Srinakharinwirot University Journal of Sciences and Technology

Volume 17, Issue 2, July-December 2025, Pages 1 – 18 ISSN 2985-2641 (Online)



Research Article

การปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีผลกระทบแรงดันตกที่บัสโหลด โดยการประมาณกำลังและแรงดันด้วยขั้นตอนวิธีการไหลกำลัง

Improvement of Distribution Systems Affected by Voltage Drop at Load Bus Using Power Flow Estimation Methods

***ดำรงศักดิ์ วงศ์ตา*[1]*, *ศตวรรษ เมืองชื่น*[1], *วีรพันธุ์ ศิริฤทธิ์*[2], *พรศักดิ์ ดีคำปา*[3]

***Dumrongsak Wongta*[1]*, *Satawat Muangchuen*[1], *Weerapan Siririt*[2], *Pornsak Deekampa*[3]

[1]*สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเชียงราย*

[1]*Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Chiangrai College.*

[2]*หน่วยวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเชียงราย*

[2]*Research Unit, Faculty of Engineering, Chiangrai College.*

[3]*งานบริการเทคโนโลยีและสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเชียงราย*

[3]*Technology and information services, Faculty of Engineering, Chiangrai College.*

**Corresponding author, e-mail: dumrongsak.wongta@crc.ac.th*

Received: *31 October 2024*; ***Revised:*** *24 March 2025*; ***Accepted:*** *25 March 2025*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใช้หม้อแปลงขนาด 250 kVA ซึ่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในโครงข่ายแบบเรเดียล ระบบจำหน่ายไฟฟ้าถูกจำลองเป็น 6 บัส โดยกำหนดพารามิเตอร์สายส่งจากขนาดตัวนำ ระยะทาง และการจัดวาง แล้วการคำนวณการไหลกำลังใช้วิธี Gauss-Seidel เพื่อประมาณแรงดันและกำลังสูญเสียในระบบเดิม (กรณีที่ 1) พบปัญหาแรงดันตกที่บัส 4 คือ 199.68 V โดยมุ่งแก้ปัญหาแรงดันตกและเสนอวิธีปรับปรุง ได้แก่ กรณีที่ 2 ย้ายหม้อแปลงไปยังจุดกึ่งกลางโหลดเพื่อกระจายกำลังสมดุล ผลการประมาณได้แรงดันที่บัส 4 คือ 207.03 V การเพิ่มขึ้นของแรงดัน 3.68% และลดการสูญเสียกำลัง 6.97% แต่แรงดันยังไม่ถึงพิกัดการทำงาน 230 V กรณีที่ 3 เพิ่มหม้อแปลงลูกที่สอง 50 kVA ติดตั้งที่บัส 4 ผลการประมาณได้แรงดันเพิ่มขึ้นถึงพิกัดการทำงาน ได้การเพิ่มขึ้นของแรงดัน 15.18% และลดการสูญเสียกำลัง 24.93% กรณีที่ 4 เพิ่มคาปาซิเตอร์แทนหม้อแปลง 50 kVA จำนวนสองขนาด คือ 391 μF และ 270 μF และใช้ดัชนี PLI และ CSI หาตำแหน่งจุดติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่เหมาะสมร่วมด้วย ได้ผลการประมาณได้แรงดันที่บัส 4 คือ 208.32 V

และ 206.55 V การเพิ่มขึ้นของแรงดัน 4.33% และ 3.44% ตามลำดับ เพิ่มคาปาซิเตอร์แทนหม้อแปลงสามารถลดการสูญเสียกำลัง 40.62% และ 31.60% ตามลำดับ โดยผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า กรณีที่ 2 ซึ่งเหมาะสมกับการกระจายโหลด แต่ไม่เหมาะสมในการปฏิบัติเพราะมีต้นทุนการย้าย อีกทั้งยังไม่สามารถแก้ไขแรงดันตกได้ กรณีที่ 3 ปรับปรุงแรงดันทั้งระบบและได้แก้ไขแรงดันตกที่บัส 4 ได้ตามพิกัดการทำงาน แม้มีต้นทุนการติดตั้งสูงกว่าแต่เหมาะสมสำหรับรองรับโหลดในอนาคตได้ กรณีที่ 4 เหมาะสำหรับการลดการสูญเสียกำลัง และเพิ่มประสิทธิภาพการส่งจ่ายกำลังในระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันอยู่พิกัดการทำงานอยู่แล้ว การศึกษานี้ช่วยให้แนวทางการวางแผนปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าแก้ไขแรงดันตกร่วมกับประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าได้

คำสำคัญ: การปรับปรุงระบบไฟฟ้า; การประมาณกำลัง; การประมาณแรงดัน; แรงดันตก

Abstract

This article presents the improvement of an electrical distribution system utilizing a 250kVA transformer that supplies power in a radial network configuration. The distribution system is modeled as a 6-bus system, with transmission line parameters determined based on conductor size, distance, and configuration. Power flow calculations are performed using the Gauss-Seidel method to estimate voltage and power losses in the power system (Case 1), identifying a voltage drop issue at Bus 4 is 199.68 V. To address this voltage drop, improvement method are proposed. In Case 2, the transformer is relocated to the load center network, resulting in an estimated voltage at Bus 4 is 207.03 V, a voltage increase is 3.68 % and a power loss reduction is 6.97 %. However, the voltage remains below the operational rated of 230 V. In Case 3, add a second transformer 50 kVA is installed at Bus 4, the voltage to the operational rated, with an estimated voltage increase is 15.18% and a power loss reduction is 24.93%. In Case 4, capacitors are introduced as an alternative to the 50kVA transformer, employing two sizes is 391 μF and 270 μF, while using the Power Loss Index (PLI) and Capacitor Suitability Index (CSI) to determine optimal installation locations, resulting estimated voltages at Bus 4 is 208.32 V and 206.55 V, corresponding to voltage increases is 4.33% and 3.44%, respectively. The capacitor-based approach further reduces power losses by 40.62% and 31.60%, respectively. The analysis results demonstrate that Case 2, while suitable for load distribution, is impractical due to the relocation costs and its inability to resolve the voltage drop issue. Case 3 improvement the voltage across the system and successfully mitigates the voltage drop at Bus 4 to meet the operational rated, making it appropriate for accommodating future load demands despite higher installation costs. Case 4 is effective for reducing power losses and improving power flow efficiency in systems where the voltage already meets the operational rated. This study provides guidance for planning improvements to the electrical distribution system, addressing voltage drop issues while enhancing power efficiency.

Keywords: power system improvement; power estimation; voltage estimation; voltage drop

บทนำ

ระบบไฟฟ้ากำลังเป็นโครงข่ายที่ส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไปยังสถานีจำหน่ายเพื่อผู้ใช้ไฟฟ้าในระยะทางที่หลากหลาย ขนาดสายตัวนำจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการส่งจ่าย สายตัวนำที่มีหน้าตัดใหญ่สามารถลดปัญหาแรงดันตกได้ แต่มีต้นทุนสูง เพื่อลดการสูญเสียพลังงานในระยะไกลและเพิ่มความเสถียรภาพ [1-2] หม้อแปลงไฟฟ้าถูกติดตั้งในสถานีเพื่อยกระดับแรงดัน ลดกระแสไฟฟ้าที่พิกัดกำลังคงที่ ซึ่งช่วยลดการสูญเสียในสาย (I^2R) โดยไม่ต้องเพิ่มขนาดสายตัวนำ [3] ปัญหาแรงดันตกในระบบจำหน่ายไฟฟ้าส่งผลต่อคุณภาพและความเสถียรของกำลังไฟฟ้า แรงดันที่ต่ำกว่ามาตรฐานอาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานผิดปกติ เช่น มอเตอร์เกิดความร้อน ส่งผลให้อายุการใช้งานลดลง การแก้ไขอาจต้องใช้อุปกรณ์ชดเชย เช่น คาปาซิเตอร์หรือหม้อแปลงเพิ่มเติม ซึ่งมีต้นทุนในการดำเนินการ [4] การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังมักใช้การศึกษาการไหลของกำลัง (Power Flow Analysis) โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson) และเก๊าส์-ไซเดล (Gauss-Seidel) เพื่อคำนวณแรงดันไฟฟ้า (ขนาดและมุม) กำลังไฟฟ้า และการสูญเสียในสายส่ง สนับสนุนการวางแผนปรับปรุงระบบในอนาคต [5] ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าภายใต้การดูแลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้าลดแรงดันจาก 22 kV เป็นระบบแรงดันต่ำ 400/230 V ส่งจ่ายในโครงสร้างแบบเรเดียล (Radial) ลูป (Loop) หรือโครงข่าย (Network) การวิเคราะห์ระบบแรงสูงและแรงต่ำแตกต่างกันที่พิกัดแรงดันและอุปกรณ์ แต่หลักการพื้นฐาน เช่น กฎของโอห์ม ยังคงใช้ร่วมกันได้ โดยปรับเงื่อนไขให้เหมาะสมกับแต่ละระบบ บทความนี้นำเสนอการประมาณกำลังและแรงดันด้วยวิธีการไหลกำลังเพื่อปรับปรุงระบบไฟฟ้ากำลัง วิเคราะห์การสูญเสียที่ส่งผลต่อแรงดันปลายสาย และเปรียบเทียบวิธีการปรับปรุงให้ระบบมีประสิทธิภาพ ลดผลกระทบจากแรงดันตก โดยระบุแนวทางที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับระบบนั้น ๆ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

