



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประเมินขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระในระบบไฟฟ้าแบบไม่ถูกควบคุม

Evaluation of Maximum IPP Penetration in De-Regulated Power System

นามผู้วิจัย นายวอม เอื้อวนิชกุล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต คำรงกุลกำจร, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, วศ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สืบสินธุ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระในระบบไฟฟ้าแบบไม่ถูกควบคุม

Evaluation of Maximum IPP Penetration in De-Regulated Power System

โดย

นายวอม เอื้อวนิชกุล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วอม เอื้อวณิชกุล 2554: การประเมินขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระในระบบ
ไฟฟ้าแบบไม่ถูกควบคุม ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขา
วิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต ดำรงกุลกำจร, Ph.D. 134 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการหาขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระสามารถส่งเข้า
มาในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าได้ โดยระบบส่งจ่ายไฟฟ้ายังคงสามารถดำเนินการส่งกำลังไฟฟ้าได้อย่าง
มั่นคง และไม่มีการเกินพิกัดทางไฟฟ้า วิธีการคำนวณที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ได้แก่การ
วิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Power Flow: OPF) โดยใช้โปรแกรม
MATPOWER เมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัสใดบัสหนึ่ง โดยกำหนดให้ราคา
การผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระนั้นมีค่าเป็นศูนย์ เพื่อให้โปรแกรมคำนวณหาค่ามาก
ที่สุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระจะสามารถจ่ายเข้าสู่ระบบได้ ในการศึกษาได้มีการกำหนดให้
ปริมาณโหลดในระบบมีความแตกต่างกัน 3 ระดับ ค่าสูงสุดสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่
เชื่อมต่อเข้ามาที่บัสใดๆ พิจารณาได้จากค่ากำลังการผลิตสูงสุดที่ผ่านการวิเคราะห์การไหลของ
กำลังไฟฟ้าโดยไม่มีการเกินพิกัดของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ปริมาณโหลดทุกระดับ วิธีการที่นำเสนอได้
ถูกทดสอบกับระบบ IEEE 30 บัส ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถหาค่า
ขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระที่เชื่อมต่อเข้ามาที่บัสที่กำหนดได้ และมีการไหล
ของกำลังไฟฟ้าที่ไม่เกินพิกัดของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าในสถานะโหลดที่แตกต่างกัน 3 ระดับ

Wom Uawanichkul 2011: Evaluation of Maximum IPP Penetration in De-Regulated Power System. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Parnjit Damrongkulkamjorn, Ph.D. 134 pages.

This thesis presents the method to evaluate the maximum penetration of the independent power producer (IPP) into the transmission system while the system still operates securely without violating any system constraints. The proposed method uses the optimal power flow technique in MATPOWER to calculate the maximum generation output of the IPP connected at any bus by assuming zero generation cost for the IPP. In this study, the system load is varied to 3 different levels which represent the changes in daily loads. The optimal result for IPP penetration at any bus is considered from the maximum generation output that satisfies power flow calculation at all 3 load levels without constraint violations. The proposed method is tested on the IEEE 30 bus system where the system is divided into 3 areas. The results from case studies show that the method can evaluate the maximum generation output of an independent power producer connected at any given bus for 3 different load levels.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปานจิต กำรงกุลกำจร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่เสียสละเวลา ให้โอกาส และสนับสนุนช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษา แนะนำข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย รวมทั้งตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ และคุณแม่ที่ให้การสนับสนุนส่งเสริมให้ผู้วิจัยทุกๆด้าน และคอยให้กำลังใจช่วยเหลือให้ผู้วิจัยสามารถศึกษา วิจัย ค้นคว้า และเรียนรู้จนกระทั่งสำเร็จได้เป็นวิทยานิพนธ์ที่สมบูรณ์ฉบับนี้

วอม เอื้อวณิชกุล
มีนาคม 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	6
อุปกรณ์	6
วิธีการ	6
ผลและวิจารณ์	16
สรุปผลงานวิจัย	76
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	78
ภาคผนวก	80
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	134

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงปริมาณโหลดรวมของระบบส่งไฟฟ้าทดสอบที่ใช้ในการคำนวณ	13
2	แสดงปริมาณกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดิมของระบบทั้ง 6 เครื่อง ที่ได้จากวิธีวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมที่สภาวะโหลดทั้ง 3 ระดับ	16
3	ปริมาณกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดิมและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ ที่ได้จากวิธีวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ในกรณีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 28 ที่สภาวะโหลดทั้ง 3 ระดับ	20
4	ปริมาณกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดิมและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ ที่ได้จากวิธีวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ในกรณีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 23 ที่สภาวะโหลดทั้ง 3 ระดับ	23
5	ปริมาณกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดิมและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ ที่ได้จากวิธีวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ในกรณีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 10 ที่สภาวะโหลดทั้ง 3 ระดับ	26
6	ผลแรงดันและกำลังไฟฟ้าในแต่ละบัสเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 28 และส่งกำลังไฟฟ้าเข้ามา 63.34 MW ในสภาวะโหลดกลาง	28
7	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 28 และส่งกำลังไฟฟ้าเข้ามา 63.34 MW ในสภาวะโหลดกลาง	30
8	ผลแรงดันและกำลังไฟฟ้าในแต่ละบัสเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 28 และส่งกำลังไฟฟ้าเข้ามา 60.88 MW ในสภาวะโหลดต่ำ	32
9	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 28 และส่งกำลังไฟฟ้าเข้ามา 60.88 MW ในสภาวะโหลดต่ำ	34
10	ผลแรงดันและกำลังไฟฟ้าในแต่ละบัสเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 28 และส่งกำลังไฟฟ้าเข้ามา 57.39 MW ในสภาวะโหลดกลาง	36

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
24	ผลแรงดันและกำลังไฟฟ้าในแต่ละบัสเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 10 และส่งกำลังไฟฟ้าเข้ามา 100.84 MW ในสถานะโหลดสูง	64
25	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 10 และส่งกำลังไฟฟ้าเข้ามา 100.84 MW ในสถานะโหลดสูง	66
26	ผลแรงดันและกำลังไฟฟ้าในแต่ละบัสเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 23 และส่งกำลังไฟฟ้าเข้ามา 91.10 MW ในสถานะโหลดต่ำ	68
27	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 23 และส่งกำลังไฟฟ้าเข้ามา 91.10 MW ในสถานะโหลดต่ำ	70
28	ผลแรงดันและกำลังไฟฟ้าในแต่ละบัสเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 23 และส่งกำลังไฟฟ้าเข้ามา 91.10 MW ในสถานะโหลดกลาง	72
29	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 23 และส่งกำลังไฟฟ้าเข้ามา 91.10 MW ในสถานะโหลดกลาง	74
ตารางผนวกที่		
1	ข้อมูลของบัสในระบบจำลอง <i>IEEE 30bus</i>	81
2	ข้อมูลของสายส่งในระบบจำลอง <i>IEEE 30bus</i>	83
3	ข้อมูลของเครื่องผลิตกำลังไฟฟ้าในระบบทดลอง <i>IEEE 30bus</i>	85
4	ผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะที่ยังไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาในระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดระดับกลาง	86
5	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะที่ยังไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาในระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดระดับกลาง	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
6	ผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะที่ยังไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาในระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดต่ำ	90
7	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะที่ยังไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาในระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดต่ำ	92
8	ผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะที่ยังไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาในระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดสูง	94
9	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะที่ยังไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาในระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดสูง	96
10	ผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 28 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดระดับกลาง	98
11	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 28 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดระดับกลาง	100
12	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 28 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดต่ำ	102
13	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 28 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดต่ำ	104

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
22	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 10 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดระดับกลาง	122
23	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 10 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดระดับกลาง	124
24	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 10 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดต่ำ	126
25	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 10 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดต่ำ	128
26	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 10 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดสูง	130
27	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 10 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดสูง	132

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ขั้นตอนการหาขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ	11
2	ระบบส่งไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษา	12
3	ตัวอย่างระบบส่งไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อ	14
4	ระบบส่งไฟฟ้า เมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 28	19
5	ระบบส่งไฟฟ้า เมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 23	22
6	ระบบส่งไฟฟ้า เมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 10	25

การประเมินขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระในระบบไฟฟ้าแบบไม่ถูกควบคุม

Evaluation of Maximum IPP Penetration in De-Regulated Power System

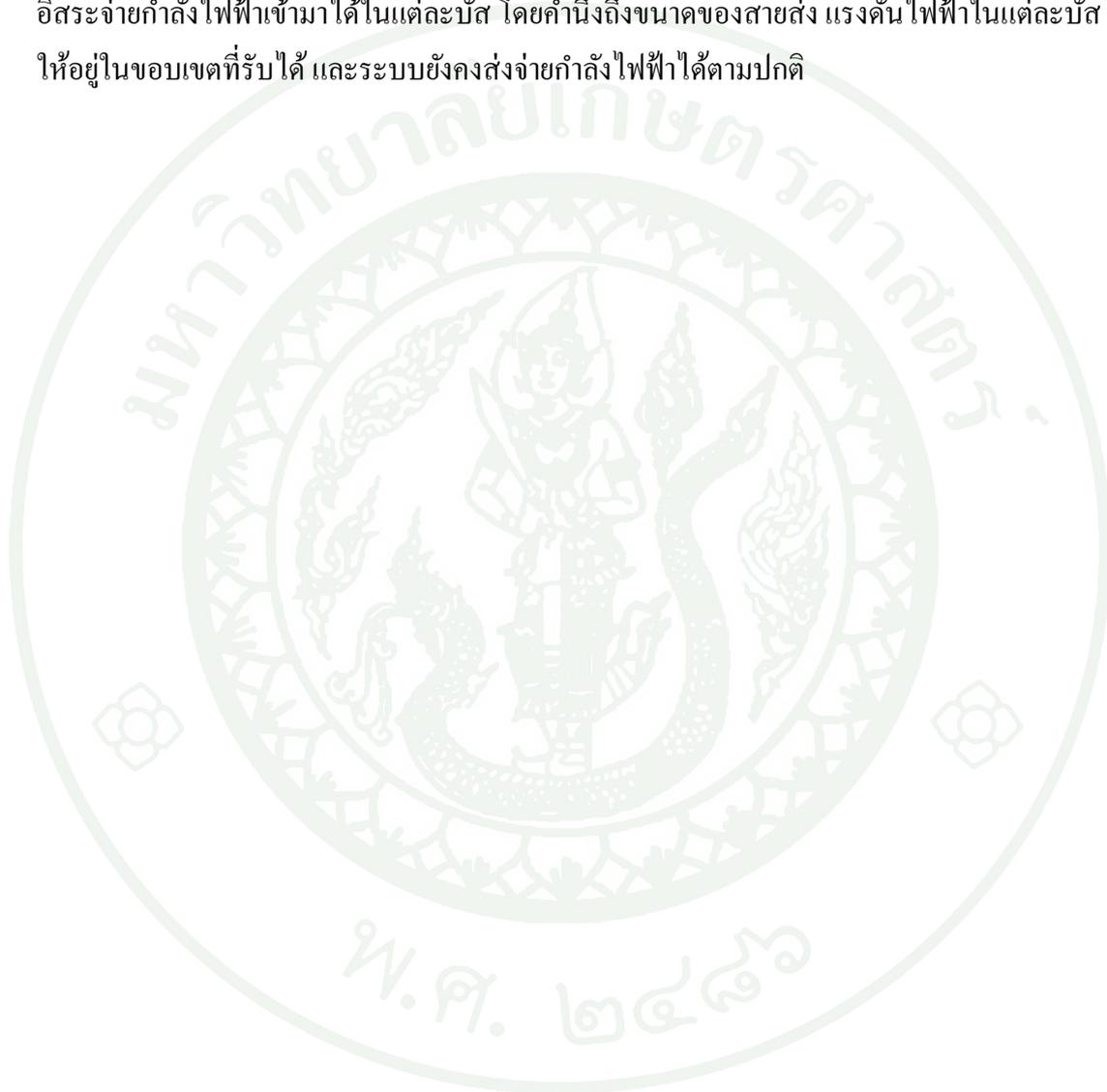
คำนำ

ปัจจุบันการผลิตไฟฟ้าในแต่ละประเทศไม่ได้มีแต่เพียงโรงไฟฟ้าของรัฐเท่านั้น ยังมีผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายใหม่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีศักยภาพเพียงพอในการเข้ามาช่วยเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้ารวมของประเทศ ดังนั้นเพื่อตอบสนองความต้องการในการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น รัฐจึงมีการส่งเสริมให้ผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนเหล่านี้เข้ามามีบทบาทในการส่งกำลังไฟฟ้าให้กับระบบส่งไฟฟ้าได้ เพื่อลดภาระการลงทุนในการสร้างหรือขยายโรงไฟฟ้าใหม่ ซึ่งเรียกผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนที่ทำการส่งกำลังไฟฟ้าให้กับระบบส่งไฟฟ้าของรัฐว่า ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ (Independent Power Producer: IPP) โดยการส่งกำลังไฟฟ้างดกล่าว ผ่านสัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้า

เนื่องจากการทำสัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้าในประเทศไทย ไม่ได้มีการตกลงให้มีการส่งไฟฟ้าเข้ามาในช่วงเวลาสั้นๆ หากแต่เป็นข้อตกลงหรือสัญญาระยะยาว ดังนั้นเป็นหน้าที่ของผู้ดูแลระบบส่งไฟฟ้าที่จะต้องพิจารณาอย่างถี่ถ้วนก่อนจะมีการตกลงทำสัญญาและเป็นฝ่ายกำหนดกำลังไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระที่ต้องการเชื่อมต่อเข้ามาด้วย โดยพิจารณาถึงความมั่นคงของระบบส่งเป็นสำคัญ เพราะการเพิ่มแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเข้ามาในระบบส่งไฟฟ้าเดิมนั้น ข้อจำกัดของความสามารถในการเพิ่มกำลังการผลิตเข้ามาได้มากน้อยเพียงใดนั้นคือ โครจข่ายของสายส่งที่มีอยู่ และแรงดันของระบบส่งไฟฟ้าซึ่งต้องจัดสรรและควบคุมให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ได้

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการคำนวณขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ สามารถส่งเข้ามาในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าได้โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม (Optimal Power Flow: OPF) และมีการพัฒนาให้ใช้งานได้สะดวกในการกำหนดบัสที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต้องการเข้ามาเชื่อมต่อ และสามารถหาขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่จะส่งเข้ามา ณ บัสนั้นได้ โดยมีการคำนึงถึงแนวโน้มนโหลดที่จะเปลี่ยนไปด้วย ทั้งนี้จะต้องอยู่ในเงื่อนไขที่ระบบส่งจ่ายไฟฟ้ายังคงสามารถดำเนินการส่งกำลังไฟฟ้าได้ตามปกติ ไม่ติดข้อจำกัดทางไฟฟ้า

การศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าจะใช้โปรแกรม MATPOWER เพื่อคำนวณวิเคราะห์หาการไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีที่มีและไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเข้ามาในระบบส่งไฟฟ้า เพื่อนำมาวิเคราะห์หาการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมที่สุด (Optimal Power Flow: OPF) เพื่อใช้คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบบส่งจ่ายไฟฟ้าจะสามารถยอมให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้ามาได้ในแต่ละบัส โดยคำนึงถึงขนาดของสายส่ง แรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสให้อยู่ในขอบเขตที่รับได้ และระบบยังคงส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ตามปกติ



วัตถุประสงค์

ศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบส่งไฟฟ้าเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเพื่อส่งกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในปีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระต้องการเชื่อมต่อกับระบบได้ โดยที่ระบบส่งจ่ายไฟฟ้าอันประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และ โคร่งจ่ายสายส่งต่างๆ ยังคงสามารถดำเนินการจ่ายโหลดได้ตามปกติในสภาวะเหมาะสมที่สุด และอยู่ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยสามารถศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบส่งไฟฟ้า ในกรณีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระต้องการเชื่อมต่อที่บัสซึ่งยังไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบอยู่ เพื่อช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดเดิมของระบบทีละ 1 เครื่อง และหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระได้ ซึ่งเป็นค่าที่สามารถจ่ายได้จริง โดยที่ระบบส่งไฟฟ้ายังคงจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดได้ตามปกติ ไม่ติดข้อจำกัดของระบบ ทั้งนี้ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดดังกล่าวยังรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดของระบบได้ 3 ระดับ แบ่งเป็น โหลดต่ำ กลาง และสูง

การตรวจเอกสาร

Kato *et al.* (1998) กล่าวถึงการใช้ไฟฟ้าในญี่ปุ่นซึ่งมีการซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ โดยมีการแข่งขันกันทางราคา บทความแสดงถึงการประเมินราคาสูงสุดที่จะซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ โดยคิดจากราคาคุ่มทุน (Breakeven cost) ที่ระบบจะลดค่าใช้จ่ายลงได้เมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า และแสดงสูตรรวมถึงวิธีในการคำนวณโดยละเอียด

Griffin *et al.* (2000) ศึกษาถึงผลกระทบของการมีที่เกิดจากความสูญเสีย (Loss) ของระบบส่งและจำหน่ายไฟฟ้าอันเกิดมาจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายนอกไว้ที่ตำแหน่งต่างๆ ในระบบเพื่อหาตำแหน่งที่ดีที่สุดซึ่งมีผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าน้อยที่สุดได้

Didsayabutra *et al.* (2002) อธิบายถึงคำจำกัดความของ ความเชื่อถือได้ในการจ่ายโหลดแบบคงที่ (Reliability Must Run) ว่าคือการผลิตไฟฟ้าที่ผู้ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ (Independent System Operator: ISO) ยอมรับให้มีการจ่ายโหลดคงที่ได้ตลอดเวลา และความเชื่อถือได้นี้เป็นสิ่งที่ผู้ผลิตไฟฟ้าจำเป็นที่จะต้องมีในระหว่างการจ่ายโหลด โดยเฉพาะในประเทศไทยที่มีการทำสัญญาจ่ายกำลังไฟฟ้าคงที่เป็นแบบระยะยาว เพื่อให้ระบบไฟฟ้ามีความมั่นคงเพียงพอ หลีกเลี่ยงการเกิดผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าเช่น พิกัดแรงดัน อุณหภูมิ รวมถึงพิกัดความเสถียรทาง โดยในบทความได้นำเสนอวิธีในการใช้กำหนดค่าความเชื่อถือได้ในการที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องจ่ายโหลดแบบคงที่ (RMR unit) โดยใช้หลักความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าในประเทศไทยซึ่งจะต้องผ่านข้อกำหนดพื้นฐาน คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นจะต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดได้ในพื้นที่ที่กำหนดหรือทั้งระบบทั้งก่อนและหลังการเกิดเหตุการณ์ไม่คาดหมาย (Contingency) ได้ และยังกล่าวถึงข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่จะต้องมีการซื้อจากประเทศเพื่อนบ้านอีกด้วย

Dale. (2002) อธิบายถึงการทำงานร่วมกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (DG) กับโครงข่ายส่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง (high voltage transmission network) รวมไปถึงการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดไฟฟ้าแบบใหม่ที่จะให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายนอกเข้ามา มีบทบาทเพิ่มขึ้นในการร่วมจ่ายไฟให้กับระบบส่งไฟฟ้า โดยเน้นไปที่การชี้ให้เห็นถึงคุณประโยชน์ในการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ใช้พลังงานหมุนเวียนมาใช้ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อผลประโยชน์ และความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์และการค้า

Harrison. (2003) บทความนี้บอกถึงปัญหาในทางเทคนิคที่อาจเกิดขึ้นเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าและพิจารณาถึงจุดอ่อนหรือข้อด้อยของวิธีการเชื่อมต่อในปัจจุบันซึ่งอาจทำให้ติดข้อจำกัดของระบบเมื่อมีการรองรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่ม รวมถึงมีการแสดงการใช้เทคนิคในการหาการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด (Optimal Power Flow: OPF) ในปีที่กำหนดของระบบจำหน่ายเพื่อให้เกิดความสะดวกในการหาค่ากำลังสูงสุดที่จ่ายได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแบบกระจาย (DG) ในตลาดการซื้อขายไฟฟ้า

Paska. (2006) กล่าวถึงการให้ความสำคัญของการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีการใช้พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) เข้ามามีบทบาทในระบบไฟฟ้ามากขึ้น เพื่อเป็นการลดการใช้ทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไป และได้กล่าวถึงองค์ประกอบสำคัญ 3 อย่างที่ควรมีในระบบผลิตไฟฟ้า คือ ประสิทธิภาพ, ความสอดคล้อง และ ความพอเพียง ซึ่งควรจะเป็นข้อกำหนดพื้นฐานในการผลิตไฟฟ้าในอนาคต

Meyer. (2007) กล่าวถึงการเข้ามามีส่วนร่วมมากขึ้นอย่างต่อเนื่องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ซึ่งส่งผลกระทบต่อความมั่นคงของระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยเน้นไปที่เรื่องของความถี่ของระบบที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ยังไม่สามารถควบคุมได้ดีเท่าที่ควรเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายนั้น ไม่ได้ถูกควบคุมจากศูนย์กลาง และได้แสดงถึงการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานทางเลือกต่างๆ ในแถบยุโรป เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานความร้อนร่วม ซึ่งแถบยุโรปมีการเติบโตของการใช้พลังงานลมมากที่สุด สะท้อนให้เห็นถึงการตระหนักถึงการใช้พลังงานทางเลือกเพื่อเป็นแหล่งพลังงานใหม่ๆ ทดแทนพลังงานเดิมที่กำลังจะหมดไป

Nakashima *et al.* (1998) บรรยายถึงผลกระทบทางเทคนิคที่เกิดจากการที่ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ (IPPs) จำนวนมากกำลังมองหาโอกาสในการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของตนเองเข้ากับระบบส่งไฟฟ้าเพื่อจ่ายไฟให้กับผู้ซื้อ โดยตรงจากการเปิดให้มีการแข่งขันกันทางตลาดการซื้อขายไฟฟ้าซึ่งมีมากขึ้นในปัจจุบัน บทความนี้เน้นให้ความสำคัญกับการประเมินผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับการส่งไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางเช่น การสูญเสียกำลังงานในสายส่ง ข้อมูลแรงดันไฟฟ้า และความคับคั่งของระบบ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. ระบบปฏิบัติการ Window Vista
3. โปรแกรม Microsoft office
4. โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ข้อมูลทางวิศวกรรม MATLAB 7.0

วิธีการ

การหาค่ากำลังสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ เพื่อจ่ายโหลดในระบบส่งไฟฟ้า โดยมีเงื่อนไขที่ระบบส่งไฟฟ้ายังคงจ่ายโหลดได้ และมีการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมที่สุดนั้น ใช้การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมที่สุด (Optimal Power Flow: OPF) มาช่วยในการคำนวณวิเคราะห์ จากนั้นทำการเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเข้ามาเชื่อมต่อที่บัสใดๆ ของระบบส่งไฟฟ้าที่ยังไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่ เพื่อจ่ายโหลดในระบบร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดิมที่เป็นของระบบส่งไฟฟ้า และหาขนาดกำลังสูงสุดได้ โดยที่ไม่เกินขีดจำกัด หรือมีผลกระทบต่อสายส่งและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดิม

สำหรับ โปรแกรมวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมจะทำให้ทราบถึงปริมาณกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในแต่ละสายส่ง แรงดันไฟฟ้าและมุมเฟสของแต่ละบัส เพื่อจ่ายโหลดให้ระบบอย่างเพียงพอ โดยคำนึงถึงพื้นฐานที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด โดยโปรแกรมถูกสร้างขึ้นจากสมการคณิตศาสตร์ในรูปของฟังก์ชันที่ประกอบด้วยฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective function) ภายใต้เงื่อนไขของสมการ (Constraints) การทำงานที่เหมาะสมไม่เกินขีดจำกัด (Limit) ของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เขียนอยู่ในรูปสมการคณิตศาสตร์แบบเงื่อนไขบังคับสมการ (Equality Constraints) และเงื่อนไขบังคับอสมการ (Inequality Constraints) ได้ดังนี้

ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective function) ได้แก่ ราคารวมต่ำที่สุดของเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้า

$$\min \sum_{i=1}^{N_G} C_i(P_{Gi}) \quad (1)$$

โดยที่

$$C_i(P_{Gi}) = C_{0,i} + C_{1,i}P_{Gi} + C_{2,i}P_{Gi}^2$$

$C_i, C_{0,i}, C_{1,i}, C_{2,i}$ = สัมประสิทธิ์ฟังก์ชันค่าใช้จ่ายการผลิตของเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้า i

P_{Gi} = กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายเข้าบัส i

N_G = จำนวนเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าในระบบ

สำหรับเงื่อนไขบังคับสมการ (Equality constraints) ได้แก่ สมการการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟารีแอกทีฟ

$$P_i(V, \delta) = P_{Gi} - P_{Di} \quad i=1, \dots, N \quad (2)$$

$$Q_i(V, \delta) = Q_{Gi} - Q_{Di} \quad i=1, \dots, N \quad (3)$$

โดยที่

P_i = กำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายเข้าสู่ระบบที่บัส i

Q_i = กำลังไฟฟ้าเสมือนที่จ่ายเข้าสู่ระบบที่บัส i

P_{Di} = ความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i

Q_{Gi} = กำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายเข้าบัส i

Q_{Di} = ความต้องการกำลังไฟฟ้าเสมือนที่บัส i

N = จำนวนบัสในระบบ

V_i = ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัส i

δ = มุมเฟสของแรงดันที่บัส

เงื่อนไขบังคับอสมการ (Inequality constraints) ได้แก่ขีดจำกัดของปริมาณทางไฟฟ้าในระบบส่งไฟฟ้า

$$V_{i_{\min}} \leq V_i \leq V_{i_{\max}} \quad i=1, \dots, N \quad (4)$$

$$P_{Gi_{\min}} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi_{\max}} \quad i=1, \dots, N_G \quad (5)$$

$$Q_{Gi_{\min}} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi_{\max}} \quad i=1, \dots, N_G \quad (6)$$

$$|I_l(V, \mathcal{D})| \leq I_{l_{\max}} \quad l=1, \dots, N_l \quad (7)$$

โดยที่

$V_{i_{\min}}, V_{i_{\max}}$ = พิกัดต่ำสุด, สูงสุด ของแรงดันที่บัส

$P_{Gi_{\min}}, P_{Gi_{\max}}$ = พิกัดต่ำสุด, สูงสุด ของกำลังไฟฟ้าจริง

$Q_{Gi_{\min}}, Q_{Gi_{\max}}$ = พิกัดต่ำสุด, สูงสุด ของกำลังไฟฟ้าเสมือน

$|I_l(V, \mathcal{D})|$ = ขนาดกระแสที่ไหลในสาย l

$I_{l_{\max}}$ = พิกัดกระแสสูงสุดที่ไหลในสาย l

N_l = จำนวนสายส่งในระบบ

จากสมการคณิตศาสตร์ข้างต้น สามารถหาการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบได้โดยระบบมีต้นทุนต่ำที่สุด ซึ่งจะนำไปคำนวณตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. วิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในขณะที่ยังไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาในระบบส่งไฟฟ้า ที่สถานะโหลดแตกต่างกัน 3 ระดับ

เริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม (Optimal Power Flow: OPF) ที่เขียนในโปรแกรม MATLAB เพื่อให้ได้ผลของกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องของระบบ แรงดันที่แต่ละบัส รวมถึงการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ทำให้ระบบมีราคาการผลิตไฟฟ้ารวมต่ำที่สุดในสภาวะปกติที่ยังไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเข้ามาเชื่อมต่อ โดยใช้ข้อมูลระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ราคาการผลิตกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขนาดสายส่ง และ โหลด ซึ่งงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์ระบบที่

ค่าของโหลดต่างกันหลายระดับ เพื่อให้สอดคล้องกับสถานะการใช้ไฟฟ้าจริงซึ่งโหลดมีการเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลา และฤดูกาล สำหรับการซื้อขายกำลังไฟฟ้าของประเทศไทยนั้นทำเป็น สัญญาระยะยาวซึ่งสามารถประเมินปริมาณโหลดล่วงหน้าได้เป็น 3 ฤดูกาล ฤดูร้อนมีการใช้ไฟฟ้า สูง ฤดูฝนมีการใช้ไฟฟ้าปานกลาง และฤดูหนาวมีการใช้ไฟฟ้าต่ำ ดังนั้นจึงทำการแบ่งระดับโหลด ออกเป็น 3 ระดับ โดยกำหนดให้ข้อมูลโหลดพื้นฐานของระบบส่งไฟฟ้าทดสอบเป็น โหลด ระดับกลาง ค่าของโหลดที่ลดลง 25% จากข้อมูลโหลดพื้นฐานเป็น โหลดระดับต่ำ และค่าของโหลด ที่เพิ่มขึ้น 15% จากข้อมูลโหลดพื้นฐานเป็น โหลดระดับสูง

ดังนั้น ในขั้นตอนนี้จะเป็นการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบ สำหรับสถานะ โหลดทั้ง 3 ระดับ เพื่อใช้เป็นค่าพื้นฐานของระบบในขณะที่ยังไม่มีเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าอิสระเข้ามาเชื่อมต่อ

2. วิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในขณะที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเข้ามาเชื่อมต่อกับระบบ ที่ สถานะโหลดแตกต่างกัน 3 ระดับ

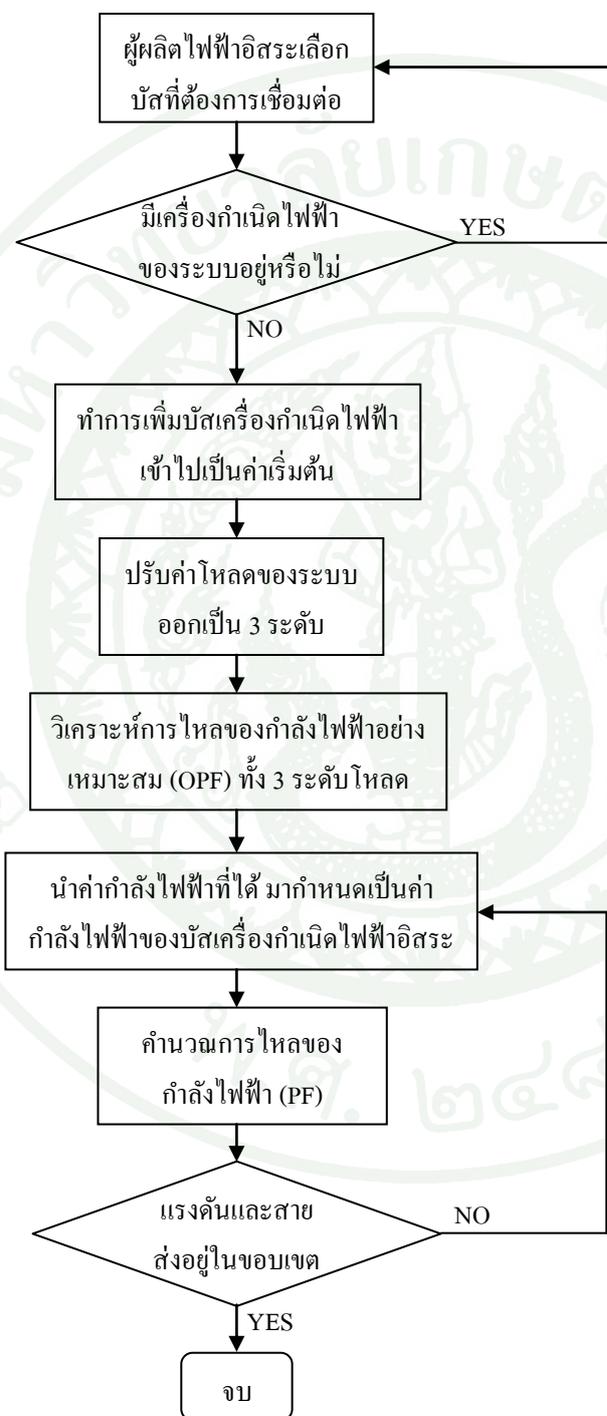
เมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาในระบบส่งไฟฟ้าโดยที่ระบบยังคงมีการจ่าย โหลดเท่าเดิม กำลังผลิตที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดิมของระบบจะลดลง รวมถึงการไหลของกำลังไฟฟ้า ในระบบจะเปลี่ยนไป งานวิจัยนี้สามารถเลือกเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของผู้ผลิต ไฟฟ้าอิสระเข้า มาในระบบส่งได้ในบัสที่ไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าครั้งละ 1 บัส เพื่อเสริมกำลังการผลิตให้กับระบบ ส่งไฟฟ้า โดยการใช้โปรแกรมวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม (OPF) โดยกำหนด ราคาผลิตต่อหน่วยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระให้มีค่าเป็นศูนย์ และมีพิกัดที่มากกว่าค่าของ โหลด รวมทั้งระบบ หรือกล่าวได้ว่าผู้วิจัยกำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระนี้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ โดยไม่มีค่าใช้จ่าย และรองรับโหลดของระบบได้ทั้งหมด เพื่อให้โปรแกรมจัดสรรให้เครื่องกำเนิด ไฟฟ้าอิสระนี้จ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และระบบไฟฟ้ายังคงมีความ มั่นคง กล่าวคือระบบส่งไฟฟ้ายังคงสามารถส่งไฟฟ้าได้ตามปกติ นั่นคือไม่เกิดสถานะแรงดันของ บัสต่ำหรือสูงเกินไป และสายส่งไม่เกิดการเกินพิกัด

ทั้งนี้การวิเคราะห์ในขั้นตอนี้สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระแต่ละเครื่องที่เพิ่มเข้ามาในระบบ ต้องทำการวิเคราะห์ที่โหลดทั้ง 3 ระดับด้วย เพื่อให้ทราบถึงความแตกต่างของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระจะสามารถจ่ายเข้ามาในระบบได้หากโหลดมีการเปลี่ยนแปลงไป

3. ตรวจสอบการไหลของกำลังไฟฟ้าจากปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระสามารถจ่ายเข้าสู่ระบบส่งไฟฟ้าได้

จากการที่ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระมีความต้องการที่จะส่งกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบคงที่เข้ามาในระบบส่งไฟฟ้า และทำสัญญากันเป็นเวลานาน จึงเป็นหน้าที่ที่ระบบส่งไฟฟ้านั้นจะต้องกำหนดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถให้มีการจ่ายเข้ามาได้ โดยคำนึงถึงระบบส่งไฟฟ้าเป็นสำคัญ และต้องพิจารณาในกรณีที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นปริมาณกำลังสูงสุดที่หากจะตกลงซื้อขายหรือยอมให้ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระจ่ายเข้ามาได้นั้นจะต้องไม่มีผลกระทบต่อระบบส่งไฟฟ้าเดิม แม้ว่าโหลดมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงก็ตาม ในส่วนของการวิเคราะห์ เมื่อได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระของโหลดทั้ง 3 ระดับแล้ว จึงต้องมีการกำหนดเลือกค่ากำลังสูงสุดที่เป็นไปได้ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระสามารถจ่ายเข้าสู่ระบบได้ตลอดเวลาโดยระบบส่งไฟฟ้ายังคงมีความมั่นคงทั้งในกรณีโหลดต่ำ กลาง และสูง

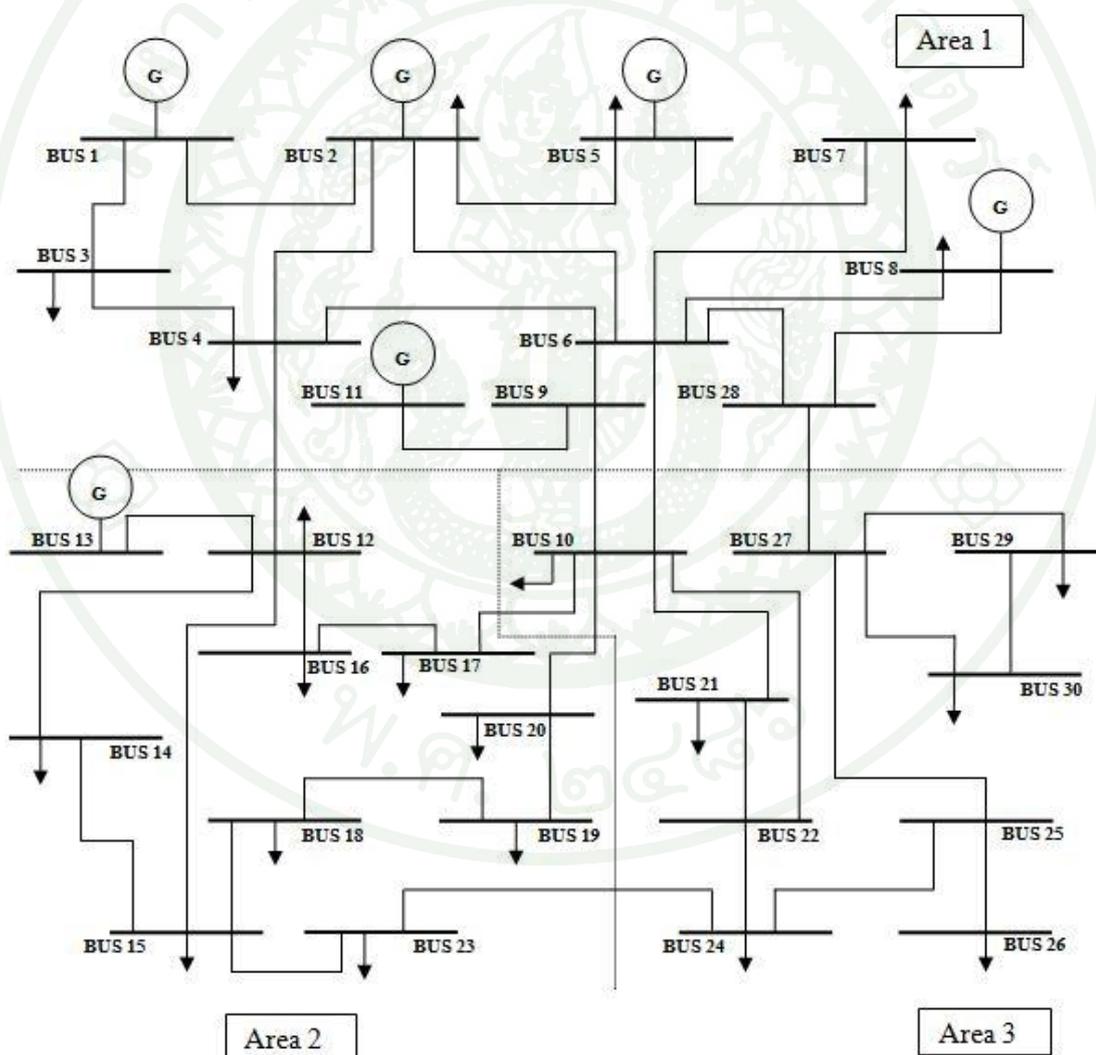
กระบวนการในการคำนวณขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ แสดงได้
ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการหาขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ

กรณีศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ระบบส่งจ่ายไฟฟ้าสามารถรับเข้ามาสู่ระบบ จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระได้ โดยการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าเหมาะสมที่สุด ซึ่งใช้ระบบทดสอบ IEEE 30bus เป็นระบบส่งจ่ายไฟฟ้า มีค่ากำลังไฟฟ้าฐาน 100 MVA ประกอบด้วยบัสทั้งหมด 30 บัส เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดิมของระบบจำนวน 6 เครื่อง สายส่งทั้งหมด 41 เส้น แบ่งระบบเป็น 3 พื้นที่ย่อย (Area 1, 2, 3) ดังภาพที่ 2 (รายละเอียดและข้อมูลระบบส่งไฟฟ้าดูในตารางผนวกที่ 1, 2, 3)



ภาพที่ 2 ระบบส่งไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษา

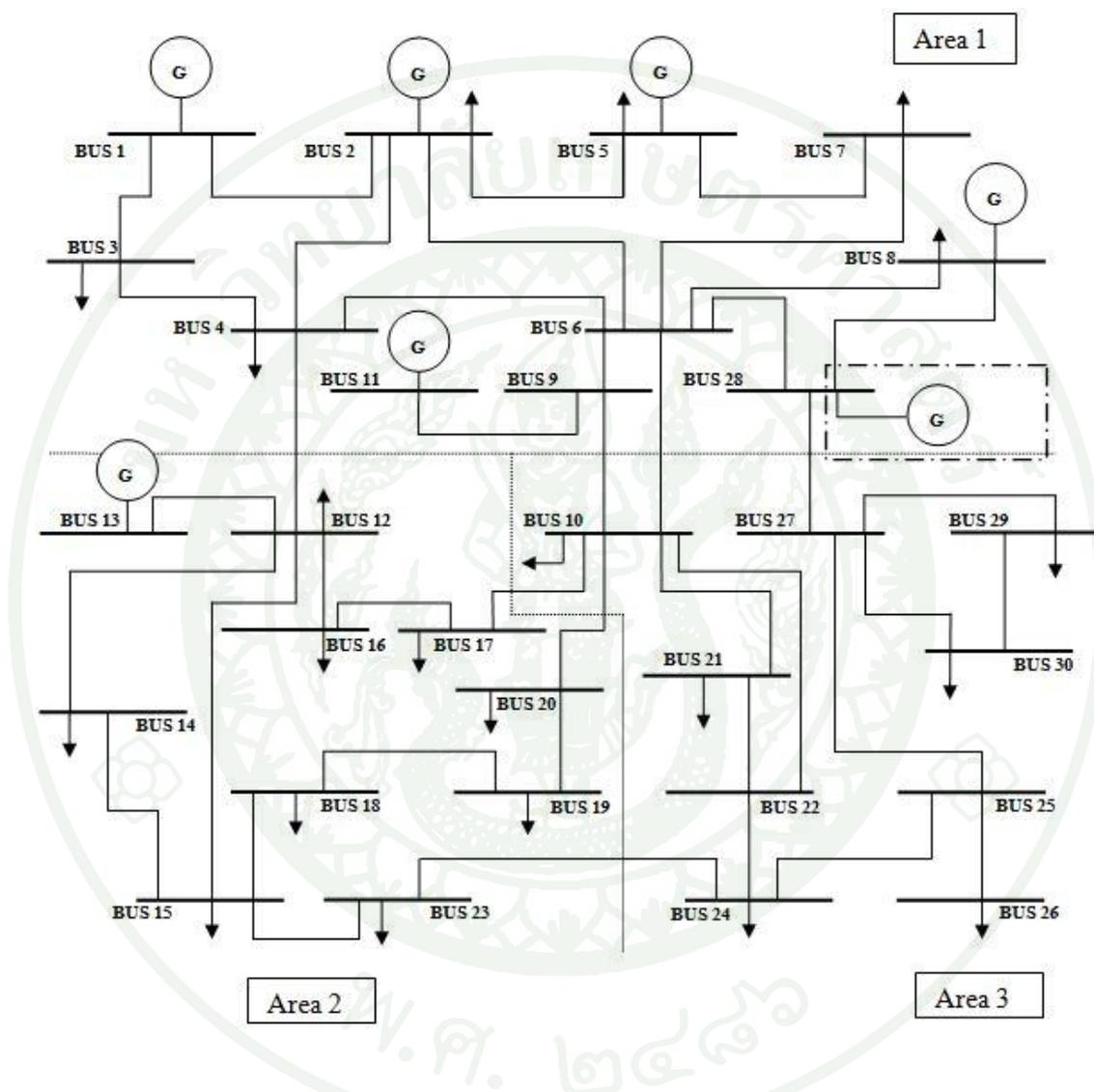
สำหรับข้อมูลเบื้องต้นของระบบทดสอบนั้นกำหนดให้บัส 1 เป็นบัสอ้างอิง (Slack Bus) บัส 2, 5, 8, 11, 13 เป็นบัสเครื่องกำเนิด (PV Bus) บัสอื่นๆ เป็นโหลดบัส (PQ Bus) และมีปริมาณโหลดรวมของระบบเป็น 283.40 MW (ข้อมูลบัสและสายส่งจาก IEEE 30 bus ดูในตารางผนวกที่ 1 และ 2) ซึ่งในกรณีศึกษานี้จะมีการปรับโหลดการใช้ไฟฟ้าออกเป็น 3 ระดับ โดยกำหนดให้ข้อมูลโหลดเบื้องต้นที่ได้จากระบบเป็น โหลดระดับกลาง และทำการลดและเพิ่มโหลดที่ทุกบัส -25%, +15% สำหรับโหลดระดับต่ำและสูงตามลำดับ โดยค่าของโหลดรวมทั้งระบบในกรณีโหลดระดับต่ำ กลาง และสูง แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณ โหลดรวมของระบบส่งไฟฟ้าทดสอบที่ใช้ในการคำนวณ

โหลด	กำลังไฟฟ้าจริง (MW)	กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (MVAR)
ระดับต่ำ	212.55	94.65
ระดับกลาง	283.40	126.20
ระดับสูง	325.91	145.13

การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า เริ่มต้นจากระบบส่งไฟฟ้าที่มีเพียงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบจำนวน 6 เครื่องจ่ายโหลดให้กับระบบ โดยยังไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ เข้ามาต่อกับระบบ โดยใช้โปรแกรม MATPOWER วิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมที่สุด (OPF) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ที่ได้นี้จะเป็นการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดของระบบส่งไฟฟ้า โดยคำนึงถึงความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าในเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าแต่ละเครื่องให้เพียงพอ กับความต้องการของโหลด พร้อมทั้งแรงดันในบัสแต่ละบัสต้องอยู่ในขอบเขตที่ใช้งานได้เป็นสำคัญ หลังจากที่ได้คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมแล้ว จะนำข้อมูลของเครื่องกำเนิด

ไฟฟ้าและสายส่งในระบบที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ เปรียบเทียบในขั้นตอนต่อไปเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาในระบบส่งไฟฟ้าเดิม ตามภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ตัวอย่างระบบส่งไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 28 ของระบบ

เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระถูกเชื่อมต่อเข้ามาในระบบส่งไฟฟ้าที่บัสใดบัสหนึ่ง เพื่อช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด การไหลของกำลังไฟฟ้าทั้งหมดจะเปลี่ยนไปจากเดิม ไม่ว่าจะเป็น กำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดิม แรงดัน รวมถึงการไหลของกระแสในสายส่ง ซึ่งในงานวิจัยนี้ จะทำการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระจะสามารถส่งเข้ามาในระบบได้ โดยที่

ไม่กระทบต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบส่งไฟฟ้าที่มีอยู่เดิม โดยกำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาในระบบส่งไฟฟ้า ในบัสที่ไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบเชื่อมต่ออยู่

เนื่องจากระบบทดสอบนี้สามารถแบ่งระบบออกเป็น 3 พื้นที่ ตามระดับแรงดัน ขนาดของสายส่ง ลักษณะของการกระจายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และปริมาณโหลด ดังนั้นการเชื่อมต่อของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเข้าสู่ระบบในพื้นที่ที่แตกต่างกัน อาจทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันด้วย สำหรับผลที่แสดงในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ เมื่อมีการเชื่อมต่อในแต่ละพื้นที่ จากภาพระบบทดสอบ เป็นการเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาเพื่อช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดของระบบส่งไฟฟ้าที่บัส 28 ซึ่งอยู่ในพื้นที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบอยู่เป็นจำนวนมาก ถือเป็นพื้นที่ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ส่วนในกรณีศึกษาที่ 2 จะเป็นการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเข้าที่บัส 23 ซึ่งอยู่ในพื้นที่ที่ 2 และกรณีศึกษาที่ 3 เชื่อมต่อเข้าที่บัส 10 ซึ่งอยู่ในพื้นที่ที่ 3 ตามลำดับ โดยจะวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้าที่บัสดังกล่าวข้างต้นเพียงคราวละ 1 เครื่อง และจะทำการวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระในสถานะโหลดที่ต่างกันทั้ง 3 ระดับดังแสดงในตารางที่ 1

ผลและวิจารณ์

1. ผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในขณะที่ยังไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาในระบบส่งไฟฟ้า ที่สภาวะโหลดแตกต่างกัน 3 ระดับ

โปรแกรมคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม (OPF) สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องในแต่ละสภาวะโหลด พร้อมทั้งควบคุมแรงดันไฟฟ้าและปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในสายส่งแต่ละเส้นให้ไม่เกินขอบเขตที่จะทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบได้ ผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบในขณะที่ยังไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามา ที่โหลดทั้ง 3 ระดับแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดิมของระบบทั้ง 6 เครื่อง ที่ได้จากวิธีวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมที่สภาวะ โหลดทั้ง 3 ระดับ

บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าจริง (MW)			กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ (MVar)		
	โหลดต่ำ	โหลดกลาง	โหลดสูง	โหลดต่ำ	โหลดกลาง	โหลดสูง
1	47.16	67.07	88.28	-6.39	-8.44	-19.24
2	62.13	80.00	80.00	12.19	20.37	22.58
5	21.60	39.49	50.00	19.76	27.82	56.01
8	24.02	31.07	43.41	31.61	46.81	48.70
11	20.21	30.00	30.00	11.37	15.88	17.27
13	40.00	40.00	40.00	14.78	21.05	23.75

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 และ 2 จะมีกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงเมื่อเทียบกับเครื่องอื่นๆ เนื่องจากราคาการผลิตที่ถูกและมีพิกัดกำลังการผลิตที่สูงกว่าเครื่องอื่นคือ

200 MW และ 80 MW ตามลำดับ (รายละเอียดข้อมูลพิกัดและราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบคูตารางผนวกที่ 3)

เมื่อมีการใช้โหลดเพิ่มขึ้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องมีการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งในงานวิจัยนี้ กรณีโหลดสูง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบที่เชื่อมต่ออยู่ที่บัส 2, 5, 11, 13 มีกำลังผลิตสูงจนสุดพิกัดเครื่อง และบัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูง แต่ไม่เกินค่าสูงสุดซึ่งกำหนดไว้ที่ $\pm 5\%$ ทำให้แรงดันไฟฟ้าสูงสุดมีค่าไม่เกิน 1.05pu และแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดไม่ต่ำกว่า 0.95pu ซึ่งกำลังการผลิตที่ได้จากการคำนวณนี้สามารถจ่ายโหลดในแต่ละกรณีได้อย่างเพียงพอ (รายละเอียดแรงดันบัสและการไหลในสายส่งในแต่ละสถานะ โหลดคูตารางผนวกที่ 4-9)

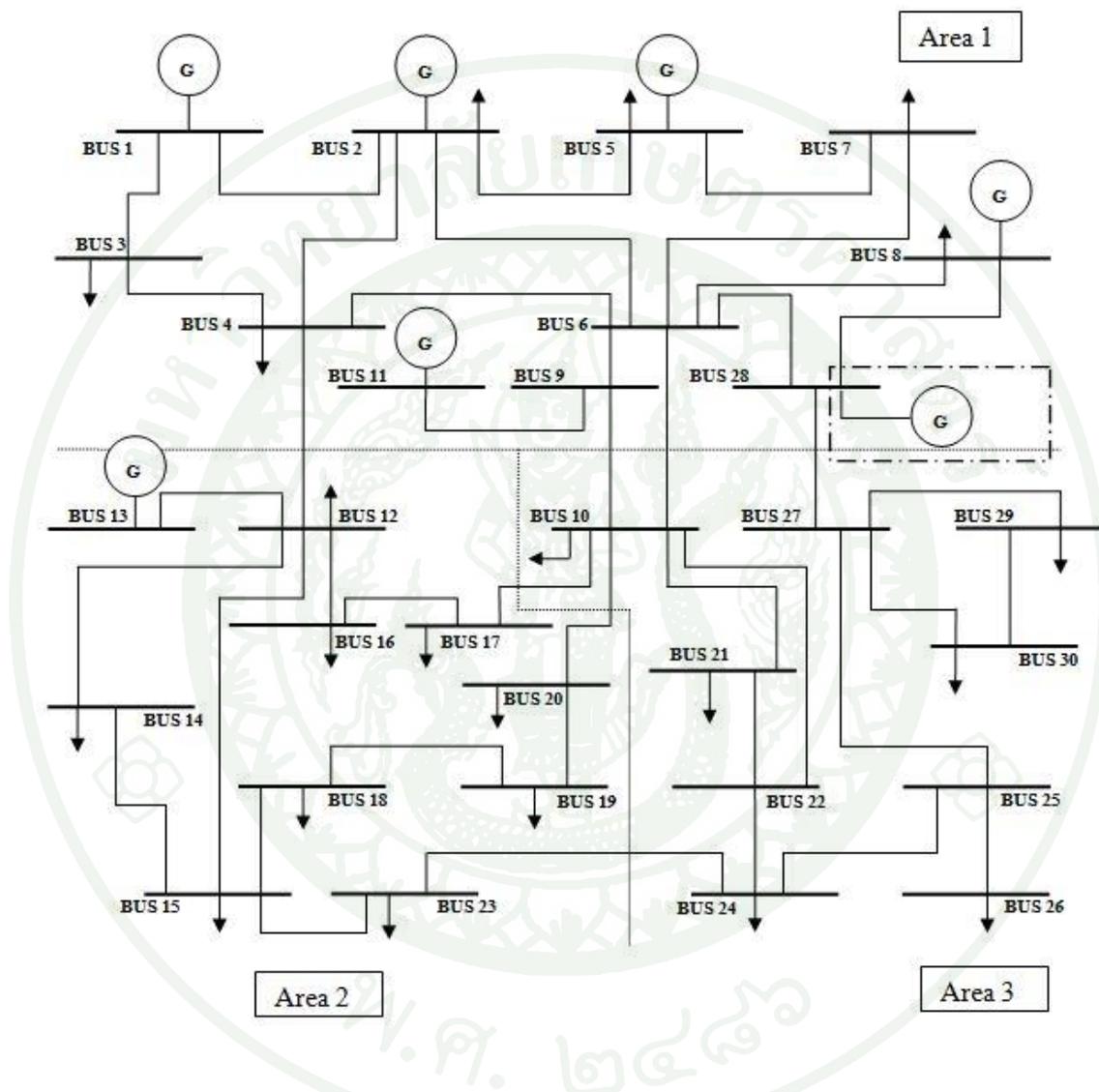
หากผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระต้องการส่งกำลังไฟฟ้าเข้ามาช่วยจ่ายโหลดที่มีอยู่ในระบบ ณ บริเวณใดบริเวณหนึ่งในระบบที่ไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดิมอยู่ พฤติกรรมของระบบส่งไฟฟ้าจะเปลี่ยนไป หรือแตกต่างจากเดิมเล็กน้อยเพียงใด และถ้ามีความต้องการที่จะส่งกำลังเข้ามาให้มากที่สุด จะได้เท่าไร จะกล่าวถึงในขั้นตอนถัดไป

2. ผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในขณะที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเข้ามาเชื่อมต่อกับระบบ ที่สถานะโหลดแตกต่างกัน 3 ระดับ

เมื่อมีการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเข้ามาช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบ การไหลของกำลังไฟฟ้าทั้งหมด รวมถึงปริมาณกำลังไฟฟ้าที่เครื่องไฟฟ้าทุกเครื่องจะต้องจ่ายออก จะเปลี่ยนไปจากเดิม ในส่วนนี้จะเป็นการศึกษาวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบส่งจ่ายไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปในแต่ละบัส ในสถานะโหลด ต่ำ กลาง สูง รวมถึงการส่งออกกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดิมภายในระบบส่งจ่ายอันเนื่องมาจากการต่อเข้ามาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ และคำนวณหาปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระได้

ซึ่งในทุกกรณีศึกษา ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ส่งออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการไหลในระบบ เป็นปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถส่งได้ภายในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าทดสอบ โดยที่ระบบทดสอบยังคงมีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Power Flow) เช่นเดียวกับก่อนที่จะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามา

2.1 การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 28 ซึ่งอยู่ในพื้นที่ 1 เป็นบริเวณที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่มาก



ภาพที่ 4 ระบบส่งไฟฟ้า เมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเข้ามาเชื่อมต่อที่บัส 28

เมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเข้าสู่ระบบส่งไฟฟ้าที่บัส 28 ดังแสดงในภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม โดยกำหนดราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระให้มีค่าเป็นศูนย์ ได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่บัส 28 และจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องอื่นของระบบ ดังแสดงในตารางที่ 3 (รายละเอียดแรงดันบัสและการไหลในสายส่งทั้งหมดของระบบในแต่ละสถานะโหลดดูตารางภาคผนวกที่ 10-15)

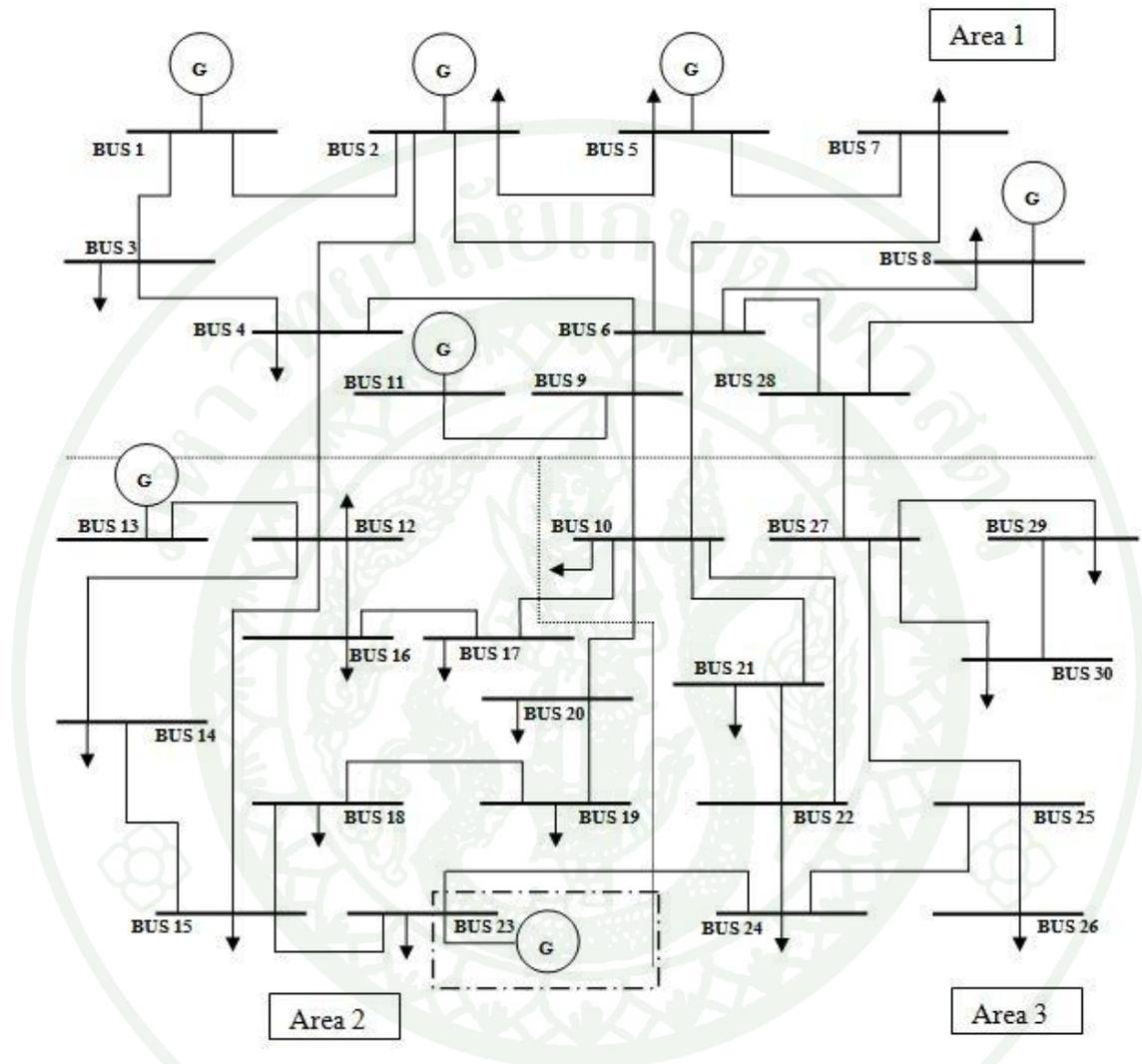
ตารางที่ 3 ปริมาณกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดิม และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ ที่ได้จากวิธีวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ในกรณีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 28 ที่สถานะโหลดทั้ง 3 ระดับ

บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าจริง (MW)			กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ (MVar)		
	โหลดต่ำ	โหลดกลาง	โหลดสูง	โหลดต่ำ	โหลดกลาง	โหลดสูง
1	41.9	52.43	61.53	-3.77	-7.50	-11.05
2	56.11	68.62	79.38	32.49	33.79	29.51
5	17.42	27.50	36.05	29.02	39.60	49.08
8	17.05	20.15	22.90	48.70	48.70	48.70
11	11.19	20.21	27.89	-10.00	10.80	19.71
13	14.21	37.83	40.00	-11.59	-6.00	5.43
28	57.39	60.88	63.34	1.96	5.27	6.71

จากผลการคำนวณจะเห็นได้ว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบแต่ละเครื่องจะมีการลดการผลิตลงเพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระได้จ่ายโหลดได้มากที่สุด เนื่องจากเป็นเครื่องกำเนิดที่ถูกกำหนดให้ไม่มีค่าใช้จ่าย ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ตามตารางที่ 3 คือค่าสูงสุดที่หากผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระมีความต้องการเชื่อมต่อเข้าจ่ายกำลังไฟฟ้า ณ บัสที่ 28 ของระบบทดสอบ ในสถานะโหลดระดับกลาง ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระสามารถจ่ายเข้าสู่ระบบได้คือ 60.88 MW โดยค่ากำลังไฟฟ้ดังกล่าวจะไม่ส่งผลกระทบต่อระบบส่งไฟฟ้าเดิม กล่าวคือ แรงดันในระบบยังคงอยู่ในขอบเขตที่กำหนด เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าในสายส่งของระบบยังคงอยู่ในพิกัด

ในสภาวะของโหลดระดับต่ำ เมื่อมีการลดการใช้ไฟฟ้าลง คิดเป็น 25% ของการใช้ไฟปกติ จากผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในแต่ละบัสจะเห็นว่า กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจะต้องลดการผลิตลง รวมทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่บัส 28 ด้วย ซึ่งลดลงเหลือ 57.39 MW ในสภาวะของโหลดระดับสูง เมื่อมีการใช้ไฟฟ้ามากขึ้น 15% เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องผลิตกำลังไฟฟ้ามากขึ้น รวมทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่เชื่อมต่อกับระบบด้วย ซึ่งคำนวณการผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 63.34 MW โดยกำลังไฟรีแอกทีฟที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ มีกำลังการผลิตที่สอดคล้องกับกำลังไฟฟ้าจริงตามที่กล่าวมาแล้ว

2.2 การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 23



ภาพที่ 5 ระบบส่งไฟฟ้า เมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเข้ามาเชื่อมต่อที่บัส 23

เมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเข้าที่บัส 23 ซึ่งอยู่ในพื้นที่ 2 และเป็นพื้นที่ที่อยู่ไกลจากกลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบดังแสดงในภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระสามารถจ่ายเข้าสู่ระบบได้ แสดงในตารางที่ 4 (รายละเอียดแรงดันบัสและการไหลในสายส่งทั้งหมดของระบบในแต่ละสถานะโหลดดูตารางภาคผนวกที่ 16-21)

ตารางที่ 4 ปริมาณกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดิม และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ ที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ในกรณีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 23 ที่สถานะโหลดทั้ง 3 ระดับ

บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าจริง (MW)			กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (MVar)		
	โหลดต่ำ	โหลดกลาง	โหลดสูง	โหลดต่ำ	โหลดกลาง	โหลดสูง
1	43.95	60.34	73.53	-3.69	-8.31	-15.78
2	58.49	78.12	80.00	17.05	36.82	20.74
5	19.16	34.81	47.48	20.93	34.18	56.56
8	23.08	29.47	35.43	37.23	48.70	48.70
11	18.70	30.00	30.00	13.84	21.14	17.46
13	17.54	19.98	35.34	-4.85	-12.85	15.93
23	34.39	35.03	29.30	1.60	3.80	0.96

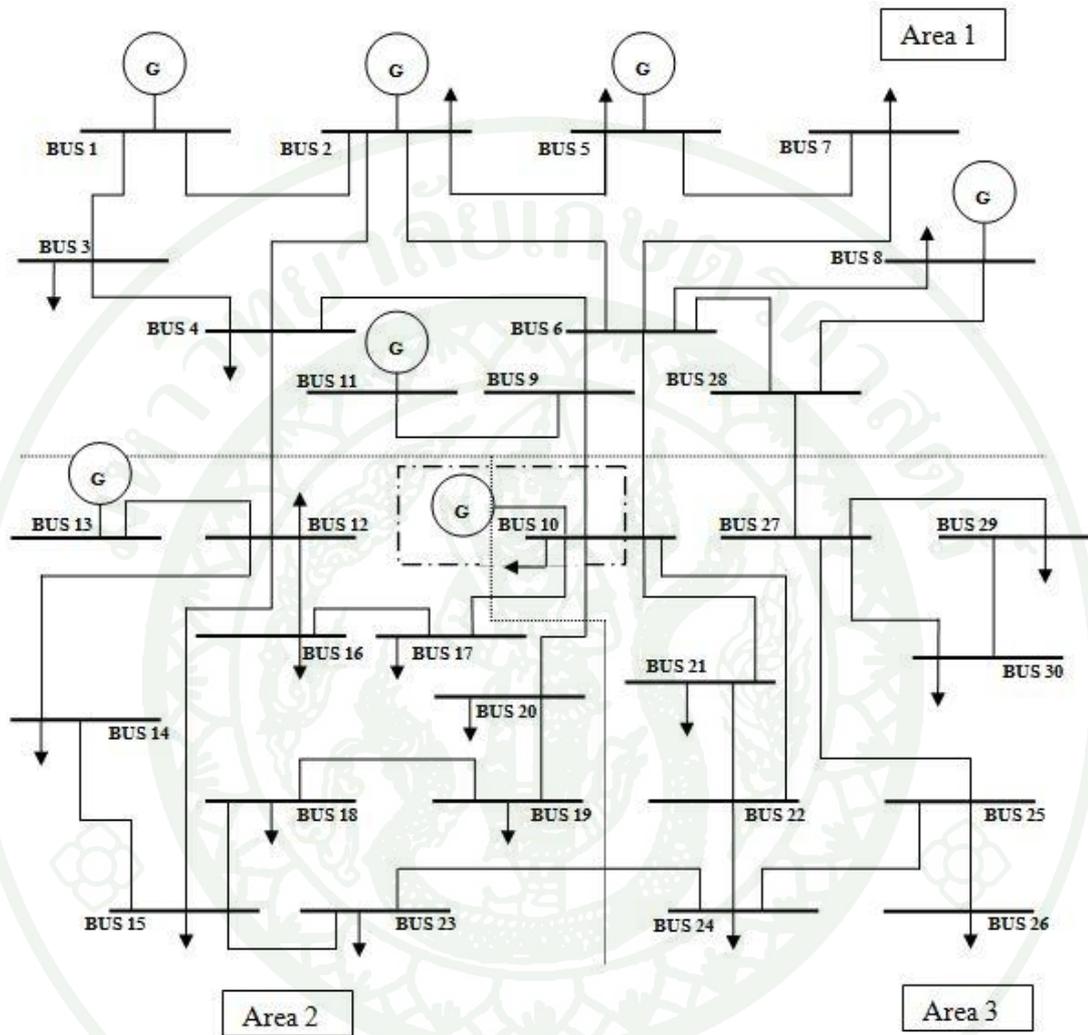
จากผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม จะสังเกตได้ว่ากำลังไฟฟ้าที่ส่งเข้าสู่ระบบจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระในพื้นที่ 2 มีค่าต่ำกว่ากำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระในพื้นที่ 1 เนื่องจากสายส่งในพื้นที่นี้มีขนาดค่อนข้างเล็ก โดยเฉพาะสายส่งระหว่างบัส 23 กับบัส 15 และสายส่งระหว่างบัส 23 กับบัส 24 มีขนาดเล็กที่สุดในระบบนี้ จึงไม่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้สูงนัก แม้จะมีแรงดันสูงพอก็ตาม

แม้ว่าในสภาวะที่โหลดปรับค่าสูงขึ้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบต่างส่งกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบมากขึ้น แต่เมื่อถึงระดับโหลดสูงจะเห็นได้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่บัส 23 กลับมีกำลังการผลิตลดลงเหลือเพียง 29.30 MW เนื่องจากสาเหตุต่อไปนี้

2.2.1 พื้นที่ 2 เป็นบริเวณที่มีโหลดบัสอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อโหลดทุกบัสของระบบสูงขึ้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบที่บัส 13 ซึ่งอยู่ใกล้กับบัส 12 ที่มีสายส่งเชื่อมต่ออยู่เป็นจำนวนมาก และกระจายไปถึงทุกบัสในพื้นที่ มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (35.34 MW จากเดิม 19.98 MW) ไปยังบัส 12 เพื่อจ่ายโหลดในพื้นที่ 2

2.2.2 สายส่งแต่ละเส้นที่ออกจากบัส 12 มีขนาดใหญ่กว่า เมื่อเทียบกับสายส่งจากบัส 23 (ซึ่งมีขนาดเล็กที่สุดในระบบทดสอบนี้) ถึงสองเท่า จึงสามารถส่งกำลังไฟฟ้าจำนวนมากไปยังโหลดได้อย่างสะดวก เป็นเหตุผลที่หากโหลดรวมในบริเวณนี้มีค่าสูง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบที่บัส 13 จะต้องผลิตกำลังไฟฟ้าสูงตามไปด้วย เพื่อส่งกำลังไฟฟ้าไปเลี้ยงโหลดจำนวนมากผ่านบัสใหญ่ 12 จึงทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่บัส 23 ต้องลดการผลิตลง แต่หากโหลดในบริเวณนี้ไม่สูงนัก (ระดับต่ำหรือปานกลาง) ระบบจะยังคงให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่บัส 23 ได้จ่ายให้มากที่สุดโดยไม่เกินพิกัดของสายส่งเส้นเล็กนั้น เป็นผลให้กำลังไฟฟ้าที่บัส 23 ในขณะที่โหลดต่ำและปานกลางมีค่ามากกว่าขณะโหลดสูง

2.3 การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 10



ภาพที่ 6 ระบบส่งไฟฟ้า เมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 10

เมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ามาที่บัส 10 ซึ่งอยู่ในพื้นที่ 3 ดังแสดงในภาพที่ 6 ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบอยู่เลย แต่เป็นบัสที่มีสายส่งเชื่อมต่ออยู่เป็นจำนวนมาก ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่สามารถจ่ายเข้าสู่ระบบได้ที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม แสดงในตารางที่ 5 (รายละเอียดแรงดันบัสและการไหลในสายส่งทั้งหมดของระบบในแต่ละสภาวะโหลดดูตารางภาคผนวกที่ 22-27)

ตารางที่ 5 ปริมาณกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดิม และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ ที่ได้จากวิธีวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ในกรณีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 10 ที่สภาวะโหลดทั้ง 3 ระดับ

บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าจริง (MW)			กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ (MVar)		
	โหลดต่ำ	โหลดกลาง	โหลดสูง	โหลดต่ำ	โหลดกลาง	โหลดสูง
1	23.02	44.78	59.51	-2.23	-9.79	-14.80
2	33.80	59.16	76.38	27.70	19.29	14.72
5	0.66	19.85	33.34	39.16	56.55	58.75
8	15.75	23.56	31.02	48.70	48.70	48.70
11	-0.00	-0.00	-0.00	-10.00	-10.00	11.60
13	34.20	40.00	40.00	-10.63	18.58	23.43
10	108.93	100.84	91.10	-0.00	0.00	-0.00

จากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่บัส 10 สามารถส่งกำลังเข้ามาได้เป็นปริมาณมาก เนื่องจากเป็นบัสที่มีขนาดใหญ่ซึ่งมีสายส่งถึง 6 เส้นเชื่อมต่ออยู่ และสายส่งแต่ละเส้นมีขนาดใหญ่ แต่เมื่อโหลดปรับตัวสูงขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระจะส่งเข้ามาได้กลับมีค่าลดลงเนื่องจากเมื่อโหลดมีค่าต่ำ กลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบที่พื้นที่ 1 จะมีการผลิตต่ำไปด้วย ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่บัส 10 สามารถส่งกำลังการผลิตผ่านสายส่งเส้นที่ 12 และ 14 ซึ่งเป็นสายส่งซึ่งเชื่อมระหว่างพื้นที่ 1 กับพื้นที่ 3 เพื่อขึ้นไปจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดในพื้นที่ 1 ได้มาก แต่เมื่อโหลดมีการปรับตัวสูงขึ้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบในพื้นที่ 1 จะมีการส่งกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมาก ทำให้กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่บัส 10 มีกำลังลดลง

3. ทำการตรวจสอบระบบทั้ง 3 สถานะโหลด เมื่อได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายนอกในแต่ละ巴士

ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่ได้มาจากขั้นตอนที่ 2 นั้นเป็นค่ากำลังสูงสุดที่ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมในแต่ละสถานะโหลด ต่ำ กลาง และสูง ซึ่งมีค่าต่างกัน ในการกำหนดเลือกค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ระบบจะยอมให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระจ่ายเข้ามาได้นั้นจะต้องเป็นค่าที่สามารถจ่ายได้จริงทั้งในสถานะโหลดต่ำ กลาง และสูง โดยที่ไม่กระทบต่อตัวระบบส่งไฟฟ้าเดิม ระบบส่งไฟฟ้าจะต้องยังคงจ่ายโหลดได้ตามปกติ ในส่วนนี้จะนำค่าที่ได้จากการคำนวณในแต่ละสถานะโหลดในขั้นตอนที่ 2 มาคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow) ที่ละค่าในสถานะโหลดทั้ง 3 ระดับ โดยการกำหนดแรงดันและกำลังไฟฟ้าของ巴士ที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระให้มีค่าคงที่ เพื่อดูความมั่นคงของระบบ และสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระได้

ซึ่งการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่จะแสดงต่อไปนี้จะเป็นการตรวจสอบกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่巴士 28, 23 และ 10 ตามลำดับ

3.1 กรณีเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่巴士 28 ของระบบส่งไฟฟ้า

จากตารางที่ 3 จะนำค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้ใน巴士ที่ 28 ทั้ง 3 ค่ามาตรวจสอบความมั่นคงของระบบ โดยใช้วิธีวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า และเพื่อต้องการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริง จะเริ่มทำการตรวจสอบโดยเริ่มจากค่าสูงสุดที่คำนวณได้ก่อนคือ 63.34 MW ซึ่งคำนวณได้จากสถานะโหลดระดับสูง ดังนั้นจึงจะนำไปตรวจสอบในสถานะโหลดระดับกลาง และต่ำตามลำดับ สำหรับผลของแรงดันและกำลังไฟฟ้าในสายส่งเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่巴士 28 ในสถานะโหลดระดับกลาง แสดงดังตารางที่ 6 และ 7 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าและแรงดันในแต่ละบัสเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ
เชื่อมต่อที่บัส 28 ที่กำลังการผลิต 63.34 MW ในสภาวะโหลดระดับกลาง
(283.40 MW 126.20 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	-0	49.92	-6.99	-	-
2	1.050	-1.026	68.62	32.94	21.7	12.7
3	1.032	-1.720	-	-	2.4	1.2
4	1.028	-2.019	-	-	7.6	1.6
5	1.034	-6.049	27.50	39.53	94.20	19.00
6	1.030	-2.354	-	-	-	-
7	1.024	-4.367	-	-	22.8	10.9
8	1.036	-2.440	20.15	44.84	30.0	30.0
9	1.001	-3.436	-	-	-	-
10	0.976	-5.344	-	-	5.8	2.0
11	1.022	-1.082	20.21	10.57	-	-
12	0.975	-3.440	-	-	11.2	7.5
13	0.965	-0.214	37.83	-6.02	-	-
14	0.961	-4.580	-	-	6.2	1.6
15	0.958	-4.834	-	-	8.2	2.5
16	0.968	-4.574	-	-	3.5	1.8
17	0.968	-5.357	-	-	9.0	5.8
18	0.951	-5.824	-	-	3.2	0.9
19	0.951	-6.189	-	-	9.5	3.4
20	0.956	-6.047	-	-	2.2	0.7
21	0.963	-5.789	-	-	17.50	11.20
22	0.964	-5.765	-	-	-	-
23	0.952	-5.488	-	-	3.20	1.60
24	0.952	-5.938	-	-	8.70	6.70

ตารางที่ 6 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
25	0.972	-5.938	-	-	-	-
26	0.954	-6.398	-	-	3.5	2.3
27	0.994	-5.615	-	-	-	-
28	1.036	-1.305	63.34	9.56	-	-
29	0.973	-6.921	-	-	2.4	0.9
30	0.961	-7.860	-	-	10.6	1.9
		รวม	287.57	124.42	283.40	126.20

จากตารางที่ 6 สังเกตได้ว่าแรงดันทุกบัสของระบบนั้นอยู่ในช่วงขอบเขตที่กำหนด (0.95-1.05 pu.) ต่อไปจะทำการตรวจสอบกำลังไฟฟ้าในสายส่งได้ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่
 บัส 28 ที่กำลังการผลิต 63.34 MW ในสภาวะโหลดกลาง (283.40 MW 126.20 MVar)

Line	From To		From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	30.97	-11.49	33.03	-30.79	9.13	32.12
2	1	3	18.94	4.50	19.47	-18.78	-6.05	19.73
3	2	4	13.62	7.64	15.62	-13.48	-9.21	16.33
4	3	4	16.38	4.85	17.08	-16.35	-5.19	17.15
5	2	5	47.75	-1.94	47.79	-46.77	3.78	46.92
6	2	6	16.34	5.41	17.21	-16.18	-6.94	17.61
7	4	6	12.52	-8.67	15.23	-12.49	8.28	14.99
8	5	7	-19.93	16.76	26.04	20.23	-17.06	26.46
9	6	7	43.51	-5.73	43.89	-43.03	6.16	43.47
10	6	8	-0.07	-13.68	13.68	0.09	13.76	13.76
11	6	9	9.37	14.49	17.26	-9.37	-13.91	16.77
12	6	10	9.44	10.31	13.98	-9.44	-9.29	13.24
13	9	11	-20.21	-9.53	22.34	20.21	10.57	22.81
14	9	10	29.58	23.44	37.74	-29.58	-21.88	36.79
15	4	12	9.71	21.48	23.57	-9.71	-20.13	22.35
16	12	13	-37.83	8.23	38.71	37.83	-6.02	38.31
17	12	14	8.01	1.50	8.15	-7.93	-1.32	8.04
18	12	15	19.15	3.38	19.45	-18.88	-2.86	19.10
19	12	16	9.18	-0.47	9.19	-9.10	0.64	9.12
20	14	15	1.73	-0.28	1.75	-1.72	0.29	1.74
21	16	17	5.60	-2.44	6.11	-5.57	2.52	6.11
22	15	18	7.03	-0.38	7.04	-6.97	0.50	6.99

ตารางที่ 7 (ต่อ)

Line	From To		From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
23	18	19	3.77	-1.40	4.02	-3.76	1.42	4.02
24	19	20	-5.74	-4.82	7.50	5.76	4.86	7.54
25	10	20	8.06	5.78	9.92	-7.96	-5.56	9.71
26	10	17	3.46	8.39	9.08	-3.43	-8.32	9.00
27	10	21	14.76	10.35	18.03	-14.64	-10.09	17.78
28	10	22	6.94	4.83	8.46	-6.89	-4.71	8.35
29	21	22	-2.86	-1.11	3.07	2.86	1.11	3.07
30	15	23	5.38	0.45	5.40	-5.35	-0.38	5.36
31	22	24	4.03	3.61	5.41	-3.99	-3.55	5.34
32	23	24	2.15	-1.22	2.47	-2.14	1.23	2.47
33	24	25	-2.57	-4.35	5.05	2.63	4.44	5.16
34	25	26	3.55	2.37	4.27	-3.50	-2.30	4.19
35	25	27	-6.18	-6.81	9.20	6.27	7.00	9.40
36	28	27	19.57	12.33	23.13	-19.57	-10.36	22.14
37	27	29	6.20	1.68	6.42	-6.11	-1.51	6.29
38	27	30	7.10	1.68	7.30	-6.93	-1.36	7.06
39	29	30	3.71	0.61	3.76	-3.67	-0.54	3.71
40	8	28	-9.94	1.08	10.00	10.00	-4.81	11.10
41	6	28	-33.58	-6.73	34.25	33.77	0.42	33.77

จากตารางที่ 7 พบว่าเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่บัส 28 ส่งกำลังไฟฟ้า 63.34 MW เข้าสู่ระบบในสถานะโหลดระดับกลาง กำลังไฟฟ้าที่สายส่งเส้นที่ 41 จะเกินพิกัดสาย (32 MVA) ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่ากำลังไฟฟ้า 63.34 MW ไม่ใช่กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ได้จริง เพราะไม่สามารถใช้ได้ทีโหลดระดับกลาง จึงไม่ต้องมีการตรวจสอบทีโหลดระดับต่ำต่อ

เมื่อค่าสูงสุดที่ 63.34 MW ไม่ใช่กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถจ่ายเข้าสู่ระบบในทุกสภาวะ โหลดได้ต่อไปจะนำค่าสูงสุดตรงลงมาคือ 60.88 MW มาตรวจสอบแรงดันและกำลังไฟฟ้าในสายส่ง โดยจะเริ่มจากสภาวะโหลดต่ำ ได้ผลดังตารางที่ 8 และ 9

ตารางที่ 8 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าและแรงดันในแต่ละบัสเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 28 ที่กำลังการผลิต 60.88 MW ในสภาวะโหลดต่ำ (212.55 MW 94.65 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0	38.39	-2.73	-	-
2	1.050	-0.759	56.11	32.50	16.27	9.53
3	1.031	-1.342	-	-	1.8	0.9
4	1.026	-1.568	-	-	5.7	1.2
5	1.034	-4.678	17.42	29.04	70.65	14.25
6	1.029	-1.697	-	-	-	-
7	1.025	-3.294	-	-	17.1	8.18
8	1.038	-1.753	17.05	48.84	22.5	22.5
9	0.982	-3.093	-	-	-	-
10	0.969	-4.618	-	-	4.35	1.5
11	0.960	-1.678	11.19	-9.92	-	-
12	0.967	-3.941	-	-	8.4	5.63
13	0.950	-2.701	14.21	-11.54	-	-
14	0.957	-4.701	-	-	4.65	1.2
15	0.955	-4.792	-	-	6.15	1.88
16	0.962	-4.480	-	-	2.63	1.35
17	0.963	-4.761	-	-	6.75	4.35
18	0.950	-5.342	-	-	2.4	0.68
19	0.950	-5.499	-	-	7.13	2.55
20	0.954	-5.331	-	-	1.65	0.53

ตารางที่ 8 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
21	0.960	-4.962	-	-	13.13	8.4
22	0.961	-4.937	-	-	-	-
23	0.952	-5.056	-	-	2.4	1.2
24	0.955	-5.101	-	-	6.53	5.03
25	0.977	-4.746	-	-	-	-
26	0.963	-5.086	-	-	2.63	1.73
27	0.998	-4.292	-	-	-	-
28	1.034	-0.580	60.88	0.53	-	-
29	0.983	-5.259	-	-	1.8	0.68
30	0.974	-5.948	-	-	7.95	1.43
		รวม	215.25	86.72	212.55	94.65

จากตารางที่ 8 แรงดันอยู่ในช่วงที่รับได้ (0.95 – 1.05 pu.) ต่อไปจะทำการตรวจสอบกำลังไฟฟ้าในสายส่งได้ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่
 บัส 28 ที่กำลังการผลิต 60.88 MW ในสภาวะโหลดต่ำ (212.55 MW 94.65 MVar)

Line	From To		From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	22.91	-8.94	24.59	-22.81	6.33	23.67
2	1	3	15.48	6.21	16.68	-15.36	-7.93	17.29
3	2	4	12.17	9.39	15.37	-12.04	-10.97	16.29
4	3	4	13.56	7.03	15.27	-13.53	-7.39	15.42
5	2	5	37.60	-0.35	37.60	-37.00	0.63	37.01
6	2	6	12.87	7.61	14.95	-12.74	-9.24	15.74
7	4	6	3.81	-6.85	7.84	-3.81	6.40	7.45
8	5	7	-16.23	14.17	21.55	16.44	-14.71	22.06
9	6	7	33.84	-6.67	34.49	-33.54	6.53	34.17
10	6	8	-3.83	-22.13	22.46	3.89	22.33	22.67
11	6	9	11.83	23.25	26.09	-11.83	-21.91	24.90
12	6	10	9.14	11.20	14.46	-9.14	-10.10	13.62
13	9	11	-11.19	10.42	15.29	11.19	-9.92	14.95
14	9	10	23.02	11.49	25.73	-23.02	-10.74	25.40
15	4	12	16.05	24.01	28.88	-16.05	-21.98	27.22
16	12	13	-14.21	12.06	18.64	14.21	-11.54	18.31
17	12	14	5.40	1.26	5.55	-5.36	-1.18	5.49
18	12	15	11.92	2.74	12.23	-11.81	-2.53	12.08
19	12	16	4.54	0.29	4.55	-4.52	-0.25	4.53
20	14	15	0.71	-0.02	0.71	-0.71	0.02	0.71
21	16	17	1.90	-1.10	2.20	-1.89	1.11	2.19
22	15	18	4.08	0.20	4.08	-4.06	-0.16	4.06

