

# การปรับปรุงเสถียรภาพชั่วคราวระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้ อุปกรณ์จำกัดกระแส ลัดวงจรชนิดตัวนำยิ่งยวดร่วมกับ ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสถิต

Power System Transient Stability Improvement Using a Combined Superconducting  
Fault Current Limiter with Static Var Compensator

สุทธิรักษ์ สิทธิโชคธรรม และ คมสันต์ หงษ์สมบัติ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: suddirag.si@hotmail.com, fengksh@ku.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการปรับปรุงเสถียรภาพชั่วคราวของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมโยงกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์จำกัดกระแสลัดวงจรชนิดตัวนำยิ่งยวด (Superconducting Fault Current Limiter : SFCL) และตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสถิต (Static Var Compensator : SVC) เมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นในโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง ความรุนแรงของกระแสลัดวงจรอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการปรับปรุงเสถียรภาพชั่วคราวของระบบไฟฟ้ากำลัง การแก้ปัญหาด้วย SVC อาจทำให้ประสิทธิภาพในการทำเสถียรภาพไม่เพียงพอ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว บทความนี้จึงมีการประยุกต์ใช้ SFCL ติดตั้งเพิ่มในระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อจำกัดขนาดกระแสลัดวงจรให้มีความรุนแรงต่ำลง จากผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นว่าการทำงานร่วมกันของ SFCL และ SVC สามารถเพิ่มสมรรถนะในการปรับปรุงเสถียรภาพชั่วคราวได้มากกว่าการติดตั้ง SVC เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้การติดตั้ง SFCL ยังช่วยลดขนาดของ SVC ลง ทำให้ประหยัดต้นทุนได้อีกด้วย

## คำสำคัญ

อุปกรณ์จำกัดกระแสลัดวงจรชนิดตัวนำยิ่งยวด ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสถิต  
เสถียรภาพชั่วคราว

## Abstract

This paper presents the transient stability improvement of the interconnected power system using the combined Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) and Static Var Compensator (SVC). When the fault occurs in power system networks, the severe short-circuit current might effect the effectiveness of the transient stability improvement. By applying only SVC for power system stabilization, it might not be enough for improving the effectiveness of power system

stabilization. To solve this problem, this paper applies the SFCL to be installed in the power system so that it can help limit the severity of short-circuit currents. The results from computer simulations reveal that the combined SFCL and SVC can help improve the transient stability performance more effectively, compared to one with SVC only. Additionally, SFCL can reduce the size of SVC significantly, resulting to a lower investment cost.

## Keywords

superconducting fault current limiter, SFCL, static var compensator, SVC, transient stability

## 1. คำนำ

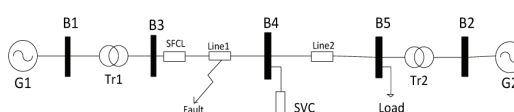
ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังขยายเป็นโครงข่ายขนาดใหญ่ที่มีการเชื่อมโยงเข้าหากันเพิ่มขึ้นผลที่ตามมา คือ เมื่อเกิดการรบกวนขนาดใหญ่ในระบบ เช่น เกิดการลัดวงจร กระแสลัดวงจรจะมีความรุนแรงมากขึ้นส่งผลให้เสถียรภาพชั่วคราวของระบบมีประสิทธิภาพต่ำลงซึ่งอาจทำให้ระบบไม่สามารถรักษาสถานะซึ่งโครโนซ์ได้ จากปัญหาดังกล่าว Abdou [1] ได้นำเสนอการใช้อุปกรณ์สร้างความยืดหยุ่นให้ระบบส่งไฟฟ้า (Flexible Alternating Current Transmission System : FACTS) โดยใช้อุปกรณ์ SVC ซึ่งทำหน้าที่ชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพโดยต่อขนานเข้ากับระบบทำให้สามารถปรับปรุงเสถียรภาพชั่วคราวของระบบให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น แต่จากระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่ใหญ่ขึ้นความรุนแรงของกระแสลัดวงจรในบางกรณี เช่น เกิดการลัดวงจรที่บริเวณใกล้สถานีไฟฟ้าส่งผลให้ประสิทธิภาพของ SVC ไม่สามารถแก้ปัญหาเสถียรภาพชั่วคราวของระบบไฟฟ้าได้เพียงพอ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว Khan [2] ได้นำเสนอการใช้ SFCL ในการจำกัดความรุนแรงของกระแสลัดวงจรเพื่อเพิ่มเสถียรภาพชั่วคราวของระบบ แต่การใช้งาน SFCL ก็มีข้อจำกัดตรงที่สามารถแก้ปัญหาเฉพาะกรณีการเกิดลัดวงจรเท่านั้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการทำงาน

ร่วมกันของ SFCL และ SVC ในระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อเพิ่มสมรรถนะในการปรับปรุงเสถียรภาพชั่วคราวของระบบไฟฟ้ากำลังให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

## 2. ระบบไฟฟ้ากำลังและแบบจำลองศึกษา

### 2.1 ระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการศึกษา

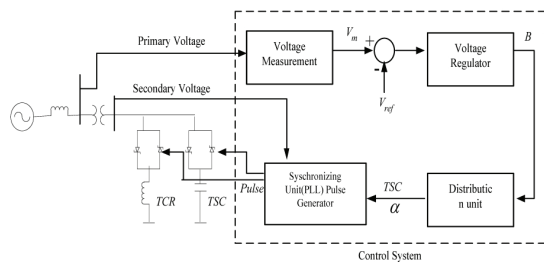
ภาพที่ 1 แสดงระบบไฟฟ้ากำลัง โดยมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสองชุด [3] เชื่อมโยงกันผ่านสายส่งแรงดันไฟฟ้าแรงสูง 500 kV มีศูนย์กลางโหลดอยู่ที่บัส 5 มีการติดตั้ง SVC บริเวณกลางสายส่งที่บัส 4 โดยได้เพิ่มการติดตั้งอุปกรณ์ SFCL ที่ต้นทางสายส่ง Line1 หลังบัส 3



ภาพที่ 1 ระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการติดตั้ง SFCL และ SVC

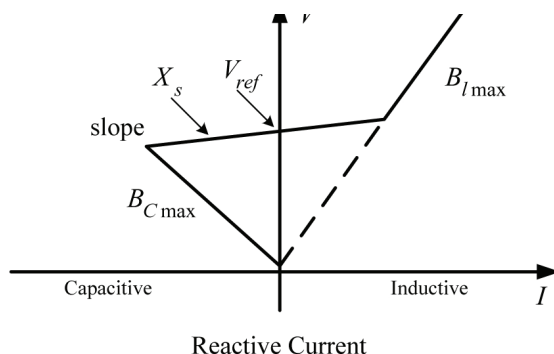
### 2.2 แบบจำลอง SVC

ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสถิต (SVC) [4] เป็นอุปกรณ์ควบคุมแรงดันอัตโนมัติด้วยการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ โดยใช้การควบคุมด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว โครงสร้างและชุดควบคุมของ SVC แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างและชุดควบคุมของ SVC

สถานะการทำงานของ SVC ในโหมดการควบคุมแรงดันไฟฟ้าขึ้นอยู่กับค่าการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าของระบบซึ่งมีขอบเขตการทำงานตามคุณลักษณะเฉพาะของกราฟ แรงดันไฟฟ้า-กระแสไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 คุณลักษณะเฉพาะของแรงดันไฟฟ้า-กระแสไฟฟ้า ของ SVC

