ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า	วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย อนุญาตให้เชื่อมโยงกับระบบจำหน่าย โดยคำนึงถึงข้อจำกัดความสูญเสีย และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม

Maximum Allowable Distributed Generation in Distribution System Considering Loss Limit and Voltage Profile Improvement Index

นามผู้วิจัย นายวิชศรุธค์ ธนะภักดิ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต ดำรงกุลกำจร, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, วศ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย อนุญาตให้เชื่อมโยงกับระบบจำหน่าย โดยคำนึงถึงข้อจำกัดความสูญเสีย และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม

Maximum Allowable Distributed Generation in Distribution System Considering Loss Limit and Voltage Profile Improvement Index

โดย

นายวิชศรุธค์ ธนะภักดิ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
พ.ศ. 2556

วิชศรุธค์ ธนะภักดิ์ 2556: ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย อนุญาตให้เชื่อมโยงกับระบบจำหน่าย โดยคำนึงถึงข้อจำกัดความสูญเสีย และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต ดำรงกุลกำจร, Ph.D. 168 หน้า

วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีจุดประสงค์หลักในการนำเสนอการศึกษาความสามารถสูงสุดของระบบจำหน่ายในการรองรับการเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบกับระบบจำหน่าย และผู้ใช้ไฟรายอื่นในระบบ ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดความสูญเสียและดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมที่ยอมรับได้ของระบบนั้น ซึ่งการศึกษาจะกระทำผ่านวิธีการคำนวณหาค่าสูงสุดของขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย โดยที่ ค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าระบบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต้องไม่ส่งผลให้ปริมาณทางไฟฟ้าของระบบมีค่าเกินกว่าขอบเขตที่กำหนด โดยข้อจำกัดความสูญเสียที่ใช้เป็นเงื่อนไขในการคำนวณมาจากระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมได้มาจากขอบเขตแรงดันของแทปหม้อแปลงที่เหมาะสมที่สุดก่อนการเชื่อมโยง ทั้งนี้เพื่อให้ระบบยังคงมีระดับแรงดันที่เหมาะสมตลอดเวลาโดยไม่ต้องเปลี่ยนแทปหม้อแปลง ทั้งในขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมต่อเข้ามาในระบบหรือหลุดออกจากระบบ การคำนวณที่นำ เสนอในบทความนี้ใช้ทดสอบกับระบบจำหน่ายแบบเรเดียล 12 บัส โดยกำหนดให้การกระจายตัวของโหลดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ และพิจารณาผลของโหลดที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาใน 24 ชั่วโมง

ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถหาค่าขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ระบบสามารถรองรับได้ โดยที่ความสูญเสีย และระดับแรงดันไฟฟ้าอยู่ในขอบเขต และเหมาะสมที่สุด

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Witsarut Tanapak 2013: Maximum Allowable Distributed Generation in Distribution System Considering Loss Limit and Voltage Profile Improvement Index. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Parnjit Damrongkulkamjorn, Ph.D. 168 pages.

The main objective of this thesis is to presents the study of the maximum size of distributed generation allowed to connect to distribution system without negative effects on the system and other customers. The additional constraints determined in this study are maximum allowable losses and acceptable system voltage profile improvement index. The study is to done by calculate the optimization problem with the objective of maximize real power generation from distributed generator subject to operation constraints of the system. The maximum allowable losses come from grid code of PEA. The acceptable voltage profiles are obtained from voltage limits for transformer taps of the system before the connection. The last constraint is added in order for the system to maintain the proper voltage levels at all times without having to change the transformer taps when the distributed generator is connected to or disconnected from the system. The proposed method is tested on a 12-bus radial distribution system assuming that the load is distributed uniformly with 24 hour load curve.

The results show that the proposed method successfully finds the maximum allowable distributed generation where system losses and voltage profile are within the acceptable limits.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต ดำรงกุลกำจร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้คำปรึกษา สนับสนุนด้านการเรียน และวางแผนงานการศึกษาค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน และมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ขอขอบคุณกองวางแผนแหล่งผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก กองควบคุมและบำรุงรักษา ฝปค.(ฉ.1) รวมถึงบุคคลอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวถึง ในการเอื้อเฟื้อข้อมูลที่สำคัญ ทำให้เป็นที่มาของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอขอบคุณ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา ตลอดจนเจ้าหน้าที่ ผู้ประสานงานโครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่างการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่ครูบาอาจารย์ผู้มีพระคุณทั้งหลาย ของข้าพเจ้า ที่ให้การส่งเสริม สนับสนุน และเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัย

วิชศรุธค์ ธนะภักดิ์

พฤษภาคม 2556

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง

สารบัญตาราง (ต่อ)

สารบัญตาราง (ต่อ)

สารบัญตาราง (ต่อ)

สารบัญตาราง (ต่อ)

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

สารบัญภาพ

ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย อนุญาตให้เชื่อมโยงกับระบบจำหน่าย โดยคำนึงถึงข้อจำกัดความสูญเสีย และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม

Maximum Allowable Distributed Generation in Distribution System Considering Loss Limit and Voltage Profile Improvement Index

คำนำ

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในประเทศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการวางแผนเตรียมความพร้อมเพื่อรองรับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างเพียงพอ แต่จากปัญหาโลกร้อน ปัญหาสิ่งแวดล้อมและประกอบกับต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลมีราคาสูงขึ้นอย่างมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มความมั่นคงทางด้านพลังงาน และรองรับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้น หน่วยงานภาครัฐฯ ทางด้านพลังงาน จึงเห็นความสำคัญของการส่งเสริมให้ภาคเอกชนเข้ามามีส่วนร่วมในการใช้พลังงานทดแทนหรือพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ในการผลิตไฟฟ้าให้มากขึ้น เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวมวล เป็นต้น

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ก็เป็นอีกหน่วยงานหนึ่งที่ให้การส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนหรือพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ในการผลิตไฟฟ้า โดยมีการจูงใจในเรื่องของอัตราค่าไฟฟ้าที่มากกว่าปกติ (ค่า Adder) ซึ่งทำให้มีผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กและขนาดเล็กมาก (SPP , VSPP) จำนวนมาก ยื่นขอติดตั้งและเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Distributed Generator) กับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจำหน่ายให้กับ กฟภ. ตามนโยบายของภาครัฐฯ ซึ่งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีระเบียบและกระบวนการในการพิจารณารับซื้อและเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Distributed Generator) ในลักษณะมาก่อนเชื่อมโยงก่อน (First Come-First Served) โดยที่ตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Distributed Generator) ผู้ผลิตไฟฟ้าจะเป็นผู้กำหนด (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2551) และมักจะอยู่ใกล้แหล่งพลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าเป็นหลัก แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นอาจไม่สอดคล้องกับความต้องการใช้พลังงานของการไฟฟ้าฯ อีกทั้งยังมีการพิจารณาทางเทคนิคประกอบ โดยมีการพิจารณาในเรื่อง ความสูญเสียในระบบ (Line Losses) การวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้า ผลกระทบต่อระดับแรงดัน และการรับภาระของสาย เป็นต้น แต่กระบวนการดังกล่าวยังไม่เพียงพอต่อการประเมินผลกระทบของ

การเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายกับระบบจำหน่าย อีกทั้งยังไม่สามารถแสดงให้เห็นถึงขีดความสามารถในการรองรับกำลังผลิตหรือขีดความสามารถคงเหลือในการรองรับกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Distributed Generator) สูงสุดของระบบนั้นๆ ได้ ทำให้เกิดปัญหาในการควบคุมและดูแลระบบจำหน่าย

อีกทั้งการเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายกับระบบจำหน่าย ยังส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าในระบบมีค่าสูงขึ้น โดยขนาดของแรงดันจะขึ้นกับขนาดและตำแหน่งการเชื่อมโยงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ประกอบกับไม่สามารถรับรองความแน่นอนในการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายได้ ทำให้ในบางกรณีระดับแรงดันไฟฟ้าช่วงก่อนและหลังเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายมีความแตกต่างกันมาก อีกทั้งในทางปฏิบัติแล้วผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP) มักจะควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายให้ส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) เพียงอย่างเดียว โดยการควบคุมค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มีค่าเท่ากับ 1.0 ทำให้แรงดันในระบบยิ่งเพิ่มสูงมากกกว่ากรณีที่ยินยอมให้มีการรับกำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power) จากระบบเข้าไปบางส่วน

ดังนั้นในฐานะที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบด้านระบบจำหน่าย และการอนุญาตให้เชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย จึงมีความจำเป็นที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะต้องมีวิธีการและเครื่องมือที่จะช่วยให้การกำหนดขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย (Distributed Generator) ให้มีความเหมาะสมที่สุด เพื่อให้เกิดประโยชน์ทั้งต่อการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กหรือขนาดเล็กมากเอง

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาความสามารถสูงสุดของระบบจำหน่ายในการรองรับการเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบกับระบบจำหน่าย และผู้ใช้ไฟรายอื่นในระบบ ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดความสูญเสีย และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมที่ยอมรับได้ของระบบนั้น รวมถึงพิกัดกระแสของสายตัวนำ และข้อกำหนดปริมาณสูงสุดที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาครับซื้อใน 1 วงจร ซึ่งการศึกษาจะกระทำผ่านวิธีการคำนวณหาค่าสูงสุดของขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย โดยที่ ค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าระบบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต้องไม่ส่งผลให้ปริมาณทางไฟฟ้าของระบบมีค่าเกินกว่าขอบเขตที่กำหนด ด้วยชุดคำสั่งที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Matlab ซึ่งเป็นโปรแกรมที่เป็นมาตรฐาน สามารถไปประยุกต์ใช้กับโปรแกรมสำเร็จรูปอื่นๆ ได้ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมการไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Equation) แบบหลายเงื่อนไข เพื่อวิเคราะห์หาขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ยอมให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

สามารถเชื่อมโยงกับระบบจำหน่าย ซึ่งในการศึกษานี้จะพิจารณาบนพื้นฐานว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย เชื่อมโยงเข้ามาในลักษณะมาก่อนเชื่อมโยงก่อน (First Come-First Served) และทดสอบด้วยระบบทดสอบแบบเรเดียล 12 บัส โดยกำหนดให้การกระจายตัวของโหลดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ รวมทั้งพิจารณาผลของโหลดที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาใน 24 ชั่วโมง ซึ่งทำให้คำตอบที่ได้เป็นค่าสูงสุดเพียงค่าเดียวที่เหมาะสมกับสภาวะโหลดในทุกช่วงเวลา และอยู่ภายใต้เงื่อนไขความสูญเสียสูงสุดที่สามารถยอมรับได้ ดัชนีภาพรวมการปรับปรุงระดับแรงดันไฟฟ้า และต้องไม่ติดข้อจำกัดทางด้านเทคนิคด้วย

วัตถุประสงค์

วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีจุดประสงค์หลักในการดำเนินการศึกษาหารูปแบบสมการ ซึ่งจะนำไปสู่กระบวนการในการคำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย ที่สามารถอนุญาตให้เชื่อมโยงกับระบบจำหน่าย โดยไม่ส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายเกินกว่าขอบเขตที่ยอมรับได้ ซึ่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะให้ความสำคัญใน 2 ประเด็น คือ

1. ข้อจำกัดความสูญเสียที่เกิดขึ้นหลังจากเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ

2. การเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันไฟฟ้าหลังจากเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ซึ่งไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแทปของหม้อแปลงจำหน่าย

ทั้งนี้เพื่อให้ได้ซึ่งค่าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ระบบจำหน่ายสามารถรองรับให้เชื่อมโยงกับระบบจำหน่ายได้ โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบกับระบบ อีกทั้งเพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาพัฒนาปรับปรุงวิธีการวิเคราะห์ทางเทคนิค เพื่อพิจารณารับซื้อและเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคต่อไป

การตรวจเอกสาร

ทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการกำหนดกรอบแนวความคิดสำหรับงานวิจัยนี้ ได้มีการตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องกับแนวความคิดเกี่ยวกับนิยาม และงานวิจัยต่างๆ ซึ่งสามารถสรุปแนวคิดและทฤษฎีได้ดังนี้

แนวคิดเกี่ยวกับนิยามของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ผู้วิจัยได้ตรวจเอกสารที่เกี่ยวกับนิยามของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย สามารถสรุปได้ดังนี้

คำว่า “เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย” มีความหมายที่หลากหลายขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้ และขึ้นกับคำจำกัดความที่การไฟฟ้าในแต่ละประเทศกำหนดขึ้น

Ackermann *et al.* (2001) กล่าวว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย คือ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เชื่อมต่อโดยตรงกับระบบจำหน่าย หรือด้านมิเตอร์ของผู้ใช้ไฟ ซึ่งผู้เขียนได้เรียบรวมและเรียบเรียงคำจำกัดความของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย จากบทความที่มีการเผยแพร่ และคำจำกัดความที่การไฟฟ้าในแต่ละประเทศกำหนดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น หากนิยามตามวัตถุประสงค์ ผู้เขียนสรุปว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย คือ แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าปรากฏ โดยที่ไม่จำเป็นต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือน หรือหากนิยามตามตำแหน่งที่เชื่อมโยง ผู้เขียนกล่าวว่าบทความส่วนใหญ่นำเสนอว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่เชื่อมต่อโดยตรงกับระบบจำหน่าย หรือด้านมิเตอร์ของผู้ใช้ไฟ หรือหากนิยามตามพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ผู้เขียนสรุปว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดตั้งแต่ไม่กี่กิโลวัตต์จนถึงประมาณ 300 เมกกะวัตต์ เป็นต้น

และจากการที่ผู้วิจัยได้ศึกษาบทความทางวิชาการต่างๆ เพิ่มเติม พบว่าผู้เขียนบทความเหล่านั้นได้ให้คำจำกัดความของคำว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย หรือ Distributed Generator ไว้ในแนวทางที่คล้ายกัน เช่น Iyer *et al.* (2005) กล่าวว่าว่า Distributed Generator คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่มักจะเชื่อมต่ออยู่กับระบบจำหน่าย ส่วน Koutroumpezis and Safigianni (2009)

กล่าวว่า Distributed Generator คือ แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่เชื่อมโยงโดยตรงกับระบบจำหน่าย หรือเชื่อมโยงทางด้านผู้ใช้ไฟ หรืออาจกล่าวได้ว่า Distributed Generator คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดน้อยกว่า 100 MW ที่ติดตั้งในระบบจำหน่ายทางด้านผู้ใช้ไฟ และไม่มีการวางแผนการจัดการจากผู้ดูแลระบบไฟฟ้านั้นๆ Paudyal *et al.* (2010) ซึ่งจะเห็นว่าบทความส่วนใหญ่จะให้คำจัดกัดความของ Distributed Generator ว่าคือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก แต่มิได้ระบุเป็นขนาดที่แน่ชัด และการเชื่อมโยงส่วนใหญ่จะเชื่อมโยงกับระบบจำหน่ายเป็นหลัก

ซึ่งในขณะที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในฐานะผู้ให้บริการจำหน่ายกระแส และดูแลระบบจำหน่ายส่วนใหญ่ของประเทศไทย อีกทั้งยังเป็นผู้พิจารณารับซื้อกระแสไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชน กลับไม่ได้ให้คำจำกัดความของ Distributed Generator ไว้ชัดเจน แต่หากพิจารณาแล้วคำว่า Distributed Generator นั้นจะใกล้เคียงกับคำว่า ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก หรือ VSPP (Very Small Power Producer) ซึ่งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก คือ ผู้ประกอบกิจการไฟฟ้าที่ขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก โดยมีปริมาณขายไม่เกิน 10 MW (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2551)

แนวคิดเกี่ยวกับข้อกำหนด และระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ในการเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย กับระบบส่ง หรือระบบจำหน่ายนั้น หน่วยงานการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง เป็นผู้ที่มีอำนาจให้อนุญาตเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในพื้นที่ที่การไฟฟ้านั้นๆ รับผิดชอบ สำหรับงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นไปที่การเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย กับระบบจำหน่าย ซึ่งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบระบบจำหน่ายส่วนใหญ่ของประเทศไทย ผู้วิจัยจึงได้ตรวจเอกสารที่เกี่ยวกับข้อกำหนด และระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้า ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2551) ซึ่งมีรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ดังนี้

1. ข้อกำหนดปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่จ่ายหรือรับจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า

หลักเกณฑ์ปริมาณกำลังไฟฟ้าของผู้ขอใช้บริการที่จะจ่ายหรือรับกำลังไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าในแต่ละระบบ ดังนี้

1.1 ระบบจำหน่าย 22 kV ไม่เกิน 8.0 MW / วงจร

1.2 ระบบจำหน่าย 33 kV ไม่เกิน 10.0 MW / วงจร

1.3 ระบบจำหน่าย 380/220 V

1.3.1 ผู้ขอใช้บริการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายแรงต่ำ 1 เฟส สามารถจ่ายไฟหรือรับไฟจากระบบได้ไม่เกิน 10 kW

1.3.2 ผู้ขอใช้บริการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายแรงต่ำ 3 เฟส สามารถจ่ายไฟหรือรับไฟจากระบบได้ไม่เกิน 56 kW

1.3.3 ผู้ขอใช้บริการจ่ายหรือรับกำลังไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า มากกว่า 56 kW ให้เชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย 22 หรือ 33 kV ตามความเหมาะสม

1.4 หากปริมาณกำลังไฟฟ้าเกินกว่าที่กำหนดในข้อ 1.1 หรือ 1.2 ให้เชื่อมต่อกับระบบส่ง 69 kV หรือ 115 kV ตามความเหมาะสม ทั้งนี้ไม่เกิน 180 MW / วงจร

ทั้งนี้ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่อนุญาตให้จ่ายไฟหรือรับไฟจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะได้พิจารณาตามความเหมาะสม โดยคำนึงถึงความปลอดภัย ความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายไฟฟ้า และผลประโยชน์ต่อส่วนรวมเป็นหลัก

2. ข้อกำหนดหลักเกณฑ์การพิจารณาทางเทคนิค

เพื่อให้คุณภาพไฟฟ้าสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าทั่วไป อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคภายหลังจากมีผู้เชื่อมต่อแล้ว อีกทั้งไม่ส่งผลกระทบทางด้านความปลอดภัยและความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายไฟฟ้า จึงกำหนดหลักเกณฑ์การพิจารณาทางเทคนิค ดังนี้

2.1 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะศึกษาผลกระทบของการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าด้านต่างๆ ก่อนที่ผู้ขอใช้บริการจะได้รับอนุญาตให้เชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า ทั้งนี้ให้พิจารณาถึงแผนงานหรือโครงการของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคด้วย ดังนี้

2.1.1 การจ่ายกระแสไฟฟ้า ผู้ขอใช้บริการที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องไม่ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายจำหน่ายหรือสายส่งของระบบโครงข่ายไฟฟ้าเกินพิกัดกระแสต่อเนื่อง

และไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลย้อนไปด้านแรงสูงของหม้อแปลงของสถานีไฟฟ้า หรือไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลย้อนไปด้านแรงสูงของหม้อแปลงในระบบจำหน่าย

2.1.2 การคุมค่าแรงดัน (Voltage Regulation) ผู้ขอใช้บริการที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องไม่ทำให้แรงดันในระบบโครงข่ายไฟฟ้าอยู่นอกเกณฑ์มาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มาตรฐานระดับแรงดันไฟฟ้าของ กฟภ.

ระดับแรงดัน	ภาวะปกติ		ภาวะฉุกเฉิน	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
115 kV	120.7	109.2	126.5	103.5
69 kV	72.4	65.5	75.9	62.1
33 kV	34.7	31.3	36.3	29.7
22 kV	23.1	20.9	24.2	19.8
380 V	418	342	418	342
220 V	240	200	240	200

หน่วย : kV

2.1.3 กระแสลัดวงจร ผู้ขอใช้บริการที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องไม่ทำให้ค่ากระแสลัดวงจรรวมในระบบโครงข่ายไฟฟ้าเกินร้อยละ 85 ของค่าวิสัยสามารถตัดกระแสลัดวงจร (Short Circuit Interrupting Capacity) ของอุปกรณ์ตัดการเชื่อมต่อ และต้องไม่จ่ายกระแสลัดวงจรเกินร้อยละ 25 ของกระแสลัดวงจรสูงสุดที่จุดเชื่อมต่อที่มาจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าก่อนการเชื่อมต่อ ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการทำงานที่ไม่ประสานสัมพันธ์ (Protection Coordination) ของอุปกรณ์ป้องกัน

2.1.4 ความซับซ้อนในการควบคุมและการปฏิบัติการ จำนวนของผู้ขอใช้บริการรวมทั้งผู้เชื่อมต่อรายอื่นจะต้องไม่เกินจำนวน 4 ราย/วงจร ยกเว้นที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย 380/220 V

2.2 ผู้ขอใช้บริการรายใดที่ไม่ผ่านหลักเกณฑ์การพิจารณาทางเทคนิค ผู้ขอใช้บริการจะต้องทำการศึกษาการแก้ไขผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งการจ่ายกระแสไฟฟ้า การคุมค่าแรงดัน กระแสลัดวงจร ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า และความซับซ้อนในการควบคุมและการปฏิบัติการ ถ้าหากมีความจำเป็นต้องมีการปรับปรุงระบบโครงข่ายไฟฟ้า ผู้ขอใช้บริการจะต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ทั้งนี้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขอสงวนสิทธิ์การพิจารณาอนุญาตให้เชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นรายๆไป

3. ข้อกำหนดอัตราค่าไฟฟ้าในการซื้อขายไฟฟ้ากับผู้ผลิตไฟฟ้า

อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าในการซื้อขายไฟฟ้ากับผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก มีหลักการดังนี้

3.1 อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าที่การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายขายให้ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากเท่ากับอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าขายปลีกตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าขายปลีก ตามประเภทการใช้ไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก รวมกับค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติขายปลีก (Ft ขายปลีก) ในเดือนนั้นๆ

ในส่วนของค่าไฟฟ้าส่วนอื่นๆ ที่นอกเหนือจากค่าพลังงานไฟฟ้า ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากยังคงต้องจ่ายตามประเภทการใช้ไฟฟ้านั้นๆ

3.2 ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่มีปริมาณพลังไฟฟ้าขายเข้าระบบไม่เกิน 6 MW การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะแบ่งการรับซื้อพลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือนออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.2.1 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากขายให้การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายน้อยกว่าหรือเท่ากับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายขายให้ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ในแต่ละเดือน การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะรับซื้อพลังงานไฟฟ้าในส่วนนี้เท่ากับค่าพลังงานไฟฟ้าตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าขายปลีกหรือค่าพลังงานไฟฟ้าขายปลีกเฉลี่ย ที่การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายขายให้ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากรายนั้นๆ ในเดือนนั้นๆ รวมกับค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติขายปลีก (Ft ขายปลีก)

3.2.2 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากขายให้การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายมากกว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายขายให้ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากใน

แต่ละเดือน การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะรับซื้อพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เท่ากับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายขายให้ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ในแต่ละเดือน ด้วยราคาตามข้อ 3.1

พลังงานไฟฟ้าส่วนที่ขายเกินกว่าที่การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายขายให้ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก กำหนดราคารับซื้อเป็น 2 กรณี ดังนี้

ก. กรณีเป็นผู้ใช้ไฟอัตราปกติ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าที่ขายจะเท่ากับอัตราค่าไฟฟ้าขายส่งเฉลี่ยทุกระดับแรงดัน ที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยขายให้การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายรวมกับค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติขายส่งเฉลี่ย (Ft ขายส่งเฉลี่ย)

ข. กรณีเป็นผู้ใช้ไฟอัตรา TOU อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าที่ขายจะเท่ากับอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าขายส่ง ณ ระดับแรงดัน 11-33 กิโลโวลต์ ที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยขายให้การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย รวมกับค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติขายส่งเฉลี่ย (Ft ขายส่งเฉลี่ย)

3.3 ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่มีปริมาณพลังไฟฟ้าขายเข้าระบบเกินกว่า 6 เมกะวัตต์ การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะรับซื้อพลังงานไฟฟ้าในอัตราค่าไฟฟ้า ดังนี้

3.3.1 กรณีเป็นผู้ใช้ไฟอัตราปกติ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าที่ขายจะเท่ากับอัตราค่าไฟฟ้าขายส่งเฉลี่ยทุกระดับแรงดัน ที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยขายให้การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย รวมกับค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติขายส่งเฉลี่ย (Ft ขายส่งเฉลี่ย)

3.3.2 กรณีเป็นผู้ใช้ไฟอัตรา TOU อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าที่ขายจะเท่ากับอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าขายส่ง ณ ระดับแรงดัน 11-33 กิโลโวลต์ ที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยขายให้การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย รวมกับค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติขายส่งเฉลี่ย (Ft ขายส่งเฉลี่ย)

3.4 ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่มีปริมาณพลังไฟฟ้าเสนอขายตามสัญญาเกิน 1 MW ณ จุดรับซื้อไฟฟ้า ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่นำมาคำนวณในข้อ ก. และข้อ ข. และข้อ 3.3 จะถูกหักออกร้อยละ 2 ของปริมาณพลังงานไฟฟ้าส่วนที่ขายเกินกว่าที่การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายขายให้ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก เพื่อเป็นค่าดำเนินการโครงการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก

แนวคิดเกี่ยวกับความสูญเสียในระบบไฟฟ้า

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดความสูญเสียในระบบไฟฟ้า ผู้วิจัยได้ตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง และพบประเด็นที่น่าสนใจเกี่ยวกับความสูญเสียที่เปลี่ยนแปลงหลังจากเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย กับระบบไฟฟ้า ซึ่งเป็นที่ถกเถียงกันอย่างกว้างขวางถึงความสูญเสียนั้นจะเพิ่มขึ้นหรือ ลดลง หลังจากมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย กับระบบไฟฟ้า โดยสามารถสรุปได้ ดังนี้

Guo *et al.* (2011) เมื่อระบบไฟฟ้ามีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย มาต่อเชื่อมต่อจะ ส่งผลต่อความสูญเสียโดยตรง และความสูญเสียนั้นจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ขึ้นอยู่กับทิศทางการไหล ของกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถวิเคราะห์ ได้ดังนี้

1. กรณีความสูญเสียเพิ่มขึ้น เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย จ่ายกระแส ย้อนกลับมาในสาย อันเนื่องมาจากกำลังผลิตสูงกว่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าในระบบ

2. กรณีความสูญเสียลดลง เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย ช่วยจ่ายกระแสไฟฟ้า ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากต้นทางมีขนาดน้อยลง ซึ่งกรณีนี้เกิดขึ้นได้เมื่อความต้องการพลังงาน สูงกว่ากำลังผลิต และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย ติดตั้งอยู่ใกล้กลุ่มโหลด

โดยทั้งนี้ สามารถคำนวณค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบ กระจาย ได้ดังนี้

กำหนดให้

$Loss_I$ คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบเมื่อไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย เชื่อมต่อ

$Loss_{II}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย เชื่อมต่อ

$\Delta Loss_{rate}$ คือ อัตรากำลังไฟฟ้าสูญเสีย เนื่องมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย

r คือ ค่าความต้านทานของสาย (Resistivity of Line) มีหน่วยเป็น โอห์ม/กิโลเมตร

L คือ ความยาวสาย (Length of Line) มีหน่วยเป็นกิโลเมตร

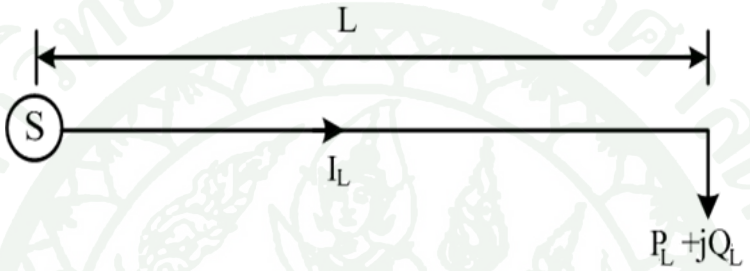
U คือ ระดับแรงดันของระบบ (Phase Voltage)

P_G คือ กำลังไฟฟ้าจริงเนื่องมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย (Active Power of Distributed Generation)

Q_G คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนเนื่องมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย (Reactive Power of Distributed Generation)

P_L คือ กำลังไฟฟ้าจริงเนื่องมาจาก Load (Active Power of load)

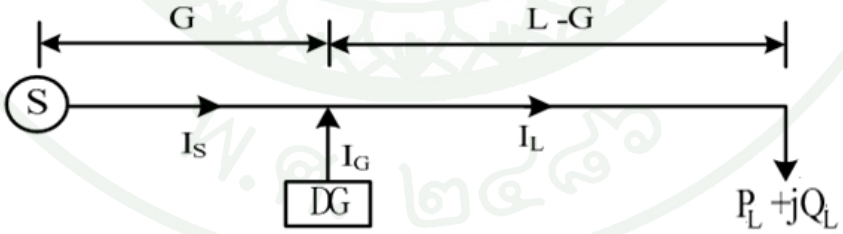
Q_L คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนเนื่องมาจาก Load (Reactive Power of load)



ภาพที่ 1 แบบจำลองระบบสายจำหน่ายเมื่อไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย

จากภาพที่ 1 เมื่อวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Losses) ที่เกิดขึ้นในสายจะได้

$$Loss_I = \frac{rL(P_L^2 + Q_L^2)}{3U^2} \tag{1}$$



ภาพที่ 2 แบบจำลองระบบสายจำหน่ายเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย

จากภาพที่ 2 เมื่อวิเคราะห์ค่าความสูญเสีย (Losses) ที่เกิดขึ้นในสายจะได้

$$Loss_{II} = \frac{rL}{3U^2}(P_L^2 + Q_L^2 + P_G^2 + Q_G^2 - 2P_L P_G - 2Q_L Q_G) \tag{2}$$

ดังนั้น จากสมการ Loss ที่ (1) และ (2) จะได้ Loss ที่สูญเสียเนื่องมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

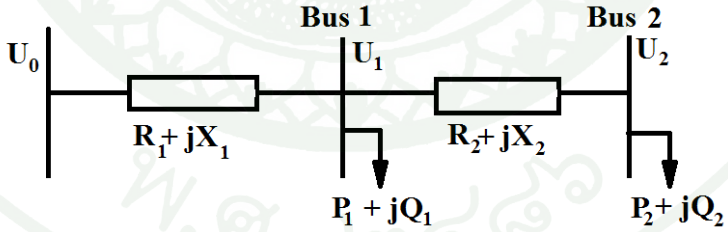
$$\Delta Loss_{rate} = \frac{Loss_{II} - Loss_{I}}{Loss_{I}} = \frac{P_G^2 + Q_G^2 - 2P_L P_G - 2Q_L Q_G}{P_L^2 + Q_L^2} \quad (3)$$

จากสมการที่ (3) ข้างต้น จะพบว่าเมื่อ P_G และ Q_G มีค่าสูงขึ้น จะส่งผลให้อัตรากำลังไฟฟ้าสูญเสียเพิ่มขึ้น

แนวคิดเกี่ยวกับผลกระทบเกี่ยวกับแรงดันไฟฟ้า

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดแรงดันไฟฟ้า ผู้วิจัยได้ตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบเกี่ยวกับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

Jiandong *et al.* (2009) เมื่อพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับแรงดันในสภาวะอยู่ตัว (Steady-State) นั้นหลังจากที่ระบบมีการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย จะทำให้แรงดันของวงจรเพิ่มขึ้น โดยขนาดแรงดันนั้นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย



ภาพที่ 3 แบบจำลองระบบจำหน่ายอย่างง่าย

จากภาพที่ 3 เมื่อมีกระแสโหลดไหลผ่านอุปกรณ์ที่มีความต้านทานจะส่งให้เกิดแรงดันตก ซึ่งสามารถอธิบายได้ ดังสมการที่ (4)

$$\Delta U_i = \frac{P_i R_i + Q_i X_i}{U_N} \quad (4)$$

กำหนดให้

ΔU_i คือ แรงดันตกเนื่องมาจาก โหลดที่บัส i

U_i คือ แรงดันที่บัส i

U_N คือ แรงดันพิกัด (Rated Voltage)

P_i คือ โหลดกำลังไฟฟ้าจริง ที่บัส i

Q_i คือ โหลดกำลังไฟฟ้าเสมือน ที่บัส i

R_i คือ ความต้านทานสาย บัส i

X_i คือ ความต้านทานรีแอกแทนซ์ สาย บัส i

เมื่อพิจารณาที่บัส 2 (Bus 2) จะได้แรงดันที่บัส 2 ดังสมการที่ (5)

$$U_2 = U_0 - \left(\Delta U_1 + \Delta U_2\right) = U_0 - \left(\frac{P_1R_1 + Q_1X_1}{U_N} + \frac{P_2R_2 + Q_2X_2}{U_N}\right) \tag{5}$$

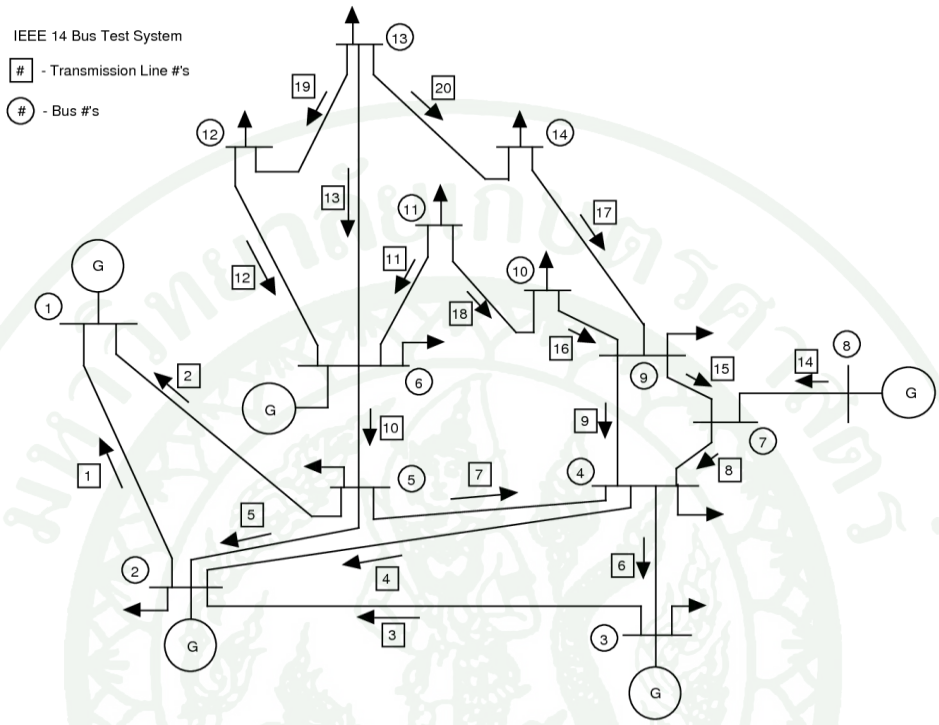
กรณีมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย เข้ามาเชื่อมต่อกับระบบ ที่บัส 1 (Bus 1) จะทำให้แรงดันที่บัส 2 (Bus 2) เป็นไปดังสมการที่ (6)

$$\begin{aligned} U_2 &= U_0 - \left(\Delta U_1 + \Delta U_2\right) \\ &= U_0 - \left(\frac{\left(P_1 - P_{DG}\right)R_1 + \left(Q_1 - Q_{DG}\right)X_1}{U_N} + \frac{P_2R_2 + Q_2X_2}{U_N}\right) \end{aligned} \tag{6}$$

กรณีมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย เข้ามาเชื่อมต่อกับระบบ ที่บัส 2 (Bus 2) จะทำให้แรงดันที่บัส 2 เป็นไปดังสมการที่ (7)

$$\begin{aligned} U_2 &= U_0 - \left(\Delta U_1 + \Delta U_2\right) \\ &= U_0 - \left(\frac{P_1R_1 + Q_1X_1}{U_N} + \frac{\left(P_2 - P_{DG}\right)R_2 + \left(Q_2 - Q_{DG}\right)X_2}{U_N}\right) \end{aligned} \tag{7}$$

