

บทที่ 2

ระบบส่งไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ และการใช้งาน SVC

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ของประเทศไทย รวมถึงวัตถุประสงค์ของการนำอุปกรณ์ SVC มาใช้งาน และการประยุกต์ใช้งานของ SVC ในลักษณะต่าง ๆ กันไป พร้อมทั้งตัวอย่างงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มสมรรถนะระบบส่งไฟฟ้าด้วย SVC

2.1 ระบบส่งไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ของประเทศไทย

2.1.1 ความสำคัญและที่มา

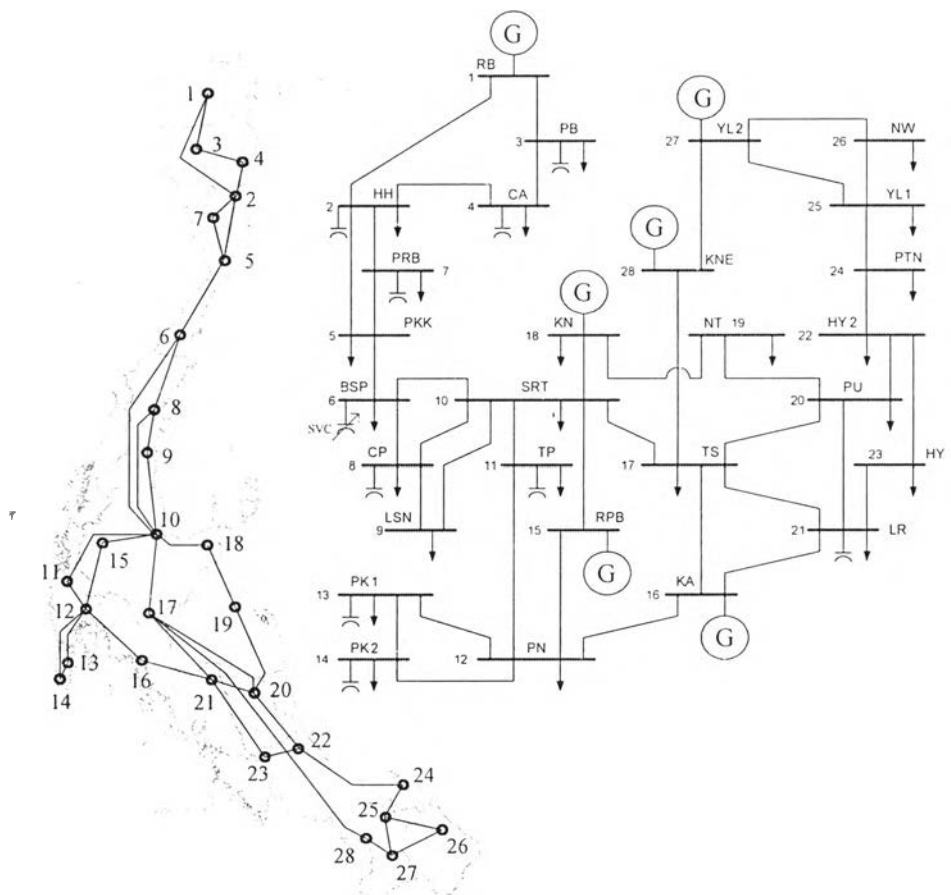
ระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้เป็นระบบที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการวางแผนกำลังการผลิต และส่งจ่ายไฟฟ้าของประเทศ โดยการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดในบริเวณภาคใต้ส่วนหนึ่งจะได้จากโรงไฟฟ้าภายในพื้นที่ของภาคใต้เอง เช่น โรงไฟฟ้าขนอม โรงไฟฟ้ากระบี่ และโรงไฟฟ้ารัชประภา เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันมีการสำรองการผลิตกำลังไฟฟ้าภายในพื้นที่ภาคใต้เองมากกว่าโหลดเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของโหลดในบริเวณดังกล่าว ทำให้ในบางเวลาต้องรับกำลังไฟฟ้าจากกำลังการผลิตบริเวณภาคกลางลงมา และจากการรับซื้อไฟฟ้าจากประเทศมาเลเซียผ่านสายส่งเชื่อมโยงกระแสตรงแรงดันสูง (HVDC)

การส่งกำลังไฟฟ้าจากภาคกลางลงมายังภาคใต้ หรือจากภาคใต้ขึ้นไปสู่ภาคกลาง มีข้อจำกัดเนื่องจากสภาพภูมิประเทศเป็นลักษณะคอคบด สายส่งสำคัญบางเส้นมีความยาวถึง 300 กม. ได้แก่ สายส่งเชื่อมโยงระหว่างสถานีไฟฟ้าบางสะพานกับสถานีไฟฟ้าสุราษฎร์ธานี การใช้งานสายส่งดังกล่าวอาจมีผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบ ซึ่งจะต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษเพื่อลดโอกาสการเกิดไฟฟ้าดับบริเวณกว้าง

นอกจากนี้ รัฐบาลมีดำริที่จะให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในภูมิภาคอาเซียน (ASEAN Power Grid Project) เพื่อนำกำลังการผลิตตอนบนของภูมิภาคในประเทศจีนและพม่า ส่งไปขายยังประเทศเพื่อนบ้านในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ สิงคโปร์ มาเลเซีย และ อินโดนีเซีย เป็นต้น จึงทำให้การส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าระหว่างภาคกลางและภาคใต้ของประเทศไทยอย่างมีประสิทธิภาพ ถือเป็นส่วนสำคัญต่อความสำเร็จของโครงการดังกล่าว

2.1.2 ลักษณะทางกายภาพของระบบ

ระบบส่งไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ที่ทำการพิจารณาในที่นี้ ประกอบด้วย บัสไฟฟ้าจำนวน 28 บัส กลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับหม้อแปลงจำนวน 6 ชุด สายส่งไฟฟ้าที่ระดับแรงดันพิกัด 230 kV และ 115 kV จำนวนรวม 41 เส้น เชื่อมต่อกันดังแสดงได้ด้วยแผนภาพเส้นเดียว (Single line diagram) ของระบบ ในรูปที่ 2.1 ซึ่งระบบดังกล่าวเป็นการลดรูปจากระบบไฟฟ้าจริงซึ่งมีจำนวนบัสไฟฟ้าทั้งสิ้น 52 บัส กลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 9 ชุด และสายส่งจำนวน 112 เส้น โดยการรวมค่าอิมพีแดนซ์สายส่งที่ต่อขนานกันเป็นสายส่งเส้นเดียว และละเลยค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง ณ สถานีไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อระบบ 230 kV กับ 115 kV ส่วนกลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีก 3 ชุดที่หายไป เนื่องจากไม่ได้จ่ายโหลดอยู่ ณ กรณีฐานที่พิจารณา



รูปที่ 2.1 แผนภาพเส้นเดียวของระบบส่งไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางและภาคใต้
แบบลดจำนวนบัสและสายส่ง [18]

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลของบัสไฟฟ้า หรือสถานีไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าในระบบเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้เชื่อมต่ออยู่กับกำลังการผลิตจากโรงไฟฟ้าต่างๆ รวมถึงชนิดของบัสไฟฟ้าที่แสดงถึงชนิดของอุปกรณ์เชื่อมต่อกับไฟฟ้านั้น ๆ

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลขนาดกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับโหนดภาคใต้ [18]

บัส	รหัส	ชื่อสถานีไฟฟ้า	ขนาดกำลังการผลิต	ชนิดของบัส
I	RB	ราชบุรี	1635 MW	GEN
15	RPB	รัชประภา	240 MW	GEN
16	KA	กระบี่	300 MW	GEN
18	KN	ขนอม	824 MW	GEN
27	YL2	ยะลา	72 MW	GEN
28	KNE	คลองแงะ	300 MW	HVDC

