บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ระบบไฟฟ้ากำลัง (Electrical Power System) ประกอบด้วยระบบหลัก 3 ส่วน คือ ระบบผลิต (Generation System) ระบบส่ง (Transmission System) และระบบจำหน่าย (Distribution System) ระบบที่สำคัญและส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้ามากที่สุด คือ ระบบจำหน่าย เพราะเป็นระบบช่วงสุดท้ายซึ่งรับกำลังไฟฟ้าจากระบบส่งและจ่ายต่อไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านสายป้อนปฐมภูมิ (Primary Feeder) และสายป้อนทุติยภูมิ (Secondary Feeder) (ชำนาญ, 2548) ระบบจำหน่ายประกอบด้วยบัส (Buses) และจุดโหลด (Load Points) จำนวนมาก โดยปัญหาสำคัญที่ต้องพิจารณา ณ สภาวะการทำงานปรกติของระบบจำหน่าย ได้แก่ กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power Loss) และแรงดันตก (Voltage Drop) ณ จุดโหลด

โหลดทางไฟฟ้า (Electrical Loads) เกือบทั้งหมดที่ใช้งานโดยทั่วไป เป็นโหลดประเภทความต้านทาน (Resistance) และความเหนี่ยวนำ (Inductance) ซึ่งต้องการทั้งกำลังจริง (Real Power) และกำลังรีแอกทีฟ (Reactive Power) จากระบบเพื่อให้สามารถทำงานได้ กำลังจริงจะถูกเปลี่ยนให้เกิดเป็นงานจริง เช่น ความร้อน แสงสว่าง หรือแรงขับเคลื่อน เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ส่วนกำลังรีแอกทีฟเป็นกำลังที่ไม่ทำให้เกิดงาน แต่โหลดจำเป็นต้องใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้สามารถทำงานได้

การติดตั้งแหล่งกำเนิดกำลังรีแอกทีฟอื่นเพิ่มเติมในระบบจำหน่ายเป็นแนวทางหนึ่งของการจัดการกำลังรีแอกทีฟที่สามารถแก้ปัญหาเรื่องกำลังสูญเสียและแรงดันตกในระบบจำหน่าย เมื่อโหลดได้รับกำลังรีแอกทีฟจากแหล่งอื่นๆ จะทำให้กำลังรีแอกทีฟรวมซึ่งระบบต้องจ่ายไปยังโหลดต่างๆ มีค่าน้อยลง ปริมาณกระแสที่ไหลในสายป้อนจึงมีค่าลดลง ซึ่งส่งผลสองประการ คือ ทำให้แรงดันที่จุดโหลดมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากแรงดันตกในสายป้อนมีค่าลดลง และทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบมีค่าน้อยลง

อุปกรณ์ที่สามารถทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดกำลังรีแอกทีฟในระบบจำหน่าย ได้แก่ เครื่องจักรกลซิงโครนัส (Synchronous Machine) และตัวเก็บประจุ (Capacitor) แต่ตัวเก็บประจุเป็นทางเลือกที่นิยมมากกว่า เนื่องจากต้นทุนค่าติดตั้งและค่าบำรุงรักษามีราคาถูก อีกทั้งกำลังสูญเสียใน

ตัวเองยังมีค่าน้อย วิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นไปที่การใช้ตัวเก็บประจุเป็นแหล่งกำเนิดกำลังรีแอกทีฟในระบบจำหน่าย

ตัวเก็บประจุในระบบจำหน่าย แบ่งตามตำแหน่งการติดตั้งได้เป็น 2 ประเภท คือ ตัวเก็บประจุที่สถานีไฟฟ้าย่อย (Substation Capacitor) และตัวเก็บประจุในสายป้อน (Feeder Capacitor) ตัวเก็บประจุที่สถานีไฟฟ้าย่อยจะติดตั้งอยู่กับบัสทุติยภูมิ (Secondary Bus) สำหรับควบคุมกำลังรีแอกทีฟของหม้อแปลงสถานีไฟฟ้าย่อย (Substation Transformer) เพื่อทำให้ตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ของระบบมีค่าสูง ส่วนตัวเก็บประจุในสายป้อนจะติดตั้งขนาน (Parallel) กับสายป้อนที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อชดเชยกำลังรีแอกทีฟให้แก่โหลดในระบบ (Liang and Cheng, 2001)

ตัวเก็บประจุที่สถานีไฟฟ้าย่อยและตัวเก็บประจุในสายป้อน แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดค่าคงที่ (Fixed Type) และชนิดปรับค่าได้ (Switched Type) การติดตั้งตัวเก็บประจุชนิดค่าคงที่ไม่สามารถควบคุมการจ่ายกำลังรีแอกทีฟได้ โดยกำลังรีแอกทีฟจำนวนหนึ่งจากตัวเก็บประจุจะถูกจ่ายเข้าสู่ระบบตลอดเวลา ส่วนการติดตั้งตัวเก็บประจุชนิดปรับค่าได้ จะควบคุมการจ่ายกำลังรีแอกทีฟด้วยการเพิ่มหรือลดจำนวนตัวเก็บประจุที่ต่อกับระบบ การลงทุนติดตั้งตัวเก็บประจุชนิดปรับค่าได้จึงมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการติดตั้งตัวเก็บประจุชนิดค่าคงที่ เนื่องจากต้องติดตั้งกลไกการควบคุมเพิ่มเติมเพื่อสับเข้าและปลดออกตัวเก็บประจุ

ประเด็นที่ต้องพิจารณาเมื่อใช้ตัวเก็บประจุเป็นแหล่งกำเนิดกำลังรีแอกทีฟในระบบจำหน่าย คือ ข้อจำกัดของการส่งกำลังรีแอกทีฟ ถึงแม้โหลดจะมีความต้องการกำลังรีแอกทีฟในปริมาณมาก แต่ถ้าตัวเก็บประจุจ่ายกำลังรีแอกทีฟในปริมาณที่มากเกินไป ก็จะทำให้กำลังสูญเสียและขนาดแรงดันบัสมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การติดตั้งตัวเก็บประจุในตำแหน่งซึ่งอยู่ห่างจากโหลดที่มีความต้องการกำลังรีแอกทีฟ ก็อาจทำให้เกิดปัญหาเช่นกัน เพราะการส่งกำลังรีแอกทีฟปริมาณมากเป็นระยะทางไกลๆ ทำให้แรงดัน ณ จุดปลายทางมีค่าลดลงจนอาจน้อยกว่าค่าแรงดันต่ำสุดที่ยอมรับได้ อีกทั้งยังทำให้กำลังสูญเสียรวมของระบบมีค่าเพิ่มขึ้น (Kundur, 1993) การกำหนดตำแหน่งและค่ากำลังรีแอกทีฟที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งตัวเก็บประจุจึงมีความสำคัญอย่างมาก

ความต้องการโหลดซึ่งลดลงหรือเพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลาของวัน ก็ส่งผลต่อการทำงานของตัวเก็บประจุด้วยเช่นกัน เมื่อโหลดมีค่าลดลงโดยที่กำลังรีแอกทีฟจากตัวเก็บประจุยังคงมีค่าเท่าเดิม ก็อาจทำให้เกิดปัญหาแรงดันเกิน (Overvoltage) เนื่องจากการชดเชยมากเกินไป (Over Compensation) ในทางกลับกัน ถ้าโหลดมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณกำลังรีแอกทีฟจากตัวเก็บประจุก็อาจไม่เพียงพอต่อการปรับปรุงขนาดแรงดันและลดกำลังสูญเสียรวมของระบบ การควบคุมปริมาณกำลังรีแอกทีฟจากตัวเก็บประจุให้เหมาะสมกับความต้องการโหลดจึงมีความจำเป็นเช่นกัน

นอกจากพิจารณาข้อจำกัดในการส่งกำลังรีแอกทีฟและการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโหลด การทำงานของตัวเก็บประจุยังต้องคำนึงถึงการประสานการทำงาน (Coordination) ให้สัมพันธ์กับอุปกรณ์อื่นในระบบ เช่น ตัวเปลี่ยนจุดแยก (Tap Changer) ของหม้อแปลงไฟฟ้าในสถานีไฟฟ้าย่อย แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว (Distribution Generations; DGs) เพราะอุปกรณ์เหล่านี้ต่างก็มีผลกระทบต่อขนาดแรงดันบัสและกำลังสูญเสียของระบบ

จากที่กล่าวมาข้างต้น การจัดการกำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุที่ติดตั้งในระบบจำหน่ายจึงต้องดำเนินการให้เหมาะสม เพื่อให้การปรับปรุงสมรรถนะของระบบเกิดประโยชน์มากที่สุด การจัดการกำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุในระบบจำหน่าย แบ่งเป็นปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุ (Capacitor Placement Problem) และปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟ (Volt/VAr Control Problem) ปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุเป็นการวางแผน (Planning) เพื่อกำหนดแนวทางการติดตั้งตัวเก็บประจุให้เหมาะสม ทั้งในแง่ของตำแหน่ง (Locations) ขนาด (Sizes) และชนิด (Type) ของตัวเก็บประจุ ส่วนปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟเกี่ยวข้องกับการดำเนินงาน (Operation) เพื่อกำหนดจุดทำงานของตัวเปลี่ยนจุดแยกหม้อแปลง ตัวเก็บประจุที่สถานีไฟฟ้าย่อย และตัวเก็บประจุในสายป้อนให้เหมาะสมกับปริมาณโหลดในแต่ละช่วงเวลา และให้สอดคล้องกับสถานะการทำงานของอุปกรณ์อื่นๆ

ปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุและปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟ เป็นปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงการจัด (Combinatorial Optimization Problem) ซึ่งมีลักษณะเฉพาะ เช่น ตัวแปรไม่รู้ค่า (Unknown Variables) มีทั้งตัวแปรต่อเนื่อง (Continuous Variables) และตัวแปรไม่ต่อเนื่อง (Discrete Variables) สมการในการคำนวณมีความไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinearity) และไม่สามารถหาอนุพันธ์ได้ (Non-differentiable) ปริภูมิการค้นหา (Search Space) จะยิ่งกว้าง ถ้าระบบที่พิจารณามีบัสจำนวนมาก ลักษณะเฉพาะเหล่านี้ทำให้ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดทั่วไป (Conventional Optimization Algorithm) ขาดประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยเหมาะที่สุด (Optimal Solution) ด้วยเหตุนี้ จึงจำเป็นต้องเลือกวิธีการหาผลเฉลยที่มีประสิทธิภาพเพื่อแก้ปัญหาทั้งสอง

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization; PSO) (ต่อไปจะเรียกอย่างย่อว่า "วิธีกลุ่มอนุภาค") มาใช้แก้ปัญหาการจัดการกำลังรีแอกทีฟ วิธีกลุ่มอนุภาคสามารถหาผลเฉลยของปัญหาที่มีความซับซ้อนได้อย่างน่าพอใจ และมีข้อดี คือ ขั้นตอนการคำนวณไม่ยุ่งยาก มีความรวดเร็วในการค้นหาผลเฉลย รวมทั้งมีเสถียรภาพของการลู่เข้าสู่ผลเฉลย ปัจจุบัน วิธีกลุ่มอนุภาคได้รับความนิยมและถูกนำมาใช้แก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดต่างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลังมากขึ้น (del Valle et al., 2008) วิธีกลุ่มอนุภาคได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีซึ่งมี

ประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Algorithms) และวิธีศึกษาสำนึก (Heuristic Methods) อื่นๆ (Park et al., 2005)

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการวางแผนและการดำเนินงานสำหรับการจัดการกำลังรีแอกทีฟในระบบจำหน่าย โดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาคในการหาผลเฉลยเหมาะที่สุด เพื่อให้การจัดการกำลังรีแอกทีฟบรรลุวัตถุประสงค์ที่ต้องการและสอดคล้องกับข้อจำกัดหรือเงื่อนไขบังคับต่างๆ ที่กำหนดไว้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อประยุกต์และปรับปรุงการใช้วิธีกลุ่มอนุภาคในการหาผลเฉลยของปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุ และปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟ

1.2.2 เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการวางแผนติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบจำหน่าย

1.2.3 เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟในระบบจำหน่าย

1.2.4 เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีประสานการทำงานระหว่างตัวเก็บประจุและอุปกรณ์อื่นๆ สำหรับการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟในระบบจำหน่าย

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตการวิเคราะห์และการแก้ปัญหาการจัดการกำลังรีแอกทีฟในระบบจำหน่ายในวิทยานิพนธ์นี้ ประกอบด้วย

1.3.1 แบบจำลองระบบจำหน่ายที่พิจารณาเป็นแบบเรเดียล (Radial)

1.3.2 พิจารณาทั้งระบบสามเฟสสมดุล (Balanced) และไม่สมดุล (Unbalanced)

1.3.3 พิจารณาทั้งโหลดเชิงเส้น (Linear Load) และโหลดไม่เชิงเส้น (Nonlinear Load)

1.3.4 เลือกใช้แบบจำลองโหลดชนิดค่ากำลังคงที่ (Constant Power)

1.3.5 พิจารณาเฉพาะการทำงานในสถานะคงตัว (Steady State)

1.3.6 ไม่คิดผลของการเกิดเรโซแนนซ์ (Resonance)

1.4 วิธีการวิจัย

1.4.1 ศึกษาปัญหาการจัดการกำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุที่ติดตั้งในระบบจำหน่ายจากเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมา

1.4.2 ศึกษาวิธีการคำนวณต่างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น วิธีคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow Calculation) วิธีคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าเชิงฮาร์มอนิก (Harmonic Power Flow Calculation) และอื่นๆ

1.4.3 สร้างแบบจำลองและสมการคณิตศาสตร์ของปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดสำหรับการติดตั้งตัวเก็บประจุและการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟในระบบจำหน่าย

1.4.4 ศึกษารายละเอียดของวิธีกลุ่มอนุภาค

1.4.5 ประยุกต์และปรับปรุงการใช้วิธีกลุ่มอนุภาค เพื่อหาผลเฉลยของปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดสำหรับการติดตั้งตัวเก็บประจุและปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟ

1.4.6 พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการคำนวณตามข้อ 1.4.5

1.4.7 ทดสอบการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับแบบจำลองระบบจำหน่าย

1.4.8 วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

1.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย

1.5.1 เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา Intel Pentium M Processor 1.60 GHz RAM 1.00 GB

1.5.2 โปรแกรม MATLAB

1.6 ประโยชน์ของการวิจัย

1.6.1 ได้แนวทาง ข้อมูล รายละเอียด และข้อสังเกตเกี่ยวกับการวางแผนและการดำเนินงานสำหรับการจัดการกำลังรีแอกทีฟในระบบจำหน่าย

1.6.2 ได้เครื่องมือสำหรับการหาผลเฉลยเหมาะที่สุด เพื่อใช้ในการวางแผนและการดำเนินงานสำหรับการจัดการกำลังรีแอกทีฟในระบบจำหน่าย

1.6.3 ได้แนวทางสำหรับการนำวิธีกลุ่มอนุภาคไปประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดอื่นๆในระบบไฟฟ้ากำลัง

1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

รายละเอียดโดยสังเขปของเนื้อหาในบทต่างๆ ของวิทยานิพนธ์มีดังต่อไปนี้

บทที่ 1: นำเสนอที่มาและความสำคัญของปัญหา กล่าวถึงวัตถุประสงค์และขอบเขตในการวิจัย ขั้นตอนวิธีวิจัย รวมถึงประโยชน์ที่ได้รับ

บทที่ 2: อธิบายรูปแบบปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดในเชิงคณิตศาสตร์และกล่าวถึงวิธีการหาผลเฉลยของปัญหาการจัดการกำลังรีแอกทีฟ

บทที่ 3: กล่าวถึงหลักการพื้นฐานของวิธีกลุ่มอนุภาค

บทที่ 4: อธิบายการประยุกต์ใช้วิธีกลุ่มอนุภาคกับปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุและปัญหาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟ

บทที่ 5: กล่าวถึงวิธีคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าและวิธีคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าเชิงฮาร์มอนิกทั้งแบบเฟสเดียวและแบบสามเฟส

บทที่ 6: นำเสนอขั้นตอนวิธีกลุ่มอนุภาคเชิงปรับตัวเพื่อใช้แก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดของการจัดการกำลังรีแอกทีฟ

บทที่ 7: นำเสนอกรณีศึกษาการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายสมดุลและไม่สมดุล

บทที่ 8: นำเสนอกรณีศึกษาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟในระบบจำหน่ายแบบจุดประสงค์เดียว (Single Objective) และแบบหลายจุดประสงค์เชิงฟัซซี (Fuzzy Multiobjective)

บทที่ 9: นำเสนอกรณีศึกษาการควบคุมแรงดัน/กำลังรีแอกทีฟในระบบจำหน่ายที่ติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

บทที่ 10: นำเสนอกรณีศึกษาการวางแผนกำลังรีแอกทีฟในระบบส่งด้วยอุปกรณ์ระบบส่งกำลังไฟฟ้าแบบยืดหยุ่น (FACTS Devices) สองชนิด ได้แก่ ตัวชดเชยวาร์แบบสถิต (Static VAr Compensator; SVC) และตัวเก็บประจุอนุกรมควบคุมด้วยไทริสเตอร์ (Thyristor Controlled Series Capacitors; TCSC)

บทที่ 11: สรุปผลงานวิจัย