จากสมการ (6) และ (7) ข้างต้น ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย มีขนาดใหญ่เกินไป กล่าวคือ จ่ายค่า P_{DG} และ Q_{DG} เข้าสู่ระบบในปริมาณมาก อาจทำให้แรงดันที่บัสของสายป้อนสูงเกินไปได้



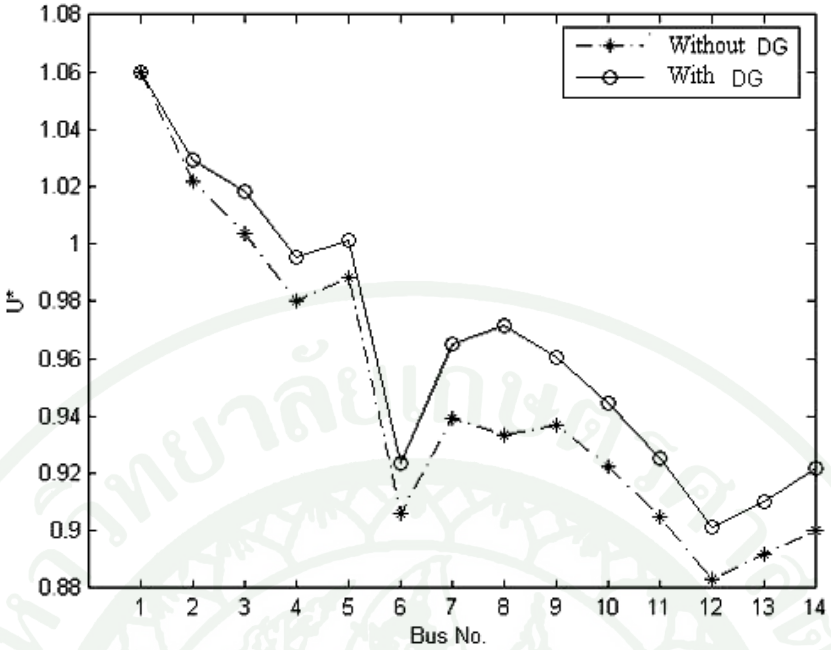
ภาพที่ 4 ระบบ IEEE 14 Bus

จากระบบ IEEE 14 Bus ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยบัสที่ 1 คือ Slack bus และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย ต่ออยู่ที่บัส 3 และบัส 8 นอกนั้นกำหนดให้เป็นจุดโหลด เมื่อทำการจำลองผ่านโปรแกรม MATLAB ในเงื่อนไข ดังนี้

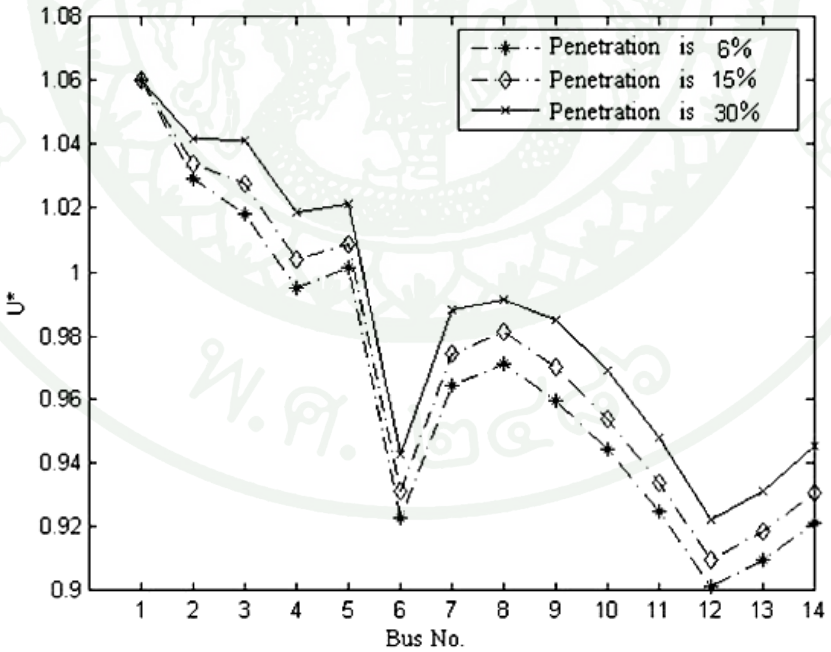
1. มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย ต่ออยู่ที่บัส 3 และบัส 8 เปรียบเทียบกับกรณีไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า

2. มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า ที่บัส 3 และบัส 8 โดยขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย มีค่า 6%, 15% และ 30% เมื่อเทียบกับโหลดของระบบ (DG penetration)

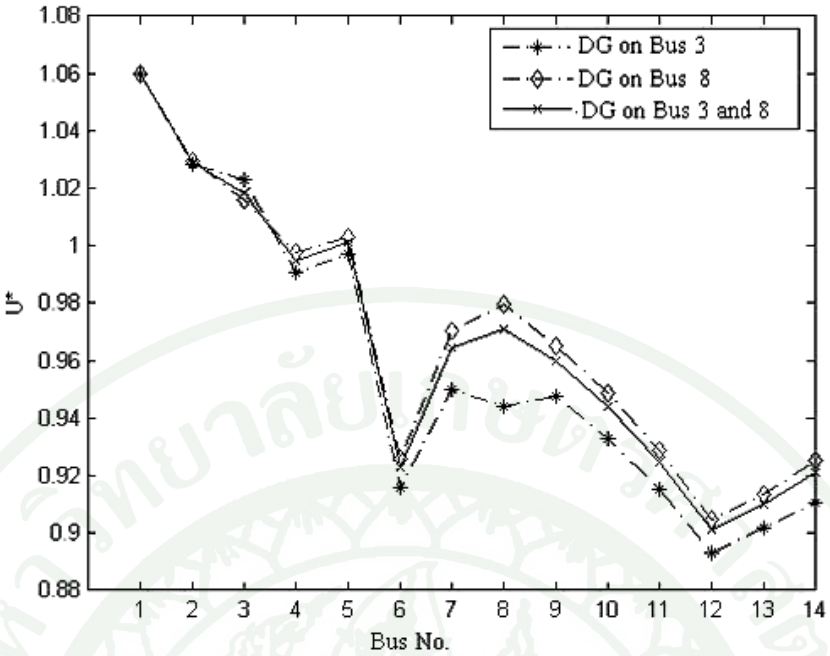
3. มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า ที่ บัส 3, บัส 8 และทั้ง 2 บัส จะได้ผลดังภาพที่ 5, 6 และ 7 ตามลำดับ



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบแรงดันที่บัสต่างๆ ในกรณีเชื่อมต่อและไม่เชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบแรงดันที่บัสต่างๆ ในกรณีเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย ขนาดต่างๆ



ภาพที่ 7 เปรียบเทียบแรงดันที่บัสต่างๆ ในกรณีเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย ที่จุดต่างๆ

แนวคิดเกี่ยวกับผลกระทบเกี่ยวกับดัชนีแรงดันไฟฟ้าภาพรวม

1. ดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม (Voltage profile improvement Index) เป็นดัชนีที่ใช้เป็นตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าภาพรวมของระบบนั้นๆ ว่าแรงดันไฟฟ้าภาพรวมมีความใกล้เคียงกับแรงดันไฟฟ้าปกติ (แรงดันไฟฟ้าปกติจะมีค่าเท่ากับ 1.0 per unit) มากน้อยเพียงใด ซึ่งค่าของดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมจะมีค่าอยู่ในช่วง -∞ จนถึง 1 ซึ่งผู้วิจัยได้ตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง พบว่า ในบทความของ Iyer *et al.* (2005) และ Ajay-D-Vimal Raj *et al.* (2008) ได้กล่าวไว้ว่าการคำนวณดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม (Voltage profile improvement Index) มีด้วยกัน 2 วิธี คือ

1.1 แบบให้น้ำหนักความสำคัญกับโหลดทุกจุดเท่ากันหมด ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$VP_1 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{(V_i - V_{min})\times(V_{max} - V_i)}{(V_{nom} - V_{min})\times(V_{max} - V_{nom})} \tag{8}$$

$$VPII_1 = \frac{VP_1 with\ DG}{VP_1 without\ DG} \tag{9}$$

1.2 แบบมีการแบ่งน้ำหนักความสำคัญตามขนาดและความสำคัญของกลุ่มโหลด ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$VP_2 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{(V_i - V_{min})\times(V_{max} - V_i)\times P_{L_i}\times k_i}{(V_{nom} - V_{min})\times(V_{max} - V_{nom})\times\sum_{k=1}^{N}(P_{L_i}\times k_i)} \quad (10)$$

$$VPII_2 = \frac{VP_2 with\ DG}{VP_2 without\ DG} \quad (11)$$

เมื่อ N คือ จำนวนบัสในระบบ

V_i คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส i (pu.)

V_{nom} คือ แรงดันไฟฟ้าปกติที่บัสใด ๆ ในที่นี้ใช้ค่า 1.0 pu.

V_{max} คือ ขอบเขตแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่บัสใด ๆ (pu.)

V_{min} คือ ขอบเขตแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่บัสใด ๆ (pu.)

P_{L_i} คือ โหลดที่บัส i

k_i คือ Load criticality Factor ที่บัส i

VP คือ ดัชนีแรงดันไฟฟ้าภาพรวม

VP_1 คือ ดัชนีแรงดันไฟฟ้าภาพรวม แบบที่ 1

VP_2 คือ ดัชนีแรงดันไฟฟ้าภาพรวม แบบที่ 2

$VPII$ คือ ดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม

$VPII_1$ คือ ดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม แบบที่ 1

$VPII_2$ คือ ดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม แบบที่ 2

2. Voltage Sensitivity Index (VSI) เป็นดัชนีชี้วัดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าภาพรวมไปจากค่ามาตรฐานของระบบหลังจากเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่บัส *i* ซึ่ง Gopiya Naik *et al.* (2012) ได้กล่าวถึง Voltage Sensitivity Index (VSI) ไว้ว่า ตำแหน่งเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายใดที่ให้ค่า VSI น้อย ตำแหน่งนั้นเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมจะเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายมากที่สุด เนื่องจากหลังจากเชื่อมโยงฯ แรงดันไฟฟ้าภาพรวมมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด จึงส่งผลกระทบน้อยที่สุด

ทั้งนี้ Voltage Sensitivity Index (VSI) สามารถคำนวณได้ดังสมการ (12)

$$VSI_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n}(1-V_k)^2}{n}} \tag{12}$$

เมื่อ

n คือ จำนวนบัส

k คือ หมายเลขบัส

V_k คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส k

VSI_i คือ Voltage Sensitivity Index เมื่อเชื่อมโยง DG ที่บัส i

แนวคิดเกี่ยวกับรูปแบบของปัญหาการหาขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดเกี่ยวกับรูปแบบของปัญหาการหาขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ผู้วิจัยได้ตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง พบว่า ปัญหาการหาขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายด้วยกระบวนการทางคณิตศาสตร์นั้นมีองค์ประกอบหลักๆ 3 ส่วนด้วยกัน คือ สมการเป้าหมาย (Objective function) สมการเงื่อนไข (Constraints) และขีดจำกัด (Limits) ทั้งนี้เทคนิคการแก้ปัญหาการหาขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายได้รับการพัฒนามาโดยตลอด ซึ่งแต่ละบทความก็มีสมการทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอแตกต่างกันไปตามความเหมาะสมกับปัญหา ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. สมการเป้าหมาย (Objective function) คือ ฟังก์ชันของคำตอบที่ต้องการทราบค่าที่ดีที่สุด ซึ่งจะเขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชันตัวแปรที่ต้องการทราบค่า หรืออาจอยู่ในรูปของตัวแปรก็ได้ จากการตรวจเอกสาร พบว่า ในการจัดสรรขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลประโยชน์สูงสุดนั้น มีแนวความคิดเรื่องจุดประสงค์ในการจัดสรรขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย เพื่อให้เกิดผลประโยชน์สูงสุดนั้นแตกต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1.1 มุ่งหมายให้ความสูญเสียน้อยที่สุด ใน (Hedayati *et al*, 2008) ได้ศึกษาผลกระทบโดยรวม เนื่องจากการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการสูญเสียในระบบ ซึ่งได้นำเสนอสมการเป้าหมาย ดังแสดงในสมการ (13)

$$\min\ f = \sum_{i=1}^{n} P_i \tag{13}$$

เมื่อ

n คือ จำนวนบัส

i คือ หมายเลขบัส

P_i คือ กำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าที่บัส k

ใน (Acharya *et al*, 2006; Singh *et al*, 2008; Lalitha *et al*, 2010; EL-Khattam *et al*, 2006; Hung *et al*, 2010) สมการที่ (13) ได้ถูกขยายความให้อยู่ในรูปของกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมทั้งระบบ ดังแสดงในสมการ (14)

$$P_L = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\left[\alpha_{ij}(P_iP_j + Q_iQ_j) + \beta_{ij}(P_iP_j - Q_iQ_j)\right] \tag{14}$$

เมื่อ

$$\alpha_{ij} = \frac{r_{ij}}{V_iV_j}Cos(\delta_i - \delta_j), \quad \beta_{ij} = \frac{r_{ij}}{V_iV_j}Sin(\delta_i - \delta_j);$$

1.2 มุ่งหมายขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายมากที่สุด ใน (Keane and O'Malley, 2005; Dent *et al*, 2010) วัตถุประสงค์ในการจัดสรรขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ก็เพื่อให้ได้ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายมากที่สุด ที่ไม่ละเมิดข้อจำกัดทางเทคนิค โดยไม่ต้องพิจารณาความสูญเสีย และกำหนดให้มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมโยงได้เพียงหนึ่งเครื่องในแต่ละบัส ดังแสดงในสมการที่ (15)

$$max\ f = \sum_{i=1}^{n} P_{DG_i} \tag{15}$$

เมื่อ

n คือ บัสที่สามารถเชื่อมโยงฯ ได้

i คือ หมายเลขบัส

P_{DG_i} คือ กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ฉีดเข้าที่บัส i

1.3 มุ่งหมายในประเด็นอื่น ๆ ตามที่สนใจ เช่น ดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม (Voltage profile improvement Index) ดีที่สุด (Iyer *et al*, 2005) หรือมุ่งหมายในการหาต้นทุนเชื้อเพลิงที่ต่ำที่สุด (Kumar *et al*, 2010) เป็นต้น

2. สมการเงื่อนไข (Constraints) ซึ่งอาจเขียนอยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์แบบเงื่อนไขบังคับสมการ (Equality Constraints) และเงื่อนไขบังคับอสมการ (Inequality Constraints) ก็ได้ จากการตรวจเอกสาร พบว่า สมการเงื่อนไขในแต่ละบทความนั้นมีทั้งส่วนที่เหมือนกัน และส่วนที่แตกต่างกัน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 สมการคณิตศาสตร์แบบเงื่อนไขบังคับสมการ (Equality Constraints)

2.1.1 สมการกำลังไฟฟ้าสมดุล (Power balance equation) กำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าทั้งจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดั้งเดิมในระบบ (PG*i*) และจาก DG (PDGT) ต้องสามารถรองรับโหลด (PDT) และความสูญเสีย (PLT) ได้ (Roa-Sepulveda *et al*, 2003; El-Khattam *et al*, 2005; Vovos *et al*, 2005; Golshan and Arefifar, 2006; Singh *et al*, 2009; Abou *et al*, 2010; Kumar *et al*, 2010) ดังแสดงในสมการ (16)

$$PG_i + PDGT - PDT - PLT = 0 \tag{16}$$

2.1.2 สมการกำลังไฟฟ้าเสมือนสมดุล (Reactive Power balance equation) กำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าเสมือนทั้งจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดั้งเดิมในระบบ (QG*i*) และจาก DG (QDGT) ต้องสามารถรองรับโหลด (QDT) และความสูญเสียของกำลังไฟฟ้าเสมือน (QLT) ได้ (Roa-Sepulveda *et al*, 2003; El-Khattam *et al*, 2005; Vovos *et al*, 2005; Golshan and Arefifar, 2006; Singh *et al*, 2009; Abou *et al* 2010; Kumar *et al,* 2010) ดังแสดงในสมการ (17)

$$QG_i + QDGT - QDT - QLT = 0 \tag{17}$$

ในการแก้ปัญหาการจัดสรรขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่เหมาะสมในทางเทคนิคแล้วคำตอบที่ได้ต้องเป็นจริงตามสมการกำลังไฟฟ้าสมดุล (Power balance equation) จึงจะสามารถเป็นจริงในทางปฏิบัติได้ ดังนั้นในทุกบทความจึงต้องมีสมการทั้งสองประกอบอยู่ด้วยเสมอ

2.2 สมการคณิตศาสตร์แบบเงื่อนไขบังคับอสมการ (Inequality Constraints) และขีดจำกัด (Limits)

2.2.1 ขีดจำกัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage limits) ขีดจำกัดนี้แสดงให้เห็นว่าแรงดันไฟฟ้า (V_i) ที่บัส *i* จะถูกจำกัดด้วยขอบเขตบน และขอบเขตล่าง (V_i^{max} และ V_i^{min}) สำหรับทุกบัส ดังแสดงในสมการที่ (18)

$$V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max} \tag{18}$$

เงื่อนไขนี้ถูกพิจารณาในเกือบจะทุกบทความที่เกี่ยวกับการแก้ปัญหาการจัดสรรขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่เหมาะสม

2.2.2 ขีดจำกัดทางอุณหภูมิของสายตัวนำ (Line Thermal limits) ขีดจำกัดนี้แสดงให้เห็นค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสาย และอยู่บนพื้นฐานของอุณภูมิที่ทนได้ และความมั่นคงของสาย ขีดจำกัดการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบจะถูกแสดงในรูปของกำลังไฟฟ้า (S_k^{max}) อ้างอิงจาก (El-Khattam *et al*, 2005; Keane *et al*, 2005; Vovos *et al*, 2005; EL-Khattam *et al*, 2006; Harrison *et al*, 2007; Singh *et al*, 2008; Singh *et al*, 2009; Jabr and Pal, 2009; Kumar *et al*, 2010; Lalitha *et al*, 2010; Dent *et al*, 2010) ดังแสดงในสมการที่ (19)

$$S_k \leq S_k^{max} \tag{19}$$

แต่ในบางกรณีอาจเขียนอยู่ในรูปของกระแสก็ได้เช่นกัน (Koutroumpezis and Safigianni, 2009) ดังแสดงในสมการที่ (20)

$$I_i \leq I_{rate} \tag{20}$$

2.2.3 ขีดจำกัดมุมเฟส (Phase angle limits) ขีดจำกัดนี้แสดงให้เห็นว่ามุมเฟส (δ_i) ที่บัส *i* จะถูกจำกัดด้วยขอบเขตบน และขอบเขตล่าง (δ_i^{max} และ δ_i^{min}) สำหรับทุกบัส (Kumar *et al*, 2010) ดังแสดงในสมการที่ (21)

$$\delta_i^{min} \leq \delta_i \leq \delta_i^{max} \tag{21}$$

2.2.4 ขีดจำกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดั้งเดิม (Traditional active power generation limits) ขีดจำกัดนี้แสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดั้งเดิม (P_t) จะถูกจำกัดด้วยขอบเขตบน และขอบเขตล่าง (P_t^{max} และ P_t^{min}) สำหรับทุกบัส (Jabr and Pal, 2009) ดังแสดงในสมการที่ (21)

$$P_t^{min} \leq P_t \leq P_t^{max} \tag{21}$$

2.2.5 ขีดจำกัดกำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดั้งเดิม (Traditional reactive power generation limits) ขีดจำกัดนี้แสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดั้งเดิม (Q_t) จะถูกจำกัดด้วยขอบเขตบน และขอบเขตล่าง (Q_t^{max} และ Q_t^{min}) สำหรับทุกบัส (Jabr and Pal, 2009) ดังแสดงในสมการที่ (22)

$$Q_t^{min} \leq Q_t \leq Q_t^{max} \tag{22}$$

2.2.6 ขีดจำกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (DG active power generation limits) ขีดจำกัดนี้แสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (P_{DG}) จะถูกจำกัดด้วยขอบเขตบน และขอบเขตล่าง (P_{DG}^{max} และ P_{DG}^{min}) สำหรับทุกบัส (El-Khattam *et al*, 2005; Kumar *et al*, 2010) ดังแสดงในสมการที่ (23)

$$P_{DG}^{min} \leq P_{DG} \leq P_{DG}^{max} \tag{23}$$

2.2.7 ขีดจำกัดกำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (DG reactive power generation limits) ขีดจำกัดนี้แสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Q_{DG}) จะถูกจำกัดด้วยขอบเขตบน และขอบเขตล่าง (Q_{DG}^{max} และ Q_{DG}^{min}) สำหรับทุกบัส (El-Khattam *et al*, 2005; Kumar *et al*, 2010) ดังแสดงในสมการที่ (24)

$$Q_{DG}^{min} \leq Q_{DG} \leq Q_{DG}^{max} \tag{24}$$

2.2.8 ขีดจำกัดจำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Number of DG limits) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายในระบบ (N_{DG}) ควรจะมีจำนวนน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายสูงสุดที่ระบบรองรับได้ (N_{DG}^{max}) ดังแสดงในสมการที่ (25)

$$N_{DG} \leq N_{DG}^{max} \tag{25}$$

2.2.9 ขีดจำกัดพาวเวอร์เฟคเตอร์ (Power factor limits) ใน (Jabr and Pal, 2009; Vovos *et al*, 2005; Harrison *et al*, 2007) กล่าวว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายมักจะมีการควบคุมในโหมดพาวเวอร์เฟคเตอร์คอลโทรล จึงจำเป็นต้องมีการจำกัดพาวเวอร์เฟคเตอร์ให้ได้ค่าที่คงที่ตามต้องการ ดังแสดงในสมการ (26)

$$\mathrm{Cos}(\delta_{DG}) = P_{DG} / \sqrt{P_{DG}^2 + Q_{DG}^2} = \mathrm{constt.} \tag{26}$$

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. ซอฟต์แวร์ ระบบปฏิบัติการ Window 7
3. ซอฟต์แวร์ DIgSILENT (ซอฟต์แวร์วิเคราะห์ระบบไฟฟ้า ตามโครงการการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค)
4. ซอฟต์แวร์ Matlab
5. ซอฟต์แวร์ Microsoft Office

วิธีการ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาความสามารถสูงสุดของระบบจำหน่ายในการรองรับการเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบกับระบบจำหน่าย และผู้ใช้ไฟรายอื่นในระบบ ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดความสูญเสีย และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมที่ยอมรับได้ของระบบนั้น รวมถึงพิกัดกระแสของสายตัวนำ และข้อกำหนดปริมาณสูงสุดที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาครับซื้อใน 1 วงจร ซึ่งการศึกษาจะกระทำผ่านวิธีการคำนวณหาค่าสูงสุดของขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย โดยที่ ค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าระบบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต้องไม่ส่งผลให้ปริมาณทางไฟฟ้าของระบบมีค่าเกินกว่าขอบเขตที่กำหนด ด้วยชุดคำสั่งที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Matlab ซึ่งเป็นโปรแกรมที่เป็นมาตรฐาน สามารถไปประยุกต์ใช้กับโปรแกรมสำเร็จรูปอื่นๆ ได้ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมการไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Equation) แบบหลายเงื่อนไข เพื่อวิเคราะห์หาขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ยอมให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายสามารถเชื่อมโยงกับระบบจำหน่าย ซึ่งในการศึกษานี้จะพิจารณาบนพื้นฐานว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย เชื่อมโยงเข้ามาในลักษณะมาก่อนเชื่อมโยงก่อน (First Come-First Served) และทดสอบด้วยระบบทดสอบแบบเรเดียล 12 บัส โดยกำหนดให้การกระจายตัวของโหลดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ รวมทั้งพิจารณาผลของโหลดที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาใน 24 ชั่วโมง ซึ่งทำให้คำตอบที่ได้เป็นค่าสูงสุดเพียงค่าเดียวที่เหมาะสมกับสภาวะโหลดในทุกช่วงเวลา และอยู่ภายใต้เงื่อนไข

ความสูญเสียสูงสุดที่สามารถยอมรับได้ ดัชนีภาพรวมการปรับปรุงระดับแรงดันไฟฟ้า และต้องไม่ติดข้อจำกัดทางด้านเทคนิคด้วย

โดยในการศึกษาจะแบ่งออกเป็น 2 คือ ส่วนแรกจะศึกษาและนำเสนอสมการทางคณิต-ศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาการหาขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ยอมให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย สามารถเชื่อมโยงกับระบบจำหน่าย ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด และคำนึงถึงแนวโน้มของโหลดที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาด้วย พร้อมทั้งทดสอบการควบคุมค่าคำตอบของสมการเงื่อน-ไขที่นำเสนอ และในส่วนที่สองจะนำกระบวนการจากส่วนแรกมาใช้งาน โดยทดสอบกับระบบทดสอบ 12 บัส ที่มีปริมาณของโหลดแตกต่างกัน เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายกับตำแหน่งการเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย และปัจจัยปริมาณโหลดในระบบ

1. สมการทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอ

การคำนวณขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ยอมให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย สามารถเชื่อมโยงกับระบบจำหน่ายได้ สามารถคำนวณได้หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน แต่ในวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอการคำนวณขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ โดยใช้วิธีการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชั่นเป้าหมาย ที่ทำให้สมการเงื่อนไขเป็นจริง ซึ่งเป็นวิธีการคำนวณเพื่อหาคำตอบโดยตรง จึงมีรูปแบบการคำนวณที่ง่าย และไม่ซับซ้อนมากนัก ถึงแม้จะมีข้อเสียในเรื่องของเวลาในการคำนวณที่ต้องใช้เวลามาก แต่ก็มีความเหมาะสมกับการแก้ปัญหาการหาขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย เนื่องจากปัญหาการหาขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายนั้น เป็นงานที่ทำในลักษณะของการวางแผนล่วงหน้า จึงทำให้ไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของเวลาในการคำนวณ

ในการคำนวณหาค่าสูงสุดของฟังก์ชั่นนั้น มีองค์ประกอบ 2 ส่วนที่สำคัญ คือ สมการเป้าหมาย (Objective Function) และสมการเงื่อนไข (Constraints Function) ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาการคำนวณหาค่าสูงสุดของขนาดกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย ที่ยอมให้เชื่อมโยงกับระบบจำหน่าย โดยคำนึงถึงแนวโน้มของ

โหลดที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาด้วย ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้มีการจำลองโหลดเป็น แบบ 24 ช่วงเวลา หรือ 24 ชั่วโมง ดังนั้นสมการที่ใช้จึงต้องรองรับการคำนวณในลักษณะนี้

การคำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย กระทำโดยการแก้ปัญหาสมการคณิตศาสตร์ในรูปแบบของระบบที่ประกอบด้วยฟังก์ชั่นเป้าหมาย (Objective function) ภายใต้เงื่อนไข (Constraints) และขีดจำกัด (Limits) ที่เขียนอยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์แบบเงื่อนไขบังคับสมการ (Equality Constraints) และเงื่อนไขบังคับอสมการ (Inequality Constraints) เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าสูงสุดของฟังก์ชั่นเป้าหมาย รายละเอียดดังนี้

กำหนดให้

α คือ ข้อจำกัดความสูญเสียตามระเบียบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

δ คือ มุมของแรงดันไฟฟ้า

h คือ จำนวนชั่วโมงในช่วงที่พิจารณา

H คือ เซ็ตของชั่วโมงในช่วงที่พิจารณา

i คือ บัสในระบบ โดยที่ $i \neq k$

$I_{l_{rate}}$ คือ พิกัดกระแสสูงสุดของสายตัวนำ ในลำดับที่ l

I_{l_t} คือ ปริมาณกระแสที่ไหลในสายตัวนำ ในลำดับที่ l ณ เวลาที่ t

k คือ บัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายเชื่อมโยงอยู่

l คือ ลำดับของสายตัวนำในระบบ

L คือ เซ็ตของสายตัวนำในระบบ

n คือ จำนวนบัสในระบบ

N คือ เซ็ตของจำนวนบัสในระบบ

P_{DG_k} คือ ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย ที่เชื่อมโยง ณ จุด k

$P_{DG_{max}}$ คือ พิกัดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย ที่อนุญาตให้เชื่อมโยงกับระบบจำหน่าย

$P_{D_{i_t}}$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงของโหลดที่บัส i ณ เวลาที่ t

$P_{D_{k_t}}$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงของโหลดที่บัส k ณ เวลาที่ t

$P_{G_{i_t}}$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i ณ เวลาที่ t

$P_{G_{k_t}}$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส k ณ เวลาที่ t

P_{i_t} คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลเข้าที่บัส i ณ เวลาที่ t

P_{k_t} คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลเข้าที่บัส k ณ เวลาที่ t

$Q_{D_{i_t}}$ คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนของโหลดที่บัส i ณ เวลาที่ t

$Q_{G_{i_t}}$ คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i ณ เวลาที่ t

Q_{i_t} คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ไหลเข้าที่บัส i ณ เวลาที่ t

t คือ ลำดับของเวลาในช่วงที่พิจารณา

U_t คือ ดัชนีแสดงสถานะการเชื่อมโยงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย

V คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้า

V_{DG^-} คือ ขอบเขตแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย

V_{DG^+} คือ ขอบเขตแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย

$V_{i,max}$ คือ ดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมสูงสุดที่บัส i

$V_{i,min}$ คือ ดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมต่ำสุดที่บัส i

$V_{i_t}^0$ คือ แรงดันไฟฟ้า ก่อนเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายที่บัส i ณ เวลาที่ t

V_{i_t} คือ แรงดันไฟฟ้า หลังเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายที่บัส i ณ เวลาที่ t

V_{max} คือ ขอบเขตแรงดันไฟฟ้าสูงสุด มีค่า 1.05 p.u

V_{min} คือ ขอบเขตแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด มีค่า 0.95 p.u

V_{set^-} คือ ขอบเขตแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดของ Slack bus

V_{set^+} คือ ขอบเขตแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของ Slack bus

$V'_{max,T3}$ คือ ขอบเขตแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของหม้อแปลงไฟฟ้าระดับแทปที่ 3 ที่ไม่ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำของหม้อแปลงไฟฟ้าเกินค่ามาตรฐาน มีค่า 1.05 pu.

$V'_{max,T4}$ คือ ขอบเขตแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของ หม้อแปลงไฟฟ้าระดับแทปที่ 4 ที่ไม่ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำของหม้อแปลงไฟฟ้าเกินค่ามาตรฐาน มีค่า 1.025 pu.

$V'_{max,T5}$ คือ ขอบเขตแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของหม้อแปลงไฟฟ้าระดับแทปที่ 5 ที่ไม่ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำของหม้อแปลงไฟฟ้าเกินค่ามาตรฐาน มีค่า 1.0 pu.

W_L^0 คือ พลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบ ก่อนเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย

W_L^{DG} คือ พลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบ หลังเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย

1.1 สมการเป้าหมาย (Objective Function) ได้แก่ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายที่เชื่อมโยงกับระบบ ณ ตำแหน่งที่กำหนด

$$\text{maximize } P_{DG_k} \tag{27}$$

จากสมการ (27) การหาขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ มีเป้าหมายมุ่งเน้นในการหาขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายเพียงค่าเดียวที่สามารถรองรับโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงตามได้ทุกช่วงเวลา โดยไม่ทำให้เงื่อนไขเงื่อนไข (Constraints) และขีดจำกัด (Limits) มีค่าเกินกว่าที่กำหนด

1.2 สมการเงื่อนไขบังคับสมการ (Equality Constraints) ได้แก่ สมการกำลังไฟฟ้าสมดุลของทุกบัส แต่คำนวณแยกบัสที่เชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย

$$P_{i_t}(V,\delta) = P_{G_{i_t}} - P_{D_{i_t}} \qquad \text{เมื่อ } i \in N, i \neq k, t \in H \tag{28}$$

$$Q_{i_t}(V,\delta) = Q_{G_{i_t}} - Q_{D_{i_t}} \qquad \text{เมื่อ } i \in N, t \in H \tag{29}$$

จากการที่ผู้ผลิตไฟฟ้าส่วนมากมักจะส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) เพียงอย่างเดียว เพื่อให้สามารถขายพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด โดยพยายามควบคุมค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power factor) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายให้มีค่าเท่ากับ 1.0 ทำให้สามารถพิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายเป็น Negative Load ได้ เพื่อให้สะดวกต่อการคำนวณ ดังสมการ (30)

$$P_{k_t}(V,\delta) = \left(P_{G_{k_t}} + \left(U_t \cdot P_{DG_k}\right)\right) - P_{D_{k_t}} \qquad \text{เมื่อ } t \in H \tag{30}$$

แต่ในการพิจารณาอนุญาตเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย บางกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่พิจารณาอาจไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ตลอดทั้งวัน เช่น โซล่าเซลล์ที่สามารถจ่ายกำลัง ไฟฟ้าได้เฉพาะช่วงกลางวันเท่านั้น เป็นต้น ซึ่งทำให้ในบางช่วงเวลา สมการการไหลของกำลัง ไฟฟ้าจริง (Real Power) อาจไม่มีพจน์ของตัวแปร P_{DG_k} เพื่อให้สมการการไหลของกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) สามารถรองรับเงื่อนไขที่ในบางช่วงเวลาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่พิจารณาอาจไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ ผู้วิจัยจึงได้เพิ่มตัวแปร U_t ลงในสมการ เพื่อทำหน้าที่กำหนดสถานะการเชื่อมต่อของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่พิจารณา โดยที่ U_t จะมีค่าเป็น 0 หรือ 1

1.3 เงื่อนไขบังคับอสมการ (Inequality Constraints) ได้แก่ ขอบเขตปริมาณทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง ข้อจำกัดพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม

โดยทั่วไปแล้วบทความอื่น ๆ มักจะพิจารณาขีดจำกัดในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของสายตัวนำในรูปของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ส่งจ่ายได้ แต่เนื่องจากข้อมูลพิกัดสายตัวนำของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ถูกเก็บไว้ในรูปแบบของพิกัดกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่สายตัวนำสามารถรองรับได้ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงใช้สมการเงื่อนไขขีดจำกัดในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของสายตัวนำในรูปของพิกัดกระแส ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการ (32)

$$\left|I_{l_t}(V,\delta)\right| \leq I_{l_{max}} \qquad \text{เมื่อ } l \in L, t \in H \tag{31}$$

ตามข้อกำหนดปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่จ่ายหรือรับจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า อ้างอิงจากระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้า ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2551) กำหนดไว้ว่าปริมาณกำลังไฟฟ้าของผู้ขอใช้บริการที่จะจ่ายหรือรับกำลังไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าในระบบจำหน่าย 22 kV ต้องไม่เกิน 8.0 MW / วงจร และไม่เกิน 10.0 MW / วงจร ในระบบจำหน่าย 33 kV ดังนั้นในการหาขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย จึงมีความจำเป็นต้องพิจารณาเงื่อนไขขอบเขตของขนาดของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย ที่กำลังพิจารณาไม่ให้มีค่าเกินกว่าที่ระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้ากำหนด ดังสมการ (33)

$$0 \leq P_{DG_k} \leq P_{DG_{max}} \tag{32}$$

1.3.1 การคำนวณข้อจำกัดความสูญเสีย การเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้เกิดความสูญเสียในระบบเพิ่มสูงขึ้น แต่ทั้งนี้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสามารถยอมรับให้ผู้ผลิตไฟฟ้าเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ส่งผลให้ความสูญเสียในระบบเพิ่มขึ้นได้ ถ้าความสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมีค่าไม่เกินกว่าพลังงานไฟฟ้าที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคหักออกจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ผลิตขายทั้งหมด เพื่อเป็นค่าดำเนินโครงการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้า ซึ่งในปัจจุบันกำหนดไว้ที่ร้อยละ 2 ของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ผลิตไฟฟ้าขายทั้งหมด อีกทั้งคำนึงถึงผลจากการที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายบางประเภทไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ตลอด 24 ชั่วโมง ดังแสดงในสมการ (34)

$$W_L^{DG} - W_L^0 \leq \alpha \cdot \sum_{t=1}^{h} U_t \cdot P_{DG_k} \qquad \text{เมื่อ } t \in H \tag{33}$$

โดยที่ความสูญเสียในระบบ ได้แก่

$$W_L^{DG} = \left(\sum_{t=1}^{h} \sum_{i=1}^{n} P_{i_t}(V,\delta)\right) + \left(\sum_{t=1}^{h} P_{k_t}(V,\delta)\right) \quad \text{เมื่อ } i \in N, i \neq k, t \in H \tag{34}$$

1.3.2 การคำนวณดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม การเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้ระบบเกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้าสูงเกิน (กรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายไม่ยอมให้เครื่องฯรับกำลังไฟฟ้าเสมือนจากระบบ) หรือต่ำเกิน (กรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายรับกำลังไฟฟ้าเสมือนจากระบบมากเกินไป) และจากความไม่แน่นอนในการเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าในระหว่างช่วงที่เชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย กับช่วงที่ปลดการเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายมีความแตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าของระบบให้ได้มาตรฐาน วิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม ซึ่งเป็นดัชนีเพื่อควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าหลังเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายไม่ให้มีค่าเกินค่าที่ยอมรับได้ โดยอ้างอิงจากระดับแทปของหม้อแปลงในตำแหน่งนั้น ทั้งนี้ระดับแรงดันไฟฟ้าทุกบัสในระบบต้องอยู่ในขอบเขตแรงดันไฟฟ้าตามมาตรฐานด้วย ดังแสดงในสมการ (35)

$$\max(V_{min}, V_{i,min}) \leq V_{i_t} \leq \min(V_{max}, V_{i,max}) \quad \text{เมื่อ } i \in N, t \in H \tag{35}$$

ในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่าย กลุ่มโหลดที่ปลายทางไม่สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาแรงดันไฟฟ้าตก (Voltage drop) ได้ แต่ทั้งนี้สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้หลายวิธี โดยในการควบคุมคุณภาพของแรงดัน ไฟฟ้า ณ จุดส่งมอบ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ดำเนินการเป็น 3 ส่วน คือ

- ในส่วนของสถานีไฟฟ้าต้นทาง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ดำเนินการควบ-คุมระดับแรงดันไฟฟ้าส่งออกจากสถานีฯ โดยปรับตั้งการทำงานของหม้อแปลงกำลัง และชุดปรับแทปอัตโนมัติให้มีค่าปรับตั้ง (setting) อยู่ในช่วง 22.4 – 22.7 kV และ ± bandwidth ประมาณ 1.1 – 1.4 % ขึ้นอยู่กับปริมาณโหลด และความยาวของระบบ

- ในส่วนของระบบจำหน่าย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ดำเนินการควบคุม และปรับปรุงระดับแรงดันไฟฟ้า โดยการเพิ่มระดับแรงดันที่ส่งในบางช่วง เช่น ติดตั้งหม้อแปลง Auto Voltage Regulator เพื่อทำหน้าที่ยกระดับแรงดันไฟฟ้าในช่วงกลางทาง เป็นต้น พร้อมทั้งมีการดำเนินการเปลี่ยนแปลงขนาดสาย และติดตั้งคาปาซิเตอร์ เพื่อลดแรงดันไฟฟ้าตกในสายตัวนำ (Voltage drop) และทำให้แรงดันไฟฟ้า ณ จุดส่งมอบดีขึ้นด้วย

- ในส่วนของจุดส่งมอบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ดำเนินการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า ณ จุดส่งมอบ โดยการปรับตั้งระดับแทปของหม้อแปลงจำหน่าย ณ จุดส่งมอบ ซึ่งหม้อแปลงดังกล่าวสามารถปรับแทปได้ทั้งหมด 5 ระดับ และสามารถทำงานได้ทั้งรูปแบบของหม้อแปลงลดระดับแรงดัน (Step-down Transformer) และรูปแบบของหม้อแปลงยกระดับแรงดัน (Step-up Transformer) ทั้งนี้เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า ด้านแรงต่ำ หรือด้านทุติยภูมิให้มีค่าตามมาตรฐาน คือ อยู่ในช่วง 200 – 240/342 – 418V แต่ส่วนใหญ่ระดับแทปที่นิยมใช้งานเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ จะใช้ระดับแทปที่ 3 – 5 โดยที่ระดับแทปที่ 3 จะสามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิให้มีค่าตามมาตรฐานได้ ก็ต่อเมื่อแรงดันไฟฟ้า ด้านแรงสูง หรือด้านปฐมภูมิ มีค่าอยู่ในช่วง 20.9 – 23.1 kV (0.95 – 1.05 pu.) ในขณะที่ระดับแทปที่ 4 จะสามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิให้มีค่าตามมาตรฐานได้ ก็ต่อเมื่อแรงดันไฟฟ้า ด้านปฐมภูมิ มีค่าอยู่ในช่วง 20.35 – 22.55 kV (0.925 – 1.025 pu.) และระดับแทปที่ 4 จะสามารถรักษาระดับแรง- ดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิให้มีค่าตามมาตรฐานได้ ก็ต่อเมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ มีค่าอยู่ใน ช่วง 19.8 – 22 kV (0.9 – 1.0 pu.) ดังแสดงในตารางที่ 2 เมื่อ V_{HV} คือ ระดับแรงดันด้านแรงสูงที่มีผลทำให้แรงดันด้านแรงต่ำมีค่า 1.0 pu. และ Max, Min คือ ขอบเขตแรงดันด้านแรงสูงที่ไม่ส่งผลให้แรงดันด้านแรงต่ำมีค่าเกินมาตรฐาน

ตารางที่ 2 อัตราส่วนแรงดัน และขอบเขตแรงดันไฟฟ้าของระดับแทปหม้อแปลงต่างๆ

ระดับแทป	V_{HV} (pu.)	Min (pu.)	Max (pu.)
1	1.05	1.0	1.1
2	1.025	0.975	1.075
3	1.0	0.95	1.05
4	0.975	0.925	1.025
5	0.95	0.9	1.0

ซึ่งจากการที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีการควบคุมคุณภาพของแรงดันไฟฟ้า ณ จุดส่งมอบให้มีค่าตามมาตรฐาน โดยการปรับเพิ่มระดับแทปของหม้อแปลงจำหน่าย เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำมีค่าดีขึ้นและเป็นไปตามค่ามาตรฐาน แต่การกระทำดังกล่าวจะส่งผลให้ขอบเขตแรงดันไฟฟ้าด้านแรงสูงลดต่ำลง และมีค่าไม่เท่ากันในแต่ละเครื่อง ขึ้นอยู่กับปริมาณโหลดที่ใช้งานและระดับแรงดันไฟฟ้า ณ ตำแหน่งนั้น ซึ่งทำให้หลังจากที่ระบบมีการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายแล้ว อาจเกิดปัญหาแรงดันไฟเกินในบางจุดได้ ขึ้นอยู่กับระดับแทปของหม้อแปลงจำหน่าย ณ จุดนั้น ดังนั้นหากไม่มีการควบคุมปัจจัยดังกล่าวที่ดีพอแล้ว จะทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าของระบบได้ ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอกระบวนการควบคุมผลกระทบด้านแรงดันไฟฟ้า เมื่อ มีการเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ด้วยดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม ซึ่งเป็นดัชนีบ่งชี้ขอบเขตความสามารถในการรองรับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของบัสในระบบที่จะไม่ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำมีค่าเกินค่ามาตรฐาน การคำนวณดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมจะคำนวณจากระดับแรงดันไฟฟ้าก่อนเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย เพื่ออ้างอิงกับอัตราส่วนแรงดันที่จะไม่ทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำมีค่าต่ำกว่า 1.0 pu. ทำให้สามารถกำหนดระดับแทปที่เหมาะสมกับระบบขณะนั้นได้ ซึ่งนำไปสู่การกำหนดดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมในแต่ละบัส แต่จากการศึกษาบทความที่มีการนำเสนอ พบว่า ดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม (Voltage profile improvement Index) ในบทความอื่น ๆ ยกตัวอย่างเช่น บทความของ Iyer *et al*. (2005) เป็นต้น ซึ่งเมื่อนำมาใช้กำหนดขอบเขตในการหาขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย ปรากฏว่าดัชนีดังกล่าวไม่สามารถนำมาใช้กำหนดขอบเขตได้ เนื่องมาจากดัชนีดังกล่าวเป็นการเฉลี่ยผลรวมของค่าเบี่ยงเบนของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสจากแรงดันไฟฟ้าปกติ ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นการมองภาพรวมทั้งระบบทำให้ไม่สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสให้เป็นตามต้องการได้ จึงทำให้ผลลัพธ์ของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสที่ได้จากการคำนวณขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย โดยใช้สมการ (8) และ (9) เป็นสมการเงื่อนไข มีค่าที่ไม่แน่นอนในการคำนวณแต่ละครั้ง

เพราะฉะนั้นเพื่อให้เหมาะสมกับปัญหาในวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยจึงได้นำ เสนอดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม (Voltage profile improvement Index) ดัชนีใหม่ขึ้น มา ซึ่งมีความเหมาะสมกับปัญหาในวิทยานิพนธ์นี้มากกว่าดัชนีที่มีผู้นำเสนอไว้แล้ว โดยมีแนว ความคิดอยู่ว่าการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย กับระบบจำหน่ายใด ๆ ไม่ควรทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสมากเกินไป จนทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ กับอุปกรณ์ในระบบ เพื่อให้มีความเหมาะสมกับแรงดันไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลง สาเหตุที่จำเป็นต้องกำหนดข้อจำกัดที่เข้มงวดก็เพราะในการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายกับระบบจำหน่าย

นั้น มีความไม่สม่ำเสมอในการจ่ายพลังงานไฟฟ้า และมีความไม่แน่นอนในการเชื่อมต่อ ทำให้การจ่ายไฟไม่เป็นไปอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นหากมีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ กับอุปกรณ์ในระบบ เช่น การเปลี่ยนแทป ของหม้อแปลงจำหน่าย เป็นต้น เพื่อให้ระบบมีความเหมาะสมกับแรงดันไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงแล้ว อาจทำให้ระบบไม่สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในสถานการณ์ฉุกเฉินที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบได้

นิยามของดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม (Voltage profile improvement Index) ในวิทยานิพนธ์นี้ คือ ดัชนีที่บ่งบอกขอบเขตระดับแรงดันไฟฟ้าที่ยอมให้สามารถปรับปรุงได้ในแต่ละบัส โดยที่การปรับปรุงนั้นจะต้องไม่ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ กับอุปกรณ์ในระบบ

ดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม (Voltage profile improvement Index) ในวิทยานิพนธ์นี้มีดัชนีที่พิจารณาอยู่ 2 ดัชนีด้วยกัน คือ ดัชนีปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมสูงสุดที่บัสใด ๆ หรือ $V_{i,max}$ และดัชนีปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมต่ำสุดที่บัสใด ๆ หรือ $V_{i,min}$ ซึ่งดัชนีทั้งสองจะอ้างอิงค่ามาจากค่าสูงสุดและต่ำสุดของระดับแรงดันไฟฟ้าที่สามารถยอมรับได้ของบัสนั้น ๆ และระดับแรงดันไฟฟ้าที่สามารถยอมรับในแต่ละบัสจะพิจารณาจากชนิดของบัส และระดับแทปของหม้อแปลงจำหน่าย ณ บัสนั้น โดยมีเงื่อนไขในการพิจารณารายละเอียด ดังนี้

ก. การคำนวณดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมสูงสุด ในการประเมินระดับแทปของหม้อแปลงจำหน่ายในสภาวะก่อนเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ผู้วิจัยจะทำการประเมินโดยพิจารณาจากระดับแรงดันไฟฟ้าแต่ละบัส ในสภาวะก่อนเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย ($V_{i_t}^0$) เพื่อประมาณการค่าระดับแทปของหม้อแปลงจำหน่ายที่ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าด้านแรงดันต่ำที่บัสมีค่าไม่น้อยกว่า 1.0 pu. และไม่เกินกว่า 1.1 pu. แต่ทั้งนี้การปรับระดับแทปนี้ต้องไม่ส่งผลให้ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าด้านแรงดันต่ำในช่วงที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายหยุดการเชื่อมโยงฉุกเฉิน มีค่าต่ำกว่า 1.0 pu. ด้วย ดังนั้นดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมสูงสุดจึงขึ้นอยู่กับระดับแทปหม้อแปลงของบัส และชนิดของบัส ดังแสดงในสมการ (36)

$$V_{i,max} = \begin{cases} V_{set}{}^{+} & \text{เมื่อบัส } i \text{ เป็น Slack bus} \\ V_{max} & \text{เมื่อบัส } i \text{ เป็น DG bus} \\ V'_{max,T3} & \text{เมื่อบัส } i \text{ เป็นมีระดับแทป 3} \\ V'_{max,T4} & \text{เมื่อบัส } i \text{ เป็นมีระดับแทป 4} \\ V'_{max,T5} & \text{เมื่อบัส } i \text{ เป็นมีระดับแทป 5} \end{cases} \quad (36)$$

จากสมการ (36) เงื่อนไขในการพิจาณาดัชนีปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมสูงสุดที่บัสใด ๆ หรือ $V_{i,max}$ จะพิจารณาจาก

1) เมื่อบัส i เป็น Slack bus ดัชนี $V_{i,max}$ จะพิจารณาจากขอบเขตแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ Slack bus (V_{set}+) ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วง 22.4 – 22.7 kV + 1.1 – 1.4 % ตามการปรับตั้งการทำงานของหม้อแปลงกำลัง และชุดปรับแทปอัตโนมัติ

2) เมื่อบัส i เป็น DG bus ดัชนี $V_{i,max}$ จะพิจารณาตามมาตรฐานระดับแรงดันไฟฟ้า และตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าฯ ซึ่งกำหนดไว้ที่ 1.05 pu.

3) เมื่อบัส i เป็น Load bus ดัชนี $V_{i,max}$ จะพิจารณาตามมาตรฐานระดับแรงดันไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และระดับแทปของหม้อแปลงจำหน่ายของบัส แต่ทั้งนี้การที่จะได้ข้อมูลระดับแทปของหม้อแปลงจำหน่ายทุกเครื่องเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติ ผู้วิจัยจึงนำเสนอวิธีการประเมินระดับแทปของหม้อแปลงจำหน่ายในสภาวะะก่อนเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ในการประเมินระดับแทปของหม้อแปลงจำหน่ายในสภาวะะก่อนเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย ผู้วิจัยจะทำการประเมินโดยพิจารณาจากระดับแรงดัน ไฟฟ้าแต่ละบัส ในสภาวะก่อนเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย ($V_{i_t}^0$) เพื่อประมาณการค่าระดับแทปของหม้อแปลงจำหน่ายที่ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้า ด้านแรงดันต่ำที่บัสนั้น ๆ มีค่าไม่น้อยกว่า 1.0 pu. แต่ทั้งนี้ต้องไม่ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้า ด้านแรงดันต่ำที่บัสนั้น ๆ มีค่าเกินกว่า 1.1 pu. ด้วยเช่นกัน เพื่อรองรับเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายไม่สามารถเชื่อม-ต่อกับระบบได้ ระบบเองก็ยังคงรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้ได้ตามมาตรฐาน ซึ่งเงื่อนไขในการพิจารณาสามารถสรุปได้ดังนี้

(ก) ในกรณีที่ค่าต่ำสุดของระดับแรงดันไฟฟ้าของบัส ในสภาวะก่อนเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายมีค่ามากกว่า 1.0 pu. ($V_{i_t}^0 \geq 1.0\ pu.$) จะประเมินระดับแทปของบัสให้มีค่าระดับแทปที่ระดับ 3 ซึ่งมีค่าดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมสูงสุดเท่ากับ 1.05 pu. เพราะระดับแทปดังกล่าวเป็นระดับแทปที่สามารถรองรับโหลดในช่วงเวลาที่แรงดันไฟฟ้าในระบบมีค่าต่ำสุด และทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำมีค่าอยู่ในช่วงมาตรฐาน คือ 1.0 – 1.1 pu. อีกด้วย หรือในกรณีที่ค่าต่ำสุดของระดับแรงดัน ไฟฟ้าของบัส ในสภาวะก่อนเชื่อมต่อ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย จะมีค่าต่ำกว่า 1.0 pu. ($V_{i_t}^0 \leq 1.0\ pu.$) แต่ค่าสูงสุดของระดับแรงดันไฟฟ้าของบัส ในสภาวะก่อนเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย มีค่ามากกว่า 1.025 pu. ($V_{i_t}^0 \geq 1.025\ pu.$) ก็ตามจะประเมินระดับแทปของบัสนั้นให้มีค่าระดับแทปที่ระดับ 3 เพราะถ้าหากมีการปรับระดับแทปเป็นระดับแทปที่สูงขึ้นเพื่อรอง รับโหลดในช่วงเวลาที่แรงดันไฟฟ้าในระบบมีค่าต่ำสุดแล้ว จะทำให้ในช่วงที่แรงดันไฟฟ้าในระบบมีค่าสูงสุด จะเกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้าเกินกว่า 1.1 pu. ได้ โดยยินยอมให้มีบางช่วงเวลาที่ระดับแรงดันไฟฟ้าที่บัสนั้นสามารถมีค่าต่ำกว่า 1.0 pu.

(ข) ในกรณีที่ค่าต่ำสุดของระดับแรงดันไฟฟ้าของบัส ในสภาวะก่อนเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย มีค่าต่ำกว่า 1.0 pu. ($V_{i_t}^0 \leq 1.0\ pu.$) จะประเมินระดับแทปของบัสให้มีค่าระดับแทปที่ระดับ 4 ซึ่งมีค่าดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมสูงสุดเท่ากับ 1.025 pu. เพราะระดับแทปดังกล่าวเป็นระดับแทปที่สามารถรองรับโหลดในช่วงเวลาที่แรงดันไฟฟ้าในระบบมีค่าต่ำสุด และทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำมีค่าอยู่ในช่วงมาตรฐาน คือ 1.0 – 1.1 pu. อีกด้วย หรือในกรณีที่ค่าต่ำสุดของระดับแรงดัน ไฟฟ้าของบัส ในสภาวะก่อนเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย จะมีค่าต่ำกว่า 0.975 pu. ($V_{i_t}^0 \leq 0.975\ pu.$) แต่ค่าสูงสุดของระดับแรงดันไฟฟ้าของบัส ในสภาวะก่อนเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย มีค่ามากกว่า 1.0 pu. ($V_{i_t}^0 \geq 1.0\ pu.$) ก็ตามจะประเมินระดับแทปของบัสนั้นให้มีค่าระดับแทปที่ระดับ 4 เพราะถ้าหากมีการปรับระดับแทปเป็นระดับแทปที่สูงขึ้นเพื่อรอง รับโหลดในช่วงเวลาที่แรงดันไฟฟ้าในระบบมีค่าต่ำสุดแล้ว จะทำให้ในช่วงที่แรงดันไฟฟ้าในระบบมีค่าสูงสุด จะเกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้าเกินกว่า 1.1 pu. ได้ โดยยินยอมให้มีบางช่วงเวลาที่ระดับแรงดันไฟฟ้าที่บัสนั้นสามารถมีค่าต่ำกว่า 1.0 pu.

(ค) ในกรณีที่ค่าต่ำสุดของระดับแรงดันไฟฟ้าของบัส ในสภาวะก่อนเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย มีค่าต่ำกว่า 0.975 pu. ($V_{i_t}^0 \leq 0.975\ pu.$) จะประเมินระดับแทปของบัสให้มีค่าระดับแทปที่ระดับ 5 ซึ่งมีค่าดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมสูงสุดเท่ากับ 1.0 pu. เพราะระดับแทปดังกล่าวเป็นระดับแทปที่สามารถรองรับโหลดในช่วงเวลาที่แรงดันไฟฟ้าในระบบมีค่าต่ำสุด และทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำมีค่าอยู่ในช่วงมาตรฐาน คือ 1.0 – 1.1 pu.

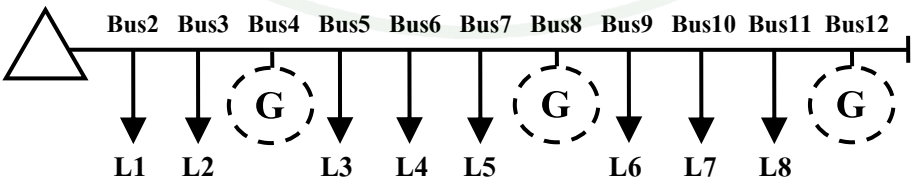
ข. การคำนวณดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมต่ำสุด

$$V_{i,min} = \begin{cases} V_{set}^{-} & \text{เมื่อบัส } i \text{ เป็น Slack bus} \\ V_{min} & \text{เมื่อบัส } i \text{ เป็น DG bus} \\ V_{min} & \text{เมื่อบัส } i \text{ เป็น Load bus} \end{cases} \quad (37)$$

จากสมการ (37) เนื่องจากตามมาตรฐานแล้ว ระดับแรงดันในระบบจะถูกควบคุมด้วยมาตรฐานทางคุณภาพไฟฟ้า ทำให้ระดับแรงดันทุกบัสมีค่าสูงกว่า 0.95 pu. ดังนั้นดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมต่ำสุดจึงไม่ขึ้นกับระดับแทป และมีค่าเท่ากับ 0.95 pu. ยกเว้นที่ Slack bus ซึ่งจะมีค่าดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมต่ำสุดเท่ากับขอบเขตแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ Slack bus (V_{sa}) ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วง 22.4 – 22.7 kV - 1.1 ถึง 1.4 % ตามการปรับตั้งการทำงานของหม้อแปลงกำลัง และชุดปรับแทปอัตโนมัติ

2. ระบบทดสอบ

ระบบทดสอบนี้เป็นระบบจำหน่าย แบบเรเดียลอย่างง่าย ดัดแปลงมาจากระบบจำหน่ายระดับแรงดัน 22 kV โดยทำการลดทอนระบบเหลือ 12 บัส ซึ่งกำหนดให้มีบัสโหลดทั้งสิ้นจำนวน 8 บัส และบัสเพื่อเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย จำนวน 3 บัส องค์ประกอบของระบบทดสอบนี้ประกอบไปด้วยระบบสายจำหน่ายเป็นสายชนิดสายอะลูมิเนียมหุ้มฉนวนเต็มพิกัด (SAC) ขนาด 185 ตร.มม. มีความยาวรวม 25 วงจร-กม. และกำหนดระยะห่างของกลุ่มโหลดแต่ละกลุ่มให้มีระยะห่างช่วงละ 3 กม. เท่า ๆ กัน ในส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย กำหนดให้มีตำแหน่งที่สามารถเชื่อมต่อได้จำนวน 3 ตำแหน่ง ซึ่งในแต่ละตำแหน่งจะมีระยะห่างจากบัสสถานีไฟฟ้าเป็น 8.3 กม. 16.6 กม. และ 25 กม. ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ระบบทดสอบ 12 บัส

3. การทดสอบการควบคุมค่าคำตอบของสมการเงื่อนไขที่นำเสนอ

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจะทำการทดสอบสมการเงื่อนไขที่นำเสนอกับระบบทดสอบ เพื่อศึกษาการควบคุมค่าคำตอบ และสอบเทียบความถูกต้องของสมการเงื่อนไขที่นำเสนอ ด้วยโปรแกรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นจากโปรแกรม Matlab ซึ่งมีกระบวนการดังนี้

สมมติฐาน : ขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายที่คำนวณได้ จะไม่ส่งผลให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย กระแสไฟฟ้าที่ไหลในระบบ และระดับแรงดันไฟฟ้า มีค่าเกินกว่าที่กำหนดตามสมการเงื่อนไขนั้น ๆ

3.1 การศึกษาเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow)

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow) ด้วยโปรแกรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นกับโปรแกรมสำเร็จรูปทั่วไปโดยใช้ระบบทดสอบ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของคำตอบจากโปรแกรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น

วิธีการทดสอบ มีกระบวนการดังนี้

ก. คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow) ด้วยระบบทดสอบ โดยโปรแกรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น

ข. นำผลลัพธ์จากข้อ ก. มาจำลองระบบในโปรแกรม DIgSILENT และคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow)

ค. เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณทั้งสอง และประเมินค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

3.2 การศึกษาการควบคุมค่าคำตอบของขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายด้วยเงื่อนไขพิกัดกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่สายตัวนำสามารถรองรับได้ (Line capacity)

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยศึกษาการควบคุมค่าคำตอบขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายของสมการเงื่อนไข โดยที่คำตอบต้องไม่ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในระบบมีค่าเกินกว่าขอบเขตพิกัดกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่สายตัวนำสามารถรองรับได้

วิธีการทดสอบ มีกระบวนการดังนี้

ก. คำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายด้วยระบบทดสอบ โดยโปรแกรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น

ข. ลดพิกัดกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่สายตัวนำสามารถรองรับได้ลง เพื่อศึกษาการควบคุมค่าคำตอบของสมการเงื่อนไข และคำนวณข้อ ก. ซ้ำ

ค. วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ และบันทึกผล

3.3 การศึกษาการควบคุมค่าคำตอบของขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายด้วยเงื่อนไขปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่ยอมรับได้ในระบบ (Line losses)

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยศึกษาการควบคุมค่าคำตอบขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายของสมการเงื่อนไข โดยที่คำตอบต้องไม่ส่งผลให้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียเพิ่มสูงขึ้นเกินกว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เป็นค่าดำเนินโครงการฯ

วิธีการทดสอบ มีกระบวนการดังนี้

ก. คำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายด้วยระบบทดสอบ โดยโปรแกรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น

ข. เปลี่ยนแปลงขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย จากขนาดที่คำนวณได้ตามข้อ ก. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เป็นค่าดำเนินโครงการฯ

ค. เปลี่ยนแปลงปริมาณโหลด เพื่อศึกษาการควบคุมค่าคำตอบของสมการเงื่อนไข และคำนวณข้อ ก. ซ้ำ

ง. วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ และบันทึกผล

3.4 การศึกษาการควบคุมค่าคำตอบของขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายด้วยเงื่อนไขแรงดันไฟฟ้า และดัชนีปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยศึกษาการควบคุมค่าคำตอบขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายของสมการเงื่อนไข โดยที่คำตอบต้องไม่ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าในระบบมีค่าเกินกว่าแรงดันไฟฟ้าตามมาตรฐาน และดัชนีปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม

วิธีการทดสอบ มีกระบวนการดังนี้

ก. คำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายด้วยระบบทดสอบ โดยโปรแกรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น

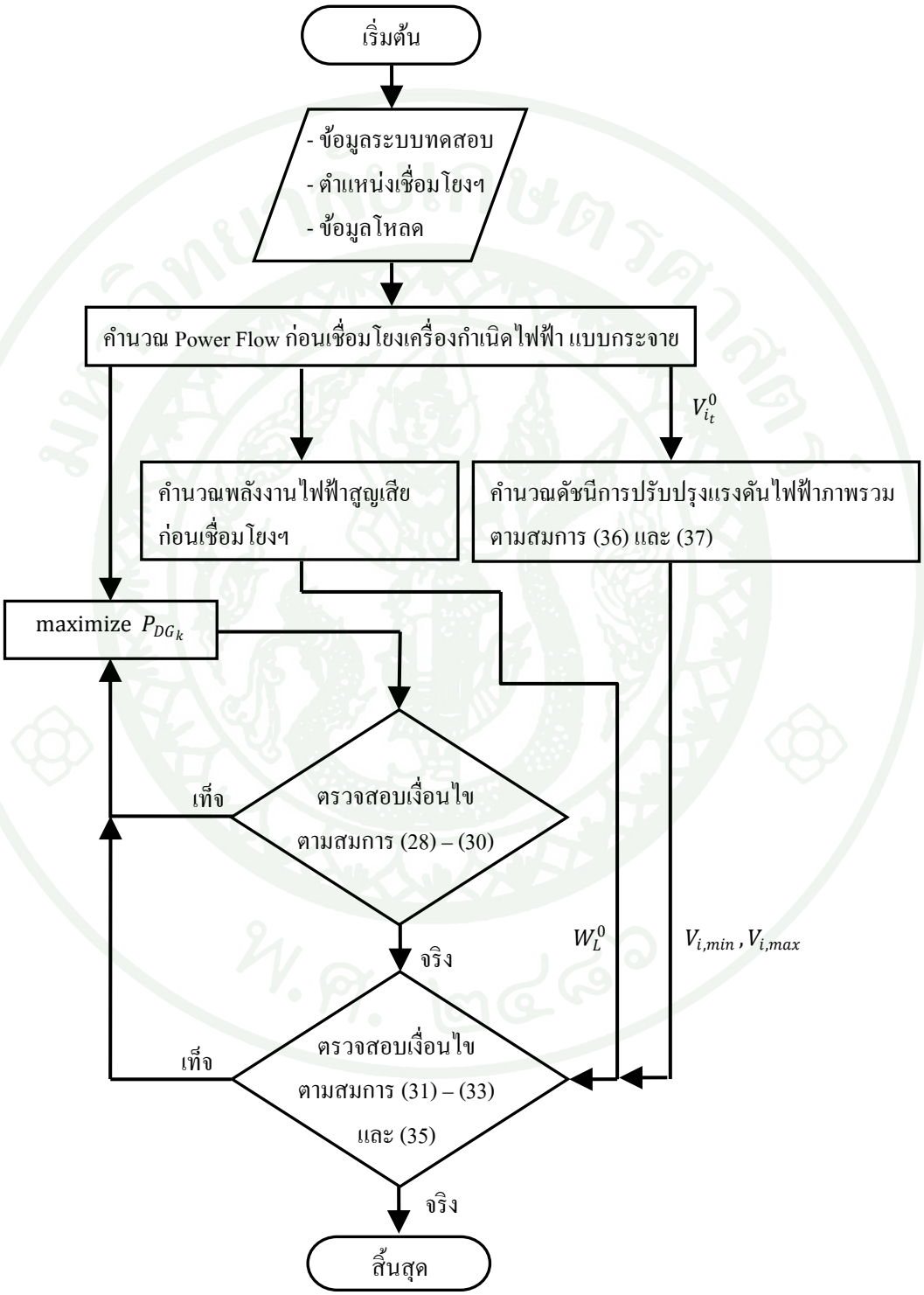
ข. เปลี่ยนแปลงตำแหน่งการเชื่อมต่อ เพื่อศึกษาการควบคุมค่าคำตอบของสมการเงื่อนไข และคำนวณข้อ ก. ซ้ำ

ค. วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ และบันทึกผล

กรณีศึกษา

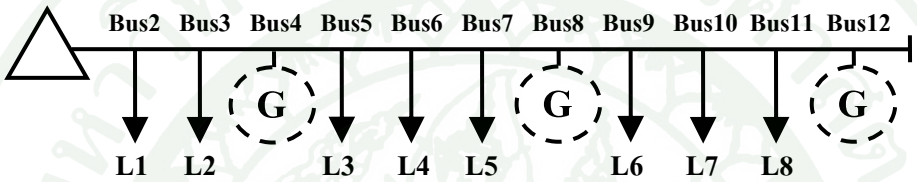
วิทยานิพนธ์นี้จะศึกษาความสามารถสูงสุดของระบบจำหน่ายในการรองรับการเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบกับระบบจำหน่าย และผู้ใช้ไฟรายอื่นในระบบ ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดความสูญเสีย และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมที่ยอมรับได้ของระบบนั้น รวมทั้งพิจารณาประเด็นเรื่องการเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเฉพาะบางช่วงเวลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายประเภท non-firm เช่น โซล่าร์เซลล์ที่สามารถเชื่อมโยงได้เฉพาะช่วงกลางวันเท่านั้น เป็นต้น ซึ่งการศึกษาจะกระทำผ่านวิธีการคำนวณหาค่าสูงสุดของขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย โดยจะพิจารณาเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายทีละหนึ่งเครื่อง ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ว่าพิจารณาบน

พื้นฐานว่าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่จะพิจารณาเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายในลักษณะมาก่อนเชื่อมโยงก่อน (First Come-First Served) ซึ่งขั้นตอนการคำนวณแสดงดังภาพที่ 9



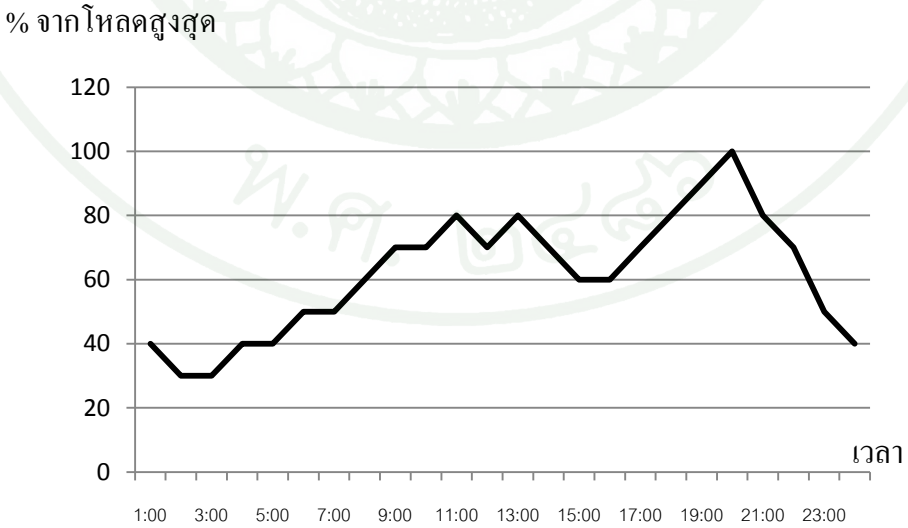
ภาพที่ 9 ขั้นตอนการหาขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

ระบบทดสอบที่ใช้ในกรณีศึกษาจำลองมาจากระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยที่สถานีไฟฟ้าหนึ่งๆ จะรองรับระบบจำหน่ายจำนวน 1 - 15 วงจร ซึ่งในการศึกษาจะจำลองระบบจำหน่ายที่พิจารณาเป็นแบบเรเดียล 12 บัส เชื่อมต่อกับสถานีไฟฟ้าที่มีปริมาณโหลดรวมของระบบจำหน่ายวงจรข้างเคียงมากกว่ากำลังผลิตสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และกำหนดให้ระยะห่างระหว่างกลุ่มโหลดมีค่าเท่ากัน และมีตำแหน่งสำหรับการเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายทั้งหมด 3 ตำแหน่ง ในตำแหน่ง $^{1}/_{3}$ และ $^{2}/_{3}$ ของความยาวระบบทั้งหมด และตำแหน่งปลายสุดของระบบ และดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ระบบทดสอบ 12 บัส

ในส่วนของโหลดกำหนดให้โหลดมีการกระจายตัวสม่ำเสมอ และมีปริมาณโหลดสูงสุดรวมทั้งระบบเท่ากับ 2 MW 4 MW และ 6 MW ตามลำดับ อีกทั้งกำหนดให้ปริมาณโหลดมีการเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลา โดยมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ปริมาณโหลดในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง

จากระบบทดสอบ รูปแบบของกรณีศึกษา เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ระบบสามารถรองรับได้ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. กรณีศึกษาที่ 1 ระบบทดสอบปริมาณโหลดสูงสุดเท่ากับ 2 MW
   1.1 กรณีศึกษาที่ 1.1 เชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ที่บัส 4
   1.2 กรณีศึกษาที่ 1.2 เชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ที่บัส 8
   1.3 กรณีศึกษาที่ 1.3 เชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ที่บัส 12

2. กรณีศึกษาที่ 2 ระบบทดสอบปริมาณโหลดสูงสุดเท่ากับ 4 MW
   2.1 กรณีศึกษาที่ 2.1 เชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ที่บัส 4
   2.2 กรณีศึกษาที่ 2.2 เชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ที่บัส 8
   2.3 กรณีศึกษาที่ 2.3 เชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ที่บัส 12

3. กรณีศึกษาที่ 3 ระบบทดสอบปริมาณโหลดสูงสุดเท่ากับ 6 MW
   3.1 กรณีศึกษาที่ 3.1 เชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ที่บัส 4
   3.2 กรณีศึกษาที่ 3.2 เชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ที่บัส 8
   3.3 กรณีศึกษาที่ 3.3 เชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ที่บัส 12

ผลและวิจารณ์

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลการศึกษาใน 2 ส่วน คือ ผลการทดสอบการควบคุมค่าคำตอบของสมการเงื่อนไขที่นำเสนอ และผลการศึกษาจากกรณีศึกษา ซึ่งมีรายละเอียดได้ดังนี้

1. ผลการทดสอบการควบคุมค่าคำตอบของสมการเงื่อนไขที่นำเสนอ

จากการศึกษา พบว่า สมการเงื่อนไข และอสมการเงื่อนไขที่นำเสนอ สามารถควบคุมค่าคำตอบ และจำกัดค่าตัวแปรได้ตรงตามวัตถุประสงค์ ซึ่งมีรายละเอียดได้ดังนี้

1.1 ผลการศึกษาเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow)

ในการทดสอบ พบว่า เมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow) ด้วยโปรแกรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นกับผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป DIgSILENT ดังแสดงในตารางที่ 3 จะเห็นว่าค่าทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันมาก อาจเนื่องมาจากโปรแกรมทั้งสองมีจำนวนเลขนัยสำคัญไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow) ด้วยโปรแกรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปใช้งานได้

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow) ของระบบทดสอบ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป DIgSILENT เปรียบเทียบกับโปรแกรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น

บัสที่	มุมของแรงดัน		ค่าความคลาดเคลื่อน (%)	ขนาดของแรงดัน		ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
	โปรแกรม DIgSILENT (rad)	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น (rad)		โปรแกรม DIgSILENT (rad)	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น (rad)	
1	0	0	0	1.025	1.025	0
2	-0.0047	-0.0047	0	1.016	1.016	0
3	-0.0090	-0.0090	0	1.008	1.009	0.0009
4	-0.0118	-0.0118	0	1.003	1.004	0.0009
5	-0.0126	-0.0126	0	1.002	1.002	0
6	-0.0157	-0.0157	0	0.996	0.997	0.001
7	-0.0182	-0.0182	0	0.992	0.992	0
8	-0.0193	-0.0192	0.005	0.990	0.990	0
9	-0.0201	-0.0201	0	0.988	0.989	0.001
10	-0.0214	-0.0214	0	0.986	0.987	0.001
11	-0.0220	-0.0220	0	0.985	0.986	0.001
12	-0.0220	-0.0220	0	0.985	0.986	0.001

1.2 ผลการศึกษาการควบคุมค่าคำตอบของขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย ด้วยเงื่อนไขพิกัดกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่สายตัวนำสามารถรองรับได้ (Line capacity)

จากการศึกษา พบว่า โปรแกรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นสามารถควบคุมค่าของคำตอบไม่ให้ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในระบบมีค่าเกินกว่าพิกัดกระแสไฟฟ้าสูงสุดของสายตัวนำ แต่จากการศึกษา พบอีกว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายตัวนำคือ ปริมาณกำลังไฟฟ้าไหลย้อนกลับ (Counter flow) ซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งในการเชื่อมโยงฯ ปริมาณโหลดในระบบ รวมทั้งขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่าระบบที่สายตัวนำมีพิกัดกระแสไฟฟ้าสูงกว่าจะสามารถรองรับขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายได้มากกว่าระบบที่มีสายตัวนำที่พิกัดกระแสไฟฟ้าต่ำกว่า ถึงแม้ว่าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะกำหนด

ปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่จ่ายหรือรับจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า อ้างอิงจากระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้า ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2551) ให้สัมพันธ์กับพิกัดกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่สายตัวนำสามารถรองรับได้ (Line capacity) แล้วก็ตาม ในการคำนวณจึงไม่สามารถละเว้นการคำนวณพิกัดกระแสไฟฟ้าสูงสุดได้

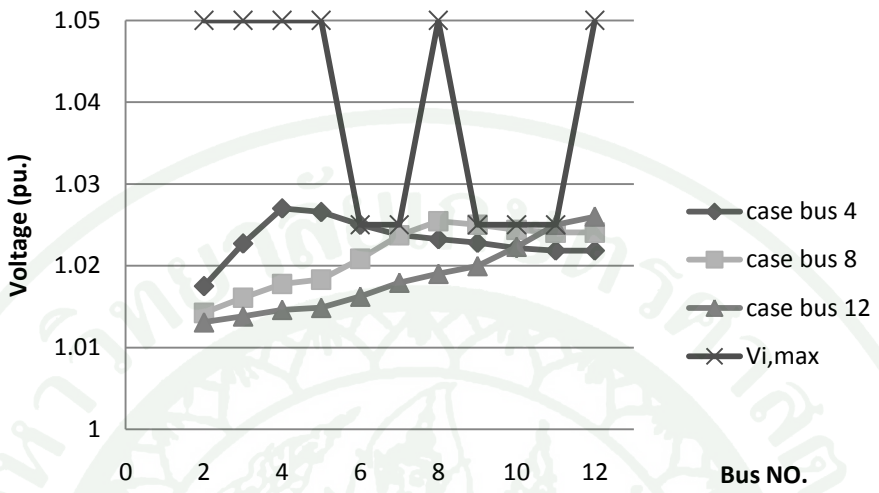
1.3 ผลการศึกษาการควบคุมค่าคำตอบของขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย ด้วยเงื่อนไขปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่ยอมรับได้ในระบบ (Line losses)

จากการศึกษา พบว่า ค่าคำตอบของขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายที่คำนวณได้โดยโปรแกรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น เป็นคำตอบที่ทำให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียอยู่ในขอบเขตที่กำหนด ซึ่งในระบบที่ทดสอบนี้มีค่าเท่ากับ 4.82 MW และเมื่อปรับเปลี่ยนขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย เพื่อดูผลตอบสนองของพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย พบว่า หากเพิ่มขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายไปจากค่าที่คำนวณได้โดยโปรแกรม จะทำให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าสูงกว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่หักไว้จากผู้ผลิตไฟฟ้า ในทางตรงข้ามหากลดขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายไปจากค่าที่คำนวณได้โดยโปรแกรม จะทำให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียลดลง และมีค่าต่ำกว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่หักไว้จากผู้ผลิตไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลของขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายที่ส่งผลต่อพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบทดสอบที่มีปริมาณโหลดสูงสุด 2 MW เชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายที่บัสที่ 8 และไม่พิจารณาเงื่อนไขดัชนีแรงดันไฟฟ้าภาพรวม

ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย (MW)	ปริมาณพลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้น (kW-hr.)			ปริมาณพลังงานที่ขาย (kW-hr.)	ร้อยละพลังงานสูญเสียต่อพลังงานที่ขาย
	ก่อนเชื่อมต่อ	หลังเชื่อมต่อ	พลังงานที่เปลี่ยนแปลง (+เพิ่ม/- ลด)		
3.2	194.62	944.92	750.30	76,800	0.98
4	194.62	1,643.74	1,449.12	96,000	1.51
4.82	194.62	2,512.99	2,318.38	115,680	2.00
5.6	194.62	3,618.57	3,423.95	134,400	2.55
6.4	194.62	4,822.69	4,628.082	153,600	3.01

1.4 ผลการศึกษาการควบคุมค่าคำตอบของขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ด้วยเงื่อนไขแรงดันไฟฟ้า และดัชนีปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม



ภาพที่ 12 ระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบทดสอบ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

จากการศึกษา พบว่า เพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายสามารถส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดนั้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายต้องยกระดับแรงดันเพื่อส่งจ่ายขึ้น แต่ทั้งนี้ระดับแรงดันที่เพิ่มขึ้นจะถูกควบคุมด้วยค่าดัชนีปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมของบัสข้างเคียง ซึ่งในแต่ละตำแหน่งการเชื่อมต่ออาจมีค่าไม่เท่ากัน ทำให้ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายที่คำนวณได้จากโปรแกรมไม่เท่ากันด้วย ดังแสดงในภาพที่ 12

2. ผลการศึกษาจากกรณีศึกษา

จากการศึกษากรณีศึกษาที่ 1.1 – กรณีศึกษาที่ 3.3 สามารถสรุปได้ดังนี้

2.1 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power flow) ก่อนเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power flow) ก่อนเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย เพื่อใช้คำนวณหาพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ก่อนเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ดังแสดงในตารางที่ 5 และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม ในกรณีที่ระบบมีโหลดสูงสุด 2 MW, 4 MW และ 6 MW ดังแสดงในตารางที่ 6 ตารางที่ 7 และตารางที่ 8 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ก่อนเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

กรณี	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย (kW-hr.)
ปริมาณโหลด 2 MW	194.62
ปริมาณโหลด 4 MW	804.71
ปริมาณโหลด 6 MW	1,861.38

ตารางที่ 6 ระดับแรงดันไฟฟ้า ก่อนเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมกรณีที่ระบบมีโหลดสูงสุด 2 MW

บัสที่	ระดับแรงดันไฟฟ้า		$V_{i,max}$
	Light Load (pu.)	Peak Load (pu.)	
Bus 2	1.0238	1.0207	1.05
Bus 3	1.0227	1.0170	1.05
Bus 4	1.0220	1.0145	1.05
Bus 5	1.0218	1.0137	1.05
Bus 6	1.0210	1.0110	1.05
Bus 7	1.0204	1.0089	1.05
Bus 8	1.0202	1.0080	1.05
Bus 9	1.0199	1.0073	1.05
Bus 10	1.0196	1.0062	1.05
Bus 11	1.0195	1.0057	1.05
Bus 12	1.0195	1.0057	1.05

จากตารางที่ 6 จะเห็นว่าในช่วงโหลดสูงสุด หรือ Peak Load ซึ่งเป็นช่วงที่แรงดันไฟฟ้าในระบบจะมีค่าต่ำสุดนั้น แรงดันไฟฟ้าที่บัสไม่มีบัสใดที่มีค่าต่ำกว่า 1.0 pu. ดังนั้นจึงสามารถประเมินว่าหม้อแปลงทุกเครื่องมีระดับแทป 3 ทำให้คำนวณดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมของระบบได้เท่ากับ 1.05 pu. ทั้งระบบ

ตารางที่ 7 ระดับแรงดันไฟฟ้า ก่อนเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมกรณีที่ระบบมีโหลดสูงสุด 4 MW

บัสที่	ระดับแรงดันไฟฟ้า		$V_{i,max}$
	Light Load (pu.)	Peak Load (pu.)	
Bus 2	1.0225	1.0162	1.05
Bus 3	1.0203	1.0085	1.05
Bus 4	1.0188	1.0034	1.05
Bus 5	1.0184	1.0019	1.05
Bus 6	1.0168	0.9963	1.025
Bus 7	1.0155	0.9919	1.025
Bus 8	1.0150	0.9902	1.025
Bus 9	1.0146	0.9886	1.025
Bus 10	1.0139	0.9864	1.025
Bus 11	1.0136	0.9853	1.025
Bus 12	1.0136	0.9853	1.025

จากตารางที่ 7 จะเห็นว่าในช่วงโหลดสูงสุด หรือ Peak Load ซึ่งเป็นช่วงที่แรงดันไฟฟ้าในระบบจะมีค่าต่ำสุดนั้น แรงดันไฟฟ้าตั้งแต่บัสที่ 6 เป็นต้นไปมีค่าต่ำกว่า 1.0 pu. ดังนั้นจึงสามารถประเมินว่าหม้อแปลงตั้งแต่บัสที่ 6 เป็นต้นไปมีระดับแทป 4 ซึ่งมีค่าดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมเท่ากับ 1.025 pu.

ตารางที่ 8 ระดับแรงดันไฟฟ้า ก่อนเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมกรณีที่ระบบมีโหลดสูงสุด 6 MW

บัสที่	ระดับแรงดันไฟฟ้า		$V_{i,max}$
	Light Load (pu.)	Peak Load (pu.)	
Bus 2	1.0212	1.0115	1.05
Bus 3	1.0178	0.9997	1.025
Bus 4	1.0156	0.9919	1.025
Bus 5	1.0149	0.9895	1.025
Bus 6	1.0125	0.9810	1.025
Bus 7	1.0106	0.9742	1.025
Bus 8	1.0098	0.9715	1.025
Bus 9	1.0091	0.9691	1.025
Bus 10	1.0081	0.9658	1.025
Bus 11	1.0077	0.9640	1.025
Bus 12	1.0077	0.9640	1.025

จากตารางที่ 8 จะเห็นว่าในช่วงโหลดสูงสุด หรือ Peak Load ซึ่งเป็นช่วงที่แรงดันไฟฟ้าในระบบจะมีค่าต่ำสุดนั้น แรงดันไฟฟ้าตั้งแต่บัสที่ 3 เป็นต้นไปมีค่าต่ำกว่า 1.0 pu. ถึงแม้ว่าจะมีบางบัสที่แรงดันไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่า 0.975 pu. แต่ในช่วงโหลดต่ำสุด หรือ Light Load ซึ่งเป็นช่วงที่แรงดันไฟฟ้าในระบบจะมีค่าสูงสุดนั้น แรงดันในระบบมีค่ามากกว่า 1.0 pu. เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาแรงดันไฟฟ้าเกินในช่วงโหลดต่ำสุด จึงไม่ควรปรับระดับแทปเพิ่มขึ้นอีก ดังนั้นจึงสามารถประเมินว่าหม้อแปลงตั้งแต่บัสที่ 3 เป็นต้นไปมีระดับแทป 4 ซึ่งมีค่าดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมเท่ากับ 1.025 pu.

2.2 ผลการคำนวณกรณีศึกษาที่ 1.1 ระบบทดสอบปริมาณโหลดสูงสุดเท่ากับ 2 MW และเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ที่บัส 4 แสดงได้ดังตารางที่ 9 และตารางที่ 10

ตารางที่ 9 ระดับแรงดันไฟฟ้า และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม

บัสที่	ระดับแรงดันไฟฟ้า		$V_{i,max}$
	Light Load (pu.)	Peak Load (pu.)	
Bus 2	1.0314	1.0272	1.05
Bus 3	1.0384	1.0325	1.05
Bus 4	1.0381	1.0317	1.05
Bus 5	1.0374	1.0291	1.05
Bus 6	1.0368	1.0270	1.05
Bus 7	1.0365	1.0261	1.05
Bus 8	1.0363	1.0254	1.05
Bus 9	1.0360	1.0243	1.05
Bus 10	1.0359	1.0238	1.05
Bus 11	1.0359	1.0238	1.05
Bus 12	1.0314	1.0272	1.05

ตารางที่ 10 ผลการคำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และส่วนต่างพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย

ขนาดสูงสุดที่ระบบรองรับได้	8.000	MW
พลังงงานไฟฟ้าสูญเสีย (ก่อน)	194.62	kW-hr.
พลังงงานไฟฟ้าสูญเสีย (หลัง)	3,944.24	kW-hr.
พลังงงานไฟฟ้า (+เพิ่ม/-ลด)	3,749.62	kW-hr.
สัดส่วนจากพลังงานที่ขาย	1.95	%

จากตาราง พบว่า ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ระบบรองรับได้ถูกจำกัดด้วยข้อกำหนดปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่จ่ายเข้าระบบฯ

2.3 ผลการคำนวณกรณีศึกษาที่ 1.2 ระบบทดสอบปริมาณโหลดสูงสุดเท่ากับ 2 MW และเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ที่บัส 8 แสดงได้ดังตารางที่ 11 และตารางที่ 12

ตารางที่ 11 ระดับแรงดันไฟฟ้า และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม

บัสที่	ระดับแรงดันไฟฟ้า		$V_{i,max}$
	Light Load (pu.)	Peak Load (pu.)	
Bus 2	1.0269	1.0354	1.05
Bus 3	1.0316	1.0376	1.05
Bus 4	1.0354	1.0397	1.05
Bus 5	1.0365	1.0404	1.05
Bus 6	1.0417	1.0437	1.05
Bus 7	1.0470	1.0476	1.05
Bus 8	1.0499	1.0499	1.05
Bus 9	1.0498	1.0492	1.05
Bus 10	1.0495	1.0482	1.05
Bus 11	1.0493	1.0477	1.05
Bus 12	1.0493	1.0477	1.05

ตารางที่ 12 ผลการคำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และส่วนต่างพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย

ขนาดสูงสุดที่ระบบรองรับได้	4.830	MW
พลังงงานไฟฟ้าสูญเสีย (ก่อน)	194.62	kW-hr.
พลังงงานไฟฟ้าสูญเสีย (หลัง)	2,513.00	kW-hr.
พลังงงานไฟฟ้า (+เพิ่ม/-ลด)	2,318.38	kW-hr.
สัดส่วนจากพลังงานที่ขาย	2.00	%

จากตาราง พบว่า ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ระบบรองรับได้ถูกจำกัดด้วยปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เพิ่มขึ้น

2.4 ผลการคำนวณกรณีศึกษาที่ 1.3 ระบบทดสอบปริมาณโหลดสูงสุดเท่ากับ 2 MW และเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ที่บัส 12 แสดงได้ดังตารางที่ 13 และตารางที่ 14

ตารางที่ 13 ระดับแรงดันไฟฟ้า และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม

บัสที่	ระดับแรงดันไฟฟ้า		$V_{i,max}$
	Light Load (pu.)	Peak Load (pu.)	
Bus 2	1.0243	1.0344	1.05
Bus 3	1.0272	1.0348	1.05
Bus 4	1.0296	1.0355	1.05
Bus 5	1.0303	1.0357	1.05
Bus 6	1.0336	1.0372	1.05
Bus 7	1.0371	1.0392	1.05
Bus 8	1.0390	1.0406	1.05
Bus 9	1.0407	1.0418	1.05
Bus 10	1.0446	1.0449	1.05
Bus 11	1.0486	1.0486	1.05
Bus 12	1.0500	1.0500	1.05

ตารางที่ 14 ผลการคำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และส่วนต่างพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย

ขนาดสูงสุดที่ระบบรองรับได้	3.373	MW
พลังงงานไฟฟ้าสูญเสีย (ก่อน)	194.62	kW-hr.
พลังงงานไฟฟ้าสูญเสีย (หลัง)	1,813.85	kW-hr.
พลังงงานไฟฟ้า (+เพิ่ม/-ลด)	1,619.23	kW-hr.
สัดส่วนจากพลังงานที่ขาย	2.00	%

จากตาราง พบว่า ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ระบบรองรับได้ถูกจำกัดด้วยปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เพิ่มขึ้น และขอบเขตแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของบัสที่ 12

2.5 ผลการคำนวณกรณีศึกษาที่ 2.1 ระบบทดสอบปริมาณโหลดสูงสุดเท่ากับ 4 MW และเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ที่บัส 4 แสดงได้ดังตารางที่ 15 และตารางที่ 16

ตารางที่ 15 ระดับแรงดันไฟฟ้า และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม

บัสที่	ระดับแรงดันไฟฟ้า		$V_{i,max}$
	Light Load (pu.)	Peak Load (pu.)	
Bus 2	1.0175	1.0156	1.05
Bus 3	1.0227	1.0155	1.05
Bus 4	1.0270	1.0163	1.05
Bus 5	1.0266	1.0148	1.05
Bus 6	1.0250	1.0094	1.025
Bus 7	1.0237	1.0050	1.025
Bus 8	1.0232	1.0033	1.025
Bus 9	1.0228	1.0017	1.025
Bus 10	1.0222	0.9995	1.025
Bus 11	1.0219	0.9985	1.025
Bus 12	1.0219	0.9985	1.025

ตารางที่ 16 ผลการคำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และส่วนต่างพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย

ขนาดสูงสุดที่ระบบรองรับได้	5.913 MW
พลังงงานไฟฟ้าสูญเสีย (ก่อน)	804.71 kW-hr.
พลังงงานไฟฟ้าสูญเสีย (หลัง)	1,532.60 kW-hr.
พลังงงานไฟฟ้า (+เพิ่ม/-ลด)	727.90 kW-hr.
สัดส่วนจากพลังงานที่ขาย	0.51 %

จากตาราง พบว่า ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ระบบรองรับได้ถูกจำกัดขอบเขตดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมของบัสที่ 6

2.6 ผลการคำนวณกรณีศึกษาที่ 2.2 ระบบทดสอบปริมาณโหลดสูงสุดเท่ากับ 4 MW และเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ที่บัส 8 แสดงได้ดังตารางที่ 17 และตารางที่ 18

ตารางที่ 17 ระดับแรงดันไฟฟ้า และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม

บัสที่	ระดับแรงดันไฟฟ้า		$V_{i,max}$
	Light Load (pu.)	Peak Load (pu.)	
Bus 2	1.0142	1.0125	1.05
Bus 3	1.0161	1.0092	1.05
Bus 4	1.0178	1.0074	1.05
Bus 5	1.0183	1.0069	1.05
Bus 6	1.0208	1.0056	1.025
Bus 7	1.0237	1.0055	1.025
Bus 8	1.0254	1.0061	1.05
Bus 9	1.0250	1.0045	1.025
Bus 10	1.0244	1.0024	1.025
Bus 11	1.0241	1.0013	1.025
Bus 12	1.0241	1.0013	1.025

ตารางที่ 18 ผลการคำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และส่วนต่างพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย

ขนาดสูงสุดที่ระบบรองรับได้	3.270 MW
พลังงงานไฟฟ้าสูญเสีย (ก่อน)	804.71 kW-hr.
พลังงงานไฟฟ้าสูญเสีย (หลัง)	645.42 kW-hr.
พลังงงานไฟฟ้า (+เพิ่ม/-ลด)	-159.29 kW-hr.
สัดส่วนจากพลังงานที่ขาย	-0.20 %

จากตาราง พบว่า ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ระบบรองรับได้ถูกจำกัดขอบเขตดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมของบัสที่ 9

2.7 ผลการคำนวณกรณีศึกษาที่ 2.3 ระบบทดสอบปริมาณโหลดสูงสุดเท่ากับ 4 MW และเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ที่บัส 12 แสดงได้ดังตารางที่ 19 และตารางที่ 20

ตารางที่ 19 ระดับแรงดันไฟฟ้า และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม

บัสที่	ระดับแรงดันไฟฟ้า		$V_{i,max}$
	Light Load (pu.)	Peak Load (pu.)	
Bus 2	1.0131	1.0122	1.05
Bus 3	1.0138	1.0076	1.05
Bus 4	1.0146	1.0049	1.05
Bus 5	1.0149	1.0041	1.05
Bus 6	1.0162	1.0017	1.025
Bus 7	1.0179	1.0004	1.025
Bus 8	1.0190	1.0003	1.025
Bus 9	1.0200	1.0002	1.025
Bus 10	1.0223	1.0011	1.025
Bus 11	1.0250	1.0031	1.025
Bus 12	1.0260	1.0041	1.05

ตารางที่ 20 ผลการคำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และส่วนต่างพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย

ขนาดสูงสุดที่ระบบรองรับได้	2.369 MW
พลังงงานไฟฟ้าสูญเสีย (ก่อน)	804.71 kW-hr.
พลังงงานไฟฟ้าสูญเสีย (หลัง)	611.62 kW-hr.
พลังงงานไฟฟ้า (+เพิ่ม/-ลด)	-193.09 kW-hr.
สัดส่วนจากพลังงานที่ขาย	-0.34 %

จากตาราง พบว่า ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ระบบรองรับได้ถูกจำกัดขอบเขตดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมของบัสที่ 11

2.8 ผลการคำนวณกรณีศึกษาที่ 3.1 ระบบทดสอบปริมาณโหลดสูงสุดเท่ากับ 6 MW และเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ที่บัส 4 แสดงได้ดังตารางที่ 21 และตารางที่ 22

ตารางที่ 21 ระดับแรงดันไฟฟ้า และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม

บัสที่	ระดับแรงดันไฟฟ้า		$V_{i,max}$
	Light Load (pu.)	Peak Load (pu.)	
Bus 2	1.0169	1.0142	1.05
Bus 3	1.0216	1.0109	1.025
Bus 4	1.0257	1.0096	1.05
Bus 5	1.0250	1.0073	1.025
Bus 6	1.0226	0.9990	1.025
Bus 7	1.0207	0.9923	1.025
Bus 8	1.0199	0.9896	1.025
Bus 9	1.0193	0.9873	1.025
Bus 10	1.0183	0.9840	1.025
Bus 11	1.0178	0.9823	1.025
Bus 12	1.0178	0.9823	1.05

ตารางที่ 22 ผลการคำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และส่วนต่างพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย

ขนาดสูงสุดที่ระบบรองรับได้	6.436 MW
พลังงงานไฟฟ้าสูญเสีย (ก่อน)	1,861.38 kW-hr.
พลังงงานไฟฟ้าสูญเสีย (หลัง)	1,715.70 kW-hr.
พลังงงานไฟฟ้า (+เพิ่ม/-ลด)	-145.68 kW-hr.
สัดส่วนจากพลังงานที่ขาย	-0.09 %

จากตาราง พบว่า ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ระบบรองรับได้ถูกจำกัดขอบเขตดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมของบัสที่ 5

2.9 ผลการคำนวณกรณีศึกษาที่ 3.2 ระบบทดสอบปริมาณโหลดสูงสุดเท่ากับ 6 MW และเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ที่บัส 8 แสดงได้ดังตารางที่ 23 และตารางที่ 24

ตารางที่ 23 ระดับแรงดันไฟฟ้า และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม

บัสที่	ระดับแรงดันไฟฟ้า		$V_{i,max}$
	Light Load (pu.)	Peak Load (pu.)	
Bus 2	1.0139	1.0113	1.05
Bus 3	1.0156	1.0051	1.025
Bus 4	1.0172	1.0016	1.025
Bus 5	1.0178	1.0005	1.025
Bus 6	1.0205	0.9975	1.025
Bus 7	1.0237	0.9962	1.025
Bus 8	1.0257	0.9964	1.05
Bus 9	1.0250	0.9940	1.025
Bus 10	1.0240	0.9907	1.025
Bus 11	1.0236	0.9891	1.025
Bus 12	1.0236	0.9891	1.025

ตารางที่ 24 ผลการคำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และส่วนต่างพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย

ขนาดสูงสุดที่ระบบรองรับได้	4.049 MW
พลังงงานไฟฟ้าสูญเสีย (ก่อน)	1,861.38 kW-hr.
พลังงงานไฟฟ้าสูญเสีย (หลัง)	941.95 kW-hr.
พลังงงานไฟฟ้า (+เพิ่ม/-ลด)	-919.43 kW-hr.
สัดส่วนจากพลังงานที่ขาย	-0.95 %

จากตาราง พบว่า ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ระบบรองรับได้ถูกจำกัดขอบเขตดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมของบัสที่ 9

2.10 ผลการคำนวณกรณีศึกษาที่ 3.3 ระบบทดสอบปริมาณโหลดสูงสุดเท่ากับ 6 MW และเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ที่บัส 12 แสดงได้ดังตารางที่ 25 และตารางที่ 26

ตารางที่ 25 ระดับแรงดันไฟฟ้า และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม

บัสที่	ระดับแรงดันไฟฟ้า		$V_{i,max}$
	Light Load (pu.)	Peak Load (pu.)	
Bus 2	1.0125	1.0114	1.05
Bus 3	1.0128	1.0037	1.025
Bus 4	1.0134	0.9990	1.025
Bus 5	1.0136	0.9976	1.025
Bus 6	1.0149	0.9932	1.025
Bus 7	1.0167	0.9904	1.025
Bus 8	1.0179	0.9898	1.025
Bus 9	1.0189	0.9893	1.025
Bus 10	1.0217	0.9898	1.025
Bus 11	1.0250	0.9921	1.025
Bus 12	1.0263	0.9934	1.05

ตารางที่ 26 ผลการคำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และส่วนต่างพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย

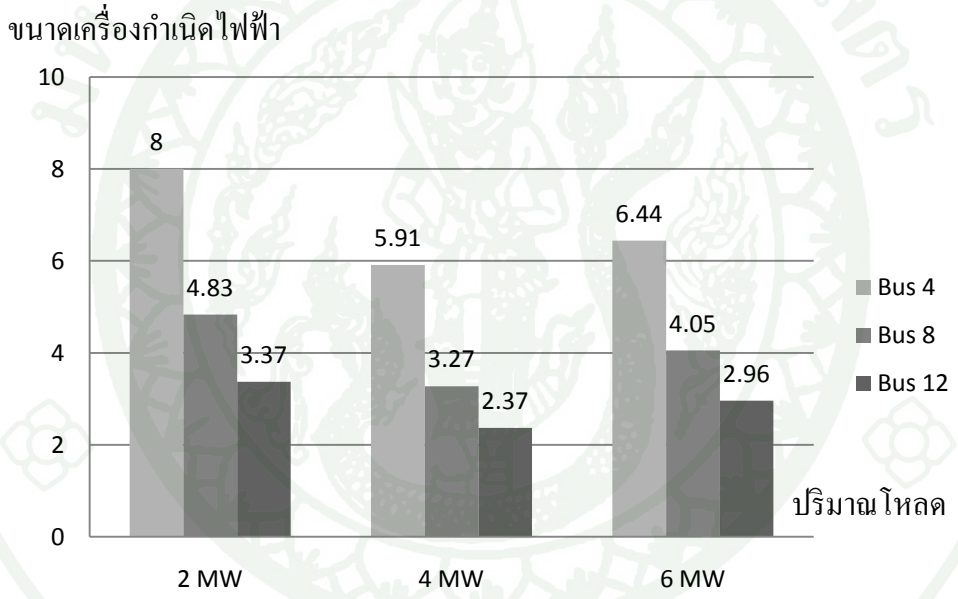
ขนาดสูงสุดที่ระบบรองรับได้	2.965	MW
พลังงงานไฟฟ้าสูญเสีย (ก่อน)	1,861.38	kW-hr.
พลังงงานไฟฟ้าสูญเสีย (หลัง)	1,020.98	kW-hr.
พลังงงานไฟฟ้า (+เพิ่ม/-ลด)	-840.41	kW-hr.
สัดส่วนจากพลังงานที่ขาย	-1.18	%

จากตาราง พบว่า ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ระบบรองรับได้ถูกจำกัดขอบเขตดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมของบัสที่ 11

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

วิธีการที่นำเสนอในบทความนี้ สามารถหาค่าสูงสุดของขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบกับระบบจำหน่าย และผู้ใช้ไฟรายอื่นในระบบ ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดความสูญเสีย และดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมที่ยอมรับได้ของระบบ ทั้งนี้ผลการคำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายในกรณีศึกษาสามารถสรุป ดังแสดงในภาพที่ 13

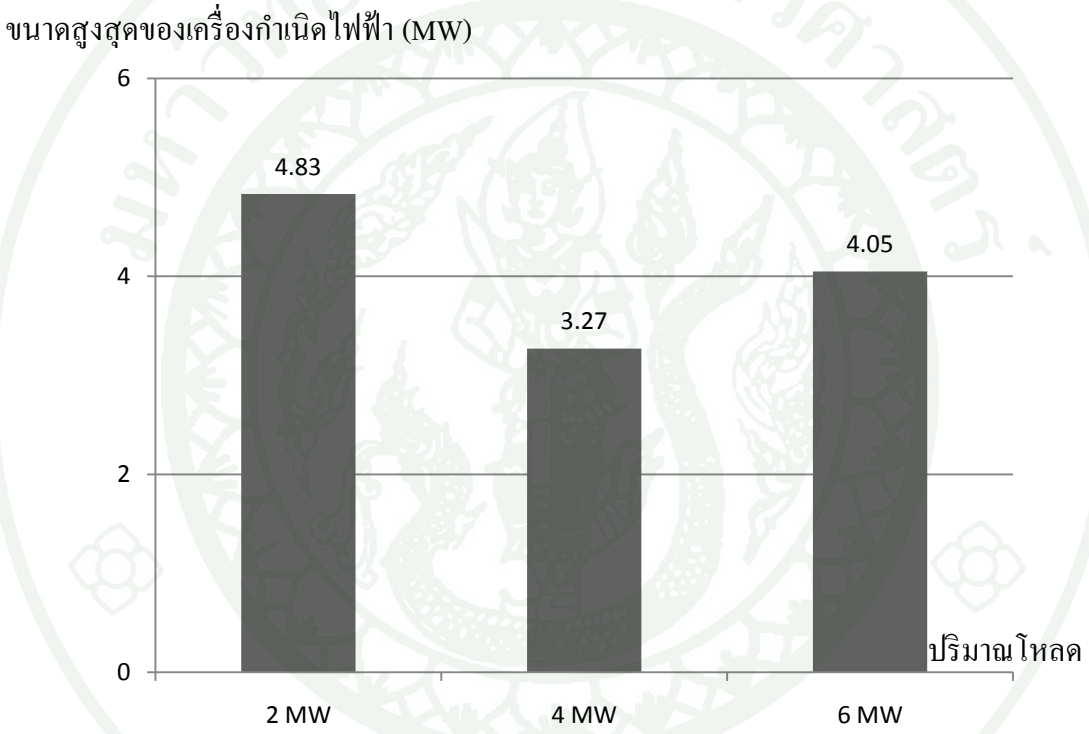


ภาพที่ 13 ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายในกรณีศึกษาต่างๆ

เมื่อวิเคราะห์ผลการคำนวณ พบว่า ตำแหน่งการเชื่อมโยง ปริมาณโหลดรวมในระบบ ดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม และข้อจำกัดพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ต่างก็เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย โดยมากน้อยแตกต่างกันไป ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายกับปริมาณโหลดในระบบ

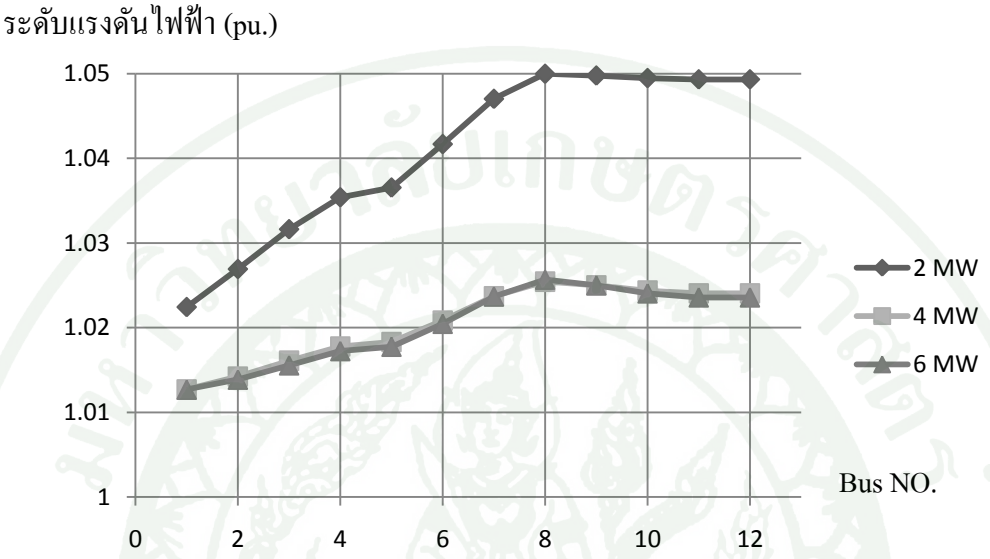
จากผลการศึกษา พบว่า ปริมาณโหลดในระบบไม่ได้เป็นเพียงปัจจัยเดียวที่ส่งผลต่อขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายที่เหมาะสมกับระบบ แต่มีปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย ส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้ไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น กรณีศึกษาที่ 1.2 กรณีศึกษาที่ 2.2 กรณีศึกษาที่ 3.2 เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย กรณีเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่บัส 8 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดในระบบ

จากภาพที่ 14 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างกรณีศึกษาที่ 2.2 และกรณีศึกษาที่ 3.2 พบว่า ระบบที่มีปริมาณโหลดในระบบมากกว่าจะสามารถรองรับขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายได้สูงกว่า แต่ในทางตรงข้ามเมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างกรณีศึกษาที่ 1.2 กรณีศึกษาที่ 2.2 และกรณีศึกษาที่ 3.2 ตามลำดับ พบว่า ระบบในกรณีศึกษาที่ 1.2 สามารถรองรับขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายได้สูงกว่ากรณีศึกษาอื่นๆ สาเหตุที่ผลเป็นเช่นนี้สืบเนื่องมาจาก

ระบบในกรณีศึกษาที่ 1.2 มีดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมที่สูงกว่ากรณีอื่น ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ยินยอมให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายส่งจ่ายได้มีค่าสูงกว่า ดังแสดงในภาพที่ 15



