

การหาออปติไมัสมักหาเวอร์โไฟลด์ของระบบแอะซี-ดีซี  
โดยใช้วิธีสี่เหลี่ยมเชิงควอดราติกโปรแกรมมิ่ง

OPTIMAL POWER FLOW OF AC-DC SYSTEMS USING  
SEQUENTIAL QUADRATIC PROGRAMMING METHOD



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ปีที่ตีพิมพ์ฉบับ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-324-012-8

การทำออปติไมซ์เพาเวอร์ฟลิวของระบบเอซี-ดีซี  
โดยใช้วิธีสี่เหลี่ยมเชิงลควอดราติกโปรแกรมมิ่ง

OPTIMAL POWER FLOW OF AC-DC SYSTEMS USING  
SEQUENTIAL QUADRATIC PROGRAMMING METHOD



เลขหม.....  
เลขทะเบียน..... 44046  
วัน, เดือน, ปี 25 ต.ค. 2545

b.....  
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2545

ISBN 974-324-012-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**OPTIMAL POWER FLOW OF AC-DC SYSTEMS USING  
SEQUENTIAL QUADRATIC PROGRAMMING METHOD**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2002**

**ISBN 974-324-012-8**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2002**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ของระบบเอซี-ดีซีโดยใช้วิธีสี่เหลี่ยม  
ควอดราติกโปรแกรมมิ่ง  
OPTIMAL POWER FLOW OF AC-DC SYSTEMS USING SEQUENTIAL  
QUADRATIC PROGRAMMING METHOD


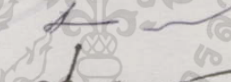
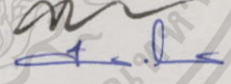
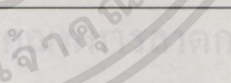
ชื่อนักศึกษา              นายพรเทพ      ปัญญาแก้ว

รหัสประจำตัว              42061068

ปริญญา                      วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา                  วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์      รศ.ศิริวัฒน์      โปธิเวชกุล

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชัชวาลิ	นิตรอุทัย	
รศ.มณฑล	ลีลาจินดาไกรฤกษ์	
รศ.สุลี	บรรจงจิตร	
รศ.ศิริวัฒน์	โปธิเวชกุล	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 2 สิงหาคม 2545 เวลา 14.00-16.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-404)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัฐชู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 19 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2545

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบเอช-ดีซี โดยใช้วิธีซีแควนเชียลควอดราติกโปรแกรมมิ่ง
นักศึกษา	นายพรเทพ ปัญญาแก้ว
รหัสประจำตัว	42061068
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ ได้นำเสนอการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเมื่อรวมและไม่รวมผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรลในสถานะอยู่ตัวและเป็นโหลดสมคูลย์ ซึ่งพิจารณาหากำลังผลิตที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่บัสและค่าแท๊ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนการผลิตรวมของระบบไฟฟ้ากำลังต่ำที่สุดและยังคงดำเนินงานอยู่ในขอบเขตที่ปลอดภัยในสภาวะการทำงานปกติ โดยใช่วิธีซีแควนเชียลควอดราติกโปรแกรมมิ่ง ทำการวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่รวมผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรลในระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเมื่อทำการเชื่อมต่อนับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงระหว่าง 2 ชนิดบัสใดๆ โดยทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของอุปกรณ์ต่างๆในระบบต่อค่าการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบ พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเมื่อมีและไม่มีกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเมื่อทำการเชื่อมต่อนับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงระหว่างบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมและกำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบต่ำที่สุด สำหรับการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อรวมและไม่รวมผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรลใน 2 กรณีคือ เมื่อโหลดในระบบโดยรวมเพิ่มขึ้นและลดลง ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อรวมผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมต่ำที่สุดเมื่อโหลดในระบบโดยรวมเพิ่มขึ้น และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่รวมผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมต่ำที่สุดเมื่อโหลดในระบบโดยรวมลดลง โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการรับค่าข้อมูลอินพุตและการแสดงผลลัพธ์และทำการเขียนโปรแกรมในส่วนของกำนวนบน MATLAB

<b>Thesis Title</b>	Optimal Power Flow of AC-DC Systems Using Sequential Quadratic Programming Method
<b>Student</b>	Mr.Pornthep Panyakaew
<b>Student ID.</b>	42061068
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Programme</b>	Electrical Engineering
<b>Year</b>	2002
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc.Prof.Siriwat Potivejkul

### ABSTRACT

This thesis presents an optimal power flow with and without load frequency control effect in the steady state of AC-DC systems and balanced load, which determining the optimal setting of generating units, bus voltage and transformer tap. The objective is based on the sequential quadratic programming method so that total production cost can be minimized and operated the system within security limits in normal condition. The analysis of optimal power flow without load frequency control of AC-DC systems with HVDC connected between two-bus type. The results of the proposed approach can be compared the economic operation in the system due to effect of power system components and also be compared the AC system without and with HVDC link having constant and varied dc power transfer. It is found that optimal power flow without load frequency control of AC-DC systems with HVDC connected between generator bus and generator bus gives minimized total production cost and real power losses in the system. The analysis and comparison of optimal power flow with and without load frequency control effect in two cases, i.e. total load demand increased and decreased. The results show that optimal power flow with load frequency control effect when total load demand increased give minimized total production cost in the system and optimal power flow without load frequency control effect when total load demand decreased give minimized total production cost in the system. Simulations are performed using Microsoft Excel for input data and shows output and MATLAB programming for solution.

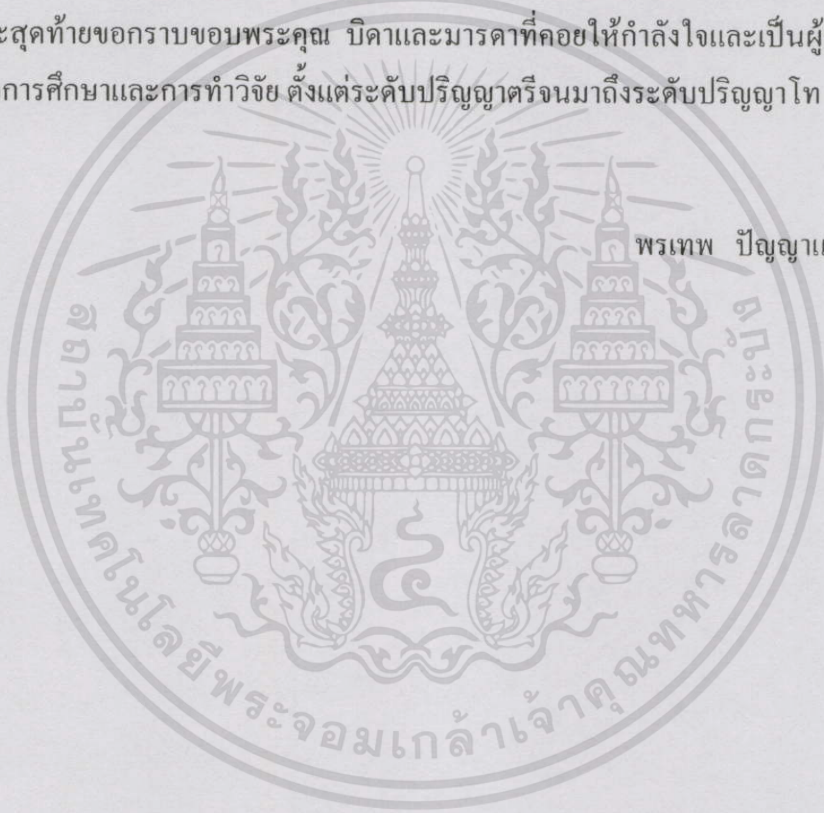
# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี โดยได้รับคำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยจากท่าน รศ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความสนับสนุนช่วยเหลือในด้านต่างๆและเงินทุนสนับสนุนในการจัดทำวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัย

ขอขอบคุณ คุณเสีบบงศ์ สุวรรณภูฏ คุณฉันทกร จำศีลปี และคุณวรวิทย์ กัลยาเรือนที่ได้ให้ความร่วมมือและสนับสนุนข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาตรีและนักศึกษาปริญญาโทของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการจัดทำวิทยานิพนธ์

และสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดาและมารดาที่คอยให้กำลังใจและเป็นผู้สนับสนุนในทุกๆด้านต่อการศึกษาและการทำวิจัย ตั้งแต่ระดับปริญญาตรีจนถึงระดับปริญญาโท



พรเทพ ปัญญาแก้ว

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	XII
สารบัญภาพ.....	XXV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด.....	7
2.1 บทนำ.....	7
2.2 สมการของการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบมีเงื่อนไขบังคับ.....	8
2.3 สถานะของฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับ.....	8
2.4 เงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการหาค่าเหมาะสมที่สุด.....	9
2.5 การสิ้นสุดกระบวนการ.....	10
2.6 วิธีซีเคเวนเซียลควอดราติกโปรแกรมมิ่ง.....	11
2.6.1 การประมาณ Hessian matrix.....	12
2.6.2 การหาทิศทางของการพุ่งเข้า.....	12
2.6.3 การหาช่วงก้าวที่เหมาะสม.....	12
2.7 สรุป.....	14
บทที่ 3 ทฤษฎีและวิธีการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	15

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1 บทนำ.....	15
3.2 การศึกษาเพาเวอร์โฟลว์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ.....	15
3.2.1 การแปลงค่าต่อหน่วยของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ.....	15
3.2.2 แบบจำลองของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ.....	16
3.2.2.1 แบบจำลองสายส่งไฟฟ้า.....	16
3.2.2.2 แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับค่าเก็บ.....	17
3.2.3 สมการของการคำนวณเพาเวอร์โฟลว์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ.....	19
3.3 ชนิดของบัสในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ.....	21
3.4 วิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัด.....	22
3.4.1 การสิ้นสุดกระบวนการของการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด.....	23
3.4.2 การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด.....	23
3.5 วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ.....	24
3.5.1 การสิ้นสุดกระบวนการของการแก้ปัญหาการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์.....	25
3.5.2 การแก้ปัญหาการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ.....	26
3.6 สรุป.....	27
บทที่ 4 ทฤษฎีและวิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ของระบบเอช-ดีซี.....	28
4.1 บทนำ.....	28
4.2 ทฤษฎีของระบบเอช-ดีซี.....	28
4.2.1 วงจรคอนเวอร์เตอร์และสมการคุณลักษณะ.....	28
4.2.1.1 การวิเคราะห์โดยไม่พิจารณาค่าความเหนี่ยวนำของแหล่งจ่าย.....	31
4.2.1.2 การวิเคราะห์โดยพิจารณาค่าความเหนี่ยวนำของแหล่งจ่าย.....	35
4.2.1.3 การทำงานของคอนเวอร์เตอร์ในสถานะของเครื่องเรียงกระแส.....	37
4.2.1.4 การทำงานของคอนเวอร์เตอร์ในสถานะของอินเวอร์เตอร์.....	38
4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เป็นเอชกับปริมาณที่เป็นดีซี.....	39
4.2.2.1 ความสัมพันธ์ที่เป็นค่าโดยตรง.....	39
4.2.2.2 ความสัมพันธ์ที่เป็นค่าโดยประมาณ.....	41
4.2.2.3 ความสัมพันธ์ของคอนเวอร์เตอร์ที่เป็นแบบหลายบริดจ์.....	43

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 แบบจำลองของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง .....	44
4.4 แบบจำลองของระบบเอชอี-ดีซี .....	46
4.4.1 การแปลงค่าต่อหน่วยของระบบเอชอี-ดีซี .....	46
4.4.2 แบบจำลองของระบบเอชอี-ดีซี .....	47
4.5 ชนิดของบัสในระบบเอชอี-ดีซี .....	47
4.6 วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอชอี-ดีซี .....	48
4.6.1 การสิ้นสุดกระบวนการของการแก้ปัญหาการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ ของระบบเอชอี-ดีซี .....	49
4.6.2 การแก้ปัญหาการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอชอี-ดีซี .....	50
4.7 สรุป .....	51
<b>บทที่ 5 หลักการและวิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์โดยรวมผลของ โหนดฟรีแควนซ์คอนโทรล .....</b>	<b>53</b>
5.1 บทนำ .....	53
5.2 การศึกษาโหนดฟรีแควนซ์คอนโทรล .....	53
5.2.1 หลักการของตัวควบคุมความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า .....	53
5.2.1.1 ผลตอบสนองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงของโหนด .....	54
5.2.1.2 ผลตอบสนองของโหนดต่อความเบี่ยงเบนของความถี่ไฟฟ้า .....	55
5.2.1.3 คุณลักษณะตัวควบคุมความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างๆในระบบ .....	56
5.2.2 การควบคุมค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า .....	59
5.2.3 การวิเคราะห์โหนดฟรีแควนซ์คอนโทรลในระบบไฟฟ้ากำลัง .....	60
5.3 วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์โดยรวมผลของโหนดฟรีแควนซ์คอนโทรล .....	62
5.4 สรุป .....	64
<b>บทที่ 6 ระบบไฟฟ้ากำลังที่ทำการศึกษาและผลการวิเคราะห์ .....</b>	<b>65</b>
6.1 บทนำ .....	65
6.2 การทดสอบโปรแกรมการหาค่าเหมาะสมที่สุด .....	65
6.2.1 การทดสอบโปรแกรมการหาค่าเหมาะสมที่สุดเทียบกับปัญหาทดสอบที่หนึ่ง .....	66

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.2.2 การทดสอบ โปรแกรมการหาค่าเหมาะสมที่สุดเทียบกับปัญหาทดสอบที่สอง.....	67
6.3 การทดสอบ โปรแกรมออปติ้มัลเพาเวอร์โพลีและ โปรแกรมการจ่ายโหลด อย่างประหยัดเทียบกับวารสารIEE .....	68
6.4 เหตุผลการเลือกใช้วิธีการทำออปติ้มัลเพาเวอร์โพลีในการดำเนินงานอย่างประหยัด ในระบบไฟฟ้ากำลัง .....	70
6.4.1 ระบบทดสอบ 6 บัส.....	70
6.4.2 ระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส .....	76
6.5 การวิเคราะห์การทำออปติ้มัลเพาเวอร์โพลีในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ .....	78
6.5.1 การวิเคราะห์ผลของการปรับค่าเทปของหม้อแปลงไฟฟ้า ต่อการทำออปติ้มัลเพาเวอร์โพลี.....	78
6.5.2 การวิเคราะห์ผลของตัวเก็บประจุต่อการทำออปติ้มัลเพาเวอร์โพลี.....	81
6.5.3 การวิเคราะห์ผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ต่อการทำออปติ้มัลเพาเวอร์โพลี.....	84
6.5.4 การวิเคราะห์การทำออปติ้มัลเพาเวอร์โพลีในระบบโดยรวม.....	87
6.5.5 การวิเคราะห์การทำออปติ้มัลเพาเวอร์โพลีเนื่องจากโหลดในระบบ โดยรวมเพิ่มขึ้น .....	88
6.5.6 การวิเคราะห์การทำออปติ้มัลเพาเวอร์โพลีเนื่องจากโหลดในระบบ โดยรวมลดลง.....	90
6.6 การทดสอบ โปรแกรมออปติ้มัลเพาเวอร์โพลีของระบบเอช-ดีซีเทียบกับ โปรแกรมเอช-ดีซีโหลดโพลี.....	93
6.7 การทดสอบ โปรแกรมออปติ้มัลเพาเวอร์โพลีของระบบเอช-ดีซีเทียบกับ โปรแกรมการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของระบบเอช-ดีซี.....	96
6.8 การวิเคราะห์การทำออปติ้มัลเพาเวอร์โพลีในระบบเอช-ดีซีเมื่อทำการ เชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสกับโหลดบัส.....	101
6.8.1 การวิเคราะห์ผลของการปรับค่าเทปของหม้อแปลงไฟฟ้า ต่อการทำออปติ้มัลเพาเวอร์โพลีในระบบเอช-ดีซีที่เชื่อมต่อกับ ระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสกับโหลดบัส.....	102
6.8.2 การวิเคราะห์ผลของตัวเก็บประจุต่อการทำออปติ้มัลเพาเวอร์โพลี ในระบบเอช-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสกับโหลดบัส.....	105

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.8.3 การวิเคราะห์ผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส .....	110
6.8.4 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์เมื่อกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริง ส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส .....	115
6.8.5 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซี ที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัสโดยรวมเพิ่มขึ้น .....	120
6.8.6 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซี ที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัสโดยรวมลดลง .....	124
6.9 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ในระบบเอซี-ดีซีเมื่อทำการเชื่อมโยง ด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัส .....	127
6.9.1 การวิเคราะห์ผลของการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับ ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัส .....	128
6.9.2 การวิเคราะห์ผลของตัวเก็บประจุต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัส .....	132
6.9.3 การวิเคราะห์ผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัส .....	136
6.9.4 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์เมื่อกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริง ส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัส .....	140
6.9.5 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซี ที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัสโดยรวมเพิ่มขึ้น .....	145
6.9.6 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซี ที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัสโดยรวมลดลง .....	149
6.10 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ในระบบเอซี-ดีซีเมื่อทำการเชื่อมโยง ด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส .....	152

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.10.1 การวิเคราะห์ผลของการปรับค่าแท่งของหม้อแปลงไฟฟ้า ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อ ด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส.....	153
6.10.2 การวิเคราะห์ผลของตัวเก็บประจุต่อการทำ ออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ในระบบเอซี-ดีซีที่ เชื่อมต่อด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส.....	157
6.10.3 การวิเคราะห์ผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส.....	161
6.10.4 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์เมื่อกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริง ส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส.....	166
6.10.5 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซี ที่เชื่อมต่อด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัสโดยรวมเพิ่มขึ้น.....	171
6.10.6 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซี ที่เชื่อมต่อด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัสโดยรวมลดลง.....	174
6.11 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม.....	178
6.11.1 การวิเคราะห์ผลของการปรับค่าแท่งของหม้อแปลงไฟฟ้า ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม.....	178
6.11.2 การวิเคราะห์ผลของตัวเก็บประจุต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม.....	179
6.11.3 การวิเคราะห์ผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม.....	181
6.11.4 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ในทุกระบบโดยรวม.....	182
6.11.5 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซี เปลี่ยนแปลงโดยรวมเพิ่มขึ้นเมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล.....	183
6.11.6 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซี เปลี่ยนแปลงโดยรวมลดลงเมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล.....	185

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.12 การนำโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพล์ทั้งของระบบเอซีและระบบเอซี-ดีซี มาใช้ในการวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบ .....	186
6.12.1 การนำโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี (OPFAC) มาใช้ในการวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส.....	186
6.12.2 การนำโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพล์ ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) มาใช้ในการวางแผน การติดตั้งตัวเก็บประจุ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6 .....	187
6.12.3 การนำโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) มาใช้ในการวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหนดบัสที่ 6.....	189
6.12.4 การนำโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) มาใช้ในการวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5.....	190
6.13 สรุป.....	191
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	192
7.1 ผลของอุปกรณ์ต่างๆในระบบต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม.....	193
7.2 ผลของการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม .....	193
7.3 การทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในทุกระบบ โดยรวม.....	194
7.4 ผลของโหลดฟรีควนซ์คอนโทรลต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม .....	194
7.4.1 ผลของโหลดฟรีควนซ์คอนโทรลต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวมเมื่อโหลดในระบบโดยรวมเพิ่มขึ้น .....	194
7.4.2 ผลของโหลดฟรีควนซ์คอนโทรลต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวมเมื่อโหลดในระบบโดยรวมลดลง .....	195

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7.5 การวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบ โดยใช้โปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ ทั้งของระบบเอซีและระบบเอซี-ดีซี.....	195
7.6 ข้อเสนอแนะ .....	196
7.7 งานวิจัยที่พัฒนาต่อไป.....	197
เอกสารอ้างอิง.....	199
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ข้อมูลของระบบทดสอบการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ .....	201
ภาคผนวก ข. ข้อมูลของระบบทดสอบการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ ของระบบเอซี-ดีซี .....	211
ภาคผนวก ค. ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลของโหลดพรีเคเวนซ์คอนโทรล ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์.....	215
ภาคผนวก ง. ค่า Bus Real and Reactive Power Pricing ที่ได้จากโปรแกรม ออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ทั้งของระบบเอซีและระบบเอซี-ดีซี .....	227
ภาคผนวก จ. โปรแกรมการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ ทั้งของระบบเอซีและระบบเอซี-ดีซี.....	234
ภาคผนวก ฉ. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	241
ประวัติผู้เขียน .....	256

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
6.1 ค่าผลการทดสอบเปรียบเทียบกับเอกสารอ้างอิง [18].....	66
6.2 ค่าผลการทดสอบเปรียบเทียบกับเอกสารอ้างอิง [19].....	67
6.3 ผลลัพธ์ค่าแท้ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส .....	70
6.4 ผลลัพธ์การทดสอบระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส.....	70
6.5 ผลลัพธ์การทดสอบระบบทดสอบ 6 บัส.....	73
6.6 ผลลัพธ์การทดสอบระบบทดสอบ 6 บัส เมื่อมีการเพิ่มขีดจำกัดของสายส่ง ระหว่างบัสที่ 4 กับบัสที่ 5 เท่ากับ 120 MVA.....	75
6.7 ผลลัพธ์การทดสอบระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส.....	78
6.8 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบผลของการปรับค่าแท้ป ของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส .....	80
6.9 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบผลของการปรับค่าแท้ป ของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส .....	80
6.10 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของ ตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส.....	83
6.11 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของ ตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส.....	83
6.12 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของ ชิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส .....	86
6.13 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของ ชิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส .....	86
6.14 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ จากผลของสถานะของอุปกรณ์ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส.....	87
6.15 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบ จากผลของสถานะของอุปกรณ์ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส.....	87
6.16 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของ โหลดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส โดยรวมเพิ่มขึ้น .....	90
6.17 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของ โหลดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส โดยรวมเพิ่มขึ้น .....	90

# สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.18 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของ โหลดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัสโดยรวมลดลง .....	92
6.19 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของ โหลดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัสโดยรวมลดลง .....	93
6.20 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซี (OPFAC-DC) กับ โปรแกรมเอช-ดีซีโหลดโพล์ (LFAC-DC) ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส .....	96
6.21 ผลลัพธ์ค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส .....	98
6.22 ค่าเปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดของสายส่งในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส เมื่อใช้โปรแกรมการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของระบบเอช-ดีซี (EDAC-DC) .....	98
6.23 ค่าเปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดของสายส่งในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส เมื่อใช้โปรแกรมการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซี (OPFAC-DC) .....	99
6.24 ผลลัพธ์การทดสอบระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส .....	99
6.25 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส เมื่อใช้โปรแกรมการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของระบบเอช-ดีซี (EDAC-DC) .....	100
6.26 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส เมื่อใช้โปรแกรมการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซี (OPFAC-DC) .....	100
6.27 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่าง โหลดบัสที่ 4 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	104
6.28 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ จากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ ปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่าง โหลดบัสที่ 4 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	104
6.29 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการ ปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ ปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่าง โหลดบัสที่ 4 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	105

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.30 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Rectifier จากผลของตัวเก็บประจุ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6.....	107
6.31 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Inverter จากผลของตัวเก็บประจุ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6.....	108
6.32 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของตัวเก็บประจุ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6.....	109
6.33 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของตัวเก็บประจุ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6.....	109
6.34 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Rectifier จากผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6.....	112
6.35 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Inverter จากผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6.....	113
6.36 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ จากผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในระบบ ปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6.....	114
6.37 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6.....	114
6.38 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริง ส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6.....	117

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.39 ผลลัพธ์ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบจากการกำหนด ค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6.....	118
6.40 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากการกำหนด ค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6.....	119
6.41 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการกำหนด ค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6.....	119
6.42 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากผลของโหลดในระบบ ปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น.....	122
6.43 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของ โหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น.....	123
6.44 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนรวมการผลิตรวมของระบบจากผลของ โหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น.....	123
6.45 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากผลของโหลดในระบบ ปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6 โดยรวมลดลง.....	126
6.46 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6 โดยรวมลดลง.....	126

# สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.47 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนรวมการผลิตรวมของระบบจากผลของ โหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่าง โหลดบัสที่ 4 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมลดลง .....	127
6.48 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	130
6.49 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากการปรับค่าแท็ป ของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	131
6.50 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการปรับค่าแท็ป ของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	131
6.51 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Rectifier จากผลของตัวเก็บประจุ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	134
6.52 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Inverter จากผลของตัวเก็บประจุ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	134
6.53 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของตัวเก็บประจุ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	135
6.54 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของตัวเก็บประจุ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	135
6.55 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Rectifier จากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	138

# สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.56 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Inverter จากผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	139
6.57 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ จากผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในระบบ ปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	139
6.58 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	140
6.59 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริง ส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	143
6.60 ผลลัพธ์ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริง ส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	143
6.61 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริง ส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	144
6.62 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริง ส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	145
6.63 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากผลของโหลดในระบบ ปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น .....	147
6.64 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของโหลดในระบบ ปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น .....	148

# สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.65	ผลลัพธ์ค่าต้นทุนรวมการผลิตรวมของระบบจากผลของโหลดในระบบ ปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหลดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น ..... 148
6.66	ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากผลของโหลดในระบบ ปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหลดบัสที่ 6 โดยรวมลดลง ..... 151
6.67	ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของ โหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหลดบัสที่ 6 โดยรวมลดลง ..... 151
6.68	ผลลัพธ์ค่าต้นทุนรวมการผลิตรวมของระบบจากผลของ โหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหลดบัสที่ 6 โดยรวมลดลง ..... 152
6.69	ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 ..... 155
6.70	ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ จากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ ปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 ..... 156
6.71	ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการปรับค่าแท็ป ของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 ..... 156
6.72	ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Rectifier จากผลของตัวเก็บประจุ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 ..... 159
6.73	ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Inverter จากผลของตัวเก็บประจุ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 ..... 159

# สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.74 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของตัวเก็บประจุ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 .....	160
6.75 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของตัวเก็บประจุ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 .....	161
6.76 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Rectifier จากผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 .....	163
6.77 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Inverter จากผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 .....	164
6.78 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ จากผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 .....	165
6.79 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 .....	165
6.80 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริง ส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5.....	168
6.81 ผลลัพธ์ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบจากการกำหนด ค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5.....	169
6.82 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากการกำหนด ค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5.....	170

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.83 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการกำหนด ค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 .....	170
6.84 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากผลของโหลดในระบบ ปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยรวมเพิ่มขึ้น .....	173
6.85 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของ โหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยรวมเพิ่มขึ้น .....	173
6.86 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนรวมการผลิตรวมของระบบจากผลของ โหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยง ด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยรวมเพิ่มขึ้น .....	174
6.87 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากผลของโหลดในระบบ ปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยรวมลดลง.....	176
6.88 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของ โหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยรวมลดลง.....	177
6.89 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนรวมการผลิตรวมของระบบจากผลของ โหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยรวมลดลง.....	177
6.90 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างของค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ จากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบเอช-ดีซีโดยรวม .....	178
6.91 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างของค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบ จากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบเอช-ดีซีโดยรวม .....	179
6.92 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างของค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ จากผลของตัวเก็บประจุในระบบเอช-ดีซีโดยรวม .....	180

# สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.93 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างของค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบ จากผลของตัวเก็บประจุในระบบเอช-ดีซีโดยรวม .....	180
6.94 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างของค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ จากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบเอช-ดีซีโดยรวม .....	181
6.95 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างของค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบ จากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบเอช-ดีซีโดยรวม .....	181
6.96 การเปรียบเทียบค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบจากการกำหนด ค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบเอช-ดีซีโดยรวม .....	182
6.97 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากการกำหนด ค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบเอช-ดีซีโดยรวม .....	182
6.98 การเปรียบเทียบค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการกำหนด ค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบเอช-ดีซีโดยรวม .....	183
6.99 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างของ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ จากผลของโหลดในระบบเอช-ดีซีเปลี่ยนแปลงโดยรวมเพิ่มขึ้น เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล .....	184
6.100 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างของค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบ จากผลของโหลดในระบบเอช-ดีซีเปลี่ยนแปลงโดยรวมเพิ่มขึ้น เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล .....	184
6.101 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างของ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ จากผลของโหลดในระบบเอช-ดีซีเปลี่ยนแปลงโดยรวมลดลง เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล .....	185
6.102 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างของค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบ จากผลของโหลดในระบบเอช-ดีซีเปลี่ยนแปลงโดยรวมลดลง เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล .....	185
6.103 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการติดตั้งตัวเก็บประจุ ขนาดต่างๆที่บัส 26 ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส .....	187

# สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.104 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการติดตั้งตัวเก็บประจุ ขนาดต่างๆที่บัส 26 ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6.....	188
6.105 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการติดตั้งตัวเก็บประจุ ขนาดต่างๆที่บัส 26 ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหนดบัสที่ 6 .....	189
6.106 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการติดตั้งตัวเก็บประจุ ขนาดต่างๆที่บัส 26 ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 .....	190
ผ.6.1 ข้อมูลของสัมประสิทธิ์ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงในระบบทดสอบ 6 บัส .....	202
ผ.6.2 ข้อมูลของบัสในระบบทดสอบ 6 บัส .....	202
ผ.6.3 ข้อมูลของสายส่งไฟฟ้าในระบบทดสอบ 6 บัส .....	202
ผ.6.4 ข้อมูลของโหนดในระบบทดสอบ 6 บัส.....	203
ผ.6.5 ข้อมูลของบัสในระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส .....	203
ผ.6.6 ข้อมูลของสัมประสิทธิ์ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงในระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส .....	204
ผ.6.7 ข้อมูลของสายส่งไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส .....	204
ผ.6.8 ข้อมูลของโหนดในระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส.....	205
ผ.6.9 ข้อมูลของสัมประสิทธิ์ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส .....	205
ผ.6.10 ข้อมูลของค่ากำลังไฟฟ้รีแอกทีฟจากตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส .....	205
ผ.6.11 ข้อมูลของบัสในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส .....	206
ผ.6.12 ข้อมูลของสายส่งไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส .....	207
ผ.6.13 ข้อมูลของโหนดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส .....	209
ผ.6.14 ข้อมูลของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส .....	212
ผ.6.15 ข้อมูลขีดจำกัดต่างๆของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส และ 30 บัส (รวมการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างทุกชนิดบัส) .....	212
ผ.6.16 ข้อมูลของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส .....	213

# สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผ.6.17 ข้อมูลของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัส.....	213
ผ.6.18 ข้อมูลของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส.....	214
ผ.6.19 ค่าผลลัพธ์ของการทำอพติมัลเพาเวอร์โพล์วของทั้งระบบเอซีและเอซี-ดีซี เมื่อไม่รวมผลของโหนดฟรีควนซ์คอนโทรล .....	217
ผ.6.20 ค่าขีดจำกัดกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตต่ำสุดและสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั้งในระบบเอซีและระบบเอซี-ดีซี เมื่อรวมผลของโหนดฟรีควนซ์คอนโทรล .....	217
ผ.6.21 ข้อมูลของสายส่งไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส ที่โหนดในระบบ โดยรวมเพิ่มขึ้น 10 % เมื่อรวมผลของโหนดฟรีควนซ์คอนโทรล .....	218
ผ.6.22 ข้อมูลของโหนดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส และ IEEE AC-DC 30 บัส ที่เพิ่มขึ้น 10 % เมื่อรวมผลของโหนดฟรีควนซ์คอนโทรล .....	219
ผ.6.23 ข้อมูลของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการ เชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส ที่โหนดในระบบ โดยรวมเพิ่มขึ้น 10 % เมื่อรวมผลของโหนดฟรีควนซ์คอนโทรล .....	221
ผ.6.24 ข้อมูลของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการ เชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัส ที่โหนดในระบบ โดยรวมเพิ่มขึ้น 10 % เมื่อรวมผลของโหนดฟรีควนซ์คอนโทรล .....	221
ผ.6.25 ข้อมูลของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการ เชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส ที่โหนดในระบบ โดยรวมเพิ่มขึ้น 10 % เมื่อรวมผลของโหนดฟรีควนซ์คอนโทรล .....	222
ผ.6.26 ข้อมูลของสายส่งไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส ที่โหนดในระบบ โดยรวมลดลง 10 % เมื่อรวมผลของโหนดฟรีควนซ์คอนโทรล.....	222
ผ.6.27 ข้อมูลของโหนดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัสและ IEEE AC-DC 30 บัส ที่ลดลง 10 % เมื่อรวมผลของโหนดฟรีควนซ์คอนโทรล .....	224
ผ.6.28 ข้อมูลของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการ เชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส ที่โหนดในระบบ โดยรวมลดลง 10 % เมื่อรวมผลของโหนดฟรีควนซ์คอนโทรล.....	225

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผ.6.29 ข้อมูลของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเงินบัสกับ โหลดบัส ที่โหลดในระบบโดยรวมลดลง 10 % เมื่อรวมผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล.....	226
ผ.6.30 ข้อมูลของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเงินบัสกับเงินบัส ที่โหลดในระบบโดยรวมลดลง 10 % เมื่อรวมผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล.....	226
ผ.6.31 ค่าBus Real and Reactive Power Pricing ที่ได้จากโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์ฟลิว์ของระบบเอซีในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส .....	228
ผ.6.32 ค่าBus Real and Reactive Power Pricing ที่ได้จากโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์ฟลิว์ของระบบเอซี-ดีซีในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสที่ 4 กับ โหลดบัสที่ 6.....	229
ผ.6.33 ค่าBus Real and Reactive Power Pricing ที่ได้จากโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์ฟลิว์ของระบบเอซี-ดีซีในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเงินบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6.....	231
ผ.6.34 ค่าBus Real and Reactive Power Pricing ที่ได้จากโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์ฟลิว์ของระบบเอซี-ดีซีในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเงินบัสที่ 2 กับเงินบัสที่ 5.....	232

# สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การจำแนกกลุ่มของวิธีเชิงตัวเลขสำหรับการหาค่าเหมาะสมที่สุด .....	7
2.2 การจำแนกกลุ่มของวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบมีเงื่อนไขบังคับ .....	8
2.3 สถานะของฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับที่จุดออกแบบ $a, b, c$ และ $d$ .....	9
2.4 การกำหนดทิศทางพุ่งเข้าที่เป็นไปได้และใช้งานได้ .....	10
2.5 ขั้นตอนการคำนวณวิธีสี่เหลี่ยมเชิงลควอคราติกโปรแกรมมิ่ง .....	13
3.1 วงจรสมมูลของสายส่งระยะสั้น .....	16
3.2 วงจรสมมูลของสายส่งระยะปานกลาง .....	17
3.3 วงจรสมมูลของสายส่งระยะยาว .....	17
3.4 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 2 ขดลวด : (ก) ค่าเปอร์ยูนิตของ $Y$ ซึ่งอยู่ตรงข้ามกับด้านที่เปลี่ยนแท็ป; (ข) วงจรเทียบเคียงเปอร์ยูนิตแบบ $\pi$ .....	18
3.5 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 3 ขดลวด .....	19
3.6 (ก) กำลังไฟฟ้าจริง และ (ข) กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ ที่บัส $k$ ในการศึกษาเพาเวอร์โฟลว์ .....	21
3.7 ขั้นตอนการคำนวณของการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด .....	24
3.8 ขั้นตอนการคำนวณของการแก้ปัญหาการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ .....	26
4.1 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ต่างๆในระบบ HVDC .....	29
4.2 วงจรบริดจ์แบบเต็มคลื่นของระบบไฟสามเฟส .....	29
4.3 วงจรบริดจ์แบบเต็มคลื่นของระบบไฟฟ้าสามเฟส .....	30
4.4 รูปคลื่นของแรงดันและกระแสของวงจรบริดจ์ของรูปที่ 4.3 .....	31
4.5 รูปคลื่นของแรงดัน และกระแสที่ไหลผ่านไทรสเตอร์ เมื่อมีมุม $\alpha$ .....	32
4.6 การเปลี่ยนแปลงของการกระจัดเฟสระหว่างแรงดันและกระแสของเฟส $a$ เมื่อมีมุม $\alpha$ .....	33
4.7 รูปคลื่นของกระแสในสาย .....	34
4.8 เวกเตอร์กำลังไฟฟ้าของคอนเวอร์เตอร์ .....	35
4.9 รูปคลื่นของแรงดันที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดมุมเหลื่อม ( $\mu$ ) ในระหว่างช่วงของ การสับเปลี่ยนจากไทรสเตอร์ตัวที่ 1 ไปยังไทรสเตอร์ตัวที่ 3 .....	36
4.10 วงจรสมมูลของเครื่องเรียงกระแสแบบบริดจ์ .....	37
4.11 รูปคลื่นของแรงดันและคาบเวลาของการทำงานในโหมดของเครื่องเรียงกระแส .....	37
4.12 วงจรสมมูลของอินเวอร์เตอร์ (เมื่อ $V_{di}$ มีค่าเป็นบวก) .....	38

# สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.13 รูปคลื่นของแรงดันและคาบเวลาของการทำงานในโหมดของอินเวอร์เตอร์.....	38
4.14 วงจรสมมูลของเครื่องเรียงกระแสแบบสามเฟสบริดจ์ โดยมีการปรับแก้ของหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์.....	42
4.15 คอนเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ 12-พัลส์.....	43
4.16 รูปคลื่นของแรงดันไฟตรงและกระแสไฟสลับ.....	43
4.17 แบบจำลองของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง.....	46
4.18 แบบจำลองของระบบเอช-ดีซี.....	47
4.19 ขั้นตอนการคำนวณของการแก้ปัญหาการทำออปติมิสเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซี.....	51
5.1 แบบจำลองของตัวควบคุมความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	53
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเบี่ยงเบนของความเร็วและแรงบิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	54
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเบี่ยงเบนของความเร็วกับกำลังทางไฟฟ้าและทางกล.....	55
5.4 ความเบี่ยงเบนของความเร็วโรเตอร์ที่สัมพันธ์กับผลของการหน่วงของโหลด.....	56
5.5 ความเบี่ยงเบนของความเร็วโรเตอร์ที่สัมพันธ์กับผลของการหน่วงของโหลดเมื่อทำการลดฟอรัม.....	56
5.6 ตัวควบคุมความเร็วที่เพิ่มคุณลักษณะของ speed-droop.....	56
5.7 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมความเร็วที่เพิ่มคุณลักษณะของ speed-droop.....	57
5.8 คุณลักษณะทางอุดมคติของตัวควบคุมความเร็วที่เพิ่มคุณลักษณะของ speed-droop ในสถานะอยู่ตัว.....	58
5.9 การแบ่งผลของการเปลี่ยนแปลงของโหลดโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อร่วมกันในระบบ.....	58
5.10 ตัวควบคุมความเร็วด้วยการควบคุมค่าโหลดอ้างอิงสำหรับการปรับความสัมพันธ์ของความเร็วและโหลด.....	59
5.11 คุณลักษณะของตัวควบคุมความเร็วจากผลของการปรับค่าโหลดอ้างอิง.....	59
5.12 ระบบสมมูลย์ในการวิเคราะห์โหลดฟรีควินซ์คอนโทรล.....	60
5.13 คุณลักษณะของตัวควบคุมความเร็วและโหลด.....	61
5.14 ขั้นตอนการคำนวณของการแก้ปัญหาการทำออปติมิสเพาเวอร์โพล์โดยรวมผลของโหลดฟรีควินซ์คอนโทรล.....	63
6.1 ระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส.....	68
6.2 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส.....	69

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6.3 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส.....	69
6.4 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารืแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ ในระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส.....	69
6.5 ระบบทดสอบ 6 บัส.....	71
6.6 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบทดสอบ 6 บัส.....	71
6.7 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบทดสอบ 6 บัส.....	72
6.8 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารืแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบทดสอบ 6 บัส.....	72
6.9 ค่าเปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดของสายส่งในระบบทดสอบ 6 บัส เมื่อใช้วิธีคิดแบบ โหลด โพลว์.....	72
6.10 ค่าเปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดของสายส่งในระบบทดสอบ 6 บัส เมื่อใช้วิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัด.....	73
6.11 ค่าเปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดของสายส่งในระบบทดสอบ 6 บัส เมื่อใช้วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์.....	73
6.12 ค่าเปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดของสายส่งในระบบทดสอบ 6 บัส เมื่อเพิ่มขีดจำกัดของสายส่ง ระหว่างบัสที่ 4 กับบัสที่ 5 เท่ากับ 120 MVA โดยใช้วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์.....	74
6.13 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบทดสอบ 6 บัส เมื่อเพิ่มขีดจำกัดของสายส่ง ระหว่างบัสที่ 4 กับบัสที่ 5 เท่ากับ 120 MVA โดยใช้วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์.....	74
6.14 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบทดสอบ 6 บัส เมื่อเพิ่มขีดจำกัดของสายส่งระหว่างบัสที่ 4 กับบัสที่ 5 เท่ากับ 120 MVA โดยใช้วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์.....	75
6.15 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารืแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบทดสอบ 6 บัส เมื่อเพิ่มขีดจำกัดของสายส่ง ระหว่างบัสที่ 4 กับบัสที่ 5 เท่ากับ 120 MVA โดยใช้วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์.....	75
6.16 ระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส.....	76
6.17 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส.....	77
6.18 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส.....	77

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6.19 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัต์.....	77
6.20 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัต์ต่างๆ จากผลของการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัต์.....	79
6.21 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของการปรับค่าแท็ป ของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัต์ .....	79
6.22 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ จากผลของการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัต์ .....	80
6.23 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัต์ต่างๆจากผลของตัวเก็บประจุ ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัต์.....	81
6.24 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของตัวเก็บประจุ ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัต์.....	82
6.25 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ จากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัต์ .....	82
6.26 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัต์ต่างๆจากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัต์.....	84
6.27 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัต์.....	85
6.28 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ จากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัต์ .....	85
6.29 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัต์ต่างๆจากผลของโหลด ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัต์ โดยรวมเพิ่มขึ้น.....	88
6.30 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของโหลด ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัต์ โดยรวมเพิ่มขึ้น.....	89
6.31 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัต์ โดยรวมเพิ่มขึ้น .....	89
6.32 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัต์ต่างๆจากผลของโหลด ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัต์โดยรวมลดลง .....	91

# สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6.33 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของโหลด ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัสโดยรวมลดลง.....	91
6.34 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัสโดยรวมลดลง.....	92
6.35 ระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส.....	94
6.36 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส .....	94
6.37 ค่ามุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส.....	95
6.38 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส ..	95
6.39 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส .....	95
6.40 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส .....	97
6.41 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส ..	97
6.42 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส .....	97
6.43 ระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสที่ 4 กับโหลดบัสที่ 6.....	101
6.44 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสที่ 4 กับโหลดบัสที่ 6.....	102
6.45 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากการปรับค่าแท็ปของ หม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสที่ 4 กับโหลดบัสที่ 6.....	103
6.46 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ จากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสที่ 4 กับโหลดบัสที่ 6.....	103
6.47 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของตัวเก็บประจุ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสที่ 4 กับโหลดบัสที่ 6.....	106

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6.48 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับ โหนดบัสที่ 6.....	106
6.49 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์จากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับ โหนดบัสที่ 6.....	107
6.50 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับ โหนดบัสที่ 6.....	110
6.51 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับ โหนดบัสที่ 6.....	111
6.52 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์จากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับ โหนดบัสที่ 6.....	111
6.53 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับ โหนดบัสที่ 6.....	115
6.54 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับ โหนดบัสที่ 6.....	116
6.55 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์จากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับ โหนดบัสที่ 6.....	116
6.56 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับ โหนดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น.....	120

# สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6.57 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของโหลด ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสที่ 4 กับโหลดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น.....	121
6.58 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนิสคอนเดนเซอร์ จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสที่ 4 กับโหลดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น.....	121
6.59 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของโหลด ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสที่ 4 กับโหลดบัสที่ 6 โดยรวมลดลง.....	124
6.60 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของโหลด ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสที่ 4 กับโหลดบัสที่ 6 โดยรวมลดลง.....	125
6.61 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนิสคอนเดนเซอร์ จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสที่ 4 กับโหลดบัสที่ 6 โดยรวมลดลง.....	125
6.62 ระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหลดบัสที่ 6.....	128
6.63 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหลดบัสที่ 6.....	129
6.64 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหลดบัสที่ 6.....	129
6.65 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนิสคอนเดนเซอร์ จากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหลดบัสที่ 6.....	130

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6.66 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของตัวเก็บประจุ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	132
6.67 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของตัวเก็บประจุ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	133
6.68 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนิสคอนเดนเซอร์ จากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	133
6.69 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของซิงโครนิสคอนเดนเซอร์ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	136
6.70 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของซิงโครนิสคอนเดนเซอร์ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	137
6.71 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนิสคอนเดนเซอร์ จากผลของซิงโครนิสคอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	137
6.72 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริง ส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	141
6.73 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริง ส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	141
6.74 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนิสคอนเดนเซอร์ จากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 .....	142

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6.75 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของโหลด ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น .....	146
6.76 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของโหลด ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น .....	146
6.77 ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น .....	146
6.78 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของโหลด ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมลดลง .....	149
6.79 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของโหลด ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมลดลง .....	149
6.80 ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมลดลง .....	150
6.81 ระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 .....	153
6.82 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ จากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 .....	154
6.83 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 .....	154

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6.84 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ จากการปรับค่าเทปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5.....	155
6.85 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของตัวเก็บประจุ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5.....	157
6.86 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของตัวเก็บประจุ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5.....	158
6.87 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ จากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5.....	158
6.88 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5.....	162
6.89 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5.....	162
6.90 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ จากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5.....	163
6.91 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริง ส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5.....	166
6.92 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5.....	167

# สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6.93 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ จากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 .....	167
6.94 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของโหลด ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยรวมเพิ่มขึ้น .....	171
6.95 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของโหลด ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยรวมเพิ่มขึ้น .....	172
6.96 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยรวมเพิ่มขึ้น .....	172
6.97 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของโหลด ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยรวมลดลง.....	175
6.98 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของโหลด ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยรวมลดลง.....	175
6.99 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยรวมลดลง.....	176
ผ.6.1 ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม Excel Link ชั้นตอนที่ 2 .....	235
ผ.6.2 ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม Excel Link ชั้นตอนที่ 3 .....	236
ผ.6.3 ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม Excel Link ชั้นตอนที่ 4 .....	236
ผ.6.4 ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม Excel Link ชั้นตอนที่ 5 .....	237
ผ.6.5 โปรแกรม Excel Link เมื่อได้ทำการติดตั้งแล้ว.....	237
ผ.6.6 การรับค่าข้อมูลอินพุตจากโปรแกรม Microsoft Excel.....	238

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ผ.6.7 การเรียกฟังก์ชันการคำนวณจากโปรแกรม MATLAB ในโปรแกรม Microsoft Excel .....	239
ผ.6.8 การรับค่าผลลัพธ์จากโปรแกรม MATLAB เข้าสู่โปรแกรม Microsoft Excel .....	239
ผ.6.9 การแสดงผลลัพธ์ในโปรแกรม Microsoft Excel .....	240



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลีเป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่ง ในการควบคุมและดำเนินงานระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะอยู่ตัวและโหลดสมดุลง ซึ่งจะพิจารณาหาค่ากำลังผลิตที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัสและค่าเทปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนการผลิตรวมของระบบไฟฟ้ากำลังต่ำที่สุดและยังคงดำเนินงานอยู่ในขอบเขตที่ปลอดภัยในสภาวะการทำงานปกติ และเนื่องจากในอนาคตอันใกล้ นี้ ทางกรไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (Electricity Generating Authority of Thailand: EGAT) จะได้ทำการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าในช่วงโหลดสูงสุด (Peak load) กับทางกรไฟฟ้าประเทศมาเลเซีย (Tenaga Nasional Berhad: TNB) โดยเชื่อมต่อผ่านระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง (High Voltage Direct Current System: HVDC) ซึ่งเป็นเงื่อนไขใหม่ที่ต้องรวมเข้าไว้ในการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลี ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาโปรแกรมจำลองการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลีของระบบเอช-ดีซี เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และวางแผนระบบเอช-ดีซีได้

วิทยานิพนธ์นี้ยังได้นำเสนอการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลีโดยรวมผลของโหลดฟรีควนซีคอนโทรลในสถานะอยู่ตัวและโหลดสมดุลง คือเมื่อค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงในระบบโดยรวมมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง จะส่งผลให้ค่าความถี่ไฟฟ้าของระบบมีการเปลี่ยนแปลงลดลงหรือเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความถี่ไฟฟ้าในส่วนที่เปลี่ยนแปลงนี้จะส่งผลต่อค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงในระบบตามแบบจำลองของโหลด และขีดจำกัดการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดและต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่แต่ละบัสจะมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่แต่ละบัสก่อนที่ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงในระบบโดยรวมจะมีการเปลี่ยนแปลง ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่แต่ละบัสในระบบและเวลาที่กำหนดระหว่างเมื่อมีและไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงในระบบโดยรวม

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลีของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีการเชื่อมต่อด้วยระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงโดยใช้วิธีซีเวนเซิลควอดราติกโปรแกรมมิ่ง และมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นโปรแกรมจำลอง ในการวิเคราะห์และวางแผนระบบไฟฟ้ากำลัง ทำการวิเคราะห์การทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลีในระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเมื่อทำการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงระหว่าง 2 ชนิดบัสใดๆ

โดยทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของอุปกรณ์ต่างๆในระบบต่อค่าการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบ พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง เมื่อมีและไม่มีกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง และนำเสนอการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์โดยรวมผลของโหลดฟริควเอนซีคอนโทรล (Load Frequency Control) โดยทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์เมื่อรวมผลและไม่รวมผลของโหลดฟริควเอนซีคอนโทรล ทั้งในระบบไฟฟ้ากระแสสลับและในระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเมื่อทำการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงระหว่าง 2 ชนิดบ้าง

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

สมมติฐานของการศึกษาแบ่งออกได้ 4 หัวข้อดังนี้คือ

- 1) โปรแกรม Optimal Power Flow of AC System สามารถหาค่าการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากระแสสลับได้
- 2) โปรแกรม Optimal Power Flow of AC-DC Systems สามารถหาค่าการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบเอซี-ดีซี เมื่อทำการเชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่าง 2 ชนิดบ้าง ดังนี้คือ 1.ระหว่างโหลดบัสกับโหลดบัส 2.ระหว่างเจนบัสกับโหลดบัส 3.ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส ได้
- 3) โปรแกรม Optimal Power Flow of AC System with Load Frequency Control effect สามารถหาค่าการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากระแสสลับโดยรวมผลของโหลดฟริควเอนซีคอนโทรลได้
- 4) โปรแกรม Optimal Power Flow of AC-DC Systems with Load Frequency Control effect สามารถหาค่าการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบเอซี-ดีซี เมื่อทำการเชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่าง 2 ชนิดบ้าง ดังนี้คือ 1.ระหว่างโหลดบัสกับโหลดบัส 2.ระหว่างเจนบัสกับโหลดบัส 3.ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส โดยรวมผลของโหลดฟริควเอนซีคอนโทรลได้

### 1.4 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย

ในการควบคุมและดำเนินงานเพื่อให้ต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้ารวมของระบบไฟฟ้ากำลังต่ำที่สุด ในสถานะอยู่ตัว(Steady state)และโหลดสมดุลในสภาวะการทำงานปกติจะทำได้สองวิธีการคือ วิธีการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดซึ่งมีเฉพาะกำลังไฟฟ้าจริงเป็นตัวแปร และวิธีการแก้ปัญหาการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ซึ่งใช้ตัวแปรของสมการเพาเวอร์โพล์ โดยมีค่าฟังก์ชันต้นทุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันเป้าหมาย วิธีการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดจะมีเงื่อนไขบังคับแบบสมการหนึ่งเงื่อนไขบังคับคือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบที่

ผลิตได้เท่ากับค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบบวกกับค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมโพลดิพลว์ และเงื่อนไขบังคับแบบอสมการหนึ่งเงื่อนไขคือขีดจำกัดสูงและต่ำสุดของการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงที่แต่ละบัส สำหรับวิธีการแก้ปัญหาการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพลดิพลว์นั้นค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบไม่ได้เป็นค่าคงที่เช่นในวิธีการแก้ปัญหาการจ่ายโพลดิพลว์อย่างประหยัดแต่ละจะถูกแทนที่เป็นสมการเพาเวอร์โพลดิพลว์ และเงื่อนไขบังคับแบบสมการจะมีสองเงื่อนไขบังคับดังนี้คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้แต่ละบัสเท่ากับค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงที่แต่ละบัสบวกกับค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียที่แต่ละบัส และค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ผลิตได้แต่ละบัสเท่ากับค่าความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่แต่ละบัสบวกกับค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสูญเสียที่แต่ละบัส และจำนวนเงื่อนไขบังคับแบบอสมการมีค่าเท่ากับจำนวนตัวแปรในสมการเพาเวอร์โพลดิพลว์ ซึ่งมีข้อได้เปรียบกว่าวิธีการแก้ปัญหาการจ่ายโพลดิพลว์อย่างประหยัดคือ 1. สมการเพาเวอร์โพลดิพลว์คำนวณได้พร้อมกับการหาค่ากำลังผลิตที่ต่ำที่สุดซึ่งทำให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ถูกต้อง 2. ประกอบด้วยขีดจำกัดต่างๆในระบบไฟฟ้ากำลังเช่นขีดจำกัดของขนาดแรงดันไฟฟ้าที่แต่ละบัสและขีดจำกัดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นต้นซึ่งไม่ได้มีเฉพาะขีดจำกัดกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเช่นในวิธีการแก้ปัญหาการจ่ายโพลดิพลว์อย่างประหยัด 3. ตัวแปรควบคุมต่างๆสามารถปรับค่าได้พร้อมกับการหาค่ากำลังผลิตที่ต่ำที่สุดเช่น แรงดันไฟฟ้าที่บัสและค่าเทปของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นต้น ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาการจ่ายโพลดิพลว์อย่างประหยัดปรับได้เฉพาะกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวแปรเดียว สำหรับวิธีในการแก้ปัญหาการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพลดิพลว์พิจารณาเป็นกรณีโปรแกรมมิ่งแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Programming) เนื่องจากฟังก์ชันเป้าหมายและเงื่อนไขบังคับเป็นแบบไม่เชิงเส้น โดยพิจารณาวิธีนิวตันกับวิธีซีแควนเชียลควอดราติกโปรแกรมมิ่ง (Sequential Quadratic Programming Method) ซึ่งวิธีการนิวตันมีข้อเสียคืออาจจะมีปัญหาในการลู่เข้าหาคำตอบกับเงื่อนไขบังคับแบบอสมการ ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีซีแควนเชียลควอดราติกโปรแกรมมิ่งซึ่งไม่มีปัญหาในการลู่เข้าหาคำตอบกับเงื่อนไขบังคับแบบอสมการเป็นวิธีในการแก้ปัญหาการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพลดิพลว์

ในการแก้ปัญหาการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพลดิพลว์ โดยรวมผลของโพลดิพลว์เฟรควเ็นซีคอนโทรล (Load Frequency Control) ในสถานะอยู่ตัวและโพลดิพลว์ในสภาวะการทำงานปกติ จะมีขั้นตอนในการคำนวณสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกทำการคำนวณหาค่าความถี่ไฟฟ้าในส่วนที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงของระบบโดยรวมเปลี่ยนแปลง เพื่อใช้ค่าความถี่ไฟฟ้าในส่วนที่เปลี่ยนแปลงนี้คำนวณหาค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงในระบบเมื่อค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงของระบบโดยรวมเปลี่ยนแปลง และนำค่าความถี่ไฟฟ้าเมื่อค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงของระบบโดยรวมเปลี่ยนแปลง คำนวณหาค่าแอดมิตแตนซ์ (Admittance) ของระบบสายส่งไฟฟ้าในระบบเมื่อค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงของระบบโดยรวมเปลี่ยนแปลง และกำหนดค่า

ขีดจำกัดการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดและต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่แต่ละบัส ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่แต่ละบัสก่อนที่ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงในระบบโดยรวมจะมีการเปลี่ยนแปลง ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่แต่ละบัสในระบบและเวลาที่กำหนดระหว่างค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงในระบบโดยรวมมีและไม่มี การเปลี่ยนแปลง ขั้นตอนที่สองคือนำค่าที่ได้จากขั้นตอนแรกแปลงเป็นข้อมูลอินพุตของการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ และทำการออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์เพื่อหาค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุด

## 1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ นำเสนอการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ของระบบเอซี-ดีซีโดยใช้วิธีเคเวนเชียนลควอดราติกโปรแกรมมิ่ง ในสถานะอยู่ตัวและโหลดสมดุลย์ในสภาวะการทำงานปกติ ซึ่งใช้แบบจำลองของการเชื่อมโยงด้วยระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเป็นแบบโมโนโพลาคีซีลิงค์ 12-พัลส์ (12-pulse monopolar dc link) ซึ่งใช้วงจรสมมูลย์คอนเวอร์เตอร์และมีการควบคุมปริมาณการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้า โดยการควบคุมมุมนำกระแสของอุปกรณ์ไทรสเตอร์ และการปรับแก้ของหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ในสภาวะการทำงานปกติและโหลดสมดุลย์ ทำการวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ในระบบเอซี-ดีซี เมื่อทำการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงระหว่าง 2 ชนิดบัสใดๆ โดยทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของอุปกรณ์ต่างๆในระบบต่อค่าการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบ พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเมื่อมีและไม่มี การกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง โดยในการวิเคราะห์กำหนดให้ฟังก์ชันเป้าหมายเป็นฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนและไม่คิดค่า valve point loading มีหน่วยเป็นหน่วยราคาต่อชั่วโมง (9R/hr) ซึ่งฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนจะอยู่ในรูปของฟังก์ชันควอดราติกและขอบเขตของตัวแปรต่างๆกำหนดให้เป็นตัวแปรแบบค่าต่อเนื่อง ในส่วนของระบบ HVDC กำหนดให้ :

- 1) แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสต้องสมดุลย์ (Balanced phase) และเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal)
- 2) การทำงานของคอนเวอร์เตอร์ต้องกำเนิดแรงดันที่สมดุลย์
- 3) กระแสและแรงดันไฟตรงต้องเรียบ (Smooth)
- 4) หม้อแปลงของคอนเวอร์เตอร์ไม่มีการสูญเสียและไม่คิดแอดมิตแตนซ์ทำแม่เหล็ก (Magnetizing admittance)

สำหรับการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์โดยรวมผลของโหลดฟรีควอนซ์คอนโทรล ในสถานะอยู่ตัวและโหลดสมดุลย์ในสภาวะการทำงานปกติ ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการทำ

ออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์เมื่อรวมและไม่รวมผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล โดยคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของโหลด 1 ครั้ง และแบบจำลองของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรลกำหนดให้:

- 1) แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบจำลองในสถานะอยู่ตัวและโหลดสมมูล
- 2) เฉพาะการเปลี่ยนแปลงของโหลดกำลังไฟฟ้าจริงที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความถี่
- 3) โหลดกำลังไฟฟ้าจริงทุกบัสในระบบมีผลของความถี่และกำหนดให้โหลดกำลังไฟฟ้าจริงทุกบัสในระบบมีค่า D (Load-damping constant) เท่ากันทุกบัส

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทดสอบกับระบบทดสอบดังนี้คือ ระบบทดสอบ 6 บัส (ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ) ระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส (ระบบไฟฟ้ากระแสสลับและระบบเอช-ดีซี) และระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส (ระบบไฟฟ้ากระแสสลับและระบบเอช-ดีซี)

## 1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

สำหรับขั้นตอนของการศึกษางานวิจัยมีดังนี้

- 1) ทำการศึกษาการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งมีสองวิธีการคือวิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch Approach) และวิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ (Optimal Power Flow Approach) และศึกษาการหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization) โดยได้เลือกใช้วิธีซีแควนเชียลควอดราติกโปรแกรมมิ่ง (Sequential Quadratic Programming Method) จากเหตุผลในหัวข้อที่ 1.4
- 2) ทำการเขียน โปรแกรมการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของระบบเอช (EDAC) และการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ของระบบเอช (OPFAC) โดยใช้วิธีซีแควนเชียลควอดราติกโปรแกรมมิ่ง และได้ทำการทดสอบความถูกต้องกับวารสาร IEE และแสดงถึงเหตุผลในการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ (OPFAC)
- 3) ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของอุปกรณ์ต่างๆในระบบต่อค่าการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบเอช โดยใช้โปรแกรม OPFAC
- 4) ทำการศึกษาทฤษฎีของระบบเอช-ดีซีและเขียน โปรแกรมการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ของระบบเอช-ดีซี (OPFAC-DC) เทียบกับโปรแกรมการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของระบบเอช-ดีซี (EDAC-DC) โดยใช้วิธีซีแควนเชียลควอดราติกโปรแกรมมิ่ง
- 5) ทำการวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ในระบบเอช-ดีซี เมื่อทำการเชื่อมต่อบระบบ HVDC ระหว่าง 2 ชนิดบัสใดๆ โดยทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของอุปกรณ์ต่างๆในระบบต่อค่าการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบ พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ของระบบเอชกับระบบเอช-ดีซี เมื่อมีและไม่มีกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC

- 6) ทำการเขียน โปรแกรมการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์โดยรวมผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล ทั้งในระบบเอซี (OPFAC-LFC) และระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC-LFC)
- 7) ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อรวมและไม่รวมผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรลในระบบเอซีโดยใช้โปรแกรม OPFAC และโปรแกรม OPFAC-LFC และในระบบเอซี-ดีซีโดยใช้โปรแกรม OPFAC-DC และโปรแกรม OPFAC-DC-LFC

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

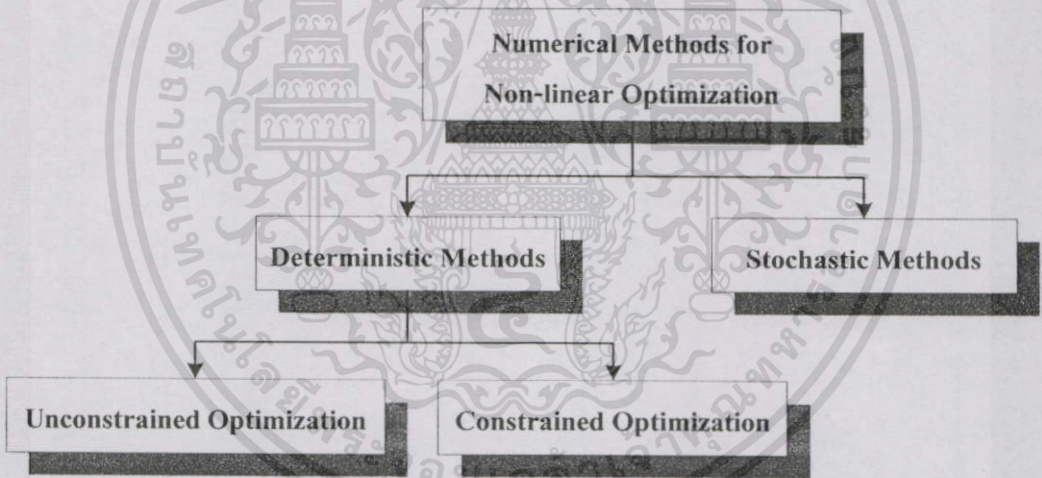
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของการศึกษางานวิจัยมีดังนี้คือ

- 1) เพื่อให้ทราบถึงผลของอุปกรณ์ต่างๆในระบบคือ ผลของค่าเก็บประจุของหม้อแปลงไฟฟ้า, ผลของตัวเก็บประจุ และผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ทั้งในระบบเอซี (OPFAC) และระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC)
- 2) เพื่อให้ทราบถึงผลของการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบเอซี-ดีซีในทุกการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่าง 2 ชนิดบัสใด ๆ คือ ระหว่างโหลดบัสกับโหลดบัส, ระหว่างเจนบัสกับโหลดบัส และระหว่างเจนบัสกับเจนบัส
- 3) เพื่อให้ทราบถึงผลของระบบสายส่งไฟฟ้าในระบบ คือ ระบบสายส่งไฟฟ้ากระแสสลับ และระบบสายส่งไฟฟ้ากระแสสลับที่มีการเชื่อมโยงกับระบบ HVDC ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์
- 4) เพื่อให้ทราบถึงผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรลต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ทั้งในระบบเอซี (OPFAC) และระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC)
- 5) เพื่อสามารถนำโปรแกรมการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ทั้งในระบบเอซี (OPFAC) และระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) มาใช้เป็น โปรแกรมจำลองในการวางแผนระบบไฟฟ้ากำลัง โดยในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวางแผนติดตั้งตัวเก็บประจุที่บัส (Capacitor bank) ทั้งการหาตำแหน่งบัสที่ติดตั้งและค่าขนาดของตัวเก็บประจุ

# หลักการและทฤษฎีวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด

## 2.1 บทนำ

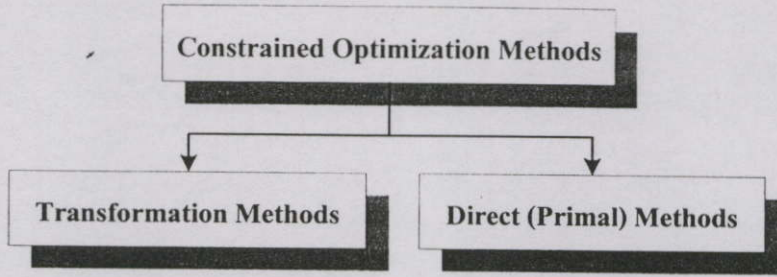
วิธีการในการหาค่าเหมาะสมที่สุดเป็นวิธีการเชิงตัวเลข โดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้วิธีการเชิงตัวเลขสำหรับการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบไม่เชิงเส้น (Numerical Methods for Non-Linear Optimization) เนื่องจากรูปแบบปัญหาการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์เป็นฟังก์ชันแบบไม่เชิงเส้นซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบดีเทอร์มินิสติก (Deterministic) และแบบสโตคาสติก (Stochastic) [1] ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งวิธีการทั้งสองแบบมีความแตกต่างกัน โดยที่แบบดีเทอร์มินิสติกจะเป็นการใช้พื้นฐานของเกรเดียนต์ (Gradient) ซึ่งเกรเดียนต์ของฟังก์ชันหลักจะเป็นข้อมูลในการเคลื่อนที่สู่จุดที่เหมาะสมที่สุด สำหรับแบบสโตคาสติกเป็นการใช้ความน่าจะเป็น (Probabilistic rules) เป็นพื้นฐานในการเข้าหาจุดที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 2.1 การจำแนกกลุ่มของวิธีเชิงตัวเลขสำหรับการหาค่าเหมาะสมที่สุด

สำหรับการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในบทต่อไปนั้น จัดอยู่ในกลุ่มของวิธีการเชิงตัวเลขสำหรับการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบมีเงื่อนไขบังคับ (Numerical Constrained Optimization Methods) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 2 วิธีคือ วิธีการเปลี่ยนรูป (Transformation Methods) และวิธีการทางตรง (Direct (Primal) Methods) ดังรูปที่ 2.2 โดยในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้วิธีการทางตรง โดยใช้วิธีซีแควนเชียลควอดราติกโปรแกรมมิ่ง (Sequential Quadratic Programming Method)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การจำแนกกลุ่มของวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบมีเงื่อนไขบังคับ

## 2.2 สมการของการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบมีเงื่อนไขบังคับ

วิธีเชิงควอดรติกโปรแกรมมิ่ง [2] มีการกำหนดปัญหาในการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบมีเงื่อนไขบังคับดังนี้คือ

$$\text{Minimize } f(x) \quad (2.1)$$

Subject to

$$g_i(x) = 0, i = 1, \dots, me \quad (2.2)$$

$$g_i(x) \leq 0, i = me + 1, \dots, m \quad (2.3)$$

$$x_l \leq x \leq x_u \quad (2.4)$$

เมื่อ  $f(x)$  คือ ฟังก์ชันเป้าหมาย  $g_i(x) = 0$  คือ เงื่อนไขบังคับแบบสมการ  $g_i(x) \leq 0$  คือ เงื่อนไขบังคับแบบอสมการ  $me$  คือ จำนวนเงื่อนไขบังคับแบบสมการ  $m$  คือ จำนวนเงื่อนไขบังคับทั้งหมด  $x$  คือ ตัวแปรการออกแบบ (Design variables) และเงื่อนไขบังคับของตัวแปร (Side constraints) โดยที่  $x_l$  คือ ค่าต่ำสุดของตัวแปร และ  $x_u$  คือ ค่าสูงสุดของตัวแปร

## 2.3 สถานะของฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับ

ในการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบมีเงื่อนไขบังคับจำเป็นต้องพิจารณาถึงสถานะของฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับ (status of constraints) ที่จุดออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับ  $g_k(x)$  จะแบ่งบริเวณที่ออกแบบเป็นบริเวณที่เป็นไปได้ (feasible region) และบริเวณที่เป็นไปไม่ได้ (infeasible region) ดังนั้นสถานะของฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับสามารถกำหนดได้ดังนี้คือ

1. ฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับแอคทีฟ (active constraint)

เมื่อ  $g_k(x^{(q)}) = 0$  ฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับ  $g_k(x) \leq 0$  เรียกว่า มีสถานะแอคทีฟที่จุดออกแบบ  $x^{(q)}$

2. ฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับอินแอคทีฟ (inactive constraint)

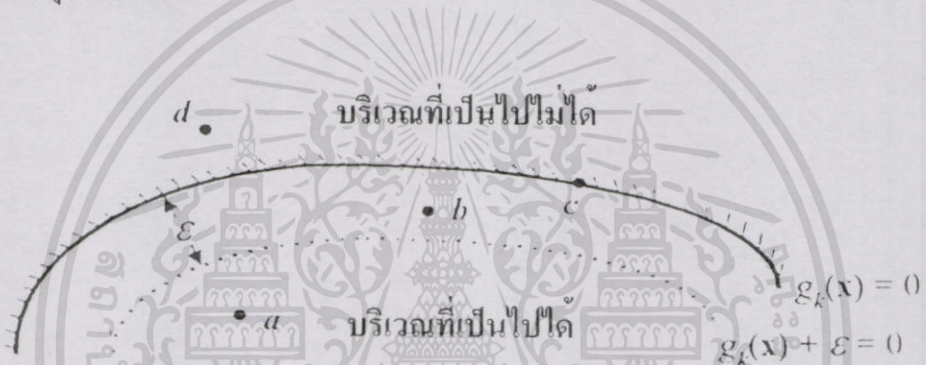
เมื่อ  $g_k(x)$  มีค่าเป็นลบ นั่นคือ  $g_k(x^{(q)}) < 0$  ฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับ  $g_k(x) \leq 0$  เรียกว่ามีสถานะอินแอคทีฟที่จุดออกแบบ  $x^{(q)}$

3. ฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับไวโอลเลท (violated constraint)

เมื่อ  $g_k(x)$  มีค่าเป็นบวก นั่นคือ  $g_k(x^{(q)}) > 0$  ฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับ  $g_k(x) \leq 0$  เรียกว่ามีสถานะไวโอลเลทที่จุดออกแบบ  $x^{(q)}$

4. ฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับ  $\mathcal{E}$ -แอคทีฟ ( $\mathcal{E}$ -active constraint)

เมื่อ  $g_k(x^{(q)}) < 0$  แต่  $g_k(x^{(q)}) + \mathcal{E} \geq 0$  โดยที่  $\mathcal{E} > 0$  และมีค่าน้อยๆ ซึ่งแสดงว่าจุดออกแบบอยู่ใกล้กับขอบเขตของบริเวณที่เป็นไปได้ ฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับ  $g_k(x) \leq 0$  เรียกว่ามีสถานะ  $\mathcal{E}$ -แอคทีฟที่จุดออกแบบ  $x^{(q)}$



รูปที่ 2.3 สถานะของฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับที่จุดออกแบบ  $a, b, c$  และ  $d$

จากรูปที่ 2.3 พบว่าสถานะของฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับ  $g_k(x) \leq 0$  ที่จุดออกแบบต่างๆ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้คือที่จุดออกแบบ  $a$  มีสถานะอินแอคทีฟเมื่อ  $g_k(x) < 0$  และ  $g_k(x) + \mathcal{E} < 0$  ที่จุดออกแบบ  $b$  มีสถานะ  $\mathcal{E}$ -แอคทีฟเมื่อ  $g_k(x) < 0$  แต่  $g_k(x) + \mathcal{E} > 0$  ที่จุดออกแบบ  $c$  มีสถานะแอคทีฟเมื่อ  $g_k(x) = 0$  และที่จุดออกแบบ  $d$  มีสถานะไวโอลเลทเมื่อ  $g_k(x) > 0$

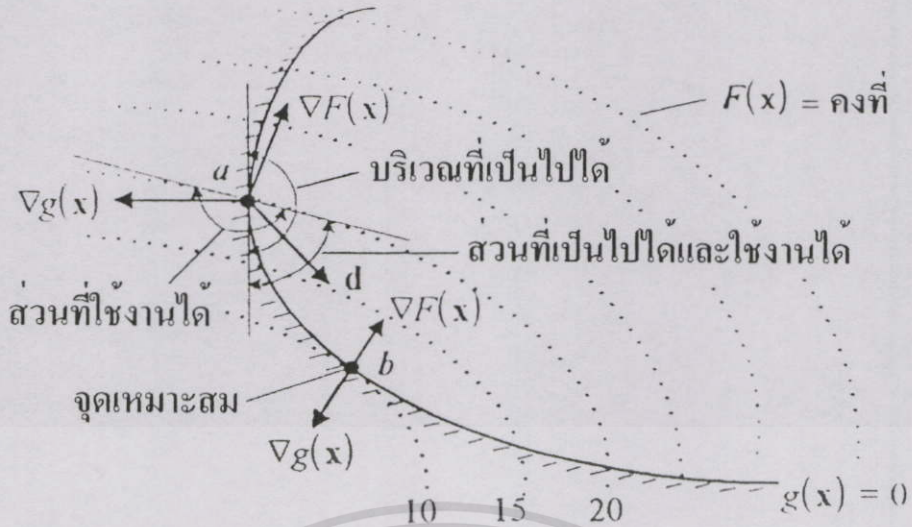
## 2.4 เงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการหาค่าเหมาะสมที่สุด

พิจารณาที่จุดออกแบบ  $a$  ในรูปที่ 2.4 ซึ่งฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับมีสถานะแอคทีฟ ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจำเป็นต้องหาทิศทางของ  $d$  ที่ทำให้ได้ค่าฟังก์ชันหลักมีค่าลดลง และเงื่อนไขบังคับไม่อยู่ในสถานะไวโอลเลท ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้คือ

$$\text{ทิศทางที่ใช้งานได้} \quad d^T \nabla F(x) \leq 0 \quad (2.5)$$

$$\text{ทิศทางที่เป็นไปได้} \quad d^T \nabla g(x) \leq 0 \quad \text{all } k \text{ for which } g(x) = 0 \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การกำหนดทิศทางพุ่งเข้าที่เป็นไปได้และใช้งานได้

ที่จุด  $b$  ในรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นจุดเหมาะสมที่สุดในการออกแบบ จะเห็นได้ว่าเป็นตำแหน่งที่ค่าเกรเดียนของฟังก์ชันหลักและเงื่อนไขบังคับมีทิศทางตรงกันข้ามกัน ซึ่งทิศทางของ  $d$  สามารถทำให้เกิดสภาพนี้ได้จะต้องเป็นไปตามสมการดังนี้

$$\nabla F(x) + \sum_{i=1}^{me} \lambda_i \nabla g_i(x) + \sum_{i=me+1}^m \lambda_i \nabla g_i(x) = 0$$

$\lambda_i$  unrestricted in sign,  $i = 1, \dots, me$  and  $\lambda_i \geq 0, i = me + 1, \dots, m$  (2.7)

เมื่อ  $\lambda$  คือ ค่าตัวคูณ Lagrange ดังนั้นสมการที่ 2.7 จะเป็นเงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการหาค่าเหมาะสมที่สุด

### 2.5 การสิ้นสุดกระบวนการ

ขั้นตอนที่สำคัญมากของกระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุดคือขั้นตอนพิจารณาการหยุดกระบวนการหาทิศทางของการพุ่งเข้า ซึ่งขั้นตอนนี้จะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือได้ของกระบวนการในการหาค่าเหมาะสมที่สุด โดยมีรายละเอียดการสิ้นสุดกระบวนการ [2] ดังนี้คือ

1. ค่าสูงสุดของการทำซ้ำ (maximum number of iteration) คือถ้าจำนวนการทำซ้ำในการคำนวณมีค่ามากกว่าค่าสูงสุดของการทำซ้ำที่กำหนด จะทำให้กระบวนการในการคำนวณสิ้นสุดลงเพื่อป้องกันการทำงานที่ไม่รู้จบ
2. ตรวจสอบจากค่าสัมบูรณ์ของทิศทางพุ่งเข้า หรือจากค่าสัมบูรณ์ระหว่างค่าเกรเดียน

ของฟังก์ชันหลักคูณกับค่าของทิศทางการพุ่งเข้า ซึ่งเป็นตามสมการดังนี้คือ

$$\max(|d_k|) < 2 * \varepsilon_a \quad (2.8)$$

หรือ

$$|\nabla F(x_k)^T * d_k| < 2 * \varepsilon_b \quad (2.9)$$

เมื่อ  $\varepsilon_a$  คือ ค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ของตัวแปร และ  $\varepsilon_b$  คือ ค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ของฟังก์ชันเป้าหมาย

3. ตรวจสอบจากค่า Maximum constraint violation ซึ่งเป็นตามสมการดังนี้คือ

$$V_k = \max\{0; |g_1|, |g_2|, \dots, |g_{me}|; |g_{me-1} * g_{me+2}, \dots, g_m\} \quad (2.10)$$

$$V_k < \varepsilon_c \quad (2.11)$$

เมื่อ  $V_k$  คือ ค่า Maximum constraint violation และ  $\varepsilon_c$  คือ ค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ของเงื่อนไขบังคับ

โดยการสิ้นสุดกระบวนการ จะเกิดขึ้นเมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขข้อที่ 1 หรือเป็นไปตามเงื่อนไขข้อที่ 2 และข้อที่ 3 รวมกัน

## 2.6 วิธีซีควนเชียลควอดราติกโปรแกรมมิ่ง

วิธีซีควนเชียลควอดราติก โปรแกรมมิ่ง มีการกำหนดปัญหาในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดตามสมการที่ (2.1) ถึง (2.4) ซึ่งสามารถหาคำตอบใหม่ในแต่ละรอบดังนี้คือ

$$x_{k+1} = x_k + \alpha_k d_k \quad (2.12)$$

โดยที่  $d_k$  คือ ทิศทางในการปรับค่าตัวแปร  $x_k$  ซึ่งสามารถหาได้โดยการแก้ปัญหาหอยควอดราติก โปรแกรมมิ่ง และ  $\alpha_k$  คือ ช่วงก้าวที่เหมาะสมในการปรับค่า  $x_k$

ปัญหาหอยควอดราติก โปรแกรมมิ่งมีรูปแบบดังนี้คือ

$$\text{minimize} \quad \frac{1}{2} d_k^T H_k d_k + \nabla f(x_k)^T d_k \quad (2.13)$$

subject to

$$\nabla g_i(x_k)^T d_k + g_i(x_k) = 0, i = 1, \dots, me \quad (2.14)$$

$$\nabla g_i(x_k)^T d_k + g_i(x_k) \leq 0, i = me + 1, \dots, m \quad (2.15)$$

เมื่อ  $H_k$  คือ Hessian matrix ของฟังก์ชัน Lagrangian ซึ่งจัดอยู่ในรูปของสมการดังนี้คือ

$$L(x, \lambda) = f(x) + \lambda^T g_i(x) \text{ ที่จุด } x = x_k$$

ในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุด โดยใช้วิธีเชิงควอดราติกโปรแกรมมิ่งแบ่งออกได้ 3 ส่วนดังนี้คือ

### 2.6.1 การประมาณ Hessian matrix

ในแต่ละรอบ  $k$  Powell [3] ได้ประมาณ Hessian matrix ( $H_k$ ) ในรอบใหม่ด้วย  $B_k$  โดยใช้วิธี BFGS ดังนี้คือ

$$B_{k+1} = B_k + \frac{q_k q_k^T}{q_k^T s_k} - \frac{B_k^T B_k}{s_k^T B_k s_k} \tag{2.16}$$

โดยที่

$$s_k = x_{k+1} - x_k$$

$$q_k = (\nabla f(x_{k+1}) + \sum_{i=1}^m \lambda_i \nabla g_i(x_{k+1})) - (\nabla f(x_k) + \sum_{i=1}^m \lambda_i \nabla g_i(x_k))$$

$\lambda_i (i=1, \dots, m)$  คือ ค่าตัวคูณ Lagrange

### 2.6.2 การหาทิศทางของการพุ่งเข้า

ในแต่ละรอบ  $k$  สามารถหาค่าทิศทางของการพุ่งเข้า  $d_k$  ได้จากการแก้ปัญหาควอดราติกโปรแกรมมิ่งดังนี้คือ

minimize  $\frac{1}{2} d_k^T B_k d_k + \nabla f(x_k)^T d_k$  (2.17)

subject to

$$\begin{aligned} \nabla g_i(x_k)^T d_k + g_i(x_k) &= 0, i=1, \dots, me \\ \nabla g_i(x_k)^T d_k + g_i(x_k) &\leq 0, i=me+1, \dots, m \end{aligned}$$

### 2.6.3 การหาช่วงก้าวที่เหมาะสม

การหาช่วงก้าวที่เหมาะสม  $\alpha_k$  ตามสมการที่ (2.12) ต้องให้ Merit function  $\psi(x)$  ที่เสนอโดย Powell [3] มีค่าลดลงในแต่ละรอบการคำนวณมีสมการดังนี้คือ

$$\psi(x) = f(x) + \sum_{i=1}^{me} r_i g_i(x) + \sum_{i=me+1}^m r_i \max\{0, g_i(x)\} \tag{2.18}$$

โดยที่

$r_i$  คือ ตัวแปรการปรับโทษของ  $g_i(x)$

Powell [3] เสนอให้คำนวณตัวแปรการปรับโทษดังนี้คือ

$$r_i = (r_{k+1})_i = \max_i \left\{ \lambda_i, \frac{1}{2}((r_k)_i + \lambda_i) \right\}, i=1, \dots, m \quad (2.19)$$

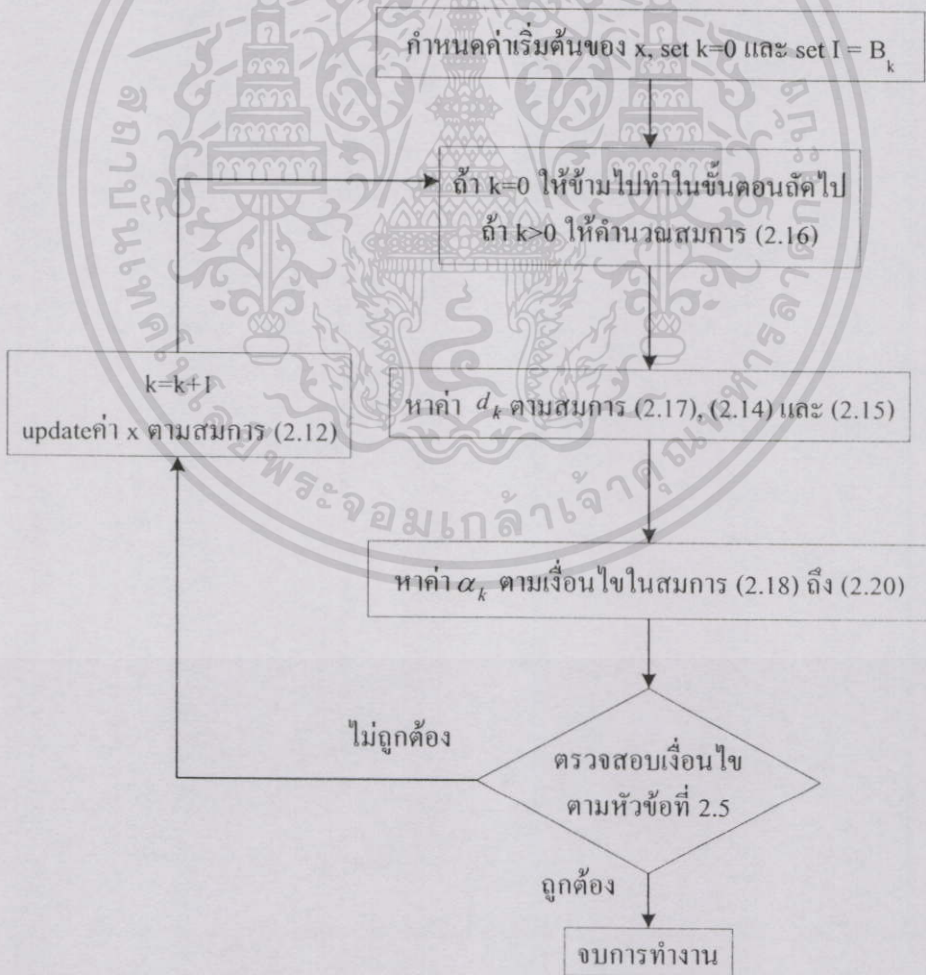
ค่าเริ่มต้นของตัวแปรการปรับโทษหาได้ดังนี้คือ

$$r_i = \frac{\|\nabla f(x)\|}{\|\nabla g_i(x)\|}, i=1, \dots, m \quad (2.20)$$

โดยที่

$\| \cdot \|$  คือ Euclidean norm

ในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุด โดยใช้วิธีซีควนเชียลควอดราติกโปรแกรมมิ่งมีลำดับขั้นตอนดังนี้คือ



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการคำนวณวิธีซีควนเชียลควอดราติกโปรแกรมมิ่ง

## 2.7 สรุป

บทนี้ได้นำเสนอหลักการและทฤษฎีวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด ซึ่งได้นำเลือกใช้วิธีซีแควนเชียลควอดราติกโปรแกรมมิ่งในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุด และเมื่อเข้าใจวิธีการในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดแล้ว ยังมีอีกหนึ่งเรื่องที่สำคัญคือการแปลงปัญหาให้อยู่ในรูปแบบของการหาค่าเหมาะสมที่สุดตามสมการที่ (2.1) ถึง (2.4) ให้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพเพื่อความรวดเร็วในการหาผลลัพธ์และเพื่อป้องกันการไม่พบคำตอบของโปรแกรม



# ทฤษฎีและวิธีการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากำลัง

## 3.1 บทนำ

การดำเนินงานอย่างประหยัด จัดได้ว่าเป็นปัญหาที่สำคัญของระบบไฟฟ้ากำลัง [4] ซึ่งทำการพิจารณาค่ากำลังผลิตที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านระบบสายส่งไฟฟ้าเพื่อป้อนให้กับโหลดในระบบ โดยมีเป้าหมายให้ต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุดและยังคงดำเนินงานอยู่ในขอบเขตที่ปลอดภัยในสภาวะการทำงานปกติ ปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุด (optimization problem) แบบไม่เชิงเส้น จึงได้เลือกใช้วิธีซีเวนเซิลควอดราติกโปรแกรมมิ่งเป็นวิธีในการแก้ปัญหา เนื่องจากไม่มีปัญหากับเงื่อนไขบังคับแบบอสมการ (inequality constraint) โดยสามารถแบ่งวิธีในการดำเนินงานอย่างประหยัดออกได้เป็น 2 วิธีคือ วิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัดและวิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ ซึ่งทั้งสองวิธีการดังกล่าวมีฟังก์ชันเป้าหมาย (objective function) เป็นฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิง (fuel cost function) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำหนดให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนและไม่คิดค่า Valve point loading ในส่วนของเงื่อนไขบังคับจะมีความแตกต่างกัน แต่ต้องอาศัยพื้นฐานความเข้าใจที่เหมือนกันในเรื่องเพาเวอร์โพลว์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับหรือระบบเอซี โดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เป็นวิธีการในการดำเนินงานอย่างประหยัด ซึ่งเหตุผลที่เลือกใช้วิธีการดังกล่าวจะนำเสนอต่อไปในบทที่ 6

## 3.2 การศึกษาเพาเวอร์โพลว์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

การศึกษาเพาเวอร์โพลว์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับสามารถแบ่งหัวข้อในการศึกษาออกได้เป็น 3 หัวข้อคือ 1. การแปลงค่าต่อหน่วยของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 2. แบบจำลองของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3. สมการของการคำนวณเพาเวอร์โพลว์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ

### 3.2.1 การแปลงค่าต่อหน่วยของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

ในการคำนวณเพาเวอร์โพลว์หรือทำการวิเคราะห์ต่างๆในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ จะต้องทำการแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นค่าของกำลังไฟฟ้าจริง (MW), กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Mvar), แรงดันไฟฟ้า (kV), กระแสไฟฟ้า (kA), และค่าอิมพีแดนซ์ ( $\Omega$ ) ให้อยู่ในหน่วยเดียวกันในรูปของระบบค่าต่อหน่วย (Per-unit system) [4] เพื่อให้สามารถคำนวณและตรวจสอบความถูกต้องได้ง่าย โดยสามารถหาค่าต่อหน่วย (p.u.) เป็นดังนี้คือ

$$\text{ค่าต่อหน่วย(p.u.)} = \frac{\text{ค่าจริง(actual value)}}{\text{ค่าฐาน(base value)}} \quad (3.1)$$

สำหรับค่าฐาน (Base value) ของพารามิเตอร์ต่างๆมีความสัมพันธ์กันดังนี้คือ

$$\text{Base current, } kA_{LL} = \frac{\text{base MVA}_{3\phi}}{\sqrt{3} \cdot \text{base\_voltage, } kV_{LL}} \quad (3.2)$$

$$\text{Base impedance, } \Omega = \frac{(\text{base\_voltage, } kV_{LL})^2}{\text{base MVA}_{3\phi}} \quad (3.3)$$

$$\text{Base admittance, } S = \frac{1}{\text{base impedance, } \Omega} \quad (3.4)$$

$$\text{Base active power, } MW_{3\phi} = \text{base MVA}_{3\phi} \quad (3.5)$$

$$\text{Base reactive power, } Mvar_{3\phi} = \text{base MVA}_{3\phi} \quad (3.6)$$

โดยที่อักษรกำกับล่าง LL และ 3 $\phi$  แทนค่าระหว่างสายและค่าต่อสามเฟส

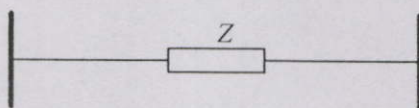
### 3.2.2 แบบจำลองของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

แบบจำลองของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ (AC transmission systems modeling) ที่ใช้ในการคำนวณเพาเวอร์โฟลว์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งแสดงเป็นค่าต่อหน่วย (p.u.) หรือค่าเปอร์เซ็นต์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบจำลองคือ แบบจำลองสายส่งไฟฟ้ากระแสสลับและแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับค่าแท็ป โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ

#### 3.2.2.1 แบบจำลองสายส่งไฟฟ้ากระแสสลับ

แบบจำลองสายส่งไฟฟ้ากระแสสลับ (Transmission lines modeling) [4] สามารถแบ่งออกตามระยะความยาวของสายส่งได้ดังนี้คือ

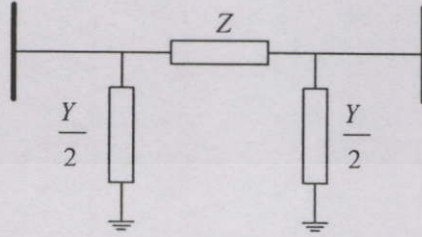
- สายส่งระยะสั้น (Short transmission lines) มีความยาวน้อยกว่า 80 กิโลเมตร (50 ไมล์) โดยมีวงจรสมมูลดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วงจรสมมูลของสายส่งระยะสั้น

เมื่อ  $Z$  คือค่าอิมพีแดนซ์อนุกรมของสายส่งไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ  $R + j\omega L$  โดยที่  $R$  คือค่าความต้านทานไฟฟ้าของสายส่งไฟฟ้า และ  $L$  คือค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าของสายส่งไฟฟ้า

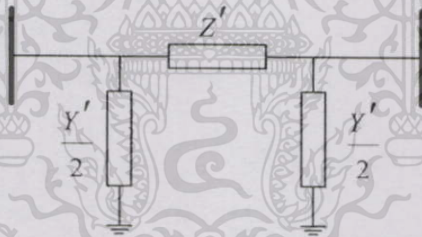
- สายส่งระยะปานกลาง (Medium transmission lines) มีความยาวตั้งแต่ 80 กิโลเมตร (50 ไมล์) จนถึง 240 กิโลเมตร (150 ไมล์) โดยมีวงจรสมมูลดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรสมมูลของสายส่งระยะปานกลาง

เมื่อ  $Y$  คือค่าแอดมิตแตนซ์ขานานของสายส่งไฟฟ้า ในรูปที่ 3.2 มีค่าเท่ากับ  $j\omega C$  โดยที่  $C$  คือค่าตัวเก็บประจุของสายส่งไฟฟ้า

- สายส่งระยะยาว (Long transmission lines) มีความยาวมากกว่า 240 กิโลเมตร (150 ไมล์) โดยมีวงจรสมมูลดังรูปที่ 3.3



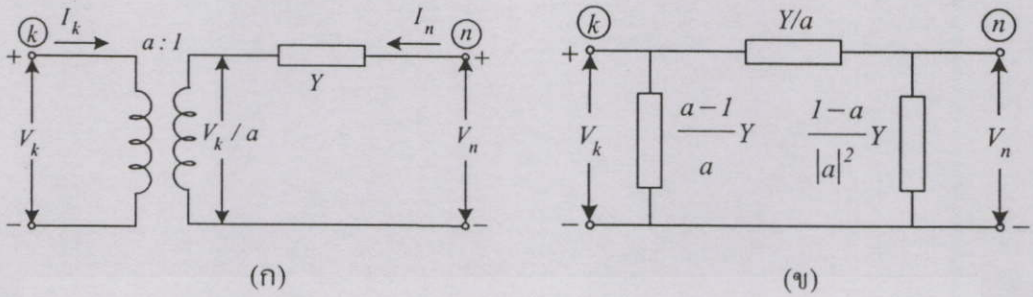
รูปที่ 3.3 วงจรสมมูลของสายส่งระยะยาว

เมื่อ  $Z' = Z((\sinh yl)) / (yl)$  และ  $Y' / 2 = (Y / 2)((\tanh yl / 2)) / (yl / 2)$  โดยที่  $y$  คือค่า Attenuation constant และ  $l$  คือค่าความยาวของสายส่งไฟฟ้า

### 3.2.2.2 แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับค่าแท็ป

แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับค่าแท็ป (Tap changing transformers modeling) สามารถแบ่งออกได้ 2 แบบคือ หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 2 ขดลวด (Two-winding transformers) และ หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 3 ขดลวด (Three-winding transformers) โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ

- หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 2 ขดลวด (Two-winding transformers) [4] จะใช้วงจรสมมูลย์ เป็นหม้อแปลงในอุดมคติ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 2 ขดลวด : (ก) ค่าเปอร์ยูนิตของ  $Y$  ซึ่งอยู่ตรงข้ามกับด้านที่เปลี่ยนแปลง; (ข) วงจรเทียบเคียงเปอร์ยูนิตแบบ  $\pi$

จากรูปที่ 3.4 สามารถแสดงสมการความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่บัส  $k$  และ  $n$  ดังนี้คือ

$$\begin{bmatrix} I_k \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y & -Y \\ \frac{a-l}{a} Y & \frac{l-a}{|a|^2} Y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_k \\ V_n \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

โดยที่

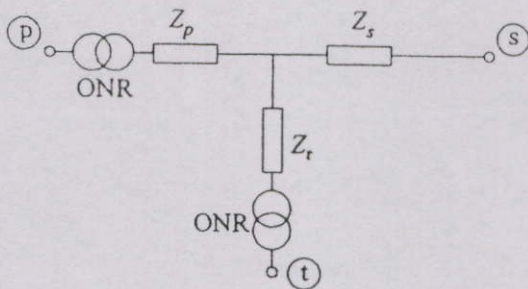
$a$  แทนค่าแท็ปเปอร์ยูนิตของหม้อแปลงไฟฟ้าหรือ The off-nominal ratio (ONR)

จากรูปที่ 3.4 สามารถใช้แทนหม้อแปลงไฟฟ้าที่ด้านหนึ่งมีค่าแท็ปลงที่ หรือเรียกว่าด้าน Off-load tap changer และอีกด้านหนึ่งเรียกว่าด้าน Under-load tap changer (ULTC) ซึ่งมีการปรับค่าแท็ป (The off-nominal ratio) โดยที่ค่าของ  $Y$  จะรวมผลของด้านที่มีค่าแท็ปลงที่ไว้ด้วย [5]

กรณีสถานะอยู่ตัว (Steady-state) และโหลดสมดุลย์ (Balanced load) ในสภาวะการทำงานปกติ หม้อแปลงไฟฟ้าที่ต่อกับแบบ  $Y-\Delta$  หรือ  $\Delta-Y$  จะมีค่าของมุมที่เลื่อนเฟส (Phase shift)  $\pm 30^\circ$  แต่จะไม่มีผลในการคำนวณพาเวอร์โฟลว์ทั้งในส่วนของการกำลังไฟฟ้าจริง (Real power flow) และ กำลังไฟฟารีแอกทีฟ (Reactive power flow) [4] ซึ่งแสดงได้เป็นค่าเปอร์ยูนิตดังนี้คือ

$$V_Y I_Y^* = V_\Delta \angle 30^\circ I_\Delta^* \angle -30^\circ = V_\Delta I_\Delta^* \quad (3.8)$$

- หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 3 ขดลวด (Three-winding transformers) [5] จะใช้วงจรสมมูลย์ เป็นหม้อแปลงในอุดมคติ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 3 ขดลวด

จากรูปที่ 3.5 The off-nominal ratios (ONR) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนของจำนวนรอบขดลวด (The ratios of actual turns) และค่าฐานของแรงดันไฟฟ้า (Base voltages) โดยค่า  $Z_p$ ,  $Z_s$  และ  $Z_t$  สามารถหาได้จากการทดสอบลัดวงจรดังนี้คือ

$$Z_{ps} = Z_p + Z_s \tag{3.9}$$

$$Z_{pt} = Z_p + Z_t \tag{3.10}$$

$$Z_{st} = Z_s + Z_t \tag{3.11}$$

ดังนั้นจะได้

$$Z_p = \frac{1}{2}(Z_{ps} + Z_{pt} - Z_{st}) \tag{3.12}$$

$$Z_s = \frac{1}{2}(Z_{ps} + Z_{st} - Z_{pt}) \tag{3.13}$$

$$Z_t = \frac{1}{2}(Z_{pt} + Z_{st} - Z_{ps}) \tag{3.14}$$

โดยที่  $Z_{ps}$  คือ อิมพีแดนซ์รั่วไหลที่ขดลวดปฐมภูมิโดยลัดวงจรขดลวดทุติยภูมิและเปิดวงจรขดลวด tertiary

$Z_{pt}$  คือ อิมพีแดนซ์รั่วไหลที่ขดลวดปฐมภูมิโดยลัดวงจรขดลวด tertiary และเปิดวงจรขดลวดทุติยภูมิ

$Z_{st}$  คือ อิมพีแดนซ์รั่วไหลที่ขดลวดทุติยภูมิโดยลัดวงจรขดลวด tertiary และเปิดวงจรขดลวดปฐมภูมิ

### 3.2.3 สมการของการคำนวณเพาเวอร์โพลาร์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

ในการคำนวณเพาเวอร์โพลาร์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับจะต้องนำค่าของสายส่งไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้าโดยใช้แบบจำลองในหัวข้อที่ 3.2.2.1 และ 3.2.2.2 ตามลำดับ ทำการแปลงเป็นค่าแอดมิตแดนซ์เมตริกซ์ [4] ซึ่งค่าของแอดมิตแดนซ์จะอยู่ในรูปแบบดังนี้คือ

$$Y_{kn} = |Y_{kn}| \angle \theta_{kn} = |Y_{kn}| \cos \theta_{kn} + j |Y_{kn}| \sin \theta_{kn} \quad (3.15)$$

ค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัส  $k$  ใดๆในระบบจะอยู่ในรูปแบบดังนี้คือ

$$V_k = |V_k| \angle \delta_k = |V_k| \cos \delta_k + j |V_k| \sin \delta_k \quad (3.16)$$

สามารถหาค่ากระแสไฟฟ้าสุทธิที่บัส  $k$  ใดๆในระบบได้ดังนี้คือ

$$I_k = \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \quad (3.17)$$

โดยที่  $N$  คือ จำนวนบัสในระบบ จากนั้นหาค่ากำลังไฟฟ้าที่บัส  $k$  ใดๆในระบบได้ดังนี้คือ

$$S_k = P_k + jQ_k = V_k I_k^* \quad (3.18)$$

$$S_k^* = P_k - jQ_k = V_k^* I_k \quad (3.19)$$

ทำการแทนค่าสมการ (3.16) และ (3.17) ลงในสมการ (3.19) ได้ดังนี้คือ

$$S_k^* = P_k - jQ_k = \sum_{n=1}^N |Y_{kn}| |V_k| |V_n| \angle (\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) \quad (3.20)$$

เมื่อค่า  $P_k$  และ  $Q_k$  คือค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟารีแอกทีฟสุทธิที่บัส  $k$  ใดๆในระบบ ซึ่งสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟารีแอกทีฟได้ดังนี้คือ

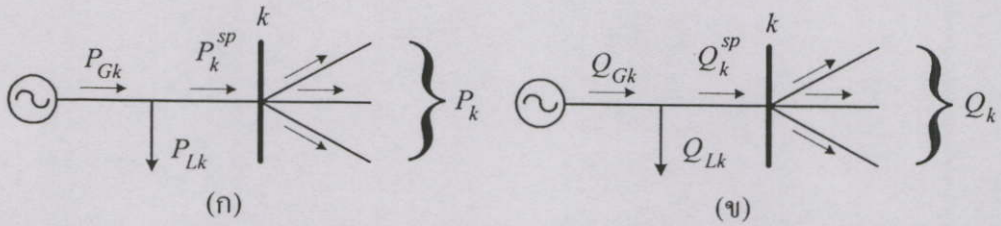
$$P_k = \sum_{n=1}^N |Y_{kn}| |V_k| |V_n| \cos (\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) \quad (3.21)$$

$$Q_k = - \sum_{n=1}^N |Y_{kn}| |V_k| |V_n| \sin (\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) \quad (3.22)$$

สมการ (3.21) และ (3.22) อยู่ในรูปแบบเชิงขั้ว (Polar form) ของสมการเพาเวอร์โพลาร์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ เมื่อกำหนดให้  $P_{Gk}$  คือกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตที่บัส  $k$  และ  $P_{Lk}$  คือความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส  $k$  ซึ่งจะได้สมการกำลังไฟฟ้าจริงที่กำหนดคือ  $P_k^{sp} = P_{Gk} - P_{Lk}$  และในทำนองเดียวกันได้สมการกำลังไฟฟารีแอกทีฟที่กำหนดคือ  $Q_k^{sp} = Q_{Gk} - Q_{Lk}$  แสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 (ก) กำลังไฟฟ้าจริง และ (ข) กำลังไฟฟารีแอกทีฟ ที่บัส  $k$  ในการศึกษาเพาเวอร์โพลว์

จากรูปที่ 3.6 (ก) กำหนดให้ค่าของ  $P_k$  คือ  $P_{k, calc}$  และจากรูปที่ 3.6 (ข) กำหนดให้ค่าของ  $Q_k$  คือ  $Q_{k, calc}$  ซึ่งจะได้ค่ามิสมแมตช์ (Mismatch) ของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟารีแอกทีฟคือ

$$\Delta P_k = P_k^{sp} - P_{k, calc} = (P_{Gk} - P_{Lk}) - P_{k, calc} \quad (3.23)$$

$$\Delta Q_k = Q_k^{sp} - Q_{k, calc} = (Q_{Gk} - Q_{Lk}) - Q_{k, calc} \quad (3.24)$$

สำหรับค่าของ  $P_{k, calc}$  และ  $Q_{k, calc}$  จากสมการ (3.23) และ (3.24) จะได้จากสมการ (3.21) และ (3.22) ซึ่งเมื่อค่าของ  $\Delta P_k$  และ  $\Delta Q_k$  ที่บัส  $k$  เท่ากับศูนย์หรือค่าที่ยอมรับได้ที่กำหนดก็จะได้คำตอบของการคำนวณเพาเวอร์โพลว์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

### 3.3 ชนิดของบัสในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

การคำนวณเพาเวอร์โพลว์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ชนิดของบัสและรายละเอียดของข้อมูลที่แต่ละชนิดของบัสจะเป็นตาม [4] โดยในวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ มีรายละเอียดของข้อมูลที่แต่ละชนิดของบัส ซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์ 5 ตัว ดังนี้คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้า ( $|V_k|$ ), มุมของแรงดันไฟฟ้า ( $\angle \delta_k$ ), กำลังไฟฟ้าจริงจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ( $P_{Gk}$ ), กำลังไฟฟารีแอกทีฟจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ( $Q_{Gk}$ ) และกำลังไฟฟารีแอกทีฟจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟารีแอกทีฟ ( $Q_{Sk}$ ) โดยชนิดของบัสแบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังนี้คือ

1. แสลคบัสหรือบัสอ้างอิง (Slack bus or reference bus) เป็นบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่และมีค่ามุมของแรงดันไฟฟ้าคงที่โดยกำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งใช้ค่ามุมของแรงดันไฟฟ้าบัสนี้เป็นบัสอ้างอิงเมื่อเทียบกับค่ามุมของแรงดันไฟฟ้าของบัสอื่นๆในระบบ โดยพารามิเตอร์ที่ต้องการหาจากการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบเอชอี คือ  $|V_k|$ ,  $P_{Gk}$  และ  $Q_{Gk}$

2. เจนบัส (Generator bus or Reactive power source bus) เป็นบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟต่ออยู่ โดยถ้าเป็นบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่ พารามิเตอร์ที่ต้องการหาจากการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอชี่ คือ  $|V_k|, \angle \delta_k, P_{Gk}$  และ  $Q_{Gk}$  หรือถ้าเป็นบัสที่มีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟต่ออยู่ พารามิเตอร์ที่ต้องการหาจากการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอชี่ คือ  $|V_k|, \angle \delta_k$  และ  $Q_{Sk}$

3. โหลดบัส (Load bus) เป็นบัสที่มีโหลดกำลังไฟฟ้าจริง ( $P_{Lk}$ ) และโหลดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ( $Q_{Lk}$ ) พารามิเตอร์ที่ต้องการหาจากการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอชี่ คือ  $|V_k|$  และ  $\angle \delta_k$

### 3.4 วิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

วิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic dispatch approach) [4,6-7] เป็นวิธีการที่หาค่ากำลังผลิตที่จ่ายมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยมีเป้าหมายให้ต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุด ซึ่งมีฟังก์ชันเป้าหมายเป็นฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนและมีหน่วยเป็นหน่วยราคาต่อชั่วโมง (R/hr) โดยปกติฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนจะอยู่ในรูปของฟังก์ชันควอดราติกดังนี้คือ

$$\sum_{k=1}^N a_k + b_k P_{Gk} + c_k P_{Gk}^2 \quad (3.25)$$

โดยที่

$a_k, b_k$  และ  $c_k$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส  $k$  ใดๆ ในระบบ

$P_{Gk}$  คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ผลิตที่บัส  $k$  ใดๆ ในระบบ

$N$  คือ จำนวนบัสในระบบ

ในส่วนของเงื่อนไขบังคับจะเป็นสมการกำลังไฟฟ้าจริงสมดุลของระบบและขีดจำกัดค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส  $k$  ใดๆ ในระบบได้ดังนี้คือ

$$\sum_{k=1}^N P_{Gk} - P_D - P_L = 0 \quad (3.26)$$

$$P_{Gk, \min} \leq P_{Gk} \leq P_{Gk, \max} \quad (3.27)$$

โดยที่

$P_D$  คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบ

$P_L$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ

$P_{Gk, \min}$  คือ ขีดจำกัดกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตต่ำสุดที่บัส  $k$  ใดๆในระบบ

$P_{Gk, \max}$  คือ ขีดจำกัดกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตสูงสุดที่บัส  $k$  ใดๆในระบบ

### 3.4.1 การสิ้นสุดกระบวนการของการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

ในการกำหนดการสิ้นสุดกระบวนการของการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด มีรายละเอียดดังนี้คือ

1. ตรวจสอบเงื่อนไขการสิ้นสุดกระบวนการของวิธีหาค่าเหมาะที่สุดแบบโปรแกรมมิ่งในหัวข้อที่ 2.5 ถ้าเป็นตามข้อที่ 1 (จำนวนรอบในการคำนวณสูงสุด) ถือเป็นการสิ้นสุดกระบวนการของวิธีการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

2. ตรวจสอบเงื่อนไขการสิ้นสุดกระบวนการของวิธีหาค่าเหมาะที่สุดแบบโปรแกรมมิ่งในหัวข้อที่ 2.5 ถ้าเป็นตามข้อที่ 2 และ 3 ให้ทำการตรวจสอบเงื่อนไขคือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่บัสอ้างอิงที่ได้จากการแก้ปัญหาโหลดโพล์ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดจำกัดกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตสูงสุดที่บัสอ้างอิง ( $P_{Gk, \max}$ ) และค่าผลต่างสัมบูรณ์ของค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่บัสอ้างอิง ที่ได้จากการแก้ปัญหาหาค่าเหมาะสมที่สุด โดยใช้วิธีหาค่าเหมาะที่สุดแบบโปรแกรมมิ่งกับการแก้ปัญหาโหลดโพล์ต้องมีค่าน้อยกว่าค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ ( $\epsilon$ ) ที่กำหนดไว้ จึงถือเป็นการสิ้นสุดกระบวนการของวิธีการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

### 3.4.2 การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

ในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด มีการแก้ปัญหาโหลดโพล์ เพื่อใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไขการสิ้นสุดกระบวนการและคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ โดยถ้าเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับจะใช้วิธีนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson method) [6] และถ้าเป็นระบบเอช-ดีซี จะใช้วิธียูนิไฟด์ (Unified method) [8] และการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้วิธีหาค่าเหมาะที่สุดแบบโปรแกรมมิ่งจะมีรูปแบบดังนี้คือ

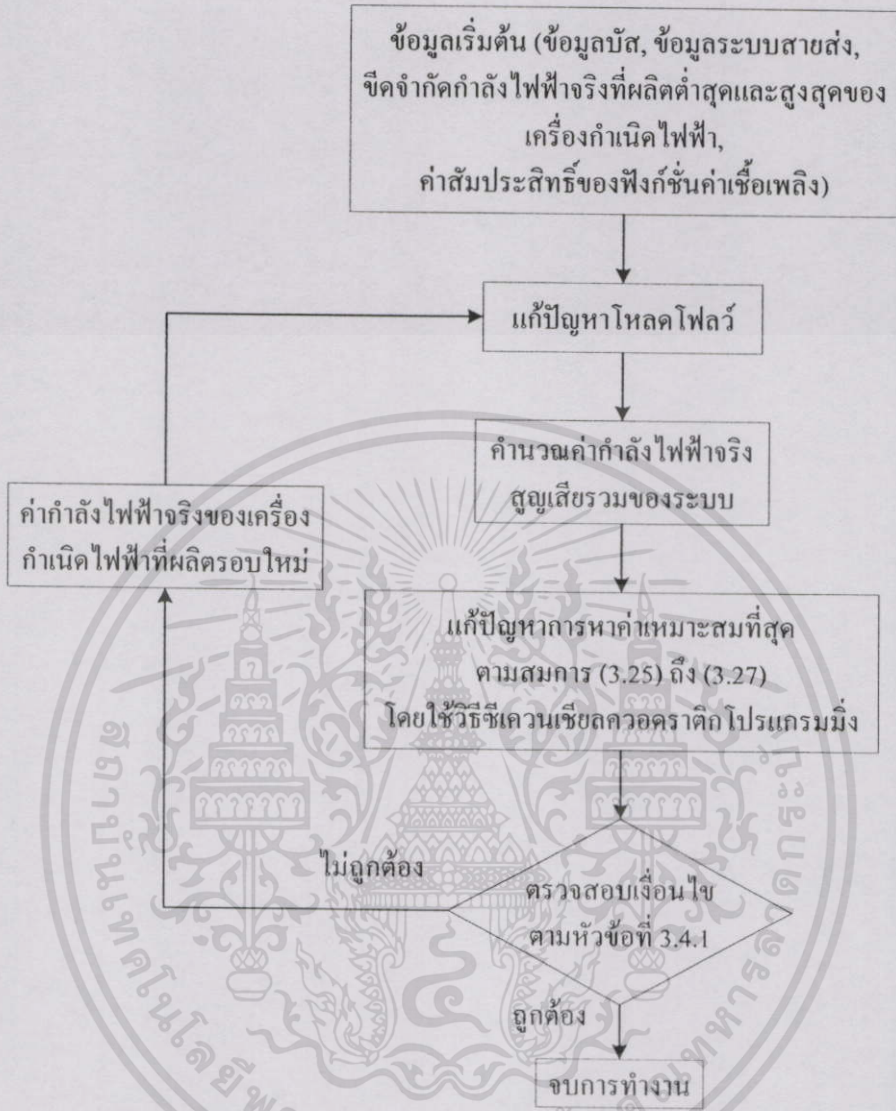
$$\text{Minimize} \quad \sum_{k=1}^N a_k + b_k P_{Gk} + c_k P_{Gk}^2$$

Subject to

$$\sum_{k=1}^N P_{Gk} - P_D - P_L = 0$$

$$P_{Gk, \min} \leq P_{Gk} \leq P_{Gk, \max}$$

## การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดมีลำดับขั้นตอนดังนี้คือ



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการคำนวณของการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

### 3.5 วิธีการทำออปติมิซเพาเวอร์โพลว์ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

วิธีการทำออปติมิซเพาเวอร์โพลว์ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ [7,9-10] เป็นวิธีการที่หาค่ากำลังผลิตที่จ่ายมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัสและค่าเทปของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยมีเป้าหมายให้ต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุดและยังคงดำเนินงานอยู่ในขอบเขตที่ปลอดภัยในสภาวะการทำงานปกติ ซึ่งมีฟังก์ชันเป้าหมายเป็นฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนและมีหน่วยเป็นหน่วยราคาต่อชั่วโมง (R/hr) ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นตามสมการ (3.25)

ในส่วนของเงื่อนไขบังคับจะเป็นสมการกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสมมูลย์ที่บัส  $k$  ใดๆในระบบ ขีดจำกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบสายส่งไฟฟ้าในระบบและค่าขีดจำกัดของตัวแปรต่างๆในระบบได้ดังนี้คือ

$$P_k - P_{Gk} + P_{Lk} = 0 \quad (3.28)$$

$$Q_k - Q_{Gk} - Q_{Sk} + Q_{Lk} = 0 \quad (3.29)$$

$$S_{kn} \leq S_{kn, \max} \quad (3.30)$$

โดยที่

$P_k$  คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสุทธิที่บัส  $k$  ใดๆในระบบ

$Q_k$  คือ ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสุทธิที่บัส  $k$  ใดๆในระบบ

$P_{Lk}$  คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส  $k$  ใดๆในระบบ

$Q_{Gk}$  คือ ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ผลิตที่บัส  $k$  ใดๆในระบบ

$Q_{Sk}$  คือ ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ผลิตที่บัส  $k$  ใดๆในระบบ

$Q_{Lk}$  คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่บัส  $k$  ใดๆในระบบ

$S_{kn}$  คือ ค่ากำลังไฟฟ้าระหว่างบัส  $k$  และ  $n$  ใดๆในระบบ

$$P_{Gk, \min} \leq P_{Gk} \leq P_{Gk, \max} \quad (3.31)$$

$$Q_{Gk, \min} \leq Q_{Gk} \leq Q_{Gk, \max} \quad (3.32)$$

$$Q_{Sk, \min} \leq Q_{Sk} \leq Q_{Sk, \max} \quad (3.33)$$

$$V_{k, \min} \leq V_k \leq V_{k, \max} \quad (3.34)$$

$$a_{kn, \min} \leq a_{kn} \leq a_{kn, \max} \quad (3.34)$$

เมื่อ  $V_k$  คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส  $k$  ใดๆในระบบ,  $a_{kn}$  คือ ค่าเก็บของหม้อแปลงไฟฟ้าระหว่างบัส  $k$  และ  $n$  ใดๆในระบบ และอักษรกำกับล่าง  $\min$  และ  $\max$  แทนขีดจำกัดต่ำสุดและสูงสุดตามลำดับ

### 3.5.1 การสิ้นสุดกระบวนการของการแก้ปัญหาการทำออปติมิซัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบ

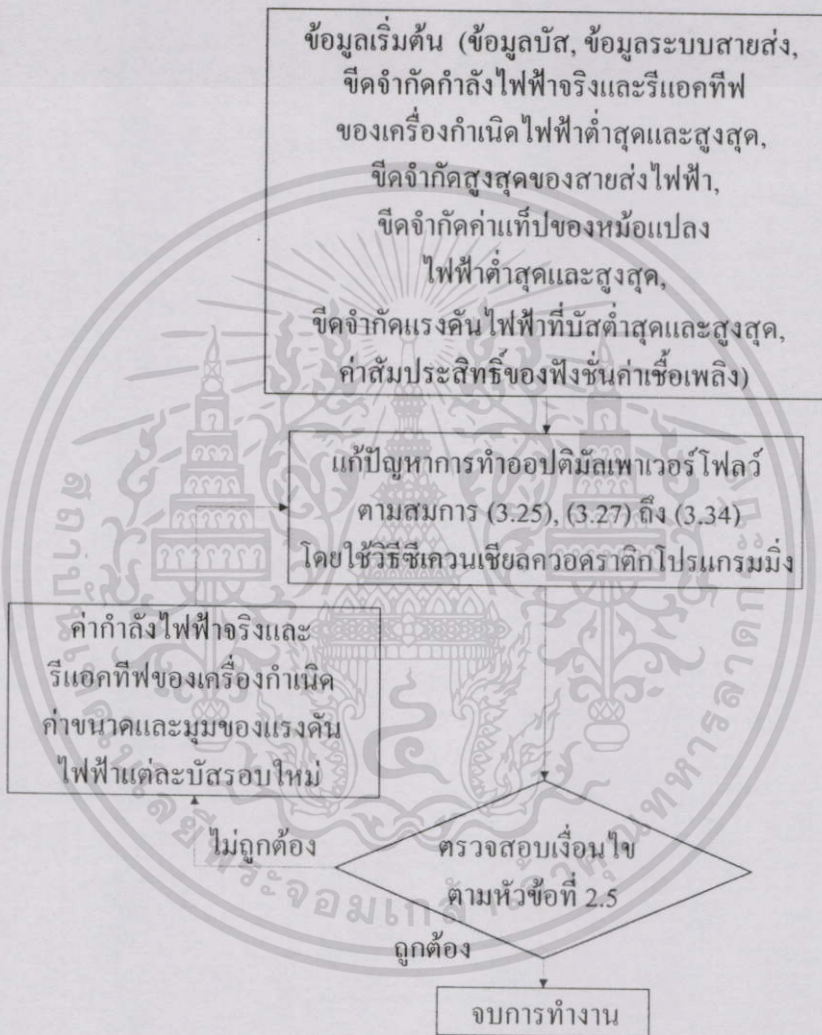
#### ไฟฟ้ากระแสสลับ

การสิ้นสุดกระบวนการของการแก้ปัญหาการทำออปติมิซัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบไฟฟ้า

กระแสสลับ จะใช้เงื่อนไขเช่นเดียวกันกับการสิ้นสุดกระบวนการของวิธีเชิงควอดรติกโปรแกรมมิ่งในหัวข้อที่ 2.5

### 3.5.2 การแก้ปัญหาการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

การแก้ปัญหาการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ มีลำดับขั้นตอนดังนี้คือ



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการคำนวณของการแก้ปัญหาการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

การแก้ปัญหาการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้วิธีเชิงควอดรติกโปรแกรมมิ่งมีรูปแบบดังนี้คือ

Minimize 
$$\sum_{k=1}^N a_k + b_k P_{Gk} + c_k P_{Gk}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Subject to

$$\begin{aligned}
 P_k - P_{Gk} + P_{Lk} &= 0 \\
 Q_k - Q_{Gk} - Q_{Sk} + Q_{Lk} &= 0 \\
 S_{kn} &\leq S_{kn, \max} \\
 P_{Gk, \min} &\leq P_{Gk} \leq P_{Gk, \max} \\
 Q_{Gk, \min} &\leq Q_{Gk} \leq Q_{Gk, \max} \\
 Q_{Sk, \min} &\leq Q_{Sk} \leq Q_{Sk, \max} \\
 V_{k, \min} &\leq V_k \leq V_{k, \max} \\
 a_{kn, \min} &\leq a_{kn} \leq a_{kn, \max}
 \end{aligned}$$

### 3.6 สรุป

วิธีการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากำลังแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือ วิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัดและวิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ โดยทั้งสองวิธีการดังกล่าวต้องอาศัยพื้นฐานความเข้าใจในเรื่องเพาเวอร์โฟลว์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งแบ่งหัวข้อในการศึกษาออกได้เป็น 3 หัวข้อคือ 1. การแปลงค่าต่อหน่วยของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 2. แบบจำลองของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3. สมการของการคำนวณเพาเวอร์โฟลว์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ จากนั้นใช้วิธีซีเควนเชื่อมลวดคราติกโปรแกรมมิ่ง เป็นวิธีในการแก้ปัญหาทั้งวิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัดและวิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งในบทที่ 6 จะได้ทำการทดสอบ โปรแกรมและแสดงผลที่เลือกใช้วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์เป็นวิธีการในการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากำลัง จากนั้นทำการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

# ทฤษฎีและวิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซี

## 4.1 บทนำ

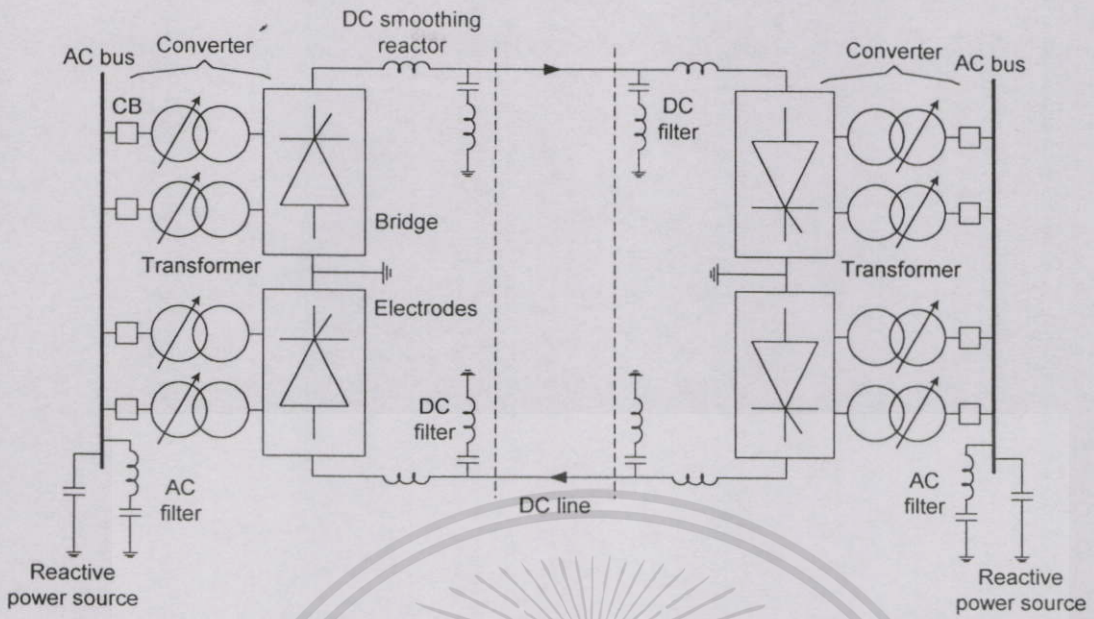
ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงๆและระยะทางไกลๆ จะพบว่าระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงมีคุณสมบัติที่ดีกว่าระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับอยู่หลายประการ ทั้งทางด้านคุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางด้านเศรษฐศาสตร์ [11-13] และเนื่องจากในอนาคตอันใกล้นี้ ทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (Electricity Generating Authority of Thailand: EGAT) จะได้ทำการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าในช่วงโหลคสูงสุด (Peak load) กับทางการไฟฟ้าประเทศมาเลเซีย (Tenaga Nasional Berhad: TNB) โดยทำการเชื่อมต่อผ่านระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง (High Voltage Direct Current System: HVDC) ซึ่งเป็นเงื่อนไขใหม่ที่ต้องรวมเข้าไว้ในการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาโปรแกรมจำลองการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซี เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และวางแผนระบบเอช-ดีซีได้

## 4.2 ทฤษฎีของระบบเอช-ดีซี

ในการศึกษาทฤษฎีของระบบเอช-ดีซี สามารถแบ่งหัวข้อในการศึกษาออกได้เป็น 2 หัวข้อ คือ 1. วงจรของคอนเวอร์เตอร์และสมการคุณลักษณะ 2. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เป็นเอชกับปริมาณที่เป็นดีซี โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ

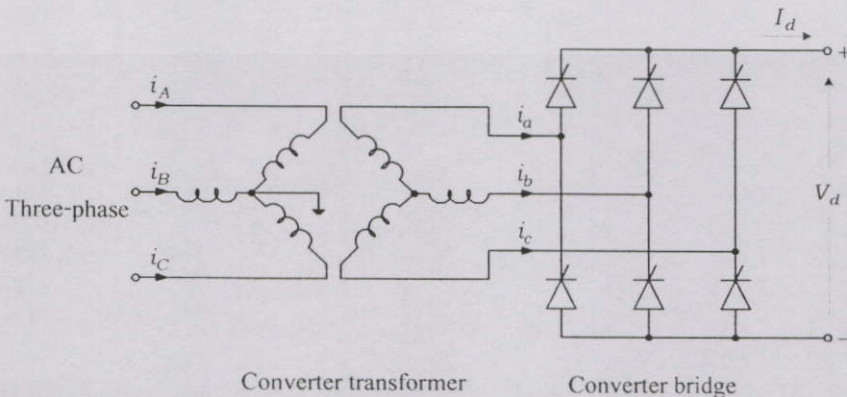
### 4.2.1 วงจรของคอนเวอร์เตอร์และสมการคุณลักษณะ

สำหรับคอนเวอร์เตอร์ในระบบเอช-ดีซีจะใช้ในการควบคุมเพาเวอร์โพล์ที่ผ่านระบบ HVDC โดยอุปกรณ์หลักๆ คือ บริดจ์ของตัวปิดเปิด (Valve bridges) และหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ (Converter transformer) โดยที่บริดจ์ของตัวปิดเปิดจะเป็นแถวของสวิตช์ไฟฟ้าแรงดันสูง (High-voltage switches) ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ซึ่งในปัจจุบันนี้ระบบ HVDC ทั้งหมดได้พัฒนามาใช้อุปกรณ์ปิดเปิดชนิดไทรสเตอร์ (Thyristor valves) ซึ่งพิกัดของกระแสไฟฟ้ามักอยู่ระหว่าง 2,500 ถึง 3,000 A และพิกัดค่ายอดแรงดันไฟฟ้าผกผันมีค่าอยู่ระหว่าง 3 ถึง 5 kV [5] โดยนำไทรสเตอร์มาต่ออนุกรมกันจนสามารถนำไปใช้กับระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าที่ต้องการ ซึ่งตัวอย่างของส่วนประกอบต่างๆเช่นหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ ตัวกรองฮาร์มอนิกทั้งทางด้านเอชและดีซี และรูปแบบคอนเวอร์เตอร์ของระบบ HVDC และตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ต่างๆในระบบ HVDC

จากรูปที่ 4.1 รูปแบบคอนเวอร์เตอร์ของระบบ HVDC จะเป็นวงจรบริดจ์แบบเต็มคลื่น (Full-wave bridge circuit) ของระบบไฟฟ้าสามเฟส ดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยเรียกวงจรนี้ว่าเกรตซ์บริดจ์ (Graetz bridge) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับคอนเวอร์เตอร์ของระบบ HVDC เนื่องจากว่าเป็นการจัดหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ให้เกิดประโยชน์มากที่สุดและมีแรงดันตกคร่อมที่ไทรสเตอร์ต่ำเมื่อไม่มีการนำกระแส [11,12] สำหรับหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์จะมีการปรับแทปในสถานะที่มีโหลด (On-load taps) ในด้านเอซีเพื่อการควบคุมแรงดัน สำหรับลักษณะการต่อขดลวดของหม้อแปลงในด้านเอซีจะต่อเป็นแบบสตาร์ต่อร่วมกับสายนิวทรัลถูกต่อลงดิน (Star-connected with grounded neutral) และลักษณะการต่อขดลวดของหม้อแปลงในด้านไทรสเตอร์จะต่อเป็นแบบเดลตา (Delta connected) หรือทำการต่อแบบสตาร์ที่ไม่ได้ต่อร่วมกับสายนิวทรัลถูกต่อลงดิน [5]



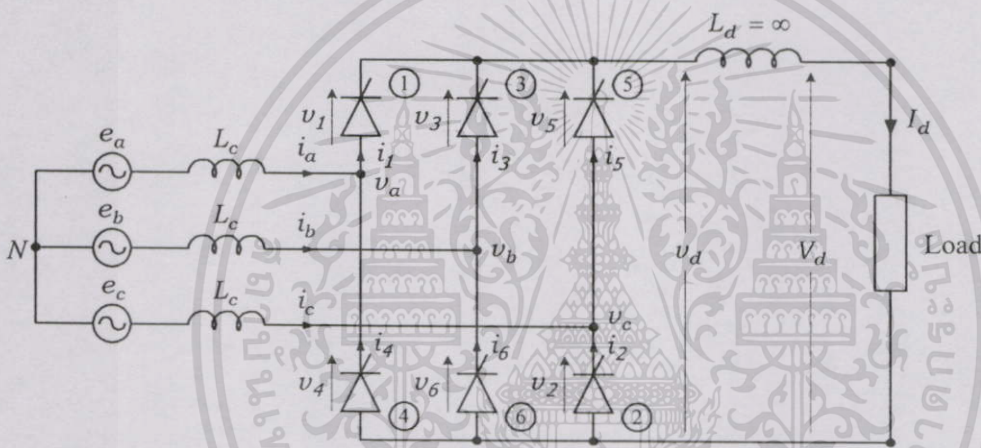
รูปที่ 4.2 วงจรบริดจ์แบบเต็มคลื่นของระบบไฟสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการวิเคราะห์ห้วงจรบริดจ์แบบเต็มคลื่นของระบบไฟสามเฟสจะกำหนดให้

1. ระบบไฟฟ้ากระแสสลับรวมทั้งหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์จะเป็นแหล่งกำเนิดในอุดมคติ (Ideal source) โดยมีแรงดันและความถี่คงที่
2. กระแสไฟตรง ( $I_d$ ) มีค่าคงที่และไม่มีควมพลิว (Ripple-free) เนื่องจากมีรีแอคเตอร์ขนาดใหญ่ ( $L_d$ ) ในด้านไฟดีซี
3. ไทริสเตอร์เป็นสวิตช์ในอุดมคติที่มีค่าความต้านทานเป็นศูนย์เมื่อนำกระแส และจะมีค่าความต้านทานไม่จำกัด (Infinite resistance) เมื่อไม่นำกระแส
4. การนำกระแสของไทริสเตอร์จะต้องมีช่วงเวลาที่  $60^\circ$  เท่ากันตลอด

จากข้อกำหนดทั้งสี่ข้อดังกล่าวข้างต้น บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ของรูปที่ 4.2 จะนำเสนอเป็นวงจรมูลฐานดังแสดงในรูปที่ 4.3



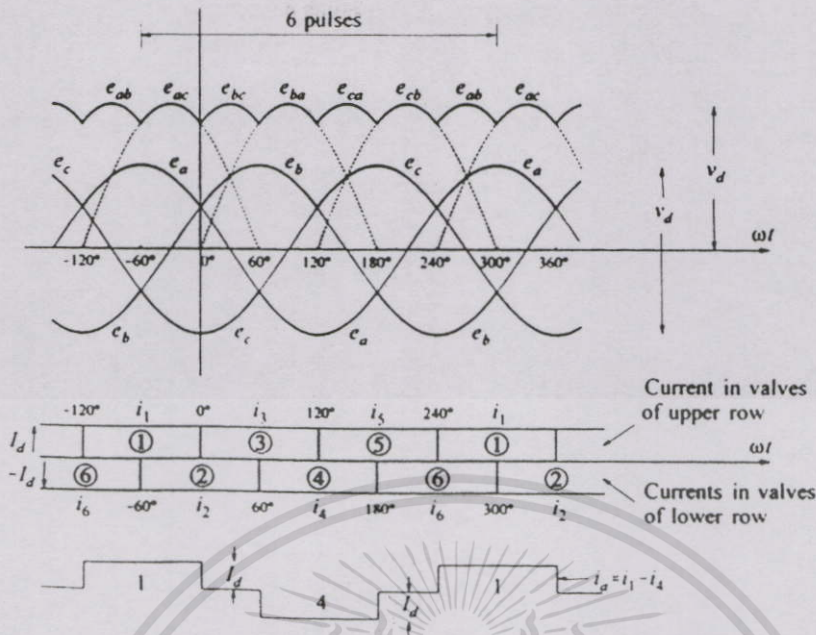
รูปที่ 4.3 วงจรบริดจ์แบบเต็มคลื่นของระบบไฟสามเฟส

จากรูปที่ 4.3 เมื่อทำการพิจารณาที่แหล่งจ่ายเอซีของระบบไฟสามเฟส จะได้สมการของแรงดันชั่วขณะระหว่างสายกับสายนิวทรัล (Line-to-neutral voltage) คือ

$$\begin{aligned} e_a &= E_m \cos(\omega t + 60^\circ) \\ e_b &= E_m \cos(\omega t - 60^\circ) \\ e_c &= E_m \cos(\omega t - 180^\circ) \end{aligned} \quad (4.1)$$

และจะได้สมการของแรงดันชั่วขณะระหว่างสาย (Line-to-line voltage) คือ

$$\begin{aligned} e_{ac} &= e_a - e_c = \sqrt{3}E_m \cos(\omega t + 30^\circ) \\ e_{ba} &= e_b - e_a = \sqrt{3}E_m \cos(\omega t - 90^\circ) \\ e_{cb} &= e_c - e_a = \sqrt{3}E_m \cos(\omega t + 150^\circ) \end{aligned} \quad (4.2)$$



รูปที่ 4.4 รูปคลื่นของแรงดันและกระแสของวงจรบริดจ์ของรูปที่ 4.3

- (ก) แรงดันระหว่างสายกับสายนิวทรัล และแรงดันระหว่างสายของแหล่งจ่าย
- (ข) กระแส และคาบเวลาในการนำกระแสของไทรสเตอร์
- (ค) กระแสเฟส  $i_a$

โดยรูปที่ 4.4 (ก) แสดงรูปคลื่นของแรงดันระหว่างสายกับสายนิวทรัลตามสมการที่ (4.1) และแสดงรูปคลื่นของแรงดันระหว่างสายของแหล่งจ่ายตามสมการที่ (4.2)

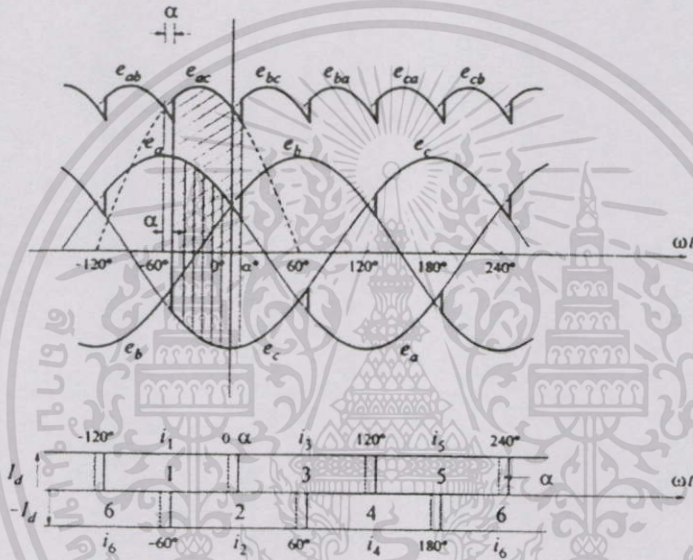
#### 4.2.1.1 การวิเคราะห์ที่ไม่พิจารณาค่าความเหนี่ยวนำของแหล่งจ่าย

การวิเคราะห์ในขั้นแรกจะไม่พิจารณาค่าความเหนี่ยวนำของแหล่งจ่าย ( $L_c = 0$ ) และไม่มีมุมประวิงการจุด (Ignition delay angle:  $\alpha$ ) หรือมุมประวิงการจุดเท่ากับศูนย์องศา ( $\alpha = 0^\circ$ ) สำหรับรูปที่ 4.4 (ข) แสดงคาบเวลาต่างๆของการนำกระแสที่ไหลผ่านไทรสเตอร์แต่ละตัว โดยกำหนดให้กระแส  $I_d$  มีค่าคงที่ กระแสที่ไหลผ่านไทรสเตอร์แต่ละตัว มีค่าเท่ากับกระแส  $I_d$  เมื่อไทรสเตอร์เกิดการนำกระแส และมีค่าเท่ากับศูนย์เมื่อไทรสเตอร์ไม่นำกระแส สำหรับการเปลี่ยนแปลงการนำกระแสจากไทรสเตอร์ตัวหนึ่งไปยังไทรสเตอร์ตัวอื่นๆในแถวเดียวกันเรียกว่าการสับเปลี่ยน (Commutation) และเมื่อกำหนดให้ไม่พิจารณาค่าความเหนี่ยวนำของแหล่งจ่าย การสับเปลี่ยนจะไม่เกิดมุมเหลื่อม (Overlap angle:  $\mu$ )

ค่าแรงดันไฟตรงชั่วขณะ ( $v_d$ ) ที่ข้ามบริดจ์ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆของแรงดันระหว่างสายในแต่ละคาบ  $60^\circ$  เมื่อทำการแทน  $\omega t$  ด้วย  $\theta$  และพิจารณาคาบระหว่าง  $\omega t = -60^\circ$  กับ  $0^\circ$  จะได้ค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ย ( $V_{d0}$ ) ที่ไม่มีมุม  $\alpha$  คือ

$$\begin{aligned}
 V_{d0} &= \frac{3}{\pi} \int_{-60^\circ}^{60^\circ} e_{ac} d\theta \\
 &= \frac{3\sqrt{3}}{\pi} E_m \\
 &= \frac{3\sqrt{6}}{\pi} E_{LN} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} E_{LL}
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

เมื่อ  $E_m$  คือค่ายอดของแรงดันระหว่างสายกับสายนิวทรัล ในเทอมของ RMS:  $E_{LN}$  คือค่าแรงดันระหว่างสายกับสายนิวทรัล และ  $E_{LL}$  คือค่าแรงดันระหว่างสาย

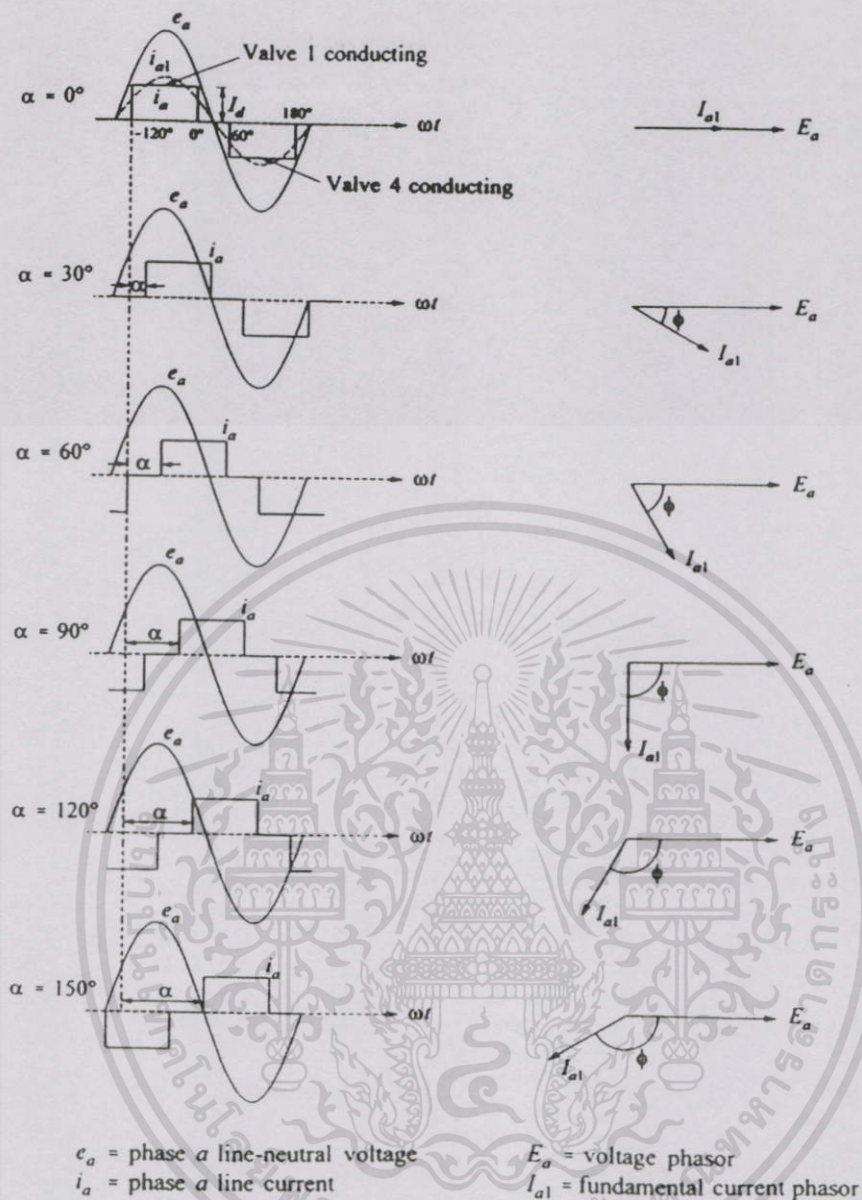


รูปที่ 4.5 รูปคลื่นของแรงดัน และกระแสที่ไหลผ่านไทรสเตอร์ เมื่อมีมุม  $\alpha$

เมื่อทำการพิจารณามุมประวิงการจุด ( $\alpha$ ) ดังแสดงในรูปที่ 4.5 มุม  $\alpha$  จะต้องมีค่าไม่เกิน  $180^\circ$  ถ้ามุม  $\alpha$  เกิน  $180^\circ$  ไทรสเตอร์จะเกิดความล้มเหลวในการนำกระแส และจะได้ค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ย ( $V_d$ ) ที่มีมุม  $\alpha$  คือ

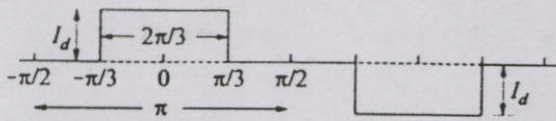
$$\begin{aligned}
 V_d &= \frac{3}{\pi} \int_{(60^\circ - \alpha)}^{\alpha} e_{ac} d\theta \\
 &= V_{d0} \cos \alpha
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

จากสมการที่ (4.4) พบว่าผลของการมีมุม  $\alpha$  จะทำให้ค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ยมีค่าลดลง ด้วยแฟกเตอร์  $\cos \alpha$  ซึ่งมุม  $\alpha$  จะอยู่ในช่วง  $0^\circ$  ถึง  $180^\circ$  เพราะฉะนั้น  $\cos \alpha$  จะอยู่ในช่วง 1 ถึง -1 ดังนั้น  $V_d$  ก็ จะอยู่ในช่วง  $V_{d0}$  ถึง  $-V_{d0}$



รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงของการกระจัดเฟสระหว่างแรงดันและกระแสของเฟส  $a$  เมื่อมีมุม  $\alpha$

เมื่อมุม  $\alpha$  มีค่าเพิ่มขึ้น การกระจัดเฟส (Phase displacement) ระหว่างแรงดันไฟสลับกับกระแสไฟสลับในแต่ละเฟสของแหล่งจ่ายจะเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงเฟส  $\alpha$  ในรูปที่ 4.6 และรูปคลื่นของกระแสไฟสลับจะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 4.7 สำหรับกระแสไฟตรง ( $I_d$ ) จะมีค่าคงที่โดยมีขนาดเท่ากับ  $I_d$  และมีความกว้างเท่ากับ  $120^\circ$  หรือ  $2\pi/3$  rad. เมื่อกำหนดให้ไม่มีมุมเหลื่อม ( $\mu$ ) รูปลักษณะของกระแสไฟสลับจะไม่ขึ้นกับค่าของมุม  $\alpha$  แต่ว่าการกระจัดเฟสจะเปลี่ยนตามค่าของมุม  $\alpha$  และส่วนประกอบความถี่หลักมูลของกระแสไฟสลับสามารถหาได้จากการวิเคราะห์ฟูริเยร์ (Fourier analysis) ของรูปคลื่นของกระแส ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 รูปคลื่นของกระแสในสาย

จากรูปที่ 4.7 ค่ายอดของส่วนประกอบความถี่หลักมูลของกระแสไฟสลับ คือ

$$\begin{aligned}
 I_{LM} &= \frac{2}{\pi} \int_{-\pi/3}^{\pi/3} I_d \cos x \, dx \\
 &= \frac{2}{\pi} \sqrt{3} I_d
 \end{aligned}
 \tag{4.5}$$

และค่า RMS ของส่วนประกอบความถี่หลักมูลของกระแสไฟสลับ คือ

$$\begin{aligned}
 I_{LI} &= \frac{I_{LM}}{\sqrt{2}} \\
 &= \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d
 \end{aligned}
 \tag{4.6}$$

เมื่อไม่คำนึงถึงค่าความสูญเสียในคอนเวอร์เตอร์ ค่าของกำลังไฟฟ้ากระแสสลับจะต้องเท่ากับค่าของกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

$$\begin{aligned}
 3E_{LN} I_{LI} \cos \phi &= V_d \cdot I_d \\
 &= V_{d0} \cos \alpha \cdot I_d
 \end{aligned}
 \tag{4.7}$$

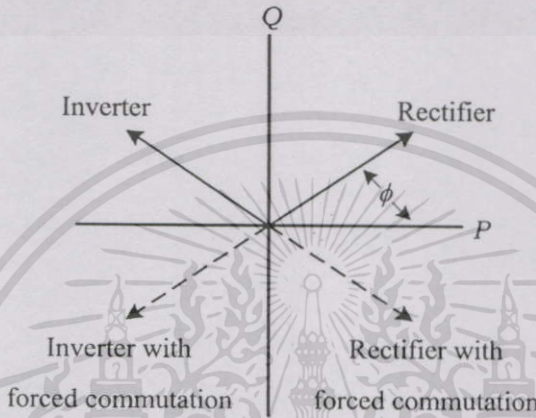
โดยที่มุม  $\phi$  คือมุมของกระแสในสายที่ความถี่หลักมูลลำดับแรงดันระหว่างสายกับสายนิวทรัลของแหล่งจ่าย และจะได้ค่าตัวประกอบกำลัง (Power factor) ของรูปคลื่นความถี่หลักมูล คือ

$$\cos \phi = \cos \alpha
 \tag{4.8}$$

จากสมการที่ (4.8) เเทอมของ  $\cos \phi$  เรียกว่าตัวประกอบการกระจัด (Displacement factor) มุม  $\alpha$  จะเลื่อนรูปคลื่นกระแสและส่วนที่เป็นความถี่หลักมูลไปเป็นมุม  $\phi = \alpha$  ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และเมื่อมุม  $\alpha = 0^\circ$  (ทำการพิจารณาที่เฟส  $\alpha$ ) ส่วนประกอบของกระแสที่ความถี่หลักมูล ( $i_{a1}$ ) จะมีเฟสตรงกันกับเฟสของแรงดัน ( $e_a$ ) ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าจริง ( $P_a = E_a I_{a1} \cos \phi$ ) จะมีค่าเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บวกและค่ากำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ ( $Q_a = E_a I_{a1} \sin \phi$ ) มีค่าเท่ากับศูนย์, เมื่อมุม  $\alpha$  เพิ่มขึ้นจากมุม  $0^\circ$  ถึงมุม  $90^\circ$   $P_a$  จะมีค่าลดลงและ  $Q_a$  จะมีค่าเพิ่มขึ้น, ที่มุม  $\alpha = 90^\circ$   $P_a$  จะมีค่าเท่ากับศูนย์และ  $Q_a$  จะมีค่าสูงสุด, เมื่อมุม  $\alpha$  เพิ่มขึ้นจากมุม  $90^\circ$  ถึงมุม  $180^\circ$   $P_a$  จะมีค่าเป็นลบและสำหรับขนาด จะมีค่าเพิ่มขึ้น  $Q_a$  จะยังคงมีค่าเป็นบวกและสำหรับขนาดจะมีค่าลดลง และที่มุม  $\alpha = 180^\circ$   $P_a$  จะมีค่าเป็นลบสูงสุดและ  $Q_a$  จะมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือคอนเวอร์เตอร์สามารถที่จะกระทำตัวเป็นได้ทั้งเครื่องเรียงกระแส (Rectifier) หรืออินเวอร์เตอร์ (Inverter) ดังแสดงในรูปที่ 4.8



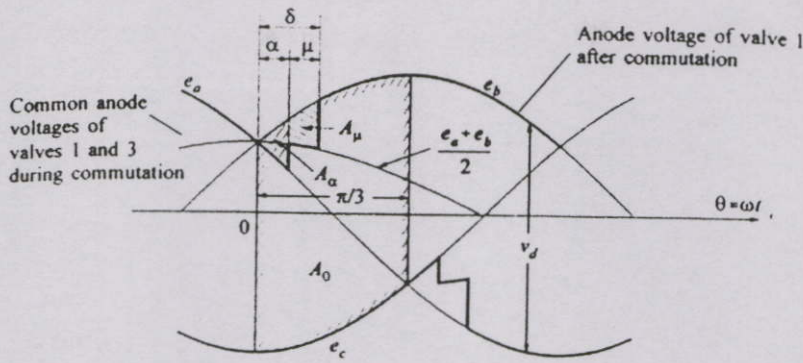
รูปที่ 4.8 เวกเตอร์กำลังไฟฟ้าของคอนเวอร์เตอร์

#### 4.2.1.2 การวิเคราะห์โดยการพิจารณาค่าความเหนี่ยวนำของแหล่งจ่าย

จากรูปที่ 4.3 เมื่อทำการพิจารณาค่าความเหนี่ยวนำของแหล่งจ่าย ( $L_c$ ) การเปลี่ยนแปลงการนำกระแสจากเฟสหนึ่งไปยังเฟสอื่นๆในช่วงเวลาที่จำกัด เรียกว่าช่วงเวลาของการสับเปลี่ยน (Commutation time) หรือช่วงเวลาของการเหลื่อม (Overlap time) ซึ่งจะทำให้เกิดมุมสับเปลี่ยนหรือมุมเหลื่อม ( $\mu$ ) โดยในสถานะการทำงานปกติ มุม  $\mu$  มีค่าน้อยกว่า  $60^\circ$  นั่นคือจะอยู่ในช่วง  $0^\circ < \mu < 60^\circ$  ซึ่งในช่วงของการสับเปลี่ยนจะมีเพียงไทรสเตอร์สองตัวเท่านั้นที่นำกระแส และถ้าอยู่ในช่วง  $60^\circ < \mu < 120^\circ$  จะเรียกว่าเป็นสถานะการทำงานที่ไม่ปกติซึ่งในช่วงของการสับเปลี่ยนจะมีไทรสเตอร์สามตัวหรือสี่ตัวที่นำกระแส [11]

รูปลักษณะของกระแสจะขึ้นอยู่กับการควบคุมมุม  $\alpha$  ดังนั้นมุม  $\mu$  จะขึ้นอยู่กัค่าของ  $E_m$ ,  $I_a$ ,  $L_c$  และ  $\alpha$  โดยที่การสับเปลี่ยนจะเริ่มขึ้นเมื่อ  $\omega t = \alpha$  และจะหยุดลงเมื่อ  $\omega t = \alpha + \mu = \delta$  เมื่อ  $\delta$  คือมุมดับ (Extinction angle) จะได้ค่าของกระแสสับเปลี่ยน (Commutation currents) คือ

$$I_{S2} = \frac{\sqrt{3}E_m}{2\omega L_c} \quad (4.9)$$



รูปที่ 4.9 รูปคลื่นของแรงดันที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดมุมเหลื่อม ( $\mu$ ) ในระหว่างช่วงของการสับเปลี่ยนจากไทรสเตอร์ตัวที่ 1 ไปยังไทรสเตอร์ตัวที่ 3

จากรูปที่ 4.9 ผลของการควบคุมมุม  $\alpha$  จะทำให้พื้นที่  $A_0$  ของแรงดันมีค่าลดลงเท่ากับพื้นที่  $A_\alpha$  ลบออกจากพื้นที่  $A_0$  และผลของการเกิดมุม  $\mu$  จะทำให้พื้นที่  $A_0$  ของแรงดันมีค่าลดลงเท่ากับ  $A_0 - A_\alpha - A_\mu$  ในทุกๆ  $60^\circ$  ( $\pi/3$  rad.) [5] และจะได้

$$A_\mu = \int_{\alpha}^{\delta} \left( e_b - \frac{e_a + e_b}{2} \right) d\theta$$

$$= \frac{\sqrt{3}E_m}{2} (\cos \alpha - \cos \delta)$$
(4.10)

จะได้ค่าเฉลี่ยของแรงดันตก (Voltage drop) ที่เกิดจากมุม  $\mu$  คือ

$$\Delta V_d = \frac{A_\mu}{\pi/3}$$

$$= \frac{V_{d0}}{2} (\cos \alpha - \cos \delta)$$
(4.11)

และจะได้ค่าของกระแสไฟตรง คือ

$$I_d = \frac{\sqrt{3}E_m}{2\omega L_c} (\cos \alpha - \cos \delta)$$

$$= I_{S2} (\cos \alpha - \cos \delta)$$
(4.12)

จากการที่พิจารณา  $\alpha$  และมุม  $\mu$  จะได้ว่าค่าของแรงดันไฟตรง คือ

$$\begin{aligned}
 V_d &= V_{d0} \cos \alpha - \Delta V_d \\
 &= V_{d0} \cos \alpha - R_c I_d
 \end{aligned}
 \tag{4.13}$$

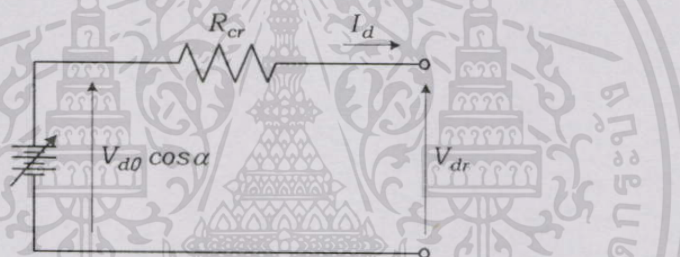
เมื่อ

$$R_c = \frac{3}{\pi} \omega L_c = \frac{3}{\pi} x_c = 6 f L_c
 \tag{4.14}$$

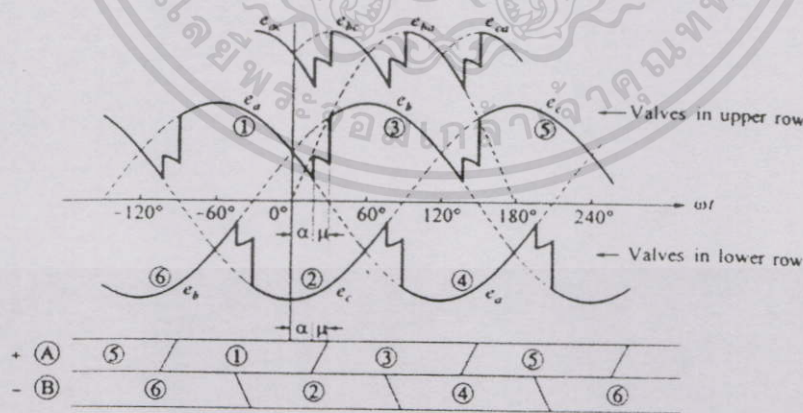
โดยที่  $R_c$  เรียกว่าค่าความต้านทานสมมูลย์ในการสับเปลี่ยน (Equivalent commutating resistance) ซึ่งจะไม่มีการดูดซับพลังงาน (Consumes no power)

#### 4.2.1.3 การทำงานของคอนเวอร์เตอร์ในสถานะของเครื่องเรียงกระแส

วงจรสมมูลย์ของเครื่องเรียงกระแสแบบบริดจ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 4.10 โดยที่แรงดันและกระแสไฟตรงในวงจรสมมูลย์จะเป็นค่าเฉลี่ย และสำหรับรูปคลื่นในโหมดการทำงานนี้แสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 วงจรสมมูลย์ของเครื่องเรียงกระแสแบบบริดจ์



รูปที่ 4.11 รูปคลื่นของแรงดันและคาบเวลาของการทำงานในโหมดของเครื่องเรียงกระแส

แทนค่า  $\Delta V_d$  จากสมการ (4.11) ลงในสมการ (4.13) จะได้สมการของแรงดันไฟตรงของเครื่องเรียงกระแส คือ

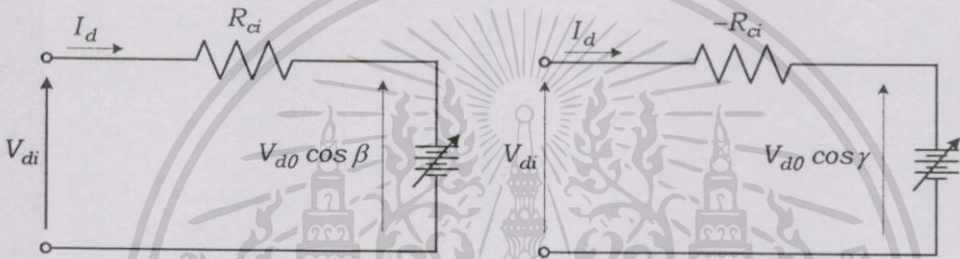
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_d = V_{d0} \cos \alpha - \frac{V_{d0}}{2} (\cos \alpha - \cos \delta)$$

$$= \frac{V_{d0}}{2} (\cos \alpha + \cos \delta)$$
(4.15)

4.2.1.4 การทำงานของคอนเวอร์เตอร์ในสถานะของอินเวอร์เตอร์

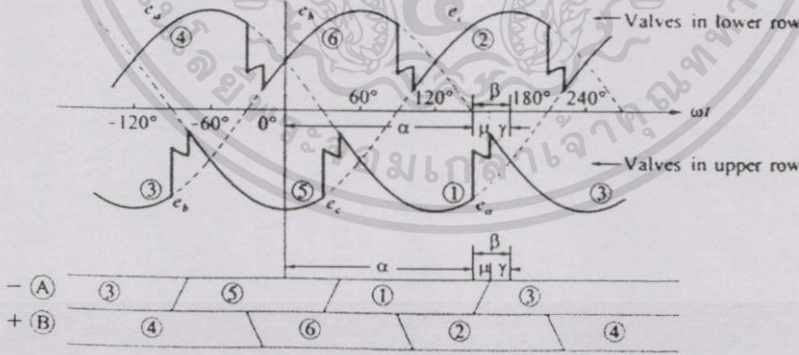
วงจรสมมูลย์ของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 4.12 สำหรับมุม  $\alpha$  และมุม  $\delta$  ในโหมดการทำงานของเครื่องเรียงกระแสเมื่อนำมาพิจารณาในโหมดการทำงานของอินเวอร์เตอร์จะใช้เป็นมุม  $\beta$  (Ignition advance angle) และมุม  $\gamma$  (Extinction advance angle) โดยที่  $\beta = \pi - \alpha$ ,  $\gamma = \pi - \delta$  และ  $\mu = \delta - \alpha = \beta - \gamma$  สำหรับรูปคลื่นโหมคนี้แสดงในรูปที่ 4.13



(ก) ในเทอมของ  $\beta$

(ข) ในเทอมของ  $\gamma$

รูปที่ 4.12 วงจรสมมูลย์ของอินเวอร์เตอร์ (เมื่อ  $V_{di}$  มีค่าเป็นบวก)



รูปที่ 4.13 รูปคลื่นของแรงดันและคาบเวลาของการทำงานในโหมคของอินเวอร์เตอร์

จากการที่ค่าของ  $\cos \alpha = -\cos \beta$  และ  $\cos \delta = -\cos \gamma$  สมการที่ (4.12) และ (4.15) สามารถที่จะเขียนให้อยู่ในเทอมของมุม  $\gamma$  และมุม  $\beta$  คือ

$$I_d = I_{S2} (\cos \gamma - \cos \beta)$$
(4.16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_d = V_{d0} \frac{\cos \gamma + \cos \beta}{2} \quad (4.17)$$

หรือจะได้สมการ

$$V_d = V_{d0} \cos \beta + R_c I_d \quad (4.18)$$

$$V_d = V_{d0} \cos \gamma - R_c I_d \quad (4.19)$$

#### 4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เป็นเอซิกกับปริมาณที่เป็นดีซี

ในการพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เป็นเอซิกกับปริมาณที่เป็นดีซี สามารถแบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 ส่วนดังนี้คือ ความสัมพันธ์ที่เป็นค่าโดยตรง ความสัมพันธ์ที่เป็นค่าโดยประมาณ และความสัมพันธ์ของคอนเวอร์เตอร์ที่เป็นแบบหลายบริดจ์

##### 4.2.2.1 ความสัมพันธ์ที่เป็นค่าโดยตรง

จาก [11] จะได้สมการของกระแสเอซิกที่ความถี่หลักมูล ( $\bar{I}_1$ ) ซึ่งเป็นค่า RMS ในรูปแบบเชิงซ้อน (Complex RMS value) คือ

$$\bar{I}_1 = \left( \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d \right) \cdot \left( \frac{e^{-j2\alpha} - e^{-j2\delta} - j2\mu}{4(\cos \alpha + \cos \delta)} \right) \quad (4.20)$$

และจะได้สมการเชิงซ้อนของกำลังไฟฟ้าคือ

$$P + jQ = \sqrt{3} E_{LL} \bar{I}_1^* = 3 E_{LN} \bar{I}_1^* \quad (4.21)$$

เมื่อกำหนดให้

$$\bar{I}_{L1} = \bar{I}_1^* = \left( \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d \right) \cdot \left( \frac{e^{j2\alpha} - e^{j2\delta} + j2\mu}{4(\cos \alpha + \cos \delta)} \right) \quad (4.22)$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$\bar{I}_{L1} = I_{L1} \cos \phi + j I_{L1} \sin \phi \quad (4.23)$$

โดยที่

$$I_{L1} = \sqrt{(I_{L1} \cos \phi)^2 + (I_{L1} \sin \phi)^2} \quad (4.24)$$

จากสมการที่ (4.24) จะได้เทอมที่เป็นส่วนของค่าจำนวนจริงและส่วนของค่าจำนวนจินตภาพคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{Ll} \cos \phi = \left( \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d \right) \cdot \left( \frac{\cos \alpha + \cos \delta}{2} \right) \quad (4.25)$$

$$I_{Ll} \sin \phi = \left( \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d \right) \cdot \left( \frac{2\mu + \sin 2\alpha - \sin 2\delta}{4(\cos \alpha + \cos \delta)} \right) \quad (4.26)$$

จากสมการที่ (4.24)-(4.26) เมื่อทำการพิจารณาเฉพาะค่าขนาดของกระแส ( $I_{Ll}$ ) จะได้

$$I_{Ll} = k \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d \quad (4.27)$$

นั่นคือ จาก [14] จะได้

$$k = \frac{\sqrt{[\cos 2\alpha - \cos 2\delta]^2 + [2\mu + \sin 2\alpha - \sin 2\delta]^2}}{4[\cos \alpha + \cos \delta]}$$

เพราะฉะนั้นจะได้ความสัมพันธ์ของมุม  $\phi$  ของระบบเอชกับมุมต่างๆของระบบคิซี คือ

$$\cos \phi = \frac{I}{2k} (\cos \alpha + \cos \delta) \quad (4.28)$$

และจากสมการที่ (4.25) และ (4.26) จะได้

$$\begin{aligned} \tan \phi &= \frac{\sin 2\delta - \sin 2\alpha - 2\mu}{\cos 2\alpha - \cos 2\delta} \\ &= \mu \cdot \csc \mu \cdot \csc(\alpha + \delta) - \cot(\alpha + \delta) \end{aligned} \quad (4.29)$$

จากสมการที่ (4.15) จะได้ค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟตรง คือ

$$\begin{aligned} V_d &= V_{d0} \cos \alpha - \Delta V_d \\ &= V_{d0} \frac{\cos \alpha + \cos \delta}{2} \end{aligned} \quad (4.30)$$

หรือ

$$V_d = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \cdot \frac{\cos \alpha + \cos \delta}{2} E_{LN} \quad (4.31)$$

เมื่อไม่พิจารณาถึงค่าความสูญเสีย จะได้กำลังไฟฟ้าเอชมีค่าเท่ากับค่าของกำลังไฟฟ้าดีซี คือ

$$P_{ac} = P_{dc} \quad (4.32)$$

เมื่อ

$$3E_{LN} I_{LI} \cos \phi = V_d I_d \quad (4.33)$$

และจากสมการที่ (4.31) และ (4.33) จะได้

$$3E_{LN} I_{LI} \cos \phi = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \cdot \frac{\cos \alpha + \cos \delta}{2} E_{LN} I_d \quad (4.34)$$

#### 4.2.2.2 ความสัมพันธ์ที่เป็นค่าโดยประมาณ

จากสมการที่ (4.27) สามารถประมาณค่าของกระแส  $I_{LI}$  คือ

$$I_{LI} \approx \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d = I_{LI0} \quad (4.35)$$

เมื่อ  $k \approx 1$  หรือจาก [14] จะกำหนดให้  $k = 0.995$  และสมการที่ (4.35) จะมีค่าที่ถูกต้องถ้า  $\mu = 0^\circ$  เท่านั้น แต่จะมีค่าคลาดเคลื่อนสูงสุดประมาณ 4.3 % ที่  $\mu = 60^\circ$  และมีค่าคลาดเคลื่อนประมาณ 1.1 % ที่  $\mu \leq 30^\circ$  [11] ดังนั้นค่าตัวประกอบการกระจัดโดยประมาณ คือ

$$\cos \phi \approx \frac{\cos \alpha + \cos \delta}{2} \quad (4.36)$$

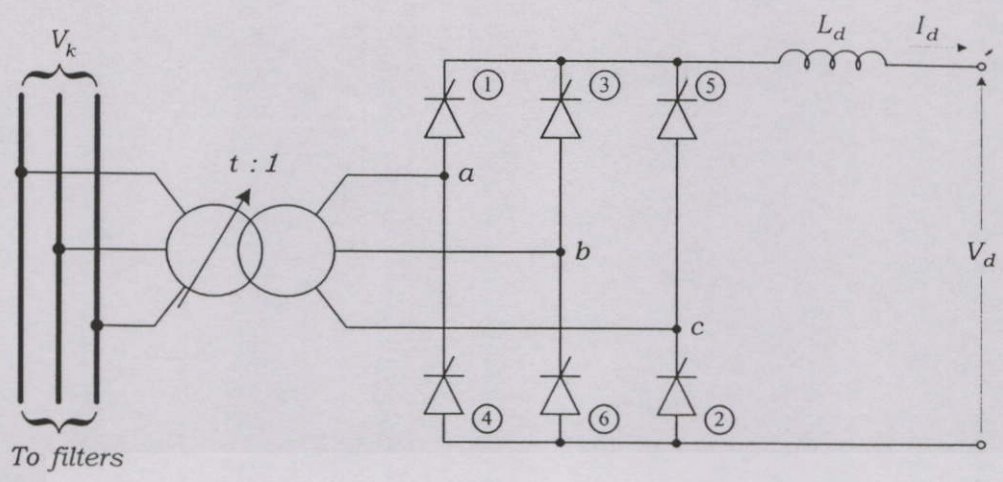
หรือ

$$\cos \phi \approx \frac{V_d}{V_{d0}} = \cos \alpha - \frac{R_c I_d}{V_{d0}} \quad (4.37)$$

เมื่อแทนค่าของสมการที่ (4.36) ในสมการที่ (4.31) จะได้

$$\begin{aligned} V_d &\approx \frac{3\sqrt{6}}{\pi} E_{LN} \cos \phi \\ &\approx \frac{3\sqrt{2}}{\pi} E_{LL} \cos \phi \end{aligned} \quad (4.38)$$

จากรูปที่ 4.2 เมื่อทำการพิจารณาที่หม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์จะพบว่า หม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์สามารถทำการปรับแก้เพื่อควบคุมระดับของแรงดันไฟฟ้าเอช [14] ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 วงจรสมมูลของเครื่องเรียงกระแสแบบสามเฟสบริดจ์ โดยมีการปรับแท็ปของหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 4.16 เมื่อทำการคิดค่าแท็ป ( $t$ ) ของหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ สมการที่ (4.3) และสมการที่ (4.13) จะเปลี่ยนไป คือ

$$V_{d0} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} t \cdot V_k \tag{4.39}$$

และ

$$V_d = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} t \cdot V_k \cos \alpha - \frac{3}{\pi} x_c \cdot I_d \tag{4.40}$$

เมื่อ  $V_k$  คือแรงดันเอชทีที่บัสคอนเวอร์เตอร์ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $E_{LL}$  และจะได้สมการของมุม  $\mu$  คือ

$$\mu = \cos^{-1} \left[ \cos \alpha - \frac{\sqrt{2} \cdot x_c \cdot I_d}{t \cdot V_k} \right] - \alpha \tag{4.41}$$

หรือจาก [15] จะได้

$$\mu = \cos^{-1} \left( G^2 - EG + \sqrt{(EG - G^2)^2 - G^2 - E^2 + F^2 + 2EG} \right) \tag{4.42}$$

โดยที่

$$E = X_c \frac{I_d}{I_{d,rated}} \tag{4.43}$$

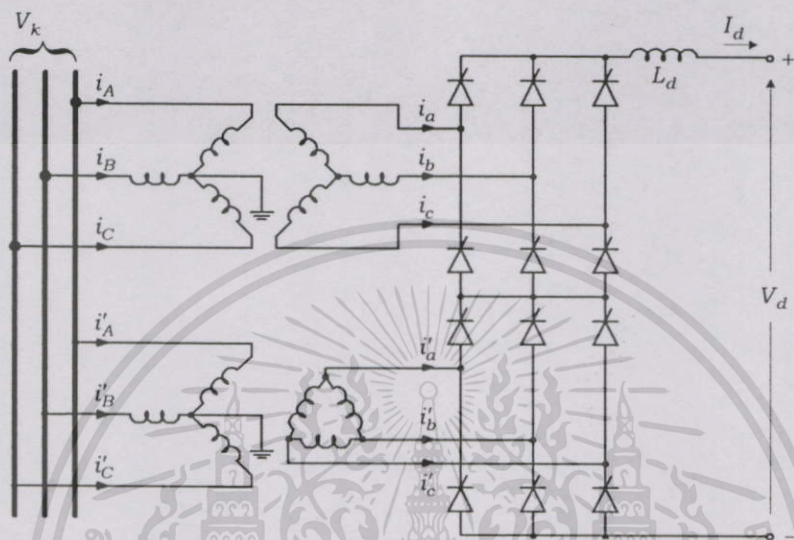
$$F = \sin \alpha \tag{4.44}$$

$$G = \cos \alpha \tag{4.45}$$

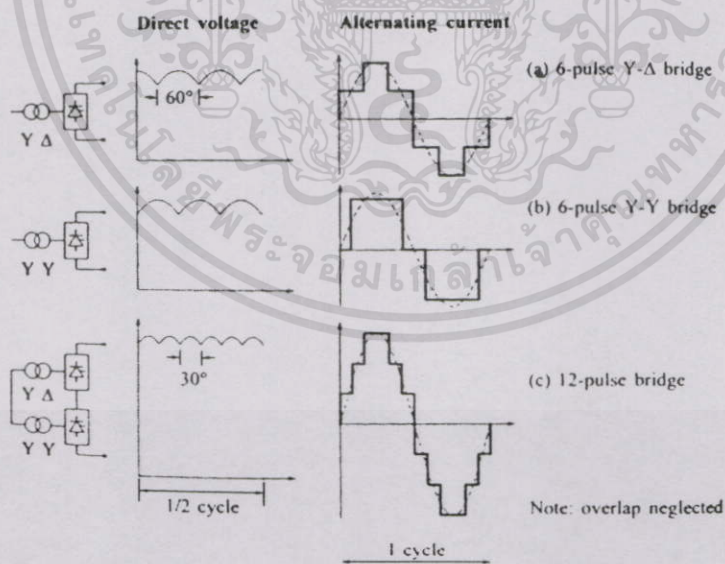
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.3 ความสัมพันธ์ของคอนเวอร์เตอร์ที่เป็นแบบหลายบริดจ์

จากรูปที่ 4.14 เมื่อต้องการระดับของแรงดันไฟตรงที่สูงขึ้น บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ของระบบ HVDC สามารถนำมาต่ออนุกรมกันในด้านที่เป็นคิซี และนำหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์มาต่อขนานกันในด้านที่เป็นเอซี [5] โดยอัตราส่วนของหม้อแปลงสามารถที่จะปรับได้ในสภาวะมีโหลด ซึ่งระบบ HVDC แบบบริดจ์ 12-พัลส์ แสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 คอนเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ 12-พัลส์



รูปที่ 4.16 รูปคลื่นของแรงดันไฟตรงและกระแสไฟสลับ

จากรูปที่ 4.15 สำหรับหม้อแปลงที่นำมาต่อขนานกัน ชุดแรกจะเป็นหม้อแปลงที่ต่อขดลวดแบบ Y-Y และหม้อแปลงอีกชุดจะต่อขดลวดแบบ Y-Δ โดยรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าและกระแส

ไฟฟ้าที่แสดงในรูปที่ 4.16 ซึ่งรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าเอชไอจะใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์มากขึ้นและสามารถที่จะกำจัดฮาร์โมนิกในอันดับที่ 5 และ 7 ในด้านเอชไอออกไปได้ ทำให้สามารถที่จะลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งวงจรกรองฮาร์โมนิก และสำหรับคอนเวอร์เตอร์ที่มากกว่าสองบริดจ์โดยเพิ่มจำนวนพัลส์มากขึ้น เช่น มีจำนวนพัลส์เท่ากับ 18-พัลส์ จะมีคอนเวอร์เตอร์สามบริดจ์ หรือ มีจำนวนพัลส์เท่ากับ 24-พัลส์ จะมีคอนเวอร์เตอร์สี่บริดจ์ ซึ่งจะ ได้สมการที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เป็นเอชไอกับปริมาณที่เป็นดีซี คือ

$$V_{d0} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} n_b \cdot t \cdot V_k \quad (4.46)$$

โดยที่  $n_b$  คือจำนวนบริดจ์ของคอนเวอร์เตอร์ที่ต่ออนุกรมกัน และจะ ได้สมการของ  $V_d$  คือ

$$V_d = V_{d0} \cos \alpha - n_b \cdot \frac{3}{\pi} x_c \cdot I_d \quad (4.47)$$

หรือจะได้

$$V_d = V_{d0} \cos \gamma - n_b \cdot \frac{3}{\pi} x_c \cdot I_d \quad (4.48)$$

เมื่อ  $x_c$  คือค่ารีแอคแตนซ์ในการสับเปลี่ยน (Commutation reactance) ของบริดจ์แบบ 6-พัลส์ โดยจะเป็นค่ารีแอคแตนซ์ระหว่างจุด  $V_k$  กับบริดจ์ และสมการที่ (4.35) จะเปลี่ยนไป คือ

$$I_{L1} \approx \frac{\sqrt{6}}{\pi} n_b \cdot t \cdot I_d \quad (4.49)$$

### 4.3 แบบจำลองของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

แบบจำลองของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงในสถานะอยู่ตัวและสภาวะการทำงานปกติที่แสดงในรูปที่ 4.17 จะกำหนดให้

1. แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสต้องสมดุลย์ (Balanced phase) และเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ซอซด์ (Sinusoidal)
2. การทำงานของคอนเวอร์เตอร์ต้องกำเนิดแรงดันที่สมดุลย์
3. กระแสและแรงดันไฟตรงต้องเรียบ (Smooth)
4. หม้อแปลงของคอนเวอร์เตอร์ไม่มีการสูญเสียและไม่คิดแอดมิตแตนซ์ทำแม่เหล็ก (Magnetizing admittance)

ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆในรูปที่ 4.17 สามารถทำให้อยู่ในรูปของสมการเพื่อใช้ในการคำนวณ [5,14] ได้ดังนี้คือ

$$V_{dr} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} t_r V_{kr} \cos \alpha - \frac{3}{\pi} X_{cr} I_d \quad (4.50)$$

$$V_{di} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} t_i V_{ki} \cos \gamma - \frac{3}{\pi} X_{ci} I_d \quad (4.51)$$

$$I_d = \frac{V_{dr} - V_{di}}{R_d} \quad (4.52)$$

$$\mu_r = \cos^{-1} \left[ \cos \alpha - \frac{\sqrt{2} X_{cr} I_d}{t_r V_{kr}} \right] - \alpha \quad (4.53)$$

$$\mu_i = \cos^{-1} \left[ \cos \gamma - \frac{\sqrt{2} X_{ci} I_d}{t_i V_{ki}} \right] - \gamma \quad (4.54)$$

$$\theta_r = \cos^{-1} \left( 0.5 \left[ \cos \alpha + \cos (\alpha + \mu_r) \right] \right) \quad (4.55)$$

$$\theta_i = \cos^{-1} \left( 0.5 \left[ \cos \gamma + \cos (\gamma + \mu_i) \right] \right) \quad (4.56)$$

$$P_{dr} = V_{dr} I_d \quad (4.57)$$

$$P_{di} = V_{di} I_d \quad (4.58)$$

$$Q_{dr} = P_{dr} \tan \theta_r \quad (4.59)$$

$$Q_{di} = P_{di} \tan \theta_i \quad (4.60)$$

โดยที่

$V_d$  คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

$I_d$  คือ กระแสไฟตรง

$\alpha$  คือ Ignition delay angle

$t$  คือ ค่าเท็ปของหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์

$X_c$  คือ Commutation reactance

$\gamma$  คือ Extinction advance angle

$\mu$  คือ Overlap angle

$\theta$  คือ ค่ามุมระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้าของความถี่หลักมูล

$R_d$  คือ D.C. link resistance

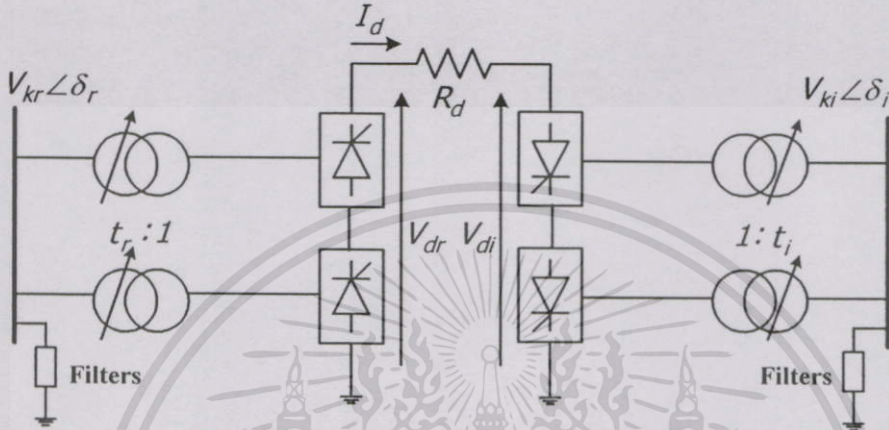
$P_{dr}$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงด้านเครื่องเรียงกระแส

$P_{di}$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงด้านอินเวอร์เตอร์

$Q_{dr}$  คือ กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟด้านเรกติไฟเออร์

$Q_{di}$  คือ กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟด้านอินเวอร์เตอร์

เมื่ออักษรกำกับล่าง  $r$  และ  $i$  แทนการทำงานใน โหมดเรกติไฟเออร์และอินเวอร์เตอร์ตามลำดับ



รูปที่ 4.17 แบบจำลองของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

#### 4.4 แบบจำลองของระบบเอช-ดีซี

ในการศึกษาแบบจำลองของระบบเอช-ดีซี จะแบ่งหัวข้อในการศึกษาออกเป็นสองส่วน โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ

##### 4.4.1 การแปลงค่าต่อหน่วยของระบบเอช-ดีซี

ในการทำออปติมัลเพาเวอร์ฟลิว์ของระบบเอช-ดีซี ต้องทำการแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับและระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงให้เป็นค่าเปอร์ยูนิต โดยใช้ความสัมพันธ์ของค่าฐาน (Base value) ดังนี้คือ

$$P_{dcbase} = MVA_{base} = \sqrt{3} V_{acbase} I_{acbase} \quad (4.61)$$

$$V_{dcbase} = K_b V_{acbase} \quad (4.62)$$

$$I_{dcbase} = \frac{\sqrt{3}}{K_b} I_{acbase} \quad (4.63)$$

$$Z_{dcbase} = K_b^2 Z_{acbase} \quad (4.64)$$

และ

$$K_b = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} n_b \quad (4.65)$$

โดยที่  $n_b$  คือจำนวนบริดจ์ที่ต่ออนุกรมกันของคอนเวอร์เตอร์

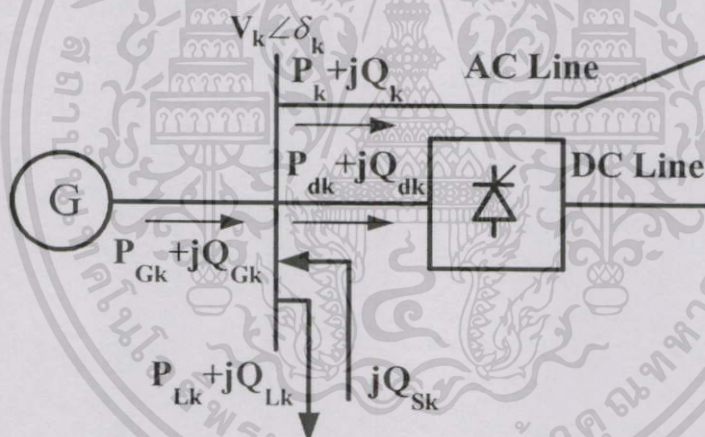
#### 4.4.2 แบบจำลองของระบบเอช-ดีซี

แบบจำลองของระบบเอช-ดีซี [16] ในรูปที่ 4.18 สามารถกำหนดสมการกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟารีแอกทีฟสมมูลที่บัส  $k$  ใดๆ ได้ดังนี้คือ

$$P_{Gk} = P_{Lk} + P_{dk} + P_k \quad (4.66)$$

$$Q_{Gk} + Q_{Sk} = Q_{Lk} + Q_{dk} + Q_k \quad (4.67)$$

เมื่ออักษรกำกับต่าง  $G$  และ  $S$  แทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแหล่งจ่ายกำลังไฟฟารีแอกทีฟตามลำดับ



รูปที่ 4.18 แบบจำลองของระบบเอช-ดีซี

#### 4.5 ชนิดของบัสในระบบเอช-ดีซี

ชนิดของบัสและรายละเอียดของข้อมูลที่แต่ละชนิดของบัสในการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบเอช-ดีซี ในวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้มีรายละเอียดของข้อมูลที่แต่ละชนิดของบัสซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์ในระบบเอชและในระบบดีซี โดยในระบบเอชมีพารามิเตอร์ 5 ตัว คือขนาดของแรงดันไฟฟ้า ( $|V_k|$ ), มุมของแรงดันไฟฟ้า ( $\angle \delta_k$ ), กำลังไฟฟ้าจริงจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ( $P_{Gk}$ ), กำลังไฟฟารีแอกทีฟจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ( $Q_{Gk}$ ) และกำลังไฟฟารีแอกทีฟจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟารีแอกทีฟ ( $Q_{Sk}$ ) และในระบบดีซีมีพารามิเตอร์ 7 ตัว คือ  $V_{dr}, V_{di}, I_d, \alpha, \gamma, \mu_r$  และ

$\mu_i$  ชนิดของบัสแบ่งออกเป็น 4 ชนิดดังนี้คือ 1. แสลคบัสหรือบัสอ้างอิง (Slack bus or reference bus) 2. บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือบัสแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Generator bus or Reactive power source bus) 3. โหลดบัส (Load bus) 4. HVDC บัส (HVDC bus) โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ

ชนิดของบัสที่ 1-3 มีรายละเอียดของข้อมูลที่แต่ละชนิดของบัสเป็นพารามิเตอร์ในระบบเอชไอและมีการละเอียดของบัสเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3.3 (ชนิดของบัสในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ)

ชนิดของบัสที่ 4 HVDC บัส (HVDC bus) มีรายละเอียดของข้อมูลบัสเป็นพารามิเตอร์ในระบบดีซีและมีการละเอียดของบัสคือ เป็นบัสที่มีคอนเวอร์เตอร์ของระบบ HVDC ต่ออยู่ โดยด้านของเครื่องเรียงกระแส (Rectifier) มีพารามิเตอร์ที่ต้องการหาจากการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ของระบบเอชไอ-ดีซี คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าเอชไอด้านเครื่องเรียงกระแส, มุมของแรงดันไฟฟ้าเอชไอด้านเครื่องเรียงกระแส,  $V_{dr}, I_d, \alpha, \mu_r$  และด้านของอินเวอร์เตอร์ (Inverter) มีพารามิเตอร์ที่ต้องการหาจากการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ของระบบเอชไอ-ดีซี คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าเอชไอด้านอินเวอร์เตอร์, มุมของแรงดันไฟฟ้าเอชไอด้านอินเวอร์เตอร์,  $V_{di}, I_d, \gamma$  และ  $\mu_i$

#### 4.6 วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ของระบบเอชไอ-ดีซี

วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ของระบบเอชไอ-ดีซี [16-17] เป็นวิธีการที่หาค่ากำลังผลิตที่จ่ายมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านระบบสายส่งไฟฟ้ากระแสสลับที่มีการเชื่อมต่อด้วยระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเพื่อป้อนให้กับโหลดในระบบ โดยมีเป้าหมายให้ต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุด ซึ่งมีฟังก์ชันเป้าหมายเป็นฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อน และมีหน่วยเป็นหน่วยราคาต่อชั่วโมง (R/hr) ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นตามสมการ (3.25)

ในส่วนของเงื่อนไขบังคับจะเป็นสมการกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสมมูลย์ที่บัส  $k$  ใดๆในระบบ สมการต่างๆของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง จัดจำกัดกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง จัดจำกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบสายส่งไฟฟ้าในระบบเอชไอ-ดีซีและค่าขีดจำกัดของตัวแปรต่างๆในระบบ ได้ดังนี้คือ

$$P_k - P_{Gk} + P_{Lk} + P_{dk} = 0 \quad (4.68)$$

$$Q_k - Q_{Gk} - Q_{Sk} + Q_{Lk} + Q_{dk} = 0 \quad (4.69)$$

$$V_{dr} - \left( \frac{3\sqrt{2}}{\pi} I_r V_{kr} \cos \alpha - \frac{3}{\pi} X_{cr} I_d \right) = 0 \quad (4.70)$$

$$V_{di} - \left( \frac{3\sqrt{2}}{\pi} I_i V_{ki} \cos \gamma - \frac{3}{\pi} X_{ci} I_d \right) = 0 \quad (4.71)$$

$$I_d - \left( \frac{V_{dr} - V_{di}}{R_d} \right) = 0 \quad (4.72)$$

$$\mu_r - (\cos^{-1} \left[ \cos \alpha - \frac{\sqrt{2} X_{cr} I_d}{t_r V_{kr}} \right] - \alpha) = 0 \quad (4.73)$$

$$\mu_i - (\cos^{-1} \left[ \cos \gamma - \frac{\sqrt{2} X_{ci} I_d}{t_i V_{ki}} \right] - \gamma) = 0 \quad (4.74)$$

$$P_{dk} \leq P_{dk,max} \quad (4.75)$$

$$S_{kn} \leq S_{kn,max}$$

$$t_{min} \leq t \leq t_{max} \quad (4.76)$$

$$V_{d,min} \leq V_d \leq V_{d,max} \quad (4.77)$$

$$I_{d,min} \leq I_d \leq I_{d,max} \quad (4.78)$$

$$\alpha_{min} \leq \alpha \leq \alpha_{max} \quad (4.79)$$

$$\gamma_{min} \leq \gamma \leq \gamma_{max} \quad (4.80)$$

$$\mu_{min} \leq \mu \leq \mu_{max} \quad (4.81)$$

$$P_{Gk,min} \leq P_{Gk} \leq P_{Gk,max}$$

$$Q_{Gk,min} \leq Q_{Gk} \leq Q_{Gk,max}$$

$$Q_{Sk,min} \leq Q_{Sk} \leq Q_{Sk,max}$$

$$V_{k,min} \leq V_k \leq V_{k,max}$$

$$a_{kn,min} \leq a_{kn} \leq a_{kn,max}$$

เมื่ออักษรกำกับค่า  $k$  และ  $n$  แทนบัสที่  $k$  และ  $n$  ตามลำดับ ในขณะที่อักษรกำกับค่า  $min$  และ  $max$  แทนขีดจำกัดต่ำสุดและสูงสุดตามลำดับ

ในกรณีที่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ทางด้านเครื่องเรียงกระแสหรือทางด้านอินเวอร์เตอร์ จะมีการเพิ่มเงื่อนไขบังคับตามสมการ (4.82) หรือ (4.83) ตามลำดับ ดังนี้คือ

$$P_{dr} - V_{dr} I_d = 0 \quad (4.82)$$

$$P_{di} - V_{di} I_d = 0 \quad (4.83)$$

#### 4.6.1 การสิ้นสุดกระบวนการของการแก้ปัญหาการทำออปติ้มัลเพาเวอร์โพล์ของระบบ เอช-ดีซี

การสิ้นสุดกระบวนการของการแก้ปัญหาการทำออปติ้มัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซี จะใช้เงื่อนไขเช่นเดียวกันกับการสิ้นสุดกระบวนการของวิธีซีเวนเซิลควอดราติกโปรแกรมมิ่งในหัวข้อที่ 2.5

#### 4.6.2 การแก้ปัญหาการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์วของระบบเบซี-ดีซี

ในการแก้ปัญหาการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์วของระบบเบซี-ดีซี โดยใช้วิธีซีแควนเชียล

ควอคราติกโปรแกรมมีรูปแบบดังนี้คือ

Minimize

$$\sum_{k=1} a_k + b_k P_{Gk} + c_k P_{Gk}^2$$

Subject to

$$P_k - P_{Gk} + P_{Lk} + P_{dk} = 0$$

$$Q_k - Q_{Gk} - Q_{Sk} + Q_{Lk} + Q_{dk} = 0$$

$$V_{dr} - \left( \frac{3\sqrt{2}}{\pi} t_r V_{kr} \cos \alpha - \frac{3}{\pi} X_{cr} I_d \right) = 0$$

$$V_{di} - \left( \frac{3\sqrt{2}}{\pi} t_i V_{ki} \cos \gamma - \frac{3}{\pi} X_{ci} I_d \right) = 0$$

$$I_d - \left( \frac{V_{dr} - V_{di}}{R_d} \right) = 0$$

$$\mu_r - \left( \cos^{-1} \left[ \cos \alpha - \frac{\sqrt{2} X_{cr} I_d}{t_r V_{kr}} \right] - \alpha \right) = 0$$

$$\mu_i - \left( \cos^{-1} \left[ \cos \gamma - \frac{\sqrt{2} X_{ci} I_d}{t_i V_{ki}} \right] - \gamma \right) = 0$$

$$P_{dk} \leq P_{dk,max}$$

$$S_{kn} \leq S_{kn,max}$$

$$t_{min} \leq t \leq t_{max}$$

$$V_{d,min} \leq V_d \leq V_{d,max}$$

$$I_{d,min} \leq I_d \leq I_{d,max}$$

$$\alpha_{min} \leq \alpha \leq \alpha_{max}$$

$$\gamma_{min} \leq \gamma \leq \gamma_{max}$$

$$\mu_{min} \leq \mu \leq \mu_{max}$$

$$P_{Gk,min} \leq P_{Gk} \leq P_{Gk,max}$$

$$Q_{Gk,min} \leq Q_{Gk} \leq Q_{Gk,max}$$

$$Q_{Sk,min} \leq Q_{Sk} \leq Q_{Sk,max}$$

$$V_{k,min} \leq V_k \leq V_{k,max}$$

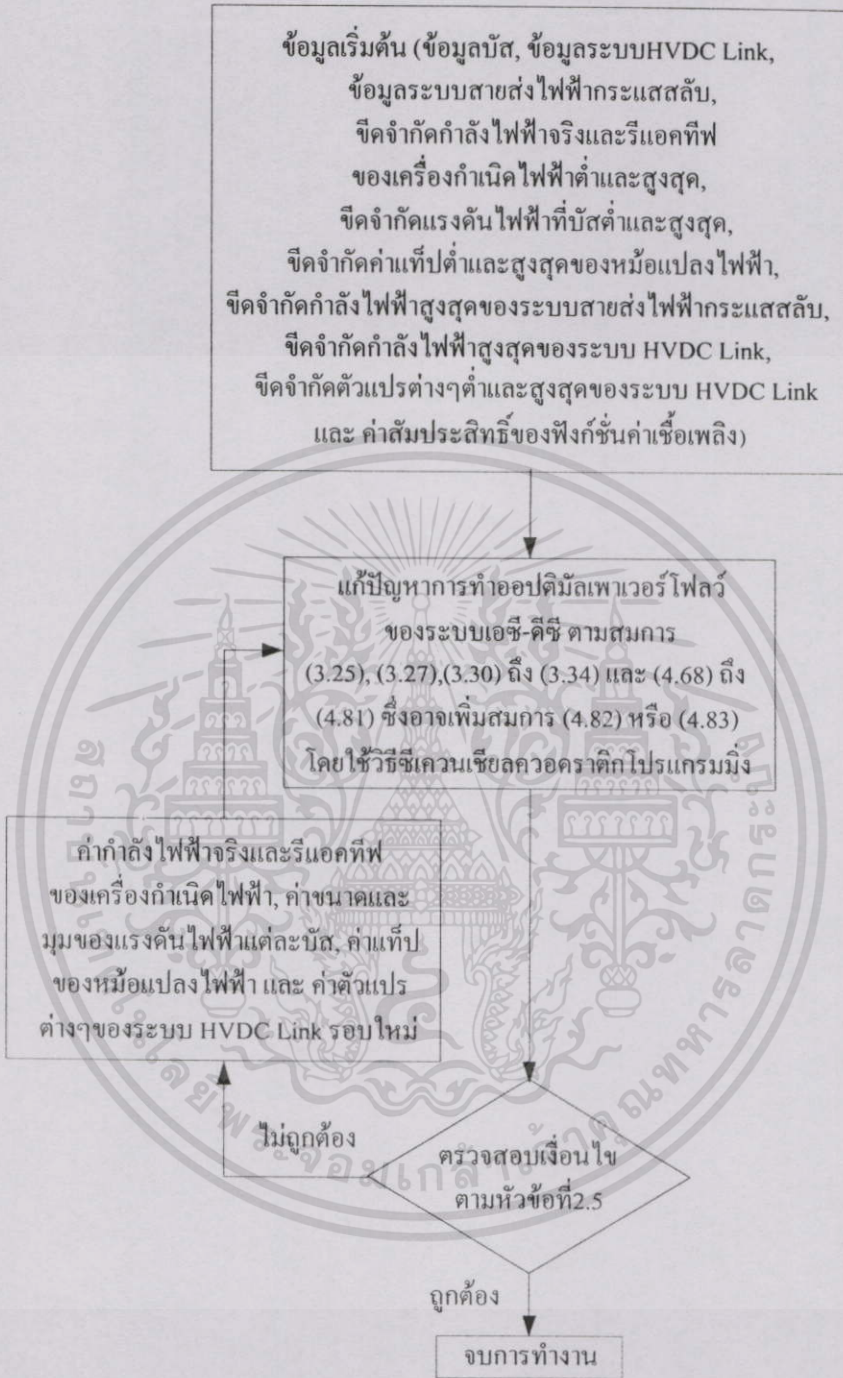
$$a_{kn,min} \leq a_{kn} \leq a_{kn,max}$$

$$(P_{dr} - V_{dr} I_d = 0 \text{ or } P_{di} - V_{di} I_d = 0)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการแก้ปัญหาการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซีมีลำดับขั้นตอนดังนี้คือ



รูปที่ 4.19 ขั้นตอนการคำนวณของการแก้ปัญหาการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซี

#### 4.7 สรุป

ในการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซี จะต้องทำการศึกษาทฤษฎีของระบบเอช-ดีซี ซึ่งแบ่งหัวข้อในการศึกษาออกเป็น 2 หัวข้อคือ 1. วงจรของคอนเวอร์เตอร์และสมการคูณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะ 2. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เป็นเอชกับปริมาณที่เป็นดีซี จากนั้นศึกษาแบบจำลองของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงและแบบจำลองของระบบเอช-ดีซี ซึ่งทำให้ได้สมการเพื่อใช้ในการคำนวณระบบเอช-ดีซี แล้วใช้วิธีซีเวนเซิลควอดราติกโปรแกรมมิ่ง เป็นวิธีในการแก้ปัญหาในการทำออปติไมซ์เพาเวอร์ฟลิวส์ของระบบเอช-ดีซี โดยทำการวิเคราะห์ระบบเอช-ดีซีที่มีการเชื่อมต่อกับระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงระหว่าง 2 ชนิดบัสใดๆในระบบ



# หลักการและวิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์ฟลิว์โดยรวมผลของ โหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล

## 5.1 บทนำ

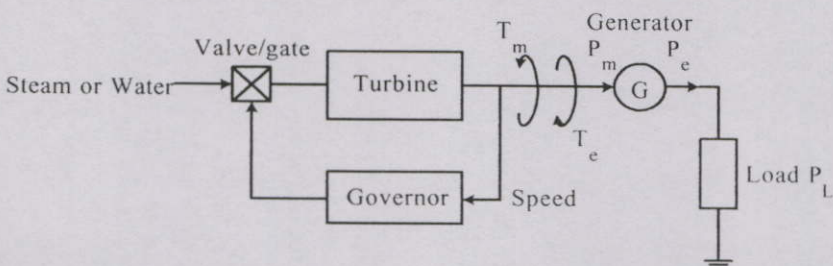
การทำออปติมัลเพาเวอร์ฟลิว์โดยรวมผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล จะใช้แบบจำลองในสถานะอยู่ตัวและโหลดสมมูล [5,7] โดยเป็นการคิดผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงในระบบต่อค่าความถี่ไฟฟ้าของระบบซึ่งส่งผลต่อค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า คือเมื่อค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงในระบบโดยรวมมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง จะส่งผลให้ค่าความถี่ไฟฟ้าของระบบมีการเปลี่ยนแปลงลดลงหรือเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความถี่ไฟฟ้าในส่วนที่เปลี่ยนแปลงนี้จะส่งผลต่อค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงในระบบตามแบบจำลองของโหลด และขีดจำกัดการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดและต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่แต่ละบัสจะมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่แต่ละบัสก่อนที่ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงในระบบโดยรวมจะมีการเปลี่ยนแปลง ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่แต่ละบัสในระบบและเวลาที่กำหนดระหว่างเมื่อมีและไม่มี การเปลี่ยนแปลงค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงในระบบโดยรวม

## 5.2 การศึกษาโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล

โหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล เป็นการศึกษาแบบจำลองการควบคุมค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์กับการควบคุมค่าความถี่ไฟฟ้า ซึ่งแบ่งหัวข้อในการศึกษาออกได้เป็น 3 หัวข้อคือ 1. หลักการของตัวควบคุมความเร็ว 2. การควบคุมค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3. การวิเคราะห์โหลดฟรีแควนซ์คอนโทรลในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ

### 5.2.1 หลักการของตัวควบคุมความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ข้อกำหนดพื้นฐานของตัวควบคุมความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 5.1

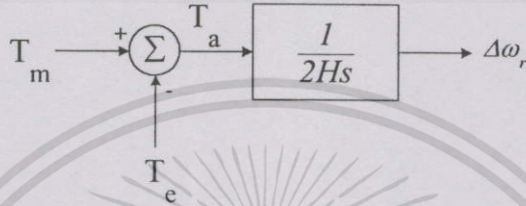


รูปที่ 5.1 แบบจำลองของตัวควบคุมความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เมื่อ  $T_m$  คือแรงบิดทางกล  $P_m$  คือกำลังทางกล  $T_e$  คือแรงบิดทางไฟฟ้า  $P_e$  คือกำลังไฟฟ้าจริง และ  $P_L$  คือโหลด (ความต้องการกำลังไฟฟ้าจริง)

### 5.2.1.1 ผลตอบสนองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลด

เมื่อโหลดในระบบมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงแรงบิดทางไฟฟ้า  $T_e$  ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งค่าที่แตกต่างระหว่างแรงบิดทางกล  $T_m$  และแรงบิดทางไฟฟ้า  $T_e$  จะทำให้เกิดความเบี่ยงเบนของความเร็ว (Speed deviation) [5] ดังแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเบี่ยงเบนของความเร็วและแรงบิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เมื่อ  $s$  คือตัวดำเนินการลาปลาซ  $T_m$  คือแรงบิดทางกล (p.u.)  $T_e$  คือแรงบิดทางไฟฟ้า (p.u.)  $T_a$  คือแรงบิดเร่ง (p.u.)  $H$  คือค่าคงที่ของความเฉื่อย (MW-Sec/MVA) และ  $\Delta\omega_r$  คือความเบี่ยงเบนของความเร็วโรเตอร์ (p.u.)

ในการศึกษาโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล การแสดงความสัมพันธ์ในการหาความเบี่ยงเบนของความเร็วโรเตอร์จะใช้กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังทางกลแทนการใช้ค่าแรงบิด โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลัง  $P$  และแรงบิด  $T$  เป็นดังนี้คือ

$$P = \omega_r T \quad (5.1)$$

ในการพิจารณาค่าความเบี่ยงเบนจากค่าเริ่มต้น จะใช้สัญลักษณ์  $\Delta$  แทนค่าความเบี่ยงเบนและตัวอักษรกำกับล่าง  $o$  แทนค่าเริ่มต้น เป็นดังนี้คือ

$$\begin{aligned} P &= P_o + \Delta P \\ T &= T_o + \Delta T \\ \omega_r &= \omega_o + \Delta\omega_r \end{aligned} \quad (5.2)$$

แทนค่าสมการ (5.2) ลงในสมการ (5.1) จะได้

$$P_o + \Delta P = (\omega_o + \Delta\omega_r)(T_o + \Delta T) \quad (5.3)$$

จากสมการ (5.3) สะพจน์ที่มีอันดับสูง จะได้

$$\Delta P = \omega_o \Delta T + T_o \Delta \omega_r \quad (5.4)$$

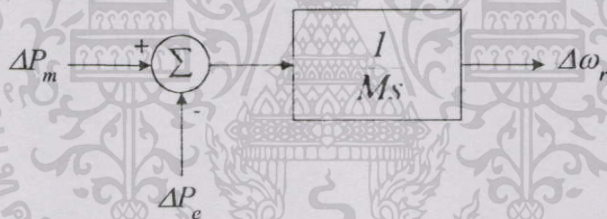
เพราะฉะนั้น

$$\Delta P_m - \Delta P_e = \omega_o (\Delta T_m - \Delta T_e) + (T_{mo} - T_{eo}) \Delta \omega_r \quad (5.5)$$

ในสถานะอยู่ตัว แรงบิดทางไฟฟ้าและทางกลมีค่าเท่ากันคือ  $T_{mo} = T_{eo}$  และค่าความเร็ว ( $\omega_o = 1$ ) อยู่ในรูปของค่าต่อหน่วย (p.u.) ดังนั้นสมการ (5.5) จะเป็นดังนี้คือ

$$\Delta P_m - \Delta P_e = \Delta T_m - \Delta T_e \quad (5.6)$$

จากสมการ (5.6) แทนพจน์  $\Delta P_m$  และ  $\Delta P_e$  ลงในรูปที่ 5.2 และให้  $M = 2H$  ผลลัพธ์จะเป็น  
 ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเปลี่ยนแปลงของความเร็วกับกำลังทางไฟฟ้าและทางกล

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความเร็วนี้ กำลังทางกลของกังหันจะเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งวาล์วหรือเกทและไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ [5]

### 5.2.1.2 ผลตอบสนองของโหลดต่อความเปลี่ยนแปลงของความถี่ไฟฟ้า

โดยทั่วไปโหลดในระบบไฟฟ้ากำลังจะประกอบด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ สำหรับโหลดความต้านทานอย่างเช่นหลอดแสงสว่างจะไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ แต่ในกรณีของโหลดมอเตอร์อย่างเช่นพัดลม ค่าของกำลังไฟฟ้าจริงจะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความเร็วมอเตอร์ ในวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้โหลดในระบบทุกบัสมีผลของความถี่ และเป็นตามสมการ [5,7] ดังนี้คือ

$$\Delta P_e = \Delta P_L + D \Delta \omega_r \quad (5.7)$$

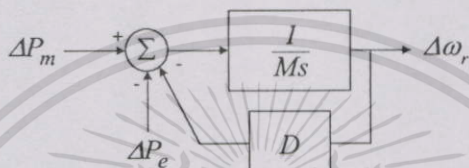
โดยที่

$\Delta P_L$  คือ การเปลี่ยนแปลงของ โหลดที่ไม่ขึ้นอยู่กับความถี่

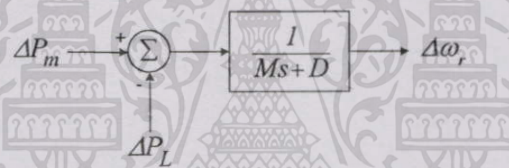
$D\Delta\omega_r$  คือ การเปลี่ยนแปลงของ โหลดที่ขึ้นอยู่กับความถี่

$D$  คือ ค่าคงที่การหน่วงของ โหลด (Load-damping constant)

ค่าคงที่การหน่วงของ โหลดจะแทนเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ โหลดต่อการเปลี่ยนแปลงของความถี่หนึ่งเปอร์เซ็นต์ เช่น  $D=2$  หมายถึงความถี่เปลี่ยนแปลงหนึ่งเปอร์เซ็นต์ จากการที่ โหลดเปลี่ยนแปลงสองเปอร์เซ็นต์ และจากรูปที่ 5.3 ทำการเพิ่มผลของการหน่วงของ โหลดจะเป็นดังรูปที่ 5.4 และเมื่อทำการลดพอร์มจะเป็นดังรูปที่ 5.5



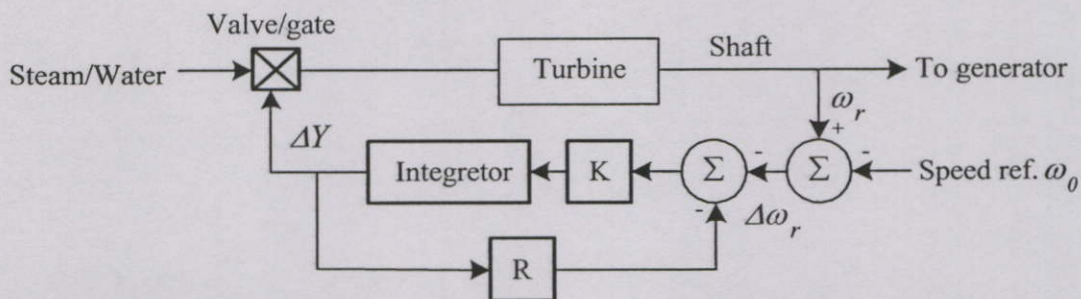
รูปที่ 5.4 ความเบี่ยงเบนของความเร็วโรเตอร์ที่สัมพันธ์กับผลของการหน่วงของ โหลด



รูปที่ 5.5 ความเบี่ยงเบนของความเร็วโรเตอร์ที่สัมพันธ์กับผลของการหน่วงของ โหลดเมื่อทำการลดพอร์ม

### 5.2.1.3 คุณลักษณะตัวควบคุมความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างๆในระบบ

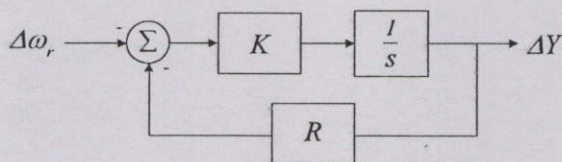
จากหัวข้อที่ผ่านมาเป็นแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องเดียวง่ายให้กับโหลดแต่เมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบมากกว่า 2 เครื่องขึ้นไป จะต้องใช้แบบจำลองของตัวควบคุมความเร็วที่เพิ่มคุณลักษณะ speed-droop (Governors with speed-droop characteristic) ดังรูปที่ 5.6 ซึ่งเป็นคุณลักษณะตัวควบคุมแบบ proportional ด้วยอัตราขยาย 1/R



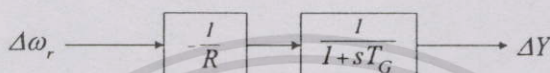
รูปที่ 5.6 ตัวควบคุมความเร็วที่เพิ่มคุณลักษณะของ speed-droop

ฟังก์ชันส่งผ่านของตัวควบคุมความเร็วในรูปที่ 5.6 เมื่อทำการลดพอร์มจะเป็นดังรูปที่ 5.7

โดยที่  $T_G = 1 / KR$



(a) Block diagram with steady-state feedback



(b) Reduced block diagram

รูปที่ 5.7 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมความเร็วที่เพิ่มคุณลักษณะของ speed-droop

ในการหาค่า  $R$  (Speed regulation หรือ droop) จะกำหนดจากคุณลักษณะของความเร็วในสถานะอยู่ตัวกับโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 5.8 อัตราส่วนของความเบี่ยงเบนความเร็ว ( $\Delta\omega_r$ ) หรือความเบี่ยงเบนของความถี่ ( $\Delta f$ ) กับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของวาล์ว/เกท ( $\Delta Y$ ) หรือกำลังเอาต์พุต ( $\Delta P$ ) มีค่าเท่ากับ  $R$  ( $R = \Delta f / \Delta P$  และ  $\Delta f = f - f_0$ ) สามารถแทนให้อยู่ในรูปของค่าเปอร์เซ็นต์ได้ดังนี้คือ

$$\text{Percent } R = \frac{\text{percent speed or frequency change}}{\text{percent power output change}} \times 100$$

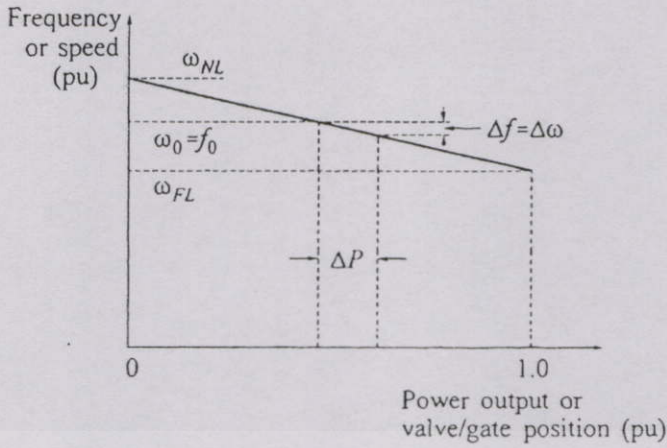
$$= \left( \frac{\omega_{NL} - \omega_{FL}}{\omega_0} \right) \times 100 \quad (5.8)$$

โดยที่

- $\omega_{NL}$  คือ ความเร็วในสถานะอยู่ตัวเมื่อไม่มีโหลด
- $\omega_{FL}$  คือ ความเร็วในสถานะอยู่ตัวเมื่อค่าโหลดเต็มพิกัด
- $\omega_0$  คือ ค่าความเร็วที่พิกัด

เมื่อค่า  $R = 5\%$  หมายถึง ความเบี่ยงเบนของความถี่มีค่า 5% จากการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งวาล์วหรือกำลังเอาต์พุตที่ 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 คุณลักษณะทางอุดมคติของตัวควบคุมความเร็วที่เพิ่มคุณลักษณะของ speed-droop ในสถานะอยู่ตัว

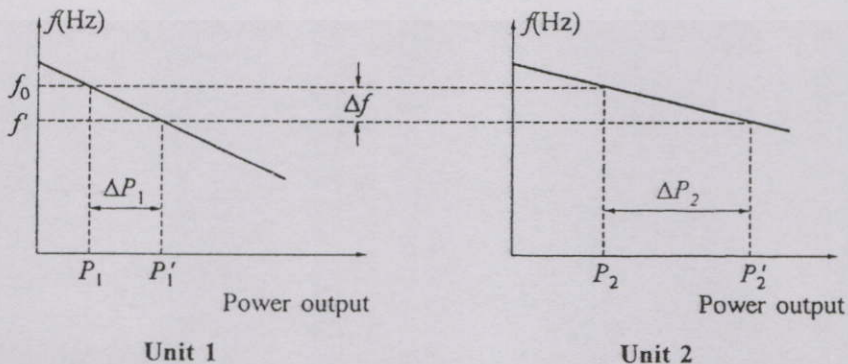
เมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบมากกว่า 2 เครื่องขึ้นไป ความเบี่ยงเบนของความถี่ของแต่ละเครื่องจะมีค่าเท่ากันจากการแบ่งผลของการเปลี่ยนแปลงของโหลด พิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 เครื่องดังแสดงในรูปที่ 5.9 ที่ค่าความถี่เริ่มต้น  $f_0$  ด้วยกำลังเอาต์พุต  $P_1$  และ  $P_2$  เมื่อโหลดเพิ่มขึ้น  $\Delta P_L$  จะส่งผลให้ตัวควบคุมความเร็วปรับเพิ่มค่ากำลังเอาต์พุตจนถึงค่าความถี่ใหม่ของระบบ  $f'$  กำลังเอาต์พุตของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเป็นตามคุณลักษณะดังนี้คือ

$$\Delta P_1 = P'_1 - P_1 = \frac{\Delta P_L}{R_1} \tag{5.9}$$

$$\Delta P_2 = P'_2 - P_2 = \frac{\Delta P_L}{R_2}$$

เพราะฉะนั้นจะได้

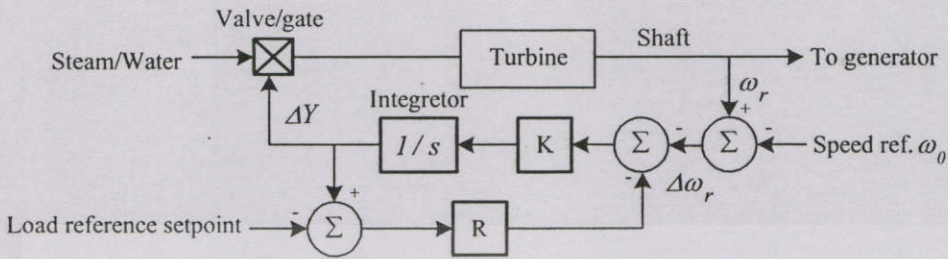
$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \frac{R_2}{R_1} \tag{5.10}$$



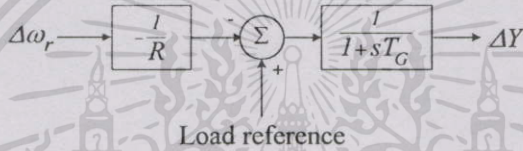
รูปที่ 5.9 การแบ่งผลของการเปลี่ยนแปลงของโหลดโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อร่วมกันในระบบ

## 5.2.2 การควบคุมค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและโหลดสามารถปรับ โดยการเปลี่ยนค่าอินพุตคือค่าโหลดอ้างอิง (Load reference setpoint) ที่แสดงในรูปที่ 5.10



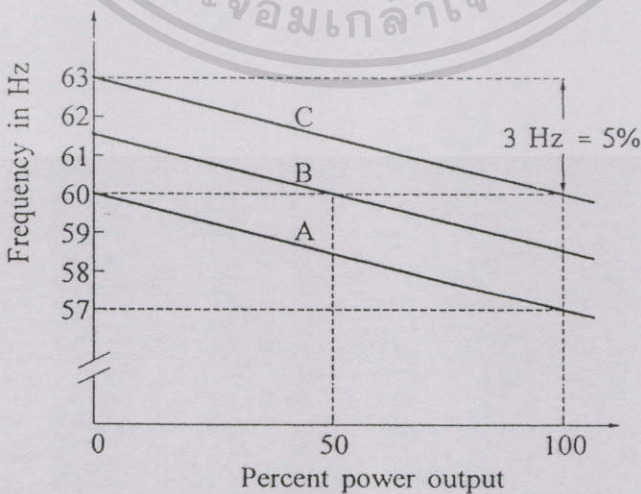
(a) Schematic diagram of governor and turbine



(b) Reduced block diagram of governor

รูปที่ 5.10 ตัวควบคุมความเร็วด้วยการควบคุมค่าโหลดอ้างอิงสำหรับการปรับความสัมพันธ์ของความเร็วและโหลด

ในทางปฏิบัติ การปรับค่าโหลดอ้างอิงจะกระทำโดยการใช้มอเตอร์ปรับความเร็ว (Speed-changer motor) ซึ่งผลของค่าการปรับค่าโหลดอ้างอิงแสดงให้เห็นในรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 คุณลักษณะของตัวควบคุมความเร็วจากผลของการปรับค่าโหลดอ้างอิง

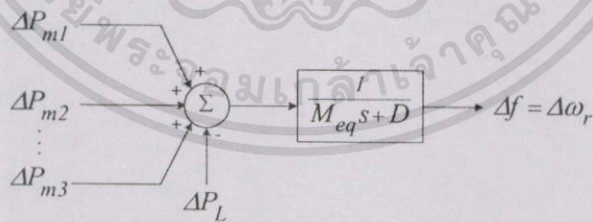
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.11 แสดงถึงคุณลักษณะของการปรับค่าความเร็วที่แตกต่างกันของมอเตอร์ปรับความเร็วที่ความถี่ของระบบเท่ากับ 60 Hz เป็นสามคุณลักษณะซึ่งแทนสามค่าโหลดอ้างอิง โดยคุณลักษณะ A เป็นผลลัพธ์การปรับที่ 0% เฮิร์ตซ์พูท คุณลักษณะ B เป็นผลลัพธ์การปรับที่ 50% เฮิร์ตซ์พูท และคุณลักษณะ C เป็นผลลัพธ์การปรับที่ 100% เฮิร์ตซ์พูท ดังนั้นค่ากำลังเอาต์พุทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ความเร็วหนึ่งสามารถปรับเป็นค่าต่างๆที่ต้องการได้ โดยการปรับค่าโหลดอ้างอิงจากการใช้มอเตอร์ปรับความเร็ว

เมื่อโหลดในระบบมีการเปลี่ยนแปลง ตัวควบคุมความเร็วจะทำการปรับตามคุณลักษณะของ speed-droop ซึ่งอ้างเป็นการควบคุมขั้นต้น (Primary control) จากนั้นจะทำการปรับให้เข้าใกล้ค่าความถี่ปกติของระบบ โดยการปรับค่าโหลดอ้างอิงซึ่งอ้างเป็น supplementary control [5,7]

### 5.2.3 การวิเคราะห์โหลดฟรีควินซีคอนโทรลในระบบไฟฟ้ากำลัง

ในการวิเคราะห์โหลดฟรีควินซีคอนโทรลในระบบไฟฟ้ากำลัง [5] จะพิจารณาสมรรถนะโดยรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบและจะไม่พิจารณาการแกว่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและพฤติกรรมของระบบสายส่งไฟฟ้า โดยกำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องมีผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดในระบบและแทนเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสมมูลของระบบ ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสมมูลของระบบมีค่าคงที่ของความเฉื่อย  $M_{eq}$  เท่ากับผลรวมของค่าคงที่ความเฉื่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องและจับโดยกำลังเอาต์พุททางกลของแต่ละกังหันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 5.12 และผลของโหลดในระบบจะแทนเป็นค่าคงที่การหน่วงของโหลดค่าเดียว ซึ่งเป็นค่าของระบบ ความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสมมูลของระบบแทนเป็นความถี่ของระบบซึ่งมีค่าเท่ากันเมื่ออยู่ในรูปของค่าต่อหน่วย (p.u.)



รูปที่ 5.12 ระบบสมมูลในการวิเคราะห์โหลดฟรีควินซีคอนโทรล

คุณลักษณะของกำลังไฟฟ้าและความถี่ไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากำลังขึ้นอยู่กับผลของการเปลี่ยนแปลงความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องและคุณลักษณะความถี่ของโหลดในระบบ สำหรับระบบที่มีจำนวน  $n$  เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและมีค่าคงที่การหน่วงของโหลด ( $D$ ) ค่าความเบี่ยงเบนของความถี่ในสถานะอยู่ตัวตามการเปลี่ยนแปลงของโหลดในระบบโดยรวม ( $\Delta P_L$ ) จะเป็นดังนี้คือ

$$\Delta f_{ss} = \frac{-\Delta P_L}{\left(1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n\right) + D}$$

$$= \frac{-\Delta P_L}{1/R_{eq} + D}$$
(5.11)

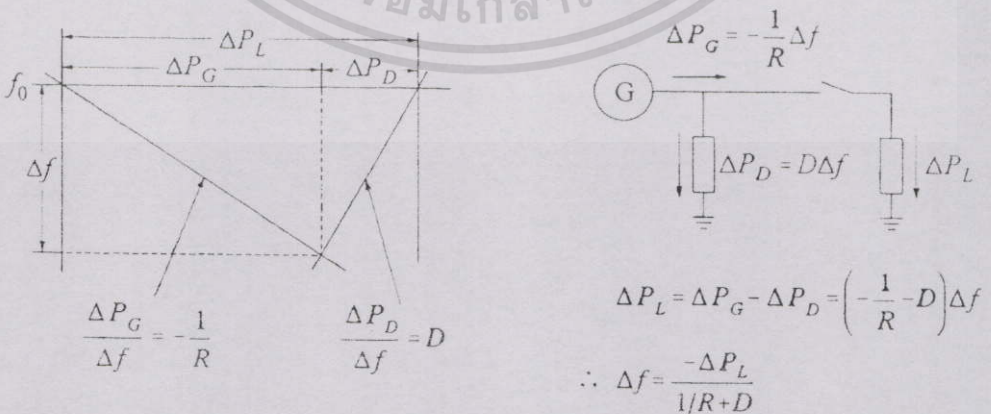
โดยที่

$$R_{eq} = \frac{1}{1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n}$$
(5.12)

ดังนั้นคุณลักษณะผลตอบสนองความถี่ของระบบคือ

$$\beta = \frac{-\Delta P_L}{\Delta f_{ss}} = \frac{1}{R_{eq}} + D$$
(5.13)

คุณลักษณะผลตอบสนองความถี่ของระบบ  $\beta$  โดยปกติจะมีหน่วยเป็น  $MW/Hz$  และในบางครั้งอาจเป็น Stiffness ของระบบ ผลของตัวควบคุมความเร็วและผลตอบสนองความถี่ของโหลดต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบแสดงในรูปที่ 5.13 ซึ่งพิจารณาเป็นผลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องและโหลดในระบบ โดยเมื่อโหลดในระบบโดยรวมเพิ่มขึ้น ( $\Delta P_L$ ) ที่ความถี่ปกติของระบบเป็นผลลัพธ์ของผลรวมการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่อง ( $\Delta P_G$ ) จากการทำงานของตัวควบคุมความเร็วและผลรวมการลดลงของโหลดในระบบ ( $\Delta P_D$ ) จากคุณลักษณะผลตอบสนองความถี่ของโหลด



รูปที่ 5.13 คุณลักษณะของตัวควบคุมความเร็วและโหลด

### 5.3 วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์โดยรวมผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล

ในการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์โดยรวมผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล เป็นการจัดสรรกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสภาวะที่โหลดในระบบมีการเปลี่ยนแปลงในสถานะอยู่ตัว (เพิ่มขึ้นหรือลดลง) โดยนำผลลัพธ์ของการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อโหลดในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง เป็นค่าเริ่มต้นเพื่อใช้ในการกำหนดขีดจำกัดสูงสุดและต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีค่าความสามารถในการเพิ่มหรือลดกำลังการผลิตต่อนาทีที่ไม่สามารถเพิ่มหรือลดกำลังการผลิตแบบทันทีทันใดได้ โดยจะมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [5,7] เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันน้ำตามเขื่อนต่างๆ จะมีจะมีค่าความสามารถในการเพิ่มหรือลดกำลังการผลิตต่อนาทีเท่ากับ 100% ของค่าขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และในวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อน ซึ่งมีค่าความสามารถในการเพิ่มหรือลดกำลังการผลิตต่อนาทีเท่ากับ 2% ของค่าขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และกำหนดให้เวลาระหว่างเมื่อมีและไม่มีการเปลี่ยนแปลงของโหลดในระบบเท่ากับ 5 นาที ดังนั้นจะเป็นตามสมการดังนี้

$$P_{Gk,min(LFC)} = P_{Gk,opt} - (P_{Gk,max} \times 0.02 \times 5) \quad (5.14)$$

$$P_{Gk,max(LFC)} = P_{Gk,opt} + (P_{Gk,max} \times 0.02 \times 5) \quad (5.15)$$

โดยที่

$P_{Gk,min(LFC)}$  คือ ขีดจำกัดกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตต่ำสุดที่บัส  $k$  ใดๆในระบบเมื่อรวมผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล

$P_{Gk,max(LFC)}$  คือ ขีดจำกัดกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตสูงสุดที่บัส  $k$  ใดๆในระบบเมื่อรวมผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล

$P_{Gk,opt}$  คือ ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงที่เหมาะสมที่สุดที่บัส  $k$  ใดๆในระบบเมื่อไม่รวมผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล

ในการหาค่าความถี่ของระบบเมื่อโหลดในระบบมีการเปลี่ยนแปลง จะเป็นตามสมการคือ

$$f_{LFC} = f_0 + \Delta f_{ss} \quad (5.16)$$

จากนั้นหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระบบที่มีผลของความถี่ โดยใช้ค่าความถี่ใหม่จากระบบที่ได้จากสมการ (5.16) เพื่อใช้ในการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์

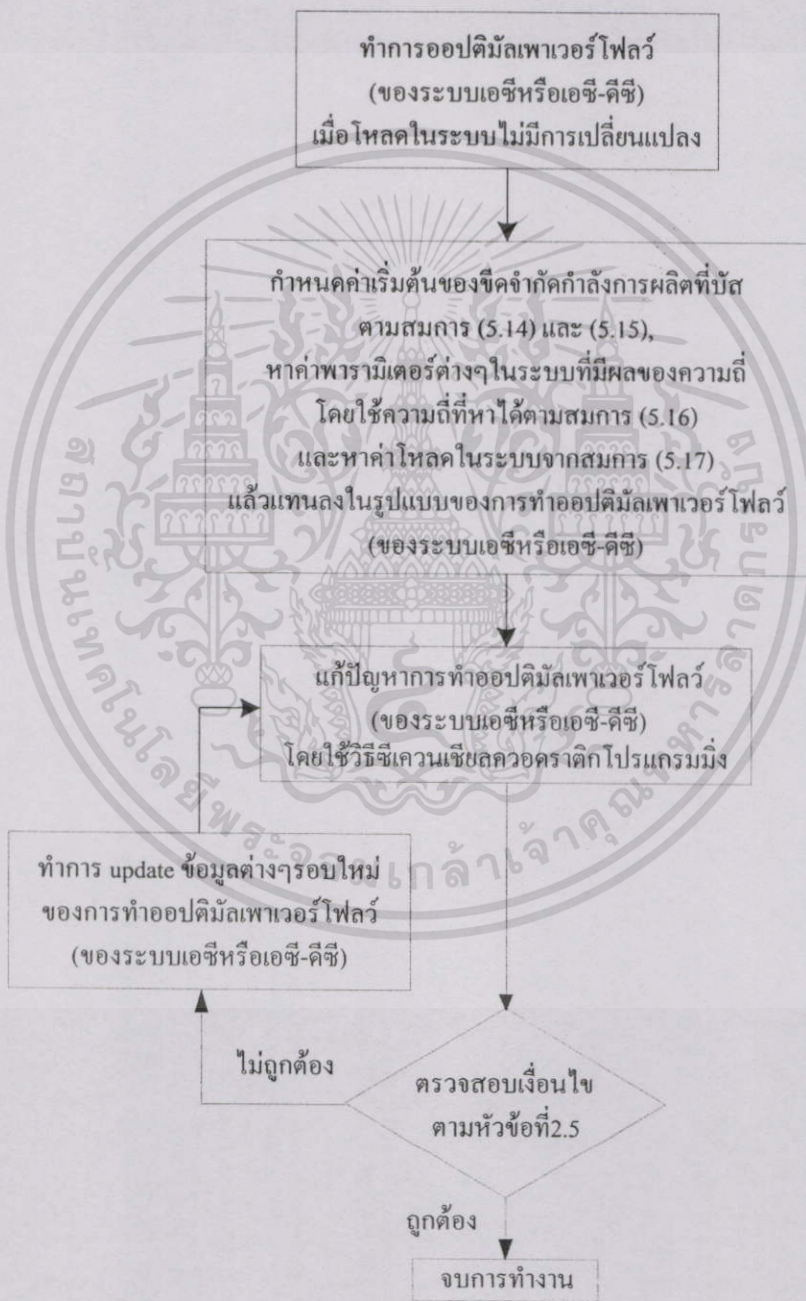
ในส่วนของค่าโหลดในระบบที่บัส  $k$  ใดๆในระบบเมื่อรวมผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล จะเป็นตามสมการดังนี้คือ

$$P_{Lk,LFC} = P_{Lk} + \Delta P_{Lk} + DAf_{ss} \tag{5.17}$$

โดยที่

- $P_{Lk}$  คือ ค่าโหลดที่บัส  $k$  ใดๆในระบบเมื่อ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
- $\Delta P_{Lk}$  คือ การเปลี่ยนแปลงของโหลดที่บัส  $k$  ใดๆในระบบซึ่งไม่ขึ้นกับความถี่

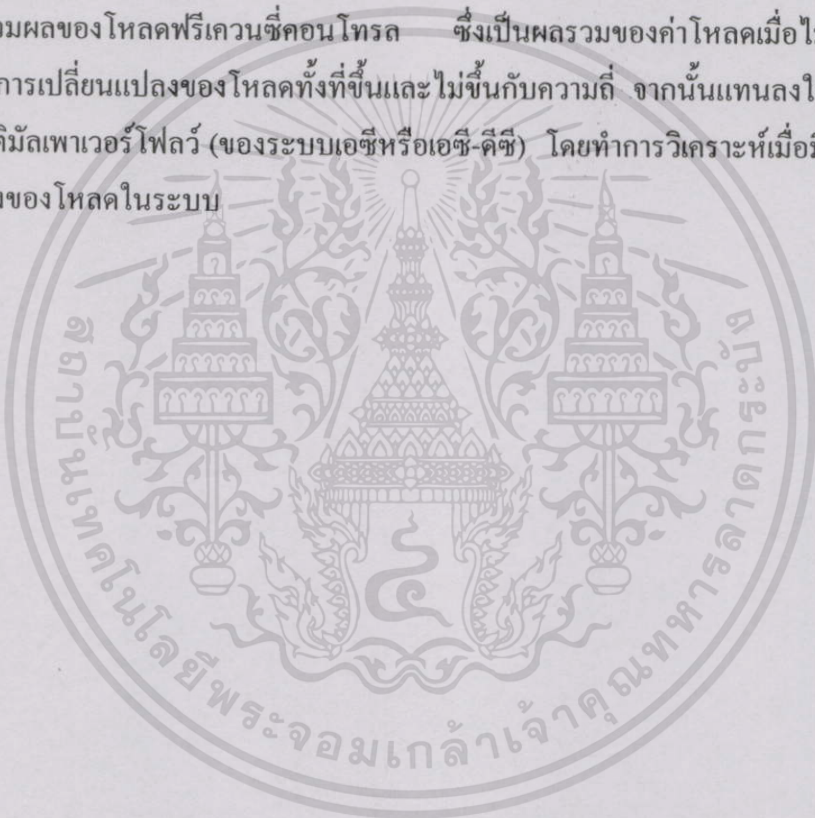
ในการแก้ปัญหาการทำออปติมัลเพาเวอร์ โฟลว์โดยรวมผลของ โหลดฟรีแควนซีคอนโทรล มีลำดับขั้นตอนดังนี้คือ



รูปที่ 5.14 ขั้นตอนการคำนวณของการแก้ปัญหาการทำออปติมัลเพาเวอร์ โฟลว์โดยรวมผลของ โหลดฟรีแควนซีคอนโทรล

## 5.4 สรุป

ในการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลีโคจรรวมผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล จะต้องทำการศึกษาทฤษฎีของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล ซึ่งแบ่งหัวข้อในการศึกษาออกเป็น 3 หัวข้อคือ 1. หลักการของตัวควบคุมความเร็ว 2. การควบคุมค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3. การวิเคราะห์โหลดฟรีแควนซ์คอนโทรลในระบบไฟฟ้ากำลัง จากนั้นทำการกำหนดขีดจำกัดสูงสุดและต่ำสุดของการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส โดยใช้ข้อมูลจากการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลีเมื่อโหลดในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงและข้อมูลชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารวมทั้งการกำหนดเวลา ระหว่างเมื่อมีและไม่มีการเปลี่ยนแปลงของโหลดในระบบ แล้วทำการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระบบที่มีผลของความถี่ โดยใช้ค่าความถี่ใหม่ของระบบที่คำนวณได้ และหาค่าโหลดที่บัสต่างๆในระบบเมื่อรวมผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล ซึ่งเป็นผลรวมของค่าโหลดเมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงกับค่าการเปลี่ยนแปลงของโหลดทั้งที่ขึ้นและไม่ขึ้นกับความถี่ จากนั้นแทนลงในรูปแบบของการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลี (ของระบบเอชหรือเอช-ดีซี) โดยทำการวิเคราะห์เมื่อมีและไม่มีการเปลี่ยนแปลงของโหลดในระบบ



## ระบบไฟฟ้ากำลังที่ทำการศึกษาระบบและการวิเคราะห์

### 6.1 บทนำ

ในการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซี จะทำการวิเคราะห์กับระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส โดยใช้วิธีซีเวนเซิลควอดราติกโปรแกรมมิ่ง ซึ่งระบบที่ทำการวิเคราะห์จะแสดงถึงลักษณะของการเชื่อมต่อด้วยระบบ HVDC ระหว่างบัสชนิดต่างๆ และทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบต่อค่าการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบ พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอชกับระบบเอช-ดีซีเมื่อมีและไม่มีกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC และในการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์โดยรวมผลของโหลดฟรีควอนซ์คอนโทรล จะทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อรวมผลและไม่รวมผลของโหลดฟรีควอนซ์คอนโทรล ทั้งในระบบเอชและเอช-ดีซีที่มีการเชื่อมต่อระบบ HVDC ระหว่าง 2 ชนิดบัสใดๆ และในการนำโปรแกรมต่างๆเหล่านี้ไปใช้ในการวิเคราะห์ระบบทดสอบต่างๆนั้น จะต้องทำการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมต่างๆเหล่านี้ โดยสามารถแบ่งหัวข้อออกเป็น 12 หัวข้อดังนี้คือ 1. การทดสอบ โปรแกรมการหาค่าเหมาะสมที่สุด, 2. การทดสอบ โปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพล์และ โปรแกรมการจ่ายโหลดอย่างประหยัดเทียบกับวารสาร IEE, 3. เหตุผลการเลือกใช้วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในการดำเนินการอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากำลัง, 4. การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ, 5. การทดสอบ โปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซีเทียบกับ โปรแกรมเอช-ดีซีโหลดโพล์, 6. การทดสอบ โปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซีเทียบกับ โปรแกรมการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของระบบเอช-ดีซี, 7. การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในระบบเอช-ดีซีเมื่อทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสกับโหลดบัส, 8. การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในระบบเอช-ดีซีเมื่อทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหลดบัส, 9. การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในระบบเอช-ดีซีเมื่อทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส, 10. การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในระบบเอช-ดีซีโดยรวม, 11. การนำโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพล์ทั้งของระบบเอชและระบบเอช-ดีซีมาใช้ในการวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบ และ 12. สรุป

### 6.2 การทดสอบโปรแกรมการหาค่าเหมาะสมที่สุด

ในการทดสอบโปรแกรมการหาค่าเหมาะสมที่สุดจะใช้วิธีซีเวนเซิลควอดราติกโปรแกรมมิ่งใน โปรแกรม MATLAB Version 5.3.1 โดยทำการทดสอบกับปัญหาทดสอบที่หนึ่ง

[18] และปัญหาทดสอบที่สอง [19] ซึ่งกำหนดค่าที่ยอมรับได้ดังนี้

ค่าที่ยอมรับได้ของตัวแปร	=	0.000001
ค่าที่ยอมรับได้ของฟังก์ชันเป้าหมาย	=	0.000001
ค่าที่ยอมรับได้ของเงื่อนไขบังคับ	=	0.000001
จำนวนรอบในการคำนวณสูงสุด	=	400

### 6.2.1 การทดสอบโปรแกรมการหาค่าเหมาะสมที่สุดเทียบกับปัญหาทดสอบที่หนึ่ง

ปัญหาทดสอบที่หนึ่ง [18] ประกอบด้วย สามตัวแปรออกแบบ, หนึ่งเงื่อนไขบังคับแบบสมการ, สี่เงื่อนไขบังคับแบบอสมการ และสามเงื่อนไขตัวแปร (side constraints) โดยกำหนดค่าเริ่มต้นคือ  $[0.5, 0.5, 0.5]^T$  ดังนี้

Minimize

$$2x_1^2 + 2x_2^2 + x_3^2 + 2x_1x_2 - x_1x_3 - 0.8x_2x_3$$

Subject to

$$x_1 + x_2 + x_3 - 1 = 0$$

$$-1.3x_1 - 1.2x_2 - 1.1x_3 + 1.15 \leq 0$$

$$x_1 - 0.7 \leq 0$$

$$x_2 - 0.7 \leq 0$$

$$x_3 - 0.7 \leq 0$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

ตารางที่ 6.1 ค่าผลการทดสอบเปรียบเทียบกับเอกสารอ้างอิง [18]

	วิธีซีเควนเซียลควอคราติก โปรแกรมมิ่ง	เอกสารอ้างอิง [18]
$F^*$	0.3800	0.3799
$x_1^*$	0.2415	0.2415
$x_2^*$	0.1841	0.1841
$x_3^*$	0.5744	0.5743

จากผลการทดสอบในตารางที่ 6.1 พบว่าค่าที่ได้จากวิธีซีเควนเซียลควอคราติกโปรแกรมมิ่งกับเอกสารอ้างอิง [18] มีค่าใกล้เคียงกันทั้งค่าของฟังก์ชันเป้าหมาย ( $F^*$ ) และค่าของตัวแปรออกแบบ ( $x^*$ )

### 6.2.2 การทดสอบโปรแกรมการหาค่าเหมาะสมที่สุดเทียบกับปัญหาทดสอบที่สอง

ปัญหาทดสอบที่หนึ่ง [19] ประกอบด้วย สามตัวแปรออกแบบ, หกเงื่อนไขบังคับแบบอสมการ และแปดเงื่อนไขตัวแปร (side constraints) โดยกำหนดค่าเริ่มต้นคือ  $[5000, 5000, 5000, 100, 100, 100, 100, 100]^T$  ดังนี้

Minimize

$$x_1 + x_2 + x_3$$

Subject to

$$0.0025(x_4 + x_6) - 1 \leq 0$$

$$0.0025(-x_4 + x_5 + x_7) - 1 \leq 0$$

$$0.01(-x_5 + x_8) - 1 \leq 0$$

$$100x_1 - x_1x_6 + 833.33252x_4 - 83333.333 \leq 0$$

$$x_2x_4 - x_2x_7 - 1250x_4 + 1250x_5 \leq 0$$

$$x_3x_5 - x_3x_8 - 2500x_5 + 1250000 \leq 0$$

$$100 \leq x_1 \leq 10000$$

$$1000 \leq x_2 \leq 10000$$

$$1000 \leq x_3 \leq 10000$$

$$10 \leq x_i \leq 1000, i = 4, 5, \dots, 8$$

ตารางที่ 6.2 ค่าผลการทดสอบเปรียบเทียบกับเอกสารอ้างอิง [19]

	วิธีหาค่าเหมาะที่สุดด้วยโปรแกรมมิ่ง	เอกสารอ้างอิง [19]
$F^*$	7049.2	7049
$x_1^*$	579.2	567
$x_2^*$	1360	1357
$x_3^*$	5110	5125
$x_4^*$	182	181
$x_5^*$	295.6	295
$x_6^*$	218	219
$x_7^*$	286.4	286
$x_8^*$	395.6	395

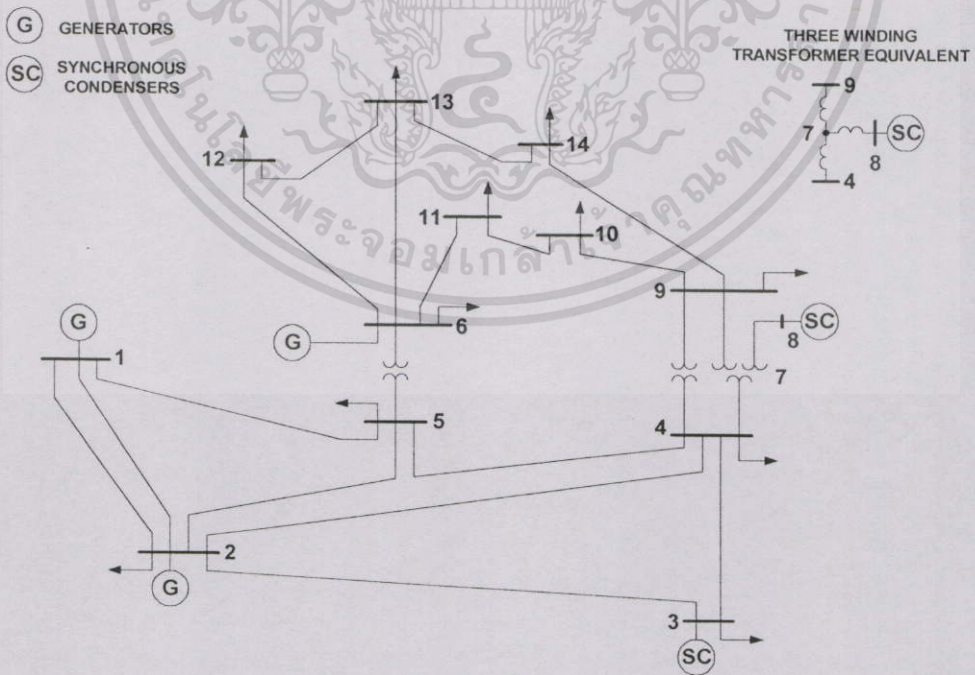
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบในตารางที่ 6.2 พบว่าค่าที่ได้จากวิธีหาค่าเชิงควอดราติกโปรแกรมมีกับเอกสารอ้างอิง [19] มีค่าใกล้เคียงกันทั้งค่าของฟังก์ชันเป้าหมาย ( $F^*$ ), ค่าของตัวแปรออกแบบ ( $x_1^* - x_3^*$ ) และค่าของตัวแปร ( $x_4^* - x_8^*$ )

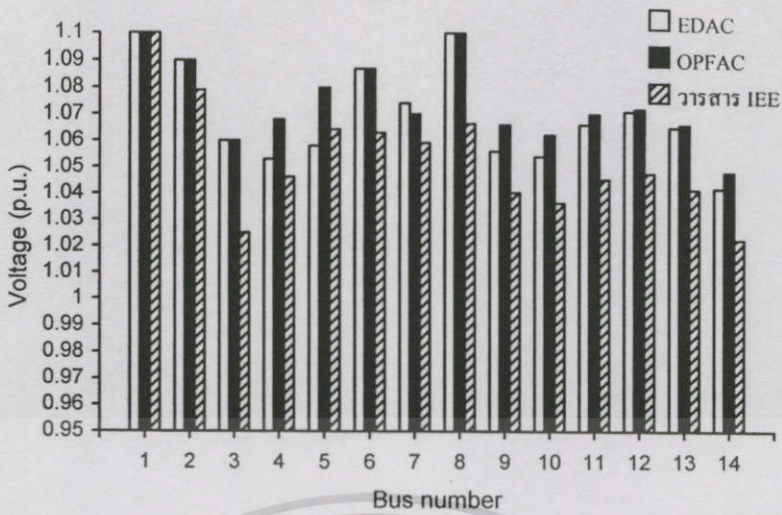
### 6.3 การทดสอบโปรแกรมออปติมิซเพาเวอร์โพลว์และโปรแกรมการจ่ายโหลดอย่างประหยัดเทียบกับวารสาร IEE

ระบบที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรมออปติมิซเพาเวอร์โพลว์ (OPFAC) และโปรแกรมการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (EDAC) เทียบกับวารสาร IEE [20] ที่แสดงในรูปที่ 6.1 ซึ่งมีข้อมูลอยู่ในภาคผนวก ก. ตารางที่ ผ.6.5 ถึง ผ.6.8 โดยจะแบ่งหัวข้อในการพิจารณาออกได้เป็น 5 หัวข้อดังนี้คือ

1. ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส ซึ่งผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 6.2
2. ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 6.3
3. ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้านิวแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ ซึ่งผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 6.4
4. ค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ ซึ่งผลที่ได้เป็นดังตารางที่ 6.3
5. ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ซึ่งผลที่ได้เป็นดังตารางที่ 6.4



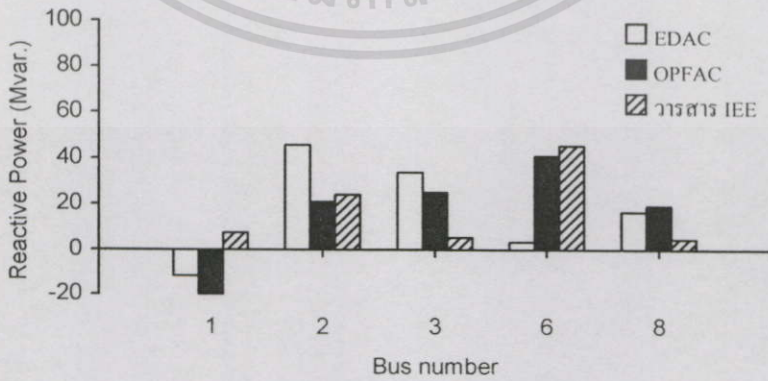
รูปที่ 6.1 ระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส



รูปที่ 6.2 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส



รูปที่ 6.3 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส



รูปที่ 6.4 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส

ตารางที่ 6.3 ผลลัพธ์ค่าแท็บของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส

ค่าแท็บของหม้อแปลงไฟฟ้า (p.u.)	EDAC	OPFAC	วารสาร IEE
ระหว่างบัสที่ 4 กับบัสที่ 7	0.978	1.025	0.962
ระหว่างบัสที่ 4 กับบัสที่ 9	0.969	0.900	0.960
ระหว่างบัสที่ 5 กับบัสที่ 6	0.932	1.041	1.062

ตารางที่ 6.4 ผลลัพธ์การทดสอบระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส

	EDAC	OPFAC	วารสาร IEE
ต้นทุนการผลิตรวม ของระบบ	1135.47 (฿/hr)	1132.92 (฿/hr)	1134.44 (฿/hr)
กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวม ของระบบ	9.364 MW	8.480 MW	8.890 MW

จากการทดสอบโปรแกรมออปติมิซเพาเวอร์โพลว์ (OPFAC) และโปรแกรมการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (EDAC) เทียบกับวารสาร IEE ในรูปที่ 6.2 ถึง 6.4 และตารางที่ 6.3 พบว่าค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์และค่าแท็บของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ จากการคำนวณของออปติมิซเพาเวอร์โพลว์ (OPFAC) และ โปรแกรมการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (EDAC) ให้ค่าไม่เกินขีดจำกัด สำหรับค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบที่แสดงในตารางที่ 6.4 พบว่าการคำนวณที่ได้จากโปรแกรมออปติมิซเพาเวอร์โพลว์ (OPFAC) และโปรแกรมการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (EDAC) มีค่าใกล้เคียงกับค่าจากวารสาร IEE

#### 6.4 เหตุผลการเลือกใช้วิธีการทำออปติมิซเพาเวอร์โพลว์ในการดำเนินการอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากำลัง

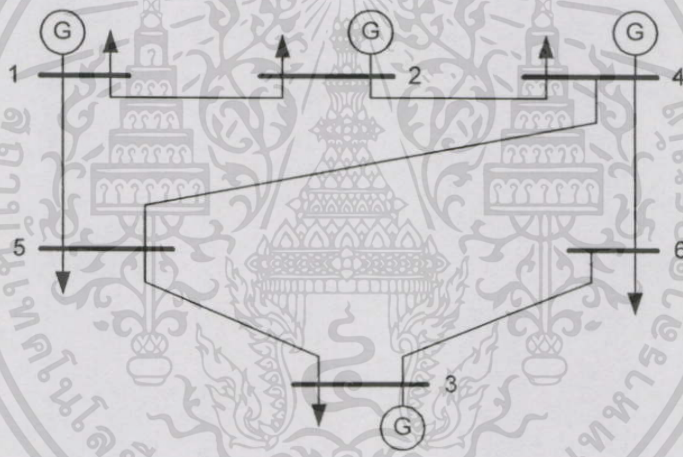
เนื่องจากในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้วิธีการทำออปติมิซเพาเวอร์โพลว์เป็นวิธีในการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากำลัง ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงเป็นการแสดงถึงเหตุผลของการเลือกใช้วิธีการทำออปติมิซเพาเวอร์โพลว์เป็นวิธีในการดำเนินการอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยทำการเปรียบเทียบกับวิธีคิดแบบโหลดโพลว์ (LFAC) และวิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (EDAC) กับ 2 ระบบทดสอบคือ ระบบทดสอบ 6 บัส และระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส โดยมีรายละเอียดดังนี้

##### 6.4.1 ระบบทดสอบ 6 บัส

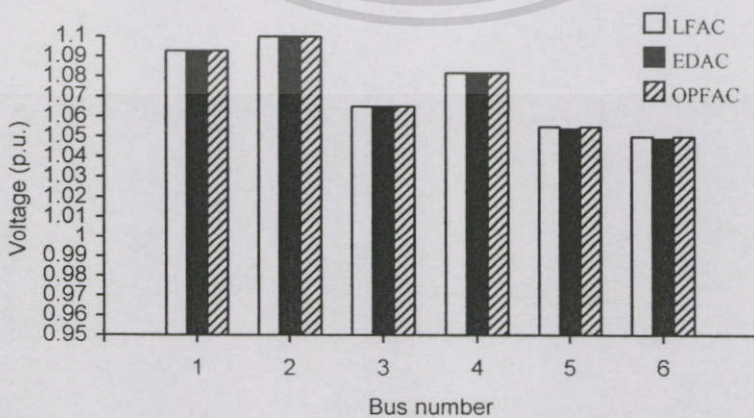
ระบบทดสอบ 6 บัส ที่แสดงในรูปที่ 6.5 มีข้อมูลในภาคผนวก ก. ตารางที่ ผ.6.1 ถึง ผ.6.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะพิจารณาออกเป็น 2 ส่วนคือ 1. พิจารณาค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์, ค่าเปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดของสายส่งในระบบ, กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ โดยใช้วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ (OPFAC) เปรียบเทียบกับวิธีคิดแบบโหลดโพลว์ (LFAC) และวิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (EDAC) ซึ่งผลการทดสอบเป็นดังรูปที่ 6.6 ถึง 6.11 และตารางที่ 6.5 2. พิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดของสายส่งในระบบ, ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์, กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ เมื่อเพิ่มขีดจำกัดของสายส่งระหว่างบัสที่ 4 กับบัสที่ 5 เท่ากับ 120 MVA โดยใช้วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ (OPFAC) เปรียบเทียบกับวิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (EDAC) ซึ่งผลการทดสอบเป็นดังรูปที่ 6.12 ถึง 6.15 และตารางที่ 6.6 โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ

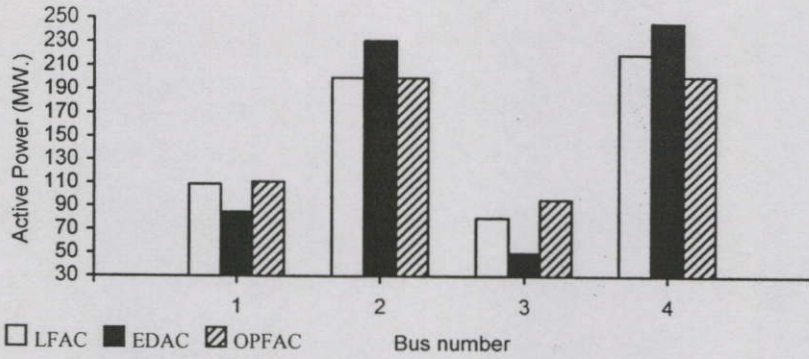


รูปที่ 6.5 ระบบทดสอบ 6 บัส

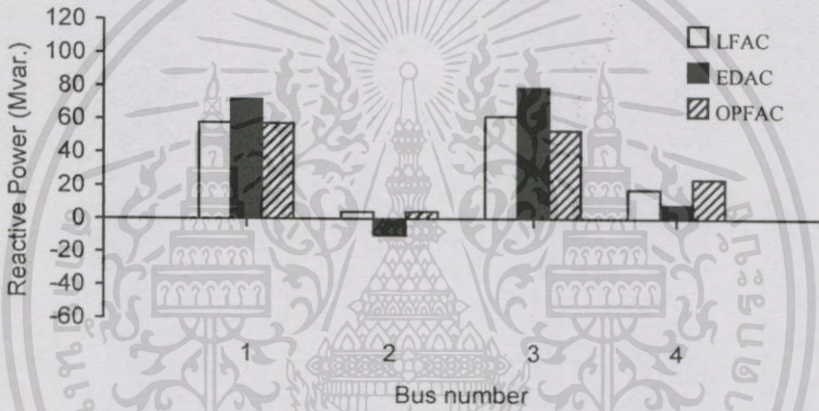


รูปที่ 6.6 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบทดสอบ 6 บัส

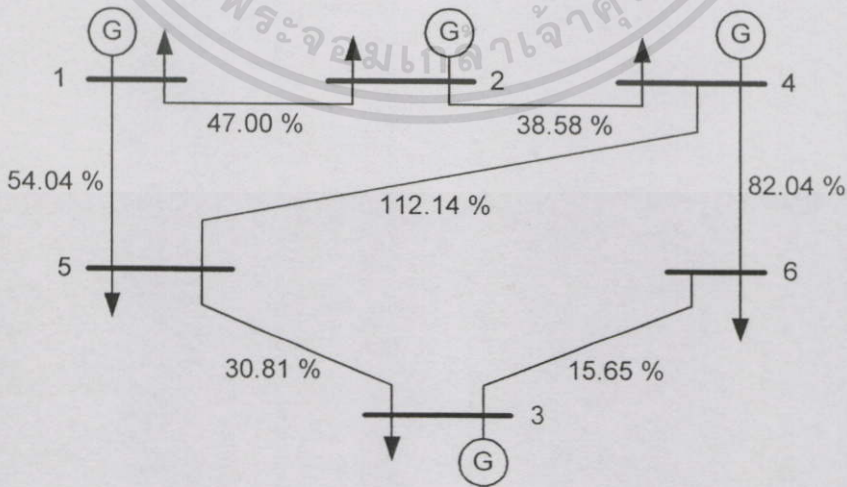
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบทดสอบ 6 บัส

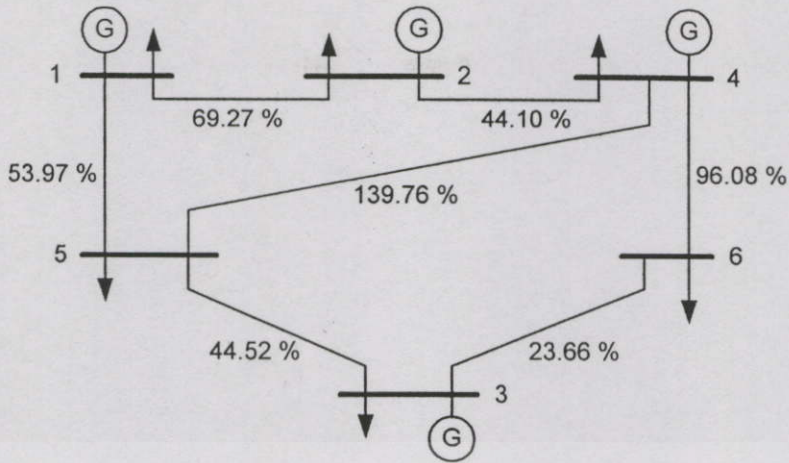


รูปที่ 6.8 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบทดสอบ 6 บัส

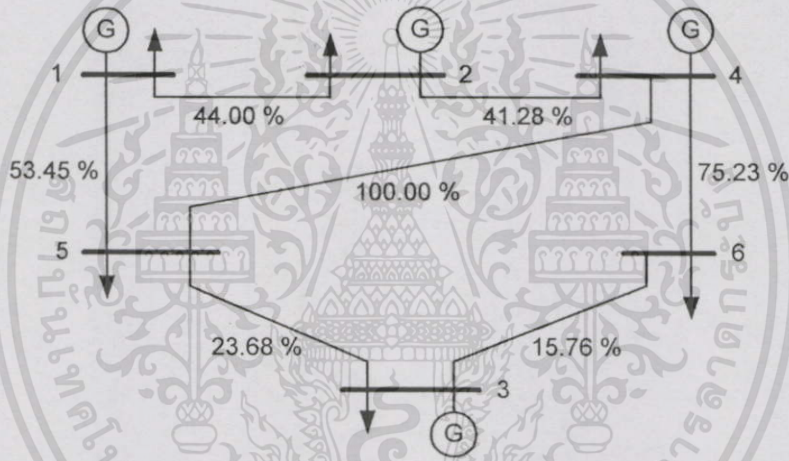


รูปที่ 6.9 ค่าเปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดของสายส่งในระบบทดสอบ 6 บัส เมื่อใช้วิธีคิดแบบโหลดโฟลว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.10 ค่าเปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดของสายส่งในระบบทดสอบ 6 บัส เมื่อใช้วิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัด



รูปที่ 6.11 ค่าเปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดของสายส่งในระบบทดสอบ 6 บัส เมื่อใช้วิธีการทำออฟติมัลเพาเวอร์โฟลว์

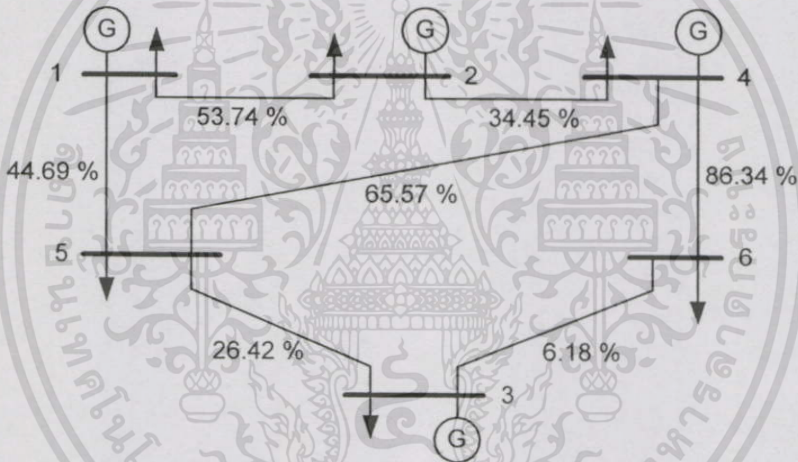
ตารางที่ 6.5 ผลลัพธ์การทดสอบระบบทดสอบ 6 บัส

	LFAC	EDAC	OPFAC
ต้นทุนการผลิตรวมของระบบ	7795.13 (฿/hr)	7811.77 (฿/hr)	7813.47 (฿/hr)
กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ	8.617 MW	12.816 MW	7.531 MW

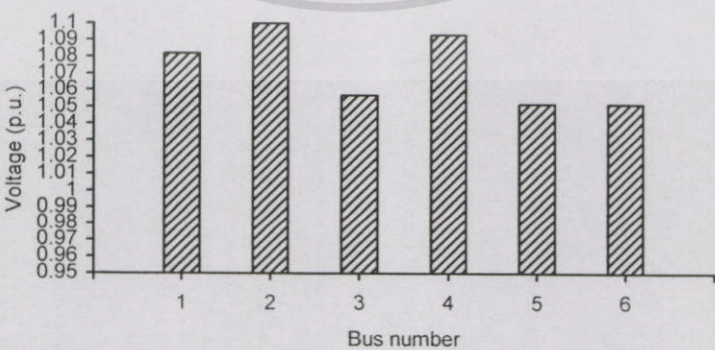
จากผลการทดสอบในรูปที่ 6.6 ถึง 6.8 พบว่าทั้งสามวิธีให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบอยู่ในขีดจำกัด แต่ผลการทดสอบในรูปที่ 6.9 ถึง 6.11 พบว่าวิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ (OPFAC) ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดของสายส่งในระบบไม่เกินขีดจำกัด ส่วนวิธีการคิดแบบโหลดโฟลว์ (LFAC) และวิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (EDAC) ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดของสายส่งในระบบระหว่างบัสที่ 4 และ 5 เกินขีดจำกัด ดังรูปที่ 6.9 และ 6.10 ตามลำดับ เนื่องจากทั้งสองวิธีไม่ได้คำนึงถึงขีดจำกัดของสายส่งในระบบ และจากผลการทดสอบในตารางที่ 6.5 พบว่าวิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ (OPFAC) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบต่ำที่สุดแต่วิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (EDAC) ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุดทั้งนี้เนื่องจากวิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ (OPFAC) ได้คำนึงถึงขีดจำกัดของสายส่งในระบบจึงต้องบังคับให้การไหลของกำลังไฟฟ้าไม่เกินขีดจำกัดของสายส่งระหว่างบัสที่ 4 และ 5 ดังในรูปที่ 6.11 ดังนั้นทำให้ได้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบสูงกว่าวิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (EDAC) และจากจุดสังเกตนี้ทำให้นำเข้าสู่การพิจารณาในข้อที่ 2

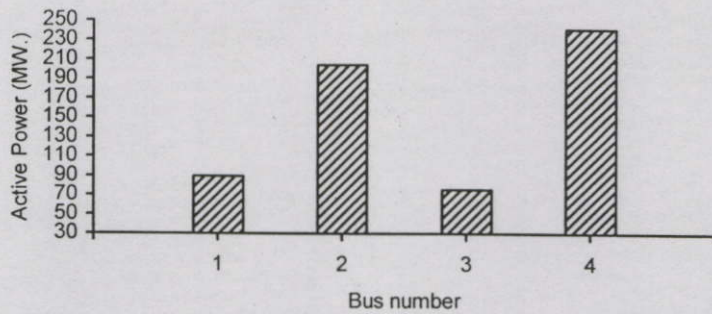


รูปที่ 6.12 ค่าเปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดของสายส่งในระบบทดสอบ 6 บัส เมื่อเพิ่มขีดจำกัดของสายส่งระหว่างบัสที่ 4 กับบัสที่ 5 เท่ากับ 120 MVA โดยใช้วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์

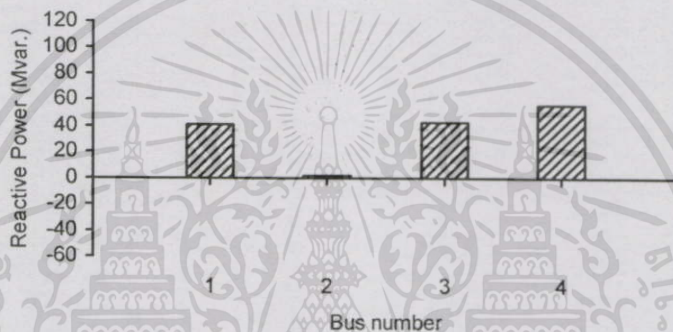


รูปที่ 6.13 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบทดสอบ 6 บัส เมื่อเพิ่มขีดจำกัดของสายส่งระหว่างบัสที่ 4 กับบัสที่ 5 เท่ากับ 120 MVA โดยใช้วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.14 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบทดสอบ 6 บัส เมื่อเพิ่มขีดจำกัดของสายส่งระหว่างบัสที่ 4 กับบัสที่ 5 เท่ากับ 120 MVA โดยใช้วิธีการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โฟลว์



รูปที่ 6.15 ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบทดสอบ 6 บัส เมื่อเพิ่มขีดจำกัดของสายส่งระหว่างบัสที่ 4 กับบัสที่ 5 เท่ากับ 120 MVA โดยใช้วิธีการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โฟลว์

ตารางที่ 6.6 ผลลัพธ์การทดสอบระบบทดสอบ 6 บัส เมื่อมีการเพิ่มขีดจำกัดของสายส่งระหว่างบัสที่ 4 กับบัสที่ 5 เท่ากับ 120 MVA

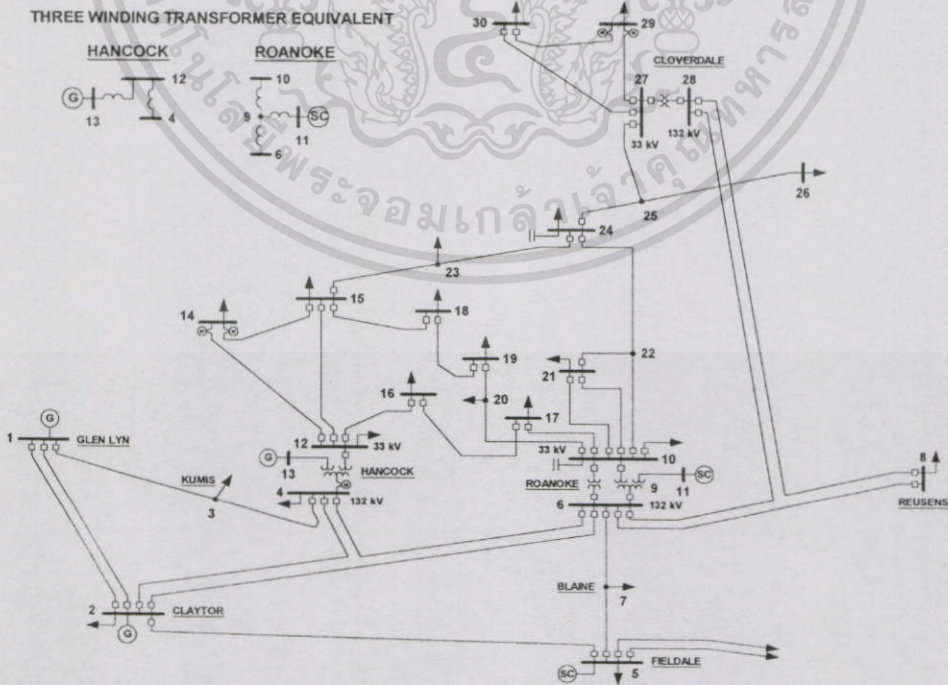
	ขีดจำกัดของสายส่งระหว่างบัสที่ 4 กับบัสที่ 5 เท่ากับ 120 MVA	
	EDAC	OPFAC
ต้นทุนการผลิตรวม ของระบบ	7811.77 (฿/hr)	7780.50 (฿/hr)
กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวม ของระบบ	12.816 MW	8.968 MW

จากผลการทดสอบในรูปที่ 6.12 ถึง 6.15 พบว่าวิธีการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โฟลว์ (OPFAC) เมื่อเพิ่มขีดจำกัดของสายส่งระหว่างบัสที่ 4 กับบัสที่ 5 เท่ากับ 120 MVA ให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบและค่าเปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดของสายส่งในระบบอยู่ภายในขีดจำกัด และผลการทดสอบในตารางที่ 6.6 พบว่าวิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ (OPFAC) เมื่อเพิ่มขีดจำกัดของสายส่งระหว่างบัสที่ 4 กับบัสที่ 5 เท่ากับ 120 MVA ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำกว่าวิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (EDAC)

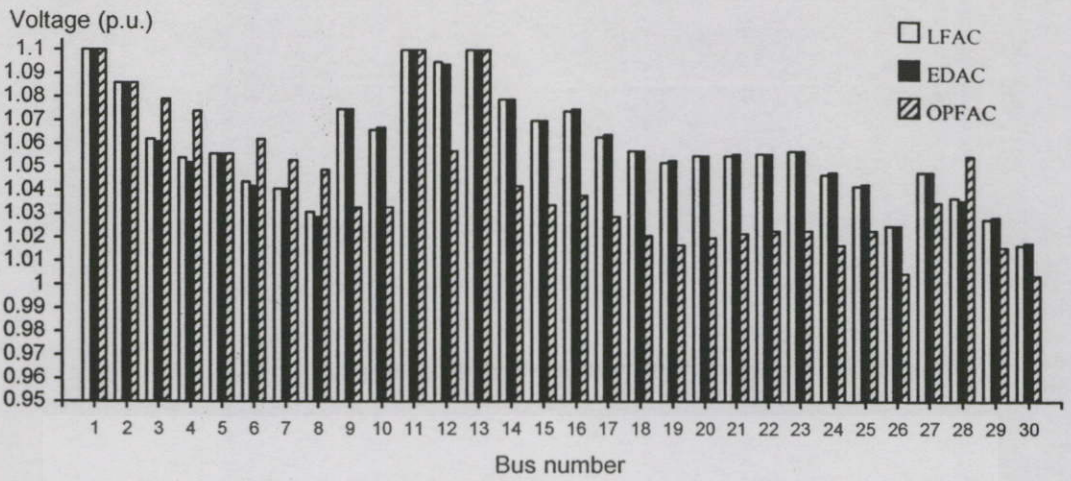
#### 6.4.2 ระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

ระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส ที่แสดงในรูปที่ 6.16 มีข้อมูลอยู่ในภาคผนวก ก. ตารางที่ ผ.6.9 ถึง ผ.6.13 ซึ่งจากการใช้วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ (OPFAC), วิธีคิดแบบโหลดโพลว์ (LFAC) และวิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (EDAC) พบว่าทั้งสามวิธีให้ค่าการโพลว์ของกำลังไฟฟ้าอยู่ภายในขีดจำกัดของสายส่งในระบบ ดังนั้นในกรณีของระบบปรับปรุง IEEE 30 บัสนี้ จึงไม่แสดงค่าของกำลังไฟฟ้าที่โพลว์ผ่านสายส่งในระบบ โดยในการพิจารณาจะทำการพิจารณาเฉพาะค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์, กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ โดยใช้วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ (OPFAC) ทำการเปรียบเทียบกับวิธีคิดแบบโหลดโพลว์ (LFAC) และวิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (EDAC) สำหรับผลการทดสอบเปรียบเทียบของทั้งสามวิธี จะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 6.17 ถึง 6.19 และ ตารางที่ 6.7 ดังนี้



รูปที่ 6.16 ระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

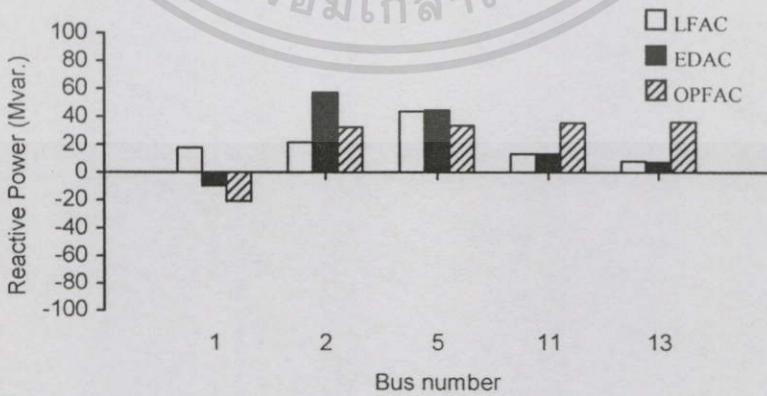
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.17 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส



รูปที่ 6.18 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส



รูปที่ 6.19 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

ตารางที่ 6.7 ผลลัพธ์การทดสอบระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

	LFAC	EDAC	OPFAC
ต้นทุนการผลิตรวมของระบบ	3148.22 (฿/hr)	2954.03 (฿/hr)	2950.28 (฿/hr)
กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ	8.994 MW	12.306 MW	11.913 MW

จากผลการทดสอบในรูปที่ 6.17 ถึง 6.19 พบว่าทั้งสามวิธีให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบอยู่ในขีดจำกัด และจากผลการทดสอบในตารางที่ 6.7 พบว่าวิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ (OPFAC) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุด ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลในการเลือกใช้วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เป็นวิธีในการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากำลัง

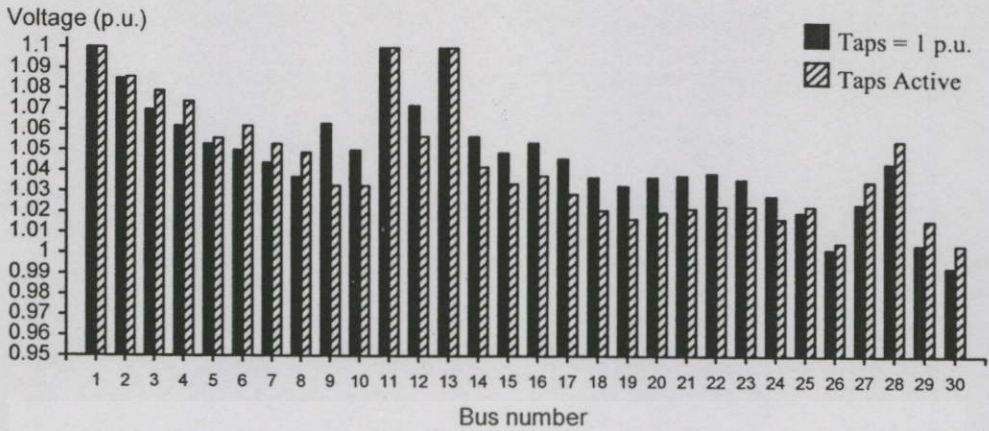
## 6.5 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

ในการวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับจะทำการวิเคราะห์กับระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส โดยจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 6 หัวข้อดังนี้คือ

1. การวิเคราะห์ผลของการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์
2. การวิเคราะห์ผลของตัวเก็บประจุต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์
3. การวิเคราะห์ผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์
4. การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ในระบบโดยรวม
5. การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เนื่องจากโหลดในระบบเปลี่ยนแปลงโดยรวมเพิ่มขึ้น
6. การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เนื่องจากโหลดในระบบเปลี่ยนแปลงโดยรวมลดลง

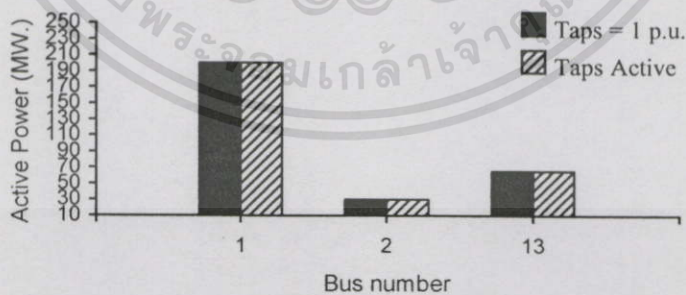
### 6.5.1 การวิเคราะห์ผลของการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์

ในการวิเคราะห์ผลของการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ จะทำการวิเคราะห์ใน 2 สถานะของค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า คือ เมื่อค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าทุกตัวในระบบมีค่าแท็ปเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) และเมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าทุกตัวในระบบสามารถปรับค่าแท็ปได้ภายในขีดจำกัดที่กำหนด (Taps Active) โดยพิจารณาค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์, กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ



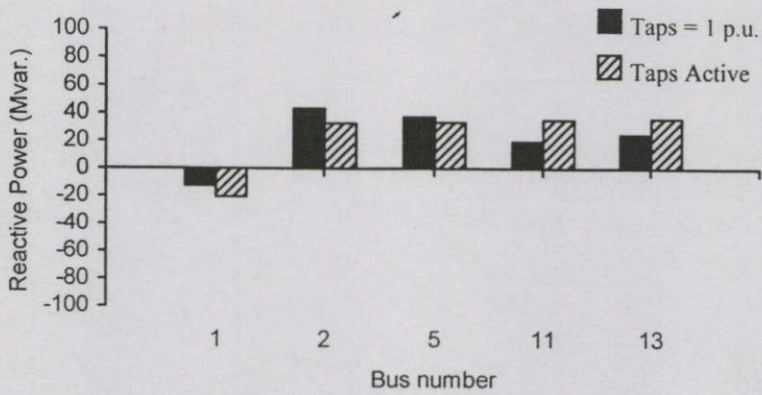
รูปที่ 6.20 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ จากผลของการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

จากรูปที่ 6.20 พบว่าค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ ในระบบจากสถานะของค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพลล์มีการเปลี่ยนแปลง โดยที่บัส 4 และ 6 ซึ่งเป็นบัสด้านปรับแท็ปค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) จะมีค่ามากกว่าเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) และบัสที่ 9, 10 และ 12 ซึ่งเป็นบัสด้านไม่ปรับแท็ปค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) จะมีค่ามากกว่าเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) โดยเฉพาะที่บัส 9 มีการเปลี่ยนแปลงของค่าขนาดแรงดันไฟฟ้ามากที่สุด ส่วนบัสที่ 28 ซึ่งเป็นบัสด้านปรับแท็ปและบัสที่ 27 ซึ่งเป็นบัสด้านไม่ปรับแท็ปค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) จะมีค่ามากกว่าเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.)



รูปที่ 6.21 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

จากรูปที่ 6.21 พบว่าค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบจากการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพลล์เมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) และเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) มีค่าใกล้เคียงกัน



**รูปที่ 6.22** ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์จากผลของการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

จากรูปที่ 6.22 พบว่าค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมจากการทำออฟติไมซ์เพาเวอร์โพลว์เมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) จะมีค่ามากกว่าเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) โดยที่บัส 11 ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด และที่บัส 1 เป็นการรับกำลังไฟฟารีแอกทีฟ ในขณะที่บัสที่ 2, 5, 11 และ 13 เป็นการจ่ายกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์

**ตารางที่ 6.8** ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบผลของการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

สถานะค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ	กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active)
ค่าแท็ปเท่ากับ 1 p.u.	12.077 MW	0.164 MW	1.377 %
มีการปรับค่าแท็ป	11.913 MW	-	-

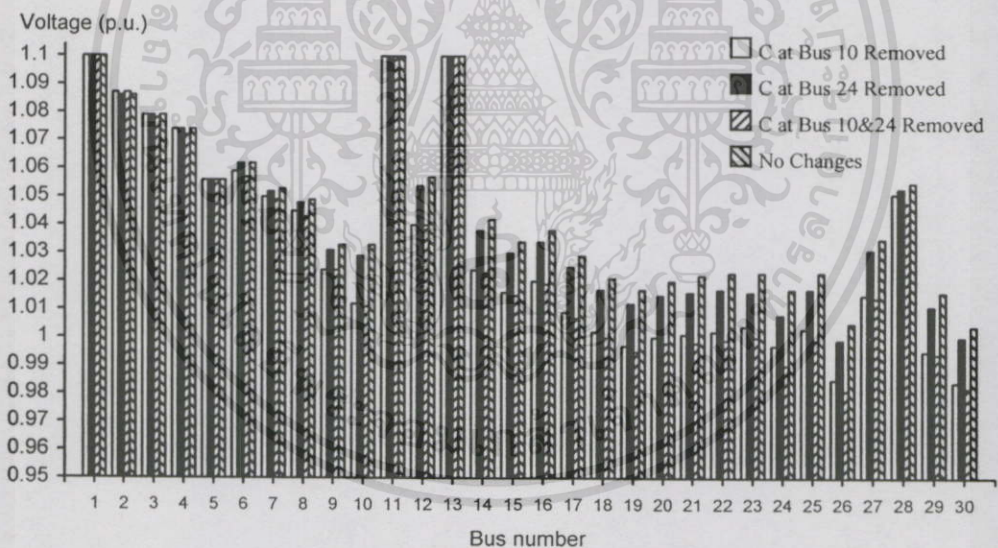
**ตารางที่ 6.9** ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบผลของการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

สถานะค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ	ต้นทุนการผลิตรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active)
ค่าแท็ปเท่ากับ 1 p.u.	2951.84 (฿/hr)	1.56 (฿/hr)	0.053 %
มีการปรับค่าแท็ป	2950.28 (฿/hr)	-	-

จากตารางที่ 6.8 และ 6.9 พบว่าในการทำออปติไมลเพาเวอร์โพล์เมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำกว่าเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. ซึ่งจากการทำออปติไมลเพาเวอร์โพล์เมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นคิดเป็น 1.377 % และ 0.053 % ตามลำดับ จากการที่มีการปรับค่าแท็ปในระบบ

### 6.5.2 การวิเคราะห์ผลของตัวเก็บประจุต่อการทำออปติไมลเพาเวอร์โพล์

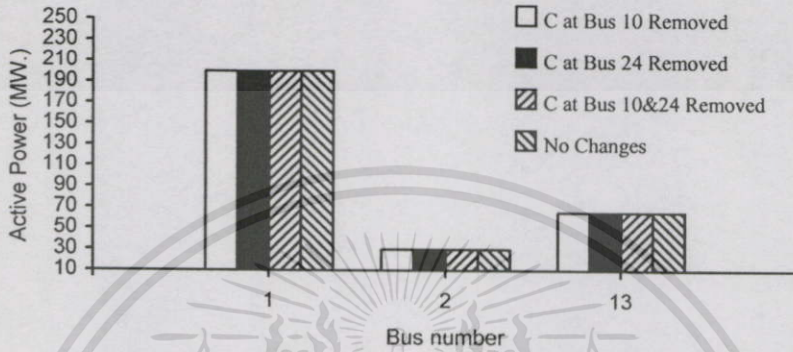
ในการวิเคราะห์ผลของตัวเก็บประจุต่อการทำออปติไมลเพาเวอร์โพล์ จะทำการวิเคราะห์ใน 4 สถานะของตัวเก็บประจุ คือ เมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10, เมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 24, เมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10&24 และเมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยพิจารณาค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์, กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ



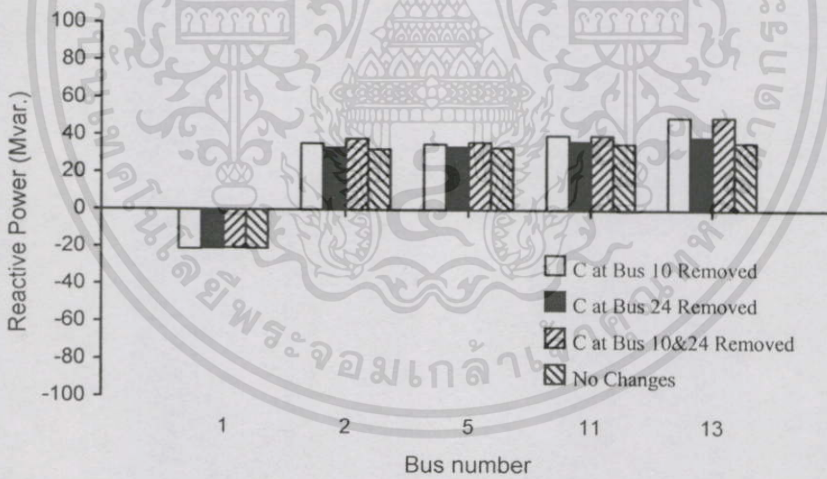
รูปที่ 6.23 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

จากรูปที่ 6.23 พบว่าค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบจากสถานะของตัวเก็บประจุในการทำออปติไมลเพาเวอร์โพล์มีการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะเมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10&24 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบโดยรวมจะมีค่าลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุอีก 3 สถานะ และเมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบจะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับอีก 2 สถานะของตัวเก็บประจุที่เหลือ ซึ่งจะเห็นได้ว่า

ขนาดของตัวเก็บประจุมีผลต่อค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบ นั่นคือขนาดของตัวเก็บประจุที่บัส 10 มีค่ามากกว่าที่บัส 24 ดังนั้นเมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบจึงมีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 24 และเมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบโดยรวมจะมีค่ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ



รูปที่ 6.24 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส



รูปที่ 6.25 ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์จากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

จากรูปที่ 6.24 พบว่าค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบจากการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์ในทุกสถานะของตัวเก็บประจุมีค่าใกล้เคียงกัน และจากรูปที่ 6.25 พบว่าค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมจากการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ และเมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10&24 ค่าการผลิตกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบโคจรรวมจะมีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ

ตารางที่ 6.10 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

สถานะของตัวเก็บประจุ	กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10	12.039 MW	0.126 MW	1.058 %
ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 24	11.997 MW	0.084 MW	0.705 %
ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10 และ 24	12.140 MW	0.227 MW	1.905 %
ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	11.913 MW	-	-

ตารางที่ 6.11 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

สถานะของตัวเก็บประจุ	ต้นทุนการผลิตรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10	2951.48 (฿/hr)	1.20 (฿/hr)	0.041 %
ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 24	2951.08 (฿/hr)	0.80 (฿/hr)	0.027 %
ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10 และ 24	2952.44 (฿/hr)	2.16 (฿/hr)	0.073 %
ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	2950.28 (฿/hr)	-	-

จากตารางที่ 6.10 และ 6.11 พบว่าการทำออปติไมัลเพาเวอร์โฟลว์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ และการทำออปติไมัลเพาเวอร์โฟลว์เมื่อตัวเก็บประจุที่บัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10&24 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ และมีค่าเพิ่มขึ้น 1.905 % และ 0.073 % ตามลำดับจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อระบบมีขนาดของตัวเก็บประจุมากขึ้นจะส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าน้อยลง

### 6.5.3 การวิเคราะห์ผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ต่อการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์

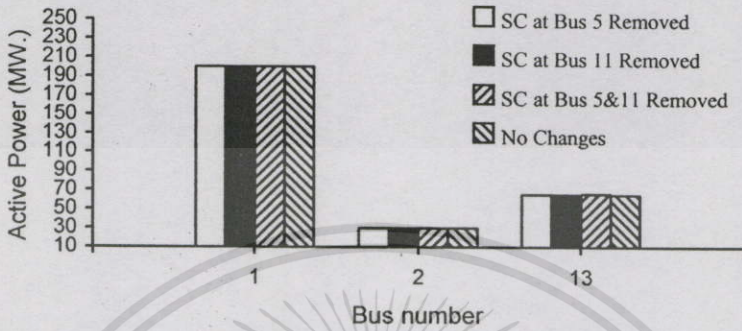
ในการวิเคราะห์ผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ต่อการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์ จะทำการวิเคราะห์ใน 4 สถานะของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ คือ เมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5, เมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 11, เมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5&11 และเมื่อในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยพิจารณาค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์, กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ



รูปที่ 6.26 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

จากรูปที่ 6.26 พบว่าค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบจากสถานะซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์มีการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะเมื่อไม่มีสถานะซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5&11 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบโดยรวมจะมีค่าลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์อีก 3 สถานะ และเมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 11 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบจะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับอีก 2 สถานะของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่เหลือ และเมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส 5 และบัสที่ 7 เท่านั้นที่มีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่

บัส 11 ส่วนบัสอื่นๆในระบบมีค่ามากกว่าเมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 11 และจะเห็นได้ว่าเมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัสใดค่าของขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัสนั้นจะมีค่าลดลงจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยเมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5&11 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสมีค่าลดลงมากที่สุด



รูปที่ 6.27 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส



รูปที่ 6.28 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์จากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

จากรูปที่ 6.27 พบว่าค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบจากการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลาร์ในทุกสถานะของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์มีค่าใกล้เคียงกัน และจากรูปที่ 6.28 พบว่าค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมจากการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลาร์เมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 11 มีค่าน้อยที่สุดและเมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5 มีค่ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในอีก 3 สถานะ และจะเห็นว่าเมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5&11 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 จ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ขณะที่ในอีก 3 สถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 จะรับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

ตารางที่ 6.12 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์  
ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

สถานะของ ซิงโครนัสคอนเดนเซอร์	กำลังไฟฟ้าจริง สูญเสียรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจากการ ที่ระบบไม่มีการ เปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก การที่ระบบไม่มีการ เปลี่ยนแปลง
ไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ ที่บัส 5	12.249 MW	0.336 MW	2.820 %
ไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ ที่บัส 11	12.208 MW	0.295 MW	2.476 %
ไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ ที่บัส 5 และ 11	12.821 MW	0.908 MW	7.622 %
ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	11.913 MW	-	-

ตารางที่ 6.13 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบ  
ปรับปรุง IEEE 30 บัส

สถานะของ ซิงโครนัสคอนเดนเซอร์	ต้นทุน การผลิตรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจากการ ที่ระบบไม่มีการ เปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก การที่ระบบไม่มีการ เปลี่ยนแปลง
ไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ ที่บัส 5	2953.48 (฿/hr)	3.20 (฿/hr)	0.108 %
ไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ ที่บัส 11	2953.09 (฿/hr)	2.81 (฿/hr)	0.095 %
ไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ ที่บัส 5 และ 11	2958.93 (฿/hr)	8.65 (฿/hr)	0.293 %
ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	2950.28 (฿/hr)	-	-

จากตารางที่ 6.12 และ 6.13 พบว่าการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในอีก 3 สถานะ และการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5&11 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในอีก 3 สถานะ และมีค่าเพิ่มขึ้น 7.622 % และ 0.293 % ตามลำดับจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง

#### 6.5.4 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลีในระบบโดยรวม

ในการวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลีในระบบโดยรวม จะทำการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของสถานะของอุปกรณ์ในระบบ คือ เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบมีค่าเท่ากับ 1 p.u. , เมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10 และ บัส 24 , เมื่อไม่มีชิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5 และ 11 (ซึ่งให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมากที่สุดในการกรณีที่ระบบมีการเปลี่ยนแปลง) และเมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะของอุปกรณ์ในระบบ ที่แสดงในตารางที่ 6.14 และ 6.15 ดังนี้คือ

ตารางที่ 6.14 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของสถานะของอุปกรณ์ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

สถานะของ อุปกรณ์ในระบบ	กำลังไฟฟ้าจริง สูญเสียรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจากการ ที่ระบบไม่มีการ เปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่าง จากการที่ระบบไม่มี การเปลี่ยนแปลง
ค่าเท่ากับ 1 p.u.	12.077 MW	0.164 MW	1.377 %
ไม่มีตัวเก็บประจุ ที่บัส 10 และ บัส 24	12.140 MW	0.227 MW	1.905 %
ไม่มีชิงโครนัสคอนเดนเซอร์ ที่บัส 5 และ บัส 11	12.821 MW	0.908 MW	7.622 %
ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	11.913 MW	-	-

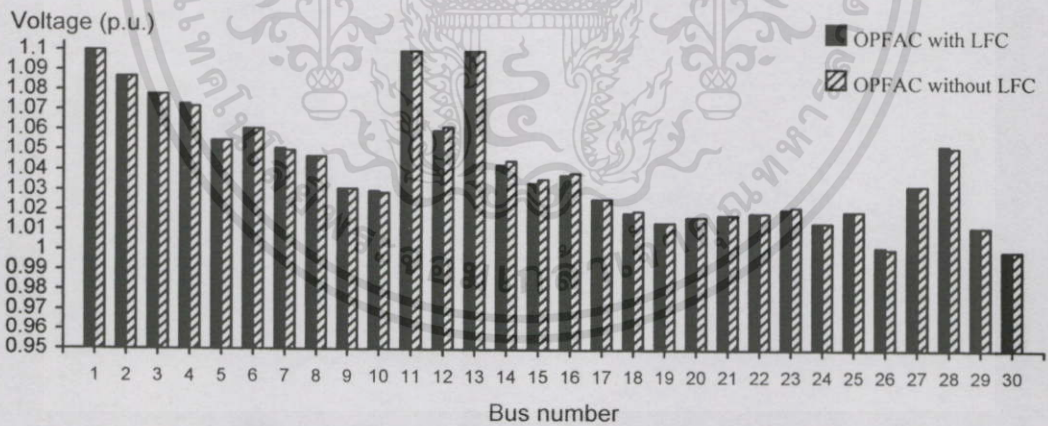
ตารางที่ 6.15 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของสถานะของอุปกรณ์ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

สถานะของ อุปกรณ์ในระบบ	ต้นทุน การผลิตรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจากการ ที่ระบบไม่มีการ เปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่าง จากการที่ระบบไม่มี การเปลี่ยนแปลง
ค่าเท่ากับ 1 (p.u.)	2951.84 (฿/hr)	1.56 (฿/hr)	0.053 %
ไม่มีตัวเก็บประจุ ที่บัส 10 และ บัส 24	2952.44 (฿/hr)	2.16 (฿/hr)	0.073 %
ไม่มีชิงโครนัสคอนเดนเซอร์ ที่บัส 5 และ บัส 11	2958.93 (฿/hr)	8.65 (฿/hr)	0.293 %
ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	2950.28 (฿/hr)	-	-

จากตารางที่ 6.14 และ 6.15 พบว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุดและเปรียบเทียบเฉพาะระบบมีการเปลี่ยนแปลง จะเห็นว่าเมื่อไม่มีชิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5&11 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบสูงที่สุด มีค่าเพิ่มขึ้น 7.622 % และ 0.293 % ตามลำดับ จากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง และเมื่อค่าเทปในระบบเท่ากับ 1 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุด มีค่าเพิ่มขึ้น 1.377 % และ 0.053 % ตามลำดับ จากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง

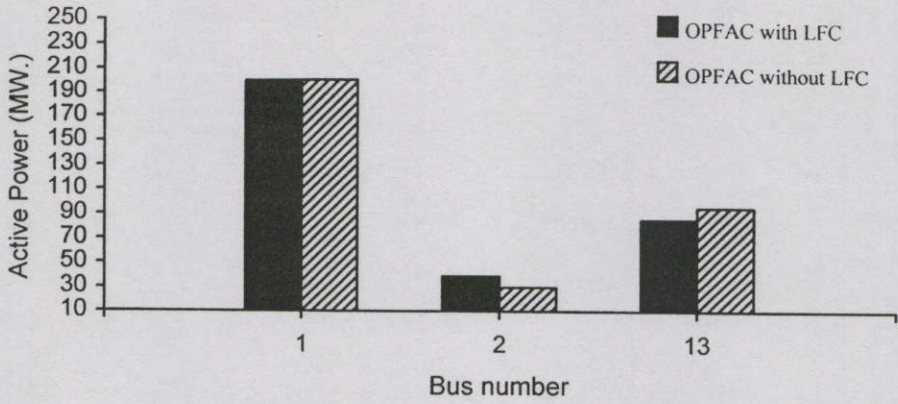
### 6.5.5 การวิเคราะห์การทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์เนื่องจากโหลดในระบบโดยรวมเพิ่มขึ้น

ในการวิเคราะห์การทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์เนื่องจากโหลดในระบบเปลี่ยนแปลง จะทำการวิเคราะห์เมื่อโหลดในระบบโดยรวมมีค่าเพิ่มขึ้นใน 2 เงื่อนไข คือ เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC with LFC) และเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC without LFC) ซึ่งมีข้อมูลอยู่ในภาคผนวก ค. และในตารางที่ ผ.6.20 ถึง ผ.6.22 โดยพิจารณาค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและชิงโครนัสคอนเดนเซอร์, กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ

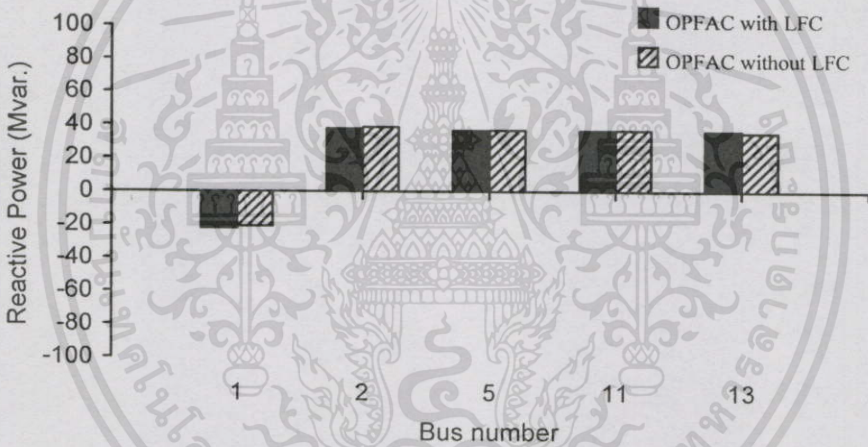


รูปที่ 6.29 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส โดยรวมเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 6.29 พบว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC with LFC) ให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบมีค่าใกล้เคียงกับเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC without LFC)



รูปที่ 6.30 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัสโดยรวมเพิ่มขึ้น



รูปที่ 6.31 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัสโดยรวมเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 6.30 พบว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีคววนซ์คอนโทรล (OPFAC with LFC) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบโดยรวมมีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีคววนซ์คอนโทรล (OPFAC without LFC) และให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 13 เท่ากับขีดจำกัดการผลิตสูงสุด และจากรูปที่ 6.31 พบว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีคววนซ์คอนโทรล (OPFAC with LFC) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมมีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีคววนซ์คอนโทรล (OPFAC without LFC)

ตารางที่ 6.16 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดโดยรวมของระบบจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัสโดยรวมเพิ่มขึ้น

	กำลังไฟฟ้าจริง สูงสุดโดยรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจากการ ที่โหลดในระบบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก การที่โหลดในระบบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC	11.913 MW	-	-
OPFAC with LFC	13.498 MW	1.585 MW	13.305 %
OPFAC without LFC	13.622 MW	1.709 MW	14.346 %

จากตารางที่ 6.16 พบว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีควินซ์คอนโทรล (OPFAC with LFC) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดโดยรวมของระบบมีค่าต่ำกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีควินซ์คอนโทรล (OPFAC without LFC) และคิดเป็น 13.305 % ที่เพิ่มขึ้นจากเมื่อโหลดในระบบยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 6.17 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัสโดยรวมเพิ่มขึ้น

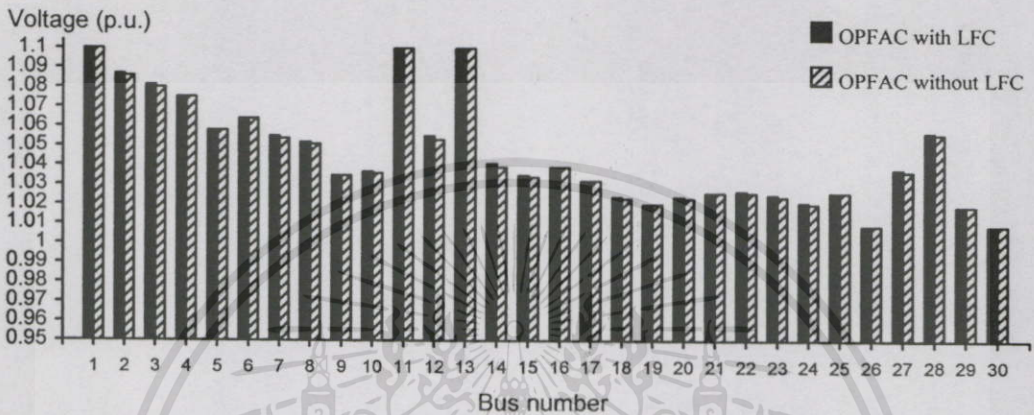
สถานะค่าแท็ปของ หม้อแปลงไฟฟ้า ในระบบ	ต้นทุน การผลิตรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจากการ ที่โหลดในระบบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก การที่โหลดในระบบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC	2950.28 (฿/hr)	-	-
OPFAC with LFC	3238.23 (฿/hr)	287.95 (฿/hr)	9.760 %
OPFAC without LFC	3240.03 (฿/hr)	289.75 (฿/hr)	9.821 %

จากตารางที่ 6.17 พบว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีควินซ์คอนโทรล (OPFAC with LFC) ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าต่ำกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีควินซ์คอนโทรล (OPFAC without LFC) และคิดเป็น 9.760 % ที่เพิ่มขึ้นจากเมื่อโหลดในระบบยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง

#### 6.5.6 การวิเคราะห์การทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์เนื่องจากโหลดในระบบโดยรวมลดลง

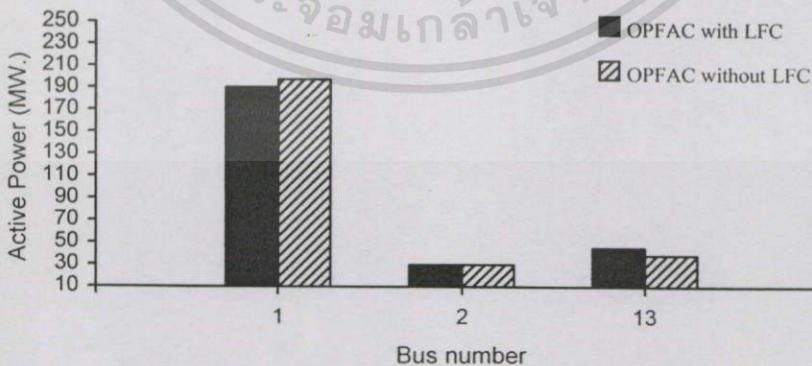
ในการวิเคราะห์การทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์เนื่องจากโหลดในระบบเปลี่ยนแปลง จะทำการวิเคราะห์เมื่อโหลดในระบบโดยรวมมีค่าลดลงใน 2 เงื่อนไข คือ เมื่อคิดผลของโหลดฟรีควินซ์

คอนโทรล (OPFAC with LFC) และเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีควอนซ์คอนโทรล (OPFAC without LFC) ซึ่งมีข้อมูลอยู่ในภาคผนวก ก. และในตารางที่ ผ.6.20, ผ.6.26 และ ผ.6.27 โดยพิจารณาค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์, กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ



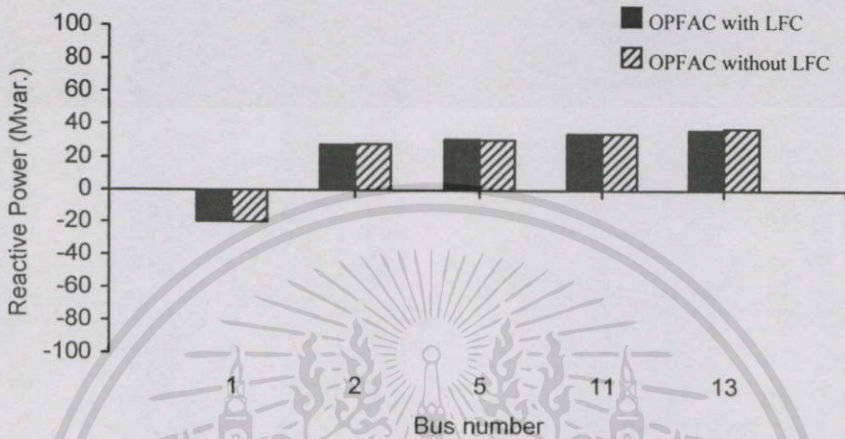
รูปที่ 6.32 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส โดยรวมลดลง

จากรูปที่ 6.32 พบว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีควอนซ์คอนโทรล (OPFAC with LFC) ให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบมีค่าใกล้เคียงกับเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีควอนซ์คอนโทรล (OPFAC without LFC)



รูปที่ 6.33 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส โดยรวมลดลง

จากรูปที่ 6.33 พบว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC with LFC) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบโดยรวมมีค่ามากกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC without LFC) และให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 13 เท่ากับขีดจำกัดการผลิตต่ำสุด



รูปที่ 6.34 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัสโดยรวมลดลง

จากรูปที่ 6.34 พบว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC with LFC) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมมีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC without LFC)

ตารางที่ 6.18 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดโดยรวมของระบบจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัสโดยรวมลดลง

	กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดโดยรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่โหลดในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่โหลดในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC	11.913 MW	-	-
OPFAC with LFC	10.167 MW	-1.746 MW	-14.656 %
OPFAC without LFC	10.497 MW	-1.416 MW	-11.886 %

จากตารางที่ 6.18 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อเกิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC with LFC) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดโดยรวมของระบบมีค่าต่ำกว่าเมื่อไม่เกิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC without LFC) และคิดเป็น 14.656 % ที่ลดลงจากเมื่อโหลดในระบบยังไม่มีเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 6.19 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัสโดยรวมลดลง

สถานะค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ	ต้นทุนการผลิตรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่โหลดในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่โหลดในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC	2950.28 (฿/hr)	-	-
OPFAC with LFC	2678.04 (฿/hr)	-272.24 (฿/hr)	-9.228 %
OPFAC without LFC	2671.91 (฿/hr)	-278.37 (฿/hr)	-9.435 %

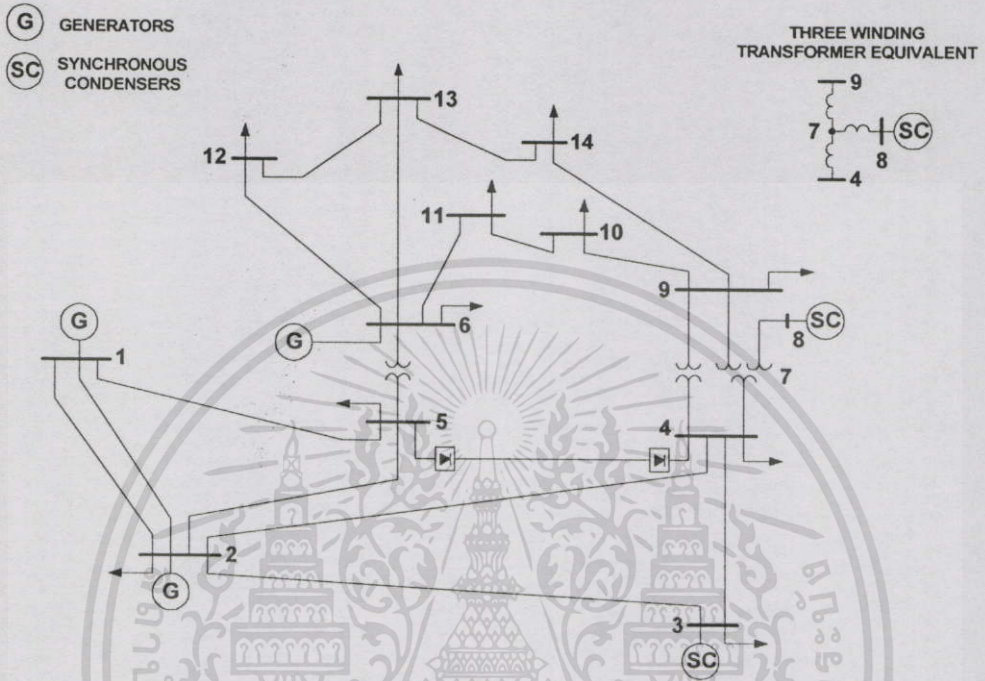
จากตารางที่ 6.19 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่เกิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC without LFC) ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าต่ำกว่าเมื่อเกิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC with LFC) และคิดเป็น 9.435 % ที่ลดลงจากเมื่อโหลดในระบบยังไม่มีเปลี่ยนแปลง

## 6.6 การทดสอบโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบเอซี-ดีซีเทียบกับโปรแกรมเอซี-ดีซีโหลดโพลว์

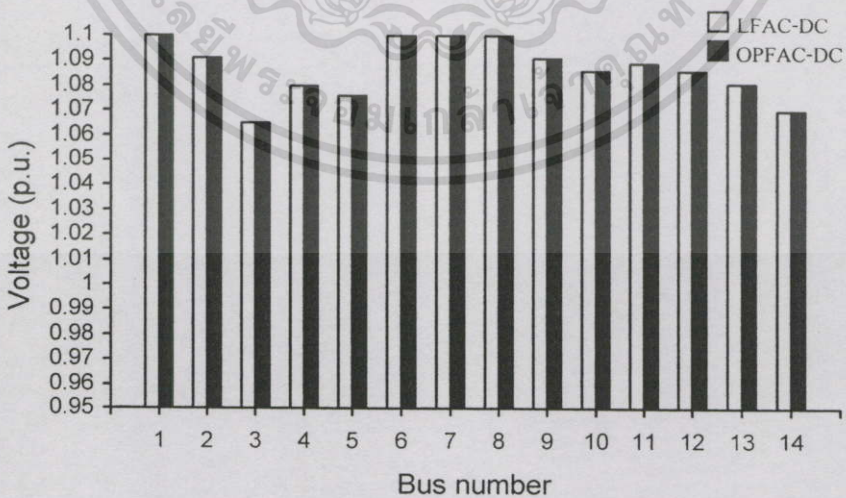
ในการทดสอบโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) เทียบกับโปรแกรมเอซี-ดีซีโหลดโพลว์ (LFAC-DC) [8] จะทำการทดสอบในส่วนของเงื่อนไขบังคับแบบสมการ ซึ่งก็คือสมการกำลังไฟฟ้าจริงและรีแอกทีฟสมดุลย์ที่แต่ละบัส โดยใช้ระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส ที่แสดงในรูปที่ 6.35 ในการทดสอบ ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสที่ 5 กับโหลดบัสที่ 4 โดยมีข้อมูลอยู่ในภาคผนวก ก. ตารางที่ ผ.6.7 ถึง ผ.6.8 และ ภาคผนวก ข. ตารางที่ ผ.6.14 และจะสามารถแบ่งหัวข้อในการพิจารณาออกได้เป็น 5 หัวข้อ ดังนี้คือ

1. ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส ซึ่งผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 6.36
2. ค่ามุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส ซึ่งผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 6.37
3. ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 6.38

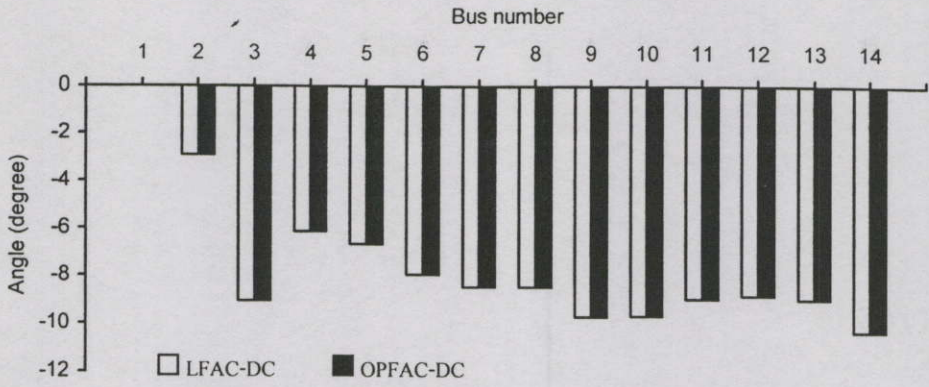
4. ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ ซึ่งผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 6.39
5. ค่าผลลัพธ์ของระบบ HVDC ซึ่งผลที่ได้เป็นดังตารางที่ 6.20



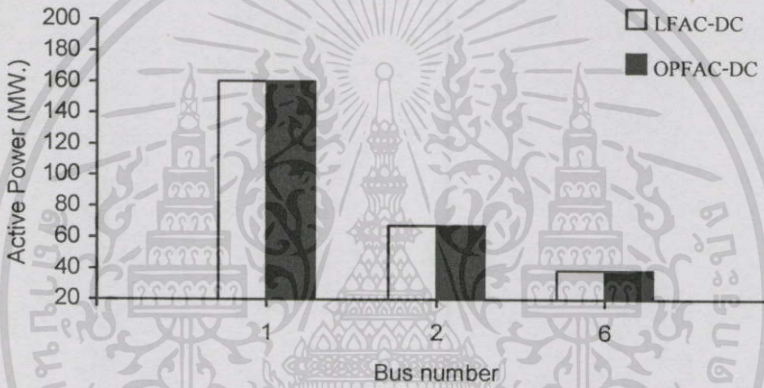
รูปที่ 6.35 ระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส



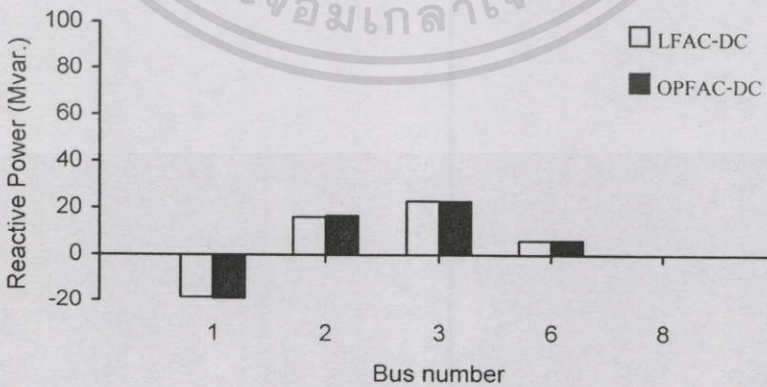
รูปที่ 6.36 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส



รูปที่ 6.37 ค่ามุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส



รูปที่ 6.38 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส



รูปที่ 6.39 ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส

ตารางที่ 6.20 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) กับโปรแกรมเอซี-ดีซีโหลดโพล์ (LFAC-DC) ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส

	Rectifier		Inverter	
	LFAC-DC	OPFAC-DC	LFAC-DC	OPFAC-DC
A.C. Bus	5		4	
D.C. Voltage (p.u.)	1.472	1.472	1.470	1.470
Transformer tap (p.u.)	1.1	1.1	1.1	1.1
Control angles (deg.)	15.505	15.505	19.81	19.81
Overlap angles (deg.)	13.116	13.116	7.136	7.136
Power factor	0.921	0.921	0.916	0.916
D.C. Current (p.u.)	0.570	0.570	0.570	0.570
D.C. link power (MW)	83.853	83.853	83.745	83.744

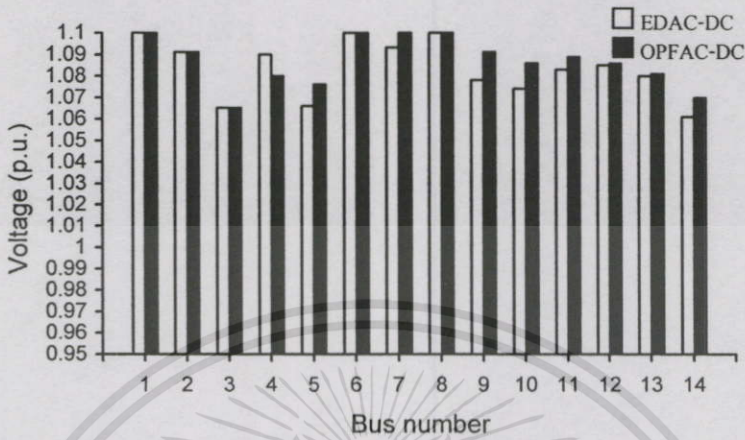
จากผลการทดสอบในรูปที่ 6.36 ถึง 6.39 และตารางที่ 6.20 พบว่าค่าที่ได้จากโปรแกรมออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากโปรแกรมเอซี-ดีซีโหลดโพล์ (LFAC-DC)

## 6.7 การทดสอบโปรแกรมออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีเทียบกับโปรแกรมการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของระบบเอซี-ดีซี

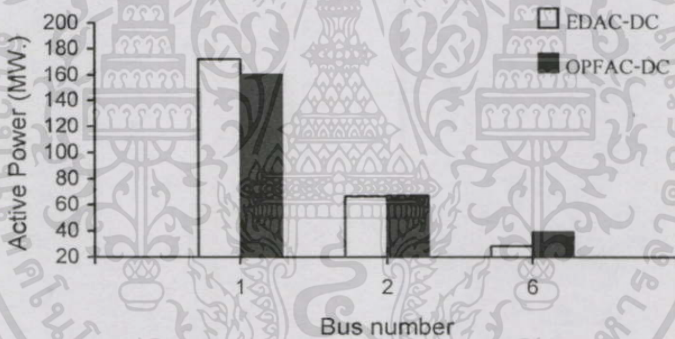
ในการทดสอบโปรแกรมออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) เทียบกับโปรแกรมการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของระบบเอซี-ดีซี (EDAC-DC) จะใช้ระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส จากรูปที่ 6.35 ในการทดสอบ ซึ่งมีข้อมูลอยู่ในภาคผนวก ก. ตารางที่ ผ.6.5 ถึง ผ.6.8 และภาคผนวก ข. ตารางที่ ผ.6.14 ถึง ผ.6.15 โดยสามารถแบ่งหัวข้อในการพิจารณาออกได้เป็น หัวข้อดังนี้คือ

1. ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส ซึ่งผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 6.40
2. ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 6.41
3. ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ซึ่งผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 6.42
4. ค่าเทปของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งผลที่ได้เป็นดังตารางที่ 6.21
5. ค่าเปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดของสายส่งในระบบ ซึ่งผลที่ได้เป็นดังตารางที่ 6.22 และ 6.23

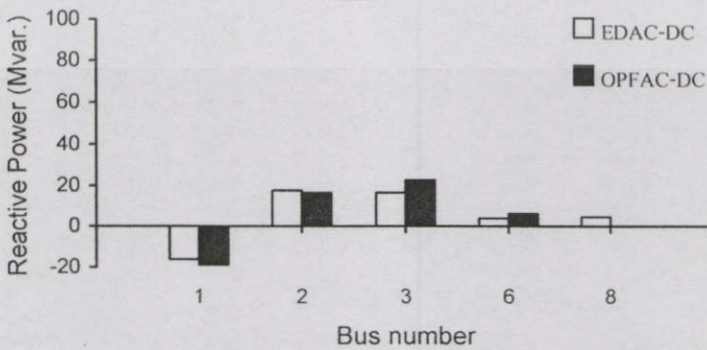
6. ค่าต้นทุนการผลิตรวมและค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ ซึ่งผลที่ได้เป็นดังตารางที่ 6.24
7. ค่าผลลัพธ์ของระบบ HVDC ซึ่งผลที่ได้เป็นดังตารางที่ 6.25 และ 6.26



รูปที่ 6.40 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส



รูปที่ 6.41 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส



รูปที่ 6.42 ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส

ตารางที่ 6.21 ผลลัพธ์ค่าแท้ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส

ค่าแท้ปของหม้อแปลงไฟฟ้า (p.u.)	EDAC-DC	OPFAC-DC
ระหว่างบัสที่ 4 กับบัสที่ 7	0.978	1.025
ระหว่างบัสที่ 4 กับบัสที่ 9	0.969	0.900
ระหว่างบัสที่ 5 กับบัสที่ 6	0.932	1.041

ตารางที่ 6.22 ค่าเปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดของสายส่งในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส เมื่อใช้โปรแกรมการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของระบบเอช-ดีซี (EDAC-DC)

กำลังไฟฟ้าที่โพล์		ค่ากำลังไฟฟ้า ที่โพล์	ขีดจำกัด ของสายส่ง	เปอร์เซ็นต์กำลัง ไฟฟ้าที่โพล์
จากบัส	เข้าสู่บัส			
1	2	107.535 MVA	150 MVA	71.69%
1	5	66.600 MVA	100 MVA	66.60%
2	3	63.635 MVA	100 MVA	63.64%
2	4	39.907 MVA	65 MVA	61.40%
2	5	47.451 MVA	65 MVA	73.00%
4	3	32.813 MVA	65 MVA	50.48%
4	7	28.179 MVA	65 MVA	43.35%
4	9	17.779 MVA	65 MVA	27.35%
5	6	27.989 MVA	65 MVA	43.06%
6	11	10.760 MVA	32 MVA	33.63%
6	12	8.522 MVA	32 MVA	26.63%
6	13	20.508 MVA	65 MVA	31.55%
7	9	29.692 MVA	65 MVA	45.68%
8	7	4.592 MVA	32 MVA	14.35%
9	10	4.389 MVA	32 MVA	13.72%
9	14	8.424 MVA	32 MVA	26.33%
11	10	6.670 MVA	32 MVA	20.84%
12	13	2.116 MVA	32 MVA	6.61%
13	14	7.562 MVA	32 MVA	23.63%

ตารางที่ 6.23 ค่าเปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดของสายส่งในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส เมื่อใช้โปรแกรมการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC)

กำลังไฟฟ้าที่โพล์		ค่ากำลังไฟฟ้า ที่โพล์	ขีดจำกัด ของสายส่ง	เปอร์เซ็นต์กำลัง ไฟฟ้าที่โพล์
จากบัส	เข้าสู่บัส			
1	2	100.056 MVA	150 MVA	66.70%
1	5	61.793 MVA	100 MVA	61.79%
2	3	63.347 MVA	100 MVA	63.35%
2	4	36.781 MVA	65 MVA	56.59%
2	5	43.528 MVA	65 MVA	66.97%
4	3	33.408 MVA	65 MVA	51.40%
4	7	25.801 MVA	65 MVA	39.69%
4	9	27.995 MVA	65 MVA	43.07%
5	6	15.264 MVA	65 MVA	23.48%
6	11	10.967 MVA	32 MVA	34.27%
6	12	8.433 MVA	32 MVA	26.35%
6	13	20.400 MVA	65 MVA	31.38%
7	9	25.393 MVA	65 MVA	39.07%
8	7	0.000 MVA	32 MVA	0.00%
9	10	7.213 MVA	32 MVA	22.54%
9	14	9.073 MVA	32 MVA	28.35%
11	10	7.413 MVA	32 MVA	23.17%
12	13	2.027 MVA	32 MVA	6.33%
13	14	7.802 MVA	32 MVA	24.38%

ตารางที่ 6.24 ผลลัพธ์การทดสอบระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส

	EDAC-DC	OPFAC-DC
ต้นทุนการผลิตรวม ของระบบ	1132.20 (฿/hr)	1130.20 (฿/hr)
กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวม ของระบบ	8.581 MW	7.797 MW

**ตารางที่ 6.25** ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส เมื่อใช้โปรแกรมการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของระบบเอซี-ดีซี (EDAC-DC)

	Rectifier	Inverter
A.C. Bus	5	4
D.C. Voltage (p.u.)	1.472	1.470
Transformer tap (p.u.)	1.098	1.091
Control angles (deg.)	13	20
Overlap angles (deg.)	14.419	7.078
Power factor	0.931	0.915
DC Current (p.u.)	0.569	0.569
DC link power (MW)	83.803	83.695
Max. DC link power (MW)	150	150

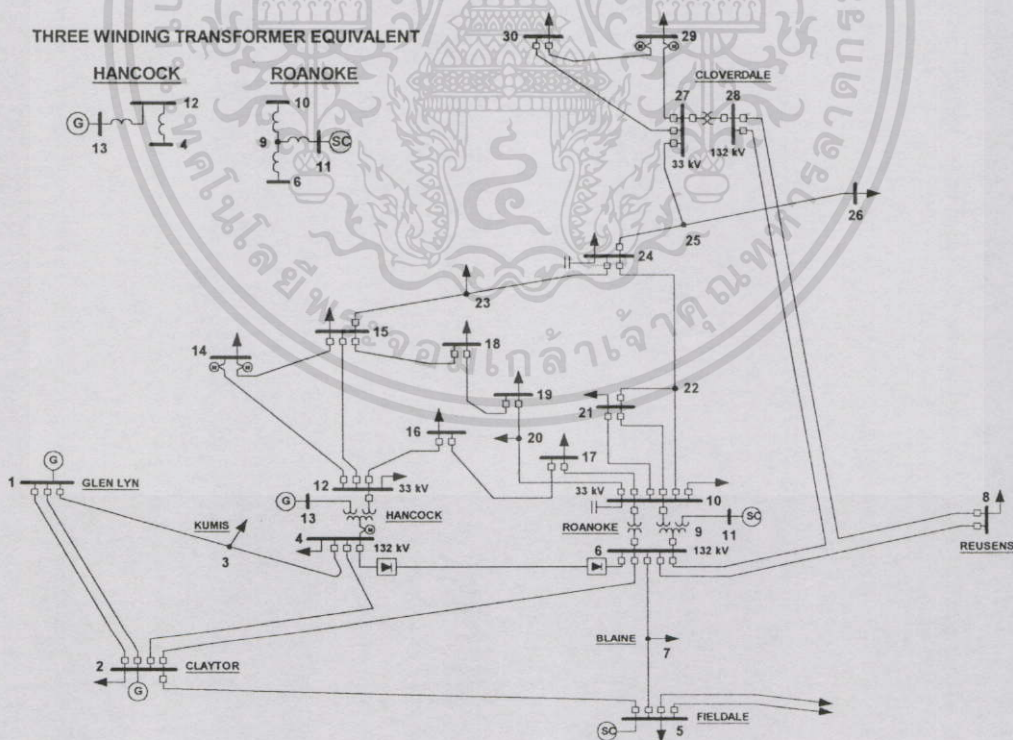
**ตารางที่ 6.26** ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส เมื่อใช้โปรแกรมการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC)

	Rectifier	Inverter
A.C. Bus	5	4
D.C. Voltage (p.u.)	1.472	1.470
Transformer tap (p.u.)	1.1	1.1
Control angles (deg.)	15.505	19.810
Overlap angles (deg.)	13.116	7.136
Power factor	0.921	0.916
DC Current (p.u.)	0.570	0.570
DC link power (MW)	83.853	83.744
Max. DC link power (MW)	150	150

จากการทดสอบโปรแกรมออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) เทียบกับโปรแกรมการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของระบบเอซี-ดีซี (EDAC-DC) พบว่าค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์, ค่าเทปของหม้อแปลงไฟฟ้า, ค่าเปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดของสายส่งและค่าผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากการคำนวณของทั้งสองโปรแกรมให้ค่าไม่เกินขีดจำกัดและค่าต้นทุนการผลิตรวมและค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมีค่าใกล้เคียงกัน

## 6.8 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ในระบบเอซี-ดีซีเมื่อทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส

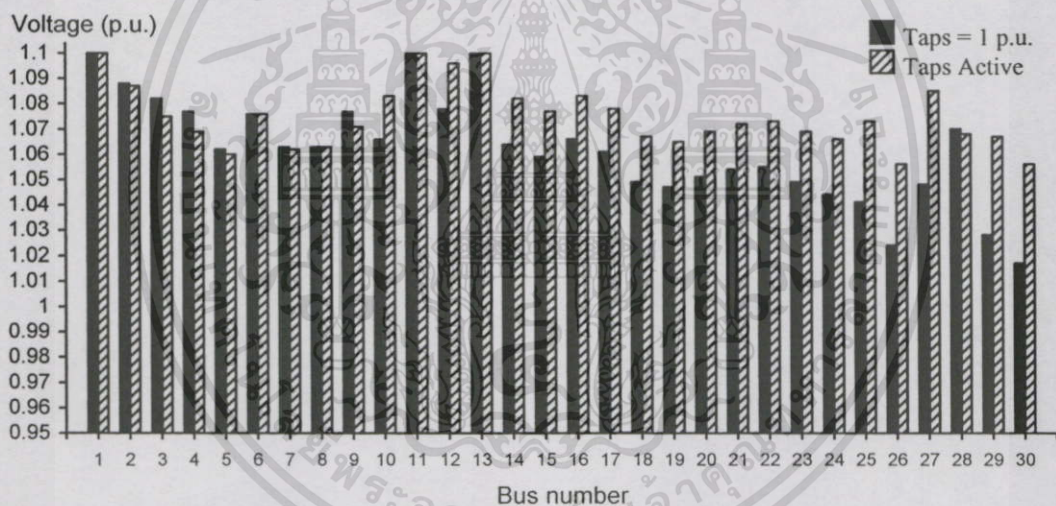
ในการวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ในระบบเอซี-ดีซีเมื่อทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส จะทำการวิเคราะห์กับระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6 ที่แสดงในรูปที่ 6.43 ซึ่งมีข้อมูลอยู่ในภาคผนวก ก. ตารางที่ ผ.6.9 ถึง ผ.6.13 และภาคผนวก ข. ตารางที่ ผ.6.15 ถึง ผ.6.16 โดยจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 6 หัวข้อ คือ การวิเคราะห์ผลของการปรับค่าแท่งของหม้อแปลงไฟฟ้าต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส, การวิเคราะห์ผลของตัวเก็บประจุต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส, การวิเคราะห์ผลของขิงโครนัสคอนเดนเซอร์ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส, การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส และการวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัสเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลง ดังนี้คือ



รูปที่ 6.43 ระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

### 6.8.1 การวิเคราะห์ผลของการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส

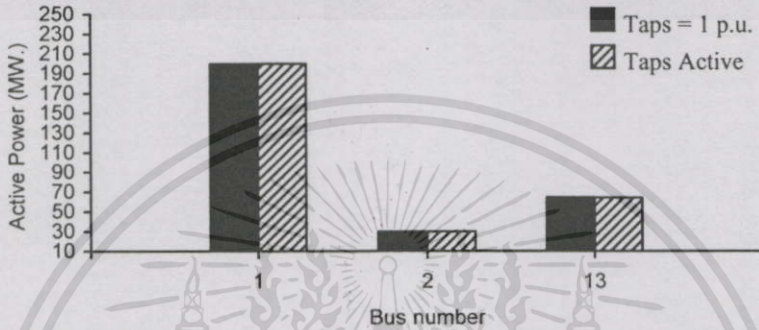
ในการวิเคราะห์ผลของการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส จะทำการวิเคราะห์ใน 2 สถานะของค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า คือ เมื่อค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าทุกตัวในระบบมีค่าแท็ปเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) และเมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าทุกตัวในระบบสามารถปรับค่าแท็ปได้ภายในขีดจำกัดที่กำหนด (Taps Active) โดยพิจารณาค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์, ค่าผลลัพธ์ของระบบ HVDC, ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ



รูปที่ 6.44 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

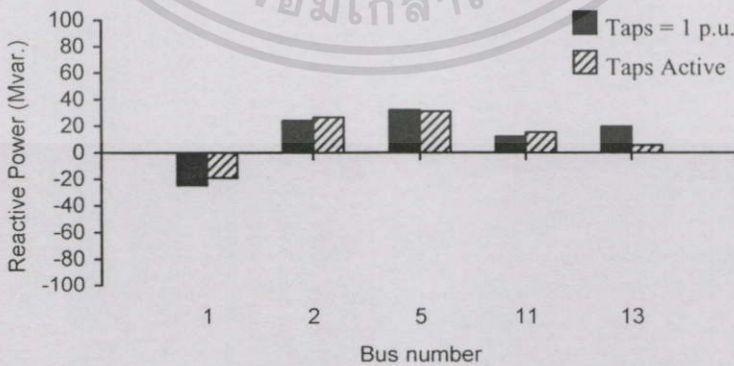
จากรูปที่ 6.44 พบว่าค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบจากสถานะของค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์มีการเปลี่ยนแปลง โดยที่บัส 4 และ 6 ซึ่งเป็นบัสด้านปรับแท็ปและบัสเชื่อมโยงระบบ HVDC ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) จะมีค่าน้อยกว่าเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) ทั้งนี้เนื่องจาก ต้องทำการควบคุมค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสจากค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของฟิลเตอร์ที่ติดตั้งที่บัส และที่บัส 9 ซึ่งเป็นบัสด้านไม่ปรับแท็ปค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการ

ปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) จะมีค่าน้อยกว่าเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) ส่วนบัสที่ 10, 12 และ 27 ซึ่งเป็นบัสด้านไม่ปรับแท็ปค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) จะมีค่ามากกว่าเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) โดยเฉพาะที่บัส 27 มีการเปลี่ยนแปลงมาก และที่บัส 28 ซึ่งเป็นบัสด้านปรับแท็ปค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) จะมีค่าน้อยกว่าเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.)



รูปที่ 6.45 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วย ระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

จากรูปที่ 6.45 พบว่าค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบจากการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลาร์เมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) และเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 6.46 ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์จากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

จากรูปที่ 6.46 พบว่าค่าการผิดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมจากการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์ เมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) จะมีค่ามากกว่าเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) และมีการเปลี่ยนแปลงมากในบัสที่ 13

**ตารางที่ 6.27** ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

	Rectifier		Inverter	
	Taps = 1 p.u.	Taps active	Taps = 1 p.u.	Taps active
A.C. Bus	4		6	
D.C. Voltage (p.u.)	1.347	1.492	1.345	1.490
Transformer tap (p.u.)	1	1.097	1	1.1
Control angles (deg.)	8.921	7	16	16
Overlap angles (deg.)	21.256	19.984	11.142	9.420
Power factor	0.926	0.942	0.926	0.932
D.C. Current (p.u.)	0.746	0.667	0.746	0.667
D.C. link power (MW)	100.465	99.550	100.299	99.417

จากตารางที่ 6.27 พบว่าการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) ให้ค่าแรงดันไฟตรงทั้งด้าน Rectifier และ ด้าน Inverter มีค่าน้อยกว่าเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) แต่ให้ค่ากระแสไฟตรงและค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่ามากกว่าเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active)

**ตารางที่ 6.28** ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

สถานะค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ	กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active)
ค่าแท็ปเท่ากับ 1 p.u.	10.960 MW	0.113 MW	1.042 %
มีการปรับค่าแท็ป	10.847 MW	-	-

จากตารางที่ 6.28 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบต่ำกว่าเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. ซึ่งการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบเพิ่มขึ้น 1.042 % จากเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ

ตารางที่ 6.29 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

สถานะค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ	ต้นทุนการผลิตรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active)
ค่าแท็ปเท่ากับ 1 p.u.	2941.21 (฿/hr)	1.07 (฿/hr)	0.036 %
มีการปรับค่าแท็ป	2940.14 (฿/hr)	-	-

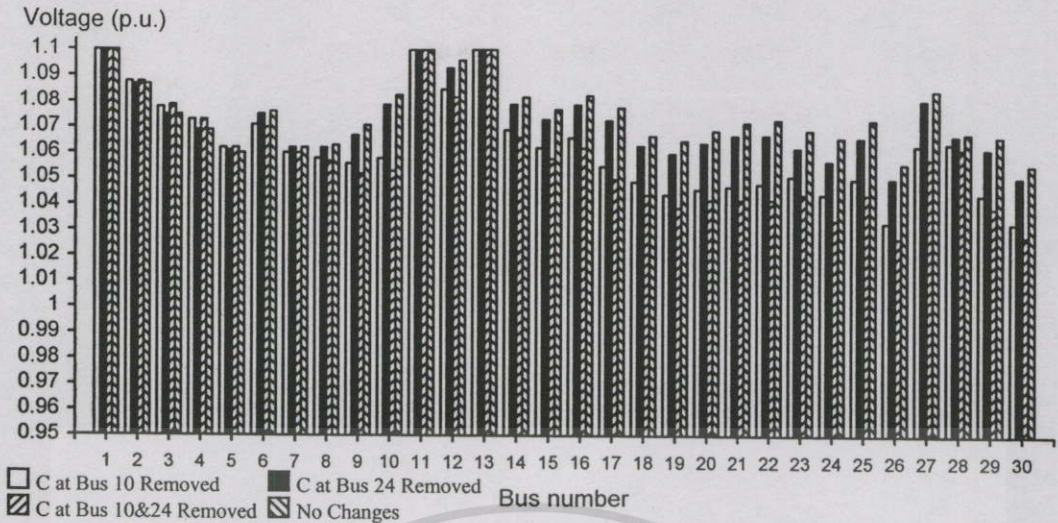
จากตารางที่ 6.29 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำกว่าเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. ซึ่งการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. ทำให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบเพิ่มขึ้น 0.036 % จากเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ

### 6.8.2 การวิเคราะห์ผลของตัวเก็บประจุต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส

ในการวิเคราะห์ผลของตัวเก็บประจุต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส จะทำการวิเคราะห์ใน 4 สถานะของตัวเก็บประจุ ดังนี้คือ

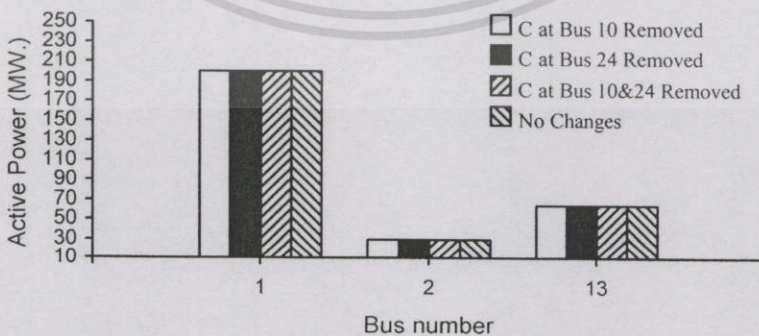
1. เมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10
2. เมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 24
3. เมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่ บัส 10&,24
4. เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง

โดยพิจารณาค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส,ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า,ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์, ค่าผลลัพธ์ของระบบ HVDC, กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ

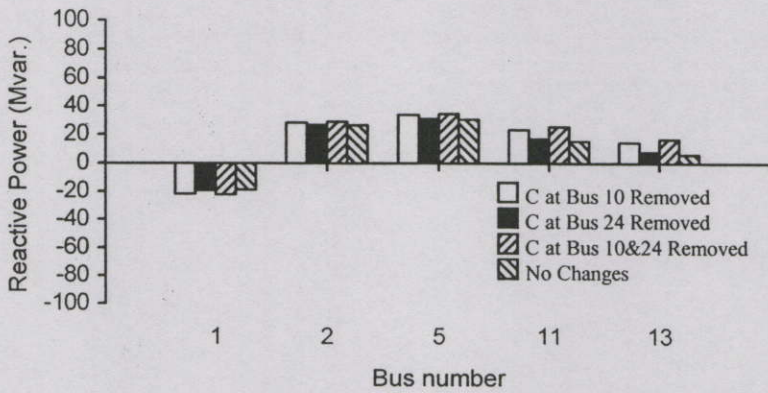


รูปที่ 6.47 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

จากรูปที่ 6.47 พบว่าค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบจากสถานะของตัวเก็บประจุในการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์มีการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะเมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10&24 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบโดยรวมจะมีค่าลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุอีก 3 สถานะ และเมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบโดยรวมจะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับอีก 2 สถานะของตัวเก็บประจุที่เหลือ ซึ่งจะเห็นได้ว่าขนาดของตัวเก็บประจุมีผลต่อค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบ นั่นคือขนาดของตัวเก็บประจุที่บัส 10 มีค่ามากกว่าที่บัส 24 และเมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบโดยรวมจะมีค่ามากที่สุด เมื่อเทียบกับทุกสถานะของตัวเก็บประจุ



รูปที่ 6.48 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6



**รูปที่ 6.49** ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ จากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

จากรูปที่ 6.48 และ 6.49 พบว่าค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงและรีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมจากการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลาร์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงมีค่าน้อยที่สุดและเมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10&24 มีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ

**ตารางที่ 6.30** ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Rectifier จากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

	Rectifier			
	ไม่มีตัวเก็บประจุ			ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
	บัส 10	บัส 24	บัส 10 และ 24	
AC Bus	4			
D.C. Voltage (p.u.)	1.486	1.491	1.485	1.492
Transformer tap (p.u.)	1.089	1.096	1.087	1.097
Control angles (deg.)	7	7	7	7
Overlap angles (deg.)	19.916	19.971	19.900	19.984
Power factor	0.942	0.942	0.942	0.942
D.C. Current (p.u.)	0.661	0.666	0.660	0.667
D.C. link power (MW)	98.215	99.311	97.931	99.550

จากตารางที่ 6.30 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงด้าน Rectifier ให้ค่าแรงดันไฟตรง, กระแสไฟตรง และค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10 และ 24 ให้ค่าแรงดันไฟตรง, กระแสไฟตรง และค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ และจะเห็นได้ว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในทุกสถานะของตัวเก็บประจุให้ค่า Control angles และ ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์มีค่าเท่ากัน

**ตารางที่ 6.31** ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Inverter จากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับ โหนดบัสที่ 6

	Inverter			ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
	ไม่มีตัวเก็บประจุ			
	บัส 10	บัส 24	บัส 10 และ 24	
AC Bus	6			
D.C. Voltage (p.u.)	1.484	1.489	1.483	1.490
Transformer tap (p.u.)	1.1	1.1	1.1	1.1
Control angles (deg.)	16	16	16	16
Overlap angles (deg.)	9.378	9.412	9.368	9.420
Power factor	0.932	0.932	0.932	0.932
D.C. Current (p.u.)	0.661	0.666	0.660	0.667
D.C. link power (MW)	98.084	99.179	97.801	99.417

จากตารางที่ 6.30 และ 6.31 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงด้าน Inverter ให้ค่าแรงดันไฟตรง, กระแสไฟตรง และค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10 และ 24 ให้ค่าแรงดันไฟตรง, กระแสไฟตรง และค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ และจะเห็นได้ว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในทุกสถานะของตัวเก็บประจุให้ค่าแท็ปของหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์และ Control angles มีค่าเท่ากัน

ตารางที่ 6.32 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

สถานะของตัวเก็บประจุ	กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10	10.945 MW	0.098 MW	0.903 %
ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 24	10.914 MW	0.067 MW	0.618 %
ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10 และ 24	11.031 MW	0.184 MW	1.696 %
ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	10.847 MW	-	-

ตารางที่ 6.33 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

สถานะของตัวเก็บประจุ	ต้นทุนการผลิตรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10	2941.07 (฿/hr)	0.93 (฿/hr)	0.032 %
ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 24	2940.77 (฿/hr)	0.63 (฿/hr)	0.021 %
ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10 และ 24	2941.88 (฿/hr)	1.74 (฿/hr)	0.059 %
ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	2940.14 (฿/hr)	-	-

จากตารางที่ 6.32 และ 6.33 พบว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ และการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่

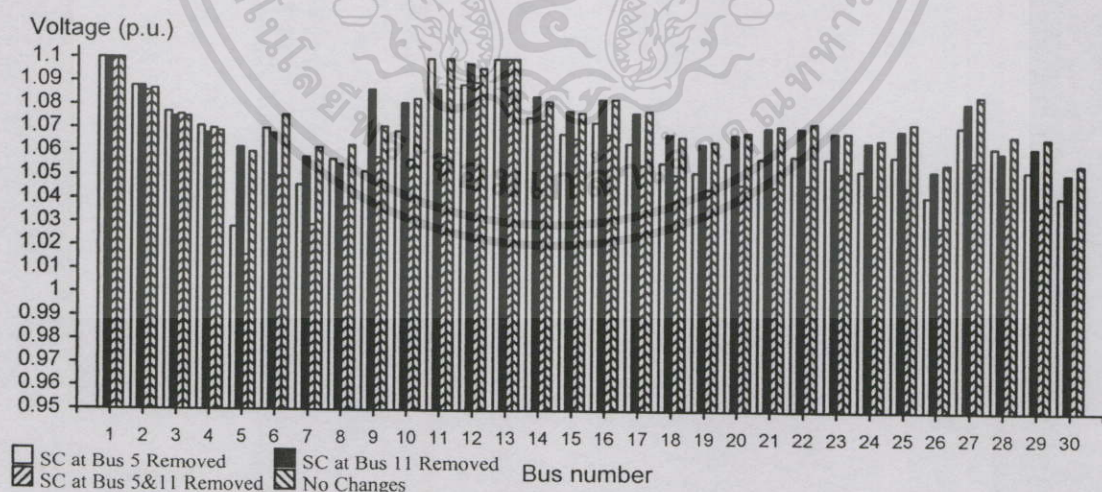
บัส 10 และ 24 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ และมีค่าเพิ่มขึ้น 1.696 % และ 0.059 % ตามลำดับจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อระบบมีขนาดของตัวเก็บประจุมากขึ้นจะส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าน้อยลง

### 6.8.3 การวิเคราะห์ผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ต่อการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลาร์ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส

ในการวิเคราะห์ผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ต่อการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลาร์ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส จะทำการวิเคราะห์ใน 4 สถานะของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ ดังนี้คือ

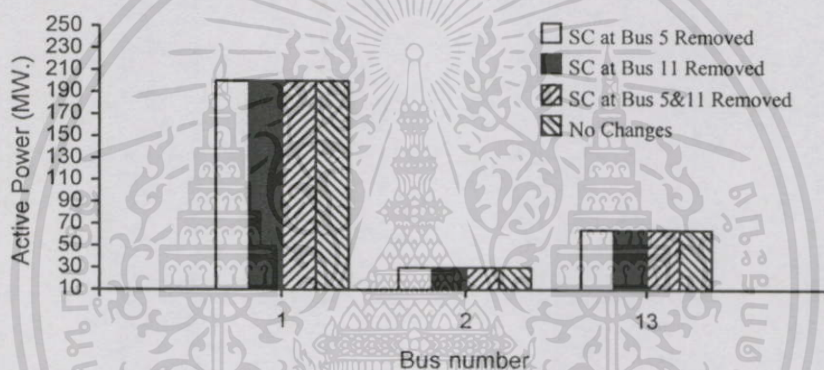
1. เมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5
2. เมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 11
3. เมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5&11
4. เมื่อในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง

โดยพิจารณาค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์, ค่าผลลัพธ์ของระบบ HVDC, กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ

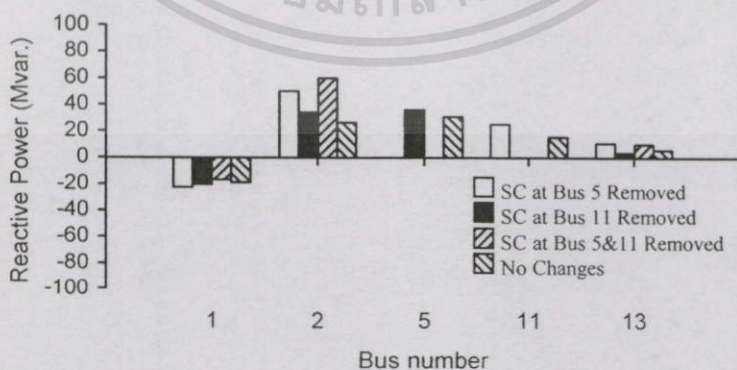


รูปที่ 6.50 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

จากรูปที่ 6.50 พบว่าค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบจากสถานะซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์มีการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะเมื่อไม่มีสถานะซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5&11 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบโดยรวมจะมีค่าลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์อีก 3 สถานะ และเมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 11 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส 2, 5, 9, 12, 14 และ 15 จะมีค่ามากกว่าเมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง และเมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส 2, 3 และ 4 จะมีค่ามากกว่าเมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัสใดค่าของขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัสนั้นจะมีค่าลดลงจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยเมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5&11 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสมีค่าลดลงมากที่สุด



รูปที่ 6.51 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6



รูปที่ 6.52 ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์จากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

จากรูปที่ 6.51 พบว่าค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบโดยรวมจากการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเวนเซอร์ในอีก 3 สถานะ และเมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเวนเซอร์ที่บัส 5&11 มีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเวนเซอร์ในอีก 3 สถานะ และจากรูปที่ 6.52 พบว่าค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเวนเซอร์ในระบบโดยรวมจากการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเวนเซอร์ที่บัส 11 มีค่าน้อยที่สุดและเมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเวนเซอร์ที่บัส 5 มีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเวนเซอร์ในอีก 3 สถานะ

ตารางที่ 6.34 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Rectifier จากผลของซิงโครนัสคอนเวนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

	Rectifier			ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
	ไม่มีซิงโครนัสคอนเวนเซอร์			
	บัส 5	บัส 11	บัส 5 และ 11	
AC Bus	4			
D.C. Voltage (p.u.)	1.484	1.482	1.458	1.492
Transformer tap (p.u.)	1.089	1.090	1.069	1.097
Control angles (deg.)	7	7	7	7
Overlap angles (deg.)	20.066	19.694	19.407	19.984
Power factor	0.942	0.943	0.944	0.942
D.C. Current (p.u.)	0.668	0.647	0.622	0.667
D.C. link power (MW)	99.165	95.962	90.623	99.550

จากตารางที่ 6.34 พบว่าที่ด้าน Rectifier การทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงให้ค่าแรงดันไฟตรงและค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเวนเซอร์ในอีก 3 สถานะ และเมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเวนเซอร์ที่บัส 5 ให้ค่ากระแสไฟตรงมีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเวนเซอร์ในอีก 3 สถานะ ส่วนการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเวนเซอร์ที่บัส 5 และ 11 ให้ค่าแรงดันไฟตรง, กระแสไฟตรง และค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเวนเซอร์ในอีก 3 สถานะ และจะเห็น

ได้ว่าจากการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ในทุกสถานะของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ให้ค่า Control angles มีค่าเท่ากัน

ตารางที่ 6.35 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Inverter จากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับ โหนดบัสที่ 6

	Inverter			
	ไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์			ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
	บัส 5	บัส 11	บัส 5 และ 11	
AC Bus	6			
D.C. Voltage (p.u.)	1.482	1.480	1.456	1.490
Transformer tap (p.u.)	1.1	1.1	1.1	1.1
Control angles (deg.)	16	16	16	16
Overlap angles (deg.)	9.471	9.241	9.064	9.420
Power factor	0.932	0.933	0.934	0.932
D.C. Current (p.u.)	0.668	0.647	0.622	0.667
D.C. link power (MW)	99.032	95.837	90.508	99.417

จากตารางที่ 6.35 พบว่าที่ด้าน Inverter จากการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงให้ค่าแรงดันไฟตรงและค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในอีก 3 สถานะ และเมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5 ให้ค่ากระแสไฟตรงมีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในอีก 3 สถานะ ส่วนการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5 และ 11 ให้ค่าแรงดันไฟตรง, กระแสไฟตรง และค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในอีก 3 สถานะ และจะเห็นได้ว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ในทุกสถานะของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ให้ค่าเทปของหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์และ Control angles มีค่าเท่ากัน

ตารางที่ 6.36 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์  
ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC  
ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

สถานะของ ซิงโครนัส คอนเดนเซอร์	กำลังไฟฟ้าจริง สูญเสียรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจากการ ที่ระบบไม่มีการ เปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก การที่ระบบไม่มีการ เปลี่ยนแปลง
ไม่มีซิงโครนัส คอนเดนเซอร์ที่บัส 5	11.136 MW	0.289 MW	2.664 %
ไม่มีซิงโครนัส คอนเดนเซอร์ที่บัส 11	10.906 MW	0.059 MW	0.544 %
ไม่มีซิงโครนัส คอนเดนเซอร์ ที่บัส 5 และ 11	11.378 MW	0.531 MW	4.895 %
ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	10.847 MW	-	-

ตารางที่ 6.37 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบ  
ปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนด  
บัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

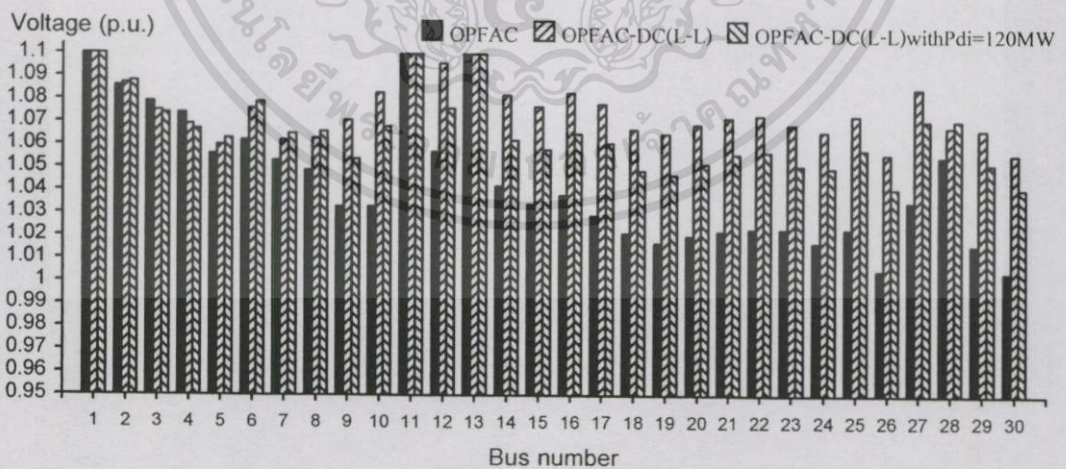
สถานะของ ซิงโครนัส คอนเดนเซอร์	ต้นทุน การผลิตรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจากการ ที่ระบบไม่มีการ เปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก การที่ระบบไม่มีการ เปลี่ยนแปลง
ไม่มีซิงโครนัส คอนเดนเซอร์ที่บัส 5	2942.89 (฿/hr)	2.75 (฿/hr)	0.094 %
ไม่มีซิงโครนัส คอนเดนเซอร์ที่บัส 11	2940.69 (฿/hr)	0.55 (฿/hr)	0.019 %
ไม่มีซิงโครนัส คอนเดนเซอร์ ที่บัส 5 และ 11	2945.18 (฿/hr)	5.04 (฿/hr)	0.171 %
ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	2940.14 (฿/hr)	-	-

จากตารางที่ 6.36 และ 6.37 พบว่าการทำออปติมิซัลเพาเวอร์โพล์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง

แปลงให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในอีก 3 สถานะ และการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5 และ 11 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในอีก 3 สถานะ และมีค่าเพิ่มขึ้น 4.895 % และ 0.171 % ตามลำดับจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง

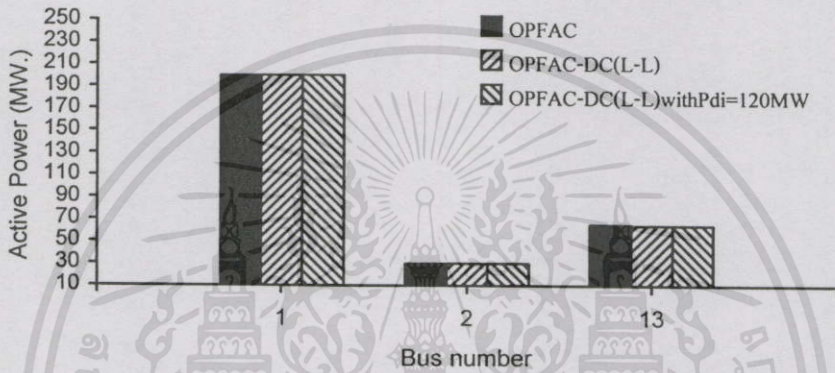
#### 6.8.4 การวิเคราะห์การทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส

ในการวิเคราะห์การทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส ซึ่งกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงด้านอินเวอร์เตอร์ เท่ากับ 120 MW (OPFAC-DC(L-L) with Pdi=120MW) โดยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับอีก 2 ระบบ คือ ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (OPFAC), ระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัสเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(L-L)) โดยพิจารณาค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์, ค่าผลลัพท์ของระบบ HVDC, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบ, ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ

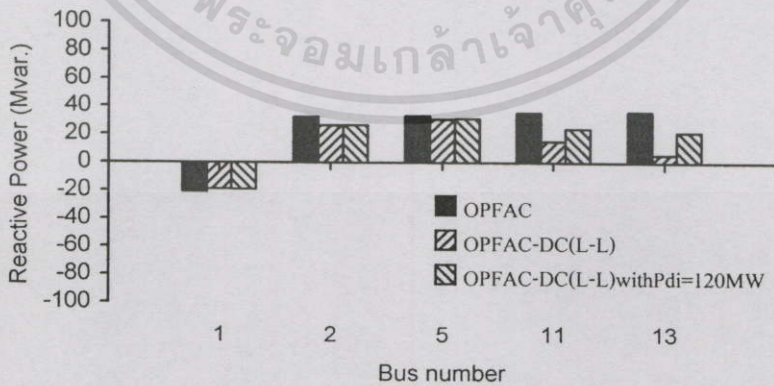


รูปที่ 6.53 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

จากรูปที่ 6.53 พบว่าการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC(L-L) และ OPFAC-DC(L-L) with Pdi=120MW) ให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี (OPFAC) ยกเว้นบัสที่ 3 และ 4 เนื่องจากพฤติกรรมของระบบ HVDC ที่เปรียบเสมือนเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟให้กับระบบจากฟิลเตอร์ที่ติดตั้งที่บัส และเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(L-L) with Pdi=120MW) ทำให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(L-L)) ยกเว้นบัส 2, 5 ถึง 8 และ 28



รูปที่ 6.54 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6



รูปที่ 6.55 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์จากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

จากรูปที่ 6.54 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในทุกระบบให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 และ 2 มีค่าเท่ากัน แต่ที่บัส 13 การทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซี (OPFAC-DC(L-L) และ OPFAC-DC(L-L) with Pdi=120MW) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช (OPFAC) และเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(L-L) with Pdi=120MW) ทำให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่ามากกว่าเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(L-L)) และจากรูปที่ 6.55 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซี (OPFAC-DC(L-L) และ OPFAC-DC(L-L) with Pdi=120MW) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมมีค่าน้อยกว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช (OPFAC) เนื่องจากพฤติกรรมของระบบ HVDC ที่เปรียบเสมือนเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟารีแอกทีฟให้กับระบบจากฟิลเตอร์ที่ติดตั้งที่บัส และเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(L-L) with Pdi=120MW) ทำให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมมีค่ามากกว่าเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(L-L)) และจะเห็นว่าที่บัส 13 ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงมาก

ตารางที่ 6.38 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

	Rectifier		Inverter	
	OPFAC-DC (L-L)	OPFAC-DC (L-L) withPdi=120MW	OPFAC-DC (L-L)	OPFAC-DC (L-L) withPdi=120MW
AC Bus	4		6	
D.C. Voltage (p.u.)	1.492	1.475	1.490	1.473
Transformer tap (p.u.)	1.097	1.1	1.1	1.092
Control angles (deg.)	7	7	16	16
Overlap angles (deg.)	19.984	22.675	9.420	11.119
Power factor	0.942	0.931	0.932	0.926
D.C. Current (p.u.)	0.667	0.815	0.667	0.815
D.C. link power (MW)	99.550	120.198	99.417	120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 6.38 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(L-L)) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่าน้อยกว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(L-L) with Pdi=120MW) และจะเห็นว่าเมื่อมีและไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ให้ค่า Control angles ทั้งด้าน Rectifier และ Inverter มีค่าเท่ากัน

**ตารางที่ 6.39** ผลลัพธ์ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

	การผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจาก OPFAC-DC (L-L)	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก OPFAC-DC (L-L)
OPFAC	295.313 MW	1.066 MW	0.362 %
OPFAC-DC(L-L) WithPdi=120MW	294.452 MW	0.205 MW	0.070 %
OPFAC-DC(L-L)	294.247 MW	-	-

จากตารางที่ 6.39 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีทั้งเมื่อมีและไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(L-L) และ OPFAC-DC(L-L) with Pdi=120MW) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบน้อยกว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี (OPFAC) และเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(L-L) with Pdi=120MW) ทำให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบมีค่ามากกว่าเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(L-L)) สำหรับการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี (OPFAC) และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(L-L) with Pdi=120MW) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบเพิ่มขึ้นจากการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(L-L)) คิดเป็น 0.362 % และ 0.070 % ตามลำดับ

ตารางที่ 6.40 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

	กำลังไฟฟ้าจริง สูญเสียรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจาก OPFAC-DC (L-L)	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก OPFAC-DC (L-L)
OPFAC	11.913 MW	1.066 MW	9.828 %
OPFAC-DC(L-L) WithPdi=120MW	11.052 MW	0.205 MW	1.890 %
OPFAC-DC(L-L)	10.847 MW	-	-

จากตารางที่ 6.40 พบว่าการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC(L-L) และ OPFAC-DC(L-L) with Pdi=120MW) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบน้อยกว่าการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี (OPFAC) และเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(L-L) with Pdi=120MW) ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมีค่ามากกว่าเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(L-L)) สำหรับการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี (OPFAC) และการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(L-L) with Pdi=120MW) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบเพิ่มขึ้นจากการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(L-L)) คิดเป็น 9.828 % และ 1.890 % ตามลำดับ

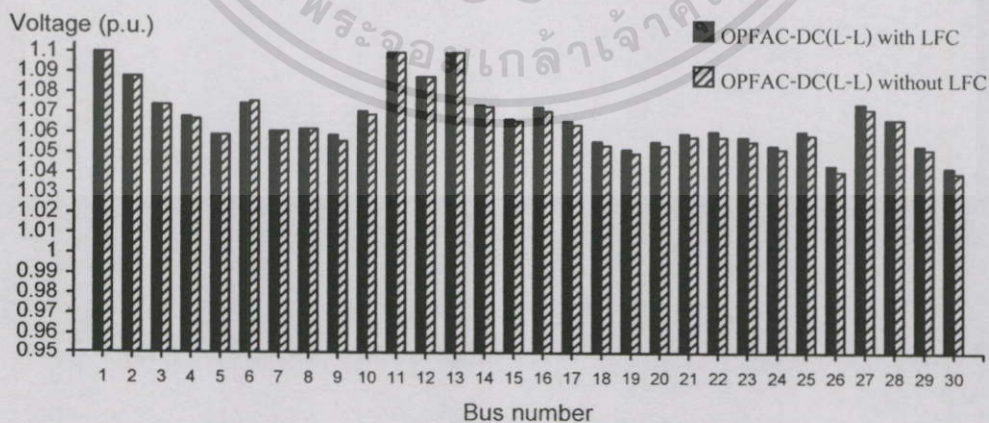
ตารางที่ 6.41 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

	ต้นทุน การผลิตรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจาก OPFAC-DC (L-L)	เปอร์เซ็นต์แตกต่าง OPFAC-DC (L-L)
OPFAC	2950.28 (฿/hr)	10.14 (฿/hr)	0.345 %
OPFAC-DC(L-L) WithPdi=120MW	2942.08 (฿/hr)	1.94 (฿/hr)	0.066 %
OPFAC-DC(L-L)	2940.14 (฿/hr)	-	-

จากตารางที่ 6.41 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC(L-L) และ OPFAC-DC(L-L) with Pdi=120MW) ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบน้อยกว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี (OPFAC) และเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(L-L) with Pdi=120MW) ทำให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่ามากกว่าเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(L-L)) สำหรับการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี (OPFAC) และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(L-L) with Pdi=120MW) ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบเพิ่มขึ้นจากการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(L-L)) คิดเป็น 0.345 % และ 0.066 % ตามลำดับ

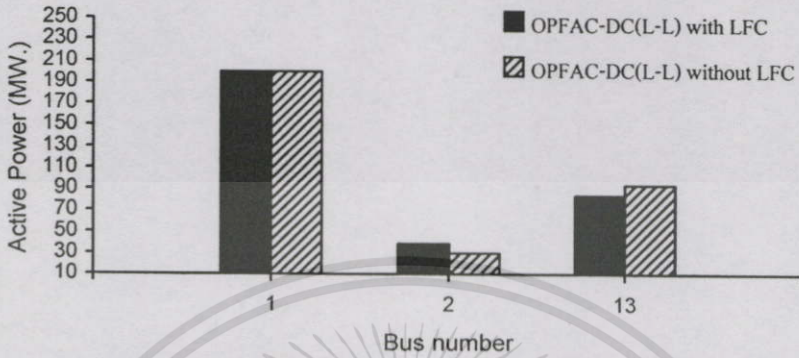
#### 6.8.5 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสกับโหลดบัสโดยรวมเพิ่มขึ้น

ในการวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสกับโหลดบัสเปลี่ยนแปลง จะทำการวิเคราะห์เมื่อโหลดในระบบมีค่าเพิ่มขึ้นใน 2 เงื่อนไข คือ เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) with LFC) และเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) without LFC) ซึ่งมีข้อมูลอยู่ในภาคผนวก ค. และในตารางที่ ผ.6.20 ถึง ผ.6.23 โดยพิจารณาค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์, ค่าผลลัพธ์ของระบบ HVDC, ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ



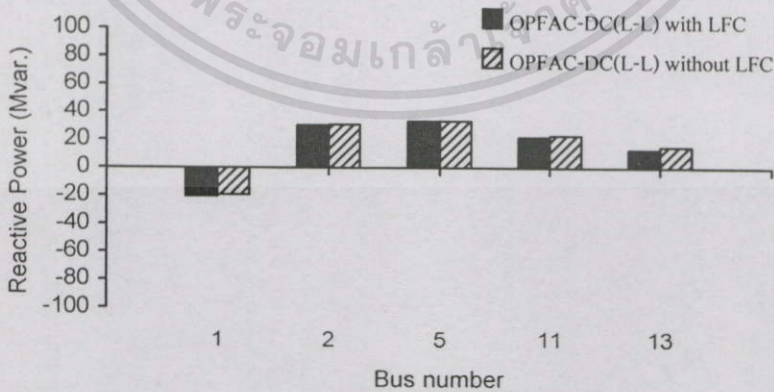
รูปที่ 6.56 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสที่ 4 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 6.56 พบว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลาร์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีคววนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) with LFC) ให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบมีค่าใกล้เคียงกับเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีคววนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) without LFC)



รูปที่ 6.57 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับ โหนดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 6.57 พบว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลาร์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีคววนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) with LFC) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบโดยรวมมีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีคววนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) without LFC) และให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 13 เท่ากับขีดจำกัดการผลิตสูงสุด



รูปที่ 6.58 ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.58 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) with LFC) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมมีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) without LFC)

ตารางที่ 6.42 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสที่ 4 กับโหลดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น

	Rectifier		Inverter	
	OPFAC-DC (L-L) with LFC	OPFAC-DC (L-L) without LFC	OPFAC-DC (L-L) with LFC	OPFAC-DC (L-L) without LFC
AC Bus	4		6	
D.C. Voltage (p.u.)	1.486	1.483	1.484	1.481
Transformer tap (p.u.)	1.1	1.1	1.1	1.098
Control angles (deg.)	7	7	16	16
Overlap angles (deg.)	21.232	21.579	10.2	10.419
Power factor	0.937	0.935	0.929	0.928
D.C. Current (p.u.)	0.737	0.754	0.737	0.754
D.C. link power (MW)	109.474	111.754	109.312	111.584

จากตารางที่ 6.42 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) with LFC) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) without LFC) และจะเห็นได้ว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อคิดผลและไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรลให้ค่า Control angles ทั้งด้าน Rectifier และ Inverter มีค่าเท่ากัน และให้ค่าเท็ปของหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ที่ด้าน Rectifier มีค่าเท่ากัน

ตารางที่ 6.43 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสที่ 4 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น

	กำลังไฟฟ้าจริง สูญเสียรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจากการ ที่โหลดในระบบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก การที่โหลดในระบบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC-DC(L-L)	10.847 MW	-	-
OPFAC-DC(L-L) with LFC	12.138 MW	1.291 MW	11.902 %
OPFAC-DC(L-L) without LFC	12.157 MW	1.310 MW	12.077 %

จากตารางที่ 6.43 พบว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) with LFC) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมีค่าต่ำกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) without LFC) และคิดเป็น 11.902 % ที่เพิ่มขึ้นจากเมื่อโหลดในระบบยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง

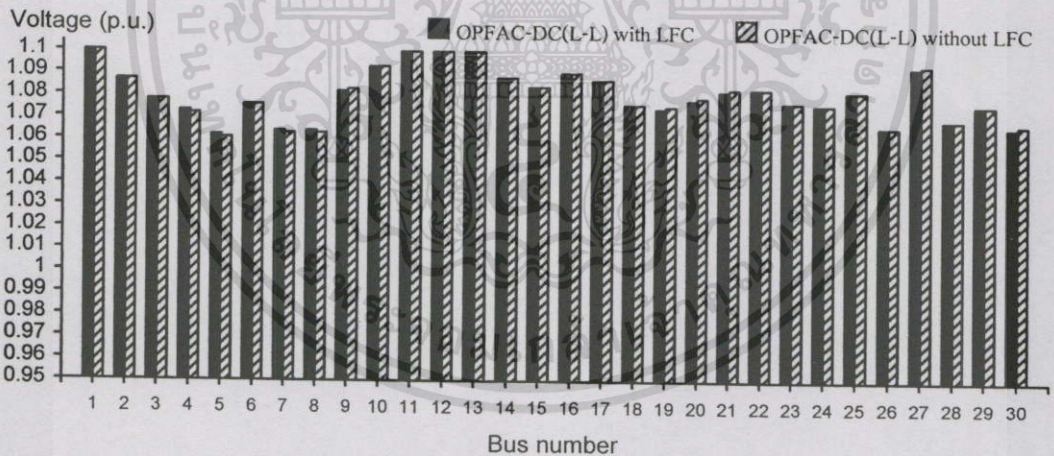
ตารางที่ 6.44 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนรวมการผลิตรวมของระบบจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสที่ 4 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น

สถานะค่าแท็บของ หม้อแปลงไฟฟ้า ในระบบ	ต้นทุน การผลิตรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจากการ ที่โหลดในระบบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก การที่โหลดในระบบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC-DC(L-L)	2940.14 (฿/hr)	-	-
OPFAC-DC(L-L) with LFC	3224.83 (฿/hr)	284.69 (฿/hr)	9.683 %
OPFAC-DC(L-L) without LFC	3225.74 (฿/hr)	285.60 (฿/hr)	9.714 %

จากตารางที่ 6.44 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ว่เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) with LFC) ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าต่ำกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) without LFC) และคิดเป็น 9.683 % ที่เพิ่มขึ้นจากเมื่อโหลดในระบบยังไม่มีเปลี่ยนแปลง

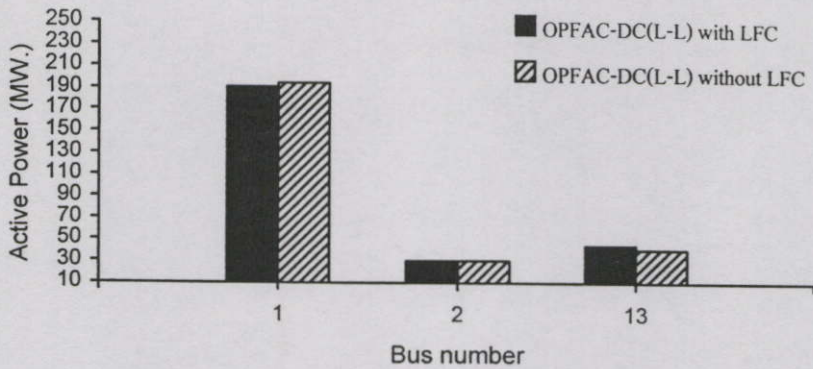
### 6.8.6 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ว่เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสกับโหลดบัสโดยรวมลดลง

ในการวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ว่เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสกับโหลดบัสเปลี่ยนแปลง จะทำการวิเคราะห์เมื่อโหลดในระบบมีค่าลดลงใน 2 เงื่อนไข คือ เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) with LFC) และเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) without LFC) ซึ่งมีข้อมูลอยู่ในภาคผนวก ค. และในตารางที่ ผ.6.20, ผ.6.26 ถึง ผ.6.28 โดยพิจารณาค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์, ค่าผลลัพธ์ของระบบ HVDC, ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ



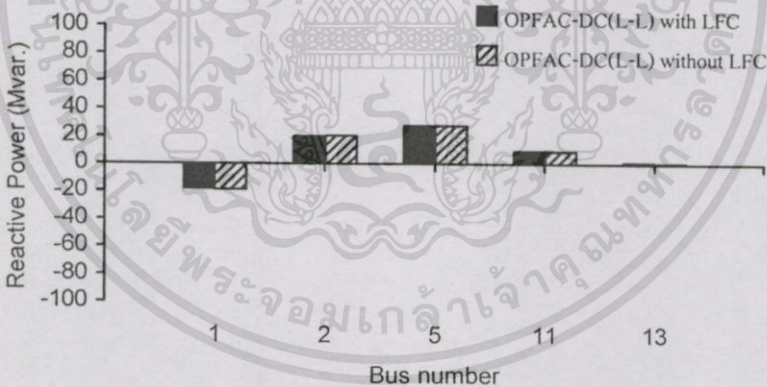
รูปที่ 6.59 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสที่ 4 กับโหลดบัสที่ 6 โดยรวมลดลง

จากรูปที่ 6.59 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ว่เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) with LFC) ให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบมีค่าใกล้เคียงกับเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) without LFC)



รูปที่ 6.60 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับ โหนดบัสที่ 6 โดยรวมลดลง

จากรูปที่ 6.60 พบว่าการทำออปติมิซัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีควอนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) with LFC) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบโดยรวมมีค่ามากกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีควอนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) without LFC) และให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 13 เท่ากับขีดจำกัดการผลิตต่ำสุด



รูปที่ 6.61 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับ โหนดบัสที่ 6 โดยรวมลดลง

จากรูปที่ 6.61 พบว่าการทำออปติมิซัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีควอนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) with LFC) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมมีค่ามากกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีควอนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) without LFC)

ตารางที่ 6.45 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับ โหนดบัสที่ 6 โดยรวมตลอด

	Rectifier		Inverter	
	OPFAC-DC (L-L) with LFC	OPFAC-DC (L-L) without LFC	OPFAC-DC (L-L) with LFC	OPFAC-DC (L-L) without LFC
AC Bus	4		6	
D.C. Voltage (p.u.)	1.497	1.497	1.496	1.495
Transformer tap (p.u.)	1.091	1.091	1.1	1.1
Control angles (deg.)	7	7	16	16
Overlap angles (deg.)	18.612	18.465	8.579	8.490
Power factor	0.947	0.948	0.935	0.936
D.C. Current (p.u.)	0.595	0.589	0.595	0.589
D.C. link power (MW)	89.125	88.132	89.019	88.029

จากตารางที่ 6.45 พบว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โฟลว์เมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) without LFC) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่าน้อยกว่าเมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) with LFC)

ตารางที่ 6.46 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของ โหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับ โหนดบัสที่ 6 โดยรวมตลอด

	กำลังไฟฟ้าจริง สูญเสียรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจากการ ที่โหลดในระบบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก การที่โหลดในระบบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC-DC(L-L)	10.847 MW	-	-
OPFAC-DC(L-L) with LFC	9.398 MW	-1.449 MW	-13.359 %
OPFAC-DC(L-L) without LFC	9.575 MW	-1.272 MW	-11.727 %

จากตารางที่ 6.46 พบว่าการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) with LFC) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมีค่าต่ำกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) without LFC) และคิดเป็น 13.359 % ที่ลดลงจากเมื่อโหลดในระบบยังไม่มีเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 6.47 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนรวมการผลิตรวมของระบบจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสที่ 4 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมลดลง

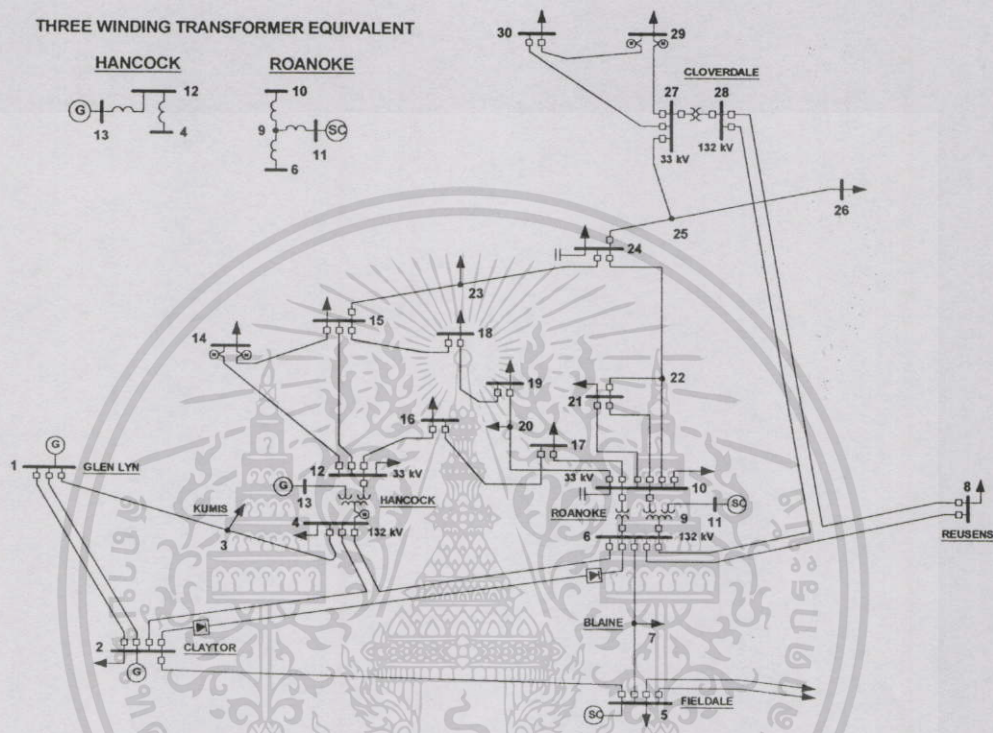
สถานะค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ	ต้นทุนการผลิตรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่โหลดในระบบไม่มีเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่โหลดในระบบไม่มีเปลี่ยนแปลง
OPFAC-DC(L-L)	2940.14 (฿/hr)	-	-
OPFAC-DC(L-L) with LFC	2670.67 (฿/hr)	-269.47 (฿/hr)	-9.165 %
OPFAC-DC(L-L) without LFC	2664.91 (฿/hr)	-275.23 (฿/hr)	-9.361 %

จากตารางที่ 6.47 พบว่าการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) without LFC) ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าต่ำกว่าเมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(L-L) with LFC) และคิดเป็น 9.361 % ที่ลดลงจากเมื่อโหลดในระบบยังไม่มีเปลี่ยนแปลง

## 6.9 การวิเคราะห์การทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์ในระบบเอช-ดีซีเมื่อทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหลดบัส

ในการวิเคราะห์การทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์ในระบบเอช-ดีซีเมื่อทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหลดบัส จะทำการวิเคราะห์กับระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหลดบัสที่ 6 ที่แสดงในรูปแบบที่ 6.62 ซึ่งมีข้อมูลอยู่ในภาคผนวก ก. ตารางที่ ผ.6.9 ถึง ผ.6.13 และภาคผนวก ข. ตารางที่ ผ.6.15 และผ.6.17 โดยจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 6 หัวข้อ คือ การวิเคราะห์ผลของการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าต่อการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์ในระบบเอช-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหลดบัส, การวิเคราะห์ผลของตัวเก็บประจุต่อการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์ในระบบเอช-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหลดบัส, การวิเคราะห์ผลของซิงโคร

นักคอนเวนเซอร์ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัส, การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์เมื่อกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัส และการวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์เนื่องจากโหนดในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัสเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลง ดังนี้คือ

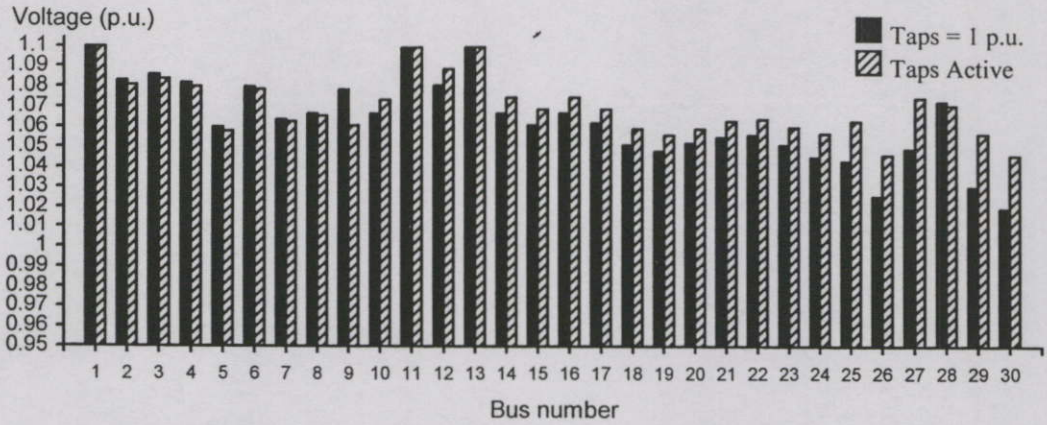


รูปที่ 6.62 ระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหนดบัสที่ 6

### 6.9.1 การวิเคราะห์ผลของการปรับค่าแท็บของหม้อแปลงไฟฟ้าต่อการทำออปติมัลเพา

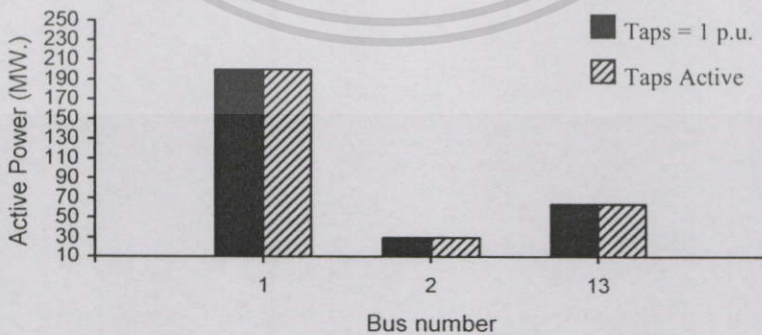
เวอร์โฟลว์ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัส

ในการวิเคราะห์ผลของการปรับค่าแท็บของหม้อแปลงไฟฟ้าต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัส จะทำการวิเคราะห์ใน 2 สถานะของค่าแท็บของหม้อแปลงไฟฟ้า คือ เมื่อค่าแท็บของหม้อแปลงไฟฟ้าทุกตัวในระบบมีค่าแท็บเท่ากับ 1 และเมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าทุกตัวในระบบสามารถปรับค่าแท็บได้ภายในขีดจำกัดที่กำหนด โดยพิจารณาค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเวนเซอร์, ค่าผลลัพธ์ของระบบ HVDC, ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ



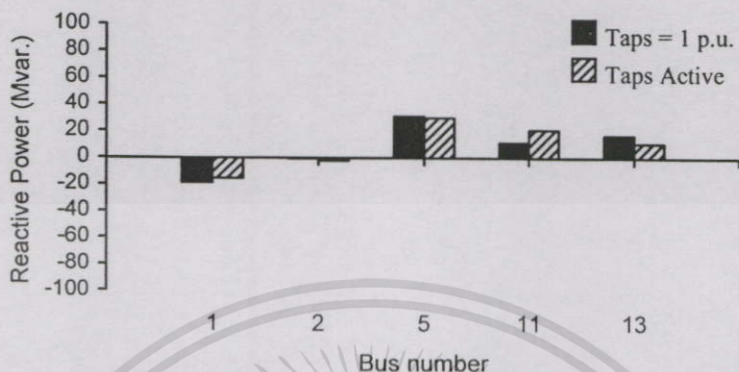
**รูปที่ 6.63** ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6

จากรูปที่ 6.63 พบว่าค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบจากสถานะของค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โฟลว์มีการเปลี่ยนแปลง โดยที่บัส 2 และ 6 ซึ่งเป็นบัสด้านปรับแท็ปและบัสเชื่อมโยงระบบ HVDC ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) จะมีค่าน้อยกว่าเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) ทั้งนี้เนื่องจาก ต้องทำการควบคุมค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสจากค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของฟิลเตอร์ที่ติดตั้งที่บัส และที่บัส 4, 28 (ด้านปรับแท็ป) และ บัส 9 (ด้าน ไม่ปรับแท็ป) ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active)จะมีค่าน้อยกว่าเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) โดยที่บัส 9 มีการเปลี่ยนแปลงมาก ส่วนบัสที่ 10, 12 และ 27 ซึ่งเป็นบัสด้านไม่ปรับแท็ปค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) จะมีค่ามากกว่าเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) โดยที่บัส 27 มีการเปลี่ยนแปลงมาก



**รูปที่ 6.64** ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6

จากรูปที่ 6.64 พบว่าค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบจากการทำ  
 อดิมีลเพาเวอร์โพล์เมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) และเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่า  
 กับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) มีค่าใกล้เคียงกัน



**รูปที่ 6.65** ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์  
 จากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำ  
 การเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหนดบัสที่ 6

จากรูปที่ 6.65 พบว่าค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัส  
 คอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมจากการทำอดิมีลเพาเวอร์โพล์ เมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ  
 (Taps Active) จะมีค่ามากกว่าเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.)

**ตารางที่ 6.48** ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับ  
 ปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2  
 กับโหนดบัสที่ 6

	Rectifier		Inverter	
	Taps = 1 p.u.	Taps active	Taps = 1 p.u.	Taps active
AC Bus	2		6	
D.C. Voltage (p.u.)	1.369	1.500	1.360	1.492
Transformer tap (p.u.)	1	1.084	1	1.093
Control angles (deg.)	9.874	7.645	16	16
Overlap angles (deg.)	17.583	17.572	9.233	8.264
Power factor	0.936	0.948	0.933	0.937
D.C. Current (p.u.)	0.594	0.568	0.594	0.568
D.C. link power (MW)	81.348	85.235	80.835	84.766

จากตารางที่ 6.48 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) ให้ค่าแรงดันไฟตรงและค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ทั้งด้าน Rectifier และ ด้าน Inverter มีค่าน้อยกว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) แต่ให้ค่ากระแสไฟตรงมีค่ามากกว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active)

ตารางที่ 6.49 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6

สถานะค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ	กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active)
ค่าแท็ปเท่ากับ 1 p.u.	10.412 MW	0.135 MW	1.314 %
มีการปรับค่าแท็ป	10.277 MW	-	-

ตารางที่ 6.50 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6

สถานะค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ	ต้นทุนการผลิตรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active)
ค่าแท็ปเท่ากับ 1 (p.u.)	2935.99 (฿/hr)	1.28 (฿/hr)	0.044 %
มีการปรับค่าแท็ป	2934.71 (฿/hr)	-	-

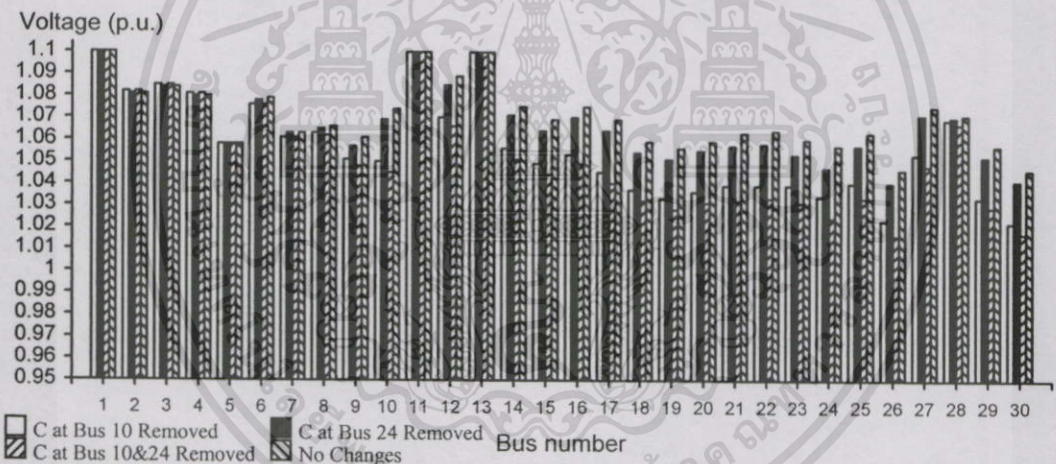
จากตารางที่ 6.49 และ 6.50 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำกว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. ซึ่งการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นคิดเป็น 1.314 % และ 0.044 % ตามลำดับจากการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active)

## 6.9.2 การวิเคราะห์ผลของตัวเก็บประจุต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโพลบัส

ในการวิเคราะห์ผลของตัวเก็บประจุต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโพลบัส จะทำการวิเคราะห์ใน 4 สถานะของตัวเก็บประจุ ดังนี้คือ

1. เมื่อ ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10
2. เมื่อ ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 24
3. เมื่อ ไม่มีตัวเก็บประจุที่ บัส 10&24
4. เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง

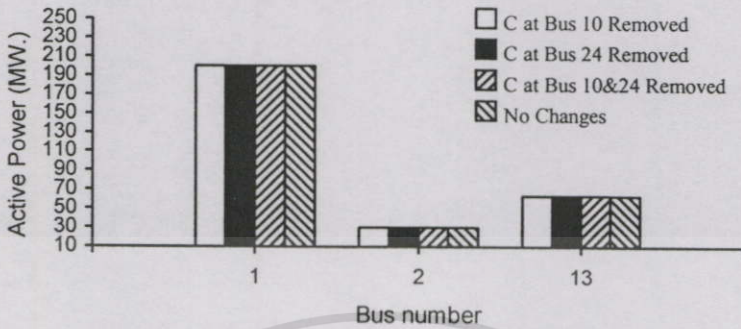
โดยพิจารณาค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนิสคอนเดนเซอร์, ค่าผลลัพท์ของระบบ HVDC, กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ



รูปที่ 6.66 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โพลบัสที่ 6

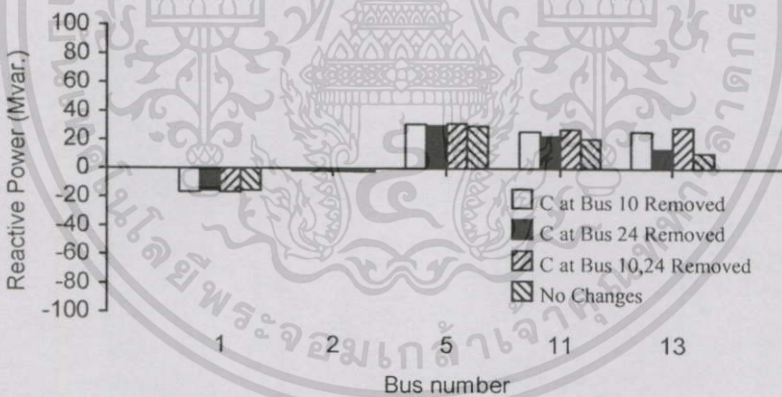
จากรูปที่ 6.66 พบว่าค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบจากสถานะของตัวเก็บประจุในการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์มีการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะเมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10&24 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบโดยรวมจะมีค่าลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุอีก 3 สถานะ และเมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบโดยรวมจะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับอีก 2 สถานะของตัวเก็บประจุที่เหลือ ซึ่งจะเห็นได้ว่าขนาดของตัวเก็บประจุมีผลต่อค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบ นั่นคือขนาดของตัวเก็บประจุที่บัส 10 มีค่ามากกว่าที่บัส 24 ดังนั้นเมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10 ค่าขนาด

ของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบ โดยรวมจึงมีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 24 และเมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบ โดยรวมจะมีค่ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ



**รูปที่ 6.67** ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6

จากรูปที่ 6.67 พบว่าจากการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในทุกสถานะของตัวเก็บประจุมีค่าใกล้เคียงกัน



**รูปที่ 6.68** ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์จากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6

จากรูปที่ 6.68 พบว่าค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมจากการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ และเมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10&24 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมจะมีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ

ตารางที่ 6.51 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Rectifier จากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6

	Rectifier			
	ไม่มีตัวเก็บประจุ			ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
	บัส 10	บัส 24	บัส 10 และ 24	
AC Bus	2			
D.C. Voltage (p.u.)	1.500	1.500	1.500	1.500
Transformer tap (p.u.)	1.090	1.085	1.088	1.084
Control angles (deg.)	9.951	8.159	9.403	7.645
Overlap angles (deg.)	15.861	17.183	16.189	17.572
Power factor	0.943	0.947	0.944	0.948
D.C. Current (p.u.)	0.560	0.567	0.559	0.568
D.C. link power (MW)	84.045	85.034	83.844	85.235

ตารางที่ 6.52 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Inverter จากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6

	Inverter			
	ไม่มีตัวเก็บประจุ			ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
	บัส 10	บัส 24	บัส 10 และ 24	
AC Bus	6			
D.C. Voltage (p.u.)	1.492	1.492	1.492	1.492
Transformer tap (p.u.)	1.096	1.094	1.096	1.093
Control angles (deg.)	16	16	16	16
Overlap angles (deg.)	8.169	8.248	8.153	8.264
Power factor	0.937	0.937	0.937	0.937
D.C. Current (p.u.)	0.560	0.567	0.559	0.568
D.C. link power (MW)	83.589	84.567	83.390	84.766

จากตารางที่ 6.51 และ 6.52 พบว่าการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลาร์ในทุกสถานะของตัวเก็บ

ประจุทั้งด้าน Rectifier และ Inverter ให้ค่าแรงดันไฟตรงมีค่าเท่ากัน และเมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงให้ค่ากระแสไฟตรง และค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่ามากที่สุด และการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์เมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10 และ 24 ให้ค่ากระแสไฟตรง และค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ

ตารางที่ 6.53 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหนดบัสที่ 6

สถานะของตัวเก็บประจุ	กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10	10.335 MW	0.058 MW	0.564 %
ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 24	10.345 MW	0.068 MW	0.662 %
ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10 และ 24	10.412 MW	0.135 MW	1.314 %
ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	10.277 MW	-	-

ตารางที่ 6.54 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหนดบัสที่ 6

สถานะของตัวเก็บประจุ	ต้นทุนการผลิตรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10	2935.26 (฿/hr)	0.55 (฿/hr)	0.019 %
ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 24	2935.35 (฿/hr)	0.64 (฿/hr)	0.022 %
ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10 และ 24	2936.00 (฿/hr)	1.29 (฿/hr)	0.044 %
ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	2934.71 (฿/hr)	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

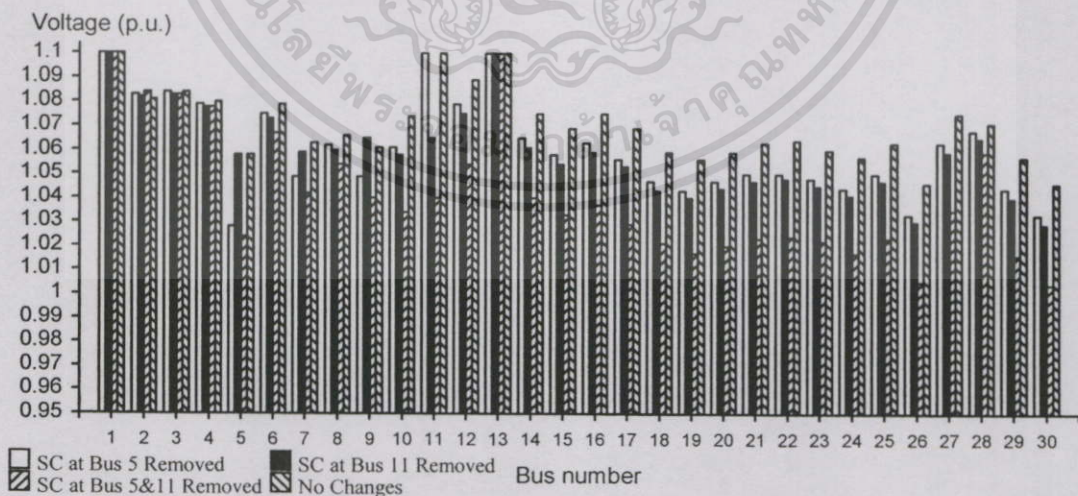
จากตารางที่ 6.53 และ 6.54 พบว่าการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ และการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10 และ 24 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ โดยมีค่าเพิ่มขึ้นคิดเป็น 1.314 % และ 0.044 % ตามลำดับจากการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง

### 6.9.3 การวิเคราะห์ผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ต่อการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัส

ในการวิเคราะห์ผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ต่อการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์ในระบบเอซี-ดีซีที่มีการเชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัส จะทำการวิเคราะห์ใน 4 สถานะของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ ดังนี้คือ

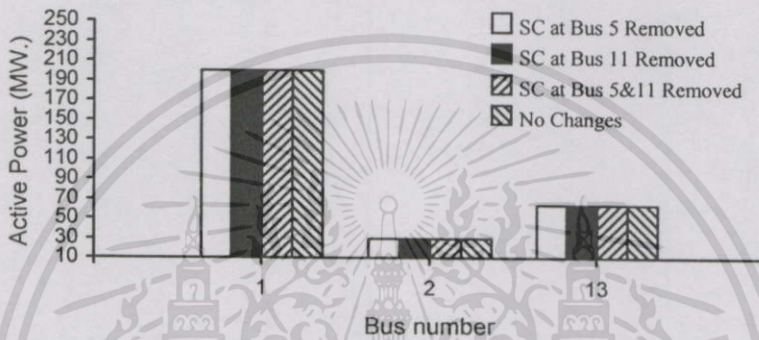
1. เมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5
2. เมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 11
3. เมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5&11
4. เมื่อในระบบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

โดยพิจารณาค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์, ค่าผลลัพธ์ของระบบ HVDC, กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ



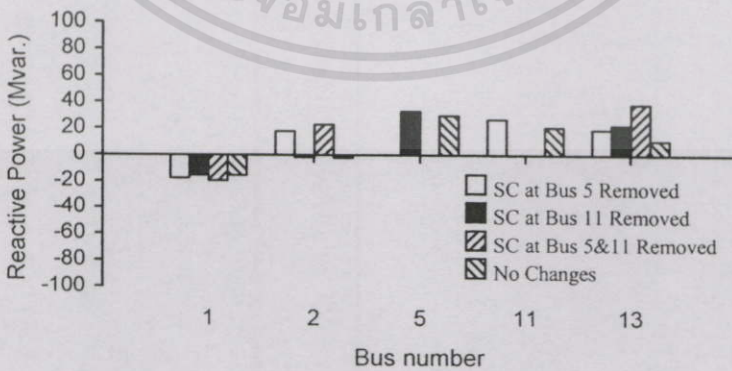
รูปที่ 6.69 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหนดบัสที่ 6

จากรูปที่ 6.69 พบว่าค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบจากสถานะซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์มีการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะเมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5&11 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบโดยรวมจะมีค่าลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์อีก 3 สถานะ และจะเห็นได้ว่าเมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัสใดค่าของขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัสนั้นจะมีค่าลดลงจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยเมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5&11 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้ามีค่าลดลงมากที่สุด



รูปที่ 6.70 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6

จากรูปที่ 6.70 พบว่าจากการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในทุกสถานะของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 6.71 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์จากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6

จากรูปที่ 6.71 พบว่าค่าการผลิตร่างไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมจากการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 11 มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในอีก 3 สถานะ และเมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5 ค่าการผลิตร่างไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมจะมีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในอีก 3 สถานะ และจะเห็นว่าที่บัส 2 เมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5 และ ที่บัส 5 & 11 จะเป็นการจ่ายค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ในขณะที่อีก 2 สถานะที่เหลือจะเป็นการรับค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

**ตารางที่ 6.55** ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Rectifier จากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหนดบัสที่ 6

	Rectifier			ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
	ไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์			
	บัส 5	บัส 11	บัส 5 และ 11	
AC Bus	2			
D.C. Voltage (p.u.)	1.500	1.500	1.494	1.500
Transformer tap (p.u.)	1.085	1.082	1.081	1.084
Control angles (deg.)	8.752	7.637	9.890	7.645
Overlap angles (deg.)	16.771	17.274	15.609	17.572
Power factor	0.945	0.949	0.944	0.948
D.C. Current (p.u.)	0.567	0.553	0.543	0.568
D.C. link power (MW)	85.000	82.926	81.070	85.235

จากตารางที่ 6.55 และในตารางที่ 6.66 พบว่าที่ด้าน Rectifier และ Inverter การทำออปติไมัลเพาเวอร์โพลว์ในทุกสถานะของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ให้ค่าแรงดันไฟตรงมีค่าเท่ากันยกเว้นเมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5 และ 11 มีค่าน้อยที่สุดและการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงให้ค่ากระแสไฟตรง และค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในอีก 3 สถานะ ส่วนการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5 และ 11 ให้ค่าแรงดันไฟตรง, กระแสไฟตรง และค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในอีก 3 สถานะ

ตารางที่ 6.56 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Inverter จากผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6

	Inverter			
	ไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์			ไม่มีมีการเปลี่ยนแปลง
	บัส 5	บัส 11	บัส 5 และ 11	
AC Bus	6			
D.C. Voltage (p.u.)	1.492	1.492	1.486	1.492
Transformer tap (p.u.)	1.097	1.099	1.1	1.093
Control angles (deg.)	16	16	16	16
Overlap angles (deg.)	8.245	8.079	7.986	8.264
Power factor	0.937	0.937	0.938	0.937
D.C. Current (p.u.)	0.567	0.553	0.543	0.568
D.C. link power (MW)	84.533	82.482	80.641	84.766

ตารางที่ 6.57 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6

สถานะของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์	กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่ระบบไม่มีมีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่ระบบไม่มีมีการเปลี่ยนแปลง
ไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5	10.541 MW	0.264 MW	2.569 %
ไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 11	10.338 MW	0.061 MW	0.594 %
ไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5 และ 11	10.684 MW	0.407 MW	3.960 %
ไม่มีมีการเปลี่ยนแปลง	10.277 MW	-	-

ตารางที่ 6.58 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหนดบัสที่ 6

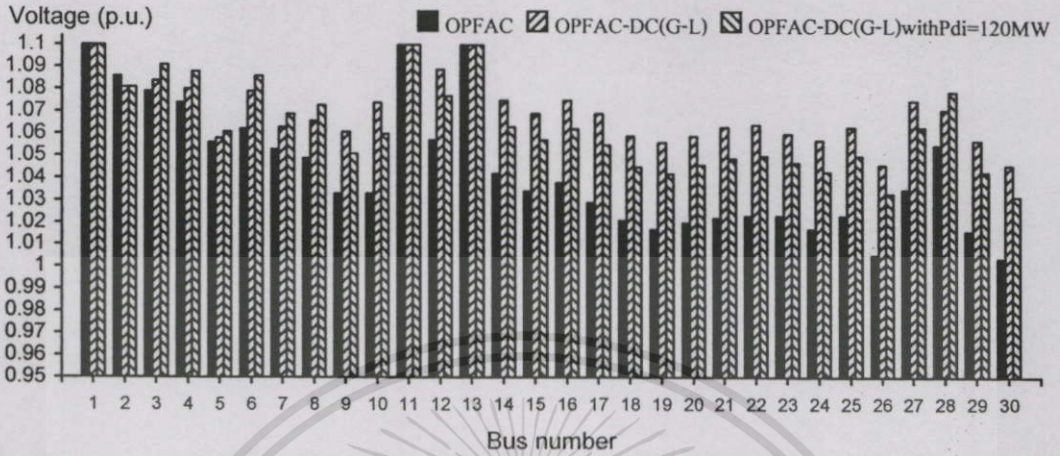
สถานะของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์	ต้นทุนการผลิตรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
ไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5	2937.22 (฿/hr)	2.51 (฿/hr)	0.086 %
ไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 11	2935.29 (฿/hr)	0.58 (฿/hr)	0.020 %
ไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5 และ 11	2938.59 (฿/hr)	3.88 (฿/hr)	0.132 %
ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	2934.71 (฿/hr)	-	-

จากตารางที่ 6.57 และ 6.58 พบว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดโดยรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในอีก 3 สถานะ และการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์เมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5 และ 11 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดโดยรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในอีก 3 สถานะ และมีค่าเพิ่มขึ้น 3.960 % และ 0.132 % ตามลำดับจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง

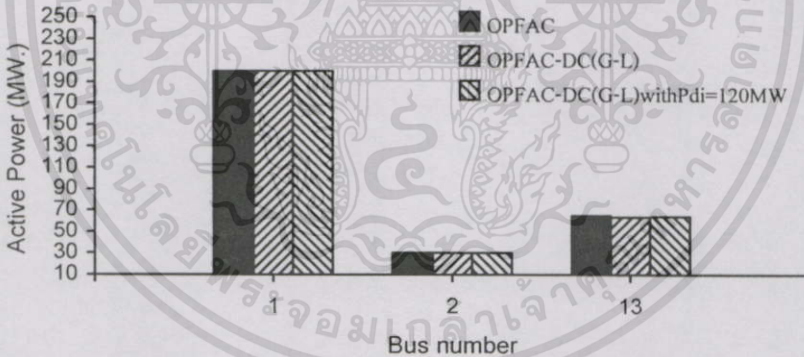
#### 6.9.4 การวิเคราะห์การทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์เมื่อกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัส

ในการวิเคราะห์การทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์เมื่อกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัส ซึ่งกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงด้านอินเวอร์เตอร์ เท่ากับ 120 MW (OPFAC-DC(G-L) with Pdi=120MW) โดยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับอีก 2 ระบบ คือ ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (OPFAC), ระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัสเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-L)) โดยพิจารณาขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้านิวเคลียร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและ

ซึ่งโครนัสคอนเดนเซอร์, ค่าผลลัพธ์ของระบบ HVDC, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบ, ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ



รูปที่ 6.72 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6



รูปที่ 6.73 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6

จากรูปที่ 6.72 พบว่าการทำออปติมิซเพาเวอร์โพล์ของระบบเอชไอ-ดีซี (OPFAC-DC(G-L) และ OPFAC-DC(G-L) with Pdi=120MW) ให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับการทำออปติมิซเพาเวอร์โพล์ของระบบเอชไอ (OPFAC) ยกเว้นบัสที่ 2 เนื่องจากพฤติกรรมของระบบ HVDC ที่เปรียบเสมือนเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟให้กับระบบจากฟิลเตอร์

ที่ติดตั้งที่บัส และเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-L) with Pdi=120MW) ทำให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-L)) ยกเว้นบัสที่ 3 ถึง 8 และ 28 และจากรูปที่ 6.73 พบว่าการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์ในทุกๆระบบให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 และ 2 มีค่าเท่ากัน แต่ที่บัส 13 การทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซี (OPFAC-DC(G-L) และ OPFAC-DC(G-L) with Pdi=120MW) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่าการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอช (OPFAC) และเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-L) with Pdi=120MW) ทำให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่ามากกว่าเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-L))



**รูปที่ 6.74** ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์จากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเงินบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6

จากรูปที่ 6.74 พบว่าการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซี (OPFAC-DC(G-L) และ OPFAC-DC(G-L) with Pdi=120MW) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมมีค่าน้อยกว่าการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอช (OPFAC) เนื่องจากพฤติกรรมของระบบ HVDC ที่เปรียบเสมือนเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟให้กับระบบจากฟิลเตอร์ที่ติดตั้งที่บัส และเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-L) with Pdi=120MW) ทำให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมมีค่ามากกว่าเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-L))

**ตารางที่ 6.59** ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหนดบัสที่ 6

	Rectifier		Inverter	
	OPFAC-DC (G-L)	OPFAC-DC (G-L) withPdi=120MW	OPFAC-DC (G-L)	OPFAC-DC (G-L) withPdi=120MW
AC Bus	2		6	
D.C. Voltage (p.u.)	1.500	1.497	1.492	1.485
Transformer tap (p.u.)	1.084	1.1	1.093	1.093
Control angles (deg.)	7.645	7	16	16
Overlap angles (deg.)	17.572	22.371	8.264	10.977
Power factor	0.948	0.932	0.937	0.926
D.C. Current (p.u.)	0.568	0.808	0.568	0.808
D.C. link power (MW)	85.235	120.949	84.766	120

จากตารางที่ 6.59 พบว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-L)) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่าน้อยกว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-L) with Pdi=120MW)

**ตารางที่ 6.60** ผลลัพธ์ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหนดบัสที่ 6

	การผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจาก OPFAC-DC (G-L)	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก OPFAC-DC (G-L)
OPFAC	295.313 MW	1.636 MW	0.557 %
OPFAC-DC(G-L) WithPdi=120MW	294.148 MW	0.471 MW	0.160 %
OPFAC-DC(G-L)	293.677 MW	-	-

จากตารางที่ 6.60 พบว่าการทำออปติมิสเฟวเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC(G-L) และ OPFAC-DC(G-L) with Pdi=120MW) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบน้อยกว่าการทำออปติมิสเฟวเวอร์โพล์ของระบบเอซี (OPFAC) และเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-L) with Pdi=120MW) ทำให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบมีค่ามากกว่าเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-L)) สำหรับการทำออปติมิสเฟวเวอร์โพล์ของระบบเอซี (OPFAC) และการทำออปติมิสเฟวเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-L) with Pdi=120MW) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบเพิ่มขึ้นจากการทำออปติมิสเฟวเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-L)) คิดเป็น 0.557 % และ 0.160 % ตามลำดับ

ตารางที่ 6.61 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โทลคบัสที่ 6

	กำลังไฟฟ้าจริง สูญเสียรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจาก OPFAC-DC (G-L)	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก OPFAC-DC (G-L)
OPFAC	11.913 MW	1.636 MW	15.919 %
OPFAC-DC(G-L) WithPdi= 120MW	10.748 MW	0.471 MW	4.583 %
OPFAC-DC(G-L)	10.277 MW	-	-

จากตารางที่ 6.61 พบว่าการทำออปติมิสเฟวเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC(G-L) และ OPFAC-DC(G-L) with Pdi=120MW) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบน้อยกว่าการทำออปติมิสเฟวเวอร์โพล์ของระบบเอซี (OPFAC) และเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-L) with Pdi=120MW) ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมีค่ามากกว่าเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-L)) สำหรับการทำออปติมิสเฟวเวอร์โพล์ของระบบเอซี (OPFAC) และการทำออปติมิสเฟวเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-L) with Pdi=120MW) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบเพิ่มขึ้นจากการทำออปติมิสเฟวเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-L)) คิดเป็น 15.919 % และ 4.583 % ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

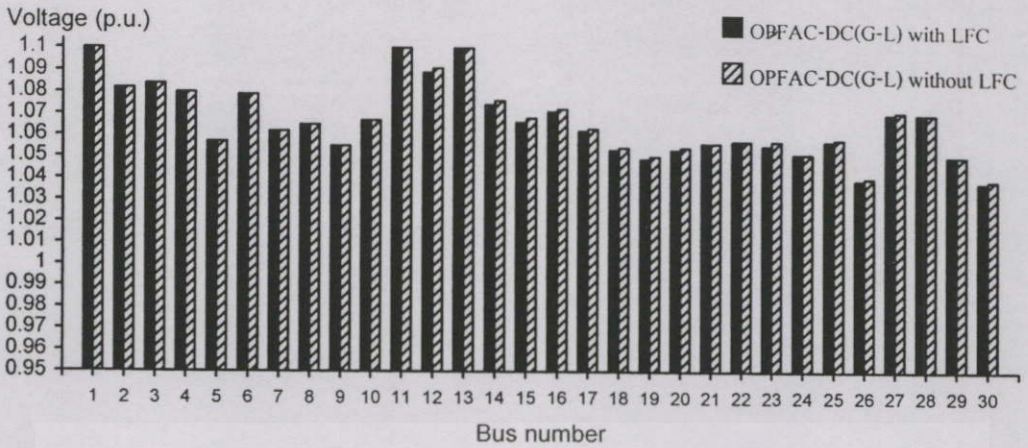
ตารางที่ 6.62 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6

	ต้นทุน การผลิตรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจากการ OPFAC-DC(G-L)	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก OPFAC-DC(G-L)
OPFAC	2950.28 (฿/hr)	15.57 (฿/hr)	0.531 %
OPFAC-DC(G-L) With Pdi=120MW	2939.19 (฿/hr)	4.48 (฿/hr)	0.153 %
OPFAC-DC(G-L)	2934.71 (฿/hr)	-	-

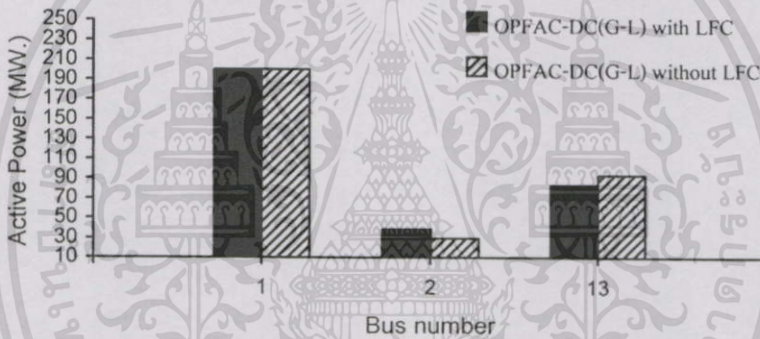
จากตารางที่ 6.62 พบว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอชไอ-ดีซี (OPFAC-DC(G-L) และ OPFAC-DC(G-L) with Pdi=120MW) ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบน้อยกว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอชไอ (OPFAC) และเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-L) with Pdi=120MW) ทำให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่ามากกว่าเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-L)) สำหรับการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอชไอ (OPFAC) และการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอชไอ-ดีซีเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-L) with Pdi=120MW) ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบเพิ่มขึ้นจากการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอชไอ-ดีซีเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-L)) คิดเป็น 0.531 % และ 0.153 % ตามลำดับ

#### 6.9.5 การวิเคราะห์การทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์เนื่องจากโหลดในระบบเอชไอ-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหลดบัสโดยรวมเพิ่มขึ้น

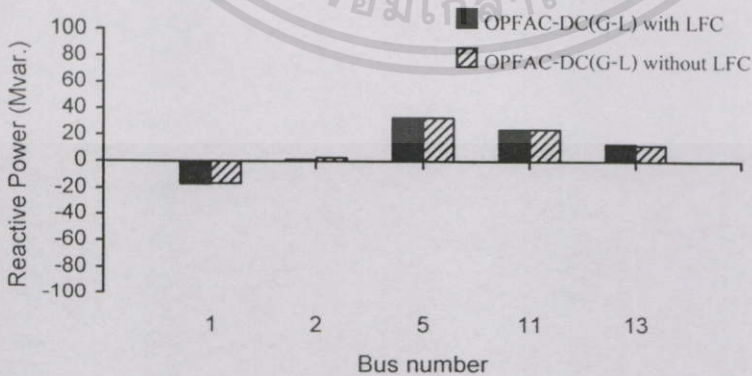
ในการวิเคราะห์การทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์เนื่องจากโหลดในระบบเอชไอ-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหลดบัสเปลี่ยนแปลง จะทำการวิเคราะห์เมื่อโหลดในระบบเพิ่มขึ้นใน 2 เงื่อนไข คือ เมื่อคิดผลของโหลดฟรีควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) with LFC) และเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) without LFC) ซึ่งมีข้อมูลอยู่ในภาคผนวก ก. และในตารางที่ ผ.6.20 ถึง ผ.6.22 และ ผ.6.24 โดยพิจารณาค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์, ค่าผลลัพธ์ของระบบ HVDC, ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ



รูปที่ 6.75 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น



รูปที่ 6.76 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น



รูปที่ 6.77 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 6.75 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) with LFC) ให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบมีค่าใกล้เคียงกับเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) without LFC)

และจากรูปที่ 6.76 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) with LFC) ) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบโดยรวมมีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) without LFC) และให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 13 เท่ากับขีดจำกัดการผลิตสูงสุดและจากรูปที่ 6.77 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) with LFC) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมมีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) without LFC)

ตารางที่ 6.63 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น

	Rectifier		Inverter	
	OPFAC-DC (G-L) with LFC	OPFAC-DC (G-L) without LFC	OPFAC-DC (G-L) with LFC	OPFAC-DC (G-L) without LFC
AC Bus	2		6	
D.C. Voltage (p.u.)	1.50	1.50	1.492	1.492
Transformer tap (p.u.)	1.083	1.095	1.094	1.093
Control angles (deg.)	7.077	11.932	16	16
Overlap angles (deg.)	18.258	14.365	8.430	7.979
Power factor	0.948	0.937	0.936	0.938
D.C. Current (p.u.)	0.584	0.544	0.584	0.544
D.C. link power (MW)	87.538	81.673	87.043	81.242

จากตารางที่ 6.63 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์เมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) without LFC) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่าน้อยกว่าเมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) with LFC)

ตารางที่ 6.64 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น

	กำลังไฟฟ้าจริง สูญเสียรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจากการ ที่โหลดในระบบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก การที่โหลดในระบบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC-DC(G-L)	10.277 MW	-	-
OPFAC-DC(G-L) with LFC	11.693 MW	1.416 MW	13.778 %
OPFAC-DC(G-L) without LFC	11.978 MW	1.701 MW	16.552 %

จากตารางที่ 6.64 พบว่าการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ว่เมื่อคิดผลของโหลดฟรีควนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) with LFC) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมีค่าต่ำกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีควนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) without LFC) และคิดเป็น 13.778 % ที่เพิ่มขึ้นจากเมื่อโหลดในระบบยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง

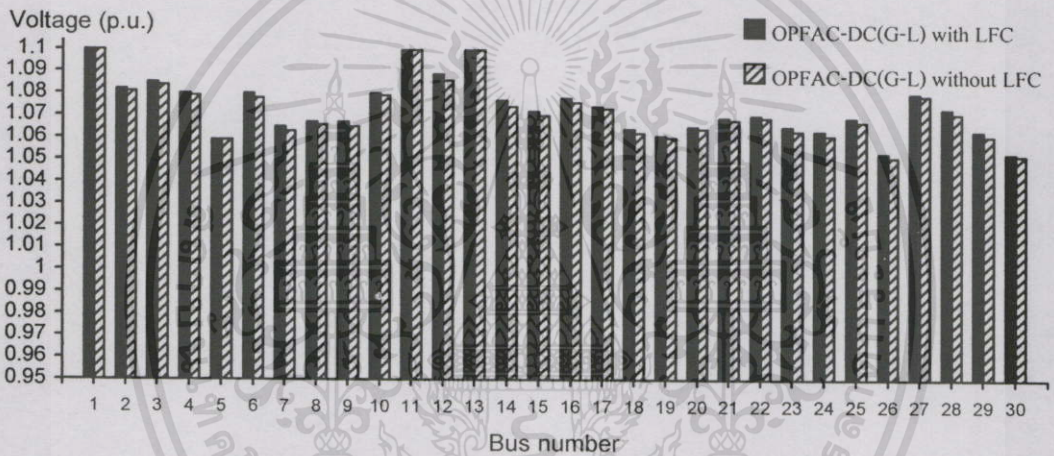
ตารางที่ 6.65 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนรวมการผลิตรวมของระบบจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมเพิ่มขึ้น

สถานะค่าเก็บของ หม้อแปลงไฟฟ้า ในระบบ	ต้นทุน การผลิตรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจากการ ที่โหลดในระบบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก การที่โหลดในระบบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC-DC(G-L)	2934.71 (฿/hr)	-	-
OPFAC-DC(G-L) with LFC	3220.62 (฿/hr)	285.91 (฿/hr)	9.742 %
OPFAC-DC(G-L) without LFC	3224.00 (฿/hr)	289.29 (฿/hr)	9.858 %

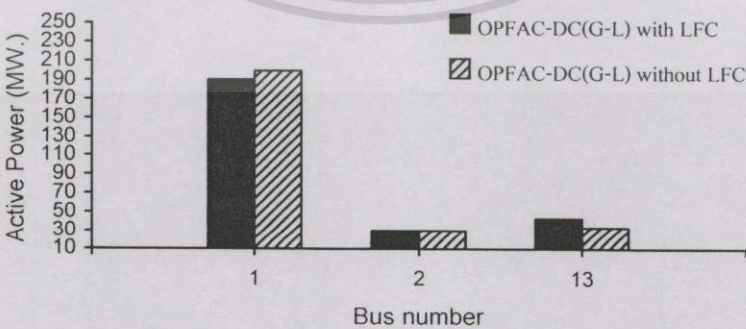
จากตารางที่ 6.65 พบว่าการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ว่เมื่อคิดผลของโหลดฟรีควนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) with LFC) ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าต่ำกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีควนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) without LFC) และคิดเป็น 9.742 % ที่เพิ่มขึ้นจากเมื่อโหลดในระบบยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง

### 6.9.6 การวิเคราะห์การทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหลดบัสโดยรวมลดลง

ในการวิเคราะห์การทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหลดบัสเปลี่ยนแปลง จะทำการวิเคราะห์เมื่อโหลดในระบบลดลงใน 2 เงื่อนไข คือ เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) with LFC) และเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) without LFC) ซึ่งมีข้อมูลอยู่ในภาคผนวก ก. และในตารางที่ ผ.6.20, ผ.6.26, ผ.6.27 และ ผ.6.29 โดยพิจารณาค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์, ค่าผลลัพท์ของระบบ HVDC, ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ



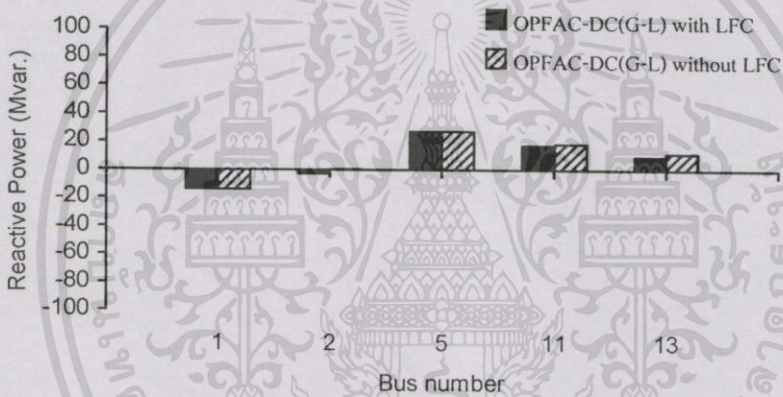
รูปที่ 6.78 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมลดลง



รูปที่ 6.79 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมลดลง

จากรูปที่ 6.78 พบว่าการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดพรีเวนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) with LFC) ให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่คิดผลของโหลดพรีเวนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) without LFC)

และจากรูปที่ 6.79 พบว่าการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดพรีเวนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) with LFC) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบโดยรวมมีค่ามากกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดพรีเวนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) without LFC) โดยที่การทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดพรีเวนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) with LFC) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 13 มีค่าเท่ากับขีดจำกัดการผลิตต่ำสุด



รูปที่ 6.80 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าร์แอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมลดลง

จากรูปที่ 6.80 พบว่าการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดพรีเวนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) with LFC) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าร์แอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมมีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดพรีเวนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) without LFC) และที่บัส 2 การทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดพรีเวนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) with LFC) จะรับกำลังไฟฟ้าร์แอกทีฟจากระบบ ในขณะที่การทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่คิดผลของโหลดพรีเวนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) without LFC) จะจ่ายกำลังไฟฟ้าร์แอกทีฟให้กับระบบ และจะมีค่าความแตกต่างกันมากที่สุดที่บัส 13

ตารางที่ 6.66 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหลดบัสที่ 6 โดยรวมตลอด

	Rectifier		Inverter	
	OPFAC-DC (G-L) with LFC	OPFAC-DC (G-L) without LFC	OPFAC-DC (G-L) with LFC	OPFAC-DC (G-L) without LFC
AC Bus	2		6	
D.C. Voltage (p.u.)	1.50	1.50	1.492	1.491
Transformer tap (p.u.)	1.095	1.099	1.093	1.095
Control angles (deg.)	11.437	11.665	16	16
Overlap angles (deg.)	14.983	15.369	8.191	8.529
Power factor	0.938	0.935	0.937	0.936
D.C. Current (p.u.)	0.561	0.591	0.561	0.591
D.C. link power (MW)	84.131	88.601	83.674	88.094

จากตารางที่ 6.66 พบว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) with LFC) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) without LFC)

ตารางที่ 6.67 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหลดบัสที่ 6 โดยรวมตลอด

	กำลังไฟฟ้าจริง สูญเสียรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจากการ ที่โหลดในระบบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก การที่โหลดในระบบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC-DC(G-L)	10.277 MW	-	-
OPFAC-DC(G-L) with LFC	8.651 MW	-1.626 MW	-15.822 %
OPFAC-DC(G-L) without LFC	8.996 MW	-1.281 MW	-12.465 %

จากตารางที่ 6.67 พบว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลีเมื่อเกิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) with LFC) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมีค่าต่ำกว่าเมื่อไม่เกิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) without LFC) และคิดเป็น 15.822 % ที่ลดลงจากเมื่อโหลดในระบบยังไม่มีเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 6.68 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนรวมการผลิตรวมของระบบจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยรวมลดลง

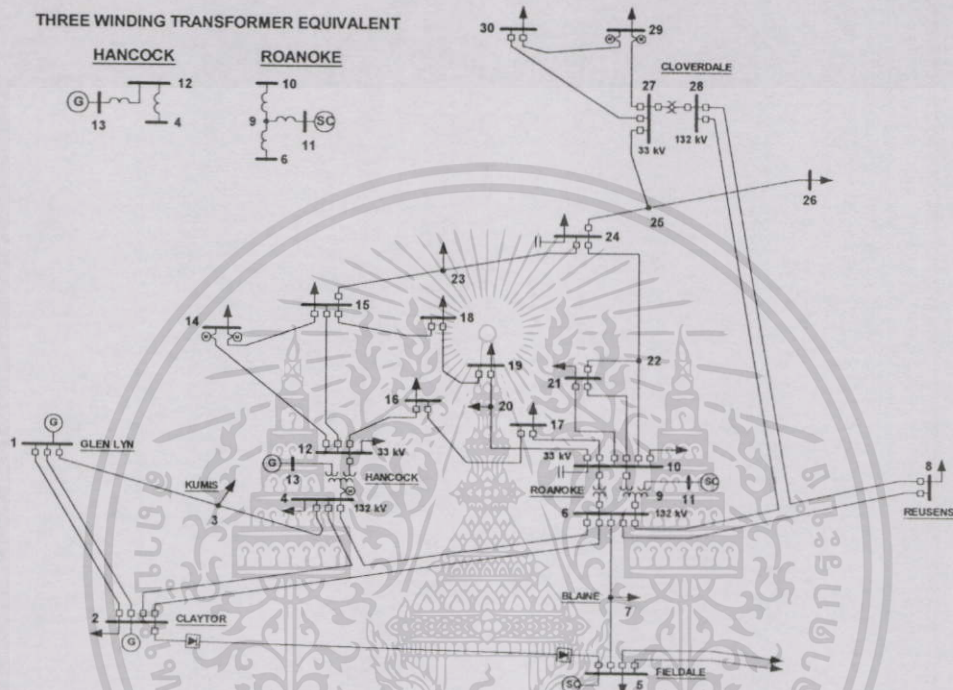
สถานะค่าแท็บของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ	ต้นทุนการผลิตรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่โหลดในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่โหลดในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC-DC(G-L)	2934.71 (฿/hr)	-	-
OPFAC-DC(G-L) with LFC	2663.79 (฿/hr)	-270.92 (฿/hr)	-9.232 %
OPFAC-DC(G-L) without LFC	2656.54 (฿/hr)	-278.17 (฿/hr)	-9.479 %

จากตารางที่ 6.68 พบว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลีเมื่อไม่เกิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) without LFC) ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าต่ำกว่าเมื่อเกิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-L) with LFC) และคิดเป็น 9.479 % ที่ลดลงจากเมื่อโหลดในระบบยังไม่มีเปลี่ยนแปลง

## 6.10 การวิเคราะห์การทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลีในระบบเอซี-ดีซีเมื่อทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส

ในการวิเคราะห์การทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลีในระบบเอซี-ดีซีเมื่อทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส จะทำการวิเคราะห์กับระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 ที่แสดงในรูปที่ 6.81 ซึ่งมีข้อมูลอยู่ในภาคผนวก ก. ตารางที่ ผ.6.9 ถึง ผ.6.13 และภาคผนวก ข. ตารางที่ ผ.6.15 และ ผ.6.18 โดยจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 6 หัวข้อ คือ การวิเคราะห์ผลของการปรับค่าแท็บของหม้อแปลงไฟฟ้าต่อการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลีในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส, การวิเคราะห์ผลของตัวเก็บประจุต่อการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลีในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส, การวิเคราะห์ผลของซิงโครนัสคอนเดน

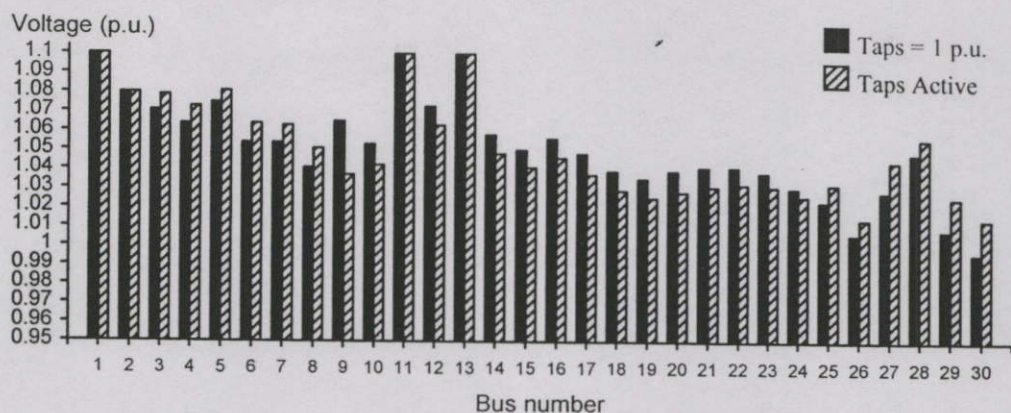
เซอร์ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส, การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์เมื่อกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส และการวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัสเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลง ดังนี้คือ



รูปที่ 6.81 ระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5

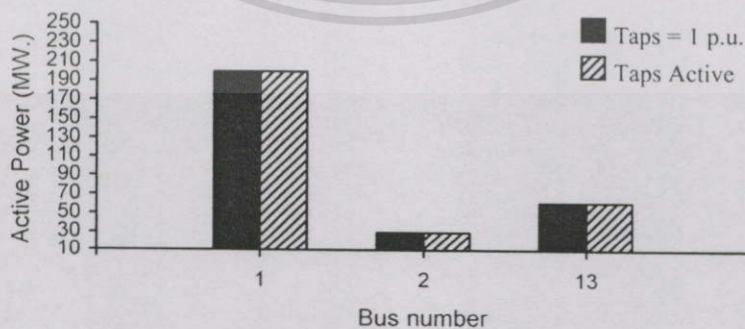
6.10.1 การวิเคราะห์ผลของการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส

ในการวิเคราะห์ผลของการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส จะทำการวิเคราะห์ใน 2 สถานะของค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า คือ เมื่อค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าทุกตัวในระบบมีค่าแท็ปเท่ากับ 1 และเมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าทุกตัวในระบบสามารถปรับค่าแท็ปได้ภายในขีดจำกัดที่กำหนด โดยพิจารณาค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์, ค่าผลลัพท์ของระบบ HVDC, ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ



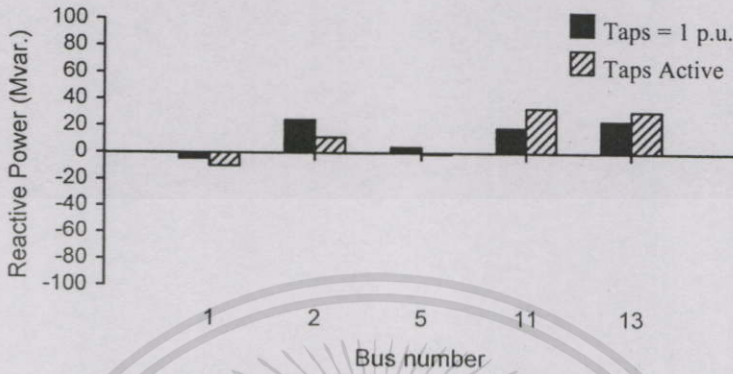
**รูปที่ 6.82** ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5

จากรูปที่ 6.82 พบว่าค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบจากสถานะของค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในการทำอุปคิมัลเพาเวอร์โพลส์มีการเปลี่ยนแปลง โดยที่บัส 2 และ 5 ซึ่งเป็นบัสด้านปรับแท็ปและบัสเชื่อมโยงระบบ HVDC ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) จะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) ทั้งนี้เนื่องจาก ต้องทำการควบคุมค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสจากค่ากำลังไฟฟ้าย้อนกลับของฟิลเตอร์ที่ติดตั้งที่บัส และบัสที่ 4, 6 และ 28 (ด้านปรับแท็ป) และ บัส 27 (ด้านไม่ปรับแท็ป) ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active)จะมีค่ามากกว่าเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) โดยเฉพาะที่บัส 27 มีการเปลี่ยนแปลงมาก ส่วนบัสที่ 9, 10 และ 12 ซึ่งเป็นบัสด้านไม่ปรับแท็ปค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) จะมีค่าน้อยกว่าเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) โดยเฉพาะที่บัส 9 มีการเปลี่ยนแปลงมาก



**รูปที่ 6.83** ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5

จากรูปที่ 6.83 พบว่าค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบจากการทำ  
 อดปติมลเพาเวอร์โพล์เมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) และเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่า  
 กับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) มีค่าใกล้เคียงกัน



**รูปที่ 6.84** ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์  
 จากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำ  
 การเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5

จากรูปที่ 6.84 พบว่าค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัส  
 คอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมจากการทำอดปติมลเพาเวอร์โพล์ เมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ  
 (Taps Active) จะมีค่ามากกว่าเมื่อค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.)

**ตารางที่ 6.69** ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับ  
 ปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2  
 กับเจนบัสที่ 5

	Rectifier		Inverter	
	Taps = 1 p.u.	Taps active	Taps = 1 p.u.	Taps active
AC Bus	2		5	
D.C. Voltage (p.u.)	1.347	1.500	1.337	1.491
Transformer tap (p.u.)	1	1.099	1	1.1
Control angles (deg.)	7	7.081	16	16
Overlap angles (deg.)	24.241	21.486	12.187	10.437
Power factor	0.924	0.935	0.921	0.928
D.C. Current (p.u.)	0.833	0.760	0.833	0.760
D.C. link power (MW)	112.261	114.025	111.442	113.343

จากตารางที่ 6.69 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อค่าแท๊ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) ให้ค่าแรงดันไฟตรงและค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ทั้งด้าน Rectifier และ ด้าน Inverter มีค่าน้อยกว่าเมื่อมีการปรับค่าแท๊ปในระบบ (Taps Active) แต่ให้ค่ากระแสไฟตรงมีค่ามากกว่าเมื่อมีการปรับค่าแท๊ปในระบบ (Taps Active)

ตารางที่ 6.70 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากการปรับค่าแท๊ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเงินบัสที่ 2 กับเงินบัสที่ 5

สถานะค่าแท๊ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ	กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากเมื่อมีการปรับค่าแท๊ปในระบบ (Taps Active)
ค่าแท๊ปเท่ากับ 1 (p.u.)	8.648 MW	0.279 MW	3.334 %
มีการปรับค่าแท๊ป	8.369 MW	-	-

ตารางที่ 6.71 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการปรับค่าแท๊ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเงินบัสที่ 2 กับเงินบัสที่ 5

สถานะค่าแท๊ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ	ต้นทุนการผลิตรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากเมื่อมีการปรับค่าแท๊ปในระบบ (Taps Active)
ค่าแท๊ปเท่ากับ 1 (p.u.)	2919.23 (฿/hr)	2.65 (฿/hr)	0.091 %
มีการปรับค่าแท๊ป	2916.58 (฿/hr)	-	-

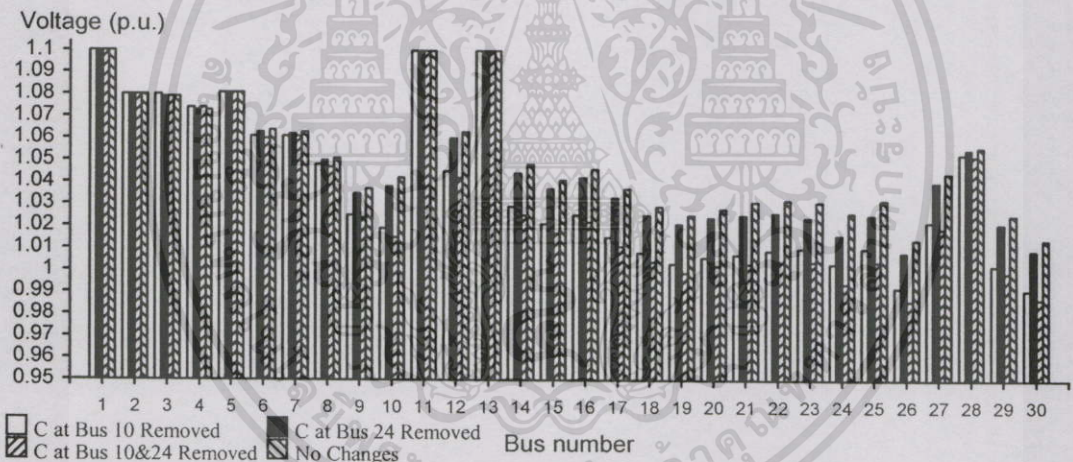
จากตารางที่ 6.70 และ 6.71 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อมีการปรับค่าแท๊ปในระบบให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำกว่าเมื่อค่าแท๊ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. ซึ่งการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อค่าแท๊ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าเพิ่มขึ้น 3.334 % และ 0.091 % ตามลำดับจากการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อมีการปรับค่าแท๊ปในระบบ

## 6.10.2 การวิเคราะห์ผลของตัวเก็บประจุต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลวในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส

ในการวิเคราะห์ผลของตัวเก็บประจุต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลวในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส จะทำการวิเคราะห์ใน 4 สถานะของตัวเก็บประจุ ดังนี้คือ

1. เมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10
2. เมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 24
3. เมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10&24
4. เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง

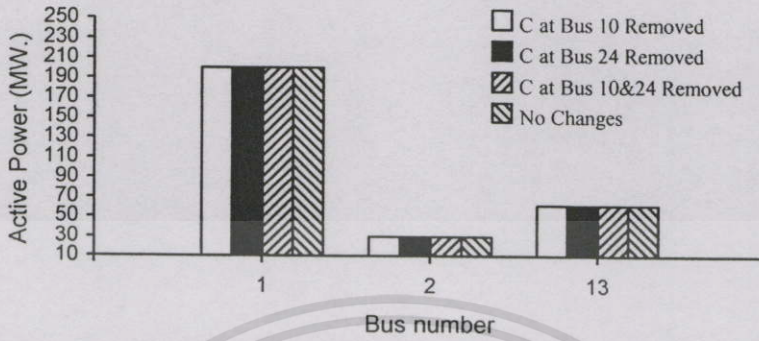
โดยพิจารณาค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์, ค่าผลลัพธ์ของระบบ HVDC, กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ



รูปที่ 6.85 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5

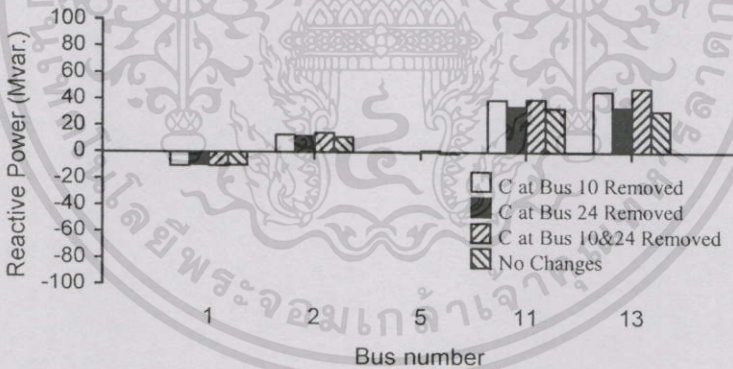
จากรูปที่ 6.85 พบว่าค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบจากสถานะของตัวเก็บประจุในการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลวมีการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะเมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10&24 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบโดยรวมจะมีค่าลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุอีก 3 สถานะ และเมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบโดยรวมจะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับอีก 2 สถานะของตัวเก็บประจุที่เหลือ ซึ่งจะเห็นได้ว่าขนาดของตัวเก็บประจุมีผลต่อค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบ นั่นคือขนาดของตัวเก็บประจุที่บัส 10 มีค่ามากกว่าที่บัส 24 ดังนั้นเมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10 ค่าขนาด

ของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบ โดยรวมจึงมีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 24 และเมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบโดยรวมจะมีค่ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ



**รูปที่ 6.86** ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5

จากรูปที่ 6.86 พบว่าจากการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในทุกสถานะของตัวเก็บประจุมีค่าใกล้เคียงกัน



**รูปที่ 6.87** ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์จากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5

จากรูปที่ 6.87 พบว่าค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมจากการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ และเมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10&24 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมจะมีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ

ตารางที่ 6.72 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Rectifier จากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5

	Rectifier			
	ไม่มีตัวเก็บประจุ			ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
	บัส 10	บัส 24	บัส 10 และ 24	
AC Bus	2			
D.C. Voltage (p.u.)	1.499	1.500	1.499	1.500
Transformer tap (p.u.)	1.1	1.1	1.1	1.099
Control angles (deg.)	7.553	7.475	7.516	7.081
Overlap angles (deg.)	21.136	21.189	21.169	21.486
Power factor	0.934	0.935	0.934	0.935
D.C. Current (p.u.)	0.761	0.761	0.761	0.760
D.C. link power (MW)	114.056	114.051	114.135	114.025

ตารางที่ 6.73 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Inverter จากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5

	Inverter			
	ไม่มีตัวเก็บประจุ			ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
	บัส 10	บัส 24	บัส 10 และ 24	
AC Bus	5			
D.C. Voltage (p.u.)	1.490	1.491	1.490	1.491
Transformer tap (p.u.)	1.1	1.1	1.1	1.1
Control angles (deg.)	16	16	16	16
Overlap angles (deg.)	10.444	10.440	10.447	10.437
Power factor	0.928	0.928	0.928	0.928
D.C. Current (p.u.)	0.761	0.761	0.761	0.760
D.C. link power (MW)	113.373	113.368	113.451	113.343

จากตารางที่ 6.72 และ 6.73 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงและเมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 24 ทั้งด้าน Rectifier และ Inverter ให้ค่าแรงดันไฟตรง มีค่ามากที่สุด และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงให้ค่ากระแสไฟตรงและค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่าน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ ส่วนการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในทุกสถานะของตัวเก็บประจุที่ระบบมีการเปลี่ยนแปลงให้ค่ากระแสไฟตรงมีค่าเท่ากันและเมื่อไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10 และ 24 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ

**ตารางที่ 6.74** ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเงินบัสที่ 2 กับเงินบัสที่ 5

สถานะของตัวเก็บประจุ	กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10	8.480 MW	0.111 MW	1.326 %
ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 24	8.449 MW	0.080 MW	0.956 %
ไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10 และ บัส 24	8.572 MW	0.203 MW	2.426 %
ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	8.369 MW	-	-

จากตารางที่ 6.74 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เมื่อตัวเก็บประจุที่บัส 10&24 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ และมีค่าเพิ่มขึ้น 2.426 % จากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อระบบมีขนาดของตัวเก็บประจุมากขึ้นจะส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมีค่าน้อยลง

ตารางที่ 6.75 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ เจนบัสที่ 5

สถานะของ ตัวเก็บประจุ	ต้นทุน การผลิตรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจากการ ที่ระบบไม่มีการ เปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก การที่ระบบไม่มีการ เปลี่ยนแปลง
ไม่มีตัวเก็บประจุ ที่บัส 10	2917.64 (฿/hr)	1.06 (฿/hr)	0.036 %
ไม่มีตัวเก็บประจุ ที่บัส 24	2917.34 (฿/hr)	0.76 (฿/hr)	0.026 %
ไม่มีตัวเก็บประจุ ที่บัส 10 และ บัส 24	2918.51 (฿/hr)	1.93 (฿/hr)	0.066 %
ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	2916.58 (฿/hr)	-	-

จากตารางที่ 6.75 พบว่าการทำออปติไมล์เพาเวอร์ โฟลว์เมื่อระบบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงให้ ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ และ การทำออปติไมล์เพาเวอร์ โฟลว์เมื่อตัวเก็บประจุที่บัส 10&24 ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบสูง ที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของตัวเก็บประจุในอีก 3 สถานะ และมีค่าเพิ่มขึ้น 0.066 % จากการที่ ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อระบบมีขนาดของตัวเก็บประจุมากขึ้นจะส่งผลให้ ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าน้อยลง

### 6.10.3 การวิเคราะห์ผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ต่อการทำออปติไมล์เพาเวอร์โฟลว์ใน ระบบเอช-ดีซีที่เชื่อมต่อด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส

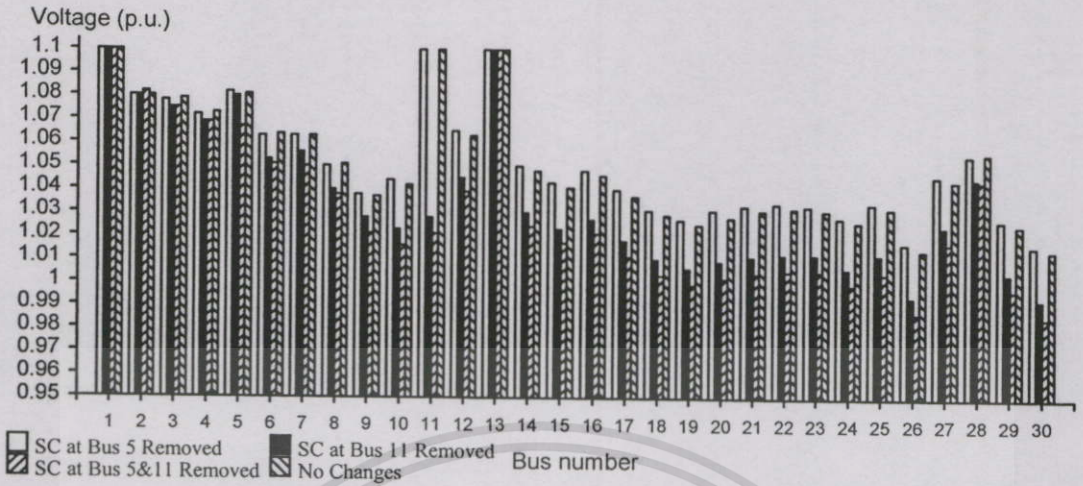
ในการวิเคราะห์ผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ต่อการทำออปติไมล์เพาเวอร์โฟลว์ในระบบ เอช-ดีซีที่เชื่อมต่อด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส จะทำการวิเคราะห์ใน 4 สถานะของ ซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ ดังนี้คือ

1. เมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5
2. เมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 11
3. เมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5&11
4. เมื่อในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง

โดยพิจารณาค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส,ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์, ค่าผล

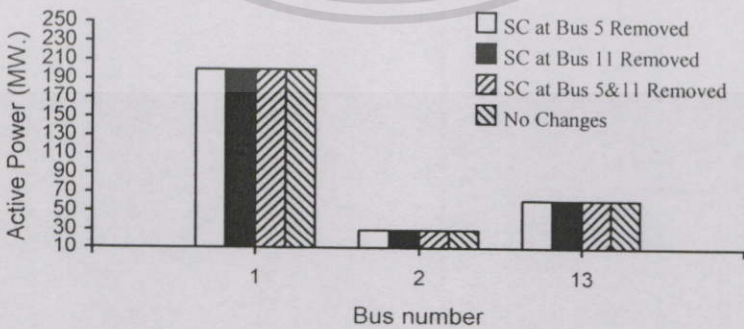
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลัพท์ของระบบ HVDC, กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ

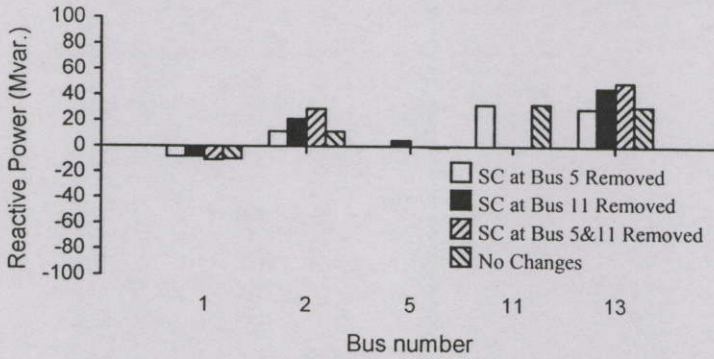


รูปที่ 6.88 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5

จากรูปที่ 6.88 พบว่าค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบจากสถานะซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในการทำออปติมิซเพาเวอร์โพลว์มีการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะเมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5&11 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบโดยรวมจะมีค่าลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์อีก 3 สถานะ และเมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส 3, 4, 6 และ 8 จะมีค่าน้อยกว่าเมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 11 และ 5&11 ค่าของขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัสจะมีค่าลดลงจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5 ค่าของขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัสจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 6.89 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5



**รูปที่ 6.90** ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ จากผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเงินบัสที่ 2 กับเงินบัสที่ 5

จากรูปที่ 6.89 พบว่าจากการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในทุกสถานะของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์มีค่าใกล้เคียงกัน และจากรูปที่ 6.90 พบว่าค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมจากการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 11 มีค่าน้อยที่สุด และเมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5&11 มีค่ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในอีก 3 สถานะ

**ตารางที่ 6.76** ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Rectifier จากผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเงินบัสที่ 2 กับเงินบัสที่ 5

	Rectifier			
	ไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์			ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
	บัส 5	บัส 11	บัส 5 และ 11	
AC Bus	2			
D.C. Voltage (p.u.)	1.500	1.499	1.481	1.500
Transformer tap (p.u.)	1.1	1.098	1.098	1.099
Control angles (deg.)	7.001	7.041	11.590	7.081
Overlap angles (deg.)	21.598	21.582	18.335	21.486
Power factor	0.935	0.935	0.923	0.935
D.C. Current (p.u.)	0.763	0.764	0.753	0.760
D.C. link power (MW)	114.524	114.441	111.437	114.025

จากตารางที่ 6.76 พบว่าที่ด้าน Rectifier จากการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงและเมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5 ให้ค่าแรงดันไฟตรงมีค่ามากที่สุด และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5 และ 11 ให้ค่ากระแสไฟตรงและค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในอีก 3 สถานะ ส่วนการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 11 ให้ค่ากระแสไฟตรงมีค่ามากที่สุด และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในอีก 3 สถานะ

ตารางที่ 6.77 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC ด้าน Inverter จากผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5

	Inverter			ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
	ไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์			
	บัส 5	บัส 11	บัส 5 และ 11	
AC Bus	5			
D.C. Voltage (p.u.)	1.491	1.490	1.472	1.491
Transformer tap (p.u.)	1.1	1.1	1.1	1.1
Control angles (deg.)	16.057	16	16	16
Overlap angles (deg.)	10.445	10.478	10.459	10.437
Power factor	0.928	0.928	0.928	0.928
D.C. Current (p.u.)	0.763	0.764	0.753	0.760
D.C. link power (MW)	113.837	113.753	110.769	113.343

จากตารางที่ 6.77 พบว่าจากการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงและเมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5 ที่ด้าน Inverter ให้ค่าแรงดันไฟตรงมีค่ามากที่สุด และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5 และ 11 ให้ค่ากระแสไฟตรงและค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในอีก 3 สถานะ ส่วนการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 11 ให้ค่ากระแสไฟตรงมีค่ามากที่สุด และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสถานะของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในอีก 3 สถานะ

ตารางที่ 6.78 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์  
ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่าง  
เจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5

สถานะของ ซิงโครนัส คอนเดนเซอร์	กำลังไฟฟ้าจริง สูญเสียรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจากการ ที่ระบบไม่มีการ เปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก การที่ระบบไม่มีการ เปลี่ยนแปลง
ไม่มีซิงโครนัส คอนเดนเซอร์ที่บัส 5	8.370 MW	0.001 MW	0.012 %
ไม่มีซิงโครนัส คอนเดนเซอร์ที่บัส 11	8.603 MW	0.234 MW	2.796 %
ไม่มีซิงโครนัส คอนเดนเซอร์ ที่บัส 5 และ บัส 11	8.631 MW	0.262 MW	3.131 %
ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	8.369 MW	-	-

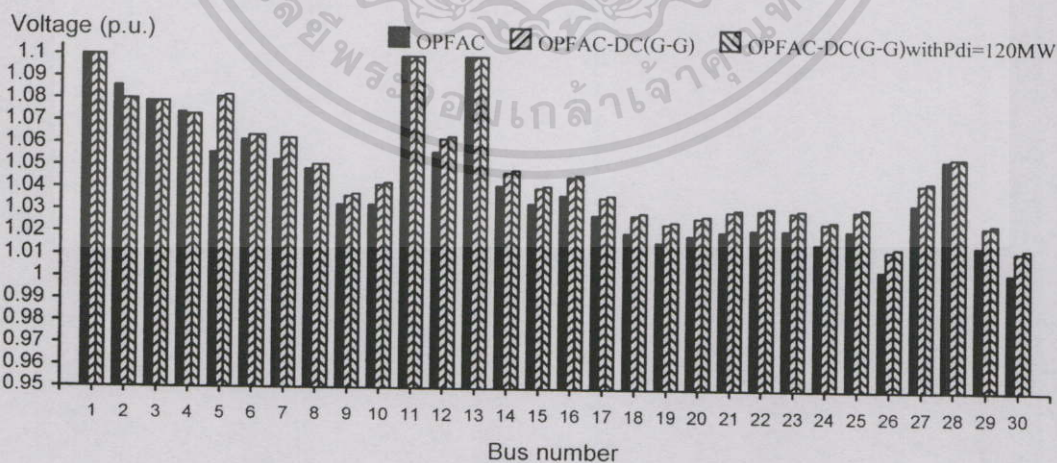
ตารางที่ 6.79 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบ  
ปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัส  
ที่ 2 กับเจนบัสที่ 5

สถานะของ ซิงโครนัส คอนเดนเซอร์	ต้นทุน การผลิตรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจากการ ที่ระบบไม่มีการ เปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก การที่ระบบไม่มีการ เปลี่ยนแปลง
ไม่มีซิงโครนัส คอนเดนเซอร์ที่บัส 5	2916.59 (฿/hr)	0.01 (฿/hr)	0.0003 %
ไม่มีซิงโครนัส คอนเดนเซอร์ที่บัส 11	2918.80 (฿/hr)	2.22 (฿/hr)	0.076 %
ไม่มีซิงโครนัส คอนเดนเซอร์ ที่บัส 5 และ บัส 11	2919.07 (฿/hr)	2.49 (฿/hr)	0.085 %
ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	2916.58 (฿/hr)	-	-

จากตารางที่ 6.78 และ 6.79 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในอีก 3 สถานะ และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์เมื่อไม่มีซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5&11 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในอีก 3 สถานะ และมีค่าเพิ่มขึ้น 3.131 % และ 0.085 % ตามลำดับจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง

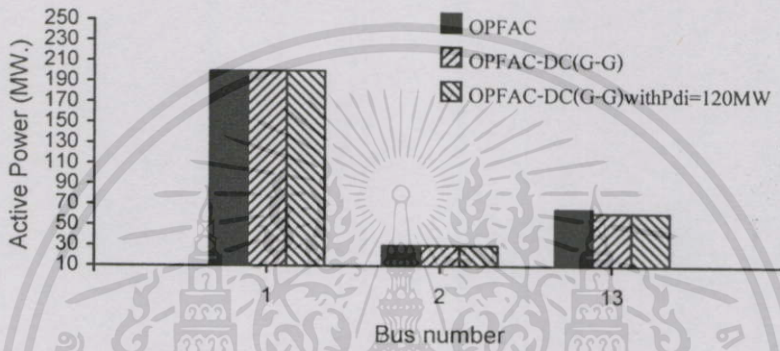
#### 6.10.4 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์เมื่อกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส

ในการวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์เมื่อกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส ซึ่งกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงด้านอินเวอร์เตอร์ เท่ากับ 120 MW (OPFAC-DC(G-G) with P<sub>di</sub>=120MW) โดยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับอีก 2 ระบบ คือ ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (OPFAC), ระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัสเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-G)) โดยพิจารณาขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้านอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์, ค่าผลลัพท์ของระบบ HVDC, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบ, ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ

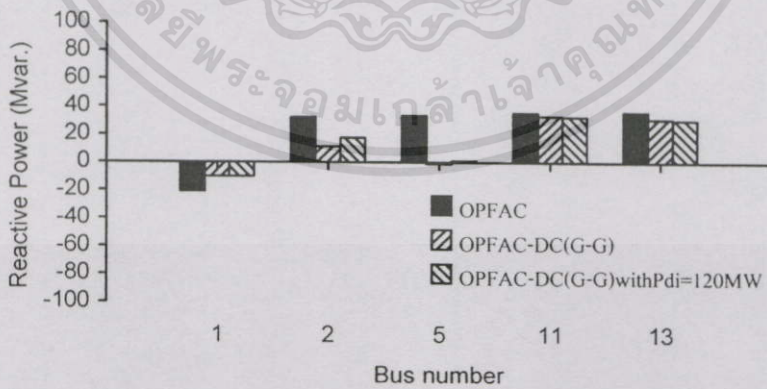


รูปที่ 6.91 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5

จากรูปที่ 6.91 พบว่าการทำออปติมิสเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC(G-G) และ OPFAC-DC(G-G) with Pdi=120MW) ให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับการทำออปติมิสเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี (OPFAC) ยกเว้นบัสที่ 2 และ 4 เนื่องจากพฤติกรรมของระบบ HVDC ที่เปรียบเสมือนเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟให้กับระบบจากฟิลเตอร์ที่ติดตั้งที่บัส และเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-G) with Pdi=120MW) ทำให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-G))



รูปที่ 6.92 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5



รูปที่ 6.93 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์จากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5

จากรูปที่ 6.92 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ในทุกระบบให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 และ 2 มีค่าเท่ากัน แต่ที่บัส 13 การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC(G-G) และ OPFAC-DC(G-G) with Pdi=120MW) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ของระบบเอซี (OPFAC) และเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-G) with Pdi=120MW) ทำให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่ามากกว่าเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-G))

และจากรูปที่ 6.93 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC(G-G) และ OPFAC-DC(G-G) with Pdi=120MW) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมมีค่าน้อยกว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ของระบบเอซี (OPFAC) เนื่องจากพฤติกรรมของระบบ HVDC ที่เปรียบเสมือนเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟให้กับระบบจากฟิลเตอร์ที่ติดตั้งที่บัส และเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-G) with Pdi=120MW) ทำให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมมีค่ามากกว่าเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-G))

ตารางที่ 6.80 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเงินบัสที่ 2 กับเงินบัสที่ 5

	Rectifier		Inverter	
	OPFAC-DC (G-G)	OPFAC-DC (G-G) withPdi=120MW	OPFAC-DC (G-G)	OPFAC-DC (G-G) withPdi=120MW
AC Bus	2		5	
D.C. Voltage (p.u.)	1.500	1.496	1.491	1.486
Transformer tap (p.u.)	1.099	1.1	1.1	1.099
Control angles (deg.)	7.081	7	16	16.277
Overlap angles (deg.)	21.486	22.369	10.437	10.843
Power factor	0.935	0.932	0.928	0.925
D.C. Current (p.u.)	0.760	0.807	0.760	0.807
D.C. link power (MW)	114.025	120.769	113.343	120.000

จากตารางที่ 6.80 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซีเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-G)) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่าน้อยกว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซีเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-G) with Pdi=120MW) และให้ค่า Control angles มีค่าเท่ากับค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่ด้าน Inverter ส่วนการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซีเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ให้ค่า Control angles มีค่าเท่ากับค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่ด้าน Rectifier

ตารางที่ 6.81 ผลลัพธ์ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5

	การผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจาก OPFAC-DC(G-G)	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก OPFAC-DC(G-G)
OPFAC	295.313 MW	3.544 MW	1.215 %
OPFAC-DC(G-G) WithPdi=120MW	291.816 MW	0.047 MW	0.016 %
OPFAC-DC(G-G)	291.769 MW	-	-

จากตารางที่ 6.81 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซี เมื่อมีและไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-G) และ OPFAC-DC(G-G) with Pdi=120MW) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบน้อยกว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช (OPFAC) และเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-G) with Pdi=120MW) ทำให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบมีค่ามากกว่าเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-G)) สำหรับการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช (OPFAC) และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซีเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-G) with Pdi=120MW) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบเพิ่มขึ้นจากการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซีเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-G)) คิดเป็น 1.215 % และ 0.016 % ตามลำดับ

ตารางที่ 6.82 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5

	กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจาก OPFAC-DC(G-G)	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก OPFAC-DC(G-G)
OPFAC	11.913 MW	3.544 MW	42.347 %
OPFAC-DC(G-G) WithPdi=120MW	8.416 MW	0.047 MW	0.562 %
OPFAC-DC(G-G)	8.369 MW	-	-

จากตารางที่ 6.82 พบว่าการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC(G-G) และ OPFAC-DC(G-G) with Pdi=120MW) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบน้อยกว่าการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี (OPFAC) และเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-G) with Pdi=120MW) ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมีค่ามากกว่าเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-G)) สำหรับการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี (OPFAC) และการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-G) with Pdi=120MW) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบเพิ่มขึ้นจากการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-G)) คิดเป็น 42.347 % และ 0.562 % ตามลำดับ

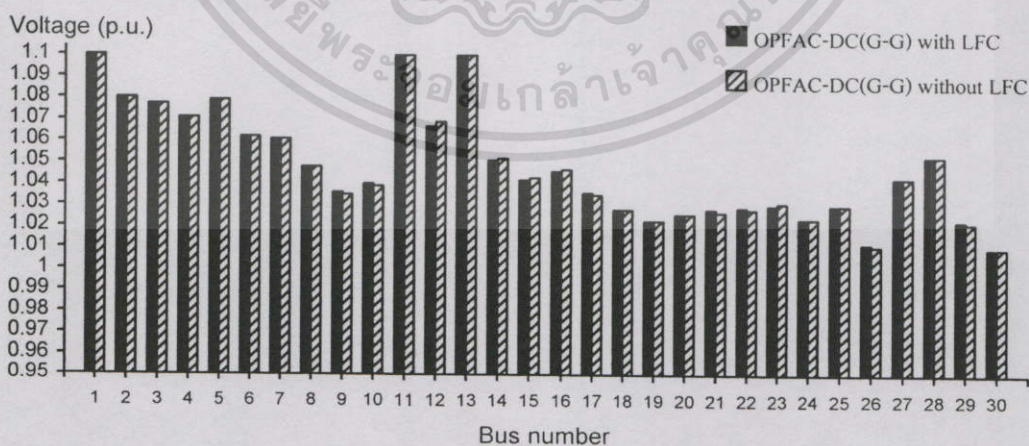
ตารางที่ 6.83 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5

	ต้นทุนการผลิตรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการ OPFAC-DC(G-G)	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก OPFAC-DC(G-G)
OPFAC	2950.28 (฿/hr)	33.70 (฿/hr)	1.155 %
OPFAC-DC(G-G) WithPdi=120MW	2917.03 (฿/hr)	0.45 (฿/hr)	0.015 %
OPFAC-DC(G-G)	2916.58 (฿/hr)	-	-

จากตารางที่ 6.83 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC(G-G) และ OPFAC-DC(G-G) with Pdi=120MW) ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบน้อยกว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี (OPFAC) และเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-G) with Pdi=120MW) ทำให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่ามากกว่าเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-G)) สำหรับการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี (OPFAC) และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-G) with Pdi=120MW) ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบเพิ่มขึ้นจากการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC (OPFAC-DC(G-G)) คิดเป็น 1.155 % และ 0.015 % ตามลำดับ

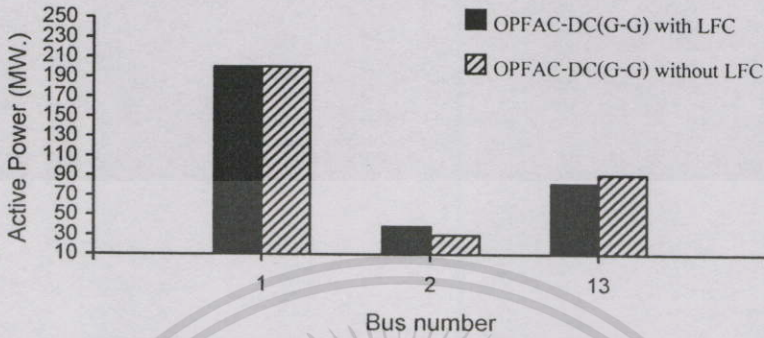
#### 6.10.5 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัสโดยรวมเพิ่มขึ้น

ในการวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัสเปลี่ยนแปลง จะทำการวิเคราะห์เมื่อโหลดในระบบเพิ่มขึ้นใน 2 เงื่อนไข คือ เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) with LFC) และเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) without LFC) ซึ่งมีข้อมูลอยู่ในภาคผนวก ก. และในตารางที่ ผ.6.20 ถึง ผ.6.22 และ ผ.6.25 โดยพิจารณาค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์, ค่าผลลัพธ์ของระบบ HVDC, ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ



รูปที่ 6.94 ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยรวมเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 6.94 พบว่าการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีคววนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) with LFC) ให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบมีค่าใกล้เคียงกับเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีคววนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) without LFC)



รูปที่ 6.95 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยรวมเพิ่มขึ้น



รูปที่ 6.96 ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยรวมเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 6.95 พบว่าการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีคววนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) with LFC) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบโดยรวมมีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีคววนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) without LFC) และให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 13 เท่ากับขีดจำกัดการผลิตสูงสุด และจากรูปที่ 6.96 พบว่าการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีคววนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) with LFC) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟ

ฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบ โดยรวมมีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีควอนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) without LFC)

ตารางที่ 6.84 ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยรวมเพิ่มขึ้น

	Rectifier		Inverter	
	OPFAC-DC (G-G) with LFC	OPFAC-DC (G-G) without LFC	OPFAC-DC (G-G) with LFC	OPFAC-DC (G-G) without LFC
AC Bus	2		5	
D.C. Voltage (p.u.)	1.494	1.494	1.484	1.484
Transformer tap (p.u.)	1.1	1.1	1.1	1.1
Control angles (deg.)	7	7	16	16
Overlap angles (deg.)	22.641	22.523	11.139	11.063
Power factor	0.931	0.931	0.926	0.926
D.C. Current (p.u.)	0.825	0.816	0.825	0.816
D.C. link power (MW)	123.227	121.890	122.424	121.105

จากตารางที่ 6.84 พบว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลาร์เมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีควอนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) without LFC) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่าน้อยกว่าเมื่อคิดผลของโหลดฟรีควอนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) with LFC)

ตารางที่ 6.85 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยรวมเพิ่มขึ้น

	กำลังไฟฟ้าจริง สูญเสียรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจากการ ที่โหลดในระบบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจาก การที่โหลดในระบบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC-DC(G-G)	8.369 MW	-	-
OPFAC-DC(G-G) with LFC	9.279 MW	0.910 MW	10.873 %
OPFAC-DC(G-G) without LFC	9.459 MW	1.090 MW	13.024 %

จากตารางที่ 6.85 พบว่าการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) with LFC) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมีค่าต่ำกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) without LFC) และคิดเป็น 10.873 % ที่เพิ่มขึ้นจากเมื่อโหลดในระบบยังไม่มีเปลี่ยนแปลง

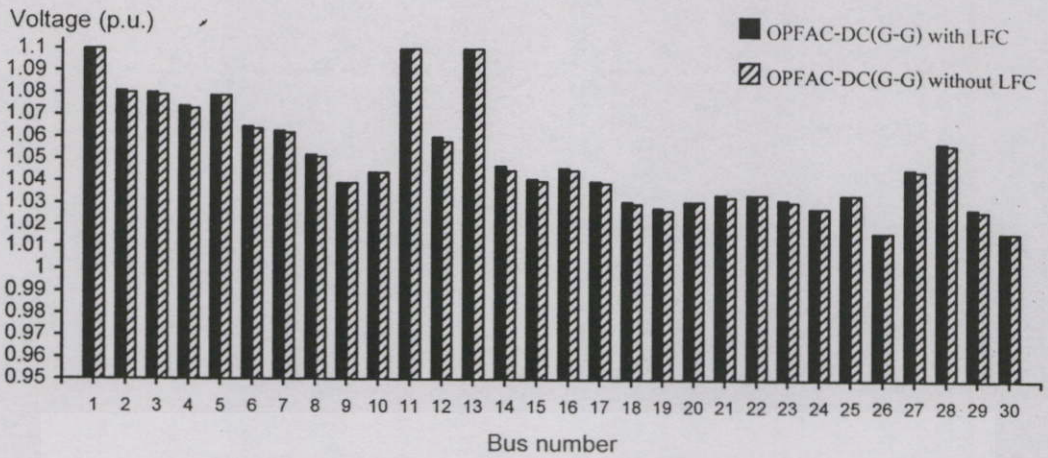
ตารางที่ 6.86 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนรวมการผลิตรวมของระบบจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยรวมเพิ่มขึ้น

สถานะค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ	ต้นทุนการผลิตรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่โหลดในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่โหลดในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC-DC(G-G)	2916.58 (฿/hr)	-	-
OPFAC-DC(G-G) with LFC	3196.90 (฿/hr)	280.32 (฿/hr)	9.611 %
OPFAC-DC(G-G) without LFC	3199.46 (฿/hr)	282.88 (฿/hr)	9.699 %

จากตารางที่ 6.86 พบว่าการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) with LFC) ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าต่ำกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) without LFC) และคิดเป็น 9.611 % ที่เพิ่มขึ้นจากเมื่อโหลดในระบบยังไม่มีเปลี่ยนแปลง

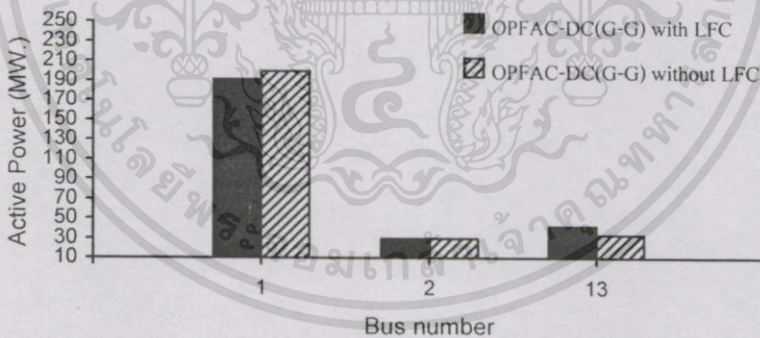
#### 6.10.6 การวิเคราะห์การทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัสโดยรวมลดลง

ในการวิเคราะห์การทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมต่อกับระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัสเปลี่ยนแปลง จะทำการวิเคราะห์เมื่อโหลดในระบบลดลงใน 2 เงื่อนไข คือ เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) with LFC) และเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) without LFC) ซึ่งมีข้อมูลอยู่ในภาคผนวก ค. และในตารางที่ ผ.6.20, ผ.6.26, ผ.6.27 และ ผ.6.30 โดยพิจารณาขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์, ค่าผลลัพธ์ของระบบ HVDC, ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ดังนี้คือ



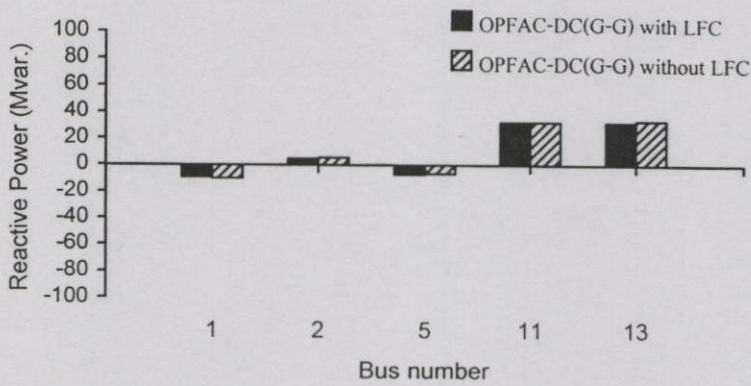
**รูปที่ 6.97** ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยรวมลดลง

จากรูปที่ 6.97 พบว่าการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีควเอนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) with LFC) ให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบมีค่าใกล้เคียงกับเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีควเอนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) without LFC)



**รูปที่ 6.98** ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยรวมลดลง

จากรูปที่ 6.98 พบว่าการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีควเอนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) with LFC) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบโดยรวมมีค่ามากกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีควเอนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) without LFC) และให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 13 เท่ากับขีดจำกัดการผลิตต่ำสุด



**รูปที่ 6.99** ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยรวมลดลง

และจากรูปที่ 6.99 พบว่าการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) with LFC) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ในระบบโดยรวมมีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) without LFC)

**ตารางที่ 6.87** ผลลัพธ์ของระบบ HVDC จากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยรวมลดลง

	Rectifier		Inverter	
	OPFAC-DC (G-G) with LFC	OPFAC-DC (G-G) without LFC	OPFAC-DC (G-G) with LFC	OPFAC-DC (G-G) without LFC
AC Bus	2		5	
DC Voltage (p.u.)	1.50	1.50	1.492	1.492
Transformer tap (p.u.)	1.1	1.098	1.1	1.1
Control angles (deg.)	9.304	8.51	16	16
Overlap angles (deg.)	18.808	19.462	9.763	9.824
Power factor	0.934	0.936	0.931	0.931
DC Current (p.u.)	0.698	0.705	0.698	0.705
DC link power (MW)	104.636	105.688	104.061	105.102

จากตารางที่ 6.87 พบว่าการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของ โหลดฟรีแควนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) with LFC) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC มีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) without LFC)

ตารางที่ 6.88 ผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเงินบัสที่ 2 กับเงินบัสที่ 5 โดยรวมลดลง

	กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่โหลดในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่โหลดในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC-DC(G-G)	8.369 MW	-	-
OPFAC-DC(G-G) with LFC	7.252 MW	-1.117 MW	-13.347 %
OPFAC-DC(G-G) without LFC	7.625 MW	-0.744 MW	-8.890 %

จากตารางที่ 6.88 พบว่าการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์เมื่อคิดผลของ โหลดฟรีแควนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) with LFC) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมีค่าต่ำกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) without LFC) และคิดเป็น 13.347 % ที่ลดลงจากเมื่อโหลดในระบบยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 6.89 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนรวมการผลิตรวมของระบบจากผลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเงินบัสที่ 2 กับเงินบัสที่ 5 โดยรวมลดลง

สถานะค่าแท่งของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ	ต้นทุนการผลิตรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่โหลดในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่โหลดในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC-DC(G-G)	2916.58 (฿/hr)	-	-
OPFAC-DC(G-G) with LFC	2650.42 (฿/hr)	-266.16 (฿/hr)	-9.126 %
OPFAC-DC(G-G) without LFC	2644.21 (฿/hr)	-272.37 (฿/hr)	-9.339 %

จากตารางที่ 6.89 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) without LFC) ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าต่ำกว่าเมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล (OPFAC-DC(G-G) with LFC) และคิดเป็น 9.339 % ที่ลดลงจากเมื่อโหลดในระบบยังไม่มีเปลี่ยนแปลง

## 6.11 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม

ในการวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม จะแบ่งหัวข้อในการพิจารณาออกเป็น 6 หัวข้อคือ การวิเคราะห์ผลของการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม, การวิเคราะห์ผลของตัวเก็บประจุต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม, การวิเคราะห์ผลของซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม, การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ในทุกระบบโดยรวม และการวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซีเปลี่ยนแปลงโดยรวมเพิ่มขึ้นและลดลงเมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล ดังนี้คือ

### 6.11.1 การวิเคราะห์ผลของการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม

ในการวิเคราะห์ผลของการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม จะทำการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่มีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) ของค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการที่ค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบมีค่าเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) ของระบบเอซี-ดีซีโดยรวม ดังตารางที่ 6.90 และ 6.91 ดังนี้คือ

ตารางที่ 6.90 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างของค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม

สถานะค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.)	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่มีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active)
OPFAC	1.377 %
OPFAC-DC(L-L)	1.042 %
OPFAC-DC(G-L)	1.314 %
OPFAC-DC(G-G)	3.334 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 6.90 แสดงถึงผลของสถานะของค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ในแต่ละระบบ ซึ่งพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) โดยการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ของระบบเอช-ดีซีเมื่อเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส (OPFAC-DC(G-G)) ให้ค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดคิดเป็น 3.334 % และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ของระบบเอช-ดีซีเมื่อเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส (OPFAC-DC(L-L)) ให้ค่าเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดคิดเป็น 1.042 %

ตารางที่ 6.91 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างของค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบเอช-ดีซีโดยรวม

สถานะค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.)	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่มีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active)
OPFAC	0.053 %
OPFAC-DC(L-L)	0.036 %
OPFAC-DC(G-L)	0.044 %
OPFAC-DC(G-G)	0.091 %

จากตารางที่ 6.91 แสดงถึงผลของสถานะของค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบเท่ากับ 1 p.u. (Taps=1 p.u.) ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ในแต่ละระบบ ซึ่งพบว่าค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเมื่อมีการปรับค่าแท็ปในระบบ (Taps Active) โดยการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ของระบบเอช-ดีซีเมื่อเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส (OPFAC-DC(G-G)) ให้ค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดคิดเป็น 0.091 % และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ของระบบเอช-ดีซีเมื่อเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส (OPFAC-DC(L-L)) ให้ค่าเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดคิดเป็น 0.036 %

### 6.11.2 การวิเคราะห์ผลของตัวเก็บประจุต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ในระบบเอช-ดีซีโดยรวม

ในการวิเคราะห์ผลของตัวเก็บประจุต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ในระบบเอช-ดีซีโดยรวม จะทำการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของการไม่มีตัวเก็บประจุที่ บัส 10 และ 24 (ซึ่งส่งผลต่อค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมากที่สุดในการกรณีที่ระบบมีการเปลี่ยนแปลง) ในระบบเอช-ดีซีโดยรวม ดังตารางที่ 6.92 และ 6.93 ดังนี้คือ

**ตารางที่ 6.92** การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างของค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ จากผลของตัวเก็บประจุในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม

ไม่มีตัวเก็บประจุ ที่บัส 10 และ 24	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่ ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC	1.905 %
OPFAC-DC(L-L)	1.696 %
OPFAC-DC(G-L)	1.314 %
OPFAC-DC(G-G)	2.426 %

จากตารางที่ 6.92 แสดงถึงผลของการไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10 และ 24 ต่อการทำออปติไมซ์เพาเวอร์ฟลักซ์ในแต่ละระบบ ซึ่งพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยการทำออปติไมซ์เพาเวอร์ฟลักซ์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส (OPFAC-DC(G-G)) ให้ค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดคิดเป็น 2.426 % และการทำออปติไมซ์เพาเวอร์ฟลักซ์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหลดบัส (OPFAC-DC(G-L)) ให้ค่าเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดคิดเป็น 1.314 %

**ตารางที่ 6.93** การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างของค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของตัวเก็บประจุในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม

ไม่มีตัวเก็บประจุ ที่บัส 10 และ 24	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่ ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC	0.073 %
OPFAC-DC(L-L)	0.059 %
OPFAC-DC(G-L)	0.044 %
OPFAC-DC(G-G)	0.066 %

จากตารางที่ 6.93 แสดงถึงผลของการไม่มีตัวเก็บประจุที่บัส 10 และ 24 ต่อการทำออปติไมซ์เพาเวอร์ฟลักซ์ในแต่ละระบบ ซึ่งพบว่าค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยการทำออปติไมซ์เพาเวอร์ฟลักซ์ของระบบเอซี (OPFAC) ให้ค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดคิดเป็น 0.073 % และการทำออปติไมซ์เพาเวอร์ฟลักซ์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหลดบัส (OPFAC-DC(G-L)) ให้ค่าเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดคิดเป็น 0.044 %

### 6.11.3 การวิเคราะห์ผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม

ในการวิเคราะห์ผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม จะทำการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของการที่ไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5 และ 11 (ซึ่งส่งผลต่อค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมากที่สุดกรณีที่ระบบมีการเปลี่ยนแปลง) ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม ดังตารางที่ 6.94 และ 6.95 ดังนี้คือ

ตารางที่ 6.94 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างของค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม

ไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5 และ บัส 11	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC	7.622 %
OPFAC-DC(L-L)	4.895 %
OPFAC-DC(G-L)	3.960 %
OPFAC-DC(G-G)	3.131 %

จากตารางที่ 6.94 แสดงถึงผลของการไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5 และ 11 ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ในแต่ละระบบ ซึ่งพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ของระบบเอซี (OPFAC) ให้ค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดคิดเป็น 7.622 % และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลาร์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเงินบัสกับเงินบัส (OPFAC-DC(G-G)) ให้ค่าเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดคิดเป็น 3.131 %

ตารางที่ 6.95 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างของค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม

ไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5 และ บัส 11	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC	0.293 %
OPFAC-DC(L-L)	0.171 %
OPFAC-DC(G-L)	0.132 %
OPFAC-DC(G-G)	0.085 %

จากตารางที่ 6.95 แสดงถึงผลของการไม่มีซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ที่บัส 5 และ 11 ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ในแต่ละระบบ ซึ่งพบว่าค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ของระบบเอซี (OPFAC) ให้ค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดคิดเป็น 0.293 % และการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส (OPFAC-DC(G-G)) ให้ค่าเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดคิดเป็น 0.085 %

#### 6.11.4 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์เมื่อกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม

ในการวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์เมื่อกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม จะทำการเปรียบเทียบค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบ, ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบ จากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม ดังตารางที่ 6.96 และ 6.98 ดังนี้คือ

ตารางที่ 6.96 การเปรียบเทียบค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม

	การผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบ (MW)
OPFAC	295.313
OPFAC-DC(L-L)	294.247
OPFAC-DC(G-L)	293.677
OPFAC-DC(G-G)	291.769

ตารางที่ 6.97 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม

	ความสูญเสียกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบ (MW)
OPFAC	11.913
OPFAC-DC(L-L)	10.847
OPFAC-DC(G-L)	10.277
OPFAC-DC(G-G)	8.369

จากตารางที่ 6.96 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี (OPFAC) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 295.313 MW และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อมีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส (OPFAC-DC (G-G)) ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 291.769 MW

และจากตารางที่ 6.97 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี (OPFAC) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 11.913 MW และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อมีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส (OPFAC-DC(G-G)) ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 8.369 MW

**ตารางที่ 6.98** การเปรียบเทียบค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม

	ต้นทุนการผลิตรวมของระบบ (₹/hr)
OPFAC	2950.28
OPFAC-DC(L-L)	2940.14
OPFAC-DC(G-L)	2934.71
OPFAC-DC(G-G)	2916.58

จากตารางที่ 6.98 พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี (OPFAC) ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 2950.28 ₹/hr และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีเมื่อมีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส (OPFAC-DC(G-G)) ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 2916.58 ₹/hr

#### 6.11.5 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซีเปลี่ยนแปลงโดยรวมเพิ่มขึ้นเมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล

ในการวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์เนื่องจากโหลดในระบบเอซี-ดีซีเปลี่ยนแปลงโดยรวมเพิ่มขึ้นเมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล จะทำการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่โหลดในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของโหลดในระบบเอซี-ดีซีเปลี่ยนแปลงโดยรวมเพิ่มขึ้นเมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล ซึ่งแสดงในตารางที่ 6.99 และ 6.100 ตามลำดับดังนี้คือ

**ตารางที่ 6.99** การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างของค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ จากผลของโหลดในระบบเอซี-ดีซีเปลี่ยนแปลงโดยรวมเพิ่มขึ้นเมื่อคิดผลของโหลด ฟรีแควนซีคอนโทรล

จากการที่โหลดในระบบเปลี่ยนแปลงโดยรวมเพิ่มขึ้น เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่โหลด ในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC with LFC	13.305 %
OPFAC-DC(L-L) with LFC	11.902 %
OPFAC-DC(G-L) with LFC	13.778 %
OPFAC-DC(G-G) with LFC	10.873 %

จากตารางที่ 6.99 แสดงถึงค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นจากการที่ โหลดในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละระบบเมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล โดย การทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหลด บัส (OPFAC-DC(G-L) with LFC) ให้ค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดคิดเป็น 13.778 % และการทำออปติมัลเพาเวอร์ โพล์ของระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส (OPFAC-DC(G-G) with LFC) ให้ค่าเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดคิดเป็น 10.873 %

**ตารางที่ 6.100** การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างของค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผล ของโหลดในระบบเอซี-ดีซีเปลี่ยนแปลงโดยรวมเพิ่มขึ้นเมื่อคิดผลของโหลดฟรี แควนซีคอนโทรล

จากการที่โหลดในระบบเปลี่ยนแปลงโดยรวมเพิ่มขึ้น เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่โหลด ในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC with LFC	9.760 %
OPFAC-DC(L-L) with LFC	9.683 %
OPFAC-DC(G-L) with LFC	9.742 %
OPFAC-DC(G-G) with LFC	9.611 %

จากตารางที่ 6.100 แสดงถึงค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นจากการที่โหลด ในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละระบบเมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล โดยการ ทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี (OPFAC with LFC) ให้ค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดคิดเป็น 9.760 % และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับ เจนบัส (OPFAC-DC(G-G) with LFC) ให้ค่าเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดคิดเป็น 9.611 %

### 6.11.6 การวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เนื่องจากโหลดในระบบเอช-ดีซีเปลี่ยนแปลงโดยรวมลดลงเมื่อคิดผลของโหลดฟรีควนซ์คอนโทรล

ในการวิเคราะห์การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์เนื่องจาก โหลดในระบบเอช-ดีซีเปลี่ยนแปลงโดยรวมลดลงเมื่อคิดผลของโหลดฟรีควนซ์คอนโทรล จะทำการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่โหลดในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของโหลดในระบบเอช-ดีซีเปลี่ยนแปลงโดยรวมลดลงเมื่อคิดผลของโหลดฟรีควนซ์คอนโทรล ดังตารางที่ 6.101 และ 6.102 ดังนี้คือ

**ตารางที่ 6.101** การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างของค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจากผลของโหลดในระบบเอช-ดีซีเปลี่ยนแปลงโดยรวมลดลงเมื่อคิดผลของโหลดฟรีควนซ์คอนโทรล

จากการที่โหลดในระบบเปลี่ยนแปลงโดยรวมลดลงเมื่อคิดผลของโหลดฟรีควนซ์คอนโทรล	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่โหลดในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC with LFC	-14.656 %
OPFAC-DC(L-L) with LFC	-13.359 %
OPFAC-DC(G-L) with LFC	-15.822 %
OPFAC-DC(G-G) with LFC	-13.347 %

**ตารางที่ 6.102** การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างของค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากผลของโหลดในระบบเอช-ดีซีเปลี่ยนแปลงโดยรวมลดลงเมื่อคิดผลของโหลดฟรีควนซ์คอนโทรล

จากการที่โหลดในระบบเปลี่ยนแปลงโดยรวมลดลงเมื่อคิดผลของโหลดฟรีควนซ์คอนโทรล	เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากการที่โหลดในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง
OPFAC with LFC	-9.228 %
OPFAC-DC(L-L) with LFC	-9.165 %
OPFAC-DC(G-L) with LFC	-9.232 %
OPFAC-DC(G-G) with LFC	-9.126 %

จากตารางที่ 6.101 แสดงถึงค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมีค่าลดลงจากการที่โหลดในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละระบบเมื่อคิดผลของโหลดฟรีควนซ์คอนโทรล โดยการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบเอช-ดีซีที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหลดบัส (OPFAC-DC(G-L) with LFC) ให้ค่าลดลงมากที่สุดคิดเป็น 15.822 % และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบเอช-ดีซีที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส

(OPFAC-DC(G-G) with LFC) ให้ค่าลดลงน้อยที่สุดคิดเป็น 13.347 % และจากตารางที่ 6.102 แสดงถึงค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าลดลงจากการที่โหลดในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละระบบเมื่อคิดผลของโหลดฟรีควนซ์คอนโทรล โดยการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบเอซี-ดีซีที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหลด บัส (OPFAC-DC(G-L) with LFC) ให้ค่าลดลงมากที่สุดคิดเป็น 9.232 % และการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส (OPFAC-DC(G-G) with LFC) ให้ค่าลดลงน้อยที่สุดคิดเป็น 9.126 %

## 6.12 การนำโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ทั้งของระบบเอซีและระบบเอซี-ดีซี มาใช้ในการวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบ

ในการนำโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ทั้งของระบบเอซี (OPFAC) และระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) มาใช้ในการวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบ จะทำการหาค่าแห่งการติดตั้งและค่าขนาดของตัวเก็บประจุ โดยใช้ค่า Bus Reactive Power Pricing ที่ได้จากโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ เป็นตัวบ่งชี้ว่าจะติดตั้งตัวเก็บประจุที่บัสใดในระบบ โดยใช้ค่าของบัสที่มีค่ามากที่สุด โดยวิทยานิพนธ์นี้ได้กำหนดเกณฑ์ในการเลือกค่าขนาดของตัวเก็บประจุเป็นค่าคุ้มทุนของการเพิ่มขนาดของตัวเก็บประจุขึ้น 1 Mvar ต้องทำให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าลดลงมากกว่าหรือเท่ากับ 0.05 (฿/hr) และจะทำการวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุใน 4 ระบบดังนี้คือ

1. ระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส โดยใช้โปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบเอซี
2. ระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสที่ 4 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยใช้โปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบเอซี-ดีซี
3. ระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 โดยใช้โปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบเอซี-ดีซี
4. ระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 โดยใช้โปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบเอซี-ดีซี

### 6.12.1 การนำโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบเอซี (OPFAC) มาใช้ในการวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

การนำโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบเอซี (OPFAC) มาใช้ในการวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส จะใช้ค่า Bus Reactive Power Pricing จากผนวก ง. ตารางที่ ผ.6.31 ซึ่งพบว่ามีค่ามากที่สุดที่บัส 26 ดังนั้นจะทำการจำลองการติดตั้งตัวเก็บประจุที่ค่าขนาดต่างๆที่บัส 26 โดยใช้โปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบเอซี (OPFAC) เพื่อให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าต่ำที่สุด และเป็นตามข้อกำหนดค่าคุ้มทุนของการเพิ่มขนาดของ

ตัวเก็บประจุขึ้น 1 Mvar ดังแสดงในตารางที่ 6.103

**ตารางที่ 6.103** ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการติดตั้งตัวเก็บประจุขนาดต่างๆ ที่บัส 26 ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

สถานะของ ตัวเก็บประจุ	ต้นทุน การผลิตรวม ของระบบ	ค่าแตกต่างจากการ ที่ระบบไม่มีการ เปลี่ยนแปลง	ค่าแตกต่างจากการติดตั้ง ค่าขนาดของตัวเก็บประจุ ค่าก่อนหน้า
ติดตั้งตัวเก็บประจุ ที่บัส 26 = 2 Mvar	2949.91 (฿/hr)	-0.37 (฿/hr)	-
ติดตั้งตัวเก็บประจุ ที่บัส 26 = 3 Mvar	2949.83 (฿/hr)	-0.45 (฿/hr)	-0.08 (฿/hr)
ติดตั้งตัวเก็บประจุ ที่บัส 26 = 4 Mvar	2949.81 (฿/hr)	-0.47 (฿/hr)	-0.02 (฿/hr)
ติดตั้งตัวเก็บประจุ ที่บัส 26 = 5 Mvar	2949.86 (฿/hr)	-0.42 (฿/hr)	0.05 (฿/hr)
ติดตั้งตัวเก็บประจุ ที่บัส 26 = 10 Mvar	2951.00 (฿/hr)	0.72 (฿/hr)	1.14 (฿/hr)
ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	2950.28 (฿/hr)	-	-

จากตารางที่ 6.103 พบว่าค่าขนาดของตัวเก็บประจุที่จะติดตั้งมีค่าเท่ากับ 3 Mvar เนื่องจากลดค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากค่าขนาดของตัวเก็บประจุมีค่า 2 Mvar เท่ากับ 0.08 (฿/hr) และค่าขนาดของตัวเก็บประจุมีค่า 4 Mvar ลดค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบเท่ากับ 0.02 (฿/hr) ซึ่งเกินข้อกำหนดค่าต้นทุนของการเพิ่มขนาดของตัวเก็บประจุขึ้น 1 Mvar และจะเห็นว่าถ้าติดตั้งค่าขนาดของตัวเก็บประจุมีค่ามากเกินไปค่าขนาดของตัวเก็บประจุที่ทำให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุด (เท่ากับ 4 Mvar) จะส่งผลให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบกลับมีค่าเพิ่มมากขึ้นคือที่ 5 Mvar ขึ้นไป โดยเฉพาะที่ค่าขนาดของตัวเก็บประจุมีค่า 10 Mvar ทำให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าเพิ่มมากขึ้นกว่าการที่ไม่ได้ทำการติดตั้งตัวเก็บประจุ

### 6.12.2 การนำโปรแกรมออปติมิซเพาเวอร์ฟลิวส์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) มาใช้ในการวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

การนำโปรแกรมออปติมิซเพาเวอร์ฟลิวส์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) มาใช้ในการวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

แผนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับ โหนดบัสที่ 6 จะใช้ค่า Bus Reactive Power Pricing จากผนวก ง. ตารางที่ ผ.6.32 ซึ่งพบว่ามีความมากที่สุดที่บัส 26 ดังนั้นจะทำการจำลองการติดตั้งตัวเก็บประจุที่ค่าขนาดต่างๆที่บัส 26 โดยใช้โปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) เพื่อให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าต่ำที่สุดและเป็นตามข้อกำหนดค่าคุ้มทุนของการเพิ่มขนาดของตัวเก็บประจุขึ้น 1 Mvar ดังแสดงในตารางที่ 6.104

ตารางที่ 6.104 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการติดตั้งตัวเก็บประจุขนาดต่างๆที่บัส 26 ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับ โหนดบัสที่ 6

สถานะของตัวเก็บประจุ	ต้นทุนการผลิตรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	ค่าแตกต่างจากการติดตั้งค่าขนาดของตัวเก็บประจุค่าก่อนหน้า
ติดตั้งตัวเก็บประจุที่บัส 26 = 1 Mvar	2939.96 (฿/hr)	-0.18 (฿/hr)	-
ติดตั้งตัวเก็บประจุที่บัส 26 = 2 Mvar	2939.85 (฿/hr)	-0.29 (฿/hr)	-0.11 (฿/hr)
ติดตั้งตัวเก็บประจุที่บัส 26 = 3 Mvar	2939.80 (฿/hr)	-0.34 (฿/hr)	-0.05 (฿/hr)
ติดตั้งตัวเก็บประจุที่บัส 26 = 4 Mvar	2939.82 (฿/hr)	-0.32 (฿/hr)	0.02 (฿/hr)
ติดตั้งตัวเก็บประจุที่บัส 26 = 10 Mvar	2941.17 (฿/hr)	1.03 (฿/hr)	1.35 (฿/hr)
ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	2940.14 (฿/hr)	-	-

จากตารางที่ 6.104 พบว่าค่าขนาดของตัวเก็บประจุที่จะติดตั้งมีค่าเท่ากับ 3 Mvar เนื่องจากลดค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากค่าขนาดของตัวเก็บประจุมีค่า 2 Mvar เท่ากับ 0.05 (฿/hr) โดยเป็นไปซื้อข้อกำหนดค่าคุ้มทุนของการเพิ่มขนาดของตัวเก็บประจุขึ้น 1 Mvar และจะเห็นว่าถ้าติดตั้งค่าขนาดของตัวเก็บประจุมีค่ามากเกินไปกว่าค่าขนาดของตัวเก็บประจุที่ทำให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุด (เท่ากับ 3 Mvar) จะส่งผลให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบกลับมีค่าเพิ่มมากขึ้นคือที่ 4 Mvar ขึ้นไป โดยเฉพาะที่ค่าขนาดของตัวเก็บประจุมีค่า 10 Mvar ทำให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าเพิ่มมากขึ้นกว่าการที่ไม่ได้ทำการติดตั้งตัวเก็บประจุ

6.12.3 การนำโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพล์ว์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) มาใช้ในการวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหนดบัสที่ 6

การนำโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพล์ว์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) มาใช้ในการวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหนดบัสที่ 6 จะใช้ค่า Bus Reactive Power Pricing จากผนวก ง. ตารางที่ ผ.6.33 ซึ่งพบว่ามีค่ามากที่สุดที่บัส 26 ดังนั้นจะทำการจำลองการติดตั้งตัวเก็บประจุที่ค่าขนาดต่างๆที่บัส 26 โดยใช้โปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพล์ว์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) เพื่อให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าที่ต่ำที่สุดและเป็นตามข้อกำหนดค่าต้นทุนของการเพิ่มขนาดของตัวเก็บประจุขึ้น 1 Mvar ดังแสดงในตารางที่ 6.105

ตารางที่ 6.105 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการติดตั้งตัวเก็บประจุขนาดต่างๆที่บัส 26 ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหนดบัสที่ 6

สถานะของตัวเก็บประจุ	ต้นทุนการผลิตรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการจำลองที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	ค่าแตกต่างจากการติดตั้งค่าขนาดของตัวเก็บประจุค่าก่อนหน้า
ติดตั้งตัวเก็บประจุที่บัส 26 = 1 Mvar	2934.54 (฿/hr)	-0.17 (฿/hr)	-
ติดตั้งตัวเก็บประจุที่บัส 26 = 2 Mvar	2934.43 (฿/hr)	-0.28 (฿/hr)	-0.11 (฿/hr)
ติดตั้งตัวเก็บประจุที่บัส 26 = 3 Mvar	2934.38 (฿/hr)	-0.33 (฿/hr)	-0.05 (฿/hr)
ติดตั้งตัวเก็บประจุที่บัส 26 = 4 Mvar	2934.40 (฿/hr)	-0.31 (฿/hr)	0.02 (฿/hr)
ติดตั้งตัวเก็บประจุที่บัส 26 = 10 Mvar	2935.67 (฿/hr)	0.96 (฿/hr)	1.27 (฿/hr)
ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	2934.71 (฿/hr)	-	-

จากตารางที่ 6.105 พบว่าค่าขนาดของตัวเก็บประจุที่จะติดตั้งมีค่าเท่ากับ 3 Mvar เนื่องจากลดค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากค่าขนาดของตัวเก็บประจุมีค่า 2 Mvar เท่ากับ 0.05 (฿/hr) โดยเป็นไปข้อกำหนดค่าต้นทุนของการเพิ่มขนาดของตัวเก็บประจุขึ้น 1 Mvar และจะเห็นว่าถ้าติดตั้งค่าขนาดของตัวเก็บประจุมีค่ามากเกินไปค่าขนาดของตัวเก็บประจุที่ทำให้ค่าต้นทุนการผลิตรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของระบบต่ำที่สุด (เท่ากับ 3 Mvar) จะส่งผลให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบกลับมีค่าเพิ่มมากขึ้นคือที่ 4 Mvar ขึ้นไป โดยเฉพาะที่ค่าขนาดของตัวเก็บประจุมีค่า 10 Mvar ทำให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าเพิ่มมากขึ้นกว่าการที่ไม่ได้ทำการติดตั้งตัวเก็บประจุ

**6.12.4 การนำโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) มาใช้ในการวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5**

การนำโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) มาใช้ในการวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 จะใช้ค่า Bus Reactive Power Pricing จากผนวก ง. ตารางที่ ผ.6.34 ซึ่งพบว่ามีค่ามากที่สุดที่บัส 26 ดังนั้นจะทำการจำลองการติดตั้งตัวเก็บประจุที่ค่าขนาดต่างๆที่บัส 26 โดยใช้โปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) เพื่อให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าต่ำที่สุดและเป็นตามข้อกำหนดค่าคุ้มทุนของการเพิ่มขนาดของตัวเก็บประจุขึ้น 1 Mvar ดังแสดงในตารางที่ 6.106

**ตารางที่ 6.106 ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากการติดตั้งตัวเก็บประจุขนาดต่างๆที่บัส 26 ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5**

สถานะของตัวเก็บประจุ	ต้นทุนการผลิตรวมของระบบ	ค่าแตกต่างจากการที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง	ค่าแตกต่างจากการติดตั้งค่าขนาดของตัวเก็บประจุค่าก่อนหน้า
ติดตั้งตัวเก็บประจุที่บัส 26 = 2 Mvar	2916.23 (฿/hr)	-0.35 (฿/hr)	-
ติดตั้งตัวเก็บประจุที่บัส 26 = 3 Mvar	2916.16 (฿/hr)	-0.42 (฿/hr)	-0.07 (฿/hr)
ติดตั้งตัวเก็บประจุที่บัส 26 = 4 Mvar	2916.15 (฿/hr)	-0.43 (฿/hr)	-0.01 (฿/hr)
ติดตั้งตัวเก็บประจุที่บัส 26 = 5 Mvar	2916.20 (฿/hr)	-0.38 (฿/hr)	0.05 (฿/hr)
ติดตั้งตัวเก็บประจุที่บัส 26 = 10 Mvar	2917.33 (฿/hr)	0.75 (฿/hr)	1.13 (฿/hr)
ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	2916.58 (฿/hr)	-	-

จากตารางที่ 6.106 พบว่าค่าขนาดของตัวเก็บประจุที่จะติดตั้งมีค่าเท่ากับ 3 Mvar เนื่องจากลดค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบจากค่าขนาดของตัวเก็บประจุมีค่า 2 Mvar เท่ากับ 0.07 (9\$/hr) และค่าขนาดของตัวเก็บประจุมีค่า 4 Mvar ลดค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบเท่ากับ 0.01 (9\$/hr) ซึ่งเกินข้อกำหนดค่าคุ้มทุนของการเพิ่มขนาดของตัวเก็บประจุขึ้น 1 Mvar และจะเห็นว่าถ้าติดตั้งค่าขนาดของตัวเก็บประจุมีค่ามากเกินไปกว่าค่าขนาดของตัวเก็บประจุที่ทำให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุด (เท่ากับ 4 Mvar) จะส่งผลให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบกลับมีค่าเพิ่มมากขึ้นคือที่ 5 Mvar ขึ้นไป โดยเฉพาะที่ค่าขนาดของตัวเก็บประจุมีค่า 10 Mvar ทำให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าเพิ่มมากขึ้นกว่าการที่ไม่ได้ทำการติดตั้งตัวเก็บประจุ

### 6.13 สรุป

ในการวิเคราะห์การทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ว้ของระบบเอซี-ดีซี จะต้องทำการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมก่อนที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ โดยในขั้นตอนแรกจะต้องทดสอบความถูกต้องของวิธีสี่เหลี่ยมเชิงลควอคราติก โปรแกรมมิ่งในโปรแกรม MATLAB 5.3.1 กับปัญหาทดสอบ จากนั้นนำวิธีสี่เหลี่ยมเชิงลควอคราติก โปรแกรมมิ่งเป็นวิธีในการแก้ปัญหาค่าเหมาะสมที่สุด นั่นคือปัญหาค่าเหมาะงานอย่างประหัดในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งมี 2 วิธีการแก้ปัญหาคือวิธีการง่ายโหลคอย่างประหัดและวิธีการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ว้ แล้วทำการทดสอบวิธีการทั้งสองดังกล่าวในระบบไฟฟ้ากระแสสลับเทียบกับวารสาร IEE ซึ่งได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องจากผู้เชี่ยวชาญแล้ว จากนั้นทำการทดสอบโปรแกรมออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ว้ของระบบเอซี-ดีซีเทียบกับโปรแกรมเอซี-ดีซีโหลคโพล์ว้เพื่อทดสอบในส่วนของเงื่อนไขบังคับแบบสมการ แล้วจึงทำการทดสอบโปรแกรมออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ว้ของระบบเอซี-ดีซีเทียบกับ โปรแกรมการง่ายโหลคอย่างประหัดของระบบเอซี-ดีซี เพื่อทดสอบในส่วนของค่าผลลัพธ์โดยผลลัพธ์ที่ได้ต้องอยู่ในเงื่อนไขบังคับต่างๆของระบบ

สำหรับการวิเคราะห์การทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ว้โดยรวมผลของโหลคฟรีควนซ์ที่คอนโทรล ได้ทำการวิเคราะห์เมื่อรวมและไม่รวมผลของโหลคฟรีควนซ์ที่คอนโทรลทั้งในสถานะที่โหลคในระบบโดยรวมเพิ่มขึ้นและลดลงในทุกระบบ

สำหรับการนำโปรแกรมออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ว้ทั้งของระบบเอซี (OPFAC) และระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) มาใช้ในการวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบ ซึ่งได้แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งบัสที่ติดตั้งตัวเก็บประจุและค่าขนาดของตัวเก็บประจุ ที่ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุดและเป็นไปตามข้อกำหนดที่ได้กำหนดขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้ และทำการวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุกับ 4 ระบบคือ ระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส, ระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่าง 2 ชนิดบัสคือ ระหว่างโหลคบัสที่ 4 กับโหลคบัสที่ 6, ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับโหลคบัสที่ 6 และระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากจุดมุ่งหมายที่ได้กำหนดไว้สำหรับการทำวิทยานิพนธ์นี้ เป็นการนำเสนอการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง โดยใช้วิธีที่ความเร็วและลดความผิดพลาดของโปรแกรม และมีความถูกต้องเพื่อใช้เป็นโปรแกรมจำลอง ในการวิเคราะห์และวางแผนระบบไฟฟ้ากำลัง แล้วทำการวิเคราะห์การทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเมื่อทำการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงระหว่าง 2 ชนิดบ้างใดๆ โดยทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของอุปกรณ์ต่างๆในระบบต่อการดำเนินงานอย่างประหยัดของระบบ พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเมื่อมีและ ไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง และนำเสนอการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์โดยรวมผลของโหลดฟรีเฟควนซีคอนโทรล (Load Frequency Control) โดยทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์เมื่อรวมผลและไม่รวมผลของโหลดฟรีเฟควนซีคอนโทรล ทั้งในระบบไฟฟ้ากระแสสลับและในระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเมื่อทำการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงระหว่าง 2 ชนิดบ้างใดๆ โดยสามารถสรุปผลของการวิเคราะห์ต่างๆที่สอดคล้องกับประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับซึ่งแบ่งออกได้เป็น 5 หัวข้อดังนี้คือ

1. เพื่อให้ทราบถึงผลของอุปกรณ์ต่างๆในระบบจากการสรุปผลของอุปกรณ์ต่างๆในระบบต่อการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ในระบบเอช-ดีซีโดยรวม
2. เพื่อให้ทราบถึงผลของการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC จากการสรุปผลของการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ต่อการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ในระบบเอช-ดีซีโดยรวม
3. เพื่อให้ทราบถึงผลของระบบสายส่งไฟฟ้าในระบบจากการสรุปผลของการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ในทุกๆระบบโดยรวม
4. เพื่อให้ทราบถึงผลของโหลดฟรีเฟควนซีคอนโทรลจากการสรุปผลของโหลดฟรีเฟควนซีคอนโทรลต่อการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ในระบบเอช-ดีซีโดยรวม
5. เพื่อสามารถนำโปรแกรมการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ทั้งในระบบเอช (OPFAC) และระบบเอช-ดีซี (OPFAC-DC) มาใช้เป็นโปรแกรมจำลองในการวางแผนระบบไฟฟ้ากำลังจากการสรุปผลของการวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบ โดยใช้โปรแกรมออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ทั้งของระบบเอชและระบบเอช-ดีซี

## 7.1 ผลของอุปกรณ์ต่างๆในระบบต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในระบบเอซี-ดีซี โดยรวม

จากการวิเคราะห์ผลของอุปกรณ์ต่างๆในระบบต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม พบว่าผลของขิง โครนีสคอนเดนเซอร์ (เมื่อระบบไม่มีขิง โครนีสคอนเดนเซอร์ที่บัส 5 และ 11 ส่งผลต่อค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมากที่สุด) ส่งผลต่อค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมากที่สุดในระบบเอซีและระบบเอซี-ดีซีเมื่อเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่าง 2 ชนิดบัสดังนี้คือระหว่างโหลคบัสกับโหลคบัสและระหว่างเจนบัสกับโหลคบัส ทั้งนี้เนื่องจากขิง โครนีสคอนเดนเซอร์มีค่าขนาดพิกัดของกำลังไฟฟารีแอกทีฟที่จ่ายให้กับระบบมีค่ามากกว่าตัวเก็บประจุและสามารถปรับค่าขนาดกำลังไฟฟารีแอกทีฟ ซึ่งส่งผลต่อค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมได้ดีกว่าการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า แต่ผลของค่าแท็ปในระบบเท่ากับ 1 p.u. จะส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมากที่สุดในระบบเอซี-ดีซีเมื่อเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส เนื่องจากเจนบัสที่ 5 เป็นขิง โครนีสคอนเดนเซอร์ ซึ่งต้องจ่ายค่ากำลังไฟฟารีแอกทีฟเพื่อปรับค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าให้เป็นไปตามเงื่อนไขการทำงานของระบบ HVDC แทนค่าแท็ปของหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ที่มีค่าเป็น 1 p.u. ไม่สามารถช่วยปรับค่าได้ ดังนั้นจึงทำให้ปรับค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าได้ไม่ดีเท่ากับเมื่อมีการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ และจากพฤติกรรมของระบบเมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลง เจนบัสที่ 5 นี้จะรับค่ากำลังไฟฟารีแอกทีฟจากระบบซึ่งจะตรงกันข้ามกับในกรณีนี้ และจะสังเกตได้ว่าอุปกรณ์ต่างๆในระบบที่ได้ทำการวิเคราะห์นี้ล้วนเป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่ปรับและจ่ายกำลังไฟฟารีแอกทีฟทั้งสิ้น แต่ส่งผลต่อค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ซึ่งเป็นค่าของกำลังไฟฟ้าจริง ทั้งนี้เนื่องจากความสัมพันธ์กันของกำลังไฟฟ้าจริงและรีแอกทีฟที่อยู่ในรูปของค่าขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้าตามเงื่อนไขบังคับแบบสมการหรือสมการกำลังไฟฟ้าจริงและรีแอกทีฟสมดุลที่แต่ละบัสนั่นเอง

## 7.2 ผลของการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม

ในการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี จะให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริง, ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบ มีค่ามากกว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีในทุกการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่าง 2 ชนิดบัสใดๆ (ระหว่างโหลคบัสกับโหลคบัส, ระหว่างเจนบัสกับโหลคบัส และ ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส) ทั้งเมื่อมีและไม่มีกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ทั้งนี้เนื่องจากคุณลักษณะของระบบ HVDC ช่วยลดค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ ทำให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบมีค่าลดลง ซึ่งส่งผลให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าลดลง และในการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์

ของระบบเอซี-ดีซีในทุกการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่าง 2 ชนิดบัสใดๆ (ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส, ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัส และ ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส) เมื่อมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่ามากกว่าเมื่อไม่มีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC ทั้งนี้เนื่องจากในการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบ HVDC เป็นการบังคับเส้นทางการไหลของกำลังไฟฟ้า ซึ่งไม่ใช่เส้นทางการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด

### 7.3 การทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในทุกระบบโดยรวม

ในการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริง, ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบ มีค่าต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากพฤติกรรมของระบบ HVDC ที่เปรียบเสมือนเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้รีแอคทีฟให้กับระบบจากฟิลเตอร์ที่ติดตั้งที่บัส ดังนั้นเมื่อเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส จะสามารถปรับค่ากำลังไฟฟ้รีแอคทีฟที่เหมาะสมได้ทั้งด้าน Rectifier และ Inverter จากผลของฟิลเตอร์ที่ติดตั้งที่บัส ซึ่งจากหัวข้อที่ 7.1 ได้กล่าวถึงเหตุผลของการปรับค่ากำลังไฟฟ้รีแอคทีฟที่ส่งผลต่อขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมได้ดีกว่าการปรับค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า และเจนบัสที่ 2 เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถปรับค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่เหมาะสมได้โดยตรงต่อระบบ HVDC เพราะฉะนั้นเมื่อเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส จึงให้การผลิตกำลังไฟฟ้าจริง, ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบ มีค่าต่ำที่สุด จากเหตุผลดังกล่าวนี้

### 7.4 ผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรลต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม

ในการวิเคราะห์ผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรลต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวม จะพิจารณาใน 2 กรณีคือ เมื่อโหลดในระบบโดยรวมเพิ่มขึ้นและลดลง ดังนี้

#### 7.4.1 ผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรลต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวมเมื่อโหลดในระบบโดยรวมเพิ่มขึ้น

ในการวิเคราะห์ผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรลต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวมเมื่อโหลดในระบบโดยรวมเพิ่มขึ้น พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ในทุกระบบ (ระบบเอซีและระบบเอซี-ดีซีเมื่อเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่าง 2 ชนิดบัสดังนี้คือระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส, ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัส และ ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส) เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรลให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของ

ระบบมีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรลทำให้ค่าโหลดที่แต่ละบัสมีค่าลดลงตามสมการ (5.17) เพราะฉะนั้นค่าโหลดในระบบโดยรวมจึงมีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล ดังนั้นจึงทำให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยรวมมีค่าลดลง ซึ่งส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล

#### 7.4.2 ผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรลต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวมเมื่อโหลดในระบบโดยรวมลดลง

ในการวิเคราะห์ผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรลต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ในระบบเอซี-ดีซีโดยรวมเมื่อโหลดในระบบโดยรวมลดลง พบว่าการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ในทุกระบบ (ระบบเอซีและระบบเอซี-ดีซีเมื่อเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่าง 2 ชนิดบัสดังนี้คือระหว่างโหลดบัสกับโหลดบัส, ระหว่างเจนบัสกับโหลดบัส และ ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส) เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรลให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่ามากกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรลทำให้ค่าโหลดที่แต่ละบัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามสมการ (5.17) เพราะฉะนั้นค่าโหลดในระบบโดยรวมจึงมีค่ามากกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล ดังนั้นจึงทำให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยรวมมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่ามากกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล

สำหรับค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบในกรณีที่โหลดในระบบโดยรวมมีค่าลดลงนี้ เมื่อคิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรลให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่คิดผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล ซึ่งตรงกันข้ามกับค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ทั้งนี้เนื่องจากมีค่าฟังก์ชันเป้าหมายเดียวคือฟังก์ชันของค่าต้นทุนการผลิต ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบจึงเป็นผลจากการหาค่าต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับต่างๆ ของระบบ ซึ่งค่าที่ได้สามารถเป็นได้ทั้งค่าที่สอดคล้องหรือตรงกันข้ามกับค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบ

#### 7.5 การวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบโดยใช้โปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ทั้งของระบบเอซีและระบบเอซี-ดีซี

ในการนำโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ทั้งของระบบเอซี (OPFAC) และระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) มาใช้ในการวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบ จะทำการหาค่าแห่งการติดตั้งและค่าขนาดของตัวเก็บประจุ โดยใช้ค่า Bus Reactive Power Pricing ที่ได้จากโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ เป็นตัวบ่งชี้ว่าจะติดตั้งตัวเก็บประจุที่บัสใดในระบบโดยใช้ค่า Bus Reactive Power

Pricing ของบัสที่มีค่ามากที่สุด ส่วนค่า Bus Real Power Pricing สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ตำแหน่งในการสร้างโรงไฟฟ้าว่าจะสร้างโรงไฟฟ้าที่บัสใดในระบบ โดยใช้ค่า Bus Real Power Pricing ของบัสที่มีค่ามากที่สุด ซึ่งมีข้อมูลอยู่ในภาคผนวก ง. และวิทยานิพนธ์นี้ไม่ได้นำเสนอในส่วนของ การวางแผนการสร้างโรงไฟฟ้าเนื่องจากโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โพล์ว่ทั้งของระบบเอซี (OPFAC) และระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) สามารถบ่งชี้ได้เฉพาะตำแหน่งการสร้างโรงไฟฟ้า ส่วนชนิดของโรงไฟฟ้าซึ่งส่งผลต่อค่าขนาดของโรงไฟฟ้า ต้องใช้ความรู้ประกอบเฉพาะด้านอื่น ๆ ดังนั้นจึงได้นำเสนอเฉพาะในส่วนของ การวางแผนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบ และโดยวิทยานิพนธ์นี้ได้กำหนดค่าต้นทุนของการเพิ่มขนาดของตัวเก็บประจุขึ้น 1 Mvar ต้องทำให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าลดลงมากกว่าหรือเท่ากับ 0.05 (R/hr) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกค่าขนาดของตัวเก็บประจุ เนื่องจากค่าขนาดของตัวเก็บประจุที่ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าต่ำที่สุดอาจจะไม่คุ้มทุน เพราะถ้าเลือกค่าขนาดของตัวเก็บประจุที่มีค่าน้อยกว่าจะทำให้คุ้มทุนมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบที่มีค่าเพิ่มขึ้นกับค่าต้นทุนที่ต้องเพิ่มค่าขนาดของตัวเก็บประจุ ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัสและระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัสในทุกการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่าง 2 ชนิดบัสดังนี้คือ ระหว่าง โหลดบัสที่ 4 กับ โหลดบัสที่ 6, ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6 และระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 พบว่าการเลือกค่าขนาดของตัวเก็บประจุในแต่ละระบบ จะเป็นได้ทั้งค่าขนาดของตัวเก็บประจุที่ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุดและที่ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบใกล้เคียงกับค่าที่ต่ำที่สุด และในทุกระบบถ้าเลือกค่าขนาดของตัวเก็บประจุที่มีค่ามากเกินไปค่าขนาดของตัวเก็บประจุที่ทำให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุด จะส่งผลให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบกลับมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะถ้าเลือกค่าขนาดของตัวเก็บประจุมีค่ามากเกินไปสองเท่าค่าขนาดของตัวเก็บประจุที่ทำให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุด จะทำให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าเพิ่มมากขึ้นกว่าการที่ไม่ได้ทำการติดตั้งตัวเก็บประจุ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองทั้งในส่วนของค่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบที่เพิ่มขึ้นและค่าต้นทุนของตัวเก็บประจุ

## 7.6 ข้อเสนอแนะ

ในการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ว่ทั้งของระบบเอซี (OPFAC) และระบบเอซี-ดีซีในทุกการเชื่อมโยงระบบ HVDC (OPFAC-DC) จะต้องทำการวิเคราะห์ตามข้อกำหนดของโปรแกรม โดยในการวิเคราะห์จะกำหนดให้ :

- 1) แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสต้องสมดุล (Balanced phase) และเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal)
- 2) การทำงานของคอนเวอร์เตอร์ต้องกำเนิดแรงดันที่สมดุล
- 3) กระแสและแรงดันไฟตรงต้องเรียบ (Smooth)

- 4) หม้อแปลงของคอนเวอร์เตอร์ไม่มีการสูญเสียและไม่คิดแอดมิตแตนซ์ทำแม่เหล็ก (Magnetizing admittance)
- 5) มุมเหลื่อม (Overlap angle) ต้องมีค่าไม่เกิน 60 องศาทางไฟฟ้า ในเงื่อนไขของการทำงานในสภาวะการทำงานปกติ (Normal condition)
- 6) มุมประวิงการจุด (Ignition delay angle:  $\alpha$ ) ต้องมีค่าต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 7 และ 90 องศาทางไฟฟ้า เพื่อเป็นการประกันว่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าเพียงพอก่อนที่จะทำการจุดชนวนของไทรสเตอร์
- 7) มุม  $\gamma$  (Extinction advance angle) ต้องมีค่าต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 16 และ 90 องศาทางไฟฟ้า เนื่องจากคุณสมบัติของช่วงเวลาคืนประจุของไทรสเตอร์ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนการนำกระแสล้มเหลว
- 8) ค่าฐาน (Base value) ของแรงดันไฟฟ้าทั้งในระบบเอชและเอช-ดีซี ต้องเลือกใช้ค่าฐานที่ค่าของพิกัด เพื่อให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของแรงดันไฟฟ้ามีค่า 1 p.u. และสำหรับค่าฐานของกำลังไฟฟ้ามียุทธศาสตร์ทั้งในระบบเอชและเอช-ดีซี

และสำหรับในการทำอุปถัมภ์เพาเวอร์โพล์ทั้งของระบบเอชและเอช-ดีซีโดยรวมผลของโหลดฟรีแควนซ์คอนโทรล จะต้องทำการวิเคราะห์ตามข้อกำหนดของโปรแกรม โดยในการวิเคราะห์จะกำหนดให้ :

- 1) แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบจำลองในสถานะอยู่ตัวและโหลดสมมูล
- 2) เฉพาะการเปลี่ยนแปลงของ โหลดกำลังไฟฟ้าจริงที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความถี่
- 3) โหลดกำลังไฟฟ้าจริงทุกบัสในระบบมีผลของความถี่และกำหนดให้ โหลดกำลังไฟฟ้าจริงทุกบัสในระบบมีค่า D (Load-damping constant) เท่ากันทุกบัส
- 4) คัดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของ โหลด 1 ครั้ง
- 5) การกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงของ โหลดในระบบโดยรวมเพิ่มขึ้นหรือลดลง ควรกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ ของค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง เพื่อป้องกันการไม่ลู่เข้าสู่คำตอบ

## 7.7 งานวิจัยที่พัฒนาต่อไป

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้วิธีซีแควนเชียลควอดราติกโปรแกรมมิ่ง เป็นวิธีในการทำอุปถัมภ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซี ซึ่งเป็นแบบดีเทอร์มินิสติก (Deterministic) เนื่องจากมีความเสถียรในการหาคำตอบและให้ค่าผลลัพธ์ที่เที่ยงตรงจากการกำหนดค่าเริ่มต้นที่แตกต่างกันในแต่ละครั้งของการคำนวณ แต่พบว่ามีข้อจำกัดต่างๆ เช่น มีความเหมาะสมสำหรับปัญหาที่มีจำนวนตัวแปรและเงื่อนไขบังคับไม่มาก (Medium-scale) อย่างเช่นค่าขนาดของระบบไฟฟ้ากำลังไม่ควรเกิน 200 บัส ซึ่งระบบไฟฟ้ากำลังของประเทศไทยมีค่ามากกว่า 1000 บัส และขอบเขตของตัวแปรต่างๆ

ต้องกำหนดให้เป็นตัวแปรแบบค่าต่อเนื่อง ซึ่งในระบบจริงนั้นจะมีค่าของตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่อง เช่นค่าแท็บของหม้อแปลงไฟฟ้า ดังนั้นจะต้องมีการพัฒนาในส่วนของวิธีการแก้ปัญหาได้ดังนี้คือ

- 1) เลือกใช้เทคนิควิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมกับปัญหาที่มีจำนวนตัวแปรและเงื่อนไขบังคับมากๆ (Large-scale) เช่น วิธี Interior-point for non-linear programming เป็นต้น
- 2) เลือกใช้เทคนิคแบบ Mixed-integer programming เป็นเทคนิคในการแก้ปัญหาที่มีค่าตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่อง เช่น วิธี Branch and bound เป็นต้น

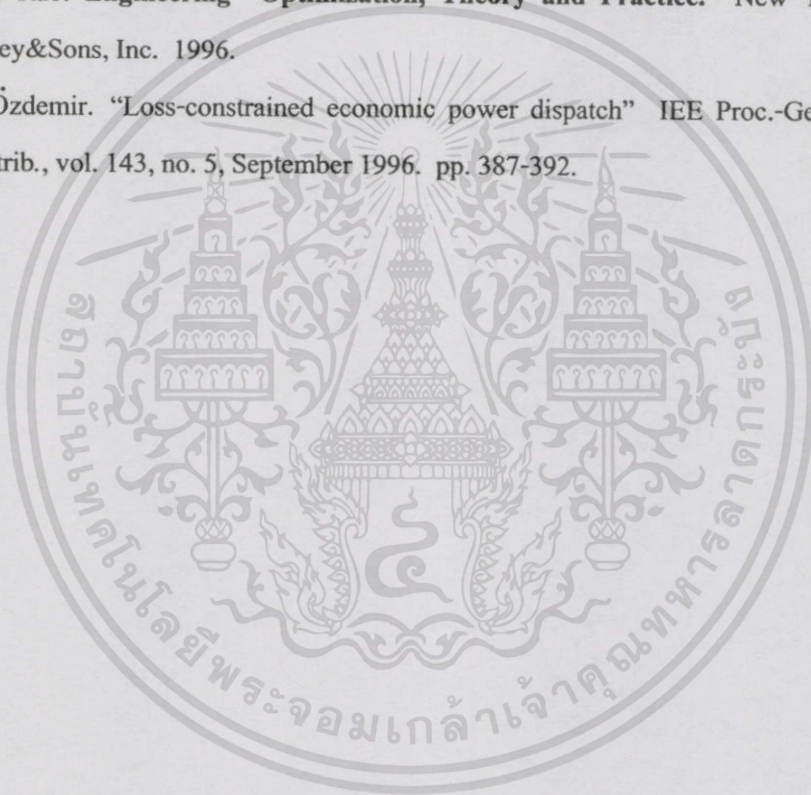
และในการแก้ปัญหาคำถามการหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์กับระบบไฟฟ้ากำลังจริงที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์อื่นๆ และการคำนึงถึงเงื่อนไขการทำงานต่างๆ ในระบบ จะต้องมีการพัฒนางานวิจัยนี้ต่อไป โดยมีหัวข้อต่างๆดังนี้คือ

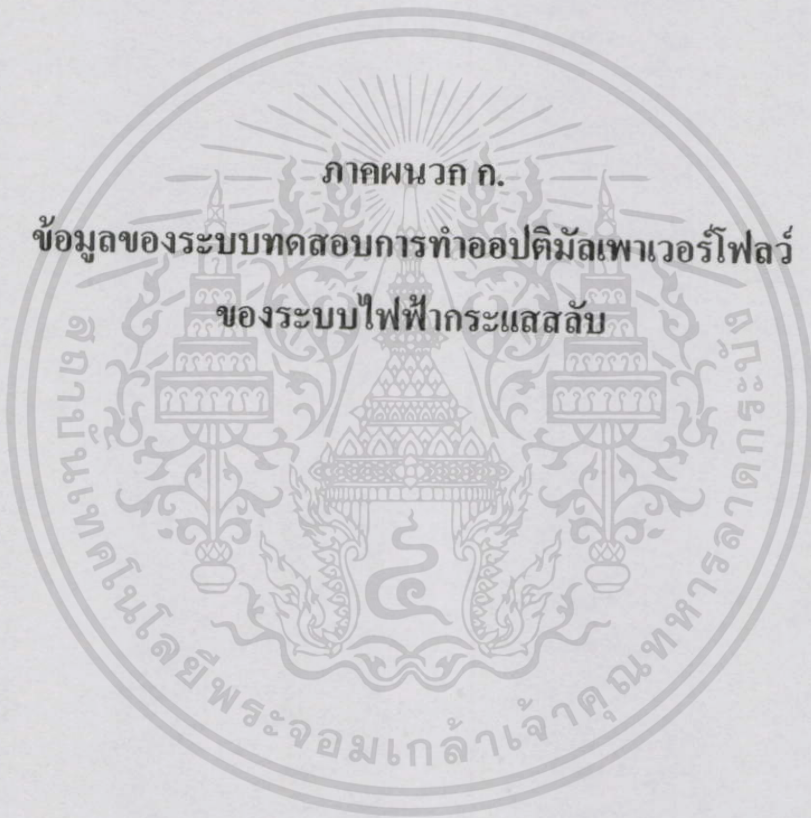
- 1) การทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDCแบบหลายบัสต่อเชื่อมกัน (Optimal power flow with multi-terminal HVDC links)
- 2) การทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์โดยรวมเงื่อนไขบังคับของอุปกรณ์ต่างๆในระบบ เช่น Thyristor controlled series capacitor (TCSC), Static synchronous compensator (STATCOM), Unified power flow controller (UPFC) และ Flexible AC Transmission Systems (FACTS) เป็นต้น
- 3) การทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์โดยรวมเงื่อนไขบังคับการทำงานต่างๆ ของระบบ เช่น Stability-constrained optimal power flow, Voltage stability-constrained optimal power flow และ Security-constrained optimal power flow เป็นต้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] G.N. Vanderplaats. **Numerical Optimization Techniques for Engineering Design with Applications.** New York : McGraw-Hill. 1984.
- [2] A. Grace, M.A. Branch and T. Coleman. **Optimization Toolbox for Use with MATLAB.** The Math works, Inc. 1999.
- [3] M.J.D. Powell. "A Fast Algorithm for Nonlinearly Constrained Optimization Calculations." Numerical Analysis, G.A. Watson ed., Lecture Notes in Mathematics, Springer Verlag, vol. 630, 1978.
- [4] John J. Grainger, William D. Stevenson, Jr. **Power System Analysis.** Singapore : McGraw-Hill, Inc. 1994.
- [5] P. Kundur. **Power System Stability and Control.** New York : McGraw-Hill, Inc. 1994.
- [6] Hadi Saadat. **Power System Analysis.** Singapore : WCB McGraw-Hill, Inc. 1999.
- [7] Allen J. Wood and Bruce F. Wollenberg. **Power Generation Operation and Control.** New York : John Wiley & Sons, Inc. 1996.
- [8] สืบพงศ์ สุวรรณภูมิ. "การวิเคราะห์การไหลของโหลดและฮาร์มอนิกในสถานะอยู่ตัวของระบบเอช-ดีซี." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
- [9] J. Carpienter. "Optimal Power Flows." Int. J. Electric Power and Energy Systems., vol. 1, April 1979. pp. 3-15.
- [10] M. Huneault and F.D. Galiana. "A Survey of the Optimal Power Flow Literature." IEEE Trans. Power Systems., vol. 6, no. 2, May 1991. pp. 762-770.
- [11] Edward W. Kimbark. **Direct Current Transmission Vol. 1.** New York : John Wiley&Sons, Inc. 1971.
- [12] J. Arrillaga. **High Voltage Direct Current Transmission.** London : Peter Peregrinus, Ltd. 1988.
- [13] S. Rao. **EHV-AC, HVDC Transmission & Distribution Engineering.** 3rd Ed. Delhi : Khanna Publishers. 1999.
- [14] J. Arrillaga, C. P. Arnold and B. J. Harker. **Computer Modelling of Electrical Power System.** London : John Wiley & Sons, Ltd. 1983.

- [15] Rice D. E. "A Detailed Analysis of Six-Pulse Converter Harmonic Current." IEEE Trans. Industry Applications., vol. 30, no. 2, March/April 1994. pp. 294-304.
- [16] C. N. Lu, S. S. Chen and C. M. Ong. "The Incorporation of HVDC Equations in Optimal Power Flow Methods Using Sequential Quadratic Programming Techniques." IEEE Trans. Power Systems., vol. 3, no. 3, August 1988. pp. 1005-1011.
- [17] U. De Martinis, F. Gagliardi, A. Losi, V. Mangoni and F. Rossi. "Optimal Load Flow for Electrical Power Systems with Multiterminal HVDC links." Proc. IEE., vol. 137, no. 2, March 1990. pp. 139-145.
- [18] J.S. Arora. **Introduction to Optimum Design**. Singapore : McGraw-Hill, Inc. 1989.
- [19] S.S. Rao. **Engineering Optimization, Theory and Practice**. New York : John Wiley&Sons, Inc. 1996.
- [20] A. Özdemir. "Loss-constrained economic power dispatch" IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., vol. 143, no. 5, September 1996. pp. 387-392.





ตารางที่ ผ.6.1 ข้อมูลของสัมประสิทธิ์ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงในระบบทดสอบ 6 บัส

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่บัส	$a \left[ \frac{\text{Rs}}{\text{hr}} \right]$	$b \left[ \frac{\text{Rs}}{\text{MWhr}} \right]$	$c \left[ \frac{\text{Rs}}{\text{MW}^2 \text{hr}} \right]$
1	105	12	0.0120
2	96	9.6	0.0096
3	105	13	0.0130
4	94	9.4	0.0094

ตารางที่ ผ.6.2 ข้อมูลของบัสในระบบทดสอบ 6 บัส

Bus No.	$V_{min}$ (p.u.)	$V_{max}$ (p.u.)	$P_{G,min}$ (MW)	$P_{G,max}$ (MW)	$Q_{G,min}$ (Mvar)	$Q_{G,max}$ (Mvar)
1	1.00	1.10	50	250	-50	120
2	1.00	1.10	50	250	-50	120
3	1.00	1.10	50	250	-50	120
4	1.00	1.10	50	250	-50	120
5	0.95	1.10	-	-	-	-
6	0.95	1.10	-	-	-	-

Base MVA = 100 MVA

ตารางที่ ผ.6.3 ข้อมูลของสายส่งไฟฟ้าในระบบทดสอบ 6 บัส

No.	From bus	To bus	$R$ (p.u.)	$X$ (p.u.)	$B$ (p.u.)	Line limit (MVA)
1	1	2	0.04	0.08	0.02	120
2	1	5	0.04	0.08	0.02	120
3	2	4	0.04	0.08	0.02	120
4	3	5	0.04	0.08	0.02	120
5	3	6	0.04	0.08	0.02	120
6	4	5	0.04	0.08	0.02	60
7	4	6	0.04	0.08	0.02	120

ตารางที่ ผ.6.4 ข้อมูลของโหลดในระบบทดสอบ 6 บัส

Bus No.	$P_L$ (MW)	$Q_L$ (Mvar)
1	100	20
2	100	20
3	100	20
4	100	20
5	100	50
6	100	10

ตารางที่ ผ.6.5 ข้อมูลของบัสในระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส

Bus No.	$V_{min}$ (p.u.)	$V_{max}$ (p.u.)	$P_{G,min}$ (MW)	$P_{G,max}$ (MW)	$Q_{G,min}$ (Mvar)	$Q_{G,max}$ (Mvar)
1	1.00	1.10	50	200	-20	100
2	1.00	1.10	20	100	-20	50
3	0.95	1.10	-	-	0	25
4	0.95	1.10	-	-	-	-
5	0.95	1.10	-	-	-	-
6	1.00	1.10	20	100	-20	50
7	0.95	1.10	-	-	-	-
8	0.95	1.10	-	-	0	25
9	0.95	1.10	-	-	-	-
10	0.95	1.10	-	-	-	-
11	0.95	1.10	-	-	-	-
12	0.95	1.10	-	-	-	-
13	0.95	1.10	-	-	-	-
14	0.95	1.10	-	-	-	-

Base MVA = 100 MVA

ตารางที่ ผ.6.6 ข้อมูลของสัมประสิทธิ์ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงในระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่บัส	$a \left[ \frac{\text{R}}{\text{hr}} \right]$	$b \left[ \frac{\text{R}}{\text{MWhr}} \right]$	$c \left[ \frac{\text{R}}{\text{MW}^2 \text{hr}} \right]$
1	105	2.45	0.005
2	44.4	3.51	0.005
6	40.6	3.89	0.005

ตารางที่ ผ.6.7 ข้อมูลของสายส่งไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส

No.	From bus	To bus	$R$ (p.u.)	$X$ (p.u.)	$B$ (p.u.)	$Tap_{min}$ (p.u.)	$Tap_{max}$ (p.u.)
1	1	2	0.01938	0.05917	0.05280	-	-
2	1	5	0.05403	0.22304	0.04920	-	-
3	2	3	0.04699	0.19797	0.04380	-	-
4	2	4	0.05811	0.17632	0.03740	-	-
5	2	5	0.05695	0.17388	0.03400	-	-
6	3	4	0.06701	0.17103	0.03460	-	-
7	4	5	0.01335	0.04211	0.0128	-	-
8	4	7	0	0.20912	0	0.9	1.1
9	4	9	0	0.55618	0	0.9	1.1
10	5	6	0	0.25202	0	0.9	1.1
11	6	11	0.09498	0.19890	0	-	-
12	6	12	0.12291	0.25581	0	-	-
13	6	13	0.06615	0.13027	0	-	-
14	7	8	0	0.17615	0	-	-
15	7	9	0	0.11001	0	-	-
16	9	10	0.03181	0.08450	0	-	-
17	9	14	0.12711	0.27038	0	-	-
18	10	11	0.08205	0.19207	0	-	-
19	12	13	0.22092	0.19988	0	-	-
20	13	14	0.17093	0.34802	0	-	-

ตารางที่ ผ.6.8 ข้อมูลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส

Bus No.	$P_L$ (MW)	$Q_L$ (Mvar)
1	0	0
2	21.7	12.7
3	94.2	19
4	47.8	4
5	7.6	1.6
6	11.2	7.5
7	0	0
8	0	0
9	29.5	16.6
10	9	5.8
11	3.5	1.8
12	6.1	1.6
13	13.5	5.8
14	14.9	5

ตารางที่ ผ.6.9 ข้อมูลของสัมประสิทธิ์ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่บัส	$a \left[ \frac{\text{R}}{\text{hr}} \right]$	$b \left[ \frac{\text{R}}{\text{MWhr}} \right]$	$c \left[ \frac{\text{R}}{\text{MW}^2 \text{hr}} \right]$
1	100	8	0.002
2	140	10	0.006
13	120	9	0.004

ตารางที่ ผ.6.10 ข้อมูลของค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟจากตัวเก็บประจุในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

Bus No.	Injected reactive power due to capacitors (Mvar)
10	19
24	4.3

ตารางที่ ผ.6.11 ข้อมูลของบัสในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

Bus No.	$V_{min}$ (p.u.)	$V_{max}$ (p.u.)	$P_{G,min}$ (MW)	$P_{G,max}$ (MW)	$Q_{G,min}$ (Mvar)	$Q_{G,max}$ (Mvar)
1	1.00	1.10	30	200	-100	100
2	1.00	1.10	30	200	-40	60
3	0.95	1.10	-	-	-	-
4	0.95	1.10	-	-	-	-
5	0.95	1.10	-	-	-40	60
6	0.95	1.10	-	-	-	-
7	0.95	1.10	-	-	-	-
8	0.95	1.10	-	-	-	-
9	0.95	1.10	-	-	-	-
10	0.95	1.10	-	-	-	-
11	0.95	1.10	-	-	-6	40
12	0.95	1.10	-	-	-	-
13	1.00	1.10	30	200	-10	50
14	0.95	1.10	-	-	-	-
15	0.95	1.10	-	-	-	-
16	0.95	1.10	-	-	-	-
17	0.95	1.10	-	-	-	-
18	0.95	1.10	-	-	-	-
19	0.95	1.10	-	-	-	-
20	0.95	1.10	-	-	-	-
21	0.95	1.10	-	-	-	-
22	0.95	1.10	-	-	-	-
23	0.95	1.10	-	-	-	-
24	0.95	1.10	-	-	-	-
25	0.95	1.10	-	-	-	-
26	0.95	1.10	-	-	-	-
27	0.95	1.10	-	-	-	-
28	0.95	1.10	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.6.11 ข้อมูลของบัสในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส (ต่อ)

Bus No.	$V_{min}$ (p.u.)	$V_{max}$ (p.u.)	$P_{G,min}$ (MW)	$P_{G,max}$ (MW)	$Q_{G,min}$ (Mvar)	$Q_{G,max}$ (Mvar)
29	0.95	1.10	-	-	-	-
30	0.95	1.10	-	-	-	-

Base MVA = 100 MVA

ตารางที่ ผ.6.12 ข้อมูลของสายส่งไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

No.	From Bus	To bus	$R$ (p.u.)	$X$ (p.u.)	$B$ (p.u.)	Line limit (MVA)	$Tap_{min}$ (p.u.)	$Tap_{max}$ (p.u.)
1	1	2	0.0192	0.0575	0.0528	150	-	-
2	1	3	0.0452	0.1852	0.0408	100	-	-
3	2	4	0.0570	0.1737	0.0368	72	-	-
4	2	5	0.0472	0.1983	0.0418	130	-	-
5	2	6	0.0581	0.1763	0.0374	100	-	-
6	3	4	0.0132	0.0379	0.0084	100	-	-
7	4	6	0.0119	0.0414	0.0090	105	-	-
8	4	12	0	0.2560	0	65	0.9	1.1
9	5	7	0.0460	0.1160	0.0204	130	-	-
10	6	7	0.0267	0.0820	0.0170	130	-	-
11	6	8	0.0120	0.0420	0.0090	65	-	-
12	6	9	0	0.2080	0	65	0.9	1.1
13	6	10	0	0.5560	0	32	0.9	1.1
14	6	28	0.0169	0.0599	0.0130	72	-	-
15	8	28	0.0636	0.2000	0.0428	65	-	-
16	9	10	0	0.1100	0	65	-	-
17	9	11	0	0.2080	0	65	-	-
18	10	17	0.0324	0.0845	0	32	-	-
19	10	20	0.0936	0.2090	0	32	-	-
20	10	21	0.0348	0.0749	0	32	-	-

ตารางที่ ผ.6.12 ข้อมูลของสายส่งไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส (ต่อ)

No.	From Bus	To Bus	$R$ (p.u.)	$X$ (p.u.)	$B$ (p.u.)	Line limit (MVA)	$Tap_{min}$ (p.u.)	$Tap_{max}$ (p.u.)
21	10	22	0.0727	0.1499	0	32	-	-
22	12	13	0	0.1400	0	130	-	-
23	12	14	0.1231	0.2559	0	65	-	-
24	12	15	0.0662	0.1304	0	65	-	-
25	12	16	0.0945	0.1987	0	65	-	-
26	14	15	0.2210	0.1997	0	32	-	-
27	15	18	0.1073	0.2185	0	32	-	-
28	15	23	0.1000	0.2020	0	32	-	-
29	16	17	0.0824	0.1923	0	65	-	-
30	18	19	0.0639	0.1292	0	32	-	-
31	19	20	0.0340	0.0680	0	32	-	-
32	21	22	0.0116	0.0236	0	32	-	-
33	22	24	0.1150	0.1790	0	32	-	-
34	23	24	0.1320	0.2700	0	32	-	-
35	24	25	0.1885	0.3292	0	32	-	-
36	25	26	0.2544	0.3800	0	32	-	-
37	25	27	0.1093	0.2087	0	32	-	-
38	27	29	0.2198	0.4153	0	32	-	-
39	27	30	0.3202	0.6027	0	32	-	-
40	28	27	0	0.3960	0	65	0.9	1.1
41	29	30	0.2399	0.4533	0	32	-	-

ตารางที่ ผ.6.13 ข้อมูลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

Bus No.	$P_L$ (MW)	$Q_L$ (Mvar)
1	0	0
2	21.7	12.7
3	2.4	1.2
4	7.6	1.6
5	94.2	19
6	0	0
7	22.8	10.9
8	30	30
9	0	0
10	5.8	2
11	0	0
12	11.2	7.5
13	0	0
14	6.2	1.6
15	8.2	2.5
16	3.5	1.8
17	9	5.8
18	3.2	0.9
19	9.5	3.4
20	2.2	0.7
21	17.5	11.2
22	0	0
23	3.2	1.6
24	8.7	6.7
25	0	0
26	3.5	2.3
27	0	0
28	0	0

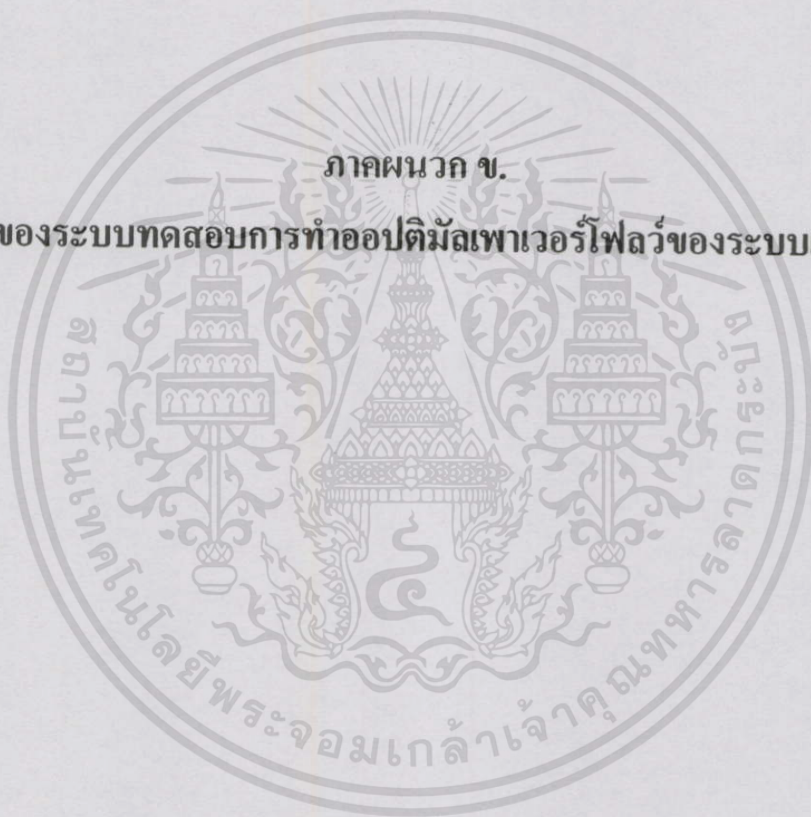
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.6.13 ข้อมูลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส (ต่อ)

Bus No.	$P_L$ (MW)	$Q_L$ (Mvar)
29	2.4	0.9
30	10.6	1.9



ภาคผนวก ข.  
ข้อมูลของระบบทดสอบการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซี



ตารางที่ ผ.6.14 ข้อมูลของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส

	Rectifier	Inverter
A.C.-D.C. busbar	Bus 5	Bus 4
D.C. voltage base (kV)	100	100
Transformer reactance (p.u.)	0.126	0.0728
Commutation reactance (p.u.)	0.126	0.0728
Filter admittance (p.u.)	0.478	0.629
D.C. link resistance (p.u.)	0.00334	
Max. D.C. link power (MW)	150	

โดยที่  $P_{dc,base} = 100 \text{ MW}$

ตารางที่ ผ.6.15 ข้อมูลขีดจำกัดต่างๆของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 14 บัส และ 30 บัส (รวมการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างทุกชนิดบัส)

	Min	Max
$V_{dr}$ (p.u.)	0.9	1.5
$V_{di}$ (p.u.)	0.9	1.5
$I_d$ (p.u.)	0.1	1.1
$\alpha$ (deg.)	7	90
$\gamma$ (deg.)	16	90
$\mu_r$ (deg.)	0	60
$\mu_i$ (deg.)	0	60

ตารางที่ ผ.6.16 ข้อมูลของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมต่อ  
โคงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส

	Rectifier	Inverter
A.C.-D.C. busbar	Bus 4	Bus 6
D.C. voltage base (kV)	100	100
Transformer reactance (p.u.)	0.126	0.0728
Commutation reactance (p.u.)	0.126	0.0728
Filter admittance (p.u.)	0.478	0.629
D.C. link resistance (p.u.)	0.00298	
Max. D.C. link power (MW)	150	

โดยที่  $P_{dc,base} = 100 \text{ MW}$

ตารางที่ ผ.6.17 ข้อมูลของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมต่อ  
โคงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัส

	Rectifier	Inverter
A.C.-D.C. busbar	Bus 2	Bus 6
D.C. voltage base (kV)	100	100
Transformer reactance (p.u.)	0.126	0.0728
Commutation reactance (p.u.)	0.126	0.0728
Filter admittance (p.u.)	0.478	0.629
D.C. link resistance (p.u.)	0.01453	
Max. D.C. link power (MW)	150	

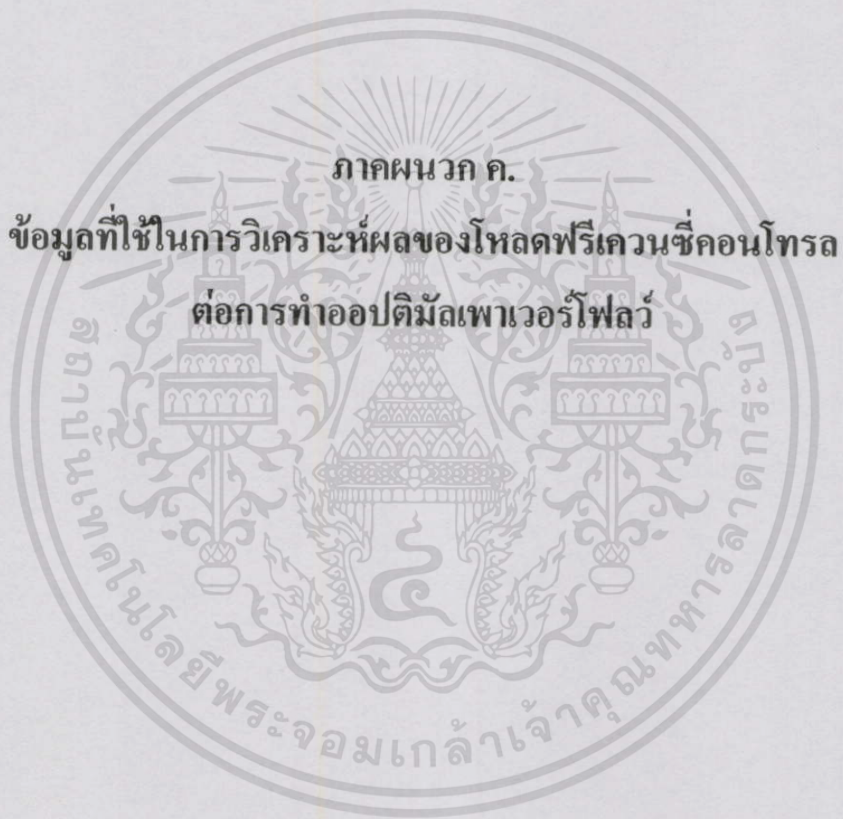
โดยที่  $P_{dc,base} = 100 \text{ MW}$

ตารางที่ ผ.6.18 ข้อมูลของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อม  
โยงค้ำยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส

	Rectifier	Inverter
A.C.-D.C. busbar	Bus 2	Bus 5
D.C. voltage base (kV)	100	100
Transformer reactance (p.u.)	0.126	0.0728
Commutation reactance (p.u.)	0.126	0.0728
Filter admittance (p.u.)	0.478	0.629
D.C. link resistance (p.u.)	0.0118	
Max. D.C. link power (MW)	150	

โดยที่  $P_{dc,base} = 100 \text{ MW}$





ภาคผนวก ค.

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลของโพลีฟริคเวนซีคอนโทรล  
ต่อการทำออปติมัลเพาเวอร์โพลี

ในการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ว้ทั้งระบบเอชและระบบเอช-ดีซีโดยรวมผลของโหลดฟรีคววนซึ่คอนโทรล จะทำการหาค่าความเบี่ยงเบนของความถี่ จากการที่โหลดในระบบโดยรวมเพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยในวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้โหลดในระบบโดยรวมเพิ่มขึ้นหรือลดลงมีค่าเท่ากับ 10 % ของโหลดในระบบโดยรวม, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องในระบบมีค่า  $R$  (Speed regulation หรือ droop) มีค่าเท่ากับ 5 % และกำหนดให้เวลาระหว่างเมื่อมีและไม่มี การเปลี่ยนแปลงของโหลดในระบบเท่ากับ 5 นาที โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อน มีค่าความสามารถในการเพิ่มหรือลดกำลังการผลิตต่อนาทีเท่ากับ 2% ของค่าขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และสามารถแสดงรายละเอียดต่างๆเพื่อใช้ในการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ว้ทั้งระบบเอชและระบบเอช-ดีซีโดยรวมผลของโหลดฟรีคววนซึ่คอนโทรลโดยใช้ระบบปรับปรุง IEEE 30 บัสได้ดังนี้คือ

ค่าโหลดในระบบโดยรวมจากตารางที่ ผ.6.13 มีค่าเท่ากับ 283.4 MW และค่าโหลดในระบบโดยรวมเพิ่มขึ้นหรือลดลงมีค่าเท่ากับ  $\pm 283.4 \times 0.1 = \pm 28.34$  MW

ค่าการหน่วงของโหลดในระบบ ( $D$ ) ในกรณีที่โหลดในระบบโดยรวมเพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับ  $[1x(283.4 + 28.34) / 60] = 5.029$  MW/Hz และในกรณีที่โหลดในระบบโดยรวมลดลงมีค่าเท่ากับ  $[1x(283.4 - 28.34) / 60] = 4.251$  MW/Hz

ค่า  $1/R$  ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1, 2 และ 13 โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ ผ.6.11 มีค่าเท่ากันดังนี้คือ  $1/R_1 = 1/R_2 = 1/R_{13} = (1/0.05) \times (200/60) = 66.67$  MW/Hz

ค่า  $\beta$  (Stiffness) ของระบบ ตามสมการที่ 5.13 ในกรณีที่โหลดในระบบโดยรวมเพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับ  $(66.67 + 66.67 + 66.67 + 5.029) = 205.039$  MW/Hz และในกรณีที่โหลดในระบบโดยรวมลดลงมีค่าเท่ากับ  $(66.67 + 66.67 + 66.67 + 4.251) = 204.261$  MW/Hz

ค่าความเบี่ยงเบนของความถี่ ( $\Delta f_{ss}$ ) ตามสมการที่ 5.11 ในกรณีที่โหลดในระบบโดยรวมเพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับ  $(-28.34 / 205.039) = -0.1381$  Hz และในกรณีที่โหลดในระบบโดยรวมลดลงมีค่าเท่ากับ  $(28.34 / 204.261) = 0.1388$  Hz

จากนั้นหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระบบที่มีผลของความถี่ โดยใช้ค่าความถี่ใหม่ของระบบที่ได้จากสมการ (5.16) เพื่อใช้ในการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ว้ทั้งของระบบเอชและเอช-ดีซีโดยรวมผลของโหลดฟรีคววนซึ่คอนโทรล

ค่าขีดจำกัดกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตต่ำสุดและสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งในระบบเอชและระบบเอช-ดีซีเมื่อรวมผลของโหลดฟรีคววนซึ่คอนโทรล ซึ่งหาได้จากสมการที่ 5.14 และ 5.15 ตามลำดับ โดยใช้ข้อมูลในตารางที่ ผ.6.19 และได้ผลดังแสดงในตารางที่ ผ.6.20

ตารางที่ ผ.6.19 ค่าผลลัพธ์ของการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลีของทั้งระบบเอซีและเอซี-ดีซีเมื่อไม่รวมผลของโหลดฟรีควอนซ์คอนโทรล

ผลลัพธ์การทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลี	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 (MW)	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 (MW)	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 13 (MW)
ของระบบเอซี	200	30	65.313
ของระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสกับโหลดบัส	200	30	64.247
ของระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหลดบัส	200	30	63.677
ของระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส	200	30	61.769

ตารางที่ ผ.6.20 ค่าขีดจำกัดกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตต่ำสุดและสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งในระบบเอซีและระบบเอซี-ดีซีเมื่อรวมผลของโหลดฟรีควอนซ์คอนโทรล

การทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพลี	ขีดจำกัดต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส (MW)			ขีดจำกัดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส (MW)		
	1	2	13	1	2	13
ของระบบเอซี	180	30	45.313	200	50	85.313
ของระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสกับโหลดบัส	180	30	44.247	200	50	84.247
ของระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหลดบัส	180	30	43.677	200	50	83.677
ของระบบเอซี-ดีซีที่เชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส	180	30	41.769	200	50	81.769

ตารางที่ ผ.6.21 ข้อมูลของสายส่งไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส ที่โหลดในระบบโดยรวมเพิ่มขึ้น 10 % เมื่อรวมผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล

No.	From Bus	To bus	$R$ (p.u.)	$X$ (p.u.)	$B$ (p.u.)	Line limit (MVA)	$Tap_{min}$ (p.u.)	$Tap_{max}$ (p.u.)
1	1	2	0.0192	0.0574	0.0527	150	-	-
2	1	3	0.0452	0.1848	0.0407	100	-	-
3	2	4	0.0570	0.1733	0.0367	72	-	-
4	2	5	0.0472	0.1978	0.0417	130	-	-
5	2	6	0.0581	0.1759	0.0373	100	-	-
6	3	4	0.0132	0.0378	0.0084	100	-	-
7	4	6	0.0119	0.0413	0.0090	105	-	-
8	4	12	0	0.2554	0	65	0.9	1.1
9	5	7	0.0460	0.1157	0.0204	130	-	-
10	6	7	0.0267	0.0818	0.0170	130	-	-
11	6	8	0.0120	0.0419	0.0090	65	-	-
12	6	9	0	0.2075	0	65	0.9	1.1
13	6	10	0	0.5547	0	32	0.9	1.1
14	6	28	0.0169	0.0598	0.0130	72	-	-
15	8	28	0.0636	0.1995	0.0427	65	-	-
16	9	10	0	0.1097	0	65	-	-
17	9	11	0	0.2075	0	65	-	-
18	10	17	0.0324	0.0843	0	32	-	-
19	10	20	0.0936	0.2085	0	32	-	-
20	10	21	0.0348	0.0747	0	32	-	-
21	10	22	0.0727	0.1496	0	32	-	-
22	12	13	0	0.1397	0	130	-	-
23	12	14	0.1231	0.2553	0	65	-	-
24	12	15	0.0662	0.1301	0	65	-	-
25	12	16	0.0945	0.1982	0	65	-	-
26	14	15	0.2210	0.1992	0	32	-	-
27	15	18	0.1073	0.2180	0	32	-	-

ตารางที่ ผ.6.21 ข้อมูลของสายส่งไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส ที่โหลดในระบบโดยรวมเพิ่มขึ้น 10 % เมื่อรวมผลของโหลดฟรีควนซ์คอนโทรล (ต่อ)

No.	From Bus	To Bus	$R$ (p.u.)	$X$ (p.u.)	$B$ (p.u.)	Line limit (MVA)	$Tap_{min}$ (p.u.)	$Tap_{max}$ (p.u.)
28	15	23	0.1000	0.2015	0	32	-	-
29	16	17	0.0824	0.1919	0	65	-	-
30	18	19	0.0639	0.1289	0	32	-	-
31	19	20	0.0340	0.0678	0	32	-	-
32	21	22	0.0116	0.0235	0	32	-	-
33	22	24	0.1150	0.1786	0	32	-	-
34	23	24	0.1320	0.2694	0	32	-	-
35	24	25	0.1885	0.3284	0	32	-	-
36	25	26	0.2544	0.3791	0	32	-	-
37	25	27	0.1093	0.2082	0	32	-	-
38	27	29	0.2198	0.4143	0	32	-	-
39	27	30	0.3202	0.6013	0	32	-	-
40	28	27	0	0.3951	0	65	0.9	1.1
41	29	30	0.2399	0.4523	0	32	-	-

ตารางที่ ผ.6.22 ข้อมูลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัสและ IEEE AC-DC 30 บัส ที่เพิ่มขึ้น 10 % เมื่อรวมผลของโหลดฟรีควนซ์คอนโทรล

Bus No.	$P_L$ (MW)	$Q_L$ (Mvar)
1	0	0
2	23.815	12.7
3	2.634	1.2
4	8.341	1.6
5	103.381	19
6	0	0
7	25.022	10.9
8	32.924	30

ตารางที่ ผ.6.22 ข้อมูลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัสและ IEEE AC-DC 30 บัส  
ที่เพิ่มขึ้น 10 % เมื่อรวมผลของโหลดฟรีควอนซ์คอนโทรล (ต่อ)

Bus No.	$P_L$ (MW)	$Q_L$ (Mvar)
9	0	0
10	6.365	2
11	0	0
12	12.292	7.5
13	0	0
14	6.804	1.6
15	8.999	2.5
16	3.841	1.8
17	9.877	5.8
18	3.512	0.9
19	10.426	3.4
20	2.414	0.7
21	19.206	11.2
22	0	0
23	3.512	1.6
24	9.548	6.7
25	0	0
26	3.841	2.3
27	0	0
28	0	0
29	2.634	0.9
30	11.633	1.9

ตารางที่ ผ.6.23 ข้อมูลของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสกับโหนดบัส ที่โหนดในระบบโดยรวมเพิ่มขึ้น 10 % เมื่อรวมผลของโหนดฟรีควอนซ์คอนโทรล

	Rectifier	Inverter
A.C.-D.C. busbar	Bus 4	Bus 6
D.C. voltage base (kV)	100	100
Transformer reactance (p.u.)	0.1257	0.0726
Commutation reactance (p.u.)	0.1257	0.0726
Filter admittance (p.u.)	0.4769	0.6276
D.C. link resistance (p.u.)	0.00298	
Max. D.C. link power (MW)	150	

โดยที่  $P_{dc,base} = 100 \text{ MW}$

ตารางที่ ผ.6.24 ข้อมูลของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัส ที่โหนดในระบบโดยรวมเพิ่มขึ้น 10 % เมื่อรวมผลของโหนดฟรีควอนซ์คอนโทรล

	Rectifier	Inverter
A.C.-D.C. busbar	Bus 2	Bus 6
D.C. voltage base (kV)	100	100
Transformer reactance (p.u.)	0.1257	0.0726
Commutation reactance (p.u.)	0.1257	0.0726
Filter admittance (p.u.)	0.4769	0.6276
D.C. link resistance (p.u.)	0.01453	
Max. D.C. link power (MW)	150	

โดยที่  $P_{dc,base} = 100 \text{ MW}$

ตารางที่ ผ.6.25 ข้อมูลของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส ที่โหลดในระบบโดยรวมเพิ่มขึ้น 10 % เมื่อรวมผลของโหลดฟรีควอนซ์คอนโทรล

	Rectifier	Inverter
A.C.-D.C. busbar	Bus 2	Bus 5
D.C. voltage base (kV)	100	100
Transformer reactance (p.u.)	0.1257	0.0726
Commutation reactance (p.u.)	0.1257	0.0726
Filter admittance (p.u.)	0.4769	0.6276
D.C. link resistance (p.u.)	0.0118	
Max. D.C. link power (MW)	150	

โดยที่  $P_{dc,base} = 100 \text{ MW}$

ตารางที่ ผ.6.26 ข้อมูลของสายส่งไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส ที่โหลดในระบบโดยรวมลดลง 10 % เมื่อรวมผลของโหลดฟรีควอนซ์คอนโทรล

No.	From Bus	To bus	$R$ (p.u.)	$X$ (p.u.)	$B$ (p.u.)	Line limit (MVA)	$Tap_{min}$ (p.u.)	$Tap_{max}$ (p.u.)
1	1	2	0.0192	0.0576	0.0529	150	-	-
2	1	3	0.0452	0.1856	0.0409	100	-	-
3	2	4	0.0570	0.1741	0.0369	72	-	-
4	2	5	0.0472	0.1988	0.0419	130	-	-
5	2	6	0.0581	0.1767	0.0375	100	-	-
6	3	4	0.0132	0.0380	0.0084	100	-	-
7	4	6	0.0119	0.0415	0.0090	105	-	-
8	4	12	0	0.2566	0	65	0.9	1.1
9	5	7	0.0460	0.1163	0.0204	130	-	-
10	6	7	0.0267	0.0822	0.0170	130	-	-
11	6	8	0.0120	0.0421	0.0090	65	-	-
12	6	9	0	0.2085	0	65	0.9	1.1
13	6	10	0	0.5573	0	32	0.9	1.1
14	6	28	0.0169	0.0600	0.0130	72	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.6.26 ข้อมูลของสายส่งไฟฟ้าในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส ที่โหลดในระบบโดยรวม  
ลดลง 10 % เมื่อรวมผลของโหลดฟรีแควนซีคอนโทรล (ต่อ)

No.	From Bus	To Bus	R (p.u.)	X (p.u.)	B (p.u.)	Line limit (MVA)	Tap <sub>min</sub> (p.u.)	Tap <sub>max</sub> (p.u.)
15	8	28	0.0636	0.2005	0.0429	65	-	-
16	9	10	0	0.1103	0	65	-	-
17	9	11	0	0.2085	0	65	-	-
18	10	17	0.0324	0.0847	0	32	-	-
19	10	20	0.0936	0.2095	0	32	-	-
20	10	21	0.0348	0.0751	0	32	-	-
21	10	22	0.0727	0.1502	0	32	-	-
22	12	13	0	0.1403	0	130	-	-
23	12	14	0.1231	0.2565	0	65	-	-
24	12	15	0.0662	0.1307	0	65	-	-
25	12	16	0.0945	0.1992	0	65	-	-
26	14	15	0.2210	0.2002	0	32	-	-
27	15	18	0.1073	0.2190	0	32	-	-
28	15	23	0.1000	0.2025	0	32	-	-
29	16	17	0.0824	0.1927	0	65	-	-
30	18	19	0.0639	0.1295	0	32	-	-
31	19	20	0.0340	0.0682	0	32	-	-
32	21	22	0.0116	0.0237	0	32	-	-
33	22	24	0.1150	0.1794	0	32	-	-
34	23	24	0.1320	0.2706	0	32	-	-
35	24	25	0.1885	0.3300	0	32	-	-
36	25	26	0.2544	0.3809	0	32	-	-
37	25	27	0.1093	0.2092	0	32	-	-
38	27	29	0.2198	0.4163	0	32	-	-
39	27	30	0.3202	0.6041	0	32	-	-
40	28	27	0	0.3969	0	65	0.9	1.1
41	29	30	0.2399	0.4543	0	32	-	-

ตารางที่ ผ.6.27 ข้อมูลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัสและ IEEE AC-DC 30 บัส  
ที่ลดลง 10 % เมื่อรวมผลของโหลดฟรีควอนซ์ที่คอนโทรล

Bus No.	$P_L$ (MW)	$Q_L$ (Mvar)
1	0	0
2	19.575	12.7
3	2.165	1.2
4	6.856	1.6
5	84.976	19
6	0	0
7	20.567	10.9
8	27.062	30
9	0	0
10	5.232	2
11	0	0
12	10.103	7.5
13	0	0
14	5.593	1.6
15	7.397	2.5
16	3.157	1.8
17	8.119	5.8
18	2.887	0.9
19	8.570	3.4
20	1.985	0.7
21	15.786	11.2
22	0	0
23	2.887	1.6
24	7.848	6.7
25	0	0
26	3.157	2.3
27	0	0

ตารางที่ ผ.6.27 ข้อมูลของโหลดในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัสและ IEEE AC-DC 30 บัส  
ที่ลดลง 10 % เมื่อรวมผลของโหลดฟรีแควนซ์ที่คอนโทรล (ต่อ)

Bus No.	$P_L$ (MW)	$Q_L$ (Mvar)
28	0	0
29	2.165	0.9
30	9.562	1.9

ตารางที่ ผ.6.28 ข้อมูลของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างโหลดบัสกับโหลดบัส ที่โหลดในระบบโดยรวมลดลง 10 % เมื่อรวมผลของโหลดฟรีแควนซ์ที่คอนโทรล

	Rectifier	Inverter
A.C.-D.C. busbar	Bus 4	Bus 6
D.C. voltage base (kV)	100	100
Transformer reactance (p.u.)	0.1263	0.0730
Commutation reactance (p.u.)	0.1263	0.0730
Filter admittance (p.u.)	0.4791	0.6305
D.C. link resistance (p.u.)	0.00298	
Max. D.C. link power (MW)	150	

โดยที่  $P_{dc,base} = 100 \text{ MW}$

ตารางที่ ผ.6.29 ข้อมูลของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับโหนดบัส ที่โหนดในระบบโดยรวมลดลง 10 % เมื่อรวมผลของโหนดฟรีแควนซ์คอนโทรล

	Rectifier	Inverter
A.C.-D.C. busbar	Bus 2	Bus 6
D.C. voltage base (kV)	100	100
Transformer reactance (p.u.)	0.1263	0.0730
Commutation reactance (p.u.)	0.1263	0.0730
Filter admittance (p.u.)	0.4791	0.6305
D.C. link resistance (p.u.)	0.01453	
Max. D.C. link power (MW)	150	

โดยที่  $P_{dc,base} = 100 \text{ MW}$

ตารางที่ ผ.6.30 ข้อมูลของระบบ HVDC ในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสกับเจนบัส ที่โหนดในระบบโดยรวมลดลง 10 % เมื่อรวมผลของโหนดฟรีแควนซ์คอนโทรล

	Rectifier	Inverter
A.C.-D.C. busbar	Bus 2	Bus 5
D.C. voltage base (kV)	100	100
Transformer reactance (p.u.)	0.1263	0.0730
Commutation reactance (p.u.)	0.1263	0.0730
Filter admittance (p.u.)	0.4791	0.6305
D.C. link resistance (p.u.)	0.0118	
Max. D.C. link power (MW)	150	

โดยที่  $P_{dc,base} = 100 \text{ MW}$

ภาคผนวก ง.  
**ค่า Bus Real and Reactive Power Pricing ที่ได้จาก**  
**โปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ทั้งของระบบเอชและระบบเอช-ดีซี**

Bus Real and Reactive Power Pricing [7] เป็นค่าที่ได้จากโปรแกรมการทำออปติ้มัลเพาเวอร์โพล์ของทั้งระบบเอซี (OPFAC) และเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) โดยค่า Bus Real Power Pricing เป็นค่าของตัวคูณ Lagrange ( $\lambda$ ) เท่ากับค่าลบของเกรเดียน (Gradient) ของค่าฟังก์ชัน Lagrangian ( $L(x, \lambda)$ ) ต่อค่ากำลังไฟฟ้าจริงสมมูลย์ที่แต่ละบัส  $k$  ( $P_{sum,k}$ ) ซึ่งแสดงให้อยู่ในรูปสมการคือ  $(-\partial L(x, \lambda) / \partial P_{sum,k})$  และค่า Bus Reactive Power Pricing เป็นค่าของตัวคูณ Lagrange ( $\lambda$ ) เท่ากับค่าลบของเกรเดียน (Gradient) ของค่าฟังก์ชัน Lagrangian ( $L(x, \lambda)$ ) ต่อค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟสมมูลย์ที่แต่ละบัส  $k$  ( $Q_{sum,k}$ ) ซึ่งแสดงให้อยู่ในรูปสมการคือ  $(-\partial L(x, \lambda) / \partial Q_{sum,k})$  โดยค่า Bus Real and Reactive Power Pricing จากโปรแกรมการทำออปติ้มัลเพาเวอร์โพล์ของทั้งระบบเอซี (OPFAC) และเอซี-ดีซีในทุกการเชื่อมโยงระบบ HVDC (OPFAC-DC) แสดงดังตารางที่ ผ.6.23 ถึง ผ.6.26

ตารางที่ ผ.6.31 ค่า Bus Real and Reactive Power Pricing ที่ได้จากโปรแกรมออปติ้มัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซีในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส

Bus No.	Bus Real Power Pricing ( $\text{฿} / \text{MWhr}$ )	Bus Reactive Power Pricing ( $\text{฿} / \text{Mvarhr}$ )
1	9.083	0.0
2	9.503	0.0
3	9.568	0.036
4	9.703	0.031
5	10.20	0.0
6	9.878	0.050
7	10.063	0.066
8	9.944	0.105
9	9.946	0.037
10	9.980	0.050
11	9.946	0.0
12	9.525	0.030
13	9.523	0.0
14	9.702	0.084
15	9.824	0.110
16	9.788	0.080

ตารางที่ ผ.6.31 ค่าBus Real and Reactive Power Pricing ที่ได้จากโปรแกรมออปติ้มัลเพาเวอร์ โพล์ของระบบเอซีในระบบปรับปรุง IEEE 30 บัส (ต่อ)

Bus No.	Bus Real Power Pricing ( $\text{฿} / MWhr$ )	Bus Reactive Power Pricing ( $\text{฿} / Mvarhr$ )
17	9.967	0.086
18	10.024	0.141
19	10.105	0.144
20	10.083	0.122
21	10.075	0.113
22	10.067	0.109
23	9.991	0.149
24	10.131	0.153
25	10.122	0.135
26	10.306	0.258
27	10.036	0.074
28	9.939	0.074
29	10.307	0.149
30	10.494	0.180

ตารางที่ ผ.6.32 ค่าBus Real and Reactive Power Pricing ที่ได้จากโปรแกรมออปติ้มัลเพาเวอร์ โพล์ของระบบเอซี-ดีซีในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6

Bus No.	Bus Real Power Pricing ( $\text{฿} / MWhr$ )	Bus Reactive Power Pricing ( $\text{฿} / Mvarhr$ )
1	9.008	0.0
2	9.409	0.0
3	9.517	0.034
4	9.662	0.026
5	10.072	0.0
6	9.713	0.021
7	9.906	0.046

ตารางที่ ผ.6.32 ค่าBus Real and Reactive Power Pricing ที่ได้จากโปรแกรมออปติ้มัลเพาเวอร์ โพล์ของระบบเอซี-ดีซีในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างโหนดบัสที่ 4 กับโหนดบัสที่ 6 (ต่อ)

Bus No.	Bus Real Power Pricing ( $\text{฿} / MWhr$ )	Bus Reactive Power Pricing ( $\text{฿} / Mvarhr$ )
8	9.775	0.073
9	9.773	0.017
10	9.803	0.022
11	9.773	0.0
12	9.516	0.026
13	9.514	0.0
14	9.669	0.072
15	9.756	0.089
16	9.700	0.058
17	9.811	0.056
18	9.902	0.110
19	9.954	0.111
20	9.924	0.090
21	9.892	0.078
22	9.886	0.074
23	9.876	0.118
24	9.961	0.116
25	9.927	0.098
26	10.09	0.206
27	9.837	0.042
28	9.771	0.043
29	10.075	0.108
30	10.240	0.135

ตารางที่ ผ.6.33 ค่าBus Real and Reactive Power Pricing ที่ได้จากโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์ โพล์ของระบบเอช-ดีซีในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับ โหลดบัสที่ 6

Bus No.	Bus Real Power Pricing ( $\text{฿} / MWhr$ )	Bus Reactive Power Pricing ( $\text{฿} / Mvarhr$ )
1	9.203	0.0
2	9.671	0.0
3	9.577	0.03
4	9.681	0.03
5	10.263	0.0
6	9.786	0.018
7	10.025	0.048
8	9.849	0.070
9	9.853	0.013
10	9.886	0.017
11	9.853	0.0
12	9.511	0.031
13	9.509	0.0
14	9.672	0.079
15	9.778	0.095
16	9.736	0.061
17	9.881	0.054
18	9.949	0.114
19	10.015	0.112
20	9.991	0.090
21	9.974	0.075
22	9.967	0.072
23	9.920	0.123
24	10.032	0.117
25	10.013	0.096
26	10.180	0.208

ตารางที่ ผ.6.33 ค่าBus Real and Reactive Power Pricing ที่ได้จากโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์  
โพลีของระบบเอช-ดีซีในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อม  
โยงระบบ HVDC ระหว่างเงินบัสที่ 2 กับโหนดบัสที่ 6 (ต่อ)

Bus No.	Bus Real Power Pricing ( $\text{฿} / MWhr$ )	Bus Reactive Power Pricing ( $\text{฿} / Mvarhr$ )
27	9.928	0.038
28	9.845	0.040
29	10.174	0.106
30	10.343	0.134

ตารางที่ ผ.6.34 ค่าBus Real and Reactive Power Pricing ที่ได้จากโปรแกรมออปติมัลเพาเวอร์  
โพลีของระบบเอช-ดีซีในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อม  
โยงระบบ HVDC ระหว่างเงินบัสที่ 2 กับเงินบัสที่ 5

Bus No.	Bus Real Power Pricing ( $\text{฿} / MWhr$ )	Bus Reactive Power Pricing ( $\text{฿} / Mvarhr$ )
1	9.119	0.0
2	9.558	0.0
3	9.545	0.028
4	9.663	0.027
5	9.677	0.0
6	9.798	0.044
7	9.820	0.056
8	9.863	0.098
9	9.864	0.033
10	9.896	0.045
11	9.864	0.0
12	9.496	0.026
13	9.494	0.0
14	9.666	0.079
15	9.778	0.103
16	9.734	0.074

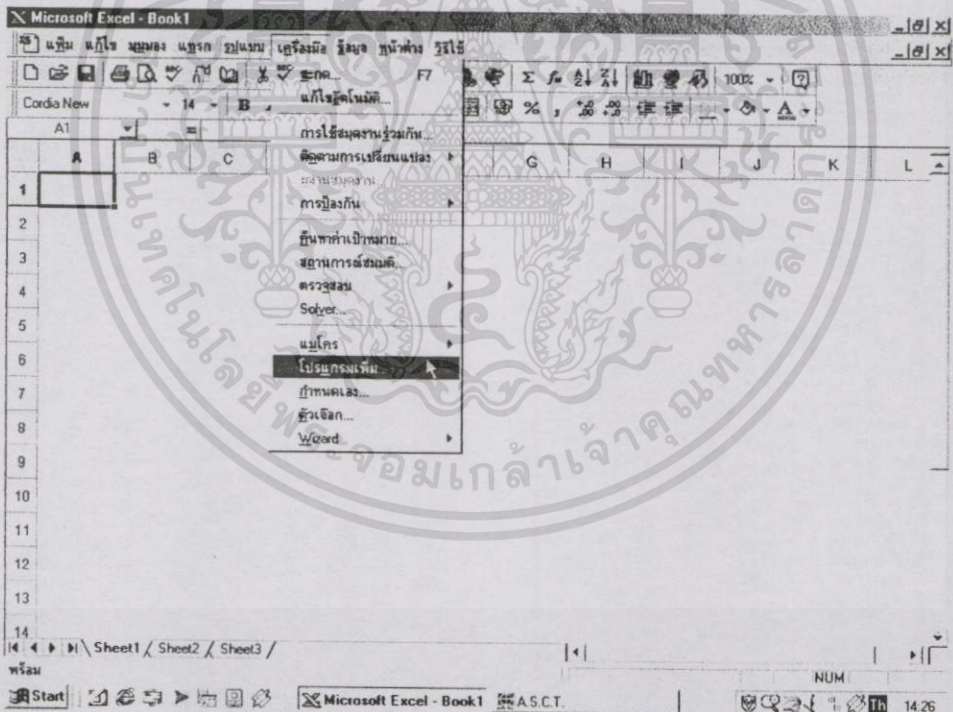
ตารางที่ ผ.6.34 ค่าBus Real and Reactive Power Pricing ที่ได้จากโปรแกรมออปติ้มัลเพาเวอร์ โฟลว์ของระบบเอช-ดีซีในระบบปรับปรุง IEEE AC-DC 30 บัส ที่มีการเชื่อมโยงระบบ HVDC ระหว่างเจนบัสที่ 2 กับเจนบัสที่ 5 (ต่อ)

Bus No.	Bus Real Power Pricing ( $\text{฿} / MWhr$ )	Bus Reactive Power Pricing ( $\text{฿} / Mvarhr$ )
17	9.891	0.079
18	9.961	0.133
19	10.032	0.137
20	10.007	0.115
21	9.991	0.107
22	9.984	0.102
23	9.930	0.141
24	10.052	0.144
25	10.034	0.127
26	10.212	0.247
27	9.945	0.068
28	9.859	0.068
29	10.208	0.141
30	10.390	0.171



