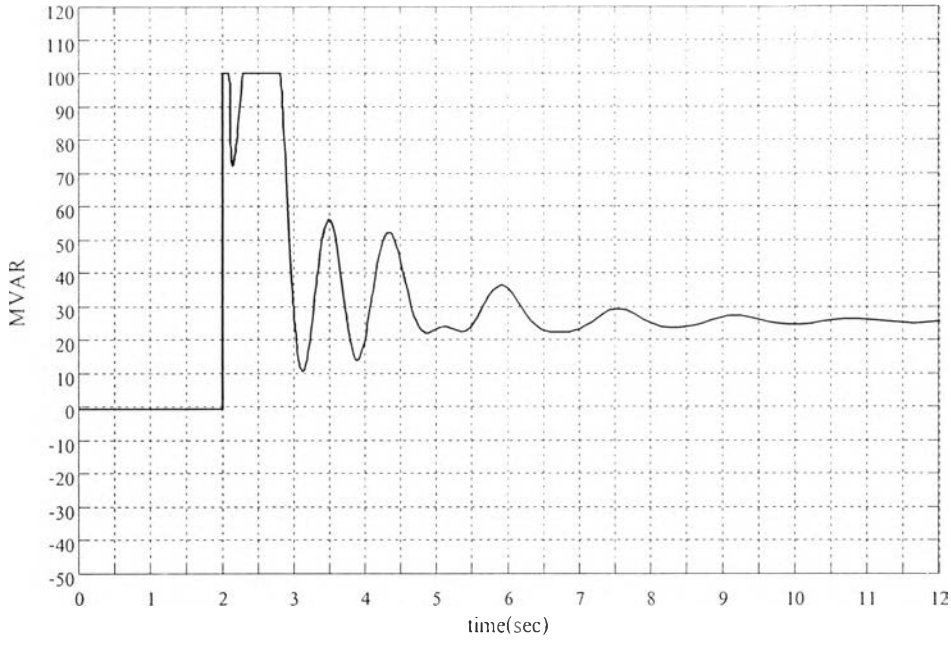
รูปที่ 5.41 ค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าที่บัสขนอมกับบัสรัชประภา



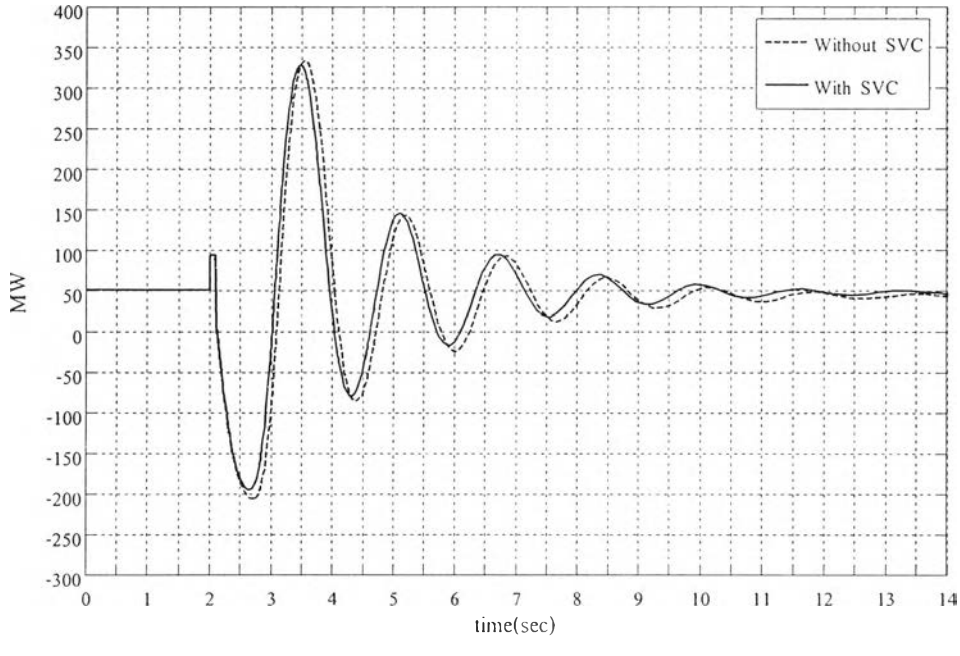
รูปที่ 5.42 ค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าที่บัสราชบุรีกับบัสรัชประภา



รูปที่ 5.43 แรงดันที่บัสบางสะพาน หรือที่บัสของ SVC



รูปที่ 5.44 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของ SVC ที่จ่ายให้กับระบบ



