การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2
27-29 กรกฎาคม 2549 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

ผลกระทบของการผลิตกำลังไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนต่อความมั่นคงในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า

Effects of Renewable Power Generation on Electric Power Distribution System Security

ฐิติพงศ์ จารุวัฒน์* และ ธนัดชัย กุลวรวานิชพงษ์
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 โทร 04-9836768 Email: Luzifer_K@hotmail.com

Thitipong Charuwat* and Thanatchai Kulworawanichpong
School of Electrial Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology
Muang District, Nakorn Ratchasima 30000 Thailand Tel: 04-9836768 E-mail: Luzifer_K@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ผลของการผลิตแบบกระจาย (distributed generation: DG) จากพลังงานหมุนเวียนต่อความมั่นคงในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า โดยเน้นที่ระบบ 22 kV ตามมาตรฐานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การประเมินความมั่นคงจะใช้ดัชนีสมรรถนะ (performance index: PI) ช่วยบ่งชี้ถึงความเสี่ยงของการเกิดไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายที่ทำการวิเคราะห์ การศึกษาผลกระทบนี้ถูกนำมาทดสอบกับสายป้อนตัวอย่างของระบบจำหน่ายมาตรฐาน 37 โนด 4.8 kV ของ IEEE และระบบจำหน่าย 22 kV ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผลจากการจำลองแสดงให้เห็นว่า การติดตั้ง DG ภายใต้การควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่เหมาะสมช่วยให้ระบบจำหน่ายมีความมั่นคงสูงขึ้น หรือมีความเสี่ยงในการเกิดไฟฟ้าดับน้อยลงด้วย

Abstract

This paper presents analysis of effects of distributed generation (DG) from renewable energy sources on power distribution security. This research focuses on power distribution systems, especially 22 kV level, which is the Provincial Electricity Authority of THAILAND (PEA) standard for electric power feeders. Security evaluation is simply defined by using the performance index which reflects risk of supply interruption to probably cause wide-area blackout. This paper employs the standard 37-node 4.8 kV IEEE test feeder and the 22 kV SUT feeder for Suranaree University of Technology as two test systems. As a result, installing DG with optimal reactive power generation can lead an electrical power system to operate with high security level. Remarkably, this reduces risk of power supply interruption.

1. คำนำ

ปัจจุบันความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นและเริ่มมีแนวโน้มที่จะเกิดวิกฤตการทางด้านทรัพยากรเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น ก๊าซธรรมชาติ หรือน้ำมัน เป็นต้น [1-3] ซึ่งพลังงานเหล่านี้นับวันจะเพิ่มราคาขายต่อหน่วยสูงขึ้นและปริมาณของเชื้อเพลิงมีอัตราส่วนที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ทำให้การค้นหาแหล่งพลังงานใหม่เพื่อทดแทนพลังงานหลัก ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญเพื่อเพิ่มความมั่นคงด้านพลังงานให้ดีขึ้น ทั้งนี้การผลิตกำลังไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์ได้นำพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังลม พลังแสงอาทิตย์ หรือ ชีวมวล เป็นต้น มาช่วยในการผลิต ถึงแม้ว่าพลังงานเหล่านี้จะไม่สามารถนำไปเป็นพลังงานหลักได้ก็ตาม แต่ก็ช่วยลดค่าใช้จ่ายให้กับพลังงานหลักและยังเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

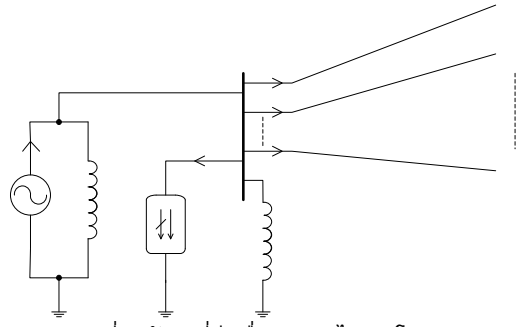
การผลิตกำลังไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน โดยทั่วไป มีกำลังผลิตติดตั้งไม่สูงมากนัก ด้วยข้อจำกัดทางด้านแหล่งพลังงานและการเชื่อมต่อระบบพิกัดโรงไฟฟ้าประเภทนี้มีขนาดประมาณ 0.1 – 5 MW เท่านั้น ด้วยเงื่อนไขของแหล่งทรัพยากรทำให้ตำแหน่งติดตั้งกระจายไปตามพื้นที่ต่างๆ การเชื่อมต่อกำลังผลิตเหล่านี้เข้าสู่ระบบสายส่งของประเทศโดยปกติจะดำเนินการผ่านระบบจำหน่าย 22 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หรือระบบจำหน่าย 24 kV ของการไฟฟ้านครหลวง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ ณ โรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่ต่อเข้ากับระบบดังกล่าวนี้เรียกว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (distributed generator: DG) และจะเรียกหน่วยการผลิตนี้ว่า หน่วยการผลิตแบบกระจาย (distributed generating plant: DGP) [4]