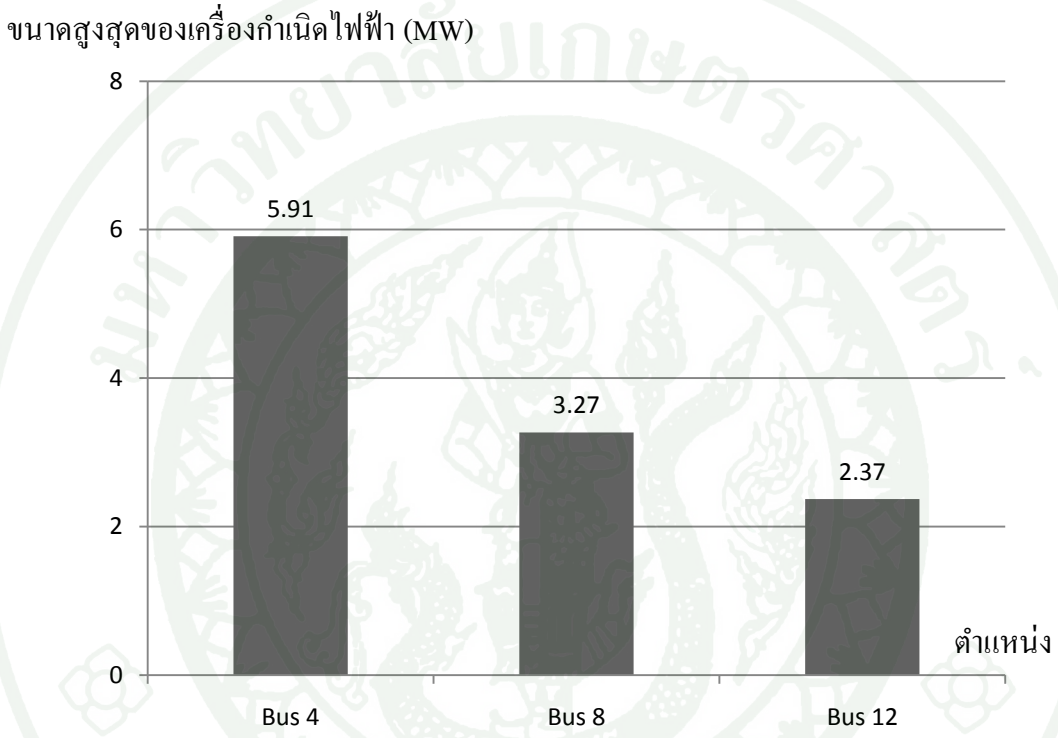
ภาพที่ 15 ระดับแรงดันไฟฟ้า กรณีเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายที่บัส 8 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดในระบบ

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ระบบจำหน่ายใดที่มีปริมาณโหลดรวมในระบบมากกว่า ย่อมสามารถรองรับขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายได้สูงกว่า แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมประกอบด้วย โดยระบบใดมีค่าดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมสูงกว่าจะสามารถรองรับขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายได้มากกว่า โดยไม่ต้องพิจารณาอิทธิพลของปริมาณโหลด

2. ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายกับตำแหน่งการเชื่อมโยงฯ

จากการศึกษา พบว่า ตำแหน่งการเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย มีอิทธิพลต่อขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายทั้งทางตรงและทางอ้อม กล่าวคือ ในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากตำแหน่งไกลๆ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายจะต้องยกระดับแรงดันขึ้นเพื่อให้

สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด แต่ทั้งนี้ในตำแหน่งปลายสายมักจะมีการปรับระดับแทปของหม้อแปลง เพื่อแก้ปัญหาแรงดันไฟฟ้าตก ซึ่งทำให้ดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวมในตำแหน่งปลายสายค่อนข้างต่ำ ส่งผลโดยตรงทำให้ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายถูกจำกัดด้วยระดับแรงดันไฟฟ้า จึงทำให้ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ปริมาณสูงๆ ได้ ยกตัวอย่างเช่น กรณีศึกษาที่ 2.1 กรณีศึกษาที่ 2.2 กรณีศึกษาที่ 2.3 เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย กรณีปริมาณโหลดสูงสุดในระบบเท่ากับ 4 MW เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการเชื่อมต่อ

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย จะแปรผันตามกับระยะทางระหว่างบัสต้นทางกับตำแหน่งเชื่อมโยง โดยระบบที่มีตำแหน่งการเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายห่างจากต้นทางจะสามารถรองรับขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายได้น้อยกว่าระบบที่เชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายที่ตำแหน่งใกล้กับต้นทาง

3. ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เปลี่ยนแปลงหลังจากเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย

จากการศึกษา พบว่า ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย และปริมาณโหลดในระบบ มีอิทธิพลต่อพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบที่เปลี่ยนแปลงหลังจากเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย

ตารางที่ 27 ผลการคำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายจากโปรแกรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น และผลต่างระหว่างขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายกับปริมาณโหลดในระบบ

กรณีศึกษาที่	ตำแหน่งเชื่อมต่อ	ปริมาณโหลดในระบบ (MW)	ขนาดสูงสุดจากโปรแกรม (MW)	ผลต่าง (MW) (+มากกว่า/-น้อยกว่า)
1.1	Bus 4	2	8	6
1.2	Bus 8	2	4.83	2.83
1.3	Bus 12	2	3.37	1.37
2.1	Bus 4	4	5.91	1.91
2.2	Bus 8	4	3.27	-0.73
2.3	Bus 12	4	2.37	-1.63
3.1	Bus 4	6	6.44	0.44
3.2	Bus 8	6	4.05	-1.95
3.3	Bus 12	6	2.96	-3.04

จากตารางที่ 27 เมื่อพิจารณาขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย กับปริมาณโหลดในระบบแล้ว พบว่า สามารถจำแนกกรณีศึกษาออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ระบบที่กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายมีปริมาณมากกว่าปริมาณโหลดในระบบ ได้แก่ กรณีศึกษาที่ 1.1 , กรณีศึกษาที่ 1.2 , กรณีศึกษาที่ 1.3 และกรณีศึกษาที่ 2.1

กลุ่มที่ 2 ระบบที่กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณโหลดในระบบ ได้แก่ กรณีศึกษาที่ 2.2 , กรณีศึกษาที่ 2.3 , กรณีศึกษาที่ 3.2 และกรณีศึกษาที่ 3.3

กลุ่มที่ 3 ระบบที่กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายมีปริมาณใกล้เคียงปริมาณโหลดในระบบ ได้แก่ กรณีศึกษาที่ 3.1

ตารางที่ 28 แสดงพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เปลี่ยนแปลง เมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายกับระบบทดสอบ

กรณีศึกษาที่	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย (kW-hr.)		
	ก่อนเชื่อมต่อ	หลังเชื่อมต่อ	เปลี่ยนแปลง (+เพิ่มขึ้น/-ลดลง)
1.1	194.62	3,944.24	3,749.62
1.2	194.62	2,512.99	2,318.37
1.3	194.62	1,813.15	1,618.53
2.1	804.71	1,532.61	727.90
2.2	804.71	645.42	-159.29
2.3	804.71	611.62	-193.09
3.1	1,861.38	1,715.7	-145.68
3.2	1,861.38	941.95	-919.43
3.3	1,861.38	1,020.98	-840.40

จากตารางที่ 27 และตารางที่ 28 จะเห็นว่า กลุ่มที่ระบบมีกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายมีปริมาณมากกว่าปริมาณโหลดในระบบนั้น เมื่อระบบเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายอาจจะทำให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบเพิ่มสูงขึ้นหรือลดลงก็ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อม แต่ในทางตรงข้ามกลุ่มที่ระบบมีกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณโหลดในระบบแล้ว จะพบว่า เมื่อระบบเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายจะทำให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบลดลง ในทุกตำแหน่งการเชื่อมต่อ

จากการศึกษาภาพรวมทั้งหมด จะเห็นว่า การกำหนดขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่เหมาะสมนั้นไม่สามารถกำหนดขนาดที่ตายตัวได้ เนื่องมาจากปัจจัยหลายประการ เช่น รูปแบบการจ่ายไฟของวงจรระบบจำหน่าย ปริมาณโหลดในระบบ ตำแหน่งการเชื่อมโยงฯ หรือข้อจำกัดทางเทคนิค เป็นต้น ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอกระบวนการการกำหนดขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่เหมาะสมกับระบบจำหน่ายที่แตกต่างออกไปจากบทความอื่นๆ โดยมุ่งเน้นการควบคุมปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบไม่ให้มีค่าเกินกว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าส่วนที่หักไว้เป็นค่าดำเนินการฯ เพื่อไม่ให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคต้องแบกรับภาระความสูญเสียที่เกิดขึ้นมากจนเกินไป และควบคุมผลกระทบจากระดับแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงหลังจากเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายไม่ให้ส่งผลให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคต้องปรับเปลี่ยนระดับแทปของหม้อแปลงจำหน่ายให้เหมาะสมกับระดับแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยดัชนีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าภาพรวม เพื่อป้องกันปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกหรือปัญหาแรงดันไฟฟ้าเกินในช่วงเวลาที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายหยุดการเชื่อมต่ออย่างฉุกเฉิน

ข้อเสนอแนะ

ในอนาคตเพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้มีความครบถ้วนสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ควรทำการศึกษาปัจจัยเรื่องการกระจายตัวของกลุ่มโหลดที่มีรูปแบบที่หลากหลายขึ้น เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายกับตำแหน่งที่เชื่อมโยงมีอยู่ใกล้กลุ่มโหลด รวมทั้งศึกษาระบบที่มีลักษณะของโหลดที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าในช่วงโหลดสูงสุดและช่วงโหลดต่ำสุดที่แตกต่างกันมาก หรือมีลักษณะความต้องการพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ในลักษณะอื่น เพื่อศึกษาผลของปัจจัยดังกล่าวต่อขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2551. **ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2551.** กองการพิมพ์ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, กรุงเทพฯ.

Abou, A.A., S.M. Allama and M.M. Shatlab. 2010. Maximal optimal benefits of distributed generation using genetic algorithms. **Electric Power Systems Research** 80 (7): 869 – 877.

Acharya, N., P. Mahat and N. Mithulananthan. 2006. An analytical approach for DG allocation in primary distribution network. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems** 28 (10): 669 – 678.

Ackermann, T., G. Andersson and L. Soder. 2001. Distributed generation: a definition. **Electric Power Systems Research**. 57 (3): 195 – 204.

Ajay-D-Vimal Raj, P., S. Senthilkumar, J. Raja, S. Ravichandran and T.G. Palanivelu. 2008. Optimization of Distributed Generation Capacity for Line Loss Reduction and Voltage Profile Improvement Using PSO. **ELEKTRIKA** 10 (2): 41 – 48.

Dent, C.J., L.F. Ochoa and G.P. Harrison. 2010. Network distributed generation capacity analysis using OPF with voltage step constraints. **IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS** 25 (1): 296 - 304.

EL-Khattam, W., Y. Hegazy and M.M.A. Salama. 2005. An integrated distributed generation optimization model for distribution system planning. **IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS** 20 (2): 1158 - 1165.

EL-Khattam, W., Y. Hegazy and M.M.A. Salama. 2006. Investigating distributed generation systems performance using monte carlo simulation. **IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS** 21 (2): 524 – 532.

Golshan, M.E.H. and S.A. Arefifar. 2006. Distributed generation, reactive sources and network configuration planning for power and energy-loss reduction. **IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution** 153 (2): 127 – 136.

Gopiya Naik, S., D.K. Khatod and M.P. Sharma. 2012. Optimal Allocation of Distributed Generation in Distribution System for Loss Reduction. **International Proceedings of Computer Science & Information Tech** 28: 42 - 46.

Guo, Y., Y. Lin and M. Sun. 2011. The impact of integrating distributed generations on the losses in the smart grid. **IEEE Power and Energy Society General Meeting.**

Harrison, G.P., A. Piccolo, P. Siano and A.R. Wallace. 2007. Distributed generation capacity evaluation using combined genetic algorithm and OPF. **International Journal of Enginerging Electric Power Systems** 8 (2): 1 - 13.

Hedayati, H., S.A. Nabaviniaki and A. Akbarimajd. 2008. A method for placement of DG units in distribution networks. **IEEE Transactions on Power Delivery** 23 (3): 1620 – 1628.

Hung, D.Q., N. Mithulananthan and R.C. Bansal. 2010. Analytical expression for DG allocation in primary distribution network. **IEEE Transactions on Energy Conversion** 25 (3): 814 - 820.

Iyer, H., S. Ray and R. Ramakumar. 2005. Voltage profile improvement with distributed generation. **IEEE Power Engineering Society Summer Meeting.**

Jabr, R.A. and B.C. Pal. 2009. Ordinal optimization approach for locating and sizing of distributed generation. **IET Generation, Transmission and Distribution** 3 (8): 713 - 723.

Jiandong, D., Y. Xuying and Y. Wenyu. 2009. Study on Power Flow Calculation and Voltage Profile in Distribution System with Distributed Generation. **IEEE Power and Energy Engineering Conference**.

Keane, A. and M. O'Malley. 2005. Optimal allocation of embedded generation on distribution network. **IEEE Transactions on Power Systems** 20 (3): 1640 – 1646.

Koutroumpezis, G.N. and A.S. Safigianni. 2009. Optimum Distributed Generation Penetration In a Distribution Network. **IEEE Bucharest Power Tech Conference.**

Kumar, V., H.C.R. Kumar, I. Gupta and H.O. Gupta. 2010. DG Integrated approach for service restoration under cold load pickup. **IEEE Transactions on Power Delivery** 25 (1): 398 - 406.

Lalitha, M.P., V.C.V. Reddy, V. Usha and N.S. Reddy. 2010. Application of fuzzy and PSO for DG placement for minimum loss in radial distribution system. **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences** 5 (4): 30 - 37.

Paudyal, S., E.F. El-Saadany, L. El-Chaar and L. Lamont. 2010. Optimal Size of Distributed Generation to Minimize Distribution Loss Using Dynamic Programming. **IEEE International Conference on Power and Energy**.

Roa-Sepulveda, C.A. and B.J. Pavez-Lazo. 2003. A Solution to the Optimal Power flow using simulated annealing. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems** 25 (1): 47 - 57.

Singh, D., D. Singh and K.S. Verma. 2008. GA based energy loss minimization approach for optimal sizing and placement of distributed generation. **International Journal of Knowledge-based and Intelligent Engineering Systems** 12 (2): 147 – 156.

Singh, D., D. Singh and K.S. Verma. 2009. Multi-objective Optimization for DG Planning with Load Models. **IEEE Transactions on Power Systems** 24 (1): 427 - 436.

Vovos, P.N., G.P. Harrison, A.R. Wallace and J.W. Bialek. 2005. Optimal power flow as a tool for fault level-constrained network capacity analysis**. IEEE Transactions on Power Systems** 20 (2): 734 – 741.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายละเอียดระบบทดสอบ

ตารางผนวกที่ ก1 ข้อมูลสถานีไฟฟ้า

ระดับแรงดันไฟฟ้า	22 kV
Voltage setting	22.55 kV (1.025 pu.)
Bandwidth	± 1.2 %

ตารางผนวกที่ ก2 ข้อมูลบัส

บัส	ชนิดของบัส
Bus1	Slack bus
Bus2	Load bus
Bus3	Load bus
Bus4	DG bus or Generator bus
Bus5	Load bus
Bus6	Load bus
Bus7	Load bus
Bus8	DG bus or Generator bus
Bus9	Load bus
Bus10	Load bus
Bus11	Load bus
Bus12	DG bus or Generator bus

ตารางผนวกที่ ก3 ข้อมูลระยะทางสายส่งระหว่างบัส

ระหว่างบัสที่	ความยาวสาย (กม.)
Bus1-2	3
Bus2-3	3
Bus3-4	2.3
Bus4-5	0.7
Bus5-6	3
Bus6-7	3
Bus7-8	1.6
Bus8-9	1.4
Bus9-10	3
Bus10-11	3
Bus11-12	1

ตารางผนวกที่ ก4 ข้อมูลพารามิเตอร์สาย

Bus	**R** (ohm/km.)	**X** (ohm/km.)	**B** (μS/km.)	**Irate** (A)
Bus1-2	0.210659826	0.298585526	5.95	429
Bus2-3	0.210659826	0.298585526	5.95	429
Bus3-4	0.210659826	0.298585526	5.95	429
Bus4-5	0.210659826	0.298585526	5.95	429
Bus5-6	0.210659826	0.298585526	5.95	429
Bus6-7	0.210659826	0.298585526	5.95	429
Bus7-8	0.210659826	0.298585526	5.95	429
Bus8-9	0.210659826	0.298585526	5.95	429
Bus9-10	0.210659826	0.298585526	5.95	429
Bus10-11	0.210659826	0.298585526	5.95	429
Bus11-12	0.210659826	0.298585526	5.95	429

ภาคผนวก ข

ข้อมูลโหลด

ตารางผนวกที่ ข1 ข้อมูลโหลดในกรณีปริมาณโหลดรวมในระบบเท่ากับ 2 MW

ตำแหน่งโหลด	MW	MVar	Power factor
Load 01	0.25	0.12	0.9
Load 02	0.25	0.12	0.9
Load 03	0.25	0.12	0.9
Load 04	0.25	0.12	0.9
Load 05	0.25	0.12	0.9
Load 06	0.25	0.12	0.9
Load 07	0.25	0.12	0.9
Load 08	0.25	0.12	0.9

ตารางผนวกที่ ข2 ข้อมูลโหลดในกรณีปริมาณโหลดรวมในระบบเท่ากับ 4 MW

ตำแหน่งโหลด	MW	MVar	Power factor
Load 01	0.5	0.24	0.9
Load 02	0.5	0.24	0.9
Load 03	0.5	0.24	0.9
Load 04	0.5	0.24	0.9
Load 05	0.5	0.24	0.9
Load 06	0.5	0.24	0.9
Load 07	0.5	0.24	0.9
Load 08	0.5	0.24	0.9

ตารางผนวกที่ ข3 ข้อมูลโหลดในกรณีปริมาณโหลดรวมในระบบเท่ากับ 6 MW

ตำแหน่งโหลด	MW	MVar	Power factor
Load 01	0.75	0.36	0.9
Load 02	0.75	0.36	0.9
Load 03	0.75	0.36	0.9
Load 04	0.75	0.36	0.9
Load 05	0.75	0.36	0.9
Load 06	0.75	0.36	0.9
Load 07	0.75	0.36	0.9
Load 08	0.75	0.36	0.9

ภาคผนวก ค

ผลการคำนวณ กรณีศึกษาที่ 1.1

ตารางผนวกที่ ค1 ภาพรวมผลการคำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย	8.0	MW
พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ก่อนเชื่อมต่อ	194.6180	kW-hr.
พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย หลังเชื่อมต่อ	3,944.2390	kW-hr.
พลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เปลี่ยนแปลง (+เพิ่ม/-ลด)	3,749.6212	kW-hr.
คิดเป็นสัดส่วนจากพลังงานที่ขายทั้งหมด	1.95	%

ตารางผนวกที่ ค2 แรงดันบัส ก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
1.00 น.	1.0250	1.0233	1.0219	1.0209	1.0206	1.0196	1.0188	1.0184	1.0181	1.0177	1.0175	1.0175
2.00 น.	1.0250	1.0238	1.0227	1.0220	1.0218	1.0210	1.0204	1.0202	1.0199	1.0196	1.0195	1.0195
3.00 น.	1.0250	1.0238	1.0227	1.0220	1.0218	1.0210	1.0204	1.0202	1.0199	1.0196	1.0195	1.0195
4.00 น.	1.0250	1.0233	1.0219	1.0209	1.0206	1.0196	1.0188	1.0184	1.0181	1.0177	1.0175	1.0175
5.00 น.	1.0250	1.0233	1.0219	1.0209	1.0206	1.0196	1.0188	1.0184	1.0181	1.0177	1.0175	1.0175
6.00 น.	1.0250	1.0229	1.0211	1.0199	1.0195	1.0182	1.0171	1.0167	1.0164	1.0158	1.0156	1.0156
7.00 น.	1.0250	1.0229	1.0211	1.0199	1.0195	1.0182	1.0171	1.0167	1.0164	1.0158	1.0156	1.0156
8.00 น.	1.0250	1.0225	1.0203	1.0188	1.0184	1.0168	1.0155	1.0150	1.0146	1.0139	1.0136	1.0136
9.00 น.	1.0250	1.0220	1.0194	1.0177	1.0172	1.0153	1.0139	1.0133	1.0127	1.0120	1.0116	1.0116
10.00 น.	1.0250	1.0220	1.0194	1.0177	1.0172	1.0153	1.0139	1.0133	1.0127	1.0120	1.0116	1.0116
11.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096
12.00 น.	1.0250	1.0220	1.0194	1.0177	1.0172	1.0153	1.0139	1.0133	1.0127	1.0120	1.0116	1.0116

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
13.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096
14.00 น.	1.0250	1.0220	1.0194	1.0177	1.0172	1.0153	1.0139	1.0133	1.0127	1.0120	1.0116	1.0116
15.00 น.	1.0250	1.0225	1.0203	1.0188	1.0184	1.0168	1.0155	1.0150	1.0146	1.0139	1.0136	1.0136
16.00 น.	1.0250	1.0225	1.0203	1.0188	1.0184	1.0168	1.0155	1.0150	1.0146	1.0139	1.0136	1.0136
17.00 น.	1.0250	1.0220	1.0194	1.0177	1.0172	1.0153	1.0139	1.0133	1.0127	1.0120	1.0116	1.0116
18.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096
19.00 น.	1.0250	1.0212	1.0178	1.0156	1.0149	1.0125	1.0106	1.0098	1.0091	1.0081	1.0077	1.0077
20.00 น.	1.0250	1.0207	1.0170	1.0145	1.0137	1.0110	1.0089	1.0080	1.0073	1.0062	1.0057	1.0057
21.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096
22.00 น.	1.0250	1.0220	1.0194	1.0177	1.0172	1.0153	1.0139	1.0133	1.0127	1.0120	1.0116	1.0116
23.00 น.	1.0250	1.0229	1.0211	1.0199	1.0195	1.0182	1.0171	1.0167	1.0164	1.0158	1.0156	1.0156
24.00 น.	1.0250	1.0233	1.0219	1.0209	1.0206	1.0196	1.0188	1.0184	1.0181	1.0177	1.0175	1.0175

ตารางผนวกที่ ค3 แรงดันบัส หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
1.00 น.	1.0143	1.0224	1.0308	1.0375	1.0372	1.0362	1.0354	1.0351	1.0348	1.0344	1.0342	1.0342
2.00 น.	1.0142	1.0226	1.0314	1.0384	1.0381	1.0374	1.0368	1.0365	1.0363	1.0360	1.0359	1.0359
3.00 น.	1.0142	1.0226	1.0314	1.0384	1.0381	1.0374	1.0368	1.0365	1.0363	1.0360	1.0359	1.0359
4.00 น.	1.0143	1.0224	1.0308	1.0375	1.0372	1.0362	1.0354	1.0351	1.0348	1.0344	1.0342	1.0342
5.00 น.	1.0143	1.0224	1.0308	1.0375	1.0372	1.0362	1.0354	1.0351	1.0348	1.0344	1.0342	1.0342
6.00 น.	1.0145	1.0221	1.0302	1.0367	1.0363	1.0350	1.0340	1.0336	1.0332	1.0327	1.0324	1.0324
7.00 น.	1.0145	1.0221	1.0302	1.0367	1.0363	1.0350	1.0340	1.0336	1.0332	1.0327	1.0324	1.0324
8.00 น.	1.0147	1.0219	1.0296	1.0358	1.0354	1.0338	1.0326	1.0321	1.0317	1.0310	1.0307	1.0307
9.00 น.	1.0148	1.0216	1.0290	1.0350	1.0345	1.0326	1.0312	1.0306	1.0301	1.0294	1.0290	1.0290
10.00 น.	1.0148	1.0216	1.0290	1.0350	1.0345	1.0326	1.0312	1.0306	1.0301	1.0294	1.0290	1.0290
11.00 น.	1.0150	1.0214	1.0284	1.0341	1.0336	1.0315	1.0298	1.0291	1.0285	1.0277	1.0273	1.0273
12.00 น.	1.0148	1.0216	1.0290	1.0350	1.0345	1.0326	1.0312	1.0306	1.0301	1.0294	1.0290	1.0290

ตารางผนวกที่ ค3 (ต่อ)

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
13.00 น.	1.0150	1.0214	1.0284	1.0341	1.0336	1.0315	1.0298	1.0291	1.0285	1.0277	1.0273	1.0273
14.00 น.	1.0148	1.0216	1.0290	1.0350	1.0345	1.0326	1.0312	1.0306	1.0301	1.0294	1.0290	1.0290
15.00 น.	1.0147	1.0219	1.0296	1.0358	1.0354	1.0338	1.0326	1.0321	1.0317	1.0310	1.0307	1.0307
16.00 น.	1.0147	1.0219	1.0296	1.0358	1.0354	1.0338	1.0326	1.0321	1.0317	1.0310	1.0307	1.0307
17.00 น.	1.0148	1.0216	1.0290	1.0350	1.0345	1.0326	1.0312	1.0306	1.0301	1.0294	1.0290	1.0290
18.00 น.	1.0150	1.0214	1.0284	1.0341	1.0336	1.0315	1.0298	1.0291	1.0285	1.0277	1.0273	1.0273
19.00 น.	1.0152	1.0212	1.0278	1.0333	1.0326	1.0303	1.0284	1.0276	1.0270	1.0260	1.0255	1.0255
20.00 น.	1.0154	1.0209	1.0272	1.0325	1.0317	1.0291	1.0270	1.0261	1.0254	1.0243	1.0238	1.0238
21.00 น.	1.0150	1.0214	1.0284	1.0341	1.0336	1.0315	1.0298	1.0291	1.0285	1.0277	1.0273	1.0273
22.00 น.	1.0148	1.0216	1.0290	1.0350	1.0345	1.0326	1.0312	1.0306	1.0301	1.0294	1.0290	1.0290
23.00 น.	1.0145	1.0221	1.0302	1.0367	1.0363	1.0350	1.0340	1.0336	1.0332	1.0327	1.0324	1.0324
24.00 น.	1.0143	1.0224	1.0308	1.0375	1.0372	1.0362	1.0354	1.0351	1.0348	1.0344	1.0342	1.0342

ตารางผนวกที่ ค4 พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย
1.00 น.	3.0542
2.00 น.	1.6945
3.00 น.	1.6945
4.00 น.	3.0542
5.00 น.	3.0542
6.00 น.	4.8182
7.00 น.	4.8182
8.00 น.	6.9904
9.00 น.	9.5748
10.00 น.	9.5748
11.00 น.	12.5753
12.00 น.	9.5748
13.00 น.	12.5753
14.00 น.	9.5748
15.00 น.	6.9904
16.00 น.	6.9904
17.00 น.	9.5748
18.00 น.	12.5753
19.00 น.	15.9958
20.00 น.	19.8405
21.00 น.	12.5753
22.00 น.	9.5748
23.00 น.	4.8182
24.00 น.	3.0542
รวมทั้งสิ้น	194.6180

ตารางผนวกที่ ค5 พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย
1.00 น.	179.6415
2.00 น.	187.555
3.00 น.	187.555
4.00 น.	179.6415
5.00 น.	179.6415
6.00 น.	172.0829
7.00 น.	172.0829
8.00 น.	164.882
9.00 น.	158.0415
10.00 น.	158.0415
11.00 น.	151.5641
12.00 น.	158.0415
13.00 น.	151.5641
14.00 น.	158.0415
15.00 น.	164.882
16.00 น.	164.882
17.00 น.	158.0415
18.00 น.	151.5641
19.00 น.	145.4529
20.00 น.	139.7105
21.00 น.	151.5641
22.00 น.	158.0415
23.00 น.	172.0829
24.00 น.	179.6415
รวมทั้งสิ้น	3944.239

ตารางผนวกที่ ค6 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายตัวนำ หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	กระแสไฟฟ้าระหว่างบัสที่ (A)										
	Bus 1-2	Bus 2-3	Bus 3-4	Bus 4-5	Bus 5-6	Bus 6-7	Bus 7-8	Bus 8-9	Bus 9-10	Bus 10-11	Bus 11-12
1.00 น.	182.2992	184.7833	187.2717	16.6028	13.8270	11.0666	8.2929	8.3164	5.5395	2.7739	0.0195
2.00 น.	187.1105	188.9872	190.8637	12.3713	10.2989	8.2425	6.1743	6.1971	4.1263	2.0672	0.0196
3.00 น.	187.1105	188.9872	190.8637	12.3713	10.2989	8.2425	6.1743	6.1971	4.1263	2.0672	0.0196
4.00 น.	182.2992	184.7833	187.2717	16.6028	13.8270	11.0666	8.2929	8.3164	5.5395	2.7739	0.0195
5.00 น.	182.2992	184.7833	187.2717	16.6028	13.8270	11.0666	8.2929	8.3164	5.5395	2.7739	0.0195
6.00 น.	177.5186	180.5995	183.6918	20.8472	17.3668	13.9004	10.4193	10.4431	6.9577	3.4833	0.0195
7.00 น.	177.5186	180.5995	183.6918	20.8472	17.3668	13.9004	10.4193	10.4431	6.9577	3.4833	0.0195
8.00 น.	172.7723	176.4380	180.1254	25.1040	20.9177	16.7435	12.5529	12.5770	8.3809	4.1951	0.0195
9.00 น.	168.0643	172.3015	176.5739	29.3729	24.4794	19.5957	14.6937	14.7179	9.8090	4.9094	0.0194
10.00 น.	168.0643	172.3015	176.5739	29.3729	24.4794	19.5957	14.6937	14.7179	9.8090	4.9094	0.0194
11.00 น.	163.3991	168.1927	173.0390	33.6538	28.0518	22.4570	16.8415	16.8659	11.2419	5.6262	0.0194
12.00 น.	168.0643	172.3015	176.5739	29.3729	24.4794	19.5957	14.6937	14.7179	9.8090	4.9094	0.0194

ตารางผนวกที่ ค6 (ต่อ)

เวลา	กระแสไฟฟ้าระหว่างบัสที่ (A)										
	Bus 1-2	Bus 2-3	Bus 3-4	Bus 4-5	Bus 5-6	Bus 6-7	Bus 7-8	Bus 8-9	Bus 9-10	Bus 10-11	Bus 11-12
13.00 น.	163.3991	168.1927	173.0390	33.6538	28.0518	22.4570	16.8415	16.8659	11.2419	5.6262	0.0194
14.00 น.	168.0643	172.3015	176.5739	29.3729	24.4794	19.5957	14.6937	14.7179	9.8090	4.9094	0.0194
15.00 น.	172.7723	176.4380	180.1254	25.1040	20.9177	16.7435	12.5529	12.5770	8.3809	4.1951	0.0195
16.00 น.	172.7723	176.4380	180.1254	25.1040	20.9177	16.7435	12.5529	12.5770	8.3809	4.1951	0.0195
17.00 น.	168.0643	172.3015	176.5739	29.3729	24.4794	19.5957	14.6937	14.7179	9.8090	4.9094	0.0194
18.00 น.	163.3991	168.1927	173.0390	33.6538	28.0518	22.4570	16.8415	16.8659	11.2419	5.6262	0.0194
19.00 น.	158.7816	164.1146	169.5224	37.9467	31.6349	25.3273	18.9964	19.0209	12.6796	6.3453	0.0194
20.00 น.	154.2176	160.0707	166.0262	42.2514	35.2286	28.2066	21.1584	21.1829	14.1221	7.0670	0.0193
21.00 น.	163.3991	168.1927	173.0390	33.6538	28.0518	22.4570	16.8415	16.8659	11.2419	5.6262	0.0194
22.00 น.	168.0643	172.3015	176.5739	29.3729	24.4794	19.5957	14.6937	14.7179	9.8090	4.9094	0.0194
23.00 น.	177.5186	180.5995	183.6918	20.8472	17.3668	13.9004	10.4193	10.4431	6.9577	3.4833	0.0195
24.00 น.	182.2992	184.7833	187.2717	16.6028	13.8270	11.0666	8.2929	8.3164	5.5395	2.7739	0.0195

ภาคผนวก ง

ผลการคำนวณ กรณีศึกษาที่ 1.2

ตารางผนวกที่ ง1 ภาพรวมผลการคำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย	4.830	MW
พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ก่อนเชื่อมต่อ	194.6180	kW-hr.
พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย หลังเชื่อมต่อ	2,512.9982	kW-hr.
พลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เปลี่ยนแปลง (+เพิ่ม/-ลด)	2,318.3803	kW-hr.
คิดเป็นสัดส่วนจากพลังงานที่ขายทั้งหมด	2.00	%

ตารางผนวกที่ ง2 แรงดันบัส ก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
1.00 น.	1.0250	1.0233	1.0219	1.0209	1.0206	1.0196	1.0188	1.0184	1.0181	1.0177	1.0175	1.0175
2.00 น.	1.0250	1.0238	1.0227	1.0220	1.0218	1.0210	1.0204	1.0202	1.0199	1.0196	1.0195	1.0195
3.00 น.	1.0250	1.0238	1.0227	1.0220	1.0218	1.0210	1.0204	1.0202	1.0199	1.0196	1.0195	1.0195
4.00 น.	1.0250	1.0233	1.0219	1.0209	1.0206	1.0196	1.0188	1.0184	1.0181	1.0177	1.0175	1.0175
5.00 น.	1.0250	1.0233	1.0219	1.0209	1.0206	1.0196	1.0188	1.0184	1.0181	1.0177	1.0175	1.0175
6.00 น.	1.0250	1.0229	1.0211	1.0199	1.0195	1.0182	1.0171	1.0167	1.0164	1.0158	1.0156	1.0156
7.00 น.	1.0250	1.0229	1.0211	1.0199	1.0195	1.0182	1.0171	1.0167	1.0164	1.0158	1.0156	1.0156
8.00 น.	1.0250	1.0225	1.0203	1.0188	1.0184	1.0168	1.0155	1.0150	1.0146	1.0139	1.0136	1.0136
9.00 น.	1.0250	1.0220	1.0194	1.0177	1.0172	1.0153	1.0139	1.0133	1.0127	1.0120	1.0116	1.0116
10.00 น.	1.0250	1.0220	1.0194	1.0177	1.0172	1.0153	1.0139	1.0133	1.0127	1.0120	1.0116	1.0116
11.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096
12.00 น.	1.0250	1.0220	1.0194	1.0177	1.0172	1.0153	1.0139	1.0133	1.0127	1.0120	1.0116	1.0116

ตารางผนวกที่ ง2 (ต่อ)

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
13.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096
14.00 น.	1.0250	1.0220	1.0194	1.0177	1.0172	1.0153	1.0139	1.0133	1.0127	1.0120	1.0116	1.0116
15.00 น.	1.0250	1.0225	1.0203	1.0188	1.0184	1.0168	1.0155	1.0150	1.0146	1.0139	1.0136	1.0136
16.00 น.	1.0250	1.0225	1.0203	1.0188	1.0184	1.0168	1.0155	1.0150	1.0146	1.0139	1.0136	1.0136
17.00 น.	1.0250	1.0220	1.0194	1.0177	1.0172	1.0153	1.0139	1.0133	1.0127	1.0120	1.0116	1.0116
18.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096
19.00 น.	1.0250	1.0212	1.0178	1.0156	1.0149	1.0125	1.0106	1.0098	1.0091	1.0081	1.0077	1.0077
20.00 น.	1.0250	1.0207	1.0170	1.0145	1.0137	1.0110	1.0089	1.0080	1.0073	1.0062	1.0057	1.0057
21.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096
22.00 น.	1.0250	1.0220	1.0194	1.0177	1.0172	1.0153	1.0139	1.0133	1.0127	1.0120	1.0116	1.0116
23.00 น.	1.0250	1.0229	1.0211	1.0199	1.0195	1.0182	1.0171	1.0167	1.0164	1.0158	1.0156	1.0156
24.00 น.	1.0250	1.0233	1.0219	1.0209	1.0206	1.0196	1.0188	1.0184	1.0181	1.0177	1.0175	1.0175

