

การศึกษาพฤติกรรมที่ภาวะชั่วคราวของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ของประเทศไทย  
ภายใต้การรบกวนขนาดใหญ่ และการปรับปรุงเสถียรภาพที่ภาวะชั่วคราวของระบบโดยใช้ SVC



นายสมยศ ตันติภัทรกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-5084-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1 6 บ.ย. ๒๕๔

I 924 91312

THE STUDY OF TRANSIENT BEHAVIORS OF THE CENTRAL-TO-SOUTHERN THAILAND  
TRANSMISSION SYSTEM UNDER LARGE DISTURBANCES AND SYSTEM  
TRANSIENT STABILITY IMPROVEMENT USING SVC

Mr. Somyot Tantipattarakul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic year 2005

ISBN 974-17-5084-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาพฤติกรรมที่ภาวะชั่วคราวของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยง  
ระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ของประเทศไทยภายใต้การรบกวนขนาดใหญ่  
และการปรับปรุงเสถียรภาพที่ภาวะชั่วคราวของระบบโดยใช้ SVC

โดย

นายสมยศ ตันติภัทรกุล


สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา

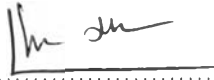
อาจารย์ ดร.แนบบุญ หุนเจริญ


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัญศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เชื้ออาภรณ์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ ดร.แนบบุญ หุนเจริญ)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.สมบุญ แสงวงศ์วานิชย์)

  
..... กรรมการ  
(ดร.ธนชัย ลิ้มปะสุวัฒน์)

สมยศ ตันติภักทรกุล: การศึกษาพฤติกรรมที่ภาวะชั่วคราวของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ของประเทศไทยภายใต้การรบกวนขนาดใหญ่ และการปรับปรุงเสถียรภาพที่ภาวะชั่วคราวของระบบโดยใช้ SVC. (THE STUDY OF TRANSIENT BEHAVIORS OF THE CENTRAL-TO-SOUTHERN THAILAND TRANSMISSION SYSTEM UNDER LARGE DISTURBANCES AND SYSTEM TRANSIENT STABILITY IMPROVEMENT USING SVC)  
 อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร.แนบบุญ หุนเจริญ, 188 หน้า. ISBN 974-17 -5084 -6.

การใช้งานระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ มีความสำคัญต่อการวางแผนกำลังการผลิต และส่งจ่ายไฟฟ้าของประเทศ การส่งกำลังไฟฟ้าจากภาคกลางลงมายังภาคใต้ หรือจากภาคใต้ขึ้นไปสู่ภาคกลาง มีข้อจำกัดเนื่องจากสภาพภูมิประเทศเป็นลักษณะคอคอด ในบริเวณดังกล่าวสายส่งสำคัญบางเส้นมีความยาวถึง 300 กม. ได้แก่ สายส่งเชื่อมโยงระหว่างสถานีไฟฟ้าบางสะพานกับสถานีไฟฟ้าสุราษฎร์ธานี การใช้งานสายส่งดังกล่าวอาจมีผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบ โดยรวม ซึ่งในการใช้งานจะต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษเพื่อลดโอกาสการเกิดไฟฟ้าดับบริเวณกว้าง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการสร้างแบบจำลองเชิงพลวัตของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ พร้อมทั้งแบบจำลองอุปกรณ์ชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสถิต(Static Var Compensator : SVC) ที่ติดตั้งอยู่ที่สถานีไฟฟ้าบางสะพาน เพื่อทำการศึกษาพฤติกรรมที่ภาวะชั่วคราวของระบบดังกล่าวภายใต้การรบกวนขนาดใหญ่ที่สำคัญ ได้แก่ การลัดวงจรแบบสามเฟสลงกราวด์บนสายส่ง และการหลุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางชนิดในโรงไฟฟ้า นอกจากนี้ได้ศึกษาการปรับปรุงเสถียรภาพที่ภาวะชั่วคราวของระบบโดยใช้ SVC ที่ออกแบบควบคุมเพื่อรักษาระดับแรงดัน และเพื่อลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง

ภาควิชา \_\_\_\_\_ วิศวกรรมไฟฟ้า \_\_\_\_\_ ลายมือชื่อนิสิต \_\_\_\_\_ สมยศ ตันติภักทรกุล  
 สาขาวิชา \_\_\_\_\_ วิศวกรรมไฟฟ้า \_\_\_\_\_ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา \_\_\_\_\_ In-son  
 ปีการศึกษา \_\_\_\_\_ 2548 \_\_\_\_\_

## 4770486621 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: STATIC VAR COMPENSATOR / SVC / THAILAND TRANSMISSION SYSTEM

SOMYOT TANTIPATTARAKUL : THE STUDY OF TRANSIENT BEHAVIORS OF THE  
CENTRAL-TO-SOUTHERN THAILAND TRANSMISSION SYSTEM UNDER LARGE  
DISTURBANCES AND SYSTEM TRANSIENT STABILITY IMPROVEMENT USING  
SVC. THESIS ADVISOR :Mr.NAEBBOON HOONCHAREON,Ph.D., 188 pp.  
ISBN 974-17-5084 -6.