ตารางที่ 9 (ต่อ)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)
23	18	19	1.66	-0.52	1.74	-1.66	0.52	1.74
24	19	20	-5.46	-3.07	6.26	5.48	3.10	6.30
25	10	20	7.19	3.77	8.12	-7.13	-3.63	8.00
26	10	17	4.88	5.51	7.36	-4.86	-5.46	7.31
27	10	21	10.74	7.06	12.85	-10.68	-6.93	12.73
28	10	22	5.00	3.17	5.92	-4.97	-3.11	5.86
29	21	22	-2.44	-1.47	2.85	2.45	1.48	2.86
30	15	23	2.29	0.44	2.33	-2.28	-0.42	2.32
31	22	24	2.52	1.64	3.01	-2.51	-1.62	2.99
32	23	24	-0.12	-0.78	0.79	0.12	0.78	0.79
33	24	25	-4.13	-4.14	5.85	4.20	4.27	5.99
34	25	26	2.65	1.77	3.19	-2.62	-1.72	3.13
35	25	27	-6.85	-6.03	9.13	6.95	6.21	9.32
36	28	27	16.86	10.05	19.63	-16.86	-8.62	18.94
37	27	29	4.62	1.21	4.78	-4.57	-1.12	4.71
38	27	30	5.29	1.20	5.42	-5.20	-1.02	5.30
39	29	30	2.77	0.44	2.80	-2.75	-0.40	2.78
40	8	28	-9.34	4.01	10.16	9.41	-6.09	11.21
41	6	28	-34.42	-2.81	34.53	34.61	-3.43	34.78

จากตารางที่ 9 จะเห็นได้ว่ากำลังผลิตที่ 60.88 MW ก็ส่งผลให้สายส่งเส้นที่ 41 มีขนาดกำลังเกินพิกัดเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ากำลังไฟฟ้า 60.88 MW ก็ไม่ใช่กำลังสูงสุดที่แท้จริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่บัส 28 เช่นเดียวกัน โดยไม่ต้องทำการตรวจสอบที่สภาวะโหลดอื่นต่อ

จากตารางที่ 3 เหลือค่าสุดท้ายที่ได้จากการคำนวณที่สถานะโหลดต่ำ คือ 57.39 MW ซึ่งจะนำไปตรวจสอบแรงดันและกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่สถานะโหลดระดับกลางและสูง ตามลำดับ สำหรับการตรวจสอบที่สถานะโหลดระดับกลางได้ผลดังตารางที่ 10 และ 11

ตารางที่ 10 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าและแรงดันในแต่ละบัสเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ เชื่อมต่อบัส 28 ที่กำลังการผลิต 57.39 MW ในสถานะโหลดกลาง (283.40 MW 126.20 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	-0	56.00	-8.33	-	-
2	1.050	-1.160	68.62	34.44	21.70	12.70
3	1.032	-1.921	-	-	2.40	1.20
4	1.028	-2.263	-	-	7.60	1.60
5	1.034	-6.280	27.50	40.06	94.20	19.00
6	1.029	-2.663	-	-	-	-
7	1.023	-4.645	-	-	22.80	10.90
8	1.036	-2.795	20.15	49.66	30.00	30.00
9	1.001	-3.748	-	-	-	-
10	0.975	-5.659	-	-	5.80	2.00
11	1.022	-1.392	20.21	10.92	-	-
12	0.975	-3.728	-	-	11.20	7.50
13	0.965	-0.500	37.83	-5.72	-	-
14	0.961	-4.875	-	-	6.20	1.60
15	0.957	-5.131	-	-	8.20	2.50
16	0.967	-4.874	-	-	3.50	1.80
17	0.967	-5.667	-	-	9.00	5.80
18	0.950	-6.129	-	-	3.20	0.90
19	0.950	-6.498	-	-	9.50	3.40
20	0.955	-6.357	-	-	2.20	0.70

ตารางที่ 10 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
21	0.962	-6.117	-	-	17.50	11.20
22	0.963	-6.083	-	-	-	-
23	0.951	-5.799	-	-	3.20	1.60
24	0.951	-6.283	-	-	8.70	6.70
25	0.970	-6.300	-	-	-	-
26	0.951	-6.763	-	-	3.50	2.30
27	0.991	-5.998	-	-	-	-
28	1.036	-1.721	57.39	3.84	-	-
29	0.970	-7.312	-	-	2.40	0.90
30	0.958	-8.257	-	-	10.60	1.90
		รวม	287.70	124.88	283.40	126.20

จากตารางที่ 10 แรงดันอยู่ในช่วงที่รับได้ (0.95 – 1.05 pu.) ต่อไปจะทำการตรวจสอบกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้น ได้ผลดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อ
ที่บัส 28 ที่กำลังการผลิต 57.39 MW ในสภาวะโหลดกลาง (283.40 MW 126.20 MVar)

Line	From To		From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	35.03	-12.76	37.28	-34.79	10.56	36.36
2	1	3	20.97	4.43	21.43	-20.77	-5.85	21.58
3	2	4	14.84	7.75	16.74	-14.68	-9.27	17.36
4	3	4	18.37	4.65	18.95	-18.33	-4.97	18.99
5	2	5	48.64	-2.07	48.68	-47.63	4.06	47.80
6	2	6	18.24	5.51	19.05	-18.04	-6.93	19.33
7	4	6	15.41	-8.69	17.69	-15.37	8.33	17.48
8	5	7	-19.07	17.00	25.55	19.36	-17.33	25.98
9	6	7	42.63	-6.05	43.06	-42.16	6.43	42.65
10	6	8	1.09	-16.77	16.81	-1.05	16.88	16.91
11	6	9	9.38	14.27	17.08	-9.38	-13.70	16.60
12	6	10	9.44	10.25	13.93	-9.44	-9.23	13.20
13	9	11	-20.21	-9.87	22.49	20.21	10.92	22.97
14	9	10	29.59	23.57	37.83	-29.59	-22.00	36.87
15	4	12	10.00	21.32	23.55	-10.00	-19.98	22.34
16	12	13	-37.83	7.92	38.65	37.83	-5.72	38.26
17	12	14	8.05	1.51	8.19	-7.97	-1.33	8.08
18	12	15	19.29	3.47	19.60	-19.02	-2.94	19.25
19	12	16	9.29	-0.42	9.30	-9.20	0.60	9.22
20	14	15	1.77	-0.27	1.79	-1.76	0.27	1.78
21	16	17	5.70	-2.40	6.18	-5.67	2.48	6.19
22	15	18	7.07	-0.37	7.08	-7.01	0.49	7.03

ตารางที่ 11 (ต่อ)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)
23	18	19	3.81	-1.39	4.06	-3.80	1.41	4.05
24	19	20	-5.70	-4.81	7.46	5.72	4.85	7.50
25	10	20	8.01	5.77	9.87	-7.92	-5.55	9.67
26	10	17	3.36	8.35	9.00	-3.33	-8.28	8.92
27	10	21	14.85	10.42	18.14	-14.73	-10.16	17.89
28	10	22	7.00	4.87	8.53	-6.95	-4.76	8.42
29	21	22	-2.77	-1.04	2.96	2.77	1.04	2.96
30	15	23	5.51	0.53	5.54	-5.48	-0.47	5.50
31	22	24	4.17	3.72	5.59	-4.13	-3.66	5.52
32	23	24	2.28	-1.13	2.54	-2.27	1.15	2.54
33	24	25	-2.30	-4.16	4.75	2.35	4.25	4.86
34	25	26	3.55	2.37	4.27	-3.50	-2.30	4.19
35	25	27	-5.89	-6.61	8.85	5.99	6.79	9.05
36	28	27	19.29	12.08	22.76	-19.29	-10.16	21.80
37	27	29	6.20	1.69	6.43	-6.11	-1.51	6.29
38	27	30	7.10	1.68	7.30	-6.93	-1.36	7.06
39	29	30	3.71	0.61	3.76	-3.67	-0.54	3.71
40	8	28	-8.80	2.78	9.23	8.85	-4.90	10.12
41	6	28	-29.11	-3.10	29.27	29.25	-3.34	29.44

จากตารางที่ 11 ผลปรากฏว่าสามารถส่งได้โดยไม่เกินขีดจำกัดของสายส่ง ต่อไปจะทำการตรวจสอบที่สถานะโหลดสูง ได้ผลดังตารางที่ 12 และ 13

ตารางที่ 12 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าและแรงดันในแต่ละบัสเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ
เชื่อมต่อที่บัส 28 ที่กำลังการผลิต 57.39 MW ในสถานะโหลดสูง
(325.91 MW 145.13 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0	67.62	-12.71	-	-
2	1.050	-1.379	79.38	30	24.95	14.61
3	1.034	-2.457	-	-	2.76	1.38
4	1.030	-2.909	-	-	8.74	1.84
5	1.038	-7.172	36.05	48.76	108.33	21.85
6	1.032	-3.381	-	-	-	-
7	1.025	-5.506	-	-	26.22	12.54
8	1.037	-3.53	22.9	48.6	34.5	34.5
9	1.012	-4.351	-	-	-	-
10	0.984	-6.655	-	-	6.67	2.3
11	1.050	-1.223	27.89	19.69	-	-
12	0.991	-4.919	-	-	12.88	8.63
13	0.997	-1.67	40	5.4	-	-
14	0.974	-6.164	-	-	7.13	1.84
15	0.969	-6.388	-	-	9.43	2.88
16	0.979	-6.014	-	-	4.03	2.07
17	0.976	-6.735	-	-	10.35	6.67
18	0.959	-7.396	-	-	3.68	1.03
19	0.957	-7.744	-	-	10.93	3.91
20	0.963	-7.547	-	-	2.53	0.81
21	0.969	-7.198	-	-	20.13	12.88
22	0.969	-7.168	-	-	-	-
23	0.959	-7.059	-	-	3.68	1.84
24	0.955	-7.502	-	-	10.01	7.71

ตารางที่ 12 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
25	0.971	-7.562	-	-	-	-
26	0.950	-8.094	-	-	4.03	2.65
27	0.992	-7.247	-	-	-	-
28	1.038	-2.531	57.39	8.82	-	-
29	0.968	-8.759	-	-	2.76	1.03
30	0.954	-9.853	-	-	12.19	2.19
		รวม	331.23	148.57	325.91	145.13

จากตารางที่ 12 แรงดันอยู่ในช่วงที่รับได้ (0.95 – 1.05 pu.) ต่อไปจะทำการตรวจสอบกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อ
ที่บัส 28 ที่กำลังการผลิต 57.39 MW ในสภาวะโหลดสูง (325.91 MW 145.13 MVar)

Line	From To		From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	41.69	-14.82	44.25	-41.36	12.91	43.33
2	1	3	25.92	2.11	26.01	-25.64	-3.18	25.84
3	2	4	18.58	4.93	19.22	-18.38	-6.32	19.44
4	3	4	22.88	1.80	22.95	-22.82	-2.06	22.91
5	2	5	54.56	-4.98	54.79	-53.28	8.08	53.89
6	2	6	22.65	2.54	22.79	-22.37	-3.72	22.68
7	4	6	18.47	-9.58	20.81	-18.42	9.27	20.62
8	5	7	-19	18.83	26.75	19.31	-19.10	27.16
9	6	7	46.07	-5.97	46.46	-45.53	6.56	46.00
10	6	8	2.97	-12.86	13.20	-2.95	12.93	13.26
11	6	9	8.51	9.80	12.98	-8.51	-9.47	12.73
12	6	10	10.43	9.23	13.93	-10.43	-8.22	13.28
13	9	11	-27.89	-17.50	32.93	27.89	19.69	34.14
14	9	10	36.4	26.97	45.30	-36.40	-24.77	44.03
15	4	12	13.99	16.12	21.34	-13.99	-15.02	20.53
16	12	13	-40	-3.11	40.12	40.00	5.40	40.36
17	12	14	9.27	2.25	9.54	-9.16	-2.01	9.38
18	12	15	21.86	5.89	22.64	-21.51	-5.21	22.13
19	12	16	9.98	1.37	10.07	-9.88	-1.16	9.95
20	14	15	2.03	0.17	2.04	-2.02	-0.16	2.03
21	16	17	5.86	-0.91	5.93	-5.83	0.98	5.91
22	15	18	7.77	0.59	7.79	-7.70	-0.45	7.71

ตารางที่ 13 (ต่อ)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)
23	18	19	4.02	-0.59	4.06	-4.01	0.61	4.06
24	19	20	-6.91	-4.52	8.26	6.94	4.57	8.31
25	10	20	9.59	5.64	11.13	-9.47	-5.38	10.89
26	10	17	4.55	7.72	8.96	-4.52	-7.65	8.89
27	10	21	17.62	11.94	21.28	-17.45	-11.59	20.95
28	10	22	8.4	5.56	10.07	-8.33	-5.41	9.93
29	21	22	-2.67	-1.29	2.97	2.67	1.29	2.97
30	15	23	6.33	1.91	6.61	-6.29	-1.81	6.55
31	22	24	5.65	4.12	6.99	-5.59	-4.02	6.89
32	23	24	2.61	-0.03	2.61	-2.60	0.05	2.60
33	24	25	-1.81	-3.69	4.11	1.85	3.75	4.18
34	25	26	4.09	2.74	4.92	-4.03	-2.65	4.82
35	25	27	-5.94	-6.49	8.80	6.03	6.66	8.98
36	28	27	21.38	12.94	24.99	-21.38	-10.64	23.88
37	27	29	7.15	1.99	7.42	-7.03	-1.75	7.24
38	27	30	8.2	1.99	8.44	-7.97	-1.56	8.12
39	29	30	4.27	0.72	4.33	-4.22	-0.63	4.27
40	8	28	-8.65	1.16	8.73	8.70	-3.32	9.31
41	6	28	-27.19	-5.75	27.79	27.31	-0.80	27.32

จากตารางที่ 13 กำลังไฟฟ้าในสายส่งที่อยู่ในพิกัดที่รับได้เช่นเดียวกัน เมื่อทำการตรวจสอบครบทุกสถานะ โหลดแล้วจึงสรุปได้ว่า ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริงที่ระบบจะรับเข้ามาได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเมื่อเชื่อมต่อที่บัส 28 มีค่าเท่ากับ 57.39 MW

3.2 กรณีเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่บัส 23 ของระบบส่งไฟฟ้า

จากตารางที่ 4 จะเริ่มทำการตรวจสอบจากค่าสูงสุดก่อนเช่นเดียวกันคือค่า 35.03 MW ซึ่งได้จากสถานะโหลดระดับกลาง โดยจะเริ่มด้วยการตรวจสอบที่โหลดระดับสูงก่อน ได้ผลของแรงดันและกำลังไฟฟ้าในสายส่งดังตารางที่ 14 และ 15 ตามลำดับ

ตารางที่ 14 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าและแรงดันในแต่ละบัสเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 23 ที่กำลังการผลิต 35.03 MW ในสถานะโหลดสูง (325.91 MW 145.13 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0.00	67.82	-14.39	-	-
2	1.050	-1.36	80.00	20.00	24.95	14.61
3	1.037	-2.56	-	-	2.76	1.38
4	1.034	-3.04	-	-	8.74	1.84
5	1.050	-6.80	47.48	56.46	108.33	21.85
6	1.033	-3.74	-	-	-	-
7	1.031	-5.56	-	-	26.22	12.54
8	1.038	-3.86	35.43	48.83	34.5	34.5
9	1.017	-3.59	-	-	-	-
10	0.992	-5.38	-	-	6.67	2.3
11	1.050	-0.24	30.00	17.70	-	-
12	1.012	-3.62	-	-	12.88	8.63
13	1.033	-0.91	35.34	16.63	-	-
14	0.996	-4.29	-	-	7.13	1.84
15	0.995	-4.00	-	-	9.43	2.88
16	0.994	-4.70	-	-	4.03	2.07
17	0.986	-5.44	-	-	10.35	6.67

ตารางที่ 14 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
18	0.979	-5.36	-	-	3.68	1.03
19	0.973	-5.93	-	-	10.93	3.91
20	0.977	-5.87	-	-	2.53	0.81
21	0.978	-5.70	-	-	20.13	12.88
22	0.979	-5.61	-	-	-	-
23	1.000	-2.26	35.03	-1.06	3.68	1.84
24	0.974	-5.08	-	-	10.01	7.71
25	0.975	-6.58	-	-	-	-
26	0.954	-7.11	-	-	4.03	2.65
27	0.987	-7.17	-	-	-	-
28	1.030	-4.06	-	-	-	-
29	0.963	-8.70	-	-	2.76	1.03
30	0.949	-9.81	-	-	12.19	2.19
		รวม	331.09	144.20	325.91	145.13

จากตารางที่ 14 จะเห็นได้ว่า กำลังการผลิตที่ 35.03 MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่บัส 23 นั้นส่งผลให้บัสที่ 30 ของระบบมีแรงดัน 0.949 ซึ่งต่ำกว่าขอบเขตที่กำหนด(0.95 – 1.05 pu.) ต่อไปเมื่อตรวจสอบกำลังไฟฟ้าในสายส่งได้ผลดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อ
ที่บัส 23 ที่กำลังการผลิต 35.03 MW ในสภาวะโหลดสูง (325.91 MW 145.13 MVar)

Line	From To		From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	41.22	-14.68	43.76	-40.89	12.740	42.83
2	1	3	26.60	0.29	26.60	-26.31	-1.310	26.34
3	2	4	19.39	2.51	19.55	-19.19	-3.900	19.58
4	3	4	23.55	-0.07	23.55	-23.48	-0.190	23.48
5	2	5	50.44	-10.65	51.55	-49.32	13.090	51.03
6	2	6	26.10	0.80	26.11	-25.74	-1.730	25.80
7	4	6	29.77	-6.85	30.55	-29.67	6.730	30.42
8	5	7	-11.53	21.52	24.41	11.79	-21.950	24.92
9	6	7	38.40	-9.29	39.51	-38.01	9.410	39.16
10	6	8	2.05	-11.96	12.13	-2.03	12.020	12.19
11	6	9	-1.33	8.30	8.41	1.33	-8.160	8.27
12	6	10	5.28	7.83	9.44	-5.28	-7.360	9.06
13	9	11	-30.00	-15.41	33.73	30.00	17.700	34.83
14	9	10	28.67	23.57	37.11	-28.67	-22.100	36.20
15	4	12	4.16	9.10	10.01	-4.16	-8.860	9.79
16	12	13	-35.34	-14.63	38.25	35.34	16.630	39.06
17	12	14	6.18	3.30	7.01	-6.12	-3.180	6.90
18	12	15	9.17	7.95	12.14	-9.08	-7.760	11.94
19	12	16	11.27	3.61	11.83	-11.14	-3.340	11.63
20	14	15	-1.01	1.34	1.68	1.02	-1.330	1.68
21	16	17	7.12	1.27	7.23	-7.07	-1.170	7.17

ตารางที่ 15 (ต่อ)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)
22	15	18	11.50	1.90	11.66	-11.35	-1.600	11.46
23	18	19	7.67	0.56	7.69	-7.63	-0.480	7.65
24	19	20	-3.30	-3.43	4.76	3.30	3.440	4.77
25	10	20	5.89	4.36	7.33	-5.83	-4.250	7.21
26	10	17	3.29	5.53	6.43	-3.28	-5.500	6.40
27	10	21	12.83	11.88	17.49	-12.73	-11.650	17.26
28	10	22	5.28	5.57	7.67	-5.23	-5.480	7.58
29	21	22	-7.40	-1.23	7.50	7.41	1.250	7.51
30	15	23	-12.86	4.32	13.57	13.05	-3.940	13.63
31	22	24	-2.17	4.24	4.76	2.20	-4.200	4.74
32	23	24	18.30	1.04	18.33	-17.86	-0.130	17.86
33	24	25	5.65	-3.34	6.56	-5.57	3.490	6.57
34	25	26	4.09	2.74	4.92	-4.03	-2.650	4.82
35	25	27	1.48	-6.23	6.40	-1.43	6.320	6.48
36	28	27	13.93	11.53	18.08	-13.93	-10.310	17.33
37	27	29	7.16	1.99	7.43	-7.03	-1.750	7.24
38	27	30	8.20	2.00	8.44	-7.97	-1.560	8.12
39	29	30	4.27	0.72	4.33	-4.22	-0.630	4.27
40	8	28	2.96	2.32	3.76	-2.95	-4.560	5.43
41	6	28	11.00	0.12	11.00	-10.98	-6.960	13.00

จากตารางที่ 15 พบว่า นอกจากระบบจะมีแรงดันต่ำกว่าพิกัดแล้ว กำลังการผลิตที่ 35.03 MW ยังทำให้สายส่งเส้นที่ 32 มีกำลังไฟฟ้าเกินพิกัด (16 MVA) อีกด้วย จึงสรุปได้ว่ากำลังไฟฟ้า 35.03 MW ไม่ใช่กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริง โดยไม่ต้องตรวจสอบที่สภาวะโหลดอื่นต่อ

จากตารางที่ 4 เมื่อค่าสูงสุดที่ 35.03 MW ไม่ใช่กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถจ่ายเข้าสู่ระบบ ในทุกสภาวะโหลดได้ ต่อไปจะนำค่าสูงสุดรองลงมาคือ 34.39 MW มาตรวจสอบแรงดันและกำลังไฟฟ้าในสายส่ง โดยจะเริ่มจากสภาวะโหลดสูงเช่นเดียวกัน ได้ผลดังตารางที่ 16 และ 17

ตารางที่ 16 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าและแรงดันในแต่ละบัสเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ เชื่อมต่อบัส 23 ที่กำลังการผลิต 34.39 MW ในสภาวะโหลดสูง (325.91 MW 145.13 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0.000	68.45	-14.55	-	-
2	1.050	-1.377	80.00	20.06	24.95	14.61
3	1.037	-2.583	-	-	2.76	1.38
4	1.034	-3.063	-	-	8.74	1.84
5	1.050	-6.825	47.48	56.46	108.33	21.85
6	1.033	-3.769	-	-	-	-
7	1.031	-5.585	-	-	26.22	12.54
8	1.038	-3.892	35.43	48.86	34.5	34.5
9	1.017	-3.637	-	-	-	-
10	0.992	-5.439	-	-	6.67	2.3
11	1.050	-0.286	30.00	17.67	-	-
12	1.012	-3.685	-	-	12.88	8.63
13	1.033	-0.971	35.34	16.55	-	-
14	0.996	-4.364	-	-	7.13	1.84
15	0.995	-4.087	-	-	9.43	2.88
16	0.994	-4.763	-	-	4.03	2.07
17	0.986	-5.499	-	-	10.35	6.67

ตารางที่ 16 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
18	0.979	-5.435	-	-	3.68	1.03
19	0.974	-6.002	-	-	10.93	3.91
20	0.977	-5.935	-	-	2.53	0.81
21	0.978	-5.768	-	-	20.13	12.88
22	0.980	-5.674	-	-	-	-
23	1.000	-2.394	34.39	-0.85	3.68	1.84
24	0.974	-5.171	-	-	10.01	7.71
25	0.975	-6.650	-	-	-	-
26	0.954	-7.178	-	-	4.03	2.65
27	0.987	-7.225	-	-	-	-
28	1.030	-4.093	-	-	-	-
29	0.963	-8.754	-	-	2.76	1.03
30	0.949	-9.860	-	-	12.19	2.19
		รวม	331.09	144.20	325.91	145.13

จากตารางที่ 16 เมื่อใช้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ 35.03 MW จะเห็นได้ว่าในสภาวะโหลดสูง แรงดันที่บัส 30 ก็มีแรงดันต่ำกว่าขอบเขต และเมื่อตรวจสอบกำลังไฟฟ้าในสายส่ง ได้ผลดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อ
ที่บัส 23 ที่กำลังการผลิต 34.39 MW ในสภาวะโหลดสูง (325.91 MW 145.13 MVar)

Line	From To		From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	41.62	-14.80	44.17	-41.29	12.890	43.26
2	1	3	26.83	0.25	26.83	-26.53	-1.260	26.56
3	2	4	19.54	2.48	19.70	-19.34	-3.860	19.72
4	3	4	23.77	-0.12	23.77	-23.70	-0.130	23.70
5	2	5	50.52	-10.67	51.63	-49.39	13.120	51.10
6	2	6	26.27	0.76	26.28	-25.91	-1.680	25.96
7	4	6	29.87	-6.90	30.66	-29.76	6.780	30.52
8	5	7	-11.46	21.49	24.35	11.72	-21.920	24.86
9	6	7	38.32	-9.27	39.43	-37.94	9.390	39.08
10	6	8	2.07	-11.99	12.17	-2.05	12.050	12.22
11	6	9	-1.16	8.26	8.34	1.16	-8.120	8.20
12	6	10	5.37	7.80	9.47	-5.37	-7.330	9.09
13	9	11	-30.00	-15.38	33.71	30.00	17.670	34.82
14	9	10	28.84	23.50	37.20	-28.84	-22.030	36.29
15	4	12	4.43	9.05	10.08	-4.43	-8.810	9.86
16	12	13	-35.34	-14.55	38.22	35.34	16.550	39.02
17	12	14	6.24	3.26	7.04	-6.18	-3.140	6.93
18	12	15	9.41	7.85	12.25	-9.31	-7.660	12.06
19	12	16	11.25	3.62	11.82	-11.12	-3.350	11.61
20	14	15	-0.95	1.30	1.61	0.96	-1.300	1.62
21	16	17	7.09	1.28	7.20	-7.05	-1.180	7.15
22	15	18	11.43	1.91	11.59	-11.28	-1.620	11.40

ตารางที่ 17 (ต่อ)

Line	From	To	From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)
23	18	19	7.60	0.58	7.62	-7.56	-0.500	7.58
24	19	20	-3.36	-3.41	4.79	3.37	3.420	4.80
25	10	20	5.95	4.34	7.36	-5.90	-4.230	7.26
26	10	17	3.31	5.53	6.44	-3.30	-5.490	6.41
27	10	21	12.93	11.84	17.53	-12.82	-11.600	17.29
28	10	22	5.34	5.54	7.69	-5.30	-5.450	7.60
29	21	22	-7.30	-1.28	7.41	7.31	1.290	7.42
30	15	23	-12.50	4.17	13.18	12.68	-3.810	13.24
31	22	24	-2.01	4.16	4.62	2.04	-4.120	4.60
32	23	24	18.03	1.12	18.06	-17.60	-0.240	17.60
33	24	25	5.56	-3.30	6.47	-5.48	3.450	6.48
34	25	26	4.09	2.74	4.92	-4.02	-2.640	4.81
35	25	27	1.39	-6.19	6.34	-1.34	6.280	6.42
36	28	27	14.02	11.49	18.13	-14.02	-10.260	17.37
37	27	29	7.15	1.99	7.42	-7.03	-1.750	7.24
38	27	30	8.20	2.00	8.44	-7.97	-1.560	8.12
39	29	30	4.27	0.72	4.33	-4.22	-0.630	4.27
40	8	28	2.98	2.31	3.77	-2.97	-4.560	5.44
41	6	28	11.07	0.09	11.07	-11.05	-6.930	13.04

จากตารางที่ 17 จะเห็นได้ว่ากำลังผลิตที่ 34.39 MW ก็ส่งผลให้สายส่งเส้นที่ 32 มีขนาดกำลังเกินพิกัดเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ากำลังไฟฟ้า 34.39 MW ก็ไม่ใช่กำลังสูงสุดที่แท้จริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่บัส 23 เช่นเดียวกัน โดยไม่ต้องทำการตรวจสอบที่สภาวะโหลดอื่นต่อ

จากตารางที่ 4 เหลือค่าสุดท้ายที่ได้จากการคำนวณที่สภาวะโหลดสูงคือ 29.30 MW ซึ่งจะนำไปตรวจสอบแรงดันและกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่สภาวะโหลดระดับต่ำและกลาง ตามลำดับ สำหรับการตรวจสอบที่สภาวะโหลดระดับต่ำได้ผลดังตารางที่ 18 และ 19

ตารางที่ 18 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าและแรงดันในแต่ละบัสเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ เชื่อมต่อบัส 23 ที่กำลังการผลิต 29.30 MW ในสภาวะโหลดต่ำ (212.55 MW 94.65 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0.00	65.89	-9.93	-	-
2	1.048	-1.31	58.49	21.30	16.27	9.53
3	1.036	-2.42	-	-	1.8	0.9
4	1.033	-2.88	-	-	5.7	1.2
5	1.029	-5.58	19.16	20.86	70.65	14.25
6	1.034	-3.45	-	-	-	-
7	1.026	-4.70	-	-	17.1	8.18
8	1.040	-3.58	23.08	39.19	22.5	22.5
9	1.024	-3.75	-	-	-	-
10	1.006	-5.05	-	-	4.35	1.5
11	1.050	-1.67	18.70	13.38	-	-
12	1.000	-4.70	-	-	8.4	5.63
13	0.994	-4.62	0.99	-4.29	-	-
14	0.994	-4.93	-	-	4.65	1.2
15	0.999	-4.63	-	-	6.15	1.88
16	0.997	-5.09	-	-	2.63	1.35
17	0.999	-5.24	-	-	6.75	4.35
18	0.992	-5.34	-	-	2.4	0.68
19	0.990	-5.61	-	-	7.13	2.55
20	0.993	-5.52	-	-	1.65	0.53

ตารางที่ 18 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
21	0.998	-5.24	-	-	13.13	8.4
22	0.999	-5.17	-	-	-	-
23	1.015	-2.99	29.30	3.26	2.4	1.2
24	0.997	-4.77	-	-	6.53	5.03
25	0.999	-5.55	-	-	-	-
26	0.986	-5.87	-	-	2.63	1.73
27	1.007	-5.82	-	-	-	-
28	1.033	-3.70	-	-	-	-
29	0.992	-6.77	-	-	1.8	0.68
30	0.984	-7.44	-	-	7.95	1.43
		รวม	215.32	82.09	212.55	94.65

จากตารางที่ 18 แรงดันที่เคยต่ำกว่าขอบเขตในบัสที่ 30 รวมถึงแรงดันที่บัสอื่นๆ อยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ (0.95 – 1.05 pu.) ต่อไปจะนำไปตรวจสอบกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อ
ที่บัส 23 ที่กำลังการผลิต 29.30 MW ในสภาวะโหลดต่ำ (212.55 MW 94.65 MVar)

Line	From To		From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	40.56	-10.85	41.99	-40.26	8.85	41.22
2	1	3	25.33	0.92	25.35	-25.06	-2.05	25.14
3	2	4	18.22	2.31	18.37	-18.04	-3.76	18.43
4	3	4	23.26	1.15	23.29	-23.19	-1.41	23.23
5	2	5	40.97	0.65	40.98	-40.25	0.13	40.25
6	2	6	23.28	-0.03	23.28	-23.00	-1.13	23.03
7	4	6	22.76	-9.52	24.67	-22.70	9.28	24.52
8	5	7	-11.24	6.48	12.97	11.31	-7.34	13.48
9	6	7	28.62	0.40	28.62	-28.41	-0.83	28.42
10	6	8	1.51	-14.87	14.95	-1.49	14.96	15.03
11	6	9	2.65	4.96	5.62	-2.65	-4.90	5.57
12	6	10	5.24	5.33	7.47	-5.24	-5.04	7.27
13	9	11	-18.70	-12.38	22.43	18.70	13.38	22.99
14	9	10	21.35	17.28	27.47	-21.35	-16.49	26.98
15	4	12	12.77	13.49	18.58	-12.77	-12.66	17.98
16	12	13	-0.99	4.32	4.43	0.99	-4.29	4.40
17	12	14	2.26	1.43	2.67	-2.25	-1.41	2.66
18	12	15	-0.28	1.32	1.35	0.28	-1.32	1.35
19	12	16	3.38	-0.03	3.38	-3.37	0.06	3.37
20	14	15	-2.40	0.21	2.41	2.41	-0.20	2.42
21	16	17	0.75	-1.41	1.60	-0.75	1.41	1.60

ตารางที่ 19 (ต่อ)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)
22	15	18	5.79	0.34	5.80	-5.76	-0.27	5.77
23	18	19	3.36	-0.40	3.38	-3.35	0.42	3.38
24	19	20	-3.77	-2.97	4.80	3.78	2.99	4.82
25	10	20	5.47	3.60	6.55	-5.43	-3.51	6.47
26	10	17	6.03	5.82	8.38	-6.00	-5.76	8.32
27	10	21	7.72	7.39	10.69	-7.68	-7.30	10.60
28	10	22	3.02	3.42	4.56	-3.01	-3.39	4.53
29	21	22	-5.45	-1.10	5.56	5.45	1.10	5.56
30	15	23	-14.64	-0.70	14.66	14.85	1.13	14.89
31	22	24	-2.44	2.28	3.34	2.46	-2.26	3.34
32	23	24	12.05	0.93	12.09	-11.86	-0.55	11.87
33	24	25	2.88	-2.17	3.61	-2.86	2.22	3.62
34	25	26	2.65	1.76	3.18	-2.62	-1.73	3.14
35	25	27	0.21	-3.98	3.99	-0.19	4.01	4.01
36	28	27	9.72	6.95	11.95	-9.72	-6.42	11.65
37	27	29	4.62	1.21	4.78	-4.57	-1.12	4.71
38	27	30	5.29	1.20	5.42	-5.20	-1.02	5.30
39	29	30	2.77	0.44	2.80	-2.75	-0.40	2.78
40	8	28	2.07	1.73	2.70	-2.06	-4.01	4.51
41	6	28	7.67	-3.98	8.64	-7.66	-2.94	8.20

จากตารางที่ 19 ผลปรากฏว่าสามารถส่งได้โดยไม่เกินขีดจำกัดของสายส่ง ต่อไปจะทำการตรวจสอบที่สถานะโหลดระดับกลาง ได้ผลดังตารางที่ 20 และ 21

ตารางที่ 20 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าและแรงดันในแต่ละบัสเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ
เชื่อมต่อบัส 23 ที่กำลังการผลิต 29.30 MW ในสภาวะโหลดระดับกลาง
(283.40 MW 126.20 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0.000	66.05	-9.73	-	-
2	1.050	-1.307	78.12	37.40	21.7	12.7
3	1.030	-2.473	-	-	2.4	1.2
4	1.025	-2.932	-	-	7.6	1.6
5	1.030	-6.373	34.81	34.54	94.20	19.00
6	1.026	-3.635	-	-	-	-
7	1.020	-5.260	-	-	22.8	10.9
8	1.032	-3.809	29.47	48.32	30.0	30.0
9	1.010	-3.597	-	-	-	-
10	0.983	-5.481	-	-	5.8	2.0
11	1.050	-0.226	30.00	20.88	-	-
12	0.970	-4.118	-	-	11.2	7.5
13	0.950	-2.379	19.98	-13.52	-	-
14	0.962	-4.733	-	-	6.2	1.6
15	0.967	-4.590	-	-	8.2	2.5
16	0.968	-5.036	-	-	3.5	1.8
17	0.972	-5.592	-	-	9.0	5.8
18	0.960	-5.701	-	-	3.2	0.9
19	0.958	-6.142	-	-	9.5	3.4
20	0.964	-6.045	-	-	2.2	0.7
21	0.971	-5.803	-	-	17.5	11.2
22	0.972	-5.729	-	-	-	-
23	0.987	-3.284	29.30	5.94	3.2	1.6

ตารางที่ 20 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
24	0.967	-5.419	-	-	8.7	6.7
25	0.972	-6.551	-	-	-	-
26	0.953	-7.012	-	-	3.5	2.3
27	0.984	-6.947	-	-	-	-
28	1.023	-3.963	-	-	-	-
29	0.964	-8.278	-	-	2.4	0.9
30	0.952	-9.236	-	-	10.6	1.9
		รวม	287.73	123.84	283.40	126.20

จากตารางที่ 20 แรงดันบัสที่ 30 รวมถึงบัสอื่นๆ ก็อยู่ในช่วงที่รับได้ (0.95 – 1.05 pu.)
ต่อไปจะทำการตรวจสอบกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้น ได้ผลดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อ
ที่บัส 23 ที่กำลังการผลิต 29.30 MW ในสภาวะโหลดกลาง (283.40 MW 126.20 MVar)

Line	From To		From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	39.50	-14.15	41.96	-39.20	12.13	41.03
2	1	3	26.54	4.42	26.91	-26.24	-5.39	26.79
3	2	4	20.39	7.59	21.76	-20.14	-8.80	21.98
4	3	4	23.84	4.19	24.21	-23.77	-4.42	24.18
5	2	5	48.44	0.04	48.44	-47.43	1.92	47.47
6	2	6	26.79	4.94	27.24	-26.39	-5.75	27.01
7	4	6	28.27	-10.38	30.12	-28.17	10.26	29.98
8	5	7	-11.96	13.62	18.13	12.11	-14.30	18.74
9	6	7	35.22	-3.47	35.39	-34.91	3.40	35.08
10	6	8	3.19	-15.56	15.88	-3.16	15.66	15.98
11	6	9	-0.33	7.70	7.71	0.33	-7.59	7.60
12	6	10	5.84	8.09	9.98	-5.84	-7.57	9.56
13	9	11	-30.00	-18.36	35.17	30.00	20.88	36.55
14	9	10	29.67	25.95	39.42	-29.67	-24.28	38.34
15	4	12	8.04	22.00	23.42	-8.04	-20.67	22.18
16	12	13	-19.98	14.42	24.64	19.98	-13.52	24.12
17	12	14	4.44	1.08	4.57	-4.41	-1.03	4.53
18	12	15	5.67	-0.53	5.69	-5.65	0.57	5.68
19	12	16	6.71	-1.81	6.95	-6.66	1.91	6.93
20	14	15	-1.79	-0.57	1.88	1.80	0.58	1.89
21	16	17	3.16	-3.71	4.87	-3.14	3.76	4.90

ตารางที่ 21 (ต่อ)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)
22	15	18	8.02	-0.43	8.03	-7.95	0.59	7.97
23	18	19	4.75	-1.49	4.98	-4.73	1.52	4.97
24	19	20	-4.77	-4.92	6.85	4.79	4.96	6.90
25	10	20	7.07	5.84	9.17	-6.99	-5.66	8.99
26	10	17	5.90	9.67	11.33	-5.86	-9.56	11.21
27	10	21	11.76	9.93	15.39	-11.67	-9.75	15.21
28	10	22	4.98	4.58	6.77	-4.95	-4.51	6.70
29	21	22	-5.83	-1.45	6.01	5.83	1.46	6.01
30	15	23	-12.37	-3.22	12.78	12.54	3.57	13.04
31	22	24	-0.88	3.05	3.17	0.90	-3.03	3.16
32	23	24	13.56	0.77	13.58	-13.31	-0.26	13.31
33	24	25	3.71	-3.37	5.01	-3.66	3.46	5.04
34	25	26	3.55	2.37	4.27	-3.50	-2.30	4.19
35	25	27	0.11	-5.83	5.83	-0.07	5.91	5.91
36	28	27	13.23	10.35	16.80	-13.23	-9.28	16.16
37	27	29	6.20	1.69	6.43	-6.11	-1.51	6.29
38	27	30	7.11	1.69	7.31	-6.93	-1.36	7.06
39	29	30	3.71	0.61	3.76	-3.67	-0.54	3.71
40	8	28	2.63	2.66	3.74	-2.62	-4.88	5.54
41	6	28	10.63	-1.28	10.71	-10.62	-5.47	11.95

จากตารางที่ 21 กำลังไฟฟ้าในสายส่งที่อยู่ในพิกัดที่รับได้เช่นเดียวกัน เมื่อทำการตรวจสอบครบทุกสถานะโหลดแล้วจึงสรุปได้ว่า ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริงที่ระบบจะรับเข้ามาได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเมื่อเชื่อมต่อที่บัส 23 มีค่าเท่ากับ 29.30 MW

3.3 กรณีเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่บัส 10 ของระบบส่งไฟฟ้า

จากตารางที่ 5 จะเริ่มทำการตรวจสอบจากค่าสูงสุดก่อนเช่นเดียวกันคือค่า 108.93 MW ซึ่งได้จากสถานะโหลดระดับต่ำ โดยจะเริ่มด้วยการตรวจสอบที่โหลดระดับกลางก่อน ได้ผลของแรงดันและกำลังไฟฟ้าในสายส่งดังตารางที่ 22 และ 23 ตามลำดับ

ตารางที่ 22 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าและแรงดันในแต่ละบัสเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 10 ที่กำลังการผลิต 108.93 MW ในสถานะโหลดระดับกลาง (283.40 MW 126.20 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0.000	36.72	-7.60	-	-
2	1.050	-0.855	59.16	18.56	21.7	12.7
3	1.039	-0.981	-	-	2.4	1.2
4	1.037	-1.128	-	-	7.6	1.6
5	1.050	-6.151	19.85	56.49	94.20	19.00
6	1.037	-1.544	-	-	-	-
7	1.034	-3.923	-	-	22.8	10.9
8	1.042	-1.804	23.56	48.39	30.0	30.0
9	0.999	1.292	-	-	-	-
10	0.991	2.861	108.93	-1.06	5.8	2.0
11	0.978	1.292	0.00	-9.83	-	-
12	1.005	0.552	-	-	11.2	7.5
13	1.030	3.652	40.00	19.13	-	-
14	0.989	-0.178	-	-	6.2	1.6
15	0.984	0.007	-	-	8.2	2.5
16	0.992	1.213	-	-	3.5	1.8
17	0.986	2.133	-	-	9.0	5.8

ตารางที่ 22 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
18	0.974	0.236	-	-	3.2	0.9
19	0.971	0.590	-	-	9.5	3.4
20	0.975	1.098	-	-	2.2	0.7
21	0.978	2.007	-	-	17.5	11.2
22	0.978	1.907	-	-	-	-
23	0.971	-0.191	-	-	3.2	1.6
24	0.962	-0.066	-	-	8.7	6.7
25	0.967	-2.510	-	-	-	-
26	0.949	-2.975	-	-	3.5	2.3
27	0.982	-3.697	-	-	-	-
28	1.033	-1.752	-	-	-	-
29	0.961	-5.036	-	-	2.4	0.9
30	0.949	-5.999	-	-	10.6	1.9
		รวม	288.22	124.08	283.40	126.20

จากตารางที่ 22 จะเห็นได้ว่า กำลังการผลิตที่ 108.93 MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่ บัส 10 นั้นส่งผลให้บัสที่ 30 ของระบบมีแรงดัน 0.949 ซึ่งต่ำกว่าขอบเขตที่กำหนด (0.95 – 1.05 pu.) ต่อไปเมื่อตรวจสอบกำลังไฟฟ้าในสายส่ง ได้ผลดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อ
ที่บัส 10 ที่กำลังการผลิต 108.93 MW ในสภาวะโหลดกลาง (283.4 MW 126.2 MVar)

Line	From To		From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	25.80	-9.86	27.62	-25.68	7.33	26.71
2	1	3	10.91	2.26	11.14	-10.86	-4.27	11.67
3	2	4	4.99	5.08	7.12	-4.95	-6.99	8.57
4	3	4	8.46	3.07	9.00	-8.45	-3.49	9.14
5	2	5	49.10	-10.47	50.20	-48.03	12.65	49.67
6	2	6	9.05	3.91	9.86	-9.00	-5.77	10.69
7	4	6	17.74	-4.16	18.22	-17.71	3.80	18.11
8	5	7	-26.32	24.83	36.18	26.88	-24.51	36.38
9	6	7	50.35	-12.64	51.91	-49.68	13.61	51.51
10	6	8	7.40	-14.99	16.72	-7.37	15.10	16.80
11	6	9	-24.63	19.48	31.40	24.63	-17.57	30.25
12	6	10	-14.19	9.08	16.85	14.19	-7.61	16.10
13	9	11	0.00	10.04	10.04	0.00	-9.83	9.83
14	9	10	-24.63	7.53	25.76	24.63	-6.79	25.55
15	4	12	-11.94	13.04	17.68	11.94	-12.29	17.13
16	12	13	-40.00	-16.54	43.28	40.00	19.13	44.34
17	12	14	6.63	3.49	7.49	-6.56	-3.35	7.37
18	12	15	12.36	10.13	15.98	-12.19	-9.80	15.64
19	12	16	-2.13	7.71	8.00	2.19	-7.58	7.89
20	14	15	0.36	1.75	1.79	-0.35	-1.74	1.77
21	16	17	-5.69	5.78	8.11	5.74	-5.65	8.05
22	15	18	0.46	4.50	4.52	-0.44	-4.45	4.47

ตารางที่ 23 (ต่อ)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)
23	18	19	-2.76	3.55	4.50	2.78	-3.53	4.49
24	19	20	-12.28	0.13	12.28	12.33	-0.02	12.33
25	10	20	14.74	1.15	14.78	-14.53	-0.68	14.55
26	10	17	14.82	0.34	14.82	-14.74	-0.15	14.74
27	10	21	22.65	7.30	23.80	-22.45	-6.87	23.48
28	10	22	12.09	2.75	12.40	-11.98	-2.52	12.24
29	21	22	4.95	-4.33	6.58	-4.95	4.34	6.58
30	15	23	3.89	4.54	5.98	-3.85	-4.47	5.90
31	22	24	16.93	-1.83	17.03	-16.58	2.37	16.75
32	23	24	0.65	2.87	2.94	-0.64	-2.85	2.92
33	24	25	8.52	-6.18	10.53	-8.29	6.58	10.58
34	25	26	3.55	2.37	4.27	-3.50	-2.30	4.19
35	25	27	4.74	-8.95	10.13	-4.62	9.18	10.28
36	28	27	8.69	13.52	16.07	-8.69	-12.56	15.27
37	27	29	6.20	1.69	6.43	-6.11	-1.51	6.29
38	27	30	7.11	1.69	7.31	-6.93	-1.36	7.06
39	29	30	3.71	0.61	3.76	-3.67	-0.54	3.71
40	8	28	0.93	3.29	3.42	-0.92	-5.56	5.64
41	6	28	7.78	1.05	7.85	-7.77	-7.96	11.12

จากตารางที่ 23 พบว่า นอกจากระบบจะมีแรงดันต่ำกว่าพิกัดแล้ว กำลังการผลิตที่ 108.93 MW ยังทำให้สายส่งเส้นที่ 31 มีกำลังไฟฟ้าเกินพิกัด (16 MVA) อีกด้วย จึงสรุปได้ว่ากำลังไฟฟ้า 108.93 MW ไม่ใช่กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริง โดยไม่ต้องตรวจสอบที่โหลดระดับอื่นต่อ

จากตารางที่ 5 เมื่อค่าสูงสุดที่ 108.93 MW ไม่ใช่กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถจ่ายเข้าสู่ระบบ ในทุกสภาวะโหลดได้ ต่อไปจะนำค่าสูงสุดรองลงมาคือ 100.84 MW มาตรวจสอบแรงดันและกำลังไฟฟ้าในสายส่ง โดยจะเริ่มจากสภาวะ โหลดสูงเช่นเดียวกัน ได้ผลดังตารางที่ 24 และ 25

ตารางที่ 24 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าและแรงดันในแต่ละบัสเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ เชื่อมต่อบัส 10 ที่กำลังการผลิต 100.84 MW ในสภาวะโหลดสูง (325.91 MW 145.13 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0.000	49.66	-12.27	-	-
2	1.050	-1.042	76.38	13.55	24.95	14.61
3	1.042	-1.755	-	-	2.76	1.38
4	1.040	-2.062	-	-	8.74	1.84
5	1.050	-6.834	33.34	58.57	108.33	21.85
6	1.040	-2.598	-	-	-	-
7	1.035	-4.895	-	-	26.22	12.54
8	1.044	-2.790	31.02	48.26	34.5	34.5
9	1.027	-0.749	-	-	-	-
10	1.008	0.260	100.84	-1.46	6.67	2.3
11	1.050	-0.749	0.00	11.69	-	-
12	1.019	-1.500	-	-	12.88	8.63
13	1.050	1.499	40.00	24.04	-	-
14	1.001	-2.381	-	-	7.13	1.84
15	0.996	-2.252	-	-	9.43	2.88
16	1.006	-1.106	-	-	4.03	2.07
17	1.001	-0.409	-	-	10.35	6.67
18	0.986	-2.234	-	-	3.68	1.03
19	0.983	-1.980	-	-	10.93	3.91
20	0.989	-1.487	-	-	2.53	0.81

ตารางที่ 24 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
21	0.992	-0.598	-	-	20.13	12.88
22	0.992	-0.680	-	-	-	-
23	0.981	-2.530	-	-	3.68	1.84
24	0.972	-2.465	-	-	10.01	7.71
25	0.974	-4.564	-	-	-	-
26	0.952	-5.094	-	-	4.03	2.65
27	0.987	-5.514	-	-	-	-
28	1.036	-2.872	-	-	-	-
29	0.963	-7.043	-	-	2.76	1.03
30	0.949	-8.149	-	-	12.19	2.19
		รวม	331.35	142.40	325.91	145.13

จากตารางที่ 24 เมื่อใช้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ 100.84 MW จะเห็นว่าในสถานะโหลดสูง แรงดันที่บัส 30 ก็มีแรงดันต่ำกว่าขอบเขต และเมื่อตรวจสอบกำลังไฟฟ้าในสายส่ง ได้ผลดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อ
ที่บัส 10 ที่กำลังการผลิต 100.84 MW ในสภาวะโหลดสูง (325.91 MW 145.13 MVar)

Line	From To		From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	31.45	-11.64	33.53	-31.26	9.30	32.61
2	1	3	18.20	-0.63	18.21	-18.07	-1.04	18.10
3	2	4	11.95	1.27	12.02	-11.87	-3.05	12.26
4	3	4	15.31	-0.34	15.31	-15.28	-0.03	15.28
5	2	5	53.74	-11.11	54.88	-52.46	14.17	54.34
6	2	6	17.00	-0.52	17.01	-16.85	-1.06	16.88
7	4	6	22.47	-7.13	23.57	-22.41	6.86	23.44
8	5	7	-22.53	22.55	31.88	22.96	-22.54	32.17
9	6	7	49.81	-9.14	50.64	-49.18	10.00	50.19
10	6	8	5.45	-11.16	12.42	-5.44	11.22	12.47
11	6	9	-16.57	6.91	17.95	16.57	-6.29	17.72
12	6	10	-9.40	6.24	11.28	9.40	-5.59	10.94
13	9	11	0.00	-11.44	11.44	0.00	11.69	11.69
14	9	10	-16.57	17.73	24.27	16.57	-17.11	23.82
15	4	12	-4.06	8.37	9.30	4.06	-8.17	9.12
16	12	13	-40.00	-21.28	45.31	40.00	24.04	46.67
17	12	14	7.89	3.65	8.69	-7.80	-3.46	8.53
18	12	15	15.50	10.40	18.67	-15.28	-9.97	18.24
19	12	16	-0.33	6.77	6.78	0.37	-6.68	6.69
20	14	15	0.67	1.62	1.75	-0.66	-1.62	1.75
21	16	17	-4.40	4.61	6.37	4.43	-4.53	6.34

ตารางที่ 25 (ต่อ)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
22	15	18	1.76	3.87	4.25	-1.74	-3.83	4.21
23	18	19	-1.94	2.79	3.40	1.95	-2.78	3.40
24	19	20	-12.87	-1.13	12.92	12.93	1.25	12.99
25	10	20	15.69	2.58	15.90	-15.46	-2.06	15.60
26	10	17	14.85	2.33	15.03	-14.78	-2.14	14.93
27	10	21	24.65	10.01	26.60	-24.41	-9.48	26.19
28	10	22	13.00	4.23	13.67	-12.86	-3.95	13.45
29	21	22	4.28	-3.40	5.47	-4.28	3.40	5.47
30	15	23	4.75	4.84	6.78	-4.70	-4.75	6.68
31	22	24	17.14	0.55	17.15	-16.80	-0.01	16.80
32	23	24	1.02	2.91	3.08	-1.01	-2.88	3.05
33	24	25	7.80	-4.77	9.14	-7.64	5.06	9.16
34	25	26	4.09	2.74	4.92	-4.03	-2.65	4.82
35	25	27	3.55	-7.80	8.57	-3.46	7.96	8.68
36	28	27	11.90	13.11	17.71	-11.90	-11.95	16.86
37	27	29	7.16	1.99	7.43	-7.03	-1.75	7.24
38	27	30	8.20	2.00	8.44	-7.97	-1.56	8.12
39	29	30	4.27	0.72	4.33	-4.22	-0.63	4.27
40	8	28	1.96	2.54	3.21	-1.95	-4.82	5.20
41	6	28	9.97	1.35	10.06	-9.95	-8.29	12.95

จากตารางที่ 25 พบว่านอกจากระบบจะมีแรงดันต่ำกว่าพิกัดแล้ว กำลังการผลิตที่ 100.84 MW ยังทำให้สายส่งเส้นที่ 31 มีกำลังไฟฟ้าเกินพิกัดอีกด้วย กำลังไฟฟ้า 100.84 MW จึงไม่ใช่กำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 10 เช่นเดียวกัน

จากตารางที่ 5 เหลือค่าสุดท้ายที่ได้จากการคำนวณที่สภาวะโหลดสูงคือ 91.10 MW ซึ่งจะนำไปตรวจสอบแรงดันและกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่สภาวะโหลดระดับต่ำและกลาง ตามลำดับ สำหรับการตรวจสอบที่สภาวะโหลดระดับต่ำได้ผลดังตารางที่ 26 และ 27

ตารางที่ 26 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าและแรงดันในแต่ละบัสเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 10 ที่กำลังการผลิต 91.10 MW ในสภาวะโหลดต่ำ (212.55 MW 94.65 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0.000	40.65	-7.22	-	-
2	1.050	-1.051	33.80	28.79	16.27	9.53
3	1.036	-0.736	-	-	1.8	0.9
4	1.033	-0.838	-	-	5.7	1.2
5	1.041	-5.637	0.66	39.33	70.65	14.25
6	1.036	-1.298	-	-	-	-
7	1.032	-3.447	-	-	17.1	8.18
8	1.044	-1.604	15.75	49.98	22.5	22.5
9	0.994	1.350	-	-	-	-
10	0.984	2.823	91.10	1.18	4.35	1.5
11	0.972	1.350	0.00	-10.15	-	-
12	0.969	1.425	-	-	8.4	5.63
13	0.950	4.408	34.20	-11.73	-	-
14	0.959	0.822	-	-	4.65	1.2
15	0.959	0.865	-	-	6.15	1.88
16	0.970	1.763	-	-	2.63	1.35
17	0.976	2.323	-	-	6.75	4.35
18	0.958	0.959	-	-	2.4	0.68
19	0.960	1.181	-	-	7.13	2.55
20	0.966	1.543	-	-	1.65	0.53

ตารางที่ 26 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
21	0.973	2.157	-	-	13.13	8.4
22	0.974	2.075	-	-	-	-
23	0.956	0.586	-	-	2.4	1.2
24	0.959	0.519	-	-	6.53	5.03
25	0.970	-1.692	-	-	-	-
26	0.957	-2.037	-	-	2.63	1.73
27	0.986	-2.794	-	-	-	-
28	1.033	-1.457	-	-	-	-
29	0.970	-3.784	-	-	1.8	0.68
30	0.962	-4.491	-	-	7.95	1.43
		รวม	216.16	90.18	212.55	94.65

จากตารางที่ 26 แรงดันอยู่ในช่วงที่รับได้ (0.95 – 1.05 pu.) ต่อไปจะทำการตรวจสอบกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้น ได้ผลดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อที่บัส 10 ที่กำลังการผลิต 91.10 MW ในสภาวะโหลดต่ำ (212.55 MW 94.65 MVar)

Line	From To		From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	31.73	-11.73	33.83	-31.54	9.40	32.91
2	1	3	8.93	4.51	10.00	-8.88	-6.54	11.03
3	2	4	0.91	8.81	8.86	-0.86	-10.65	10.68
4	3	4	7.08	5.64	9.05	-7.07	-6.06	9.31
5	2	5	43.18	-4.90	43.46	-42.38	6.00	42.80
6	2	6	4.97	5.96	7.76	-4.93	-7.87	9.29
7	4	6	17.67	-10.89	20.76	-17.62	10.57	20.55
8	5	7	-27.61	19.09	33.57	28.10	-18.93	33.88
9	6	7	45.74	-10.16	46.85	-45.20	10.76	46.46
10	6	8	7.19	-22.90	24.00	-7.13	23.13	24.20
11	6	9	-22.86	21.34	31.27	22.86	-19.45	30.01
12	6	10	-13.17	10.07	16.58	13.17	-8.65	15.76
13	9	11	0.00	10.38	10.38	0.00	-10.15	10.15
14	9	10	-22.86	9.07	24.59	22.86	-8.40	24.35
15	4	12	-15.44	26.40	30.58	15.44	-24.16	28.67
16	12	13	-34.20	13.76	36.86	34.20	-11.73	36.16
17	12	14	4.50	1.41	4.72	-4.47	-1.35	4.67
18	12	15	8.34	2.72	8.77	-8.29	-2.61	8.69
19	12	16	-2.49	0.64	2.57	2.49	-0.62	2.57
20	14	15	-0.18	0.15	0.23	0.18	-0.15	0.23
21	16	17	-5.12	-0.73	5.17	5.14	0.78	5.20

ตารางที่ 27 (ต่อ)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)
22	15	18	-0.38	0.63	0.74	0.38	-0.63	0.74
23	18	19	-2.78	-0.04	2.78	2.78	0.06	2.78
24	19	20	-9.91	-2.61	10.25	9.95	2.68	10.30
25	10	20	11.74	3.53	12.26	-11.60	-3.21	12.04
26	10	17	11.95	5.28	13.06	-11.89	-5.13	12.95
27	10	21	17.57	5.81	18.51	-17.45	-5.54	18.31
28	10	22	9.46	2.29	9.73	-9.39	-2.14	9.63
29	21	22	4.33	-2.86	5.19	-4.32	2.86	5.18
30	15	23	2.34	0.26	2.35	-2.33	-0.25	2.34
31	22	24	13.71	-0.72	13.73	-13.48	1.08	13.52
32	23	24	-0.07	-0.95	0.95	0.07	0.96	0.96
33	24	25	6.89	-7.02	9.84	-6.69	7.36	9.95
34	25	26	2.65	1.77	3.19	-2.62	-1.73	3.14
35	25	27	4.04	-9.13	9.98	-3.92	9.35	10.14
36	28	27	6.00	12.48	13.85	-6.00	-11.77	13.21
37	27	29	4.62	1.22	4.78	-4.57	-1.12	4.71
38	27	30	5.30	1.20	5.43	-5.20	-1.02	5.30
39	29	30	2.77	0.44	2.80	-2.75	-0.40	2.78
40	8	28	0.38	4.35	4.37	-0.36	-6.60	6.61
41	6	28	5.65	-1.06	5.75	-5.64	-5.88	8.15

จากตารางที่ 27 ผลปรากฏว่าสามารถส่งได้โดยไม่เกินขีดจำกัดของสายส่ง ต่อไปจะทำการตรวจสอบที่สถานะโหลดระดับกลาง ได้ผลดังตารางที่ 28 และ 29

ตารางที่ 28 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าและแรงดันในแต่ละบัสเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ
เชื่อมต่อบัส 10 ที่กำลังการผลิต 91.10 MW ในสภาวะโหลดระดับกลาง
(283.40 MW 126.20 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0.000	54.57	-12.41	-	-
2	1.050	-1.238	59.16	20.16	21.7	12.7
3	1.039	-1.616	-	-	2.4	1.2
4	1.037	-1.898	-	-	7.6	1.6
5	1.050	-6.788	19.85	56.58	94.20	19.00
6	1.036	-2.444	-	-	-	-
7	1.034	-4.716	-	-	22.8	10.9
8	1.042	-2.721	23.56	50.09	30.0	30.0
9	0.999	-0.451	-	-	-	-
10	0.991	0.651	91.10	0.29	5.8	2.0
11	0.978	-0.451	0.00	-9.88	-	-
12	1.007	-0.869	-	-	11.2	7.5
13	1.030	2.226	40.00	18.06	-	-
14	0.990	-1.674	-	-	6.2	1.6
15	0.985	-1.568	-	-	8.2	2.5
16	0.993	-0.537	-	-	3.5	1.8
17	0.986	0.062	-	-	9.0	5.8
18	0.975	-1.561	-	-	3.2	0.9
19	0.971	-1.341	-	-	9.5	3.4
20	0.976	-0.903	-	-	2.2	0.7
21	0.978	-0.134	-	-	17.5	11.2
22	0.978	-0.212	-	-	-	-
23	0.972	-1.870	-	-	3.2	1.6

ตารางที่ 28 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
24	0.963	-1.888	-	-	8.7	6.7
25	0.970	-3.971	-	-	-	-
26	0.951	-4.434	-	-	3.5	2.3
27	0.984	-4.939	-	-	-	-
28	1.033	-2.695	-	-	-	-
29	0.963	-6.271	-	-	2.4	0.9
30	0.951	-7.231	-	-	10.6	1.9
		รวม	288.24	122.89	283.40	126.20

จากตารางที่ 28 แรงดันก็อยู่ในช่วงที่รับได้ (0.95 – 1.05 pu.) ต่อไปจะทำการตรวจสอบกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้น ได้ผลดังตารางที่ 29

ตารางที่ 29 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อ
ที่บัส 10 ที่กำลังการผลิต 91.10 MW ในสภาวะโหลดกลาง (283.40 MW 126.20 MVar)

Line	From To		From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	37.41	-13.50	39.77	-37.15	11.40	38.86
2	1	3	17.15	1.09	17.18	-17.03	-2.81	17.26
3	2	4	8.92	4.19	9.86	-8.87	-6.03	10.73
4	3	4	14.63	1.61	14.72	-14.60	-1.99	14.73
5	2	5	51.47	-10.80	52.59	-50.30	13.43	52.06
6	2	6	14.21	2.67	14.46	-14.09	-4.36	14.75
7	4	6	23.19	-5.67	23.87	-23.13	5.41	23.75
8	5	7	-24.05	24.15	34.08	24.55	-23.99	34.33
9	6	7	47.95	-12.30	49.50	-47.35	13.09	49.13
10	6	8	7.68	-16.57	18.26	-7.64	16.70	18.36
11	6	9	-17.31	18.81	25.56	17.31	-17.54	24.64
12	6	10	-9.97	8.69	13.23	9.97	-7.78	12.65
13	9	11	0.00	10.09	10.09	0.00	-9.88	9.88
14	9	10	-17.31	7.45	18.85	17.31	-7.05	18.69
15	4	12	-7.32	12.09	14.13	7.32	-11.61	13.72
16	12	13	-40.00	-15.52	42.91	40.00	18.06	43.89
17	12	14	7.04	3.26	7.76	-6.96	-3.11	7.62
18	12	15	14.10	9.51	17.01	-13.91	-9.14	16.64
19	12	16	0.35	6.86	6.87	-0.30	-6.77	6.78
20	14	15	0.76	1.51	1.69	-0.76	-1.50	1.68
21	16	17	-3.20	4.97	5.91	3.23	-4.90	5.87
22	15	18	1.89	3.96	4.39	-1.87	-3.91	4.33

ตารางที่ 29 (ต่อ)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVA _r)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVA _r)	S (MVA)
23	18	19	-1.33	3.01	3.29	1.34	-3.00	3.29
24	19	20	-10.84	-0.40	10.85	10.88	0.49	10.89
25	10	20	13.25	1.56	13.34	-13.08	-1.19	13.13
26	10	17	12.28	1.03	12.32	-12.23	-0.90	12.26
27	10	21	21.29	7.69	22.64	-21.11	-7.30	22.34
28	10	22	11.20	3.03	11.60	-11.10	-2.82	11.45
29	21	22	3.61	-3.90	5.31	-3.60	3.90	5.31
30	15	23	4.57	4.19	6.20	-4.54	-4.11	6.12
31	22	24	14.71	-1.08	14.75	-14.45	1.49	14.53
32	23	24	1.34	2.51	2.85	-1.32	-2.48	2.81
33	24	25	7.07	-5.67	9.06	-6.90	5.96	9.12
34	25	26	3.55	2.37	4.27	-3.50	-2.30	4.19
35	25	27	3.35	-8.33	8.98	-3.26	8.51	9.11
36	28	27	10.05	12.88	16.34	-10.05	-11.89	15.57
37	27	29	6.20	1.69	6.43	-6.11	-1.51	6.29
38	27	30	7.11	1.69	7.31	-6.93	-1.36	7.06
39	29	30	3.71	0.61	3.76	-3.67	-0.54	3.71
40	8	28	1.20	3.39	3.60	-1.19	-5.66	5.78
41	6	28	8.87	0.32	8.88	-8.86	-7.22	11.43

จากตารางที่ 29 กำลังไฟฟ้าในสายส่งที่อยู่ในพิกัดที่รับได้เช่นเดียวกัน เมื่อทำการตรวจสอบครบทุกสถานะ โหลดแล้วจึงสรุปได้ว่า ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริงที่ระบบจะรับเข้ามาได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเมื่อเชื่อมต่อที่บัส 10 มีค่าเท่ากับ 91.10 MW

สรุปผลงานวิจัย

เนื่องจากทุกวันนี้อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ขยายตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงต้องมีการจัดหากำลังไฟฟ้าเข้ามาสู่ระบบเพื่อตอบสนองให้เพียงพอต่อความต้องการ และเนื่องจากปัจจุบันมีผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการรับซื้อกำลังไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระเหล่านี้จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถทำได้ และมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการสร้างหรือขยายโรงไฟฟ้าใหม่ แต่การจะรับซื้อกำลังไฟฟ้าเหล่านี้เข้ามา ผู้ดูแลโครงข่ายระบบส่งไฟฟ้าจะต้องพิจารณาไม่ให้เกิดผลกระทบต่อความมั่นคง หรือข้อจำกัดต่างๆ ของระบบ ซึ่งหลักๆ ก็คือ ปริมาณแรงดัน และความคับคั่งในสายส่ง ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ระบบจะรับกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเข้ามาได้

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการหาขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระสามารถส่งเข้ามาในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าได้ โดยเริ่มจากผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระแจ้งความจำนงขอจ่ายหรือขายกำลังไฟฟ้าเข้ามาในระบบส่งที่บริเวณใดบริเวณหนึ่ง เมื่อกำหนดตำแหน่งที่จะเชื่อมต่อในระบบได้แล้ว โปรแกรมจะสามารถวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม (OPF) และคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระนั้นๆ ได้ และมีการคำนึงถึงกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดของระบบด้วย ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณในงานวิจัยนี้จะเป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระสามารถจ่ายได้จริง โดยที่ระบบส่งไฟฟ้ายังคงมีความมั่นคง กล่าวคือสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดทั้งหมดของระบบได้ตามปกติ

จากผลการศึกษา หากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้าที่บัสที่อยู่ในพื้นที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบอยู่เป็นจำนวนมากจะสามารถส่งกำลังไฟฟ้าเข้ามาได้สูงกว่าพื้นที่อื่นๆ เนื่องจาก โครงข่ายสายส่งในพื้นที่ 1 นี้มีขนาดพิกัดสายที่สูงมาก แต่ก็ยังมีบางบัสในพื้นที่อื่นที่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้สูงเช่นเดียวกัน เช่น บัสที่ 10 ในพื้นที่ 3, บัสที่ 12 ในพื้นที่ 2 เป็นต้น เนื่องจากเป็นบัสที่มีสายส่งเชื่อมต่ออยู่เป็นจำนวนมาก กล่าวคือ กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระที่ระบบสามารถรับเข้ามาได้มีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่เชื่อมต่อกับระบบและทิศทาง

ในการไหลของกำลังไฟฟ้าที่บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระ หากทิศทางการไหลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระไปในทิศทางเดียวกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบ เมื่อโหลดปรับตัวสูงขึ้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระจะสามารถส่งกำลังการผลิตได้มากขึ้นตามไปด้วย ในทางกลับกัน หากทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระมีทิศสวนทางกับการไหลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบ เมื่อโหลดสูงขึ้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระจะส่งกำลังไฟฟ้าได้น้อยลง เนื่องจากจะมีกำลังไฟฟ้าไหลมาจากทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบมากขึ้น กล่าวคือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระจะจ่ายได้ในแต่ละบัสนั้น ไม่จำเป็นว่าจะต้องมาจากที่สภาวะโหลดระดับเดียวกัน ซึ่งผลจากการศึกษาทำให้ทราบว่า ค่ากำลังสูงสุดที่ได้จากการคำนวณทั้ง 3 ระดับโหลดนั้น จะต้องเลือกค่าที่ต่ำที่สุดซึ่งเป็นค่ากำลังที่จ่ายเข้าสู่ระบบแล้วไม่เกินข้อจำกัดทางไฟฟ้าของระบบทุกสภาวะโหลด หรือกล่าวคือเป็นกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริงที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระจะจ่ายเข้าสู่ระบบได้ โดยที่ระบบส่งไฟฟ้ายังคงมีความมั่นคง

สำหรับงานในอนาคตคาดว่าจะศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับเสถียรภาพของระบบส่งไฟฟ้าอันมีผลมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระซึ่งเชื่อมต่อเข้ามาในระบบ โดยจะคิดในกรณีสายส่งเกิดปัญหาหลุดทีละ 1 เส้น (N-1 Contingency)

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

Dale, L. 2002. Distributed Generation and Transmission. **IEEE Power Engineering Society Winter Meeting**, 2002 (1): 132-134

Didsayabutra, P., W. Lee and B. Eua-Arporn. 2002. Defining the Must-Run and Must-Take Units in a Deregulated Market. **IEEE Transactions on Industry Applications**, 2002 (38): 596-601

Griffin, T., K. Tomsovic and D. Secrest. 2000. Placement of Dispersed Generations Systems for Reduced Losses. **Hawaii International Conference on System Sciences**, 2000.

Harrison, G.P. and A.R. Wallace. 2003. Maximising Distributed Generation Capacity in Deregulated Markets. **IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition**, 2003 (2): 527-530

Kato, T., H. Horibe, N. Hayakawa, Y. Suzuoki and Y. Kaya. 1998. Economic Evaluation of Independent Power Producers (IPP's) Viewed from Total Generating Costs of Electric Power Systems. **1998 International Conference on Energy Management and Power Delivery**, 1998 (1): 229-234

Meyer, B. 2007. Distributed Generation: towards an effective contribution to power system security. **IEEE Power Engineering Society General Meeting**, 2007 : 1-6

Nakashima, T., T. Niimura, K. Okada, R. Yokoyama and N. Okada. 1998. Multiple-Impact Assessment of Wheeling and Independent Power Producers (IPP) In a De-Regulated Power System. **IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering**, 1998 (1): 89-92

Paska, J. 2006. Distributed Generation and Renewable Energy Sources in Poland. 9th

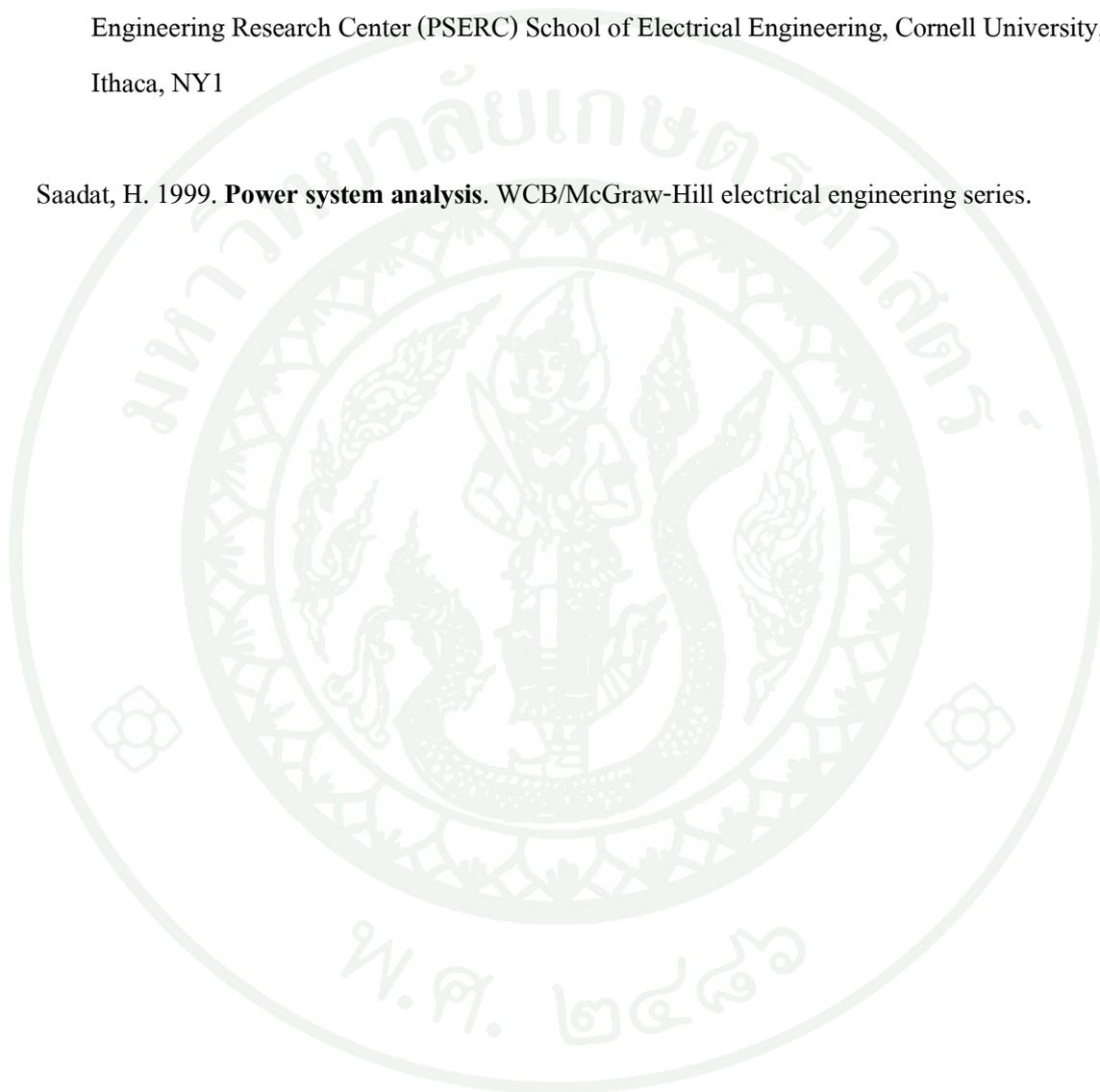
International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation, 2007 : 1-6

Zimmerman, R.D., E. Carlos and M. Sanchez. 1997-2007. **MATPOWER**. Power System

Engineering Research Center (PSERC) School of Electrical Engineering, Cornell University,

Ithaca, NY1

Saadat, H. 1999. **Power system analysis**. WCB/McGraw-Hill electrical engineering series.





ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ข้อมูลของบัสในระบบจำลอง IEEE 30bus

Bus No.	Bus Type	Load		Shunt	Shunt	Voltage		Rating	
		P (pu)	Q (pu)	conductance (Gs)	susceptance (Bs)	(pu)	(degree)	Vmax (pu)	Vmin (pu)
1	Ref	0	0	0	0	1.050	0	1.05	0.95
2	Gen	21.7	12.7	0	0	1.047	-1.824	1.05	0.95
3	Load	2.4	1.2	0	0	1.026	-4.085	1.05	0.95
4	Load	7.6	1.6	0	0	1.020	-5.767	1.05	0.95
5	Gen	94.2	19.0	0	0.19	1.037	-4.838	1.05	0.95
6	Load	0	0	0	0	1.018	-6.706	1.05	0.95
7	Load	22.8	10.9	0	0	1.017	-6.429	1.05	0.95
8	Gen	30.0	30.0	0	0	1.022	-7.510	1.05	0.95
9	Load	0	0	0	0	1.013	-10.052	1.05	0.95
10	Load	5.8	2.0	0	0	0.993	-11.866	1.05	0.95
11	Gen	0	0	0	0	1.050	-10.052	1.05	0.95
12	Load	11.2	7.5	0	0	1.012	-11.654	1.05	0.95
13	Gen	0	0	0	0	1.045	-11.654	1.05	0.95
14	Load	6.2	1.6	0	0	0.996	-12.554	1.05	0.95
15	Load	8.2	2.5	0	0	0.990	-12.552	1.05	0.95
16	Load	3.5	1.8	0	0	0.997	-12.041	1.05	0.95
17	Load	9.0	5.8	0	0	0.988	-12.147	1.05	0.95
18	Load	3.2	0.9	0	0	0.978	-13.077	1.05	0.95
19	Load	9.5	3.4	0	0	0.974	-13.178	1.05	0.95
20	Load	2.2	0.7	0	0	0.978	-12.912	1.05	0.95
21	Load	17.5	11.2	0	0	0.979	-12.347	1.05	0.95
22	Load	0	0	0	0	0.980	-12.328	1.05	0.95
23	Load	3.2	1.6	0	0	0.977	-12.275	1.05	0.95
24	Load	8.7	6.7	0	0.04	0.967	-12.690	1.05	0.95
25	Load	0	0	0	0	0.974	-12.275	1.05	0.95

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Bus No.	Bus Type	Load		Shunt	Shunt	Voltage		Rating	
		P (pu)	Q (pu)	conductance (Gs)	susceptance (Bs)	(pu)	(degree)	Vmax (pu)	Vmin (pu)
26	Load	3.5	2.3	0	0	0.955	-12.734	1.05	0.95
27	Load	0	0	0	0	0.987	-11.726	1.05	0.95
28	Load	0	0	0	0	1.015	-7.355	1.05	0.95
29	Load	2.4	0.9	0	0	0.966	-13.051	1.05	0.95
30	Load	10.6	1.9	0	0	0.954	-14.005	1.05	0.95

ตารางผนวกที่ 2 ข้อมูลของสายส่งในระบบจำลอง IEEE 30bus

Line No.	From bus	To bus	Resistance	Reactance	Line Charging	Ratnig
			(R) (pu)	(X) (pu)	(B) (pu)	(MVA)
1	1	2	0.0192	0.0575	0.0264	120
2	1	3	0.0452	0.1852	0.0204	90
3	2	4	0.0570	0.1737	0.0184	90
4	3	4	0.0132	0.0379	0.0042	120
5	2	5	0.0472	0.1983	0.0209	90
6	2	6	0.0581	0.1763	0.0187	90
7	4	6	0.0119	0.0414	0.0045	120
8	5	7	0.0460	0.1160	0.0100	90
9	6	7	0.0267	0.0820	0.0100	120
10	6	8	0.0120	0.0420	0	120
11	6	9	0	0.2080	0	65
12	6	10	0	0.5560	0	32
13	9	11	0	0.2080	0	65
14	9	10	0	0.1100	0	65
15	4	12	0	0.2560	0	65
16	12	13	0	0.1400	0	65
17	12	14	0.1231	0.2559	0	32
18	12	15	0.0662	0.1304	0	32
19	12	16	0.0945	0.1987	0	32
20	14	15	0.2210	0.1997	0	16
21	16	17	0.0824	0.1923	0	16
22	15	18	0.1073	0.2185	0	16
23	18	19	0.0639	0.1292	0	16
24	19	20	0.0340	0.0680	0	32
25	10	20	0.0936	0.2090	0	32

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Line No.	From bus	To bus	Resistance	Reactance	Line Charging	Ratnig
			(R) (pu)	(X) (pu)	(B) (pu)	(MVA)
26	10	17	0.0324	0.0845	0	32
27	10	21	0.0348	0.0749	0	32
28	10	22	0.0727	0.1499	0	32
29	21	22	0.0116	0.0236	0	32
30	15	23	0.1000	0.2020	0	16
31	22	24	0.1150	0.1790	0	16
32	23	24	0.1320	0.2700	0	16
33	24	25	0.1885	0.3292	0	16
34	25	26	0.2544	0.3800	0	16
35	25	27	0.1093	0.2087	0	16
36	28	27	0	0.3960	0	32
37	27	29	0.2198	0.4153	0	16
38	27	30	0.3202	0.6027	0	16
39	29	30	0.2399	0.4533	0	16
40	8	28	0.0636	0.2000	0.0214	32
41	6	28	0.0169	0.0599	0.0650	32

ตารางผนวกที่ 3 ข้อมูลของเครื่องผลิตกำลังไฟฟ้าในระบบทดลอง IEEE 30bus (อ้างอิงจาก MATPOWER)

Bus No.	Rating				Cost function		
	P_{max} (MW)	P_{min} (MW)	Q_{max} (MVar)	Q_{min} (MVar)	C_2 (\$)	C_1 (\$/MW)	C_0 (\$/MW ²)
1	200	0	150.0	-20.0	0.0200	2.00	0
2	80	0	60.0	-20.0	0.0175	1.75	0
5	50	0	62.5	-15.0	0.0250	3.00	0
8	55	0	48.7	-15.0	0.0625	1.00	0
11	30	0	40.0	-10.0	0.0250	3.00	0
13	40	0	44.7	-15.0	0.0083	3.25	0

เมื่อค่า C_0, C_1 และ C_2 คือค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าใช้จ่ายการผลิต ดังสมการ

$$C_i(P_{Gi}) = C_{0,i} + C_{1,i}P_{Gi} + C_{2,i}P_{Gi}^2$$

ตารางผนวกที่ 4 ผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะที่ยังไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาในระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดระดับกลาง (283.40 MW 126.20 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0	67.07	-8.44	-	-
2	1.047	-1.239	80.00	20.37	21.7	12.7
3	1.036	-2.711	-	-	2.4	1.2
4	1.033	-3.224	-	-	7.6	1.6
5	1.026	-6.097	39.49	27.82	94.20	19.00
6	1.031	-3.886	-	-	-	-
7	1.021	-5.297	-	-	22.8	10.9
8	1.037	-4.030	31.07	46.81	30.0	30.0
9	1.020	-4.161	-	-	-	-
10	1.000	-6.164	-	-	5.8	2.0
11	1.050	-0.822	30.00	15.88	-	-
12	1.023	-4.730	-	-	11.2	7.5
13	1.050	-1.743	40.00	21.05	-	-
14	1.007	-5.790	-	-	6.2	1.6
15	1.000	-5.964	-	-	8.2	2.5
16	1.006	-5.618	-	-	3.5	1.8
17	0.996	-6.222	-	-	9.0	5.8
18	0.987	-6.786	-	-	3.2	0.9
19	0.983	-7.069	-	-	9.5	3.4
20	0.987	-6.904	-	-	2.2	0.7
21	0.987	-6.664	-	-	17.5	11.2
22	0.988	-6.653	-	-	-	-
23	0.986	-6.617	-	-	3.2	1.6

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
24	0.976	-7.125	-	-	8.7	6.7
25	0.981	-7.669	-	-	-	-
26	0.963	-8.121	-	-	3.5	2.3
27	0.994	-7.710	-	-	-	-
28	1.028	-4.267	-	-	-	-
29	0.973	-9.016	-	-	2.4	0.9
30	0.961	-9.955	-	-	10.6	1.9
		รวม	287.63	123.49	283.40	126.20

ตารางผนวกที่ 5 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะที่ยังไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาในระบบส่งไฟฟ้า ในสภาวะโหลดระดับกลาง (283.40 MW 126.20 MVar)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	38.92	-8.80	39.90	-38.65	6.72	39.23
2	1	3	28.15	0.36	28.15	-27.83	-1.25	27.86
3	2	4	22.09	0.57	22.10	21.84	-1.79	21.91
4	3	4	25.43	0.05	25.43	-25.35	-0.27	25.35
5	2	5	46.34	0.70	46.35	-45.42	0.94	45.43
6	2	6	28.51	-0.32	28.51	-28.08	-0.39	28.08
7	4	6	28.73	-3.65	28.96	-28.64	3.49	28.85
8	5	7	-9.29	7.87	12.18	9.36	-8.75	12.81
9	6	7	32.42	1.91	32.48	-32.16	-2.15	32.23
10	6	8	2.25	-14.49	14.66	-2.23	14.57	14.74
11	6	9	2.43	5.44	5.96	-2.43	-5.38	5.90
12	6	10	7.38	5.88	9.44	-7.38	-5.42	9.16
13	9	11	-30.00	-13.70	32.98	30.00	15.88	33.94
14	9	10	32.43	19.08	37.63	-32.43	-17.58	36.89
15	4	12	10.85	4.10	11.60	-10.85	-3.78	11.49
16	12	13	-40.00	-18.46	44.05	40.00	21.05	45.20
17	12	14	8.67	2.56	9.04	-8.58	-2.36	8.90
18	12	15	20.92	7.91	22.37	-20.60	-7.29	21.85
19	12	16	10.06	4.26	10.92	-9.95	-4.03	10.74
20	14	15	2.38	0.76	2.50	-2.36	-0.75	2.48
21	16	17	6.45	2.23	6.82	-6.41	-2.15	6.76

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Line	From	To	From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
22	15	18	7.51	2.11	7.80	-7.45	-1.98	7.71
23	18	19	4.25	1.08	4.39	-4.24	-1.06	4.37
24	19	20	-5.26	-2.34	5.76	5.28	2.37	5.79
25	10	20	7.54	3.21	8.19	-7.48	-3.07	8.09
26	10	17	2.60	3.67	4.50	-2.59	-3.65	4.48
27	10	21	16.07	9.83	18.84	-15.95	-9.57	18.60
28	10	22	7.80	4.48	9.00	-7.74	-4.36	8.88
29	21	22	-1.55	-1.63	2.25	1.56	1.63	2.26
30	15	23	7.25	3.43	8.02	-7.19	-3.30	7.91
31	22	24	6.19	2.72	6.76	-6.13	-2.64	6.67
32	23	24	3.99	1.70	4.34	-3.96	-1.64	4.29
33	24	25	1.40	-2.38	2.76	-1.38	2.40	2.77
34	25	26	3.55	2.37	4.27	-3.50	-2.30	4.19
35	25	27	-2.17	-4.77	5.24	2.20	4.83	5.31
36	28	27	15.50	9.43	18.14	-15.50	-8.20	17.54
37	27	29	6.20	1.68	6.42	-6.11	-1.51	6.29
38	27	30	7.10	1.68	7.30	-6.93	-1.36	7.06
39	29	30	3.71	0.61	3.76	-3.67	-0.54	3.71
40	8	28	3.29	2.24	3.98	-3.28	-4.48	5.55
41	6	28	12.24	-1.86	12.38	-12.22	-4.95	13.18

ตารางผนวกที่ 6 ผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะที่ยังไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาในระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดต่ำ (212.55 MW 94.65 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0	47.16	-6.39	-	-
2	1.048	-0.876	62.13	12.19	16.27	9.53
3	1.041	-1.869	-	-	1.8	0.9
4	1.039	-2.217	-	-	5.7	1.2
5	1.030	-4.871	21.60	19.76	70.65	14.25
6	1.037	-2.761	-	-	-	-
7	1.028	-4.003	-	-	17.1	8.18
8	1.040	-2.835	24.02	31.61	22.5	22.5
9	1.028	-2.890	-	-	-	-
10	1.013	-4.183	-	-	4.35	1.5
11	1.050	-0.659	20.21	11.37	-	-
12	1.032	-2.537	-	-	8.4	5.63
13	1.050	0.426	40.00	14.78	-	-
14	1.019	-3.389	-	-	4.65	1.2
15	1.014	-3.591	-	-	6.15	1.88
16	1.018	-3.437	-	-	2.63	1.35
17	1.010	-4.120	-	-	6.75	4.35
18	1.004	-4.345	-	-	2.4	0.68
19	1.001	-4.644	-	-	7.13	2.55
20	1.003	-4.574	-	-	1.65	0.53
21	1.004	-4.531	-	-	13.13	8.4
22	1.004	-4.518	-	-	-	-
23	1.003	-4.217	-	-	2.4	1.2
24	0.996	-4.791	-	-	6.53	5.03

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
25	1.000	-5.317	-	-	-	-
26	0.986	-5.641	-	-	2.63	1.73
27	1.009	-5.429	-	-	-	-
28	1.035	-3.031	-	-	-	-
29	0.994	-6.373	-	-	1.8	0.68
30	0.986	-7.045	-	-	7.95	1.43
		รวม	215.12	83.32	212.55	94.65

ตารางผนวกที่ 7 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะที่ยังไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาในระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดต่ำ (212.55 MW 94.65 MVar)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	27.74	-5.95	28.37	-27.60	3.46	27.82
2	1	3	19.42	-0.44	19.42	-19.27	-1.16	19.30
3	2	4	14.87	-0.35	14.87	-14.76	-1.30	14.82
4	3	4	17.47	0.26	17.47	-17.43	-0.61	17.44
5	2	5	38.29	0.47	38.29	-37.65	-0.07	37.65
6	2	6	20.29	-0.92	20.31	-20.08	-0.45	20.09
7	4	6	24.15	-2.12	24.24	-24.08	1.86	24.15
8	5	7	-11.40	5.58	12.69	11.47	-6.46	13.16
9	6	7	28.78	1.29	28.81	-28.57	-1.72	28.62
10	6	8	0.92	-8.40	8.45	-0.91	8.43	8.48
11	6	9	1.16	4.17	4.33	-1.16	-4.14	4.30
12	6	10	4.69	4.46	6.47	-4.69	-4.24	6.32
13	9	11	-20.21	-10.35	22.71	20.21	11.37	23.19
14	9	10	21.37	14.49	25.82	-21.37	-13.80	25.44
15	4	12	2.34	2.83	3.67	-2.34	-2.80	3.65
16	12	13	-40.00	-12.47	41.90	40.00	14.78	42.64
17	12	14	6.92	1.67	7.12	-6.86	-1.55	7.03
18	12	15	17.45	5.31	18.24	-17.25	-4.90	17.93
19	12	16	9.57	2.66	9.93	-9.48	-2.48	9.80
20	14	15	2.21	0.35	2.24	-2.20	-0.34	2.23
21	16	17	6.86	1.13	6.95	-6.82	-1.04	6.90

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)

Line	From	To	From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)
22	15	18	6.74	1.24	6.85	-6.69	-1.14	6.79
23	18	19	4.29	0.46	4.31	-4.28	-0.44	4.30
24	19	20	-2.85	-2.11	3.55	2.85	2.12	3.55
25	10	20	4.53	2.70	5.27	-4.50	-2.64	5.22
26	10	17	-0.06	3.32	3.32	0.07	-3.31	3.31
27	10	21	11.65	7.36	13.78	-11.59	-7.22	13.65
28	10	22	5.59	3.36	6.52	-5.56	-3.30	6.47
29	21	22	-1.54	-1.18	1.94	1.54	1.18	1.94
30	15	23	6.56	2.12	6.89	-6.51	-2.03	6.82
31	22	24	4.02	2.12	4.54	-4.00	-2.08	4.51
32	23	24	4.11	0.83	4.19	-4.09	-0.78	4.16
33	24	25	1.56	-2.12	2.63	-1.55	2.14	2.64
34	25	26	2.65	1.76	3.18	-2.62	-1.73	3.14
35	25	27	-1.10	-3.90	4.05	1.12	3.94	4.10
36	28	27	11.03	6.97	13.05	-11.03	-6.34	12.72
37	27	29	4.62	1.21	4.78	-4.57	-1.12	4.71
38	27	30	5.29	1.19	5.42	-5.20	-1.02	5.30
39	29	30	2.77	0.44	2.80	-2.75	-0.40	2.78
40	8	28	2.43	0.68	2.52	-2.42	-2.97	3.83
41	6	28	8.62	-2.93	9.10	-8.61	-4.00	9.49

ตารางผนวกที่ 8 ผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะที่ยังไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาในระบบส่งไฟฟ้า ในสภาวะโหลดสูง (325.91 MW 145.13 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0	88.28	-19.24	-	-
2	1.050	-1.780	80.00	22.58	24.95	14.61
3	1.036	-3.349	-	-	2.76	1.38
4	1.033	-3.994	-	-	8.74	1.84
5	1.050	-7.351	50.00	56.01	108.33	21.85
6	1.032	-4.706	-	-	-	-
7	1.030	-6.353	-	-	26.22	12.54
8	1.037	-4.695	43.41	48.70	34.5	34.5
9	1.018	-5.490	-	-	-	-
10	0.994	-7.789	-	-	6.67	2.3
11	1.050	-2.142	30.00	17.27	-	-
12	1.020	-6.335	-	-	12.88	8.63
13	1.050	-3.337	40.00	23.75	-	-
14	1.000	-7.534	-	-	7.13	1.84
15	0.993	-7.707	-	-	9.43	2.88
16	1.000	-7.279	-	-	4.03	2.07
17	0.990	-7.895	-	-	10.35	6.67
18	0.979	-8.613	-	-	3.68	1.03
19	0.974	-8.913	-	-	10.93	3.91
20	0.978	-8.704	-	-	2.53	0.81
21	0.979	-8.367	-	-	20.13	12.88
22	0.980	-8.353	-	-	-	-
23	0.977	-8.392	-	-	3.68	1.84
24	0.966	-8.882	-	-	10.01	7.71

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
25	0.973	-9.345	-	-	-	-
26	0.951	-9.875	-	-	4.03	2.65
27	0.988	-9.286	-	-	-	-
28	1.028	-5.118	-	-	-	-
29	0.964	-10.811	-	-	2.76	1.03
30	0.950	-11.914	-	-	12.19	2.19
		รวม	331.70	149.08	325.91	145.13

ตารางผนวกที่ 9 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะที่ยังไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาในระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดสูง (325.91 MW 145.13 MVar)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	53.86	-18.51	56.95	-53.30	17.27	56.03
2	1	3	34.40	-0.72	34.41	-33.94	0.49	33.94
3	2	4	24.97	1.57	25.02	-24.64	-2.58	24.77
4	3	4	31.18	-1.87	31.24	-31.06	1.77	31.11
5	2	5	51.68	-10.83	52.80	-50.49	13.49	52.26
6	2	6	31.70	-0.04	31.70	-31.17	-0.38	31.17
7	4	6	30.15	-6.71	30.89	-30.04	6.60	30.76
8	5	7	-7.84	30.66	31.65	8.05	-21.21	22.69
9	6	7	34.59	-8.76	35.68	-34.27	8.67	35.35
10	6	8	-3.90	-11.94	12.56	3.91	12.01	12.63
11	6	9	6.91	7.30	10.05	-6.91	-7.10	9.91
12	6	10	9.93	7.27	12.31	-9.93	-6.48	11.86
13	9	11	-30.00	-15.01	33.55	30.00	17.27	34.62
14	9	10	36.91	22.12	43.03	-36.91	-20.15	42.05
15	4	12	16.81	5.67	17.74	-16.81	-4.92	17.52
16	12	13	-40.00	-21.00	45.18	40.00	23.75	46.52
17	12	14	9.80	3.04	10.26	-9.68	-2.78	10.07
18	12	15	23.31	9.29	25.09	-22.91	-8.50	24.44
19	12	16	10.82	4.97	11.91	-10.69	-4.70	11.68
20	14	15	2.55	0.94	2.72	-2.53	-0.92	2.69
21	16	17	6.66	2.63	7.16	-6.62	-2.53	7.09

ตารางผนวกที่ 9 (ต่อ)

Line	From	To	From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
22	15	18	8.26	2.49	8.63	-8.18	-2.32	8.50
23	18	19	4.50	1.29	4.68	-4.48	-1.26	4.65
24	19	20	-6.44	-2.65	6.96	6.46	2.69	7.00
25	10	20	9.08	3.70	9.80	-8.99	-3.49	9.64
26	10	17	3.74	4.16	5.59	-3.73	-4.14	5.57
27	10	21	18.42	11.44	21.68	-18.25	-11.08	21.35
28	10	22	8.93	5.22	10.34	-8.85	-5.06	10.19
29	21	22	-1.87	-1.80	2.60	1.87	1.80	2.60
30	15	23	7.75	4.06	8.75	-7.68	-3.90	8.61
31	22	24	6.98	3.26	7.70	-6.91	-3.15	7.59
32	23	24	4.00	2.06	4.50	-3.97	-2.01	4.45
33	24	25	0.87	-2.51	2.66	-0.85	2.53	2.67
34	25	26	4.09	2.74	4.92	-4.03	-2.64	4.82
35	25	27	-3.24	-5.27	6.19	3.28	5.36	6.28
36	28	27	18.64	11.11	21.70	-18.64	-9.35	20.85
37	27	29	7.15	1.99	7.42	-7.03	-1.75	7.24
38	27	30	8.20	2.00	8.44	-7.97	-1.56	8.12
39	29	30	4.27	0.72	4.33	-4.22	-0.63	4.27
40	8	28	5.00	2.19	5.46	-4.98	-4.41	6.65
41	6	28	13.69	-0.08	13.69	-13.66	-6.70	15.21

ตารางผนวกที่ 10 ผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 28 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสภาวะโหลดกลาง (283.40 MW 126.20 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0.000	52.43	-7.50	-	-
2	1.050	-1.081	68.62	33.79	21.7	12.7
3	1.032	-1.802	-	-	2.4	1.2
4	1.028	-2.119	-	-	7.6	1.6
5	1.034	-6.142	27.50	39.60	94.20	19.00
6	1.030	-2.480	-	-	-	-
7	1.023	-4.480	-	-	22.8	10.9
8	1.036	-2.594	20.15	48.70	30.0	30.0
9	1.001	-3.565	-	-	-	-
10	0.976	-5.476	-	-	5.8	2.0
11	1.022	-1.211	20.21	10.80	-	-
12	0.975	-3.557	-	-	11.2	7.5
13	0.965	-0.328	37.83	-6.00	-	-
14	0.961	-4.701	-	-	6.2	1.6
15	0.957	-4.956	-	-	8.2	2.5
16	0.967	-4.698	-	-	3.5	1.8
17	0.967	-5.486	-	-	9.0	5.8
18	0.951	-5.951	-	-	3.2	0.9
19	0.950	-6.318	-	-	9.5	3.4
20	0.956	-6.176	-	-	2.2	0.7
21	0.962	-5.931	-	-	17.5	11.2
22	0.963	-5.898	-	-	-	-
23	0.951	-5.616	-	-	3.2	1.6

ตารางผนวกที่ 10 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
24	0.951	-6.090	-	-	8.7	6.7
25	0.971	-6.082	-	-	-	-
26	0.952	-6.543	-	-	3.5	2.3
27	0.992	-5.764	-	-	-	-
28	1.036	-1.463	60.88	5.27	-	-
29	0.971	-7.075	-	-	2.4	0.9
30	0.959	-8.018	-	-	10.6	1.9
		รวม	287.62	124.65	283.40	126.20

ตารางผนวกที่ 11 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 28 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดกลาง (283.40 MW 126.20 MVar)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	32.66	-12.02	34.80	-32.45	9.72	33.87
2	1	3	19.78	4.51	20.29	-19.61	-6.02	20.51
3	2	4	14.12	7.74	16.10	-13.98	-9.29	16.79
4	3	4	17.21	4.82	17.87	-17.17	-5.15	17.93
5	2	5	48.11	-1.89	48.15	-47.12	3.79	47.27
6	2	6	17.13	5.52	18.00	-16.95	-7.00	18.34
7	4	6	13.72	-8.66	16.22	-13.69	8.28	16.00
8	5	7	-19.57	16.81	25.80	19.87	-17.12	26.23
9	6	7	43.14	-5.82	43.53	-42.67	6.22	43.12
10	6	8	0.42	-16.18	16.19	-0.39	16.29	16.29
11	6	9	9.39	14.40	17.19	-9.39	-13.82	16.71
12	6	10	9.44	10.30	13.97	-9.44	-9.28	13.24
13	9	11	-20.21	-9.75	22.44	20.21	10.80	22.91
14	9	10	29.59	23.57	37.83	-29.59	-22.00	36.87
15	4	12	9.83	21.50	23.64	-9.83	-20.14	22.41
16	12	13	-37.83	8.20	38.71	37.83	-6.00	38.30
17	12	14	8.03	1.50	8.17	-7.94	-1.32	8.05
18	12	15	19.20	3.41	19.50	-18.94	-2.89	19.16
19	12	16	9.22	-0.47	9.23	-9.14	0.65	9.16
20	14	15	1.74	-0.28	1.76	-1.74	0.28	1.76
21	16	17	5.64	-2.45	6.15	-5.61	2.53	6.15

ตารางผนวกที่ 11 (ต่อ)

Line	From	To	From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVA _r)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVA _r)	S (MVA)
22	15	18	7.04	-0.39	7.05	-6.98	0.51	7.00
23	18	19	3.78	-1.41	4.03	-3.77	1.43	4.03
24	19	20	-5.73	-4.83	7.49	5.75	4.87	7.54
25	10	20	8.04	5.79	9.91	-7.95	-5.57	9.71
26	10	17	3.42	8.40	9.07	-3.39	-8.33	8.99
27	10	21	14.80	10.41	18.09	-14.68	-10.15	17.85
28	10	22	6.97	4.86	8.50	-6.92	-4.75	8.39
29	21	22	-2.82	-1.05	3.01	2.82	1.05	3.01
30	15	23	5.43	0.49	5.45	-5.40	-0.42	5.42
31	22	24	4.09	3.70	5.52	-4.06	-3.64	5.45
32	23	24	2.20	-1.18	2.50	-2.19	1.19	2.49
33	24	25	-2.45	-4.21	4.87	2.50	4.30	4.97
34	25	26	3.55	2.37	4.27	-3.50	-2.30	4.19
35	25	27	-6.05	-6.67	9.01	6.15	6.85	9.21
36	28	27	19.45	12.17	22.94	-19.45	-10.22	21.97
37	27	29	6.20	1.69	6.43	-6.11	-1.51	6.29
38	27	30	7.10	1.68	7.30	-6.93	-1.36	7.06
39	29	30	3.71	0.61	3.76	-3.67	-0.54	3.71
40	8	28	-9.46	2.41	9.76	9.52	-4.52	10.54
41	6	28	-31.75	-3.99	32.00	31.91	-2.38	32.00

ตารางผนวกที่ 12 ผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 28 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสภาวะโหลดต่ำ (212.55 MW 94.65 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0	41.9	-3.77	-	-
2	1.050	-0.836	56.11	32.49	16.27	9.53
3	1.031	-1.465	-	-	1.8	0.9
4	1.026	-1.718	-	-	5.7	1.2
5	1.034	-4.810	17.42	29.02	70.65	14.25
6	1.029	-1.889	-	-	-	-
7	1.025	-3.462	-	-	17.1	8.18
8	1.038	-1.961	17.05	48.7	22.5	22.5
9	0.982	-3.284	-	-	-	-
10	0.969	-4.808	-	-	4.35	1.5
11	0.960	-1.868	11.19	-10	-	-
12	0.967	-4.112	-	-	8.4	5.63
13	0.950	-2.872	14.21	-11.59	-	-
14	0.957	-4.875	-	-	4.65	1.2
15	0.956	-4.971	-	-	6.15	1.88
16	0.962	-4.659	-	-	2.63	1.35
17	0.963	-4.948	-	-	6.75	4.35
18	0.951	-5.524	-	-	2.4	0.68
19	0.950	-5.684	-	-	7.13	2.55
20	0.954	-5.517	-	-	1.65	0.53
21	0.960	-5.154	-	-	13.13	8.4
22	0.961	-5.130	-	-	-	-
23	0.952	-5.245	-	-	2.4	1.2
24	0.955	-5.304	-	-	6.53	5.03

ตารางผนวกที่ 12 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
25	0.977	-4.984	-	-	-	-
26	0.963	-5.324	-	-	2.63	1.73
27	0.998	-4.552	-	-	-	-
28	1.034	-0.870	57.39	1.96	-	-
29	0.983	-5.518	-	-	1.8	0.68
30	0.974	-6.207	-	-	7.95	1.43
		รวม	215.27	86.81	212.55	94.65

ตารางผนวกที่ 13 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 28 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสภาวะโหลดต่ำ (212.55 MW 94.65 MVar)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	25.24	-9.68	27.03	-25.11	7.13	26.10
2	1	3	16.66	5.91	17.68	-16.53	-7.57	18.18
3	2	4	12.88	9.13	15.79	-12.74	-10.69	16.63
4	3	4	14.73	6.67	16.17	-14.69	-7.02	16.28
5	2	5	38.10	-0.48	38.10	-37.48	0.82	37.49
6	2	6	13.97	7.19	15.71	-13.83	-8.79	16.39
7	4	6	5.53	-7.51	9.33	-5.52	7.06	8.96
8	5	7	-15.75	13.94	21.03	15.95	-14.51	21.56
9	6	7	33.34	-6.50	33.97	-33.05	6.33	33.65
10	6	8	-3.18	-22.32	22.55	3.24	22.52	22.75
11	6	9	11.82	23.31	26.14	-11.82	-21.97	24.95
12	6	10	9.13	11.21	14.46	-9.13	-10.11	13.62
13	9	11	-11.19	10.51	15.35	11.19	-10.00	15.01
14	9	10	23.01	11.46	25.71	-23.01	-10.71	25.38
15	4	12	16.20	24.01	28.96	-16.20	-21.97	27.30
16	12	13	-14.21	12.11	18.67	14.21	-11.59	18.34
17	12	14	5.42	1.25	5.56	-5.38	-1.17	5.51
18	12	15	11.99	2.71	12.29	-11.89	-2.50	12.15
19	12	16	4.60	0.27	4.61	-4.58	-0.23	4.59
20	14	15	0.73	-0.03	0.73	-0.73	0.03	0.73
21	16	17	1.95	-1.12	2.25	-1.95	1.13	2.25

ตารางผนวกที่ 13 (ต่อ)

Line	From	To	From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
22	15	18	4.11	0.19	4.11	-4.09	-0.15	4.09
23	18	19	1.69	-0.53	1.77	-1.69	0.53	1.77
24	19	20	-5.44	-3.08	6.25	5.45	3.11	6.27
25	10	20	7.17	3.78	8.11	-7.10	-3.64	7.98
26	10	17	4.82	5.53	7.34	-4.80	-5.48	7.28
27	10	21	10.78	7.03	12.87	-10.72	-6.90	12.75
28	10	22	5.02	3.15	5.93	-4.99	-3.10	5.87
29	21	22	-2.41	-1.50	2.84	2.41	1.50	2.84
30	15	23	2.36	0.40	2.39	-2.35	-0.39	2.38
31	22	24	2.59	1.60	3.04	-2.57	-1.58	3.02
32	23	24	-0.05	-0.81	0.81	0.05	0.81	0.81
33	24	25	0.40	-4.22	4.24	4.07	4.34	5.95
34	25	26	2.65	1.77	3.19	-2.62	-1.73	3.14
35	25	27	-6.72	-6.11	9.08	6.82	6.29	9.28
36	28	27	16.73	10.11	19.55	-16.73	-8.70	18.86
37	27	29	4.62	1.21	4.78	-4.57	-1.12	4.71
38	27	30	5.29	1.20	5.42	-5.20	-1.02	5.30
39	29	30	2.77	0.44	2.80	-2.75	-0.40	2.78
40	8	28	-8.69	3.68	9.44	8.75	-5.79	10.49
41	6	28	-31.75	-3.98	32.00	31.91	-2.36	32.00

ตารางผนวกที่ 14 ผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 28 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสภาวะโหลดสูง (325.91 MW 145.13 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0	61.53	-11.05	-	-
2	1.050	-1.246	79.38	29.51	24.95	14.61
3	1.034	-2.246	-	-	2.76	1.38
4	1.030	-2.653	-	-	8.74	1.84
5	1.038	-6.949	36.05	49.08	108.33	21.85
6	1.032	-3.053	-	-	-	-
7	1.025	-5.220	-	-	26.22	12.54
8	1.037	-3.175	22.90	48.70	34.5	34.5
9	1.012	-4.025	-	-	-	-
10	0.984	-6.329	-	-	6.67	2.3
11	1.050	-0.897	27.89	19.71	-	-
12	0.991	-4.625	-	-	12.88	8.63
13	0.997	-1.376	40.00	5.43	-	-
14	0.974	-5.865	-	-	7.13	1.84
15	0.969	-6.082	-	-	9.43	2.88
16	0.979	-5.707	-	-	4.03	2.07
17	0.976	-6.415	-	-	10.35	6.67
18	0.959	-7.083	-	-	3.68	1.03
19	0.957	-7.427	-	-	10.93	3.91
20	0.963	-7.228	-	-	2.53	0.81
21	0.969	-6.869	-	-	20.13	12.88
22	0.969	-6.838	-	-	-	-
23	0.958	-6.736	-	-	3.68	1.84
24	0.955	-7.155	-	-	10.01	7.71

ตารางผนวกที่ 14 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
25	0.971	-7.158	-	-	-	-
26	0.950	-7.690	-	-	4.03	2.65
27	0.992	-6.808	-	-	-	-
28	1.038	-2.040	63.34	6.71	-	-
29	0.968	-8.319	-	-	2.76	1.03
30	0.954	-9.413	-	-	12.19	2.19
		รวม	331.09	148.10	325.91	145.13

ตารางผนวกที่ 15 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 28 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสภาวะโหลดสูง (325.91 MW 145.13 MVar)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	37.66	-13.58	40.03	-37.39	11.48	39.11
2	1	3	23.87	2.53	24.00	-23.63	-3.77	23.93
3	2	4	17.35	5.28	18.14	-17.18	-6.74	18.45
4	3	4	20.87	2.39	21.01	-20.81	-2.68	20.98
5	2	5	53.71	-4.98	53.94	-52.47	7.91	53.06
6	2	6	20.74	3.12	20.97	-20.51	-4.43	20.98
7	4	6	15.52	-8.59	17.74	-15.49	8.23	17.54
8	5	7	-19.81	19.32	27.67	20.14	-19.54	28.06
9	6	7	46.92	-6.34	47.35	-46.36	7.00	46.89
10	6	8	1.86	-12.49	12.63	-1.84	12.55	12.68
11	6	9	8.53	9.80	12.99	-8.53	-9.47	12.75
12	6	10	10.44	9.23	13.94	-10.44	-8.22	13.29
13	9	11	-27.89	-17.51	32.93	27.89	19.71	34.15
14	9	10	36.42	26.98	45.32	-36.42	-24.77	44.05
15	4	12	13.73	16.16	21.21	-13.73	-15.08	20.39
16	12	13	-40.00	-3.13	40.12	40.00	5.43	40.37
17	12	14	9.24	2.26	9.51	-9.13	-2.03	9.35
18	12	15	21.73	5.93	22.52	-21.38	-5.25	22.02
19	12	16	9.88	1.40	9.98	-9.79	-1.19	9.86
20	14	15	2.00	0.19	2.01	-1.99	-0.18	2.00
21	16	17	5.76	-0.88	5.83	-5.73	0.94	5.81

ตารางผนวกที่ 15 (ต่อ)

Line	From	To	From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
22	15	18	7.73	0.60	7.75	-7.66	-0.46	7.67
23	18	19	3.98	-0.57	4.02	-3.97	0.59	4.01
24	19	20	-6.96	-4.50	8.29	6.98	4.55	8.33
25	10	20	9.63	5.63	11.15	-9.51	-5.36	10.92
26	10	17	4.65	7.68	8.98	-4.62	-7.61	8.90
27	10	21	17.55	11.98	21.25	-17.39	-11.63	20.92
28	10	22	8.36	5.58	10.05	-8.28	-5.43	9.90
29	21	22	-2.74	-1.25	3.01	2.74	1.25	3.01
30	15	23	6.22	1.95	6.52	-6.17	-1.86	6.44
31	22	24	5.54	4.17	6.93	-5.48	-4.08	6.83
32	23	24	2.49	0.02	2.49	-2.48	0.00	2.48
33	24	25	-2.04	-3.58	4.12	2.07	3.64	4.19
34	25	26	4.09	2.74	4.92	-4.03	-2.64	4.82
35	25	27	-6.16	-6.39	8.88	6.26	6.56	9.07
36	28	27	21.61	12.86	25.15	-21.61	-10.54	24.04
37	27	29	7.15	1.99	7.42	-7.03	-1.75	7.24
38	27	30	8.20	2.00	8.44	-7.97	-1.56	8.12
39	29	30	4.27	0.72	4.33	-4.22	-0.63	4.27
40	8	28	-9.76	1.65	9.90	9.83	-3.76	10.52
41	6	28	-31.75	-3.99	32.00	31.91	-2.40	32.00

ตารางผนวกที่ 16 ผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 23 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสภาวะโหลดกลาง (283.40 MW 126.20 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0.000	60.34	-8.31	-	-
2	1.050	-1.186	78.12	36.82	21.7	12.7
3	1.030	-2.265	-	-	2.4	1.2
4	1.025	-2.680	-	-	7.6	1.6
5	1.030	-6.171	34.81	34.18	94.20	19.00
6	1.026	-3.360	-	-	-	-
7	1.020	-5.016	-	-	22.8	10.9
8	1.032	-3.532	29.47	48.70	30.0	30.0
9	1.010	-3.152	-	-	-	-
10	0.981	-4.945	-	-	5.8	2.0
11	1.050	0.222	30.00	21.14	-	-
12	0.969	-3.513	-	-	11.2	7.5
13	0.950	-1.772	19.98	-12.85	-	-
14	0.961	-4.028	-	-	6.2	1.6
15	0.966	-3.781	-	-	8.2	2.5
16	0.967	-4.461	-	-	3.5	1.8
17	0.971	-5.045	-	-	9.0	5.8
18	0.958	-4.990	-	-	3.2	0.9
19	0.957	-5.489	-	-	9.5	3.4
20	0.962	-5.421	-	-	2.2	0.7
21	0.970	-5.217	-	-	17.5	11.2
22	0.971	-5.127	-	-	-	-
23	0.987	-1.997	35.03	3.80	3.2	1.6

ตารางผนวกที่ 16 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
24	0.967	-4.601	-	-	8.7	6.7
25	0.971	-5.944	-	-	-	-
26	0.952	-6.406	-	-	3.5	2.3
27	0.983	-6.468	-	-	-	-
28	1.023	-3.665	-	-	-	-
29	0.962	-7.803	-	-	2.4	0.9
30	0.950	-8.764	-	-	10.6	1.9
		รวม	287.76	123.47	283.40	126.20

ตารางผนวกที่ 17 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 23 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดกลาง (283.40 MW 126.20 MVar)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	35.83	-13.01	38.12	-35.59	10.84	37.20
2	1	3	24.50	4.70	24.95	-24.24	-5.84	24.93
3	2	4	19.05	7.80	20.59	-18.82	-9.09	20.90
4	3	4	21.84	4.64	22.33	-21.78	-4.90	22.32
5	2	5	47.72	0.27	47.72	-46.74	1.57	46.77
6	2	6	25.24	5.20	25.77	-24.88	-6.14	25.63
7	4	6	27.35	-10.10	29.16	-27.26	9.95	29.02
8	5	7	-12.65	13.61	18.58	12.80	-14.27	19.17
9	6	7	35.93	-3.40	36.09	-35.60	3.37	35.76
10	6	8	3.03	-15.81	16.10	-3.00	15.92	16.20
11	6	9	-1.81	8.11	8.31	1.81	-7.97	8.17
12	6	10	5.01	8.36	9.75	-5.01	-7.86	9.32
13	9	11	-30.00	-18.60	35.30	30.00	21.14	36.70
14	9	10	28.19	26.57	38.74	-28.19	-24.95	37.65
15	4	12	5.65	22.49	23.19	-5.65	-21.18	21.92
16	12	13	-19.98	13.73	24.24	19.98	-12.85	23.76
17	12	14	3.95	1.40	4.19	-3.93	-1.36	4.16
18	12	15	3.56	0.38	3.58	-3.55	-0.36	3.57
19	12	16	6.92	-1.84	7.16	-6.87	1.95	7.14
20	14	15	-2.27	-0.24	2.28	2.29	0.26	2.30
21	16	17	3.37	-3.75	5.04	-3.35	3.80	5.07