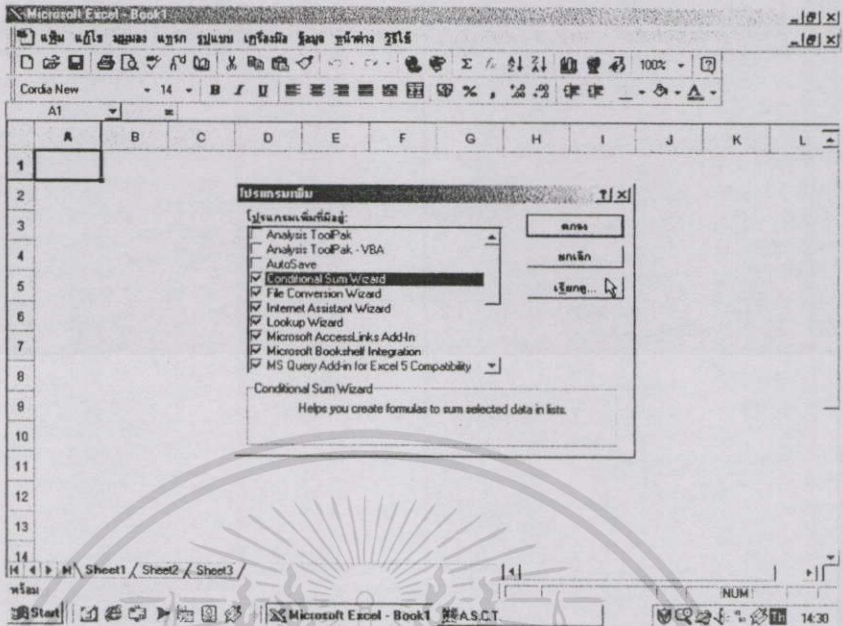
โปรแกรมการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของทั้งระบบเอซี (OPFAC) และระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) จะใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการรับค่าข้อมูลอินพุตและแสดงผลลัพธ์ และโปรแกรม MATLAB 5.3.1 ในส่วนของการคำนวณ โดยในการใช้งานโปรแกรมการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของทั้งระบบเอซี (OPFAC) และระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) นั้น หน้าจอหลักของโปรแกรมจะเป็นหน้าจอของโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อทำการรับข้อมูลอินพุตแล้วเรียกฟังก์ชันในการคำนวณซึ่งเป็นไฟล์ opfac.m หรือ opfac\_dc.m ที่ได้เขียนขึ้นจากโปรแกรม MATLAB 5.3.1 จากนั้นจึงทำการแสดงค่าผลลัพธ์ สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรม Microsoft Excel และโปรแกรม MATLAB 5.3.1 นั้นจะใช้โปรแกรม Excel Link ซึ่งทำหน้าที่ในการรับ-ส่งข้อมูล และเรียกฟังก์ชันที่เป็นไฟล์ \*.m ดังนั้นก่อนการใช้งานโปรแกรมการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของทั้งระบบเอซี (OPFAC) และระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) จะต้องทำการติดตั้งโปรแกรม Excel Link ซึ่งมีลำดับขั้นตอนในการติดตั้งดังนี้คือ

1. เปิดการใช้งานโปรแกรม Microsoft Excel
2. เลือกเมนู “เครื่องมือ” จากนั้นเลือกเมนูย่อย “โปรแกรมเพิ่ม” ดังรูปที่ ผ.6.1



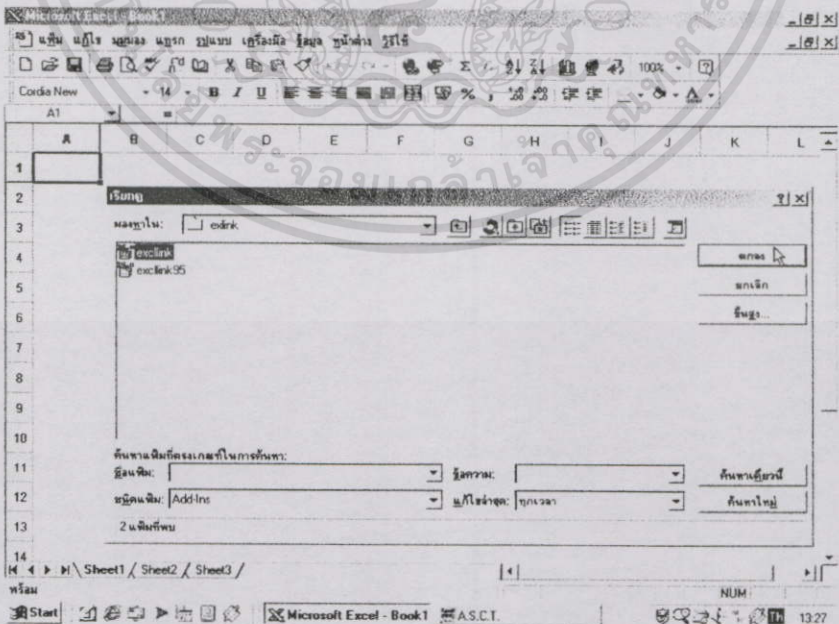
รูปที่ ผ.6.1 ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม Excel Link ขั้นตอนที่ 2

3. คลิกเมาส์ที่ปุ่ม “เรียกดู” ที่ตรงกับตำแหน่งของตัวชี้เมาส์ในรูปที่ ผ.6.2



รูปที่ ผ.6.2 ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม Excel Link ขั้นตอนที่ 3

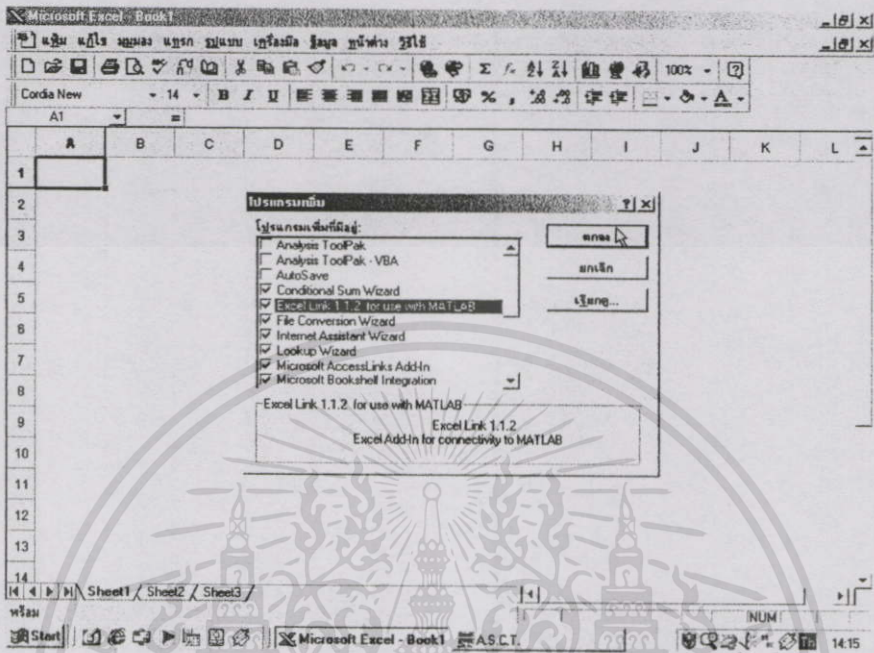
4. เลือกไฟล์ชื่อ exlink.xla จากโฟลเดอร์ที่ติดตั้งโปรแกรม MATLAB 5.3.1 เช่น C:\MATLAB5.3.1\exlink แล้วคลิกเมาส์ปุ่ม “ตกลง” ที่ตรงกับตำแหน่งของตัวชี้เมาส์ในรูปที่ ผ.6.3



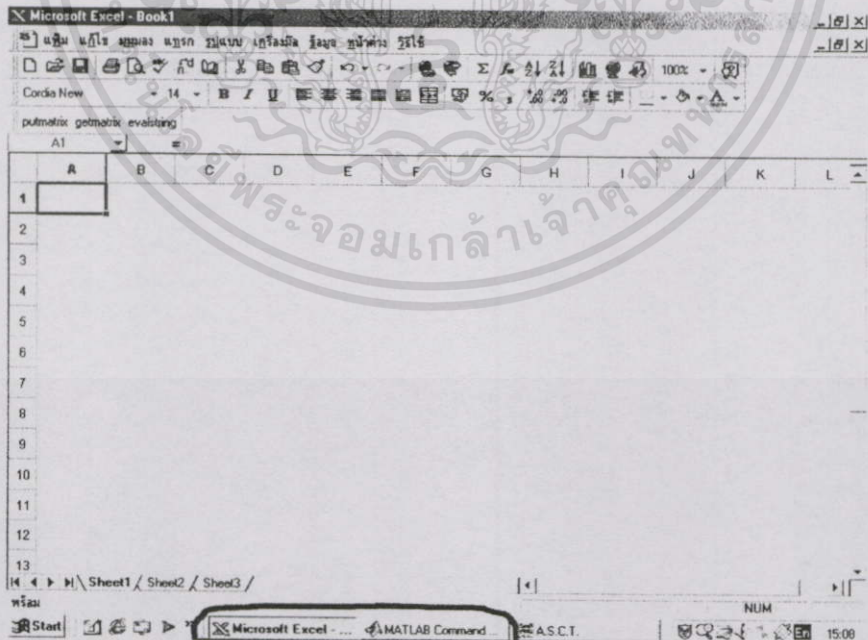
รูปที่ ผ.6.3 ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม Excel Link ขั้นตอนที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. จากนั้นจะกลับสู่หน้าต่างของ “โปรแกรมเพิ่ม” ซึ่งจะมีเช็คบ็อกซ์ “Excel Link 1.1.2 for use with MATLAB” ปรากฏขึ้นมา จากนั้นทำการเช็คบ็อกซ์ แล้วคลิกเมาส์ปุ่ม “ตกลง” ที่ตรงกับตำแหน่งของตัวชี้เมาส์ในรูปที่ ผ.6.4



รูปที่ ผ.6.4 ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม Excel Link ขั้นตอนที่ 5



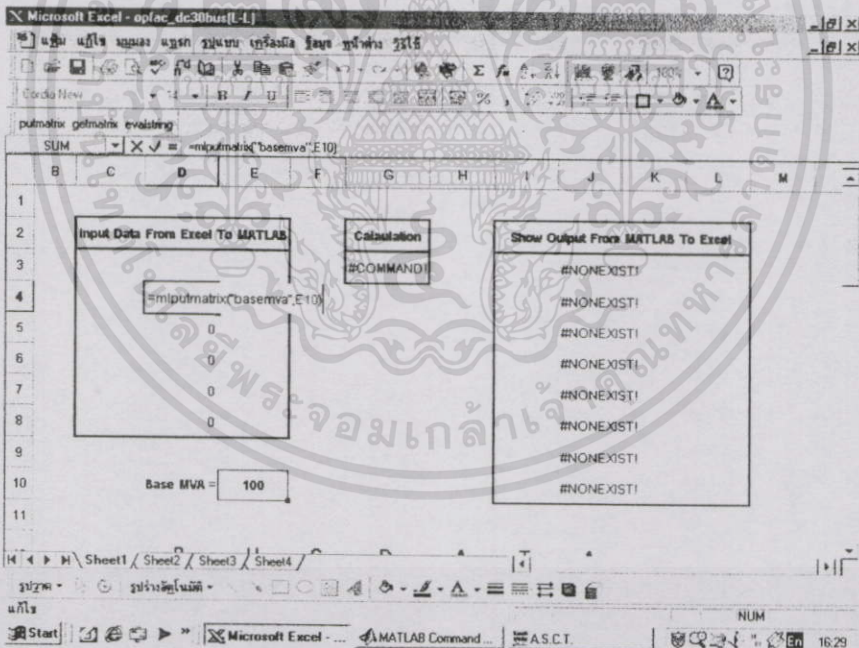
รูปที่ ผ.6.5 โปรแกรม Excel Link เมื่อได้ทำการติดตั้งแล้ว

จากรูปที่ ผ.6.5 สังเกตว่าที่ taskbar ของ Microsoft Windows จะมีปุ่ม MATLAB Command Window ปรากฏขึ้นมา ซึ่งแสดงถึงว่าโปรแกรม Excel Link ได้ทำการติดตั้งแล้ว

ในกรณีที่ติดตั้งโปรแกรม Excel Link แล้วเมื่อทำการเปิดใช้งานโปรแกรม Microsoft Excel ทุกครั้งโปรแกรม MATLAB จะถูกเปิดใช้งานโดยอัตโนมัติ ซึ่งในบางครั้งเราต้องการใช้งานเฉพาะโปรแกรม Microsoft Excel ดังนั้นเพื่อไม่ให้โปรแกรม MATLAB ถูกเปิดใช้งานโดยอัตโนมัติเมื่อเปิดใช้งานโปรแกรม Microsoft Excel ต้องป้อนคำสั่ง “=MLAutoStart(“no”)” ที่เซลล์ใดๆในโปรแกรม Microsoft Excel แล้วกด “Enter” และสามารถเปิดและปิดการใช้งานโปรแกรม MATLAB ได้โดยการป้อนคำสั่ง “=MLOpen()” และ “=MLClose()” ตามลำดับที่เซลล์ใดๆในโปรแกรม Microsoft Excel แล้วกด “Enter”

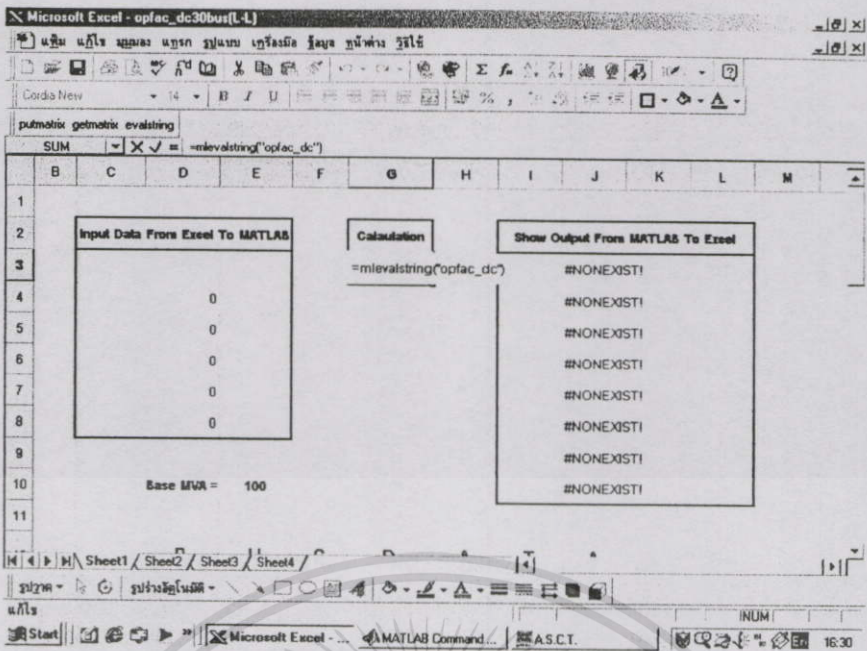
ในการใช้งานโปรแกรมการทำออปติมิซเพาเวอร์โพล์ของทั้งระบบเอซี (OPFAC) และระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) จะมีขั้นตอนดังนี้คือ

1. รับค่าข้อมูลอินพุตจากโปรแกรม Microsoft Excel ด้วยการเลือกทีละคำสั่งที่กรอบ “Input Data From Excel To MATLAB” โดยการกด “F2” แล้วกด “Enter” ดังรูปที่ ผ.6.6 จนครบทุกคำสั่ง



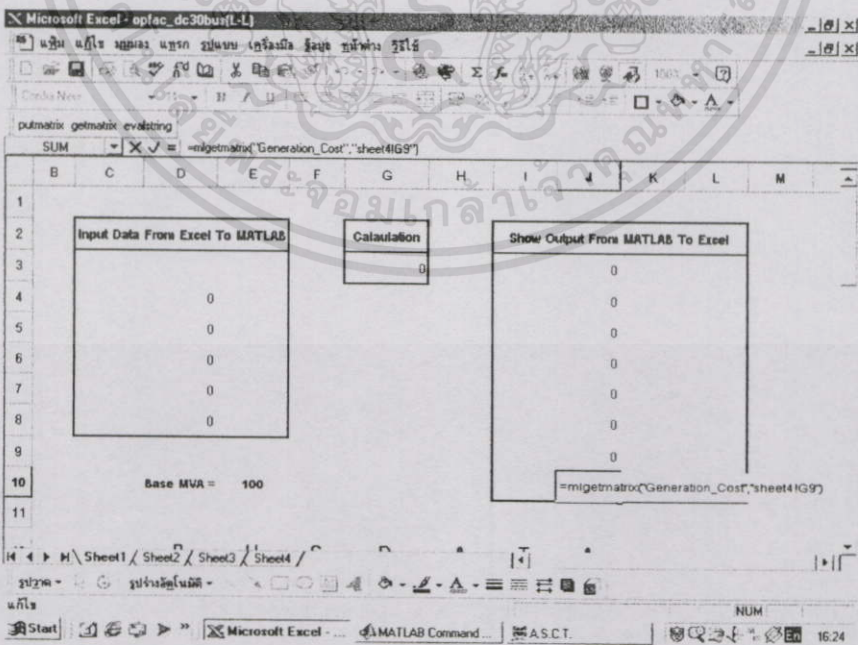
รูปที่ ผ.6.6 การรับค่าข้อมูลอินพุตจากโปรแกรม Microsoft Excel

2. เลือกคำสั่งที่กรอบ “Calculation” จากโปรแกรม Microsoft Excel โดยการกด “F2” แล้วกด “Enter” ดังรูปที่ ผ.6.7



รูปที่ ผ.6.7 การเรียกฟังก์ชันการคำนวณจากโปรแกรม MATLAB ในโปรแกรม Microsoft Excel

3. เมื่อการคำนวณเสร็จสิ้นลง โดยสังเกตที่คำสั่งในกรอบ “Calculation” จะเป็นสัญลักษณ์ “0” จากนั้นทำการแสดงผลลัพธ์ในโปรแกรม Microsoft Excel ด้วยการคลิกที่ละคำสั่งที่กรอบ “Show Output From MATLAB To Excel” โดยการกด “F2” แล้วกด “Enter” ดังรูปที่ ผ.6.8 จนครบทุกคำสั่ง



รูปที่ ผ.6.8 การรับค่าผลลัพธ์จากโปรแกรม MATLAB เข้าสู่โปรแกรม Microsoft Excel

4. ค่าผลลัพธ์ต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณ จะอยู่ในหน้าต่าง “Sheet 2 ถึง Sheet 4” ของโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งในรูปที่ ผ.6.9 เป็นการแสดงหน้าต่าง “Sheet 4”

Total Generation & Load				
Load		Generation		Injected
MW	Mvar	MW	Mvar	Mvar
283.400	126.200	294.247	59.009	23.300

Total Loss		Generation cost	Process time
MW	Mvar	(\$ / hr)	sec.
10.047	83.464	2940.14	183.61

Line Flow & Loss	

รูปที่ ผ.6.9 การแสดงผลลัพธ์ในโปรแกรม Microsoft Excel



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ISSN 0125-1724

วิศวกรรม

# ลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 18 ฉบับที่ 1

มีนาคม 2544

1. การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบประมวลผลสัญญาณ TMS320C3x DSP Starter Kit ชุดที่ ๒ ประดิษฐ์ มณฑล สิลาลจินดากรฤกษ์ สุรพันธ์ อิมมัน	1
2. การออกแบบตัวควบคุมทางจี้-ชุกโคในเฟิร์มแวร์-ดี สำหรับกระบวนการเชิงเส้นที่อยู่ในช่วง อรรถพล กัณฑ์เทว จงกล วรวิทย์ สุธี ผู้เจริญสุขนะชัย	7
3. ระบบการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ PFC ควบคุม บัณฑิต มงคลวารณ เชื้อ นกอยู่ กอบชัย เตชหาญ	13
4. การจำลองคุณสมบัตินิวทริกไฟฟ้ายาวต่อที่เน้นทางมิติโดยวิธีผลต่างเชิงอนุพันธ์ ผนชาติ พนภกนธ สรภพทศ วิเศษวงษ์ สุรศักดิ์ เมืองเจริญ ไธยธิ อาชุนันท์ วิศุทธิ์ สุดิษฐ์เรือง	19
5. เครื่องตรวจวัดขนาดสูงสุดแบบทันทีสำหรับสัญญาณรูปไซน์ในระบบ 3 เฟส วรวิทย์ ภาดา วิวัฒน์ กิรวัฒน์ จักรวิ เติงจรัสวัฒน์ ภิว แสงทีสิทธิ์	24
6. วงจรกรองความถี่หลายหน้าที่โดยใช้อุปกรณ์ทางกระแสแบบสองเฮิร์ตซ์ทุก ประจวน ปวรภากร วิวัฒน์ กิรวัฒน์	30
7. วงจรกรองความถี่ชนิดบรอดแบนด์ที่มีแบนด์วิดท์และช่วงเฮิร์ตซ์สูง วิจิตร เพ็ชรกิจ วิวัฒน์ กิรวัฒน์ จักรวิ เติงจรัสวัฒน์ อัจฉรวรรณ เนิ่งมิตต์	35
8. อุปกรณ์แปลงสัญญาณเชิงเส้นที่สร้างรูปแบบให้เป็นสัญญาณเชิงอนุพันธ์ เดกชัย พรหมมาลี กอบชัย เตชหาญ	41
9. วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่สูงแบบทวีคูณโดยใช้อุปกรณ์ทริกเกอร์ชนิด BICMOS ศิริวัฒน์ สิมโพธิ์ กอบชัย เตชหาญ วิษณุ กอพักคณินทร์	47
10. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านใช้หลังจ้งนำรพ่นและกึ่งนำรพ่นต่ำที่จับได้โดยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ มนตรี สัมวัน กอบชัย เตชหาญ	52
11. วงจรกรองความถี่แบบบรอดแบนด์ที่มีความถี่ศูนย์กลางหยุดที่ GHz โดยใช้อุปกรณ์ฟิล์ม มนตรี สัมวัน กอบชัย เตชหาญ	57
12. การวิเคราะห์และแนวทางการปรับปรุงคุณภาพการที่โคของโทรศัพท์พื้นฐานพกพา วรวิทย์ เตชสุวรรณ กอบชัย เตชหาญ	62
13. แนวทางระบบในการเขียนสื่อ ATM Virtual เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในเครือข่ายเน็ต ATM รุทธิรงค์ สุ่มกุล กอบชัย เตชหาญ	68
14. การวิเคราะห์สมรรถนะของการเข้ารหัส FEC ในระบบ ATM ไร้สายที่ใช้การเข้ารหัสแบบ CDMA ศิริวัฒน์ สุธี สุธิพนธ์ สุธิพนธ์ เกียรติกร วงศ์โรจน์ประสิทธิ์	74
15. การแปลงสัญญาณแบบมัลติอินแนลโดยใช้เทคนิค PCA-FCM สมจิต นานี กอบชัย เตชหาญ	60
16. การทำงานกลไกของหน่วยประมวลผลสัญญาณเมื่อกระแสไหลไม่เป็นเชิงเส้น ยัสราณี วงศ์ใหญ่ สุธี บรรจงจิตร นิทัศน์ กฤษณจินดา บุญเลิศ สีดเขต	86
17. การประยุกต์ใช้การแปลงเวกเตอร์เพื่อลดค่าแอมพลิจูดในสายส่ง พงษ์ศักดิ์ มากมี พุดผิงจร บุญมี สุธี บรรจงจิตร นิทัศน์ กฤษณจินดา	92
18. การวิเคราะห์คุณสมบัติแอมพลิจูดของหม้อแปลงไฟฟ้า ปัญญา มาสิวิตร มณฑล สิลาลจินดากรฤกษ์ สุธี บรรจงจิตร นิทัศน์ กฤษณจินดา บุญเลิศ สีดเขต	98
19. การศึกษาการเสถียรภาพของระบบการควบคุมมอเตอร์แบบบูรณาการและผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อระบบในสภาวะไม่แน่นอนของ สุกัญญา จงภักดิ์กรกิจจร วิวัฒน์ ไทวีระฤกษ์ สุดิพนธ์ อิมมันเสม ศิระ วัชร์ดิณี วัชร์ อัญญาไสน	104
20. การคำนวณแรงและกำลังในระบบไฟฟ้กำลังโดยใช้วิธีการที่ผลผลิตมีเพาเวอร์ไฟลส์ พรเทพ ปัญญาแก้ว ศิริวัฒน์ ไทวีระฤกษ์	110
21. การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบเกชี่ ศิริโสภณสุกัญญาศิริวิวัฒน์-าเพื่อเสริมร่วมกับการเรดิวดล วัชร์ สุวรรณัญญา ศิริวัฒน์ ไทวีระฤกษ์	116
22. เทคนิคในการหาคุณลักษณะของแรงบิด-ความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยการใช้โมเดลความถี่ วรวิทย์ แซ่กัก ทิชิต ลักกล	122
23. การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบเกชี่ ศิริโสภณสุกัญญาศิริวิวัฒน์-าเพื่อเสริมร่วมกับการเรดิวดล วัชร์ สุวรรณัญญา ศิริวัฒน์ ไทวีระฤกษ์	128
24. การศึกษาผลกระทบของครีมน้ำมันที่มีต่อความถี่ของแรงบิดจากการลัดวงจรของ มนชัย นรเศรษฐ์โคกน อมิต มนต์วี	134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยใช้วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์ฟลว์ Economic Operation in Power Systems Using Optimal Power Flow Approach

พรเทพ ปัญญาแก้ว      ศิริวัฒน์ โทษเวทกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## บทคัดย่อ

บทความนี้ นำเสนอการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งพิจารณาหาค่ากำลังผลิตที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านระบบสายส่งไฟฟ้าเพื่อป้อนให้กับโหลดในระบบ ซึ่งมีเป้าหมายให้ต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุด โดยใช้วิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์ฟลว์และนำมาเปรียบเทียบกับวิธีนิวตัน - ราฟสัน โหลดโพลว์ และวิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัด ทดสอบกับระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส ซึ่งจากผลการทดลองวิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์ฟลว์มีข้อได้เปรียบกว่าที่ต้นทุนการผลิตรวมและค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมีค่าลดลง

## Abstract

This paper presents an economic operation in power systems, which determines the optimal setting of generating units. This objective is based on the optimal power flow approach so that the total production cost can be minimized tests are performed on the modified IEEE 14 bus system. The results are obtained from the proposed method in this paper are better than the previous method obtained from the Newton-Raphson method and the economic dispatch approach since the total production cost and real power losses in the systems are decreased.

## 1. บทนำ

การดำเนินงานอย่างประหยัด จัดได้ว่าเป็นปัญหาที่สำคัญของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งพิจารณาหาค่ากำลังผลิตที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านระบบสายส่งไฟฟ้าเพื่อป้อนให้กับโหลดในระบบ โดยมีเป้าหมายให้ต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุด [1]

สำหรับปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุด (optimization problem) แบบไม่เชิงเส้น [2] จึงได้เลือกใช้วิธีซิควอนเซียลควอดราติกโปรแกรมมิ่ง เป็นวิธีใน

การแก้ปัญหา เนื่องจากไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเงื่อนไขขงคับแบบอสมการ (inequality constraint) และมีฟังก์ชันเป้าหมาย (objective function) เป็นฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิง (fuel cost function) ในส่วนของเงื่อนไขขงคับจะแตกต่างกันระหว่าง วิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัดกับวิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์ฟลว์ และนำวิธีการทั้งสองดังกล่าวรวมทั้งการคิดแบบโหลดโพลว์ ทดสอบกับระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส และเปรียบเทียบผลที่ได้ของทั้ง 3 วิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบทความนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า กำหนดให้เป็น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนและไม่คิดค่า valve point loading

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

วิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัดเป็นวิธีการที่หาค่า กำลังผลิตที่จ่ายมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยมีเป้าหมาย ให้ต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุด ซึ่งมีฟังก์ชันเป้าหมายเป็นฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนและมีหน่วยเป็นหน่วยราคาต่อชั่วโมง (ง/hr) โดยปกติฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนจะอยู่ในรูปของฟังก์ชันควอดราติกดังนี้คือ

$$a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2 \tag{1}$$

โดยที่

$a_i, b_i$  และ  $c_i$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส  $i$

$P_{gi}$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตที่บัส  $i$

และมีเงื่อนไขบังคับดังนี้คือ

$$\sum_{i=1}^{N_g} P_{gi} - P_D - P_L = 0 \tag{2}$$

โดยที่

$P_D$  คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบ

$P_L$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ

$N_g$  คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$P_{gi, \min} \leq P_{gi} \leq P_{gi, \max} \tag{3}$$

โดยที่

$P_{gi, \min}$  คือ ขีดจำกัดกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตต่ำสุดที่บัส  $i$

$P_{gi, \max}$  คือ ขีดจำกัดกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตสูงสุดที่บัส  $i$

มีเงื่อนไขบังคับดังนี้คือ

$$\left( V_i \sum_{j=1}^N V_j [g_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) + b_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j)] \right) - P_{gi} + P_{di} = 0 \tag{4}$$

$$\left( V_i \sum_{j=1}^N V_j [g_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) - b_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j)] \right) - Q_{gi} + Q_{di} = 0 \tag{5}$$

โดยที่

$V_i$  คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส  $i$

$\delta_i$  คือ มุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส  $i$

$P_{di}$  คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส  $i$

$Q_{gi}$  คือ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ผลิตที่บัส  $i$

$Q_{di}$  คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่บัส  $i$

$g_{ij}$  คือ ส่วนจริงของค่าแอดมิตแตนซ์ระหว่างบัส  $i$

และ  $j$

$b_{ij}$  คือ ส่วนจินตภาพของค่าแอดมิตแตนซ์ระหว่างบัส  $i$  และ  $j$

$N$  คือ จำนวนบัสในระบบ

$$P_{gi, \min} \leq P_{gi} \leq P_{gi, \max} \tag{6}$$

$$Q_{gi, \min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi, \max} \tag{7}$$

โดยที่

$Q_{gi, \min}$  คือ ขีดจำกัดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ผลิตต่ำสุดที่บัส  $i$

$Q_{gi, \max}$  คือ ขีดจำกัดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ผลิตสูงสุดที่บัส  $i$

$V_{i, \min}$  คือ ขีดจำกัดแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่บัส  $i$

$V_{i, \max}$  คือ ขีดจำกัดแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่บัส  $i$

2.3 วิธีหาค่าเหมาะที่สุดของควอดราติกโปรแกรมมิ่ง

วิธีหาค่าเหมาะที่สุดของควอดราติกโปรแกรมมิ่ง [3] มีการกำหนดปัญหาในการหาค่าเหมาะที่สุดดังนี้คือ

Minimize  $f(x)$  (8)

Subject to

$$g_i(x) = 0, i = 1, \dots, m_e \tag{9}$$

$$g_i(x) \leq 0, i = m_e + 1, \dots, m \tag{10}$$

$$x_l \leq x \leq x_u \tag{11}$$

2.2 วิธีการทำออปติไมัลเพาเวอร์ฟลว์

วิธีการทำออปติไมัลเพาเวอร์ฟลว์เป็นวิธีการที่หาค่ากำลังผลิตที่จ่ายมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านระบบสายส่งไฟฟ้าเพื่อป้อนให้กับโหลดในระบบ โดยมีเป้าหมายให้ต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุด ซึ่งมีฟังก์ชันเป้าหมายเป็นฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนและมีหน่วยเป็นหน่วยราคาต่อชั่วโมง ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นตาม (1)

โดยที่

$f(x)$  คือ ฟังก์ชันเป้าหมาย

$g_i(x) = 0$  คือ เงื่อนไขบังคับแบบสมการ

$g_i(x) \leq 0$  คือ เงื่อนไขบังคับแบบอสมการ

$x_i$  คือ ค่าต่ำสุดของตัวแปร

$x_u$  คือ ค่าสูงสุดของตัวแปร

$m_e$  คือ จำนวนเงื่อนไขบังคับแบบสมการ

$m$  คือ จำนวนเงื่อนไขบังคับทั้งหมด

การแก้ปัญหาออปติไมเซชันในสมการที่ (8)-(11)

สามารถหาจุดคำตอบใหม่ในแต่ละรอบดังนี้คือ

$$x_{k+1} = x_k + \alpha_k d_k \tag{12}$$

โดยที่

$d_k$  คือ ทิศทางในการปรับค่าตัวแปร  $x_k$  ซึ่งสามารถหาได้

โดยการแก้ปัญหาออยควอคราติกโปรแกรมมิ่ง

$\alpha_k$  คือ ช่วงก้าวที่เหมาะสมในการปรับค่า  $x_k$

ปัญหาออยควอคราติก โปรแกรมมิ่งมีดังนี้คือ

$$\text{minimize} \quad \frac{1}{2} d_k^T H_k d_k + \nabla f(x_k)^T d_k \tag{13}$$

subject to

$$\nabla g_i(x_k)^T d_k + g_i(x_k) = 0, i = 1, \dots, m_e \tag{14}$$

$$\nabla g_i(x_k)^T d_k + g_i(x_k) \leq 0, i = m_e + 1, \dots, m \tag{15}$$

โดยที่

$H_k$  คือ Hessian matrix ของฟังก์ชัน Lagrangian

$$L(x, \lambda) = f(x) + \lambda^T g_i(x) \text{ ที่จุด } x = x_k$$

ในการแก้ปัญหาออปติไมเซชัน โดยใช้วิธีซีเวน

เชิกลควอคราติกโปรแกรมมิ่งแบ่งออกได้ 3 ขั้นตอนดังนี้

### 2.3.1 การประมาณ Hessian matrix

ในแต่ละรอบ  $k$  Powell [4] ได้ประมาณ Hessian matrix  $H_k$  ในรอบใหม่ด้วย  $B_k$  โดยใช้วิธี BFGS ดังนี้คือ

$$B_{k+1} = B_k + \frac{q_k q_k^T}{q_k^T s_k} - \frac{B_k^T B_k}{s_k^T B_k s_k} \tag{16}$$

โดยที่

$$s_k = x_{k+1} - x_k$$

$$g_k = \left( \nabla f(x_{k+1}) + \sum_{i=1}^m \lambda_i \nabla g_i(x_{k+1}) \right) - \left( \nabla f(x_k) + \sum_{i=1}^m \lambda_i \nabla g_i(x_k) \right)$$

$\lambda_i (i = 1, \dots, m)$  คือ ค่าประมาณของตัวคูณ Lagrange

### 2.3.2 การหา $d_k$

ในแต่ละรอบ  $k$  สามารถหาค่า  $d_k$  ได้จากการแก้ปัญหาย่อยควอคราติกโปรแกรมมิ่งดังนี้คือ

$$\text{minimize} \quad \frac{1}{2} d_k^T B_k d_k + \nabla f(x_k)^T d_k \tag{17}$$

subject to

$$\nabla g_i(x_k)^T d_k + g_i(x_k) = 0, i = 1, \dots, m_e$$

$$\nabla g_i(x_k)^T d_k + g_i(x_k) \leq 0, i = m_e + 1, \dots, m$$

### 2.3.3 การหาช่วงก้าวที่เหมาะสม

การหาช่วงก้าวที่เหมาะสม  $\alpha_k$  ตามสมการที่(12)

ต้องให้ Merit function  $\psi(x)$  ที่เสนอโดย Powell [4] มีค่า

ลดลงในแต่ละรอบการคำนวณมีสมการดังนี้คือ

$$\psi(x) = f(x) + \sum_{i=1}^{m_e} r_i g_i(x) + \sum_{i=m_e+1}^m r_i \max\{0, g_i(x)\} \tag{18}$$

โดยที่

$r_i$  คือ ตัวแปรการปรับโทษของ  $g_i(x)$

Powell [4] เสนอให้คำนวณตัวแปรการปรับโทษดังนี้คือ

$$r_i = (r_{k+1})_i = \max_i \left\{ \lambda_i, \frac{1}{2} ((r_k)_i + \lambda_i) \right\}, i = 1, \dots, m \tag{19}$$

ค่าเริ่มต้นของตัวแปรการปรับโทษหาได้ดังนี้คือ

$$r_i = \frac{\|\nabla f(x)\|}{\|\nabla g_i(x)\|}, i = 1, \dots, m \tag{20}$$

โดยที่

$\|\cdot\|$  คือ Euclidean norm

ขบวนการคำนวณคือทำการคำนวณ 3 ขั้นตอนดังกล่าวจนกว่าค่าที่ยอมรับได้ของตัวแปร ฟังก์ชันเป้าหมาย และเงื่อนไขบังคับมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้

## 3. การดำเนินงานอย่างประหยัด

### 3.1 การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

ในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด มี การแก้ปัญหาโหลดโพลว์ ซึ่งในบทความนี้ใช้วิธีนิวตัน-ราฟสัน [1] และ การแก้ปัญหาออปติไมเซชันโดยใช้วิธีซีเวนเชิกลควอคราติก โปรแกรมมิ่งซึ่งมีรูปแบบดังนี้คือ

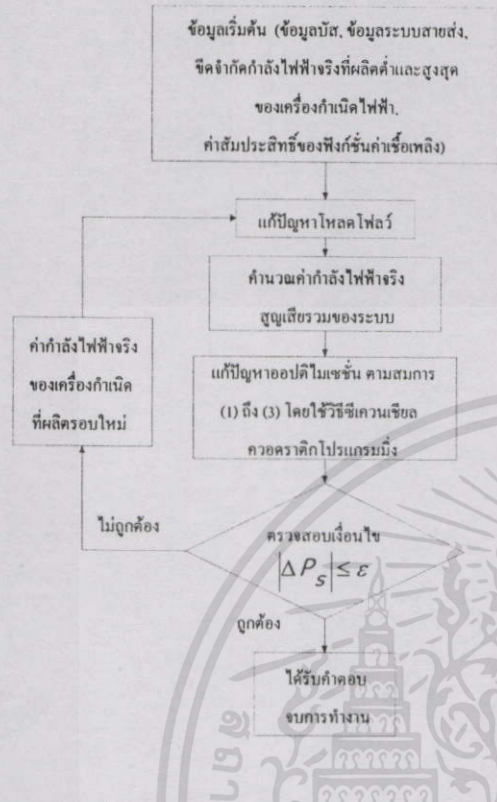
$$\text{Minimize} \quad a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^{N_g} P_{gi} - P_D - P_L = 0$$

$$P_{gi, \min} \leq P_{gi} \leq P_{gi, \max}$$

การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดมีลำดับ  
ขั้นตอนดังนี้คือ



รูปที่ 1 โพลีชาร์ตของวิธีการแก้ปัญหาการจ่าย  
โหลดอย่างประหยัด

จากโพลีชาร์ตในรูปที่ 1 ค่า  $|\Delta P_S|$  คือค่าผลต่าง  
สัมบูรณ์ของค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่บัสอ้างอิง ที่ได้จากการแก้  
ปัญหาออปติไมเซชัน โดยใช้วิธีซีเวนเซียลควอดราติก  
โปรแกรมมิ่งกับการแก้ปัญหาโหลดโพลว์ซึ่งต้องมีค่าน้อย  
กว่าค่าผิดพลาด ( $\epsilon$ ) ที่กำหนดไว้จึงจะพบคำตอบ

3.2 การแก้ปัญหาการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์

การแก้ปัญหาการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์โดย  
ใช้วิธีซีเวนเซียลควอดราติกโปรแกรมมิ่งมีรูปแบบดังนี้คือ

Minimize  $a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2$

Subject to

$$\left( V_i \sum_{j=1}^N V_j [g_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) + b_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j)] \right) -$$

$$P_{gi} + P_{di} = 0$$

$$\left( V_i \sum_{j=1}^N V_j [g_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) - b_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j)] \right) -$$

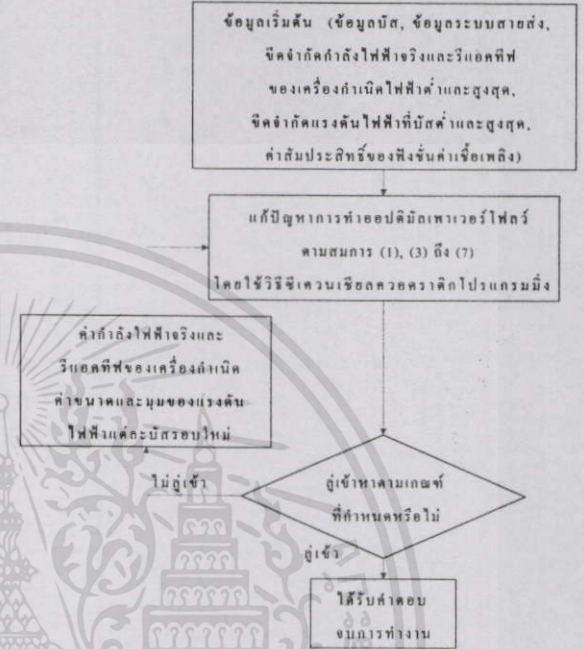
$$Q_{gi} + Q_{di} = 0$$

$$P_{gi, \min} \leq P_{gi} \leq P_{gi, \max}$$

$$Q_{gi, \min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi, \max}$$

$$V_{i, \min} \leq V_i \leq V_{i, \max}$$

การแก้ปัญหาการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์มี  
ลำดับขั้นตอนดังนี้คือ

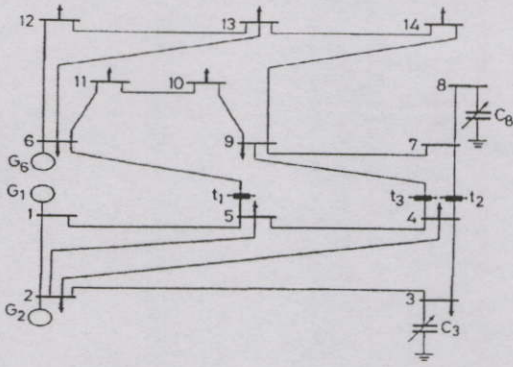


รูปที่ 2 โพลีชาร์ตของวิธีการแก้ปัญหาการทำ  
ออปติไมล์เพาเวอร์โพลว์

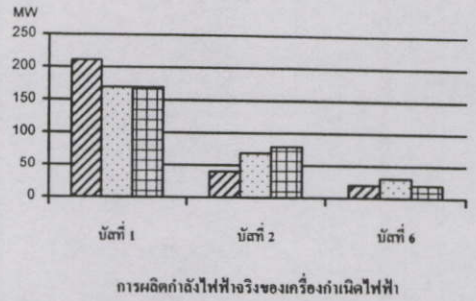
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ทดสอบวิธีการที่ได้นำเสนออ้างข้างต้นกับ  
ระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส ซึ่งประกอบด้วย เครื่องกำเนิด  
ไฟฟ้า 3 เครื่อง หม้อแปลงไฟฟ้าแบบค่าเต็มคงที่ 3 ตัวและ  
คาปาซิทีฟรีแอกเตอร์แบบปรับค่าได้ต่อขนาน 2 ตัว ดังรูป  
ที่ 3 โดยใช้โปรแกรม MATLAB Version 5.3.1 ข้อมูล  
ของระบบทดสอบแสดงในตารางที่ 1, 2 และ 3 กำหนด  
ค่า Base MVA = 100 MVA และค่าที่ยอมรับได้ดังนี้คือ  
ค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ของ  $|\Delta P_S| = 0.001$

- วิธีซีเวนเซียลควอดราติกโปรแกรมมิ่งที่ใช้ใน  
บทความนี้กำหนดค่าที่ยอมรับได้ดังนี้คือ
- ค่าที่ยอมรับได้ของค่าแปร = 0.000001
  - ค่าที่ยอมรับได้ของฟังก์ชันเป้าหมาย = 0.000001
  - ค่าที่ยอมรับได้ของเงื่อนไขบังคับ = 0.000001
  - จำนวนรอบในการคำนวณสูงสุด = 400



รูปที่ 3 ระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส



รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบผลการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงที่ได้จากการคิดในแต่ละวิธี

ตารางที่ 1 สัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส	a $\left[ \frac{\text{รู}}{\text{hr}} \right]$	b $\left[ \frac{\text{รู}}{\text{MWhr}} \right]$	c $\left[ \frac{\text{รู}}{\text{MW}^2 \text{hr}} \right]$
1	105	2.45	0.005
2	44.4	3.51	0.005
6	40.6	3.89	0.005

ตารางที่ 2 ชีตจำกัดต่างๆ ในระบบ

Bus no.	V <sub>min</sub> (p.u.)	V <sub>max</sub> (p.u.)	P <sub>g,min</sub> (MW)	P <sub>g,max</sub> (MW)	Q <sub>g,min</sub> (Mvar)	Q <sub>g,max</sub> (Mvar)
1	1.00	1.10	50	170	-20	50
2	1.00	1.10	20	100	-20	50
3	0.95	1.10	-	-	0	25
4	0.95	1.10	-	-	-	-
5	0.95	1.10	-	-	-	-
6	1.00	1.10	20	80	-20	50
7	0.95	1.10	-	-	-	-
8	0.95	1.10	-	-	0	25
9	0.95	1.10	-	-	-	-
10	0.95	1.10	-	-	-	-
11	0.95	1.10	-	-	-	-
12	0.95	1.10	-	-	-	-
13	0.95	1.10	-	-	-	-
14	0.95	1.10	-	-	-	-

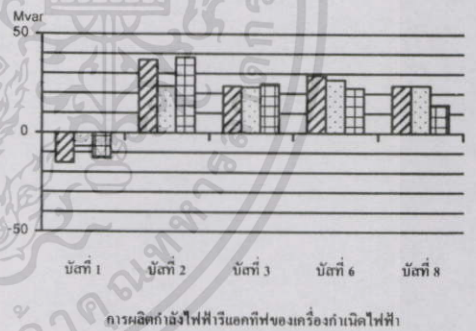
ตารางที่ 3 ค่าตั้งแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า

Transformer no.	From bus	To bus	Tap setting
1	5	6	0.962
2	4	7	0.978
3	4	9	0.969

รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบผลการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ได้จากการคิดในแต่ละวิธี

จากการคิดในแต่ละวิธี

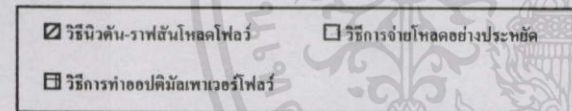
จากผลการทดลองในรูปที่ 4 พบว่าวิธีนิวตัน-ราฟสันโหลดโฟลว์ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส 1 ซึ่งเป็นบัสอ้างอิงเกินขีดจำกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากการกำหนดค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส 2 และ 6 ไม่เหมาะสม ส่วนวิธีการย่อยโหลดอย่างประหัดและวิธีการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงอยู่ในขีดจำกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 6 ผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 6 พบว่าทุกวิธีให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสที่อยู่ในขีดจำกัดที่กำหนดไว้

จากผลการทดลองในรูปที่ 5 พบว่าทุกวิธีให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่อยู่ในขีดจำกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเป็นผลจากการตั้งค่าแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ดี

ผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 6 พบว่าทุกวิธีให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสที่อยู่ในขีดจำกัดที่กำหนดไว้



รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่บัสที่ได้จากการคิดในแต่ละวิธี

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์การทดสอบระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส

	วิธีนิวตัน-ราฟสัน โหลดโพลว์	วิธีการจ่าย โหลดอย่าง ประหยัด	วิธีการทำ ออปติมิซ
ต้นทุนการผลิตรวม	1156.55 (๑๑/hr)	1137.14 (๑๑/hr)	1136.48 (๑๑/hr)
กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวม	11.736 MW	9.749 MW	9.344 MW

จากผลการทดลองในตารางที่ 4 พบว่าวิธีการทำ ออปติมิซเพาเวอร์โพลว์ลดต้นทุนการผลิตรวมของระบบ 20.07 ๑๑/hr (1.735 %) และลดค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ 2.392 MW (20.382 %) เมื่อเปรียบเทียบกับ วิธีนิวตัน-ราฟสัน โหลดโพลว์ และลดต้นทุนการผลิตรวม

ของระบบ 0.66 ๑๑/hr (0.058 %) และลดค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ 0.405 MW (4.154 %) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการจ่าย โหลดอย่างประหยัด

## 5. สรุปผล

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการทำออปติมิซเพาเวอร์โพลว์ในการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากำลังเปรียบเทียบกับวิธีนิวตัน-ราฟสัน โหลดโพลว์และวิธีการจ่าย โหลดอย่างประหยัด โดยที่วิธีนิวตัน-ราฟสัน โหลดโพลว์ได้กำหนดค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส 2 และ 6 ไม่เหมาะสมทำให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส 1 ซึ่งเป็นบัสอ้างอิงเกินขีดจำกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และในความเป็นจริงไม่สามารถกำหนดค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงได้เหมาะสม ดังนั้นวิธีการโหลดโพลว์จึงไม่ใช้ในการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากำลัง

วิธีการทำออปติมิซเพาเวอร์โพลว์ พบว่าให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมและค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบต่ำกว่าทั้ง 2 วิธีและสามารถที่จะกำหนดขีดจำกัดต่างๆในระบบเช่นขีดจำกัดแรงดันไฟฟ้าได้ในขอบเขตการออปติมิซ

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สิบพงศ์ สุวรรณภู และผู้ร่วมงานในวิจัยที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ได้ให้ความร่วมมือในงานวิจัยมาโดยตลอด

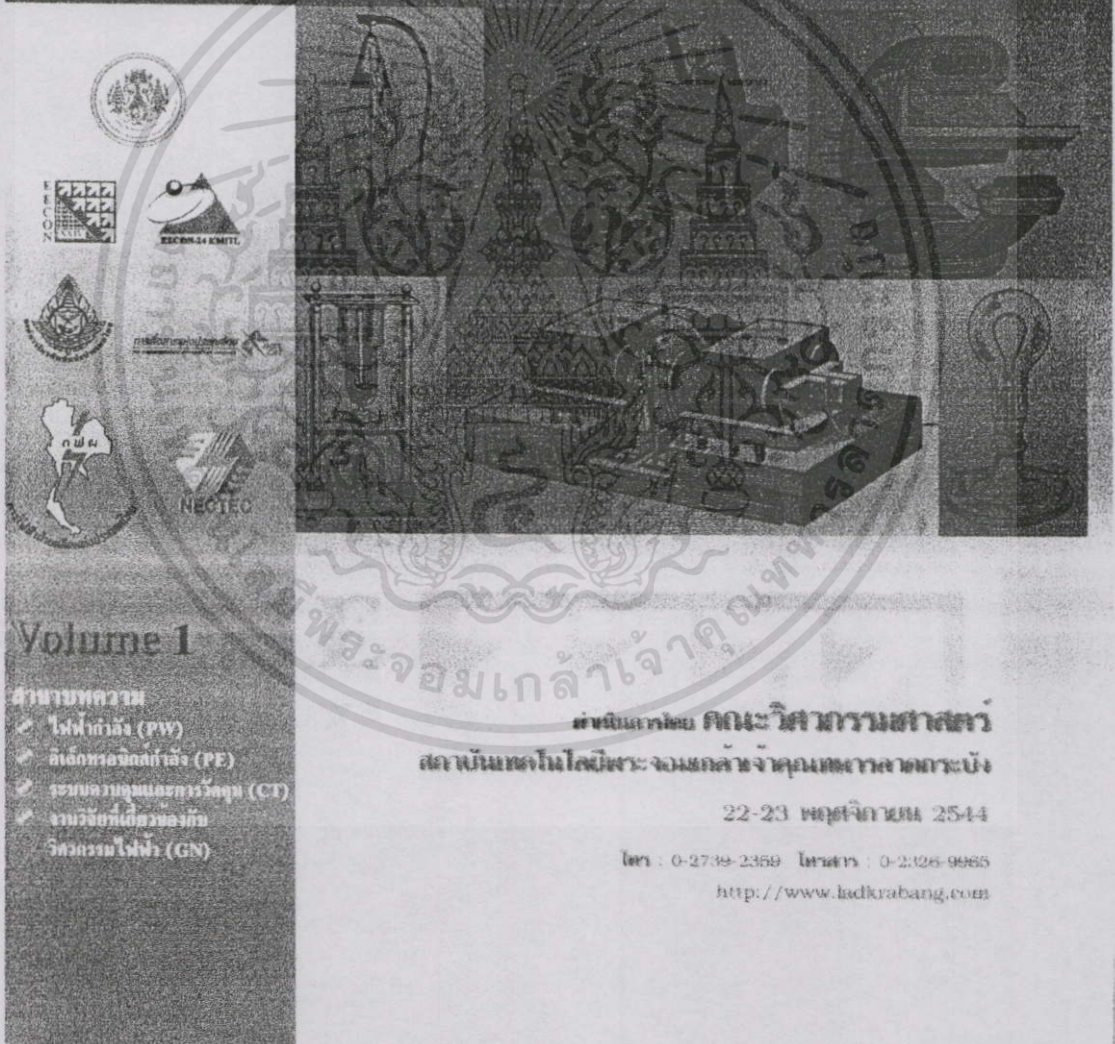
## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] J.J., Grainger and W.D., Stevenson, Jr., "Power System Analysis," International Editions, McGraw-Hill, 1994.
- [2] A.J., Wood and B.F., Wollenberg, "Power Generation Operation and Control," John Wiley & Sons, 1996.
- [3] A., Grace, "Optimization Toolbox for Use with MATLAB," The Math Works, Inc.
- [4] M.J.D., Powell, "A Fast Algorithm for Nonlinearly Constrained Optimization Calculations," Numerical Analysis, G.A. Watson ed., Lecture Notes in Mathematics, Springer Verlag, Vol. 630, 1978.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 24

## 24<sup>th</sup> Electrical Engineering Conference (EECON-24)



**Volume 1**

**สาขาบทความ**

- ☛ ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- ☛ สวิตช์ทอนิก้ากำลัง (PE)
- ☛ ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)
- ☛ เทคโนโลยีที่เกี่ยวกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)

**สำนักงานวิทยบริการ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

22-23 พฤศจิกายน 2544

โทร : 0-2739-2359 โทรสาร : 0-2126-9965  
<http://www.ladkrabang.com>

# การทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีโดยใช้วิธีสี่เหลี่ยมเชิงลควอคราติกโปรแกรมมิ่ง Optimal Power Flow of AC-DC Systems Using Sequential Quadratic Programming Method

พรเทพ ปัญญาแก้ว สิริวัฒน์ โพธิเวชกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

โทร/โทรสาร: (02)326-9902 ต่อ 3518 E-mail: s2061068@kmit.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์ซึ่งพิจารณาหาค่ากำลังผลิตที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านระบบสายส่งไฟฟ้ากระแสสลับที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเพื่อป้องกันให้กับโหลดในระบบ ซึ่งมีเป้าหมายให้ต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุดโดยใช้วิธีสี่เหลี่ยมเชิงลควอคราติกโปรแกรมมิ่ง แล้วทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเมื่อมีและไม่มีกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง โดยทดสอบกับระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส ซึ่งจากผลการทดลองการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเมื่อไม่มีกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่านระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมและค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบต่ำที่สุด

## Abstract

This paper presents optimal power flow of ac-dc systems, which determines the optimal setting of generating units. The objective is based on the sequential quadratic programming method so that total production cost can be minimized. Then the analysis and comparison of optimal power flow in three cases, i.e. ac system, ac system with HVDC link having constant and varied dc power transfer. Tests are performed on the modified IEEE 14 bus system. The results have shown that optimal power flow of ac system with HVDC link having varied dc power transfer gives minimized total production cost and real power losses in the system.

**Keywords:** sequential quadratic programming, optimal power flow and ac-dc systems.

## 1. บทนำ

วิธีการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์เป็นวิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาการดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยพิจารณาหา

ค่ากำลังผลิตที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านระบบสายส่งไฟฟ้าเพื่อป้องกันให้กับโหลดในระบบ ซึ่งมีเป้าหมายให้ต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุด [1] และมีข้อได้เปรียบกว่าวิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัดและวิธีการคิดแบบโหลดโพล์ [2] สำหรับปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimization problem) แบบไม่เชิงเส้น จึงได้เลือกใช้วิธีสี่เหลี่ยมเชิงลควอคราติกโปรแกรมมิ่งเป็นวิธีการแก้ปัญหา เนื่องจากไม่มีปัญหากับเงื่อนไขบังคับแบบอสมการ โดยมีฟังก์ชันเป้าหมายเป็นฟังก์ชันค่าเฉลี่ย ในส่วนของเงื่อนไขบังคับจะเป็นสมการกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสมดุลที่แต่ละบัส ซึ่งในการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซีจะรวมสมการของการเชื่อมโยงด้วยระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง (HVDC Link) เข้าไว้ในส่วนของเงื่อนไขบังคับ [3] โดยในบทความนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำหนดให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนซึ่งไม่คิดค่า valve point loading และเป็นการเชื่อมโยง HVDC Link ระหว่าง 2 บัส แล้วนำวิธีการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี (OPFAC) และวิธีการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซี (OPFAC-DC) เมื่อมีและไม่มีกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่าน HVDC Link ทดสอบกับระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส และเปรียบเทียบผลที่ได้ของการคิดทั้ง 3 แบบ

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 วิธีการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี

วิธีการทำออปติไมล์เพาเวอร์โพล์เป็นวิธีการที่หาค่ากำลังผลิตที่จ่ายมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านระบบสายส่งไฟฟ้าเพื่อป้องกันให้กับโหลดในระบบ โดยมีเป้าหมายให้ต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุด ซึ่งมีฟังก์ชันเป้าหมายเป็นฟังก์ชันค่าเฉลี่ยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนและมีหน่วยเป็นหน่วยราคาต่อชั่วโมง (\$/hr) โดยปกติฟังก์ชันค่าเฉลี่ยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนจะอยู่ในรูปของฟังก์ชันควอควาติกดังนี้คือ

$$\sum_{k=1}^N a_k + b_k P_{gk} + c_k P_{gk}^2 \tag{1}$$

โดยที่  $a_k, b_k$  และ  $c_k$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเฉลี่ยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส  $k, P_{gk}$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตที่บัส  $k$  และ  $N$  คือ จำนวนบัสในระบบ และมีเงื่อนไขบังคับดังนี้

$$\left( \sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \cos(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) \right) - P_{gk} + P_{Lk} = 0 \quad (2)$$

$$\left( - \sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \sin(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) \right) - Q_{gk} + Q_{Lk} = 0 \quad (3)$$

โดยที่  $V_k$  คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส  $k$ ,  $\delta_k$  คือ มุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส  $k$ ,  $Q_{Lk}$  คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่บัส  $k$ ,  $P_{Lk}$  คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส  $k$ ,  $Q_{gk}$  คือ ค่ากำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่ผลิตที่บัส  $k$  และ  $Y_{kn}$  คือ ค่าแอดมิแตนซ์ระหว่างบัส  $k$  และ  $n$

$$P_{gk, \min} \leq P_{gk} \leq P_{gk, \max} \quad (4)$$

$$Q_{gk, \min} \leq Q_{gk} \leq Q_{gk, \max} \quad (5)$$

$$V_{k, \min} \leq V_k \leq V_{k, \max} \quad (6)$$

เมื่ออักษรกำกับล่าง  $\min$  และ  $\max$  แทนขีดจำกัดต่ำสุดและสูงสุดตามลำดับ

## 2.2 วิธีหาค่าเหมาะที่สุดของควอดราติกโปรแกรมมิ่ง

วิธีหาค่าเหมาะที่สุดของควอดราติกโปรแกรมมิ่ง [4] มีกรกำหนดปัญหาในการหาค่าเหมาะที่สุดดังนี้คือ

$$\text{Minimize } f(x) \quad (7)$$

$$\text{Subject to}$$

$$g_i(x) = 0, i = 1, \dots, m_e \quad (8)$$

$$g_i(x) \leq 0, i = m_e + 1, \dots, m \quad (9)$$

$$x_l \leq x \leq x_u \quad (10)$$

โดยที่  $f(x)$  คือ ฟังก์ชันเป้าหมาย,  $g_i(x) = 0$  คือ เงื่อนไขบังคับแบบสมการ,  $g_i(x) \leq 0$  คือ เงื่อนไขบังคับแบบอสมการ,  $x_l$  คือ ค่าต่ำสุดของตัวแปร,  $x_u$  คือ ค่าสูงสุดของตัวแปร,  $m_e$  คือ จำนวนเงื่อนไขบังคับแบบสมการ และ  $m$  คือ จำนวนเงื่อนไขบังคับทั้งหมด

การแก้ปัญหาหาค่าเหมาะที่สุดในสมการที่ (7)-(10) สามารถหาจุดค่าตอบใหม่ในแต่ละรอบดังนี้คือ

$$x_{k+1} = x_k + \alpha_k d_k \quad (11)$$

โดยที่  $d_k$  คือ ทิศทางในการปรับค่าตัวแปร  $x_k$  ซึ่งสามารถหาได้โดยการแก้ปัญหาหาค่าเหมาะที่สุดของควอดราติกโปรแกรมมิ่ง และ  $\alpha_k$  คือ ช่วงก้าวที่เหมาะสมในการปรับค่า  $x_k$

ปัญหาหาค่าเหมาะที่สุดของควอดราติกโปรแกรมมิ่งมีดังนี้คือ

$$\text{minimize } \frac{1}{2} d_k^T H_k d_k + \nabla f(x_k)^T d_k \quad (12)$$

subject to

$$\nabla g_i(x_k)^T d_k + g_i(x_k) = 0, i = 1, \dots, m_e \quad (13)$$

$$\nabla g_i(x_k)^T d_k + g_i(x_k) \leq 0, i = m_e + 1, \dots, m \quad (14)$$

โดยที่  $H_k$  คือ Hessian matrix ของฟังก์ชัน Lagrangian ซึ่งอยู่

ในรูปสมการคือ  $L(x, \lambda) = f(x) + \lambda^T g_i(x)$  ที่จุด  $x = x_k$

ในการแก้ปัญหาหาค่าเหมาะที่สุดของควอดราติกโปรแกรมมิ่ง [4] แบ่งออกได้ 3 ขั้นตอนดังนี้คือ

1. การประมาณ Hessian matrix
2. การหา  $d_k$
3. การหา  $\alpha_k$

ขบวนการคำนวณคือทำการคำนวณ 3 ขั้นตอนดังกล่าวจนกว่าค่าที่ขอมรับได้ของตัวแปร ฟังก์ชันเป้าหมายและเงื่อนไขบังคับมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้

## 2.3 แบบจำลองการเชื่อมโยงด้วยระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

ในการทำออปติไมซ์เพาเวอร์ฟลักซ์ของระบบเอช-ดีซี ต้องทำการแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ และ HVDC link ให้เป็นค่านอร์มัลไลซ์ดังนี้

$$P_{dcbase} = MVA_{base} = \sqrt{3} V_{acbase} I_{acbase} \quad (15)$$

$$V_{dcbase} = K_b V_{acbase} \quad (16)$$

$$I_{dcbase} = \frac{\sqrt{3}}{K_b} I_{acbase} \quad (17)$$

$$Z_{dcbase} = K_b^2 Z_{acbase} \quad (18)$$

$$\text{และ } K_b = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} n_b \quad (19)$$

โดยที่  $n_b$  คือจำนวนบริดจ์ที่ต่ออนุกรมกันของคอนเวอร์เตอร์ ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆที่แสดงในรูปที่ 1 สามารถทำให้อยู่ในรูปของสมการเพื่อใช้ในการคำนวณ [5-6] ได้ดังนี้คือ

$$V_{dr} = K_b t_r V_{kr} \cos \alpha - \frac{3}{\pi} X_{cr} I_d \quad (20)$$

$$V_{di} = K_b t_i V_{ki} \cos \gamma - \frac{3}{\pi} X_{ci} I_d \quad (21)$$

$$I_d = \frac{V_{dr} - V_{di}}{R_d} \quad (22)$$

$$\mu_r = \cos^{-1} \left[ \cos \alpha - \frac{\sqrt{2} X_{cr} I_d}{t_r V_{kr}} \right] - \alpha \quad (23)$$

$$\mu_i = \cos^{-1} \left[ \cos \gamma - \frac{\sqrt{2} X_{ci} I_d}{t_i V_{ki}} \right] - \gamma \quad (24)$$

$$\theta_r = \cos^{-1} \left( 0.5 \left[ \cos \alpha + \cos (\alpha + \mu_r) \right] \right) \quad (25)$$

$$\theta_i = \cos^{-1} \left( 0.5 \left[ \cos \gamma + \cos (\gamma + \mu_i) \right] \right) \quad (26)$$

$$P_{dr} = V_{dr} I_d \quad (27)$$

$$P_{di} = V_{di} I_d \quad (28)$$

$$Q_{dr} = P_{dr} \tan \theta_r \quad (29)$$

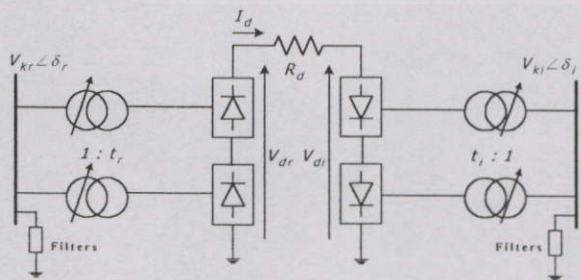
$$Q_{di} = P_{di} \tan \theta_i \quad (30)$$

โดยที่  $V_d$  คือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง,  $I_d$  คือกระแสไฟตรง,

$\alpha$  คือ Ignition delay angle,  $t$  คือ ค่าเทปของหม้อแปลงไฟฟ้า,  $X_c$  คือ Commutation reactance,  $\gamma$  คือ Extinction advance angle,  $\mu$  คือ Overlap angle,  $\theta$  คือ Angle between fundamental voltage and current,  $R_d$  คือ DC link resistance,  $P_{dr}$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงด้านเรกติไฟเออร์,  $P_{di}$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงด้านอินเวอร์เตอร์,  $Q_{dr}$  คือ กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟด้านเรกติไฟเออร์ และ  $Q_{di}$  คือ กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟด้านอินเวอร์เตอร์

เมื่ออักษรกำกับล่าง  $r$  และ  $i$  แทนการทำงานในโหมดเรกติไฟ

เออร์และอินเวอร์เตอร์ตามลำดับ



รูปที่ 1 แบบจำลองของระบบ HVDC Link

ในการคำนวณกำหนดเงื่อนไขของระบบ [6] ดังนี้คือ

1. แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสต้องสมดุล (Balanced phase) และเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal)
2. การทำงานของคอนเวอร์เตอร์ต้องกำหนดแรงดันที่สมดุล
3. กระแสและแรงดันไฟตรงต้องเรียบ (Smooth)
4. หม้อแปลงของคอนเวอร์เตอร์ไม่มีการสูญเสียและไม่คิดแอดมิแตนซ์ทำแม่เหล็ก (Magnetizing admittance)

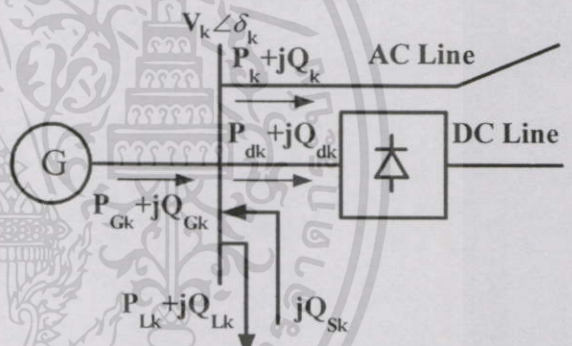
### 3. การทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซี

แบบจำลองระบบเอซี-ดีซีในรูปที่ 2 สามารถกำหนดสมการกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟสมดุลที่บัส  $k$  ใดๆ ได้ดังนี้คือ

$$P_{gk} = P_{Gk} = P_{Lk} + P_{dk} + P_k \quad (31)$$

$$Q_{gk} = Q_{Gk} + Q_{Sk} = Q_{Lk} + Q_{dk} + Q_k \quad (32)$$

เมื่ออักษรกำกับล่าง  $G$  และ  $S$  แทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟตามลำดับ



รูปที่ 2 แบบจำลองระบบเอซี-ดีซี

ในการแก้ปัญหาการทำออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอซี-ดีซี โดยใช้วิธีหาค่าเหมาะที่สุดแบบโปรแกรมมิ่งมีรูปแบบดังนี้คือ

Minimize 
$$\sum_{k=1}^{Ng} a_k + b_k P_{gk} + c_k P_{gk}^2$$

Subject to

$$P_k - P_{gk} + P_{Lk} + P_{dk} = 0$$

$$Q_k - Q_{gk} + Q_{Lk} + Q_{dk} = 0$$

$$t_{kn, \min} \leq t_{kn} \leq t_{kn, \max} \quad (33)$$

$$V_{d, \min} \leq V_d \leq V_{d, \max} \quad (34)$$

$$I_{d, \min} \leq I_d \leq I_{d, \max} \quad (35)$$

$$\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max} \quad (36)$$

$$\gamma_{min} \leq \gamma \leq \gamma_{max} \tag{37}$$

$$\mu_{min} \leq \mu \leq \mu_{max} \tag{38}$$

$$P_{gk,min} \leq P_{gk} \leq P_{gk,max}$$

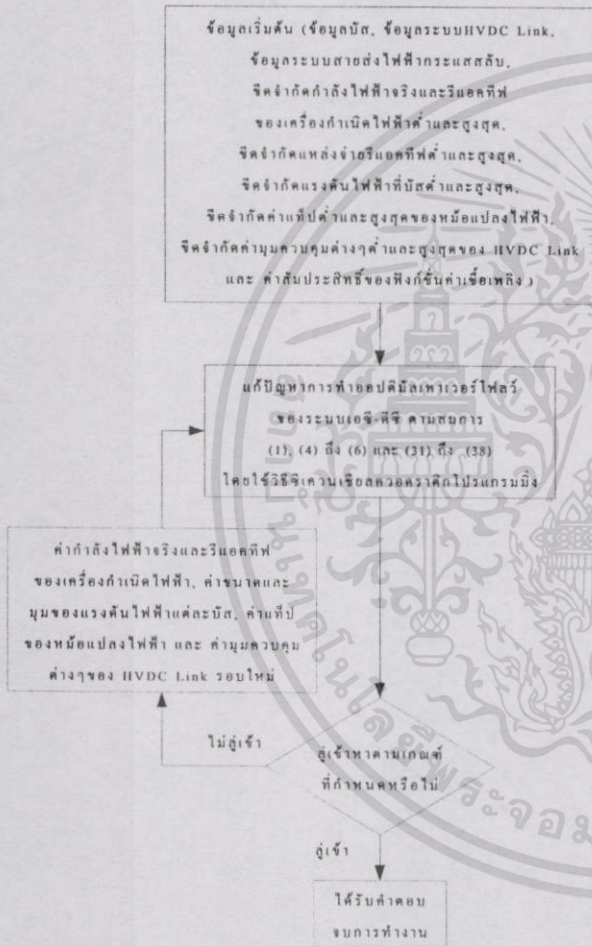
$$Q_{gk,min} \leq Q_{gk} \leq Q_{gk,max}$$

$$V_{k,min} \leq V_k \leq V_{k,max}$$

เมื่ออักษรกำกับล่าง k และ n แทนบัสที่ k และ n ตามลำดับ

ในการแก้ปัญหาการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบ

เอช-ดีซีมีลำดับขั้นตอนดังนี้คือ



รูปที่ 3 โพล์ซาร์ตของวิธีการแก้ปัญหาการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซี

#### 4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

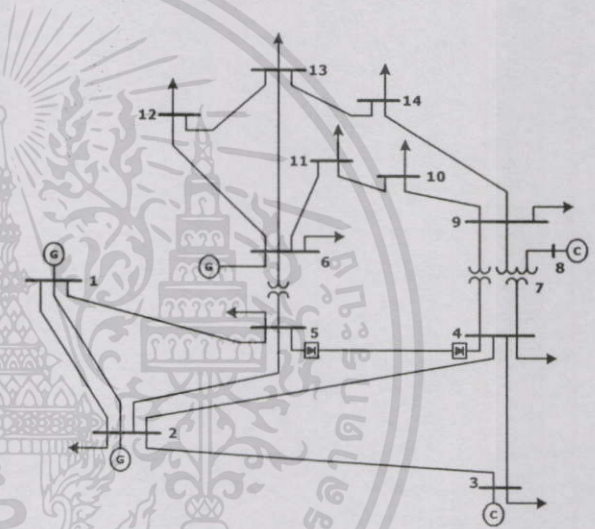
ทำการทดสอบวิธีการที่ได้นำเสนอข้างต้นโดยอาศัยระบบ IEEE 14 บัส [7] ดังรูปที่ 4 ซึ่งทำการปรับปรุงแล้ว โดยใช้โปรแกรม MATLAB Version 5.3.1 ข้อมูลของระบบทดสอบแสดงในตารางที่ 1-4 และค่าที่เป็ของหม้อแปลงไฟฟ้าทุกตัวในระบบ มีค่าขีดจำกัดค่าและ

สูงสุดเท่ากับ 0.9 และ 1.1 p.u. ตามลำดับ กำหนดค่า Base V<sub>dc</sub> = 100 kV, Base MVA = 100 MVA และค่าที่ยอมรับได้ของวิธีหาค่าเชิงควอดราติกโปรแกรมมิ่งดังนี้คือ

- ค่าที่ยอมรับได้ของตัวแปร = 0.000001
- ค่าที่ยอมรับได้ของฟังก์ชันเป้าหมาย = 0.000001
- ค่าที่ยอมรับได้ของเงื่อนไขบังคับ = 0.000001
- จำนวนรอบในการคำนวณสูงสุด = 400

ในการทดลองได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วนดังนี้คือ

1. วิเคราะห์การผลิตกำลังไฟฟ้าจริงในระบบแสดงในรูปที่ 5
2. วิเคราะห์การผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟในระบบแสดงในรูปที่ 6
3. วิเคราะห์ระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบแสดงในรูปที่ 7
4. วิเคราะห์ต้นทุนรวม กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมและการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบแสดงในตารางที่ 5



รูปที่ 4 ระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส

ตารางที่ 1 สัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส	a $\left[ \frac{\text{¥}}{\text{hr}} \right]$	b $\left[ \frac{\text{¥}}{\text{MWhr}} \right]$	c $\left[ \frac{\text{¥}}{\text{MW}^2 \text{ hr}} \right]$
1	105	2.45	0.005
2	44.4	3.51	0.005
6	40.6	3.89	0.005

ตารางที่ 2 ข้อมูลของระบบ HVDC link

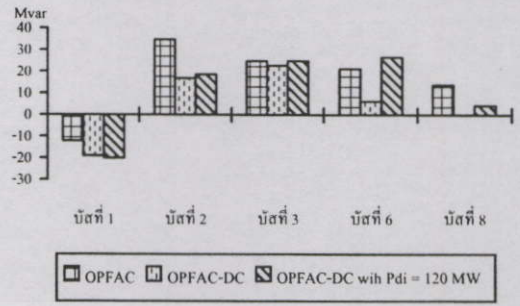
	Converter 1	Converter 2
AC busbar	Bus 5	Bus 4
Commutation reactance (p.u.)	0.126	0.0728
Filter admittance (p.u.)	0.478	0.629
DC link resistance (p.u.)	0.00334	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ขีดจำกัดต่างๆของระบบ HVDC link

	Min	Max
$V_{dr}$ (p.u.)	0.9	1.5
$V_{di}$ (p.u.)	0.9	1.5
$I_d$ (p.u.)	0.1	1.1
$\alpha$ (deg.)	9	90
$\gamma$ (deg.)	16	90
$\mu_r$ (deg.)	0	60
$\mu_i$ (deg.)	0	60

ต่อค่ากำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบที่ได้จากการคิดในแต่ละแบบ มีค่าที่แตกต่างกันด้วย

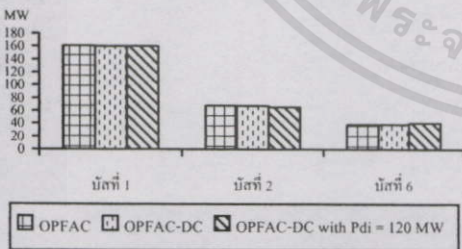
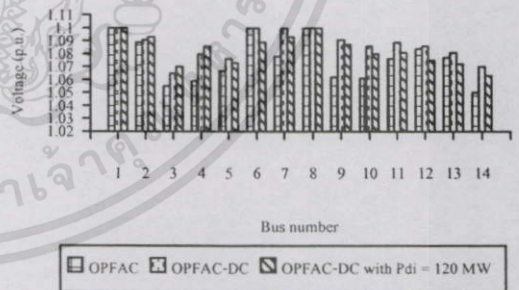


ตารางที่ 4 ขีดจำกัดต่างๆในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

Bus no.	$V_{min}$ (p.u.)	$V_{max}$ (p.u.)	$P_{g,min}$ (MW)	$P_{g,max}$ (MW)	$Q_{g,min}$ (Mvar)	$Q_{g,max}$ (Mvar)
1	1.00	1.10	50	200	-20	100
2	1.00	1.10	20	100	-20	50
3	0.95	1.10	-	-	0	25
4	0.95	1.10	-	-	-	-
5	0.95	1.10	-	-	-	-
6	1.00	1.10	20	100	-20	50
7	0.95	1.10	-	-	-	-
8	0.95	1.10	-	-	0	25
9	0.95	1.10	-	-	-	-
10	0.95	1.10	-	-	-	-
11	0.95	1.10	-	-	-	-
12	0.95	1.10	-	-	-	-
13	0.95	1.10	-	-	-	-
14	0.95	1.10	-	-	-	-

รูปที่ 6 การผลิตกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ

จากผลการทดลองในรูปที่ 6 พบว่าการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซี เมื่อมีและไม่มีข้อกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่าน HVDC link ให้ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟรวมจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟในระบบมีค่าน้อยกว่าการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช เนื่องจาก HVDC link เปรียบเสมือนเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟให้กับระบบ โดยฟิลเตอร์ที่ติดตั้งที่บัส โดยเฉพาะที่บัส 8 ในการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซี เมื่อไม่มีข้อกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่าน HVDC link แสดงพฤติกรรมของ HVDC link ต่อระบบ เมื่อแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่บัส 8 ไม่มีการผลิตกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟให้กับระบบ



รูปที่ 5 การผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากผลการทดลองในรูปที่ 5 พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้จากการคำนวณในแต่ละแบบมีค่าที่แตกต่างกัน เนื่องจากระบบสายส่งไฟฟ้าในระบบมีการเปลี่ยนแปลง ทั้งจากระบบที่มีและไม่มี HVDC link และการกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่าน HVDC link อีกทั้งยังส่งผล

รูปที่ 7 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบ

จากผลการทดลองในรูปที่ 7 พบว่าการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซี เมื่อไม่มีข้อกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่าน HVDC link ให้ค่าแรงดันที่บัสต่างๆมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช เนื่องจากพฤติกรรมของ HVDC link ที่เปรียบเสมือนเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟให้กับระบบแต่เมื่อมีการกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่าน HVDC link ทำให้ค่าแรงดันที่บัส 6, 12 และ 13 มีค่าน้อยกว่าการทำออปติไมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบเอช

ตารางที่ 5 ผลลัพธ์การทดสอบระบบปรับปรุง IEEE 14 บัส

	OPFAC	OPFAC-DC	OPFAC-DC with Pdi = 120 MW
การผลิตกำลัง ไฟฟ้าจริงรวม	267.613 MW	266.797 MW	267.348 MW
ต้นทุนการ ผลิตรวม	1133.51 (91/hr)	1130.20 (91/hr)	1132.80 (91/hr)
กำลังไฟฟ้าจริง สูญเสียรวม	8.613 MW	7.797 MW	8.348 MW

จากผลการทดลองในตารางที่ 5 พบว่าวิธีการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซีเมื่อไม่มีการกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่าน HVDC link (กำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่าน HVDC link ด้านอินเวอร์เตอร์ = 83.744 MW) ลดต้นทุนการผลิตรวมของระบบ 3.31 91/hr (0.292 %) และลดค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ 0.816 MW (9.474 %) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอช และลดต้นทุนการผลิตรวมของระบบ 2.6 91/hr (0.23 %) และลดค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ 0.551 MW (6.6 %) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซีเมื่อมีการกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่าน HVDC link ด้านอินเวอร์เตอร์ = 120 MW

วิธีการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซีเมื่อไม่มีการกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่าน HVDC link ให้การผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบต่ำที่สุดเนื่องจากระบบที่ไม่มี HVDC link ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมีค่ามากกว่าระบบที่มี HVDC link จึงเป็นผลให้การผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบที่ไม่มี HVDC link มีค่ามากกว่าระบบที่มี HVDC link และระบบที่มีการกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่าน HVDC link ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมีค่ามากกว่าระบบที่ไม่มีกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่าน HVDC link เป็นผลมาจากการบังคับเส้นทางการไหลของกำลังไฟฟ้า ซึ่งไม่ใช่เส้นทางการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงทำให้การผลิตกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบที่มีการกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่าน HVDC link มีค่ามากกว่าระบบที่ไม่มีกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่าน HVDC link

## 5. สรุปผล

บทความนี้ ได้นำเสนอการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซีโดยใช้วิธีเชิงควมเชิงลควอคราติกโปรแกรมมิ่ง ซึ่งได้เปรียบเทียบระหว่างระบบเมื่อมีและไม่มี HVDC link รวมถึงการกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่าน HVDC link โดยจากผลการทดลองพบว่าการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์ของระบบเอช-ดีซีเมื่อไม่มีการกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าจริงส่งผ่าน HVDC link ทำให้ค่าต้นทุนการผลิตรวมและค่ากำลังไฟฟ้า

จริงสูญเสียรวมของระบบต่ำที่สุดและทำให้รู้ถึงพฤติกรรมของ HVDC link ต่อระบบ ซึ่งสามารถพัฒนาเพื่อใช้ในกรณีของประเทศไทยในส่วนของภาคใต้ที่มีการเชื่อมโยง HVDC link กับประเทศมาเลเซียได้ต่อไป

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ และผู้ร่วมทำงานวิจัยที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ได้ให้ความร่วมมือในงานวิจัยมาโดยตลอด

## เอกสารอ้างอิง

- [1] A.J. Wood and B.F. Wollenberg "Power Generation Operation and Control" John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- [2] พรเทพ ปัญญาแก้ว และ ศิริวิวัฒน์ โพธิเวชกุล "การดำเนินงานอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้วิธีการทำออปติไมซ์เพาเวอร์โพล์" วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 18 ฉบับที่ 1, มีนาคม 2544, หน้า 110-115.
- [3] O. Alsac, J. Bright, M. Prais, and B. Stott "Further Developments in LP-Based Optimal Power Flow" *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 5, No. 3, August, 1990, pp. 697-711.
- [4] A. Grace, M.A. Branch, and T. Coleman "Optimization Toolbox for Use with MATLAB" The Math works, Inc., 1999.
- [5] P. Kundur "Power System Stability and Control" McGraw-Hill, Inc., New York, 1994.
- [6] J. Arrillaga, C.P. Arnold, and B.J. Harker "Computer Modelling of Electrical Power System" J. Wiley & Sons Ltd., London, 1983.
- [7] A. Özdemir "Loss-constrained economic power dispatch" *IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib.*, Vol. 143, No. 5, September, 1996, pp. 387-392.

## ประวัติผู้เขียนบทความ



นายพรเทพ ปัญญาแก้ว จบการศึกษา ว.ศ.บ.ไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปีการศึกษา 2541 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยทำวิจัยด้านการวิเคราะห์และวางแผนระบบไฟฟ้ากำลังสมัยใหม่



นายศิริวิวัฒน์ โพธิเวชกุล จบการศึกษา ว.ศ.บ.ไฟฟ้า และ ว.ศ.ม.ไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันดำรงตำแหน่งเป็นรองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยทำงานวิจัยในด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง, การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง, การวิเคราะห์ฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลัง และ คุณภาพของกำลังไฟฟ้า

## ประวัติผู้เขียน

นายพรเทพ ปัญญาแก้ว เกิดเมื่อวันอาทิตย์ที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2519 ที่จังหวัดเชียงใหม่ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง จากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปีการศึกษา 2541

เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2542 โดยทำวิจัยด้านการวิเคราะห์และวางแผนระบบไฟฟ้ากำลังสมัยใหม่