DG ปกติมีกำลังผลิตติดตั้งไม่สูงมากนัก แต่ส่งผลให้เกิดข้อดี คือ ช่วยลดต้นทุนการนำเข้าพลังงานที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เพราะเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทำงานของ DG ส่วนใหญ่มาจากแหล่งพลังงานที่ไม่หมดสิ้น เช่น ลม แสงแดด หรือแหล่งทรัพยากรเหลือใช้ ไม่ว่าจะเป็นซากพืชซากสัตว์หรือของเสียจากการเกษตร แต่กระนั้น การเพิ่ม DG เข้าไปในระบบต้องผ่านการวิเคราะห์ความมั่นคงในระบบอย่างรอบครอบเพื่อให้ DG ที่ติดตั้งช่วยทำให้ความมั่นคงของระบบเพิ่มขึ้นและระบบสามารถทำงานอยู่ในขอบเขตที่ปลอดภัย ไม่เสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าดับ ซึ่งการประเมินความมั่นคงของระบบไฟฟ้าสามารถทำได้โดยการใช้ดัชนีสมรรถนะ (performance index: PI) [5-6] โดยสมมติให้การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบสามารถคำนวณค่าได้จากการคำนวณโหลดโฟลว์ (load flow calculation) จากผลเฉลยแรงดันไฟฟ้าและการไหลกำลังไฟฟ้าผ่านสายป้อนทำให้คำนวณค่า PI ได้ จากนั้นดำเนินการหาค่าเหมาะที่สุดของการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจาก DG เพื่อให้ระบบมีความมั่นคงสูงที่สุด

บทความนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็นส่วนๆ ดังนี้ ส่วนที่ 2 เป็นการนำเสนอการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าเพื่อหาผลเฉลยแรงดันโดยสังเขป ส่วนที่ 3 เป็นการคำนวณดัชนีสมรรถนะ ในส่วนที่ 4 รูปแบบของปัญหาค่าเหมาะที่สุดได้ถูกนำเสนอภายใต้ระเบียบวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสม และผลการทำสอบได้นำการประเมินค่า PI ข้างต้นมาใช้กับระบบทดสอบมาตรฐานของ IEEE 37 โนด [7] และระบบสายป้อนจำหน่าย 22kV ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2. การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

กำหนดให้ระบบไฟฟ้าที่พิจารณามีจำนวนบัสทั้งสิ้น n บัส โดยที่กำหนดให้บัสหนึ่งบัสมีขนาดและมุมของแรงดันมีค่าคงที่และใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับการคำนวณซึ่งจะเรียกบัสนี้ว่า บัสอ้างอิง (reference bus) หรือที่รู้จักกันในชื่อ บัสสแลก (slack bus)



รูปที่ 1 บัส k ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โหลด สายส่งเชื่อมต่ออยู่กับบัสอื่นๆ

พิจารณาบัส k ดังแสดงในรูปที่ 2.1โดยการใช้วิธีวิเคราะห์แบบโนด (nodal analysis) จะได้สมการสมดุลกระแสที่โนด k ใดๆ ดังนี้

$$y_{k,1}(V_k - V_1) + y_{k,2}(V_k - V_2) + \ldots + y_{k,n}(V_k - V_n) = I_{G,k} - I_{D,k} \qquad (1)$$

จัดรูปสมการใหม่จะได้สมการการไหลของกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่บัส k ใดๆ เป็น

$$(S_{G,k} - S_{D,k})^* = (V_k)^* \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^{n} y_{k,i}(V_k - V_i) \qquad (2)$$

โดยที่

$S_{G,k}$ และ $S_{D,k}$ แทนกำลังไฟฟ้าเฟส a, bและ c ที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลดที่บัส k ตามลำดับ

V_k แทนแรงดันไฟฟ้าเฟส a, b และ c ที่บัส k

$y_{k,i}$ แทนแอดมิตแตนซ์เฟส a, b และ c ที่เชื่อมต่อระหว่างบัส k และบัส i

V_i แทนแรงดันไฟฟ้าเฟส a, b และ c ที่บัส i

*แทนตัวกระทำสังยุคเชิงซ้อน (Complex conjugate)

กำหนดให้

$S_{sch} = P_{sch} + jQ_{sch}$, $P_{sch} = P_G + P_D$ และ $Q_{sch} = Q_G + Q_D$

จะได้

$$(S_{sch,k})^* = (S_{G,k} - S_{D,k})^* = (V_k)^* \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^{n} y_{k,i}(V_k - V_i) \qquad (3)$$

จัดรูปสมการใหม่จะได้

$$\frac{P_{sch,k} - jQ_{sch,k}}{(V_k)} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^{n} y_{k,i} V_k - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^{n} y_{k,i} V_i \qquad (4)$$

จากการคำนวณหาบัสแอดมิตแตนส์เมตริกซ์

$$[Y]_{bus} : Y_{k,k} = y_{k,i} \text{ และ } Y_{k,i} = -y_{k,i}$$

จะได้รูปสมการใหม่ดังนี้

$$\frac{P_{sch,k} - jQ_{sch,k}}{(V_k)} = Y_{k,k} V_k + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^{n} Y_{k,i} V_i \qquad (5)$$

จากสมการที่ 5 ถือเป็นสมการที่นำไปใช้ในการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้า ซึ่งในการคำนวณนี้ จะต้องมีการกำหนดบัสสแลก เพื่อใช้เป็นเฟสอ้างอิงของมุมเฟสแรงดันในระบบซึ่งที่บัสนี้มีการควบคุมขนาดแรงดันบัสด้วย โดยปกติแล้วกำหนดให้ มีมุมเฟสเป็น 0 สำหรับบัส-สแลก และไม่ต้องทำการคำนวณหาแรงดันที่บัสนี้ ทำให้จำนวนบัสที่ต้องคำนวณลดลง 1 บัส ดังนั้น สำหรับระบบ n บัส จะมีสมการแรงดันที่ต้องหาคำตอบเพียง n-1 บัส เท่านั้น

สรุปขั้นตอนการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าดังนี้

1. กำหนดค่าเริ่มต้นของขนาดและมุมของแรงดันที่บัสต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณในรอบแรก และการคำนวณซ้ำในรอบต่อไป
2. คำนวณค่าแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์ $[Y]_{bus}$ ในรูประบบต่อหน่วย)per-unit-system(
3. คำนวณผลต่างของกำลังไฟฟ้าจริง $P_{sch} = P_G + P_D$ ผลต่างกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ $Q_{sch} = Q_G + Q_D$ สำหรับบัสโหลด
4. ปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าในรอบที่ (h+1) ที่บัส k ใดๆ อาจจะนำวิธีการคำนวณวนรอบเกาส์-ซีเดล (Gauss-Seidel iterative method) หรือ ระเบียบวิธีนิวตันราฟสัน (Newton-Raphson method) มาใช้งานก็ได้ อย่างไรก็ตาม ระเบียบวิธีนิวตันราฟสันได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในการคำนวณผลเฉลยแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบัน [8]
5. คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันไฟฟ้า $\Delta|V|$ ถ้า $\Delta|V|$ มีค่ามากกว่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดไว้ ให้กลับไปคำนวณที่ขั้นตอนที่ 4 ใหม่
6. ถ้า $\Delta|V|$ มีค่าน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดไว้ ให้แสดงผลที่ทำการคำนวณได้

เมื่อได้ผลเฉลยแรงดันและมุมเฟสของระบบแล้ว สามารถคำนวนกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นจากบัสที่ i ไปยังบัสที่ j โดยไม่พิจารณาค่า half-line charging ได้ดังต่อไปนี้

$$I_{ij} = y_{ij}(V_i - V_j)$$
$$I_{ji} = y_{ji}(V_j - V_i) \quad (6)$$
$$S_{ij} = V_i I_{ij}^*$$
$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \quad (7)$$

3. ดัชนีสมรรถนะ (Performance index : PI)

การประเมินความมั่นคงในระบบไฟฟ้ากำลังดำเนินการได้จากการคำนวณดัชนีสมรรถนะของระบบ ถ้ากำหนดให้การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบที่พิจารณาสามารถคำนวณได้แล้ว จะได้การคำนวณดัชนีสมรรถนะ [3-4] ดังนี้

$$PI = \sum_{\forall l} \left(\frac{P_l}{P_l^{max}} \right)^{2n} \quad (8)$$

เมื่อ n เป็นจำนวนเต็มบวกใดๆ นอกจากนี้แล้วยังสามารถรวมผลของแรงดันตกได้เป็น

$$PI = \sum_{\forall l} \left(\frac{P_l}{P_l^{max}} \right)^{2n} + \sum_{\forall i} \left(\frac{\Delta|V_i|}{\Delta V_{max}} \right)^{2n} \quad (9)$$

โดยที่

PI คือ Performance index

P_l คือ กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่งเส้นที่ *l*

P_l^{max} คือ พิกัดสูงสุดของสายส่งเส้นที่ *l*

V_i คือ แรงดันบัสที่ *i*

ΔV_{max} คือ ผลต่างระหว่างแรงดันที่คำนวณได้กับค่า ฐานของระบบ โดยปกติจะถูกกำหนดโดยการไฟฟ้า

n คือจำนวนเต็มบวกใดๆ

จากสมการที่ (9) จะเห็นว่าค่า PI จะแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันของแต่ละบัสและกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้น ดังนั้นจึงเป็นดัชนีที่สะท้อนถึงความแปรปรวนของการไหลกำลังไฟฟ้าในสายส่ง นั่นหมายความว่า ถ้า PI มีค่าสูงจะทำให้กำลังในสายส่งมีโอกาสที่จะเกินพิกัดความจุของสายส่งได้สูงนั่นคือระบบนั้น จะมีความมั่นคงต่ำ ตรงข้ามกับระบบที่มีค่า PI สูงจะทำให้ระบบมีความมั่นคงสูง ดังนั้น PI จึงบ่งถึงความมั่นคงในระบบไฟฟ้ากำลังได้เป็นอย่างดี เมื่อนำ DG เข้ามาติดตั้งในระบบจำหน่าย การประเมินผลกระทบในรูปของความมั่นคงในระบบรูปแบบหนึ่งสามารถทำได้โดยใช้การคำนวณดัชนีสมรรถนะของระบบเป็นตัวบ่งชี้

4. รูปแบบของปัญหา (Problem Formulation)

โดยปกติเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำการจ่ายทั้งกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟให้กับระบบ ในกรณีของ DG ก็เช่นเดียวกัน จึงต้องมีการปรับค่าการจ่ายกำลังของ DG ให้เหมาะสมกับระบบเพื่อให้ค่า PI ของระบบมีค่าต่ำที่สุด ทั้งนี้เพราะค่า PI น้อยๆ สะท้อนถึงระบบมีความมั่นคงสูง ดังนั้น ปัญหาการเพิ่มความมั่นคงในระบบด้วยการติดตั้ง DG จะอยู่ในรูปของปัญหาค่าเหมาะที่สุด (optimization problem) โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ คือ PI ส่วนเงื่อนไขบังคับ ได้แก่ ข้อจำกัดการจ่ายค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของตัว DG ตามสมการที่ (10)

ในกรณีของกำลังไฟฟ้าจริงจาก DG นั้น ต้องกำหนดให้มีค่าคงที่ เนื่องจากถูกกำหนดด้วยอัตราการใช้พลังงานหมุนเวียนที่ให้ค่า MW คงที่ ตามที่ต้องการ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} &\text{minimize} && \textit{Performance Index} \\ &\text{subject to} && -a \le Q_{DG} \le b \end{aligned} \quad (10)$$

โดยที่

a คือ ค่าพิกัดล่างของ DG

b คือ ค่าพิกัดบนของ DG

ในการแก้ปัญหานั้น ดำเนินการโดยใช้ระเบียบวิธีการโปรแกรมลำดับควอดราติก (sequential quadratic programming: SQP) [9]