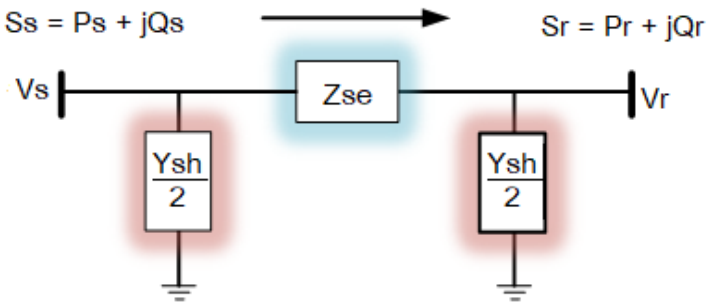
1. เพื่อประมาณกำลังและแรงดันไฟฟ้า ด้วยวิธีการไหลกำลังสำหรับทดสอบระบบจำหน่ายไฟฟ้า
2. เพื่อปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยการย้ายตำแหน่งและเพิ่มหม้อแปลงไฟฟ้าวิเคราะห์ปัญหาแรงดันตกที่บัสโหลด
3. เพื่อปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยหาขนาดพิกัดและตำแหน่งที่เหมาะสมของการเพิ่มคาปาซิเตอร์วิเคราะห์ปัญหาแรงดันตกที่บัสโหลด

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนและวิธีการไหลกำลังเป็นการหาค่าตัวแปรสมการการคำนวณที่ทำให้ทราบค่ากำลังและแรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบซึ่งหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

ขั้นตอนวิธีการไหลกำลัง

การไหลกำลังเป็นขั้นตอนที่ทำให้ทราบผลเฉลยของขนาดและมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าแต่ละบัส กำลังที่ไหลและกำลังสูญเสียในสายส่งแต่ละเส้น วิธีเกาส์ไซเดล (Gauss-Seidel method) [6-7] มีความเร็วในการประมวลผลที่ดีเหมาะสมกับโครงข่ายน้อยและไม่ซับซ้อน ทำการปรับค่าตัวแปรทีละตัวในแต่ละขั้นตอน ทำให้สามารถให้คำตอบได้ผลประมาณค่าใกล้เคียงและรวดเร็ว โดยสมการกระแสส่งจ่ายจากบัสส่ง (s) ไปยังบัสรับปลายทาง (r) ได้สมการดังนี้



ภาพที่ 1 วงจรสายส่งกำลังไฟฟ้า

$$P = VI\cos\theta \tag{1}$$

$$Q = VI\sin\theta \tag{2}$$

$$S = VI^{*} = P + jQ = \sqrt{P^2 + Q^2} \tag{3}$$

จัดเรียงสมการใหม่ เนื่องจากวิธีเกาส์ไซเดลเป็นกระบวนการที่คำนวณวนซ้ำเมื่อแทนค่ากำลังไฟฟ้าในสมการจะได้ผลลัพธ์สมการดังนี้

$$I_s = \sum_{n=1}^{N} Y_{sr}.V_r \tag{4}$$

$$I_s = Y_{ss}.V_s + \sum_{n=1}^{N} Y_{sr}.V_r \tag{5}$$

$$V_s = \frac{I_s}{V_{ss}} - \frac{1}{Y_{ss}} \sum_{n=1}^{N} Y_{sr}.V_r \tag{6}$$

$$V_s = \frac{1}{Y_{ss}} \left(\frac{P_s - jQ_s}{V_s^{*}} - \sum_{n=1}^{N} Y_{sr}.V_r^{(k)} \right) \tag{7}$$

$$V_s^{(k+1)} = \frac{1}{Y_{ss}} \left(\frac{P_s - jQ_s}{(V_s^{k})^{*}} - \sum_{n=1}^{N} Y_{sr}.V_r^{(k)} \right) \tag{8}$$

$$\varepsilon = \max \left(\frac{\left| X_i^{(k+1)} - X_i^{(k)} \right|}{\left| X_i^{(k+1)} \right|} \right) \tag{9}$$

โดย P คือ กำลังไฟฟ้าจริง หน่วยวัตต์, W

Q คือ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ หน่วยวาร์, VAr

S คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏ หน่วยโวลต์-แอมป์, VA

I คือ กระแสไฟฟ้า หน่วยแอมแปร์, A

V คือ แรงดันไฟฟ้า หน่วยโวลต์, V

Zse คือ อิมพีแดนซ์ หน่วยโอห์ม, Ω

Ysh คือ แอดมิตแตนซ์ หน่วยซีเมนส์, S

ε คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ

$X_i^{(k+1)}$ คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณวนซ้ำรอบที่ k+1

$X_i^{(k)}$ คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณวนซ้ำรอบที่ k

การตรวจสอบความถูกต้องของ Gauss-Seidel Method ดังสมการที่ (9) โดยการกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ≤ 0.00005 โดยนำคำตอบการวนซ้ำมาหาคำตอบของระบบสมการที่ลู่เข้าไปยังค่าที่ถูกต้อง การกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนเป็นสิ่งสำคัญในการควบคุมความแม่นยำของคำตอบ เมื่อคำตอบมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนด การคำนวณจะสิ้นสุดและได้ผลลัพธ์

พารามิเตอร์สายส่ง

ข้อมูลและพารามิเตอร์ของสายตัวนำที่ใช้ส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า หรือเรียกว่า สายส่ง มี 4 ชนิดคือ ความต้านทาน (resistance) ความเหนี่ยวนำ (inductance) ความจุไฟฟ้า (capacitance) และ ความนำไฟฟ้า (conductance) สามารถนำข้อมูลไปคำนวณ ออกแบบ และวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง ผู้ผลิตจะให้ข้อมูลที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการมาให้ จึงนำข้อมูลนี้ไปคำนวณความต้านทาน รีแอกแตนซ์อนุกรม และคาปาซิแตนซ์ขนาน ของวงจรสมมูลสายส่ง [8-10] พิจารณาตามลักษณะการวางตัวของสายส่ง สายส่งในระบบ 3 เฟสที่วางตัวสมมาตร (Symmetrical Spacing) เป็นการวางสายแบบแบบด้านเท่า ระยะห่างระหว่างเฟสเท่ากันนี้เป็นสามเหลี่ยมด้านเท่า สมดุล วางตัวนำห่างกันเป็นระยะเท่ากัน สายส่งในระบบ 3 เฟสที่วางตัวไม่สมมาตร (Asymmetrical Spacing) เป็นการวางสายตัวนำ 3 เฟส ซึ่งในทางปฏิบัติส่วนใหญ่จะมีระยะห่างไม่เป็นด้านเท่า (Geomagnetic Mean Distance, GMD) คือค่าระยะห่างที่มีผลต่อคลื่นไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งระหว่างสายตัวนำไฟฟ้า และค่าความยาวทางเรขาคณิตของกลุ่มสายที่ถูกควบรวมเข้าด้วยกัน (Geometric Mean Radius, GMR) จากสมการที่ (10) และ (11) สามารถนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของสายส่งดังต่อไปนี้

$$GMD = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{13}} \tag{10}$$

$$GMR = \sqrt[n^2]{\left(D_{aa}D_{ab}\cdots D_{an}\right)\left(D_{ba}D_{bb}\cdots D_{bn}\right)\cdots\left(D_{na}D_{nb}\cdots D_{nn}\right)} \tag{11}$$

$$L = 2\times10^{-7}\ln\frac{GMD}{GMR} \tag{12}$$

$$X_L = 2\pi fL \tag{13}$$

$$Z = R + jX_L \tag{14}$$

$$X_C = 1/\left(2\pi f.C\right) \tag{15}$$

$$Q_C = V^2 / X_C \tag{16}$$

$$Q_C = V^2\left(2\pi f.C\right) \tag{17}$$

$$C = \frac{Q_C}{V^2.2\pi f} \tag{18}$$

โดย R คือ ความต้านทาน หน่วยโอห์ม, Ω

L คือ ค่าความเหนี่ยวนำ หน่วยเฮนรี่, H

C คือ ค่าความจุ หน่วยฟารัด, F

X_L คือ รีแอกแตนซ์ความเหนี่ยวนำ หน่วยโอห์ม, Ω

X_C คือ รีแอกแตนซ์ความจุ หน่วยโอห์ม, Ω

Z คือ อิมพีแดนซ์ หน่วยโอห์ม, Ω

f คือ ความถี่ หน่วยเฮริตซ์, Hz

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำ 3 เฟส

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จังหวัดเชียงราย หมายเลขหม้อแปลง PEA 59-006643 เป็นหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ขนาดพิกัดกำลัง 250 kVA, 22kV/400-230V, 50H_Z การจ่ายไฟฟ้าระบบแรงต่ำของหม้อแปลงติดตั้งใช้งานในชุมชนบ้านฮ่องลี่ ตำบลรอบเวียง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย มีผู้ใช้ไฟจำนวน 248 ราย ระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังไฟฟ้าออกจากหม้อแปลงผ่านสายส่งไปยังปลายทางเป็นแบบเรเดียล ดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 2 พื้นที่การจ่ายโหลดหม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่าย



ภาพที่ 3 หม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่าย 250 kVA

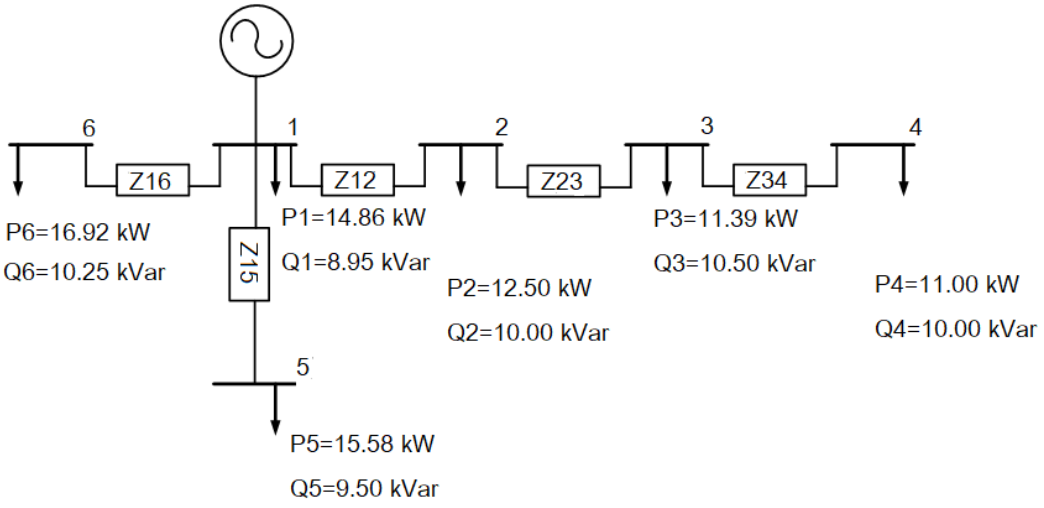
ตารางที่ 1 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้า

บัส	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า (ราย)	การใช้ไฟฟ้าต่อเดือน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า (Vrms)
1	39	10,700	225.00
2	34	9,000	225.14
3	44	8,201	218.73
4	38	7,920	197.47
5	53	11,215	222.47
6	40	12,181	217.68
รวม	**248**	**59,217**	-

ตารางที่ 2 ข้อมูลพารามิเตอร์สายส่ง

ลำดับ	บัส s-r		ระยะทาง	อิมพีแดนซ์สายส่ง
	ส่ง	รับ	(กิโลเมตร)	(per-unit)
1	1	2	4.4	0.133+j0.059
2	2	3	12.8	0.390+j0.168
3	3	4	22.4	0.680+j0.300
4	1	5	3.7	0.113+j0.051
5	1	6	3.9	0.112+j0.052

จากระบบจำหน่ายที่ศึกษาแสดงเป็นไดอะแกรมระบบจำหน่ายไฟฟ้ากรณีที่ 1 กำหนดกำลังไฟฟ้าจริง (Power, P) และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive power, Q) ทั้ง 6 บัส มีค่าอิมพีแดนซ์สายส่ง (Impedance, Z) จากระยะทางสายส่งจากบัสส่งไปยังบัสรับปลายทาง สำหรับใช้คำนวณโดยขั้นตอนการไหลกำลังประมาณกำลังและแรงดัน [11] แล้วเปรียบเทียบจากข้อมูลวัดจริงผู้ใช้ไฟฟ้า



ภาพที่ 4 ไดอะแกรมระบบจำหน่ายไฟฟ้ากรณีที่ 1

ผลการวิจัย

วิธีการคำนวณการไหลกำลังด้วยวิธีเกาส์ไซเดล ได้คำตอบค่าประมาณกำลังที่ไหลไปยังบัสโหลด กำลังสูญเสียระหว่างการส่งจ่าย และประมาณแรงดันที่บัสโหลด โดยให้ค่าที่คำนวณอยู่ในระบบหน่วยฐานเดียวกัน (per-unit) จากนั้นนำคำตอบที่ประมาณได้แปลงกลับเป็นค่าจริง มีผลการประมาณกำลังและแรงดัน ดังต่อไปนี้

การประมาณระบบจำหน่ายไฟฟ้ากรณีที่ 1

ระบบที่ศึกษานี้ได้ออกแบบจำลองเป็นระบบจำหน่ายไฟฟ้า 6 บัส มีหม้อแปลงไฟฟ้า 250 kVA เป็นแหล่งจ่ายกำลังของระบบติดตั้งอยู่ที่บัสที่ 1 แสดงผลการประมาณดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 ผลการประมาณแรงดันระบบไฟฟ้ากรณีที่ 1

บัส	แรงดันเครื่องวัด	แรงดันประมาณ	แรงดันและมุมเฟส	โหลดผู้ใช้ไฟฟ้า	
	Measure (Vrms)	Estimate (Vrms)	$V\angle\delta^{\circ}$ (per-unit)	P (kW)	Q (kVAr)
1	228.00	230.00	$1.0\angle 0^{\circ}$	14.86	8.95
2	225.14	223.48	$0.97\angle 0.47^{\circ}$	12.50	10.00
3	214.73	210.82	$0.92\angle 1.56^{\circ}$	11.39	10.50
4	197.47	199.68	$0.87\angle 2.57^{\circ}$	11.00	10.00
5	224.31	227.92	$0.99\angle 0.07^{\circ}$	15.58	9.50
6	223.68	227.64	$0.99\angle 0.08^{\circ}$	16.92	10.25

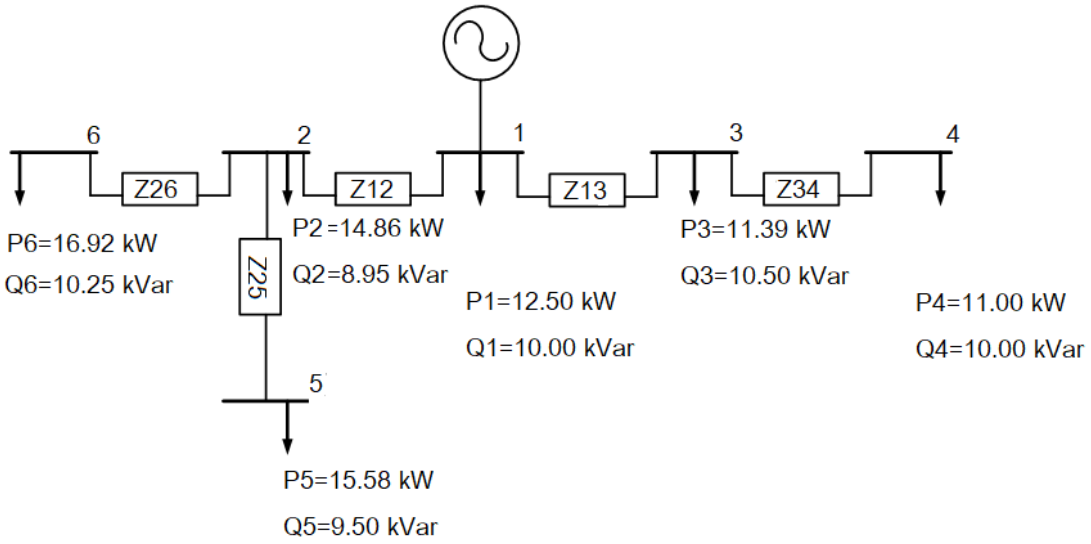
ตารางที่ 4 ผลการประมาณกำลังระบบไฟฟ้ากรณีที่ 1

บัส s-r		การไหลกำลัง		กำลังสูญเสียในสาย	
ส่ง	รับ	P (per-unit)	Q (per-unit)	P (per-unit)	Q (per-unit)
1	2	0.156	0.129	0.0055	0.0024
2	3	0.100	0.087	0.0073	0.0031
3	4	0.042	0.042	0.0032	0.0014
1	5	0.063	0.038	0.0006	0.0003
1	6	0.069	0.041	0.0008	0.0003

จากผลการประมาณกำลังและแรงดัน ได้ค่าแรงดันและมุมเฟสที่บัส ได้กำลังที่ไหลในสายส่งไปยังแต่ละบัส รวมทั้งกำลังสูญเสียในสายส่ง และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงดันวัดจริง มีค่าแรงดันใกล้เคียงกัน จะเห็นว่าค่าแรงดันจริงที่บัสที่ 3 และบัสที่ 4 มีแรงดันตกต่ำกว่าพิกัด 230 V ที่ 6.64 % และ 14.14 % ตามลำดับ จึงเสนอวิธีปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยมุ่งแก้ปัญหาแรงดันตก และให้ระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีประสิทธิภาพการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กระจายกำลังและแรงดันให้เหมาะสมและเพียงพอต่อบัสโหลด จึงได้ออกแบบแนวทางที่สามารถนำไปวางแผนและประมาณค่าให้เห็นผลการประมาณกำลังและแรงดันของระบบได้ดังต่อไปนี้

การประมาณระบบจำหน่ายไฟฟ้ากรณีที่ 2

จากระบบจำหน่ายที่ศึกษากรณีที่ 1 มีผลกระทบแรงดันตกที่บัส 3 และบัส 4 จึงทำให้มีแนวคิดการหาค่าการวางตำแหน่งหม้อแปลงไฟฟ้าที่เหมาะสม ย้ายอยู่ศูนย์กลางระบบไฟฟ้าให้มีระยะทั้งสองด้านหม้อแปลงใกล้เคียงกัน ให้มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ประสิทธิภาพ มีแรงดันไฟฟ้าได้ตามพิกัดมาตรฐาน กรณี 2 จึงได้ย้ายหม้อแปลงไฟฟ้าจากบัสที่ 1มาติดตั้งที่บัสที่ 2 เพื่อให้หม้อแปลงไฟฟ้าอยู่ศูนย์กลางระบบไฟฟ้าของระยะทางส่งจ่ายไปบัสโหลด [12-13] จึงได้ออกแบบจำลองสำหรับการประมาณระบบจำหน่ายไฟฟ้ากรณีที่ 2 ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ไดอะแกรมระบบจำหน่ายไฟฟ้ากรณีที่ 2

ตารางที่ 5 ผลการประมาณแรงดันระบบไฟฟ้ากรณีที่ 2

บัส	แรงดันประมาณ	เฟสเซอร์แรงดัน	ขนาดและมุมแรงดัน
	Estimate (Vrms)	$V\angle\delta^{\circ}$ (per-unit)	(per-unit)
1	230.00	$1.0\angle 0^{\circ}$	1+j0
2	222.58	$0.97\angle 0.31^{\circ}$	0.970+j0.005
3	217.77	$0.95\angle 1.02^{\circ}$	0.949+j0.017
4	207.03	$0.90\angle 1.97^{\circ}$	0.899+j0.030
5	220.44	$0.96\angle 0.38^{\circ}$	0.960+j0.006
6	220.13	$0.96\angle 0.39^{\circ}$	0.960+j0.006

จากตารางที่ 5 ย้ายหม้อแปลงไปยังจุดกึ่งกลางโหลดเพื่อกระจายกำลังสมดุล คำนวณโดยใช้วิธีขั้นตอนการไหลกำลังประมาณกำลังและแรงดันเปรียบเทียบผลกับระบบจำหน่ายที่ศึกษากรณีที่ 1 ที่มีผลกระทบแรงดันตก จะเห็นว่ากรณีที่ 2 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ขยับมาอยู่ในตำแหน่งที่บัส 2 ตำแหน่งจุดกึ่งกลางโหลด ส่งผลต่อแรงดันที่ บัส 3 และ บัส 4 ผลการประมาณได้แรงดันที่บัส 4 คือ 207.03 V การเพิ่มขึ้นของแรงดัน 3.68 % แต่แรงดันยังไม่ถึงพิกัดการทำงาน 230 V ส่วนบัส 5 และ บัส 6 จะมีระยะที่ไกลจากหม้อแปลงจากเดิมทำให้มีค่าแรงดันลดลงไปเล็กน้อย

ตารางที่ 6 ผลการประมาณกำลังระบบไฟฟ้ากรณีที่ 2

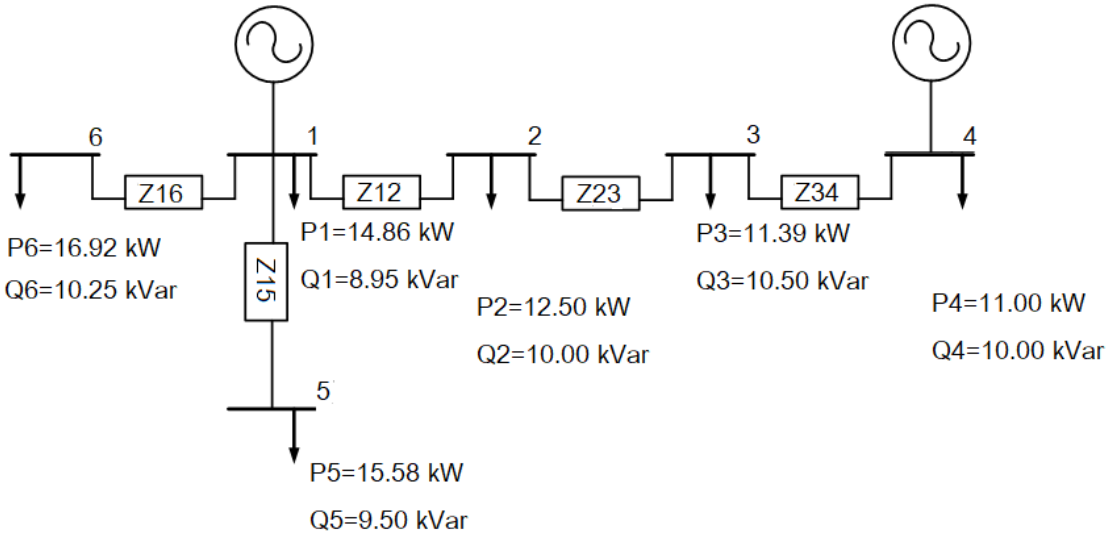
บัส s-r		การไหลกำลัง		กำลังสูญเสียในสาย	
ส่ง	รับ	P (per-unit)	Q (per-unit)	P (per-unit)	Q (per-unit)
1	2	0.188	0.123	0.0067	0.0030
1	3	0.099	0.086	0.0068	0.0029
3	4	0.047	0.041	0.0030	0.0013
2	5	0.063	0.038	0.0006	0.0003
2	6	0.069	0.042	0.0008	0.0004

จากตารางที่ 6 เมื่อระยะทางสายส่งจากหม้อแปลงไปยังบัสที่ 4 ใกล้กว่าเดิมส่งผลให้ค่ารีแอกแตนซ์ลดลง กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งมีค่าเพิ่มขึ้น และลดการสูญเสียกำลัง 6.97 % แต่การย้ายหม้อแปลงในทางปฏิบัติจริงไม่เหมาะสมในด้านต้นทุนการรื้อ และต้นทุนการติดตั้งใหม่รวมทั้งต้องเพิ่มการขยายสายส่งและออกแบบการติดตั้งใหม่ ถึงแม้ว่าการจำลองสามารถย้ายหม้อแปลงไปยังจุดกึ่งกลางโหลดได้ เพื่อวิเคราะห์ด้วยการประมาณแรงดันแล้ว แต่ยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาแรงดันตกที่บัส 4 ได้ จึงได้ปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าในกรณีที่ 3

การประมาณระบบจำหน่ายไฟฟ้ากรณีที่ 3

จากระบบจำหน่ายที่ศึกษากรณีที่ 1 มีผลกระทบแรงดันตกที่บัส 3 และบัส 4 การเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าโดยเพิ่มหม้อแปลงไฟฟ้าติดตั้งที่บัสที่ 4 มีขนาดพิกัดกำลังที่ 50 kVA, 22kV/400-230V เพื่อรองรับกำลังโหลดบัส 4 [14] และกำหนดให้มีค่า Safety Margin ประมาณ 20-25% เพื่อรองรับโหลดในอนาคต และสามารถจ่ายกำลังและแรงดันที่โหลด

บัส 4 โดยตรง แบบจำลองสำหรับการประมาณระบบจำหน่ายไฟฟ้ากรณีที่ 3 แสดงดังภาพที่ 6 คำนวณโดยใช้วิธีขั้นตอนการไหลกำลังประมาณกำลังและแรงดัน แสดงดังตารางที่ 7 และ 8



ภาพที่ 6 ไดอะแกรมระบบจำหน่ายไฟฟ้ากรณีที่ 3

ตารางที่ 7 ผลการประมาณแรงดันไฟฟ้ากรณีที่ 3

บัส	แรงดันประมาณ	เฟสเซอร์แรงดัน	ขนาดและมุมแรงดัน
	Estimate (Vrms)	$V\angle\delta^\circ$ (per-unit)	(per-unit)
1	230.00	$1.0\angle 0^\circ$	1+j0
2	225.69	$0.98\angle 3.24^\circ$	0.978+j0.055
3	221.42	$0.96\angle 8.62^\circ$	0.949+j0.143
4	230.00	$1.0\angle 18.72^\circ$	0.947+j0.320
5	227.93	$0.99\angle 0.06^\circ$	0.990+j0.001
6	227.64	$0.99\angle 0.07^\circ$	0.990+j0.001

ตารางที่ 8 ผลการประมาณกำลังไฟฟ้ากรณีที่ 3

บัส s-r		**การไหลกำลัง**		**กำลังสูญเสียในสาย**	
ส่ง	รับ	P (per-unit)	Q (per-unit)	P (per-unit)	Q (per-unit)
1	2	0.016	0.295	0.0016	0.0015
2	3	-0.046	0.250	0.0002	0.0012
3	4	-0.118	0.196	0.0005	0.0007
1	5	0.063	0.038	0.0006	0.0003
1	6	0.069	0.041	0.0008	0.0003

กรณีที่ 3 เพิ่มหม้อแปลงลูกที่สอง 50 kVA โดยติดตั้งที่ บัส 4 โดยตรงสำหรับแก้ไขแรงดันตก จากตารางที่ 7 ผลการประมาณได้แรงดันเพิ่มขึ้นถึงพิกัดการทำงาน 220-230 V จะเห็นว่าค่าการประมาณแรงดันบัส 1-6 สามารถจ่ายแรงดันให้โหลดได้โดยมีแรงดันอยู่ที่พิกัด และบัส 4 ได้การเพิ่มขึ้นของแรงดัน 15.18 % โดยไม่เกิดผลกระทบจากแรงดันตก และจากตารางที่ 8 กำลังหม้อแปลงที่บัส 4 เพิ่มขึ้นส่งผลให้กำลังไฟฟ้าทุกบัสเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเนื่องจากแหล่งจ่ายเพิ่มขึ้นและช่วยกระจายกำลังให้โหลด และลดการสูญเสียกำลัง 24.93 % การจำลองกรณีที่ 3 แสดงให้เห็นว่าสามารถแก้ไขแรงดันตกได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังรองรับโหลดในอนาคตได้ ซึ่งในทางปฏิบัติทำได้จริงแต่มีต้นทุนเพิ่มขึ้นของจำนวนหม้อแปลงลูกที่สอง

การประมาณระบบจำหน่ายไฟฟ้ากรณีที่ 4

การประมาณระบบจำหน่ายไฟฟ้ากรณีที่ 4 ได้เพิ่มคาปาซิเตอร์ชดเชย (Capacitor Bank) ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่บัส 4 แทนการเพิ่มหม้อแปลง 50 kVA ในการติดตั้งคาปาซิเตอร์ชดเชยสามารถช่วยปรับปรุงตัวประกอบกำลัง โดยช่วยลดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่เกิดจากโหลด การจำลองกรณีที่ 4 จะช่วยให้ได้ค่าประมาณแรงดันไฟฟ้าในระบบที่อยู่ห่างจากหม้อแปลงเกิดปัญหาแรงดันตก ดังนั้นเมื่อตัวประกอบกำลังได้ปรับปรุงมีค่าสูงขึ้น จึงได้ปรับปรุงตัวประกอบกำลังที่ 0.90 และ 0.95 จากการคำนวณหา Q_C ที่ช่วยลดกำลังรีแอกทีฟและหาค่าขนาดพิกัดของคาปาซิเตอร์ชดเชย

จากสมการที่ (1) $Q_{C,0.90}$ = P4 tan($\cos^{-1}$0.90) = 5.327 kVAr และ $Q_{C,0.95}$ = P4 tan($\cos^{-1}$0.95) = 3.616 kVAr

$Q4_{New} = Q4 - Q_{C,0.90}$ = 10kVAr − 5.327 kVAr = 4.673 kVAr ดังนั้นกำลังไฟฟ้าบัส 4 เท่ากับ 11 kW + j4.673 kVAr

$Q4_{New} = Q4 - Q_{C,0.95}$ = 10kVAr − 3.616 kVAr = 6.384 kVAr ดังนั้นกำลังไฟฟ้าบัส 4 เท่ากับ 11 kW + j6.384 kVAr

เมื่อได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่บัส 4 ใหม่ ที่มีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังที่ 0.90 และ 0.95 นำไปคำนวณโดยใช้วิธีขั้นตอนการไหลกำลังประมาณแรงดันไฟฟ้า และนำไปคำนวณหาขนาดพิกัดคาปาซิเตอร์ชดเชยดังสมการที่ (18) แสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการประมาณแรงดันระบบไฟฟ้ากรณีที่ 4

บัส	ตัวประกอบกำลังที่ 0.90		ตัวประกอบกำลังที่ 0.95	
	แรงดันประมาณ	**เฟสเซอร์แรงดัน**	**แรงดันประมาณ**	**เฟสเซอร์แรงดัน**
	Estimate (Vrms)	$V\angle\delta^\circ$ (per-unit)	Estimate (Vrms)	$V\angle\delta^\circ$ (per-unit)
1	230.00	$1.0\angle 0^\circ$	230.00	$1.0\angle 0^\circ$
2	223.53	$0.97\angle 0.47^\circ$	223.52	$0.97\angle 0.47^\circ$
3	212.73	$0.93\angle 1.44^\circ$	212.46	$0.93\angle 1.46^\circ$
4	208.32	$0.90\angle 2.04^\circ$	206.55	$0.90\angle 2.15^\circ$