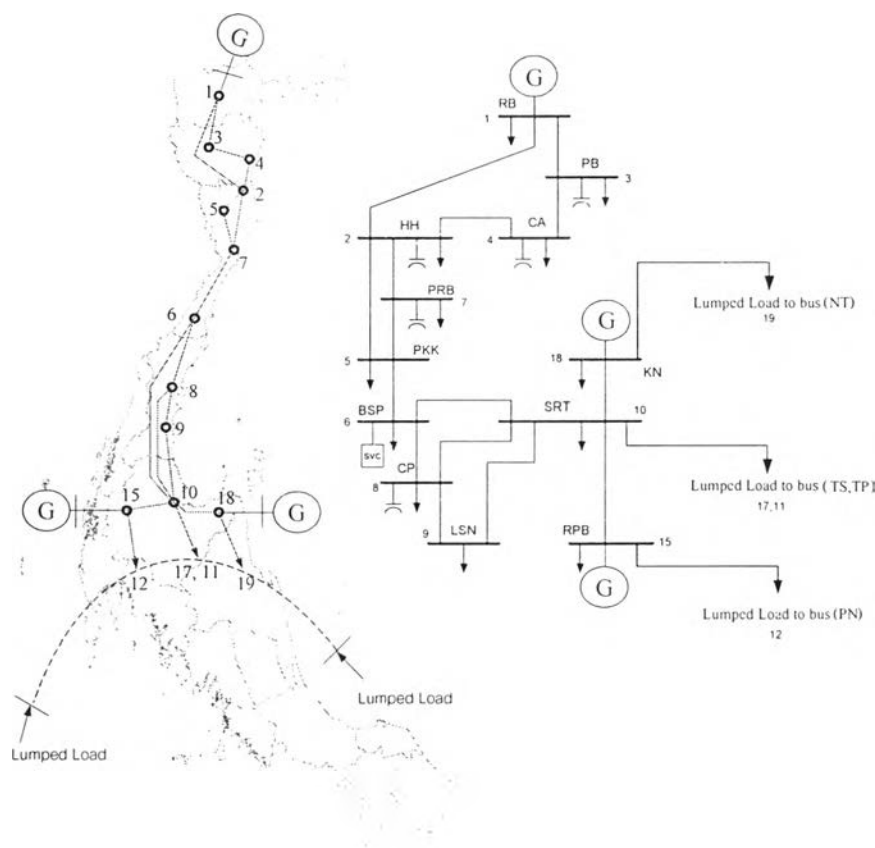
ในส่วนของข้อมูลระบบส่งไฟฟ้าที่จำเป็นสำหรับการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ระบบ เช่น ค่าพารามิเตอร์ของสายส่ง จุดทำงานกรณีฐาน รวมถึงแผนภาพเส้นเดียวของระบบจริงแสดงไว้ในภาคผนวก (ก)

2.1.3 การศึกษาพฤติกรรมที่ภาวะชั่วคราว และการปรับปรุงเสถียรภาพของระบบด้วย SVC

จากรายละเอียดของระบบที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.1.2 การศึกษาพฤติกรรมที่ภาวะชั่วคราว และการปรับปรุงเสถียรภาพของระบบด้วยอุปกรณ์ SVC สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ จะทำการศึกษาผลตอบสนองเชิงเวลาของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เป็นกำลังผลิตหลักในการจ่ายโหลดในบริเวณภาคใต้ ได้แก่ กลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าขนอม กลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าราชบุรี และกลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เขื่อนรัชชประภา นอกจากนี้ จะศึกษาผลตอบสนองเชิงเวลาของปริมาณการไหลของกำลังไฟฟ้าบนสายส่งเชื่อมโยงระหว่างบัสไฟฟ้าบางสะพานกับบัสไฟฟ้าสุราษฎร์ธานี และขนาดของแรงดันที่บัสไฟฟ้าบางสะพาน ซึ่งเป็นบัสที่ SVC ต่ออยู่ ภายใต้การรบกวนขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นในระบบส่งกำลังไฟฟ้าที่พิจารณา

กำลังการผลิตของกลุ่มโรงไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องนอกเหนือจากที่กล่าวถึงข้างต้น รวมถึงการรับซื้อไฟฟ้าจากประเทศมาเลเซียผ่าน HVDC สำหรับการศึกษาจะประมาณเป็นค่าคงที่ ซึ่งจะถูกนำไปรวมกับโหลดบริเวณภาคใต้ตอนล่าง โดยจะละเลยผลตอบสนองเชิงพลวัตของกำลังการผลิตและอุปกรณ์ดังกล่าว

จากขอบเขตและวัตถุประสงค์ของการศึกษาข้างต้น เพื่อความสะดวก และลดความซับซ้อนของการคำนวณ ในที่นี้ จะพิจารณาพฤติกรรมที่ภาวะชั่วคราวของระบบส่งไฟฟ้าเชื่อมโยงซึ่งประกอบด้วยบัสไฟฟ้าจำนวนลดลงเหลือ 12 บัส ตั้งแต่สถานีไฟฟ้าราชบุรี ลงไปยังสถานีไฟฟ้านครศรีธรรมราช ท่งสง และพังงา ซึ่งจะมีจำนวนสายส่งที่พิจารณาลดลงเหลือจำนวน 15 เส้น โดยจะบูรรวมบัสไฟฟ้าบริเวณภาคใต้ตอนล่างตั้งแต่จังหวัดสุราษฎร์ธานีลงไปให้เหลือเป็นกลุ่มโหนดของบัสไฟฟ้าที่ยังคงอยู่ในระบบที่ทำการศึกษานั่น นั่น แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 ซึ่งจะเห็นว่ามียุคของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีผลต่อการศึกษาพฤติกรรมเชิงพลวัตของระบบจำนวน 3 ชุด พร้อมทั้งอุปกรณ์ SVC ที่ติดตั้งอยู่ที่สถานีไฟฟ้าบางสะพาน



รูปที่ 2.2 แผนภาพเส้นเดียวของระบบส่งไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ที่จะศึกษาพฤติกรรมที่ภาวะชั่วคราว

2.1.4 อุปกรณ์ SVC ที่ติดตั้งในระบบ

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้ติดตั้งอุปกรณ์ SVC ไว้ที่สถานีไฟฟ้าบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ที่ระดับแรงดัน 230 kV และใช้หม้อแปลงลดขนาดแรงดันลงมา

เหลือขนาด 16 kV SVC มีขนาดการจ่ายกำลังรีแอคทีฟให้กับระบบอย่างต่อเนื่องอยู่ในช่วง 100 MVAR ถึง -50 MVAR และแบบไม่ต่อเนื่องเพิ่มจากเดิมอีก 200 MVAR องค์ประกอบหลัก ได้แก่ ตัวเก็บประจุค่าคงที่(FC) ตัวเก็บประจุค่าคงที่สับปลัดด้วยไทรสเตอร์(TSC) ตัวเหนี่ยวนำควบคุมด้วยไทรสเตอร์(TCR) วัตถุประสงค์ในการติดตั้งเพื่อรักษาระดับแรงดันที่บัสไฟฟ้าบางสะพานให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ และลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านระหว่างภาคกลางกับภาคใต้

ตารางที่ 2.2 แสดงรายละเอียดที่สำคัญเกี่ยวกับพิกัดของอุปกรณ์ SVC ที่ติดตั้งใช้งานอยู่ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการศึกษาพฤติกรรมเชิงพลวัตของ SVC และระบบส่งไฟฟ้า ทฤษฎีและหลักการทํางาน รวมถึงการประยุกต์ใช้ในกรณีต่างๆ จะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลของอุปกรณ์ SVC ที่ติดตั้ง ณ สถานีไฟฟ้าบางสะพาน [18]

บัสลำดับที่	อุปกรณ์ลำดับที่	Type
(SVC)	1	TCR1 : 150 MVAR 16 KV
	2	TSC1 : 100 MVAR 16 KV
	3	TSC2 : 100 MVAR 16 KV
	4	FC1 : 100 MVAR
	5	Tr : Ynd1 3x100 MVA 230/16 KV

2.2 อุปกรณ์ชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสถิต (Static Var Compensator: SVC)

จากอดีตที่ผ่านมาการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบส่งให้เหมาะสม รวมถึงการเพิ่มขีดความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้า โดยทั่วไปจะใช้วิธีการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสับปลัดต่อขนานกับระบบ เพื่อปรับเปลี่ยนคุณสมบัติทางไฟฟ้า และค่าพารามิเตอร์ของสายส่ง ณ จุดทํางานที่ภาวะคงตัว ที่โหลดต่างระดับกันไป โดยการชดเชยที่ใช้การสับปลัดตัวเหนี่ยวนำแบบขนานก็เพื่อลดผลกระทบของค่าแรงดันเกินในระบบกรณีที่โหลดมีค่าน้อย และการชดเชยที่ใช้การสับปลัดตัวเก็บประจุแบบขนานก็เพื่อรักษาระดับแรงดันไม่ให้มีขนาดค่าเกินค่าที่ยอมรับได้ กรณีที่ระบบจ่ายโหลดปริมาณมาก

การนำ SVC ซึ่งเป็นหนึ่งในอุปกรณ์ตระกูล FACTS (Flexible AC Transmission Systems) ที่พัฒนาจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังมาใช้งาน เนื่องจากอุปกรณ์ชนิดนี้มีความยืดหยุ่นในการทำงานเนื่องจากสามารถปรับเปลี่ยนคุณสมบัติทางไฟฟ้า

และค่าพารามิเตอร์ของระบบได้อย่างต่อเนื่อง อีกทั้งตอบสนองต่อสัญญาณควบคุมได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากไม่ต้องอาศัยส่วนที่เป็นกลไกการเคลื่อนที่เชิงกล ควบคุมการทำงานโดยมุมจุดชนวนของ สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น ไทริสเตอร์ ติดตั้งเข้ากับระบบส่งกำลังไฟฟ้าเพื่อช่วยรักษาระดับ แรงดันอย่างต่อเนื่องขณะที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงไป และยังสามารถออกแบบการใช้งานเพื่อช่วย ปรับปรุงเสถียรภาพของระบบส่งไฟฟ้าให้ดีขึ้นได้อีกด้วย ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวถึงในลำดับถัดไป

2.2.1 นิยาม และประเภทของ SVC

Static var compensator (SVC) คือ ตัวชดเชยแบบขนานที่ถูกติดตั้งเข้าไปในระบบไฟฟ้า เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวจ่าย (Generators) หรือตัวรับ (Absorbers) กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ โดยการเปลี่ยน ค่าชั้สเชบแดนซ์ เพื่อควบคุมค่าพารามิเตอร์ของระบบส่งไฟฟ้า

คำว่า “Static” ใช้เป็นตัวบ่งชี้ความแตกต่างระหว่าง SVC กับตัวชดเชยแบบซิงโครนัส (Synchronous Condenser) เนื่องจากองค์ประกอบส่วนต่าง ๆ ของ SVC ไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ หรือ หมุนได้ โดยโครงสร้าง SVC จะประกอบไปด้วย Static var generator (SVG) หรือ Absorbers และ อุปกรณ์ควบคุมที่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในรูปแบบต่าง ๆ

Static var system (SVS) คือ การใช้งานร่วมกันของ SVC หลาย ๆ ชุดกับตัวเก็บประจุ แบบขนานที่ใช้การสวิตช์ทางกล (Mechanically Switched Capacitor, MSCs) หรือ ตัวเหนี่ยวนำ แบบขนานที่ใช้การสวิตช์ทางกล (Mechanically Switched Reactor, MSRs) โดยมีองค์ประกอบหลัก แบ่งได้เป็น 6 ประเภท ดังนี้ [12]

- 1) ตัวเหนี่ยวนำแบบอิ่มตัว (Saturated reactor, SR)
- 2) ตัวเหนี่ยวนำควบคุมด้วยไทริสเตอร์ (Thyristor-controlled reactor, TCR)
- 3) ตัวเก็บประจุสับปลัดด้วยไทริสเตอร์ (Thyristor-switched capacitor, TSC)
- 4) ตัวเหนี่ยวนำสับปลัดด้วยไทริสเตอร์ (Thyristor-switched reactor, TSR)
- 5) หม้อแปลงควบคุมด้วยไทริสเตอร์ (Thyristor-controlled transformer, TCT)
- 6) เครื่องแปลงผันพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบสลับการ เปลี่ยนแปลง หรือปรับตัวเอง (Self- or line-commutated converter, SCC/LCC)

ข้อดีของการใช้งาน SVC คือ มีอายุการใช้งานที่นานกว่าตัวชดเชยแบบซิงโครนัส ต้องการการบำรุงรักษาต่ำ เวลาในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณควบคุมรวดเร็ว สามารถนำไปใช้งานเพื่อปรับปรุงสมรรถนะให้กับระบบส่งไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ ได้หลากหลาย มีกำลังสูญเสียในตัวอุปกรณ์ต่ำ อีกทั้งยังมีความน่าเชื่อถือสูง

อย่างไรก็ดี ข้อเสียของอุปกรณ์ SVC เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมการทำงานโดยใช้วิธีสวิตชิ่ง จึงส่งผลในเรื่องของการผลิตกระแสฮาร์โมนิกเข้าสู่ระบบโดยจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์และการควบคุมการทำงานของ SVC และสมบัติของระบบส่งไฟฟ้า

SVC สามารถนำไปใช้ปรับปรุงสมรรถนะให้กับระบบส่งกำลังไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่มีค่าความสามารถในการรองรับกำลังไฟฟ้าลัดวงจร (Short-circuit Capacity) ต่ำ เนื่องจากในบริเวณดังกล่าวจะมีการเปลี่ยนแปลงของขนาดแรงดันในช่วงกว้าง แต่หากเป็นบริเวณที่มีค่าความสามารถในการรองรับกำลังไฟฟ้าลัดวงจรสูงอยู่แล้ว SVC อาจจะไม่ช่วยให้ระบบมีสมรรถนะดีขึ้นมากนัก ดังนั้นก่อนการนำ SVC ไปใช้งานในระบบไฟฟ้า ควรคำนึงถึงประเด็นนี้ด้วยเพื่อความคุ้มค่าในการนำ SVC ไปใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด

2.2.2 การประยุกต์ใช้งาน SVC ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า

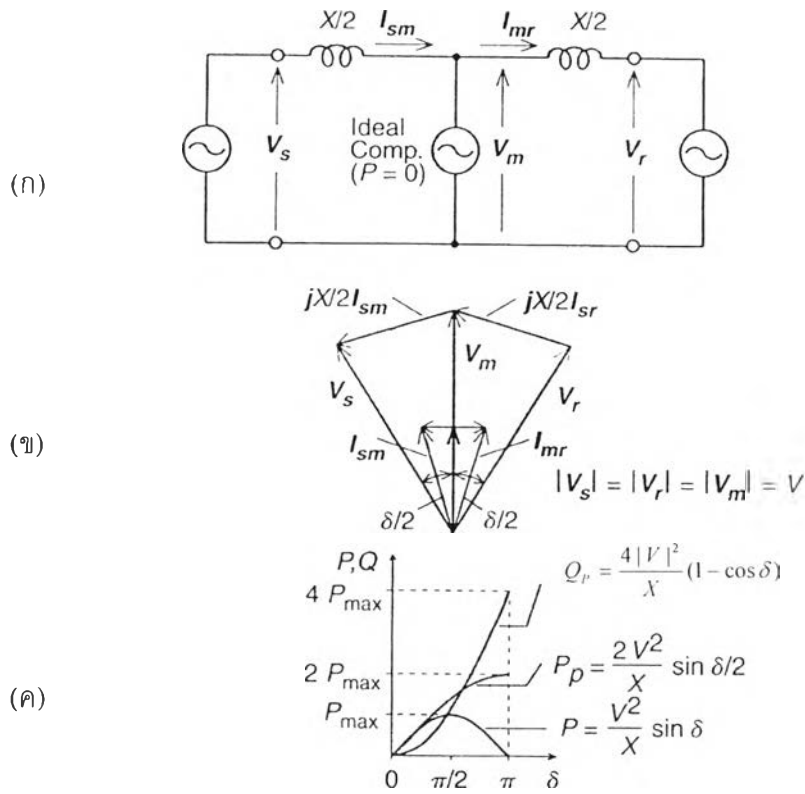
การใช้งาน SVC เพื่อช่วยเพิ่มสมรรถนะให้กับระบบส่งกำลังไฟฟ้าแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภทหลักดังนี้

- 1) การลดผลกระทบซับซิงโครนัสเรโซแนนซ์ (Sub-synchronous Resonance Mitigation)
- 2) การรักษาระดับแรงดันให้คงที่ ณ จุดกึ่งกลางของสายส่ง (Midpoint Voltage Regulation)
- 3) การหน่วงการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะชั่วขณะ (Power Oscillation Damping)
- 4) การปรับปรุงเสถียรภาพของระบบที่สภาวะชั่วขณะ (Transient Stability Improvement)
- 5) การป้องกันการสูญเสียเสถียรภาพของแรงดัน (Voltage Instability Prevention)

ในที่นี้จะกล่าวถึงรายละเอียดการประยุกต์ SVC ในหัวข้อที่ 2 ถึงหัวข้อที่ 5 เท่านั้น เพราะเป็นหัวข้อสำคัญเกี่ยวกับการปรับปรุงเสถียรภาพระบบส่งไฟฟ้าจากภาคกลางไปยังภาคใต้ ส่วนหัวข้อที่ 1 จะไม่กล่าวถึงในที่นี้

2.2.2.1 การรักษาระดับแรงดันให้คงที่ ณ จุดกึ่งกลางของสายส่ง

พิจารณาระบบส่งไฟฟ้าแบบ 2 บัสที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าถึงกัน โดยมีการควบคุมขนาดของแรงดันให้เท่ากันทั้งที่ต้นทางและปลายทาง ตัวชดเชยกำลังไฟฟารีแอกทีฟอุดมคติแบบขนานถูกต้องไว้ที่จุดกึ่งกลางของสายส่งดังแสดงในรูปที่ 2.3(ก) ซึ่งจะรับหรือจ่ายเฉพาะกำลังไฟฟารีแอกทีฟ ($Q_m = Q_{comp}$) เท่านั้น ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าจริงกำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์ ($P_m = P_{comp} = 0$)



รูปที่ 2.3 การชดเชยแบบขนานในอุดมคติของระบบส่งกำลังไฟฟ้าแบบ 2 บัส[14]

เมื่อพิจารณาเฉพาะค่ารีแอกแตนซ์ของสายส่งเพียงอย่างเดียวโดยละเลยผลของความต้านทานในสายส่ง และแทนสายส่งด้วยแบบจำลองสายส่งระยะสั้น แบ่งสายส่งออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน จากปลายด้านส่งกำลังไฟฟ้า (Sending End) ไปถึงจุดกึ่งกลางสาย (Midpoint) และจากจุดกึ่งกลางสายไปยังปลายด้านรับกำลังไฟฟ้า (Receiving End) โดยค่ารีแอกแตนซ์ในแต่ละส่วนของสายส่งมีค่าเท่ากับ $jX/2$ จะพบว่าเมื่อต่อตัวชดเชยอุดมคติติดตั้งไว้ ณ จุดกึ่งกลางของสายส่งเพื่อควบคุมให้ขนาดของแรงดัน ณ จุดกึ่งกลางสาย $|V_m| = |V_s| = |V_r|$ จะส่งผลทำให้ขีดความสามารถในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเพิ่มสูงขึ้นเป็นสองเท่าจากเดิมที่ไม่มี การชดเชยแบบอุดมคติ ดังแสดงในรูปที่ 2.3(ข) ซึ่งสามารถอธิบายจากสมการที่(2.1)-(2.5)

กระแสที่ไหลจากปลายสายด้านส่งกำลังไฟฟ้ามายังจุดกึ่งกลางสาย คำนวณได้จากสมการ (2.1)

$$I_{sm} = \frac{|V_s| \angle \delta - |V_m| \angle \delta/2}{jX/2} \tag{2.1}$$

$$I_{sm}^* = \frac{|V_s| \angle -\delta - |V_m| \angle -\delta/2}{-jX/2} \quad (2.2)$$

ดังนั้น ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏที่ส่งออกจากด้านส่งกำลังไฟฟ้า คือ

$$S_s = P_s + jQ_s = V_s \cdot I_{sm}^* = \frac{|V_s|^2 - |V_s| |V_m| \angle \delta/2}{-jX/2} \quad (2.3)$$

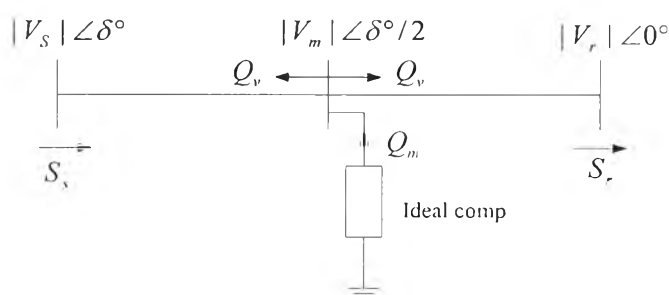
กำหนดให้ $|V_s| = |V_m| = |V|$ จะได้ว่า

$$P_s = \frac{2|V|^2 \sin(\delta/2)}{X}, \quad Q_s = \frac{2|V|^2 (1 - \cos \delta/2)}{X} \quad (2.4)$$

ในทำนองเดียวกัน หากคำนวณการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟารีแอกทีฟที่จุดกึ่งกลาง และที่จุดปลายสายส่ง จะพบว่า

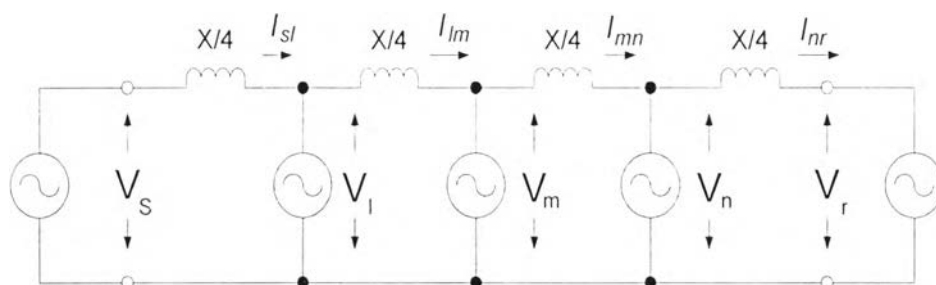
$$P_r = -P_s = \frac{-2|V|^2 \sin(\delta/2)}{X}, \quad \frac{Q_m}{2} = Q_r = Q_s = \frac{2|V|^2 (1 - \cos \delta/2)}{X} \quad (2.5)$$

จะเห็นได้ว่าตัวชดเชยจะต้องจ่ายกำลังไฟฟารีแอกทีฟเพื่อชดเชยการสูญเสียกำลังไฟฟารีแอกทีฟในสายส่งเนื่องจากการส่งกำลังไฟฟ้าจากด้านส่งไปยังด้านรับ คิดเป็น 2 เท่าของกำลังไฟฟารีแอกทีฟที่จ่ายจากปลายสายด้านส่งและด้านรับ ดังสมการที่(2.5) และแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 เมื่อกำหนดให้ $Q_r = Q_s = Q_v$



รูปที่ 2.4 การรักษาระดับแรงดันที่จุดกึ่งกลางด้วยการชดเชยกำลังไฟฟารีแอกทีฟ [15]

การติดตั้งตัวชดเชยแบบขนานไว้ตรงจุดกึ่งกลางสายส่งมีความเหมาะสม และมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ซึ่งจะทำให้สายส่งที่ถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนมีขีดจำกัดในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้เท่ากัน แต่หากตัวชดเชยไม่ได้ถูกติดตั้งที่จุดกึ่งกลางแล้ว สายส่งส่วนที่ยาวกว่าจะเป็นตัวกำหนดขีดจำกัดสูงสุดในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า จากด้านส่งกำลังไฟฟ้าไปยังด้านรับ



รูปที่ 2.5 การติดตั้งตัวชดเชยแบบขนานหลายตัวร่วมกัน[14]

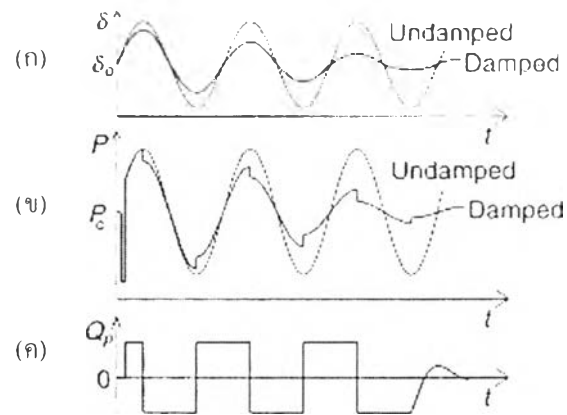
หลักการข้างต้นสามารถนำไปใช้กับการชดเชยด้วยตัวชดเชยแบบขนานติดตั้งในลักษณะดังกล่าวพร้อมกันหลายตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งจะทำให้ระดับของแรงดันตลอดสายส่งมีค่าใกล้เคียงค่าระดับแรงดันพิกัดในสภาวะปกติ มีผลทำให้ระบบมีความน่าเชื่อถือ และมีเสถียรภาพในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิดขึ้น (contingency condition)

อย่างไรก็ตาม การนำ SVC ไปติดตั้งใช้งานในทางปฏิบัติร่วมกันหลาย ๆ ตัว ในลักษณะข้างต้น ต้องพิจารณาถึงความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ประกอบด้วย

2.2.2.2 การหน่วงการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่ภาวะชั่วครู่

เมื่อเกิดเหตุการณ์รบกวน (Disturbances) ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลุดออกจากระบบ การสับเข้าหรือปลดสายส่งออกจากระบบ หรือการลัดวงจรใน อาจทำให้มุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแกว่งขึ้นลงรอบ ๆ ค่าของมุมโรเตอร์ที่สถานะอยู่ตัว (δ_0) การแกว่งนี้ส่งผลทำให้เกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าบนสายส่งตามไปด้วย ในระบบที่ไม่มีกลการหน่วงของกำลังไฟฟ้า (Power Oscillation Damping) อาจทำให้ระบบนั้น ๆ เกิดปัญหาการฝ่าฝืนขีดจำกัดที่ภาวะชั่วครู่ และทำให้สายส่งสำคัญบางเส้น หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ถูกปลดออกจากระบบ ก่อให้เกิดปัญหาการถูดตัดออกจากระบบแบบต่อเนื่อง (Cascading Outages) นำความเสียหายมาสู่ระบบโดยรวมได้

ปัญหาดังกล่าวสามารถนำตัวชดเชย SVC เข้ามาช่วยหน่วงการเร่งหรือลดความเร็ว (Accelerating or Decelerating) ของโรเตอร์ได้ ซึ่งอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 2.6 การลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าโดย SVC [14]

เมื่อความเร็วโรเตอร์เพิ่มขึ้นมุมของแรงเคลื่อนไฟฟ้า δ ก็จะเพิ่มขึ้น ($\frac{d\delta}{dt} > 0$) ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ถูกส่งออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มตาม ในทางกลับกันเมื่อความเร็วโรเตอร์ลดลงมุมของแรงดัน δ ก็จะลดลง ($\frac{d\delta}{dt} < 0$) กำลังไฟฟ้าที่ถูกส่งออกไปก็จะลดลงด้วย หากนำ SVC เข้ามาติดตั้งและควบคุมการชดเชยเชิงพลวัตอย่างเหมาะสม โดยออกแบบให้ SVC จ่ายกำลังไฟฟารีแอกทีฟให้กับระบบในช่วงที่โรเตอร์มีการเร่งความเร็วขึ้น และรับกำลังไฟฟารีแอกทีฟจากระบบในช่วงการลดความเร็วของโรเตอร์ จะทำให้มุม δ และกำลังไฟฟ้าจริง P เข้าสู่ค่าที่สถานะอยู่ตัวได้เร็วขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ก)-(ค)

รูปที่ 2.6(ก) แสดงการเปลี่ยนแปลงค่ามุมโรเตอร์ และรูปที่ 2.6(ข) แสดงการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลในสายส่ง กรณีที่มีการหน่วงการแกว่ง(Damped) และไม่มีการหน่วงการแกว่ง(Undamped) จากรูปจะเห็นได้ว่าในช่วงเริ่มต้น ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลในสายส่งจะลดลงชั่วขณะเนื่องจากเกิดการผิดพร่องขึ้นในระบบ และหลังจากที่กำจัดความผิดพร่องออกไปแล้ว จะเกิดการแกว่งของค่ากำลังไฟฟ้ารอบๆ ค่า P_0 หากระบบมีการหน่วงการแกว่งอย่างเพียงพอ ระบบจะกลับเข้าสู่สมดุลที่ภาวะอยู่ตัวได้เมื่อเวลาผ่านไป