Operation of the Central-to-Southern Thailand transmission system is crucial for generation planning and power transmitting of the country. The electric power wheeling from the Central part to the Southern region, or in the reverse direction, has been limited mainly due to bottle-neck shape of the geographical landscape within these two interconnected areas. One of the critical transmission lines has its length upto 300 km, which is the line connecting between the Bang-Saphan and Surat-Thani substations. The use of such line has significant stability impact of the overall system, and hence requires special attention from system operators in order to avoid an occurrence of wide-area blackout.

In this thesis, dynamic models of the Central-to-Southern Thailand transmission system, and of the SVC device which is installed at the Bang-Saphan substation, have been constructed. The models are used to study transient behaviors of the system under large disturbances such as three-phase fault on transmission lines and generator outage. Additionally, how to employ SVC with voltage regulation and power oscillation damping controls, to improve transient stability of the interconnected system has been examined.

Department Electrical Engineering Student's signature Somyot T.  
Field of study Electrical Engineering Advisor's signature Naebboon Hoonchareon  
Academic year 2005

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่านด้วยกัน ก่อนอื่นข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา ของข้าพเจ้าที่คอยสนับสนุนทางการศึกษา มาโดยตลอด และให้กำลังใจเป็นอย่างดี นอกจากนี้แล้วข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อ.ดร. แนนบุญ หุนเจริญ ที่ช่วยดูแล ตรวจสอบ และให้คำแนะนำต่างๆ รวมถึงให้กำลังใจในยามที่ข้าพเจ้าห่อถอย ในการทำวิทยานิพนธ์ นอกจากนี้ยังได้รับคำปรึกษาที่ดีทางด้านแนวคิดในเรื่องการศึกษาระบบส่ง กำลังไฟฟ้าเชิงพลวัตเพิ่มเติมจาก รศ.ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่ง ประกอบไปด้วย อ.ดร. สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์ ดร.ชนชัย ลิ้มปะสุวรรณ ที่ได้เสียสละเวลาในการ ตรวจสอบแก้ไข รวมถึงให้คำแนะนำจนทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณองค์กรที่ให้การสนับสนุนมาโดยตลอด คือ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะ ด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ทุน “ศิษย์ก้นกุฏิ ปีการศึกษา 2547” เป็นทุนทรัพย์แก่ข้าพเจ้าในการเรียนต่อ ในระดับปริญญาโท ครอบคลุมระยะเวลา 2 ปี การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่เอื้อเพื่อ ข้อมูลระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนกับความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ที่ไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ตลอดจนคณาจารย์ที่ได้ให้วิชาความรู้แก่ข้าพเจ้าในทุกแขนงวิชา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ฉ
สารบัญภาพ .....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ .....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงาน .....	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ .....	3
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ .....	4
2. ระบบส่งไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ และการใช้งาน SVC .....	5
2.1 ระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ของประเทศไทย .....	5
2.1.1 ความสำคัญ และที่มา .....	5
2.1.2 ลักษณะทางกายภาพของระบบ .....	6
2.1.3 การศึกษาพฤติกรรมที่ภาวะชั่วคราว และการปรับปรุงเสถียรภาพของระบบ ด้วย SVC .....	7
2.1.4 อุปกรณ์ SVC ที่ติดตั้งในระบบ .....	8
2.2 อุปกรณ์ชดเชยกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟแบบสถิต .....	9
2.2.1 นิยาม และประเภทของ SVC .....	10
2.2.2 การประยุกต์ใช้งาน SVC ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า .....	11
2.2.2.1 การรักษาระดับแรงดันให้คงที่ ณ จุดกึ่งกลางของสายส่ง .....	11
2.2.2.2 การหน่วงการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่ภาวะชั่วคราว .....	14
2.2.2.3 การปรับปรุงเสถียรภาพของระบบที่ภาวะชั่วคราว .....	16
2.2.2.4 การป้องกันการสูญเสียเสถียรภาพของแรงดัน .....	17

บทที่	หน้า
2.3 ตัวอย่างการติดตั้ง SVC ใช้งานในระบบส่งไฟฟ้าจริง	19
2.4 สรุปผลงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวกับการใช้งาน SVC	20
2.4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการรักษาเสถียรภาพของแรงดัน	20
2.4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้า	21
3. ทฤษฎีบท และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ SVC	22
3.1 องค์ประกอบทางกายภาพของ SVC	22
3.2 โหมดการทำงานพื้นฐาน	23
3.2.1 โหมดการควบคุมแบบเชิงเส้น	23
3.2.2 โหมดขีดจำกัดตัวเก็บประจุ	24
3.2.3 โหมดขีดจำกัดตัวเหนี่ยวนำ	24
3.3 คุณลักษณะการทำงานของ SVC	26
3.3.1 กราฟคุณลักษณะการทำงานของ TCR	26
3.3.2 กราฟคุณลักษณะการทำงานของ TCR-FC	29
3.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ SVC	32
3.4.1 แบบจำลองที่ภาวะอยู่ตัว	32
3.4.2 แบบจำลองเชิงพลวัต	37
4. การพัฒนาแบบจำลองของระบบผลิต และส่งกำลังไฟฟ้า	51
4.1 องค์ประกอบโดยรวมของระบบ	51
4.2 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	52
4.3 แบบจำลองของระบบส่งกำลังไฟฟ้า	54
4.4 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ภาวะชั่วครู่ของระบบผลิต และส่งกำลังไฟฟ้า	56
4.4.1 การคำนวณหาจุดทำงาน และค่าเริ่มต้นของตัวแปรสถานะของระบบ 9 บัส	58
4.4.2 ผลตอบสนองที่ภาวะชั่วครู่ของระบบ 9 บัส	61
4.5 ระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ของประเทศไทย	65
5. พฤติกรรมที่ภาวะชั่วครู่ของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ โดยใช้ SVC รักษาระดับแรงดัน	69
5.1 ที่มาของการพิจารณาเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระบบ	69
5.2 ผลการจำลองเหตุการณ์ลัดวงจรแบบสามเฟสลงกราวด์บนสายส่ง 1 เส้น	73



5.2.1	กรณีศึกษาที่ 1.1 การลัดวงจรบนสายส่งระบบ 115 kV เชื่อมโยงระหว่าง บัสไฟฟ้าสุราษฎร์ธานีกับบัสไฟฟ้าหลังสวน ที่ตำแหน่งใกล้กับบัสไฟฟ้า สุราษฎร์ธานี .....	74
5.2.2	กรณีศึกษาที่ 1.2 การลัดวงจรบนสายส่งระบบ 115 kV เชื่อมโยงระหว่าง บัสไฟฟ้าชุมพรกับบัสไฟฟ้าหลังสวน ที่ตำแหน่งใกล้กับบัสไฟฟ้าชุมพร .....	82
5.2.3	กรณีศึกษาที่ 1.3 การลัดวงจรบนสายส่งระบบ 230 kV เชื่อมโยงระหว่าง บัสไฟฟ้าบางสะพานกับบัสสุราษฎร์ธานี ที่ตำแหน่งใกล้กับบัสไฟฟ้า สุราษฎร์ธานี .....	90
5.3	ผลการจำลองเหตุการณ์การหลุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางยูนิตที่โรงไฟฟ้าขนอม .....	99
5.3.1	กรณีศึกษาที่ 2.1 การหลุดออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดกำลัง การผลิต 220 MW .....	100
5.4	สรุปผลการทดลอง .....	108
6.	การปรับปรุงสมรรถนะของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ โดยใช้ SVC รักษาแรงดันและลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้า .....	109
6.1	แบบจำลองเชิงพลวัตของตัวควบคุม POD .....	109
6.2	การออกแบบตัวควบคุม POD .....	110
6.2.1	การออกแบบตัวควบคุม POD ด้วยการย้ายตำแหน่งค่ารากขั้ว .....	110
6.2.2	การออกแบบตัวควบคุม POD สำหรับระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่าง ภาคกลางกับภาคใต้ .....	112
6.3	ผลการจำลองเหตุการณ์ลัดวงจรแบบสามเฟสลงกราวด์บนสายส่ง 1 เส้น .....	121
6.3.1	การใช้อินพุทป้อนให้กับตัวควบคุม POD เป็นแบบกำลังไฟฟ้าจริง ที่ไหลในสายส่ง .....	121
6.3.2	การเปรียบเทียบประเภทอินพุทที่ป้อนให้กับตัวควบคุม POD .....	130
6.3.3	การนำตัวควบคุม POD ไปใช้ในกรณีศึกษาอื่น ๆ .....	132
6.4	ผลกระทบต่อกราวด์ของกำลังไฟฟ้าจากการเปลี่ยนแปลงอัตราขยายของตัว ควบคุมแบบ POD ที่ออกแบบด้วยวิธีการย้ายตำแหน่งค่ารากขั้ว .....	135
6.5	ผลของการเลือกสัญญาณควบคุมป้อนเข้าให้กับตัวควบคุมแบบ POD .....	139
6.5.1	การเลือกสัญญาณอินพุทของตัวควบคุม POD ที่เป็นขนาดของกระแส .....	140
6.5.2	การเลือกสัญญาณอินพุทของตัวควบคุม POD ที่เป็นกระแสส่วนจริง .....	146
6.5.3	การเลือกสัญญาณอินพุทของตัวควบคุม POD ที่เป็นกำลังไฟฟ้าจริง .....	153

บทที่	หน้า
6.6 สรุปผลการทดลอง .....	161
7. สรุป และข้อเสนอแนะ .....	162
7.1 สรุปผลการวิจัย .....	162
7.2 ข้อเสนอแนะ .....	164
รายการอ้างอิง .....	165
ภาคผนวก .....	168
ภาคผนวก ก. ข้อมูลของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ .....	169
ภาคผนวก ข. วิธีการประมาณค่าอัตราการหน่วงของระบบจากสัญญาณ .....	186
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	188

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ข้อมูลขนาดกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับโหลดภาคใต้ [18].....	7
2.2 ข้อมูลของอุปกรณ์ SVC ที่ติดตั้ง ณ สถานีไฟฟ้าบางสะพาน [18].....	9
4.1 ผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบ 9 บัสบนฐาน 100 MVA ที่ยังไม่ได้รวมค่าอิมพีแดนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า .....	57
4.2 ผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบ 9 บัสบนฐาน 100 MVA ที่รวมค่าอิมพีแดนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า .....	57
4.3 ข้อมูลขนาดกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตำแหน่งในระบบ[18].....	66
4.4 ข้อมูลของอุปกรณ์ SVC ที่ต่อกับระบบ[18].....	66
6.1 ค่าเจาะจงของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้.....	115
6.2 ค่าเวลาเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว และค่าเปอร์เซ็นต์การแกว่งสูงสุดของเอทพุทที่ตรวจวัด.....	129

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 แผนภาพเส้นเดียวของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางและภาคใต้แบบลดจำนวนบัส และสายส่ง[18]	6
2.2 แผนภาพเส้นเดียวของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางและภาคใต้ที่จะศึกษาพฤติกรรมที่ภาวะชั่วคราว	8
2.3 การชดเชยแบบขนานในอุดมคติของระบบส่งกำลังไฟฟ้าแบบ 2 บัส[14]	12
2.4 การรักษาระดับแรงดันที่จุดกึ่งกลางด้วยการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ [15]	13
2.5 การติดตั้งตัวชดเชยแบบขนานหลายตัวร่วมกัน[14]	14
2.6 การลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าโดย SVC [14]	15
2.7 การพิจารณาเสถียรภาพในภาวะชั่วคราวของระบบส่งกำลังไฟฟ้าโดยหลักเกณฑ์พื้นที่เท่ากัน [14]	16
2.8 การเพิ่มขีดจำกัดสำรองของเสถียรภาพที่ภาวะชั่วคราวให้กับระบบส่งกำลังไฟฟ้าด้วย SVC[14]	17
2.9 การเปลี่ยนแปลงของเสถียรภาพทางแรงดันกับ โหลดของสายส่งแบบรีซีมี[14]	18
3.1 องค์ประกอบทางกายภาพของ SVC แบบ TCR-FC	22
3.2 วงจรสมมูลของ SVC ในโหมดการควบคุมแบบเชิงเส้น	23
3.3 วงจรสมมูลของ SVC ในโหมดขีดจำกัดตัวเหนี่ยวนำ	24
3.4 วงจรสมมูลของ SVC ในโหมดขีดจำกัดตัวเก็บประจุ	25
3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์ของ SVC กับมุมจุดชนวน	25
3.6 วงจรสมมูลของ TCR	26
3.7 กราฟคุณลักษณะการทำงานของ TCR กรณีไม่มีการควบคุมค่าแรงดัน	27
3.8 กราฟคุณลักษณะการทำงานของ TCR กรณีมีการควบคุมแรงดัน	28
3.9 คุณลักษณะการทำงานของ TCR-FC ที่ไม่มีการต่อหม้อแปลงลดระดับแรงดัน	29
3.10 คุณลักษณะการทำงานของ TCR-FC ที่มีการต่อหม้อแปลงลดระดับแรงดัน	31
3.11 โครงสร้างพื้นฐานของ TCR แบบเฟสเดียว	32
3.12 รูปคลื่นของกระแส และแรงดันของ TCR ที่มุมจุดชนวนต่างกัน	33
3.13 กราฟคุณสมบัติการควบคุมค่าซัสเซปแดนซ์ของ TCR	36
3.14 องค์ประกอบของกระแสฮาร์โมนิกของ TCR ที่มุมจุดชนวนต่างกัน	36
3.15 แผนภาพการควบคุมเชิงพลวัตเพื่อรักษาขนาดแรงดันด้วย SVC [15]	37
3.16 แผนภาพอย่างง่ายของ SVC เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า	39

ภาพประกอบ	หน้า
3.17 เฟสเซอร์ของระบบส่งไฟฟ้าเมื่อ SVC นำกระแสในลักษณะตัวเหนี่ยวนำ	39
3.18 กราฟคุณลักษณะของระบบ และ SVC	40
3.19 วงจรสมมูลของ SVC เชื่อมต่อกับระบบส่งไฟฟ้าผ่านหม้อแปลง	42
3.20 แบบจำลองเชิงพลวัตของตัวควบคุมแรงดัน	45
3.21 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแรงดันในระบบส่งกำลังไฟฟ้าโดยใช้ SVC	47
3.22 แบบจำลองตัวควบคุมแรงดันของ SVC แบบ PI	47
3.23 ผลกระทบของกำลังไฟฟ้าลัดวงจรต่อผลตอบสนองเชิงเวลาของ SVC	50
4.1 องค์ประกอบ โดยรวมของระบบ	51
4.2 แบบจำลองของ voltage behind a transient impedance	54
4.3 โครงสร้างของระบบ 9 บัสกับค่าพารามิเตอร์ของสายส่งบนฐาน 100-MVA	56
4.4 แรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2	61
4.5 แรงดันหลังอิมพีแดนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2	61
4.6 ค่ามุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าของแรงดันหลังอิมพีแดนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2	62
4.7 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2	62
4.8 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่จ่ายที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2	62
4.9 แรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3	63
4.10 แรงดันหลังอิมพีแดนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3	63
4.11 ค่ามุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าของแรงดันหลังอิมพีแดนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3	63
4.12 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3	64
4.13 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่จ่ายที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3	64
4.14 แผนภาพเส้นเดียวของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางและภาคใต้แบบลดจำนวนบัส และสายส่ง [18]	65
4.15 แบบจำลองของระบบทดสอบ C-S NW ที่ใช้ในการศึกษา	67
4.16 แผนภาพการเชื่อมต่อระบบส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน	68
5.1 ตัวอย่างตำแหน่งของการลัดวงจรแบบสามเฟสลงกราวด์ในระบบ	70
5.2 ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้า ณ กรณีฐาน[18]	72
5.3 แผนผังขั้นตอนการจำลองการเกิดลัดวงจรแบบสามเฟสลงกราวด์บนสายส่ง 1 เส้น	73
5.4 แรงดันที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม	74
5.5 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม	75
5.6 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม	75