บัส	ตัวประกอบกำลังที่ 0.90		ตัวประกอบกำลังที่ 0.95	
	แรงดันประมาณ	**เฟสเซอร์แรงดัน**	**แรงดันประมาณ**	**เฟสเซอร์แรงดัน**
	Estimate (Vrms)	$V\angle\delta^{\circ}$ (per-unit)	Estimate (Vrms)	$V\angle\delta^{\circ}$ (per-unit)
5	227.95	$0.99\angle 0.07^{\circ}$	227.95	$0.99\angle 0.07^{\circ}$
6	227.67	$0.99\angle 0.08^{\circ}$	227.67	$0.99\angle 0.08^{\circ}$
Q_C	5.327 kVAr		3.616 kVAr	
Capacitor	391 μF		270 μF	

การติดตั้งคาปาซิเตอร์ส่งผลให้การสูญเสียกำลังลดลง และการเพิ่มขึ้นของแรงดัน 4.33 % และ 3.44 % ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการกำหนดตำแหน่งและขนาดของคาปาซิเตอร์ให้เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญ [15] เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดและคุ้มค่าต่อการลงทุน ด้วยเหตุนี้การวิเคราะห์ Power Loss Index (PLI) และ Capacitor Suitability Index (CSI) จึงมีความจำเป็นสำหรับใช้เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงศักยภาพของแต่ละจุดในระบบในการลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้า โดยคำนวณจากความแตกต่างของ กำลังสูญเสีย (PLoss) ก่อนและหลังการติดตั้งคาปาซิเตอร์ และเป็นดัชนีที่ประเมินความเหมาะสมของจุดติดตั้งคาปาซิเตอร์ในระบบไฟฟ้า

ดัชนีการสูญเสียกำลังไฟฟ้า (Power Loss Index: PLI) เป็นตัวชี้วัดที่ใช้ประเมินศักยภาพของบัสแต่ละบัสในระบบไฟฟ้าที่จะสามารถลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าจริง (Active Power Loss) ได้ [16] เมื่อมีการติดตั้งคาปาซิเตอร์ชดเชย โดยค่า PLI อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 บ่งบอกถึงการลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าจริง ได้แก่ PLI = 0 - 0.25 ไม่มีลดการสูญเสีย, PLI = 0 - 0.5 ลดการสูญเสียได้น้อย, PLI = 0.25 - 0.75 ลดการสูญเสียได้ปานกลาง, PLI = 0.5 - 1 ลดการสูญเสียมาก และ PLI = 0.75 - 1 ลดการสูญเสียมากที่สุด คำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

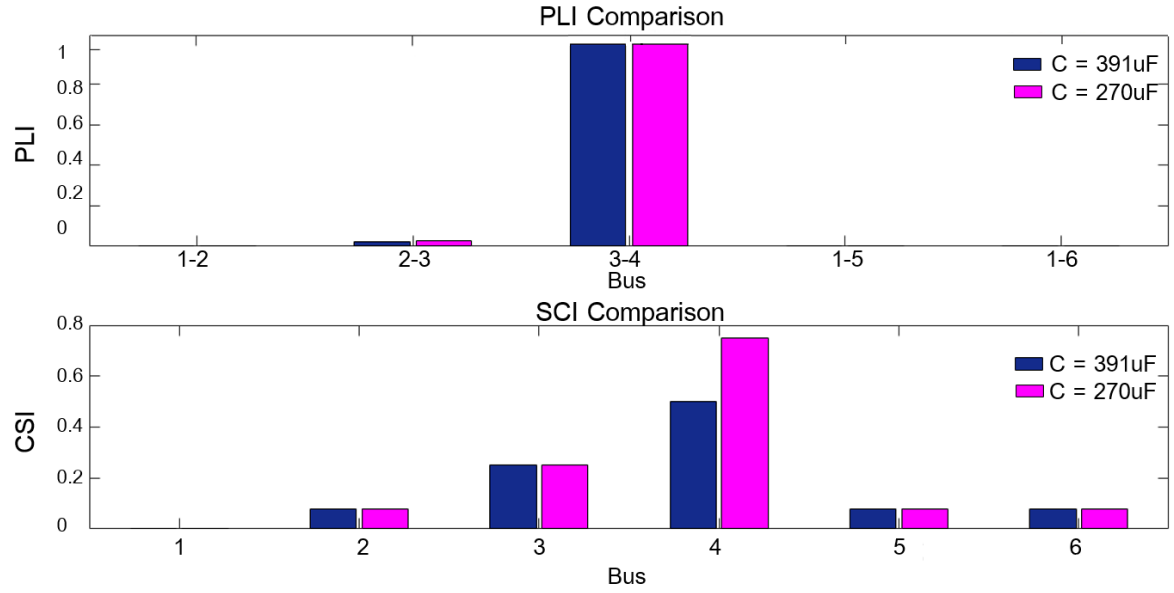
$$PLI_{(n)} = \frac{X_{(n)} - Y}{Z - Y} \tag{19}$$

โดย $X_{(n)}$ คือ การลดลงของการสูญเสียกำลังไฟฟ้าจริง ($P_{Loss,\ Old}$ - $P_{Loss,\ New}$) ที่บัส n

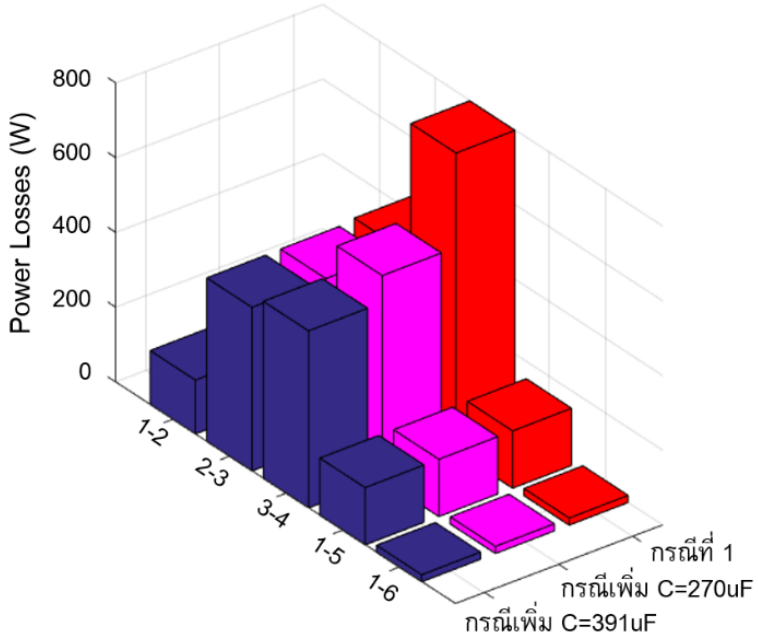
Y คือ การลดลงของการสูญเสียกำลังไฟฟ้าจริงขั้นต่ำ (Min P_{Loss}) จากทุกบัส

Z คือ การลดลงของการสูญเสียกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด (Max P_{Loss}) จากทุกบัส

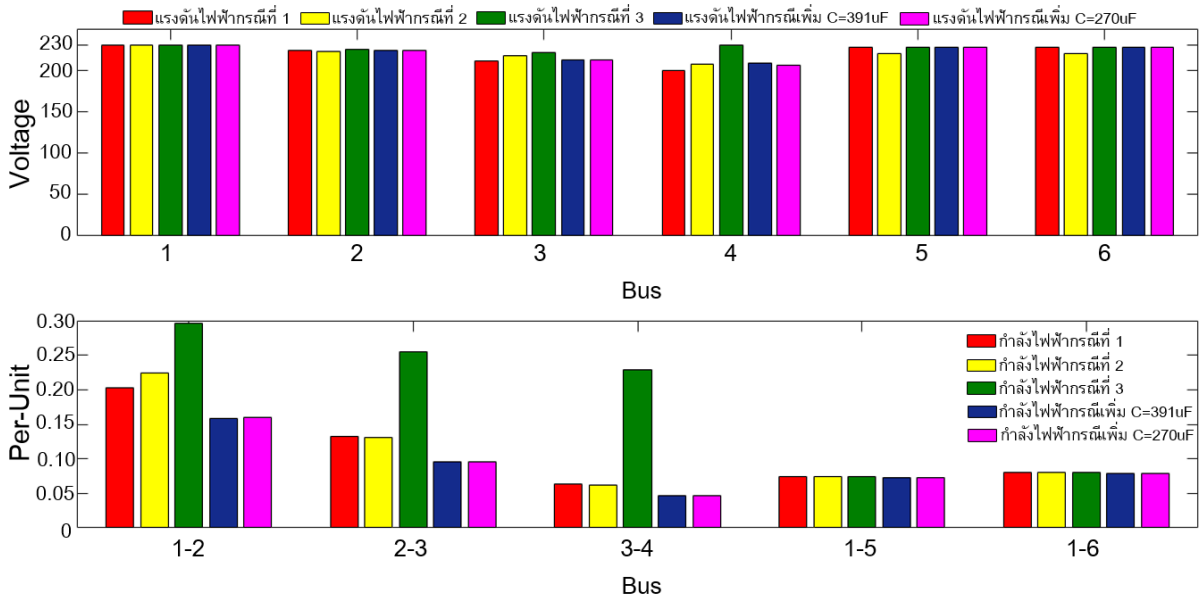
ดัชนีความเหมาะสมของการติดตั้งคาปาซิเตอร์ (Capacitor Suitability Index: CSI) เป็นตัวชี้วัดที่บ่งบอกความเหมาะสมของการติดตั้งคาปาซิเตอร์แต่ละบัสในระบบไฟฟ้า [17] พิจารณาจากตัวแปร PLI และ แรงดันไฟฟ้าแต่ละบัส โดยค่า CSI อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ที่แสดงถึงความเหมาะสมของการติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่บัสนั้น ๆ ได้แก่ CSI = 0 - 0.25 ไม่มีความเหมาะสม, CSI = 0 - 0.5 มีความเหมาะสมต่ำ, CSI = 0.25 - 0.75 ความเหมาะสมปานกลาง, CSI = 0.5 - 1 มีความเหมาะสมมาก และ CSI = 0.75 - 1 มีความเหมาะสมมากที่สุด



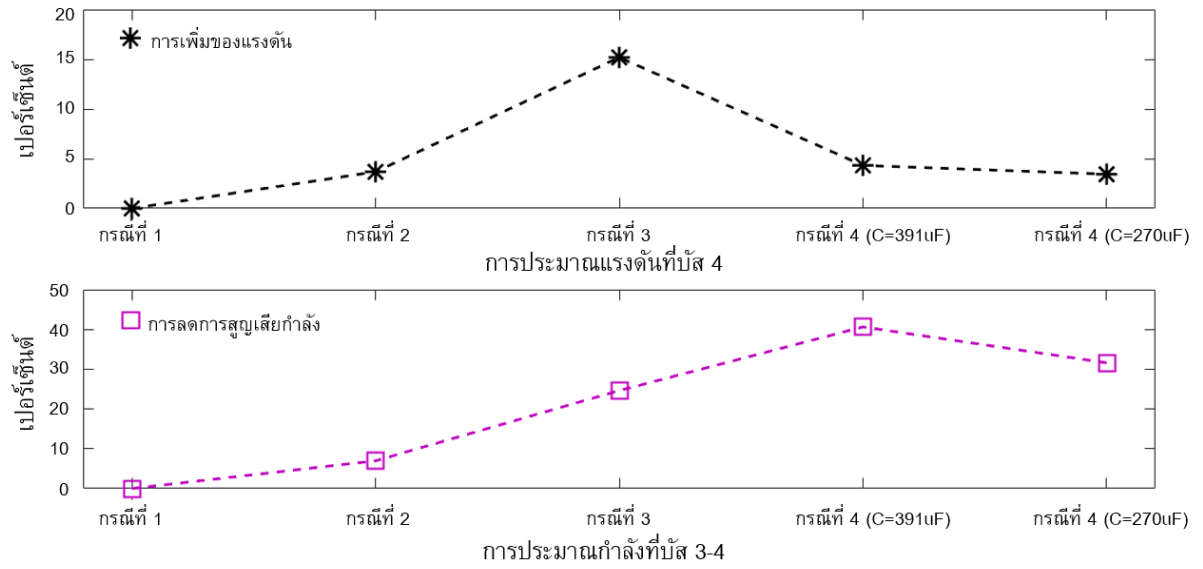
ภาพที่ 7 การทดสอบด้วยดัชนี PLI และ CSI



ภาพที่ 8 การลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าจากการเพิ่มคาปาซิเตอร์



ภาพที่ 9 การประมาณแรงดันและกำลังจากการปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้า



ภาพที่ 10 การประมาณแรงดันและกำลังที่บัส 4 เปรียบเทียบกรณีศึกษา

ภาพที่ 7 ค่า PLI ได้ประเมินศักยภาพการลดสูญเสียกำลังไฟฟ้าจริงจากการติดตั้งคาปาซิเตอร์ขนาดพิกัด 391 μF และ 270 μF ซึ่งคาปาซิเตอร์ทั้งสองขนาดได้ชี้วัดค่า PLI = 1 บ่งบอกถึงลดการสูญเสียมากที่สุดที่บัส 3-4 และคาปาซิเตอร์ขนาดพิกัด 391 μF ได้ CSI = 0.5 บ่งบอกมีความเหมาะสมมาก และคาปาซิเตอร์ขนาดพิกัด 270 μF ได้ CSI = 0.75 บ่งบอกมีความเหมาะสมมากที่สุด ดังนั้นที่บัส 4 จึงเป็นตำแหน่งติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด และจากภาพที่ 8 การลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าจริงจากการเพิ่มคาปาซิเตอร์ชดเชยเข้าไปบัส 4 และจำลองการคำนวณโดยใช้วิธีขั้นตอนการไหลกำลังเปรียบเทียบกับกรณีที่ 1 จะเห็นว่าการเพิ่มคาปาซิเตอร์ในระบบไฟฟ้าสามารถลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส 3-4

เนื่องจากคาปาซิเตอร์ทำหน้าที่ปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้การไหลกำลังไฟฟ้าดีขึ้น และขนาดพิกัดคาปาซิเตอร์ที่มีค่าการเก็บประจุมากก็จะทำให้ช่วยลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้นในเฉพาะจุดที่ทำการติดตั้งบัส 4 เท่านั้น บัสอื่น ๆ มีการลดกำลังสูญเสียเท่ากันคงเดิมกับกรณีที่ 1 สามารถเปรียบเทียบค่าแรงดันและกำลังในแต่ละกรณีศึกษาแสดงดังภาพที่ 9 และ 10ในกรณีที่ 1 มีค่าแรงดันบัสเกิดปัญหาแรงดันตกที่บัสที่ 3 และ 4 จึงนำแบบจำลองไปปรับปรุงในกรณีที่ 2 โดยการย้ายหม้อแปลงไปอยู่ตำแหน่งจุดกึ่งกลางโหลด ได้ผลการประมาณแรงดันเพิ่มขึ้นเล็กน้อย กรณีที่ 3 ได้เพิ่มหม้อแปลงที่บัส 4 ที่เกิดแรงดันตกโดยตรง ได้ผลการประมาณแรงดันทุกบัสมีค่าสูงขึ้นอยู่ในพิกัดใช้งาน และบัส 4 มีการเพิ่มขึ้นของแรงดันสูงกว่ากรณีอื่น 15.18 % อีกทั้งได้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นสูงกว่ากรณีอื่น สามารถรองรับกำลังโหลดในอนาคตได้ และมีการลดการสูญเสียกำลังมากขึ้น 24.93 % และกรณีที่ 4 ได้เพิ่มคาปาซิเตอร์จำนวนสองขนาดที่บัส 4 เปรียบเทียบกันได้ค่าการประมาณแรงดันเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ข้อดีของการเพิ่มคาปาซิเตอร์ส่งผลต่อกำลังรีแอกทีฟช่วยให้การลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้ามากกว่ากรณีอื่น การเพิ่มคาปาซิเตอร์จึงเหมาะสมกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ไม่มีปัญหาแรงดันตกแต่ต้องการปรับปรุงตัวประกอบกำลังช่วยลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ใช้การประมาณกำลังและแรงดันไฟฟ้าด้วยวิธีการไหลกำลังแบบ Gauss-Seidel เพื่อทดสอบระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลที่มีหม้อแปลงขนาด 250 kVA ผลลัพธ์จากการคำนวณแสดงให้เห็นถึงปริมาณกำลังที่ไหลผ่านสายส่ง การสูญเสียกำลังในสาย และแรงดันที่แต่ละบัส เปรียบเทียบกับข้อมูลการวัดจริง วิธีการไหลกำลังแบบ Gauss-Seidel เหมาะสมกับการวิเคราะห์ระบบจำหน่ายไฟฟ้าขนาดเล็กถึงขนาดกลางที่มีโครงสร้างระบบไฟฟ้าแบบเรเดียลช่วยประมาณกำลังไฟฟ้าและแรงดันได้ และจากการจำลองแสดงให้เห็นถึงปัญหาแรงดันตกที่บัส 4 ใกล้เคียงกันกับการวัดจริง นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่นในการทดสอบวิธีการปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้า ได้แก่ การย้ายหม้อแปลง และเพิ่มหม้อแปลงการเพิ่มคาปาซิเตอร์ ซึ่งสนับสนุนการวิเคราะห์และการตัดสินใจในการปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยการย้ายตำแหน่งและเพิ่มหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาแรงดันตกที่บัส 4 งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการปรับปรุงสองแนวทางที่เกี่ยวข้องกับหม้อแปลงไฟฟ้า ได้แก่ กรณีที่ 2 การย้ายตำแหน่งหม้อแปลงไปยังจุดกึ่งกลางของโหลด ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าแรงดันที่บัส 3 และบัส 4 เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ยังไม่ถึงพิกัดแรงดันที่ใช้งาน ซึ่งในทางปฏิบัติจริงการย้ายหม้อแปลงอาจไม่เหมาะสมในด้านต้นทุนในการรื้อถอน การขยายสายส่งและออกแบบการติดตั้งใหม่ และการเพิ่มหม้อแปลงขนาด 50 kVA ที่บัส 4 ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าและแรงดันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ทุกบัสในระบบ โดยเฉพาะที่บัส 4 ที่แก้ปัญหาแรงดันตกได้ เนื่องจากมีแหล่งจ่ายเพิ่มขึ้นและกระจายกำลังแบ่งโหลดได้ทุกบัส

การปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยการเพิ่มคาปาซิเตอร์ ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังที่ 0.90 และ 0.95 ซึ่งเป็นค่าที่ดีในการใช้ปรับปรุงในระบบไฟฟ้า นำไปคำนวณกำลังรีแอกทีฟใหม่เพื่อหาขนาดคาปาซิเตอร์ชดเชย ใช้การประมาณกำลังและแรงดันไฟฟ้าด้วยวิธีการไหลกำลังแบบ Gauss-Seidel ที่นำเสนอหาค่าแรงดันที่บัสสำหรับคำนวณหาขนาดคาปาซิเตอร์ ได้แก่ 391 μF และ 270 μF เพื่อการหาตำแหน่งติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้ดัชนี PLI และ CSI ชี้ให้เห็นว่าบัส 4 มีความเหมาะสมมากที่สุดในตำแหน่งติดตั้งคาปาซิเตอร์ และคาปาซิเตอร์ช่วยส่งผลให้การสูญเสียกำลังจริงลดลงที่บัส 3-4 มากกว่ากรณีอื่น ๆ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำการวิจัยขอขอบคุณวิทยาลัยเชียงราย ที่ให้การสนับสนุนการวิจัย และขอขอบคุณการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดเชียงราย ที่ให้ข้อมูลและเอื้อเฟื้อในการดำเนินงานเพื่อให้การดำเนินงานวิจัยลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Yuslizar, B. P. E., Yasin, M., Taufiq, Y. I., and Lanto, A. K. M. (2024). Analysis of voltage drop and power losses on medium voltage 20 kV distribution system Kotamobagu area supplied from PLTD Kotamobagu. *Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, 9*(1), 79-88.

[2] Huatuco, D. Z. Ñ., Filho, L. O. P., Pucuhuayla, F. J. S., and Rodriguez, Y. P. M. (2024). Network reconfiguration for loss reduction using Tabu search and a voltage drop. *Journal of Energies, 17*(11), 110-128.

[3] Syahruddin, M., Putri, M., Cholish, C., and Abdullah, A. (2024). Stabilizing voltage and managing power loss in medium voltage distribution systems through strategic maneuvers. *International Journal of Electrical and Electronics Research, 12*(3), 1060-1066.

[4] Ruenjitt, W., Rakpenthai, C., and Uatrongjit, S. (2018). Power flow algorithm for electric power system considering transmission line temperature. *Engineering Journal Chiang Mai University*, *25*(3), 136-144.

[5] Chen, H., Zhao, C., Tang, W., Zhang, L., Su, G., and Li, L. (2021). Linear power flow calculation method for distribution network considering branch power loss. In *IEEE International Conference on Power Intelligent Computing and Systems (ICPICS)*. Shenyang, China.

[6] Grainger, J. J., and Stevenson, D. W. (2003). *Power system analysis*. McGraw-Hill.

[7] Yi, L., Pengfei, H., Daozhuo, J., Min, S., Rui, Y., and Yiqiao, L. (2020). A power flow calculation approach for distribution network of pure power cables. In *10th International Conference on Power and Energy Systems (ICPES)*. Chengdu, China.

[8] Garces, A. (2016). A linear three-phase load flow for power distribution systems. *IEEE Transactions on Power Systems, 31*(1), 827-828.

[9] Wannoi, C., and Wannoi, N. (2022). Assessment of power system loading and zonal to zonal power transfer capability with repeated power flow calculation technique. *Journal of Engineering and Innovation*, *15*(2), 62-71.

[10] Grisales-Noreña, L. F., Garcia, S. V., Giraldo, O. D. M., and Gil-González, W. (2023). Power flow methods used in AC distribution networks: An analysis of convergence and processing times in radial and meshed grid configurations. *Elsevier ScienceDirect, Results in Engineering*, *17*(11), 903-922.

[11] Jie, D., Ji, X., Shiliang, C., Jiaming, Z., Ke, Z., Bo, Z., and Ningtao, L. (2023). Three-phase power flow calculation and static voltage stability analysis of low voltage distribution network. In *3rd International Conference on Energy Engineering and Power Systems (EEPS)*. Dali, China.

[12] Khan, H., Ullah, M. F., Ali, M. S., Shah, M. S., Khun, M. A., Waseem, M., and Saleh, A. M. (2024). Energy loss calculation and voltage profile improvement for the rehabilitation of 0.4 kV low voltage distribution network (LVDN). *Elsevier ScienceDirect, Measurement-Energy*, *4*(12), 1-19.

[13] Hegde, V., Raghavendra, C., and Prashanth, N. (2024). Optimal placement of distribution transformers in radial distribution system. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, *3*(2), 193-199.

[14] Prastia, R., Asran, A., Hasibuan, A., Rosdiana, R., and Ezwarsyah, E. (2024). Analysis of voltage drop improvement using transformer insertion method in LG-02 receiver Lhokseumawe city. *Applied Engineering, Innovation, and Technology*, *1*(1), 47-58.

[15] Gunawan, H. (2024). A fast de couple method as power flow optimization in cooking oil processing factory based matlab. *Jurnal Scientia*, *13*(4), 1317-1329.

[16] Ivkovic, S., Bosovic, A., and Music, M. (2024). Optimal capacitor placement in real distribution network with reactive power support of distributed generation. *Sciendo*, *18*(1), 12-23.

[17] Syahroni, R. K., Lubis, S. A., and Hamdani. (2024). Analysis of the effect of capacitor storage insertion using fuzzy methods. *International Conference of Digital Sciences and Engineering Technology*, *1*(1), 458-466.