

เทคนิคการวิเคราะห์การลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายโดยการ เชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

Techniques Analysis for Reduction Power Loss in Distribution System Synergy Photovoltaic Power Plant

ปพน งามประเสริฐ¹ นริศ ชัชชรานนท์² ทง ลานธารทอง³ และ นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ^{4*}
^{1,2,3,4}สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
*E-mail: nattachote.r@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอเทคนิคการวิเคราะห์การลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายโดยการเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ การวิเคราะห์การลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยมีผลกระทบทางเทคนิคภายใต้ข้อจำกัด เช่น ช่วงเวลาระยะของโหลด ระยะทางจากจุดต้นทางไปยังกลุ่มโหลด ดังนั้นจึงนำเสนอบทความนี้เพื่อแก้ไขปัญหาการสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยการเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบจำหน่าย 33 บัส และอัลกอริธึมการไหลของพลังงานร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว ผลการวิจัยพบว่าการเชื่อมต่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถปรับปรุงกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายได้

คำสำคัญ: กำลังไฟฟ้าสูญเสีย โฟโตโวลตาอิก ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

Abstract

This paper presents a techniques analysis for reduction power loss in distribution system synergy photovoltaic power plant. Analysis reducing power loss is a factor affecting the efficiency of the power distribution system. It with technical impacts under limitations such as intervals of load, Distance from source point to load group. Therefore, this paper is presented to solve the problem of power loss in the power distribution system synergy photovoltaic power plant. Through

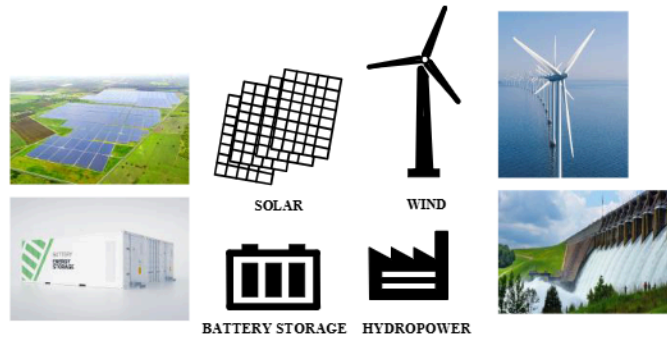
* Corresponding author, e-mail: nattachote.r@rmutp.ac.th

mathematical modelling of a 33-bus distribution system and a power flow algorithm in conjunction with a distributed generator. The results showed that connect photovoltaic power plant can improve the power loss in the distribution system.

Keywords: Power Loss, Photovoltaic, Distribution System

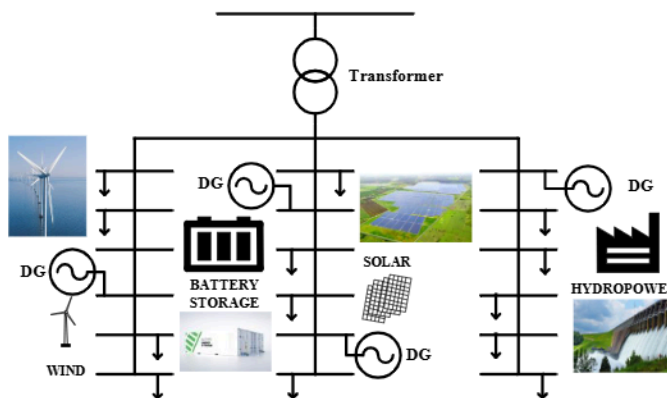
1. บทนำ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวเป็นแนวทางที่ใช้กับเทคโนโลยีขนาดเล็กเพื่อผลิตไฟฟ้าให้กับผู้ใช้พลังงานที่อยู่ใกล้แนวปลายสายส่ง เทคโนโลยีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว (DG) ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแยกส่วน (และบางครั้งเป็นพลังงานหมุนเวียน) สามารถใช้ประโยชน์ได้หลายประการ ตัวอย่าง เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานจากเซลล์เชื้อเพลิง พลังงานจากไฮโดรเจน และพลังงานก๊าซชีวภาพ [1] ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ประเภทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว

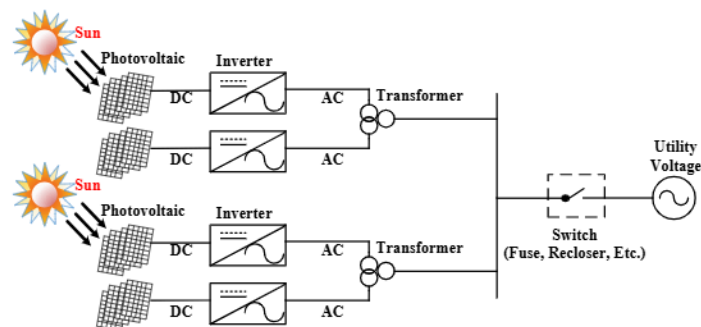
การจัดวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบจำหน่ายเพื่อปรับปรุงกำลังไฟฟ้าสูญเสียด้วยโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ภายใต้เงื่อนไขทางเทคนิค สมการการไหลของกำลังไฟฟ้า โซลูชันการสร้างแบบจำลองของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 33 บัส [2] เพื่อหาคำตอบด้วยเทคนิคที่นำเสนอการปรับปรุงการสูญเสียพลังงานในระบบจำหน่ายโดยการเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว (DGs)

กำลังไฟฟ้าสูญเสียเป็นดัชนีที่สำคัญสำหรับการประเมินทางเทคนิคในการระบุตำแหน่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (PV-DG) กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดที่โหลดแต่ละระดับหลังการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นองค์ประกอบหลักในฟังก์ชันนี้ โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียให้เหลือน้อยที่สุด หลังจากติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว โดยมีการวางแผนจัดการหน่วยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่จำนวนหนึ่งสำหรับการจัดวาง สำหรับพื้นที่ในการค้นหาบัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งจะมีขนาดใหญ่มาก [3]

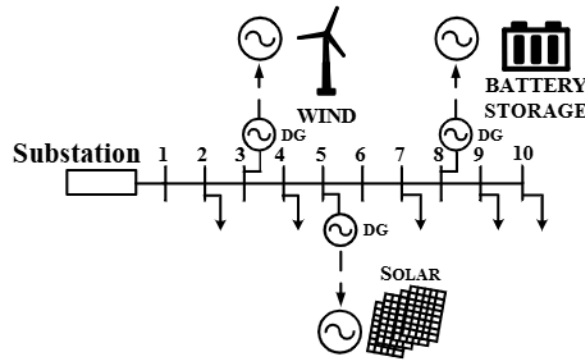
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอเทคนิคการวิเคราะห์การลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายโดยการเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ [4] ดังแสดงในรูปที่ 3 ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 33 บัส มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายโดยการเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 3 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

2. กำลังไฟฟ้าสูญเสีย

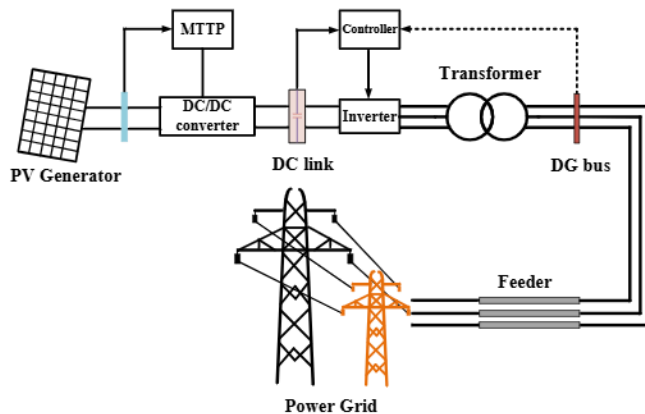
กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบจำหน่ายโดยการวิเคราะห์การเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับโหลดในระบบจำหน่าย [3] การสร้างแบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าร่วมกับการเข้าถึงระบบพลังงานแสงอาทิตย์ทิศทางการไหลของพลังงานส่วนใหญ่จะเป็นทางด้านเครือข่ายมากกว่าทางด้านโหลดในระบบจำหน่ายแบบเดิมที่ไม่มีการเข้าถึงระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ กระแสที่ไหลเข้าสู่ทางด้านโหลดมีระยะห่างระหว่างสถานีย่อยและด้านโหลด กระแสที่ไหลจากสถานีย่อยคือกระแสที่ไหลจากไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ระยะห่างระหว่างสถานีย่อยกับพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ และระยะห่างระหว่างพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์กับด้านโหลด [5] การสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวและโหลด ด้วยระบบจำหน่ายแบบเรเดียลที่แสดงโดยเมทริกซ์อิมพีแดนซ์บัส เมื่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียระบบจำหน่ายแบบเรเดียลจะเทียบเท่ากับโหนดเดียวที่มีการเชื่อมต่อและโหลดทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ระบบจำหน่ายแบบเรเดียลร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว

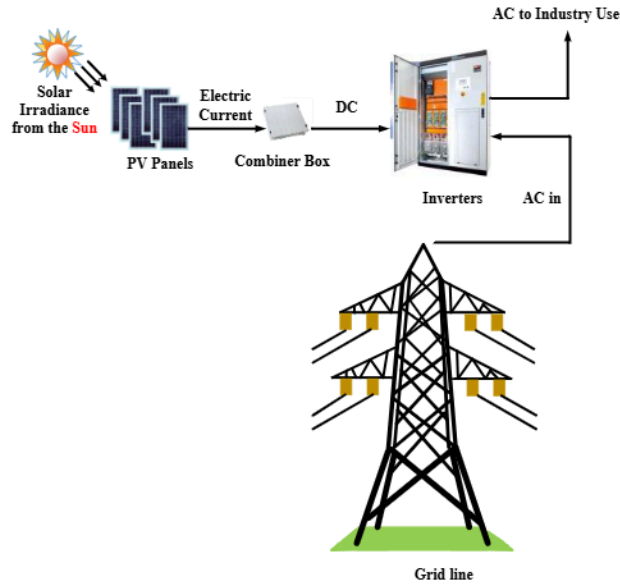
3. โฟโตโวลตาอิก

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (PV) เป็นพลังงานหมุนเวียนจากธรรมชาติ มีความปลอดภัยและยั่งยืน พลังงานแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่แปลงแสงแดดเป็นไฟฟ้าโดยใช้ความเข้มของแสงอาทิตย์ ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จำนวนมากเชื่อมต่อกับกริดทุกที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศที่พัฒนาแล้ว [6] แผนผังของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนผังของระบบพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รวมถึงระบบอาร์เรย์ ประกอบด้วยแผงโซลาร์เซลล์ตั้งแต่สองแผงขึ้นไปที่แปลงแสงจากดวงอาทิตย์เป็นไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่ไม่ธรรมดา สามารถใช้กับระบบกักเก็บแรงดันไฟฟ้าแบบไดนามิก (DVR) สำหรับการจับเก็บพลังงาน ระบบนี้จะจ่ายพลังงานให้กับแหล่งจ่ายกระแสตรง ซึ่งทำหน้าที่โดยระบบอินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง DC เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ AC สำหรับการใช้งานกับระบบ DVR ต่อไป แบบจำลองวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 6 [7]

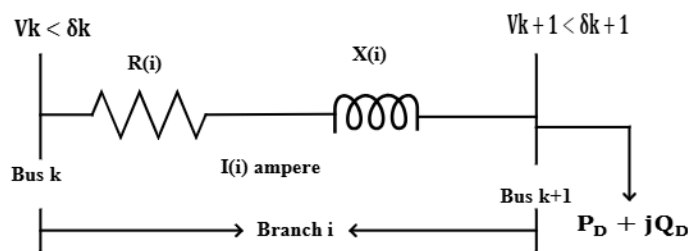


รูปที่ 6 ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ไฟดับในเมืองขนาดใหญ่ทั้งหมดเกิดจากการไหลเกินในสายส่งซึ่งเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายแบบกระจายตัว ดังนั้นกลยุทธ์การควบคุมพลังงานที่บทความนี้ออกแบบการตอบสนองความต้องการไหลภายในระบบจำหน่ายระดับสูงสุด และการใช้กลยุทธ์นี้ก็ลดการส่งกำลังทางไกล การป้อนพลังงานแบบอัตโนมัติและแบบทันทีทันใดจากภายนอก ระบบจ่ายไฟฟ้าแบบไฮบริดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ถูกตั้งโปรแกรมให้เป็นแบบจำลองการทำงานการจ่ายไฟฟ้าแบบระบบไฟฟ้าแยกโดด (Islanding) ที่แยกออกมา ซึ่งสามารถเข้าถึงพลังงานใหม่ได้สูงสุดและทำงานที่โหลดเชื่อมต่อกับกริดเพื่อส่งพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มเติม [8]

4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การวิเคราะห์การไหลของโหลดในระบบจำหน่ายแบบกระจายตัวได้รับการแก้ไขโดยใช้วิธีการไหลของโหลดทั้งไปข้างหน้าและย้อนหลัง [9-10] โดอะแกรมเส้นเดียวในส่วนของระบบจำหน่ายแบบกระจายตัว ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ระบบจำหน่ายแบบเรเดียล 2 บัส

ซึ่งแสดง 2 บัส k และ k+1 เชื่อมต่อผ่านพารามิเตอร์ (Branch) i ความต้านทานและปฏิกิริยาของพารามิเตอร์ i แสดงโดย R_i และ X_i ตามลำดับ ในขณะที่ $I(i)$ คือกระแสที่ไหลผ่านบรานช์ i กำลังไฟฟ้าสูญเสียข้ามพารามิเตอร์ i สามารถคำนวณได้จากสมการ (1)-(2)

$$P_{loss(i)} = R_{(i)} \times \frac{P_{k+1}^2 + Q_{k+1}^2}{|V_{k+1}|^2} \tag{1}$$

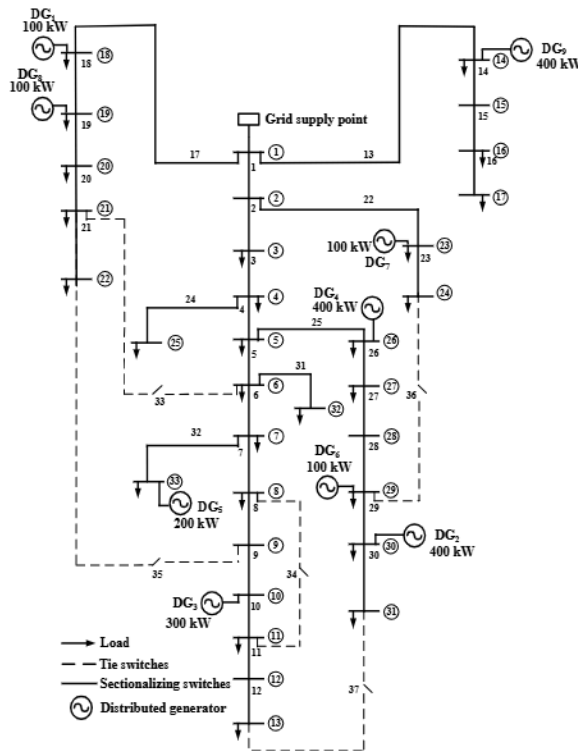
$$Q_{loss(i)} = X_{(i)} \times \frac{P_{k+1}^2 + Q_{k+1}^2}{|V_{k+1}|^2} \tag{2}$$

โดยที่ $P_{loss(i)}$ และ $Q_{loss(i)}$ คือกำลังไฟฟ้าสูญเสียแบบแอดทีฟและแบบรีแอกทีฟทั่วทั้งพารามิเตอร์ i กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดในระบบจำหน่ายแบบกระจายตัว สามารถคำนวณได้โดยการรวมกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ใช้งานและปฏิกิริยาของพารามิเตอร์ทั้งหมดในระบบจำหน่าย กำลังไฟฟ้าสูญเสียระบบทั้งหมดสามารถคำนวณได้โดยสมการ (3)

$$P_{loss_total} = \sum_{i=1}^{no. of\ branches} P_{loss(i)} + Q_{loss(i)} \tag{3}$$