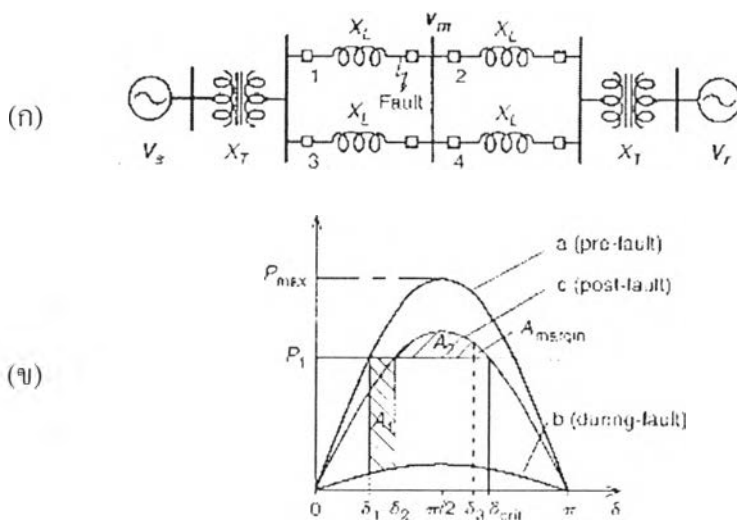
รูปที่ 2.6(ค) แสดงค่าการชดเชยด้วยกำลังไฟฟารีแอกทีฟ Q_p ของ SVC ที่สอดคล้องกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของมุมโรเตอร์ตามที่กล่าวข้างต้น เพื่อช่วยหน่วงการแกว่งของมุมโรเตอร์ และกำลังไฟฟ้าจริง ตามลำดับ

2.2.2.3 การปรับปรุงเสถียรภาพของระบบที่ภาวะชั่วคราว

ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.2.2.1 จะเห็นได้ว่าการใช้ตัวชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟแบบขนานทำให้ค่าขีดจำกัดสูงสุดในการส่งกำลังไฟฟ้าในระบบเพิ่มสูงขึ้นได้ ประกอบกับการตอบสนองต่อการควบคุมที่รวดเร็วของ SVC จึงสามารถนำไปใช้ในการควบคุมเชิงพลวัตเพื่อเพิ่มค่าขีดจำกัดสำรองของเสถียรภาพที่ภาวะชั่วคราว (Transient stability margin) ได้

ความสามารถในการเพิ่มค่าขีดจำกัดสำรองของเสถียรภาพที่ภาวะชั่วคราว อธิบายได้ด้วยด้วยหลักเกณฑ์พื้นที่เท่ากัน (Equal Area Criterion) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ

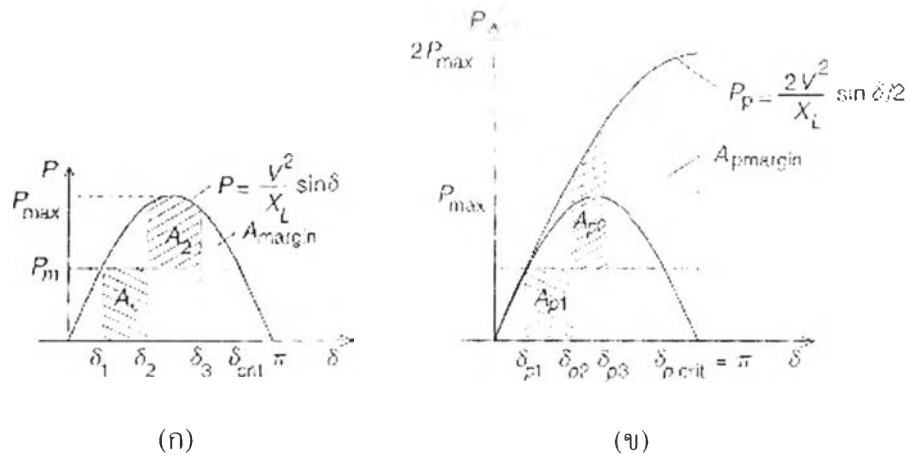
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ และค่ามุม โรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 2.7 (ข) จากรูป เส้นกราฟ “a” แสดงการทำงานของระบบในสภาวะปกติก่อนเกิดการผิดปกติ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่อยู่ด้านส่งกำลังไฟฟ้าถูกขับเคลื่อนด้วยกำลังทางกลที่มีค่าเท่ากับ P_1 ที่มุม โรเตอร์มีค่าเท่ากับ δ_1 เมื่อระบบเกิดการผิดปกติขึ้นที่ตำแหน่งที่กำหนดดังรูปที่ 2.7(ก) ทำให้เส้นกราฟการส่งกำลังไฟฟ้าของระบบเปลี่ยนแปลงไปเป็นกราฟ “b” ที่มีค่าการส่งกำลังทางไฟฟาลดลงในขณะที่กำลังทางกลที่ป้อนให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังคงมีค่าประมาณคงที่เท่าเดิม โรเตอร์จะเร่งความเร็วขึ้นจนมุม โรเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่า δ_2 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อุปกรณ์ป้องกันวงจร(Circuit breaker) ทำการตัดสายส่งส่วนที่ “1” ออกไปจากระบบ เส้นกราฟคุณสมบัติการส่งกำลังไฟฟ้าของระบบจึงเปลี่ยนไปเป็นรูปกราฟ “c”



รูปที่ 2.7 การพิจารณาเสถียรภาพในภาวะชั่วคราวของระบบส่งกำลังไฟฟ้า โดยหลักเกณฑ์พื้นที่เท่ากัน [14]

พื้นที่ “A₁” แสดงถึง ผลต่างระหว่างกำลังงานกลที่ป้อนให้กับโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกำลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบ ส่งผลให้เกิดการเร่งความเร็วของโรเตอร์ ขณะที่พื้นที่ “A₂” แสดงถึง ผลต่างระหว่างกำลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบกับกำลังงานกลที่ป้อนให้กับโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดการลดความเร็วของโรเตอร์ โดยหลักเกณฑ์พื้นที่ที่เท่ากัน ระบบจะยังคงรักษาเสถียรภาพชั่วขณะอยู่ได้ หากพื้นที่ “A₁” และ “A₂” มีค่าเท่ากัน ซึ่งจะเห็นว่า ค่ามุมโรเตอร์สูงสุด δ_3 มีขีดจำกัดเสถียรภาพในภาวะชั่วขณะ (Transient stability limit) ที่ค่า δ_{crit} ดังรูป ซึ่งในที่นี้ จะนิยามพื้นที่ซึ่งถูกกำหนดโดยผลต่างระหว่างกำลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบกับกำลังงานกลที่ป้อนให้กับโรเตอร์ในช่วงระหว่างมุม δ_3 จนถึง δ_{crit} เป็น ค่าขีดจำกัดสำรองของเสถียรภาพที่ภาวะชั่วคราว แทนด้วยสัญลักษณ์ “A_{margin}”

พิจารณารูปที่ 2.8 (ก) และ 2.8(ข) จะเห็นได้ว่าการติดตั้ง SVC ไว้ที่จุดกึ่งกลางสายส่งจะช่วยเพิ่มขีดจำกัดสำรองของเสถียรภาพที่ภาวะชั่วคราวของระบบ อีกทั้งยังทำให้มุมโรเตอร์ที่แกว่งสูงสุดมีค่าลดลง จากเดิมมีค่า δ_3 ในรูปที่ 2.8(ก) ลดลงเป็นค่า δ_{p3} ในรูปที่ 2.8(ข)

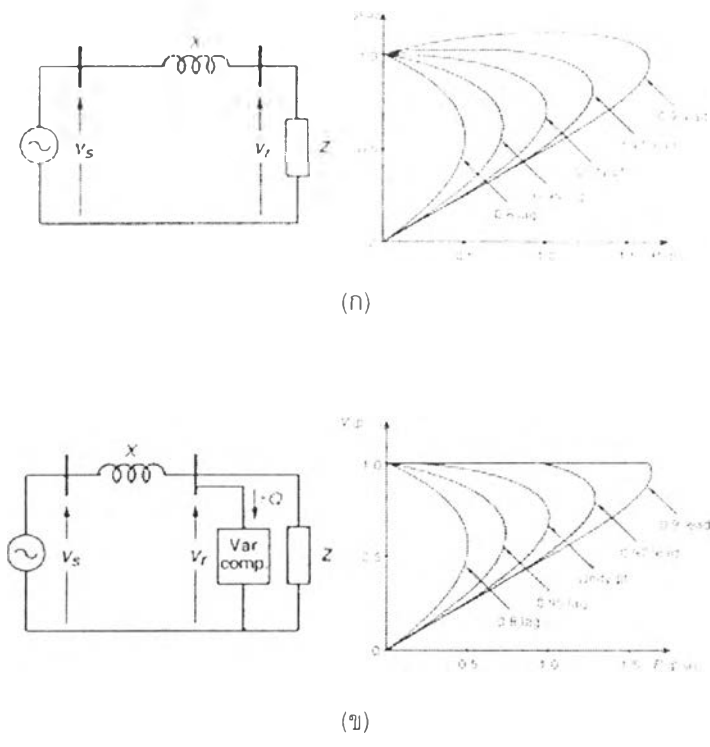


รูปที่ 2.8 การเพิ่มขีดจำกัดสำรองของเสถียรภาพที่ภาวะชั่วคราวให้กับระบบส่งกำลังไฟฟ้าด้วย SVC[14]
 (ก) ระบบที่ไม่มีการติดตั้ง SVC
 (ข) ระบบที่มีการติดตั้ง SVC

2.2.2.4 การป้องกันการสูญเสียเสถียรภาพของแรงดัน

การรักษาระดับแรงดันที่จุดกึ่งกลางสายส่งดังที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 2.2.2.1 ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับระบบส่งกำลังไฟฟ้าแบบรัศมี (Radial system) โดยเปลี่ยนจากจุดกึ่งกลาง

ของสายส่งไปเป็นจูลที่ปลายของสายส่งแทน ดังรูปที่ 2.9(ก)-(ข) เปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มี และ ไม่มีการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ตามลำดับ



รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงของเสถียรภาพทางแรงดันกับ โหลดของสายส่งแบบรีสมิ[14]

(ก) แบบ ไม่มีการชดเชยแบบขนาน

(ข) แบบมีการชดเชยแบบขนาน

สายส่งแบบรีสมิที่มีค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งเท่ากับ X และต่ออยู่กับ โหลดซึ่งแทนได้ด้วยอิมพีแดนซ์สมมูลขนาดเท่ากับ Z มีความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่อหน่วยของแรงดัน V_r ที่จุดเชื่อมต่อโหลดกับค่ากำลังไฟฟ้า P/P_0 ที่ค่าตัวประกอบกำลังของโหลด (Load power factor) ค่าต่างๆ กัน ในช่วงตั้งแต่ค่าตัวประกอบกำลัง 0.8 ล้าหลัง (lag) ไปจนถึง 0.9 นำหน้า (lead) แสดงดังรูปที่ 2.9(ก) และจะเห็นได้จากกราฟรูปที่ 2.9 (ข) ว่าขีดจำกัดของเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้า (Voltage stability limit) มีค่าเพิ่มเนื่องจากแรงดันไม่มีค่าที่เพิ่มตามการลดลงของตัวประกอบกำลังแบบนำหน้าหรือเมื่อมีการจ่ายโหลดที่มีคุณสมบัติแบบตัวเก็บประจุ (Capacitive load) ณ การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าที่ค่าหนึ่งบนกราฟ เมื่อติดตั้ง SVC เข้าไปในระบบ เพื่อรับกำลังรีแอกทีฟออกจากโหลดในทางกลับกันเมื่อจ่ายโหลดที่มีคุณสมบัติแบบตัวเหนี่ยวนำ (Inductive load) SVC ก็จะต้องทำ

หน้าที่จ่ายกำลังรีแอกทีฟให้กับโหลดเพื่อให้แรงดันมีค่าคงที่อยู่ในช่วงหนึ่งที่โหลดยังสามารถทำงานต่อไปได้เว้นแต่ SVC จะมีขนาดของกำลังรีแอกทีฟไม่เพียงพอต่อการชดเชยให้กับโหลด แรงดันจึงมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง ตามชนิดของโหลดที่เป็นแบบคาปาซิทีฟ หรือ รีแอกทีฟตามลำดับ

ในทางปฏิบัติการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟแบบขนานถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยจะใช้ในการรักษาระดับแรงดันในกรณีที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลง หรือ ควบคุมระดับแรงดันที่จุดติดตั้งอุปกรณ์ชดเชยเพื่อให้สามารถจ่ายแรงดันให้โหลดทำงานได้อย่างปกติ โดยเฉพาะในกรณีเกิดเหตุการณ์ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือสายส่งหลุดออกจากระบบส่งกำลังไฟฟ้า เพื่อป้องกันมิให้เกิดเหตุการณ์ที่จะนำไปสู่การพังทลายของแรงดัน (Voltage collapse) ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า

2.3 ตัวอย่างการติดตั้ง SVC ใช้งานในระบบส่งไฟฟ้าจริง

ผลการสำรวจการใช้งาน SVC ในระบบส่งไฟฟ้าจริง ในภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลก มีดังนี้

1) ประเทศแคนาดา ในปี ค.ศ.1993 บริษัท ABB Power Systems ทำการติดตั้ง SVC 3 ϕ , 132 kV, 135 MVar inductive, 165 MVar capacitive ที่สถานีไฟฟ้าย่อย Dunsmuir 500/230/132 kV บนเกาะแวนคูเวอร์ เพื่อจำกัดระดับแรงดันเกินภายใต้เงื่อนไขปกติของโครงข่ายเชื่อมโยง และเพื่อสร้างความมั่นคงของแรงดันบนพื้นที่ให้บริการ กรณีเกิดเหตุการณ์ไม่คาดคิดขึ้น [19]

2) ประเทศซิมบับเว ในปี ค.ศ.1995 บริษัท ABB Power Systems ทำการติดตั้ง SVC 3 ϕ , 330 kV, 100 MVar inductive, 200 MVar capacitive ที่สถานีไฟฟ้าย่อย ZESA Insukamini 330 kV เพื่อลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้า และเพิ่มความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้า รวมถึงเพื่อเพิ่มขีดจำกัดสำรองของเสถียรภาพที่ภาวะชั่วคราวให้กับระบบส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมโยงระหว่างสถานีย่อย Matimba ในประเทศแอฟริกาใต้ และสถานีย่อย Insukamini ในประเทศซิมบับเว [20]

3) ประเทศบราซิล ในปี ค.ศ. 2000 บริษัท Furnas Centrais Eletricas ทำการติดตั้ง SVC 3 ϕ , 345 kV, 100 MVar inductive, 60 MVar capacitive ที่สถานีไฟฟ้าย่อย Campos ในตอนเหนือของเมือง Rio de Janeiro เพื่อรักษาระดับแรงดันให้คงที่ ขณะที่จ่ายโหลดสูงสุดและขณะที่เกิดความผิดปกติในระบบ บริเวณรอบๆ สถานีและบริเวณใกล้กับเมือง Sao Paulo อุปกรณ์ SVC ที่ติดตั้งผลิตโดยบริษัท Nokian Capacitor[21]

4) ประเทศออสเตรเลียในปี ค.ศ. 1999 บริษัท Transgrid ได้ทำการติดตั้ง SVC 3 ϕ , 132 kV, 150 MVar inductive, 100 MVar capacitive ที่สถานีย่อย Transgrid Lismore ในตอนเหนือของมลรัฐ New South Wales เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือ และปรับปรุงเสถียรภาพในการจ่ายแรงดันให้กับ

โหลดที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วให้สามารถทำงานในสภาวะปกติได้ อุปกรณ์ SVC ที่ติดตั้งผลิตโดยบริษัท Mitsubishi Electric Power Products [22]

2.4 สรุปผลงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวกับการใช้งาน SVC

งานวิจัยในอดีตที่นำมาเสนอในที่นี้จะมุ่งเน้นที่หัวข้อการใช้งาน SVC เพื่อรักษาเสถียรภาพของแรงดันที่ภาวะชั่วขณะ และการลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้า

2.4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการรักษาเสถียรภาพของแรงดัน

ในปี ค.ศ. 2004 L. Cong, Y. Wang, D.J. Hill[10] ได้เสนอวิธีการเพิ่มเสถียรภาพในการรักษาระดับแรงดันของระบบส่งกำลังไฟฟ้า โดยการออกแบบตัวควบคุมของระบบกระตุ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการควบคุม SVC ให้สามารถทำงานร่วมกัน โดยใช้เทคนิคการป้อนกลับแบบทำให้เป็นเชิงเส้น (Feedback linearization) และทฤษฎีควบคุมแบบคงทน (Robust control) การออกแบบด้วยวิธีนี้ได้นำความไม่แน่นอนของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า และของ SVC มาร่วมพิจารณา และทดสอบสมรรถนะตัวควบคุมด้วยการจำลองความผิดพลาดขึ้นหลาย ๆ ตำแหน่งในระบบ พบว่าตัวควบคุมที่นำเสนอสามารถรักษาระดับแรงดันของระบบให้กลับสู่สภาวะปกติ ภายใต้เงื่อนไขจุดทำงานของระบบและตำแหน่งของจุดผิดพลาดในระบบที่เปลี่ยนแปลงไปได้

ในปี ค.ศ. 1999 A. Claudio, T. Zeno[6] ได้เสนอบทความเกี่ยวกับแบบจำลองในภาวะอยู่ตัวของ SVC กับ TCSC ที่เพียงพอต่อการนำมาใช้ศึกษาเพื่อแก้ปัญหาแรงดันพังหลายในระบบส่งกำลังไฟฟ้าของทวีปยุโรปขนาด 560 บัส โดยบัสที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีจำนวน 129 บัส และมีสายส่ง 723 เส้น แบ่งพื้นที่การส่งกำลังไฟฟ้าออกเป็น 14 พื้นที่ย่อย จากบทความนี้ พบว่าในภาวะอยู่ตัว เมื่อติดตั้ง SVC เข้าไปในบัสที่มีแรงดันตกมากที่สุดในระบบแล้ว หากเกิดเหตุการณ์สายส่งเส้นหลักหลุดออกจากระบบ จะทำให้ค่าแรงดันที่บัสดังกล่าวกลับสู่จุดทำงานปกติได้ ทำให้สามารถป้องกันการเกิดไฟฟ้าดับทั่วบริเวณได้โดยไม่ต้องสับสายส่งเข้าไปเพื่อทดแทนสายส่งเส้นที่หลุดออกไป

ในปี ค.ศ. 1999 M. Noroozian, C.W. Taylor [2] ได้ศึกษาการนำอุปกรณ์ SVC มาติดตั้งใช้งานกับระบบส่งกำลังไฟฟ้าจำลองขนาด 2 บัส ที่ระดับแรงดัน 230 kV. และจ่ายโหลดที่ 600 MW โดยนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ SVC และปัจจัยที่มีผลต่อการปรับปรุงเสถียรภาพทางด้านแรงดันในระบบไฟฟ้าเมื่อเกิดแรงดันตกชั่วขณะขึ้นในระบบ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า SVC สามารถรักษาเสถียรภาพของแรงดันในภาวะชั่วขณะได้ นอกจากนี้งานวิจัยดังกล่าวได้พิจารณาถึงผลของกระแสฮาร์โมนิก และ ความไวในการตอบสนองการทำงานของ SVC เพื่อ

ปรับปรุงความสามารถของ SVC ในการรักษาเสถียรภาพของแรงดันให้ดีขึ้นได้ เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ STATCOM ที่มีลักษณะการทำงานคล้ายกัน

2.4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้า

ในปี ค.ศ. 2004 R.You, Nehrir M.H. [25] ได้นำเสนอวิธีการออกแบบชุดควบคุมการลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในอุปกรณ์ SVC ด้วยทฤษฎีการควบคุมแบบง่าย (Classical control) ซึ่งใช้ตัวควบคุมการชดเชยเฟสแบบล่าหลังและนำหน้า (Lead-Lag Controller) โดยอุปกรณ์ SVC ถูกนำไปติดตั้งในระบบที่ประกอบด้วยบัสไฟฟ้าจำนวนทั้งสิ้น 68 บัส และกลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 4 กลุ่ม จำนวนทั้งสิ้น 16 เครื่อง ผลที่ได้สามารถลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในโหมดการแกว่งระหว่างกลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Inter-area oscillation) ได้ ณ จุดทำงานที่ภาวะคงตัวหนึ่งของระบบ นอกจากนี้ยังพบว่าหากจุดทำงานมีการเปลี่ยนแปลงไป ตัวควบคุมชนิดนี้จะยังสามารถใช้แก้ปัญหาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในโหมดดังกล่าวได้ แต่มีประสิทธิภาพลดลง

ในปี ค.ศ. 1995 Q. Zhao, J. Jiang [26] นำเสนอวิธีสังเคราะห์ชุดควบคุมการทำงานของ SVC เพื่อช่วยลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้า โดยใช้ทฤษฎีควบคุมแบบคงทน (Robust control) ทดสอบกับระบบส่งกำลังไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 เครื่องเชื่อมต่อกันผ่านสายส่ง 1 เส้น โดยให้จุดกึ่งกลางของสายส่งมี SVC ติดตั้งอยู่ ผลที่ได้พบว่า ในกรณีที่ระบบมีการเปลี่ยนแปลงจุดทำงานไปจากจุดทำงานเริ่มต้น ซึ่งอาจเกิดจากความไม่แน่นอนในการจ่ายกำลังไฟฟ้า เช่น เกิดการไหลของกำลังไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามกับจุดทำงานปกติเดิม ตัวควบคุมที่ออกแบบด้วยวิธีการดังกล่าวยังสามารถทำงานได้ดีในการลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้า แม้ว่าช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของจุดทำงานจะอยู่ในช่วงกว้าง ๆ ซึ่งให้ผลดีกว่าตัวควบคุมที่ออกแบบโดยใช้ทฤษฎีควบคุมแบบง่าย

ในปี ค.ศ. 2003 M.A Abido, Y.L. Abdel-Magid [27] นำเสนอวิธีการลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าโดยการสังเคราะห์ตัวควบคุมของ SVC ด้วยทฤษฎีควบคุมแบบคงทน (Robust control) ให้ใช้งานในระบบส่งกำลังไฟฟ้าที่เชื่อมโยงระหว่างบัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับบัสไฟฟ้านันต์ โดยระหว่างกึ่งกลางของสายส่งเชื่อมโยงระหว่างบัสทั้งสองจะมี SVC ติดตั้งอยู่ ซึ่งงานวิจัยนี้ออกแบบตัวควบคุม SVC ให้ทำหน้าที่ลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าร่วมกับระบบรักษาเสถียรภาพซึ่งอยู่ภายในระบบกระตุ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส (Power System Stabilizer: PSS) ได้อย่างเหมาะสม ผลที่ได้ คือ SVC สามารถลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่ส่งไปยังบัสนันต์ร่วมกับ PSS ในช่วงที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างได้