บทที่ 1

บทนำทั่วไป

1.1 ความสำคัญของการศึกษาการวิเคราะห์ความผิดพร่อง

พลังงานไฟฟ้าได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ รวมถึงการพัฒนาประเทศโดยเฉพาะทางด้านการพัฒนาอุตสาหกรรมและนับวันก็จะยิ่งมีการขยายตัวในการใช้งานมากขึ้น แต่ในการใช้งาน อุปกรณ์อาจเกิดการทำงานที่ผิดไปจากปกติ โดยที่ไม่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ ซึ่งอาจจะเกิดจากการทำงานของอุปกรณ์เอง หรือเกิดจากความผิดพลาดของมนุษย์ โดยเหตุการณ์เหล่านี้อาจจะก่อให้เกิดอันตรายต่อทั้งชีวิตและทรัพย์สิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อระบบไฟฟ้ามีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมากขึ้นส่งผลให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลขณะเกิดความผิดพร่องมีค่าสูงทำให้เกิดความเสียหายมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรจะมีการศึกษาหาค่ากระแสผิดพร่อง และหาวิธีป้องกันอันตรายจากความผิดพร่องเพื่อที่จะทำให้ระบบกำลังไฟฟ้าทำงานอย่างมีประสิทธิภาพรวมทั้งลดความเสียหายต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นกับระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ในระบบกำลังไฟฟ้า ซึ่งระบบกำลังไฟฟ้าที่ดีจะต้องมีการออกแบบให้มีการป้องกันโดยอัตโนมัติ และจะต้องมีการคำนึงถึงหลักทางเศรษฐศาสตร์ด้วย

ในปัจจุบันการพัฒนาวิธีการศึกษาผลของความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในระบบกำลังไฟฟ้ามีความสำคัญมาก ความสามารถในการป้องกันผลของความเสียหายที่จะตามมาทำให้เราจำเป็นต้องทราบค่า แรงดัน และกระแสขณะเกิดความผิดพร่อง การวิเคราะห์ระบบกำลังไฟฟ้าโดยการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ประโยชน์เริ่มมีบทบาทกว้างขวางมากขึ้นโดยตลอด ซึ่งผลจากการคำนวณจะทำให้ได้ข้อมูลหลายด้านของระบบ เช่น ลักษณะการจ่ายพลังงาน และ การใช้พลังงานที่ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ (Generated energy flow and energy consumption) ทำให้งานการควบคุม การป้องกัน การออกแบบ และ การขยายระบบกำลังไฟฟ้ามีความเหมาะสมยิ่งขึ้น เมื่อเราทราบ และสามารถทำนายผลความผิดพร่องที่แต่ละตำแหน่งและองค์ประกอบในระบบ จะให้ผลประโยชน์โดยตรงต่องานทางด้านการออกแบบระบบป้องกันอย่างมีประสิทธิภาพ ประโยชน์ต่างๆ นี้ ได้แก่

1. การพิจารณาขนาดที่เหมาะสมของอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ เช่น รีเลย์ป้องกัน (Protective relays) สวิตช์ตัดตอนอัตโนมัติ (Circuit breakers) หม้อแปลงกระแส (Current transformer) หม้อแปลงแรงดัน (Voltage transformer)

2. การออกแบบระบบป้องกันเซื่อมโยงที่สัมพันธ์กัน (Coordination of protection) ซึ่งเกิดจากความผิดพร่องและกระทบกระเทือนไปยังตำแหน่งต่างๆในระบบเพื่อจะเพิ่มความเชื่อถือในการป้องกันให้แก่ระบบกำลังไฟฟ้ายิ่งขึ้น

1.2 การวิเคราะห์ความผิดพร่องโดยใช้ระบบพิกัดเฟส

การวิเคราะห์ความผิดพร่องของระบบหลายเฟสในอดีต จะใช้วิธีการแปลงจากระบบเฟสไปให้อยู่ในรูปขององค์ประกอบสมมาตร (Symmetrical components) ซึ่งเริ่มเกิดขึ้นประมาณปี 1912-1915 โดย Fortescue หลักการของวิธีนี้ คือ การแปลงจากระบบ 3 เฟสไปเป็น องค์ประกอบลำดับบวก (Positive sequence components) องค์ประกอบลำดับลบ (Negative sequence components) และองค์ประกอบลำดับศูนย์ (Zero sequence components) และ จำลองความผิดพร่องแบบต่างๆ ด้วยการนำวงจรลำดับ (Sequence networks) ต่างๆ ทั้ง 3 วงจรมาปรับเปลี่ยนและต่อเข้าด้วยกันโดยมีข้อสมมุติว่าระบบมีความสมดุลย์ก่อนเกิดความผิดพร่อง [1,2]

อย่างไรก็ตามระบบกำลังไฟฟ้าสมัยใหม่อาจจะมีความไม่สมดุลย์เนื่องมาจากสาเหตุหลายประการ เช่น โหลด 1 เฟสขนาดใหญ่ สายส่งที่ไม่วางสลับที่ (Untransposed transmission line) สายควบ (Bundle conductor) ฯลฯ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการคับปลิ้งระหว่างวงจรลำดับทั้ง 3 วงจร ดังนั้นการวิเคราะห์ความผิดพร่องในระบบไฟฟ้าที่มีความไม่สมดุลย์โดยการใช้วิธีองค์ประกอบสมมาตร จะเป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสมเนื่องจากการต่อกันของวงจรลำดับสำหรับความผิดพร่องทุกๆ แบบจะเป็นเรื่องที่ยุ่งยาก และวิธีการดังกล่าวนี้ยังไม่ได้คำนึงถึง การเลื่อนมุมเฟส (Phase shift) ของหม้อแปลงที่ต่อแบบเดลตา-สตาร์อีกด้วย

ดังได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้วว่า ในปัจจุบันเรามีคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงทำให้การจำลองอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น อีกทั้งยังมีความสามารถในการคำนวณเกี่ยวกับเมตริกซ์ได้ดีมาก ดังนั้นการใช้ระบบพิกัดเฟสในการวิเคราะห์ความผิดพร่องจะเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่า ซึ่งจะเป็นการแสดงความสัมพันธ์ของ แรงดันเฟส กระแสเฟส โดยใช้อิมพีแดนซ์เมตริกซ์ (Impedance matrix) หรือโดยใช้แอดมิตแตนซ์เมตริกซ์ (Admittance matrix)

Laughton จึงได้เสนอการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยวิธีวิเคราะห์ในระบบพิกัดเฟสที่ไม่ต้องมีการต่อกันของวงจรลำดับ และไม่ต้องมีการแปลงตัวแปร โดยใช้การจำลองอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบกำลังไฟฟ้าด้วย แบบจำลองเฟส จากนั้นจึงรวมแบบจำลองของอุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อสร้างโหนดแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์พื้นฐานแบบหลายเฟส (Base case polyphase nodal admittance matrix : BPNA) โดย Laughton ได้คิดวิธีการขึ้น 2 วิธีคือ [3,4]

1. วิธีการแปลงแหล่งจ่าย (Source transformation method)
2. วิธีแหล่งจ่ายกระจายตัว (Distributed source method)

แบบจำลองเชิงเฟสดังกล่าวสามารถจำลองความไม่สมดุลย์ตามธรรมชาติของระบบ รวมทั้งความไม่สมดุลย์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของระบบ เช่น การเกิดความผิดพร่องแบบต่างๆ ได้ นอกจากนี้การปลดสายส่ง การเพิ่มสายส่ง หรือ การเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ของสายส่งจะสามารถรวมเข้ากับแบบจำลองได้ง่าย โดยการปรับเปลี่ยนโทนดแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์พื้นฐานแบบหลายเฟส

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะศึกษาวิเคราะห์ความผิดพร่องทุกๆ แบบโดยใช้ระบบพิกัดเฟส โดยวิธีแหล่งจ่ายกระจายตัวทั้งในระบบที่มีความไม่สมดุลย์ตามธรรมชาติ (Inherently unbalanced power system) รวมทั้งในระบบที่สมดุลย์ (Balanced power system) เพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่ใช้วิธีองค์ประกอบสมมาตร

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษา และ วิเคราะห์ความผิดพร่องโดยใช้ระบบพิกัดเฟส (Phase coordinates)

1.3.2 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ความผิดพร่องแบบต่างๆ ทั้งแบบสมมาตร (Symmetrical fault) และไม่สมมาตร (Unsymmetrical fault) ทั้งในระบบที่มีความสมดุลย์ และ ระบบที่มีความไม่สมดุลย์ตามธรรมชาติ ก่อนเกิดความผิดพร่องขึ้นในระบบ

1.3.3 เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความผิดพร่องระหว่าง วิธี ที่ใช้ระบบพิกัดเฟสกับ วิธีการแบบดั้งเดิมที่ใช้องค์ประกอบสมมาตร

1.3.4 ออกแบบ และ พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ความผิดพร่อง

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาจากทฤษฎีโดยค้นคว้าจากหนังสือและวารสารต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1.4.2 ศึกษาการวิเคราะห์ความผิดพร่องโดยใช้ระบบพิกัดเฟส

1.4.3 ทำการออกแบบ และ พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความผิดพร่องโดยใช้ระบบพิกัดเฟส

1.4.4 ทำการทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE

1.4.5 วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากการวิจัย

1.4.6 เรียบเรียง ตรวจสอบ และจัดพิมพ์วิทยานิพนธ์ เพื่อนำเสนอต่อท่านคณะกรรมการ และดำเนินการจัดสอบ

1.5 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์

ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คือ การวิเคราะห์ความผิดพร่องโดยใช้ระบบพิกัดเฟสที่ใช้วิธีแหล่งจ่ายกระจายตัวโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้ข้อมูลของกระแสและแรงดันที่บัสต่างๆ ของระบบ ขณะที่เกิดความผิดพร่อง จากนั้นจะนำผลการวิเคราะห์ดังกล่าวเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีองค์ประกอบสมมาตร

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

1.6.1 เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ความผิดพร่องโดยใช้ระบบพิกัดเฟส

1.6.2 พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ความผิดพร่องแบบต่างๆ ทั้งแบบสมมาตร และ ไม่สมมาตร ในระบบที่มีความสมดุลย์ และ ระบบที่มีความไม่สมดุลย์ตามธรรมชาติก่อนที่จะเกิดความผิดพร่องขึ้นในระบบ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบระบบป้องกัน

1.6.3 เพื่อเป็นข้อมูลให้กับงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในแต่ละบทเป็นดังนี้

บทที่ 2 กล่าวถึง การวิเคราะห์ความผิดพร่องโดยใช้ระบบพิกัดเฟส ภายใต้สมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ และพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความผิดพร่อง โดยจะเริ่มต้นจากการกล่าวถึงประเภทของความผิดพร่อง สมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ความผิดพร่อง ศึกษาวงจรสมมูลย์และแบบจำลองขององค์ประกอบต่างๆ ในระบบกำลังไฟฟ้า ต่อจากนั้นจะนำแบบจำลองขององค์ประกอบต่างๆ มาสร้างโหนดแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์พื้นฐานแบบหลายเฟส และจะทำการวิเคราะห์ความผิดพร่องทุกๆ แบบ โดยใช้วิธีแหล่งจ่ายกระจายตัว

บทที่ 3 กล่าวถึง โปรแกรมการวิเคราะห์ความผิดพร่องโดยใช้ระบบพิกัดเฟส ทั้งการรับข้อมูลของระบบกำลังไฟฟ้า การแสดงข้อมูลของระบบกำลังไฟฟ้า ขั้นตอนการวิเคราะห์ความผิดพร่อง แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรม รวมทั้งความหมายของตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 4 กล่าวถึง ตัวอย่างและผลการวิเคราะห์ความผิดพร่องโดยใช้ระบบพิกัดเฟส ในระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE 3,6 และ 14 บัส โดยแสดงการวิเคราะห์ความผิดพร่องชนิดสามสายลงดินและชนิดหนึ่งสายลงดิน พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้กับวิธีองค์ประกอบสมมาตร รวมทั้งยังแสดงถึงการวิเคราะห์ความผิดพร่องชนิดหนึ่งสายลงดิน ชนิดสองสาย และชนิดสองสายลงดินบนเฟสอ้างอิงอื่นๆ และการวิเคราะห์ความผิดพร่องชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกัน นอกจากนี้ยังแสดงผลการวิเคราะห์ความ

ผิดพร่องในสภาวะต่างๆ ของระบบ และผลการวิเคราะห์ความผิดพร่องชนิดหนึ่งสายลงดินพร้อมกับการเปิดวงจรของสายส่ง

บทที่ 5 กล่าวถึง สรุปผลที่ได้จากการวิจัยและข้อเสนอแนะที่ควรทำการศึกษาต่อไป

ภาคผนวก ประกอบด้วย ภาคผนวก ก ภาคผนวก ข ภาคผนวก ค โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ภาคผนวก ก กล่าวถึง การแก้สมการพีชคณิตที่เป็นเชิงเส้นด้วยวิธีเกาส์อิลิมิเนชั่น

ภาคผนวก ข กล่าวถึง รายละเอียดของการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการวิเคราะห์ความผิดพร่อง

ภาคผนวก ค กล่าวถึง รายละเอียดผลการวิเคราะห์ความผิดพร่องของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีแนวความคิดที่จะดำเนินการวิเคราะห์ความผิดพร่องโดยใช้ระบบพิกัดเฟส โดยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์บนซอฟท์แวร์ที่มีชื่อว่า "BORLAND C++ Version 2.0" บนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์รุ่น "Pentium 120" และจะใช้โปรแกรมดังกล่าวทดสอบกับระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่าง เพื่อนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากวิธีองค์ประกอบสมมาตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ของสถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย