

## การจัดรูปแบบสายป้อนในระบบจำหน่ายที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กหลายชนิด เพื่อลดความสูญเสียโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม

ภูวนาท มากแสน<sup>1</sup> และ กามนท์ เกิดชื่น<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
145 ม. 15 ถ.สุรินทร์-ปราสาท ต.นอกเมือง อ.เมือง จ.สุรินทร์ 32000 E-mail: phuwanat.mr@rmuti.ac.th

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
744 ถ.สุรนารายณ์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเทคนิคการจัดรูปแบบสายป้อนในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ที่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กหลายชนิด โดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม หาดำแหน่ง เปิด-ปิด สวิตซ์ตัดตอน และสวิตซ์ถ่ายโอนที่เหมาะสม เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ ทำการทดสอบกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า 33 บัส ที่มีสวิตซ์ตัดตอน 32 ตัว สวิตซ์ถ่ายโอน 5 ตัว และเป็นระบบที่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กแบบต่างๆ ที่มีขนาดและตำแหน่งเหมาะสม ผลจากการทดลองพบว่า การจัดรูปแบบสายป้อนโดยวิธีการเชิงพันธุกรรมสามารถหาดำแหน่งเปิด-ปิด สวิตซ์ได้อย่างเหมาะสม ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่บัส เพิ่มขึ้น และลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียลงได้ เป็นแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบจำหน่ายที่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

**คำสำคัญ**การจัดรูปแบบสายป้อน, วิธีการเชิงพันธุกรรม, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

### 1. บทนำ

พลังงานหมุนเวียนเป็นทางเลือกสำคัญ ในการเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้า และปัจจุบันกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน มีสัดส่วนเพิ่มมากขึ้น โดยส่วนมากเป็นการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กไม่เกิน 10 MW ที่หน่วยงานของรัฐมีการส่งเสริม ให้ผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็กมาก (VSPP) ขายไฟฟ้า โดยการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบจำหน่าย [1] เมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก เข้ากับระบบจำหน่าย อาจทำให้เกิดผลกระทบด้านกำลังไฟฟ้าสูญเสีย และระดับแรงดันไฟฟ้า หากขนาด และตำแหน่งติดตั้งไม่เหมาะสม [2] แต่ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กส่วนมาก เป็นผู้ประกอบการเอกชน จะติดตั้ง เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้อยู่ใกล้กับแหล่งวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตไฟฟ้าเป็นหลัก และจะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ได้สูงสุดตามสัญญาขาย ทำให้การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบจำหน่าย ให้ได้ขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสม ยังไม่สามารถทำได้ในปัจจุบัน

การจัดรูปแบบสายป้อนใหม่ เป็นวิธีการที่นำมาใช้ในการถ่ายโอนโหลดให้มีความเหมาะสม เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ซึ่งสามารทำได้โดย การปรับเปลี่ยนสถานะ สวิตช์ตัดตอน และสวิตช์ถ่ายโอน ที่มีอยู่แล้วในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เนื่องจากการจัดรูปแบบสายป้อนในระบบจำหน่าย เป็นปัญหาเรียงสับเปลี่ยนที่ซับซ้อน จึงมีผู้สนใจนำเสนอเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมต่างๆ มาแก้ปัญหาเช่น การค้นหาแบบตาข่าย [3] วิธีกลุ่มอนุภาค [4] วิธีการเชิงพันธุกรรม [5] วิธีฝูงมด [6] การจำลองแอนนิลลิ่ง [7]

ในบทความนี้ ขอเสนอการจัดรูปแบบสายป้อนในระบบจำหน่าย ที่มีติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยนำระบบจำหน่ายที่ติดตั้ง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตำแหน่งและมีขนาดเหมาะสม มาทดสอบหาตำแหน่ง เปิด-ปิด สวิตช์ในระบบ เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย โดยการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม

## 2. ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กหรือเรียกว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว (Distributed Generation, DG) ที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย ส่วนมากใช้พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำขนาดเล็ก พลังงานคลื่นทะเลหรือมหาสมุทร พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานชีวมวล พลังงานจากก๊าซชีวภาพ ทำให้มีลักษณะการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าระบบจำหน่ายหลายรูปแบบ (Multi-type DGs) โดยสามารถแบ่งประเภทตามการจ่าย กำลังไฟฟ้าจริง (P) และ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q) ได้ดังนี้ [8]

ระบบผลิตไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าจริงอย่างเดียว ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบผลิตไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟอย่างเดียว ได้แก่ ชิงโครนัสคอนเดนเซอร์

ระบบผลิตไฟฟ้าที่จ่ายเฉพาะกำลังไฟฟ้าจริงแต่รับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังงานลม โรงไฟฟ้าพลังความร้อน ที่ใช้ต้นกำลังขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

ระบบผลิตไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังความร้อน ที่ใช้ต้นกำลังขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

## 3. การจัดรูปแบบสายป้อนในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า จะมีสวิตช์สองแบบ ได้แก่ สวิตช์ตัดตอน (Sectionalizing Switches) สถานะปกติปิดและสวิตช์ถ่ายโอน (Tie Switches) สถานะปกติเปิดการจัดรูปแบบสายป้อนในระบบจำหน่ายเป็นการโอนย้ายโหลดให้มีความเหมาะสม เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในสายส่ง โดยทำการปรับเปลี่ยนสถานะสวิตช์ทั้งสองในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยมีเงื่อนไขหลักก็คือ ระบบต้องเป็นเรเดียล และไม่มีจุดดับของโหลด การกำหนดรูปที่เป็นไปได้ โดยการปิดสวิตช์ทั้งหมดเพื่อหาจำนวนรูป และเลือกเปิดสวิตช์ในแต่ละรูป จะช่วยลดการค้นหาและระบบเป็นไปตามเงื่อนไข [9]

$$N_{fl} = N_{br} - N_{bus} + 1 \quad (1)$$

โดยที่

$N_{fl}$  คือ จำนวนลูป

$N_{br}$  คือ จำนวนสายป้อน

$N_{bus}$  คือ จำนวนบัส

สมการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

$$P_i = \sum_{j=1}^{N_{bus}} V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^{N_{bus}} V_i V_j Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$\text{Min} \quad P_{loss} = \text{Re} \sum_{i=1}^{N_{bus}} \sum_{j=1}^{N_{bus}} S_{ij} + S_{ji} \quad (4)$$

เงื่อนไขของระบบ

1. แรงดันต้องอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

$$V_{\min} \leq V_i \leq V_{\max} \quad (5)$$

2. กระแสที่ไหลต้องไม่เกินขีดจำกัดของสายส่ง

$$I_i \leq I_{\max} \quad (6)$$

โดยที่

$P_{loss}$  คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสีย

$S_{ij}, S_{ji}$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ไหลระหว่างบัส  $i$  และ บัส  $j$

$P_i, Q_i$  คือ กำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟารีแอกทีฟที่บัส  $i$

$V_i, V_j$  คือ ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัส  $i$  และ บัส  $j$

$\delta_i, \delta_j$  คือ มุมแรงดันไฟฟ้าที่บัส  $i$  และ บัส  $j$

$Y_{ij}, \theta_{ij}$  คือ ขนาดและมุมแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์

$V_{\min}$  คือ แรงดันพิกัดต่ำสุด

$V_{\max}$  คือ แรงดันพิกัดสูงสุด

$I_i$  คือ กระแสที่สายส่ง  $i$

$I_{\max}$  คือ พิกัดกระแสสูงสุด

#### 4. ขั้นตอนการจัดรูปแบบสายป้อนโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม

วิธีการเชิงพันธุกรรม เป็นเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดของฟังก์ชันเป้าหมาย โดยเลียนแบบกลไกวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตคือการสลับสายพันธุ (Crossover) การกลายพันธุ์ (Mutation) เพื่อประชากรหรือคำตอบที่ดีที่สุดในรอบถัดไป [5] [9]

การเข้ารหัสทำได้โดยแทนตำแหน่งสวิตช์ในแต่ละลูปด้วยจำนวนเต็ม

$$[X_1, X_2, X_3, \dots, X_n] \quad (7)$$

โดยที่

$X_i$  คือ ตำแหน่งเปิดสวิตช์ในแต่ละลูปที่เลือกจาก  $[1 : n]$

$n$  คือ จำนวนสวิตช์ในแต่ละลูป

โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 รับข้อมูลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า และค่าเริ่มต้นของวิธีการ GA

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดรูปแบบโครงสร้างลูปและหาจำนวนสวิตช์ในแต่ละลูปของระบบ

จำหน่ายไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดสถานะสวิตช์เริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

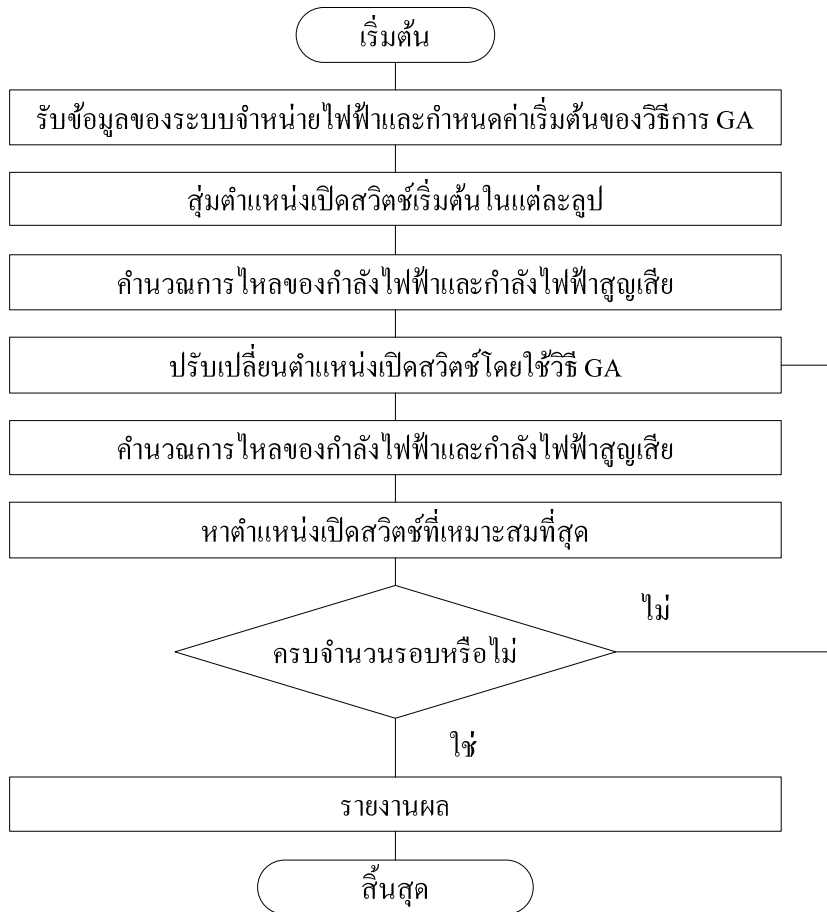
ขั้นตอนที่ 5 เปลี่ยนสถานะสวิตช์โดยวิธีการ GA

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

ขั้นตอนที่ 7 หาค่าตำแหน่งเปิดสวิตช์ที่เหมาะสมที่สุดและวนซ้ำขั้นตอนที่ 4 จนครบจำนวน

รอบ

ขั้นตอนที่ 8 รายงานผลการทดสอบ



รูปที่ 1 ขั้นตอนการจัดรูปแบบสายป้อนโดยใช้วิธีการ GA

## 5. กรณีศึกษา

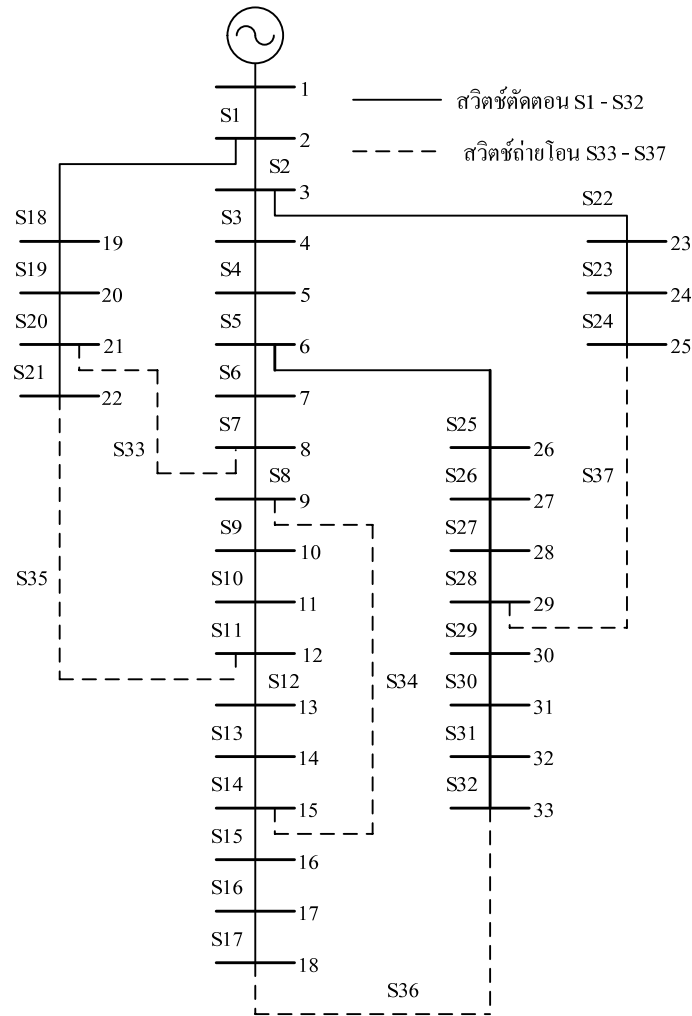
การทดสอบใช้ระบบจำหน่ายไฟฟ้า IEEE 33 บัส มีสวิตช์ตัดตอน 32 ตัว(S1-S32) สวิตช์ถ่ายโอน 5 ตัว(S33-S37) โหลดรวม 3.72 MW 2.3 MVarและมีการหาขนาดและตำแหน่งติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวอย่างเหมาะสม [10] ตามตารางที่ 1 โดยทดสอบเปรียบเทียบก่อนและหลังกับการจัดรูปแบบสายป้อน ดังนี้

กรณีที่ 1 จัดเรียงสายป้อนในระบบจำหน่ายที่ไม่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

กรณีที่ 2 จัดเรียงสายป้อนในระบบจำหน่ายที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายเฉพาะกำลังไฟฟ้าจริง

กรณีที่ 3 จัดเรียงสายป้อนในระบบจำหน่ายที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

กรณีที่ 4 จัดเรียงสายป้อนในระบบจำหน่ายที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 แบบ คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายเฉพาะกำลังไฟฟ้าจริงและกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ



รูปที่ 2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า 33 บัส

ตารางที่ 1 ขนาดและตำแหน่งติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

กรณีศึกษา	Bus	MW	MVar	Bus	MW	MVar
กรณีที่ 1			ไม่มีการติดตั้ง			
กรณีที่ 2	30	1.1576	0	13	0.852	0
กรณีที่ 3	30	0.9384	0.7438	15	0.672	0.3575
กรณีที่ 4	30	1.0483	1.1074	15	0.668	0

## 6. ผลการทดสอบ

ผลจากการทดสอบจากตารางที่ 2 เปรียบเทียบ แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าสูญเสียก่อนและหลังการจัดเรียงสายป้อน ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 33 บัส กรณีที่ 1 ระบบไม่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พบว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลงจาก 0.203 MW เหลือ 0.139 MW และสำหรับกรณีที่ 2 ถึง กรณีที่ 4 เมื่อระบบมีการ

เชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ามาพบว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลง และเมื่อจัดเรียงสายป้อนสามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียลงอีกกรณีที่ 2 ลดลงจาก 0.086 MW เหลือ 0.064 MW กรณีที่ 3 ลดลงจาก 0.036 MW เหลือ 0.0302 MW กรณีที่ 4 ลดลงจาก 0.037 MW เหลือ 0.0303 MW แสดงให้เห็นว่าการจัดรูปแบบสายป้อนสามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลงได้

ตารางที่ 2 ผลการทดลอง

กรณีศึกษา	แรงดันต่ำสุด (p.u.)		กำลังสูญเสีย (MW)		สวิตช์เปิดวงจร
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
กรณีที่ 1	0.913	0.938	0.203	0.139	7,9,14,32,37
กรณีที่ 2	0.969	0.971	0.086	0.064	7,8,28,32,34
กรณีที่ 3	0.978	0.980	0.036	0.0302	7,10,12,28,32
กรณีที่ 4	0.977	0.976	0.037	0.0303	7,10,12,27,36

## 7. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอ เทคนิคการจัดรูปแบบสายป้อนใหม่ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กแบบต่างๆ โดยใช้วิธีการ GA โดยทดสอบกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า 33 บัส ที่มีการหาขนาดและตำแหน่งติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างเหมาะสม เมื่อทำการจัดรูปแบบสายป้อนใหม่ในแต่ละกรณีพบว่า แรงดันไฟฟ้าที่บัสเพิ่มขึ้น สามารถลดความสูญเสียในระบบให้ลดลงได้ ถึงแม้ระบบจะมีการหาขนาดและตำแหน่งติดตั้งอย่างเหมาะสมมาแล้วก็ตาม การจัดรูปแบบสายป้อนใหม่ โดยใช้วิธีการ GA จึงเป็นวิธีการและแนวทางที่เหมาะสม ที่จะนำไปใช้จริงในระบบจำหน่าย เพราะสามารถทำให้ลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Sutthibun and P. Bhasaputra, "Multi-Objective Optimal Distributed Generation Placement using Simulated Annealing," International Conference on ECTI-CON, pp. 810-813, 19-21 May 2010.
- [2] M. Begovic, A. Pregelj, A. Rohatgi, and D. Novosel, "Impact of Renewable Distributed Generation on Power Systems," System Sciences. Proceedings of the 34th Annual Hawaii, pp. 654-663, 3-6 Jan. 2001.
- [3] N. Rugthaicharoencheep and S. Sirisumrannukul, "Feeder Reconfiguration for Loss Reduction in Distribution System with Distributed Generators by Tabu Search," GMSARN International Journal 3, pp. 47-54, 2009.

- [4] A. Y. Abdelaziz, S. F. Mekhamer, F. M. Mohammed, and M. A. L. Badr, "A Modified Particle Swarm Technique for Distribution Systems Reconfiguration," The Online Journal on Electronics and Electrical Engineering, vol. 1, no. 2, pp. 47-54, 2009.
- [5] "Minimal Loss Configuration for Large-Scale Radial Distribution Systems using Adaptive Genetic Algorithms," National Power System Conference, pp. 647-652, 15-17 Dec. 2010.
- [6] Charles Daniel L., Hafeezulla Khan I., and Ravichandran S., "Distribution Network Reconfiguration For Loss Reduction Using Ant Colony System Algorithm," Annual IEEE INDICON, pp. 619 - 622, 11-13 Dec. 2005.
- [7] A. Skoonpong and S. Sirisumrannukul, "Network Reconfiguration for Reliability Worth Enhancement in Distribution Systems by Simulated Annealing," International Conference on ECTI-CON, vol. 2, pp. 937-940, 14-17 May 2008.
- [8] W. Prommee1 and W. Ongsakul, "Optimal Multi-Distributed Generation Placement by Adaptive Weight Particle Swarm Optimization," International Conference on Control, Automation and Systems, pp. 1663-1668, 14-17 Oct. 2008.
- [9] Lopez R., Morales D., Lopez E., Dessante P., and Moraga R., "Minimal Loss Reconfiguration Using Genetic Algorithms With Restricted Population and Addressed Operators: Real Application," IEEE Trans. on Power Systems, vol. 21, no 2, pp. 948-954, May 2006.
- [10] K. Buayai, "Optimal Multi-type DGs Placement in Primary Distribution System by NSGA-II," Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, vol. 4, no. 19, pp 3610-3617, 2012.

ภูวนาท มากแสน สำเร็จการศึกษาวศ.บ.(ไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง) จากมทร.อีสาน และกำลังศึกษาวศ.ม.(ไฟฟ้า) ที่มทร.อีสาน ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า มทร.อีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ งานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับระบบไฟฟ้ากำลัง

กานต์ เกิดชื่น สำเร็จการศึกษาวศ.บ. (ไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง) จาก ร.ม. วศ.ม. (ไฟฟ้า) จาก มข. และ D. Eng. (Energy, Electric Power System Management) จาก AIT ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง รองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มทร.อีสาน งานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับระบบไฟฟ้ากำลัง การหาค่าที่เหมาะสม และการบริหารจัดการพลังงาน

บทความนี้คัดเลือกลงจากการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้าราชชมงคล EENET 2013 ตีพิมพ์ออนไลน์ใน JPEE เมื่อ 20 พฤษภาคม 2556