บทที่ 4
การประยุกต์ใช้วิธีกลุ่มอนุภาคกับปัญหาการจัดการกำลังรีแอกทีฟ

4.1 การประยุกต์ใช้วิธีกลุ่มอนุภาคกับปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุ

4.1.1 ปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุ

การติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบจำหน่าย หมายถึง การติดตั้งตัวเก็บประจุที่บัสต่างๆในวงจรสายป้อนเพื่อชดเชยกำลังรีแอกทีฟให้แก่โหลด ตัวอย่างของประโยชน์ที่ได้จากการติดตั้งตัวเก็บประจุในสายป้อน ได้แก่ การลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ การปรับปรุงขนาดแรงดันบัสและคุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality) ของระบบ รวมทั้งทำให้ระบบสามารถรองรับโหลดได้เพิ่มขึ้น (Short, 2003) อย่างไรก็ตาม ประโยชน์ที่กล่าวมาข้างต้นจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อการติดตั้งตัวเก็บประจุเป็นไปอย่างเหมาะสม

ในทางทฤษฎี ตำแหน่งติดตั้งตัวเก็บประจุในสายป้อนที่เหมาะสม คือ ติดตั้งให้ใกล้กับโหลดซึ่งมีความต้องการกำลังรีแอกทีฟ แต่ในทางปฏิบัติ การกำหนดรูปแบบหรือสูตรสำเร็จของการติดตั้งตัวเก็บประจุให้สามารถประยุกต์ใช้ได้กับระบบจำหน่ายทุกระบบนั้น ทำได้ยากหรือไม่อาจทำได้ เพราะระบบจำหน่ายแต่ละระบบมีความแตกต่างกันทั้งลักษณะการจัดเรียงสายป้อน การกระจายตัวของโหลด และปริมาณโหลดซึ่งเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา การติดตั้งตัวเก็บประจุจึงต้องดำเนินการให้เหมาะสมกับระบบจำหน่ายที่กำลังพิจารณาเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด ปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุ จึงเกี่ยวข้องกับการวางแผนเพื่อกำหนดรูปแบบการติดตั้งตัวเก็บประจุให้เหมาะสมทั้งในแง่ของตำแหน่ง (หมายเลขบัสในระบบ) ขนาด (ค่ากำลังรีแอกทีฟ) และชนิด (แบบค่าคงที่หรือแบบปรับค่าได้)

4.1.2 ตัวแปรตัดสินใจในปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุ

วิทยานิพนธ์นี้แบ่งปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ Type A, Type B, และ Type C ตัวแปรตัดสินใจของปัญหาแต่ละรูปแบบจะมีความแตกต่างกัน โดยถ้ากำหนดให้ **NC** เป็นเซตซึ่งสมาชิกของเซตประกอบด้วยหมายเลขบัสสำหรับติดตั้งตัวเก็บประจุ ข้อมูลเบื้องต้นที่ทราบจากเซต **NC** จะเป็นตัวกำหนดรูปแบบของปัญหา ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ปัญหา Type A: ข้อมูลที่ทราบจากเซต **NC** คือ หมายเลขบัสของสมาชิกทั้งหมดในเซต ซึ่งหมายความว่าทั้งจำนวนบัสและหมายเลขบัสสำหรับติดตั้งตัวเก็บประจุได้ถูกกำหนดไว้แล้ว สิ่งที่

ต้องการทราบ คือ กำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุที่แต่ละบัส ณ ระดับโหลด (Load Levels) ต่างๆ ตัวแปรตัดสินใจของปัญหาจึงมีเพียงกำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุเท่านั้น

ปัญหา Type B: ข้อมูลที่ทราบจากเซต **NC** คือ จำนวนสมาชิกทั้งหมดภายในเซต แต่ยังไม่ทราบว่าสมาชิกแต่ละตัวมีหมายเลขบัสเป็นเท่าใด ปัญหา Type B จึงเป็นปัญหาที่กำหนดจำนวนบัสสำหรับติดตั้งตัวเก็บประจุไว้จำนวนหนึ่ง สิ่งที่ต้องการทราบ คือ หมายเลขบัสที่จะนำตัวเก็บประจุไปติดตั้ง และค่ากำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุ ณ บัสเหล่านั้นที่แต่ละระดับโหลด ตัวแปรตัดสินใจของปัญหาจึงได้แก่หมายเลขบัสและกำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุ

ปัญหา Type C: เซต **NC** จะไม่มีข้อมูลใดๆ เกี่ยวกับการติดตั้งตัวเก็บประจุ กล่าวคือ ปัญหา Type C ไม่ได้กำหนดเงื่อนไขใดๆ ของการติดตั้งตัวเก็บประจุ สิ่งที่ต้องการทราบ คือ ต้องติดตั้งตัวเก็บประจุจำนวนกี่ตัว ที่ตำแหน่งใด และกำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุเหล่านั้น ณ ระดับโหลดต่างๆ ควรมีค่าเท่าใด ด้วยเหตุนี้ ตัวแปรตัดสินใจของปัญหาจึงประกอบด้วยจำนวนบัส หมายเลขบัส และค่ากำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุ

4.1.3 ฟังก์ชันจุดประสงค์ของปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุ

วัตถุประสงค์หลักของการติดตั้งตัวเก็บประจุในสายป้อน คือ การควบคุมขนาดแรงดันบัสให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้และการลดค่ากำลังสูญเสีย โดยทั่วไป การควบคุมขนาดแรงดันบัสได้ถูกใช้เป็นเงื่อนไขบังคับ ฟังก์ชันจุดประสงค์ของปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุจึงเกี่ยวข้องกับการลดค่ากำลังสูญเสียของระบบ นอกจากนี้ การติดตั้งตัวเก็บประจุในสายป้อนควรคำนึงถึงความคุ้มค่าของเงินลงทุน เมื่อเทียบกับประโยชน์ที่ได้รับจากการที่กำลังสูญเสียมีค่าลดลง ฟังก์ชันจุดประสงค์สำหรับปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุจึงมีได้หลายรูปแบบ อาทิ

$$Min\ F = \sum_{j=1}^{S} T^j P_L^j \tag{4-1}$$

$$Min\ F = \sum_{j=1}^{S} k_e^j T^j P_L^j \tag{4-2}$$

$$Min\ F = \sum_{j=1}^{S} (k_e^j T^j P_L^j) + \sum_{k \in \mathbf{NC}} C_k \tag{4-3}$$

$$Min\ F = \sum_{j=1}^{S} (k_e^j T^j P_L^j) + \sum_{k \in \mathbf{NC}} C_k + k_P P_L^P \tag{4-4}$$

ฟังก์ชันจุดประสงค์ในสมการที่ (4-1) และ (4-2) พิจารณาเฉพาะการลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ โดยสมการที่ (4-1) ต้องการให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวม (Total Energy Loss) จากทุกระดับโหลดมีค่าน้อยที่สุด ส่วนสมการที่ (4-2) ต้องการให้ผลรวมของมูลค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียจากทุกระดับโหลดมีค่าน้อยที่สุด สำหรับฟังก์ชันจุดประสงค์ในสมการที่ (4-3) ได้นำเงินลงทุนของการติดตั้งตัวเก็บประจุมาพิจารณาด้วย ส่วนฟังก์ชันจุดประสงค์ในสมการที่ (4-4) ได้นำค่าใช้จ่ายของการผลิตไฟฟ้าเพื่อรองรับกำลังสูญเสียในช่วงโหลดสูงสุดมาพิจารณาร่วมกับมูลค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียและเงินลงทุนสำหรับการติดตั้งตัวเก็บประจุ

4.1.4 เงื่อนไขบังคับสำหรับปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุ

ข้อพิจารณาประการแรกของการติดตั้งตัวเก็บประจุ คือ ระบบจำหน่ายภายหลังการติดตั้งตัวเก็บประจุต้องสามารถทำงานได้อย่างปรกติ ข้อพิจารณาประการที่สอง คือ ต้องสามารถติดตั้งตัวเก็บประจุได้จริง เนื่องจากในทางปฏิบัติ ตัวเก็บประจุแบบ 3 เฟสได้จากการนำตัวเก็บประจุแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัวมาต่อกันแบบวาย (Y Connection) หรือแบบเดลตา (Delta Connection) เมื่อประกอบกับการที่ระบบจำหน่ายโดยทั่วไปเป็นระบบสายอากาศ (Overhead Distribution System) ที่จ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านสายเคเบิลซึ่งพาดอยู่บนเสาไฟฟ้า (Electrical Pole) ตัวเก็บประจุจึงต้องติดตั้งบนเสาไฟฟ้า (Pole Mounted) หรือติดตั้งบนแพลตฟอร์มของหม้อแปลง (Transformer Platform) ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้เกิดข้อจำกัดในการติดตั้งอย่างน้อย 2 ข้อ ข้อจำกัดแรก คือ ขนาดทางกายภาพ (กว้าง×ยาว×สูง) ของตัวเก็บประจุต้องไม่ใหญ่จนเกินไป เพราะถ้าตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่เกินไป ก็ไม่สามารถติดตั้งบนเสาไฟฟ้าหรือบนแพลตฟอร์มของหม้อแปลงได้ ข้อจำกัดที่สอง คือ อาจมีเสาไฟฟ้าหรือแพลตฟอร์มของหม้อแปลง ณ บางตำแหน่งในระบบที่ไม่สามารถนำตัวเก็บประจุไปติดตั้งได้

จากเหตุผลข้างต้น เงื่อนไขบังคับในปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุ จึงแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ เงื่อนไขบังคับสำหรับการทำงานของระบบ และเงื่อนไขบังคับเกี่ยวกับการติดตั้งจริงในทางปฏิบัติ เงื่อนไขบังคับสำหรับการทำงานของระบบ ได้แก่

$$P_i^j = \sum_{\substack{n=1 \\ n\neq i}}^{NB} \left| V_i^j V_n^j Y_{in} \right| \cos(\theta_{in} + \theta_n^j - \theta_i^j) \tag{4-5}$$

$$Q_i^j = -\sum_{\substack{n=1 \\ n\neq i}}^{NB} \left| V_i^j V_n^j Y_{in} \right| \sin(\theta_{in} + \theta_n^j - \theta_i^j) \tag{4-6}$$

$$V^{\min} \le \left| V_i^j \right| \le V^{\max} \tag{4-7}$$

$$\sum_{k \in \mathbf{NC}} Qc_k^j \le Qc_T^{\max} \quad ,\forall\, j \in S \tag{4-8}$$

เงื่อนไขบังคับตามสมการที่ (4-5) และ (4-6) เป็นสมการสมดุลกำลังไฟฟ้า (Power Balanced Equations) เงื่อนไขบังคับในสมการที่ (4-7) เป็นการควบคุมขนาดแรงดันบัสให้มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ส่วนสมการที่ (4-8) เป็นการจำกัดกำลังรีแอกทีฟรวมทั้งหมดจากตัวเก็บประจุไม่ให้มีค่ามากเกินไปจนเกิดการชดเชยเกิน

ในปัจจุบัน อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ทั้งที่ใช้ในบ้านอยู่อาศัย สำนักงาน หรือโรงงานอุตสาหกรรม จะมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronic Devices) ซึ่งมีเครื่องแปลงผัน (Converter) เป็นส่วนประกอบ เช่น บัลลาสอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ไฟฟ้าสำรอง (Uninterruptible Power Supply; UPS) ระบบขับเคลื่อนชนิดแปรความเร็ว (Variable-speed Drive) เครื่องแปลงผันชนิดมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulated Converters) เครื่องแปลงผันชนิดไซโคล (Cycloconverter) และเครื่องแปลงผันกำลังสูง (High Power Converters) อุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านี้จัดเป็นโหลดไม่เชิงเส้น (Nonlinear Loads) (Natarajan, 2002) ซึ่งการทำงานที่สถานะอยู่ตัว ค่าอิมพีแดนซ์จะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงคาบเวลาของรูปคลื่นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า โหลดไม่เชิงเส้นเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก (Harmonic Sources) ซึ่งจ่ายกระแสฮาร์มอนิก (Harmonic Currents) เข้าสู่ระบบ (วิบูลย์, 2549)

สำหรับระบบจำหน่ายซึ่งมีโหลดไม่เชิงเส้นต่ออยู่ การติดตั้งตัวเก็บประจุจำเป็นต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ เนื่องจากตำแหน่งติดตั้งและค่ากำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุซึ่งไม่เหมาะสมกับกระแสฮาร์มอนิกจากโหลดไม่เชิงเส้น สามารถทำให้ความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดัน (Total Harmonic Distortion of Voltage: THD_V) มีค่าสูง และส่งผลให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังอาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ในระบบทำงานผิดพลาด เกิดการชำรุด หรือ มีอายุการใช้งานสั้นลง (Kusko and Thompson, 2007) รวมทั้งทำให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าสูงจนสร้างความเสียหายต่อตัวเก็บประจุได้ เพื่อป้องกันปัญหาข้างต้น การติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายซึ่งมีโหลดไม่เชิงเส้น จึงต้องเพิ่มเงื่อนไขบังคับเกี่ยวกับค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดัน ดังนี้

$$THD_{V,i}^j \le THD_V^{\max} \tag{4-9}$$

เงื่อนไขบังคับตามสมการที่ (4-9) ช่วยป้องกันการเกิดเรโซแนนซ์ขนาน (Parallel Resonance) รวมทั้งป้องกันการขยาย (Amplification) และการแพร่กระจาย (Propagation) ของแรงดันฮาร์มอนิกและกระแสฮาร์มอนิก (Fuchs and Masoum, 2008) อย่างไรก็ตาม เงื่อนไขบังคับดังกล่าวกำหนดขึ้นเพื่อไม่ให้การติดตั้งตัวเก็บประจุก่อปัญหาเรื่องฮาร์มอนิกแก่ระบบ และไม่ให้แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกจากระบบสร้างความเสียหายแก่ตัวเก็บประจุ แต่ไม่ได้มีวัตถุประสงค์ให้ตัวเก็บประจุทำหน้าที่ควบคุมฮาร์มอนิกในระบบ

สำหรับเงื่อนไขบังคับเกี่ยวกับการติดตั้งจริงในทางปฏิบัติ ได้แก่

$$Qc_k^j \le Qc^{\max} \quad \text{where} \quad k \in \mathbf{NC} \tag{4-10}$$

$$k \notin \mathbf{NC}_\mathbf{T} \quad \text{where} \quad k \in \mathbf{NC} \tag{4-11}$$

สมการที่ (4-10) เป็นเงื่อนไขบังคับเพื่อควบคุมขนาดทางกายภาพของตัวเก็บประจุผ่านทางปริมาณกำลังรีแอกทีฟของตัวมัน เพราะโดยทั่วไป ขนาดทางกายภาพของตัวเก็บประจุจะแปรผันตรงกับปริมาณกำลังรีแอกทีฟที่สามารถจ่ายได้ ส่วนสมการที่ (4-11) เป็นเงื่อนไขบังคับที่กำหนดให้หมายเลขบัสซึ่งถูกเลือกขึ้นมาเพื่อติดตั้งตัวเก็บประจุต้องไม่เป็นสมาชิกของเซต $\mathbf{NC}_\mathbf{T}$ ซึ่งเป็นเซตของหมายเลขบัสที่ไม่อนุญาตให้ติดตั้งตัวเก็บประจุ

นอกจากเงื่อนไขบังคับข้างต้น ยังมีเงื่อนไขบังคับอื่นที่เกิดจากรูปแบบของปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุที่กำลังพิจารณา เช่น ถ้าเป็นปัญหา Type B และ Type C สมาชิกแต่ละตัวในเซต **NC** ต้องมีหมายเลขบัสไม่ซ้ำกัน

4.1.5 การแทนผลเฉลยของปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุด้วยอนุภาค

สิ่งสำคัญในการประยุกต์ใช้วิธีกลุ่มอนุภาคกับการแก้ปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุ คือ การแทนผลเฉลยของปัญหาด้วยอนุภาค สิ่งที่มีผลต่อการแทนผลเฉลยด้วยอนุภาค ได้แก่ จำนวนตัวแปรตัดสินใจและจำนวนระดับโหลดที่พิจารณา เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้แบ่งปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ Type A, Type B และ Type C ซึ่งปัญหาแต่ละรูปแบบมีจำนวนตัวแปรตัดสินใจที่ต่างกัน การแทนผลเฉลยของปัญหาด้วยอนุภาคจึงมีความแตกต่างกัน

สำหรับปัญหา Type A ตัวแปรตัดสินใจของปัญหา ได้แก่ ค่ากำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุที่แต่ละบัส ณ ระดับโหลดต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากหมายเลขบัสของสมาชิกในเซต **NC** สำหรับติดตั้งตัวเก็บประจุได้ถูกกำหนดไว้แล้ว ถ้าเซต **NC** มีจำนวนสมาชิกเท่ากับ NC อนุภาคแต่ละตัวจึงแทนผลเฉลยด้วยลักษณะดังนี้

$$\overline{x} = [\overline{Qc}_1 \quad \overline{Qc}_2 \quad \ldots \quad \overline{Qc}_t \quad \ldots \quad \overline{Qc}_{NC}] \tag{4-12}$$

$$\overline{Qc}_t = [Qc_t^1 \quad Qc_t^2 \quad \ldots \quad Qc_t^j \quad \ldots \quad Qc_t^S] \tag{4-13}$$

จำนวนมิติของอนุภาคแต่ละตัวสามารถคำนวณได้จาก

$$D = NC \times S \tag{4-14}$$

ในส่วนของปัญหา Type B ข้อมูลจากเซต **NC** คือ จำนวนสมาชิกภายในเซต (จำนวนบัสสำหรับติดตั้งตัวเก็บประจุ) ตัวแปรตัดสินใจของปัญหาจึงได้แก่ หมายเลขบัสที่จะติดตั้งตัวเก็บประจุและค่ากำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุที่บัสเหล่านั้น ณ ระดับโหลดต่างๆ ถ้าให้ NC คือ จำนวนสมาชิกของเซต **NC** อนุภาคแต่ละตัวจะแทนผลเฉลยด้วยลักษณะดังนี้

$$\overline{x} = [\overline{BC} \quad \overline{Qc}_1 \quad \overline{Qc}_2 \quad \ldots \quad \overline{Qc}_t \quad \ldots \quad \overline{Qc}_{NC}] \tag{4-15}$$

$$\overline{BC} = [BC_1 \quad BC_2 \quad \ldots \quad BC_t \quad \ldots \quad BC_{NC}] \tag{4-16}$$

$$\overline{Qc}_t = [Qc_t^1 \quad Qc_t^2 \quad \ldots \quad Qc_t^j \quad \ldots \quad Qc_t^S] \tag{4-17}$$

จำนวนมิติของอนุภาคแต่ละตัวสามารถคำนวณได้จาก

$$D = NC + (NC \times S) = NC \times (1 + S) \tag{4-18}$$

สำหรับปัญหา Type C เนื่องจากเซต **NC** ของปัญหา Type C ไม่ได้กำหนดเงื่อนไขใดๆ ในการติดตั้งตัวเก็บประจุ ตัวแปรตัดสินใจของปัญหาจึงประกอบด้วยจำนวนบัส หมายเลขบัส และค่ากำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุที่แต่ละบัส ณ ระดับโหลดต่างๆ วิทยานิพนธ์นี้ได้ประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีกลุ่มอนุภาคแบบทวิภาค เพื่อลดจำนวนตัวแปรตัดสินใจให้เหลือเพียงหมายเลขบัสและค่ากำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุ ถ้าระบบจำหน่ายที่พิจารณามีจำนวนบัสเท่ากับ NB การแทนผลเฉลยด้วยอนุภาคจะมีลักษณะดังนี้

$$\overline{x} = [\overline{Uc} \quad \overline{Qc}_1 \quad \overline{Qc}_2 \quad \ldots \quad \overline{Qc}_t \quad \ldots \quad \overline{Qc}_{NB}] \tag{4-19}$$

$$\overline{Uc} = [Uc_1 \quad Uc_2 \quad \ldots \quad Uc_k \quad \ldots \quad Uc_{NB}] \quad ; \quad Uc_k \in \{0,1\} \tag{4-20}$$

$$\overline{Qc}_k = [Qc_k^1 \quad Qc_k^2 \quad \ldots \quad Qc_k^j \quad \ldots \quad Qc_k^S] \tag{4-21}$$

Uc_k คือ ตัวแปรตัดสินใจซึ่งกำหนดสถานะการติดตั้งตัวเก็บประจุที่แต่ละบัส (0 = ไม่ติดตั้ง และ 1 = ติดตั้ง) จำนวนมิติของอนุภาคแต่ละตัวสามารถคำนวณได้จาก

$$D = NB + (NB \times S) = NB \times (1 + S) \tag{4-22}$$

4.1.6 ขั้นตอนการแก้ปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค

ขั้นตอนการปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค มีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: เตรียมข้อมูลเกี่ยวกับการคำนวณ อาทิ

1. ข้อมูลของระบบจำหน่ายที่พิจารณา เช่น ค่าฐานของกำลังไฟฟ้า (Base MVA) ค่าฐานของแรงดันไฟฟ้า (Base Voltage) ข้อมูลโหลด และข้อมูลสายป้อน

2. ข้อมูลของตัวแปรต่างๆ ในการคำนวณฟังก์ชันจุดประสงค์ เช่น ราคาต่อหน่วยของค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ราคาต่อหน่วยของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งตัวเก็บประจุ

3. ค่าขอบบนและค่าขอบล่างของเงื่อนไขบังคับทั้งหมด

4. พารามิเตอร์ของขั้นตอนวิธีกลุ่มอนุภาค เช่น จำนวนอนุภาคในกลุ่ม จำนวนรอบการคำนวณสูงสุด ค่าถ่วงน้ำหนักความเฉื่อย และค่าสัมประสิทธิ์ความเร่ง

5. ค่าของพจน์ลงโทษ กรณีผลเฉลยไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับ

ขั้นตอนที่ 2: กำหนดให้ $t = 0$ เมื่อ t คือ ตัวนับจำนวนรอบการคำนวณ (Iteration Index)

ขั้นตอนที่ 3: สุ่มสร้างตำแหน่งเริ่มต้นของอนุภาคทั้งหมดในกลุ่มและกำหนดความเร็วเริ่มต้นของอนุภาคทั้งหมดให้เท่ากับศูนย์

ขั้นตอนที่ 4: จากข้อมูลการติดตั้งตัวเก็บประจุที่ปรากฏในแต่ละอนุภาค ให้คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าและการไหลของกำลังไฟฟ้าเชิงฮาร์มอนิก เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย ขนาดแรงดันบัส และค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดัน รวมทั้งคำนวณค่าใช้จ่ายในการติดตั้งตัวเก็บประจุ

ขั้นตอนที่ 5: คำนวณค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ของอนุภาคทุกตัว โดยใช้ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 6: คำนวณพจน์ลงโทษของอนุภาคทุกตัวในกลุ่ม พจน์ลงโทษของอนุภาคใดๆ จะมีค่าเท่ากับศูนย์ เมื่อผลเฉลยของอนุภาคนั้นสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับ ถ้าผลเฉลยของอนุภาคใดไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับ พจน์ลงโทษของอนุภาคนั้นก็จะมีค่าตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 7: คำนวณค่าความเหมาะสมของอนุภาคแต่ละตัวจากผลรวมของค่าฟังก์ชันจุดประสงค์และพจน์ลงโทษของอนุภาคนั้น

ขั้นตอนที่ 8: กำหนดค่า $\mathbf{pbest}_i^t$ และค่า $\mathbf{Gbest}^t$ จากค่าความเหมาะสมของอนุภาคทั้งหมดในกลุ่ม

ขั้นตอนที่ 9: คำนวณความเร็วของแต่ละอนุภาค และปรับตำแหน่งของอนุภาคทั้งหมดในกลุ่มตามขั้นตอนวิธีกลุ่มอนุภาค

ขั้นตอนที่ 10: ตรวจสอบว่า $t = nt$ (จำนวนรอบสูงสุดของการคำนวณ) หรือไม่ ถ้าใช่ให้ทำขั้นตอนที่ 11 ต่อไป แต่ถ้าไม่ใช่ ให้กำหนด $t \rightarrow t+1$ และย้อนกลับไปทำขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 11: ระบุผลเฉลยเหมาะที่สุดของปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุจากค่า **Gbest** ในการคำนวณรอบสุดท้าย ผลเฉลยที่ต้องการประกอบด้วย หมายเลขบัสสำหรับการติดตั้ง ขนาดและชนิดของตัวเก็บประจุที่แต่ละบัส

การระบุขนาด (ค่ากำลังรีแอกทีฟ) และชนิด (ชนิดค่าคงที่หรือชนิดปรับค่าได้) ของตัวเก็บประจุที่แต่ละบัส ให้พิจารณาจากผลเฉลยในส่วนที่เป็นค่ากำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุที่แต่ละระดับโหลด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ขนาดตัวเก็บประจุ: ขนาดตัวเก็บประจุที่บัสใดๆ กำหนดจากค่าสูงสุดของกำลังรีแอกทีฟซึ่งตัวเก็บประจุที่บัสนั้นต้องจ่ายให้แก่ระบบ ณ ระดับโหลดใดระดับหนึ่ง

ชนิดตัวเก็บประจุ: ตัวเก็บประจุที่บัสใดๆ จะเป็นชนิดปรับค่าได้ ก็ต่อเมื่อค่ากำลังรีแอกทีฟซึ่งจ่ายให้แก่ระบบมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามระดับโหลด แต่ถ้าค่ากำลังรีแอกทีฟจากตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากันทุกระดับโหลด ตัวเก็บประจุที่บัสนั้นก็จะเป็นชนิดค่าคงที่

4.2 การประยุกต์ใช้วิธีกลุ่มอนุภาคกับปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟ

4.2.1 ปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟ

ปริมาณโหลดในระบบจำหน่ายมีการเปลี่ยนแปลงไปตามความต้องการใช้งานในแต่ละช่วงเวลาของวัน ปริมาณโหลดที่เปลี่ยนไปอาจทำให้เกิดปัญหาแรงดันต่ำเกิน (Undervoltage) หรือ

ปัญหาแรงดันเกิน (Overvoltage) ในระบบ ด้วยเหตุนี้ จึงจำเป็นต้องมีวิธีที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมแรงดัน วิธีหนึ่งซึ่งมีประสิทธิภาพและใช้อย่างแพร่หลายในการดำเนินการประจำวัน (Daily Operation) ของระบบจำหน่าย คือ การควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟ (Voltage/Reactive Power Control; Volt/VAr Control)

การควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟ หมายถึง การดำเนินการเพื่อคุมค่า (Regulate) แรงดันบัส และคุมค่ากำลังรีแอกทีฟหรือตัวประกอบกำลังที่สถานีไฟฟ้าย่อย (Baran and Hsu, 1999) โดยทั่วไป อุปกรณ์หลักที่ใช้สำหรับการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟ ได้แก่ ตัวเปลี่ยนจุดแยกขณะมีโหลด (Under Load Tap Changer; ULTC) ซึ่งติดตั้งอยู่กับหม้อแปลงหลักในสถานีไฟฟ้าย่อย ตัวเก็บประจุที่สถานีไฟฟ้าย่อย และตัวเก็บประจุในสายป้อน (Short, 2003) การควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟ คือ การกำหนดจุดทำงานของอุปกรณ์ทั้งสามให้เหมาะสม ซึ่งนอกจากจะเป็นการคุมค่าแรงดันและตัวประกอบกำลังของระบบแล้ว ยังช่วยลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียและพลังงานไฟฟ้าสูญเสียของระบบอีกด้วย

ตัวเปลี่ยนจุดแยกหม้อแปลงจะเปลี่ยนตำแหน่งเพื่อปรับค่าแรงดันบัสทุติยภูมิก็ต่อเมื่อขนาดแรงดันบัสทุติยภูมิมีค่าอยู่นอกขอบเขตที่กำหนดไว้ เมื่อแรงดันบัสทุติยภูมิซึ่งเป็นแรงดันต้นทางของสายป้อนมีค่าเปลี่ยนไป ขนาดของแรงดันที่บัสอื่นๆ จึงเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ส่วนตัวเก็บประจุที่สถานีไฟฟ้าย่อยจะเปลี่ยนแปลงปริมาณการจ่ายกำลังรีแอกทีฟ เมื่อตัวประกอบกำลังของระบบมีค่าต่ำกว่าที่กำหนดไว้ (Lu and Hsu, 1997) ในขณะที่ตัวเก็บประจุในสายป้อนจะชดเชยกำลังรีแอกทีฟให้แก่ระบบตามปริมาณโหลดเพื่อควบคุมขนาดแรงดันบัสและลดกำลังสูญเสียรวมของระบบ จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสามต่างก็มีเงื่อนไขที่แตกต่างกันในการปรับสถานะการทำงานของตัวเอง และการเปลี่ยนสถานะการทำงานของอุปกรณ์ชนิดหนึ่งสามารถส่งผลต่อการเปลี่ยนสถานะการทำงานของอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งได้ ดังนั้น การประสานการทำงาน (Coordination) ระหว่างตัวเปลี่ยนจุดแยกหม้อแปลงและตัวเก็บประจุ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะหากไม่มีการประสานการทำงานระหว่างกัน ตัวเปลี่ยนจุดแยกหม้อแปลงและตัวเก็บประจุมีโอกาสทำงานบ่อยครั้งเกินไป จนทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษามีค่าเพิ่มขึ้นและอุปกรณ์มีอายุการใช้งานสั้นลง (Lu and Hsu, 1997; Liang and Cheng, 2001) จากที่กล่าวมาข้างต้น ปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟจึงเกี่ยวข้องกับการกำหนดสถานะการทำงานของตัวเปลี่ยนจุดแยกหม้อแปลงและตัวเก็บประจุ เพื่อให้ทำงานสัมพันธ์กันอย่างเหมาะสมและส่งผลต่อการปรับปรุงสมรรถนะของระบบ

4.2.2 ตัวแปรตัดสินใจในปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟ

การหาค่าเหมาะที่สุดสำหรับการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟ คือ การกำหนดตารางการทำงานเหมาะที่สุดของตัวเปลี่ยนจุดแยกหม้อแปลงที่สถานีไฟฟ้าย่อย ตัวเก็บประจุที่สถานีไฟฟ้าย่อย

และตัวเก็บประจุในสายป้อน ตัวแปรตัดสินใจจึงประกอบด้วยสถานะการทำงานของอุปกรณ์ทั้งสามที่ระดับโหลดต่างๆ

4.2.3 ฟังก์ชันจุดประสงค์ของปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟ

โดยทั่วไป ฟังก์ชันจุดประสงค์ที่พบในปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟเกี่ยวข้องกับการลดกำลังสูญเสียของระบบ หรือการควบคุมค่าแรงดันบัสทุติยภูมิของสถานีไฟฟ้าย่อย ตัวอย่างฟังก์ชันจุดประสงค์ในปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟ ได้แก่

$$Min\ F = \sum_{j=1}^{S} T^j P_L^j \tag{4-23}$$

$$Min\ F = \sum_{j=1}^{S} k_e^j T^j P_L^j \tag{4-24}$$

$$Min\ F = \sum_{j=1}^{S} \left| V_{\text{sec}}^{sch,j} - V_{\text{sec}}^{act,j} \right| \tag{4-25}$$

การกำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์ตามสมการที่ (4-23) และสมการที่ (4-24) พิจารณาเรื่องการลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ โดยสมการที่ (4-23) ต้องการให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมจากทุกระดับโหลดมีค่าต่ำสุด ในขณะที่สมการที่ (4-24) ต้องการให้มูลค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียจากทุกระดับโหลดมีค่าต่ำสุด ส่วนฟังก์ชันจุดประสงค์ในสมการที่ (4-25) ต้องการให้ค่าแรงดันบัสทุติยภูมิที่ระดับโหลดต่างๆ เบี่ยงเบนออกจากค่าที่กำหนดไว้ให้น้อยที่สุด

4.2.4 เงื่อนไขบังคับของปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟ

เงื่อนไขบังคับในปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ เงื่อนไขบังคับสำหรับการทำงานของระบบ และเงื่อนไขบังคับเกี่ยวกับจำนวนครั้งในการเปลี่ยนสถานะ (หรือการเปลี่ยนตำแหน่ง) ของตัวเปลี่ยนจุดแยกหม้อแปลงและตัวเก็บประจุ เงื่อนไขบังคับสำหรับการทำงานของระบบ ประกอบด้วยสมการสมดุลกำลังไฟฟ้า การควบคุมขนาดแรงดันบัสและค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดัน รวมทั้งค่าตัวประกอบกำลังของระบบ

$$P_i^j = \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^{NB} \left| V_i^j V_n^j Y_{in} \right| \cos(\theta_{in} + \theta_n^j - \theta_i^j) \tag{4-26}$$

$$Q_i^j = -\sum_{\substack{n=1 \\ n\neq i}}^{NB} \left| V_i^j V_n^j Y_{in} \right| \sin(\theta_{in} + \theta_n^j - \theta_i^j) \tag{4-27}$$

$$V^{\min} \leq \left| V_i^j \right| \leq V^{\max} \tag{4-28}$$

$$THD_{V,i}^j \leq THD_V^{\max} \tag{4-29}$$

$$pf_{sys}^{\min} \leq pf_{sys}^j \leq pf_{sys}^{\max} \tag{4-30}$$

เงื่อนไขบังคับสำหรับจำนวนครั้งในการเปลี่ยนสถานะการทำงานของอุปกรณ์ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$N_{tap} = \sum_{j=1}^{S} \left| Tap^j - Tap^{j-1} \right| \leq N_{tap}^{\max} \tag{4-31}$$

$$N_{CS,m} = \sum_{j=1}^{S} \left| CS_m^j - CS_m^{j-1} \right| \leq N_{CS}^{\max} \tag{4-32}$$

$$N_{CF,n} = \sum_{j=1}^{S} \left| CF_n^j - CF_n^{j-1} \right| \leq N_{CF}^{\max} \tag{4-33}$$

$$Tap^{\min} \leq Tap^j \leq Tap^{\max} \tag{4-34}$$

$$0 \leq CS_m^j \leq CS_m^{\max} \tag{4-35}$$

$$0 \leq CF_n^j \leq CF_n^{\max} \tag{4-36}$$

เงื่อนไขบังคับในสมการที่ (4-31) เป็นเงื่อนไขบังคับสำหรับจำกัดจำนวนครั้งในการเปลี่ยนตำแหน่งของตัวเปลี่ยนจุดแยกหม้อแปลง เงื่อนไขบังคับในสมการที่ (4-32) และสมการที่ (4-33)

เป็นการจำกัดจำนวนครั้งการสับเข้าและปลดออกของตัวเก็บประจุที่สถานีไฟฟ้าย่อยและตัวเก็บประจุในสายป้อน ส่วนเงื่อนไขบังคับในสมการที่ (4-34) ถึงสมการที่ (4-36) นั้น เป็นการกำหนดขอบเขตสถานะการทำงานของอุปกรณ์ทั้งสาม

4.2.5 การแทนผลเฉลยของปัญหาควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟด้วยอนุภาค

สิ่งสำคัญในการประยุกต์ใช้วิธีกลุ่มอนุภาคกับปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟ คือ การแทนผลเฉลยของปัญหาด้วยอนุภาค ตัวแปรตัดสินใจของปัญหาประกอบด้วย ตำแหน่งปรับตั้งตัวเปลี่ยนจุดแยกหม้อแปลง สถานะการทำงานของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่สถานีไฟฟ้าย่อย และสถานะการทำงานของตัวเก็บประจุทั้งหมดในสายป้อน ถ้ากำหนดให้วงจรสายป้อนรับกำลังไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้าสถานีย่อยเพียงเครื่องเดียว ตัวเปลี่ยนจุดแยกหม้อแปลงซึ่งทำหน้าที่ควบคุมแรงดัน ณ บัสต้นทางของสายป้อนก็จะมีเพียงชุดเดียว อนุภาคแต่ละตัวที่ใช้แทนผลเฉลยของปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟจึงมีลักษณะดังนี้

$$\bar{x} = [\overline{Tap} \quad \overline{CS} \quad \overline{CF}] \tag{4-37}$$

$$\overline{Tap} = [Tap^1 \quad Tap^2 \quad \ldots \quad Tap^j \quad \ldots \quad Tap^S] \tag{4-38}$$

$$\overline{CS} = [\overline{CS}_1 \quad \overline{CS}_2 \quad \ldots \quad \overline{CS}_m \quad \ldots \quad \overline{CS}_{ncs}] \tag{4-39}$$

$$\overline{CS}_m = [CS_m^1 \quad CS_m^2 \quad \ldots \quad CS_m^j \quad \ldots \quad CS_m^S] \tag{4-40}$$

$$\overline{CF} = [\overline{CF}_1 \quad \overline{CF}_2 \quad \ldots \quad \overline{CF}_n \quad \ldots \quad \overline{CF}_{ncf}] \tag{4-41}$$

$$\overline{CF}_n = [CF_n^1 \quad CF_n^2 \quad \ldots \quad CF_n^j \quad \ldots \quad CF_n^S] \tag{4-42}$$

จำนวนมิติของอนุภาคซึ่งใช้แทนผลเฉลยในปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟสามารถคำนวณได้จาก

$$D = (1 + n_{CF} + n_{CS}) \times S \tag{4-43}$$

4.2.6 ขั้นตอนการแก้ปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค

การใช้วิธีกลุ่มอนุภาคเพื่อแก้ปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟมีขั้นตอนคล้ายกับการแก้ปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุ แต่สำหรับปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟ ผลเฉลยจำนวนมากในปริภูมิการค้นหาจะไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับที่กำหนดจำนวนครั้งในการเปลี่ยนสถานะการทำงานของตัวเปลี่ยนจุดแยกหม้อแปลงและตัวเก็บประจุ (Hu et al., 2003) ด้วยเหตุนี้ จึงควรตรวจสอบอนุภาคทั้งหมดก่อนว่า มีอนุภาคใดบ้างที่สอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับซึ่งกำหนดจำนวนครั้งในการเปลี่ยนสถานะการทำงาน เมื่อตรวจสอบแล้ว จึงคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าเฉพาะอนุภาคตัวที่สอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับเหล่านี้เท่านั้น การทำเช่นนี้ช่วยลดเวลาในการคำนวณได้อย่างมาก การใช้ขั้นตอนวิธีกลุ่มอนุภาคเพื่อแก้ปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: เตรียมข้อมูลเกี่ยวกับการคำนวณ เช่น

1. ข้อมูลของระบบจำหน่ายที่พิจารณา เช่น ค่าฐานของกำลังไฟฟ้า ค่าฐานของแรงดันไฟฟ้า ข้อมูลโหลด และข้อมูลสายป้อน

2. ข้อมูลของตัวแปรต่างๆ ในการคำนวณฟังก์ชันจุดประสงค์ เช่น ราคาต่อหน่วยของค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย และราคาต่อหน่วยของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

3. ค่าขอบบนและค่าขอบล่างของเงื่อนไขบังคับทั้งหมด

4. พารามิเตอร์ของขั้นตอนวิธีกลุ่มอนุภาค เช่น จำนวนอนุภาคในกลุ่ม จำนวนรอบการคำนวณสูงสุด ค่าถ่วงน้ำหนักความเฉื่อย และค่าสัมประสิทธิ์ความเร่ง

5. ค่าของพจน์ลงโทษ กรณีผลเฉลยไม่สอดคล้องกับตามเงื่อนไขบังคับ

ขั้นตอนที่ 2: กำหนดให้ $t=0$ เมื่อ t คือ ตัวนับจำนวนรอบการคำนวณ

ขั้นตอนที่ 3: สุ่มสร้างตำแหน่งเริ่มต้นของอนุภาคทั้งหมดในกลุ่มและกำหนดความเร็วเริ่มต้นของอนุภาคทั้งหมดให้เท่ากับศูนย์

ขั้นตอนที่ 4: ตรวจสอบอนุภาคทั้งหมดในกลุ่มว่ามีอนุภาคใดบ้างที่สอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับซึ่งกำหนดจำนวนครั้งในการเปลี่ยนสถานะการทำงานของตัวเปลี่ยนจุดแยกหม้อแปลง รวมทั้งตัวเก็บประจุที่สถานีไฟฟ้าย่อย และตัวเก็บประจุในสายป้อน

ขั้นตอนที่ 5: ให้พิจารณาเฉพาะอนุภาคที่สอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับจำนวนครั้งการทำงานของตัวเปลี่ยนจุดแยกหม้อแปลงและตัวเก็บประจุ โดยนำข้อมูลสถานะการทำงานซึ่งปรากฏอยู่ในแต่ละอนุภาค ไปคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าและการไหลของกำลังไฟฟ้าเชิงฮาร์มอนิก เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย ขนาดแรงดันบัส และค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดัน

ขั้นตอนที่ 6: คำนวณค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ของอนุภาคทุกตัว โดยใช้ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 5

ขั้นตอนที่ 7: คำนวณพจน์ลงโทษของอนุภาคทุกตัวในกลุ่ม พจน์ลงโทษของอนุภาคใดๆ จะมีค่าเท่ากับศูนย์ เมื่อผลเฉลยของอนุภาคนั้นสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับ ถ้าผลเฉลยของอนุภาคใดไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับ พจน์ลงโทษของอนุภาคนั้นก็จะมีค่าตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 8: คำนวณค่าความเหมาะสมของอนุภาคแต่ละตัวจากผลรวมของค่าฟังก์ชันจุดประสงค์และพจน์ลงโทษของอนุภาคนั้น

ขั้นตอนที่ 9: กำหนดค่า $\mathbf{pbest}_i^t$ และค่า $\mathbf{Gbest}^t$ จากค่าความเหมาะสมของอนุภาคในกลุ่ม

ขั้นตอนที่ 10: คำนวณความเร็วของแต่ละอนุภาค และปรับตำแหน่งของอนุภาคทั้งหมดในกลุ่มตามขั้นตอนวิธีกลุ่มอนุภาค

ขั้นตอนที่ 11: ตรวจสอบว่า $t = nt$ (จำนวนรอบสูงสุดของการคำนวณ) หรือไม่ ถ้าใช่ให้ทำขั้นตอนที่ 12 ต่อไป แต่ถ้าไม่ใช่ ให้กำหนด $t \rightarrow t+1$ และย้อนกลับไปทำขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 12: ระบุผลเฉลยเหมาะที่สุดของปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟจากค่า **Gbest** ที่ได้ในการคำนวณรอบสุดท้าย โดยผลเฉลยที่ได้จะแสดงข้อมูลตำแหน่งปรับตั้งตัวเปลี่ยนจุดแยกหม้อแปลงที่แต่ละระดับโหลด รวมทั้งค่ากำลังรีแอกทีฟซึ่งตัวเก็บประจุที่สถานีไฟฟ้าย่อยและตัวเก็บประจุในสายป้อนต้องจ่ายให้แก่ระบบที่ระดับโหลดต่างๆ

4.3 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้วิธีกลุ่มอนุภาคเพื่อแก้ปัญหาการจัดการกำลังรีแอกทีฟ

วิธีกลุ่มอนุภาคได้ถูกนำมาใช้แก้ปัญหาการจัดการกำลังรีแอกทีฟทั้งปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุและปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟ ตัวอย่างการศึกษาซึ่งใช้วิธีกลุ่มอนุภาคกับปัญหาทั้งสองมีรายละเอียดซึ่งสรุปได้ดังนี้

Yoshida et al. (2000) ได้ใช้วิธีกลุ่มอนุภาคเพื่อกำหนดตารางการทำงานเหมาะที่สุดสำหรับการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟในระบบส่งขนาด 14 บัส ขนาด 112 บัส และขนาด 1,217 บัส โดยต้องการให้กำลังสูญเสียของระบบมีค่าน้อยที่สุด เงื่อนไขบังคับที่พิจารณาได้แก่ สมการสมดุลกำลังไฟฟ้า ขนาดแรงดันบัส ความมั่นคงของแรงดัน (Voltage Security) และสถานะการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ สำหรับพารามิเตอร์ของวิธีกลุ่มอนุภาค จำนวนอนุภาคในกลุ่มจะแตกต่างกันตามขนาดของระบบ แต่จำนวนรอบการคำนวณสูงสุดจะกำหนดให้เท่ากันโดยไม่ขึ้นกับขนาดของระบบ ในระบบส่งขนาด 14 บัส กลุ่มอนุภาคประกอบด้วย 10 อนุภาค ส่วนระบบส่งขนาด 112 บัส และขนาด 1,217 บัส กลุ่มอนุภาคประกอบด้วย 30 อนุภาค ในขณะที่จำนวนรอบการคำนวณสูงสุด

ได้กำหนดไว้ที่ 100 รอบ การคำนวณความเร็วอนุภาคจะใช้ค่าถ่วงน้ำหนักความเฉื่อยซึ่งมีค่าลดลงอย่างเชิงเส้นจาก 0.9 ในการคำนวณรอบแรกจนเหลือ 0.4 ในการคำนวณรอบสุดท้าย ส่วน c_1 และ c_2 มีค่าเท่ากับ 2.0 การศึกษานี้ได้เปรียบเทียบการใช้วิธีกลุ่มอนุภาคและวิธีค้นหาแบบตาบูในการค้นหาผลเฉลย ซึ่งพบว่า วิธีกลุ่มอนุภาคสามารถค้นหาผลเฉลยได้เร็วกว่าวิธีค้นหาแบบตาบู และผลเฉลยที่ได้ยังให้ค่ากำลังสูญเสียของระบบที่ต่ำกว่า

Mantawy and Al-Ghamdi (2003) ได้ใช้วิธีกลุ่มอนุภาคเพื่อกำหนดตารางการทำงานเหมาะที่สุดสำหรับการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟในระบบส่งขนาด 6 บัส โดยมีฟังก์ชันจุดประสงค์คือ การทำให้กำลังสูญเสียของระบบมีค่าน้อยที่สุด ส่วนเงื่อนไขบังคับ ได้แก่ สมการสมดุลกำลังไฟฟ้า ขนาดแรงดันบัส และสถานะการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ ในรายงานของการศึกษาครั้งนี้ ไม่ได้ให้ข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ ของวิธีกลุ่มอนุภาค (ได้แก่ จำนวนอนุภาคในกลุ่ม จำนวนรอบการคำนวณสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์ความเร่ง c_1 และ c_2 รวมทั้งค่าถ่วงน้ำหนักความเฉื่อย) การศึกษานี้ได้เปรียบเทียบผลเฉลยที่ได้จากวิธีกลุ่มอนุภาคกับวิธีอื่นๆ เช่น วิธีการกำหนดไม่เชิงเส้นและขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งพบว่า ผลเฉลยของวิธีกลุ่มอนุภาคให้ค่ากำลังสูญเสียของระบบที่ต่ำกว่า

Zhang and Liu (2004) ได้ใช้วิธีกลุ่มอนุภาคเพื่อกำหนดตารางการทำงานเหมาะที่สุดสำหรับการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟในระบบส่งขนาด 151 บัส โดยฟังก์ชันจุดประสงค์คือการทำให้กำลังสูญเสียของระบบมีค่าน้อยที่สุด ส่วนเงื่อนไขบังคับ ได้แก่ สมการสมดุลกำลังไฟฟ้า ขนาดแรงดันบัส และสถานะการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ การศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาผลของการเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเร่ง (c_1 และ c_2) และจำนวนอนุภาคในกลุ่มที่มีต่อความสามารถในการหาผลเฉลยของวิธีกลุ่มอนุภาค โดยกำหนดจำนวนรอบการคำนวณสูงสุดไว้ที่ 100 รอบ และใช้ค่าถ่วงน้ำหนักความเฉื่อยซึ่งมีค่าลดลงอย่างเชิงเส้นจาก 0.9 ในการคำนวณรอบแรกจนเหลือ 0.4 ในการคำนวณรอบสุดท้าย ผลที่ได้จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เมื่อกำหนดให้อนุภาคในกลุ่มมีจำนวนเพิ่มขึ้น ผลเฉลยที่ได้จะยิ่งทำให้ค่ากำลังสูญเสียของระบบมีค่าลดลง แต่ต้องใช้เวลาในการคำนวณที่นานขึ้น และเมื่อกำหนดให้ c_1 และ c_2 มีค่าเท่ากับ 2.0 วิธีกลุ่มอนุภาคจะให้ผลเฉลยซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียน้อยที่สุด

Yu, Xiong and Wu (2004) ได้ใช้วิธีกลุ่มอนุภาคเพื่อหาผลเฉลยของปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลขนาด 10 บัส ซึ่งมีโหลดไม่เชิงเส้นต่ออยู่ในระบบ ผลเฉลยที่ได้ต้องระบุตำแหน่งติดตั้งและขนาดของตัวเก็บประจุ โดยมีฟังก์ชันจุดประสงค์ คือ ต้องการให้ผลรวมของค่าใช้จ่ายต่อไปนี้มีค่าน้อยที่สุด ได้แก่ มูลค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ค่าใช้จ่ายของการผลิตกำลังไฟฟ้าเพื่อรองรับกำลังไฟฟ้าสูญเสียในช่วงโหลดสูงสุด และเงินลงทุนสำหรับติดตั้งตัวเก็บ

ประจุ เงื่อนไขบังคับได้แก่ สมการสมดุลกำลังไฟฟ้า ขนาดแรงดันบัส ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดัน การศึกษานี้ได้กำหนดจำนวนอนุภาคในกลุ่มไว้ 50 อนุภาค จำนวนรอบการคำนวณสูงสุดเท่ากับ 150 รอบ และใช้ค่าสัมประสิทธิ์การบีบตัวสำหรับปรับค่าความเร็วของอนุภาค การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ผลเฉลยจากวิธีกลุ่มอนุภาคสามารถให้ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ได้ตามที่ต้องการ โดยผลเฉลยดังกล่าวยังสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับต่างๆ ที่กำหนด

Khalil, Youssef and Abdel Aziz (2007) ได้ใช้วิธีกลุ่มอนุภาคแบบทวิภาคเพื่อหาแนวทางการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลขนาด 9 บัส และขนาด 34 บัส การศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดหมายเลขบัสสำหรับติดตั้งตัวเก็บประจุไว้แล้ว ผลเฉลยที่ได้จึงเพียงแค่ระบุขนาดที่เหมาะสมของตัวเก็บประจุซึ่งจะติดตั้ง ณ บัสเหล่านั้น สำหรับฟังก์ชันจุดประสงค์และเงื่อนไขบังคับต่างๆ จะมีรายละเอียดเช่นเดียวกับการศึกษาของ Yu, Xiong and Wu (2004) แต่ในรายงานของการศึกษาไม่ได้ให้ข้อมูลพารามิเตอร์ของวิธีกลุ่มอนุภาค ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสามารถของวิธีกลุ่มอนุภาคแบบทวิภาคในการหาขนาดที่เหมาะสมของตัวเก็บประจุ

Prakash and Sydulu (2007) ได้ใช้วิธีกลุ่มอนุภาคเพื่อหาผลเฉลยของปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลขนาด 10 บัส ขนาด 15 บัส ขนาด 34 บัส ขนาด 69 บัส และขนาด 85 บัส การติดตั้งตัวเก็บประจุต้องทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบมีค่าน้อยที่สุด โดยมีเงื่อนไขบังคับได้แก่ สมการสมดุลกำลังไฟฟ้าและขนาดแรงดันบัส การศึกษานี้กำหนดตำแหน่งติดตั้งตัวเก็บประจุจากสัมประสิทธิ์ความไวค่ากำลังสูญเสีย (Loss Sensitivity Coefficient) ซึ่งเป็นดัชนีที่บอกว่าการติดตั้งตัวเก็บประจุที่บัสหมายเลขใดจะส่งผลต่อการลดค่ากำลังสูญเสียของระบบได้มากที่สุด จากนั้น จึงใช้วิธีกลุ่มอนุภาคเพื่อหาขนาดของตัวเก็บประจุซึ่งจะติดตั้ง ณ บัสเหล่านั้น ในรายงานของการศึกษานี้ไม่ได้ให้ข้อมูลจำนวนอนุภาคและจำนวนรอบการคำนวณสูงสุดของวิธีกลุ่มอนุภาค แต่ระบุว่าได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การบีบตัวเพื่อปรับค่าความเร็วของอนุภาค ผลการศึกษาที่ได้แสดงให้เห็นว่า การติดตั้งตัวเก็บประจุตามตำแหน่งและขนาดที่ได้จากสัมประสิทธิ์ความไวและวิธีกลุ่มอนุภาคทำให้กำลังสูญเสียของระบบมีค่าลดลง โดยขนาดแรงดันบัสจะมีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ในเงื่อนไขบังคับ