ตารางผนวกที่ ง3 แรงดันบัส หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
1.00 น.	1.0241	1.0281	1.0325	1.0360	1.0371	1.0420	1.0471	1.0500	1.0497	1.0493	1.0491	1.0491
2.00 น.	1.0224	1.0269	1.0316	1.0354	1.0365	1.0417	1.0470	1.0500	1.0498	1.0495	1.0493	1.0493
3.00 น.	1.0224	1.0269	1.0316	1.0354	1.0365	1.0417	1.0470	1.0500	1.0498	1.0495	1.0493	1.0493
4.00 น.	1.0241	1.0281	1.0325	1.0360	1.0371	1.0420	1.0471	1.0500	1.0497	1.0493	1.0491	1.0491
5.00 น.	1.0241	1.0281	1.0325	1.0360	1.0371	1.0420	1.0471	1.0500	1.0497	1.0493	1.0491	1.0491
6.00 น.	1.0257	1.0294	1.0333	1.0366	1.0376	1.0423	1.0472	1.0500	1.0496	1.0491	1.0489	1.0489
7.00 น.	1.0257	1.0294	1.0333	1.0366	1.0376	1.0423	1.0472	1.0500	1.0496	1.0491	1.0489	1.0489
8.00 น.	1.0273	1.0306	1.0342	1.0373	1.0382	1.0425	1.0473	1.0500	1.0495	1.0489	1.0486	1.0486
9.00 น.	1.0289	1.0318	1.0351	1.0379	1.0387	1.0428	1.0473	1.0500	1.0495	1.0488	1.0484	1.0484
10.00 น.	1.0289	1.0318	1.0351	1.0379	1.0387	1.0428	1.0473	1.0500	1.0495	1.0488	1.0484	1.0484
11.00 น.	1.0305	1.0330	1.0359	1.0385	1.0393	1.0431	1.0474	1.0500	1.0494	1.0486	1.0482	1.0482
12.00 น.	1.0289	1.0318	1.0351	1.0379	1.0387	1.0428	1.0473	1.0500	1.0495	1.0488	1.0484	1.0484

ตารางผนวกที่ ง3 (ต่อ)

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
13.00 น.	1.0305	1.0330	1.0359	1.0385	1.0393	1.0431	1.0474	1.0500	1.0494	1.0486	1.0482	1.0482
14.00 น.	1.0289	1.0318	1.0351	1.0379	1.0387	1.0428	1.0473	1.0500	1.0495	1.0488	1.0484	1.0484
15.00 น.	1.0273	1.0306	1.0342	1.0373	1.0382	1.0425	1.0473	1.0500	1.0495	1.0489	1.0486	1.0486
16.00 น.	1.0273	1.0306	1.0342	1.0373	1.0382	1.0425	1.0473	1.0500	1.0495	1.0489	1.0486	1.0486
17.00 น.	1.0289	1.0318	1.0351	1.0379	1.0387	1.0428	1.0473	1.0500	1.0495	1.0488	1.0484	1.0484
18.00 น.	1.0305	1.0330	1.0359	1.0385	1.0393	1.0431	1.0474	1.0500	1.0494	1.0486	1.0482	1.0482
19.00 น.	1.0322	1.0342	1.0368	1.0391	1.0398	1.0434	1.0475	1.0500	1.0493	1.0484	1.0479	1.0479
20.00 น.	1.0338	1.0354	1.0376	1.0397	1.0404	1.0437	1.0476	1.0500	1.0492	1.0482	1.0477	1.0477
21.00 น.	1.0305	1.0330	1.0359	1.0385	1.0393	1.0431	1.0474	1.0500	1.0494	1.0486	1.0482	1.0482
22.00 น.	1.0289	1.0318	1.0351	1.0379	1.0387	1.0428	1.0473	1.0500	1.0495	1.0488	1.0484	1.0484
23.00 น.	1.0257	1.0294	1.0333	1.0366	1.0376	1.0423	1.0472	1.0500	1.0496	1.0491	1.0489	1.0489
24.00 น.	1.0241	1.0281	1.0325	1.0360	1.0371	1.0420	1.0471	1.0500	1.0497	1.0493	1.0491	1.0491

ตารางผนวกที่ ง4 พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย
1.00 น.	3.0542
2.00 น.	1.6945
3.00 น.	1.6945
4.00 น.	3.0542
5.00 น.	3.0542
6.00 น.	4.8182
7.00 น.	4.8182
8.00 น.	6.9904
9.00 น.	9.5748
10.00 น.	9.5748
11.00 น.	12.5753
12.00 น.	9.5748
13.00 น.	12.5753
14.00 น.	9.5748
15.00 น.	6.9904
16.00 น.	6.9904
17.00 น.	9.5748
18.00 น.	12.5753
19.00 น.	15.9958
20.00 น.	19.8405
21.00 น.	12.5753
22.00 น.	9.5748
23.00 น.	4.8182
24.00 น.	3.0542
รวมทั้งสิ้น	194.6180

ตารางผนวกที่ ง5 พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย
1.00 น.	119.5815
2.00 น.	127.3419
3.00 น.	127.3419
4.00 น.	119.5815
5.00 น.	119.5815
6.00 น.	112.1971
7.00 น.	112.1971
8.00 น.	105.1884
9.00 น.	98.5549
10.00 น.	98.5549
11.00 น.	92.2965
12.00 น.	98.5549
13.00 น.	92.2965
14.00 น.	98.5549
15.00 น.	105.1884
16.00 น.	105.1884
17.00 น.	98.5549
18.00 น.	92.2965
19.00 น.	86.4128
20.00 น.	80.9036
21.00 น.	92.2965
22.00 น.	98.5549
23.00 น.	112.1971
24.00 น.	119.5815
รวมทั้งสิ้น	2,512.9982

ตารางผนวกที่ ง6 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายตัวนำ หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	กระแสไฟฟ้าระหว่างบัสที่ (A)										
	Bus 1-2	Bus 2-3	Bus 3-4	Bus 4-5	Bus 5-6	Bus 6-7	Bus 7-8	Bus 8-9	Bus 9-10	Bus 10-11	Bus 11-12
1.00 น.	101.0816	103.4872	105.9101	105.9150	108.3510	110.8036	113.2657	8.1947	5.4582	2.7334	0.0198
2.00 น.	105.8853	107.7195	109.5605	109.5643	111.4097	113.2629	115.1190	6.1148	4.0713	2.0397	0.0198
3.00 น.	105.8853	107.7195	109.5605	109.5643	111.4097	113.2629	115.1190	6.1148	4.0713	2.0397	0.0198
4.00 น.	101.0816	103.4872	105.9101	105.9150	108.3510	110.8036	113.2657	8.1947	5.4582	2.7334	0.0198
5.00 น.	101.0816	103.4872	105.9101	105.9150	108.3510	110.8036	113.2657	8.1947	5.4582	2.7334	0.0198
6.00 น.	96.3636	99.3151	102.3002	102.3063	105.3181	108.3594	111.4201	10.2759	6.8461	3.4275	0.0198
7.00 น.	96.3636	99.3151	102.3002	102.3063	105.3181	108.3594	111.4201	10.2759	6.8461	3.4275	0.0198
8.00 น.	91.7439	95.2107	98.7351	98.7424	102.3131	105.9313	109.5825	12.3581	8.2348	4.1221	0.0198
9.00 น.	87.2374	91.1830	95.2197	95.2284	99.3387	103.5204	107.7536	14.4412	9.6242	4.8171	0.0198
10.00 น.	87.2374	91.1830	95.2197	95.2284	99.3387	103.5204	107.7536	14.4412	9.6242	4.8171	0.0198
11.00 น.	82.8620	87.2422	91.7597	91.7698	96.3977	101.1282	105.9336	16.5250	11.0142	5.5123	0.0198
12.00 น.	87.2374	91.1830	95.2197	95.2284	99.3387	103.5204	107.7536	14.4412	9.6242	4.8171	0.0198

ตารางผนวกที่ ง6 (ต่อ)

เวลา	กระแสไฟฟ้าระหว่างบัสที่ (A)										
	Bus 1-2	Bus 2-3	Bus 3-4	Bus 4-5	Bus 5-6	Bus 6-7	Bus 7-8	Bus 8-9	Bus 9-10	Bus 10-11	Bus 11-12
13.00 น.	82.8620	87.2422	91.7597	91.7698	96.3977	101.1282	105.9336	16.5250	11.0142	5.5123	0.0198
14.00 น.	87.2374	91.1830	95.2197	95.2284	99.3387	103.5204	107.7536	14.4412	9.6242	4.8171	0.0198
15.00 น.	91.7439	95.2107	98.7351	98.7424	102.3131	105.9313	109.5825	12.3581	8.2348	4.1221	0.0198
16.00 น.	91.7439	95.2107	98.7351	98.7424	102.3131	105.9313	109.5825	12.3581	8.2348	4.1221	0.0198
17.00 น.	87.2374	91.1830	95.2197	95.2284	99.3387	103.5204	107.7536	14.4412	9.6242	4.8171	0.0198
18.00 น.	82.8620	87.2422	91.7597	91.7698	96.3977	101.1282	105.9336	16.5250	11.0142	5.5123	0.0198
19.00 น.	78.6388	83.4004	88.3615	88.3732	93.4933	98.7558	104.1232	18.6095	12.4049	6.2080	0.0198
20.00 น.	74.5929	79.6715	85.0325	85.0458	90.6289	96.4049	102.3229	20.6947	13.7961	6.9039	0.0198
21.00 น.	82.8620	87.2422	91.7597	91.7698	96.3977	101.1282	105.9336	16.5250	11.0142	5.5123	0.0198
22.00 น.	87.2374	91.1830	95.2197	95.2284	99.3387	103.5204	107.7536	14.4412	9.6242	4.8171	0.0198
23.00 น.	96.3636	99.3151	102.3002	102.3063	105.3181	108.3594	111.4201	10.2759	6.8461	3.4275	0.0198
24.00 น.	101.0816	103.4872	105.9101	105.9150	108.3510	110.8036	113.2657	8.1947	5.4582	2.7334	0.0198

ภาคผนวก จ

ผลการคำนวณ กรณีศึกษาที่ 1.3

ตารางผนวกที่ จ1 ภาพรวมผลการคำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย	3.373	MW
พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ก่อนเชื่อมต่อ	194.6180	kW-hr.
พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย หลังเชื่อมต่อ	1,813.8489	kW-hr.
พลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เปลี่ยนแปลง (+เพิ่ม/-ลด)	1,619.2309	kW-hr.
คิดเป็นสัดส่วนจากพลังงานที่ขายทั้งหมด	1.99	%

ตารางผนวกที่ จ2 แรงดันบัส ก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
1.00 น.	1.0250	1.0233	1.0219	1.0209	1.0206	1.0196	1.0188	1.0184	1.0181	1.0177	1.0175	1.0175
2.00 น.	1.0250	1.0238	1.0227	1.0220	1.0218	1.0210	1.0204	1.0202	1.0199	1.0196	1.0195	1.0195
3.00 น.	1.0250	1.0238	1.0227	1.0220	1.0218	1.0210	1.0204	1.0202	1.0199	1.0196	1.0195	1.0195
4.00 น.	1.0250	1.0233	1.0219	1.0209	1.0206	1.0196	1.0188	1.0184	1.0181	1.0177	1.0175	1.0175
5.00 น.	1.0250	1.0233	1.0219	1.0209	1.0206	1.0196	1.0188	1.0184	1.0181	1.0177	1.0175	1.0175
6.00 น.	1.0250	1.0229	1.0211	1.0199	1.0195	1.0182	1.0171	1.0167	1.0164	1.0158	1.0156	1.0156
7.00 น.	1.0250	1.0229	1.0211	1.0199	1.0195	1.0182	1.0171	1.0167	1.0164	1.0158	1.0156	1.0156
8.00 น.	1.0250	1.0225	1.0203	1.0188	1.0184	1.0168	1.0155	1.0150	1.0146	1.0139	1.0136	1.0136
9.00 น.	1.0250	1.0220	1.0194	1.0177	1.0172	1.0153	1.0139	1.0133	1.0127	1.0120	1.0116	1.0116
10.00 น.	1.0250	1.0220	1.0194	1.0177	1.0172	1.0153	1.0139	1.0133	1.0127	1.0120	1.0116	1.0116
11.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096
12.00 น.	1.0250	1.0220	1.0194	1.0177	1.0172	1.0153	1.0139	1.0133	1.0127	1.0120	1.0116	1.0116

ตารางผนวกที่ จ2 (ต่อ)

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
13.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096
14.00 น.	1.0250	1.0220	1.0194	1.0177	1.0172	1.0153	1.0139	1.0133	1.0127	1.0120	1.0116	1.0116
15.00 น.	1.0250	1.0225	1.0203	1.0188	1.0184	1.0168	1.0155	1.0150	1.0146	1.0139	1.0136	1.0136
16.00 น.	1.0250	1.0225	1.0203	1.0188	1.0184	1.0168	1.0155	1.0150	1.0146	1.0139	1.0136	1.0136
17.00 น.	1.0250	1.0220	1.0194	1.0177	1.0172	1.0153	1.0139	1.0133	1.0127	1.0120	1.0116	1.0116
18.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096
19.00 น.	1.0250	1.0212	1.0178	1.0156	1.0149	1.0125	1.0106	1.0098	1.0091	1.0081	1.0077	1.0077
20.00 น.	1.0250	1.0207	1.0170	1.0145	1.0137	1.0110	1.0089	1.0080	1.0073	1.0062	1.0057	1.0057
21.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096
22.00 น.	1.0250	1.0220	1.0194	1.0177	1.0172	1.0153	1.0139	1.0133	1.0127	1.0120	1.0116	1.0116
23.00 น.	1.0250	1.0229	1.0211	1.0199	1.0195	1.0182	1.0171	1.0167	1.0164	1.0158	1.0156	1.0156
24.00 น.	1.0250	1.0233	1.0219	1.0209	1.0206	1.0196	1.0188	1.0184	1.0181	1.0177	1.0175	1.0175

ตารางผนวกที่ จ3 แรงดันบัส หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
1.00 น.	1.0234	1.0257	1.0283	1.0304	1.0311	1.0341	1.0374	1.0392	1.0409	1.0446	1.0486	1.0500
2.00 น.	1.0215	1.0243	1.0272	1.0296	1.0303	1.0336	1.0371	1.0390	1.0407	1.0446	1.0486	1.0500
3.00 น.	1.0215	1.0243	1.0272	1.0296	1.0303	1.0336	1.0371	1.0390	1.0407	1.0446	1.0486	1.0500
4.00 น.	1.0234	1.0257	1.0283	1.0304	1.0311	1.0341	1.0374	1.0392	1.0409	1.0446	1.0486	1.0500
5.00 น.	1.0234	1.0257	1.0283	1.0304	1.0311	1.0341	1.0374	1.0392	1.0409	1.0446	1.0486	1.0500
6.00 น.	1.0252	1.0272	1.0294	1.0313	1.0319	1.0346	1.0377	1.0395	1.0410	1.0447	1.0486	1.0500
7.00 น.	1.0252	1.0272	1.0294	1.0313	1.0319	1.0346	1.0377	1.0395	1.0410	1.0447	1.0486	1.0500
8.00 น.	1.0271	1.0286	1.0305	1.0321	1.0326	1.0351	1.0380	1.0397	1.0412	1.0447	1.0486	1.0500
9.00 น.	1.0290	1.0301	1.0315	1.0330	1.0334	1.0357	1.0383	1.0399	1.0413	1.0448	1.0486	1.0500
10.00 น.	1.0290	1.0301	1.0315	1.0330	1.0334	1.0357	1.0383	1.0399	1.0413	1.0448	1.0486	1.0500
11.00 น.	1.0308	1.0315	1.0326	1.0338	1.0342	1.0362	1.0386	1.0401	1.0415	1.0448	1.0486	1.0500
12.00 น.	1.0290	1.0301	1.0315	1.0330	1.0334	1.0357	1.0383	1.0399	1.0413	1.0448	1.0486	1.0500

ตารางผนวกที่ จ3 (ต่อ)

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
13.00 น.	1.0308	1.0315	1.0326	1.0338	1.0342	1.0362	1.0386	1.0401	1.0415	1.0448	1.0486	1.0500
14.00 น.	1.0290	1.0301	1.0315	1.0330	1.0334	1.0357	1.0383	1.0399	1.0413	1.0448	1.0486	1.0500
15.00 น.	1.0271	1.0286	1.0305	1.0321	1.0326	1.0351	1.0380	1.0397	1.0412	1.0447	1.0486	1.0500
16.00 น.	1.0271	1.0286	1.0305	1.0321	1.0326	1.0351	1.0380	1.0397	1.0412	1.0447	1.0486	1.0500
17.00 น.	1.0290	1.0301	1.0315	1.0330	1.0334	1.0357	1.0383	1.0399	1.0413	1.0448	1.0486	1.0500
18.00 น.	1.0308	1.0315	1.0326	1.0338	1.0342	1.0362	1.0386	1.0401	1.0415	1.0448	1.0486	1.0500
19.00 น.	1.0327	1.0330	1.0337	1.0347	1.0350	1.0367	1.0389	1.0404	1.0416	1.0449	1.0486	1.0500
20.00 น.	1.0345	1.0344	1.0348	1.0355	1.0357	1.0372	1.0392	1.0406	1.0418	1.0449	1.0486	1.0500
21.00 น.	1.0308	1.0315	1.0326	1.0338	1.0342	1.0362	1.0386	1.0401	1.0415	1.0448	1.0486	1.0500
22.00 น.	1.0290	1.0301	1.0315	1.0330	1.0334	1.0357	1.0383	1.0399	1.0413	1.0448	1.0486	1.0500
23.00 น.	1.0252	1.0272	1.0294	1.0313	1.0319	1.0346	1.0377	1.0395	1.0410	1.0447	1.0486	1.0500
24.00 น.	1.0234	1.0257	1.0283	1.0304	1.0311	1.0341	1.0374	1.0392	1.0409	1.0446	1.0486	1.0500

ตารางผนวกที่ จ4 พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย
1.00 น.	3.0542
2.00 น.	1.6945
3.00 น.	1.6945
4.00 น.	3.0542
5.00 น.	3.0542
6.00 น.	4.8182
7.00 น.	4.8182
8.00 น.	6.9904
9.00 น.	9.5748
10.00 น.	9.5748
11.00 น.	12.5753
12.00 น.	9.5748
13.00 น.	12.5753
14.00 น.	9.5748
15.00 น.	6.9904
16.00 น.	6.9904
17.00 น.	9.5748
18.00 น.	12.5753
19.00 น.	15.9958
20.00 น.	19.8405
21.00 น.	12.5753
22.00 น.	9.5748
23.00 น.	4.8182
24.00 น.	3.0542
รวมทั้งสิ้น	194.6180

ตารางผนวกที่ จ5 พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย
1.00 น.	86.4046
2.00 น.	92.3070
3.00 น.	92.3070
4.00 น.	86.4046
5.00 น.	86.4046
6.00 น.	80.8825
7.00 น.	80.8825
8.00 น.	75.7400
9.00 น.	70.9762
10.00 น.	70.9762
11.00 น.	66.5903
12.00 น.	70.9762
13.00 น.	66.5903
14.00 น.	70.9762
15.00 น.	75.7400
16.00 น.	75.7400
17.00 น.	70.9762
18.00 น.	66.5903
19.00 น.	62.5815
20.00 น.	58.9492
21.00 น.	66.5903
22.00 น.	70.9762
23.00 น.	80.8825
24.00 น.	86.4046
รวมทั้งสิ้น	1,813.8489

ตารางผนวกที่ จ6 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายตัวนำ หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	กระแสไฟฟ้าระหว่างบัสที่ (A)										
	Bus 1-2	Bus 2-3	Bus 3-4	Bus 4-5	Bus 5-6	Bus 6-7	Bus 7-8	Bus 8-9	Bus 9-10	Bus 10-11	Bus 11-12
1.00 น.	64.9056	67.2388	69.6053	69.6128	72.0057	74.4302	76.8752	76.8787	79.3421	81.8228	84.3160
2.00 น.	69.5763	71.3782	73.1938	73.1996	75.0254	76.8670	78.7170	78.7198	80.5779	82.4442	84.3158
3.00 น.	69.5763	71.3782	73.1938	73.1995	75.0254	76.8670	78.7170	78.7198	80.5779	82.4442	84.3158
4.00 น.	64.9056	67.2388	69.6053	69.6128	72.0057	74.4302	76.8752	76.8787	79.3421	81.8228	84.3160
5.00 น.	64.9056	67.2388	69.6053	69.6128	72.0057	74.4302	76.8752	76.8787	79.3421	81.8228	84.3160
6.00 น.	60.3971	63.2105	66.0898	66.0992	69.0314	72.0195	75.0465	75.0507	78.1116	81.2026	84.3161
7.00 น.	60.3971	63.2105	66.0898	66.0992	69.0314	72.0195	75.0465	75.0507	78.1116	81.2026	84.3161
8.00 น.	56.0883	59.3148	62.6589	62.6705	66.1083	69.6374	73.2318	73.2369	76.8865	80.5836	84.3163
9.00 น.	52.0268	55.5786	59.3269	59.3409	63.2434	67.2869	71.4323	71.4382	75.6672	79.9658	84.3166
10.00 น.	52.0268	55.5786	59.3269	59.3409	63.2434	67.2869	71.4323	71.4382	75.6672	79.9658	84.3166
11.00 น.	48.2731	52.0352	56.1109	56.1274	60.4447	64.9714	69.6491	69.6559	74.4540	79.3493	84.3168
12.00 น.	52.0268	55.5786	59.3269	59.3409	63.2434	67.2869	71.4323	71.4382	75.6672	79.9658	84.3166

ตารางผนวกที่ จ6 (ต่อ)

เวลา	กระแสไฟฟ้าระหว่างบัสที่ (A)										
	Bus 1-2	Bus 2-3	Bus 3-4	Bus 4-5	Bus 5-6	Bus 6-7	Bus 7-8	Bus 8-9	Bus 9-10	Bus 10-11	Bus 11-12
13.00 น.	48.2731	52.0352	56.1109	56.1274	60.4447	64.9714	69.6491	69.6559	74.4540	79.3493	84.3168
14.00 น.	52.0268	55.5786	59.3269	59.3409	63.2434	67.2869	71.4323	71.4382	75.6672	79.9658	84.3166
15.00 น.	56.0883	59.3148	62.6589	62.6705	66.1083	69.6374	73.2318	73.2369	76.8865	80.5836	84.3163
16.00 น.	56.0883	59.3148	62.6589	62.6705	66.1083	69.6374	73.2318	73.2369	76.8865	80.5836	84.3163
17.00 น.	52.0268	55.5786	59.3269	59.3409	63.2434	67.2869	71.4323	71.4382	75.6672	79.9658	84.3166
18.00 น.	48.2731	52.0352	56.1109	56.1274	60.4447	64.9714	69.6491	69.6559	74.4540	79.3493	84.3168
19.00 น.	44.9022	48.7255	53.0313	53.0507	57.7216	62.6946	67.8835	67.8912	73.2470	78.7341	84.3170
20.00 น.	42.0042	45.6990	50.1128	50.1353	55.0850	60.4609	66.1367	66.1455	72.0468	78.1203	84.3173
21.00 น.	48.2731	52.0352	56.1109	56.1274	60.4447	64.9714	69.6491	69.6559	74.4540	79.3493	84.3168
22.00 น.	52.0268	55.5786	59.3269	59.3409	63.2434	67.2869	71.4323	71.4382	75.6672	79.9658	84.3166
23.00 น.	60.3971	63.2105	66.0898	66.0992	69.0314	72.0195	75.0465	75.0507	78.1116	81.2026	84.3161
24.00 น.	64.9056	67.2388	69.6053	69.6128	72.0057	74.4302	76.8752	76.8787	79.3421	81.8228	84.3160

ภาคผนวก ฉ

ผลการคำนวณ กรณีศึกษาที่ 2.1

ตารางผนวกที่ ฉ1 ภาพรวมผลการคำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย	5.913	MW
พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ก่อนเชื่อมต่อ	804.7071	kW-hr.
พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย หลังเชื่อมต่อ	1532.6045	kW-hr.
พลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เปลี่ยนแปลง (+เพิ่ม/-ลด)	727.8974	kW-hr.
คิดเป็นสัดส่วนจากพลังงานที่ขายทั้งหมด	0.51	%

ตารางผนวกที่ ฉ2 แรงดันบัส ก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
1.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096
2.00 น.	1.0250	1.0225	1.0203	1.0188	1.0184	1.0168	1.0155	1.0150	1.0146	1.0139	1.0136	1.0136
3.00 น.	1.0250	1.0225	1.0203	1.0188	1.0184	1.0168	1.0155	1.0150	1.0146	1.0139	1.0136	1.0136
4.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096
5.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096
6.00 น.	1.0250	1.0207	1.0170	1.0145	1.0137	1.0110	1.0089	1.0080	1.0073	1.0062	1.0057	1.0057
7.00 น.	1.0250	1.0207	1.0170	1.0145	1.0137	1.0110	1.0089	1.0080	1.0073	1.0062	1.0057	1.0057
8.00 น.	1.0250	1.0198	1.0153	1.0123	1.0114	1.0081	1.0055	1.0045	1.0036	1.0023	1.0017	1.0017
9.00 น.	1.0250	1.0189	1.0136	1.0101	1.0090	1.0052	1.0022	1.0010	0.9999	0.9984	0.9976	0.9976
10.00 น.	1.0250	1.0189	1.0136	1.0101	1.0090	1.0052	1.0022	1.0010	0.9999	0.9984	0.9976	0.9976
11.00 น.	1.0250	1.0180	1.0119	1.0079	1.0067	1.0023	0.9988	0.9974	0.9962	0.9944	0.9935	0.9935
12.00 น.	1.0250	1.0189	1.0136	1.0101	1.0090	1.0052	1.0022	1.0010	0.9999	0.9984	0.9976	0.9976

ตารางผนวกที่ ฉ2 (ต่อ)

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
13.00 น.	1.0250	1.0180	1.0119	1.0079	1.0067	1.0023	0.9988	0.9974	0.9962	0.9944	0.9935	0.9935
14.00 น.	1.0250	1.0189	1.0136	1.0101	1.0090	1.0052	1.0022	1.0010	0.9999	0.9984	0.9976	0.9976
15.00 น.	1.0250	1.0198	1.0153	1.0123	1.0114	1.0081	1.0055	1.0045	1.0036	1.0023	1.0017	1.0017
16.00 น.	1.0250	1.0198	1.0153	1.0123	1.0114	1.0081	1.0055	1.0045	1.0036	1.0023	1.0017	1.0017
17.00 น.	1.0250	1.0189	1.0136	1.0101	1.0090	1.0052	1.0022	1.0010	0.9999	0.9984	0.9976	0.9976
18.00 น.	1.0250	1.0180	1.0119	1.0079	1.0067	1.0023	0.9988	0.9974	0.9962	0.9944	0.9935	0.9935
19.00 น.	1.0250	1.0171	1.0102	1.0057	1.0043	0.9993	0.9954	0.9938	0.9924	0.9904	0.9894	0.9894
20.00 น.	1.0250	1.0162	1.0085	1.0034	1.0019	0.9963	0.9919	0.9902	0.9886	0.9864	0.9853	0.9853
21.00 น.	1.0250	1.0180	1.0119	1.0079	1.0067	1.0023	0.9988	0.9974	0.9962	0.9944	0.9935	0.9935
22.00 น.	1.0250	1.0189	1.0136	1.0101	1.0090	1.0052	1.0022	1.0010	0.9999	0.9984	0.9976	0.9976
23.00 น.	1.0250	1.0207	1.0170	1.0145	1.0137	1.0110	1.0089	1.0080	1.0073	1.0062	1.0057	1.0057
24.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096

ตารางผนวกที่ ฉ3 แรงดันบัส หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
1.00 น.	1.0134	1.0174	1.0219	1.0257	1.0251	1.0230	1.0213	1.0206	1.0200	1.0192	1.0187	1.0187
2.00 น.	1.0127	1.0175	1.0227	1.0270	1.0266	1.0250	1.0237	1.0232	1.0228	1.0222	1.0219	1.0219
3.00 น.	1.0127	1.0175	1.0227	1.0270	1.0266	1.0250	1.0237	1.0232	1.0228	1.0222	1.0219	1.0219
4.00 น.	1.0134	1.0174	1.0219	1.0257	1.0251	1.0230	1.0213	1.0206	1.0200	1.0192	1.0187	1.0187
5.00 น.	1.0134	1.0174	1.0219	1.0257	1.0251	1.0230	1.0213	1.0206	1.0200	1.0192	1.0187	1.0187
6.00 น.	1.0139	1.0171	1.0208	1.0241	1.0234	1.0207	1.0186	1.0177	1.0170	1.0159	1.0154	1.0154
7.00 น.	1.0139	1.0171	1.0208	1.0241	1.0234	1.0207	1.0186	1.0177	1.0170	1.0159	1.0154	1.0154
8.00 น.	1.0144	1.0167	1.0197	1.0225	1.0216	1.0184	1.0158	1.0148	1.0139	1.0126	1.0120	1.0120
9.00 น.	1.0150	1.0164	1.0186	1.0209	1.0199	1.0161	1.0131	1.0119	1.0108	1.0093	1.0086	1.0086
10.00 น.	1.0150	1.0164	1.0186	1.0209	1.0199	1.0161	1.0131	1.0119	1.0108	1.0093	1.0086	1.0086
11.00 น.	1.0155	1.0161	1.0175	1.0193	1.0181	1.0138	1.0104	1.0090	1.0078	1.0060	1.0052	1.0052
12.00 น.	1.0150	1.0164	1.0186	1.0209	1.0199	1.0161	1.0131	1.0119	1.0108	1.0093	1.0086	1.0086

ตารางผนวกที่ ฉ3 (ต่อ)

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
13.00 น.	1.0155	1.0161	1.0175	1.0193	1.0181	1.0138	1.0104	1.0090	1.0078	1.0060	1.0052	1.0052
14.00 น.	1.0150	1.0164	1.0186	1.0209	1.0199	1.0161	1.0131	1.0119	1.0108	1.0093	1.0086	1.0086
15.00 น.	1.0144	1.0167	1.0197	1.0225	1.0216	1.0184	1.0158	1.0148	1.0139	1.0126	1.0120	1.0120
16.00 น.	1.0144	1.0167	1.0197	1.0225	1.0216	1.0184	1.0158	1.0148	1.0139	1.0126	1.0120	1.0120
17.00 น.	1.0150	1.0164	1.0186	1.0209	1.0199	1.0161	1.0131	1.0119	1.0108	1.0093	1.0086	1.0086
18.00 น.	1.0155	1.0161	1.0175	1.0193	1.0181	1.0138	1.0104	1.0090	1.0078	1.0060	1.0052	1.0052
19.00 น.	1.0161	1.0158	1.0165	1.0178	1.0164	1.0116	1.0077	1.0061	1.0047	1.0028	1.0018	1.0018
20.00 น.	1.0168	1.0156	1.0155	1.0163	1.0148	1.0094	1.0050	1.0033	1.0017	0.9995	0.9985	0.9985
21.00 น.	1.0155	1.0161	1.0175	1.0193	1.0181	1.0138	1.0104	1.0090	1.0078	1.0060	1.0052	1.0052
22.00 น.	1.0150	1.0164	1.0186	1.0209	1.0199	1.0161	1.0131	1.0119	1.0108	1.0093	1.0086	1.0086
23.00 น.	1.0139	1.0171	1.0208	1.0241	1.0234	1.0207	1.0186	1.0177	1.0170	1.0159	1.0154	1.0154
24.00 น.	1.0134	1.0174	1.0219	1.0257	1.0251	1.0230	1.0213	1.0206	1.0200	1.0192	1.0187	1.0187

ตารางผนวกที่ ฉ4 พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย
1.00 น.	12.5753
2.00 น.	6.9904
3.00 น.	6.9904
4.00 น.	12.5753
5.00 น.	12.5753
6.00 น.	19.8405
7.00 น.	19.8405
8.00 น.	28.8193
9.00 น.	39.5453
10.00 น.	39.5453
11.00 น.	52.0546
12.00 น.	39.5453
13.00 น.	52.0546
14.00 น.	39.5453
15.00 น.	28.8193
16.00 น.	28.8193
17.00 น.	39.5453
18.00 น.	52.0546
19.00 น.	66.3840
20.00 น.	82.5715
21.00 น.	52.0546
22.00 น.	39.5453
23.00 น.	19.8405
24.00 น.	12.5753
รวมทั้งสิ้น	804.7071

ตารางผนวกที่ ฉ5 พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย
1.00 น.	74.7312
2.00 น.	83.4975
3.00 น.	83.4975
4.00 น.	74.7312
5.00 น.	74.7312
6.00 น.	67.5320
7.00 น.	67.5320
8.00 น.	61.8921
9.00 น.	57.8322
10.00 น.	57.8322
11.00 น.	55.3758
12.00 น.	57.8322
13.00 น.	55.3758
14.00 น.	57.8322
15.00 น.	61.8921
16.00 น.	61.8921
17.00 น.	57.8322
18.00 น.	55.3758
19.00 น.	54.5469
20.00 น.	55.3692
21.00 น.	55.3758
22.00 น.	57.8322
23.00 น.	67.5320
24.00 น.	74.7312
รวมทั้งสิ้น	1,532.6045

ตารางผนวกที่ ฉ6 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายตัวนำ หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	กระแสไฟฟ้าระหว่างบัสที่ (A)										
	Bus 1-2	Bus 2-3	Bus 3-4	Bus 4-5	Bus 5-6	Bus 6-7	Bus 7-8	Bus 8-9	Bus 9-10	Bus 10-11	Bus 11-12
1.00 น.	111.8758	116.5530	121.3191	33.9387	28.2898	22.6478	16.9849	17.0091	11.3375	5.6740	0.0192
2.00 น.	121.1739	124.7992	128.4618	25.3254	21.1026	16.8916	12.6642	12.6881	8.4551	4.2322	0.0193
3.00 น.	121.1739	124.7992	128.4618	25.3254	21.1026	16.8916	12.6642	12.6881	8.4551	4.2322	0.0193
4.00 น.	111.8758	116.5530	121.3191	33.9387	28.2898	22.6478	16.9849	17.0091	11.3375	5.6740	0.0192
5.00 น.	111.8758	116.5530	121.3191	33.9387	28.2898	22.6478	16.9849	17.0091	11.3375	5.6740	0.0192
6.00 น.	102.9712	108.5712	114.3492	42.6045	35.5238	28.4432	21.3363	21.3606	14.2408	7.1263	0.0192
7.00 น.	102.9712	108.5712	114.3492	42.6045	35.5238	28.4432	21.3363	21.3606	14.2408	7.1263	0.0192
8.00 น.	94.5583	100.9007	107.5666	51.3189	42.8014	34.2755	25.7165	25.7409	17.1638	8.5887	0.0191
9.00 น.	86.7960	93.6296	101.0166	60.0815	50.1221	40.1444	30.1254	30.1498	20.1065	10.0611	0.0191
10.00 น.	86.7960	93.6296	101.0166	60.0815	50.1221	40.1444	30.1254	30.1498	20.1065	10.0611	0.0191
11.00 น.	79.8948	86.8739	94.7584	68.8914	57.4855	46.0495	34.5626	34.5870	23.0687	11.5434	0.0190
12.00 น.	86.7960	93.6296	101.0166	60.0815	50.1221	40.1444	30.1254	30.1498	20.1065	10.0611	0.0191

ตารางผนวกที่ ฉ6 (ต่อ)

เวลา	กระแสไฟฟ้าระหว่างบัสที่ (A)										
	Bus 1-2	Bus 2-3	Bus 3-4	Bus 4-5	Bus 5-6	Bus 6-7	Bus 7-8	Bus 8-9	Bus 9-10	Bus 10-11	Bus 11-12
13.00 น.	79.8948	86.8739	94.7584	68.8914	57.4855	46.0495	34.5626	34.5870	23.0687	11.5434	0.0190
14.00 น.	86.7960	93.6296	101.0166	60.0815	50.1221	40.1444	30.1254	30.1498	20.1065	10.0611	0.0191
15.00 น.	94.5583	100.9007	107.5666	51.3189	42.8014	34.2755	25.7165	25.7409	17.1638	8.5887	0.0191
16.00 น.	94.5583	100.9007	107.5666	51.3189	42.8014	34.2755	25.7165	25.7409	17.1638	8.5887	0.0191
17.00 น.	86.7960	93.6296	101.0166	60.0815	50.1221	40.1444	30.1254	30.1498	20.1065	10.0611	0.0191
18.00 น.	79.8948	86.8739	94.7584	68.8914	57.4855	46.0495	34.5626	34.5870	23.0687	11.5434	0.0190
19.00 น.	74.1189	80.7811	88.8661	77.7472	64.8903	51.9899	39.0276	39.0520	26.0500	13.0354	0.0189
20.00 น.	69.7736	75.5318	83.4319	86.6465	72.3347	57.9641	43.5192	43.5436	29.0497	14.5369	0.0189
21.00 น.	79.8948	86.8739	94.7584	68.8914	57.4855	46.0495	34.5626	34.5870	23.0687	11.5434	0.0190
22.00 น.	86.7960	93.6296	101.0166	60.0815	50.1221	40.1444	30.1254	30.1498	20.1065	10.0611	0.0191
23.00 น.	102.9712	108.5712	114.3492	42.6045	35.5238	28.4432	21.3363	21.3606	14.2408	7.1263	0.0192
24.00 น.	111.8758	116.5530	121.3191	33.9387	28.2898	22.6478	16.9849	17.0091	11.3375	5.6740	0.0192

ภาคผนวก ช

ผลการคำนวณ กรณีศึกษาที่ 2.2

ตารางผนวกที่ ช1 ภาพรวมผลการคำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย	3.270	MW
พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ก่อนเชื่อมต่อ	804.7071	kW-hr.
พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย หลังเชื่อมต่อ	645.4189	kW-hr.
พลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เปลี่ยนแปลง (+เพิ่ม/-ลด)	-159.2882	kW-hr.
คิดเป็นสัดส่วนจากพลังงานที่ขายทั้งหมด	-0.20	%

ตารางผนวกที่ ช2 แรงดันบัส ก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
1.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096
2.00 น.	1.0250	1.0225	1.0203	1.0188	1.0184	1.0168	1.0155	1.0150	1.0146	1.0139	1.0136	1.0136
3.00 น.	1.0250	1.0225	1.0203	1.0188	1.0184	1.0168	1.0155	1.0150	1.0146	1.0139	1.0136	1.0136
4.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096
5.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096
6.00 น.	1.0250	1.0207	1.0170	1.0145	1.0137	1.0110	1.0089	1.0080	1.0073	1.0062	1.0057	1.0057
7.00 น.	1.0250	1.0207	1.0170	1.0145	1.0137	1.0110	1.0089	1.0080	1.0073	1.0062	1.0057	1.0057
8.00 น.	1.0250	1.0198	1.0153	1.0123	1.0114	1.0081	1.0055	1.0045	1.0036	1.0023	1.0017	1.0017
9.00 น.	1.0250	1.0189	1.0136	1.0101	1.0090	1.0052	1.0022	1.0010	0.9999	0.9984	0.9976	0.9976
10.00 น.	1.0250	1.0189	1.0136	1.0101	1.0090	1.0052	1.0022	1.0010	0.9999	0.9984	0.9976	0.9976
11.00 น.	1.0250	1.0180	1.0119	1.0079	1.0067	1.0023	0.9988	0.9974	0.9962	0.9944	0.9935	0.9935
12.00 น.	1.0250	1.0189	1.0136	1.0101	1.0090	1.0052	1.0022	1.0010	0.9999	0.9984	0.9976	0.9976

ตารางผนวกที่ ช2 (ต่อ)

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
13.00 น.	1.0250	1.0180	1.0119	1.0079	1.0067	1.0023	0.9988	0.9974	0.9962	0.9944	0.9935	0.9935
14.00 น.	1.0250	1.0189	1.0136	1.0101	1.0090	1.0052	1.0022	1.0010	0.9999	0.9984	0.9976	0.9976
15.00 น.	1.0250	1.0198	1.0153	1.0123	1.0114	1.0081	1.0055	1.0045	1.0036	1.0023	1.0017	1.0017
16.00 น.	1.0250	1.0198	1.0153	1.0123	1.0114	1.0081	1.0055	1.0045	1.0036	1.0023	1.0017	1.0017
17.00 น.	1.0250	1.0189	1.0136	1.0101	1.0090	1.0052	1.0022	1.0010	0.9999	0.9984	0.9976	0.9976
18.00 น.	1.0250	1.0180	1.0119	1.0079	1.0067	1.0023	0.9988	0.9974	0.9962	0.9944	0.9935	0.9935
19.00 น.	1.0250	1.0171	1.0102	1.0057	1.0043	0.9993	0.9954	0.9938	0.9924	0.9904	0.9894	0.9894
20.00 น.	1.0250	1.0162	1.0085	1.0034	1.0019	0.9963	0.9919	0.9902	0.9886	0.9864	0.9853	0.9853
21.00 น.	1.0250	1.0180	1.0119	1.0079	1.0067	1.0023	0.9988	0.9974	0.9962	0.9944	0.9935	0.9935
22.00 น.	1.0250	1.0189	1.0136	1.0101	1.0090	1.0052	1.0022	1.0010	0.9999	0.9984	0.9976	0.9976
23.00 น.	1.0250	1.0207	1.0170	1.0145	1.0137	1.0110	1.0089	1.0080	1.0073	1.0062	1.0057	1.0057
24.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096

ตารางผนวกที่ ช3 แรงดันบัส หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
1.00 น.	1.0134	1.0141	1.0152	1.0164	1.0168	1.0188	1.0213	1.0228	1.0222	1.0214	1.0210	1.0210
2.00 น.	1.0127	1.0142	1.0161	1.0178	1.0183	1.0208	1.0237	1.0254	1.0250	1.0244	1.0241	1.0241
3.00 น.	1.0127	1.0142	1.0161	1.0178	1.0183	1.0208	1.0237	1.0254	1.0250	1.0244	1.0241	1.0241
4.00 น.	1.0134	1.0141	1.0152	1.0164	1.0168	1.0188	1.0213	1.0228	1.0222	1.0214	1.0210	1.0210
5.00 น.	1.0134	1.0141	1.0152	1.0164	1.0168	1.0188	1.0213	1.0228	1.0222	1.0214	1.0210	1.0210
6.00 น.	1.0140	1.0138	1.0142	1.0149	1.0151	1.0166	1.0187	1.0200	1.0193	1.0182	1.0177	1.0177
7.00 น.	1.0140	1.0138	1.0142	1.0149	1.0151	1.0166	1.0187	1.0200	1.0193	1.0182	1.0177	1.0177
8.00 น.	1.0145	1.0135	1.0131	1.0134	1.0134	1.0144	1.0160	1.0172	1.0163	1.0150	1.0144	1.0144
9.00 น.	1.0150	1.0132	1.0121	1.0118	1.0117	1.0121	1.0133	1.0144	1.0133	1.0118	1.0111	1.0111
10.00 น.	1.0150	1.0132	1.0121	1.0118	1.0117	1.0121	1.0133	1.0144	1.0133	1.0118	1.0111	1.0111
11.00 น.	1.0156	1.0129	1.0110	1.0103	1.0101	1.0099	1.0107	1.0116	1.0103	1.0086	1.0078	1.0078
12.00 น.	1.0150	1.0132	1.0121	1.0118	1.0117	1.0121	1.0133	1.0144	1.0133	1.0118	1.0111	1.0111

ตารางผนวกที่ ช3 (ต่อ)

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
13.00 น.	1.0156	1.0129	1.0110	1.0103	1.0101	1.0099	1.0107	1.0116	1.0103	1.0086	1.0078	1.0078
14.00 น.	1.0150	1.0132	1.0121	1.0118	1.0117	1.0121	1.0133	1.0144	1.0133	1.0118	1.0111	1.0111
15.00 น.	1.0145	1.0135	1.0131	1.0134	1.0134	1.0144	1.0160	1.0172	1.0163	1.0150	1.0144	1.0144
16.00 น.	1.0145	1.0135	1.0131	1.0134	1.0134	1.0144	1.0160	1.0172	1.0163	1.0150	1.0144	1.0144
17.00 น.	1.0150	1.0132	1.0121	1.0118	1.0117	1.0121	1.0133	1.0144	1.0133	1.0118	1.0111	1.0111
18.00 น.	1.0156	1.0129	1.0110	1.0103	1.0101	1.0099	1.0107	1.0116	1.0103	1.0086	1.0078	1.0078
19.00 น.	1.0163	1.0127	1.0101	1.0088	1.0084	1.0078	1.0081	1.0088	1.0074	1.0055	1.0045	1.0045
20.00 น.	1.0170	1.0125	1.0092	1.0074	1.0069	1.0056	1.0055	1.0061	1.0045	1.0024	1.0013	1.0013
21.00 น.	1.0156	1.0129	1.0110	1.0103	1.0101	1.0099	1.0107	1.0116	1.0103	1.0086	1.0078	1.0078
22.00 น.	1.0150	1.0132	1.0121	1.0118	1.0117	1.0121	1.0133	1.0144	1.0133	1.0118	1.0111	1.0111
23.00 น.	1.0140	1.0138	1.0142	1.0149	1.0151	1.0166	1.0187	1.0200	1.0193	1.0182	1.0177	1.0177
24.00 น.	1.0134	1.0141	1.0152	1.0164	1.0168	1.0188	1.0213	1.0228	1.0222	1.0214	1.0210	1.0210

ตารางผนวกที่ ช4 พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย
1.00 น.	12.5753
2.00 น.	6.9904
3.00 น.	6.9904
4.00 น.	12.5753
5.00 น.	12.5753
6.00 น.	19.8405
7.00 น.	19.8405
8.00 น.	28.8193
9.00 น.	39.5453
10.00 น.	39.5453
11.00 น.	52.0546
12.00 น.	39.5453
13.00 น.	52.0546
14.00 น.	39.5453
15.00 น.	28.8193
16.00 น.	28.8193
17.00 น.	39.5453
18.00 น.	52.0546
19.00 น.	66.3840
20.00 น.	82.5715
21.00 น.	52.0546
22.00 น.	39.5453
23.00 น.	19.8405
24.00 น.	12.5753
รวมทั้งสิ้น	804.7071

ตารางผนวกที่ ช5 พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย
1.00 น.	34.6358
2.00 น.	41.8631
3.00 น.	41.8631
4.00 น.	34.6358
5.00 น.	34.6358
6.00 น.	28.9268
7.00 น.	28.9268
8.00 น.	24.7443
9.00 น.	22.1096
10.00 น.	22.1096
11.00 น.	21.0455
12.00 น.	22.1096
13.00 น.	21.0455
14.00 น.	22.1096
15.00 น.	24.7443
16.00 น.	24.7443
17.00 น.	22.1096
18.00 น.	21.0455
19.00 น.	21.5751
20.00 น.	23.7209
21.00 น.	21.0455
22.00 น.	22.1096
23.00 น.	28.9268
24.00 น.	34.6358
รวมทั้งสิ้น	645.4189

ตารางผนวกที่ ช6 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายตัวนำ หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	กระแสไฟฟ้าระหว่างบัสที่ (A)										
	Bus 1-2	Bus 2-3	Bus 3-4	Bus 4-5	Bus 5-6	Bus 6-7	Bus 7-8	Bus 8-9	Bus 9-10	Bus 10-11	Bus 11-12
1.00 น.	46.9504	50.8022	54.9816	54.9973	59.4265	64.0684	68.8632	16.9711	11.3121	5.6613	0.0193
2.00 น.	54.8195	58.1234	61.5469	61.5576	65.0758	68.6844	72.3581	12.6603	8.4366	4.2229	0.0193
3.00 น.	54.8195	58.1234	61.5469	61.5576	65.0758	68.6844	72.3581	12.6603	8.4366	4.2229	0.0193
4.00 น.	46.9504	50.8022	54.9816	54.9973	59.4265	64.0684	68.8632	16.9711	11.3121	5.6613	0.0193
5.00 น.	46.9504	50.8022	54.9816	54.9973	59.4265	64.0684	68.8632	16.9711	11.3121	5.6613	0.0193
6.00 น.	40.7130	44.4573	48.9721	48.9940	54.0761	59.6012	65.4352	21.3113	14.2078	7.1098	0.0192
7.00 น.	40.7130	44.4573	48.9721	48.9940	54.0761	59.6012	65.4352	21.3113	14.2078	7.1098	0.0192
8.00 น.	36.9724	39.5810	43.7583	43.7875	49.1240	55.3138	62.0755	25.6792	17.1226	8.5681	0.0192
9.00 น.	36.5480	36.7989	39.6814	39.7190	44.7191	51.2600	58.7990	30.0748	20.0564	10.0360	0.0191
10.00 น.	36.5480	36.7989	39.6814	39.7190	44.7191	51.2600	58.7990	30.0748	20.0564	10.0360	0.0191
11.00 น.	39.5880	36.6304	37.1483	37.1941	41.0578	47.5104	55.6250	34.4975	23.0089	11.5135	0.0190
12.00 น.	36.5480	36.7989	39.6814	39.7190	44.7191	51.2600	58.7990	30.0748	20.0564	10.0360	0.0191

ตารางผนวกที่ ช6 (ต่อ)

เวลา	กระแสไฟฟ้าระหว่างบัสที่ (A)										
	Bus 1-2	Bus 2-3	Bus 3-4	Bus 4-5	Bus 5-6	Bus 6-7	Bus 7-8	Bus 8-9	Bus 9-10	Bus 10-11	Bus 11-12
13.00 น.	39.5880	36.6304	37.1483	37.1941	41.0578	47.5104	55.6250	34.4975	23.0089	11.5135	0.0190
14.00 น.	36.5480	36.7989	39.6814	39.7190	44.7191	51.2600	58.7990	30.0748	20.0564	10.0360	0.0191
15.00 น.	36.9724	39.5810	43.7583	43.7875	49.1240	55.3138	62.0755	25.6792	17.1226	8.5681	0.0192
16.00 น.	36.9724	39.5810	43.7583	43.7875	49.1240	55.3138	62.0755	25.6792	17.1226	8.5681	0.0192
17.00 น.	36.5480	36.7989	39.6814	39.7190	44.7191	51.2600	58.7990	30.0748	20.0564	10.0360	0.0191
18.00 น.	39.5880	36.6304	37.1483	37.1941	41.0578	47.5104	55.6250	34.4975	23.0089	11.5135	0.0190
19.00 น.	45.4376	39.1455	36.5134	36.5659	38.3759	44.1553	52.5776	38.9467	25.9796	13.0002	0.0190
20.00 น.	53.2066	43.9165	37.9023	37.9585	36.9108	41.3048	49.6863	43.4212	28.9678	14.4959	0.0189
21.00 น.	39.5880	36.6304	37.1483	37.1941	41.0578	47.5104	55.6250	34.4975	23.0089	11.5135	0.0190
22.00 น.	36.5480	36.7989	39.6814	39.7190	44.7191	51.2600	58.7990	30.0748	20.0564	10.0360	0.0191
23.00 น.	40.7130	44.4573	48.9721	48.9940	54.0761	59.6012	65.4352	21.3113	14.2078	7.1098	0.0192
24.00 น.	46.9504	50.8022	54.9816	54.9973	59.4265	64.0684	68.8632	16.9711	11.3121	5.6613	0.0193

ภาคผนวก ซ

ผลการคำนวณ กรณีศึกษาที่ 2.3

ตารางผนวกที่ ซ1 ภาพรวมผลการคำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย	2.369	MW
พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ก่อนเชื่อมต่อ	804.7071	kW-hr.
พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย หลังเชื่อมต่อ	611.6197	kW-hr.
พลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เปลี่ยนแปลง (+เพิ่ม/-ลด)	-193.0874	kW-hr.
คิดเป็นสัดส่วนจากพลังงานที่ขายทั้งหมด	-0.34	%

ตารางผนวกที่ ซ2 แรงดันบัส ก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
1.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096
2.00 น.	1.0250	1.0225	1.0203	1.0188	1.0184	1.0168	1.0155	1.0150	1.0146	1.0139	1.0136	1.0136
3.00 น.	1.0250	1.0225	1.0203	1.0188	1.0184	1.0168	1.0155	1.0150	1.0146	1.0139	1.0136	1.0136
4.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096
5.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096
6.00 น.	1.0250	1.0207	1.0170	1.0145	1.0137	1.0110	1.0089	1.0080	1.0073	1.0062	1.0057	1.0057
7.00 น.	1.0250	1.0207	1.0170	1.0145	1.0137	1.0110	1.0089	1.0080	1.0073	1.0062	1.0057	1.0057
8.00 น.	1.0250	1.0198	1.0153	1.0123	1.0114	1.0081	1.0055	1.0045	1.0036	1.0023	1.0017	1.0017
9.00 น.	1.0250	1.0189	1.0136	1.0101	1.0090	1.0052	1.0022	1.0010	0.9999	0.9984	0.9976	0.9976
10.00 น.	1.0250	1.0189	1.0136	1.0101	1.0090	1.0052	1.0022	1.0010	0.9999	0.9984	0.9976	0.9976
11.00 น.	1.0250	1.0180	1.0119	1.0079	1.0067	1.0023	0.9988	0.9974	0.9962	0.9944	0.9935	0.9935
12.00 น.	1.0250	1.0189	1.0136	1.0101	1.0090	1.0052	1.0022	1.0010	0.9999	0.9984	0.9976	0.9976

ตารางผนวกที่ ซ2 (ต่อ)

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
13.00 น.	1.0250	1.0180	1.0119	1.0079	1.0067	1.0023	0.9988	0.9974	0.9962	0.9944	0.9935	0.9935
14.00 น.	1.0250	1.0189	1.0136	1.0101	1.0090	1.0052	1.0022	1.0010	0.9999	0.9984	0.9976	0.9976
15.00 น.	1.0250	1.0198	1.0153	1.0123	1.0114	1.0081	1.0055	1.0045	1.0036	1.0023	1.0017	1.0017
16.00 น.	1.0250	1.0198	1.0153	1.0123	1.0114	1.0081	1.0055	1.0045	1.0036	1.0023	1.0017	1.0017
17.00 น.	1.0250	1.0189	1.0136	1.0101	1.0090	1.0052	1.0022	1.0010	0.9999	0.9984	0.9976	0.9976
18.00 น.	1.0250	1.0180	1.0119	1.0079	1.0067	1.0023	0.9988	0.9974	0.9962	0.9944	0.9935	0.9935
19.00 น.	1.0250	1.0171	1.0102	1.0057	1.0043	0.9993	0.9954	0.9938	0.9924	0.9904	0.9894	0.9894
20.00 น.	1.0250	1.0162	1.0085	1.0034	1.0019	0.9963	0.9919	0.9902	0.9886	0.9864	0.9853	0.9853
21.00 น.	1.0250	1.0180	1.0119	1.0079	1.0067	1.0023	0.9988	0.9974	0.9962	0.9944	0.9935	0.9935
22.00 น.	1.0250	1.0189	1.0136	1.0101	1.0090	1.0052	1.0022	1.0010	0.9999	0.9984	0.9976	0.9976
23.00 น.	1.0250	1.0207	1.0170	1.0145	1.0137	1.0110	1.0089	1.0080	1.0073	1.0062	1.0057	1.0057
24.00 น.	1.0250	1.0216	1.0186	1.0166	1.0160	1.0139	1.0122	1.0115	1.0109	1.0101	1.0096	1.0096

ตารางผนวกที่ ซ3 แรงดันบัส หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
1.00 น.	1.0138	1.0133	1.0133	1.0136	1.0137	1.0145	1.0158	1.0167	1.0175	1.0197	1.0223	1.0233
2.00 น.	1.0127	1.0131	1.0138	1.0146	1.0149	1.0162	1.0179	1.0190	1.0200	1.0223	1.0250	1.0260
3.00 น.	1.0127	1.0131	1.0138	1.0146	1.0149	1.0162	1.0179	1.0190	1.0200	1.0223	1.0250	1.0260
4.00 น.	1.0138	1.0133	1.0133	1.0136	1.0137	1.0145	1.0158	1.0167	1.0175	1.0197	1.0223	1.0233
5.00 น.	1.0138	1.0133	1.0133	1.0136	1.0137	1.0145	1.0158	1.0167	1.0175	1.0197	1.0223	1.0233
6.00 น.	1.0144	1.0131	1.0123	1.0121	1.0121	1.0124	1.0133	1.0140	1.0146	1.0166	1.0191	1.0201
7.00 น.	1.0144	1.0131	1.0123	1.0121	1.0121	1.0124	1.0133	1.0140	1.0146	1.0166	1.0191	1.0201
8.00 น.	1.0150	1.0128	1.0113	1.0106	1.0104	1.0102	1.0106	1.0112	1.0117	1.0134	1.0158	1.0168
9.00 น.	1.0156	1.0126	1.0103	1.0091	1.0088	1.0080	1.0080	1.0084	1.0088	1.0103	1.0126	1.0136
10.00 น.	1.0156	1.0126	1.0103	1.0091	1.0088	1.0080	1.0080	1.0084	1.0088	1.0103	1.0126	1.0136
11.00 น.	1.0163	1.0124	1.0093	1.0077	1.0072	1.0059	1.0054	1.0056	1.0058	1.0072	1.0093	1.0104
12.00 น.	1.0156	1.0126	1.0103	1.0091	1.0088	1.0080	1.0080	1.0084	1.0088	1.0103	1.0126	1.0136

ตารางผนวกที่ ซ3 (ต่อ)

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
13.00 น.	1.0163	1.0124	1.0093	1.0077	1.0072	1.0059	1.0054	1.0056	1.0058	1.0072	1.0093	1.0104
14.00 น.	1.0156	1.0126	1.0103	1.0091	1.0088	1.0080	1.0080	1.0084	1.0088	1.0103	1.0126	1.0136
15.00 น.	1.0150	1.0128	1.0113	1.0106	1.0104	1.0102	1.0106	1.0112	1.0117	1.0134	1.0158	1.0168
16.00 น.	1.0150	1.0128	1.0113	1.0106	1.0104	1.0102	1.0106	1.0112	1.0117	1.0134	1.0158	1.0168
17.00 น.	1.0156	1.0126	1.0103	1.0091	1.0088	1.0080	1.0080	1.0084	1.0088	1.0103	1.0126	1.0136
18.00 น.	1.0163	1.0124	1.0093	1.0077	1.0072	1.0059	1.0054	1.0056	1.0058	1.0072	1.0093	1.0104
19.00 น.	1.0170	1.0122	1.0084	1.0063	1.0056	1.0038	1.0029	1.0029	1.0030	1.0041	1.0062	1.0072
20.00 น.	1.0178	1.0122	1.0076	1.0049	1.0041	1.0017	1.0004	1.0003	1.0002	1.0011	1.0031	1.0041
21.00 น.	1.0163	1.0124	1.0093	1.0077	1.0072	1.0059	1.0054	1.0056	1.0058	1.0072	1.0093	1.0104
22.00 น.	1.0156	1.0126	1.0103	1.0091	1.0088	1.0080	1.0080	1.0084	1.0088	1.0103	1.0126	1.0136
23.00 น.	1.0144	1.0131	1.0123	1.0121	1.0121	1.0124	1.0133	1.0140	1.0146	1.0166	1.0191	1.0201
24.00 น.	1.0138	1.0133	1.0133	1.0136	1.0137	1.0145	1.0158	1.0167	1.0175	1.0197	1.0223	1.0233

ตารางผนวกที่ ซ4 พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย
1.00 น.	12.5753
2.00 น.	6.9904
3.00 น.	6.9904
4.00 น.	12.5753
5.00 น.	12.5753
6.00 น.	19.8405
7.00 น.	19.8405
8.00 น.	28.8193
9.00 น.	39.5453
10.00 น.	39.5453
11.00 น.	52.0546
12.00 น.	39.5453
13.00 น.	52.0546
14.00 น.	39.5453
15.00 น.	28.8193
16.00 น.	28.8193
17.00 น.	39.5453
18.00 น.	52.0546
19.00 น.	66.3840
20.00 น.	82.5715
21.00 น.	52.0546
22.00 น.	39.5453
23.00 น.	19.8405
24.00 น.	12.5753
รวมทั้งสิ้น	804.7071

ตารางผนวกที่ ซ5 พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย
1.00 น.	28.1964
2.00 น.	33.1646
3.00 น.	33.1646
4.00 น.	28.1964
5.00 น.	28.1964
6.00 น.	24.7803
7.00 น.	24.7803
8.00 น.	22.9126
9.00 น.	22.6128
10.00 น.	22.6128
11.00 น.	23.9025
12.00 น.	22.6128
13.00 น.	23.9025
14.00 น.	22.6128
15.00 น.	22.9126
16.00 น.	22.9126
17.00 น.	22.6128
18.00 น.	23.9025
19.00 น.	26.8035
20.00 น.	31.3361
21.00 น.	23.9025
22.00 น.	22.6128
23.00 น.	24.7803
24.00 น.	28.1964
รวมทั้งสิ้น	611.6197

ตารางผนวกที่ ซ6 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายตัวนำ หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	กระแสไฟฟ้าระหว่างบัสที่ (A)										
	Bus 1-2	Bus 2-3	Bus 3-4	Bus 4-5	Bus 5-6	Bus 6-7	Bus 7-8	Bus 8-9	Bus 9-10	Bus 10-11	Bus 11-12
1.00 น.	27.7111	30.0786	33.2687	33.2948	37.0854	41.3388	45.9046	45.9142	50.7067	55.6684	60.7487
2.00 น.	33.1368	35.9467	39.0229	39.0398	42.3166	45.7689	49.3440	49.3508	53.0234	56.7756	60.5866
3.00 น.	33.1368	35.9467	39.0229	39.0398	42.3166	45.7689	49.3440	49.3508	53.0234	56.7756	60.5866
4.00 น.	27.7111	30.0786	33.2687	33.2948	37.0854	41.3388	45.9046	45.9142	50.7067	55.6684	60.7487
5.00 น.	27.7111	30.0786	33.2687	33.2948	37.0854	41.3388	45.9046	45.9142	50.7067	55.6684	60.7487
6.00 น.	26.3894	26.7297	28.8926	28.9299	32.5429	37.2252	42.5977	42.6105	48.4422	54.5871	60.9382
7.00 น.	26.3894	26.7297	28.8926	28.9299	32.5429	37.2252	42.5977	42.6105	48.4422	54.5871	60.9382
8.00 น.	29.7624	26.8905	26.6018	26.6502	29.0171	33.5356	39.4400	39.4565	46.2170	53.5112	61.1328
9.00 น.	36.5960	30.5497	26.9731	27.0286	26.9388	30.4396	36.4755	36.4963	44.0365	52.4381	61.3288
10.00 น.	36.5960	30.5497	26.9731	27.0286	26.9388	30.4396	36.4755	36.4963	44.0365	52.4381	61.3288
11.00 น.	45.3871	36.7125	29.9448	30.0019	26.6796	28.1530	33.7638	33.7894	41.9098	51.3668	61.5246
12.00 น.	36.5960	30.5497	26.9731	27.0286	26.9388	30.4396	36.4755	36.4963	44.0365	52.4381	61.3288

ตารางผนวกที่ ซ6 (ต่อ)

เวลา	กระแสไฟฟ้าระหว่างบัสที่ (A)										
	Bus 1-2	Bus 2-3	Bus 3-4	Bus 4-5	Bus 5-6	Bus 6-7	Bus 7-8	Bus 8-9	Bus 9-10	Bus 10-11	Bus 11-12
13.00 น.	45.3871	36.7125	29.9448	30.0019	26.6796	28.1530	33.7638	33.7894	41.9098	51.3668	61.5246
14.00 น.	36.5960	30.5497	26.9731	27.0286	26.9388	30.4396	36.4755	36.4963	44.0365	52.4381	61.3288
15.00 น.	29.7624	26.8905	26.6018	26.6502	29.0171	33.5356	39.4400	39.4565	46.2170	53.5112	61.1328
16.00 น.	29.7624	26.8905	26.6018	26.6502	29.0171	33.5356	39.4400	39.4565	46.2170	53.5112	61.1328
17.00 น.	36.5960	30.5497	26.9731	27.0286	26.9388	30.4396	36.4755	36.4963	44.0365	52.4381	61.3288
18.00 น.	45.3871	36.7125	29.9448	30.0019	26.6796	28.1530	33.7638	33.7894	41.9098	51.3668	61.5246
19.00 น.	55.2353	44.3771	34.8898	34.9449	28.3192	26.9041	31.3803	31.4112	39.8484	50.2971	61.7184
20.00 น.	65.6872	52.9180	41.1272	41.1791	31.5885	26.8590	29.4162	29.4527	37.8663	49.2287	61.9087
21.00 น.	45.3871	36.7125	29.9448	30.0019	26.6796	28.1530	33.7638	33.7894	41.9098	51.3668	61.5246
22.00 น.	36.5960	30.5497	26.9731	27.0286	26.9388	30.4396	36.4755	36.4963	44.0365	52.4381	61.3288
23.00 น.	26.3894	26.7297	28.8926	28.9299	32.5429	37.2252	42.5977	42.6105	48.4422	54.5871	60.9382
24.00 น.	27.7111	30.0786	33.2687	33.2948	37.0854	41.3388	45.9046	45.9142	50.7067	55.6684	60.7487

ภาคผนวก ฌ

ผลการคำนวณ กรณีศึกษาที่ 3.1

ตารางผนวกที่ ฌ1 ภาพรวมผลการคำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย	6.436	MW
พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ก่อนเชื่อมต่อ	1861.3815	kW-hr.
พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย หลังเชื่อมต่อ	1715.7023	kW-hr.
พลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เปลี่ยนแปลง (+เพิ่ม/-ลด)	-145.6791	kW-hr.
คิดเป็นสัดส่วนจากพลังงานที่ขายทั้งหมด	-0.09	%

ตารางผนวกที่ ฌ2 แรงดันบัส ก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
1.00 น.	1.0250	1.0198	1.0153	1.0123	1.0114	1.0081	1.0055	1.0045	1.0036	1.0023	1.0017	1.0017
2.00 น.	1.0250	1.0212	1.0178	1.0156	1.0149	1.0125	1.0106	1.0098	1.0091	1.0081	1.0077	1.0077
3.00 น.	1.0250	1.0212	1.0178	1.0156	1.0149	1.0125	1.0106	1.0098	1.0091	1.0081	1.0077	1.0077
4.00 น.	1.0250	1.0198	1.0153	1.0123	1.0114	1.0081	1.0055	1.0045	1.0036	1.0023	1.0017	1.0017
5.00 น.	1.0250	1.0198	1.0153	1.0123	1.0114	1.0081	1.0055	1.0045	1.0036	1.0023	1.0017	1.0017
6.00 น.	1.0250	1.0185	1.0128	1.0090	1.0079	1.0038	1.0005	0.9992	0.9980	0.9964	0.9956	0.9956
7.00 น.	1.0250	1.0185	1.0128	1.0090	1.0079	1.0038	1.0005	0.9992	0.9980	0.9964	0.9956	0.9956
8.00 น.	1.0250	1.0171	1.0102	1.0057	1.0043	0.9993	0.9954	0.9938	0.9924	0.9904	0.9894	0.9894
9.00 น.	1.0250	1.0157	1.0076	1.0023	1.0006	0.9948	0.9902	0.9883	0.9867	0.9844	0.9832	0.9832
10.00 น.	1.0250	1.0157	1.0076	1.0023	1.0006	0.9948	0.9902	0.9883	0.9867	0.9844	0.9832	0.9832
11.00 น.	1.0250	1.0143	1.0050	0.9989	0.9970	0.9903	0.9849	0.9828	0.9809	0.9782	0.9769	0.9769
12.00 น.	1.0250	1.0157	1.0076	1.0023	1.0006	0.9948	0.9902	0.9883	0.9867	0.9844	0.9832	0.9832

ตารางผนวกที่ ฌ2 (ต่อ)

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
13.00 น.	1.0250	1.0143	1.0050	0.9989	0.9970	0.9903	0.9849	0.9828	0.9809	0.9782	0.9769	0.9769
14.00 น.	1.0250	1.0157	1.0076	1.0023	1.0006	0.9948	0.9902	0.9883	0.9867	0.9844	0.9832	0.9832
15.00 น.	1.0250	1.0171	1.0102	1.0057	1.0043	0.9993	0.9954	0.9938	0.9924	0.9904	0.9894	0.9894
16.00 น.	1.0250	1.0171	1.0102	1.0057	1.0043	0.9993	0.9954	0.9938	0.9924	0.9904	0.9894	0.9894
17.00 น.	1.0250	1.0157	1.0076	1.0023	1.0006	0.9948	0.9902	0.9883	0.9867	0.9844	0.9832	0.9832
18.00 น.	1.0250	1.0143	1.0050	0.9989	0.9970	0.9903	0.9849	0.9828	0.9809	0.9782	0.9769	0.9769
19.00 น.	1.0250	1.0129	1.0023	0.9954	0.9933	0.9857	0.9796	0.9772	0.9751	0.9720	0.9705	0.9705
20.00 น.	1.0250	1.0115	0.9997	0.9919	0.9895	0.9810	0.9742	0.9715	0.9691	0.9658	0.9640	0.9640
21.00 น.	1.0250	1.0143	1.0050	0.9989	0.9970	0.9903	0.9849	0.9828	0.9809	0.9782	0.9769	0.9769
22.00 น.	1.0250	1.0157	1.0076	1.0023	1.0006	0.9948	0.9902	0.9883	0.9867	0.9844	0.9832	0.9832
23.00 น.	1.0250	1.0185	1.0128	1.0090	1.0079	1.0038	1.0005	0.9992	0.9980	0.9964	0.9956	0.9956
24.00 น.	1.0250	1.0198	1.0153	1.0123	1.0114	1.0081	1.0055	1.0045	1.0036	1.0023	1.0017	1.0017

ตารางผนวกที่ ฌ3 แรงดันบัส หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
1.00 น.	1.0136	1.0165	1.0201	1.0234	1.0225	1.0193	1.0167	1.0157	1.0148	1.0135	1.0129	1.0129
2.00 น.	1.0127	1.0169	1.0216	1.0257	1.0250	1.0226	1.0207	1.0199	1.0193	1.0183	1.0178	1.0178
3.00 น.	1.0127	1.0169	1.0216	1.0257	1.0250	1.0226	1.0207	1.0199	1.0193	1.0183	1.0178	1.0178
4.00 น.	1.0136	1.0165	1.0201	1.0234	1.0225	1.0193	1.0167	1.0157	1.0148	1.0135	1.0129	1.0129
5.00 น.	1.0136	1.0165	1.0201	1.0234	1.0225	1.0193	1.0167	1.0157	1.0148	1.0135	1.0129	1.0129
6.00 น.	1.0141	1.0158	1.0183	1.0208	1.0197	1.0157	1.0124	1.0111	1.0100	1.0084	1.0076	1.0076
7.00 น.	1.0141	1.0158	1.0183	1.0208	1.0197	1.0157	1.0124	1.0111	1.0100	1.0084	1.0076	1.0076
8.00 น.	1.0148	1.0151	1.0165	1.0183	1.0169	1.0120	1.0081	1.0066	1.0052	1.0032	1.0023	1.0023
9.00 น.	1.0155	1.0145	1.0147	1.0158	1.0142	1.0085	1.0039	1.0020	1.0004	0.9981	0.9970	0.9970
10.00 น.	1.0155	1.0145	1.0147	1.0158	1.0142	1.0085	1.0039	1.0020	1.0004	0.9981	0.9970	0.9970
11.00 น.	1.0164	1.0141	1.0132	1.0135	1.0116	1.0050	0.9998	0.9976	0.9958	0.9932	0.9918	0.9918
12.00 น.	1.0155	1.0145	1.0147	1.0158	1.0142	1.0085	1.0039	1.0020	1.0004	0.9981	0.9970	0.9970

ตารางผนวกที่ ฌ3 (ต่อ)

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
13.00 น.	1.0164	1.0141	1.0132	1.0135	1.0116	1.0050	0.9998	0.9976	0.9958	0.9932	0.9918	0.9918
14.00 น.	1.0155	1.0145	1.0147	1.0158	1.0142	1.0085	1.0039	1.0020	1.0004	0.9981	0.9970	0.9970
15.00 น.	1.0148	1.0151	1.0165	1.0183	1.0169	1.0120	1.0081	1.0066	1.0052	1.0032	1.0023	1.0023
16.00 น.	1.0148	1.0151	1.0165	1.0183	1.0169	1.0120	1.0081	1.0066	1.0052	1.0032	1.0023	1.0023
17.00 น.	1.0155	1.0145	1.0147	1.0158	1.0142	1.0085	1.0039	1.0020	1.0004	0.9981	0.9970	0.9970
18.00 น.	1.0164	1.0141	1.0132	1.0135	1.0116	1.0050	0.9998	0.9976	0.9958	0.9932	0.9918	0.9918
19.00 น.	1.0176	1.0140	1.0118	1.0113	1.0093	1.0018	0.9958	0.9935	0.9914	0.9884	0.9869	0.9869
20.00 น.	1.0191	1.0142	1.0109	1.0096	1.0073	0.9990	0.9923	0.9896	0.9873	0.9840	0.9823	0.9823
21.00 น.	1.0164	1.0141	1.0132	1.0135	1.0116	1.0050	0.9998	0.9976	0.9958	0.9932	0.9918	0.9918
22.00 น.	1.0155	1.0145	1.0147	1.0158	1.0142	1.0085	1.0039	1.0020	1.0004	0.9981	0.9970	0.9970
23.00 น.	1.0141	1.0158	1.0183	1.0208	1.0197	1.0157	1.0124	1.0111	1.0100	1.0084	1.0076	1.0076
24.00 น.	1.0136	1.0165	1.0201	1.0234	1.0225	1.0193	1.0167	1.0157	1.0148	1.0135	1.0129	1.0129

ตารางผนวกที่ ฌ4 พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย
1.00 น.	28.8193
2.00 น.	15.9958
3.00 น.	15.9958
4.00 น.	28.8193
5.00 น.	28.8193
6.00 น.	45.5748
7.00 น.	45.5748
8.00 น.	66.3840
9.00 น.	91.3744
10.00 น.	91.3744
11.00 น.	120.6802
12.00 น.	91.3744
13.00 น.	120.6802
14.00 น.	91.3744
15.00 น.	66.3840
16.00 น.	66.3840
17.00 น.	91.3744
18.00 น.	120.6802
19.00 น.	154.4460
20.00 น.	192.8230
21.00 น.	120.6802
22.00 น.	91.3744
23.00 น.	45.5748
24.00 น.	28.8193
รวมทั้งสิ้น	1,861.3815

ตารางผนวกที่ ฌ5 พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย
1.00 น.	76.3566
2.00 น.	87.2584
3.00 น.	87.2584
4.00 น.	76.3566
5.00 น.	76.3566
6.00 น.	69.0274
7.00 น.	69.0274
8.00 น.	65.3094
9.00 น.	65.2874
10.00 น.	65.2874
11.00 น.	69.0455
12.00 น.	65.2874
13.00 น.	69.0455
14.00 น.	65.2874
15.00 น.	65.3094
16.00 น.	65.3094
17.00 น.	65.2874
18.00 น.	69.0455
19.00 น.	76.6589
20.00 น.	88.1836
21.00 น.	69.0455
22.00 น.	65.2874
23.00 น.	69.0274
24.00 น.	76.3566
รวมทั้งสิ้น	1,715.7023

ตารางผนวกที่ ฌ6 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายตัวนำ หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	กระแสไฟฟ้าระหว่างบัสที่ (A)										
	Bus 1-2	Bus 2-3	Bus 3-4	Bus 4-5	Bus 5-6	Bus 6-7	Bus 7-8	Bus 8-9	Bus 9-10	Bus 10-11	Bus 11-12
1.00 น.	107.3104	113.8357	120.6313	51.2730	42.7629	34.2447	25.6933	25.7177	17.1483	8.5810	0.0191
2.00 น.	120.4235	125.6510	130.9880	38.2358	31.8765	25.5209	19.1420	19.1663	12.7766	6.3939	0.0192
3.00 น.	120.4235	125.6510	130.9880	38.2358	31.8765	25.5209	19.1420	19.1663	12.7766	6.3939	0.0192
4.00 น.	107.3104	113.8357	120.6313	51.2730	42.7629	34.2447	25.6933	25.7177	17.1483	8.5810	0.0191
5.00 น.	107.3104	113.8357	120.6313	51.2730	42.7629	34.2447	25.6933	25.7177	17.1483	8.5810	0.0191
6.00 น.	95.4062	102.7827	110.7370	64.4342	53.7597	43.0613	32.3170	32.3414	21.5695	10.7932	0.0190
7.00 น.	95.4062	102.7827	110.7370	64.4342	53.7597	43.0613	32.3170	32.3414	21.5695	10.7932	0.0190
8.00 น.	85.2421	92.7720	101.4323	77.7096	64.8588	51.9646	39.0086	39.0329	26.0373	13.0291	0.0189
9.00 น.	77.5833	84.2355	92.9356	91.0954	76.0574	60.9523	45.7664	45.7907	30.5506	15.2882	0.0188
10.00 น.	77.5833	84.2355	92.9356	91.0954	76.0574	60.9523	45.7664	45.7907	30.5506	15.2882	0.0188
11.00 น.	73.3058	77.7304	85.5374	104.5834	87.3488	70.0195	52.5868	52.6111	35.1071	17.5693	0.0187
12.00 น.	77.5833	84.2355	92.9356	91.0954	76.0574	60.9523	45.7664	45.7907	30.5506	15.2882	0.0188

ตารางผนวกที่ ฌ6 (ต่อ)

เวลา	กระแสไฟฟ้าระหว่างบัสที่ (A)										
	Bus 1-2	Bus 2-3	Bus 3-4	Bus 4-5	Bus 5-6	Bus 6-7	Bus 7-8	Bus 8-9	Bus 9-10	Bus 10-11	Bus 11-12
13.00 น.	73.3058	77.7304	85.5374	104.5834	87.3488	70.0195	52.5868	52.6111	35.1071	17.5693	0.0187
14.00 น.	77.5833	84.2355	92.9356	91.0954	76.0574	60.9523	45.7664	45.7907	30.5506	15.2882	0.0188
15.00 น.	85.2421	92.7720	101.4323	77.7096	64.8588	51.9646	39.0086	39.0329	26.0373	13.0291	0.0189
16.00 น.	85.2421	92.7720	101.4323	77.7096	64.8588	51.9646	39.0086	39.0329	26.0373	13.0291	0.0189
17.00 น.	77.5833	84.2355	92.9356	91.0954	76.0574	60.9523	45.7664	45.7907	30.5506	15.2882	0.0188
18.00 น.	73.3058	77.7304	85.5374	104.5834	87.3488	70.0195	52.5868	52.6111	35.1071	17.5693	0.0187
19.00 น.	73.0892	73.8678	79.5990	118.1581	98.7202	79.1559	59.4622	59.4864	39.7018	19.8700	0.0186
20.00 น.	77.0359	73.1361	75.5218	131.7942	110.1506	88.3447	66.3800	66.4042	44.3263	22.1860	0.0186
21.00 น.	73.3058	77.7304	85.5374	104.5834	87.3488	70.0195	52.5868	52.6111	35.1071	17.5693	0.0187
22.00 น.	77.5833	84.2355	92.9356	91.0954	76.0574	60.9523	45.7664	45.7907	30.5506	15.2882	0.0188
23.00 น.	95.4062	102.7827	110.7370	64.4342	53.7597	43.0613	32.3170	32.3414	21.5695	10.7932	0.0190
24.00 น.	107.3104	113.8357	120.6313	51.2730	42.7629	34.2447	25.6933	25.7177	17.1483	8.5810	0.0191

ภาคผนวก ญ

ผลการคำนวณ กรณีศึกษาที่ 3.2

ตารางผนวกที่ ญ1 ภาพรวมผลการคำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย	4.049	MW
พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ก่อนเชื่อมต่อ	1861.3815	kW-hr.
พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย หลังเชื่อมต่อ	941.9548	kW-hr.
พลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เปลี่ยนแปลง (+เพิ่ม/-ลด)	-919.4267	kW-hr.
คิดเป็นสัดส่วนจากพลังงานที่ขายทั้งหมด	-0.95	%

ตารางผนวกที่ ญ2 แรงดันบัส ก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
1.00 น.	1.0250	1.0198	1.0153	1.0123	1.0114	1.0081	1.0055	1.0045	1.0036	1.0023	1.0017	1.0017
2.00 น.	1.0250	1.0212	1.0178	1.0156	1.0149	1.0125	1.0106	1.0098	1.0091	1.0081	1.0077	1.0077
3.00 น.	1.0250	1.0212	1.0178	1.0156	1.0149	1.0125	1.0106	1.0098	1.0091	1.0081	1.0077	1.0077
4.00 น.	1.0250	1.0198	1.0153	1.0123	1.0114	1.0081	1.0055	1.0045	1.0036	1.0023	1.0017	1.0017
5.00 น.	1.0250	1.0198	1.0153	1.0123	1.0114	1.0081	1.0055	1.0045	1.0036	1.0023	1.0017	1.0017
6.00 น.	1.0250	1.0185	1.0128	1.0090	1.0079	1.0038	1.0005	0.9992	0.9980	0.9964	0.9956	0.9956
7.00 น.	1.0250	1.0185	1.0128	1.0090	1.0079	1.0038	1.0005	0.9992	0.9980	0.9964	0.9956	0.9956
8.00 น.	1.0250	1.0171	1.0102	1.0057	1.0043	0.9993	0.9954	0.9938	0.9924	0.9904	0.9894	0.9894
9.00 น.	1.0250	1.0157	1.0076	1.0023	1.0006	0.9948	0.9902	0.9883	0.9867	0.9844	0.9832	0.9832
10.00 น.	1.0250	1.0157	1.0076	1.0023	1.0006	0.9948	0.9902	0.9883	0.9867	0.9844	0.9832	0.9832
11.00 น.	1.0250	1.0143	1.0050	0.9989	0.9970	0.9903	0.9849	0.9828	0.9809	0.9782	0.9769	0.9769
12.00 น.	1.0250	1.0157	1.0076	1.0023	1.0006	0.9948	0.9902	0.9883	0.9867	0.9844	0.9832	0.9832

ตารางผนวกที่ ญ2 (ต่อ)

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
13.00 น.	1.0250	1.0143	1.0050	0.9989	0.9970	0.9903	0.9849	0.9828	0.9809	0.9782	0.9769	0.9769
14.00 น.	1.0250	1.0157	1.0076	1.0023	1.0006	0.9948	0.9902	0.9883	0.9867	0.9844	0.9832	0.9832
15.00 น.	1.0250	1.0171	1.0102	1.0057	1.0043	0.9993	0.9954	0.9938	0.9924	0.9904	0.9894	0.9894
16.00 น.	1.0250	1.0171	1.0102	1.0057	1.0043	0.9993	0.9954	0.9938	0.9924	0.9904	0.9894	0.9894
17.00 น.	1.0250	1.0157	1.0076	1.0023	1.0006	0.9948	0.9902	0.9883	0.9867	0.9844	0.9832	0.9832
18.00 น.	1.0250	1.0143	1.0050	0.9989	0.9970	0.9903	0.9849	0.9828	0.9809	0.9782	0.9769	0.9769
19.00 น.	1.0250	1.0129	1.0023	0.9954	0.9933	0.9857	0.9796	0.9772	0.9751	0.9720	0.9705	0.9705
20.00 น.	1.0250	1.0115	0.9997	0.9919	0.9895	0.9810	0.9742	0.9715	0.9691	0.9658	0.9640	0.9640
21.00 น.	1.0250	1.0143	1.0050	0.9989	0.9970	0.9903	0.9849	0.9828	0.9809	0.9782	0.9769	0.9769
22.00 น.	1.0250	1.0157	1.0076	1.0023	1.0006	0.9948	0.9902	0.9883	0.9867	0.9844	0.9832	0.9832
23.00 น.	1.0250	1.0185	1.0128	1.0090	1.0079	1.0038	1.0005	0.9992	0.9980	0.9964	0.9956	0.9956
24.00 น.	1.0250	1.0198	1.0153	1.0123	1.0114	1.0081	1.0055	1.0045	1.0036	1.0023	1.0017	1.0017

ตารางผนวกที่ ญ3 แรงดันบัส หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
1.00 น.	1.0136	1.0135	1.0141	1.0151	1.0154	1.0173	1.0199	1.0216	1.0207	1.0194	1.0188	1.0188
2.00 น.	1.0127	1.0139	1.0156	1.0172	1.0178	1.0205	1.0237	1.0257	1.0250	1.0240	1.0236	1.0236
3.00 น.	1.0127	1.0139	1.0156	1.0172	1.0178	1.0205	1.0237	1.0257	1.0250	1.0240	1.0236	1.0236
4.00 น.	1.0136	1.0135	1.0141	1.0151	1.0154	1.0173	1.0199	1.0216	1.0207	1.0194	1.0188	1.0188
5.00 น.	1.0136	1.0135	1.0141	1.0151	1.0154	1.0173	1.0199	1.0216	1.0207	1.0194	1.0188	1.0188
6.00 น.	1.0143	1.0129	1.0124	1.0126	1.0127	1.0138	1.0157	1.0172	1.0161	1.0145	1.0137	1.0137
7.00 น.	1.0143	1.0129	1.0124	1.0126	1.0127	1.0138	1.0157	1.0172	1.0161	1.0145	1.0137	1.0137
8.00 น.	1.0149	1.0123	1.0107	1.0101	1.0100	1.0103	1.0116	1.0128	1.0115	1.0095	1.0086	1.0086
9.00 น.	1.0157	1.0118	1.0090	1.0077	1.0073	1.0068	1.0075	1.0085	1.0069	1.0046	1.0035	1.0035
10.00 น.	1.0157	1.0118	1.0090	1.0077	1.0073	1.0068	1.0075	1.0085	1.0069	1.0046	1.0035	1.0035
11.00 น.	1.0166	1.0114	1.0074	1.0054	1.0048	1.0035	1.0035	1.0042	1.0024	0.9998	0.9984	0.9984
12.00 น.	1.0157	1.0118	1.0090	1.0077	1.0073	1.0068	1.0075	1.0085	1.0069	1.0046	1.0035	1.0035

ตารางผนวกที่ ญ3 (ต่อ)

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
13.00 น.	1.0166	1.0114	1.0074	1.0054	1.0048	1.0035	1.0035	1.0042	1.0024	0.9998	0.9984	0.9984
14.00 น.	1.0157	1.0118	1.0090	1.0077	1.0073	1.0068	1.0075	1.0085	1.0069	1.0046	1.0035	1.0035
15.00 น.	1.0149	1.0123	1.0107	1.0101	1.0100	1.0103	1.0116	1.0128	1.0115	1.0095	1.0086	1.0086
16.00 น.	1.0149	1.0123	1.0107	1.0101	1.0100	1.0103	1.0116	1.0128	1.0115	1.0095	1.0086	1.0086
17.00 น.	1.0157	1.0118	1.0090	1.0077	1.0073	1.0068	1.0075	1.0085	1.0069	1.0046	1.0035	1.0035
18.00 น.	1.0166	1.0114	1.0074	1.0054	1.0048	1.0035	1.0035	1.0042	1.0024	0.9998	0.9984	0.9984
19.00 น.	1.0178	1.0112	1.0061	1.0033	1.0025	1.0004	0.9997	1.0001	0.9981	0.9951	0.9936	0.9936
20.00 น.	1.0192	1.0113	1.0051	1.0016	1.0005	0.9975	0.9962	0.9964	0.9940	0.9907	0.9891	0.9891
21.00 น.	1.0166	1.0114	1.0074	1.0054	1.0048	1.0035	1.0035	1.0042	1.0024	0.9998	0.9984	0.9984
22.00 น.	1.0157	1.0118	1.0090	1.0077	1.0073	1.0068	1.0075	1.0085	1.0069	1.0046	1.0035	1.0035
23.00 น.	1.0143	1.0129	1.0124	1.0126	1.0127	1.0138	1.0157	1.0172	1.0161	1.0145	1.0137	1.0137
24.00 น.	1.0136	1.0135	1.0141	1.0151	1.0154	1.0173	1.0199	1.0216	1.0207	1.0194	1.0188	1.0188

ตารางผนวกที่ ญ4 พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย
1.00 น.	28.8193
2.00 น.	15.9958
3.00 น.	15.9958
4.00 น.	28.8193
5.00 น.	28.8193
6.00 น.	45.5748
7.00 น.	45.5748
8.00 น.	66.3840
9.00 น.	91.3744
10.00 น.	91.3744
11.00 น.	120.6802
12.00 น.	91.3744
13.00 น.	120.6802
14.00 น.	91.3744
15.00 น.	66.3840
16.00 น.	66.3840
17.00 น.	91.3744
18.00 น.	120.6802
19.00 น.	154.4460
20.00 น.	192.8230
21.00 น.	120.6802
22.00 น.	91.3744
23.00 น.	45.5748
24.00 น.	28.8193
รวมทั้งสิ้น	1,861.3815

ตารางผนวกที่ ญ5 พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย
1.00 น.	45.5459
2.00 น.	56.7437
3.00 น.	56.7437
4.00 น.	45.5459
5.00 น.	45.5459
6.00 น.	37.7651
7.00 น.	37.7651
8.00 น.	33.4495
9.00 น.	32.6774
10.00 น.	32.6774
11.00 น.	35.5281
12.00 น.	32.6774
13.00 น.	35.5281
14.00 น.	32.6774
15.00 น.	33.4495
16.00 น.	33.4495
17.00 น.	32.6774
18.00 น.	35.5281
19.00 น.	42.0767
20.00 น.	52.3866
21.00 น.	35.5281
22.00 น.	32.6774
23.00 น.	37.7651
24.00 น.	45.5459
รวมทั้งสิ้น	941.9548

ตารางผนวกที่ ญ6 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายตัวนำ หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	กระแสไฟฟ้าระหว่างบัสที่ (A)										
	Bus 1-2	Bus 2-3	Bus 3-4	Bus 4-5	Bus 5-6	Bus 6-7	Bus 7-8	Bus 8-9	Bus 9-10	Bus 10-11	Bus 11-12
1.00 น.	51.5740	56.2198	61.7324	61.7536	67.9105	74.5699	81.5845	25.5673	17.0479	8.5307	0.0192
2.00 น.	61.5094	66.0526	70.8954	70.9095	75.9852	81.2616	86.6848	19.0577	12.7041	6.3576	0.0193
3.00 น.	61.5094	66.0526	70.8954	70.9095	75.9852	81.2616	86.6848	19.0577	12.7041	6.3576	0.0193
4.00 น.	51.5740	56.2198	61.7324	61.7536	67.9105	74.5699	81.5845	25.5673	17.0479	8.5307	0.0192
5.00 น.	51.5740	56.2198	61.7324	61.7536	67.9105	74.5699	81.5845	25.5673	17.0479	8.5307	0.0192
6.00 น.	45.9299	48.9225	53.9539	53.9839	60.5373	68.2032	76.6179	32.1457	21.4387	10.7277	0.0192
7.00 น.	45.9299	48.9225	53.9539	53.9839	60.5373	68.2032	76.6179	32.1457	21.4387	10.7277	0.0192
8.00 น.	46.2793	45.4808	48.2854	48.3255	54.1754	62.2617	71.7983	38.7889	25.8741	12.9474	0.0191
9.00 น.	52.6116	46.8586	45.6068	45.6562	49.2746	56.9085	67.1683	45.4955	30.3532	15.1893	0.0190
10.00 น.	52.6116	46.8586	45.6068	45.6562	49.2746	56.9085	67.1683	45.4955	30.3532	15.1893	0.0190
11.00 น.	63.2407	52.7720	46.5240	46.5793	46.3646	52.3607	62.7852	52.2624	34.8738	17.4525	0.0189
12.00 น.	52.6116	46.8586	45.6068	45.6562	49.2746	56.9085	67.1683	45.4955	30.3532	15.1893	0.0190

ตารางผนวกที่ ญ6 (ต่อ)

เวลา	กระแสไฟฟ้าระหว่างบัสที่ (A)										
	Bus 1-2	Bus 2-3	Bus 3-4	Bus 4-5	Bus 5-6	Bus 6-7	Bus 7-8	Bus 8-9	Bus 9-10	Bus 10-11	Bus 11-12
13.00 น.	63.2407	52.7720	46.5240	46.5793	46.3646	52.3607	62.7852	52.2624	34.8738	17.4525	0.0189
14.00 น.	52.6116	46.8586	45.6068	45.6562	49.2746	56.9085	67.1683	45.4955	30.3532	15.1893	0.0190
15.00 น.	46.2793	45.4808	48.2854	48.3255	54.1754	62.2617	71.7983	38.7889	25.8741	12.9474	0.0191
16.00 น.	46.2793	45.4808	48.2854	48.3255	54.1754	62.2617	71.7983	38.7889	25.8741	12.9474	0.0191
17.00 น.	52.6116	46.8586	45.6068	45.6562	49.2746	56.9085	67.1683	45.4955	30.3532	15.1893	0.0190
18.00 น.	63.2407	52.7720	46.5240	46.5793	46.3646	52.3607	62.7852	52.2624	34.8738	17.4525	0.0189
19.00 น.	76.4585	62.0089	50.9182	50.9751	45.8901	48.8840	58.7217	59.0834	39.4321	19.7349	0.0188
20.00 น.	91.1869	73.3751	58.0632	58.1186	47.9813	46.7601	55.0688	65.9494	44.0218	22.0334	0.0187
21.00 น.	63.2407	52.7720	46.5240	46.5793	46.3646	52.3607	62.7852	52.2623	34.8738	17.4525	0.0189
22.00 น.	52.6116	46.8586	45.6068	45.6562	49.2746	56.9085	67.1683	45.4955	30.3532	15.1893	0.0190
23.00 น.	45.9299	48.9225	53.9539	53.9839	60.5373	68.2032	76.6179	32.1457	21.4387	10.7277	0.0192
24.00 น.	51.5740	56.2198	61.7324	61.7536	67.9105	74.5699	81.5845	25.5673	17.0479	8.5307	0.0192

ภาคผนวก ฐ

ผลการคำนวณ กรณีศึกษาที่ 3.3

ตารางผนวกที่ ฐ1 ภาพรวมผลการคำนวณขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย	2.965	MW
พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ก่อนเชื่อมต่อ	1861.3815	kW-hr.
พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย หลังเชื่อมต่อ	1020.9754	kW-hr.
พลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เปลี่ยนแปลง (+เพิ่ม/-ลด)	-840.4061	kW-hr.
คิดเป็นสัดส่วนจากพลังงานที่ขายทั้งหมด	-1.18	%

ตารางผนวกที่ ฐ2 แรงดันบัส ก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
1.00 น.	1.0250	1.0198	1.0153	1.0123	1.0114	1.0081	1.0055	1.0045	1.0036	1.0023	1.0017	1.0017
2.00 น.	1.0250	1.0212	1.0178	1.0156	1.0149	1.0125	1.0106	1.0098	1.0091	1.0081	1.0077	1.0077
3.00 น.	1.0250	1.0212	1.0178	1.0156	1.0149	1.0125	1.0106	1.0098	1.0091	1.0081	1.0077	1.0077
4.00 น.	1.0250	1.0198	1.0153	1.0123	1.0114	1.0081	1.0055	1.0045	1.0036	1.0023	1.0017	1.0017
5.00 น.	1.0250	1.0198	1.0153	1.0123	1.0114	1.0081	1.0055	1.0045	1.0036	1.0023	1.0017	1.0017
6.00 น.	1.0250	1.0185	1.0128	1.0090	1.0079	1.0038	1.0005	0.9992	0.9980	0.9964	0.9956	0.9956
7.00 น.	1.0250	1.0185	1.0128	1.0090	1.0079	1.0038	1.0005	0.9992	0.9980	0.9964	0.9956	0.9956
8.00 น.	1.0250	1.0171	1.0102	1.0057	1.0043	0.9993	0.9954	0.9938	0.9924	0.9904	0.9894	0.9894
9.00 น.	1.0250	1.0157	1.0076	1.0023	1.0006	0.9948	0.9902	0.9883	0.9867	0.9844	0.9832	0.9832
10.00 น.	1.0250	1.0157	1.0076	1.0023	1.0006	0.9948	0.9902	0.9883	0.9867	0.9844	0.9832	0.9832
11.00 น.	1.0250	1.0143	1.0050	0.9989	0.9970	0.9903	0.9849	0.9828	0.9809	0.9782	0.9769	0.9769
12.00 น.	1.0250	1.0157	1.0076	1.0023	1.0006	0.9948	0.9902	0.9883	0.9867	0.9844	0.9832	0.9832

ตารางผนวกที่ ฐ2 (ต่อ)

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
13.00 น.	1.0250	1.0143	1.0050	0.9989	0.9970	0.9903	0.9849	0.9828	0.9809	0.9782	0.9769	0.9769
14.00 น.	1.0250	1.0157	1.0076	1.0023	1.0006	0.9948	0.9902	0.9883	0.9867	0.9844	0.9832	0.9832
15.00 น.	1.0250	1.0171	1.0102	1.0057	1.0043	0.9993	0.9954	0.9938	0.9924	0.9904	0.9894	0.9894
16.00 น.	1.0250	1.0171	1.0102	1.0057	1.0043	0.9993	0.9954	0.9938	0.9924	0.9904	0.9894	0.9894
17.00 น.	1.0250	1.0157	1.0076	1.0023	1.0006	0.9948	0.9902	0.9883	0.9867	0.9844	0.9832	0.9832
18.00 น.	1.0250	1.0143	1.0050	0.9989	0.9970	0.9903	0.9849	0.9828	0.9809	0.9782	0.9769	0.9769
19.00 น.	1.0250	1.0129	1.0023	0.9954	0.9933	0.9857	0.9796	0.9772	0.9751	0.9720	0.9705	0.9705
20.00 น.	1.0250	1.0115	0.9997	0.9919	0.9895	0.9810	0.9742	0.9715	0.9691	0.9658	0.9640	0.9640
21.00 น.	1.0250	1.0143	1.0050	0.9989	0.9970	0.9903	0.9849	0.9828	0.9809	0.9782	0.9769	0.9769
22.00 น.	1.0250	1.0157	1.0076	1.0023	1.0006	0.9948	0.9902	0.9883	0.9867	0.9844	0.9832	0.9832
23.00 น.	1.0250	1.0185	1.0128	1.0090	1.0079	1.0038	1.0005	0.9992	0.9980	0.9964	0.9956	0.9956
24.00 น.	1.0250	1.0198	1.0153	1.0123	1.0114	1.0081	1.0055	1.0045	1.0036	1.0023	1.0017	1.0017

ตารางผนวกที่ ฐ3 แรงดันบัส หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
1.00 น.	1.0140	1.0125	1.0117	1.0116	1.0116	1.0121	1.0132	1.0142	1.0150	1.0175	1.0206	1.0219
2.00 น.	1.0127	1.0125	1.0128	1.0134	1.0136	1.0149	1.0167	1.0179	1.0189	1.0217	1.0250	1.0263
3.00 น.	1.0127	1.0125	1.0128	1.0134	1.0136	1.0149	1.0167	1.0179	1.0189	1.0217	1.0250	1.0263
4.00 น.	1.0140	1.0125	1.0117	1.0116	1.0116	1.0121	1.0132	1.0142	1.0150	1.0175	1.0206	1.0219
5.00 น.	1.0140	1.0125	1.0117	1.0116	1.0116	1.0121	1.0132	1.0142	1.0150	1.0175	1.0206	1.0219
6.00 น.	1.0148	1.0120	1.0101	1.0092	1.0090	1.0087	1.0092	1.0099	1.0105	1.0126	1.0156	1.0169
7.00 น.	1.0148	1.0120	1.0101	1.0092	1.0090	1.0087	1.0092	1.0099	1.0105	1.0126	1.0156	1.0169
8.00 น.	1.0156	1.0115	1.0084	1.0068	1.0063	1.0052	1.0051	1.0055	1.0059	1.0078	1.0106	1.0119
9.00 น.	1.0165	1.0111	1.0069	1.0045	1.0038	1.0019	1.0011	1.0013	1.0015	1.0030	1.0057	1.0069
10.00 น.	1.0165	1.0111	1.0069	1.0045	1.0038	1.0019	1.0011	1.0013	1.0015	1.0030	1.0057	1.0069
11.00 น.	1.0176	1.0109	1.0055	1.0024	1.0015	0.9987	0.9973	0.9972	0.9971	0.9983	1.0009	1.0022
12.00 น.	1.0165	1.0111	1.0069	1.0045	1.0038	1.0019	1.0011	1.0013	1.0015	1.0030	1.0057	1.0069

ตารางผนวกที่ ฐ3 (ต่อ)

เวลา	แรงดันบัสที่ (pu.)											
	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12
13.00 น.	1.0176	1.0109	1.0055	1.0024	1.0015	0.9987	0.9973	0.9972	0.9971	0.9983	1.0009	1.0022
14.00 น.	1.0165	1.0111	1.0069	1.0045	1.0038	1.0019	1.0011	1.0013	1.0015	1.0030	1.0057	1.0069
15.00 น.	1.0156	1.0115	1.0084	1.0068	1.0063	1.0052	1.0051	1.0055	1.0059	1.0078	1.0106	1.0119
16.00 น.	1.0156	1.0115	1.0084	1.0068	1.0063	1.0052	1.0051	1.0055	1.0059	1.0078	1.0106	1.0119
17.00 น.	1.0165	1.0111	1.0069	1.0045	1.0038	1.0019	1.0011	1.0013	1.0015	1.0030	1.0057	1.0069
18.00 น.	1.0176	1.0109	1.0055	1.0024	1.0015	0.9987	0.9973	0.9972	0.9971	0.9983	1.0009	1.0022
19.00 น.	1.0189	1.0110	1.0044	1.0005	0.9994	0.9958	0.9937	0.9933	0.9931	0.9939	0.9963	0.9976
20.00 น.	1.0207	1.0114	1.0037	0.9990	0.9976	0.9932	0.9904	0.9898	0.9893	0.9898	0.9921	0.9934
21.00 น.	1.0176	1.0109	1.0055	1.0024	1.0015	0.9987	0.9973	0.9972	0.9971	0.9983	1.0009	1.0022
22.00 น.	1.0165	1.0111	1.0069	1.0045	1.0038	1.0019	1.0011	1.0013	1.0015	1.0030	1.0057	1.0069
23.00 น.	1.0148	1.0120	1.0101	1.0092	1.0090	1.0087	1.0092	1.0099	1.0105	1.0126	1.0156	1.0169
24.00 น.	1.0140	1.0125	1.0117	1.0116	1.0116	1.0121	1.0132	1.0142	1.0150	1.0175	1.0206	1.0219

ตารางผนวกที่ ฐ4 พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย
1.00 น.	28.8193
2.00 น.	15.9958
3.00 น.	15.9958
4.00 น.	28.8193
5.00 น.	28.8193
6.00 น.	45.5748
7.00 น.	45.5748
8.00 น.	66.3840
9.00 น.	91.3744
10.00 น.	91.3744
11.00 น.	120.6802
12.00 น.	91.3744
13.00 น.	120.6802
14.00 น.	91.3744
15.00 น.	66.3840
16.00 น.	66.3840
17.00 น.	91.3744
18.00 น.	120.6802
19.00 น.	154.4460
20.00 น.	192.8230
21.00 น.	120.6802
22.00 น.	91.3744
23.00 น.	45.5748
24.00 น.	28.8193
รวมทั้งสิ้น	1,861.3815

ตารางผนวกที่ ฐ5 พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย
1.00 น.	39.7872
2.00 น.	46.9554
3.00 น.	46.9554
4.00 น.	39.7872
5.00 น.	39.7872
6.00 น.	36.1132
7.00 น.	36.1132
8.00 น.	35.9596
9.00 น.	39.3995
10.00 น.	39.3995
11.00 น.	46.5047
12.00 น.	39.3995
13.00 น.	46.5047
14.00 น.	39.3995
15.00 น.	35.9596
16.00 น.	35.9596
17.00 น.	39.3995
18.00 น.	46.5047
19.00 น.	57.3371
20.00 น.	71.9449
21.00 น.	46.5047
22.00 น.	39.3995
23.00 น.	36.1132
24.00 น.	39.7872
รวมทั้งสิ้น	1,020.9754

ตารางผนวกที่ ฐ6 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายตัวนำ หลังการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เวลา	กระแสไฟฟ้าระหว่างบัสที่ (A)										
	Bus 1-2	Bus 2-3	Bus 3-4	Bus 4-5	Bus 5-6	Bus 6-7	Bus 7-8	Bus 8-9	Bus 9-10	Bus 10-11	Bus 11-12
1.00 น.	33.2720	34.2555	37.2579	37.2932	41.8724	47.6123	54.1160	54.1284	61.1484	68.5238	76.1357
2.00 น.	37.1143	40.4134	44.4109	44.4335	48.9484	53.8732	59.0842	59.0928	64.5178	70.1058	75.8107
3.00 น.	37.1143	40.4134	44.4109	44.4335	48.9484	53.8732	59.0842	59.0928	64.5178	70.1058	75.8107
4.00 น.	33.2720	34.2555	37.2579	37.2932	41.8724	47.6123	54.1160	54.1284	61.1484	68.5238	76.1357
5.00 น.	33.2720	34.2555	37.2579	37.2932	41.8724	47.6123	54.1160	54.1284	61.1484	68.5238	76.1357
6.00 น.	37.7149	34.0583	33.6013	33.6498	36.5153	42.0871	49.4247	49.4415	57.8729	66.9831	76.5085
7.00 น.	37.7149	34.0583	33.6013	33.6498	36.5153	42.0871	49.4247	49.4415	57.8729	66.9831	76.5085
8.00 น.	48.3058	40.0090	34.6491	34.7052	33.7516	37.6299	45.0769	45.0988	54.6736	65.4462	76.8873
9.00 น.	62.0572	50.0525	40.1296	40.1860	34.2979	34.7075	41.2033	41.2311	51.5681	63.9083	77.2646
10.00 น.	62.0572	50.0525	40.1296	40.1860	34.2979	34.7075	41.2033	41.2311	51.5681	63.9083	77.2646
11.00 น.	77.3639	62.3095	48.6413	48.6945	38.0866	33.7782	37.9775	38.0118	48.5813	62.3661	77.6339
12.00 น.	62.0572	50.0525	40.1296	40.1860	34.2979	34.7075	41.2033	41.2311	51.5681	63.9083	77.2646

ตารางผนวกที่ ฐ6 (ต่อ)

เวลา	กระแสไฟฟ้าระหว่างบัสที่ (A)										
	Bus 1-2	Bus 2-3	Bus 3-4	Bus 4-5	Bus 5-6	Bus 6-7	Bus 7-8	Bus 8-9	Bus 9-10	Bus 10-11	Bus 11-12
13.00 น.	77.3639	62.3095	48.6413	48.6945	38.0866	33.7782	37.9775	38.0118	48.5813	62.3661	77.6339
14.00 น.	62.0572	50.0525	40.1296	40.1860	34.2979	34.7075	41.2033	41.2311	51.5681	63.9083	77.2646
15.00 น.	48.3058	40.0090	34.6491	34.7052	33.7516	37.6299	45.0769	45.0988	54.6736	65.4462	76.8873
16.00 น.	48.3058	40.0090	34.6491	34.7052	33.7516	37.6299	45.0769	45.0988	54.6736	65.4462	76.8873
17.00 น.	62.0572	50.0525	40.1296	40.1860	34.2979	34.7075	41.2033	41.2311	51.5681	63.9083	77.2646
18.00 น.	77.3639	62.3095	48.6413	48.6945	38.0866	33.7782	37.9775	38.0118	48.5813	62.3661	77.6339
19.00 น.	93.5049	75.7610	58.9394	58.9887	44.3524	35.0548	35.6073	35.6483	45.7457	60.8169	77.9879
20.00 น.	110.1341	89.9011	70.2789	70.3248	52.2536	38.3619	34.3032	34.3504	43.1029	59.2592	78.3204
21.00 น.	77.3639	62.3095	48.6413	48.6944	38.0866	33.7782	37.9775	38.0118	48.5813	62.3661	77.6339
22.00 น.	62.0572	50.0525	40.1296	40.1860	34.2979	34.7075	41.2033	41.2311	51.5681	63.9083	77.2646
23.00 น.	37.7149	34.0583	33.6013	33.6498	36.5153	42.0871	49.4247	49.4415	57.8729	66.9831	76.5085
24.00 น.	33.2720	34.2555	37.2579	37.2932	41.8724	47.6123	54.1160	54.1284	61.1484	68.5238	76.1357

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ	นายวิชศรุธค์ ธนะภักดิ์
เกิดวันที่	4 สิงหาคม พ.ศ. 2527
สถานที่เกิด	อุดรธานี
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2550
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกรไฟฟ้า ระดับ 5
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 1 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กองควบคุมและบำรุงรักษา ฝ่ายปฏิบัติการเครือข่าย
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค