

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในอาคารผนวกระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์

Power flow calculation for building including PV generation system

อานนท์ พ่วงชิงงาม และ วิสูตร์ ตันติรุ่งเรือง

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี โทรศัพท์ 0-35 544300 ต่อ 4106 E-mail: arnon5202@gmail.com

บทคัดย่อ

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าสำหรับอาคารมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการออกแบบการใช้งานและการบำรุงรักษา เนื่องจากกำลังไฟฟ้าของโหลดและกำลังไฟฟ้าที่ไหลภายในอาคารจะเปลี่ยนแปลงตามแรงดันไฟฟ้าและความถี่ของระบบไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลาขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงานและรูปแบบการทำงานของระบบ ในปัจจุบันการออกแบบระบบไฟฟ้าของอาคารจะนิยมออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์บนหลังคาอยู่ด้วยเพื่อลดการซื้อพลังงานไฟฟ้าของอาคาร กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่อาคารจากพลังงานแสงอาทิตย์จะส่งผลต่อแรงดันความถี่ของระบบรวมถึงการไหลของกำลังไฟฟ้าให้มีการเปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสงอาทิตย์ เป็นเหตุให้การคำนวณโดยวิธีการทั่วไปไม่สามารถคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในอาคารและจุดทำงานของระบบได้อย่างถูกต้อง บทความนี้นำเสนอการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในอาคารที่มีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์บนหลังคาเชื่อมต่ออยู่ โดยใช้วิธีการคำนวณแบบกระจายถอยหลังและเดินหน้า ในการศึกษาใช้ระบบจ่ายไฟฟ้าของอาคารเรียน 10 ชั้น เป็นโมเดลในการคำนวณที่ความละเอียดของการคำนวณทุก 1 นาที โดยเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของแสงอาทิตย์เพื่อให้เห็นผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าของอาคาร ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าและการสูญเสียในอาคารที่มีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

คำสำคัญ: การไหลของกำลังไฟฟ้า, ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์บนหลังคา, วิธีการกระจายถอยหลังและเดินหน้า

Abstract

Power flow calculation for buildings is critical to their design, operation, and maintenance. This is because the load's power demands and the power flow constantly change with the voltage and frequency of the power system, depending on the conditions and the system's operating characteristics. When designing the electrical system of buildings, it is often designed to have a solar rooftop generation system to reduce the purchase of energy. The electrical power supplied to the building by the solar system on the roof affects the existing electrical system's voltage, frequency, and power flow as a function of solar

radiation. Therefore, calculations using conventional design methods cannot accurately calculate the system's power flow and operating points. This paper presents the power flow calculation in buildings with solar rooftop generation systems using backward/forward sweep methods. In this study, the electrical distribution system of a 10-story classroom building was used as a model for the calculations with a 1-minute resolution of solar radiation. The study results show that the proposed method can accurately calculate power flow and loss in buildings with solar rooftop power generation.

Keywords: Power Flow, Solar Rooftop generation system, Backward/Forward Sweep Method

1. บทนำ

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าถือเป็นจุดเริ่มต้นของการวิเคราะห์สภาวะการทำงานและเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง เนื่องจากการไหลของกำลังไฟฟ้าและแรงดันที่คำนวณได้ยังจุดต่างๆในระบบนั้นแสดงให้เห็นถึงสภาวะการทำงานที่ปรกติหรือไม่ปรกติของระบบได้อย่างชัดเจน [1] จากการศึกษาพบว่าหากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าสามารถทำได้หลากหลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียต่างกันออกไป เช่น วิธีเกาส์-ไซด์ล (Gauss-Seidel) จะเหมาะสมกับระบบไฟฟ้ากำลังพื้นฐาน หากระบบมีความซับซ้อนมากก็จะนิยมใช้การวิเคราะห์โดยใช้วิธีนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson) ซึ่งจะใช้การคำนวณโดยใช้สมการคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อนมากกว่าและมีความสามารถในการหาคำตอบได้ไว จึงเหมาะสมในการใช้คำนวณระบบที่เป็นโครงข่ายซับซ้อน เช่น ระบบสายส่งไฟฟ้าแรงดันสูงที่มีการเชื่อมต่อกันของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบจำนวนมาก [2]

โดยทั่วไประบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันปานกลางจะมีลักษณะของโครงข่ายเป็นแขนงหรือเรเดียล การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าจะนิยมใช้วิธีการคำนวณแบบกระจายถอยหลังและเดินหน้าซึ่งมีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการคำนวณระบบที่มีอัตราส่วนของ X/R น้อย จุดเด่นที่เห็นได้ชัดของวิธีการคำนวณดังกล่าวคือใช้เวลาในการคำนวณสำหรับระบบดังกล่าวน้อยกว่าวิธีแบบอื่นเช่นวิธีนิวตัน-ราฟสัน เนื่องจากการคำนวณจะอาศัยสมการกระแสและแรงดันของเคอร์ชอฟ (KCL and KVL) ซึ่งมีรูปแบบของสมการไม่ซับซ้อน [3] จากการศึกษา

พบว่าระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันปานกลาง (Medium Voltage Distribution System) จะมีความคล้ายคลึงกับระบบจ่ายไฟฟ้าแรงต่ำในอาคารคือมีลักษณะของโครงข่ายเป็นแขนง (Radial System) ดังนั้นหากทราบค่าพารามิเตอร์ของสายป้อน สายเมนและวงจรย่อยรวมถึงกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลดทางไฟฟ้าที่จุดต่างๆแล้ว ก็จะสามารถนำวิธีการกระจายถอยหลังและเดินหน้ามาประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาการไหลของกำลังไฟฟ้าได้อย่างละเอียด ซึ่งแต่เดิมในการออกแบบระบบจ่ายไฟฟ้าของอาคารนั้นจะทำได้เพียงการคำนวณค่าของกระแสไฟฟ้าของโหลดเพื่อกำหนดขนาดของสายไฟฟ้าและค่าของอุปกรณ์ป้องกันโดยการคำนวณกำลังไฟฟ้าของอาคารจะทำในภาพรวมเพื่อกำหนดขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าเท่านั้น หากว่าอาคารนั้นมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์แล้ว การไหลของกำลังไฟฟ้าในอาคารจะต้องมีการคำนวณใหม่ทุกครั้งตามปริมาณการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบที่แปรตามความเข้มของแสงอาทิตย์ในแต่ละวันหรือแต่ละฤดูกาลและการเปลี่ยนแปลงของโหลดไฟฟ้าภายในอาคารในช่วงเวลานั้นๆ ซึ่งการคำนวณแบบเดิมนี้จะไม่สามารถคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบตามเวลาจริงได้ จึงไม่สามารถหาค่าการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าภายในและประสิทธิภาพของระบบที่ถูกต้องได้

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีการกระจายถอยหลังและเดินหน้า เพื่อกำหนดการไหลของกำลังไฟฟ้าในอาคาร ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบทดสอบอ้างอิงจากระบบจริงของอาคาร การศึกษากำหนดให้การทำงานของระบบไฟฟ้าแบ่งเป็นสองสถานะคือสถานะที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลักของการไฟฟ้า และสถานะของการทำงานแบบอิสระ (รับกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในอาคาร) โหลดทางไฟฟ้าของระบบทดสอบมีค่าของกำลังไฟฟ้าตามระบบจริงและมีคุณสมบัติของชนิดโหลดแปรตามแรงดันและความถี่ของระบบไฟฟ้า (Static load) นอกจากนี้การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าดังกล่าวยังผนวกการผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาของอาคาร โดยค่าตัวแปรต่างๆของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์จะถูกนำมาใส่รวมกันกับตัวแปรระบบจ่ายไฟฟ้าของอาคารภายในอัลกอริทึมที่ใช้คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าชุดเดียวกัน และทำการคำนวณค่าทั้งหมดพร้อมกัน ด้วยหลักการดังกล่าวทำให้วิธีการที่นำเสนอสามารถคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าและการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในระบบทดสอบได้อย่างรวดเร็ว ที่ความละเอียดทุก 1 นาที่อย่างต่อเนื่องตามข้อมูลความเข้มของแสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจริง รวมถึงคำนวณค่าการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบของทั้งสองโหมดการทำงาน และแสดงคุณสมบัติการรู้เข้าหาคำตอบของเทคนิคการคำนวณที่สร้างขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้บทความยังนำเสนอรายละเอียดและค่าพารามิเตอร์ของระบบทดสอบพร้อมทั้งผลการคำนวณเพื่อให้ผู้อ่านสามารถตรวจสอบได้และเป็นการนำไปสู่การพัฒนาโปรแกรมการวิเคราะห์และคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในอนาคตได้

2. แบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลัง

2.1 แบบจำลองโหลดของระบบไฟฟ้ากำลัง (Load models)

แบบจำลองโหลดของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในระบบทดสอบอ้างอิงที่บัส i จะมีค่าของกำลังไฟฟ้าจริง (Active power) P_{Li} และกำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive power) Q_{Li} ตามคุณสมบัติหรือชนิดของโหลด α, β (Constant power, Constant current, Constant impedance) และค่ารีแอคแตนซ์ของระบบซึ่งจะมีค่าแปรตามแรงดัน [4] ความถี่และค่า Sensitivity ของระบบไฟฟ้า f, K_{pf}, K_{qf} ตามสมการที่ 1 2 และ 3

$$P_{Li} = P_{Lio} \left(\frac{|V_i|}{|V_o|} \right)^\alpha \left(1 + K_{pf} (f^{k+1} - f^k) \right) \quad (1)$$

$$Q_{Li} = Q_{Lio} \left(\frac{|V_i|}{|V_o|} \right)^\beta \left(1 + K_{qf} (f^{k+1} - f^k) \right) \quad (2)$$

$$Z_{ij} = R_{ij} + jX_{ij} \frac{f^{k+1}}{f^k} \quad (3)$$

2.2 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Distribution generator models)

เมื่อระบบทำงานในโหมดอิสระ (Islanded mode) มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า DG (Distribution generator) เชื่อมต่ออยู่ที่บัส i ค่าของกำลังไฟฟ้าจริง P_{Gi} ที่ DG จ่ายเข้าสู่บัส หาค่าได้จากความสัมพันธ์ของความถี่ในระบบที่เปลี่ยนแปลงกับค่าการปรับตั้ง frequency droop, m_{pi} ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่บัส i และกำลังไฟฟ้าเสมือน Q_{Gi} จะมีความสัมพันธ์ตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่บัส i กับค่าปรับตั้ง Voltage droop, n_{qi} ของ DG ที่บัสนั้น แสดงสมการที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

$$P_{Gi} = P_{Gio} + \Delta P_{Gi}, \quad \Delta P_{Gi} = \frac{\Delta f}{m_{pi}} \quad (4)$$

$$Q_{Gi} = Q_{Gio} + \Delta Q_{Gi}, \quad \Delta Q_{Gi} = \frac{\Delta V_i}{n_{pi}} \quad (5)$$

2.3 แบบจำลองการผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์

กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน P_{PVi} และ jQ_{PVi} ที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์โดยเครื่องแปลงไฟฟ้าผกผัน (Inverter) ที่ต่ออยู่ที่บัส i ถูกจ่ายเข้าชดเชยให้กับโหลดที่ต่ออยู่ที่บัสดังกล่าว P_{Li} และ jQ_{Li} หากผลิตได้มากกว่าโหลดจะสามารถไหลไปสู่อื่นได้ ดังสมการที่ 6

$$S_i = P_i + jQ_i = (P_{Li} + jQ_{Li}) - (P_{PVi} + jQ_{PVi}) \quad (6)$$

3. การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการกระจายถอยหลังและเดินหน้า [5] ใช้หลักการของสมการกระแสและแรงดันของเคอร์ชอฟ (KCL and KVL) กระแสโหลดของบัสและกระแสที่ไหลระหว่างบัสสามารถคำนวณตามสมการที่ 7 และ 8

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (7)$$

$$I_{ij} = I_j + \sum_{k \in \Psi_j} I_{jk} \quad (8)$$

เมื่อ I_i คือกระแสของบัส i , Ψ คือเซตของบัสที่อยู่ใกล้เคียงถัดออกไป I_{ij} คือกระแสที่ไหลจากบัส i ไปบัส j จากสมการที่ 7 และ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ไหลระหว่างบัสและกระแสของบัสได้ในรูปแบบของเมทริกการกระจายย่อยหลัง [B] (Bus Inject to Branch Current Transformation Matrix) ดังสมการที่ 9

$$[B] = [BIBC][I] \quad (9)$$

จากนั้นจะใช้หลักการของกฎแรงดันของเคอร์ชอฟในการกระจายไปข้างหน้าเพื่อหาแรงดันที่บัสต่างๆ โดยจะอยู่ในรูปของเมทริก [BCBV] (Branch Current to Bus Voltage Transformation Matrix) ดังสมการที่ 10

$$[V] = [V_1] - [\Delta U] = [V_1] - [BCBV][B] \quad (10)$$

กำลังไฟฟ้าที่ไหลระหว่างบัสได้ ตามสมการที่ 11 และ 12

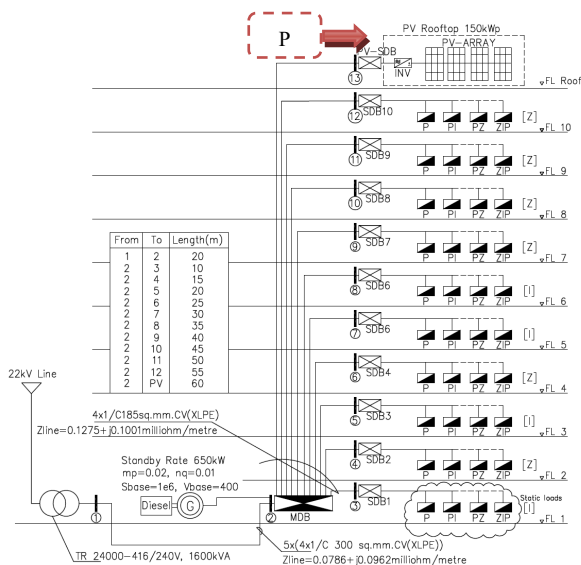
$$I_{ij} = \frac{V_i - V_j}{Z_{ij}} \quad (11)$$

$$S_{ij} = V_i \cdot I_{ij}^* \quad (12)$$

เมื่อ Z_{ij} และ S_{ij} คือค่าอิมพีแดนซ์และกำลังไฟฟ้าระหว่างบัส $i-j$

4. ระบบทดสอบการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

ระบบทดสอบการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าสร้างขึ้นโดยใช้ค่าพารามิเตอร์และพิกัดอุปกรณ์จริงจากระบบไฟฟ้าของอาคารเทคโนโลยีการออกแบบและวิศวกรรม ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัดนนทบุรี ลักษณะทางกายภาพเป็นอาคารสูง 10 ชั้น มีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ติดตั้งบนหลังคาแสดงตามรูปที่ 1

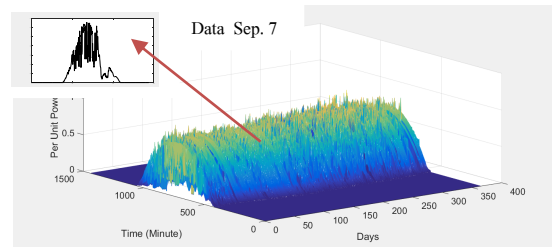


รูปที่ 1 ระบบทดสอบการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

ตารางที่ 1 ข้อมูลของระบบจ่ายไฟฟ้าอาคารเทคโนโลยีการออกแบบ

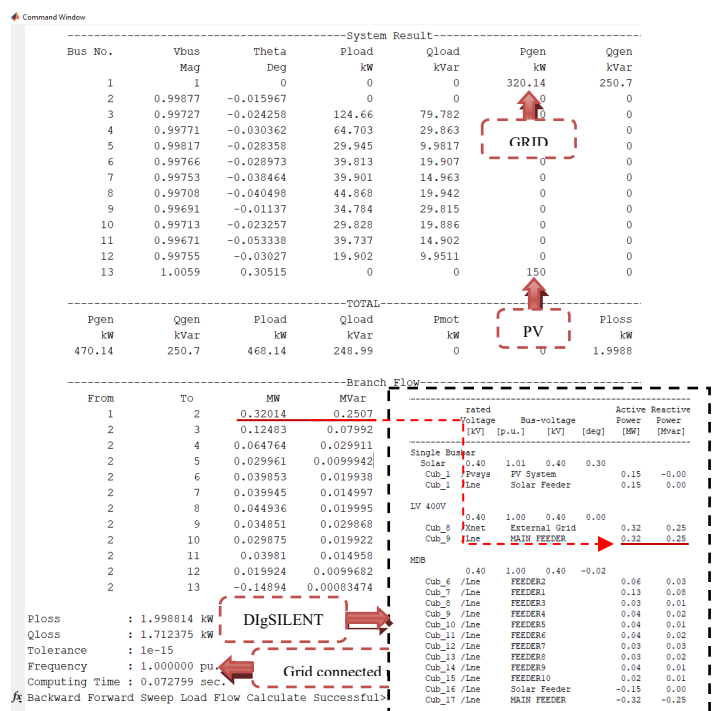
Item	Description	Rated	Detail
Transformer	Oil Type (ONAN)	1600kVA 24-0.416/0.240kV	Oil Immersion
MDB	From2B TYPE TEST	MAIN 2000A IC>55kA	Air circuit breaker electronic trip
Connection	Lighting, Air condition etc	20-125kW, 9-80kVAR	Static load (ZIP), Ref Fig.1
PV System	Rooftop On Grid	150kW (3x50kW)	150kW Peak, Mono crystallize
Main Feeder	CV XLPE(FD)	5x(4x300sq.mm.)CV-XLPE	R= 0.0786Ω/m, L= 0.306369μH/m
Feeder	CV XLPE(FD)	2x(4x185sq.mm.)CV-XLPE	R= 0.1275Ω/m, L= 0.31878μH/m

การศึกษามูลค่าของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์เพื่อคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบตามเวลาจริง จะใช้ข้อมูลกำลังไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์จริงที่ความละเอียดนาฬิกา ของวันที่ 7 กันยายน ตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 การป้อนกำลังไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์

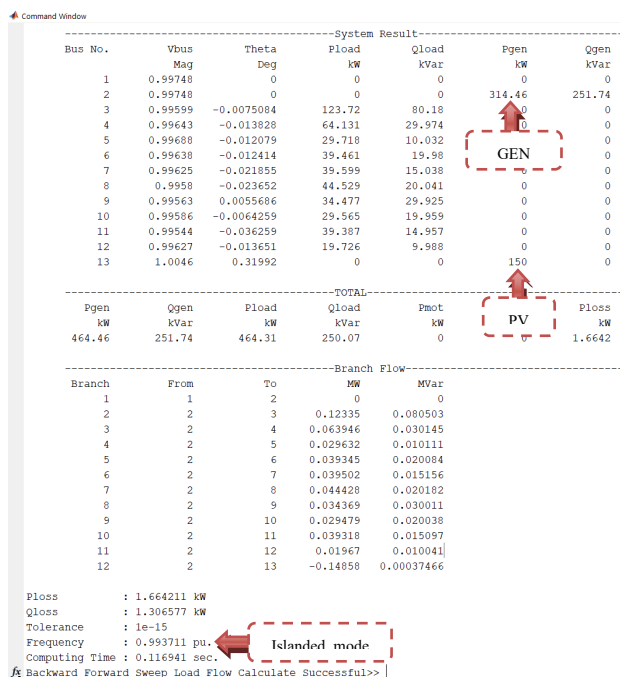
5. ผลการทดสอบ



รูปที่ 3 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อกับ

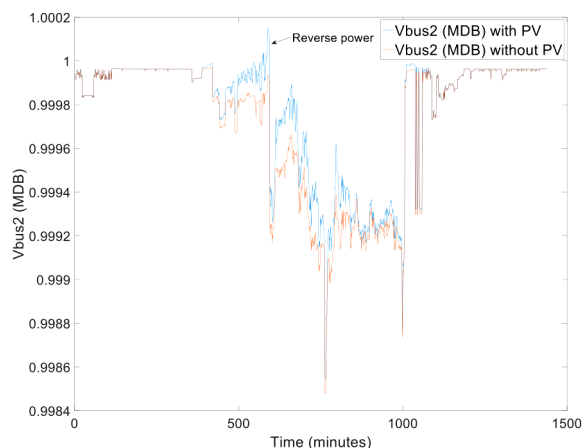
กริดของโปรแกรมที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับกริดคำนวณโดยโปรแกรม Power Factory (DigSILENT)

จากรูปที่ 3 ค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้จากโหลด (ZIP load) กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารซึ่งรับมาจากกริดและระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์โดยขณะดังกล่าวระบบมีกำลังสูญเสียที่ 1.998814 กิโลวัตต์



รูปที่ 4 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อโดยตรง

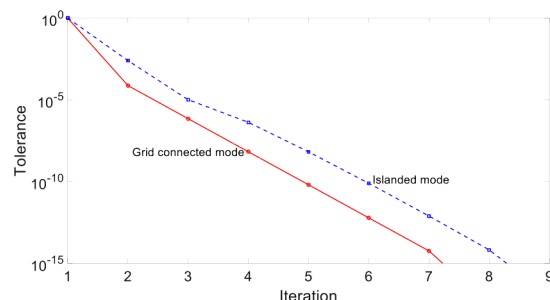
จากรูปที่ 4 การทำงานจะปลดการรับไฟฟ้าจากภายนอก และใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในจ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลดทั้งหมดแทน ดังนั้นความถี่ของระบบจะขึ้นอยู่กับความถี่ไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดคือ 0.993711 pu หรือ 49.68555 เฮิรตซ์ โดยการสูญเสียในระบบมีค่าเป็น 1.6642 กิโลวัตต์



รูปที่ 5 แรงดันของระบบเมื่อมีและไม่มีกรต่อ PV

รูปที่ 5 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่บัส 2 ตำแหน่ง MDB ในกรณีที่ไม่มีและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ พบว่าช่วงที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจะช่วยลดปริมาณการไหลของกำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าในอาคารเป็นผลให้แรงดันตกในสายมีค่าลดลง และในบางช่วงที่ กำลังการผลิตมีค่าสูงกว่าโหลดจะมีกำลังไฟฟ้าไหลย้อนออกสู่ระบบภายนอก (Reverse power) ซึ่งตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อนระบบของการไฟฟ้า (Grid code) จะต้องมีกีดกันอุปกรณ์ป้องกันการ

ไหลย้อน นอกจากนี้ผลการทดสอบการลู่เข้าหาคำตอบของการทำงานในทั้งสองโหมดแสดงตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลการทดสอบการลู่เข้าหาคำตอบของการคำนวณ

6. สรุป

บทความนี้นำเสนอการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในอาคารผนวกกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ด้วยวิธีการกระจายถอยหลังและเดินหน้า เพื่อหาจุดทำงานของระบบไฟฟ้าในอาคารที่ทำการทดสอบ เช่น กำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และการสูญเสียของระบบ ทั้งในกรณีที่ระบบทำงานเชื่อมต่อกับกริดและกรณีที่ทำงานแบบแยกตัวอิสระ จากการศึกษาพบว่าเทคนิคการคำนวณที่สร้างขึ้นสามารถคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ต้องการในทุกส่วนของระบบได้อย่างละเอียดและถูกต้อง อีกทั้งยังสามารถใช้ในการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและการสูญเสียในระบบในกรณีที่ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์บนหลังคาจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่อาคาร โดยมีความละเอียดในการคำนวณทุก 1 นาทีแปรตามความเข้มของแสงอาทิตย์ ซึ่งทำให้เห็นถึงความละเอียดในการคำนวณได้ อีกทั้งผลการคำนวณดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์สถานะการทำงานของระบบจ่ายไฟฟ้าของอาคารเพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการออกแบบระบบไฟฟ้า เช่น ปริมาณของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายป้อนและสายประธาน แรงดันไฟฟ้าที่จุดต่างๆของระบบได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] P.Aree, "Load flow solution with induction motor," Songklanakarin J.Sci. Technol., Vol.28, pp.157-168, 2006.
- [2] Jen-Hao Teng, "A Direct Approach for Distribution System Load Flow Solutions," IEEE Trans.Power Delivery, Vol.18, July 2003
- [3] Narinder Singh, Rajni Bala, "A Novel Method for Power Flow Solution of Radial Distribution Network," IJEDR, Issue.4 2015
- [4] P.Aree, "Power Flow Computation Considering Nonlinear Characteristics of Composite Load Model," International Electrical Engineering Congress 2014, 19-21 March 2014, Pattaya City, Thailand.
- [5] Faisal Hameed, Mohamad Al Hossani H.H.Zeineldin, "A Modified Backward/Forward Sweep Load Flow Method for Islanded Radial Microgrids," IEEE Trans. smart grid, vol.10, no.1, pp 910-918, Jan2019