ภาพประกอบ	หน้า
5.37 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่รัฐประภา	93
5.38 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสรัฐประภา	94
5.39 ค่าการเปลี่ยนแปลงของความเร็วเชิงโคจรของขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่รัฐประภา	94
5.40 ค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าที่บัสราชบุรีกับบัสขนอม	95
5.41 ค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าที่บัสขนอมกับบัสรัฐประภา	95
5.42 ค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าที่บัสราชบุรีกับบัสรัฐประภา	96
5.43 แรงดันที่บัสบางสะพาน หรือที่บัสของ SVC	96
5.44 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของ SVC ที่จ่ายให้กับระบบ	97
5.45 กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัสประจวบคีรีขันธ์ไปบางสะพาน	97
5.46 แผนผังขั้นตอนการจำลองเหตุการณ์การหลุดของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางยูนิตที่โรงไฟฟ้าขนอม	99
5.47 แรงดันที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม	100
5.48 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม	101
5.49 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม	101
5.50 ค่าการเปลี่ยนแปลงของความเร็วเชิงโคจรของขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม	102
5.51 แรงดันที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสรัฐประภา	102
5.52 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่รัฐประภา	103
5.53 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสรัฐประภา	103
5.54 ค่าการเปลี่ยนแปลงของความเร็วเชิงโคจรของขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่รัฐประภา	104
5.55 ค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าที่บัสราชบุรีกับบัสขนอม	104
5.56 ค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าที่บัสขนอมกับบัสรัฐประภา	105
5.57 ค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าที่บัสราชบุรีกับบัสรัฐประภา	105
5.58 แรงดันที่บัสบางสะพาน หรือที่บัสของ SVC	106
5.59 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของ SVC ที่จ่ายให้กับระบบ	106
5.60 กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัสบางสะพานไปสู่ราชบุรี	107
5.61 กำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายจากกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสไฟฟ้าราชบุรี	107
6.1 ตัวควบคุมการลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ SVC[12]	109
6.2 ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบกับการป้อนกลับ[12]	110
6.3 ทิศทางของอินพุตที่นำมาป้อนให้กับตัวควบคุม	113
6.4 แบบจำลองเชิงเส้นของระบบ ณ จุดทำงานกรณีฐาน	113

ภาพประกอบ	หน้า
6.5 กราฟผลตอบแทนทางความถี่ของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้	116
6.6 กราฟฟลูสโลคัสของระบบจากการป้อนกลับแบบบวก	116
6.7 กราฟฟลูสโลคัสของระบบจากการป้อนกลับแบบลบ	117
6.8 กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัสบางสะพานไปสู่ราษฎร์ธานี	120
6.9 กราฟผลตอบแทนทางความถี่ของตัวควบคุม POD	120
6.10 แรงดันที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม	121
6.11 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม	122
6.12 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม	122
6.13 ค่าการเปลี่ยนแปลงของความเร็วเชิงโรตอร์ของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม	123
6.14 แรงดันที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสรัชประภา	123
6.15 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่รัชประภา	124
6.16 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสรัชประภา	124
6.17 ค่าการเปลี่ยนแปลงของความเร็วเชิงโรตอร์ของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่รัชประภา	125
6.18 ค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าที่บัสราชบุรีกับบัสขนอม	125
6.19 ค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าที่บัสขนอมกับรัชประภา	126
6.20 ค่าความแตกต่างของมุมโรเตอร์ทางไฟฟ้าที่บัสราชบุรีกับรัชประภา	126
6.21 แรงดันที่บัสบางสะพาน หรือที่บัสของ SVC	127
6.22 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของ SVC ที่จ่ายให้กับระบบ	127
6.23 ขนาดแรงดันเอาต์พุตของตัวควบคุม POD	128
6.24 กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัสบางสะพานไปสู่ราษฎร์ธานี	128
6.25 กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลในสายส่งกับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ SVC จ่ายให้กับระบบ	129
6.26 กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัสบางสะพานไปสู่ราษฎร์ธานี	131
6.27 แรงดันที่บัสบางสะพาน หรือที่บัสของ SVC	131
6.28 กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัสบางสะพานไปสู่ราษฎร์ธานี	132
6.29 แรงดันที่บัสบางสะพาน หรือที่บัสของ SVC	133
6.30 กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัสบางสะพานไปสู่ราษฎร์ธานี	133
6.31 แรงดันที่บัสบางสะพาน หรือที่บัสของ SVC	134
6.32 กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัสบางสะพานไปสู่ราษฎร์ธานี	134
6.33 แรงดันที่บัสบางสะพาน หรือที่บัสของ SVC	135





ภาพประกอบ	หน้า
6.64 กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัสบางสะพานไปสู่ราษฎรธานี .....	153
6.65 แรงดันที่บัสบางสะพาน หรือที่บัสของ SVC .....	154
6.66 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม .....	154
6.67 แรงดันที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม .....	155
6.68 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสรัชประภา .....	155
6.69 แรงดันที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสรัชประภา .....	156
6.70 กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัสบางสะพานไปสู่ราษฎรธานี .....	156
6.71 แรงดันที่บัสบางสะพาน หรือที่บัสของ SVC .....	157
6.72 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม .....	157
6.73 แรงดันที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสขนอม .....	158
6.74 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสรัชประภา .....	158
6.75 แรงดันที่ขั้วของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสรัชประภา .....	159