การจ่ายกระแสคาปาซิทีฟและรับกระแสอินดักทีฟของ SVC แสดงได้ดังสมการที่ (1) ถึง (3)

$$V = V_{ref} + X_s \cdot I \quad (1)$$

เมื่อ SVC ทำงานในช่วง  $-B_{C \max} < B < B_{L \max}$

$$V = - \frac{I}{B_{C \max}} \quad (2)$$

เมื่อ SVC ทำหน้าที่เป็นคาปาซิทีฟ  $B = B_{C \max}$

$$V = - \frac{I}{B_{C \max}} \quad (3)$$

เมื่อ SVC ทำหน้าที่เป็นอินดักทีฟ  $B = B_{L \max}$

โดย  $V$  คือ แรงดันลำดับบวก

$I$  คือ กระแสอินดักทีฟ (ค่าเป็นบวก)  
หรือกระแสคาปาซิทีฟ (ค่าเป็นลบ)

การตอบสนองแบบไดนามิกของ SVC ความเร็วในการทำงานจะขึ้นอยู่กับค่า gain การควบคุมแรงดัน  $K_p$  กับ  $K_i$  และระดับของการลัดวงจร สำหรับกรณีนี้  $K_p$  เท่ากับศูนย์ การหาค่าเวลาการทำงานของ SVC แสดงได้ดังสมการที่ (4)

$$T_c = \frac{1}{K_i \cdot (X_s + X_n)} \quad (4)$$

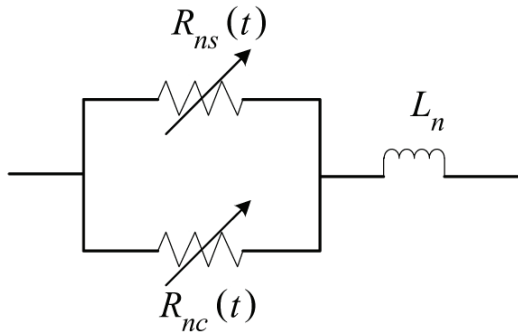
โดย  $T_c$  คือ เวลาคงที่ของ closed-loop

$X_s$  คือ ความชันของรีแอคแตนซ์

$X_n$  คือ รีแอคแตนซ์รวมของระบบ

### 2.3 แบบจำลอง SFCL

อุปกรณ์จำกัดกระแสลัดวงจรชนิดตัวนำยิ่งยวด (SFCL) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นประเภทความต้านทาน (Resistive Type) [5] โดยแสดงโครงสร้างอย่างง่ายดังภาพที่ 4 ประกอบด้วยความต้านทานเสถียรภาพ  $R_{ns}(t)$  ต่อขนานกับความต้านทานตัวนำยิ่งยวด  $R_{nc}(t)$  และมีความเหนี่ยวนำขดลวด  $L_n$  ต่ออนุกรม



ภาพที่ 4 โครงสร้างอย่างง่ายของตัวต้านทาน SFCL

สภาวะปกติค่าของ  $R_{ns}(t)$  และ  $R_{nc}(t)$  จะเป็นศูนย์ ส่วน  $L_n$  เป็นค่าขดลวดตัวนำยิ่งยวดที่ทำให้เกิดความสูญเสียในสภาวะปกติ โดยทางปฏิบัติจะมีขนาดเล็กมากจึงสามารถละเว้นส่วนนี้ได้ หลักการทำงานของ SFCL จะอาศัยคุณสมบัติพิเศษของวัสดุตัวนำยิ่งยวด โดยถ้ากระแสที่ไหลผ่าน SFCL มีอุณหภูมิหรือกระแสต่ำกว่าค่าวิกฤต อุปกรณ์จะมีสภาพการนำไฟฟ้าโดยปราศจากความต้านทาน ซึ่งเรียกสถานะนี้ว่า superconducting state แต่ถ้าเกิดการลัดวงจรแล้วค่าขนาดกระแสไฟฟ้าเกินกว่าค่าวิกฤต SFCL จะเกิดการเปลี่ยนสภาวะตัวนำยิ่งยวดเป็นสภาวะความต้านทาน ซึ่งเรียกการเปลี่ยนแปลงนี้ว่า Quenching จากนั้นค่าความต้านทานจะลดลงเข้าสู่ช่วง Recovery กลับสู่ superconducting state อีกครั้ง โดยแสดงความสัมพันธ์ของ SFCL ได้ดังสมการที่ (5) [6]

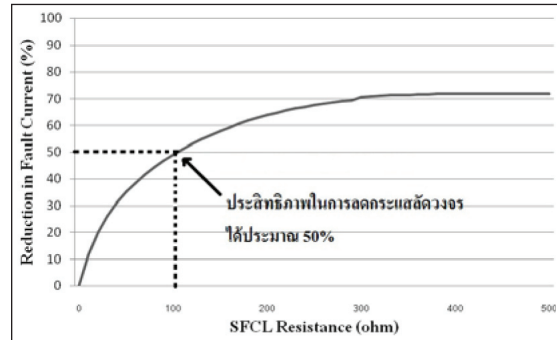
$$R_{SFCL}(t) = R_m [1 - \exp(-\frac{t}{T_{sc}})] \quad (5)$$

โดย  $R_m$  คือ ความต้านทานสูงสุดของ SFCL

$T_{sc}$  คือ ค่าคงตัวทางเวลาในช่วงที่เปลี่ยนสถานะ Quenching

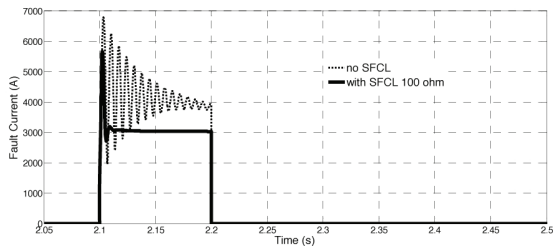
### 3. การจำกัดกระแสลัดวงจรของ SFCL

ประสิทธิภาพในการจำกัดกระแสลัดวงจรกับขนาดความต้านทานของ SFCL ที่ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้ากำลังที่ทำการศึกษา แสดงได้ดังภาพที่ 5

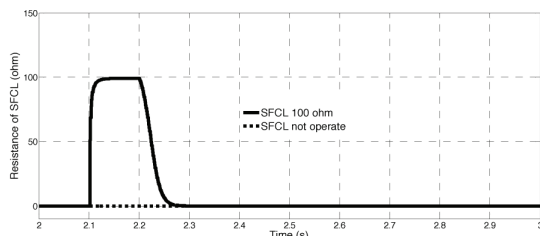


ภาพที่ 5 การจำกัดกระแสลัดวงจรต่อขนาดความต้านทาน SFCL ที่ต่อเข้ากับวงจรในภาพที่ 1

จากภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่าขนาดความต้านทานของ SFCL ที่เพิ่มมากขึ้น สามารถจำกัดขนาดกระแสลัดวงจรได้สูงขึ้นตามไปด้วย โดยที่ค่าความต้านทานขนาดสูงสุด 300 โอห์มจะสามารถลดกระแสลัดวงจรได้สูงสุด 70% แต่เมื่อค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นกว่านี้จะไม่สามารถจำกัดขนาดกระแสลัดวงจรลงได้ และเมื่อพิจารณาที่ค่าความต้านทานขนาด 100 โอห์ม โดยสามารถลดกระแสลัดวงจรได้ 50% ซึ่งเป็นขนาดที่มีประสิทธิภาพในการจำกัดกระแสลัดวงจรได้ดีที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ค่า SFCL ขนาด 100 โอห์มสำหรับปรับปรุงเสถียรภาพชั่วคราวร่วมกับ SVC ต่อไป



ภาพที่ 6 การจำกัดกระแสลัดวงจรของ SFCL ขนาด 100 โอห์ม



ภาพที่ 7 ความต้านทานของ SFCL ขณะเกิดการลัดวงจร

ภาพที่ 6 แสดงผลการจำกัดกระแสลัดวงจรของ SFCL ขนาด 100 โอห์ม เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการติดตั้ง SFCL และภาพที่ 7 แสดงค่าความต้านทานของ SFCL ขณะเกิดการลัดวงจร ตามลำดับ

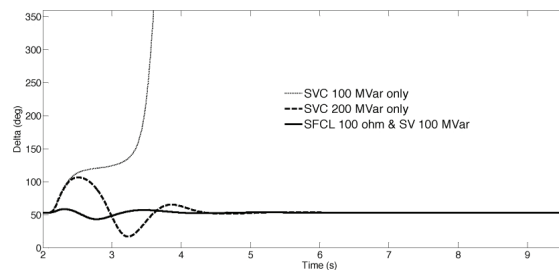
#### 4. การศึกษาแบบจำลอง

การศึกษาแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะที่ดีขึ้นเมื่อมีการประยุกต์ใช้ SFCL ร่วมกับ SVC บทความนี้ได้จำลองสถานการณ์ที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยเกิดการลัดวงจรชนิด 3 เฟสที่บริเวณกลางสายส่ง L1 ในระบบไฟฟ้ากำลังที่แสดงในภาพที่ 1

#### ตารางที่ 1 การจำลองสถานการณ์ที่แตกต่างกัน

| กรณีการทดลอง                                         | สถานการณ์ในการจำลอง                                          |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 1. ติดตั้งเฉพาะ SVC ขนาด 100 MVar                    | เกิดการลัดวงจรชนิดสามเฟสที่กลางสายส่ง L1 ระยะเวลา 0.1 วินาที |
| 2. ติดตั้งเฉพาะ SVC ขนาด 200 MVar                    |                                                              |
| 3. ติดตั้ง SFCL ขนาด 100 โอห์ม และ SVC ขนาด 100 MVar |                                                              |

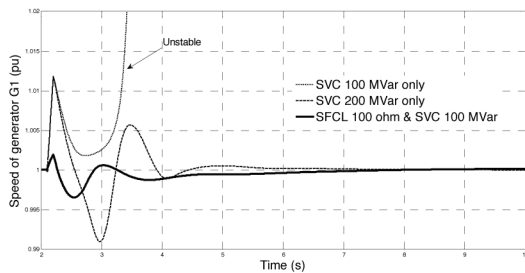
ผลจากการลัดวงจร แสดงผลต่างมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า G1 และ G2 ดังภาพที่ 8 พบว่า กรณีติดตั้งเฉพาะ SVC ขนาด 100 MVar ผลต่างมุมโรเตอร์มีค่ามากจนทำให้ระบบสูญเสียสภาพซิงโครไนซ์ ส่วนกรณีติดตั้งเฉพาะ SVC ขนาด 200 MVar ผลต่างมุมโรเตอร์ลดลง ทำให้ระบบยังคงมีเสถียรภาพ และกรณีติดตั้ง SFCL ขนาด 100 โอห์มร่วมกับ SVC ขนาด 100 MVar ผลต่างมุมโรเตอร์มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งระบบมีเสถียรภาพชั่วคราวที่ดีที่สุด



ภาพที่ 8 ผลต่างมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า G1 และ G2

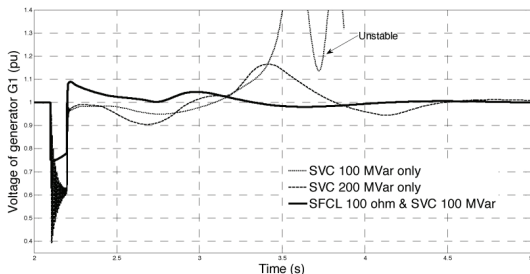
เมื่อพิจารณาความเร็วเชิงมุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า G1 แสดงดังภาพที่ 9 พบว่า กรณีที่มีการติดตั้งเฉพาะ SVC ขนาด 100 MVar หลังการลัดวงจรความเร็วเชิงมุมของ G1 จะเพิ่มสูงมากจนทำให้ระบบสูญเสียสภาพ ซิงโครไนซ์ แต่เมื่อเพิ่มขนาดการติดตั้ง SVC ให้ใหญ่ขึ้นเป็น 200 MVar

จะช่วยทำให้ระบบกลับมามีเสถียรภาพ และเมื่อติดตั้ง SFCL ขนาด 100 โอห์ม ร่วมกับ SVC ขนาด 100 MVar จะสามารถช่วยลดการแกว่งของความถี่เชิงมุมได้ดีขึ้นซึ่งเพิ่มเสถียรภาพชั่วคราวได้ดีที่สุด



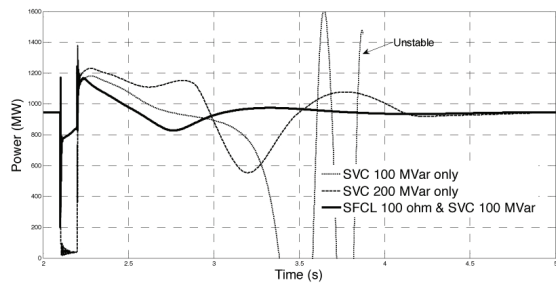
ภาพที่ 9 ความเร็วเชิงมุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า G1

ส่วนการพิจารณาแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า G1 ดังภาพที่ 10 พบว่า กรณีติดตั้งเฉพาะ SVC ขนาด 100 MVar ขณะเกิดการลัดวงจรแรงดันของ G1 มีขนาดลดลงต่ำมาก มีค่าประมาณ 60% หลังจากนั้นจะสูญเสียสภาพซิงโครไนซ์ แต่เมื่อเพิ่มขนาดติดตั้ง SVC ให้ใหญ่ขึ้นเป็น 200 MVar จะช่วยให้ระบบกลับมามีเสถียรภาพ แต่แรงดันขณะเกิดการลัดวงจรยังไม่ได้รับการปรับปรุง และเมื่อติดตั้ง SFCL ขนาด 100 โอห์มร่วมกับ SVC ขนาด 100 MVar ช่วยทำให้ระบบมีเสถียรภาพชั่วคราวดีที่สุด และยังช่วยปรับปรุงขนาดแรงดันขณะเกิดการลัดวงจรให้สูงขึ้นได้ มีค่าประมาณ 75%



ภาพที่ 10 แรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า G1

การพิจารณาการส่งกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า G1 ดังภาพที่ 11 พบว่า กรณีที่มีการติดตั้งเฉพาะ SVC ขนาด 100 MVar ขณะเกิดการลัดวงจรจะไม่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้ และหลังจากนั้นระบบจะสูญเสียสภาพซิงโครไนซ์ แต่เมื่อเพิ่มขนาดการติดตั้ง SVC ให้ใหญ่ขึ้นเป็น 200 MVar การส่งกำลังไฟฟ้าขณะเกิดการลัดวงจรก็ยังไม่สามารถส่งได้ แต่หลังจากสิ้นสุดการลัดวงจรระบบจะมีเสถียรภาพในการส่งกำลังไฟฟ้า และเมื่อติดตั้ง SFCL ขนาด 100 โอห์มร่วมกับ SVC ขนาด 100 MVar จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งกำลังไฟฟ้าขณะเกิดการลัดวงจรได้ และหลังจากนั้นก็ช่วยให้ระบบมีเสถียรภาพชั่วคราวดีที่สุด



ภาพที่ 11 การส่งกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า G1

จากผลการจำลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่าระบบที่มีการติดตั้งเฉพาะ SVC ขนาด 100 MVar หลังจากเกิดการลัดวงจรระบบจะสูญเสียสภาพซิงโครไนซ์ ทำให้ต้องเพิ่มขนาดการติดตั้ง SVC ให้ใหญ่ขึ้นเป็น 200 MVar ซึ่งจะทำให้ระบบกลับมามีเสถียรภาพได้ และเมื่อติดตั้ง SFCL ขนาด 100 โอห์มร่วมกับ SVC ขนาด 100 MVar ทั้งขณะเกิดการลัดวงจรและหลังจากการลัดวงจร ระบบได้รับการปรับปรุงเสถียรภาพชั่วคราวดีที่สุด แต่เนื่องจากอุปกรณ์ SFCL และ SVC เป็นเทคโนโลยีที่ใช้การลงทุนสูง การติดตั้งอุปกรณ์



ทั้งคู่ร่วมกันอาจไม่คุ้มค่าในด้านการลงทุน แต่การใช้ SFCL ร่วมกับ SVC จะช่วยลดภาระการทำงานของ SVC ลงได้ โดยแสดงผลการคำนวณ MVar และ MJ ที่ใช้ในการปรับปรุงเสถียรภาพชั่วคราวของ SVC ภายใต้เงื่อนไขการทำงานที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า กรณีระบบไฟฟ้าที่ติดตั้ง SFCL ขนาด 100 โอห์มร่วมกับ SVC ขนาด 100 MVar สามารถช่วยลดขนาดการใช้งาน MVar และ MJ ของ SVC ได้มากกว่ากรณีติดตั้งเฉพาะ SVC ขนาด 200 MVar เพียงอย่างเดียวถึง 75% และ 48% ตามลำดับ ซึ่งทำให้สามารถประหยัดต้นทุนโดยการลดขนาดการติดตั้ง SVC ลงได้

**ตารางที่ 2** เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ MVar และ พลังงาน MJ ของ SVC

| กรณีการทดลอง                                      | กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของ SVC (MVar) | พลังงานของ SVC (MJ) |
|---------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------|
| ติดตั้งเฉพาะ SVC ขนาด 200 MVar                    | 73                               | 0.364               |
| ติดตั้ง SFCL ขนาด 100 โอห์ม และ SVC ขนาด 100 MVar | 18                               | 0.188               |

## 5. สรุปและข้อเสนอแนะ

บทความนี้นำเสนอวิธีการปรับปรุงเสถียรภาพชั่วคราวของระบบไฟฟ้ากำลังโดยอาศัยการทำงานร่วมกันของ SFCL และ SVC ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นว่า ระบบไฟฟ้ากำลังที่ติดตั้ง SFCL ร่วมกับ SVC นั้นสามารถปรับปรุงเสถียรภาพชั่วคราวของระบบ

ไฟฟ้ากำลังได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยสามารถจำกัดกระแสลัดวงจรให้ต่ำลงซึ่งช่วยลดความเสียหายของอุปกรณ์ทำให้ความน่าเชื่อถือของระบบดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดขนาดกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของ SVC ได้มากกว่ากรณีที่มีการติดตั้งเฉพาะ SVC เพียงอย่างเดียวทำให้ประหยัดการลงทุนได้

อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ SFCL และ SVC ต้องใช้การลงทุนสูง ดังนั้นการศึกษาและวิจัยในอนาคตควรจะศึกษาเพิ่มเติมถึงความเหมาะสมที่สุดในเรื่องของขนาดและตำแหน่งในการติดตั้งใช้งานเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และมีความคุ้มค่าในด้านการลงทุนด้วย

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Abdou A. F., Abu-Siada A., and Pota H. R., (2012), "Application of SVC on Stabilizing Torsional Oscillations and Improving Transient Stability," Power and Energy Society General Meeting.
- [2] Khan U. A., Seong J. K., Lee S. H., Lim S. H., and Lee B. W., (2011), "Feasibility Analysis of the Positioning of Superconducting Fault Current Limiters for the Smart Grid Application Using Simulink and Sim Power System," IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. 21, no. 3, p. 2165.
- [3] Xu L., (2013), "Coordinated Control of SVC and PSS for Transient Stability Enhancement of Multi-Machine Power System," Telkomnika, vol. 11, no. 2, pp. 1054-1062.



- [4] Sabai N., Maung H. N., and Win T., (2008), "Voltage Control and Dynamic Performance of Power Transmission System Using Static Var Compensator," World Academy of Science, Engineering and Technology.
- [5] Sung B. C., Park D. K., Park J. W., and Ko T. K., (2009), "Study on a Series Resistive SFCL to Improve Power System Transient Stability: Modeling, Simulation, and Experimental Verification," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 56, no. 7, p. 2412.
- [6] Ngamroo I., and Vachirasricirikul S., (2012), "Coordinated Control of Optimized SFCL and SMES for Improvement of Power System Transient Stability," IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. 22, no. 3, p. 5600805.