

การเพิ่มประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าในแบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า 85 บัส ด้วยการติดตั้ง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ Increasing Power Supply Performance in 85 Bus Distribution System Model with Installation Photovoltaic Distributed Generation

มนัส บุญเที่ยรทอง¹, ณัฏพล เรืองทรัพย์¹, นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ^{1*}
Manat Boonthienthong¹, Natchapol Ruangsap¹, Nattachote Rugthaicharoencheep^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Thailand
Corresponding author. E-mail: nattachote.r@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

การจ่ายไฟมีความสำคัญต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นอย่างมาก ถ้าระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบที่น้อยจะส่งผลให้การจ่ายไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ และเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบโดยใช้แบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า 85 บัส ทดสอบในโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อจำลองการทำงานใน 4 กรณีได้แก่ กรณีที่ 1 ไม่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีที่ 2, 3 และ 4 การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์กำลังการผลิตติดตั้งรวม 2,700 1,950 และ 1,800 kW ตามลำดับ ผลลัพธ์กรณีที่ 2, 3 และ 4 สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียร้อยละ 30.27 49.37 และ 51.07 ตามลำดับ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าดีขึ้น

คำสำคัญ : ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้า ระบบจำหน่ายไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์

ABSTRACT

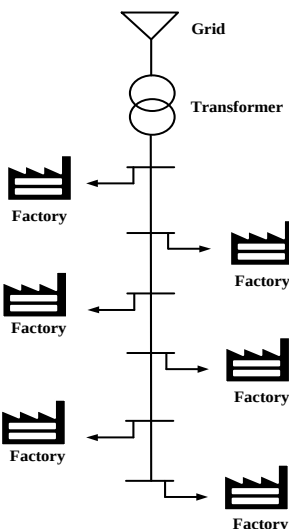
Power supply is very important to the distribution system. If distribution system has less power loss of system, result in a good power supply performance and increasing stability of system. The purpose of this research is to increase power supply performance in distribution system with reduction power loss of system, using 85-bus distribution system model, which was tested in MATLAB/Simulink program, to simulate operation in 4 cases. Case 1 no photovoltaic distributed generation was installed. Cases 2, 3 and 4 installed the photovoltaic distributed generation with total installed capacity of 2,700 1,950 and 1,800 kW, respectively. The results obtained from case 2, 3 and 4 found that the power loss can reduce for 30.27 49.37 and 51.07 percent, Consequently, the power supply performance of the distribution system was improved.

Keyword: Power Supply Performance, Distribution System, Photovoltaic Distributed Generation

Received 14-08-2022
Revised 24-09-2022
Accepted 20-12-2022

1. บทนำ

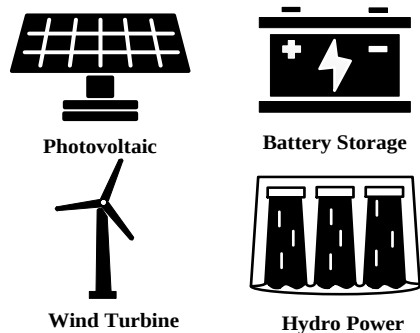
ความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้ามีความสำคัญมาก เนื่องจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นจุดเชื่อมต่อสุดท้ายระหว่างโครงข่ายไฟฟ้ากับผู้ใช้งานไฟฟ้า ตัวบ่งชี้หลักของระบบจำหน่ายไฟฟ้าจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับสถานีย่อยหลายแห่ง สถานีเหล่านี้จ่ายไฟฟ้าให้กับจุดจ่ายไฟของผู้ใช้ ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล [1] จำเป็นต้องมีการกระจายไฟฟ้าทางเดียวมีข้อดี คือ สามารถจ่ายไฟฟ้าให้ผู้ใช้งานได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อเกิดลัดวงจรจะส่งผลให้มีการจ่ายไฟฟ้าให้กับสถานีย่อยทุกแห่งที่รับไฟฟ้าจากวงจร การเพิ่มประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าให้แก่วัสดุจำหน่ายไฟฟ้าสามารถทำได้ด้วยวิธีการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย และปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว (DG) [2] เป็นแนวทางที่ใช้กับเทคโนโลยีขนาดเล็กเพื่อผลิตไฟฟ้าให้กับผู้ใช้พลังงานที่อยู่บริเวณปลายสายส่ง เทคโนโลยีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว

สามารถใช้ประโยชน์ได้หลายประการ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ และระบบกักเก็บพลังงาน เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว

ในอดีตมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้า และลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เช่น ในปี ค.ศ. 2016 [3] ได้มีการศึกษาการหาตำแหน่งที่เหมาะสมของ DSTATCOM และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว (DG) ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 30 บัส ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้สามารถหาขนาดที่เหมาะสมของ DSTATCOM และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบจำหน่ายไฟฟ้าส่งผลให้ลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียและปรับปรุงแรงดันไฟฟ้า ในปี ค.ศ. 2017 [4] ได้มีการศึกษาปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าและลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 33 บัส วัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เหมาะสมด้วยวิธี IA ผลลัพธ์สามารถปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าของระบบได้โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในปี ค.ศ. 2019 [5] มีการศึกษาปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าด้วย DSTATCOM ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยวิธีกลุ่มอนุภาคแบบไฮบริดและโครงข่ายประสาทเทียม (PSO-ANNs) ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้แสดงประสิทธิภาพของเทคนิค DSTATCOM สามารถปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายได้ ในปีเดียวกัน [6] ได้มีการศึกษาการเปรียบเทียบปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าโดยโซลาร์ฟาร์มในระบบจำหน่ายด้วยอัลกอริทึมการไหลของพลังงาน

ผลลัพธ์ของวิจัยนี้พบว่าโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายได้ ในปี ค.ศ. 2020 [7] ได้มีการศึกษาหาตำแหน่งที่ดีที่สุดและการปรับขนาดการชดเชยพลังงานรีแอกทีฟโดยใช้วิธีการแบบผสมผสานเพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียและปรับปรุงเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ในปี ค.ศ. 2020 [8] ได้มีการศึกษาการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา

ดังนั้นในบทความวิจัยนี้ทำการเพิ่มประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าด้วยเทคนิคการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย และปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ทำการทดสอบในแบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า 85 บัส โดยแบ่งออกเป็น 4 กรณีศึกษา

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การจ่ายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

การจ่ายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล ความเชื่อถือได้มีความสำคัญซึ่งมีหลักการสำคัญ คือ การออกแบบ และวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้าอย่างประหยัด จ่ายพลังงานไฟฟ้าได้สม่ำเสมอต่อเนื่อง และเวลาการหยุดจ่ายน้อยที่สุด [9-10]

การจ่ายไฟของระบบจำหน่ายไฟฟ้าสามารถทำได้ด้วยการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย และปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าการควบคุมแรงดันไฟฟ้าของระบบ [11] มีบทบาทสำคัญ อุปกรณ์ในระบบได้รับการออกแบบให้ทำงานในช่วงของแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด ถ้าอุปกรณ์ถูกจ่ายโดยแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าช่วงของตัวอุปกรณ์อายุการใช้งานของอุปกรณ์จะเกิดความเสียหายอาจส่งผลให้เกิดความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้ามาตรฐานที่กำหนดโดย IEC ช่วงแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน คือ $\pm 5\%$ จากค่าแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด ($0.95 - 1.05$ p.u.) ในระบบ

จำหน่ายไฟฟ้าสามารถปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าได้ด้วยวิธีการดังนี้

1 การตัดจ่ายวงจรใหม่ เพื่อถ่ายโหลดให้วงจรอื่นโดยลดความยาวของสายป้อน และปริมาณโหลดในสายป้อน

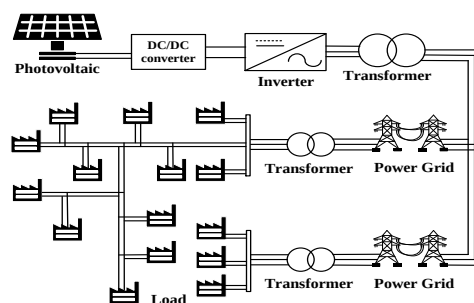
2 ติดตั้งชุดตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitor)

3 ติดตั้ง เครื่องควบคุมแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator)

4 ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว

2.2 เซลล์แสงอาทิตย์

การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) ใช้พลังงานหมุนเวียนที่เป็นธรรมชาติ สะอาดปลอดภัย และยั่งยืน โซลาร์เซลล์เป็นอุปกรณ์ที่แปลงแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ความเข้มของแสงอาทิตย์ [12] ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย แผงโซลาร์เซลล์ อินเวอร์เตอร์ที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) แผนผังของระบบไฟฟ้าโซลาร์เซลล์ ดังแสดงในภาพที่ 3