5. ระบบทดสอบและผลการจำลอง

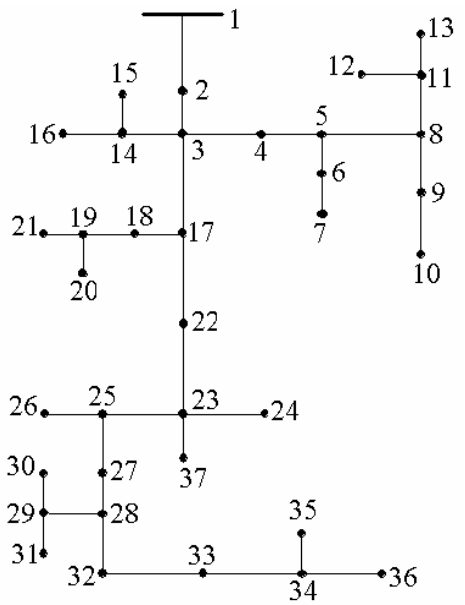
การศึกษานี้จะใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อช่วยวิเคราะห์ความมั่นคงของระบบจำหน่ายทั้งก่อนและหลังการติดตั้ง DG โดยเริ่มจากคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า จากนั้น จะคำนวณค่า PI และสุดท้ายคือ หาค่าการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของ DG ที่เหมาะสมที่สุด สำหรับระบบทดสอบที่ใช้ ได้แก่ ระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 37 โนด [7] และระบบจำหน่าย 22 kV ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีรายละเอียดการจำลองผลและผลการคำนวณดังต่อไปนี้

5.1 ระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 37 โนด

ระบบทดสอบ 37 โนดของ IEEE ใช้กับระดับแรงดัน 4.8 kV ที่ค่ากำลังไฟฟ้าฐาน 100 kVA การทดลองแยกออกเป็น 4 กรณีดังนี้

ตารางที่ 1 กรณีทดสอบของระบบ 37 โนด

กรณี	ระบบ
1	ก่อนทำการติดตั้ง DG
2	ภายหลังติดตั้ง DG ที่โนด 8
3	ภายหลังติดตั้ง DG ที่โนด 25
4	ภายหลังติดตั้ง DG ที่โนด 8 และ 25



รูปที่ 2 ระบบทดสอบ IEEE 37 โนด

จากการแก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุดของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสำหรับการติดตั้ง DG ซึ่งทดสอบทั้งหมด 30 รอบ โดยการสุ่มค่าเริ่มต้นแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ผลการทดสอบทั้ง 4 กรณีแสดงได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 การจ่าย Q ของ DG ในระบบทดสอบ IEEE 37 โนด

กรณี	DG ตัวที่ 1 โนด 8 (p.u.)		
	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด
1	0	0	0
2	-0.884	1.350	3.707
3	0	0	0
4	-3.009	-1.311	0.743
กรณี	DG ตัวที่ 2 โนด 25 (p.u.)		
	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด
1	0	0	0
2	0	0	0
3	-35.472	-30.233	-23.894
4	-5.000	0.844	3.230

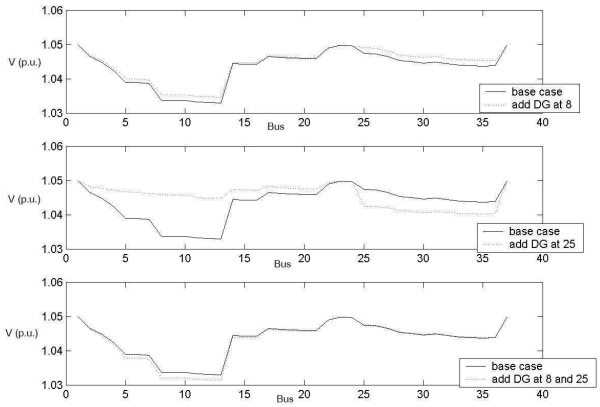
ตารางที่ 3 PI ของระบบทดสอบ IEEE 37 โนด

กรณี	Performance index		
	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด
1	2.985	2.985	2.985
2	2.293	2.297	2.300
3	2.081	2.084	2.092
4	2.166	2.195	2.212

จากตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ย PI ของระบบทดสอบเท่ากับ 2.985 เมื่อติดตั้ง DG เข้าไปที่ โนด 8 พบว่าค่า PI ลดลงเหลือ 2.297 เห็นได้ว่าระบบมีความมั่นคงเพิ่มขึ้นกว่าก่อนติด DG จากรูปที่ 3 เห็นได้ว่าการติดตั้ง DG ที่โนดที่ 8 ทำให้แรงดันของแต่ละโนดมีค่าดีขึ้นกว่าก่อนติด DG

เมื่อทดลองเปลี่ยนตำแหน่งการติดตั้ง DG จาก โนด 8 เป็นโนด 25 พบว่าค่า PI ลดลงจากกรณีแรกเหลือ 2.084 ซึ่งดีกว่าการติดตั้งที่ โนด 8 แต่จากตารางที่ 3 พบว่าค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ DG ต้องจ่ายให้ระบบมีค่าต่ำถึง -30.233 จึงไม่เหมาะสมที่จะติด DG ที่โนดนี้จากรูปที่ 3 เห็นได้ว่าการติดตั้ง DG ที่โนดที่ 25 ทำให้แรงดันของโนดที่ 1 ถึง 25 มีค่าดีขึ้นกว่าก่อนติด DG อย่างมาก แต่โนดที่ 25 เป็นต้นไปมีค่าแรงดันที่ไม่ดีนักทั้งนี้เพราะการติดตั้ง DG ที่โนดนี้ต้องการค่า PI ที่น้อยที่สุด ดังนั้นจากสมการคำนวณกำลังไฟฟ้าในสายส่ง (6-7) จะเห็นว่าค่า PI จะแปลผันตรงกับ ผลต่างแรงดันของแต่ละโนด ดังนั้นการหาค่า PI ที่ต่ำที่สุดจึงเป็นการพยายามรักษาแรงดันของแต่ละโนดไม่ให้แตกต่างกันมากนัก ซึ่งจากรูปที่ 3 เห็นได้ว่าระบบจะพยายามรักษาแรงดันแต่ละโนดให้สม่ำเสมอ

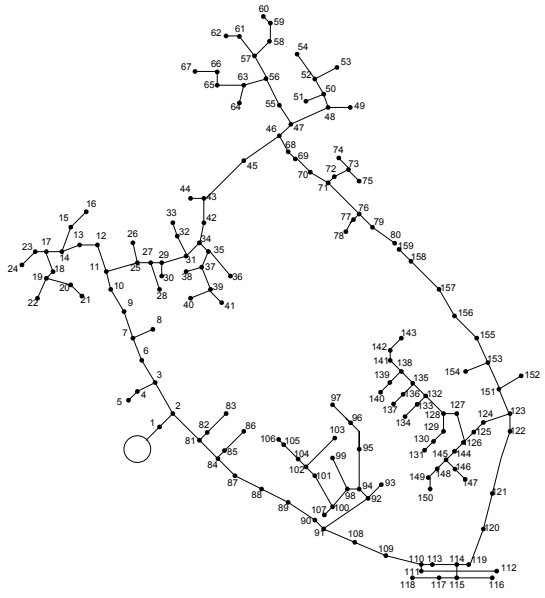
เมื่อทดลองติดตั้ง DG ทั้งโนดที่ 8 และ 25 พบว่า PI ของระบบลดลงจากกรณีแรกเหลือ 2.195 ซึ่งการจ่ายค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของ DG ทั้งคู่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ผลเฉลยแรงดันมีค่าใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่ได้ติด DG ทั้งนี้อาจเป็นเพราะตำแหน่งที่ติดตั้ง DG อาจไม่เหมาะสมกับการทำงานของ DG แต่ละหน่วย ทำให้การประสานงานกันของ DG ไม่ดีเท่าที่ควร



รูปที่ 3 ผลเฉลยแรงดันก่อนและหลังติด DG

5.1 ระบบสายป้อนจำหน่ายมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 159 โนด

ระบบสายป้อนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส.) 159 โนดใช้กับระดับแรงดัน 22 kV ที่ค่ากำลังไฟฟ้าฐาน 100kVA การทดลองแยกออกเป็น 4 กรณีเช่นเดียวกับระบบทดสอบ IEEE 37 โนด



รูปที่ 4 ระบบทดสอบสายป้อนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 159 โนด

จากการแก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุดของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสำหรับการติดตั้ง DG ซึ่งทดสอบทั้งหมด 30 รอบ โดยการสุ่มค่าเริ่มต้นแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ผลการทดสอบทั้ง 4 กรณีแสดงได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4 กรณีทดสอบระบบสายป้อน มทส. 159 บัส

กรณี	ระบบ
1	ก่อนทำการติดตั้ง DG
2	ภายหลังติดตั้ง DG ที่โนด 44
3	ภายหลังติดตั้ง DG ที่โนด 120
4	ภายหลังติดตั้ง DG ที่โนด 44 และ 120

ตารางที่ 5 PI ของระบบสายป้อน มทส. 159 โนด

กรณี	Performance index		
	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด
1	4,090,000.00	4,090,000.00	4,090,000.00
2	2,920.000	2,920.000	2,920.000
3	12,644.000	12,644.000	12,644.000
4	15,554.000	15,554.000	15,554.000

ตารางที่ 6 การจ่าย Q ของ DG ในระบบสายป้อน มทส. 159 โนด

กรณี	DG ตัวที่ 1 โนด 44		
	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด
1	0	0	0
2	1.762	4.483	5.000
3	0	0	0
4	-5.000	0.077	5.000
กรณี	DG ตัวที่ 2 โนด 120		
	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด
1	0	0	0
2	0	0	0
3	-5.000	-2.286	2.871
4	0.976	4.492	5.000

จากตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ย PI ของระบบทดสอบเท่ากับ 4,090,000.00 เมื่อติดตั้ง DG เข้าไปที่ โนด 44 พบว่าค่า PI ลดลงเหลือ 2,920.000 เห็นได้ว่าระบบมีความมั่นคงเพิ่มขึ้นกว่าก่อนติด DG

เมื่อทดลองเปลี่ยนตำแหน่งการติดตั้ง DG จาก โนด 44 เป็นโนด 120 พบว่าค่า PI ลดลงจากกรณีแรกเหลือ 12,644.000 ซึ่งไม่ดีเท่าการติดตั้งที่ โนด 44 แต่จากตารางที่ 3 พบว่าค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ DG ต้องจ่ายให้ระบบมีค่าต่ำกว่าการติดตั้งที่โนด 44

เมื่อทดลองติดตั้ง DG ทั้งโนดที่ 8 และ 25 พบว่า PI ของระบบลดลงจากกรณีแรกเหลือ 15,554.000 ซึ่งการจ่ายค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของ DG ทั้งคู่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

6. สรุป

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ผลของ DG ต่อความมั่นคงในระบบจำหน่าย ผ่านการประเมินความมั่นคงโดยใช้ดัชนีสมรรถนะ (performance index: PI) เพื่อบ่งชี้ถึงความเสี่ยงของการเกิดไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายที่ทำการวิเคราะห์ จากการทดสอบกับสายป้อนตัวอย่างของระบบจำหน่าย ได้แก่ ระบบทดสอบ IEEE 37 โนด และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 159 โนด แสดงให้เห็นว่าความมั่นคงของระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้ง DG ความมั่นคงมากขึ้นเป็นการลดความเสี่ยงของการเกิดไฟฟ้าดับในระบบจำหน่าย โดยดูได้จากค่า PI ของระบบก่อนการติดตั้งเปรียบเทียบกับหลังการติดตั้ง อย่างไรก็ตาม การ

เพิ่มขึ้นของดัชนีความมั่นคงนี้ขึ้นอยู่กับการควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของ DG ด้วย

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จังหวัดนครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลระบบทดสอบ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้

8. เอกสารอ้างอิง

1. G. Boyle, “Renewable energy: power for sustainable future”, Oxford University Press, London, 2000

2. M.C. William, “Fuel cells and the world energy future”, IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 1, 15 – 19 July 2001, pp. 725

3. H. Khatib, “Electrical power in developing countries”, Power Engineering Journal, Vol. 12, Issue 5, pp. 239 – 247, 1998

4. H.L. Willis, W.G. Scott, “Distributed power generation: planning and evaluation”, Marcel Dekker, 2000

5. A.J. Wood, B.F. Wollenberg, “Power generation, operation and control”, John Wiley & Sons, New York, 1996

6. C.I. Faustino Argeira, C.M. Machado Ferreira, J.A. Dias Pinto, F.P. Maciel Barbosa, “Contingency screening and ranking algorithm using two different sets of security performance indices”, IEEE Bologna PowerTech Conference, 23 – 26 June 2003, Bologna, Italy, pp. 1 – 5

7. Distribution System Subcommittee, “IEEE 37 node test feeder”, IEEE Power Engineering Society, 1998

8. H. Saadat, “Power system analysis”, McGraw-Hill, Singapore, 2004

9. J.A. Momoh, “Electric power system applications of optimization”, Marcel Dekker, New York, 2001