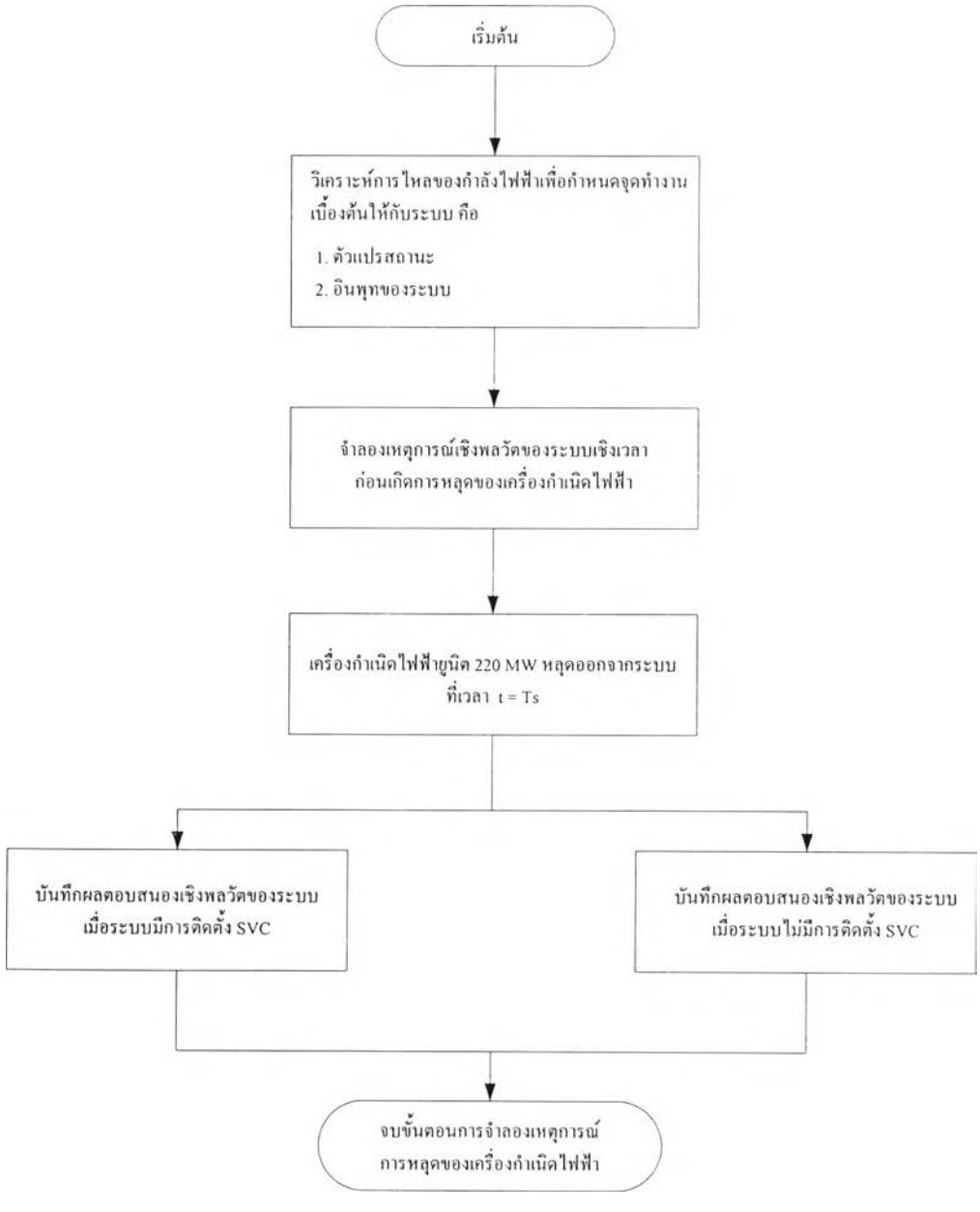
รูปที่ 5.45 กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัสประจวบคีรีขันธ์ไปบางสะพาน

จากรูปที่ 5.32 และรูปที่ 5.36 แสดงขนาดของแรงดันที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนอม และรัชประภาตามลำดับ โดยการแกว่งตัวของขนาดแรงดันลดลงเมื่อมี SVC ติดตั้งอยู่ในระบบเหมือนกับในกรณีศึกษาอื่น และจากรูปที่ 5.33 และ 5.37 แสดงกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกจากกลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนอม และรัชประภา ที่มีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าจริงค่าสูงสุดอยู่ที่ 250 MW และ 90 MW ตามลำดับ ก็ยังมีลักษณะของการแกว่งของกำลังไฟฟ้าจริงคล้ายกับในกรณีศึกษาที่ 1.1 เนื่องจากแทบไม่สังเกตเห็นการลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าจริงเลย ในกรณีที่ระบบมี SVC เปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มี SVC แต่สิ่งที่แตกต่างจากออกไปก็คือ ในรูปที่ 5.43 ขนาดแรงดันที่บัสของ SVC ในกรณีที่ไม่มี SVC ค่าแรงดันที่สภาวะอยู่ตัวจะตกลงไปจากค่าแรงดันที่จุดทำงานก่อนเกิดการลัดวงจรที่มีค่าเท่ากับ 238.4 kV มากกว่าในกรณีที่มีการติดตั้ง SVC เนื่องจากไม่มี SVC ที่จะช่วยยกระดับของแรงดันขึ้นมาให้มีค่าใกล้เคียงกับแรงดัน 238.4 kV อีกทั้งการแกว่งตัวของขนาดแรงดันในครั้งแรกยังมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของแรงดันที่กำหนดโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่มีค่าแรงดันต่ำสุดได้ไม่เกิน 218.5 kV แต่เมื่อติดตั้ง SVC ปัญหาเหล่านี้ก็หมดไป

จากกรณีศึกษาที่ได้ทำการทดลองทั้งหมดของเหตุการณ์ที่เกิดการลัดวงจรแบบสามเฟสลงกราวด์ขึ้นบนสายส่ง 1 เส้นในระบบก็จะพบว่าในกรณีศึกษาที่ 1.1 นั้นมีความน่าสนใจมากที่สุด เนื่องจากหลังจากที่สามารถตัดสายส่งที่เป็นสาเหตุของการลัดวงจรออกได้แล้ว การแกว่งตัวของค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดไม่ว่าจะเป็นของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีค่าสูงกว่ากรณีศึกษาที่ 1.2 คือ มีค่าอยู่ที่ 250 MW และ 90 MW แต่จะเท่ากับในกรณีศึกษาที่ 1.3 หรือ ของกำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลในสายส่งเส้นที่เชื่อมต่อระหว่างบัสไฟฟ้าบางสะพานกับบัสไฟฟ้าสุราษฎร์ธานีที่มีค่าเท่ากับ 300 MW ดังนั้นในกรณีศึกษาที่ 1.1 กับ 1.3 จึงถือว่ามีความรุนแรงของการลัดวงจรมากกว่ากรณีศึกษาที่ 1.2 และในบทต่อไปนั้นก็จะใช้กรณีศึกษาที่ 1.1 ในการศึกษาพฤติกรรมที่ภาวะชั่วครู่ของระบบกับการลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าด้วยตัวควบคุมแบบ POD ของ SVC เพราะเนื่องจากการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งเส้นที่เชื่อมต่อระหว่างบัสไฟฟ้าบางสะพานกับบัสไฟฟ้าสุราษฎร์ธานี จะเป็นจุดที่น่าสนใจที่สุดในการวิเคราะห์เรื่องเสถียรภาพในการส่งกำลังไฟฟ้าระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ ซึ่งในกรณีศึกษาที่ 1.3 สายส่งเส้นนี้จะถูกปลดออกไปหลังจากการกำจัดเรื่องของการลัดวงจรออกจากระบบ ในบทต่อไปจึงไม่ได้นำกรณีศึกษานี้ไปใช้ในการสังเกตพฤติกรรมของระบบ

5.3 ผลการจำลองเหตุการณ์การหลุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางยูนิตที่โรงไฟฟ้าขนอม

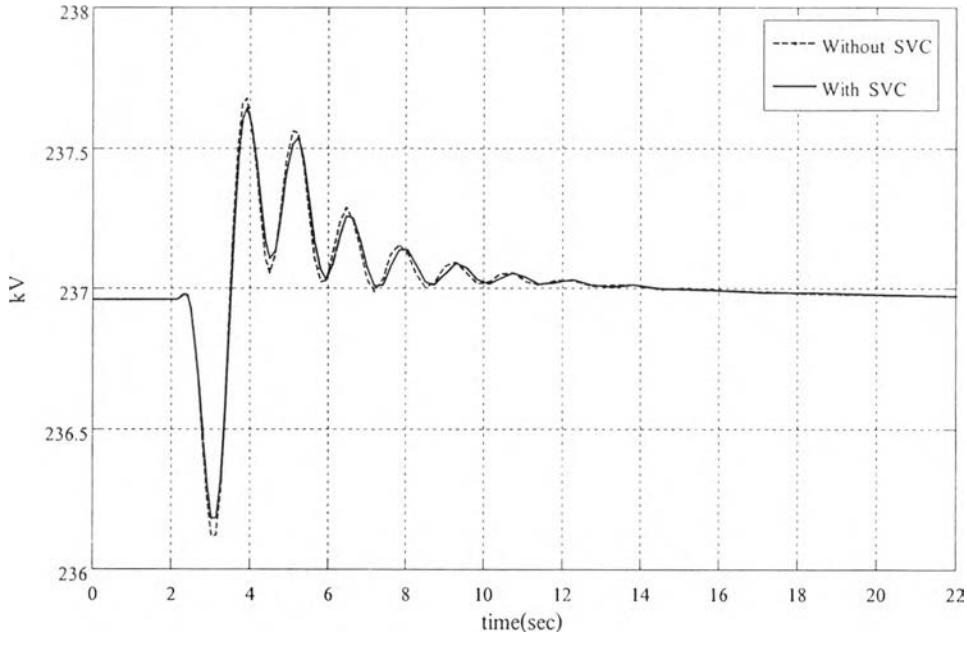
การจำลองเหตุการณ์ของการหลุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายูนิตที่มีกำลังการผลิตมีค่าเท่ากับ 220 MW ในโรงไฟฟ้าขนอมของระบบเชื่อมโยงการส่งกำลังไฟฟ้าระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ โดยมีขั้นตอนการจำลองเหตุการณ์ทั้งหมด ตั้งแต่เวลาเริ่มต้นของการจำลองเหตุการณ์จนถึงขั้นตอนสุดท้าย ดังแสดงในรูปที่ 5.46



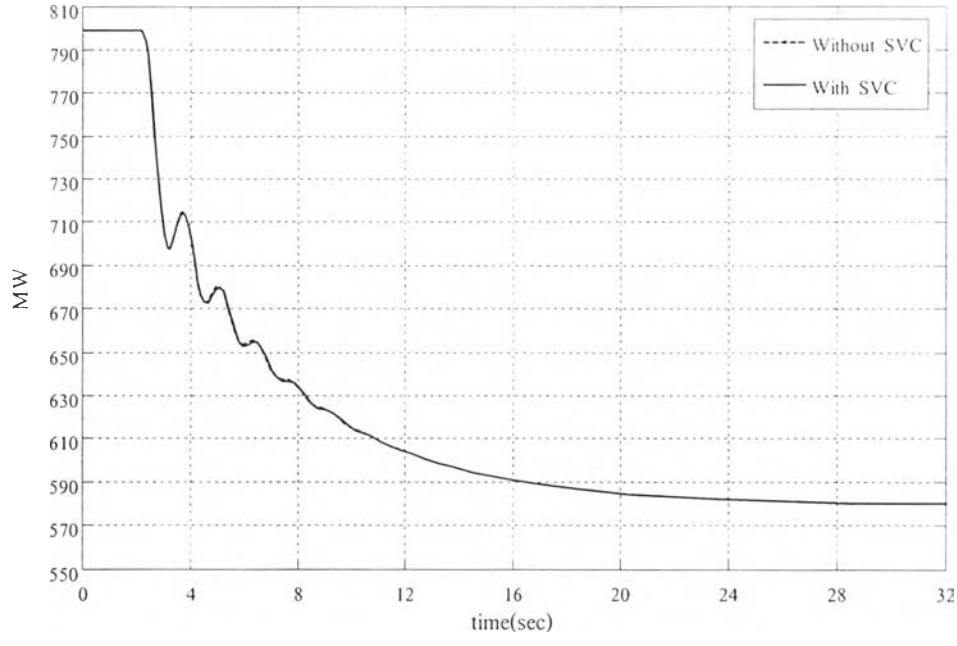
รูปที่ 5.46 แผนผังขั้นตอนการจำลองเหตุการณ์การหลุดของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายูนิต 220 MW ของโรงไฟฟ้าขนอม

5.3.1 กรณีศึกษาที่ 2.1 การหลุดออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดกำลังการผลิต 220 MW

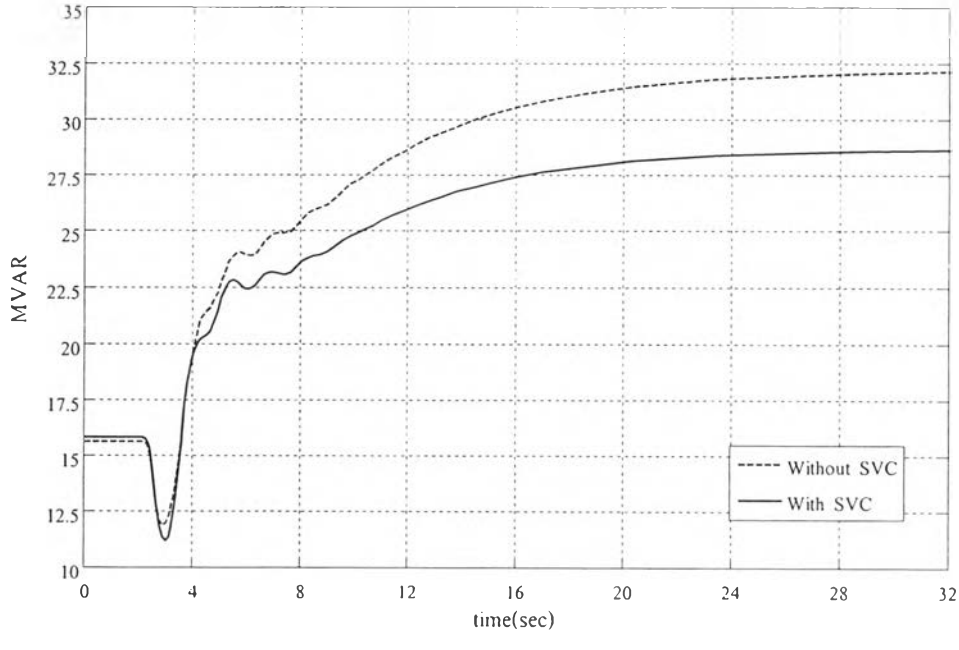
เมื่อเกิดความผิดพร่องที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ายูนิตที่กำลังจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงอยู่ที่ 220 MW และมีการปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายูนิตดังกล่าวออกที่เวลา $t = T_S = 2$ วินาที ทำให้กำลังการผลิตของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนอมมีค่ากำลังไฟฟ้าจริงเหลืออยู่เท่ากับ 800-220 = 570 MW และส่งผลให้ผลตอบสนองที่ภาวะชั่วครู่เป็นไปตามรูปที่ 5.47-รูปที่ 5.61



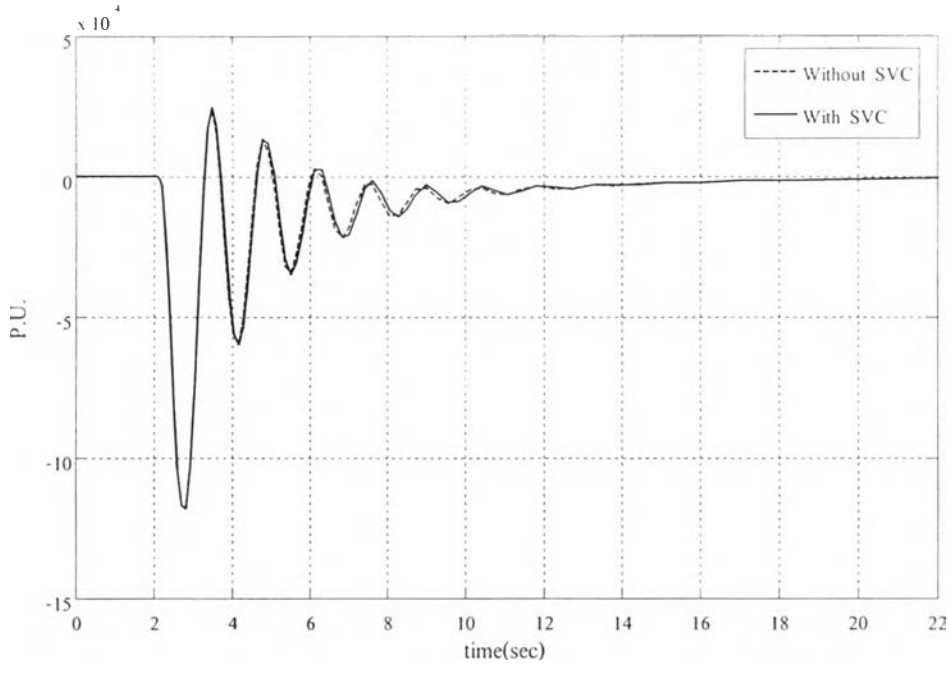
รูปที่ 5.47 แรงดันที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม



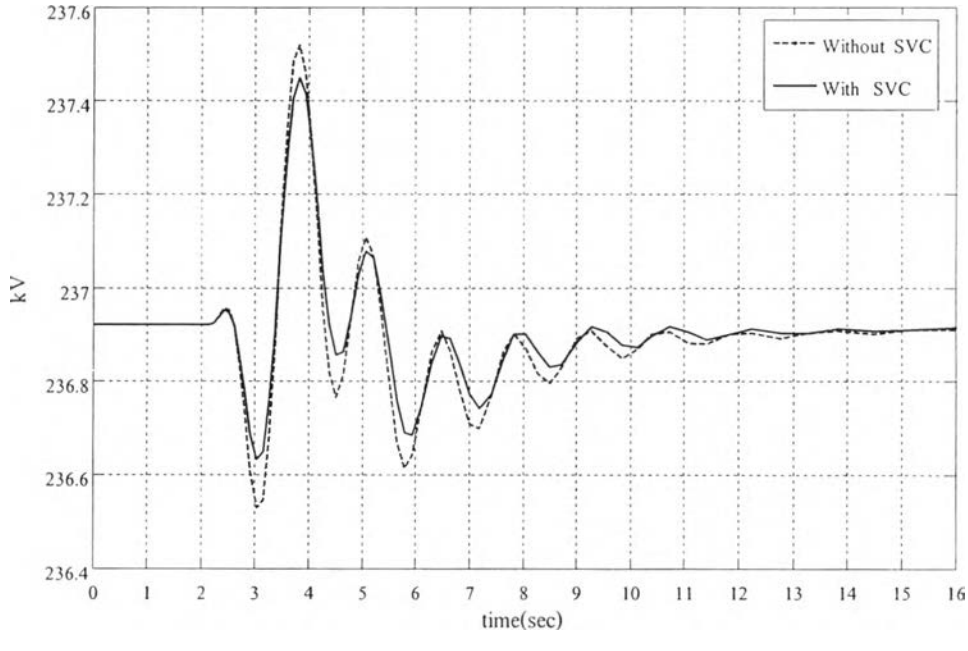
รูปที่ 5.48 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม



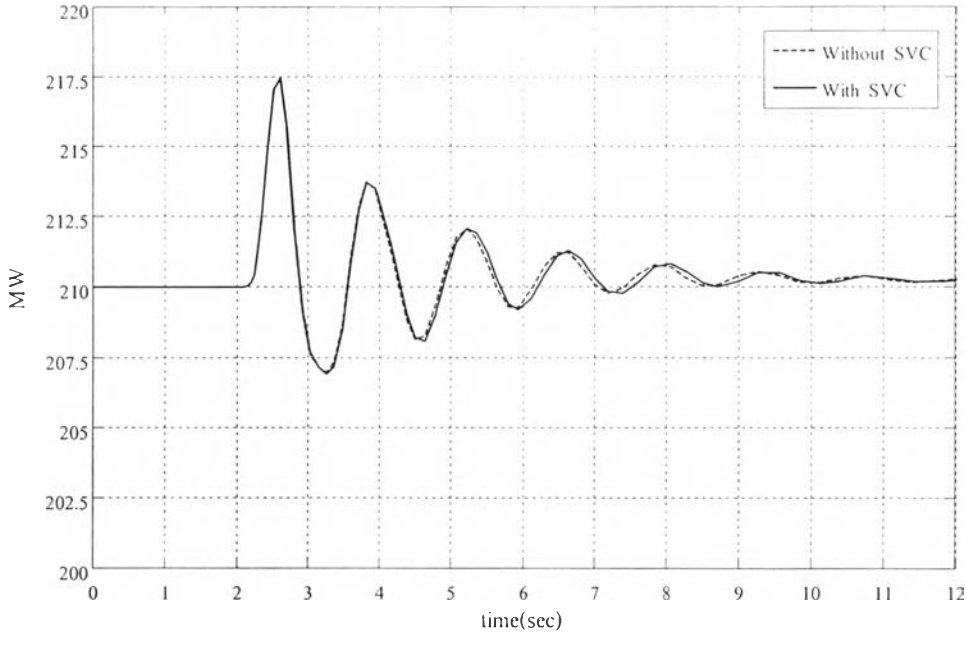
รูปที่ 5.49 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม



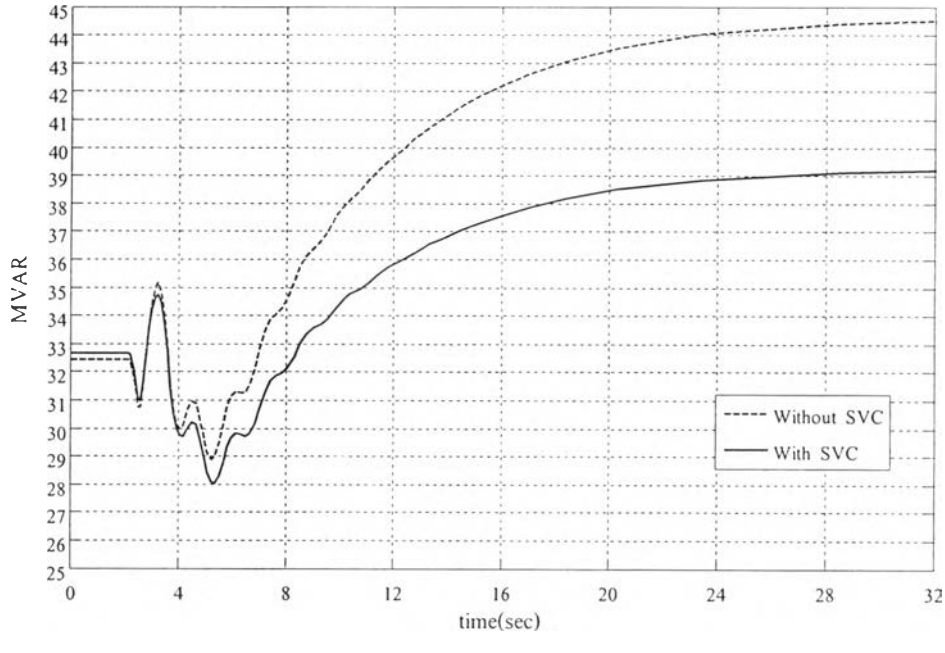
รูปที่ 5.50 ค่าการเปลี่ยนแปลงของความเร็วซิงโครนัสของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม



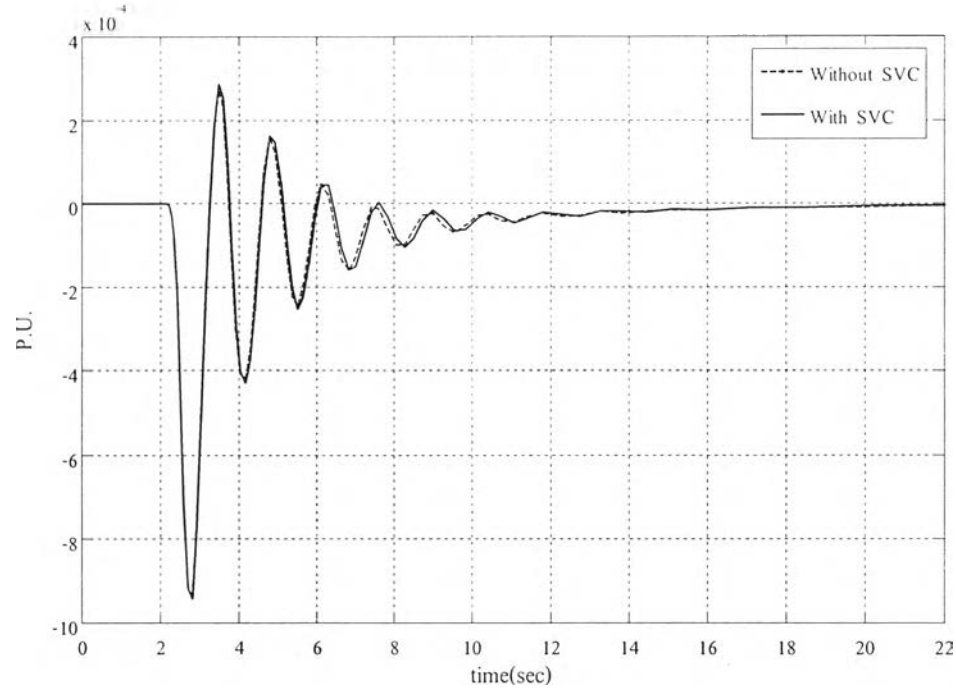
รูปที่ 5.51 แรงดันที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสรัชประภา



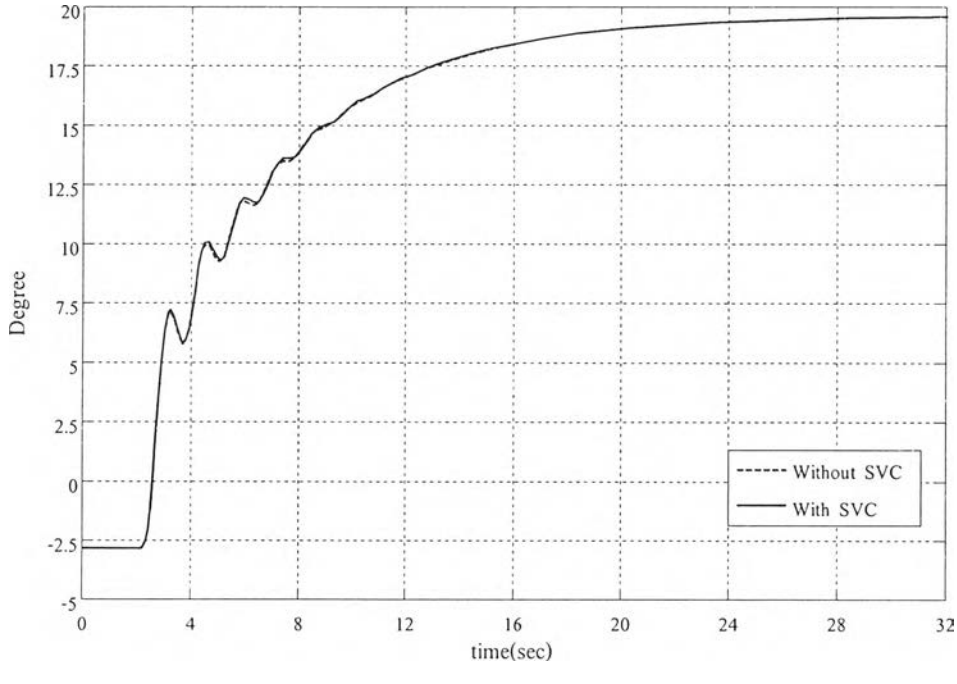
รูปที่ 5.52 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่รัชประภา



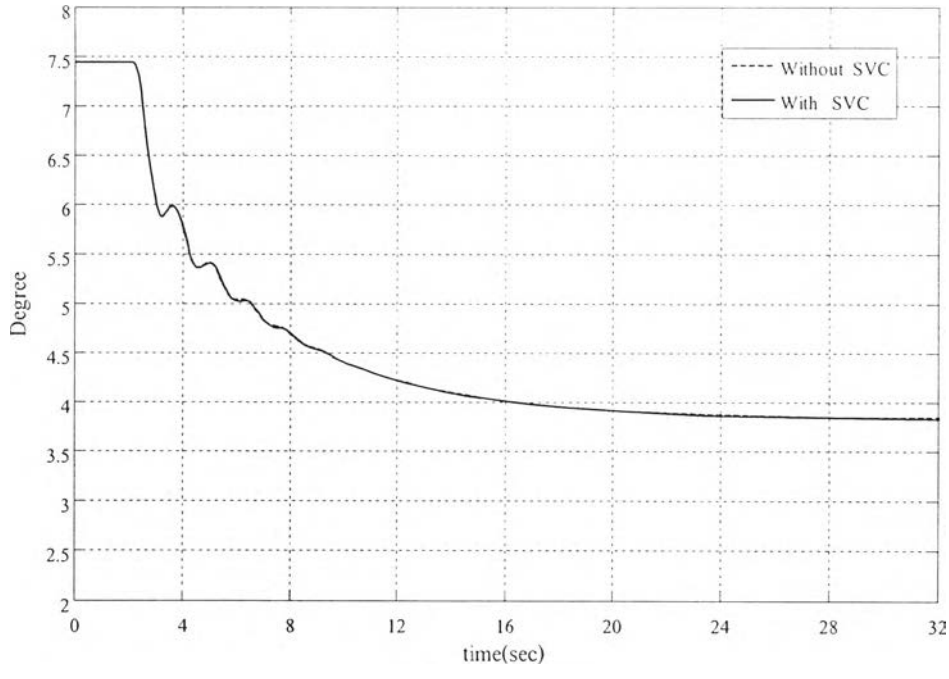
รูปที่ 5.53 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสรัชประภา



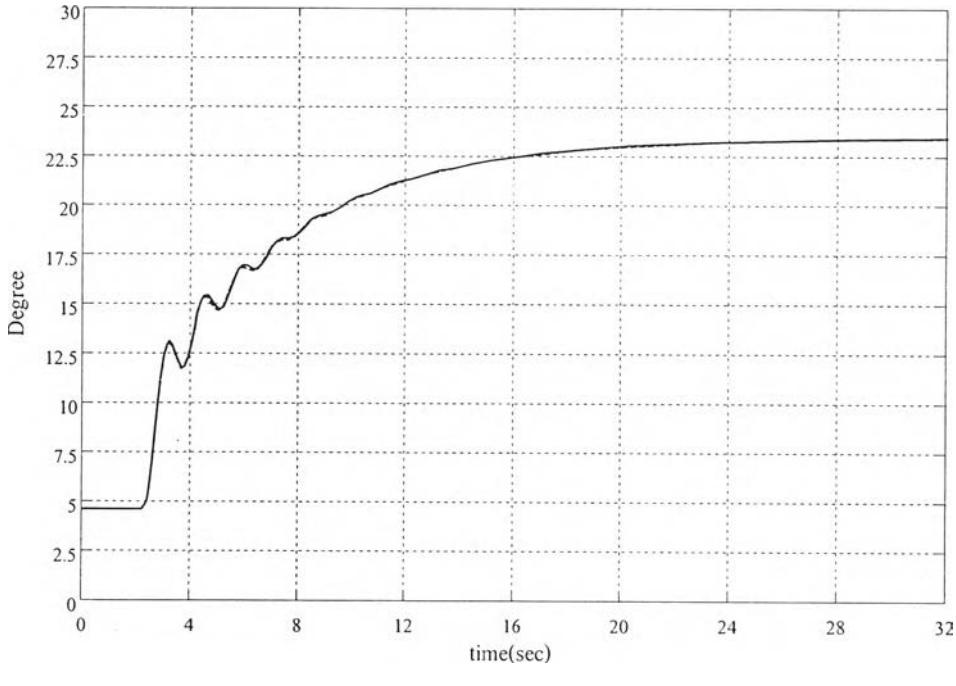
รูปที่ 5.54 ค่าการเปลี่ยนแปลงของความเร็วซิงโครนัสของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่รัชประภา



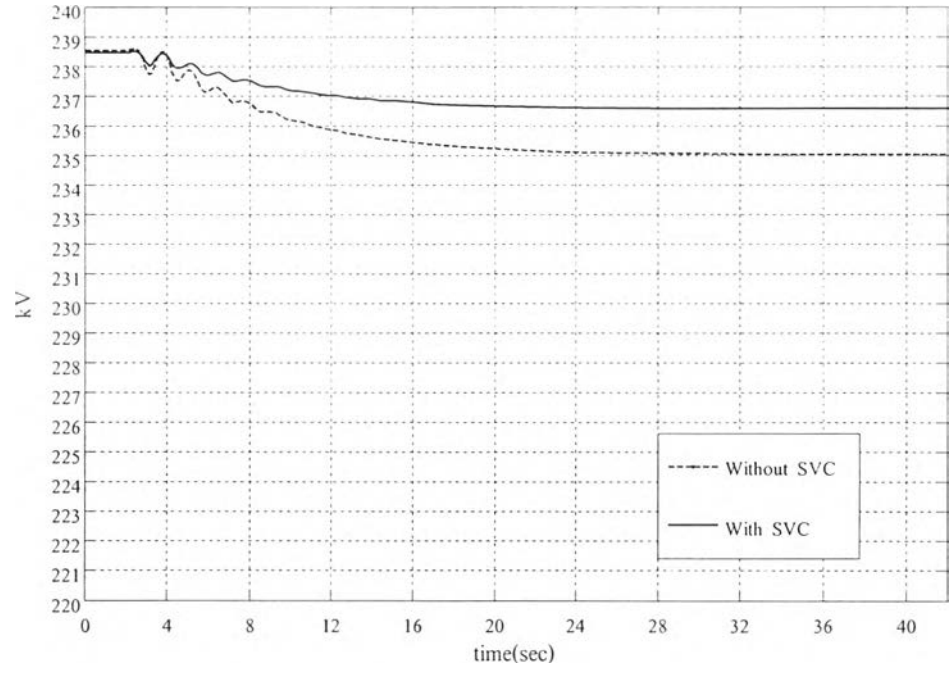
รูปที่ 5.55 ค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าที่บัสราชบุรีกับบัสขนอม



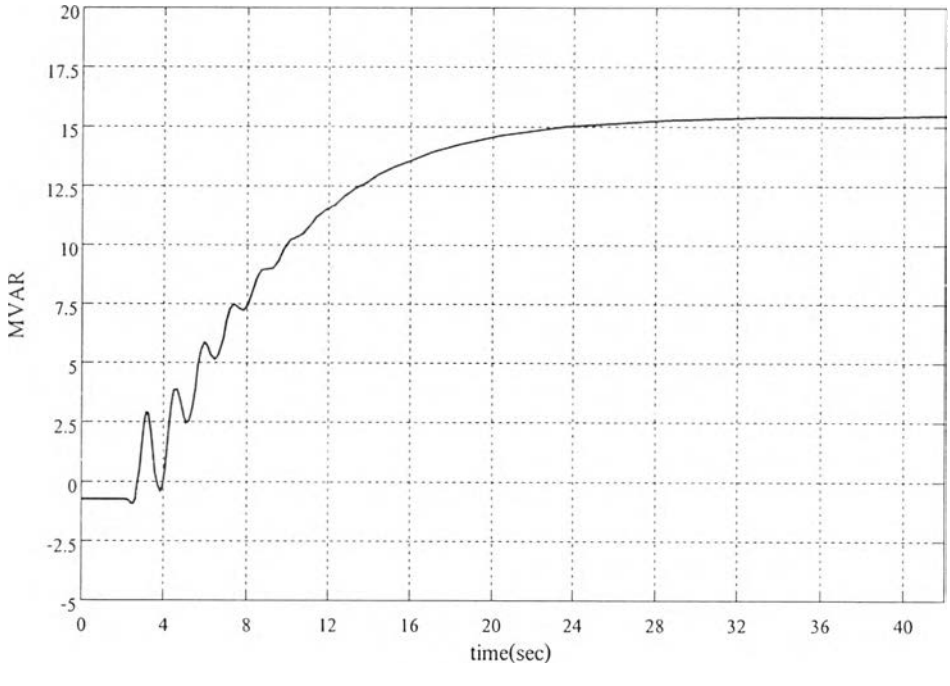
รูปที่ 5.56 ค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าที่บัสขนอมกับบัสรัชประภา



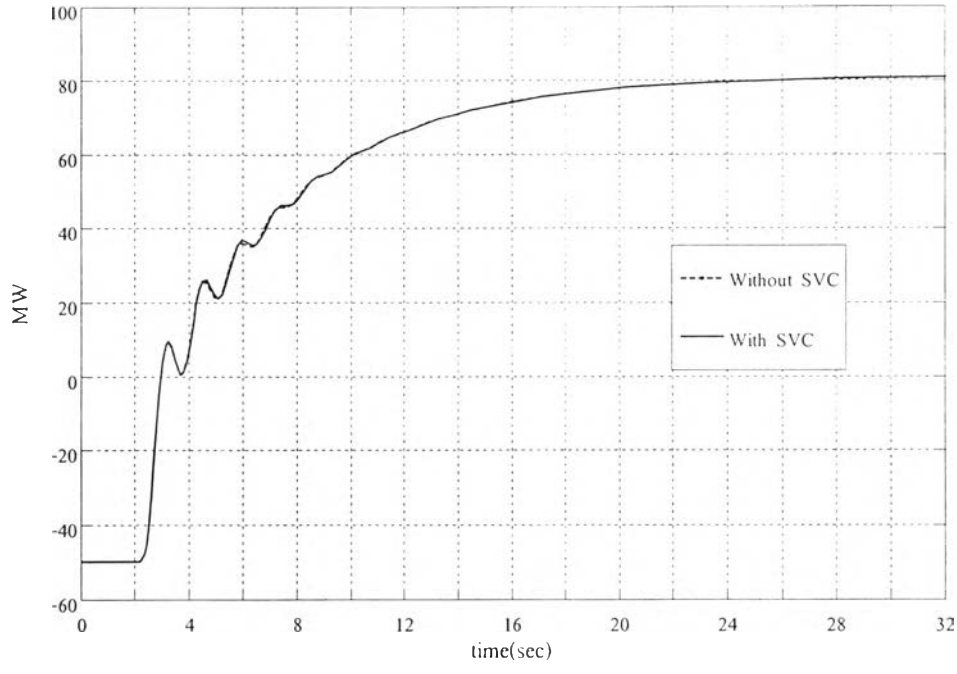
รูปที่ 5.57 ค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าที่บัสราชบุรีกับบัสรัชประภา



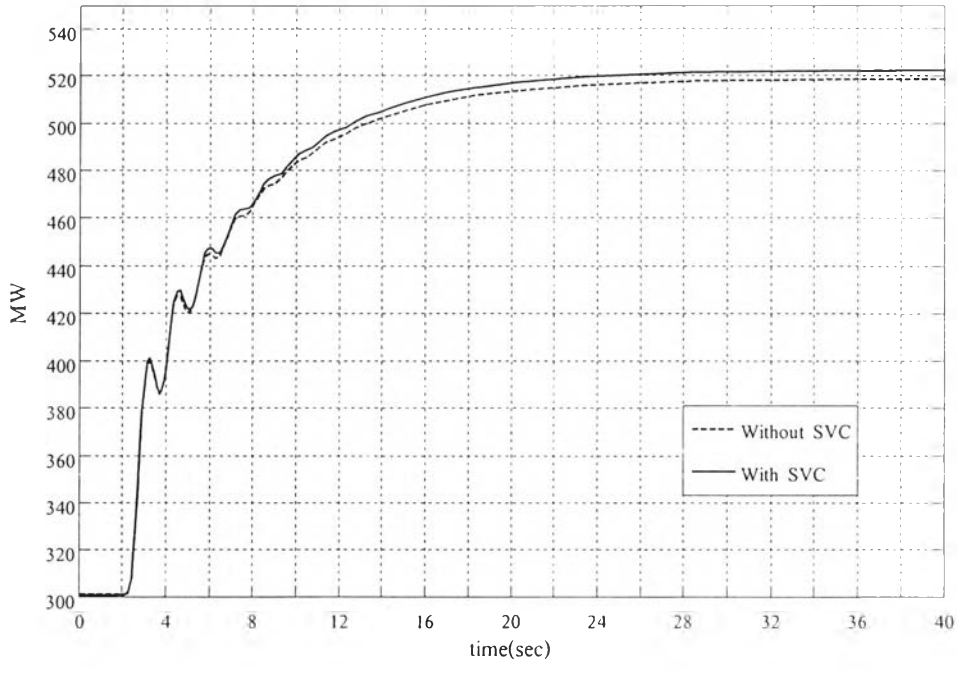
รูปที่ 5.58 แรงดันที่บัสบางสะพาน หรือที่บัสของ SVC



รูปที่ 5.59 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของ SVC ที่จ่ายให้กับระบบ



รูปที่ 5.60 กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัสบางสะพานไปสุราษฎร์ธานี



รูปที่ 5.61 กำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายจากกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสไฟฟ้าราชบุรี

ในกรณีศึกษาที่ 2.1 นี้จากรูปที่ 5.58 อุปกรณ์ SVC สามารถที่ช่วยในการรักษาระดับแรงดันที่บัสไฟฟ้าบางสะพานให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าแรงดันก่อนหน้าการเกิดการลัดวงจรได้มากกว่ากรณีที่ไม่มีการติดตั้ง SVC ไว้ในระบบ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าขนาดของแรงดันที่ภาวะอยู่ตัวมีค่าแตกต่างกันระหว่างกรณีที่มี SVC กับไม่มี SVC อยู่ในระบบมีค่าแตกต่างกันโดยประมาณเท่ากับ 1.5 kV ค่าขนาดแรงดันที่แตกต่างกันนี้จะส่งผลกระทบต่อค่ากำลังไฟฟ้าของโหลดที่บัสบางสะพานด้วย เนื่องจากโหลดมีแบบจำลองที่เป็นอิมพีแดนซ์ค่าคงที่ โดยค่ากำลังไฟฟ้าของโหลดแปรผันตามแรงดันที่บัสของโหลดยกกำลังสอง ดังนั้นจากรูปที่ 5.61 จึงสังเกตได้ว่าในกรณีที่ติดตั้ง SVC กำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายออกมาจากบัสราชบุรีจะมีค่ามากกว่าเล็กน้อยเนื่องจากสาเหตุดังกล่าว

ส่วนผลตอบสนองของการจ่ายกำลังรีแอคทีฟของแต่ละกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูปที่ 5.48 และรูปที่ 5.53 ก็ยังคงให้ผลในลักษณะที่คล้ายกับกรณีการเกิดการรบกวนขนาดใหญ่ในกรณีศึกษาอื่น ๆ ที่ได้แสดงไปแล้ว คือ SVC มีการช่วยกลุ่มของเครื่องกำเนิดในจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟให้กับระบบ และจากรูปที่ 5.60 จะเห็นว่ามีการกลับทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่เชื่อมต่อระหว่างบัสไฟฟ้าบางสะพานกับบัสไฟฟ้าสุราษฎร์ธานี เนื่องจากมีการช่วยเหลือในการส่งกำลังไฟฟ้าจริงลงมาจากภาคกลางโดยโรงไฟฟ้าราชบุรีขนาด 220 MW เพื่อทดแทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่หลุดออกไป นอกจากนี้ผลตอบสนองของระบบอื่นๆ ที่เหลือจะสังเกตได้ว่าว่าแทบจะไม่มีความแตกต่างของผลตอบสนองที่ภาวะชั่วครู่เลย ระหว่างกรณีที่ติดตั้ง SVC กับไม่ติดตั้ง SVC

5.4 สรุปผลการทดลอง

จากการเปรียบเทียบผลของการรักษาระดับแรงดันที่ภาวะชั่วครู่ของ SVC ที่ติดตั้งที่บัสไฟฟ้าบางสะพานของทุกกรณีแล้วพบว่า SVC สามารถทำงานช่วยลดช่วงการแกว่งของขนาดแรงดันได้อย่างเห็นได้ชัดเจนในกรณีศึกษาที่ 1.3 ระหว่างการที่ติดตั้งกับไม่ติดตั้ง SVC เข้าไปในระบบ และจะสังเกตเห็นได้ว่ากลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นมีการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟให้กับระบบลดลงเพราะมีการช่วยเหลือในการจ่ายกำลังรีแอคทีฟจาก SVC ในภาวะชั่วครู่ด้วย ทำให้ขนาดของแรงดันที่บัสไฟฟ้าที่มีกลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่มีการแกว่งตัวลดลงด้วย ส่วนในเรื่องของการลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในทุกกรณีของการรบกวนขนาดใหญ่ SVC ที่มีแต่ตัวควบคุมการรักษาระดับแรงดันจะไม่สามารถช่วยลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในระบบได้มากนักแต่สามารถสังเกตเห็นพฤติกรรมดังกล่าวได้จากกรณีศึกษาที่ 1.2 หรือในบางกรณีศึกษาอย่างเช่น ในกรณีที่ 1.3 SVC ก็แทบจะไม่ช่วยเลยในการลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้า นอกจากนี้ SVC ก็จะช่วยให้ขนาดแรงดันลู่เข้าสู่ค่าที่ภาวะอยู่ตัวได้เร็วขึ้นในหน่วยมิลิวินาที และช่วยยกระดับแรงดันในกรณีที่แรงดันตก ให้มีค่าที่ใกล้เคียงกับแรงดันอ้างอิงที่ตั้งไว้ที่อุปกรณ์ SVC