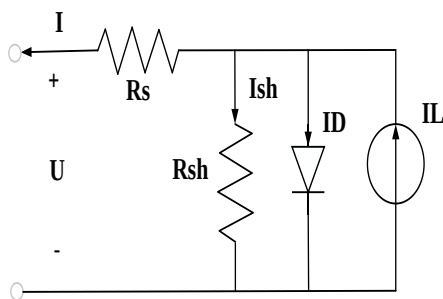
ภาพที่ 3 แผนผังของระบบไฟฟ้าโซลาร์เซลล์

พลังงานแสงอาทิตย์ [13] เป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งซึ่งจัดอยู่ในพลังงานประเภทพลังงานหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตลอดเวลา ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งถูกผลิตโดยสารกึ่งตัวนำซิลิกอนผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ทำให้ซิลิกอนบริสุทธิ์เพื่อผลิตเป็นแผ่นซิลิกอน การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าจะเริ่มเมื่อมีแสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ รังสีของแสง

ที่มีอนุภาคของพลังงานโฟตอนจะถ่ายเทพลังงานให้กับพลังงานอิเล็กทรอนิกส์จนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอมทำให้เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจึงทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น ซึ่งมีหลายปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น อุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส การผลิตไฟฟ้าจะลดลงร้อยละ 0.5, ทิศทางการรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์, ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์, ผลกระทบของสิ่งสกปรกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์, ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ แบตเตอรี่ เป็นต้น

2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองคircuit ของเซลล์แสงอาทิตย์โดยวงจรไดโอด ดังแสดงในภาพที่ 4 [14]



ภาพที่ 4 แบบจำลองคircuit ของเซลล์แสงอาทิตย์โดยวงจรไดโอด

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุต U และกระแสโหลดสามารถกำหนดได้ดังนี้ [15]-[16]

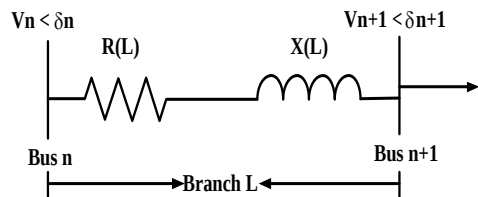
$$I = I_L - I_D = I_L - I_O \left[\exp\left(\frac{U + RI_s}{\alpha}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

โดยที่ I คือ กระแสโหลด
 I_L คือ กระแสเซลล์แสงอาทิตย์
 I_O คือ กระแสอิ่มตัว
 U คือ แรงดันไฟฟ้าขาออก

R_s คือ ตัวต้านทานแบบอนุกรม
 α คือ ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิแรงดัน

2.4 กำลังไฟฟ้าสูญเสีย

การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในแบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า [7] ใช้วิธีการไหลของกำลังไฟฟ้าไปข้างหน้าและย้อนหลังสูตรทางคณิตศาสตร์ของการกำลังไฟฟ้าสูญเสียมาจากการส่งกำลังไฟฟ้า โดยจะแถมเส้นเดียวของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล 2 บัส ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล 2 บัส

โดยที่บัส n และ $n+1$ เชื่อมต่อผ่านพารามิเตอร์สาขา L สามารถหากำลังไฟฟ้าสูญเสียจริง และกำลังไฟฟ้าสูญเสียรีแอกทีฟจากสมการที่ (2)-(3)

$$P_{loss(L)} = \left(\frac{P_{n+1} - jQ_{n+1}}{V_{n+1}} \right)^2 \cdot R_L \quad (2)$$

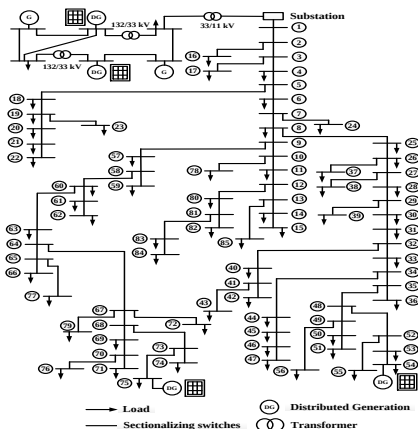
$$Q_{loss(L)} = \left(\frac{P_{n+1} - jQ_{n+1}}{V_{n+1}} \right)^2 \cdot X_L \quad (3)$$

โดยที่ $P_{loss(L)}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงที่สาขา L และ $Q_{loss(L)}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียรีแอกทีฟที่สาขา L การสูญเสียกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟทั้งหมดของระบบนั้นสามารถพิจารณาจากสมการที่ (4)

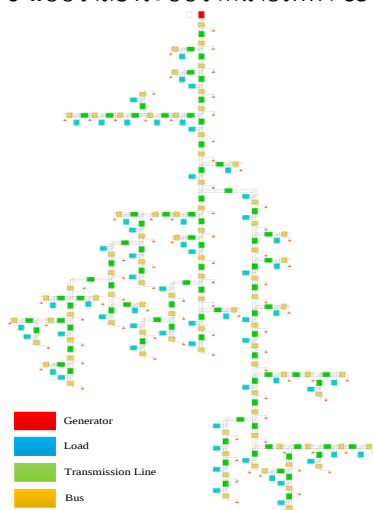
$$P_{total_loss} = \sum_{t=1}^{nl} P_{loss(L)} + Q_{loss(L)} \quad (4)$$

2.5 แบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า

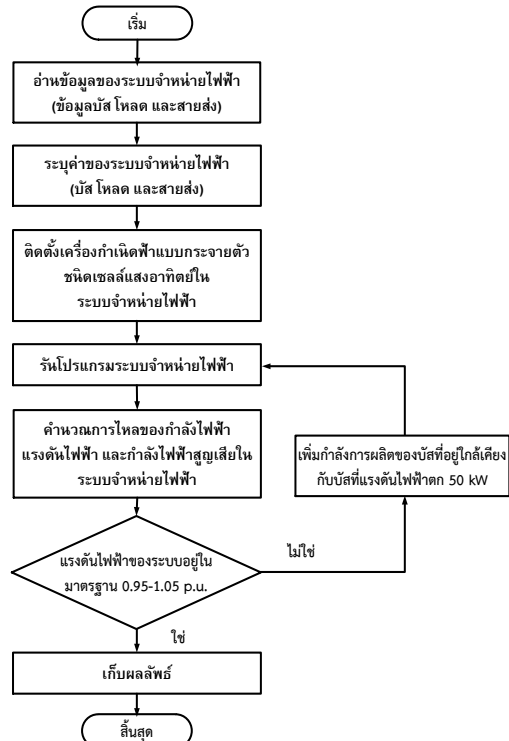
ในบทความนี้ทดสอบด้วยแบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า 85 บัส ดังแสดงในภาพที่ 6 และแบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า 85 บัส จำลองในโปรแกรม MATLAB/Simulink ดังแสดงในภาพที่ 7 ประกอบด้วย 59 จุดโหลด ค่าฐานของโหลดเป็น 100 MVA และค่าฐานแรงดันคือ 11 kV โหลดรวมของระบบ 2,570.28 kW และ 2,622.08 kVar ข้อมูลโหลด ดังแสดงในตารางที่ A1 และข้อมูลสายส่ง ดังแสดงในตารางที่ A11 [17-18] แผนภาพของการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 6 แบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า 85 บัส



ภาพที่ 7 แบบระบบจำหน่ายไฟฟ้า 85 บัส จำลองในโปรแกรม MATLAB/Simulink



ภาพที่ 8 แผนภาพของการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 กรณีศึกษา

ในบทความนี้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ด้วยการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์โดยแบ่งออกเป็น 4 กรณีศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 1 กำลังการผลิตติดตั้งรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีที่ 2, 3 และ 4 คือ 2,700 1,950 และ 1,800 kW ตามลำดับ

ตารางที่ 1 กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์

กรณี	จำนวน การติดตั้ง	บัสที่ทำ การติดตั้ง	ขนาด (kW)
1	-	-	-
2	3	15, 36, 54	1,500, 600, 600
3	6	12, 15, 36,	300, 300, 300, 300,
		51, 54, 76	300, 450
4	9	12, 15, 36, 47,	200, 200, 250, 100,
		51, 54,	200, 250,
		62, 74, 76	200, 200,
			200

จากตารางที่ 1 กรณีที่ 2 เหตุผลในการเลือกบัสติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ที่บัส 15, 36 และ 54 เนื่องจากเป็นบัสที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำที่สุดในระบบเมื่อทำการวิเคราะห์กรณีพื้นฐาน ส่วนในกรณีที่ 3 และ 4 เป็นการเพิ่มการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากกรณีที่ 2 เป็น 6 และ 9 เครื่องตามลำดับ โดยทำการพิจารณาจากบัสที่มีแรงดันไฟฟ้าตรองลงไปที่วิเคราะห์กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบเปรียบเทียบกับกำลังการผลิตรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์

3.2 ผลการวิจัย

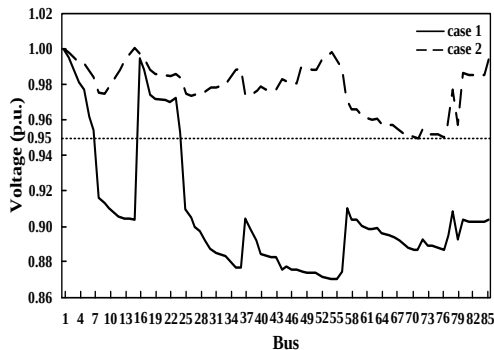
การทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ผลลัพธ์เชิงตัวเลขของการทดสอบทั้ง 4 กรณี ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์การทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์

กรณี	แรงดันไฟฟ้า ต่ำสุด (p.u.)	กำลังไฟฟ้า สูญเสีย (kW)	ร้อยละ กำลังไฟฟ้า สูญเสีย
1	54 (0.87)	313.27	-
2	76 (0.95)	218.44	30.27
3	75 (0.95)	158.59	49.37
4	42 และ 43 (0.95)	153.26	51.07

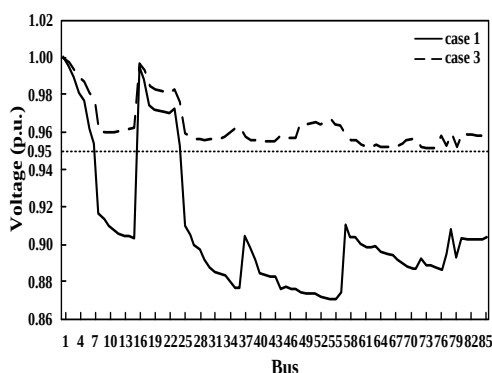
เมื่อทำการทดสอบในกรณีที่ 1 ไม่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีนี้เป็นกรณีพื้นฐาน ผลลัพธ์พบว่า เกิด กำลัง ไฟ ฟา สูญ เ สี ย 313.27 kW แรงดันไฟฟ้าที่บัส 8-15 และ 25-85 ต่ำกว่ามาตรฐาน 0.95-1.05 p.u. และบัสที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำที่สุด คือ บัสที่ 54 (0.87 p.u.)

ในกรณีที่ 2 การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ที่บัส 15, 36 และ 54 ขนาด 1,500 600 และ 600 kW ตามลำดับ ผลลัพธ์พบว่าเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย 218.44 kW คิดเป็นร้อยละ 30.27 ของกำลังไฟฟ้าสูญเสียกรณีที่ 1 และบัสที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำที่สุด คือ บัสที่ 76 (0.95 p.u.) ผลลัพธ์เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากรณีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ที่บัส 15, 36 และ 54 และกรณีพื้นฐานดังแสดงในภาพที่ 9



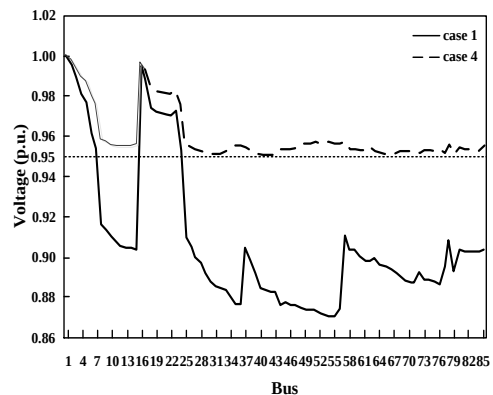
ภาพที่ 9 ผลลัพธ์เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากรณีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ที่บัส 15, 36 และ 54 และกรณีพื้นฐาน

ในกรณีที่ 3 การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ที่บัส 12, 15, 36, 51, 54 และ 76 ขนาด 300, 300, 300, 300, 300 และ 450 kW ตามลำดับ ผลลัพธ์พบว่าเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย 158.59 kW คิดเป็นร้อยละ 49.37 ของกำลังไฟฟ้าสูญเสียกรณีที่ 1 และบัสที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำที่สุด คือ บัสที่ 75 (0.95 p.u.) ผลลัพธ์เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากรณีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ที่บัส 12, 15, 36, 51, 54 และ 76 และกรณีพื้นฐาน ดังแสดงในภาพที่ 10



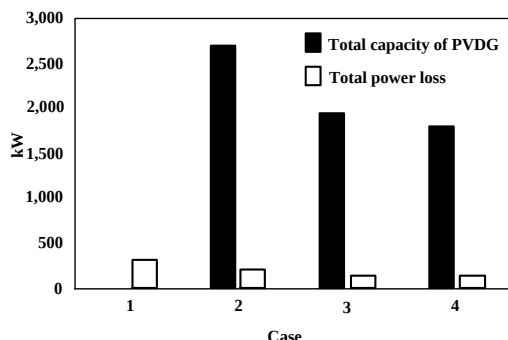
ภาพที่ 10 ผลลัพธ์เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากรณีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ที่บัส 12, 15, 36, 51, 54 และ 76 และกรณีพื้นฐาน

ในกรณีที่ 4 การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ที่บัส 12, 15, 36, 47, 51, 54, 62, 74 และ 76 ขนาด 200, 200, 200, 250, 100, 200, 250, 200, 200 และ 200 kW ตามลำดับ ผลลัพธ์พบว่าเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย 153.26 kW คิดเป็นร้อยละ 51.07 ของกำลังไฟฟ้าสูญเสียกรณีที่ 1 และบัสที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำที่สุด คือ บัสที่ 42 และ 43 (0.95 p.u.) ผลลัพธ์เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากรณีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ที่บัส 12, 15, 36, 47, 51, 54, 62, 74 และ 76 และกรณีพื้นฐาน ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ผลลัพธ์เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากรณีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ที่บัส 12, 15, 36, 47, 51, 54, 62, 74 และ 76 และกรณีพื้นฐาน

จากภาพที่ 11 ผลลัพธ์กรณีที่ 4 สามารถปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าทุกบัสในระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน 0.95-1.05 p.u. และลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้สูงที่สุดร้อยละ 51.07 ของกำลังไฟฟ้าสูญเสียกรณีที่ 1 ส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้สูงที่สุด การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย และกำลังการผลิตรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย และ กำลังการผลิตรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ กระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์

4. สรุปผล

บทความวิจัยนี้นำเสนอการเพิ่ม ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าในแบบจำลองระบบ จำหน่ายไฟฟ้า 85 บัส ด้วยการติดตั้งเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อ จำลองการทำงานใน 4 กรณี ผลลัพธ์พบว่ากรณีที่ 1 หากไม่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจ่ายไฟในระบบ จำหน่ายไฟฟ้า ส่วนกรณีที่ 2, 3 และ 4 การติดตั้ง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์ แสงอาทิตย์จำนวน 3, 6 และ 9 เครื่องกำลังการผลิต ติดตั้งรวม 2,700 1,950 และ 1,800 kW ตามลำดับ ผลลัพธ์พบว่ากรณีที่ 2, 3 และ 4 สามารถปรับปรุง แรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่กำลังไฟฟ้า สูญเสียมีค่าต่างกันร้อยละ 30.27, 49.37 และ 51.07 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรณีที่ 1 ผลลัพธ์ในกรณีที่ 4 สามารถปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าของระบบจำหน่ายให้ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน 0.95-1.05 p.u. และลด กำลังไฟฟ้าสูญเสียได้ต่ำที่สุดส่งผลให้ประสิทธิภาพ การจ่ายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้นสูงที่สุด งานวิจัยในอนาคตต้องเพิ่มระบบกักเก็บพลังงานเพื่อ เพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนและ ความ ช่วยเหลือในการจัดทำบทความนี้ซึ่งได้ช่วยให้ บทความนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

6. อ้างอิง

- [1] ชำนาญ ห่อเกียรติ. ระบบไฟฟ้ากำลัง. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: โครงการพัฒนาความชำนาญด้าน ไฟฟ้า; 2552.
- [2] 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.
- [3] Sanam J, Ganguly Sanjib, Panda AK. Allocation of DSTATCOM and DG in distribution systems to reduce power loss using ESM algorithm. 2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES). 2016 July 4-6; Delhi, India. 2016. P. 1-5.
- [4] Lakith G, Kumar N, Kumar LMV, et al. Multiple Distributed Generator and Capacitor Placement in Distribution Network for Voltage Profile Improvement and Network Loss Reduction. 2017 International Conference on Current Trends in Computer, Electrical, Electronics and Communication (CTCEEC). 2017 September 8-9; Mysore, India. 2017. P. 584-588.
- [5] Saafin ZA, Zaro F, Jawadeh M. Voltage Profile Improvement Using DSTATCOM

- Based on Artificial Intelligent Techniques. 2019 IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology. 2019 April 9-11; Amman, Jordan. 2019. P. 773-778
- [6] Ngamprasert P, Rugthaicharoencheep N, Woothipatanapan S. Application Improvement of Voltage Profile by Photovoltaic Farm on Distribution System. 2019 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI). 2019 October 16- 18; Pattaya, Thailand. 2019. P. 98-101.
- [7] Ismail B, Wahab NIA, Othman ML, et al. A Comprehensive Review on Optimal Location and Sizing of Reactive Power Compensation Using Hybrid- Based Approaches for Power Loss Reduction, Voltage Stability Improvement, Voltage Profile Enhancement and Loadability Enhancement. IEEE Access. 2020;8: 222733-65.
- [8] Razavi AB, Elmi MMB. Improvement of Voltage Profiles in Mashhad Distribution System with Presence of Rooftop PV. 2020 10th Smart Grid Conference (SGC). 2020 December 16-17; Kashan, Iran. 2020.
- [9] Li F. Distributed processing of reliability index assessment and reliability-based network reconfiguration in power distribution systems. IEEE Transactions on Power Systems. 2005;20: 230-238.
- [10] Rugthaicharoencheep N. Placement of distributed generation for reliability in distribution system. RMUTP Research Journal. 2016;10(2): 148-156.
- [11] Reddy MV, Muni BP, Sarma AVR. Enhancement of Voltage Profile for IEEE 14 Bus System with Inter line Power Flow Controller. 2016 Biennial International Conference on Power and Energy Systems: Towards Sustainable Energy (PESTSE). 2016 January 21-23; Bengaluru, India. 2016.
- [12] 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.
- [13] Canada AH. Solar voltaic generation power plants: 1000 MW to 10 kW photovoltaic plant design and application guide for the Pacific Northwest. IEEE Technical Applications Conference and Workshops. Northcon/95. Conference Record. 1995 October 10-12; Portland, OR, USA. 2002. P. 189-94.
- [14] Nezhad OZ, Zadeh SAH, Mohammadian M. The analysis of hybrid system as DG in smart grids by the use of loss sensitivity coefficient method. 2013 Smart Grid Conference (SGC). 2013 December 17-18; Tehran, Iran. 2014. P. 246-251.
- [15] Carmona MC, Vega J, Olivares MC. Power flow algorithm for analysis of distribution networks including distributed generation. 2018 IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exhibition - Latin America (T&D-LA). 2018 September 18-21; Lima, Peru. 2018.
- [16] 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.

- [17] Das D, Kothari DP, Kalam A. Simple and efficient method for load flow solution of radial distribution networks. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 1995; 17: 335-46.
- [18] Prakash DB, Lakshminarayana C. Optimal siting of capacitors in radial distribution network using Whale Optimization Algorithm. alexandria engineering journal. 2017; 56: 499-09.

7. ภาคผนวก

ตารางที่ AI ข้อมูลโหลดของแบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า 85 บัส

บัส	P_L (kW)	Q_L (kVAr)	บัส	P_L (kW)	Q_L (kVAr)
4	56.00	57.13	46	35.28	35.99
6	35.28	35.99	47	14.00	14.28
8	35.28	35.99	50	36.28	37.01
11	56.00	57.13	51	56.00	57.13
14	35.28	35.99	53	35.28	35.99
15	35.28	35.99	54	56.00	57.13
16	35.28	35.99	55	56.00	57.13
17	112.00	114.26	56	14.00	14.28
18	56.00	57.13	57	56.00	57.13
19	56.00	57.13	59	56.00	57.13
20	35.28	35.99	60	56.00	57.13
21	35.28	35.99	61	56.00	57.13
22	35.28	35.99	62	56.00	57.13
23	56.00	57.13	63	14.00	14.28
24	35.28	35.99	66	56.00	57.13

ตารางที่ AI ข้อมูลโหลดของแบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า 85 บัส (ต่อ)

บัส	P_L (kW)	Q_L (kVAr)	บัส	P_L (kW)	Q_L (kVAr)
25	35.28	35.99	69	56.00	57.13
26	56.00	57.13	71	35.28	35.99
28	56.00	57.13	72	56.00	57.13
30	35.28	35.99	74	56.00	57.13
31	35.28	35.99	75	35.28	35.99
33	14.00	14.28	76	56.00	57.13
36	35.28	35.99	77	14.00	14.28
37	56.00	57.13	78	56.00	57.13
38	56.00	57.13	79	35.28	35.99
39	56.00	57.13	80	56.00	57.13
40	35.28	35.99	82	56.00	57.13
42	35.28	35.99	83	35.28	35.99
43	35.28	35.99	84	14.00	14.28
44	35.28	35.99	85	35.28	35.99
45	35.28	35.99			

ตารางที่ All ข้อมูลสายส่งของแบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า 85 บัส

หมายเลข	จากบัส	สู่บัส	$R (\Omega)$	$X (\Omega)$
1	1	2	0.108	0.075
2	2	3	0.163	0.112
3	3	4	0.217	0.149
4	4	5	0.108	0.074
5	5	6	0.435	0.298
6	6	7	0.272	0.186
7	7	8	1.197	0.820
8	8	9	0.108	0.074
9	9	10	0.598	0.410
10	10	11	0.544	0.373
11	11	12	0.544	0.373
12	12	13	0.598	0.410
13	13	14	0.272	0.186
14	14	15	0.326	0.223
15	2	16	0.728	0.302
16	3	17	0.455	0.189
17	5	18	0.820	0.340

ตารางที่ All ข้อมูลสายส่งของแบบจำลอง
ระบบจำหน่ายไฟฟ้า 85 บัส (ต่อ)

หมายเลข	จากบัส	สู่บัส	R (Ω)	X (Ω)
18	18	19	0.637	0.264
19	19	20	0.455	0.189
20	20	21	0.819	0.340
21	21	22	1.548	0.642
22	19	23	0.182	0.075
23	7	24	0.910	0.378
24	8	25	0.455	0.189
25	25	26	0.364	0.151
26	26	27	0.546	0.226
27	27	28	0.273	0.113
28	28	29	0.546	0.226
29	29	30	0.546	0.226
30	30	31	0.273	0.113
31	31	32	0.182	0.075
32	32	33	0.182	0.075
33	33	34	0.819	0.340
34	34	35	0.637	0.264
35	35	36	0.182	0.075
36	26	37	0.364	0.151
37	27	38	1.002	0.416
38	29	39	0.546	0.226
39	32	40	0.455	0.189
40	40	41	1.002	0.416
41	41	42	0.273	0.113
42	41	43	0.455	0.189
43	34	44	1.002	0.416
44	44	45	0.911	0.378
45	45	46	0.911	0.378
46	46	47	0.546	0.226
47	35	48	0.637	0.264
48	48	49	0.182	0.075
49	49	50	0.364	0.151
50	50	51	0.455	0.189
51	48	52	1.366	0.567

ตารางที่ All ข้อมูลสายส่งของแบบจำลอง
ระบบจำหน่ายไฟฟ้า 85 บัส (ต่อ)

หมายเลข	จากบัส	สู่บัส	R (Ω)	X (Ω)
52	52	53	0.455	0.189
53	53	54	0.546	0.226
54	52	55	0.546	0.226
55	49	56	0.546	0.226
56	9	57	0.273	0.113
57	57	58	0.819	0.340
58	58	59	0.182	0.075
59	58	60	0.546	0.226
60	60	61	0.728	0.302
61	61	62	1.002	0.415
62	60	63	0.182	0.075
63	63	64	0.728	0.302
64	64	65	0.182	0.075
65	65	66	0.182	0.075
66	64	67	0.455	0.189
67	67	68	0.910	0.378
68	68	69	1.092	0.453
69	69	70	0.455	0.189
70	70	71	0.546	0.226
71	67	72	0.182	0.075
72	68	73	1.184	0.491
73	73	74	0.273	0.113
74	73	75	1.002	0.416
75	70	76	0.546	0.226
76	65	77	0.091	0.037
77	10	78	0.637	0.264
78	67	79	0.546	0.226
79	12	80	0.728	0.302
80	80	81	0.364	0.151
81	81	82	0.091	0.037
82	81	83	1.092	0.453
83	83	84	1.002	0.416
84	13	85	0.819	0.340