5. กรณีศึกษา

การศึกษาการปรับปรุงกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยใช้ระบบจำหน่าย 33 บัส พร้อมติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวจากพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบจำหน่าย 33 บัส

ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว (DG) จำนวน 9 หน่วย โดยติดตั้งที่บัสหมายเลข 10, 14, 18, 19, 23, 26, 29, 30 และ 33 มีกำลังการผลิตที่ 300, 400, 100, 100, 100, 400, 100, 400 และ 200 kW ตามลำดับ กำลัง

การผลิตติดตั้งรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว (DG) คือ 1,000 kW ค่าฐานของโหลดเป็น 100 MVA และค่าฐานแรงดันคือ 12.66 kV

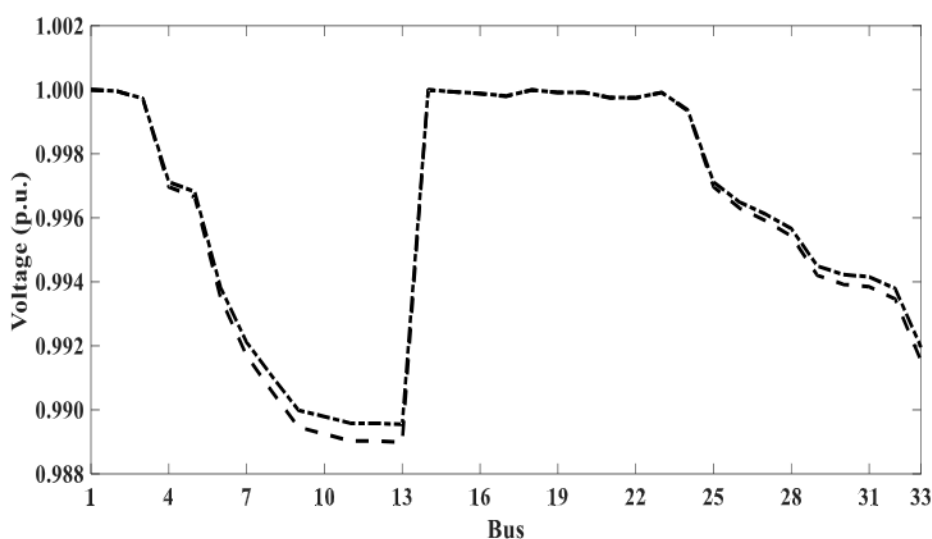
แต่ละพารามิเตอร์ในระบบมีสวิตช์แยกต่างหากเพื่อกำหนดค่าใหม่ ข้อมูลโหลดในตาราง [3], [11] สวิตช์หมายเลข 1-32 เป็นสวิตช์แบ่งส่วนบนตัวป้อนแบบกระจาย (ปกติปิด) และสวิตช์หมายเลข 33-37 เป็นสวิตช์ไทร์ (ปกติเปิด) โหลดทั้งหมดสำหรับระบบทดสอบนี้คือ 1,718.37 kW และ 1,226.90 kVar แรงดันไฟฟ้าของบัสทั้งหมดตั้งไว้ที่ 0.95 และ 1.05 p.u. โดยทำการทดสอบ 4 กรณี ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กรณีศึกษาการทดสอบกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่าย 33 บัส ร่วมกับการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

Case	Installation DGs (Unit)	PV at bus	Capacity of DGs
1	-	-	-
2	3	10, 14, 18	300
3	6	10, 14, 18, 19, 23, 26	600
4	9	10, 14, 18, 19, 23, 26, 29, 30, 33	1000

6. สรุปวิจารณ์ผล

ผลลัพธ์ที่เป็นตัวเลขสำหรับทั้ง 4 กรณีแสดงในตารางที่ 2 กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดสำหรับกรณีที่ 1, 2, 3 และ 4 กำลังไฟฟ้าสูญเสียจะดีขึ้นดังแสดงให้เห็นได้ชัดเจนในกรณีที่ 4 มีกำลังการผลิตที่ 1,000 kW ผลลัพธ์ข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าสำหรับกรณีที่ 1 และ 3 ดังแสดงในรูปที่ 9 และรูปที่ 10



รูปที่ 9 ข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าที่ไม่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจำหน่าย

7. สรุป

บทความนี้นำเสนอเทคนิคการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยการเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ทดสอบด้วยไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบจำหน่าย 33 บัส ซึ่งได้ดำเนินการ 4 กรณี ดังนี้ กรณีที่ 1 ไม่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบจำหน่าย กรณีที่ 2, 3 และ 4 ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวจำนวน 3, 6 และ 9 เครื่อง ในระบบจำหน่าย ตามลำดับ พบว่ากรณีที่ 1 หากไม่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบจำหน่ายไม่สามารถปรับปรุงกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายได้ แต่กรณีที่ 2 และ 3 ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวจำนวน 3 และ 6 เครื่อง ในระบบจำหน่าย ตามลำดับ และกรณีที่ 4 ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวจำนวน 9 เครื่อง ในระบบจำหน่าย สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนและความช่วยเหลือในการจัดทำบทความนี้ซึ่งได้ช่วยให้บทความนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Papon, N., Nattachote, R., & Sakhon, W. (2019). Application Improvement of Voltage Profile by Photovoltaic Farm on Distribution System. 2019 International Conference on Power, Energy and Innovations, 98-101. 10.1109/ICPEI47862.2019.8944997
- [2] J. A. M., Rupa, & S. Ganesh. (2014). Power Flow Analysis for Radial Distribution System Using Backward/Forward Sweep Method. International Journal of Electrical and Computer Engineering, 8(10), 1628-1632. doi.org/10.5281/zenodo.1337731
- [3] Papon, N., Poonsri, W., & Nattachote, R. (2021). Enhance Power Loss in Distribution System Synergy Photovoltaic Power Plant. 2020 International Conference on Power, Energy and Innovations, 173-176. 10.1109/ICPEI49860.2020.9431557
- [4] G. W., Chang, & N. C., Chinh. (2020). Coyote Optimization Algorithm-Based Approach for Strategic Planning of Photovoltaic Distributed Generation. IEEE Access. 8, 36180-36190.10.1109/ACCESS.2020.2975107
- [5] Rundong H., Qi W., Tianzheng W., Yaxuan Z., & Shaoping, G. (2017). Research on power loss of distribution network with photovoltaic access. The Journal of Engineering, 2017(13), 2257-2260. <https://doi.org/10.1049/joe.2017.0732>

- [6] F., Sarkar, & R., Ramya. (2015). Voltage sag and distortion mitigation in a hybrid power system using FACTS device. *International Journal of Science and Research*, 4(5) , 311-317. <https://www.semanticscholar.org/paper/Voltage-Sag-and-Distortion-Mitigation-in-a-Hybrid-Sarkar/57171d6e23f28b8dc59e6e36793d5a6eaf0a6076>
- [7] S., Aarif, & Er. R. K., Randhawa. (2017). Improvement of power quality using photovoltaic dynamic voltage restorer. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 5(9), 703-708. 10.22214/IJRASET.2017.9103
- [8] GE Y. Y., CAI Z. y., & SUN L. y. (2016). Optimal placement for hybrid energy in micro-grid. *IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON)*.10.1109/POWERCON.2016.7754020
- [9] Nursyarizal, M. N., Abid, A., Taib, I., Mohd, F., R., & M. F., Romlie. (2017). Battery Storage for the Utility-Scale Distributed Photovoltaic Generations. *IEEE Access*, 6, 1137-1154. 10.1109/ACCESS.2017.2778004
- [10] Yi W., Ning Z., Hai L., Jingwei, Y., Chongqing, K. (2017). Linear three-phase power flow for unbalanced active distribution networks with PV nodes. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 3(3), 321-324. 10.17775/CSEEJPES.2017.00240
- [11] J. S., Savier, & Debapriya, D. (2007). Impact of network reconfiguration on loss allocation of radial distribution systems. *IEEE Trans. on Power Delivery*, 22(4), 2473-2480. 10.1109/TPWRD.2007.905370