สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบไฟฟ้าและแสดงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าในระบบแรงดันต่ำ

COMPUTER PROGRAM FOR LOW-VOLTAGE ELECTRICAL SYSTEM DESIGN AND COORDINATION

โดย

นาย ธันวา วรรณโกมล

นาย ชิติ เอื้อมงคล

นาย พงศ์พันธุ์ วรสายัณห์

นาย พงศ์ภราดร จินดาสุทธิ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 34174
วัน, เดือน, ปี 6 ต.ค. 2542

ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2541

คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบไฟฟ้าและ แสดงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าในระบบแรงดันต่ำ

COMPUTER PROGRAM FOR LOW-VOLTAGE ELECTRICAL SYSTEM DESIGN AND COORDINATION

โดย

นาย ธันวา วรรณโกมล

นาย ธิติ เอื้อมงคล

นาย พงศ์พันธุ์ วรสายัณห์

นาย พงศ์ภราดร จินดาสุทธิ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ศุลี บรรจงจิตร

อ. ชาย ชมภูอินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2541

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบไฟฟ้าและแสดงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าในระบบแรงดันต่ำ

Computer Program For Low-Voltage Electrical System Design and Coordination

ผู้จัดทำ

นาย ธันวา วรรณโกมล
นาย ธิติ เอื้อมงคล
นาย พงศ์พันธุ์ วรสายัณห์
นาย พงศ์ภราดร จินดาสุทธิ์

_____อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ. ศุลี บรรจงจิตร)

_____อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ. ชาย ชมภูอินไหว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบไฟฟ้าและ
แสดงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าในระบบแรงดันต่ำ

นาย ธันวา วรรณโกมล
นาย ธิติ เอื้อมงคล
นาย พงศ์พันธุ์ วรสายัณห์
นาย พงศ์ภราดร จินดาสุทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ. ศุลี บรรจงจิตร
อ. ชาย ชมภูอินไหว
ปีการศึกษา 2541

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาและพัฒนาซอฟท์แวร์ ที่ช่วยในงานด้านการออกแบบทางวิศวกรรมไฟฟ้าในระบบแรงดันไฟฟ้าแรงต่ำ โดยใช้ภาษาเดลไฟในการเขียนโปรแกรม ซึ่งจะช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถพิจารณาเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้า และอุปกรณ์ป้องกันหลัก ๆ ทางไฟฟ้า รวมทั้งสามารถพิจารณาถึงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม สะดวกรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยมีพื้นฐานการคำนวณอยู่บนมาตรฐานของ ANSI/IEEE และ กฎของการไฟฟ้านครหลวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPUTER PROGRAM FOR LOW-VOLTAGE ELECTRICAL SYSTEM DESIGN AND COORDINATION

Mr. Tunva Wannakomol
Mr. Thiti Uemongkol
Mr. Pongpan Vorasayan
Mr. Pongparadorn Jindasuth
Advisors
Assc.Prof. Sulee Banjongjit
Lecturer Chai Chompoo-inwai
1998

Abstract

This project accordingly be established to study and design software which can work out electrical engineering design by using delphi language. This software , therefore , can help designer to find specifications of electrical equipment and protection devices. Moreover, it treats coordination problem of protection devices which that will prove best in particular protection. The principals and theory on this project have been collected from ANSI/IEEE standard and in accordance with regulation of MEA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	V
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของการทำโครงงาน	2
บทที่ 2 การออกแบบระบบไฟฟ้า	3
2.1 บทนำ	3
2.2 สำหรับวงจรย่อยแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้า	3
2.2.1 วงจรย่อยลักษณะต่าง ๆ	3
2.2.2 ขนาดของวงจรย่อย	4
2.2.3 การคำนวณวงจรย่อย	4
2.2.4 การคำนวณโหลดของวงจรย่อย	4
2.2.5 พิกัดกระแสของสายวงจรย่อย	5
2.3 สายป้อนสำหรับวงจรย่อยแสงสว่าง และเครื่องใช้ไฟฟ้า (Feeder)	5
2.3.1 การคำนวณโหลดสายป้อน	5
2.3.2 พิกัดกระแสของสายป้อน	6
2.3.3 การป้องกันสายป้อน	6
2.3.4 ขนาดของอุปกรณ์ป้องกันสายป้อน	6
2.4 วงจรย่อยสำหรับมอเตอร์ (Motor BranchCircuit)	7
2.4.1 มอเตอร์ใช้งานทั่วไป	7
2.4.2 มอเตอร์หลายความเร็ว (multispeed Motor)	7
2.4.3 มอเตอร์ใช้งานไม่ต่อเนื่อง	7
2.4.4 การป้องกันการลัดวงจรสำหรับวงจรย่อยมอเตอร์	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

2.5 วงจรสายป้อนมอเตอร์ 9

2.5.1 ขนาดสายป้อนและการป้องกันสายป้อน 10

2.5.2 สายดินสำหรับวงจรมอเตอร์ 11

2.6 สายศูนย์ (Neutral) 14

2.7 ระบบเมน (Services) 14

2.7.1 การคำนวณหาขนาดสายเมน 14

2.7.2 การหาขนาดเมนสวิตซ์ 15

2.8 การหาขนาดหม้อแปลง 16

2.8.1 โหลดของหม้อแปลง 16

2.8.2 ขนาดของหม้อแปลง 16

2.9 ตัวอย่างสำหรับการออกแบบระบบไฟฟ้า 16

บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการในการวิเคราะห์หากระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน ANSI/IEEE 19

3.1 การเกิดกระแสลัดวงจร 19

3.2 แหล่งกำเนิดกระแสลัดวงจร 19

3.2.1 กระแสสมมาตรและกระแสไม่สมมาตร 21

3.3 การวิเคราะห์หาค่ากระแสลัดวงจรโดยวิธีคิดโดยตรง (by the Direct Method) 24

3.4 การหาค่ากระแสลัดวงจรในลักษณะต่าง ๆ 25

3.4.1 กระแสลัดวงจรจากการจำหน่ายไฟของการไฟฟ้า 25

3.4.2 กระแสลัดวงจรจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 25

3.4.3 กระแสลัดวงจรจากมอเตอร์ที่น้อยกว่า 50 hp 26

3.4.4 กระแสลัดวงจรจากมอเตอร์ขนาดใหญ่มากกว่า 50 hp 26

3.4.5 การหาค่ากระแสลัดวงจรที่ไหลจากทางเซคคันดารี่ไปยังทางไพรมารี่ของหม้อแปลง 28

3.4.6 กระแสลัดวงจรทั้งหมดที่หาจากจุดเริ่มต้นของสายป้อน 29

3.4.7 การหาค่ากระแสทางเซคคันดารี่ของหม้อแปลง 30

3.4.8 การคำนวณหากระแสลัดวงจรบนสายป้อน 31

3.5 ตัวอย่างแสดงการคำนวณกระแสลัดวงจรวิธีโดยตรง (by the Direct Method) 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

บทที่ 4 การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า 41

4.1 ความหมาย 41

4.2 สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการศึกษาเรื่องการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกัน 42

4.2.1 กระแสลัดวงจร 42

4.2.2 ช่วงห่างของเวลาในการทำงานร่วมกัน 42

4.3 Load Flow Current 44

4.4 กระแสพิคอัพ 44

4.5 หลักการในการสร้างกราฟแสดงการทำงานร่วมกัน 45

4.6 หลักในการออกแบบเพื่อการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า 46

4.6.1 หลักในการออกแบบมีอยู่ 6 ขั้นตอน 46

4.6.2 ข้อมูลที่จำเป็นในการศึกษาถึงการทำงานร่วมกัน 47

4.7 กรรมวิธีในการออกแบบ (procedure) 47

4.7.1 กรรมวิธีในการออกแบบ 47

4.7.2 การเลือกค่าสเกลของกระแสที่เหมาะสม 48

4.8 ตัวอย่างขั้นตอนการศึกษาถึงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกัน 49

4.9 สรุปหลักการของการออกแบบอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าเพื่อ 61
ให้มีการทำงานร่วมกัน

4.10 ข้อมูลที่จำเป็นที่จะใช้ในการศึกษาถึงการทำงานร่วมกัน ของอุปกรณ์ไฟฟ้า 62

บทที่ 5 การใช้งานโปรแกรม 63

5.1 การออกแบบ การคำนวณหากระแสลัดวงจรและการโคออดิเนชั่น 63

5.2 วิธีการใช้โปรแกรม 64

บทที่ 6 บทสรุปและวิจารณ์ 75

6.1 บทสรุป 75

6.2 วิจารณ์ 76

เอกสารอ้างอิง 77

กิตติกรรมประกาศ 78

ผู้จัดทำโครงงาน 79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

บทที่ 2 การออกแบบระบบไฟฟ้า

รูป 2.1 แสดงข้อมูลของอุปกรณ์ไฟฟ้าหลังจากที่ได้คำนวณแล้ว 18

บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการในการวิเคราะห์หากระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน ANSI/IEEE

รูปที่ 3.1 แสดงรูปคลื่นแบบไซน์ของกระแสสมมาตร 19

รูปที่ 3.2 แสดงรูปคลื่นแบบไซน์ของกระแสไม่สมมาตร 20

รูปที่ 3.3 ค่ากระแสลัดวงจรแบบสมมาตร จะมีค่าเท่ากับผลบวกของ กระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดอื่นๆ ทั้งหมด 22

รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของสมมาตร โดยจะเกิดขึ้นเมื่อขณะเกิดการลัดวงจรมีค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ค่าสูงสุด 22

รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของการไม่สมมาตร โดยจะเกิดขึ้นเมื่อขณะเกิดการลัดวงจรนั้นค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ค่าต่ำสุด 23

รูปที่ 3.6 แสดงกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น ณ จุดที่มีแรงดันไฟฟ้ามีค่าอยู่ระหว่างสูงสุดและต่ำสุด 23

รูปที่ 3.7 แสดงองค์ประกอบกระแสตรง 24

รูปที่ 3.8 กระแสลัดวงจรจากการจำหน่ายไฟของการไฟฟ้า 25

รูปที่ 3.9 กระแสลัดวงจรจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 25

รูปที่ 3.10 กระแสลัดวงจรจากมอเตอร์ที่น้อยกว่า 50 hp 26

รูปที่ 3.11 กระแสลัดวงจรจากมอเตอร์ขนาดใหญ่มากกว่า 50 hp 26

รูปที่ 3.12 การหาค่ากระแสลัดวงจรที่ไหลจากทางเซคคันดารี่ไปยังทางไพรมารี่ของหม้อแปลง 28

รูปที่ 3.13 กระแสลัดวงจรทั้งหมดที่หาจากจุดเริ่มต้นของสายป้อน 29

รูปที่ 3.14 การหาค่ากระแสทางเซคคันดารี่ของหม้อแปลง 30

รูปที่ 3.15 การคำนวณหากระแสลัดวงจรบนสายป้อน 31

รูปที่ 3.16 แสดงวันไลน์ไดอะแกรมสำหรับตัวอย่างการคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจร 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

บทที่ 4 การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า

รูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะของกระแสกับเวลาที่เป็นย่าน 45

รูปที่ 4.2 วันไลน์ไดอะแกรมสำหรับตัวอย่างในการศึกษาถึง การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า 55

รูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นตำแหน่งที่อยู่คงที่ในกราฟ , กราฟการป้องกันหม้อแปลง , ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดและกราฟคุณลักษณะเวลา-กระแสของเบรกเกอร์ขนาด 100 A 56

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงคุณลักษณะของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ระดับแรงดันต่ำที่เหมาะสมกับการป้องกัน 57

รูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นกราฟคุณลักษณะของตัวรีเลย์ป้องกันกระแสเกินและการปรับตั้งค่าของการทำงานแบบฉับพลัน 58

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการทำงานร่วมกันของตัวรีเลย์หลักที่มีหน้าที่ป้องกันกระแสเกิน 59

รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับเวลาสำหรับรีเลย์ที่ค่าปรับตั้งต่าง ๆ กัน 60

บทที่ 5 การใช้งานโปรแกรม

รูปที่ 5.1 โฟลชาร์ตแสดงกรรมวิธีหาค่ากระแสฟอลต์และหาค่าอินเตอร์รัพติ้งคาปาซิตี้ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ 66

รูปที่ 5.2 โฟลชาร์ตแสดงการหาขนาดและข้อมูลต่าง ๆ ของตัวอุปกรณ์ไฟฟ้า 67

รูปที่ 5.3 โฟลชาร์ตแสดงการโคออดิเนชั่นของอุปกรณ์ป้องกันโดยอัตโนมัติ 68

รูปที่ 5.4 โฟลชาร์ตแสดงการโคออดิเนชั่นของอุปกรณ์ป้องกันโดยผู้ใช้เลือกเอง 69

รูปที่ 5.5 แสดงรูปแบบของหน้าจอของโปรแกรม 70

รูปที่ 5.6 กรอบแสดงข้อมูลของมอเตอร์ 72

รูปที่ 5.7 แสดงกรอบที่ใช้แสดงข้อมูลของเซอร์กิตเบรกเกอร์ 73

รูปที่ 5.8 แสดงกรอบที่ใช้แสดงข้อมูลของการโคออดิเนชั่น 74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

บทที่ 2 การออกแบบระบบไฟฟ้า

ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดสายไฟฟ้าที่เดินในท่อโลหะ ที่ใช้กับวงจรย่อยขนาดต่าง ๆ 5

ตารางที่ 2.2 แสดงขนาดกระแสของสายสำหรับมอเตอร์ที่ใช้งานไม่ต่อเนื่อง 8

ตารางที่ 2.3 พิกัดหรือขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันการลัดวงจร 9

ตารางที่ 2.4 ขนาดต่ำสุดของสายดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า 11

ตารางที่ 2.5 ขนาดสายและอุปกรณ์ป้องกันสำหรับมอเตอร์ 3 เฟส ขนาดต่างๆ 12

ตารางที่ 2.6 พิกัดสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินและโหลดสูงสุด ตามขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า 15

บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการในการวิเคราะห์หากระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน ANSI/IEEE

ตารางที่ 3.1 ตารางสำหรับการคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจร โดยวิธีหาโดยตรง 37

บทที่ 4 การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าสำหรับการป้องกัน 49

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของกระแสที่ระบบต่าง ๆกัน 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในการออกแบบระบบไฟฟ้าสิ่งที่จะต้องคำนึงอยู่เสมอก็คือ เมื่อมีการผิดปกติเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่าง ๆ นั้นจะต้องสามารถป้องกันได้หรือไม่ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องสามารถคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรในระบบได้ เพื่อจะได้นำไปพิจารณาเลือกอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อไป และนอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันเหล่านั้นอีกด้วย ซึ่งมักจะมีความยุ่งยากเกิดขึ้นอยู่เสมอ โครงงานนี้จึงได้พยายามหาวิธีการที่จะช่วยให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วขึ้นในการออกแบบ โดยได้ทำการออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นมาเพื่อช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถทราบถึงค่ากระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้าและสามารถเลือกอุปกรณ์ป้องกันที่เหมาะสม โดยพิจารณาถึงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันเหล่านั้นด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงงาน

1. ศึกษาข้อมูลการออกแบบระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำโดยใช้มาตรฐานของ ANSI /IEEE , IEC , NEC และกฎการไฟฟ้านครหลวง
2. สามารถเข้าใจถึงวิธีการคำนวณหาขนาดของกระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ ตามมาตรฐาน ANSI / IEEE
3. ศึกษารายละเอียดรวมถึงคุณลักษณะของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าจากข้อมูลของผู้ผลิต
4. สามารถนำขนาดของกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นไปเลือกขนาดของอุปกรณ์ป้องกันได้ โดยที่ยังมีการทำงานที่ต่อเนื่องของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกันไม่เสียหาย
5. สามารถนำอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้ามาทำงานร่วมกันได้ (Coordination)
6. สามารถนำข้อมูลข้างต้นมาประยุกต์เพื่อเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาเคลไฟ ช่วยในการออกแบบระบบไฟฟ้า , คำนวณ และเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ที่กล่าวมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ
7. เมื่อออกแบบระบบไฟฟ้าในโปรแกรมแล้ว สามารถที่จะเก็บข้อมูลต่าง ๆ ไว้ในไฟล์ได้โดยไม่มีการสูญหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการทำโครงงาน

1. เขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาเดลไฟ ในการคำนวณหากระแสไฟฟ้าลัดวงจรในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำตามมาตรฐาน ANSI / IEEE
2. โปรแกรมสามารถออกแบบ , คำนวณหากระแสไฟฟ้าลัดวงจร , กระแสที่พิกัด เพื่อนำไปหาขนาดของอุปกรณ์ป้องกันซึ่งเป็นไปตามผู้ออกแบบหรือให้โปรแกรมทำให้
3. นำอุปกรณ์ป้องกันที่เลือกมาทำงานร่วมกัน (Coordination) โดยผู้ออกแบบ หรือให้โปรแกรมทำให้
4. มีฐานข้อมูลที่เก็บรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบรวมทั้งชนิดและรุ่นของอุปกรณ์ป้องกันหลายบริษัท
5. รูปแบบการทำงานของโปรแกรมได้ออกแบบให้มีความคล่องตัวในการใช้งานมากขึ้น
6. เมื่อมีการออกแบบระบบไฟฟ้าแล้วสามารถเก็บเป็นไฟล์ไว้ในคอมพิวเตอร์ โดยไม่มีการสูญหาย สามารถนำมาใช้งานได้ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การออกแบบระบบไฟฟ้า

2.1 บทนำ

ระบบไฟฟ้าในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น อาคารที่อยู่อาศัย อาคารพาณิชย์ และโรงงานอุตสาหกรรม จะประกอบไปด้วยวงจรไฟฟ้าต่าง ๆ มากมายหลายวงจรเพื่อให้สะดวกต่อการออกแบบ และติดตั้งจึงได้แบ่งวงจรไฟฟ้าเหล่านี้เป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

1. วงจรย่อย (Branch Circuit)
2. วงจรสายป้อน (Feeder Circuit)
3. วงจรสายเมน (Main Circuit)

2.2 วงจรย่อยสำหรับวงจรย่อยแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้า

วงจรย่อย คือ ส่วนของวงจรไฟฟ้าที่ต่อมาจากอุปกรณ์ป้องกันตัวสุดท้ายกับจุดต่อโหลด โดยที่อุปกรณ์ป้องกันนี้จะมีหน้าที่ป้องกันวงจรย่อยนั้นเท่านั้น

2.2.1 วงจรย่อยอาจจะแบ่งตามลักษณะการจ่ายโหลดได้ 3 แบบคือ

1.) วงจรย่อยเฉพาะ (Individual Branch Circuit)
หมายถึง วงจรย่อยที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าเพียงหนึ่งอย่างเท่านั้น

2.) วงจรย่อยใช้งานทั่วไป (General Purpose Branch Circuit)
หมายถึง วงจรย่อยที่จ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดแสงสว่าง โหลดเต้ารับ (Receptacle) หรือทั้งโหลดแสงสว่างและโหลดเต้ารับรวมกัน

3.) วงจรย่อยเครื่องใช้ไฟฟ้า (Appliance Branch Circuit)
หมายถึง วงจรย่อยที่จ่ายไฟให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าตั้งแต่หนึ่งจุดขึ้นไป

2.2.2 ขนาดของวงจรย่อย

ขนาดของวงจรย่อยให้กำหนดตามขนาดของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินที่ใช้ตัดกระแสสำหรับวงจรนั้น แต่บางครั้งอุปกรณ์ป้องกันของบริษัทผู้ผลิตไม่มีค่าตรงตามที่ระบุไว้จะต้องใช้ค่าที่สูงขึ้นถัดไป เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ (CB) ตามมาตรฐาน IEC ดังนี้

เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 16 A ใช้กับวงจรย่อยขนาด 15 A

เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 32 A ใช้กับวงจรย่อยขนาด 30 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การคำนวณวงจรย่อย

การคำนวณวงจรย่อย เพื่อหาขนาดของอุปกรณ์ป้องกัน สามารถคิดโหลดเป็น โวลต์-แอมแปร์ (VA) หรือ กระแส (A) ก็ได้ แต่ในที่นี้จะคิดเป็นกระแส เนื่องจากขนาดของวงจรย่อย หรืออุปกรณ์ป้องกันบอกเป็นกระแส และวงจรย่อยมีค่าแรงดันที่แน่นอนอยู่แล้ว

การคำนวณโหลด VA เป็นกระแสสามารถทำได้ดังนี้

โหลด 1 เฟส $I_L = \frac{VA}{V}$

โหลด 3 เฟส $I_L = \frac{VA}{\sqrt{3}\,V_L}$

โดยที่ I_L = กระแสโหลด (A)

VA = ขนาดโหลดเป็นโวลต์-แอมป์ (VA)

V_L = แรงดันระหว่างเฟส 380 V (กฟน.) หรือ 400V (กฟภ.)

V = แรงดันโหลด 1 เฟส 220 V หรือ 230 V

2.2.4 การคำนวณโหลดของวงจรย่อยมีดังนี้

ขนาดของอุปกรณ์ป้องกันมีวิธีคิดดังนี้

กรณีอุปกรณ์ป้องกันทั่วไป

$$CB_{BC} = 1.25I_{L1} + 1.00I_{L2}$$

กรณีที่อุปกรณ์ป้องกันทำงานที่ 100 % ของขนาดที่ตั้งไว้

$$CB_{BC} = 1.00I_{L1} + 1.00I_{L2}$$

โดยที่ CB_{BC} = ขนาดของ CB (AT)

I_{L1} = กระแสโหลดชนิดโหลดต่อเนื่อง (A)

I_{L2} = กระแสโหลดชนิดโหลดไม่ต่อเนื่อง (A)

<u>หมายเหตุ</u> โดยทั่วไปอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้ในวงจรย่อยจะมีขนาดเล็ก ซึ่งไม่ใช่แบบทำงาน 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 พิกัดกระแสของสายวงจรย่อยจะต้องไม่น้อยกว่ากระแสโหลดที่คำนวณได้นั้นคือ

$$I_{BC} \geq 1.25I_{L1} + 1.00I_{L2}$$

จากข้อกำหนดนี้พิกัดกระแสของสายวงจรย่อยอาจจะเล็กกว่าพิกัดอุปกรณ์ป้องกันกับวงจรย่อยได้ เช่น ถ้ากระแสโหลดคำนวณได้ 22 A

เซอร์กิตเบรกเกอร์ของวงจรย่อยจะต้องใช้ค่าถัดไปคือ 30 A

สายวงจรย่อยใช้ขนาด 4 Sqmm. (24A)

อย่างไรก็ตามเพื่อความสะดวกและเผื่อการขยายโหลดควรใช้ขนาดสายวงจรย่อยให้เซอร์กิตเบรกเกอร์สามารถป้องกันได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตาราง 2.1 แสดงขนาดสายไฟฟ้าที่เดินในท่อโลหะที่ใช้กับวงจรย่อยขนาดต่าง ๆ

อุปกรณ์ป้องกัน (A)	ขนาดสาย (sqmm.)
5,10,15	2.5 (18A)
20	4 (24A)
30	6 (31A)
40	10 (43A)
50	16 (56A)

<u>หมายเหตุ</u>

1. ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าพิกัดกระแสเป็นแอมแปร์ของสายขนาดนั้น ๆ
2. อุปกรณ์ป้องกัน 5 . 10 และ 15 A ใช้สายขนาด 2.5 Sqmm. ทั้งหมดเนื่องจาก กฟน.กำหนดให้ขนาดของสายไฟที่เล็กที่สุดสำหรับวงจรย่อยคือ 2.5 Sqmm.

2.3 สายป้อนสำหรับวงจรย่อยแสงสว่าง และเครื่องใช้ไฟฟ้า (Feeder)

สายป้อน หมายถึง กลุ่มวงจรไฟฟ้าที่รับไฟจากสายเมน (Service Conductor) โดยเริ่มจากแผงสวิตช์เมน (Main Switch Board) ไปจนถึงอุปกรณ์ป้องกันวงจรย่อย

2.3.1 การคำนวณโหลดสายป้อน

โหลดสายป้อนก็คือ ผลรวมของโหลดวงจรย่อย แต่เนื่องจากสายป้อนจ่ายโหลดจำนวนค่อนข้างมากมีโอกาสที่จะใช้ไม่พร้อมกัน จึงสามารถให้ใช้ค่า Demand Factor ที่เหมาะสมได้

$$I_{LF} = \sum BC \times DF$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ I_{LF} = โหลดสายป้อน (A)

BC = โหลดวงจรย่อย (A)

DF = Demand Factor ตามที่การไฟฟ้ากำหนด

2.3.2 พิกัดกระแสของสายป้อน จะสามารถคำนวณได้ดังนี้คือ

$$I_F \geq 1.25I_{L1} + 1.00I_{L2}$$

โดยที่ I_F = พิกัดกระแสของสายป้อน (A0

I_{L1} = กระแสโหลดชนิดโหลดต่อเนื่อง (A)

I_{L2} = กระแสโหลดชนิดโหลดไม่ต่อเนื่อง (A)

อย่างไรก็ตาม ขนาดของสายป้อนเล็กสุดที่สามารถใช้ได้คือ 4 Sqmm.

2.3.3 การป้องกันสายป้อน

อุปกรณ์ป้องกันสายป้อนที่นิยมใช้ป้องกันวงจรสายป้อนคือ สวิตช์อัตโนมัติ (CB) สวิตช์อัตโนมัติที่นิยมใช้กันส่วนมากผลิตตามมาตรฐาน NEMA และ IEC ซึ่งมีขนาดพิกัดมาตรฐานแอมป์เฟรมต่างกันเล็กน้อย คือ

NEMA (A)	50	100	225	250	400	600	800
	1000	1200	1600	2000	2500	4000	5000
IEC (A)	63	100	125	160	200	250	315
	400	500	630	800	1000	1250	1600
	2000	2500	3150	4000	5000	6300	

2.3.4 ขนาดของอุปกรณ์ป้องกันสายป้อน สามารถคำนวณได้ดังนี้

กรณีอุปกรณ์ป้องกันทั่วไป

$$CB_F = 1.25I_{L1} + 1.00I_{L2}$$

กรณีอุปกรณ์ป้องกันที่ทำงานได้ 100% ของขนาดที่ตั้งไว้

$$CB_F = 1.00I_{L1} + 1.00I_{L2}$$

โดยที่ CB_F = ขนาดของ CB (AT)

I_{L1} = กระแสโหลดชนิดโหลดต่อเนื่อง (A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I_{L2} = กระแสโหลดชนิดโหลดไม่ต่อเนื่อง (A)

และเมื่อขนาดอุปกรณ์ป้องกันที่คำนวณได้ไม่ใช่ขนาดมาตรฐานให้พิจารณาดังนี้

กระแสโหลด $\leq$ 800 A ให้ใช้ขนาดสูงขึ้นถัดไป

กระแสโหลด $>$ 800 A ให้ใช้ขนาดต่ำลงขั้นหนึ่ง

2.4 วงจรย่อยสำหรับมอเตอร์ (Motor BranchCircuit)

ขนาดของสายไฟฟ้าสำหรับวงจรย่อยมอเตอร์ จะต้องมีขนาดพิกัดเพียงพอที่จะจ่ายโหลดมอเตอร์ได้ โดยที่ขนาดสายที่เล็กที่สุดคือ 2.5 Sqmm. เนื่องจากโหลดมอเตอร์มีการใช้งานในลักษณะต่าง ๆ กัน ดังนั้นพิกัดกระแสของสายไฟจึงต้องเลือกใช้ที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานของมอเตอร์ด้วย

2.4.1 มอเตอร์ใช้งานทั่วไป

โดยทั่วไปโหลดมอเตอร์จะถือว่าเป็นแบบต่อเนื่อง ดังนั้นสายวงจรมอเตอร์จะต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 125% ของพิกัดกระแสมอเตอร์

$$I_C \geq 1.25\, I_M$$

โดยที่ I_C = พิกัดกระแสวงจรย่อยมอเตอร์

I_M = พิกัดกระแสของมอเตอร์

2.4.2 มอเตอร์หลายความเร็ว (multispeed Motor)

สำหรับมอเตอร์หลายความเร็วแต่ละความเร็วจะมีพิกัดกระแสต่างกันให้ใช้ค่าพิกัดสูงสุด

2.4.3 มอเตอร์ใช้งานไม่ต่อเนื่อง

สำหรับมอเตอร์ที่ใช้งานเป็นระยะ หรือเป็นคาบ พิกัดกระแสวงจรย่อยต้องไม่ต่ำกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ตามลักษณะการใช้งานของมอเตอร์ในตารางที่ 2.2 คูณพิกัดกระแสมอเตอร์

$$I_C \geq K_I I_M$$

โดยที่ I_C = พิกัดกระแสวงจรย่อยของมอเตอร์

I_M = พิกัดกระแสของมอเตอร์

K_I = ค่าเปอร์เซ็นต์ตามตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงขนาดกระแสของสายสำหรับมอเตอร์ที่ใช้งานไม่ต่อเนื่อง

ประเภทการใช้งาน	ร้อยละของพิกัดกระแสบนแผ่นป้ายประจำเครื่อง			
	มอเตอร์พิกัดใช้งาน 5 นาที	มอเตอร์พิกัดใช้งาน 15 นาที	มอเตอร์พิกัดใช้งาน 30 และ 60 นาที	มอเตอร์พิกัดใช้งานต่อเนื่อง
ใช้งานระยะสั้น เช่น มอเตอร์หมุนปิด-เปิดวาล์ว	110	120	150	-
ใช้งานเป็นระยะ เช่น มอเตอร์เครื่องลิฟท์ มอเตอร์ปิด-เปิดสะพาน	85	85	90	140
ใช้งานเป็นคาบ เช่น มอเตอร์หมุนลูกกลิ้ง	85	90	95	140
ใช้งานที่เปลี่ยนแปลง	110	120	150	200

2.4.4 การป้องกันการลัดวงจรสำหรับวงจรย่อยมอเตอร์

วงจรย่อยมอเตอร์จะต้องมีการป้องกันการลัดวงจรสำหรับสายไฟฟ้า , อุปกรณ์ควบคุมและตัวมอเตอร์เอง อุปกรณ์สำหรับการป้องกันการลัดวงจรของวงจรย่อยนี้ จะต้องสามารถนำกระแสเริ่มเดินเครื่องของมอเตอร์ได้โดยไม่เปิดวงจร

<u>สวิตซ์อัตโนมัติ</u> (Circuit Breaker)

สวิตซ์อัตโนมัติ ที่ใช้ในวงจรมอเตอร์มี 2 ประเภท คือ

- สวิตซ์อัตโนมัติแบบเวลาผกผัน (Inverse Time Circuit Breaker)
- สวิตซ์อัตโนมัติแบบปลดทันที (Instantaneous Circuit Breaker)

สวิตซ์อัตโนมัติแบบเวลาผกผัน คือ สวิตซ์อัตโนมัติที่ใช้ทั่วไปในวงจรจำหน่าย สวิตซ์อัตโนมัติแบบนี้มีเส้นโค้งลักษณะสมบัติ 2 ช่วง คือ ช่วงกระแสเกินโหลดเป็นแบบเวลาผกผัน (Inverse Time) และช่วงกระแสปลดวงจรทันที (Instantaneous Trip) สวิตซ์อัตโนมัติแบบนี้จะต้องปรับตั้งช่วงกระแสปลดวงจรทันทีให้มากกว่ากระแสเริ่มต้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ ส่วนสวิตช์อัตโนมัติแบบปลดทันที คือ สวิตช์อัตโนมัติที่มีช่วงปลดวงจรทันทีเพียงอย่างเดียว สวิตช์อัตโนมัติแบบนี้ถูกออกแบบให้ใช้กับวงจรมอเตอร์โดยเฉพาะ

ในการเลือกฟิวส์และสวิตช์อัตโนมัติจะต้องเลือกใช้ขนาดที่เหมาะสมกับมอเตอร์ โดยการไฟฟ้าได้ให้พิกัดหรือขนาดปรับตั้งสูงสุดไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 พิกัดหรือขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันการลัดวงจร

ชนิดของมอเตอร์	ร้อยละของกระแสโหลดเต็มที่			
	ฟิวส์ทำงานไว	ฟิวส์หน่วงเวลา	สวิตช์อัตโนมัติปลดทันที	สวิตช์อัตโนมัติเวลาผกผัน
มอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส และมอเตอร์ 3 เฟส แบบสไควเรลเคจ และแบบซิงโครนัส	300	175	700	250
มอเตอร์แบบวาวล์โรเตอร์	150	150	700	150

ค่าพิกัดหรือขนาดปรับตั้งของฟิวส์และสวิตช์อัตโนมัติที่ให้ไว้ตามตารางเป็นค่าสูงสุด ค่าที่ใช้ในทางปฏิบัติ ซึ่งทางบริษัทผู้ผลิตฟิวส์และสวิตช์อัตโนมัติได้ให้ไว้สำหรับมอเตอร์ขนาดต่าง ๆ จะต่ำกว่าค่าที่แสดงไว้ในตาราง ซึ่งจะทำให้การป้องกันดีขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่าที่ใช้นี้จะต้องไม่ทำให้เปิดวงจรขณะที่มอเตอร์เริ่มเดินเครื่อง

การเลือกขนาดพิกัดของสวิตช์อัตโนมัติ จะต้องคำนึงถึงกระแสลัดวงจรสูงสุดที่จุดติดตั้งด้วย โดยที่ฟิวส์และสวิตช์อัตโนมัติที่จะใช้ในการป้องกันวงจรนั้น จะต้องมีค่ากระแสขณะตัดวงจร (Interrupting Current ,Ic) ไม่น้อยกว่าค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่จุดติดตั้งด้วย

2.5 วงจรสายป้อนมอเตอร์

การออกแบบวงจรสายป้อนที่จ่ายไฟให้กับมอเตอร์หลายตัว หรือมอเตอร์รวมกับโหลดชนิดอื่น เช่น ไฟฟ้าแสงสว่าง จะต้องคำนึงถึงสิ่งเหล่านี้

- ขนาดสายป้อน
- การป้องกันสายป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 ขนาดสายป้อนและการป้องกันสายป้อน

การหาขนาดสายป้อนและขนาดอุปกรณ์ป้องกันสายป้อน จะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ มอเตอร์หลายตัวและมอเตอร์รวมกับโหลดชนิดอื่น ดังนี้

- กรณีมอเตอร์หลายตัว

พิกัดกระแสสายป้อน $\geq$ 1.25 พิกัดกระแสมอเตอร์ตัวโตที่สุด
+ ผลรวมพิกัดกระแสมอเตอร์ที่เหลือ

$$I_F \geq 1.25\, I_{M,MAX} + \sum I_R$$

ขนาดอุปกรณ์ป้องกัน $\geq$ พิกัดกระแสมอเตอร์ตัวโตที่สุด
+ ผลรวมพิกัดกระแสมอเตอร์ที่เหลือ

$$CB_F \geq CB_{MAX} + \sum I_R$$

- กรณีมอเตอร์กับโหลดอื่น ๆ (โหลดอื่น ๆ เป็นโหลดต่อเนื่อง)

พิกัดกระแสสายป้อน $\geq$ 1.25 พิกัดกระแสมอเตอร์ตัวโตที่สุด
+ ผลรวมพิกัดกระแสมอเตอร์ที่เหลือ
+ 1.25 พิกัดกระแสโหลดต่อเนื่อง

$$I_F \geq 1.25\, I_{M,MAX} + \sum I_R + 1.25\, I_L$$

ขนาดอุปกรณ์ป้องกัน $\geq$ พิกัดกระแสมอเตอร์ตัวโตที่สุด
+ ผลรวมพิกัดกระแสมอเตอร์ที่เหลือ
+ 1.25 พิกัดกระแสโหลดต่อเนื่อง

$$CB_F \geq CB_{MAX} + \sum I_R + 1.25\, I_L$$

โดยที่ I_F = พิกัดกระแสสายป้อน

$I_{M,MAX}$ = พิกัดกระแสมอเตอร์ตัวโตที่สุด

$\sum I_R$ = ผลรวมพิกัดกระแสโหลดมอเตอร์ที่เหลือ

I_L = พิกัดกระแสโหลดต่อเนื่อง

CB_F = ขนาดเครื่องป้องกันสายป้อน

CB_{MAX} = ขนาดเครื่องป้องกันมอเตอร์ตัวใหญ่ที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 สายดินสำหรับวงจรมอเตอร์

เพื่อความปลอดภัยวงจรย่อยมอเตอร์จะต้องมีการเดินสายดินเพื่อไปต่อเข้ากับโครงโลหะมอเตอร์ ขนาดของสายดินให้คิดตามขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ตามที่การไฟฟ้า ฯ กำหนดในตารางที่ 2.4 แต่ขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้อาจมีขนาดใหญ่เนื่องจากจะต้องให้มอเตอร์สามารถเริ่มเดินเครื่องได้ ดังนั้นสายดินในตารางจะมีขนาดใหญ่ตามไปด้วย จนบางครั้งอาจใหญ่กว่าสายเฟสวงจรย่อย ในกรณีนี้อนุญาตให้ใช้ขนาดสายดินเท่ากับสายเฟสได้

ตารางที่ 2.4 ขนาดต่ำสุดของสายดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกิน (A)	ขนาดต่ำสุดของสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า (ตัวนำทองแดง) (sqmm.)
6-16	1.5
20-25	4
30-63	6
80-100	10
125-200	16
225-400	25
500	35
600-800	50
1000	70
1200-1250	95
1600-2000	120
2500	185
3000-4000	240
5000-6000	400

เพื่อความสะดวกรวดเร็วสำหรับผู้ออกแบบและคำนวณ จึงได้จัดทำตารางแสดงขนาดสายวงจรย่อยและขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์สำหรับมอเตอร์ขนาดต่าง ๆ ในตารางสำหรับมอเตอร์ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ขนาดสายและอุปกรณ์ป้องกันสำหรับมอเตอร์ 3 เฟส ขนาดต่างๆ

Motor Rating		Rated		Size of Conductors					Protective Devices
KW	Hp	Current In (A) (1.25In)	Power (kVA)	In air	In metallic Concuit		In under ground conduit		CB (AT)
				Wire T-4	Wire T-4	Conduit IMC	Wire T-6	Conduit IMC	
0.37	0.5	1.03 (1.3)	0.68	3x2.5 G-1.5	3x2.5 G-1.5	½"	3x2.5 G-1.5	1 ¼"	10
0.55	0.75	1.6 (2)	1.06	3x2.5 G-1.5	3x2.5 G-1.5	½"	3x2.5 G-1.5	1 ¼"	10
0.75	1.0	2.0 (2.5)	1.32	3x2.5 G-1.5	3x2.5 G-1.5	½"	3x2.5 G-1.5	1 ¼"	10
1.1	1.5	2.6 (3.3)	1.71	3x2.5 G-1.5	3x2.5 G-1.5	½"	3x2.5 G-1.5	1 ¼"	10
1.5	2.0	3.5 (4.4)	2.30	3x2.5 G-1.5	3x2.5 G-1.5	½"	3x2.5 G-1.5	1 ¼"	10
2.2	3.0	5 (6.3)	3.29	3x2.5 G-1.5	3x2.5 G-1.5	½"	3x2.5 G-1.5	1 ¼"	10
3.7	5.0	7.7 (9.6)	5.07	3x2.5 G-2.5	3x2.5 G-2.5	½"	3x2.5 G-2.5	1 ¼"	20
5.5	7.5	11.5 (14.4)	7.57	3x2.5 G-2.5	3x2.5 G-2.5	½"	3x2.5 G-2.5	1 ¼"	25
7.5	10	15.5 (19.4)	10.20	3x2.5 G-2.5	3x4 G-4	¾"	3x2.5 G-2.5	1 ¼"	30
11	15	22 (27.5)	14.48	3x4 G-4	3x6 G-6	¾"	3x4 G-4	1 ¼"	30
15	20	30 (37.5)	19.74	3x4 G-6	3x10 G-6	1"	3x6 G-6	1 ¼"	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ขนาดสายและอุปกรณ์ป้องกันสำหรับมอเตอร์ 3 เฟส ขนาดต่างๆ (ต่อ)

Motor Rating		Rated Current In (A) (1.25In)	Power (kVA)	Size of Conductors					Protective Devices
				In air	In metallic Concuit		In under ground conduit		
KW	Hp			Wire T-4	Wire T-4	Conduit IMC	Wire T-6	Conduit IMC	CB (AT)
18.5	25	37 (45.3)	24.35	3x10 G-10	3x16 G-10	1"	3x10 G-10	1 ½"	80
22	30	44 (55)	28.96	3x10 G-10	3x16 G-10	1"	3x10 G-10	1 ½"	80
30	40	60 (75)	39.49	3x16 G-10	3x25 G-10	1 ¼"	3x16 G-10	1 ½"	90
37	50	72 (90)	47.39	3x25 G-16	3x35 G-16	1 ¼"	3x25 G-16	2"	110
45	60	85 (106.3)	55.94	3x25 G-16	3x50 G-16	1 ½"	3x35 G-16	2"	125
55	75	105 (131.3)	69.11	3x35 G-16	3x70 G-16	2"	3x50 G-16	2"	150
75	100	138 (172.5)	90.83	3x70 G-25	3x95 G-25	2"	3x70 G-25	2 ½"	225
90	125	170 (212.5)	111.89	3x70 G-25	3x120 G-25	2 ½"	3x95 G-25	3"	250
110	150	205 (256.3)	134.93	3x95 G-25	3x185 G-25	3"	3x120 G-25	3"	300
132	175	245 (306.3)	161.25	3x120 G-25	3x240 G-25	3"	3x150 G-25	3"	400
160	220	300 (375)	197.45	3x185 G-25	3x300 G-25	3 ½"	3x240 G-25	3 ½"	400
					2(3x95) G-25	2x2"	2(3x70) G-25	2x2½"	
200	270	370 (462.5)	243.53	3x240 G-50	3x400 G-50	4"	3x300 G-50	4"	600
					2(3x150) G-50	2x2½"	2(3x95) G-50	2x3"	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สายศูนย์ (Neutral)

ในระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย ซึ่งจ่ายให้กับโหลดชนิด 1 เฟส ขนาดสายศูนย์จะต้องมีขนาดเพียงพอที่จะนำกระแสโหลดไม่สมดุลสูงสุดได้ การคำนวณหาขนาดสายศูนย์สามารถทำได้ดังนี้

- กรณีโหลดชนิด Resistive Load ที่มีกระแสไม่เกิน 200 A

$$I_N = I_{LN}$$ คือใช้ขนาดสายศูนย์เท่ากับสายเฟส (Full Neutral)

โดยที่ I_N = พิกัดกระแสสายศูนย์ (A)

I_{LN} = โหลดไม่สมดุลสูงสุดคือ ค่าที่คำนวณได้จากโหลด 1 เฟส ที่ต่อระหว่างสายศูนย์และสายเส้นไฟเส้นใดเส้นหนึ่ง (A)

- กรณีโหลดชนิด Resistive Load ที่มีกระแสเกิน 200 A

$$I_N = 200 + 0.7\,(I_{LN} - 200)$$

- กรณีโหลดชนิด Electric Discharge , Data Processing หรือ โหลดชนิดอื่นที่มีกระแสฮาร์โมนิกในสายศูนย์

$$I_N = I_{LN}$$ คือใช้ขนาดสายศูนย์เท่ากับสายเฟส (Full Neutral)

2.7 ระบบเมน (Services)

ระบบเมน หมายถึง ตัวนำและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ในส่วนของวงจรไฟฟ้าที่รับไฟจากการไฟฟ้าไปจนถึงสายป้อน ส่วนประกอบของสายเมนจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนด้วยกัน คือ สายเมน (Service Conductor) และเมนสวิตช์ (Service Equipment)

2.7.1 การคำนวณหาขนาดสายเมน

สายเมนจะต้องมีขนาดเพียงพอที่จะรับโหลดได้ โดยโหลดของสายเมนก็คือผลรวมของโหลดสายป้อนนั่นเอง ซึ่งสามารถใช้ดีมานท์แฟกเตอร์ (Demand Factor) ที่เหมาะสมได้ การหาพิกัดกระแสของสายเมนจะมีหลักการเช่นเดียวกันกับพิกัดกระแสของสายป้อน

$$I_M \geq 1.25\,I_{L1} + 1.00\,I_{L2}$$

โดยที่ I_M = พิกัดกระแสของสายเมน(A)

I_{L1} = กระแสโหลดชนิดโหลดต่อเนื่อง (A)

I_{L2} = กระแสโหลดชนิดโหลดไม่ต่อเนื่อง (A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 การหาขนาดเมนสวิตซ์

การหาขนาดของเครื่องป้องกันกระแสเกินและเครื่องปลดวงจร สามารถทำได้ดังนี้

- เครื่องป้องกันกระแสเกินมีหน้าที่ป้องกันสายเมนดังนี้

$$CB \leq I_M$$

โดยที่ CB = ขนาดของCB(AT)

I_M = พิกัดกระแสของสายเมน

อย่างไรก็ตามขนาดของเครื่องป้องกันกระแสเกินที่ใช้จะต้องไม่เกินขนาดที่การไฟฟ้าระบุไว้ดังในตาราง 2.6

ตารางที่ 2.6 พิกัดสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินและโหลดสูงสุดตามขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า

เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า (A)	พิกัดสูงสุดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (A)	โหลดสูงสุด (A)
5 (15) 1P	16	10
15 (45) 1P	50	30
30 (100) 1P	100	75
50 (150) 1P	125	100
15 (45) 3P	50	30
30 (100) 3P	100	75
500 (150) 3P	125	100
200 3P	250	200
400 3P	500	400
600 3P	750	600
800 3P	1000	800

หมายเหตุ

1P หมายถึง เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า ชนิด 1 เฟส 2 สาย

3P หมายถึง เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า ชนิด 3 เฟส 4 สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การหาขนาดหม้อแปลง

2.8.1 โหลดของหม้อแปลง

การคำนวณโหลดของหม้อแปลงให้ทำเช่นเดียวกับสายป้อนกล่าวคือ ให้หาโหลดทั้งหมดมารวมกัน

2.8.2 ขนาดของหม้อแปลง

โหลดที่คำนวณได้ถือว่าเป็นโหลดแบบต่อเนื่อง

$$I_T = 1.25\, I_L$$

หรือ $$TR = 1.25\, L\ (kVA)$$

โดยที่ I_T = กระแสของหม้อแปลง

I_L = กระแสโหลด

2.9 ตัวอย่างสำหรับการออกแบบระบบไฟฟ้า

ในระบบไฟฟ้าประกอบด้วยแผงสวิตซ์บอร์ดดังรูปจ่ายไฟให้โหลดดังนี้

มอเตอร์ 3.7 kW 380 V 1 ตัว

มอเตอร์ 11 kW 380 V 1 ตัว

มอเตอร์ 22 kW 380 V 1 ตัว

แผงจ่ายไฟโหลดต่อเนื่อง 60 kVA , 380 V , 3 phase , 4 wire

จงหา 1. ขนาดสายวงจรย่อย

2. สายป้อน

3. ขนาดอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรโดยใช้ตารางเดินในท่อโลหะในอากาศ

4. ขนาดของหม้อแปลง

วิธีทำ

จากตารางจะได้ขนาดวงจรย่อยและอุปกรณ์ป้องกันดังนี้

-โหลดมอเตอร์

มอเตอร์ 3.7 kW 380 V CB = 20 AT

สายวงจรย่อย = 3 x 2.5 Sqmm.

G - 2.5 Sqmm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

มอเตอร์ 11 kW 380 V CB = 50 AT

สายวงจรย่อย = 3 x 6 Sqmm.

G – 6 Sqmm

มอเตอร์ 22 kW 380 V CB = 810 AT

สายวงจรย่อย = 3 x 16 Sqmm.

G – 10 Sqmm

- โหลดของแผงจ่ายไฟ I_C = $1.25 \times \frac{1000 \times 60}{\sqrt{3} \times 380}$

= 114 A

CB = 120 AT

สายป้อน = 4 x 50 Sqmm.

G – 16 Sqmm.

- สายป้อนรวม I_F = สายป้อนมอเตอร์ + สายป้อนแผงจ่ายไฟ

= (1.25 x44+22+8) +114

= 199 A

- พิกัดกระแสสายศูนย์ 114 A

CB_F = (80+44+22)+114

= 260 A

= 250 AT

- สายป้อน = 3 x 120 Sqmm.

1 x 50 Sqmm.

G – 25 Sqmm.

- ขนาดของหม้อแปลง = $\sqrt{3}$ x 199 x 380 x1.5

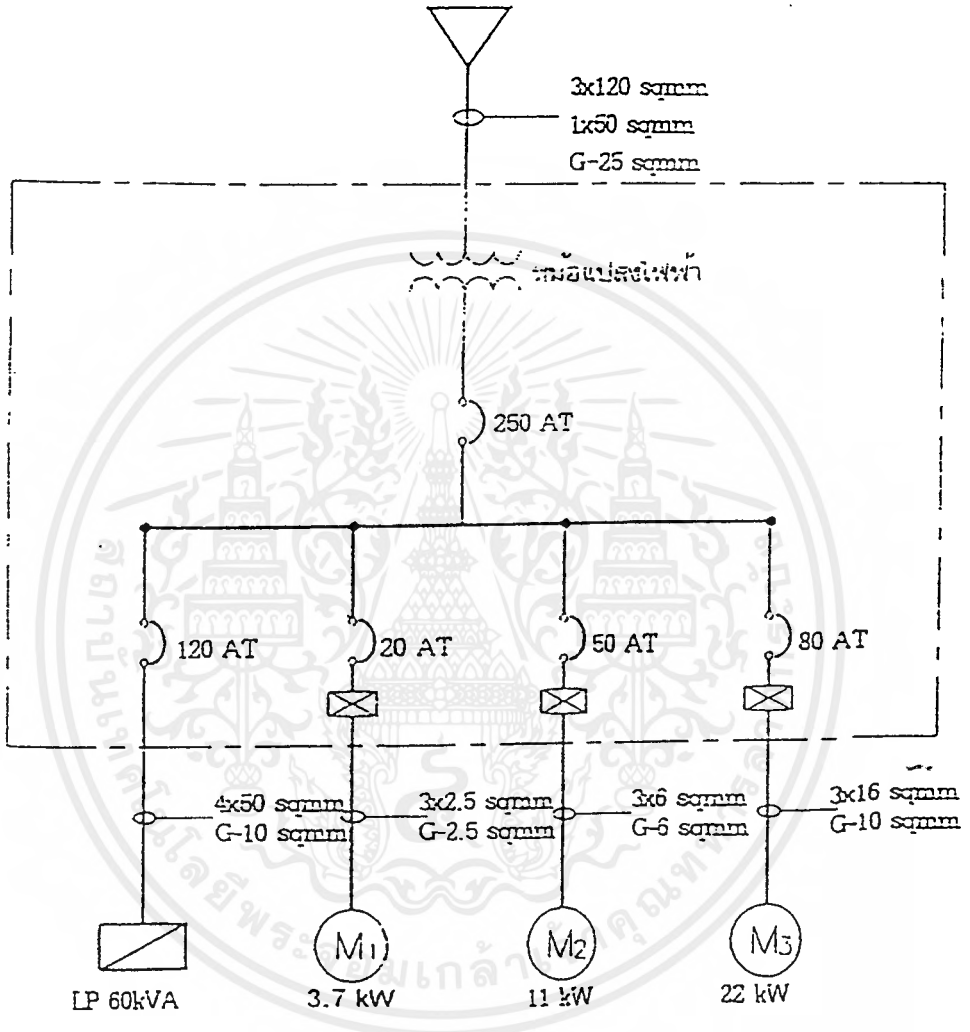
= 196466.5 VA

∴ เลือกพิกัดของหม้อแปลงเท่ากับ 200 kVA

<u>หมายเหตุ</u> ค่า 1.5 เป็นการเผื่อโหลดสำหรับอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24174



รูปที่ 2.1 แสดงข้อมูลของอุปกรณ์ไฟฟ้าหลังจากที่ได้คำนวณแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการในการวิเคราะห์หากระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน ANSI/IEEE

3.1 การเกิดกระแสลัดวงจร

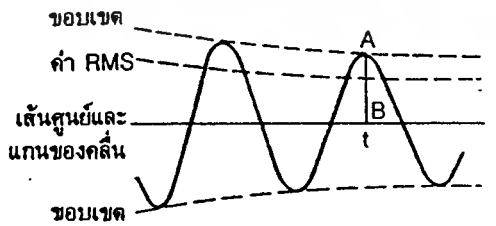
ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรขึ้นในระบบไฟฟ้า ความรุนแรงของกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น ณ จุดที่เกิดกระแสลัดวงจร จะขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า (source) ต่าง ๆ ในระบบ , ค่ารีแอกแตนซ์ของแหล่งกำเนิด ค่ารีแอกแตนซ์ของระบบจนถึงจุดที่เกิดการลัดวงจร ซึ่งแหล่งกำเนิดกระแสลัดวงจรได้แก่ ระบบไฟฟ้าที่จ่ายกำลัง (Utility System) หรือการไฟฟ้า , เครื่องกำเนิดไฟฟ้า , มอเตอร์ซิงโครนัส และมอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ ซึ่งแหล่งกำเนิดเหล่านี้มีผลต่อกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น ณ จุดที่เกิดการลัดวงจร

3.2 แหล่งกำเนิดกระแสลัดวงจร

1. ระบบไฟฟ้าที่จ่ายกำลัง (Electric Utility) จะจ่ายพลังงานให้แก่หม้อแปลง เพื่ออาศัยหม้อแปลงในการลดแรงดันไฟฟ้าลงมา แต่หม้อแปลงไม่ใช่แหล่งกำเนิดกระแสลัดวงจร เพราะว่าตัวหม้อแปลงเองเป็นเพียงตัวเปลี่ยนขนาดของแรงดันหรือขนาดของกระแสเท่านั้น ดังนั้นกระแสลัดวงจรที่เกิดจากระบบไฟฟ้าที่จ่ายกำลังจะถูกผ่านออกมาจากหม้อแปลง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิและเปอร์เซนต์อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง เนื่องจากว่าระบบไฟฟ้าที่จ่ายกำลังนั้นจะมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของตัวกำเนิดกระแสลัดวงจรตัวอื่น ๆ มาก ดังนั้นขนาดของกระแสลัดวงจรที่เกิดจากระบบไฟฟ้าที่จ่ายกำลังจึงมีค่าสม่ำเสมอ

ในกรณีที่พิจารณาถึงกระแสลัดวงจรนั้นจะหมายถึงกระแสในค่าRMS. หรือค่าจริงของสัญญาณรูปไซน์นั่นเอง โดยสัญญาณคลื่นจะแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ

ก. กระแสสมมาตร หมายถึงกระแสสลับที่สมดุลรอบแกนศูนย์ ดังรูป 3.1



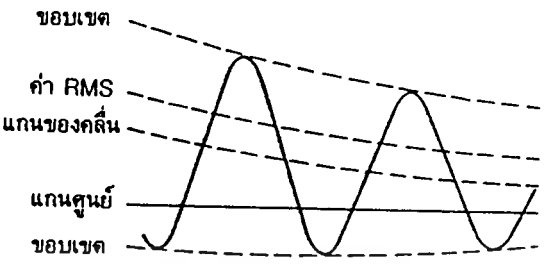
$$\text{ค่า RMS ที่เวลา T} = \frac{\text{ค่าสูงสุดที่เวลา T}}{1.414}$$

$$AB = \text{ค่าสูงสุดที่เวลา T}$$

รูปที่ 3.1 แสดงรูปคลื่นแบบไซน์ของกระแสสมมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. กระแสไม่สมมาตร หมายถึงกระแสสลับที่ไม่สมดุลรอบแกนศูนย์ ดังรูป 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงรูปคลื่นแบบไซน์ของกระแสไม่สมมาตร

2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ในขณะที่เกิดการลัดวงจรนั้นทั้งตัวต้นกำลัง (prime mover) และกระแสกระตุ้น (excite field) ก็ยังคงมีอยู่ ดังนั้นกระแสลัดวงจรที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกกำหนดโดยค่ารีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตลอดจนขึ้นอยู่กับค่าตัวประกอบในวงจรที่อยู่ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับจุดที่เกิดการลัดวงจร

ค่ารีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามี 3 แบบ

ก. X_d'' = direct axis subtransient reactance จะเป็นค่ารีแอกแตนซ์ของขดสเตเตอร์ (stator winding) โดยจะเกิดขึ้นทันทีที่เกิดกระแสลัดวงจรขึ้น และจะเป็นตัวกำหนดกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นภายในช่วง 1-2-3 ไซเคิลแรกหลังจากการเกิดลัดวงจร

ข. X_d' = direct axis transient reactance จะเป็นค่าที่กำหนดกระแสลัดวงจร ที่เกิดขึ้นในระยะเวลา 1-2 ไซเคิล

ค. X_d = direct axis synchronous reactance ค่านี้จะเป็นตัวกำหนดการไหลของกระแสลัดวงจรในช่วงสถานะอยู่ตัว (steady state) ซึ่งจะไม่มีผลอะไร ค่ารีแอกแตนซ์ค่านี้จะนำมาพิจารณาหลังจากที่เกิดการลัดวงจรผ่านไปแล้วหลายวินาที ดังนั้นส่วนใหญ่จึงไม่นิยมใช้ค่านี้ในการคำนวณหากระแสลัดวงจร

ค่ารีแอกแตนซ์ที่กล่าวมาแล้วนี้เมื่อนำมาเขียนถึงผลของกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นดังรูป จะเห็นได้ว่ากระแสลัดวงจรจะค่อย ๆ ลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียล (exponential) จนเข้าสู่ช่วงสภาวะอยู่ตัว (steady state) โดยค่ารีแอกแตนซ์จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับเวลา (ค่า X_d'' และ X_d' จะถูกกำหนดมาโดยโรงงานผู้ผลิต) จึงพอจะกล่าวได้ว่าผลของกระแสลัดวงจรจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีค่าสูงและลดลงสู่ค่าปกติค่าหนึ่ง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับรีแอกแตนซ์ของวงจรนั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ซิงโครนัสมอเตอร์ (Synchronous Motor) เนื่องจากลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดซิงโครนัสและซิงโครนัสมอเตอร์มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ดังนั้นเมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นอิทธิพลของโหลดจะทำให้ซิงโครนัสมอเตอร์ค่อย ๆ หยุดหมุนลง และยังคงมีแรงเฉื่อยซึ่งทำตัวคล้ายกับเป็นตัวต้นกำลังในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งในลักษณะนี้จะถือว่าซิงโครนัสมอเตอร์ได้กลายเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้นก็จะเกิดกระแสลัดวงจรขึ้นในช่วงหลายไซเคิล

ค่ารีแอกแตนซ์ทั้ง 3 ของซิงโครนัสมอเตอร์ (X_d'' , X_d' , X_d) สามารถอธิบายได้ในลักษณะเดียวกับของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ค่ารีแอกแตนซ์ทั้ง 3 นี้ของซิงโครนัสมอเตอร์จะแตกต่างกันมากกว่าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4. มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ (Induction Motor) เนื่องจากมอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำจะทำงานได้ต้องอาศัยหลักการกระตุ้นสนาม (Excited Field) ที่ได้จากผลของการเหนี่ยวนำจากสเตเตอร์ (Stator) ซึ่งไม่ใช่จากขดกระตุ้นกระแสตรง (DC field winding) ดังนั้นเมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้น กระแสจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ก็จะพุ่งไปสู่จุดที่เกิดการลัดวงจร เพราะฉะนั้นสนามแม่เหล็ก (Flux) ของมอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำก็จะลดลงอย่างรวดเร็วจนทำให้มอเตอร์หยุดหมุนภายในช่วง 2-3 ไซเคิลนับจากเกิดการลัดวงจร ซึ่งในกรณีเช่นนี้กระแสลัดวงจรก็จะลดลงจนเป็นศูนย์เมื่อเวลาผ่านไป 2-3 ไซเคิล ดังนั้นค่ารีแอกแตนซ์ของมอเตอร์ก็จะพิจารณาเฉพาะค่า X_d'' เท่านั้น โดยจะมีค่าใกล้เคียงกับล็อคโรเตอร์ รีแอกแตนซ์ (Locked Rotor Reactance)

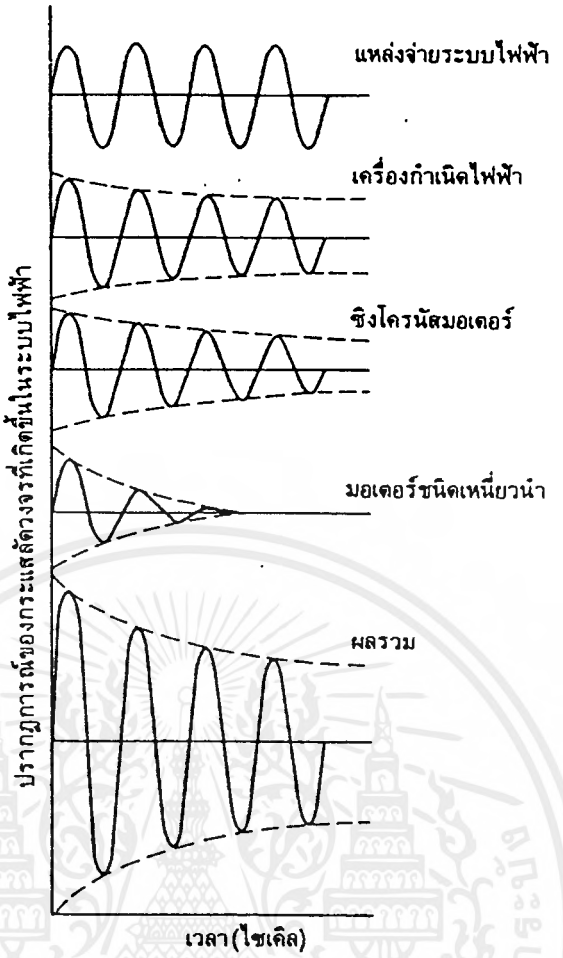
ผลของกระแสลัดวงจรอันเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ จะแสดงไว้ดังรูปที่ 3.3 โดยอิทธิพลของเวลาจะมีผลต่อช่วงของการเกิดการลัดวงจร ซึ่งจะทำให้เกิดลักษณะของคลื่นที่แตกต่างกันคือ กระแสรูปไซน์แบบสมมาตรและกระแสรูปไซน์แบบไม่สมมาตร

3.2.1 กระแสสมมาตรและกระแสไม่สมมาตร

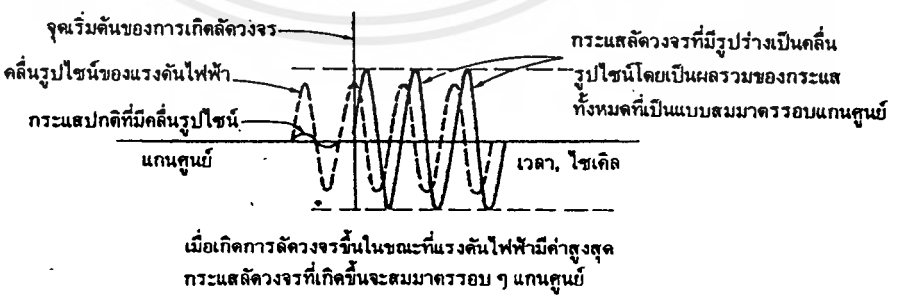
ในกรณีที่ระบบเกิดการลัดวงจรขึ้น กระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นจะเป็นกระแสลัดวงจรแบบไม่สมมาตรในช่วง 1-2-3 ไซเคิลแรกหลังจากการเกิดการลัดวงจรขึ้น กระแสลัดวงจรแบบไม่สมมาตรจะมีค่ามากอยู่ในช่วงไซเคิลแรก ๆ และหลังจาก 2-3 ไซเคิลต่อมาจะค่อย ๆ เริ่มเข้าสู่กระแสลัดวงจรแบบสมมาตรต่อไป

กรณีที่เกิดการลัดวงจรในขณะที่แรงดันไฟฟ้าของวงจรมีค่าสูงสุด กระแสลัดวงจรจะเริ่มที่ค่าเกือบศูนย์ และจะมีค่าเพิ่มขึ้นในลักษณะของรูปไซน์และทำมุม 90° (ต่างเฟส) กับแรงดันไฟฟ้า และผลของการที่เกิดการลัดวงจรในลักษณะนี้จะเป็นแบบสมมาตรรอบๆ แกนศูนย์ (Symmetrical about Zero Axis) ดังรูป 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



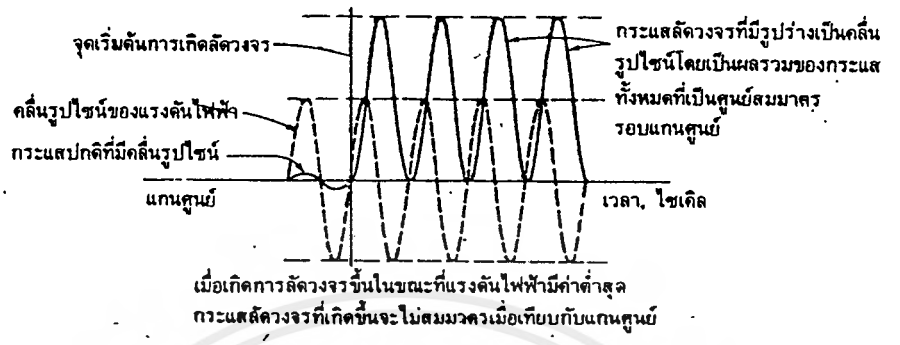
รูปที่ 3.3 ค่ากระแสลัดวงจรแบบสมมาตร จะมีค่าเท่ากับผลบวกของกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดอื่นๆ ทั้งหมด



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของสมมาตรโดยจะเกิดขึ้นเมื่อขณะเกิดการลัดวงจรมีค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ค่าสูงสุด

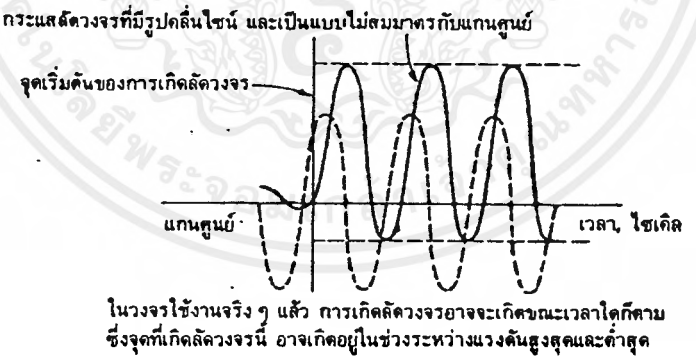
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่เกิดการลัดวงจรในขณะที่แรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ศูนย์ กระแสลัดวงจรจะเริ่มต้นที่ค่าศูนย์ กระแสจะล้าหลัง (lag) แรงดันไฟฟ้าเป็นมุม 90° และจะเป็นลักษณะของกระแสลัดวงจรแบบไม่สมมาตร ดังรูป 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของการไม่สมมาตร โดยจะเกิดขึ้นเมื่อขณะเกิดการลัดวงจรนั้นค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ค่าต่ำสุด

กรณีที่เกิดการลัดวงจรขึ้นในขณะที่แรงดันอยู่ระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดกระแสลัด วงจรที่เกิดขึ้นคือ กระแสไม่สมมาตรที่มีกระแสตรงเข้ามาประกอบ เพียงแต่ช่วงของการเปลี่ยนแปลงรูปคลื่นของกระแสลัดวงจรนี้อาจจะขยับได้ ดังรูป 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น ณ จุดที่มีแรงดันไฟฟ้ามีค่าอยู่ระหว่างสูงสุดและต่ำสุด

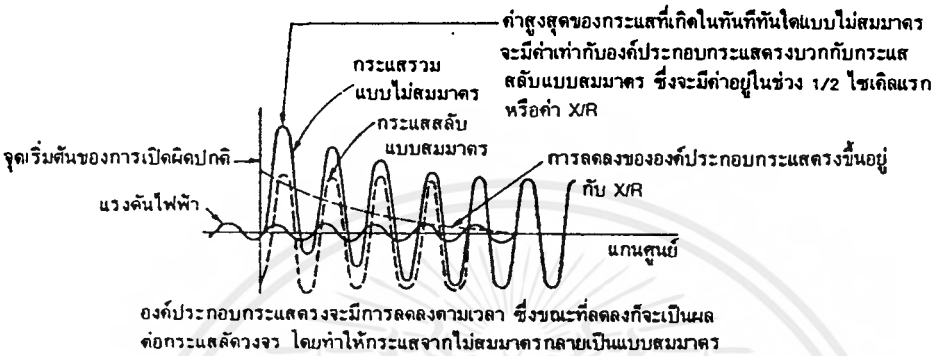
ส่วนรูป 3.7 จะแสดงถึงผลของกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นโดยเริ่มต้นจากแบบไม่สมมาตรในไซเคิลแรก ๆ หลังจากนั้น 2-3 ไซเคิลต่อมาก็จะกลายเป็นแบบสมมาตร ทั้งนี้เนื่องจากค่าองค์ประกอบกระแสตรงได้ลดลง ค่าองค์ประกอบกระแสตรงนี้จะถือว่าเป็นตัวทำให้เกิดความสูญเสีย (I^2R) ภายในวงจรก็ได้ โดยค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบกระแสตรงจะขึ้นกับอัตราส่วน X/R (ค่า X,R คือค่ารีแอกแตนซ์และค่าความต้านทาน ที่อยู่ระหว่างแหล่งกำเนิดกับจุดที่เกิดการลัดวงจร) จะเห็นได้ว่า

R=0 X/R = ∞ องค์ประกอบกระแสตรงจะไม่ลดลง

X=0 X/R = 0 องค์ประกอบกระแสตรงจะลดลงอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 3.7 แสดงองค์ประกอบกระแสตรง

3.3 การวิเคราะห์หาค่ากระแสลัดวงจรโดยวิธีคิดโดยตรง(by the Direct Method)

ก่อนอื่นจะต้องได้รับวันไลน์ไดอะแกรมของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีข้อมูลครบถ้วน ดังแสดงในรูปที่ 3.16 จากรูปจะแสดงให้เห็นข้อมูลที่จำเป็นที่จะใช้ในการคำนวณเพื่อหาผลลัพธ์ การคำนวณโดยวิธีนี้จะอยู่บนพื้นฐานการคำนวณทางไฟฟ้าทั่ว ๆ ไป โดยจะเปรียบการไหลของกระแสลัดวงจรเป็นเสมือนการไหลของกระแสน้ำจากต้นกำเนิดไปยังตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ กฎของโอห์มจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณมากที่สุด แต่ก็จะคงหลักการของเปอร์เซ็นอิมพีแดนซ์เพื่อใช้ในการคำนวณด้วย โดยค่าเปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์นี้จะแสดงถึง เปอร์เซ็นต์ของแรงดันปกติ ที่จ่ายให้กับขดลวดทางไพรมารี่ของหม้อแปลงหรือจ่ายให้กับที่อื่น ๆ แล้วจะก่อให้เกิดกระแสโหลดสูงสุด ไหลเข้าสู่วงจรทางเซคดันดารี่ ซึ่งถูกลัดวงจรเอาไว้ สำหรับค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดนั้นจะหาได้จากการจ่ายแรงดันที่พิกัด โดยจะเท่ากับผลคูณระหว่างกระแสโหลดสูงสุดกับอัตราส่วนระหว่าง 100% กับ ค่าเปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์ทั้งหมด ด้วยกระบวนการเช่นนี้การรวมค่าของรีแอกแตนซ์และค่าความต้านทานนั้นต้องแยกคิด แล้วนำค่ารวมของทั้งสองค่ามาทำการคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์รวมต่อไป

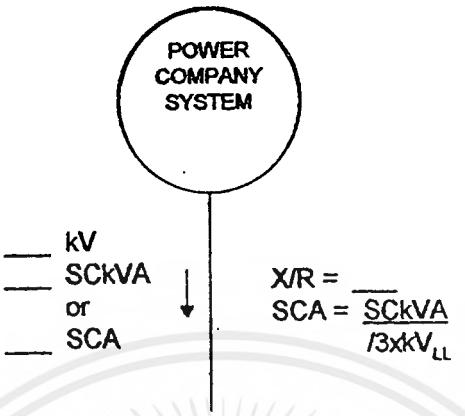
3.3.1 กรรมวิธีการวิเคราะห์

ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ในระบบจะถูกทำเครื่องหมายไว้ในวันไลน์ไดอะแกรม ถัดมาก็จะทำการวิเคราะห์ที่ต้นกำเนิดกระแสลัดวงจรต่าง ๆ เพื่อทำการหาค่ากระแสลัดวงจรจากต้นกำเนิดนั้น ๆ ที่บัสต่าง ๆ ในระบบ โดยทำการวิเคราะห์ในแต่ละส่วนจากบัสหนึ่งไปยังอีกบัสหนึ่ง ดังตัวอย่างที่จะแสดงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การหาค่ากระแสลัดวงจรในลักษณะต่าง ๆ (ค่า SCA = short circuit amperes หรือค่ากระแสลัดวงจร)

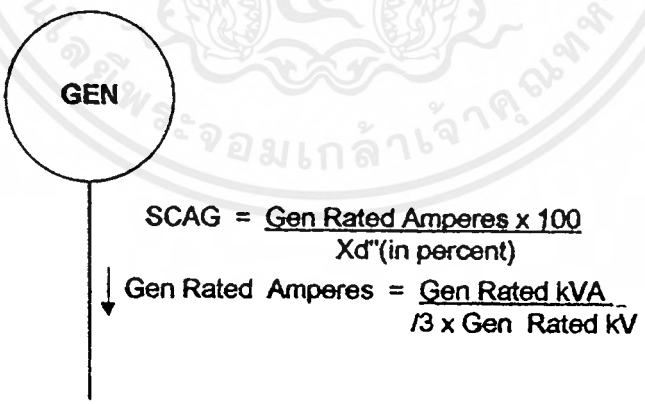
3.4.1 กระแสลัดวงจรจากการจำหน่ายไฟของการไฟฟ้า



รูปที่ 3.8 กระแสลัดวงจรจากการจำหน่ายไฟของการไฟฟ้า

การไฟฟ้าจะบอกให้ผู้ใช้ไฟได้ทราบถึงค่ากำลังการลัดวงจรแบบสมมาตร (Symmetrical Short-circuit kVA) ซึ่งสามารถที่จะเกิดขึ้นได้ ณ ตำแหน่งที่ต่อเข้ากับการจ่ายไฟของการไฟฟ้า ค่าฟอลต์มากสุดนี้จะเป็นค่าที่เป็นไปได้ในสภาวะที่แรงดันไฟปกติ และค่ากระแสลัดวงจรที่สภาวะอยู่ตัว (steady-state) และจะเป็นค่าที่จะส่งผลต่อการจำหน่ายไฟโดยตรง

3.4.2 กระแสลัดวงจรจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

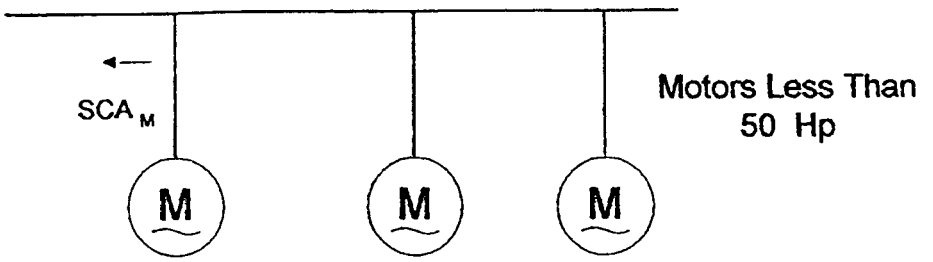


รูปที่ 3.9 กระแสลัดวงจรจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ค่าต่าง ๆ จะมีค่าหลากหลายพอควรขึ้นกับการออกแบบ ค่า X"d นั้นจะทราบได้จากข้อมูลของผู้ผลิตโดยส่วนมาก และหากค่าที่ได้เป็นค่า "per-unit" ก็ให้คูณด้วยค่า 100 เพื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 กระแสลัดวงจรจากมอเตอร์ที่น้อยกว่า 50 hp

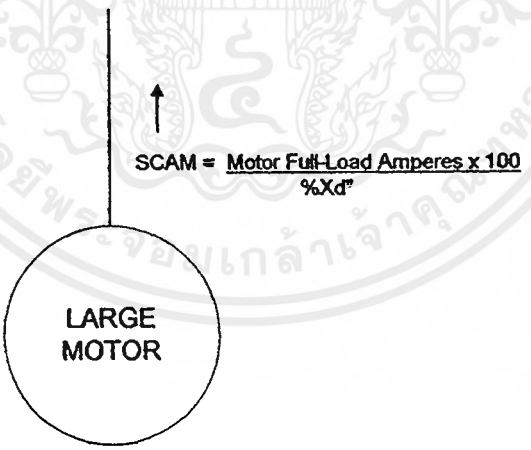


SCA M = 4 x sum of Motor Full-Load Amperes

รูปที่ 3.10 กระแสลัดวงจรจากมอเตอร์ที่น้อยกว่า 50 hp

โดยทั่วไปสำหรับโหลดมอเตอร์ขนาดเล็กมักจะนิยมคิดค่าการลัดวงจรรวมกันเลยที่แต่ละตำแหน่ง และมักจะพิจารณาว่าเป็นโหลดที่ทำงานอย่างไม่ต่อเนื่อง ตัวคูณ 4 ข้างต้นนั้นถูกใช้อย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม และค่าตัวคูณนี้ก็จะมีค่ามากยิ่งขึ้นหากว่าเราพิจารณามอเตอร์ที่ตัวใหญ่กว่านี้ดังรูป 3.11

3.4.4 กระแสลัดวงจรจากมอเตอร์ขนาดใหญ่มากกว่า 50 hp



รูปที่ 3.11 กระแสลัดวงจรจากมอเตอร์ขนาดใหญ่มากกว่า 50 hp

Motor Rated kVA = Motor Rated hp (for 80 % power factor)

Motor Rated kVA = 0.8 Motor Rated hp(for 100 % power factor)

$$\text{Motor Full-Load Amperes} = \frac{\text{Motor Rated kVA}}{\sqrt{3} \times \text{Motor Rated kV}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณจะต้องแยกคิดค่ากระแสลัดวงจรของมอเตอร์แต่ละตัวออกจากกัน โดยค่ากระแสลัดวงจรนั้นจะสามารถหาได้หากทราบค่า Sub transient reactance โดยถ้าอยู่ในหน่วยของ per-unit ก็ให้คูณด้วย 100 เพื่อทำเป็นเปอร์เซ็นต์ แต่ว่าถ้าหากว่าไม่ทราบค่าของ Sub transient reactance แล้วละก็เราก็สามารถที่จะทำการคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรโดยวิธีการประมาณค่าได้ดังนี้

ค่ากระแสลัดวงจรจากมอเตอร์ขนาดใหญ่โดยประมาณ

1. อินดักชันมอเตอร์ (Large Induction Motors)

SCA_M = Locked-Rotor Amperes

หรือ = $\frac{\text{Code Letter Multiple x hp}}{\sqrt{3} \text{ x Motor Rated kV}}$

หรือ = 5 x Full-Load Amperes

โดยตามมาตรฐานของ NEC และ NEMA นั้นระบุ Code Letter ดังนี้

Letter	Multiple	Letter	Multiple	Letter	Multiple
A	3.15	H	7.1	R	16.0
B	3.55	J	8.0	S	18.0
C	4.0	K	9.0	T	20.0
D	4.5	L	10.0	U	22.4
E	5.0	M	11.2	V	OVER22.4
F	5.6	N	12.5		
G	6.3	P	14.0		

2. ซิงโครนัสมอเตอร์ขนาดใหญ่ (Large Synchronous Motor)

SCA_M = 6.7 x Motor Full-Load Amperes for 1200 rpm

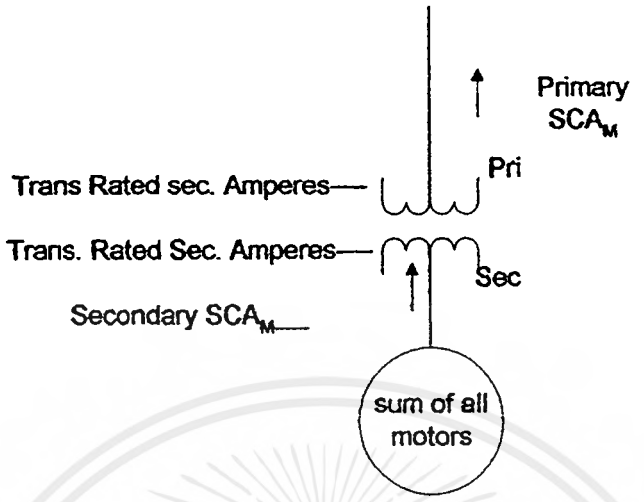
= 5 x Motor Full-Load Amperes for 514-900 rpm

= 3.6 x Motor Full-Load Amperes for 450 rpm or less

โดยถ้าหากว่าไม่ทราบความเร็วซิงโครนัสก็จะถือว่าอยู่ในย่าน 514-900 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 การหาค่ากระแสลัดวงจรที่ไหลจากทางเซคคันดารี่ไปยังทางไพรมารี่ของหม้อแปลง



รูปที่ 3.12 การหาค่ากระแสลัดวงจรที่ไหลจากทางเซคคันดารี่ไปยังทางไพรมารี่ของหม้อแปลง

<u>การคำนวณแบ่งได้เป็นค่าโดยประมาณกับค่าแท้จริง</u>

1. ค่าโดยประมาณ

$$\text{Primary SCA}_M = \frac{\text{Trans. Rated Pri. Ampere}}{\text{Trans. Rated Sec. Amperes}} \times \text{Secondary SCA}_M$$

เมื่อ L.V. เท่ากับ 240 V หรือมากกว่า Pri. SCA_M = 3.5 x Transformer primary A (หมายเหตุ 3)

เมื่อ L.V. เท่ากับ 208 V หรือต่ำกว่า Pri. SCA_M = 2 x Transformer primary A

2. ค่าแท้จริง

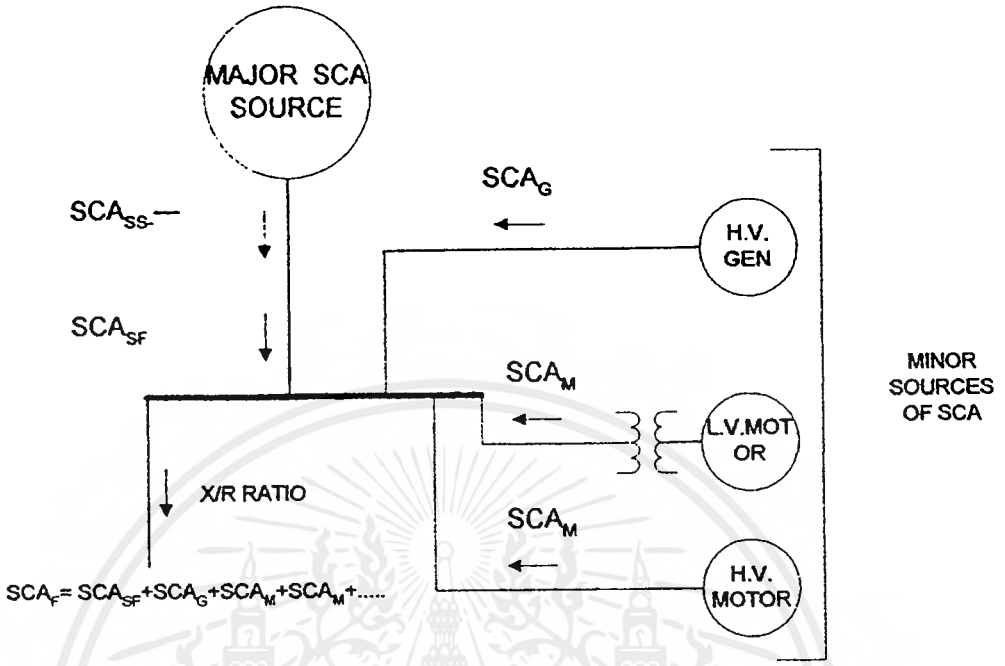
$$\text{Primary SCA}_M = \frac{\text{Trans. Rated Pri. Amperes}}{\frac{\text{Trans.\%Z}}{100\%} + \frac{\text{Trans. Rated Sec. Amperes}}{\text{Secondary SCA}_M}}$$

<u>หมายเหตุ</u>

1. มอเตอร์จะก่อให้เกิดค่ากระแสลัดวงจรซึ่งจะสามารถไหลไปยังทางด้านไพรมารีของหม้อแปลง
2. การคำนวณจะง่ายขึ้นหากว่าเราไม่คิดถึงค่าอิมพิแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า
3. จะใช้ได้เฉพาะกับหม้อแปลงที่มีโหลดเป็นหม้อแปลงตัวเล็ก ๆ เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.6 กระแสลัดวงจรทั้งหมดที่หาจากจุดเริ่มต้นของสายป้อน

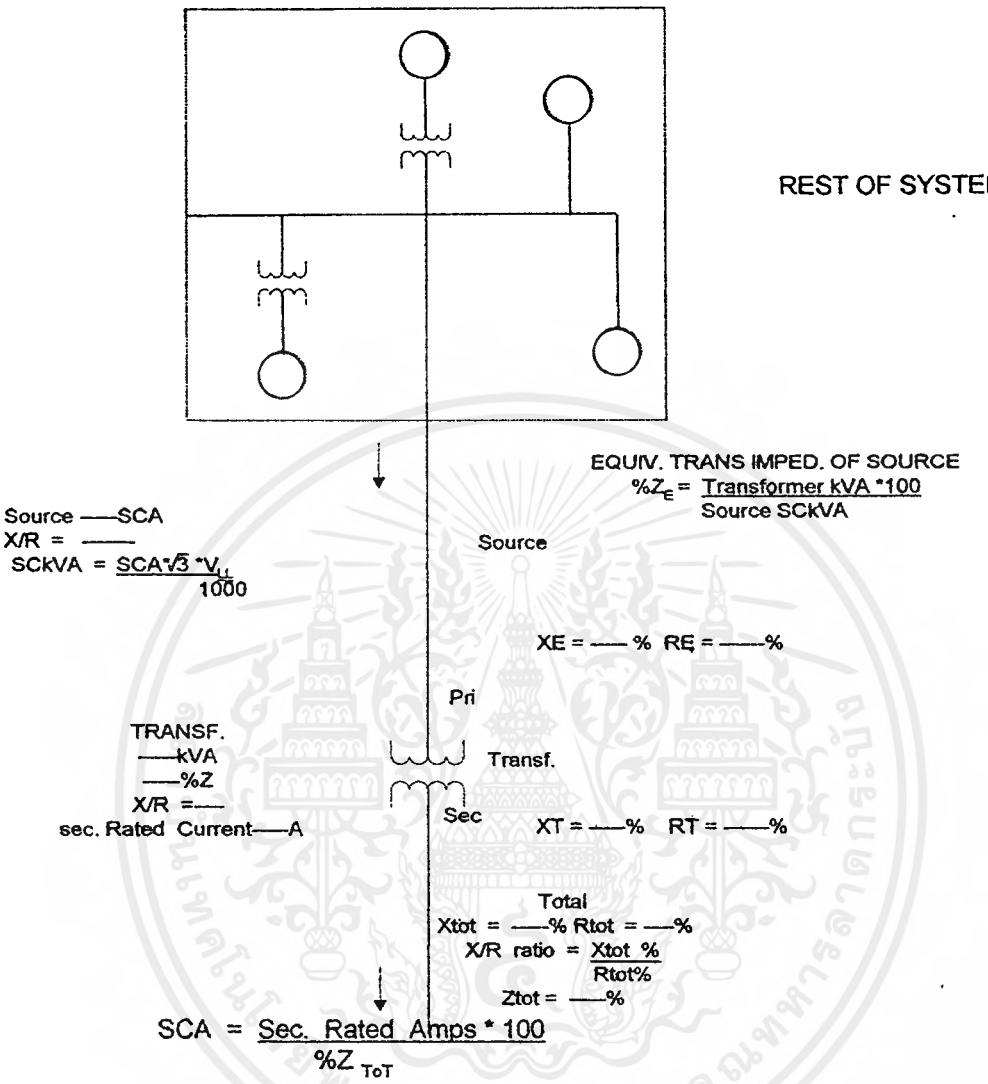


รูปที่ 3.13 กระแสลัดวงจรทั้งหมดที่หาจากจุดเริ่มต้นของสายป้อน

1. ค่า SCA_M ที่ตำแหน่งเริ่มต้นของแต่ละสายป้อนคือการรวมค่าของ SCA จากแหล่งกำเนิดกระแสลัดวงจรต่าง ๆที่ต่อเข้าถึงกันอยู่
2. ค่า SCA_M ที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดกระแสลัดวงจรต่าง ๆ จะถูกลดค่าลงด้วยค่าอิมพิแดนซ์ของตัวนำที่มันไหลผ่าน แต่ว่าบางทีเราก็สามารถละสิ่งนี้ทิ้งได้เพื่อความสะดวก ในการคำนวณ โดยค่า SCA ที่คำนวณได้จะมีค่ามากกว่าค่าที่แท้จริง ซึ่งก็นับว่าปลอดภัยดีอยู่ แต่ก็ส่งผลให้อุปกรณ์ป้องกันก็จะใหญ่โตเกินความจำเป็น
3. การบวกค่า SCA นั้นก็บวกตามหลักคณิตศาสตร์ธรรมดา
4. ค่า X/R ที่ต้นสายป้อนนั้นสามารถที่จะใช้ค่า ของต้นกำเนิดกระแสลัดวงจรที่มีค่ามากที่สุดได้เลย
5. ตามหลักการแล้วค่า SCA นั้นจะต้องบวกกันด้วยหลักการของ เวกเตอร์ แต่ด้วยว่าเนื่องจากค่าอิมพิแดนซ์ส่วนใหญ่นั้นจะมีค่ารีแอกแตนซ์มากกว่าค่าความต้านทานมากจึงถือว่าเวกเตอร์นั้นมีทิศเดียวกันก็ย่อมได้ ส่งผลให้เราสามารถที่จะบวกตามหลักคณิตศาสตร์ได้เลย ซึ่งมันก็จะให้ค่าที่ปลอดภัยเนื่องจากผลการคำนวณตามหลักคณิตศาสตร์จะไม่ทำให้ค่าที่ได้มีค่าน้อยกว่าการบวกกันด้วยหลักการของเวกเตอร์เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.7 การหาค่ากระแสทางเซคคันดารี่ของหม้อแปลง