ตารางผนวกที่ 17 (ต่อ)

Line	From	To	From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)
22	15	18	8.63	-0.62	8.65	-8.55	0.80	8.59
23	18	19	5.35	-1.70	5.61	-5.33	1.74	5.61
24	19	20	-4.17	-5.14	6.62	4.19	5.18	6.66
25	10	20	6.47	6.05	8.86	-6.39	-5.88	8.68
26	10	17	5.69	9.71	11.25	-5.65	-9.60	11.14
27	10	21	10.85	10.36	15.00	-10.77	-10.19	14.83
28	10	22	4.39	4.87	6.56	-4.36	-4.81	6.49
29	21	22	-6.73	-1.01	6.81	6.74	1.02	6.82
30	15	23	-15.57	-1.77	15.67	15.83	2.30	16.00
31	22	24	-2.38	3.78	4.47	2.41	-3.74	4.45
32	23	24	16.00	-0.10	16.00	-15.65	0.81	15.67
33	24	25	4.55	-3.72	5.88	-4.48	3.85	5.91
34	25	26	3.55	2.37	4.27	-3.50	-2.30	4.19
35	25	27	0.93	-6.22	6.29	-0.88	6.31	6.37
36	28	27	12.43	10.70	16.40	-12.43	-9.69	15.76
37	27	29	6.20	1.69	6.43	-6.11	-1.51	6.29
38	27	30	7.11	1.69	7.31	-6.93	-1.36	7.06
39	29	30	3.71	0.61	3.76	-3.67	-0.54	3.71
40	8	28	2.47	2.78	3.72	-2.46	-5.00	5.57
41	6	28	9.98	-1.07	10.04	-9.96	-5.70	11.48

ตารางผนวกที่ 18 ผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 23 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสภาวะโหลดต่ำ (212.55 MW 94.65 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	-0.000	43.95	-3.69	-	-
2	1.048	-0.841	58.49	17.05	16.27	9.53
3	1.038	-1.608	-	-	1.8	0.9
4	1.035	-1.898	-	-	5.7	1.2
5	1.029	-4.846	19.16	20.93	70.65	14.25
6	1.035	-2.426	-	-	-	-
7	1.027	-3.795	-	-	17.1	8.18
8	1.040	-2.535	23.08	37.23	22.5	22.5
9	1.023	-2.207	-	-	-	-
10	1.003	-3.236	-	-	4.35	1.5
11	1.050	-0.132	18.70	13.84	-	-
12	1.001	-1.954	-	-	8.4	5.63
13	0.994	-0.539	17.54	-4.85	-	-
14	0.994	-2.219	-	-	4.65	1.2
15	0.999	-1.942	-	-	6.15	1.88
16	0.996	-2.732	-	-	2.63	1.35
17	0.997	-3.257	-	-	6.75	4.35
18	0.991	-2.958	-	-	2.4	0.68
19	0.989	-3.409	-	-	7.13	2.55
20	0.992	-3.414	-	-	1.65	0.53
21	0.995	-3.360	-	-	13.13	8.4
22	0.996	-3.274	-	-	-	-
23	1.015	-0.152	34.39	1.60	2.4	1.2
24	0.996	-2.617	-	-	6.53	5.03

ตารางผนวกที่ 18 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
25	0.997	-3.825	-	-	-	-
26	0.983	-4.151	-	-	2.63	1.73
27	1.005	-4.360	-	-	-	-
28	1.034	-2.623	-	-	-	-
29	0.990	-5.313	-	-	1.8	0.68
30	0.981	-5.991	-	-	7.95	1.43
		รวม	215.32	82.09	212.55	94.65

ตารางผนวกที่ 19 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 23 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดต่ำ (212.55 MW 94.65 MVar)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	26.70	-5.62	27.29	-26.57	3.10	26.75
2	1	3	17.26	1.93	17.37	-17.13	-3.64	17.51
3	2	4	12.73	2.72	13.02	-12.63	-4.44	13.39
4	3	4	15.33	2.74	15.57	-15.30	-3.10	15.61
5	2	5	38.43	0.81	38.44	-37.79	-0.39	37.79
6	2	6	17.63	0.89	17.65	-17.47	-2.41	17.64
7	4	6	21.84	-7.22	23.00	-21.78	6.95	22.86
8	5	7	-13.69	7.07	15.41	13.80	-7.85	15.88
9	6	7	31.14	0.00	31.14	-30.90	-0.32	30.90
10	6	8	1.15	-13.05	13.10	-1.13	13.11	13.16
11	6	9	-1.94	5.80	6.12	1.94	-5.72	6.04
12	6	10	2.64	5.86	6.43	-2.64	-5.65	6.24
13	9	11	-18.70	-12.82	22.67	18.70	13.84	23.26
14	9	10	16.76	18.54	24.99	-16.76	-17.88	24.51
15	4	12	0.40	13.56	13.57	-0.40	-13.12	13.13
16	12	13	-17.54	5.32	18.33	17.54	-4.85	18.20
17	12	14	2.48	1.42	2.86	-2.47	-1.40	2.84
18	12	15	0.55	1.40	1.50	-0.55	-1.39	1.49
19	12	16	6.51	-0.64	6.54	-6.47	0.72	6.51
20	14	15	-2.18	0.20	2.19	2.19	-0.19	2.20
21	16	17	3.85	-2.07	4.37	-3.83	2.11	4.37

ตารางผนวกที่ 19 (ต่อ)

Line	From	To	From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)
22	15	18	7.94	-0.18	7.94	-7.88	0.32	7.89
23	18	19	5.48	-0.99	5.57	-5.46	1.03	5.56
24	19	20	-1.67	-3.58	3.95	1.67	3.59	3.96
25	10	20	3.35	4.18	5.36	-3.32	-4.12	5.29
26	10	17	2.93	6.50	7.13	-2.92	-6.46	7.09
27	10	21	6.52	7.83	10.19	-6.49	-7.75	10.11
28	10	22	2.24	3.72	4.34	-2.23	-3.69	4.31
29	21	22	-6.64	-0.65	6.67	6.64	0.66	6.67
30	15	23	-15.74	-0.12	15.74	15.99	0.62	16.00
31	22	24	-4.41	3.03	5.35	4.44	-2.98	5.35
32	23	24	16.00	-0.22	16.00	-15.67	0.89	15.70
33	24	25	4.70	-2.90	5.52	-4.64	3.00	5.53
34	25	26	2.65	1.77	3.19	-2.62	-1.73	3.14
35	25	27	1.99	-4.76	5.16	-1.96	4.82	5.20
36	28	27	7.95	7.68	11.05	-7.95	-7.22	10.74
37	27	29	4.62	1.21	4.78	-4.57	-1.12	4.71
38	27	30	5.29	1.20	5.42	-5.20	-1.02	5.30
39	29	30	2.77	0.44	2.80	-2.75	-0.40	2.78
40	8	28	1.71	1.61	2.35	-1.70	-3.89	4.25
41	6	28	6.25	-3.15	7.00	-6.25	-3.78	7.30

ตารางผนวกที่ 20 ผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 23 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสภาวะโหลดสูง (325.91 MW 145.13 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0.000	73.53	-15.78	-	-
2	1.050	-1.484	80.00	20.74	24.95	14.61
3	1.034	-2.766	-	-	2.76	1.38
4	1.034	-3.286	-	-	8.74	1.84
5	1.050	-7.000	47.48	56.56	108.33	21.85
6	1.033	-4.011	-	-	-	-
7	1.031	-5.800	-	-	26.22	12.54
8	1.038	-4.137	35.43	48.70	34.5	34.5
9	1.017	-4.026	-	-	-	-
10	0.993	-5.907	-	-	6.67	2.3
11	1.050	-0.677	30.00	17.46	-	-
12	1.012	-4.211	-	-	12.88	8.63
13	1.033	-1.499	35.34	15.93	-	-
14	0.997	-4.972	-	-	7.13	1.84
15	0.996	-4.784	-	-	9.43	2.88
16	0.995	-5.264	-	-	4.03	2.07
17	0.987	-5.976	-	-	10.35	6.67
18	0.980	-6.050	-	-	3.68	1.03
19	0.974	-6.569	-	-	10.93	3.91
20	0.978	-6.476	-	-	2.53	0.81
21	0.979	-6.278	-	-	20.13	12.88
22	0.981	-6.198	-	-	-	-
23	1.000	-3.497	29.30	0.96	3.68	1.84
24	0.975	-5.878	-	-	10.01	7.71

ตารางผนวกที่ 20 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
25	0.976	-7.177	-	-	-	-
26	0.955	-7.704	-	-	4.03	2.65
27	0.988	-7.642	-	-	-	-
28	1.029	-4.356	-	-	-	-
29	0.964	-9.168	-	-	2.76	1.03
30	0.950	-10.271	-	-	12.19	2.19
		รวม	331.08	144.58	325.91	145.13

ตารางผนวกที่ 21 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 23 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสภาวะโหลดสูง (325.91 MW 145.13 MVar)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	44.88	-15.80	47.58	-40.49	14.04	42.86
2	1	3	28.65	0.02	28.65	-28.31	-0.86	28.32
3	2	4	20.74	2.31	20.87	-20.51	-3.61	20.83
4	3	4	-25.55	-0.52	25.56	-25.47	0.30	25.47
5	2	5	51.16	-10.75	52.28	-50.00	13.32	51.74
6	2	6	27.64	0.53	27.65	-27.24	-1.34	27.27
7	4	6	30.65	-7.18	31.48	-30.54	7.08	31.35
8	5	7	-10.85	21.39	23.98	11.10	-21.84	24.50
9	6	7	37.70	-9.22	38.81	-37.32	9.31	38.46
10	6	8	2.21	-11.91	12.11	-2.19	11.97	12.17
11	6	9	0.13	7.92	7.92	-0.13	-7.79	7.79
12	6	10	6.60	7.58	10.05	-6.10	-7.09	9.35
13	9	11	-30.00	-15.19	33.63	30.00	17.46	34.71
14	9	10	30.13	22.98	37.89	-30.13	-21.46	36.99
15	4	12	6.60	8.65	10.88	-6.60	-8.37	10.66
16	12	13	-35.34	-13.96	38.00	35.34	15.93	38.76
17	12	14	6.68	2.99	7.32	-6.61	-2.85	7.20
18	12	15	11.32	7.07	13.35	-11.21	-6.85	13.14
19	12	16	11.05	3.64	11.63	-10.93	-3.38	11.44
20	14	15	-0.52	1.01	1.14	0.52	-1.01	1.14
21	16	17	6.90	1.31	7.02	-6.86	-1.21	6.97

ตารางผนวกที่ 21 (ต่อ)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)
22	15	18	10.89	2.07	11.08	-10.75	-1.80	10.90
23	18	19	7.07	0.76	7.11	-7.04	-0.69	7.07
24	19	20	-3.88	-3.22	5.04	3.89	3.23	5.06
25	10	20	6.48	4.17	7.71	-6.42	-4.04	7.59
26	10	17	3.50	5.50	6.52	-3.49	-5.46	6.48
27	10	21	13.73	11.47	17.89	-13.61	-11.23	17.64
28	10	22	5.86	5.30	7.90	-5.81	-5.20	7.80
29	21	22	-6.51	-1.65	6.72	6.52	1.66	6.73
30	15	23	-9.63	2.91	10.06	9.73	-2.71	10.10
31	22	24	-0.70	3.54	3.61	0.72	-3.52	3.59
32	23	24	15.89	1.83	16.00	-15.56	-1.14	15.60
33	24	25	4.83	-3.01	5.69	-4.77	3.12	5.70
34	25	26	4.09	2.74	4.92	-4.02	-2.64	4.81
35	25	27	0.68	-5.86	5.90	-0.64	5.94	5.97
36	28	27	14.72	11.20	18.50	-14.72	-9.92	17.75
37	27	29	7.15	1.99	7.42	-7.03	-1.75	7.24
38	27	30	8.20	2.00	8.44	-7.97	-1.56	8.12
39	29	30	4.27	0.72	4.33	-4.22	-0.63	4.27
40	8	28	3.12	2.23	3.84	-3.10	-4.48	5.45
41	6	28	11.64	-0.11	11.64	-11.61	-6.72	13.41

ตารางผนวกที่ 22 ผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 10 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสภาวะโหลดกลาง (283.40 MW 126.20 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0.000	44.78	-9.79	-	-
2	1.050	-1.028	59.16	19.29	21.7	12.7
3	1.039	-1.268	-	-	2.4	1.2
4	1.037	-1.476	-	-	7.6	1.6
5	1.050	-6.440	19.85	56.55	94.20	19.00
6	1.036	-1.951	-	-	-	-
7	1.034	-4.282	-	-	22.8	10.9
8	1.042	-2.216	23.56	48.70	30.0	30.0
9	0.999	0.500	-	-	-	-
10	0.991	1.855	100.84	0.00	5.8	2.0
11	0.978	0.500	0.00	-10.00	-	-
12	1.006	-0.089	-	-	11.2	7.5
13	1.030	3.008	40.00	18.58	-	-
14	0.989	-0.852	-	-	6.2	1.6
15	0.985	-0.704	-	-	8.2	2.5
16	0.993	0.420	-	-	3.5	1.8
17	0.986	1.192	-	-	9.0	5.8
18	0.974	-0.578	-	-	3.2	0.9
19	0.972	-0.285	-	-	9.5	3.4
20	0.976	0.190	-	-	2.2	0.7
21	0.978	1.034	-	-	17.5	11.2
22	0.979	0.944	-	-	-	-
23	0.972	-0.950	-	-	3.2	1.6

ตารางผนวกที่ 22 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
24	0.963	-0.891	-	-	8.7	6.7
25	0.969	-3.168	-	-	-	-
26	0.950	-3.632	-	-	3.5	2.3
27	0.983	-4.254	-	-	-	-
28	1.033	-2.177	-	-	-	-
29	0.962	-5.590	-	-	2.4	0.9
30	0.950	-6.552	-	-	10.6	1.9
		รวม	288.19	123.33	283.40	126.20

ตารางผนวกที่ 23 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 10 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสถานะโหลดกลาง (283.40 MW 126.20 MVar)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	31.05	-11.51	33.11	-30.86	9.16	32.19
2	1	3	13.73	1.72	13.84	-13.65	-3.62	14.12
3	2	4	6.76	4.68	8.22	-6.72	-6.56	9.39
4	3	4	11.25	2.42	11.51	-11.23	-2.82	11.58
5	2	5	50.18	-10.62	51.29	-49.06	13.00	50.75
6	2	6	11.39	3.37	11.88	-11.31	-5.17	12.44
7	4	6	20.22	-4.74	20.77	-20.18	4.43	20.66
8	5	7	-25.29	24.55	35.25	25.82	-24.30	35.46
9	6	7	49.26	-12.51	50.82	-48.62	13.40	50.43
10	6	8	7.52	-15.32	17.07	-7.48	15.43	17.15
11	6	9	-21.29	19.03	28.56	21.29	-17.45	27.53
12	6	10	-12.27	8.79	15.09	12.27	-7.61	14.44
13	9	11	0.00	10.22	10.22	0.00	-10.00	10.00
14	9	10	-21.29	7.24	22.49	21.29	-6.68	22.31
15	4	12	-9.87	12.53	15.95	9.87	-11.92	15.48
16	12	13	-40.00	-16.01	43.09	40.00	18.58	44.10
17	12	14	6.81	3.37	7.60	-6.74	-3.23	7.47
18	12	15	13.14	9.80	16.39	-12.97	-9.46	16.05
19	12	16	-1.02	7.26	7.33	1.07	-7.15	7.23
20	14	15	0.54	1.63	1.72	-0.53	-1.62	1.70
21	16	17	-4.57	5.35	7.04	4.61	-5.26	6.99

ตารางผนวกที่ 23 (ต่อ)

Line	From	To	From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)
22	15	18	1.10	4.22	4.36	-1.08	-4.17	4.31
23	18	19	-2.12	3.27	3.90	2.13	-3.25	3.89
24	19	20	-11.63	-0.15	11.63	11.68	0.24	11.68
25	10	20	14.07	1.37	14.14	-13.88	-0.94	13.91
26	10	17	13.67	0.71	13.69	-13.61	-0.54	13.62
27	10	21	22.04	7.51	23.28	-21.85	-7.09	22.97
28	10	22	11.70	2.90	12.05	-11.59	-2.67	11.89
29	21	22	4.35	-4.11	5.98	-4.35	4.12	5.99
30	15	23	4.19	4.36	6.05	-4.16	-4.29	5.98
31	22	24	15.94	-1.44	16.00	-15.63	1.92	15.75
32	23	24	0.96	2.69	2.86	-0.94	-2.66	2.82
33	24	25	7.87	-5.92	9.85	-7.68	6.26	9.91
34	25	26	3.55	2.37	4.27	-3.50	-2.30	4.19
35	25	27	4.13	-8.63	9.57	-4.02	8.84	9.71
36	28	27	9.29	13.18	16.13	-9.29	-12.22	15.35
37	27	29	6.20	1.69	6.43	-6.11	-1.51	6.29
38	27	30	7.11	1.69	7.31	-6.93	-1.36	7.06
39	29	30	3.71	0.61	3.76	-3.67	-0.54	3.71
40	8	28	1.05	3.27	3.43	-1.04	-5.53	5.63
41	6	28	8.27	0.74	8.30	-8.25	-7.65	11.25

ตารางผนวกที่ 24 ผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 10 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสภาวะโหลดต่ำ (212.55 MW 94.65 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0	23.02	-2.23	-	-
2	1.050	-0.671	33.80	27.70	16.27	9.53
3	1.036	-0.104	-	-	1.8	0.9
4	1.034	-0.071	-	-	5.7	1.2
5	1.041	-5.002	0.66	39.16	70.65	14.25
6	1.036	-0.399	-	-	-	-
7	1.032	-2.656	-	-	17.1	8.18
8	1.044	-0.691	15.75	48.70	22.5	22.5
9	0.993	3.105	-	-	-	-
10	0.984	5.056	108.93	-0.00	4.35	1.5
11	0.972	3.105	-0.00	-10.00	-	-
12	0.967	2.856	-	-	8.4	5.63
13	0.950	5.843	34.20	-10.63	-	-
14	0.957	2.331	-	-	4.65	1.2
15	0.958	2.456	-	-	6.15	1.88
16	0.969	3.535	-	-	2.63	1.35
17	0.975	4.417	-	-	6.75	4.35
18	0.957	2.777	-	-	2.4	0.68
19	0.959	3.134	-	-	7.13	2.55
20	0.965	3.566	-	-	1.65	0.53
21	0.973	4.319	-	-	13.13	8.4
22	0.973	4.215	-	-	-	-
23	0.955	2.283	-	-	2.4	1.2
24	0.958	2.358	-	-	6.53	5.03

ตารางผนวกที่ 24 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
25	0.968	-0.221	-	-	-	-
26	0.954	-0.568	-	-	2.63	1.73
27	0.983	-1.547	-	-	-	-
28	1.033	-0.516	-	-	-	-
29	0.968	-2.543	-	-	1.8	0.68
30	0.959	-3.253	-	-	7.95	1.43
		รวม	216.35	92.70	212.55	94.65

ตารางผนวกที่ 25 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 10 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสภาวะโหลดต่ำ (212.55 MW 94.65 MVar)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	20.25	-8.08	21.80	-20.17	5.41	20.88
2	1	3	2.77	5.86	6.48	-2.75	-7.98	8.44
3	2	4	-2.98	9.85	10.29	3.04	-11.65	12.04
4	3	4	0.95	7.08	7.14	-0.94	-7.51	7.57
5	2	5	40.84	-4.44	41.08	-40.12	5.17	40.45
6	2	6	-0.17	7.35	7.35	0.20	-9.28	9.28
7	4	6	12.13	-9.49	15.40	-12.11	9.10	15.15
8	5	7	-29.87	19.74	35.80	30.43	-19.42	36.10
9	6	7	48.13	-10.47	49.26	-47.53	11.24	48.84
10	6	8	6.91	-21.68	22.75	-6.85	21.88	22.93
11	6	9	-30.24	22.12	37.47	30.24	-19.40	35.93
12	6	10	-17.43	10.55	20.37	17.43	-8.07	19.21
13	9	11	0.00	10.22	10.22	0.00	-10.00	10.00
14	9	10	-30.24	9.18	31.60	30.24	-8.07	31.30
15	4	12	-19.94	27.45	33.93	19.94	-24.69	31.74
16	12	13	-34.20	12.62	36.45	34.20	-10.63	35.81
17	12	14	4.10	1.64	4.42	-4.08	-1.59	4.38
18	12	15	6.65	3.34	7.44	-6.61	-3.26	7.37
19	12	16	-4.89	1.46	5.10	4.92	-1.41	5.12
20	14	15	-0.57	0.39	0.69	0.57	-0.39	0.69
21	16	17	-7.54	0.06	7.54	7.59	0.06	7.59

ตารางผนวกที่ 25 (ต่อ)

Line	From	To	From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
22	15	18	-1.78	1.16	2.12	1.79	-1.15	2.13
23	18	19	-4.19	0.48	4.22	4.20	-0.45	4.22
24	19	20	-11.33	-2.10	11.52	11.38	2.20	11.59
25	10	20	13.20	3.12	13.56	-13.03	-2.72	13.31
26	10	17	14.42	4.61	15.14	-14.34	-4.41	15.00
27	10	21	18.94	5.41	19.70	-18.80	-5.11	19.48
28	10	22	10.35	2.01	10.54	-10.26	-1.84	10.42
29	21	22	5.67	-3.29	6.56	-5.67	3.30	6.56
30	15	23	1.67	0.61	1.78	-1.67	-0.60	1.77
31	22	24	15.93	-1.46	16.00	-15.62	1.94	15.74
32	23	24	-0.73	-0.60	0.94	0.74	0.60	0.95
33	24	25	8.36	-7.53	11.25	-8.10	7.98	11.37
34	25	26	2.65	1.77	3.19	-2.62	-1.73	3.14
35	25	27	5.45	-9.75	11.17	-5.30	10.03	11.34
36	28	27	4.62	13.17	13.96	-4.62	-12.45	13.28
37	27	29	4.62	1.21	4.78	-4.57	-1.12	4.71
38	27	30	5.29	1.20	5.42	-5.20	-1.02	5.30
39	29	30	2.77	0.44	2.80	-2.75	-0.40	2.78
40	8	28	0.10	4.32	4.32	-0.08	-6.57	6.57
41	6	28	4.54	-0.34	4.55	-4.53	-6.60	8.01

ตารางผนวกที่ 26 ผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 10 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสภาวะโหลดสูง (325.91 MW 145.13 MVar)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0	59.51	-14.80	-	-
2	1.050	-1.253	76.38	14.72	24.95	14.61
3	1.041	-2.102	-	-	2.76	1.38
4	1.039	-2.483	-	-	8.74	1.84
5	1.050	-7.186	33.34	58.75	108.33	21.85
6	1.040	-3.090	-	-	-	-
7	1.035	-5.330	-	-	26.22	12.54
8	1.044	-3.288	31.02	48.70	34.5	34.5
9	1.027	-1.694	-	-	-	-
10	1.008	-0.933	91.10	-0.00	6.67	2.3
11	1.050	-1.694	-0.00	11.60	-	-
12	1.020	-2.267	-	-	12.88	8.63
13	1.050	0.730	40.00	23.43	-	-
14	1.002	-3.188	-	-	7.13	1.84
15	0.997	-3.101	-	-	9.43	2.88
16	1.007	-2.051	-	-	4.03	2.07
17	1.002	-1.527	-	-	10.35	6.67
18	0.986	-3.204	-	-	3.68	1.03
19	0.984	-3.022	-	-	10.93	3.91
20	0.989	-2.567	-	-	2.53	0.81
21	0.993	-1.754	-	-	20.13	12.88
22	0.993	-1.824	-	-	-	-
23	0.982	-3.436	-	-	3.68	1.84
24	0.973	-3.449	-	-	10.01	7.71

ตารางผนวกที่ 26 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
25	0.975	-5.354	-	-	-	-
26	0.954	-5.882	-	-	4.03	2.65
27	0.988	-6.186	-	-	-	-
28	1.035	-3.386	-	-	-	-
29	0.964	-7.711	-	-	2.76	1.03
30	0.950	-8.814	-	-	12.19	2.19
		รวม	331.35	142.40	325.91	145.13

ตารางผนวกที่ 27 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ขณะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระเชื่อมต่อเข้ามาที่บัส 10 ของระบบส่งไฟฟ้า ในสภาวะโหลดสูง (325.91 MW 145.13 MVar)

Line	From Bus	To Bus	From Bus Injection			To Bus Injection		
			P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
1	1	2	37.86	-13.64	40.24	-37.58	11.55	39.31
2	1	3	21.65	-1.16	21.68	-21.45	-0.28	21.45
3	2	4	14.11	0.90	14.14	-14.01	-2.58	14.25
4	3	4	18.69	-1.10	18.72	-18.65	0.77	18.67
5	2	5	55.06	-11.28	56.20	-53.72	14.61	55.67
6	2	6	19.84	-1.05	19.87	-19.64	-0.36	19.64
7	4	6	25.48	-7.85	26.66	-25.40	7.63	26.52
8	5	7	-21.27	22.29	30.81	21.68	-22.35	31.14
9	6	7	48.50	-9.05	49.34	-47.90	9.81	48.89
10	6	8	5.60	-11.61	12.89	-5.58	11.67	12.94
11	6	9	-12.51	6.44	14.07	12.51	-6.05	13.90
12	6	10	-7.10	5.95	9.26	7.10	-5.51	8.99
13	9	11	0.00	-11.35	11.35	0.00	11.60	11.60
14	9	10	-12.51	17.40	21.43	12.51	-16.92	21.04
15	4	12	-1.56	7.82	7.97	1.56	-7.67	7.83
16	12	13	-40.00	-20.70	45.04	40.00	23.43	46.36
17	12	14	8.11	3.51	8.84	-8.01	-3.32	8.67
18	12	15	16.44	10.01	19.25	-16.20	-9.55	18.81
19	12	16	1.01	6.23	6.31	-0.98	-6.15	6.23
20	14	15	0.88	1.48	1.72	-0.88	-1.47	1.71
21	16	17	-3.05	4.08	5.09	3.07	-4.03	5.07

ตารางผนวกที่ 27 (ต่อ)

Line	From To		From Bus Injection			To Bus Injection		
	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
22	15	18	2.53	3.52	4.33	-2.51	-3.48	4.29
23	18	19	-1.17	2.45	2.72	1.17	-2.44	2.71
24	19	20	-12.10	-1.47	12.19	12.15	1.58	12.25
25	10	20	14.89	2.85	15.16	-14.68	-2.38	14.87
26	10	17	13.48	2.80	13.77	-13.42	-2.64	13.68
27	10	21	23.93	10.27	26.04	-23.69	-9.77	25.63
28	10	22	12.53	4.41	13.28	-12.40	-4.15	13.08
29	21	22	3.57	-3.11	4.73	-3.57	3.11	4.73
30	15	23	5.12	4.62	6.90	-5.07	-4.53	6.80
31	22	24	15.97	1.03	16.00	-15.67	-0.57	15.68
32	23	24	1.39	2.69	3.03	-1.38	-2.66	3.00
33	24	25	7.04	-4.44	8.32	-6.90	4.68	8.34
34	25	26	4.09	2.74	4.92	-4.02	-2.64	4.81
35	25	27	2.81	-7.42	7.93	-2.74	7.56	8.04
36	28	27	12.61	12.73	17.92	-12.61	-11.54	17.09
37	27	29	7.15	1.99	7.42	-7.03	-1.75	7.24
38	27	30	8.20	2.00	8.44	-7.97	-1.56	8.12
39	29	30	4.27	0.72	4.33	-4.22	-0.63	4.27
40	8	28	2.10	2.53	3.29	-2.09	-4.81	5.24
41	6	28	10.55	1.00	10.60	-10.53	-7.92	13.18

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นายวอม เอื้อวณิชกุล
วัน เดือน ปี ที่เกิด	30 สิงหาคม 2526
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วศ.บ.วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกรไฟฟ้า
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	