บทที่ 1

บทนำทั่วไป

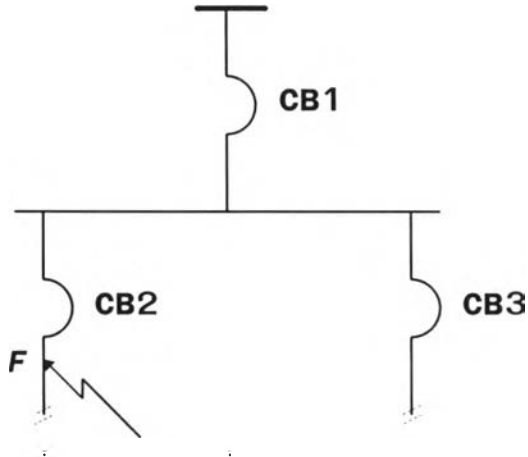
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน ไฟฟ้าได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์และการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และนับวันก็จะยิ่งมีการขยายตัวในการใช้งานมากขึ้น แต่ในการใช้งาน อุปกรณ์อาจเกิดการทำงานที่ผิดไปจากปกติ โดยที่ไม่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ ซึ่งอาจจะเกิดจากการทำงานของอุปกรณ์เอง หรือเกิดจากความผิดพลาดของมนุษย์ โดยเหตุการณ์เหล่านี้อาจจะก่อให้เกิดอันตรายต่อทั้งชีวิตและทรัพย์สิน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรจะมีการศึกษาและหาวิธีป้องกันอันตรายที่ไม่คาดหมายเหล่านี้เพื่อที่จะลดความเสียหายต่างๆ ที่จะเกิดขึ้น รวมทั้งลดขอบเขตและช่วงเวลาในการเกิดเหตุการณ์ที่ไม่คาดหมายเหล่านี้กับระบบไฟฟ้า ซึ่งระบบไฟฟ้าที่ดีจะต้องมีการออกแบบให้มีการป้องกันโดยอัตโนมัติ และจะต้องมีการคำนึงถึงหลักทางเศรษฐศาสตร์ด้วย

หน้าที่ที่สำคัญของระบบป้องกันทางไฟฟ้าก็คือ การป้องกันอันตรายไม่ให้เกิดกับชีวิตและทรัพย์สิน รวมถึงการลดความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับระบบและอุปกรณ์ต่างๆให้เกิดน้อยที่สุด นอกจากนั้น ก็ยังต้องคำนึงถึงความสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ด้วยว่า ทำอย่างไรจึงจะทำให้เกิดน้อยที่สุด ยกตัวอย่างโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น การผลิตเหล็กกล้า, ผลิตอาหาร หรืออุตสาหกรรมปิโตเลียม ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายในด้านเวลาสูญเสียปกติ (Downtime) อยู่แล้ว และถ้ามีการลดเวลาการทำงานของพนักงานในการผลิต (Man hours) หรือเสียเวลาในการหาจุดผิดพลาดที่เกิดในระบบเป็นเวลานาน นั่นก็คือเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น นอกจากนั้น ก็ยังจะมีผลเสียอีกมากมายที่เกิดเนื่องจากระบบไฟฟ้าที่มีปัญหาบ่อยๆ เช่น อาจต้องสูญเสียลูกค้าเพราะไม่สามารถจัดทำผลิตภัณฑ์ได้ทันกำหนดส่งมอบ และอาจเสียค่าวัสดุในกระบวนการผลิต ซึ่งจะกลายเป็นเศษที่ต้องทิ้งไป เนื่องจากกระบวนการผลิตไม่ต่อเนื่อง จากสิ่งที่กล่าวมาแล้วจะเห็นว่าทันทีที่ระบบไฟฟ้าได้ถูกออกแบบขึ้นมา โดยมีการกำหนดสภาพของโหลดและขั้นตอนการปฏิบัติงานเรียบร้อยแล้ว คำถามที่มักจะเกิดขึ้นก็คือ

- ลักษณะของอุปกรณ์ป้องกันที่ควรเลือกใช้เป็นอย่างไร
- การปรับค่าพิกัด (Setting) ของอุปกรณ์ป้องกันควรปรับเท่าไร

โดยคำตอบของคำถามเหล่านี้จะหาได้ไม่ยากเมื่อได้ทำการศึกษาถึงเรื่อง การป้องกันแบบประสานการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน (Coordinative protection) [5,7-11,13,19-20,25-27,29,31-33] ซึ่งหมายถึงการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่จะต้องมีการตัดวงจรก่อนที่จะเกิดอันตรายกับอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่อเกิดการลัดวงจร และจะไม่ทำงานเร็วเกินไปในบางกรณีที่อาจมีกระแสสูงขึ้นชั่วขณะซึ่งไม่ได้เป็นผลมาจากการลัดวงจร เช่น การสตาร์ทมอเตอร์ เป็นต้น นอกจากนั้นอุปกรณ์ที่จะเป็นตัวตัดวงจรในกรณีที่มีการลัดวงจร ก็จะต้องเป็นตัวที่อยู่ใกล้กับจุดลัดวงจรนั้นๆมากที่สุด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า Coordinative protection system เป็นระบบป้องกันไฟฟ้าที่ได้ทำการปรับค่าพิกัด (Setting) ของอุปกรณ์ป้องกันในระบบนั้นให้เหมาะสม โดยวิธีการคร่าวๆก็ทำได้โดยนำเอาลักษณะสมบัติระหว่างกระแสและเวลาของอุปกรณ์ป้องกันในระบบนั้นๆ มาวาดลงบนกระดาษสเกล Log-Log แล้วจึงทำการจัดลักษณะของอุปกรณ์ต่างๆเหล่านี้ให้เหมาะสม เพื่อให้เกิดการทำงานตามวัตถุประสงค์ของระบบประสานการทำงาน และเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจยิ่งขึ้น พิจารณาจากไดอะแกรมเส้นเดี่ยว (Single-line diagram) ของระบบไฟฟ้าหนึ่ง ดังรูปที่ 1.1



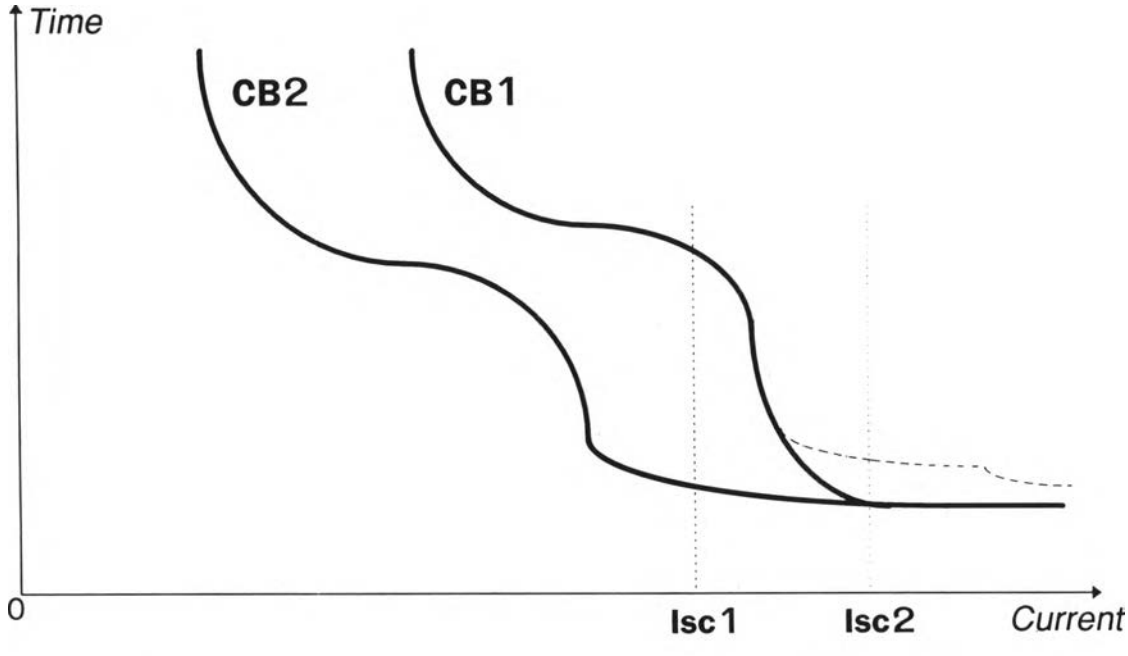
รูปที่ 1.1 ตัวอย่างที่ 1 ของระบบไฟฟ้าอย่างง่าย

จุดประสงค์ที่เราต้องการคือ เซอร์กิตเบรคเกอร์ CB2 จะทำการตัดวงจรในสายที่เกิดการลัดวงจรออกซึ่งจะทำให้ อุปกรณ์ในสาย CB2 เท่านั้นที่ไม่มีไฟใช้ แต่ถ้า CB1 ตัดก่อน CB2 ก็จะทำให้สาย CB3 ไม่มีไฟใช้ไปด้วย ดังนั้นเราจึงต้องมีการจัดลำดับก่อนและหลังในการตัดวงจร (Selectivity) [8-9,11,29] ให้เหมาะสม ซึ่งเราจะใช้วิธีออกแบบอุปกรณ์เหล่านี้ โดยพิจารณาจากเส้นโค้งลักษณะการทำงานระหว่างกระแสและเวลา (Time-current characteristic curve) [1,5-9,29,33] ของอุปกรณ์ป้องกัน

โดยจากตัวอย่างของระบบไฟฟ้าข้างต้นสามารถนำมาเขียนกลุ่มของเส้นโค้งแสดงลักษณะ

ของอุปกรณ์ในด้านของกระแสลัดวงจรเทียบกับเวลา (แสดงด้วยเส้นทึบ) ได้ดังรูปที่ 1.2

เส้นโค้งเหล่านี้จะบอกถึงค่าพิกัดของกระแสลัดวงจรของอุปกรณ์ป้องกัน (ในที่นี้คือเซอร์กิตเบรคเกอร์) ถ้ากระแสในวงจรยังมีค่าไม่เกินพิกัด คือยังอยู่ในพื้นที่ใต้เส้นโค้งของอุปกรณ์ป้องกันนั้นๆ ระบบไฟฟ้าก็จะยังดำเนินไปได้ตามปกติ แต่ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรขึ้น ดังในรูปแล้วสามารถคำนวณกระแสลัดวงจรได้ Isc1 ซึ่งเมื่อนำไปกำหนดจุดบนแกนกระแส แล้วก็จะเห็นว่าจะมีการจัดลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน นั่นคือ CB2 จะตัดก่อน CB1 แต่ถ้าการคำนวณกระแสลัดวงจรออกมาได้เป็น Isc2 ซึ่งมากกว่า Isc1 จะเห็นว่ามีความเป็นไปได้สูงที่ CB1 จะตัดก่อน CB2 ซึ่งเป็นสิ่งที่เราไม่ต้องการ และจะต้องมีการแก้ไขต่อไปโดยการเลือกค่าพิกัดของเซอร์กิตเบรคเกอร์ใหม่ ซึ่งอาจเป็นไปตามแนวเส้นประดังแสดงในรูปที่ 1.2



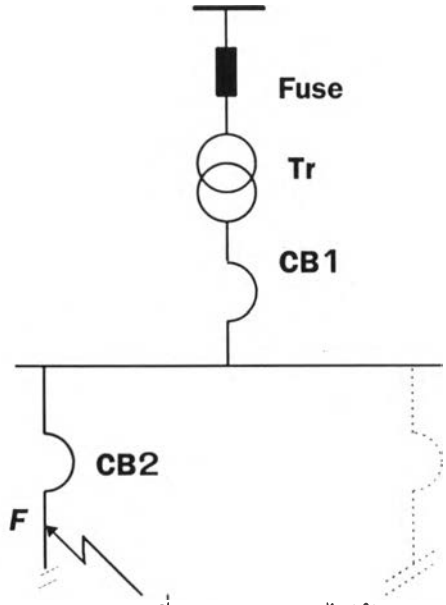
รูปที่ 1.2 ลักษณะสมบัติระหว่างกระแสและเวลาของอุปกรณ์ป้องกันในรูปที่ 1.1

นอกจากปัญหาระหว่างเซอร์กิตเบรคเกอร์แล้วก็ยังมีปัญหาที่เกี่ยวข้องระหว่างเซอร์กิตเบรคเกอร์กับฟิวส์ ดังตัวอย่างที่จะแสดงให้เห็นได้อย่างง่ายๆ ด้วยระบบไฟฟ้า ดังรูปที่ 1.3 โดยลักษณะพิกัดของฟิวส์จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ซึ่งจะเห็นว่าเส้นพิกัดของกระแสและเวลาในการตัดวงจรจะต้องอยู่ระหว่าง 2 จุด คือ

- Inrush point [5] ซึ่งเป็นจุดที่เริ่มมีการสับสวิตช์ไฟ ซึ่งโดยทั่วไป จะประมาณให้ I_{inrush} มีค่า 8 เท่าของ I_{ll} ดังนั้นฟิวส์ไม่ควรตัดวงจรเมื่อเกิดกระแสขนาดนี้ เพราะเกิดเพียงชั่วขณะ ตอนเริ่ม

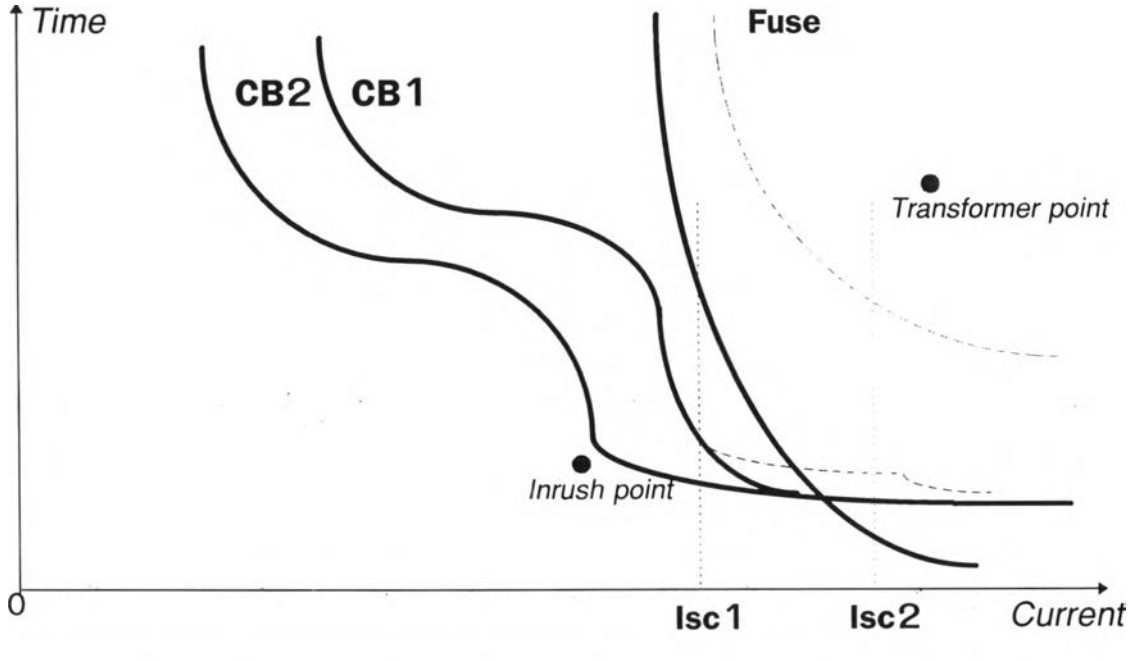
การทำงานเท่านั้น

- Transformer point (หรือ ANSI point) [5] คือ จุดที่หม้อแปลงจะทนกระแสได้ไม่เกินค่านี้ มิเช่นนั้นอาจทำให้หม้อแปลงเสียหายได้ ฟิวส์จึงต้องตัดวงจรเมื่อเกิดกระแสมากกว่าจุดนี้ขึ้น



รูปที่ 1.3 ตัวอย่างที่ 2 ของระบบไฟฟ้าอย่างง่าย

จากไดอะแกรมเส้นเดี่ยวของระบบที่กล่าวมา สามารถนำมาเขียนกลุ่มของเส้นโค้งลักษณะของอุปกรณ์ป้องกัน (แสดงด้วยเส้นทึบ) ดังต่อไปนี้



รูปที่ 1.4 ลักษณะสมบัติระหว่างกระแสและเวลาของอุปกรณ์ป้องกันในรูปที่ 1.3

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จะเห็นว่าถ้าเกิดการลัดวงจร ขึ้นที่ด้านแรงต่ำที่ตำแหน่งดังรูป แล้วเกิดกระแสลัดวงจร Isc1 เซอร์กิตเบรคเกอร์ CB2 จะทำการตัดวงจรออกก่อน CB1 และ ฟิวส์ ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการแต่ถ้าได้กระแสลัดวงจรที่มีขนาด Isc2 ซึ่งกรณีนี้จะทำให้เกิดปัญหาที่อุปกรณ์ป้องกันทางด้านแรงดันสูงของหม้อแปลง คือฟิวส์เกิดการตัดวงจรก่อน ซึ่งเราจะต้องทำการออกแบบตั้งค่าพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันใหม่เพื่อให้ระบบไฟฟ้านี้มี การจัดลำดับการตัดวงจรระหว่างฟิวส์กับเซอร์กิตเบรคเกอร์ CB1 และ CB2 นั่นคือจะให้ CB1 และ CB2 ทำการตัดวงจรก่อนฟิวส์ และในกรณีที่เกิดความผิดพร่อง (Fault) ที่ตำแหน่งดังรูป ก็ต้องให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ CB2 ตัดไฟก่อน CB1

จากปัญหาทั้ง 2 กรณีที่กล่าวมา จะเห็นว่าผู้ออกแบบสามารถทำการเลือกหรือตั้งพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันได้ เพื่อให้เกิดการจัดลำดับการตัดวงจรตามที่ต้องการ คือยกเส้นโค้งลักษณะของอุปกรณ์ป้องกันขึ้นหรือลงให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่ทำงานในระบบเดียวกัน ดังแสดงเป็นตัวอย่างคร่าวๆ ด้วยเส้นประ (ของเซอร์กิตเบรคเกอร์ CB1) โดยในตัวอย่างกรณีที่ 2 จะเห็นว่าเพื่อให้เกิดการประสานการทำงานกับอุปกรณ์ทั้งสาม เราจะต้องเลือกขนาดของฟิวส์ใหม่ด้วย ซึ่งหลังจากที่ทำการยกกลุ่มของเส้นโค้งเรียบร้อยแล้ว ระบบที่ได้จึงจะถือว่าสมบูรณ์

สภาพปัญหาและแนวทางแก้ไข

ในอดีตที่ผ่านมาการคำนวณและออกแบบตั้งค่าพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันในระบบประสานการทำงาน (Coordinative protection) เป็นงานที่ยุ่งยากซับซ้อนและเสียเวลามาก [18,31] โดยการใช้แผ่นใส ซึ่งแสดงกราฟระหว่างกระแสและเวลาของอุปกรณ์ป้องกันแต่ละตัว มาวางทาบกันเพื่อทำการปรับเปลี่ยนและตรวจสภาพ Selectivity ของอุปกรณ์ในระบบ อีกทั้งจากการที่ในปัจจุบันยังไม่มีโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ Coordinative protection ที่มีการคำนวณหากระแสผิดพร่องในวงจรไฟฟ้าแบบเรเดียลของระบบจ่ายไฟฟ้าภายในอาคารที่ใช้กันจริงในประเทศไทย ดังนั้นการพัฒนาโปรแกรมโดยอาศัยอัลกอริทึม (Algorithm) สำหรับคำนวณกระแสผิดพร่องจึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ซึ่งจะอำนวยประโยชน์ให้ผู้ใช้และนักศึกษาสามารถทราบค่ากระแสผิดพร่องที่ต้องใช้ในการออกแบบตั้งค่าพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ทำให้สามารถวิเคราะห์ Selectivity ของ Coordinative protection ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาโปรแกรมออกมากมาย แล้วแต่วัตถุประสงค์และขอบเขตของการทำงาน [10, 16-18,22,25-26,31-32]

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การทำงานของระบบ Coordinative protection ของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า

2. พัฒนาอัลกอริทึม (Algorithm) สำหรับคำนวณหาขนาดของกระแสลัดวงจรในระบบสายส่งไฟฟ้าแบบเรเดียลของการจ่ายไฟฟ้าภายในอาคารโดยใช้เทคนิคการจำลองระบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้เป็นวงจรอิมพีแดนซ์ [4,14-15]

3. สร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการออกแบบตั้งค่าพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้าให้มีการจัดลำดับการทำงาน (Selectivity) อย่างถูกต้อง

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

ขั้นตอนการทำงานได้แบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก คือ

- ศึกษาและทำความเข้าใจระบบป้องกันแบบประสานการทำงานของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าและเนื้อหาที่เกี่ยวข้องอย่างละเอียด

- พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบและตั้งค่าพิกัดอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าพร้อมทั้งสามารถคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรได้ด้วย โดยในแต่ละส่วนของการทำงานสามารถแสดงให้เห็นในรายละเอียดย่อยได้ ดังนี้

1) ส่วนที่ต้องศึกษาและทำความเข้าใจ

ต้องมีความเข้าใจเป็นอย่างดีในหัวเรื่องเกี่ยวกับ

- Single-line diagram of power system
- Calculation of maximum short circuit current at any particular point
- Maximum load current
- Characteristic time-current curve of all protective device
- Special overcurrent protective requirements : NEC, ANSI for protection of transformer, motor etc.
- Theory and concept of coordinative protection
- Criterior for designing the Coodinative protection

ในส่วนการศึกษารายละเอียดนี้ ได้ทำการค้นคว้าจากทั้งตำราและคู่มือของบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ป้องกันที่เชี่ยวชาญด้าน Coordinative protection โดยการศึกษานี้จะมุ่งเน้นถึงเนื้อหาที่ใช้

กับมาตรฐานทางไฟฟ้าในประเทศไทยเป็นหลัก นอกจากนั้นยังต้องศึกษาถึงการประยุกต์ใช้ของคำสั่งต่างๆในภาษา Visual Basic ด้วย [2-3,24]

ความมุ่งหวังจากการศึกษานี้คือ ความเข้าใจในทฤษฎี และหลักการของ Coordinative protection พร้อมทั้งสามารสรุปเป็นหลักเกณฑ์ที่จะนำไปพัฒนาโปรแกรมที่มีคุณภาพในทางวิศวกรรมต่อไป

2) ส่วนในการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์

จากวิธีการแก้ปัญหาในการจัดให้อุปกรณ์ป้องกันทุกตัวในระบบมีการจัดลำดับการตัดวงจร (Selectivity) ดังที่กล่าวมาแล้วนั้น จะเห็นว่าในการออกแบบระบบป้องกันไฟฟ้าขนาดใหญ่ด้วยวิธีเดิมแบบ Manual จะต้องใช้เวลามาก และยังอาจทำให้ได้ขนาดพิกัดของอุปกรณ์ที่ไม่ถูกต้องด้วย ดังนั้นจึงควรที่จะมีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบระบบไฟฟ้าบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

โครงสร้างของโปรแกรมแบ่งได้เป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ

- ส่วนที่ใช้สร้างไดอะแกรมเส้นเดี่ยว (Single-line diagram) ของระบบไฟฟ้า
- ส่วนคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรของระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบเรเดียลภายในอาคาร
- ส่วนวิเคราะห์และออกแบบระบบไฟฟ้าโดยใช้ เส้นโค้งลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน (Coordinative analysis)

โดยในแต่ละส่วนมีรายละเอียดพอสังเขป ดังนี้

2.1) Single-line diagram

รูปภาพสัญลักษณ์ต่างๆที่จำเป็นในระบบไฟฟ้าจะถูกจัดไว้ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถสร้างภาพจำลองของระบบที่จะวิเคราะห์ พร้อมทั้งมีส่วนที่ให้ลงรายละเอียดของอุปกรณ์ ซึ่งถูกจัดออกเป็น 3 ประเภท คือ อุปกรณ์หลัก, อุปกรณ์ตัดวงจร และอุปกรณ์เสริม ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการคำนวณหากระแสลัดวงจรในส่วนต่อไปด้วย นอกจากนั้นผู้ใช้โปรแกรมยังสามารถเปิด (Open) แฟ้มงานเก่าที่มีอยู่, เก็บบันทึก (Save) และพิมพ์ (Print) ออกทางเครื่องพิมพ์ได้ด้วย

2.2) Fault-current calculation

ด้วยเครื่องมือพิเศษที่ถูกออกแบบมาที่ชื่อ Complex Calculator ผู้ใช้สามารถนำมาช่วยในการคำนวณหากระแสลัดวงจร ณ.จุดผิดพร่องที่ถูกกำหนดบนไดอะแกรมในส่วนแรกได้ ซึ่งค่ากระแสที่คำนวณได้นี้จะถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์สภาพการจัดลำดับการตัดวงจรของอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้าในส่วนสุดท้าย

2.3) Coordinative analysis

วัตถุประสงค์ของโปรแกรมส่วนนี้คือ ทำการวิเคราะห์และออกแบบระบบไฟฟ้าที่ได้เขียนไว้ในส่วนของการสร้างไดอะแกรมเส้นเดี่ยว โดยเริ่มจากการสร้างกราฟลักษณะของอุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งได้แก่ ฟิวส์, เซอร์กิตเบรคเกอร์ รวมทั้งมอเตอร์ เก็บบันทึกไว้ในส่วนฐานข้อมูล (Database) ของโปรแกรม จากนั้นจึงดึง (Retrieve) ข้อมูลเหล่านี้ออกมาวิเคราะห์เพื่อหาสภาพการจัดลำดับในการตัดวงจรของอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้า [31] ซึ่งผู้ใช้สามารถเลื่อนและปรับกราฟได้ตามความเหมาะสม โดยในขั้นตอนการออกแบบนี้ โปรแกรมจะจัดให้มีข้อความย้ำเตือนถึงข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้เมื่อผู้ใช้กดปุ่ม Analysis ซึ่งส่วนที่สามนี้จะมีคำสั่งพื้นฐานเช่นเดียวกับส่วนแรกในการเปิดแฟ้มงาน เก็บบันทึกงาน และพิมพ์งาน

โปรแกรมนี้จะถูกพัฒนาด้วยภาษา Visual Basic เวอร์ชั่น 3.0 ซึ่งในแต่ละส่วนของโปรแกรมจะยึดรูปแบบมาตรฐานของโปรแกรมประยุกต์บน Windows เป็นเกณฑ์ และจะมีการออกแบบส่วนแสดงผลที่จะปรากฏให้เห็นบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ให้มีรูปแบบที่น่าสนใจและแปลกใหม่ ซึ่งเป็นคุณสมบัติพิเศษของการใช้ภาษา Visual Basic

ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. คำนวณหากระแสผิดพร่องเฉพาะในระบบสายส่งไฟฟ้าแบบเรเดียลของการจ่ายไฟฟ้าภายในอาคาร

2. สร้างโปรแกรมในการวิเคราะห์ Coordinative protection ของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำและแรงดันปานกลาง

3. อุปกรณ์ป้องกันที่ถูกใช้ในการวิเคราะห์ คือ ฟิวส์ และเซอร์กิตเบรคเกอร์ โดยใช้ป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบ เช่น หม้อแปลง, มอเตอร์, แผงจ่ายไฟ (Load panel) เป็นต้น

4. พิกัดต่างๆ ของอุปกรณ์ป้องกันจะเป็นไปตามมาตรฐานที่ใช้ในประเทศไทย

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในแต่ละบทเป็นดังนี้

บทที่ 2 กล่าวถึง ประเภทและความหมายของระบบไฟฟ้าต่างๆ ที่มีใช้กันจริง และจะนำไปสู่ระบบป้องกันแบบที่มีการจัดลำดับการตัดวงจร (The coordinative protective system) ซึ่งเป็นหัวข้อหลักของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 3 กล่าวถึง หลักการที่สำคัญและข้อมูลที่จำเป็นในการวิเคราะห์การประสานการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้า

บทที่ 4 รายละเอียดของอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้กับระบบไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำและแรงดันปานกลาง

บทที่ 5 หลักการและรายละเอียดในการคำนวณหาขนาดพิกัดของอุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งในที่นี้ได้แก่ ฟิวส์ และเซอร์กิตเบรคเกอร์ [5-9,29,33]

บทที่ 6 กล่าวถึง รายละเอียดในการคำนวณหากระแสลัดวงจรในระบบสายส่งไฟฟ้าแบบเรเดียลของการจ่ายไฟฟ้าภายในอาคารโดยใช้เทคนิคการจำลองระบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้เป็นวงจรอิมพีแดนซ์ พร้อมทั้งตัวอย่างการคำนวณ

บทที่ 7 กล่าวถึง ลักษณะของ Visual Basic และโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นมา โดยในส่วนแรกเป็นการอธิบายภาพรวมและหลักการที่สำคัญของ Visual Basic ซึ่งถือว่าเป็นภาษาของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ยุคใหม่ที่มีลักษณะเป็นแบบกราฟฟิก แทนที่ระบบภาษาแบบเดิมบนระบบปฏิบัติการ DOS จากนั้นก็จะกล่าวถึงลักษณะของโปรแกรมอย่างละเอียด

บทที่ 8 เป็นการแสดงตัวอย่างและผลที่ได้ในการป้องกันแบบประสานการทำงานด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา แทนการออกแบบด้วยวิธีเดิมแบบ Manual

บทที่ 9 เป็นการสรุปการศึกษา พร้อมทั้งเสนอแนะงานที่สามารถดำเนินการต่อไปได้

ประโยชน์ที่จะได้รับจากวิทยานิพนธ์

1. เข้าใจถึงหลักการและเทคนิคในการออกแบบระบบป้องกันแบบ Coordinative protection

2. สามารถคำนวณและออกแบบระบบ Coordinative protection โดยใช้คอมพิวเตอร์แทนวิธีเดิมแบบ Manual ที่มีความยุ่งยากซับซ้อนและเสียเวลามาก

3. เป็นต้นแบบในการเขียนโปรแกรมหากระแสผิดพร่องในระบบไฟฟ้าแบบเรเดียลของการจ่ายไฟฟ้าภายในอาคาร

4. เป็นตัวอย่างที่ดีในการจัดทำโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้เสริมประสิทธิภาพในการใช้งานและการสอนทางวิศวกรรมศาสตร์

5. เพิ่มความสนใจในการเรียนรู้ของนักศึกษา และดึงดูดให้เขาเหล่านั้นมีการศึกษาต่อในระดับสูงขึ้นต่อไป