บทที่ 1

บทนำ

1.1 ประวัติความเป็นมาและแนวเหตุผล

ในปัจจุบัน ระบบจำหน่ายไฟฟ้าส่วนใหญ่ประสบปัญหาด้านความสูญเสียทางกำลังไฟฟ้าค่อนข้างสูง และการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้ได้ตามที่ต้องการตลอดสายป้อน ทั้งนี้เนื่องจากมีความเจริญเติบโตทางด้านผู้ใช้ไฟฟ้ามากขึ้น จึงทำให้การไฟฟ้าจำเป็นที่จะต้องมีการเพิ่มขนาดสายป้อนให้ยาวขึ้นเป็นเหตุให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสายตามระยะทางมากขึ้น แต่อย่างไรก็ดีอุปกรณ์ตัวหนึ่งซึ่งสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้ก็คือ การต่อตัวเก็บประจุขนานเข้ากับระบบไฟฟ้า ซึ่งนอกจากจะสามารถเพิ่มระดับของแรงดันไฟฟ้าของระบบแล้ว ยังสามารถลดกำลังงานสูญเสียของทั้งระบบด้วย นับได้ว่าเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ รวมถึงความมีเสถียรภาพในแง่ของการมีคุณภาพพลังงานไฟฟ้าที่ดี อย่างไรก็ตามการติดตั้งตัวเก็บประจุต่อขนานบนสายป้อนแบบเรเดียลของระบบจำหน่ายมีปัญหาหลักๆ อยู่ 2 ประการคือ การเลือกตำแหน่งและขนาดของตัวเก็บประจุที่จะทำการติดตั้ง ทั้งนี้เพื่อลดค่ากำลังงานสูญเสียของทั้งระบบและสามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด โดยคำนึงถึงเงินลงทุนให้มีค่าต่ำสุด

ปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุต่อขนาน นับเป็นปัญหาสำคัญและได้รับการศึกษาค้นคว้าจากนักวิจัยมาหลายปี การแก้ปัญหาในสมัยก่อนนักวิจัยมักตั้งข้อสมมติฐานที่แตกต่างกันเพื่อความเหมาะสมในการวิเคราะห์ หรือคิดค้นวิธีขึ้นเพื่อใช้แก้ปัญหาแบบเฉพาะอย่างไป จึงทำให้มีหลายๆ วิธีที่ไม่นิยมนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายเท่าที่ควร ซึ่งจะขอกล่าวถึงหลักการและแบบจำลอง รวมถึงข้อสมมติฐานที่ใช้ในการแก้ปัญหาในเรื่องการหาขนาดและตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมของตัวเก็บประจุต่อขนานของนักวิจัยที่ผ่านมาพอสังเขปดังนี้

ในการศึกษาของ Neagle และ Samson [1] ได้สมมติให้โหลดมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ (Uniform) ตลอดสายป้อน และพิจารณาเฉพาะมูลค่าที่ลดลงจากการลดลงของกำลังงานสูญเสียจริงสูงสุด (peak real power loss) เนื่องจากการติดตั้งตัวเก็บประจุต่อขนานแบบถาวร (Fixed Capacitor) โดยไม่นำราคาของตัวเก็บประจุเข้ามาพิจารณาด้วย

Cook [2] ยังคงสมมติให้โหลดมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ แต่มีการพิจารณาผลการลดลงของค่าพลังงานสูญเสีย (energy loss) ที่แปรเปลี่ยนตามเวลาของโหลด รวมถึงได้แสดงวิธีที่ถูกต้องในการคำนวณค่ากำลังงานสูญเสียที่ลดลง

Schmill [3] พัฒนาวิธีการจากงานวิจัยของ Cook ซึ่งได้สมการในการหาขนาดของตัวเก็บประจุต่อขนานแต่ละตัวที่ติดตั้งบนสายป้อนที่มีการกระจายของโหลดอย่างสม่ำเสมอ ผลคำตอบของขนาดที่เหมาะสมที่สุดสามารถหาได้จากกระบวนการทำซ้ำ (Iterative)

Chang [4] สมมติให้สายป้อนมีการกระจายของโหลดอย่างสม่ำเสมอและทำการรวมกับโหลดที่เกิดขึ้นเฉพาะแห่ง ใช้เกณฑ์ในการวิเคราะห์จากการลดลงของค่ากำลังงานและพลังงานสูญเสีย ผลคำตอบสามารถหาตำแหน่งติดตั้งของตัวเก็บประจุต่อขนานแบบถาวร โดยทำการกำหนดขนาดของตัวเก็บประจุต่อขนานที่จะติดตั้งก่อน

Duran [5] ใช้ dynamic programming ในการหาจำนวน ขนาด และตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมที่สุดของตัวเก็บประจุต่อขนานแบบถาวร บนสายป้อนที่มีการกระจายของโหลดแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete load) แต่ไม่นำราคาของตัวเก็บประจุเข้ามาพิจารณาด้วย และให้คิดว่าราคาของตัวเก็บประจุนั้นแปรผันตามขนาดของตัวเก็บประจุที่ติดตั้ง

Bae [6] สมมติให้โหลดกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดสายป้อนและมีค่าแรงดันคงที่ รวมถึงสมมติให้ตัวเก็บประจุมีขนาดเท่าๆ กัน ในขั้นแรกสามารถหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมได้สำหรับระดับโหลดที่กำหนดแบบถาวร (fixed load level) หลังจากนั้นสามารถหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมที่สุดในระดับโหลดอื่นๆ ได้จากผลคำตอบที่ระดับโหลดที่ถูกกำหนดแบบถาวร ทั้งนี้ไม่ได้นำเรื่องของเวลาที่เกิดขึ้นของโหลดในแต่ละระดับเข้ามาพิจารณาด้วย รวมถึงราคาของตัวเก็บประจุเช่นเดียวกัน

Grainger และ Lee [7] ได้ทำการวิจัยและค้นคว้าวิธีการซึ่งสามารถกำจัดข้อสมมติฐานที่ว่าโหลดและสายป้อนต้องมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ โดยการแปลงรูปแบบของสายป้อนจริงเป็นสายป้อนแบบสมมูล (Equivalent uniform feeder) จากขนาดที่แตกต่างกันของสายป้อน รวมทั้งยังพิจารณาถึงการกระจายที่ไม่ต่อเนื่องของรีแอกทีฟโหลดด้วยโดยค่าฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective function) ในการวิจัย คือการลดลงของกำลังงานและพลังงานสูญเสีย รวมถึงราคาลงทุนของตัวเก็บประจุต่อขนานให้มีค่าต่ำสุด ในการวิเคราะห์จะแบ่งปัญหาออกเป็น 2 ประการคือ การหาขนาดและตำแหน่งติดตั้ง ซึ่งการหาขนาดสามารถทำได้โดยการกำหนดจุดติดตั้งเสียก่อน หลังจากนั้นสามารถ

หาตำแหน่งติดตั้งได้จากขนาดของตัวเก็บประจุ ในการแก้ปัญหาทั้งสองประการได้ใช้หลักของ "Equal Area Criterion" แต่อย่างไรก็ดี ข้อเสียของวิธีการนี้ที่เห็นได้ชัดเจนคือ สามารถติดตั้งตัวเก็บประจุต่อขนานได้เพียงตัวเดียวในบัสหนึ่งๆ เท่านั้น รวมถึงระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใช้ในการวิเคราะห์ถูกกำหนดให้เป็นสายป้อนแบบเรเดียลที่มีแต่สายป้อนหลักเพียงอย่างเดียว

จากการวิจัยของนักวิจัยต่างๆ ข้างต้น สามารถสรุปปัญหาหรือข้อจำกัดที่ทำให้ผลงานวิจัยไม่ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเท่าที่ควร ดังนี้

1) มีการจำกัดการกระจายของรีแอกทีฟโหลด (Reactive Load) เป็นแบบที่มีการกระจายสม่ำเสมอ (Uniform) หรือเกิดจากการรวมกันของโหลดซึ่งมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอกับโหลดที่เกิดขึ้นเฉพาะแห่ง (Concentrated) ซึ่งการสมมติค่าโหลดที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบนี้ ส่งผลทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ออกมามีความผิดพลาดอยู่ค่อนข้างมาก
2) การวิเคราะห์ส่วนมากจะมีการกำหนดให้ขนาดของสายป้อนมีขนาดคงที่ตลอดทั้งวงจร
3) ในบางครั้งเป็นการวิเคราะห์แบบเฉพาะกรณี เช่น กรณีกำหนดให้มีการติดตั้งตัวเก็บประจุต่อขนานเพียงตัวเดียวหรือสองตัวเท่านั้น เป็นต้น
4) การเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันบนสายป้อนไม่ได้ถูกนำมาพิจารณาด้วย
5) ราคาของตัวเก็บประจุต่อขนานไม่ได้ถูกนำมาใช้เป็นตัวแปรในการตัดสินใจ

สำหรับปัญหาที่ทำการวิเคราะห์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการหาขนาดและตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมที่สุดของตัวเก็บประจุต่อขนานบนสายป้อนแบบเรเดียลของระบบจำหน่าย โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบเซ็นซิติวิตี้ (Sensitivity Analysis) เพื่อหาตำแหน่งของบัสที่ควรได้รับการติดตั้งก่อนตามลำดับค่าเซ็นซิติวิตี้แฟกเตอร์ (Sensitivity Factor) ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ได้พิจารณาถึงเงินลงทุนรวมซึ่งประกอบด้วยราคาของตัวเก็บประจุและราคากำลังงานสูญเสียในการติดตั้งให้มีค่าต่ำสุด โดยต้องคำนึงถึงเงื่อนไขของระดับแรงดันบนสายป้อนที่กำหนดด้วย วิธีการแก้ปัญหาในวิทยานิพนธ์นี้อยู่บนพื้นฐานของกระบวนการทำซ้ำโดยใช้การคำนวณโหลดโฟลว์ (Load Flow) เป็นหลัก โดยสมมติให้ระบบจำหน่ายอยู่ในภาวะสมดุล (Balance) ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณจะแสดงเป็นค่าต่อเฟสทั้งสิ้น

จากความเจริญก้าวหน้าทางภาคอุตสาหกรรมเมื่อไม่นานมานี้พบว่า ทางภาคอุตสาหกรรมต่างๆ ได้มีการนำเทคโนโลยีทางด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเพื่อมาประยุกต์ใช้ในงานควบคุมและการประหยัดพลังงานเพิ่มมากขึ้น ส่งผลกระทบทำให้สัญญาณของกระแสและแรงดันในระบบไม่เป็นสัญญาณไซนูซอยด์ ซึ่งเป็นที่มาของการเกิดกระแสฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า และในอนาคตคาดว่าการเพิ่มขึ้นของโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นจะทำให้เกิดปัญหาทางด้านคุณภาพพลังงานไฟฟ้า ทั้งนี้เนื่องจากมีกระแสฮาร์มอนิกไหลเข้าไปในระบบไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อ

ระบบไฟฟ้า และอาจมีผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ต่อใช้งานอยู่ในระบบเดียวกัน เช่น ทำให้อุปกรณ์ป้องกันทำงานผิดพลาดหรือไม่ทำงาน ทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายโหลดได้เต็มพิกัด หรือทำให้ชุดตัวเก็บประจุเสียหาย เป็นต้น ดังนั้นในส่วนที่สองของวิทยานิพนธ์จึงได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของฮาร์มอนิกที่มีต่อตัวเก็บประจุจากการใช้อุปกรณ์ประเภทไม่เป็นเชิงเส้นในบางตำแหน่งของระบบจำหน่าย โดยทำการเปรียบเทียบค่าพิกัดของตัวเก็บประจุที่คำนวณได้กับค่าที่กำหนดตามมาตรฐาน ANSI/IEEE 18-1992 และ IEC 60871-1 (1997-10) เพื่อประเมินความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้กับตัวเก็บประจุ

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1) วิเคราะห์หาขนาดและตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมของตัวเก็บประจุต่อขนานบนสายป้อนแบบเรเดียลของระบบจำหน่าย เพื่อลดค่ากำลังงานสูญเสียของทั้งระบบและรักษาระดับแรงดันในระบบให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด
2) ศึกษาถึงผลกระทบของฮาร์มอนิกที่มีต่อตัวเก็บประจุต่อขนาน จากการเปลี่ยนแปลงลักษณะของโหลดเป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้นในอนาคต

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1) ทำการหาขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งตัวเก็บประจุต่อขนานทั้งแบบถาวรและแบบสับเข้า-ปลดออกบนสายป้อนแบบเรเดียลของระบบจำหน่าย เพื่อลดค่ากำลังงานสูญเสียของทั้งระบบ และรักษาระดับแรงดันของระบบให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด
2) ทำการหาขนาดของแรงดันฮาร์มอนิกบนสายป้อนของระบบจำหน่ายไฟฟ้า จากการใช้โหลดประเภทไม่เป็นเชิงเส้น เพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่มีต่อตัวเก็บประจุต่อขนาน
3) พัฒนาแบบจำลองโดยเขียนบนไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์หาขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งตัวเก็บประจุต่อขนานบนสายป้อนของระบบจำหน่ายแบบเรเดียล
4) รูปแบบของโหลด (Load Pattern) ที่แต่ละบัสเหมือนกันตลอดเวลาในแต่ละระดับโหลดที่พิจารณา

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1) ศึกษาคุณสมบัติและหลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับตัวเก็บประจุต่อขนาน
2) ศึกษาแบบจำลองสายป้อนของระบบจำหน่ายแบบเรเดียล
3) ศึกษากระบวนการทำซ้ำ (Iteration Procedure) เพื่อใช้ในการหาขนาดและตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมของตัวเก็บประจุต่อขนาน
4) พัฒนาแบบจำลองเพื่อคำนวณหาขนาดและตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมของตัวเก็บประจุต่อขนาน
5) พัฒนาแบบจำลองเพื่อประเมินผลกระทบของกระแสฮาร์มอนิกที่มีต่อตัวเก็บประจุต่อขนาน
6) ทดสอบการทำงานของแบบจำลองและปรับปรุงแบบจำลอง
7) สรุปและประเมินผลการทำงาน
8) เขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถใช้แบบจำลองเพื่อทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมของตัวเก็บประจุต่อขนานในการติดตั้งบนสายป้อนของระบบจำหน่ายแบบเรเดียล รวมถึงการตรวจสอบความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้กับตัวเก็บประจุต่อขนาน จากการใช้โหลดบางประเภทที่ไม่เป็นเชิงเส้น

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์แต่ละบทมีดังนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักพื้นฐานเกี่ยวกับตัวเก็บประจุและการประยุกต์ใช้งานในระบบจำหน่าย

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการที่ใช้ในการหาคำตอบของขนาดและตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมของตัวเก็บประจุต่อขนานบนสายป้อนของระบบจำหน่ายแบบเรเดียล

บทที่ 4 กล่าวถึงวิธีการหาแรงดันฮาร์มอนิก เพื่อศึกษาผลกระทบที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อตัวเก็บประจุต่อขนานจากกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุต่อขนาน

บทที่ 5 เป็นการแสดงผลการคำนวณและตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยระบบจำลอง

บทที่ 6 เป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะ