

การจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า 33 บัสโดยการเชื่อมต่อแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อปรับปรุงกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

Power Distribution System 33 Bus Simulation by Connecting a Distributed Photovoltaic Power Generation to Improve Power Loss

สาคร วุฒิพัฒน์พันธุ์¹, ปพน งามประเสริฐ¹, นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ^{1*}
Sakhon Woothipatanapan¹, Papon Ngamprasert¹,
Nattachote Rugthaicharoencheep^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Thailand

*E-mail: nattachote.r@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า 33 บัสโดยการเชื่อมต่อแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อปรับปรุงกำลังไฟฟ้าสูญเสีย การลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยมีผลกระทบทางเทคนิคภายใต้ข้อจำกัด เช่น ช่วงเวลาระยะของโหลด ระยะทางจากจุดต้นทางไปยังกลุ่มโหลด ดังนั้นจึงนำเสนอบทความนี้เพื่อแก้ไขปัญหากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยการเชื่อมต่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบจำหน่าย 33 บัสในโปรแกรม MATLAB และอัลกอริทึมการไหลของพลังงานร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดพลังงานแสงอาทิตย์ ผลการวิจัยพบว่าการเชื่อมต่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถปรับปรุงกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายได้

คำสำคัญ : กำลังไฟฟ้าสูญเสีย โฟโตโวลตาอิก ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ABSTRACT

This paper presents a power distribution system 33 bus simulation by connecting a distributed photovoltaic power generation to improve power loss. Reducing power loss is a factor affecting the efficiency of the power distribution system. It has technical impacts under limitations such as intervals of load and distance from source point to load group. Therefore, this paper presented to solve the problem of power loss in the power distribution system synergy photovoltaic power plant using mathematical modelling of a 33-bus distribution system in MATLAB program and a power flow algorithm in conjunction with a distributed generator type photovoltaic power plant. The results showed the connect photovoltaic power plant can improve the power loss in the distribution system.

Keyword: Power Loss, Photovoltaic, Distribution System

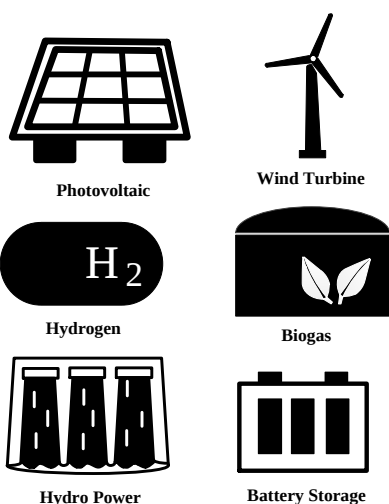
Received 16-08-2022

Revised 22-12-2022

Accepted 22-12-2022

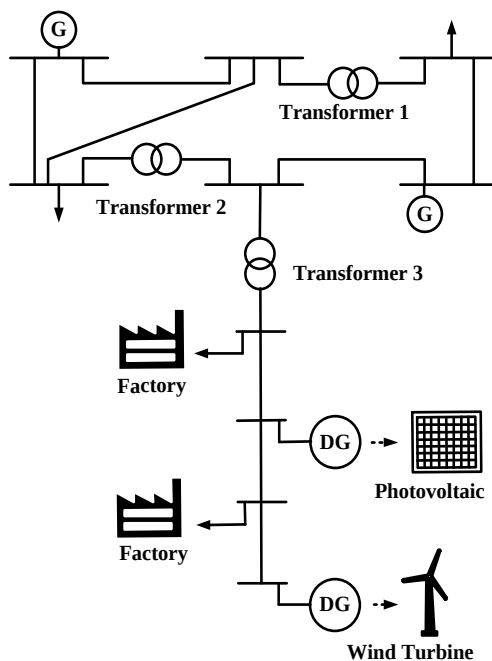
1. บทนำ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว [1] เป็นแนวทางที่ใช้กับเทคโนโลยีขนาดเล็กเพื่อผลิตไฟฟ้าให้กับผู้ใช้พลังงานที่อยู่ใกล้แนวปลายสายส่ง เทคโนโลยีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว (Distributed generation: DG) ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแยกส่วน (และบางครั้งเป็นพลังงานหมุนเวียน) สามารถใช้ประโยชน์ได้หลายประการ ตัวอย่าง เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานจากเซลล์เชื้อเพลิง พลังงานจากไฮโดรเจน และพลังงานก๊าซชีวภาพ [2-3] ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ประเภทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว

การจัดวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบจำหน่ายเพื่อปรับปรุงกำลังไฟฟ้าสูญเสียด้วยโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ภายใต้เงื่อนไขทางเทคนิค สมการการไหลของกำลังไฟฟ้า โซลูชันการสร้างแบบจำลองของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 33 บัส [4] เพื่อหาคำตอบด้วยเทคนิคที่นำเสนอการปรับปรุงการสูญเสียพลังงานในระบบจำหน่ายโดยการเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว ดังแสดงในภาพที่ 2

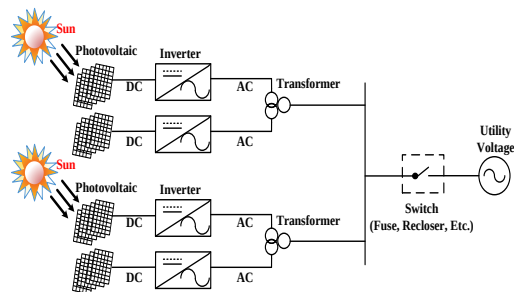


ภาพที่ 2 การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว

กำลังไฟฟ้าสูญเสียเป็นดัชนีที่สำคัญสำหรับการประเมินทางเทคนิคในการระบุตำแหน่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (PV-DG) กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดที่โหลดแต่ละระดับหลังการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นองค์ประกอบหลักในฟังก์ชันนี้ โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียให้เหลือน้อยที่สุด หลังจากติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว โดยมีการวางแผนจัดการหน่วยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่จำนวนหนึ่งสำหรับการจัดวาง สำหรับพื้นที่ในการค้นหาบัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งจะมีขนาดใหญ่มาก [5]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยการเชื่อมต่อแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อปรับปรุงกำลังไฟฟ้าสูญเสีย [6] ดังแสดงในภาพที่ 3 ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ร่วมกับเครื่องกำเนิด

ไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 33 บัส มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์เทคนิคการเชื่อมต่อ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่าย

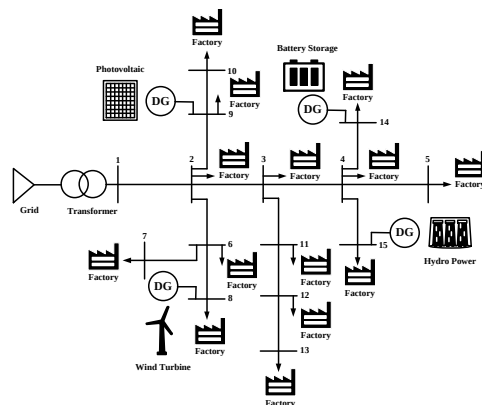


ภาพที่ 3 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 กำลังไฟฟ้าสูญเสีย

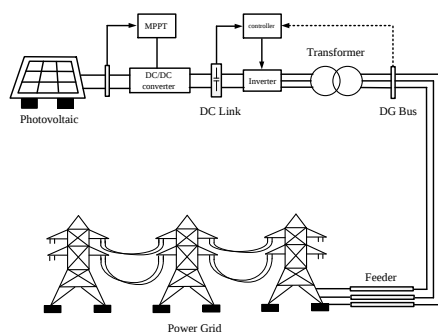
กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบจำหน่ายโดยการวิเคราะห์การเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับโหลดในระบบจำหน่าย [5] การสร้างแบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้ารวมกับการเข้าถึงระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ทิศทางการไหลของพลังงานส่วนใหญ่จะเป็นทางด้านเครือข่ายมากกว่าทางด้านโหลดในระบบจำหน่ายแบบเดิมที่ไม่มีการเข้าถึงระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ กระแสที่ไหลเข้าสู่ทางด้านโหลดมีระยะห่างระหว่างสถานีย่อยและด้านโหลด กระแสที่ไหลจากสถานีย่อยคือกระแสที่ไหลจากไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ระยะห่างระหว่างสถานีย่อยกับพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ และระยะห่างระหว่างพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์กับด้านโหลด [7] การสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวและโหลดด้วยระบบจำหน่ายแบบเรเดียลที่แสดงโดยเมทริกซ์อิมพีแดนซ์บัส เมื่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียระบบจำหน่ายแบบเรเดียลจะเทียบเท่ากับโหลดเดียวที่มีการเชื่อมต่อและโหลดทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ระบบจำหน่ายแบบเรเดียลร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว

2.2 โฟโตโวลตาอิก

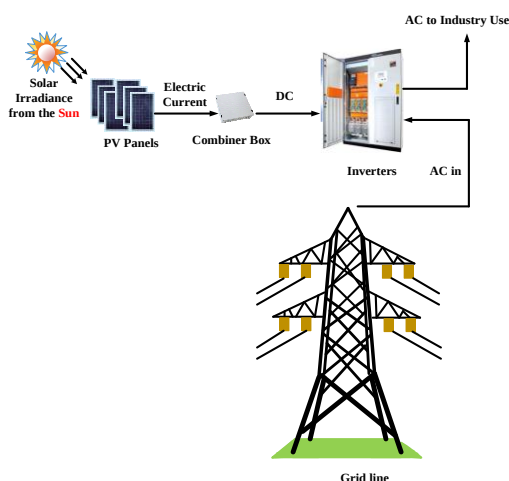
ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการผลิตไฟฟ้าผ่านสารกึ่งตัวนำ [8] การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (PV) เป็นพลังงานหมุนเวียนจากธรรมชาติ มีความปลอดภัยและยั่งยืน พลังงานแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่แปลงแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้าโดยใช้ความเข้มของแสงอาทิตย์ ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จำนวนมากเชื่อมต่อกับกริดทุกที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศที่พัฒนาแล้ว [9] แผนผังของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แผนผังของระบบพลังงานแสงอาทิตย์

จากภาพที่ 5 ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รวมถึงระบบอาร์เรย์ ประกอบด้วยแผงโซลาร์เซลล์ตั้งแต่สองแผงขึ้นไปที่แปลงแสงจากดวงอาทิตย์เป็น

ไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่ไม่ธรรมดา สามารถใช้กับระบบกักเก็บแรงดันไฟฟ้าแบบไดนามิก (DVR) สำหรับการจัดเก็บพลังงาน ระบบนี้จะจ่ายพลังงานให้กับแหล่งจ่ายกระแสตรงซึ่งทำหน้าที่โดยระบบอินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง DC เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ AC สำหรับการใช้งานกับระบบ DVR ต่อไป Maximum power point tracking (MPPT) คือ อัลกอริทึมหรือรูปแบบการคำนวณอย่างหนึ่ง ที่นำมาใช้กับการทำงานของเครื่องผลิตไฟฟ้ากระแสตรงแบบจำลองวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพที่ 6 [10]



ภาพที่ 6 ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

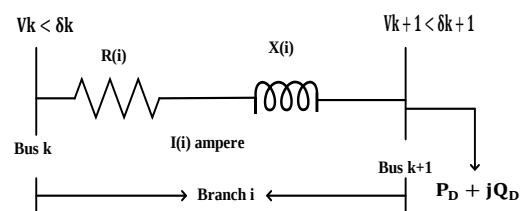
ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ไฟดับในเมืองขนาดใหญ่ทั้งหมดเกิดจากการโหลดเกินในสายส่งซึ่งเชื่อมต่อบรรณจําหน่ายแบบกระจายตัว ดังนั้นกลยุทธ์การควบคุมพลังงานที่บทความนี้ออกแบบการตอบสนองความต้องการโหลดภายในระบบจําหน่ายระดับสูงสุดและการใช้กลยุทธ์นี้ก็ลดการส่งกำลังทางไกล การป้อนพลังงานแบบอัตโนมัติและแบบทันทีทันใดจากภายนอก ระบบจ่ายไฟฟ้าแบบไฮบริดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ถูกตั้งโปรแกรมให้เป็นแบบจำลองการทำงานการจ่ายไฟฟ้าแบบระบบไฟฟ้าแยกโดด (Islanding) ที่แยกออกมา ซึ่งสามารถ

เข้าถึงพลังงานใหม่ได้สูงสุดและทำงานที่โหลดเชื่อมต่อกริดเพื่อส่งพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มเติม [11]

2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การวิเคราะห์การไหลของโหลดในระบบจําหน่ายแบบกระจายตัวได้รับการแก้ไขโดยใช้วิธีการไหลของโหลดทั้งไปข้างหน้าและย้อนหลัง (Power flow) [12-13]

ไดอะแกรมเส้นเดียวในส่วนหนึ่งของระบบจําหน่ายแบบกระจายตัว ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 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 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)-(2)

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

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

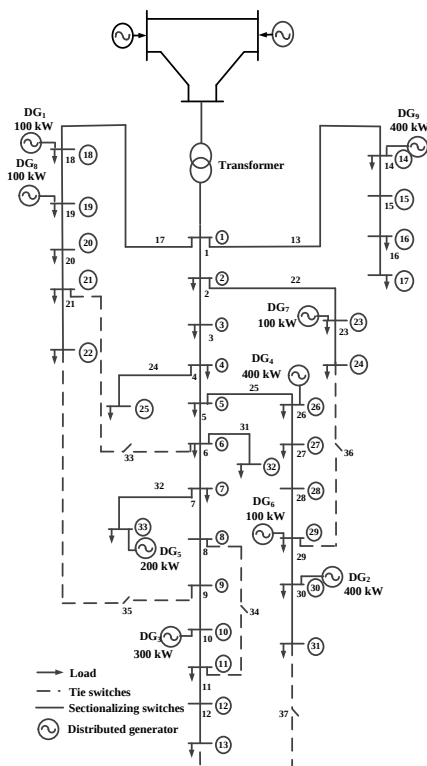
โดยที่ $P_{loss(i)}$ และ $Q_{loss(i)}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียแบบแอดทีฟและแบบรีแอกทีฟทั่วทั้งพารามิเตอร์ i กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดในระบบจําหน่ายแบบกระจายตัว สามารถคำนวณได้โดยการรวมกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ใช้งานและปฏิกิริยาของพารามิเตอร์ทั้งหมดในระบบจําหน่าย กำลังไฟฟ้าสูญเสียระบบทั้งหมดสามารถคำนวณได้โดยสมการที่ (3)

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

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 กรณีศึกษา

การศึกษากำหนดการปรับปรุงกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยใช้ระบบจำหน่าย 33 บัส พร้อมติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวจากพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 โดอะแกรมเส้นเดียวของระบบจำหน่าย 33 บัส

ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวจำนวน 9 ยูนิต์ โดยติดตั้งที่บัสหมายเลข 10, 14, 18, 19, 23, 26, 29, 30 และ 33 มีกำลังการผลิตที่ 100 kW, 100 kW, 100 kW, 100 kW, 100 kW, 100 kW, 100 kW, 100 kW และ 100 kW ตามลำดับ กำลังการผลิตติดตั้งรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ

กระจายตัว คือ 1,000 kW ค่าฐานของโหลดเป็น 100 MVA และค่าฐานแรงดันคือ 12.66 kV

แต่ละพารามิเตอร์ในระบบมีสวิตช์แยกต่างหากเพื่อกำหนดค่าใหม่ ข้อมูลโหลดในตาราง [5], [14] 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

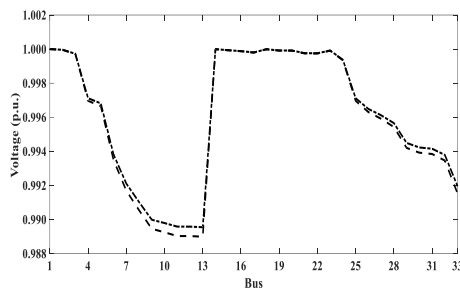
ตารางที่ 1 กรณีศึกษากำหนดการทดสอบกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่าย 33 บัส ร่วมกับติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

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

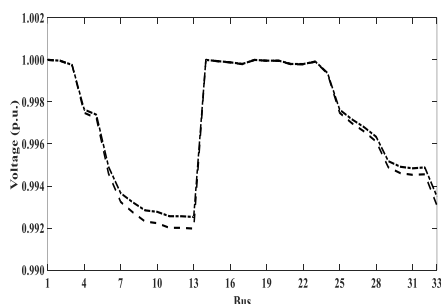
ผลลัพธ์ที่เป็นตัวเลขสำหรับทั้ง 4 กรณีแสดงในตารางที่ 2 กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดสำหรับกรณีที่ 1, 2, 3 และ 4 กำลังไฟฟ้าสูญเสียจะดีขึ้นดังแสดงให้เห็นได้ชัดเจนในกรณีที่ 4 มีกำลังการผลิตที่ 1,000 kW ผลลัพธ์ข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าสำหรับกรณีที่ 1 และ 3 ดังแสดงในภาพที่ 9 และภาพที่ 10

ตารางที่ 2 รายงานผลการทดสอบกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่าย 33 บัส ร่วมกับติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

Case	Vmin (p.u.)	PV at bus	Capacity of DGs	Total Power Loss (kW)
1	0.95	-	-	13.2316
2	0.95	10, 14, 18	300	10.4515
3	0.95	10, 14, 18, 19, 23, 26	600	9.5910
4	0.95	10, 14, 18, 19, 23, 26, 29, 30, 33	1000	5.6347



ภาพที่ 9 ข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าที่ไม่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจำหน่าย



ภาพที่ 10 ข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจำหน่าย

จากภาพที่ 9 ข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าที่ไม่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจำหน่าย กรณีนี้แสดงถึง

กรณีพื้นฐาน กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด 13.23 kW ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และภาพที่ 10 ข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าที่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจำหน่าย มีกำลังการผลิตไฟฟ้า 600 kW กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวม 9.59 kW ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถปรับลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายลงได้ โดยพิจารณาจากแรงดันไฟฟ้าเป็นหลัก

ตารางที่ 3 บัสและกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่บัสทดสอบ

Bus	Capacity of PV (kW)
10	100
14	100
18	100
19	100
23	100
26	100
29	100
30	100
33	200

4. สรุปผลการทดลอง

บทความนี้นำเสนอการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยการเชื่อมต่อแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อปรับปรุงกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ทดสอบด้วยไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบจำหน่าย 33 บัส ซึ่งได้ดำเนินการ 4 กรณี ดังนี้ กรณีที่ 1 ไม่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบจำหน่าย กรณีที่ 2, 3 และ 4 ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวจำนวน 3, 6 และ 9 เครื่อง ในระบบจำหน่าย ตามลำดับ พบว่ากรณีที่ 2, 3 และ 4 สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้ 2.78 kW, 3.64 kW และ 7.60 kW ตามลำดับ ดังนั้นกรณีที่ 4 ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวจำนวน 9 เครื่อง ในระบบจำหน่ายสามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้สูงที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
พระนคร ที่ให้การสนับสนุนและความช่วยเหลือใน
การจัดทำบทความนี้ซึ่งได้ช่วยให้บทความนี้สำเร็จ
ลุล่วงอย่างสมบูรณ์

6. อ้างอิง

- [1] Ngamprasert P, Woothipatanapan S, Wannakarn P, et al. Improvement for Voltage Sag with Photovoltaic Performance on Distribution System. IET - International Electrical Engineering Transactions. 2020;6(1):28-33.
- [2] Ngamprasert P, Rugthaicharoencheep N, Woothipatanapan S. Application Improvement of Voltage Profile by Photovoltaic Farm on Distribution System. International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI2019). 2019 October 16-18; Pattaya, Thailand. 2019. P. 98-101.
- [3] Rugthaicharoencheep N, Ngamprasert P, Ruangsap N, et al. Minimize the Customer Outage for Improved Reliability in Distribution System with Photovoltaic Distributed Generation. 2022 57th International Universities Power Engineering Conference (UPEC). 2022 August 30 - September 02; Istanbul, Turkey. 2022.
- [4] Rupa JAM, Ganesh S. Power Flow Analysis for Radial Distribution System Using Backward/Forward Sweep Method. International Journal of Electrical and Computer Engineering. 2014; 8(10):1628-1632.
- [5] Ngamprasert P, Wannakarn P, Rugthaicharoencheep N. Enhance Power Loss in Distribution System Synergy Photovoltaic Power Plant. 2020 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI). 2020 October 14-16; Chiangmai, Thailand. 2021. P.173-176.
- [6] Chang GW, Chinh NC. Coyote Optimization Algorithm-Based Approach for Strategic Planning of Photovoltaic Distributed Generation. IEEE Access. 2020;8:36180-90.
- [7] Wang Q, Wang T, Zheng Y, et al. Research on power loss of distribution network with photovoltaic access. The Journal of Engineering. 2017;2017(13):2257-60.
- [8] Ngamprasert P, Chattrant N, Rugthaicharoencheep N. The Analysis Harmonic for Connect Grid Photovoltaic Rooftop Synergy Distribution System. 2022 International Electrical Engineering Congress (iEECON). 2022 March 09-11; Khon Kaen, Thailand. 2022.
- [9] Sarkar F, Ramya R. Voltage sag and distortion mitigation in a hybrid power system using FACTS device. International Journal of Science and Research. 2015;4(5):311 - 317.
- [10] Aarif S, Randhawa ERK. Improvement of power quality using photovoltaic dynamic voltage restorer. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology. 2017;5(9):703-708.
- [11] Yang GEY, Yung CZ, Yong SL. Optimal placement for hybrid energy in micro-grid. IEEE International Conference on Power

- System Technology (POWERCON). 2016
September 28 - October 01; Wollongong,
NSW, Australia. 2016.
- [12] N. M. Nor, A. Ali, T. Ibrahim, and M. F. Romlie.
Battery Storage for the Utility-Scale
Distributed Photovoltaic Generations. IEEE
Access. 2017;6:1137-1154.
- [13] Wang Y, Zhang N, Li H, et al. Linear three-
phase power flow for unbalanced active
distribution networks with PV nodes.
CSEE Journal of Power and Energy
Systems. 2017;3(3):321-324.
- [14] Savier JS, Das D. Impact of network
reconfiguration on loss allocation of radial
distribution systems. IEEE Trans. on Power
Delivery. 2007;22(4):2473-2480.