รูปที่ 3.14 การหาค่ากระแสทางเซคคันดารี่ของหม้อแปลง

ในการหาค่า SCA ที่ไหลไปยัง เซคคันดารีของหม้อแปลงนั้นจะต้องหาค่าอิมพีแดนซ์สมมูลของแหล่งกำเนิดกระแสลัดวงจรเพื่อนำไปบวกเข้ากับค่าอิมพิแดนซ์ของหม้อแปลงโดยสามารถคำนวณได้ดังนี้โดยทำการหาค่า X/R ของระบบก่อน

- หาค่ารีแอกแตนซ์สมมูล และค่าความต้านทานสมมูลได้ดังนี้

$$\%X_E = \frac{\sin(\arctan X/R) \times 100 \times \text{trans. KVA}}{\text{SC kVA}} \qquad \%R_E = \frac{\%X_E}{X/R \text{ ratio}}$$

- คำนวณค่ารีแอกแตนซ์และค่าความต้านทานของหม้อแปลง

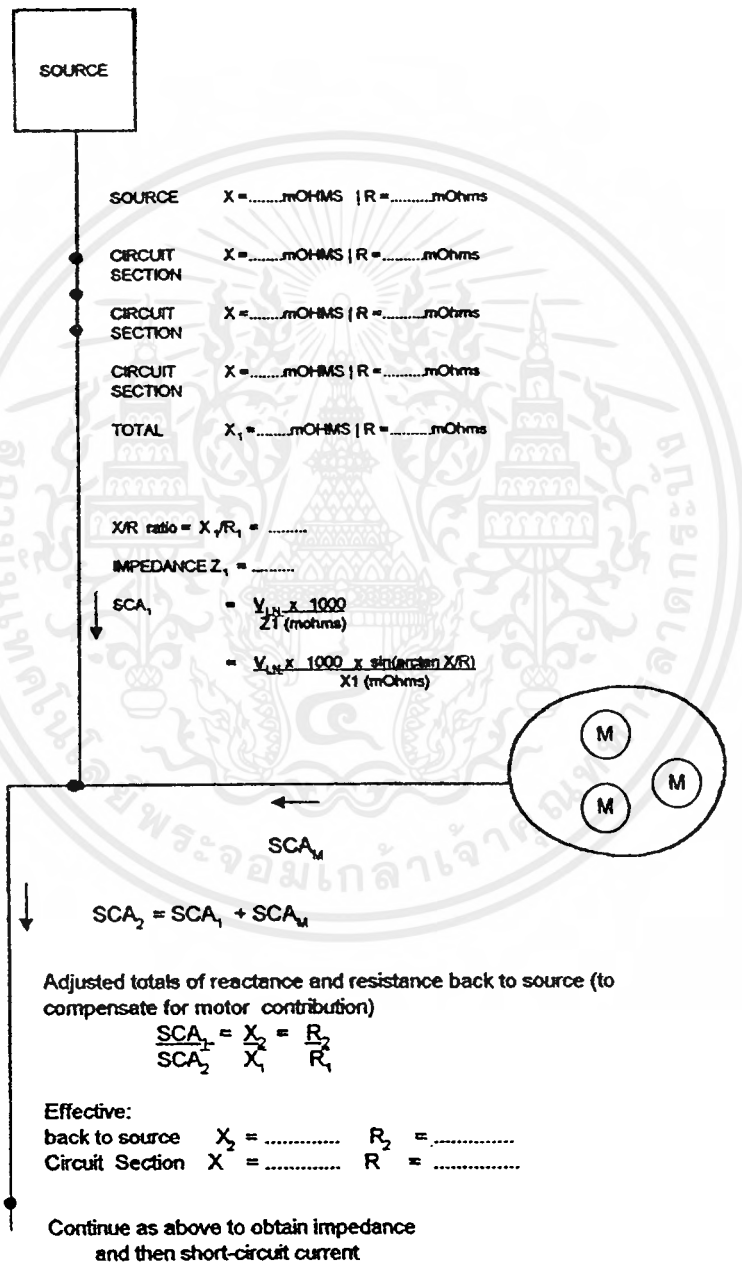
$$\%X_T = \sin(\arctan X/R) \times \%Z_T \qquad \%R_T = \frac{\%X_T}{X/R \text{ ratio}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำค่ารีแอกแตนซ์ และค่าความต้านทานที่ได้มารวมกันและหาค่าอิมพิแดนซ์รวม

$$\%Z_{ToT} = \frac{\%X_{ToT}}{\sin(\arctan X/R)}$$

3.4.8 การคำนวณหากระแสลัดวงจรบนสายป้อน



รูปที่ 3.15 การคำนวณหากระแสลัดวงจรบนสายป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับค่าอิมพิแดนซ์ของเคเบิลในระดับแรงดันขนาดกลางนั้นโดยทั่วไปจะไม่นิยมเอามาคิดคำนวณเพราะจะส่งผลต่อการคำนวณเพียงน้อยนิดเท่านั้นแต่ถ้าหากว่าสายนั้นมีขนาดยาวมากก็ควรจะนำมาพิจารณาคำนวณด้วย ส่วนค่าอิมพิแดนซ์ของเคเบิลแรงดันต่ำนั้นจะถือว่ามีความสำคัญยิ่ง และควรจะนำมาคิดด้วยถ้าสายนั้นไม่มีขนาดสั้นมากจริง ๆ

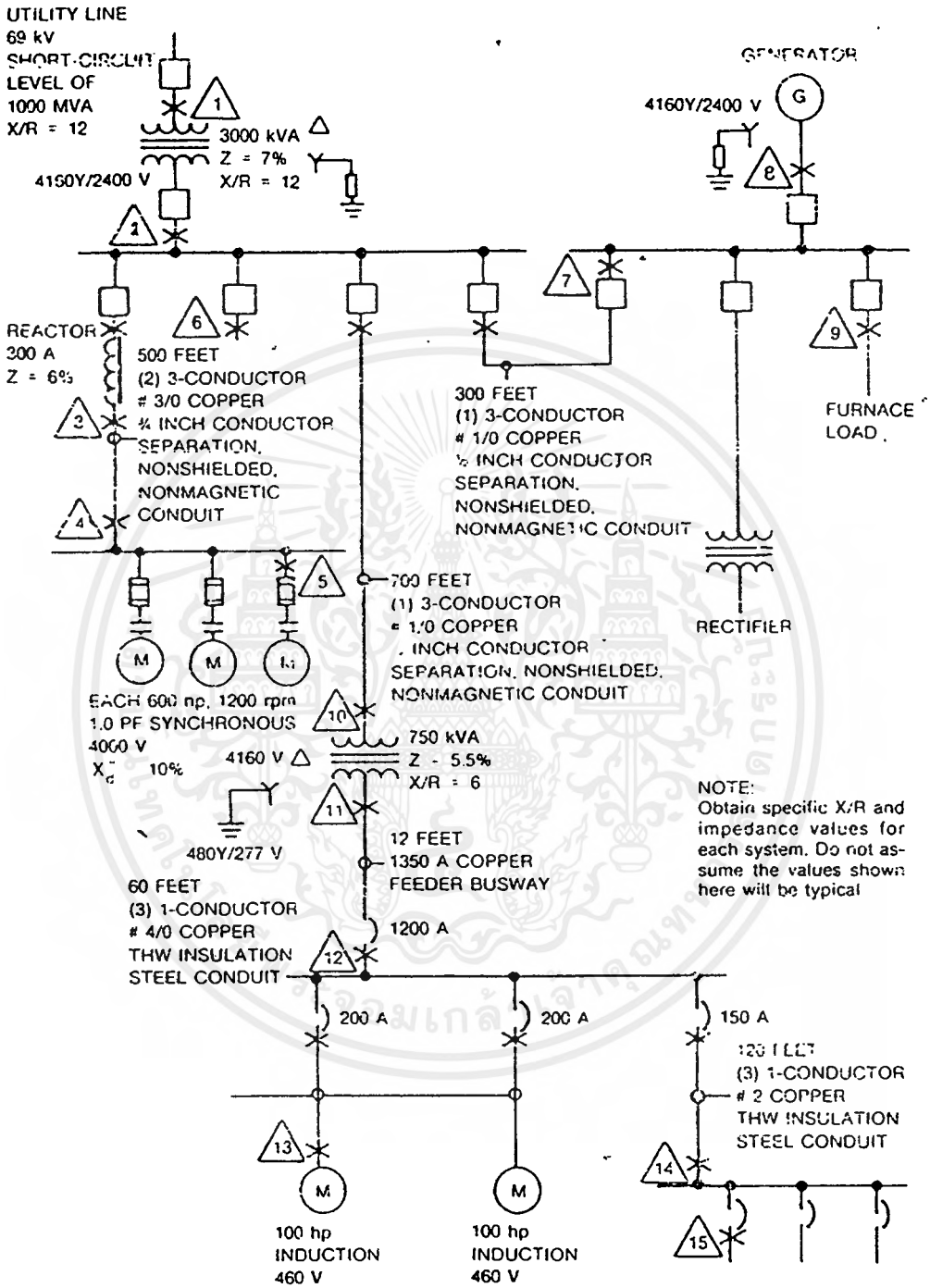
ในการรวมค่าทางคณิตศาสตร์นั้นจะแยกกันระหว่างค่ารีแอกแตนซ์และค่าความต้านทาน แล้วก็จะนำค่ารวมนั้นมาหาค่า X/R แล้วค่อยนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าอิมพิแดนซ์รวมอีกที

$$Z = \frac{X}{\text{Sin}(\arctan X/R)}$$

และในการคำนวณก็จะใช้กฎของโอห์มโดยกระแสก็จะเท่ากับอัตราส่วนระหว่างแรงดันกับอิมพิแดนซ์ในแต่ละเฟส ค่าที่ได้ก็จะนำมาบวกกันตามหลักคณิตศาสตร์ และด้วยอาศัยหลักการของโอห์มเช่นกันเมื่อพิจารณาให้แรงดันไฟฟ้าคงที่ก็จะได้ว่ากระแสจะแปรผกผันกับค่าอิมพิแดนซ์ก็จะได้ความสัมพันธ์ดังรูปข้างต้น ซึ่งจะช่วยในการหาค่าตัวแปรที่เหลือได้

เรายังสามารถที่จะคำนวณหาค่า รีแอกแตนซ์ และค่าความต้านทานที่วัดจากสายป้อนกลับไปยังแหล่งกำเนิดกระแสลัดวงจรได้อีกด้วยนั่นเอง (ดังในรูปคือค่า X2 และ R2) เพื่อที่จะนำเอาไปใช้ในการคำนวณหาที่วงจรต่อ ๆ ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงวันไลน์ไดอะแกรมสำหรับตัวอย่างการคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ตัวอย่างแสดงการคำนวณกระแสลัดวงจรวิธีโดยตรง (by the Direct Method)

วิธีการนี้ถือเป็นการศึกษาในเรื่องกระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้าโดยย่อ จากรูป3.16 ซึ่งเป็นวันไลน์ไดอะแกรมที่ประกอบไปด้วยระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำและแรงดันขนาดกลาง ข้อมูลที่อยู่ในรูปเหล่านั้นจะถูกนำมาใช้สำหรับการอธิบาย ตัวอย่างการคำนวณนี้ ตำแหน่งที่เกิดฟอลท์ขึ้นในระบบจะถูกระบุด้วยตัวเลขของบัส (Bus Number) ซึ่งในรูปนั้นประกอบไปด้วยตำแหน่งที่เกิดฟอลท์ทั้งหมด 14 ตำแหน่ง

วิธีการคำนวณจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอน

1. หาผลรวมของกระแสลัดวงจรในไซเคิลแรกที่ไหลจากมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปยังบัสที่โหลดนั้นต่ออยู่ โดยคำนวณจากโหลดขึ้นไปยังจุดที่เกิดการลัดวงจร ซึ่งมีการคำนวณในแต่ละบัสดังนี้

1) บัส 14 และ 15 ไม่มีมอเตอร์

2) บัส 13 อินดักชั่นมอเตอร์ 100 kVA , 100 hp , Power Factor 80 %

$$SCA_M = 5 \cdot I_{FL} = 5 \cdot \frac{100\ kVA}{\sqrt{3} \times 0.46\ kV}$$

$$= 628\ SCA$$

3) บัส 11 และ 12

$$SCA_M = 2 \times 628\ A = 1256\ SCA$$

4) บัส 10

$$\text{Transformer Primary Amperes} = \frac{750\ kVA}{\sqrt{3} \times 4.16}$$

$$= 104.09\ A$$

$$\text{Transformer Rated Secondary Amperes} = \frac{750\ kVA}{\sqrt{3} \times 0.480}$$

$$= 902.01\ A$$

$$SCA_M = \frac{104.09A}{\frac{5.5\ \%}{100\ \%} + \frac{902.11\ A}{1256\ A}}$$

$$= 135\ SCA$$

5) บัสที่ 9 ไม่มีมอเตอร์ต่ออยู่

6) บัสที่ 7 และ 8 มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่คำนวณได้ดังนี้

$$\text{Generator Rated Amperes} = \frac{625\ kVA}{\sqrt{3} \times 4.16\ kV}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 86.74 \text{ A}$$

$$SCA_Q = \frac{86.74 \text{ A} \times 100\%}{9\%} = 964 \text{ SCA}$$

7) บัสที่ 6 ไม่มีมอเตอร์หรือแหล่งกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่

8) บัสที่ 5 มีซิงโครนัสมอเตอร์ขนาด 480 kVA (0.8 x 600 hp) โดยมีค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับ 100 % คำนวณได้ดังนี้

$$SCA_M = \frac{100\% \times I_{FL}}{10\%} = 10 \times \frac{480 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 4000\text{kV}} = 693 \text{ SCA}$$

9) บัสที่ 3 และ 4 จะมีขนาดกระแสลัดวงจรเท่ากับ 3 x 693 A = 2079 A

10) บัสที่ 2 เป็นค่ากระแสลัดวงจรที่สายป้อนที่ไหลมาจากมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากบัสที่ 3 ไหลผ่าน ตัวรีแอกเตอร์

$$Z_M = \frac{4000 \times 1000}{\sqrt{3} \times 2079} = 1.111 \text{ ohms}$$

$$Z_R = \frac{6\% \times 2400 \text{ V}}{100\% \times 300 \text{ A}} = 0.480 \text{ ohms}$$

SCA_M ที่ไหลผ่านตัวรีแอกเตอร์ $= \frac{1.111}{1.111 + 0.480} \times 2079 \text{ SCA} = 1452 \text{ SCA}$

Total SCA_M = 1452 SCA + 135 SCA + 964 SCA = 2551 SCA

11) บัสที่ 1 ไม่จำเป็นต้องคำนวณ

2. คำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรแบบสมมาตรในไซเคิลแรกของแต่ละบัส

ขั้นตอนถัดมาจะเริ่มการวิเคราะห์จากตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ โดยทำการหาค่ากระแสลัดวงจรที่แต่ละบัสในระบบ (เพื่อความง่ายในการคำนวณเราจะไม่คิดถึงค่าอิมพิแดนซ์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์) วิธีการคำนวณและสมการที่ใช้จะได้แสดงให้เห็นในตารางที่อยู่ถัดไป โดยจะเป็นที่สังเกตได้ว่าในการหาค่ากระแสลัดวงจรที่ไหลจากมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาที่ตำแหน่งต้นทางของแต่ละส่วน (Start of a segment) นั้นจะไม่รวมเอาค่ากระแสลัดวงจรจากโหลดที่ต่ออยู่กับส่วนนั้น

ตัวอย่างเช่น ในส่วนของบัสที่ 2-10 (ส่วนของการไหลของกระแสจากบัส 2 ไปยังบัส 10) นั้นจะพบว่ากระแสลัดวงจรจะมีค่าเท่ากับ 2551 SCA – 135 SCA = 2416 SCA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณหาค่าพิกัดกระแสอินเตอรัพติ้งของตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์

ขั้นตอนสุดท้ายคือการคำนวณหาค่าพิกัดของกระแสอินเตอรัพติ้ง เพื่อใช้สำหรับการพิจารณาเลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่เหมาะสม โดยสามารถพิจารณาได้ดังนี้คือหากว่าค่ากระแสลัดวงจรสมมาตรที่ไซเคิลแรกนั้นมีค่าไม่เกิน 80 % ของพิกัดกระแสอินเตอร์รัพติ้งของตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็จะถือว่าใช้ได้ไม่จำเป็นที่จะต้องคำนวณต่อไป แต่หากว่าค่าของกระแสลัดวงจรที่ได้นั้นมีค่าเกินจะต้องมีการคำนวณเพื่อหาค่าที่เหมาะสมต่อไป โดยสามารถจะพิจารณาได้ว่าค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นนั้นจะมีค่าลดลงตามเวลา ซึ่งจะทำให้เกิดค่าตัวคูณลดลง ดังตัวอย่างนี้ถ้าสมมุติว่ามีค่าเกินอยู่ที่ บัส 6 (โดยที่บัส 6 นี้มีตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีค่าอินเตอรัพติ้งคาปาซิตี้ เท่ากับ 12000 A) เราก็จะต้องทำการคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรสมมาตรใหม่ดังนี้

1) จากการไฟฟ้า จะมีค่าเท่าเดิมเท่ากับ 5703 SCA

2) จากตัวซิงโครนัสมอเตอร์ โดยจะไหลผ่านตัวรีแอกเตอร์ด้วยจะใช้ตัวคูณเท่ากับ 0.667

SCA_M = 0.667 x 2079 A = 1386 SCA

$Z_M = \frac{4000 \times 1000}{\sqrt{3} \times 1386} = 1.666$ ohms

Z_R = 0.480 ohms

SCA_M ที่ไหลผ่านตัวรีแอกเตอร์จะเท่ากับ $= \frac{1.666}{1.666 + 0.480} \times 1386$ SCA

= 1076 SCA

3) กระแสลัดวงจรที่ไหลจากตัวอินดักชันมอเตอร์ขนาด 100 แรงม้าไหลผ่านตัวหม้อแปลงด้วย จะใช้ตัวคูณเท่ากับ 0.333

Sec. SCA_M = 0.333 x 1256 SCA = 419 SCA

$SCA_M = \frac{104.09 \text{ A}}{\frac{5.5\%}{100\%} + \frac{902.11 \text{ A}}{419 \text{A}}}$ = 47 SCA

4) กระแสลัดวงจรจากตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 625 kVA ตัวคูณจะมีค่าเท่ากับ 1

SCA_G = 964 SCA

5) ผลรวมของกระแสลัดวงจรแบบสมมาตรทั้งหมดที่บัสที่ 6

SCA = 5703 SCA + 1076 SCA + 47 SCA + 964 SCA = 7790 SCA

ซึ่งค่านี้จะต่ำกว่า 80 % ของพิกัดกระแสอินเตอรัพติ้งของเซอร์กิตเบรกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการคำนวณหากระแสลัดวงจรแบบสมมาตรสูงสุด (SCA) ในระบบ 3ϕ เพื่อให้เป็นไปตามขั้นตอนและเพื่อความสะดวกจะแสดงโดยใช้ตาราง โดยจะกรอกค่าต่าง ๆ ที่ได้มาจากวันไลน์ไดอะแกรม หรือจากข้อมูลของอุปกรณ์ลงไป ส่วนค่าที่ได้จากการคำนวณจะมีสมการแสดงไว้

ตารางที่ 3.1 ตารางสำหรับการคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรโดยวิธีหาโดยตรง

Transformer Circuit Segment		
Source :	Busses	1 – 2
- SckVA	c . d ÷ 577.35 = a	1000000
- X/R Ratio	b	12
- SCA rms Sym.	c	8367.4
- Voltage (line to line)	d	69000
Transformer :		
- kVA 3ϕ	e	3000
- % Impedance	f	7
- X/R Ratio	g	12
- Secondary Voltage (line to line)	h	4160
Source :		
* Equivalent % X	sin(arctan b).100.e ÷ a = j	0.299
Equivalent % R	j ÷ b = k	0.025
Transformer :		
* % X	sin(arctan g).f = m	6.976
* % R	m ÷ g = n	0.581
At Transformer Secondary :		
* Total % X (Back to Source)	j + m = p	7.275
* Total % R (Back to Source)	k + n = q	0.606
* X/R Ratio (Back to Source)	p ÷ q = r	12
* SCA from Transformer	sin(arctan r).e.57735 ÷ h ÷ p = s	5703

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Conductor Circuit Segment							
Busses		2 - 3	3 - 4	4 - 5	2 – 6	2 – 7	7 – 8
Voltage (line to line)	a	4160	4160	4160	4160	4160	4160
Length (Feet)	b		500	0	0	300	0
Number of Conductor	c		2			1	
X mΩ/conductor/100ft	d		3.45			3.01	
R mΩ/conductor/100ft	e		6.60			10.49	
At finish of preceding upstream segment							
SCA from preceding upstream segment	f	5703	2885	2852	5703	5703	7014
X/R Ratio back to Source	g	12	23.553	16.220	12	12	5.734
* X mΩ back to Source	① (s) h	419.69	831.88			419.69	
* R mΩ back to Source	② (t) j	34.97	35.32			34.97	
At start of this segment							
SCA motor contribution	k	1099	0	1386	2551	1587	0
* SCA Total	f + k = m	6802	2885	4238	8254	7290	7014
* X mΩ new (back to Source)	h.f ÷ m = n	351.88	831.88			328.33	
* R mΩ new (back to Source)	j.f ÷ m = p	29.32	35.32			27.36	
Conductor segment							
* X mΩ	b.d ÷ c ÷ 100 = q	430.00	8.63	0	0	9.03	0
* R mΩ	b.e ÷ c ÷ 100 = r	6.00	16.50	0	0	31.47	0
At finish of this segment							
* Total X mΩ (back to Source)	n + q = s	831.88	840.51			337.36	
* Total R mΩ (back to Source)	p + r = t	35.32	51.82			58.83	
* X/R Ratio (back to Source)	s ÷ t = u	23.553	16.220	16.220	12	5.735	
*SCA from this segment	v	2885	2852	4238	8254	7014	7014

① h = sin(arctan g) .a .577.35 ÷ f
h = s of preceding upstream conductor segment (s)

② j = h ÷ g
j = t of preceding upstream conductor segment

v = sin(arctan u) .a .577.35 ÷ s

<u>หมายเหตุ</u> บัส 3 – 4 ค่า X = 3.45 = (9.81 - 6.36) ·1

บัส 2 - 7 ค่า X = 3.01 = (10.30 - 7.29) ·1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transformer Circuit Segment		
Source :	Busses	10 – 11
- SckVA	c . d ÷ 577.35 = a	52325
- X/R Ratio	b	3.223
- SCA rms Sym.	c	7262
- Voltage (line to line)	d	4160
Transformer :		
- kVA 3ϕ	e	750
- % Impedance	f	5.5
- X/R Ratio	g	6
- Secondary Voltage (line to line)	h	480
Source :		
* Equivalent % X	sin(arctan b).100.e ÷ a = j	1.369
* Equivalent % R	j ÷ b = k	0.425
Transformer :		
* % X	sin(arctan g).f = m	5.425
* % R	m ÷ g = n	0.904
At Transformer Secondary :		
* Total % X (Back to Source)	j + m = p	6.794
* Total % R (Back to Source)	k + n = q	1.329
* X/R Ratio (Back to Source)	p ÷ q = r	5.112
* SCA from Transformer	sin(arctan r).e.57735 ÷ h ÷ p = s	13031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Conductor Circuit Segment							
Busses		7 – 9	2 - 10	11 - 12	12 - 13	12 – 14	14 - 15
- Voltage (line to line)	a	4160	4160	480	480	480	480
- Length (Feet)	b	0	700	12	60	120	0
- Number of Conductor	c		1	1	1	1	
X mΩ/conductor/100ft	d		3.01	0.65	4.14	4.49	
- R mΩ/conductor/100ft	e		10.49	0.76	5.34	16.40	
At finish of preceding upstream segment							
- SCA from preceding upstream segment	f	7014	5703	13031	12974	12974	8168
- X/R Ratio back to Source	g	5.734	12	5.112	5.024	5.024	1.043
* X mΩ back to Source	① (s) h		419.69	4.08	4.17	4.17	
* R mΩ back to Source	② (t) j		34.97	4.08	4.17	4.17	
At start of this segment							
- SCA motor contribution	k	964	2416	0	628	1256	0
* SCA Total	f + k = m	7978	8119		13602	14230	
* X mΩ new (back to Source)	h.f ÷ m = n		294.80		19.98	19.10	
* R mΩ new (back to Source)	j.f ÷ m = p		24.56		3.98	3.80	
Conductor segment							
* X mΩ	b.d ÷ c ÷ 100 = q	0	21.07	0.08	2.48	5.39	0
* R mΩ	b.e ÷ c ÷ 100 = r	0	73.43	0.09	3.20	19.68	0
At finish of this segment							
* Total X mΩ (back to Source)	n + q = s		315.87	20.95	22.46	24.49	
* Total R mΩ (back to Source)	p + r = t		97.99	4.17	7.18	23.48	
* X/R Ratio (back to Source)	s ÷ t = u	5.734	3.223	5.024	3.128	1.043	1.043
*SCA from this segment	v	7978	7262	12974	11753	8168	8168

① h = sin (arctan g) .a .577.35 ÷ f
h = s of preceding upstream conductor segment (s)

② j = h ÷ g
j = t of preceding upstream conductor segment

v = sin (arctan u) .a .577.35 ÷ s

<u>หมายเหตุ</u> บัส 2 – 10 ค่า X = 3.01 = (10.30 – 7.29) •1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า

4.1 ความหมาย

การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (overcurrent coordination) คือ รูปแบบการประยุกต์การจัดระเบียบให้แก่อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งเป็นระเบียบแบบแผนที่จะทำให้อุปกรณ์ที่ถูกตัดออกจากระบบมีจำนวนน้อยที่สุด แต่จุดประสงค์นั้นก็ไม่ใช่เพียงแค่ป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นต่ออุปกรณ์และค่าใช้จ่ายเท่านั้น ยังรวมไปถึงการป้องกันบุคคลจากผลความผิดพลาดที่เกิดขึ้นด้วย การศึกษาในเรื่อง โคออดิเนชั่น จะประกอบไปด้วยการจัดการศึกษาในเรื่องความสัมพันธ์ของเวลาและกระแสของอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ ที่ต่อกันอยู่เป็นชุด ๆ ไล่มาจากตั้งแต่อุปกรณ์ที่ใช้งานไปจนถึงแหล่งที่จ่ายกำลังไฟ โดยจะเปรียบเทียบลักษณะที่ใช้ในการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัวทั้งสภาวะปกติและไม่ปกติที่กระแสไหลผ่านตัวอุปกรณ์เหล่านั้น

จุดประสงค์ในการศึกษาเรื่องของการโคออดิเนชั่น คือ เพื่อที่จะตัดสินหรือรู้ถึงข้อมูลคุณลักษณะค่าพิกัดและการตั้งค่าของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน เพื่อที่จะได้มั่นใจได้ว่าจะเกิดการอินเตอร์รัพตัวอุปกรณ์ที่ไม่เกี่ยวข้องกับฟอลต์ให้น้อยที่สุดเพื่ออุปกรณ์ป้องกันจะทำการแยกฟอลต์ ออกจากระบบ ในขณะเดียวกันอุปกรณ์และการตั้งค่าต่าง ๆ ควรจะก่อให้เกิดความพึงพอใจถึงจุด
หนึ่งในการป้องกันการเกิดกระแสเกินที่ตำแหน่งต่าง ๆ และทำการอินเตอรัพท์ การลัดวงจรให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้

ข้อมูลที่จะได้รับจากการศึกษาในเรื่องนี้ก็คือการเลือกอุปกรณ์ต่างๆ เช่น อัตราส่วนของหม้อแปลงของตัวอุปกรณ์ คุณลักษณะของรีเลย์ป้องกันและค่าที่ตั้งให้ พิกัดของฟิวส์หรือเบรกเกอร์ และยังช่วยให้ทราบถึงข้อมูลอื่น ๆ ที่จะส่งผลให้เกิด การป้องกันอย่างสมบูรณ์ที่สุด

ปัจจุบันการติดตั้งทางไฟฟ้า ค่าพิกัดของอุปกรณ์ต่าง ๆ มักจะต้องมีการปรับค่าก่อนการใช้งานแต่การปรับค่าย่อมเกิดหลังจากอุปกรณ์ป้องกันถูกสั่งมาใช้แล้ว ดังนั้นค่าปรับตั้งเหล่านี้ควรที่จะได้รับการคาดการณ์เอาไว้ก่อน ในตอนเลือกอุปกรณ์ป้องกัน ชนิดและย่านการทำงานของมันจะต้องยืดหยุ่นได้เพื่อที่จะป้องกันโหลด หรือ วงจรย่อยเฉพาะจุดได้ การทำการพิจารณาเรื่องโคออดิเนชั่นจะต้องเกิดในระหว่างการออกแบบในตอนแรกเพื่อที่จะนำไปพิจารณาเลือกค่าพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันต่อไป ค่าปรับตั้งที่แท้จริงของอุปกรณ์ป้องกันจะตัดสินหลังจากการออกแบบได้เสร็จสิ้นลงไปแล้ว เมื่อค่ากระแสโหลดและค่าฟอลต์ได้ถูกคำนวณเสร็จสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ป้องกันที่เป็นตัวช่วยหรือสำรอง (back up) การตั้งค่าจะถูกเลือกให้ทำงานโดยให้มีช่วงเวลาทำงานหลังจากที่อุปกรณ์ตัวแรกทำงานแล้ว ดังนั้นอุปกรณ์ป้องกันสำรองนี้จะต้องทนต่อสภาวะฟอลต์ได้เป็นเวลานานกว่าอุปกรณ์ป้องกันหลักซึ่งสำหรับการใช้งานที่นิยมกันมากก็คือจะใช้เป็นตัวแยกวงจรอื่น ถ้าหากฟอลต์หรือกระแสที่เกินมาไม่สามารถที่จะทำให้อุปกรณ์ป้องกันหลักทำงานได้ แต่ในการใช้งานอุปกรณ์ป้องกันบางทีก็มีการอนุโลมระหว่างเรื่องการป้องกันและการโคออดิเนชั่นได้โดยที่ผู้มีประสบการณ์ส่วนใหญ่มักจะเลือกเอาเรื่องของการป้องกันเป็นสิ่งสำคัญมาก่อนการพิจารณาเรื่องของการโคออดิเนชั่น แต่ว่าการคำนึงถึงเรื่องของการทำโคออดิเนชั่น ควรจะทำอย่างยิ่งเมื่อมีสาเหตุใดก็ตามที่ทำให้ค่ากระแสลัดวงจรในระบบมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น

การศึกษาถึงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์นั้นจะมีความจำเป็นหากว่ามีการเพิ่มเติมโหลดใหม่เข้าไปในระบบ หรืออุปกรณ์ที่มีอยู่ถูกแทนด้วยอุปกรณ์ตัวใหม่ที่มีค่าพิกัดมากขึ้น และจะสำคัญอย่างยิ่งหากว่าการเกิดฟอลต์ในส่วนประกอบย่อย ๆ ของระบบจะทำให้ส่วนสำคัญของระบบต้องกระทบกระเทือนจนเสียหายได้

4.2 สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการศึกษาเรื่องการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกัน

4.2.1 กระแสลัดวงจร

เพื่อที่จะได้นำหลักการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันมาใช้ได้อย่างสมบูรณ์ควรที่จะต้องทราบถึงข้อมูลเหล่านี้ ซึ่งเกี่ยวกับกระแสลัดวงจรในแต่ละบัส

(1) ค่ากระแสลัดวงจรแบบโมเมนทารี ทั้งค่ามากสุดและน้อยสุด (พิจารณาจากไซเคิลแรกของกระแสลัดวงจร)

(2) ค่ากระแสลัดวงจรแบบอินเตอร์รัพติ้งดิวตี้ ทั้งค่ามากสุดและน้อยสุด (พิจารณาที่ตั้งแต่ 5 ไซเคิลไปจนถึง 2 วินาที)

(3) ค่ากระแสลัดวงจรลงกราวนด์ มากสุดและน้อยสุด

<u>หมายเหตุ</u> ค่ากระแสอินเตอร์รัพติ้งดิวตี้ค่ามากสุดจะเป็นค่ากระแสที่เป็นย่านที่มีการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ ส่วนค่าอินเตอร์รัพติ้งที่น้อยสุดจะใช้ในการดูว่าความไวในการป้องกันของวงจรย่อยนี้มีค่าเพียงพอหรือไม่

4.2.2 ช่วงห่างของเวลาในการทำงานร่วมกัน (coordination time interval)

ในการพล็อตกราฟแสดงการทำงานร่วมกันมักจะต้องมีการรักษาช่วงห่างของเวลาของเส้นกราฟแต่ละเส้นของอุปกรณ์ป้องกันอยู่เสมอเพื่อที่จะมั่นใจได้ว่าลำดับการทำงานของอุปกรณ์เป็นไปอย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งช่วงห่างของเวลาที่จะต้องรักษาเอาไว้นี้ก็เพราะว่าการทำงานของรีเลย์นั้นจะมีคุณสมบัติที่เรียกว่า overtraval หรือฟิวส์บางตัวก็อาจมีคุณลักษณะที่เสียหายจากการทำงานได้ และเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็มีความเร็วในการทำงานอยู่พอควร ในบางทีก็อาจจะเรียกช่วงห่างของเวลาของแต่ละกราฟนี้ว่า มาร์จิน "margin"

การพิจารณาถึงการทำงานร่วมกันสำหรับฟิวส์จำกัดกระแสที่ใช้กับแรงดันต่ำซึ่งมีอัตราการตอบสนองต่อเวลาที่ดี จะง่ายเมื่อพิจารณารวมกับข้อมูลที่ได้จากผู้ผลิตทำให้ไม่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาช่วงห่างของเวลาการทำงานร่วมกันเลย แต่เมื่อเป็นการทำงานร่วมกันของรีเลย์ที่ทำงานแบบผกผันกับเวลาจะต้องมีช่วงห่างของเวลาอยู่ที่ 0.3-0.4 วินาที ช่วงห่างนี้จะถูกวัดที่ตำแหน่งที่มีการตั้งค่าการทำงานแบบฉับพลัน (instantaneous setting) หรืออาจจะเป็นตำแหน่งที่เกิดการลัดวงจรมากที่สุดก็ได้ช่วงห่างของเวลานี้จะประกอบไปด้วย

ช่วงเวลาเปิดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์	0.08 วินาที
ค่า overtraval ของรีเลย์ (relay overtravel)	0.10 วินาที
ค่าความปลอดภัย (safety factor) สำหรับการอิ่มตัวของหม้อแปลงกระแส รวมถึงค่าความคลาดเคลื่อน	0.22 วินาที

ค่า safety factor นี้อาจจะลดลงได้ด้วยการทำการทดสอบระบบของรีเลย์ (field testing)หรือทำการปรับแต่งกราฟการทำงานร่วมกันของรีเลย์เพื่อกำจัดค่าที่คลาดเคลื่อน

ค่ามาร์จินขนาด 0.355 วินาที เป็นค่าที่ถูกใช้อย่างกว้างขวางในการทำการทดสอบระบบที่ใช้รีเลย์แบบทำงานผกผันอย่างมากจนถึงผกผันแบบยิ่งยวด

เมื่อระบบมีการใช้รีเลย์แบบสารกึ่งตัวนำ (solid - state relay) ปรากฏการณ์ overtraval นั้นจะหายไปทำให้ช่วงห่างของเวลาจะลดลงได้ ส่วนระบบที่มีการใช้รีเลย์ที่อาศัยคุณสมบัติของการเหนี่ยวนำ (induction disk relay) ค่าช่วงห่างของเวลาการทำงานจะลดลงได้ด้วยการใช้อุปกรณ์พิเศษที่จะช่วยกำจัดการเกิด overtraval ได้อุปกรณ์นั้นคือ high-dropout instantaneous element โดยหากมีการปรับแต่งให้ดีแล้วละก็จะทำให้ช่วงห่างเวลาของการทำงานร่วมกัน (time interval) จะเหลือเพียงแค่ 0.25 วินาทีเท่านั้น การทำงานร่วมกันของรีเลย์กับฟิวส์เนื่องจากเวลาการเปิดวงจรของฟิวส์นั้นไม่ได้ส่งผลให้ช่วงห่างของเวลานั้นจะลดลง ค่ามาร์จินระหว่างกราฟอาจจะต่ำถึงขนาด 0.1 วินาทีก็เป็นได้

เมื่อนำเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้กับแรงดันไฟต่ำที่ติดตั้งอุปกรณ์ direct-acting trip มาทำงานร่วมกันกับรีเลย์ ช่วงห่างของเวลาที่ใช้กันโดยปกติก็คือ 0.3 วินาที ช่วงห่างนี้ดูเหมือนว่าจะน้อยกว่าการพิจารณาถึงการทำงานร่วมกันของรีเลย์ดังที่ได้กล่าวถึงไปแล้ว แต่ถ้าหากพิจารณาระหว่างเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ติดตั้ง direct acting trip แล้วกราฟคุณลักษณะที่ได้นั้นไม่ควรจะให้เกิดการทับ (overlap) กัน ในการใช้งานจะไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยมกำหนดค่ามาร์จินของช่วงห่างเวลามาแน่นอนเนื่องจากมันจะต้องอาศัยตัวแปรต่าง ๆ รวมถึงเวลาการทำงานของ เซอร์กิตเบรกเกอร์ภายใต้คุณลักษณะของกราฟที่มีรูปแบบเป็นย่าน (band of device characteristic curve)

4.3 Load Flow Current

ในการศึกษาถึงเรื่องกระแสลัดวงจรและแรงดันตกคร่อมนั้นมักจะต้องมีการศึกษาถึงการไหลของโหลด (load flow) เพื่อที่จะหาค่ากระแสโหลดในสภาวะปกติและสภาวะฉุกเฉินที่ตำแหน่งต่าง ๆ ข้อมูลของกระแสโหลดนั้นจะถูกใช้เพื่อหาขนาดสาย อุปกรณ์และอุปกรณ์ป้องกันรวมทั้งยังใช้ในการปรับตั้งค่าของอุปกรณ์ที่มีหน้าที่ป้องกันอุปกรณ์ต่าง ๆ รวมถึงสายเคเบิล

ฉนวนของตัวนำจะต้องสามารถที่จะทนต่ออุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นได้อันเนื่องมาจากการไหลของกระแสที่ผิดปกติตามข้อเสนอแนะในการป้องกันความเสียหายของฉนวนก็คือ พิจารณากราฟระหว่างขนาดของสายกับค่าของกระแสลัดวงจรซึ่งสัมพันธ์กันกับอุณหภูมิที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อฉนวนซึ่งจะหาได้จากผู้ผลิตสายไฟในระบบการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้านั้น สายเคเบิลนั้นจะต้องมีความสามารถที่จะทนต่อค่ากระแสลัดวงจรมากสุดได้เป็นเวลาเท่ากันกับเวลาที่ใช้ในการเปิดวงจรของรีเลย์ป้องกันหลักหรือเวลาที่ใช้ในการขจัดฟอลต์ของฟิวส์ การพิจารณาด้วยหลักการเช่นนี้จะช่วยให้เราสามารถหาขนาดของสายเคเบิลที่เล็กที่สุดที่สามารถใช้งานกับระบบที่ออกแบบได้

4.4 Pickup current

ความหมายของพิคอัพ (pickup) มีอยู่หลายความหมาย สำหรับอุปกรณ์หลาย ๆ ชนิดนั้นจะมีความหมายว่า เป็นค่ากระแสน้อยที่สุดที่จะก่อให้เกิดการทำงานได้ ซึ่งดูจะเห็นได้ชัดจากคุณลักษณะของรีเลย์ นอกจากนี้ยังจะใช้เป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ทริป (trip device) ของตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันไฟต่ำ แต่จะไม่ได้ใช้อธิบายถึงการทำงานในลักษณะที่ตัดวงจรอันเนื่องจากความร้อนของตัวโมลเคสเซอร์กิตเบรกเกอร์ ซึ่งจะอาศัยหลักการการสะสมความร้อน

กระแสพิคอัพ (pickuup current) ของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินหมายถึง ค่ากระแสที่น้อยที่สุดที่จะทำให้หน้าสัมผัสของรีเลย์ปิดได้ ส่วนรีเลย์ที่อาศัยหลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าจะหมายถึงค่ากระแสน้อยที่สุดที่จะทำให้จานแม่เหล็กเคลื่อนตัวจนปิดวงจรอย่างสมบูรณ์ สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้โซลีนอยด์ค่าปรับตั้งของกระแสสำหรับรีเลย์นี้จะหมายถึงกระแสพิคอัพนั่นเอง

สำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำนั้นค่าพิคอัพหมายถึง ค่าที่ปรับตั้ง (calibrated value) ได้ที่มีค่าน้อยที่สุดที่จะทำให้อุปกรณ์ที่มีหน้าที่ตัดวงจรทำการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์อย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะประกอบไปด้วยค่าพิคอัพสามค่า แบ่งตามคุณลักษณะของการทริปดังนี้ short-time delay , long-time delay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

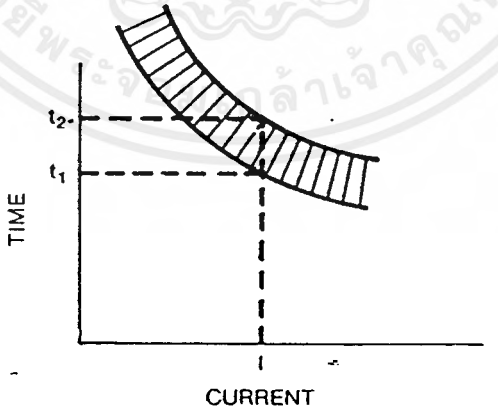
และ instantaneous ซึ่งค่าของมันจะระบุมาอยู่ในรูปของเปอร์เซนต์ของค่าพิกัดของอุปกรณ์ทริปหรือค่าของ long-time delay ก็ได้

สำหรับโมลเคสเซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่มีตัวทริปด้วยความร้อน (thermal trip) ค่าพิกัดกระแสแบบต่อเนื่องจะไม่ใช่ค่าพิคอัพ แต่ว่าค่าการปรับตั้งสำหรับการทำงานแบบฉับพลันโดยอาศัยแม่เหล็กนั้นจะเป็นค่าของกระแสพิคอัพ

ในส่วนของการใช้ฟิวส์นั้นจะใช้ค่าของพิกัดกระแสต่อเนื่องแทนค่ากระแสพิคอัพ เนื่องจากว่าสามารถทนค่ากระแสต่อเนื่องได้ถึง 110 % ของค่าพิกัดต่อเนื่อง โดยในตัวฟิวส์เองอาจมีองค์ประกอบเดียวหรือสององค์ประกอบก็ได้ตามลักษณะการทำงานของมันโดยองค์ประกอบหนึ่งสำหรับกระแสเกินและอีกองค์ประกอบหนึ่งสำหรับการป้องกันการลัดวงจร

4.5 หลักการในการสร้างกราฟแสดงการทำงานร่วมกัน

ก่อนอื่นต้องเข้าใจถึงคุณลักษณะพื้นฐานของเวลากับกระแสก่อนโดยทั่วไปแล้วที่ตำแหน่งเวลาเท่ากับศูนย์นั้นจะหมายถึง ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ขึ้น และเวลาก็จะแสดงค่าไปตามกราฟหลังจากตำแหน่งนั้น กราฟที่แสดงถึงการทำงานร่วมกันจะแสดงให้เห็นว่าย่านที่อยู่ทางใต้โดยเฉียงไปทางซ้ายถือว่าเป็นย่านที่ไม่เกิดการทำงาน เส้นโค้งดังกล่าวจะแสดงให้เห็นถึงคู่ลำดับของกระแสกับเวลาที่จะแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์นั้นจะต้องใช้เวลาเท่าไหร่ในการทำงานที่ค่ากระแสนั้น สำหรับตัวรีเลย์ป้องกันจะอยู่ในรูปของเส้นโค้งเพียงเส้นเดียวแต่สำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์นั้นกราฟจะแสดงอยู่ในรูปของแถบของเส้นโค้ง(band) ซึ่งแถบนี้จะแสดงให้เห็นค่าเวลาในการทำงานที่ค่ากระแสค่าหนึ่งนับตั้งแต่เวลาน้อยที่สุดไปจนถึงมากที่สุด



รูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะของกระแสกับเวลาที่เป็นย่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่4.1 แสดงให้เห็นถึงแถบของกราฟโดยเวลา T_2 นั้นจะเป็นเวลามากที่สุดนับตั้งแต่กระแสที่มีค่า I เริ่มไหลเข้าสู่อุปกรณ์ป้องกันแล้วตัวอุปกรณ์จะต้องทำงานอย่างแน่นอน ส่วนเวลา T_1 นั้นจะหมายถึงค่าเวลามากที่สุดที่หลังจากมีกระแส I ไหลผ่านแล้วการทำงานของตัวอุปกรณ์ทริปยังคงไม่ทำงาน

โดยปกติแล้วกราฟของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะเริ่ม ณ ตำแหน่งที่ค่ากระแสมีค่าต่ำกว่าค่าพิกัดของตัวอุปกรณ์นั้นและที่เวลาทำงานที่ 1000 วินาที กราฟของรีเลย์นั้นมักจะเริ่มต้นที่ตำแหน่งที่เวลาประมาณ 1.5 เท่าของเวลา pickup time และโดยปกติจะสิ้นสุดที่ตำแหน่งของค่ากระแสลัดวงจรมากที่สุดที่ตัวอุปกรณ์นั้นทนได้ โดยส่วนใหญ่แล้วกราฟของตัวอุปกรณ์มักจะห่อหุ้มตำแหน่งที่จะเกิดการทำงานของอุปกรณ์ เส้นที่ล้อมรอบนี้จะเกิดจากตัวแปรบางตัวที่จะส่งผลกระทบต่อการทำงาน เช่น อุณหภูมิรอบข้าง , ค่า tolerances ของทางผู้ผลิต และค่า time delay ที่สามารถปรับตั้งได้

คุณลักษณะในการปิดหน้าคอนแทคสำหรับตัวรีเลย์ป้องกันกระแสเกินนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ ชนิดที่ทำงานแบบเวลาผกผันและชนิดที่ทำงานแบบสัมพันธ์กับเวลาแบบแน่นอน โดยอย่างหลังนี้เวลาที่ผ่านไปจะไม่ขึ้นกับขนาดของกระแส แต่แบบเวลาผกผันนั้นเวลาในการทำงานของรีเลย์นั้นจะผกผันกับขนาดของกระแสหมายความว่า หากค่ากระแสมีขนาดมากขึ้นจะทำให้การทำงานของรีเลย์ใช้เวลาสั้นลง แต่จะใช้เวลามากขึ้นหากค่ากระแสมีค่าน้อย และต้องมีค่ามากกว่าค่าพิคอัพ โดยรีเลย์อาจจะทำงานแบบผกผันธรรมดา , ผกผันมาก หรือผกผันอย่างยิ่งยวด (extremely inverse) รีเลย์ที่มีคุณลักษณะเช่นนี้นิยมนำมาใช้อย่างกว้างขวางในระบบ ซึ่งโดยทั่วไปรีเลย์ที่มีคุณลักษณะผกผันคล้ายกันจะใช้ร่วมกันได้อย่างเหมาะสม หรืออาจจะใช้รีเลย์ที่มีความผกผันมาก ๆ กับตำแหน่งที่ใกล้กับโหลดแล้วใช้แบบผกผันน้อยลงเป็นตัวสำรองในการป้องกันระบบก็ได้ เช่นการใช้รีเลย์ทำงานร่วมกับฟิวส์ซึ่งตัวฟิวส์นี้จะมีคุณลักษณะที่ผกผันอย่างยิ่งยวดส่วนของรีเลย์ที่ทำงานด้วยเวลาที่แน่นอนนั้น (definite time relay) นิยมใช้กับวงจรป้องกันมอเตอร์ในระดับแรงดันขนาดกลางหรือป้องกันการเกิดกราวนด์ฟอลต์ ซึ่งพวกนี้จะมีย่านของกระแสฟอลต์ค่อนข้างกว้าง โดยการเลือกลักษณะของกราฟนั้นจะอยู่บนพื้นฐานของความชอบและก็มาตรฐาน

4.6 หลักในการออกแบบเพื่อการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า

4.6.1 หลักในการออกแบบมีอยู่ 6 ขั้นตอนด้วยกันดังนี้

1. รวบรวมแบบวันไลน์ไดอะแกรมรวมถึงข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นในการออกแบบ
2. คำนวณหาการไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบ (load flow)
3. รวบรวมข้อมูลอื่น ๆ ที่จำเป็นในการประเมินการลัดวงจร
4. คำนวณหาระดับการเกิดการลัดวงจรทางไฟฟ้าที่แต่ละตำแหน่งของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำการเลือกคุณลักษณะและอัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้าของตัวอุปกรณ์ป้องกันและรวบรวมเอากราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับเวลามาอยู่บนกระดาษกราฟ log อันเดียวกัน
6. รวบรวมค่าพิกัดของอุปกรณ์อื่น ๆ รวมทั้งค่าปรับตั้งของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน

4.6.2 ข้อมูลที่จำเป็นในการศึกษาถึงการทำงานร่วมกัน

1. วันไลน์ไดอะแกรมที่มีข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้
   1.1 ค่าพิกัดกำลังและแรงดันรวมถึงค่าอิมพิแดนซ์และรูปแบบการต่อของตัวหม้อแปลงทุกตัวในระบบ
   1.2 เงื่อนไขในการสวิตชิ่งในสภาวะปกติและฉุกเฉิน
   1.3 ข้อมูลการลัดวงจร เช่น ค่าอิมพิแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า , ค่าซับทรานเซี้ยนรีแอกแตนซ์ของตัวมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์ , ค่าทรานเซี้ยนรีแอกแตนซ์ของซิงโครนัสมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์ , ค่าซิงโครนัสรีแอกแตนซ์ของเจนเนอเรเตอร์ รวมถึงข้อมูลของตัวนำ ขนาด , ชนิด , ค่าพิกัดทางความร้อน (อุณหภูมิ)
   1.4 ค่าอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแส
   1.5 ค่าพิกัดและคุณลักษณะรวมถึงย่านการทำงานของตัวรีเลย์และอุปกรณ์ตัดตอนโดยตรง (direct acting trip) และฟิวส์
2. ข้อมูลเกี่ยวกับกระแสลัดวงจรต่าง ๆ ทั้งแบบโมเมนทารี่และแบบอินเตอรัพติ้งของตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้งานกับแรงดันปานกลาง โดยจะต้องคำนึงถึงการทำงานของโหลดตั้งแต่มากสุดจนถึงน้อยที่สุดของทุกองค์ประกอบของระบบทุกระดับแรงดัน รวมถึงค่ากระแสฟอลต์ที่ไหลผ่านตัวหม้อแปลง
3. ค่าพิกัดทางความร้อนของตัวอุปกรณ์ที่ถูกป้องกัน โดยจะพิจารณาในเทอมของพิกัด I^2t หรืออาจกล่าวได้ว่าหมายถึงค่าเวลาช่วงหนึ่งที่อุปกรณ์จะทนค่ากระแสค่าหนึ่งได้โดยไม่เกิดความเสียหายอันเกิดจากความร้อน
4. ค่าโหลดที่ประเมินว่ามากสุดของวงจรที่พิจารณา

4.7 กรรมวิธีในการออกแบบ (procedure)

4.7.1 กรรมวิธีในการออกแบบ

1. เลือกสเกลของกระแสที่เหมาะสม (ดูจากหัวข้อถัดไป)
2. บนกระดาษกราฟ log - log จะต้องมีสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(a) ค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในหน่วยแอมแปร์ (A)

(b) ค่าความจุของกระแสอันเกิดจากการไหลของโหลด (load flow)

(c) ค่าพิกัด I^2t ที่จะก่อให้เกิดความเสียหายบนกราฟ

3. เริ่มการพล็อตกราฟโดยพิจารณาที่โหลดมากสุดและที่ระดับแรงดันต่ำสุด

เพื่อขจัดความยุ่งยากและความน่ารำคาญในการศึกษาเรื่องของการทำงานร่วมกัน จะใช้หลักการของการวางทับซ้อนของกราฟต่าง ๆ เพื่อการทำโคออดิเนชั่น โดยเริ่มจากการเลือกค่าสเกลของกระแสที่ต้องการก่อน แล้วทำการคำนวณหาค่าตัวคูณที่เหมาะสมของแต่ละระดับของแรงดัน แล้วก็จะนำกราฟคุณลักษณะของตัวอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ มาวางทับกันบนพื้นผิวที่สว่างโดยอาจจะเป็นกระดาษสีขาวหรืออาจจะเป็นกล่องที่มีไฟส่องอยู่ใต้ล่าง นำกระดาษกราฟ log-log ที่ทำการเลือกเอาไว้เพื่อศึกษาการโคออดิเนชั่นมาวางทับอยู่บนสุดโดยค่าสเกลของกระแสจะต้องตรงกันหลังจากนั้นก็จะทำการตรวจสอบค่าปรับตั้งรวมถึงค่าพิกัดต่าง ๆ ของตัวอุปกรณ์ป้องกัน

4.7.2 การเลือกค่าสเกลของกระแสที่เหมาะสม

เมื่อพิจารณาระบบที่มีขนาดใหญ่หรือมีระดับแรงดันหลายระดับแล้ว กราฟคุณลักษณะของอุปกรณ์ตัวที่เล็กสุดจะต้องถูกวางอยู่ทางซ้ายสุดเท่าที่จะเป็นได้บนกระดาษกราฟล็อก เพื่อลดความแออัดของกราฟที่จะไปกองรวมกันอยู่ทางขวา ค่ามากสุดหรือลิมิตทางขวามือโดยส่วนใหญ่จะเป็นค่ากระแสลัดวงจรที่มากที่สุดในระบบ ถ้าหากไม่พิจารณาถึงผลของพฤติกรรมของอุปกรณ์ภายใต้สภาวะที่มีกระแสเกินค่ากระแสลัดวงจรมากสุด กราฟคุณลักษณะของตัวอุปกรณ์ตัดตอนไม่ควรจะมีมากนักเพราะจะทำให้เกิดความยุ่งยากมาก

กราฟคุณลักษณะของรีเลย์ทุกตัวจะต้องถูกพล็อตบนสเกลเดียวกันถึงแม้จะทำงานที่ระดับแรงดันต่าง ๆ กันก็ตามดังตัวอย่าง ในรูปถัดไปที่ระบบมีหม้อแปลงขนาด 750 kVA ขนาดแรงดัน 4160 V delta ทางด้านไพรมารีและ 480 V wye ทางด้านเซ็คดันดารี โดยหม้อแปลงถูกติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันทั้งทางด้านไพรมารีและเซ็คดันดารีโดยสมมุติ จะพบว่าในระบบค่าโหลดกระแสมากสุดที่ด้าน 480 V = 750*1000/480*$\sqrt{3}$ = 902 A โดยเป็นค่ากระแสที่ไหลทางด้านเซ็คดันดารี ส่วนค่ากระแสทางด้านไพรมารีจะเท่ากับ 480/4160*902 = 104 A ซึ่งหากเราเทียบเป็นหน่วยเพอร์ยูนิต (per unit) แล้วจะพบว่าจะมีค่าเท่ากันคือ 1 เพอร์ยูนิต ดังนั้นในกราฟที่เราพิจารณาถึงการโคออดิเนชั่นค่า 104 A ของระดับแรงดัน 4160 V จะต้องเป็นค่าเดียวกับ 902 A ที่ระดับแรงดัน 480 V วิธีจัดการเช่นนี้จะช่วยในการศึกษาระบบที่มีหลายระดับแรงดันได้อย่างสะดวกในการเลือกสเกลเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ตัวอย่างขั้นตอนการศึกษาถึงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกัน

1. เขียนวันไลน์ไดอะแกรมในส่วนของวงจรที่ต้องการศึกษาพร้อมทั้งค่าพิกัดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.2

2. ศึกษาค่ากระแสลัดวงจร คำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรที่หาได้ในแต่ละจุดของระบบดังนี้

34.5 kV system	500 MVA จากการไฟฟ้าหรือระบบ
4160 V bus	55.5 MVA จากระบบอย่างเดียวโดยไม่คิดถึงการลัดวงจรที่เกิดจากตัวของมอเตอร์เพื่อความง่ายในการคำนวณ
480 V bus	12800 A กระแสลัดวงจรแบบสมมาตรผ่านตัวหม้อแปลง 750 kVA
480 V substation feeder	12800 A กระแสลัดวงจรแบบสมมาตรผ่านตัวหม้อแปลง 750 kVA รวมถึงค่ากระแสจากมอเตอร์ที่ระบบ 480 V อีก 3600 A
480 V 100 A panel board	11000 A เป็นค่ากระแสสมมาตร

3. ค่าสำหรับการป้องกัน (protection points) คำนวณหาค่าสำหรับการป้องกันที่ต้องการที่องค์ประกอบของระบบที่มีขนาดใหญ่ โดยดูที่ตารางที่ 4.1 จุดป้องกันที่แสดงในตารางนั้นเป็นลักษณะของการทำงานแบบต่อเนื่อง ซึ่งค่าฟอลต์ของอุปกรณ์ป้องกันซึ่งแสดงในรูปที่ 4.3 ถึง 4.7 นั้นจะเป็นไปตามมาตรฐานของ ANSI/IEEE C57.109-1985 หากว่าในระบบมีการใช้ตัวหม้อแปลง delta-wye ค่าฟอลต์ของไลน์ทูกราวนด์ซึ่งเกิดจากกระแสฟอลต์ทางด้านเซ็คคันดารี 100% จะลดลงเหลือเพียง 58% ($1/\sqrt{3}$) ซึ่งจะเป็นค่าของฟอลต์ระหว่าง 2 เฟสทางด้านไพรมารีของหม้อแปลง นั่นหมายความว่าค่ากระแสที่ตำแหน่งป้องกันของ ANSI นั้นจะมีค่าเป็น 0.58 ของค่ากระแสที่เกิดจาก 3 เฟสฟอลต์

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าสำหรับการป้องกัน

	3750 kVA Transformer	750 kVA Transformer
(a)	ANSI Point*	
	$16.6 \cdot I_n \cdot 0.58 = I_{ANSI}$ for 4 s	$17.6 \cdot I_n \cdot 0.58 = I_{ANSI}$ for 3.75 s
	16.6 • 520 • 0.58 = 5000 A at 4160 V	17.6 • 902 • 0.58 = 9300 A at 480 V
	16.6 • 63 • 0.58 = 606 A at 34.5 kV	17.6 • 104 • 0.58 = 1060 A at 4160 V
(b)	Inrush Point	
	$12 \cdot I_n = I_{inrush}$ for 0.1s	$8 \cdot I_n = I_{inrush}$ for 0.1 s
	12 • 520 = 6250 A at 4160 V	8 • 902 = 7216 A at 480 V
	12 • 63 = 755 A at 34.5 kV	8 • 104 = 832 A at 4160 V
(c)	6 Times Full Load (NEC [7] Rule)	
	6 • 520 = 3120 A at 4160 V	6 • 902 = 5412 A at 480 V
	6 • 63 = 378 A at 34.5 kV	6 • 104 = 624 A at 4160 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเลือกสเกล

4.1 ตรวจสอบย่านของกระแสที่จำเป็นต้องวาดที่ระดับแรงดันต่าง ๆ โดยพิจารณาจากค่าของกระแสฟอลต์ต่าง ๆ ในตารางที่ 4.2 พบว่าจะต้องใช้ ค่าของกราฟล็อกถึง 4 cycle (10000) จึงจะเหมาะสมกับทุกอุปกรณ์ภายใต้การพิจารณา

4.2 เลือกค่าสเกลที่จะทำให้มีค่าตัวคูณและเกิดการเข้าไปยุ่งเกี่ยวกับปริมาณของตัวอุปกรณ์ให้น้อยที่สุดจะได้ว่าค่าตัวคูณที่เหมาะคือค่า 10 สำหรับกระแสของตัวอุปกรณ์ที่ระดับแรงดัน 4160 V และ 87 ที่แรงดัน 480 V ส่วนที่แรงดัน 34500 V คือ1.21 ตามลำดับ

5. คุณลักษณะการตัดตอนเบื้องต้น(Basic Tripping Characteristics) ทำการพล็อตค่าเหล่านี้ลงบนกระดาษล็อก

5.1 กราฟกระแสฟอลต์ทะลุผ่านตัวอุปกรณ์ป้องกัน (Through fault protective curve) ค่ากระแสเฉียบพลัน (inrush point) ค่ากระแสโหลดสูงสุด 6 เท่าของหม้อแปลง (OA หรือ AA)

5.2 ค่ากระแสลัดวงจร

5.3 ค่าพิกัดกระแสต่อเนื่องมากที่สุดของฟิวส์หรือตัวโมลด์เคสเซอร์กิตเบรกเกอร์ ซึ่งโดยทั่วไปอุปกรณ์ตัวใหญ่ที่สุดที่ระดับแรงดันต่ำจะถูกพล็อตก่อนในที่นี้คือตัวโมลเคสเซอร์กิตเบรกเกอร์ 100 A ซึ่งกราฟคุณลักษณะจะถูกวางลงบนกล่องที่มีไฟส่องใต้ล่างเพื่อที่จะนำกระดาษกราฟมาวางทับเพื่อประโยชน์ในการทำการโคออดิเนตต่อไป

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของกระแสที่ระบบต่าง ๆกัน

	34.5 kV Scale		4160 V Scale	480 V Scale	
System	Full-Load Current for 3750 kVA Transformer	500 MVA Short-Circuit Capacity	55.5 MVA Short-Circuit Capacity	100 A Load	16 400 A Short-Circuit Current
34.5 kV	63 A	8400 A	930 A	1.4 A	229 A
4160 V	520 A	69 200 A	7700 A	11.5 A	1890 A
480 V	4500 A	600 200 A	66 500 A	100.0 A	16 400 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำ

6.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์ป้องกันสายป้อนที่ 480 V ค่าความจุกระแสของตัวสายเคเบิล 750 kcmil มีค่าประมาณ 500 A อุปกรณ์ตัดตอนที่ดูจะเหมาะกับโมลเคสเซอร์กิตเบรกเกอร์จะเป็นอุปกรณ์แบบหน่วงเวลาเร็ว มากกว่าจะเป็นแบบฉับพลัน ในที่นี้เลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 600 A โดยปรับตั้งค่าการทำงานแบบหน่วงเวลาช้าไว้ที่ 80% คือ 480 A ส่วนหน่วงแบบเร็วตั้งไว้ที่ 4 เท่า คือ 2400 A ที่ตำแหน่งที่มีค่าเวลาน้อยที่สุดดัง

รูป 4.4

6.2 เซอร์กิตเบรกเกอร์หลักที่ทำหน้าที่ป้องกันวงจรเซ็คคันดารีของหม้อแปลงขนาด 750 kVA มีค่ากระแสโหลดสูงสุด 902 A ค่าที่ปรับตั้งสำหรับตัดตอนคือ 1200 A โดยเลือกเอาที่มีย่านเวลามากสุดทั้งที่การทำงานแบบหน่วงเร็วและหน่วงช้า โดยค่าที่ปรับตั้งสำหรับการทำงานแบบหน่วงเวลาเร็วคือ 3600 A

7. รีเลย์ป้องกันสายป้อนที่แรงดันระดับกลาง ขีดจำกัดของกราฟของอุปกรณ์ป้องกันวงจรทางไพรมารีของหม้อแปลงขนาด 750kVA จะหาจากการตรวจสอบกราฟของค่ากระแสทะลุผ่าน(through fault protection curve) และค่ากระแสเฉียบพลัน (inrush point) โดยปกติจะพยายามให้กราฟของคุณลักษณะนั้นห่าง จากทางซ้ายให้มากที่สุดเพื่อที่การทำงานจะได้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วกับกระแสฟอลต์ เลือกค่าพิคอัพของตัวรีเลย์ป้องกันกระแสเกินโดยพิจารณาให้มีค่ามาร์จิน (margin) 16 % จากค่าปรับตั้งของตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ป้องกันวงจรทางด้านเซ็คคันดารี (3600 A) ค่าที่ได้ไม่ควรจะเกิน 624 A ที่ 4160 V และมากกว่าค่า 3600* (480/4160)*1.16 = 480 A เนื่องจากค่า 624 A เป็นค่ากระแสขนาด 6 เท่าของกระแสโหลดมากสุดของตัวหม้อแปลง 750 kVA ที่ 4160 V เป็นค่าที่กำหนดไว้มากที่สุดตามข้อกำหนดของ NEC ส่วนที่ 450-3 เพราะว่าค่านี้จะป้องกันสายเคเบิลซึ่งจ่ายให้แก่สับสเตชัน (substation) ค่าที่ต่ำกว่าจึงเหมาะกว่า

ในตัวอย่างนี้ค่าอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแสที่ถูกเลือกเท่ากับ 300/5 หรือ 60:1 ค่าปรับตั้งตามอัตราส่วนนี้จะทำให้เกิดค่ากระแสทางด้านไพรมารีที่เป็นค่ากระแสพิคอัพ น้อยสุดของรีเลย์เท่ากับ 60*8 = 480 A ค่า tap ขนาด 8 A จะช่วยเป็นการสำรองค่าโหลดเผื่อไว้ในอนาคตถึงแม้ว่าเพียงแค่ 5 A ก็ถือว่าเพียงพอ

ในการเลือกคุณลักษณะของรีเลย์นั้นควรจะต้องมีการทดลองเลือกดูก่อน หรืออาจจะป้องกันได้อย่างน้อยด้วยการเลือกเอารีเลย์ที่มีลักษณะแบบผกผันมาก ๆ ดังในรูปที่ 4.7 เป็นกราฟคุณลักษณะของรีเลย์ที่มีลักษณะผกผันอย่างมาก โดยแสดงตามค่าปรับตั้งของเวลาที่ตัวอุปกรณ์หน่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(time dial setting) ตั้งแต่ ½ ไปจนถึง 11 โดยในแกนของกระแสจะแสดงให้เห็นค่าตัวคูณของ tap ค่าต่าง ๆ ตั้งแต่ 1 ไปจนถึง 40 ซึ่งสำหรับ tap 8 A ที่มีกระแสพิคอัพ ทางด้านไพรมารีเท่ากับ 480 A หากค่าตัวคูณของ tap เท่ากับ 2 ก็จะได้ค่ากระแสไพรมารีเท่ากับ 960 A เป็นต้น

ในการวางกราฟคุณลักษณะของกระแสและเวลานี้ลงบนพื้นที่ทำการโดออดิเนททำได้โดยวางตำแหน่งที่ตัวคูณของ tap เท่ากับ 1 ลงบนเส้นแนวตั้งที่ 480 A ทำตามขั้นตอนนี้ค่าอื่น ๆ ก็จะจัดวางตัวโดยอัตโนมัติ แต่ในแกนนอนของเวลาจะต้องวางให้ทับกันพอดีด้วยเช่นกัน หลังจากเราวางทาบดูก็จะพบว่ากราฟของรีเลย์ที่ค่าปรับตั้งของเวลาเท่ากับ 1 นั้นจะให้ค่ามาร์จินตามต้องการคือมากกว่า 16 % เหนือค่ากระแส 3600 A ของค่าการปรับตั้งการทำงานแบบหน่วงเวลาเร็วของตัวเบรกเกอร์และจะสังเกตได้ว่าค่า 12800 A นั้นเป็นค่ากระแสฟอลต์ทะลุผ่าน (through fault current) มากสุดของตัวหม้อแปลง ดังนั้นจะเห็นว่ารูปกราฟของตัวอุปกรณ์หน่วงเวลาสั้นที่ 3600 A ไม่ยึดมาจนเลยค่า 12800 A นี้ และค่าปรับตั้งเวลาที่มากกว่านี้จะไม่เหมาะสมเพราะว่ามันจะทำให้ค่ามาร์จินระหว่างกราฟของรีเลย์กับกราฟการป้องกันกระแสทะลุผ่าน (through-fault protection curve) น้อยลงไปรวมถึงค่ามาร์จินเมื่อเทียบกับกราฟของรีเลย์ของตัวหม้อแปลงขนาด 3750kVA อีกด้วย

<u>หมายเหตุ</u> ถ้าหากว่าค่าปรับตั้งเวลาที่ 1 นั้นไม่ได้ให้กราฟที่เหมาะสมกับระบบแล้วละก็ ควรจะทำดังนี้

1. เลือกค่า tap ค่าอื่น (จะทำให้กราฟเกิดการเลื่อนไปทางขวาหรือทางซ้าย)
2. ทำการปรับแต่งค่ากระแส pickup ที่น้อยที่สุด ระหว่าง tap หรือปรับแต่งค่าเวลาก็ได้การทำการปรับแต่งค่าเช่นนี้จะช่วยให้การปรับตั้งละเอียดยิ่งขึ้น
3. เลือกกราฟคุณลักษณะของตัวรีเลย์ที่ต่างออกไป เช่น แบบผกผันธรรมดา หรือ แบบผกผันยิ่งยวด ดังในรูปที่ 4.7
4. ใช้อัตราส่วนของหม้อแปลงที่ต่างไปหรือใช้หม้อแปลงกระแสช่วย
5. เปลี่ยนตัวอุปกรณ์หรือค่าปรับตั้งของตัวอุปกรณ์ที่อยู่ใกล้เคียงโดยจะต้องจำไว้ว่าค่าอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแสที่สายป้อนขนาด 4160 V และค่าปรับตั้งของตัวรีเลย์ป้องกันกระแสเกินนั้นถูกเลือกเพื่อป้องกันสายเคเบิลที่ต่อไปยังสับสเตชั่น (substation) ดังนั้นค่ากระแสพิคอัพ ของรีเลย์จะต้องมีค่าไม่เกินค่าความจุกระแสของสายเคเบิล (ความจุของสายเคเบิลน้อยกว่า 480 A) ส่วนค่าของการปรับตั้งให้ทำงานอย่างฉับพลัน (instantaneous element) จะต้องถูกปรับค่าให้มีค่าสูงกว่าค่ากระแสฟอลต์แบบไม่สมมาตรที่ผ่านหม้อแปลง ซึ่งค่านั้นเท่ากับ(2800*480/4160)*(5/300)*1.6 เท่ากับ 39.4 A แต่ตามมาตรฐานของ ANSI/IEEE C37.91-1985 นั้นค่าตัวคูณจะมีค่าเป็น 1.25 เท่าของค่ากระแสฟอลต์แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมาตรมากสุดแทนที่จะเป็น 1.6 โดยค่าตัวคูณนี้จะขึ้นกับค่าอัตราส่วนของ X/R ของวงจรทางเซ็คคันดารีของหม้อแปลง

8. เมนรีเลย์ที่แรงดันระดับกลาง

จะต้องเลือกค่ากระแสพิคอัพ สำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ รีเลย์ที่ป้องกันวงจรทางเซ็คคันดารีของหม้อแปลงขนาด 3750 kVA ให้มีค่าไม่ต่ำกว่า125% ของกระแสโหลดสูงสุด 520*1.25 เท่ากับ 650 A แต่จะต้องไม่เกิน 300% คือ 520*3.00 ซึ่งเท่ากับ 1560 A ค่าที่ดีที่สุดคือ 800 A โดยมีอัตราส่วนของตัวหม้อแปลงกระแสเท่ากับ 800/5 และไม่จำเป็นต้องทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ทำงานแบบฉับพลันบนตัวรีเลย์นี้เพราะว่าไม่สามารถจะนำไปเลือกกับองค์ประกอบที่ทำงานแบบฉับพลันบนสายป้อน เลือกค่าปรับตั้งหน่วงเวลา (time dial setting) ที่ 0.3-0.4 วินาที จะเป็นค่าที่ได้มาตามทฤษฎีที่ตำแหน่งของกระแสฟอลต์เท่ากับ 100 % ค่ามาร์จินค่านี้จะเป็นตัวยืนยันว่าการโคออดิเนทระหว่างตัวเบรกเกอร์หลักทางเซ็คคันดารีของหม้อแปลงกับตัวเบรกเกอร์ป้องกันสายป้อนที่แรงดัน 4160 V

9. ฟิวส์แรงดันสูง

ตามตารางมาตรฐานสำหรับฟิวส์จะพบว่าฟิวส์ที่มีความเร็วมาตรฐาน 100 E จะใช้สำหรับป้องกันตัวหม้อแปลงขนาด 3750 kVA ได้อย่างไรก็ดีฟิวส์ที่มีคุณลักษณะความเร็วต่ำกว่านั้นก็อาจถูกเลือกมาใช้ได้เนื่องจากมันก็มีความสามารถป้องกันหม้อแปลงได้ตามกฎเกณฑ์ได้เช่นกัน แล้วยังช่วยประหยัดเนื้อที่ในการติดตั้งได้อย่างมากอีกด้วยหมายความว่าฟิวส์ที่มีขนาดเล็กกว่าก็ควรจะนำมาทดลองดูได้เช่นกัน วิศวกรบางคนได้เลือกเอาค่ามาร์จินเท่ากับ 0.2-0.4 วินาทีระหว่างกราฟการหลอมเหลวของฟิวส์ต่ำสุดทางไพรมารี (primary fuse minimum melting time curve) กับกราฟของตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์รีเลย์ทางเซ็คคันดารีที่แรงดัน 4160 V ที่ตำแหน่งค่ากระแสลัดวงจรโดยค่านั้นเท่ากับ 55.5 MVA หรือ 7708 A จากตัวอย่างนี้ได้เลือก 100 E 34.5 kV fuse ดังแสดงในรูปที่ 4.6

10. หลักการใช้ศิลปะการยอมประนีประนอม

สามารถทำได้ดังนี้ เลือกการเริ่มต้นโคออดิเนทจากตำแหน่งแรงดันต่ำที่สุดแล้วเลื่อนไปยังแรงดันสูงสุด กราฟคุณลักษณะกระแสกับเวลาของตัวอุปกรณ์ป้องกันหลักที่แรงดันต่ำ ๆ ควรที่จะถูกจัดไว้ให้อยู่ทางซ้ายของกราฟของตัวอุปกรณ์ป้องกันที่คอยสำรองนั้น แต่หากว่ากราฟของมันไม่สามารถจัดให้ได้ดังกล่าวแล้วคงต้องมีการพิจารณาเปลี่ยนตัวอุปกรณ์ป้องกันสำรองให้สูงขึ้นหรือยอมพิจารณายอมประนีประนอม เมื่อใดที่เกิดเหตุการณ์เช่นนี้ขึ้นจะต้องจำไว้ว่าควรจะยอมที่ตำแหน่งที่เกิดความกระทบกระเทือนต่อค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดซึ่งตำแหน่งควรจะเป็นดังต่อไปนี้

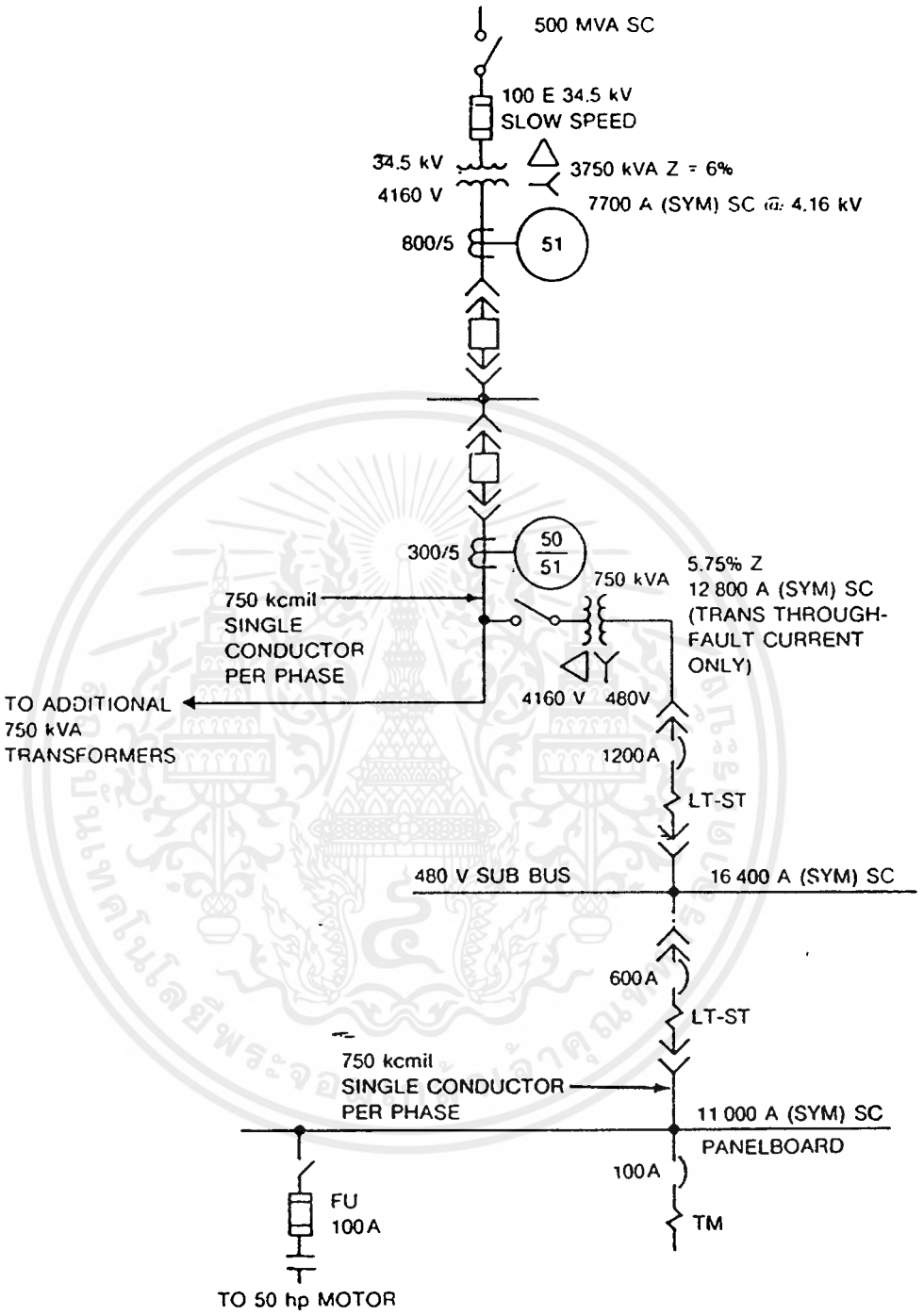
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.1 ระหว่างตัวอุปกรณ์ป้องกันทางไพรมารีของตัวหม้อแปลงกับตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์หลักทางเซ็คคันดารี

10.2 ระหว่างตัวอุปกรณ์ป้องกันโหลด กับตัวอุปกรณ์ป้องกันที่อยู่เหนือขึ้นไป โดยทั่วไปก็จะเป็นเบรกเกอร์ป้องกันสายป้อน หรือตัวอุปกรณ์ป้องกันหลักที่ห้องควบคุมมอเตอร์

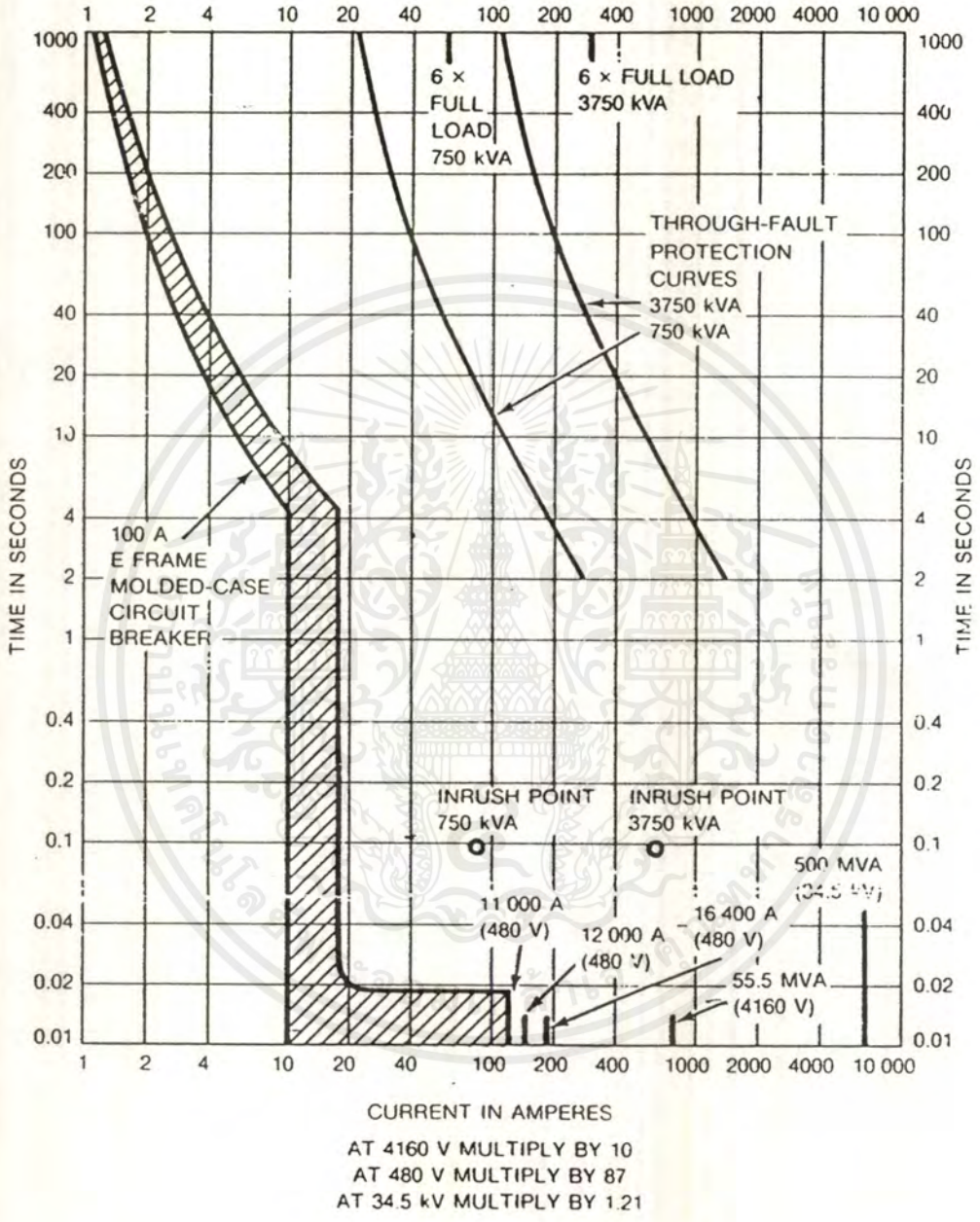
10.3 เทคนิคในการโคออดิเนทให้เกิดความใกล้กันของกราฟคุณลักษณะก็คือ การใช้ตัวรีเลย์ที่มีลักษณะทำงานแบบผกผันยิ่งยวดเป็นตัวอุปกรณ์ป้องกันหลักแล้วเลือกใช้ตัวสำรองเป็นตัวรีเลย์ที่ทำงานแบบผกผันมากๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



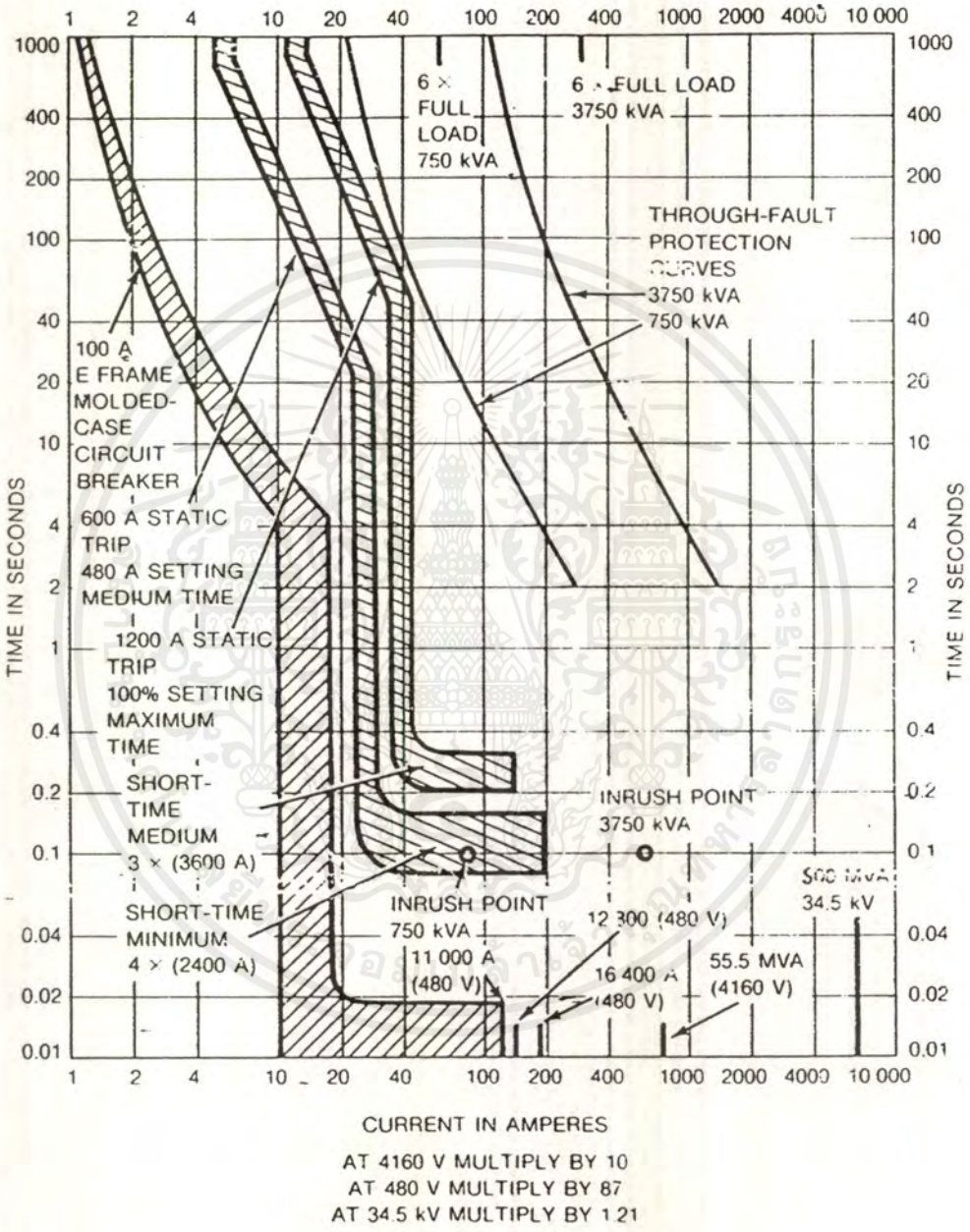
รูปที่ 4.2 วันไลน์ไดอะแกรมสำหรับตัวอย่างในการศึกษาถึง
การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



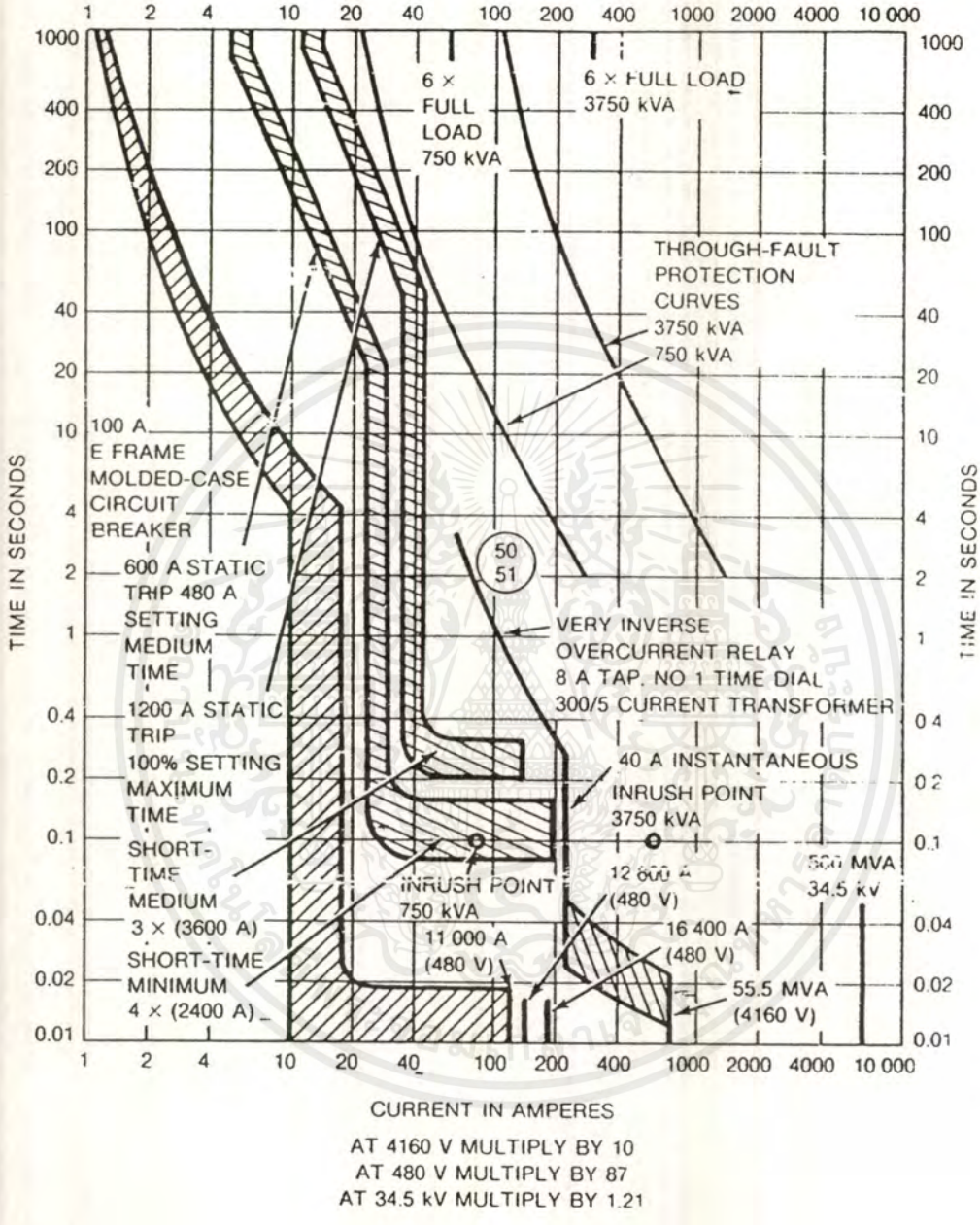
รูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นตำแหน่งที่อยู่คงที่ในกราฟ , กราฟการป้องกันหม้อแปลง , ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดและกราฟคุณลักษณะเวลา-กระแสของเบรกเกอร์ขนาด 100 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



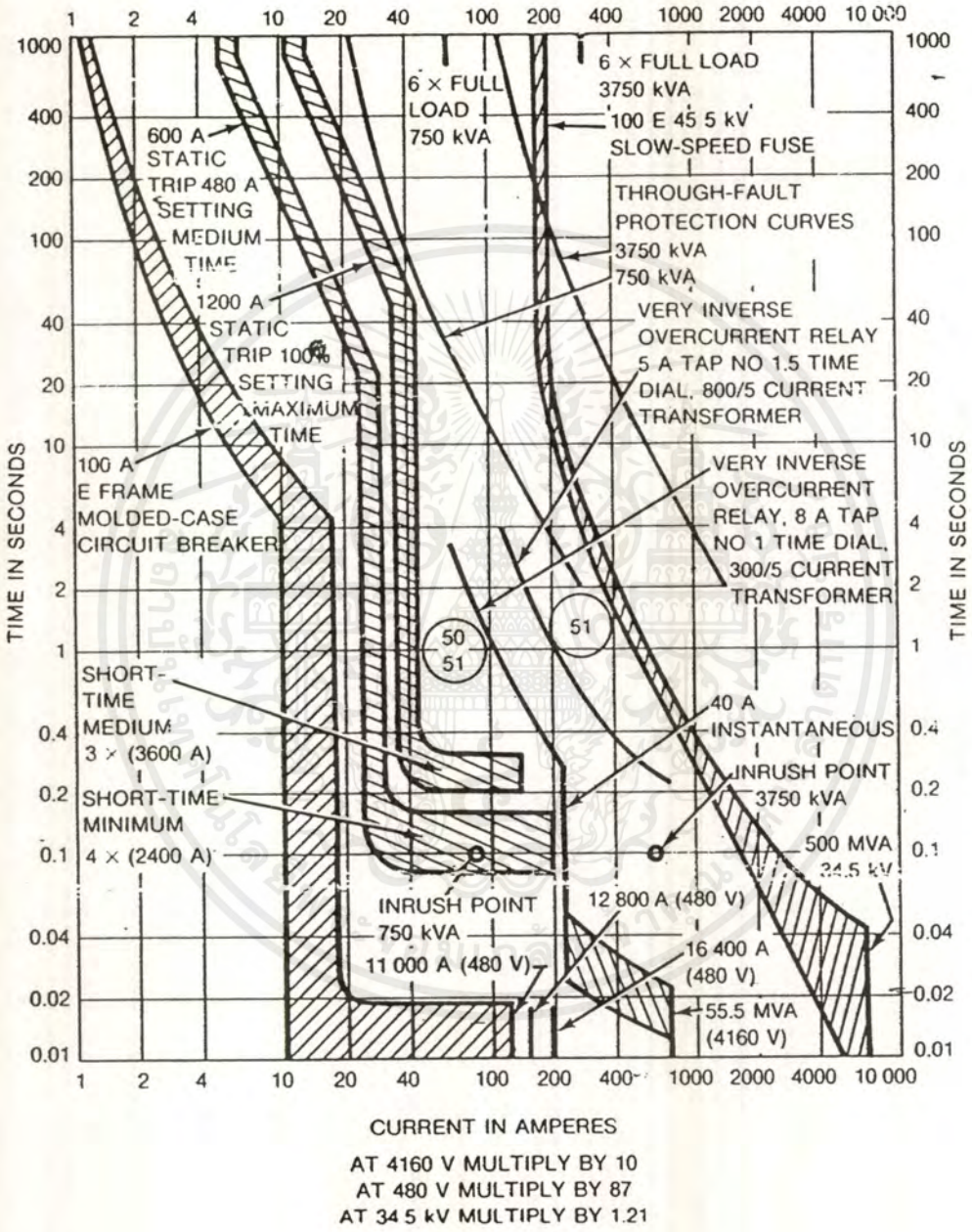
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงคุณลักษณะของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ระดับแรงดันต่ำที่เหมาะสมกับการป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



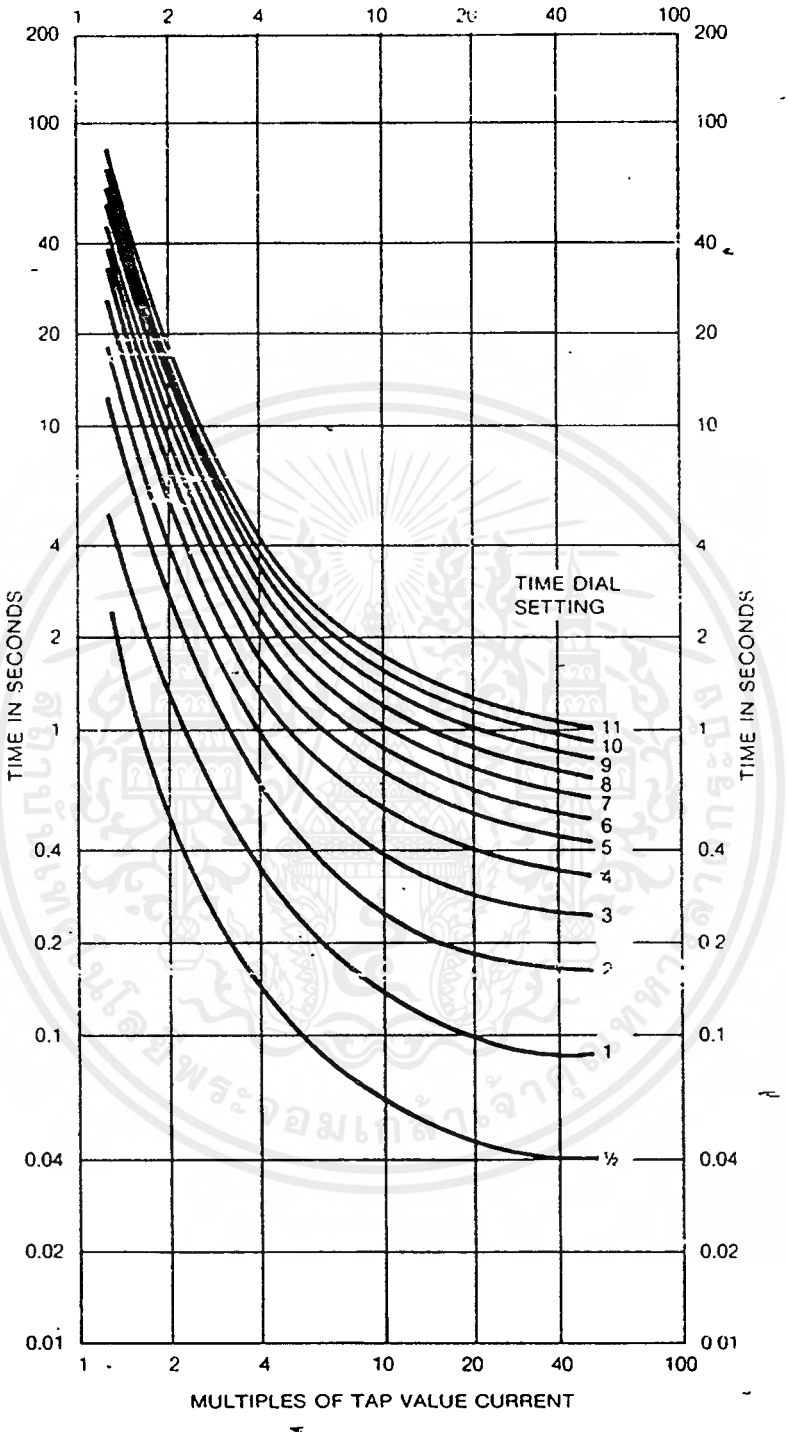
รูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นกราฟคุณลักษณะของตัวรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน และการปรับตั้งค่าของการทำงานแบบฉับพลัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการทำงานร่วมกันของตัวรีเลย์หลักที่มีหน้าที่ป้องกันกระแสเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับเวลาสำหรับรีเลย์ที่ค่าปรับตั้งต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 สรุปหลักการของการออกแบบอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าเพื่อให้มีการทำงานร่วมกัน

สรุปหลักการของการออกแบบอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า เพื่อให้มีการทำงานร่วมกันในระบบไฟฟ้าจะต้องประกอบไปด้วย

1. วันไลน์ไดอะแกรม จะระบุถึงชนิดและพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันทุกชนิดที่ใช้ในระบบไฟฟ้า , ข้อมูลโหลด , ข้อมูลหม้อแปลง , ข้อมูลสายตัวนำ , และค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น
2. อุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าชนิดพิเศษ โดยในแต่ละวงจรไฟฟ้าอาจจะมีการหาอุปกรณ์ป้องกันเพิ่มเติมชนิดพิเศษอื่นๆ แต่อุปกรณ์ชนิดพิเศษที่เพิ่มเติมขึ้นจะต้องเป็นไปตามกฎข้อบังคับของ NEC, ANSI ตัวอย่างเช่น ในกรณีของหม้อแปลงอุปกรณ์ป้องกันที่ติดตั้งจะต้องพิจารณาถึงมาตรฐานของ ANSI ของหม้อแปลง เช่น กระแสแมกเนติกอินรัช (magnetic inrush)หรือกระแสสตาร์ทของมอเตอร์ เป็นต้น
3. การเลือกสเกล ในการเลือกสเกลเพื่อเป็นประโยชน์ในการเขียนคุณสมบัติประจำตัวของอุปกรณ์ป้องกันลงในแผ่นสเกลนั้น โดยปกติทางด้านซ้ายมือของกระดาษสเกลของอุปกรณ์ป้องกัน ณ ตำแหน่งนี้จะมีขนาดเล็กแต่ถ้าอยู่ทางด้านขวามือของกระดาษสเกลอุปกรณ์ป้องกันจะมีขนาดใหญ่ นอกจากนี้สเกลของกระแสยังจะขึ้นอยู่กับระดับแรงดันไฟฟ้าอีกด้วย
4. จุดคงที่โดยในกระดาษสเกลซึ่งเป็น log-log นั้นอุปกรณ์ป้องกันจะมีคุณสมบัติประจำตัวที่แสดงด้วยจุดที่คงที่ได้
5. การเริ่มทำการออกแบบ โดยทั่วๆ ไปจะเริ่มต้นจากอุปกรณ์ป้องกันของวงจรย่อยไล่เรื่อย ๆ ไปจนถึงแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า
6. คุณสมบัติของอุปกรณ์ป้องกันที่ระดับแรงดันไฟฟ้าต่างกัน จะต้องหาความสัมพันธ์ของระดับแรงดันไฟฟ้าเหล่านั้น เช่น หม้อแปลง 75 kVA , 480 V / 240V กระแสทางด้านแรงต่ำมีค่า 225 A ดังนั้นกระแสทางด้านแรงสูงจะมีค่า 225 x (240/480) = 112.5 A เป็นต้น
7. เลือกพิกัดและการปรับของอุปกรณ์ป้องกัน ปกติจะเลือกขนาดของอุปกรณ์ป้องกันที่ค่าต่ำสุดก่อน โดยอุปกรณ์ป้องกันที่มีขนาดต่ำสุดนี้ยอมให้กระแสปกติไหลผ่านแต่จะต้องทำงานเปิดวงจรเมื่อกรณีกระแสผิดปกติไหลผ่านตัวมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 ข้อมูลที่จำเป็นที่จะใช้ในการศึกษาถึงการทำงานร่วมกัน ของอุปกรณ์ไฟฟ้า

ประกอบไปด้วย

1. ข้อมูลโหลด เช่น กระแสโหลดสูงสุดไหลในวงจร , กระแสกรณีที่เกิดขึ้นขณะสับโหลดทันที , หรือกระแสเฉียบพลัน ซึ่งกระแสนี้เป็นกรณีพิเศษที่อาจจำเป็นต้องนำมาพิจารณา
2. หม้อแปลง ข้อมูลประกอบไปด้วยพิกัด kVA , แรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ , การต่อวงจรว่าเป็นแบบใด เช่น Δ-Y , Δ-Δ หรืออื่น ๆ เปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์ กระแสแมกนีติกอินรัช , ชนิดของหม้อแปลงว่าเป็นแบบแห้ง , น้ำมันท่วม หรือขนาดของการจ่ายโหลดเกิน
3. มอเตอร์ มีข้อมูลประกอบไปด้วย แรงม้า , กระแสพิกัด , กระแสล็อกโรเตอร์ , ค่าเซอร์วิสแฟกเตอร์(service factor) , เวลาในการสตาร์ท , ชนิดของการสตาร์ด
4. บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกัน เช่น พิกัด , ชนิด , การปรับตั้งอุปกรณ์ป้องกัน , การปรับแต่งพิเศษในตัวอุปกรณ์บางตัว
5. กระแสลัดวงจร ซึ่งส่วนมากจะพิจารณาถึงกระแสสูงสุดที่เกิดขึ้นในกรณีลัดวงจรแบบ 3 เฟส และกระแสลัดวงจรควรจะทราบค่า ณ ทุก ๆ ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน
6. คุณสมบัติของกระแส-เวลาของอุปกรณ์ป้องกันทุกตัวจะต้องมีและสามารถเขียนลงในกระดาษกราฟชนิด log-log ได้
7. เซอร์กิตเบรกเกอร์ ประกอบด้วยชนิด , บริษัทผู้ผลิต , ขนาดเฟรม , พิกัดกระแสหรือพิกัดกระแสของอุปกรณ์ตรวจสอบ , ค่าการปรับแต่งแบบหน่วงเวลานาน , เวลาช้า และแบบทันทีทันใดเป็นต้น
8. รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน ประกอบด้วยชนิด , บริษัทผู้ผลิต , ค่าการปรับกระแสเปิดวงจร , ค่าหน่วงเวลา , ค่าการปรับแต่งให้ทำงานทันทีทันใด , อัตราส่วนของหม้อแปลงที่ใช้ร่วมกับรีเลย์
9. ฟิวส์ ประกอบด้วย ชนิด , บริษัทผู้ผลิต , พิกัดกระแสต่อเนื่อง
10. สายเคเบิลหรือสายตัวนำ ประกอบด้วย จำนวนตัวนำต่อเฟส , เดินในท่อหรือเดินลอยในอากาศ , ชนิดของตัวนำ (ทองแดง หรือ อะลูมิเนียม) ชนิดของฉนวน , ขนาดกระแสสูงสุด , การทนต่อกระแสลัดวงจร
11. บัสเวย์ ประกอบด้วยขนาดกระแสสูงสุด
12. แผงย่อย สวิตซ์บอร์ด ประกอบด้วย ขนาดกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การใช้งานโปรแกรม

5.1 การออกแบบ การคำนวณหากระแสลัดวงจรและการโคออดิเนชั่น

1. วาดรูปของระบบไฟฟ้าที่ต้องการ (One line diagram)
2. ในวันไลน์ไดอแกรมจะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้
    - 2.1 ระบบไฟฟ้า (Utility System)
    - 2.2 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) สามารถมีหม้อแปลงเปลี่ยนแรงดันได้ 1 ระดับเท่านั้น
    - 2.3 มอเตอร์ (Motor)
    - 2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)
    - 2.5 ชุดสตาร์ทมอเตอร์
    - 2.6 โหลดของระบบไฟฟ้า (Load)
    - 2.7 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)
    - 2.8 สาย (Line)
    - 2.9 คาปาซิเตอร์ (Capacitor)

3. เมื่อผู้ใช้งานวาดวันไลน์ไดอแกรมเสร็จแล้ว ถ้ามีอุปกรณ์เหล่านี้คือ มอเตอร์ , เครื่องกำเนิดไฟฟ้า , ระบบไฟฟ้าและโหลดจะต้องป้อนข้อมูลลงไปให้ครบถ้วน

4. ขั้นตอนต่อไปนี้จะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 กรณี

    4.1 ผู้ใช้งานออกแบบเอง กรณีนี้ผู้ใช้งานต้องใส่ข้อมูลของเซอร์กิตเบรกเกอร์ , สาย และหม้อแปลงที่ผู้ใช้งานได้ออกแบบไว้หรือได้เลือกจากฐานข้อมูลที่มีอยู่ในโปรแกรม

    4.2 ผู้ใช้งานให้โปรแกรมออกแบบให้ กรณีนี้ผู้ใช้งานไม่ต้องใส่ข้อมูลของ เซอร์กิตเบรกเกอร์ , สายและหม้อแปลง เพราะเมื่อโปรแกรมรับข้อมูลของ มอเตอร์ , เครื่องกำเนิดไฟฟ้า , โหลด และระบบไฟฟ้า ที่ผู้ใช้งานป้อนเข้าไปในขั้นตอนที่ 3 โปรแกรมจะทำการคำนวณหากระแสโหลดที่พิกัด (I rate) ตามทฤษฎี เพื่อนำไปเลือกขนาดของ เซอร์กิตเบรกเกอร์ สาย และหม้อแปลง จากฐานข้อมูลที่มีอยู่ในโปรแกรมโดยอัตโนมัติ โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ได้จะรู้เฉพาะค่าแอมป์ทริปและแอมป์เฟรม แต่ค่าอินเตอร์รัพติ้งคาปาซิตี้ (Ic) ยังไม่รู้เนื่องจากต้องใช้ค่ากระแสลัดวงจรในการเลือก ซึ่งอยู่ในขั้นตอนที่ 5 , สาย และหม้อแปลงจากฐานข้อมูลที่มีอยู่ในโปรแกรมโดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การคำนวณหากระแสลัดวงจร

โปรแกรมจะนำข้อมูลของอุปกรณ์ที่ผู้ใช้งานป้อนเข้าไปมาคำนวณตามมาตรฐาน ANSI – IEEE 242/1986 โดยวิธี Direct Method ซึ่งวิธีนี้ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 แล้วโปรแกรมจะนำค่ากระแสลัดวงจรที่ได้ไปเลือกค่าอินเตอร์รัพติ้งคาปาซิตี้ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ซึ่งก็จะได้ข้อมูลของเซอร์กิตเบรกเกอร์ครบสมบูรณ์

6. การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันแบ่งเป็น 2 กรณีเช่นกัน

6.1 ผู้ใช้งานออกแบบเอง กรณีนี้ผู้ใช้งานจะต้องเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์จากที่ผู้ใช้งานได้ออกแบบไว้ในขั้นตอนที่ 4.1 ซึ่งเซอร์กิตเบรกเกอร์แต่ละตัวจะมี tripping curve แสดงให้ดูเพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่สามารถทำงานร่วมกันได้

6.2 ผู้ใช้งานให้โปรแกรมออกแบบให้ กรณีนี้โปรแกรมจะเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่สามารถทำงานร่วมกันได้จากฐานข้อมูลโดยอัตโนมัติ (กำหนดให้เซอร์กิตเบรกเกอร์แต่ละตัวในวันไลน์ไดอแกรมเป็นของบริษัทเดียวกันเพื่อง่ายในการโคออดิเนชั่น)

5.2 วิธีการใช้โปรแกรม

1.เข้าโปรแกรม

2.หน้าจอคอมพิวเตอร์จะแสดงขึ้นมาดังรูปที่ 5.1 ซึ่งประกอบไปด้วย

2.1 แถบชื่อเรื่อง (title bar) เป็นส่วนที่แสดงชื่อโปรแกรม และชื่อของไฟล์

2.2 แถบเมนู (menu bar) เป็นส่วนคำสั่งทั้งหมดมี hot key ระบุไว้ด้วย

2.3 แถบเครื่องมือ (tool bar) เป็นส่วนที่แสดงคำสั่งที่ใช้

Short circuit current เพื่อคำนวณหากระแสลัดวงจร

Coordination เพื่อแสดงการโคออดิเนชั่น

Find equipmant ใช้ในการหากระแสโหลดที่พิกัด หาเซอร์กิตเบรกเกอร์ , ขนาดสาย ,ขนาดหม้อแปลง ในกรณีที่ให้โปรแกรมออกแบบให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power monitor แสดงข้อมูลของกำลังในระบบทั้ง กำลังงานที่เกิดขึ้นจริง (real power) ,กำลังงานเสมือน (reactive power) , กำลังงานปรากฏ (active power) และค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์ของระบบ

2.4 แถบของอุปกรณ์ (parts bin) เป็นส่วนที่แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวาดวันไลน์ไดอแกรม มีดังนี้

System เป็นระบบทางไฟฟ้าถูกกำหนดให้มีเพียง 1 ระบบต่อวงจร

Busbar

Generator เป็นการออกแบบเพื่อจ่ายไฟสำรอง

Motor เป็นทั้งอินดักชั่นและซิงโครนัสมอเตอร์

Circuit Breaker

Load เช่น อุปกรณ์แสงสว่าง

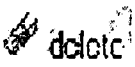
Transformer ถูกกำหนดให้มี 1 ตัว ต่อวงจร

Cable สายไฟฟ้า

Capacitor เป็นตัวที่ใช้ปรับปรุงค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์ (power factor)

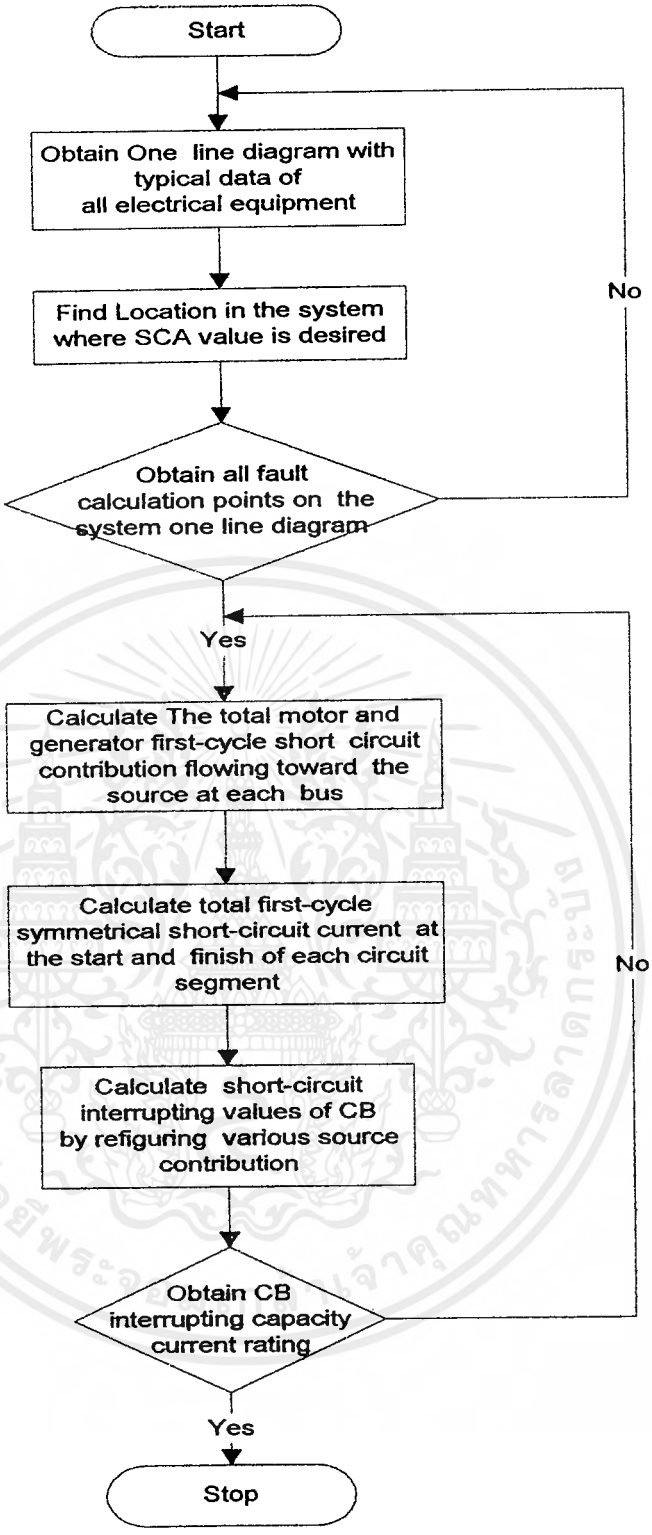
Star-Delta start อุปกรณ์ที่ช่วยในการสตาร์ทมอเตอร์

Direct online start อุปกรณ์ที่ช่วยในการสตาร์ทมอเตอร์



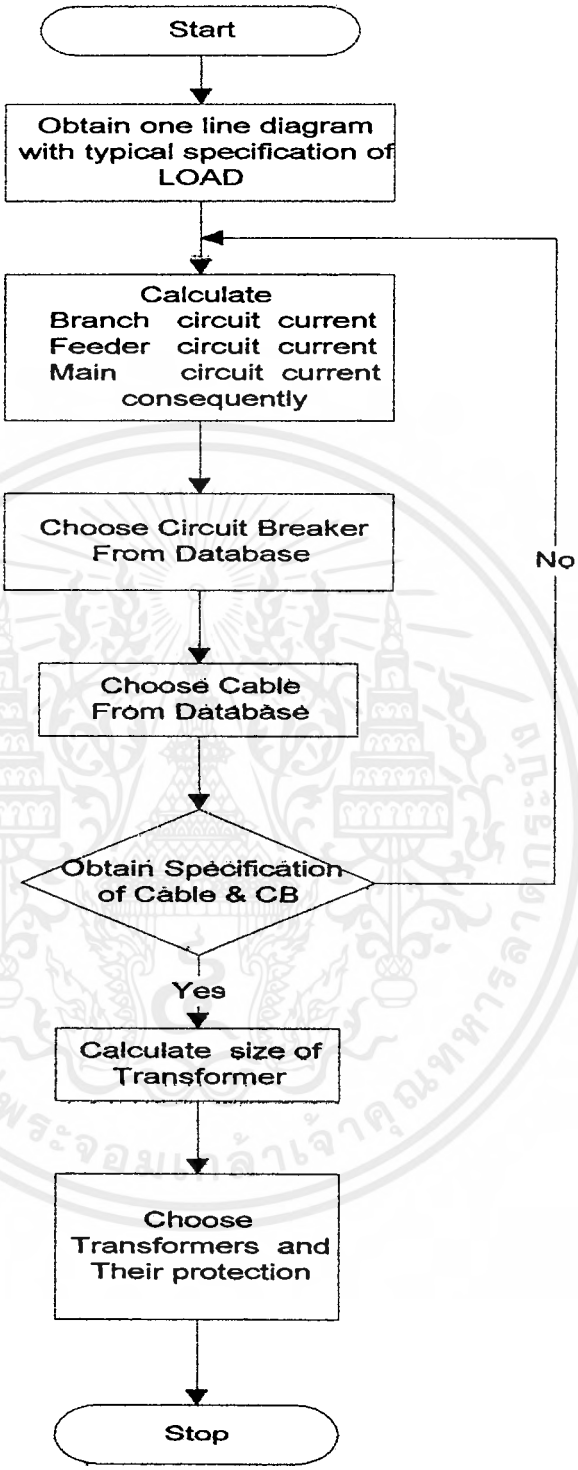
Delete ใช้ในการลบอุปกรณ์ที่ไม่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



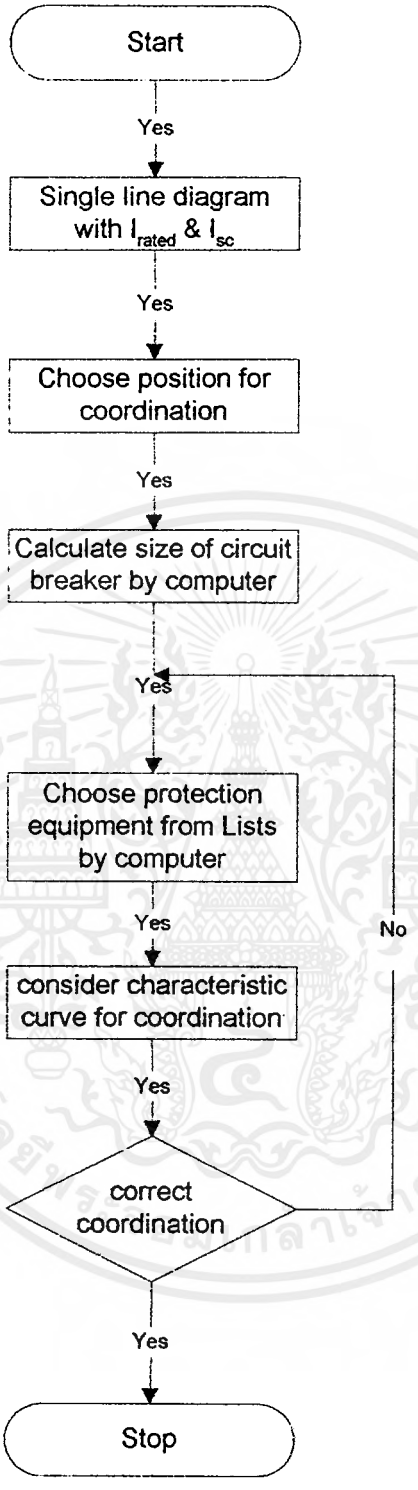
รูปที่ 5.1 โฟลชาร์ตแสดงกรรมวิธีหาค่ากระแสฟอลต์และหาค่าอินเตอร์รัพติ้งคาปาซิตี้ของเซอร์กิตเบรกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



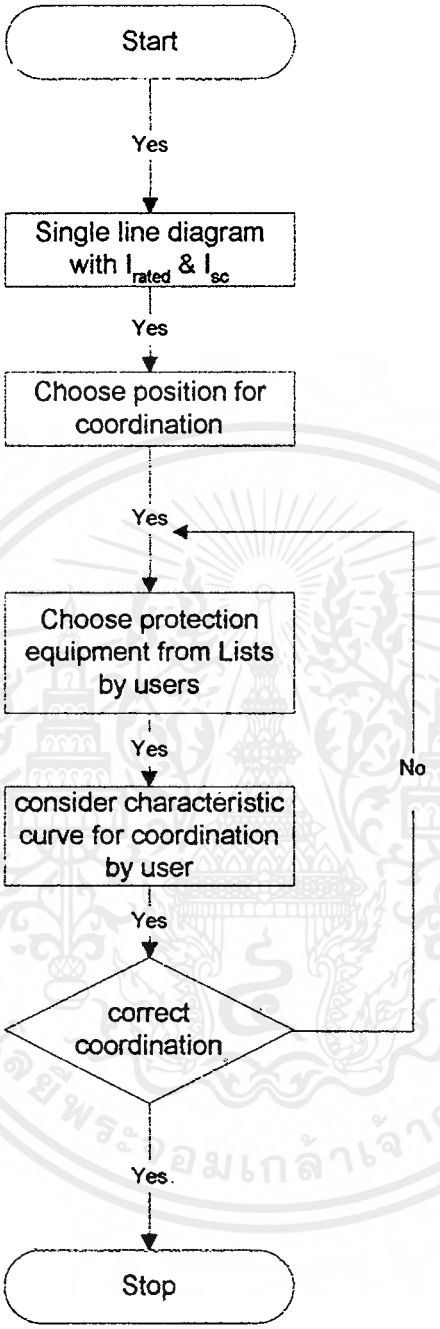
รูปที่ 5.2 โฟลชาร์ตแสดงการหาขนาดและข้อมูลต่าง ๆ ของตัวอุปกรณ์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



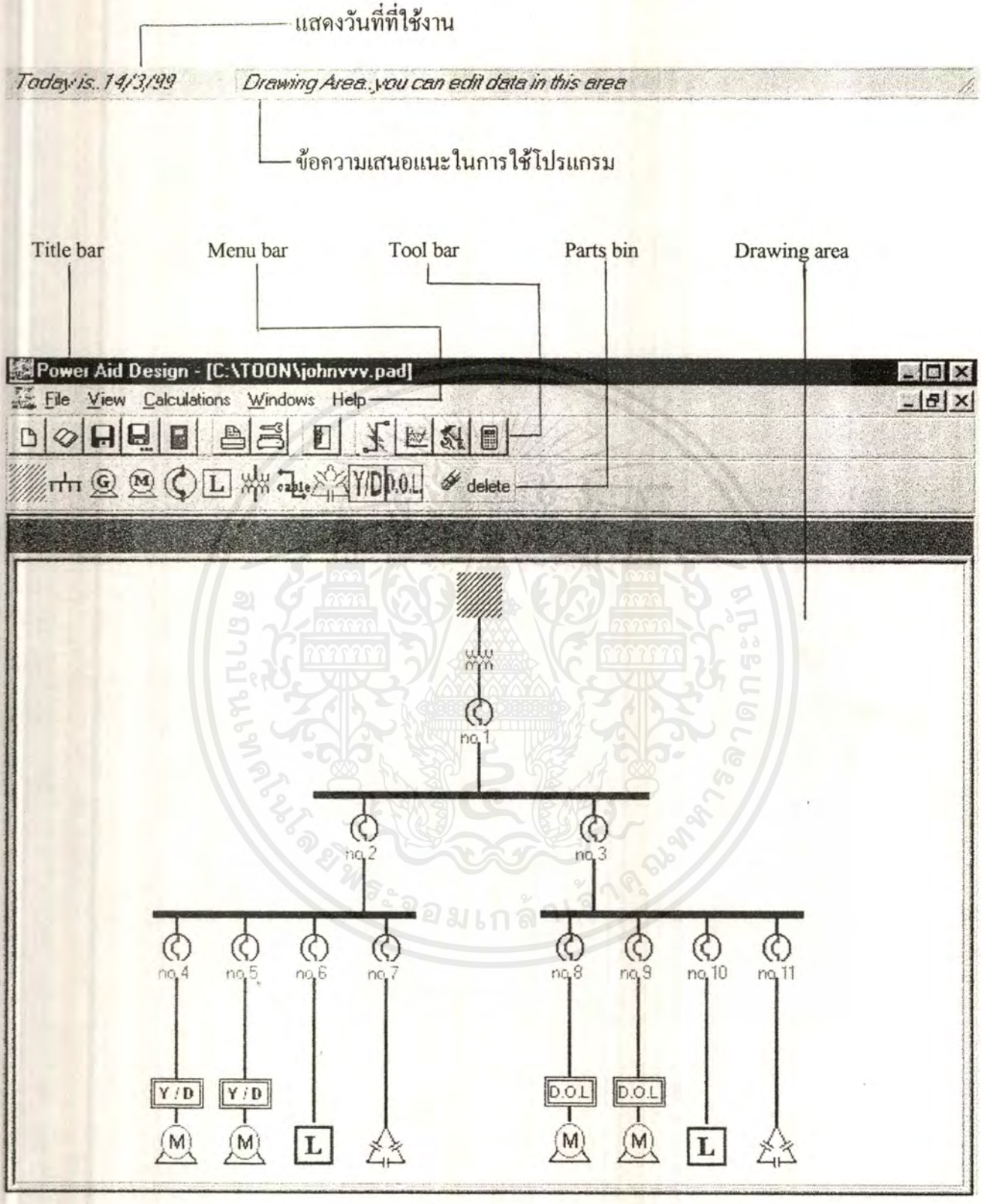
รูปที่ 5.3 โฟลชาร์ตแสดงการโคออดิเนชั่นของอุปกรณ์ป้องกันโดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 โฟลชาร์ตแสดงการโคออดิเนชั่นของอุปกรณ์ป้องกันโดยผู้ใช้เลือกเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แสดงรูปแบบของหน้าจอของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขั้นแรกต้องวาดวันไลน์ไดอแกรมซึ่งรูปของอุปกรณ์ต่าง ๆ จะอยู่ในส่วนของ Parts bin ได้แก่

3.1 การวาดรูปทำได้โดยคลิ๊กที่ปุ่มของอุปกรณ์ที่เราต้องการจะวาดแล้วนำไปคลิ๊กในบริเวณที่ใช้วาดรูป (drawing area) ตามตำแหน่งที่เราต้องการ

3.2 จะมีอุปกรณ์ที่แตกต่างออกไปคือ สายเคเบิล โดยการวาดสายเคเบิลจะคลิ๊กที่ปุ่มเคเบิล (Cable) ในส่วนของ Parts bin แล้วคลิ๊กที่อุปกรณ์ตัวแรกในบริเวณที่ใช้วาดรูป แล้วนำไปคลิ๊กที่อุปกรณ์อีกตัวที่ต้องการเชื่อมต่อโดยเคเบิล จะได้สายเคเบิลเชื่อมต่ออุปกรณ์ 2 ชนิดที่เราต้องการ

4. ในการลบอุปกรณ์จะต้องคลิ๊กที่ปุ่ม Delete แล้วนำไปคลิ๊กที่อุปกรณ์ที่ต้องการจะลบ เมื่อทำการลบเสร็จเรียบร้อยแล้วก็ต้องคลิ๊กที่ปุ่ม Delete อีกที (เนื่องจากปุ่มนี้เป็นการทำงานแบบคลิ๊กดาวน์คลิ๊กอัพ (Click down Click up))

5. เมื่อวาดรูปเสร็จแล้วถ้ามี มอเตอร์ , เครื่องกำเนิดไฟฟ้า , ระบบไฟฟ้า และโหลด ต้องใส่ข้อมูลของอุปกรณ์เหล่านี้ลงไปให้ครบเพื่อใช้ในการคำนวณ การใส่ข้อมูลทำได้โดยดับเบิ้ลคลิ๊กที่อุปกรณ์นั้น ๆ จะมีกรอบที่ใช้แสดงข้อมูล (Dialog box) ขึ้นมาดังตัวอย่าง เช่น กรอบที่ใช้แสดงข้อมูลของมอเตอร์ดังรูป 5.2

6. ในส่วนของ เซอร์กิตเบรกเกอร์ , สายและหม้อแปลงจะแบ่งเป็น 2 กรณี

6.1 ผู้ใช้งานออกแบบเอง กรณีนี้ผู้ออกแบบจะต้องใส่ข้อมูลของทั้ง 3 อุปกรณ์ โดยดับเบิ้ลคลิ๊กที่ตัวอุปกรณ์ก็จะมีกรอบที่ใช้แสดงข้อมูลแสดงขึ้นมาเช่นเดียวกับมอเตอร์ , เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น มีลักษณะดังต่อไปนี้ เช่น กรอบแสดงข้อมูลของเซอร์กิตเบรกเกอร์ดังรูปที่ 5.3 ในส่วนของการเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์จะแตกต่างจากอุปกรณ์อื่น ๆ คือ

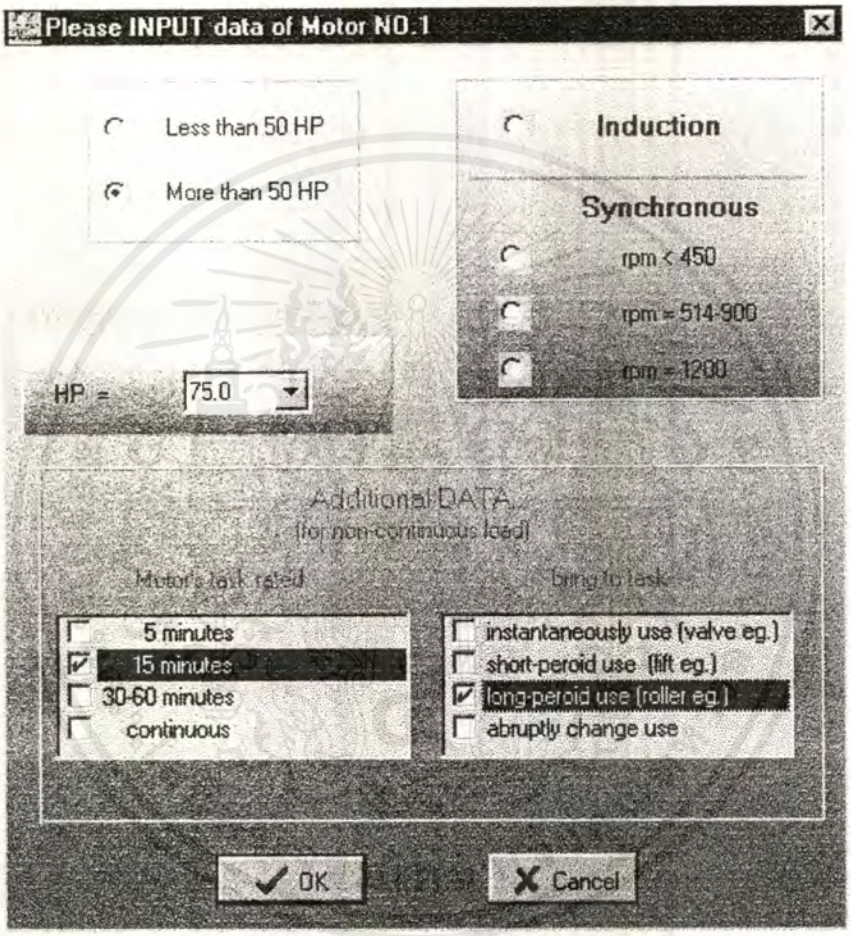
1. ขั้นแรกต้องเลือกบริษัทที่ผลิตเซอร์กิตเบรกเกอร์ซึ่งในโปรแกรมมีอยู่ 2 บริษัท คือ Square D และ ABB โดยคลิ๊กไปที่ปุ่มที่ใช้เลือก

2. เมื่อคลิ๊กแล้วข้อมูลของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตามบริษัทที่เลือกจะแสดงขึ้นมาในตารางดังรูป 5.3

3. ในการเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ต้องเลื่อนลูกศรที่อยู่หน้าเรคคอร์ดไปยังเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ต้องการ นอกจากนั้นยังสามารถให้โปรแกรมแสดง Triping curve ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่เลือก โดยกดที่ปุ่ม View curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ผู้ใช้งานให้โปรแกรมออกแบบ กรณีนี้ผู้ใช้งานไม่ต้องใส่ข้อมูลของ เซอร์กิตเบรกเกอร์ , สายและหม้อแปลง เพราะเมื่อโปรแกรมคำนวณหาค่ากระแสโหลดที่พิกัด (กระแสโหลดที่พิกัดดูได้โดยนำเคอเซอร์ไปชี้เคเบิล ณ ตำแหน่งที่ต้องการ) แล้วก็จะเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมแสดงไว้ในกรอบที่ใช้แสดงข้อมูลของอุปกรณ์แต่ละชนิด ซึ่งสามารถดูพิกัดต่าง ๆ ของอุปกรณ์โดยดับเบิ้ลคลิ๊กที่ตัวอุปกรณ์นั้น ๆ

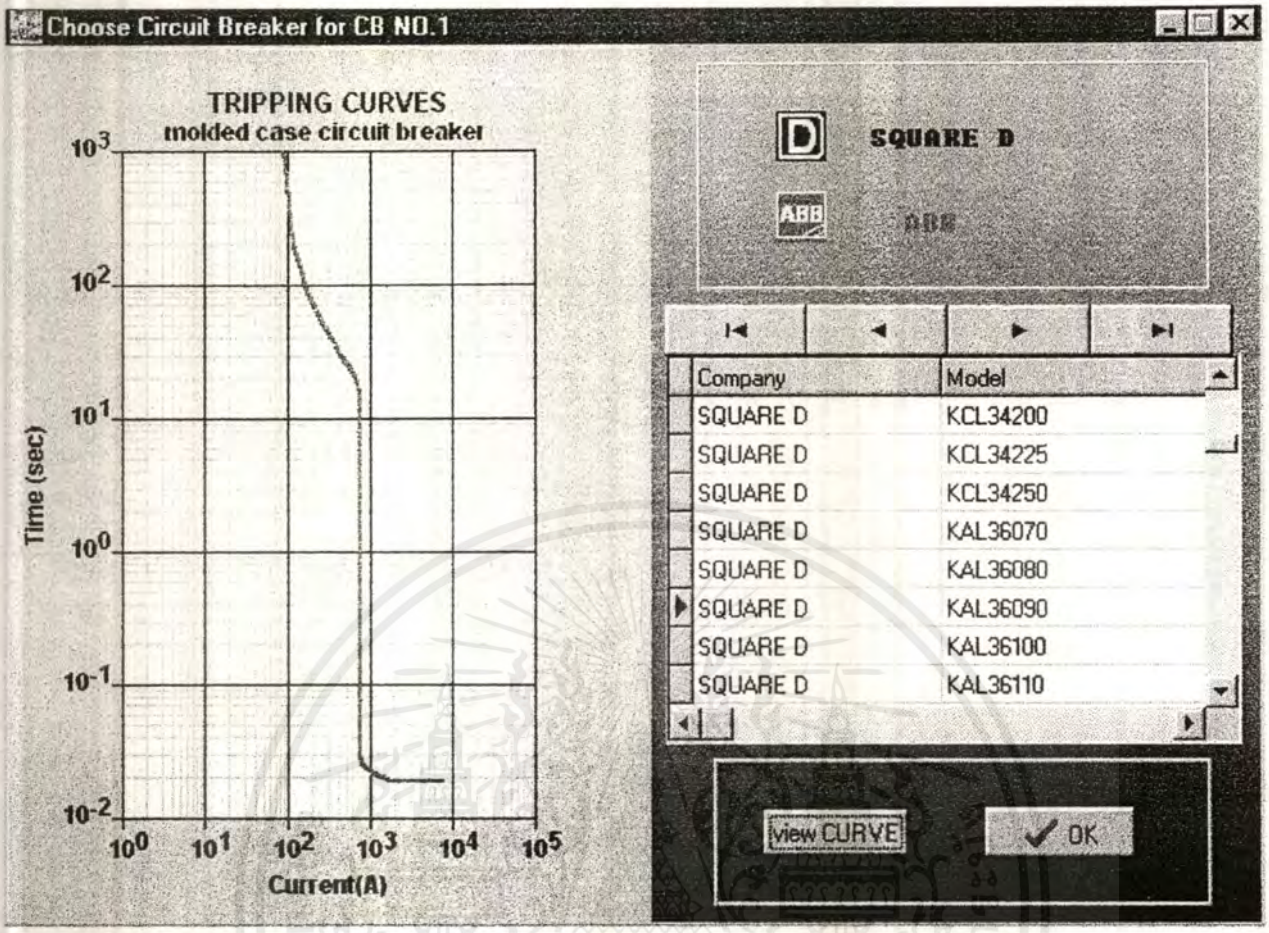


รูปที่ 5.6 กรอบแสดงข้อมูลของมอเตอร์

7. การคำนวณกระแสลัดวงจร

จะต้องคลิ๊กที่ปุ่ม short circuit calculation โดยสามารถดูได้โดยนำเคอเซอร์ไปชี้ที่เคเบิล ณ ตำแหน่งที่ต้องการรู้กระแสลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



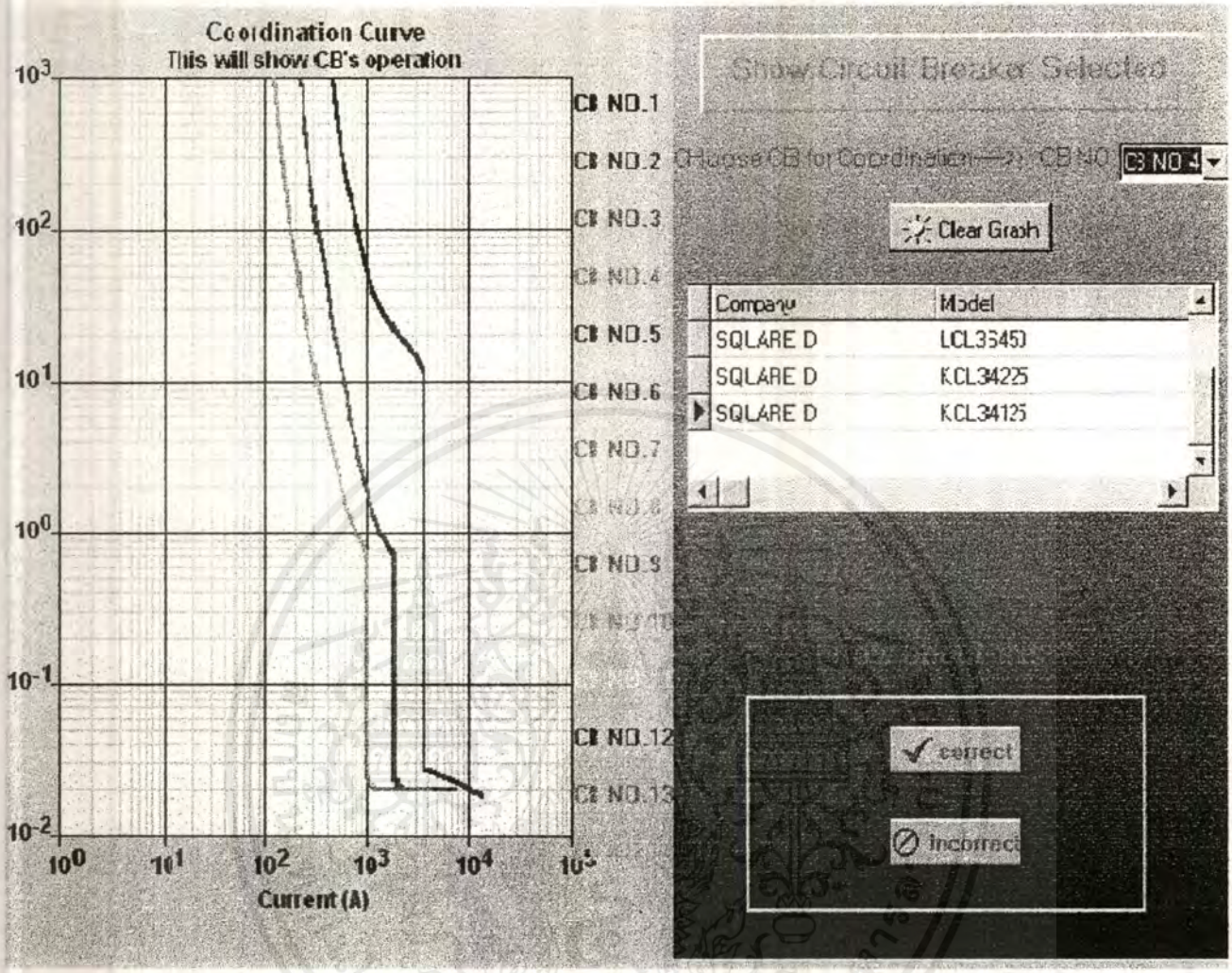
รูปที่ 5.7 แสดงกรอบที่ใช้แสดงข้อมูลของเซอร์กิตเบรกเกอร์

8. การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกัน (Coordination) แบ่งเป็น 2 กรณีเช่นกัน

8.1 กรณีที่ผู้ใช้งานออกแบบเอง ต้องกดที่ปุ่มโคออดิเนทจะขึ้นหน้าจอที่แสดงกราฟและตารางข้อมูลของเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยต้องเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์จากที่ผู้ใช้งานได้ออกแบบไว้เป็น เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่ 1 , ตัวที่ 2 เป็นต้น ซึ่งเซอร์กิตเบรกเกอร์แต่ละตัวจะมี tripping curve แสดงให้ดูเพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่สามารถทำงานร่วมกันได้ ดังรูปที่ 5.4

8.2 ผู้ใช้งานให้โปรแกรมออกแบบให้ กรณีนี้โปรแกรมจะเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่สามารถทำงานร่วมกันได้จากฐานข้อมูลโดยอัตโนมัติ (กำหนดให้เซอร์กิตเบรกเกอร์แต่ละตัวในวันไลน์ไดอแกรมเป็นของบริษัทเดียวกันเพื่อง่ายในการโคออดิเนชั่น) ดังรูป 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 แสดงกรอบที่ใช้แสดงข้อมูลของการโคออดิเนชั่น

เมื่อเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์แล้วข้อมูลของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่เลือกจะแสดงอยู่ในตาราง โดยกราฟของเซอร์กิตเบรกเกอร์แต่ละตัวก็จะแสดงอยู่ทางด้านซ้าย (กราฟแต่ละเส้นจะมีสีกำหนดไว้ว่าเป็นของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวไหน) หลังจากนั้นก็สามารถพิจารณาการทำงานร่วมกันของเซอร์กิตเบรกเกอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
บทสรุปและวิจารณ์

6.1 บทสรุป

การใช้โปรแกรมในการออกแบบระบบไฟฟ้าวิเคราะห์กระแสลัดวงจรและแสดงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าในระบบแรงดันต่ำ (low voltage) ซึ่งในการออกแบบระบบไฟฟ้านั้นจะสามารถหาขนาดของสาย,พิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์และขนาดของหม้อแปลงโดยในการคำนวณหาขนาดช่องสาย ,พิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์และขนาดของหม้อแปลงนั้นจะต้องทำการป้อนค่าภาระทางไฟฟ้า (load)ก่อน เพื่อที่จะนำมาหาค่ากระแสที่พิกัดของภาระทางไฟฟ้าแต่ละตัวเพื่อที่จะนำไปเลือกอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับการรับภาระทางไฟฟ้าในระบบนั้น

ส่วนในการวิเคราะห์หาค่ากระแสลัดวงจรนั้นจะพิจารณากระแสผิดปกติแบบ 3 เฟสสมมาตร (three phase symetrical fault) เพราะว่ามีโอกาสเกิดมากกว่ากระแสผิดปกติแบบไลน์ทูกราวด์ (Line to ground fault) บางครั้งการเกิดกระแสผิดปกติแบบไลน์ทูกราวด์ (Line to ground fault) จะมีความรุนแรงมากกว่า โดยการคำนวณค่ากระแสผิดปกติแบบ 3 เฟสสมมาตร (three phase symetrical fault)จะอ้างอิงจากมาตรฐาน ANSI/IEEE ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นคือค่าซับทรานเซียลรีแอกแตนซ์ (Xd") ของมอเตอร์ชนิดต่างๆ ,เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและค่ารีแอกแตนซ์ต่อค่ารีซีสแตนส์ (X/R) ของมอเตอร์ ,เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าและสายตัวนำ ส่วนตำแหน่งที่จะเกิดกระแสลัดวงจรที่รุนแรงที่สุดคือหม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อได้ค่ากระแสลัดวงจรแล้วโปรแกรมจะนำค่ากระแสลัดวงจรไปใช้ในการเลือกค่าอินเทอร์รัพติ้งคาปาซิตี้ (IC)ให้มีค่ามากกว่าค่ากระแสลัดวงจรเพื่อความปลอดภัยในระบบไฟฟ้า

ส่วนการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้านั้น การทำงานที่มีประสิทธิภาพของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า อุปกรณ์ที่จะต้องทำงานก่อนคืออุปกรณ์ตัวที่มีความสำคัญน้อยที่สุดและส่วนที่ไม่ควรตัดวงจรออกก็คือบริเวณอุปกรณ์จ่ายไฟฟ้าหลัก (main distribution) เมื่อมีกระแสลัดวงจรเกิดขึ้นที่จุดย่อยๆ ดังนั้นอินเทอร์รัพติ้งคาปาซิตี้ที่เบรกเกอร์หลักนั้นควรที่จะมีค่ามากสุด โดยในส่วนโปรแกรมการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้านั้นจะมีอยู่ 2 กรณี คือ กรณีแรกผู้ใช้เลือกอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าเองและทำการพิจารณากราฟของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า และกรณีที่สองโปรแกรมทำการเลือกขนาดอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าให้โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะทำการพิจารณาไม่ให้กราฟทับกัน (overlap) เพื่อให้เกิดการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อมีการใช้โปรแกรมในการออกแบบระบบไฟฟ้าวิเคราะห์กระแสลัดวงจรเรียบร้อยแล้วสามารถที่จะบันทึกเก็บข้อมูลไว้ในคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งเมื่อใดที่เราต้องการดูข้อมูลอีกเราก็จะสามารถที่จะเปิดออกมาดูได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 วิจารณ์

6.2.1 วิเคราะห์เฉพาะระบบที่มีหม้อแปลงเพียงตัวเดียวโดยระดับแรงดันทางเซ็คคันดารีมีหลายแรงดัน

6.2.2 การแสดงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันจะพิจารณาการจัดลำดับการปลดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ให้ถูกต้องเท่านั้น (ไม่มีการทับกันของกราฟ tripping curve) ไม่ได้ระบุถึงค่าปรับตั้งของอุปกรณ์ป้องกันเพื่อให้การป้องกันในระบบไฟฟ้าทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพ

6.2.3 ในการป้อนข้อมูลของโหลดจำเป็นต้องทราบถึงค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. การไฟฟ้านครหลวง, "กฎการเดินสายและติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า" กฟน. , 2538.
2. รศ. ศุลี บรรจงจิตร, "หลักการและเทคนิคการออกแบบระบบไฟฟ้ากำลัง (ฉบับปรับปรุงและเพิ่มเติม)" บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) ; 2537.
3. สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, "การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามกฎการเดินสาย ของการไฟฟ้านครหลวง" เอกสารประกอบการบรรยายทางวิชาการ ณ โรงแรมเจ้าพระยาปาร์ค, 2539.
4. IEEE Std 141-1986, "IEEE , Recommend practice for electric power distribution for industrial plant ; 1986".
5. IEEE Std 242-1986, "IEEE , Recommend practice for protection and coordinate of industrial and commercial power system ; 1986".
6. National Electrical Code (NEC) ; 1996 Edition.
7. Phelp dodge's Design manual on electrical conductor for interior wiring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์ของท่านต่างๆดังต่อไปนี้

1. รองศาสตราจารย์ศุลี บรรจงจิตร
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าอาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำความรู้ทางวิชาการต่างๆจนนำมา ได้ซึ่งโครงงานทางวิชาการนี้

2. อาจารย์ชาย ชมภูอินไหว
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าอาจารย์ที่ปรึกษาและรุ่นพี่ที่แสนดีที่คอยให้คำปรึกษาคำแนะนำและหาข้อมูลคอยให้กำลังใจและดูแลโครงงานของกลุ่มเป็นอย่างดี

3. อาจารย์เชาว์ ชมภูอินไหว
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าอาจารย์ที่ปรึกษาและรุ่นพี่ที่คอยให้กำลังใจและคำแนะนำ

4. คุณปริยวัฒน์ ศิวโกเศศ
วิศวกรฝ่ายขายบริษัท ABB ที่ให้คำแนะนำและช่วยในการจัดหาข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ทางไฟฟ้าและกราฟกระแสกับเวลาของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าในการจัดทำโครงงานนี้

5. คุณชัยรัตน์ ภรณ์พิริยะนิยม
วิศวกรฝ่ายขายบริษัทSchneider Electric ที่ช่วยในการจัดหาข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ทางไฟฟ้าและกราฟกระแสกับเวลาของอุกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าในการจัดทำโครงงานนี้

6. คุณภณพล ภู่ตระกูล
ศิษเก่าคณะวิศวกรรมศาสตร์รุ่นที่ 33 รุ่นพี่ที่คอยให้คำแนะนำและให้แนวคิดในการเขียนโปรแกรม

7. คุณชัชชัย กาจหาญ
นักศึกษาคณะเทคโนโลยีการเกษตรที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ยืมprinter เพื่อในการพิมพ์ปริญญานิพนธ์

8. พี่ๆทุกคนที่บริษัท ABB และ Schneider Electric ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและความสะดวกสบายในการติดต่อขอข้อมูล

9. เพื่อนๆคณะวิศวกรรมศาสตร์ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และคณะวิทยาศาสตร์ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ที่ให้คำแนะนำในการเขียนโปรแกรม

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>อาจารย์ที่ปรึกษา</u>

รศ. ศุลี บรรจงจิตร

อ. ชาย ชมภูอินไหว

<u>ผู้จัดทำโครงงาน</u>

นาย ธันวา วรรณโกมล
ที่อยู่ : 221/123 หมู่ 2 ต.สุรศักดิ์
อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110
โทร : (038) 321679
(152) 261093

นาย ธิติ เอื้อมงคล
ที่อยู่ : 31 หมู่ 10 แขวงบางด้วน
เขตภาษีเจริญ กรุงเทพ 10160
โทร : (02) 4134285
(1500) 403193

นาย พงศ์พันธุ์ วรสายัณห์
ที่อยู่ : 38/5 หมู่ 2 ต.บ้านสวน
อ.เมืองชลบุรี จ.ชลบุรี 20000
โทร : (038) 286320
(1500) 846180

นาย พงศ์ภราดร จินดาสุทธิ์
ที่อยู่ : 4/46 หมู่ 10 ต. วัดไทร
อ.เมือง จ.นครสวรรค์ 60000
โทร : (056) 231478 , 310486
(1188) 6104494

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้