การใช้คอมพิวเตอร์วิเคราะห์หาขนาดกระแสลัดวงจรและแสดงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันในงานระบบไฟฟ้า

SHORT CIRCUIT CURRENT ANALYSIS AND COORDINATION OF PROTECTIVE DEVICES IN DISTRIBUTION SYSTEM BY USING COMPUTER PROGRAM

T030962

ชาย ชมภูอินไหว

CHAI CHOMPOO-INWAI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2541

ISBN 974-622-232-5

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 30962
วัน, เดือน, ปี 4 ก.ย. 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHORT CIRCUIT CURRENT ANALYSIS AND COORDINATION OF PROTECTIVE DEVICES IN DISTRIBUTION SYSTEM BY USING COMPUTER PROGRAM

CHAI CHOMPOO-INWAI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1998

ISBN 974-622-232-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 1998

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้คอมพิวเตอร์วิเคราะห์หาขนาดกระแสลัดวงจรและแสดงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันในงานระบบไฟฟ้า
นักศึกษา	นายชาย ชมภูอินไหว
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ศุลี บรรจงจิตร
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2541

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อช่วยในการวิเคราะห์หาขนาดกระแสโหลดและกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในงานระบบไฟฟ้า และอำนวยความสะดวกให้ผู้ออกแบบนำค่าของกระแสที่ได้จากการวิเคราะห์ ไปใช้ในการตัดสินใจเลือกพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า และยังสามารถแสดงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า เพื่อให้ระบบที่ออกแบบมีความปลอดภัยและความน่าเชื่อถือในการใช้งานจริง โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถจำลองการสร้างไดอะแกรมเส้นเดียวแล้วคำนวณหาขนาดกระแสลัดวงจร โดยอ้างอิงมาตรฐานไอทริพเพอร์อี มาตรฐาน 141-1986 มาใช้ในการคำนวณทำให้ผลการคำนวณที่ได้มีความถูกต้อง โปรแกรมมีเครื่องมือส่วนการแสดงผลในรูปแบบรายงานเป็นรูปภาพที่ชัดเจน เข้าใจง่าย และนำระบบฐานข้อมูลมาใช้ในการเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกัน ทำให้สะดวกต่อการเพิ่มเติม แก้ไข ชนิดของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้ารุ่นใหม่ ๆ โปรแกรมนี้จึงเป็นประโยชน์อย่างมากต่อผู้ออกแบบงานในระบบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	**Short Circuit Current Analysis and Coordination of Protective Devices in Distribution System by Using Computer Program**
Student	**Mr.Chai Chompoo-inwai**
Thesis Advisor	**Associate Professor Sulee Banjongjit**
Degree	**Master of Engineering in Electrical Engineering**
Year	**1998**

ABSTRACT

This thesis presents about the development of the computer program that use to analyze short circuit current and provide the designer more convenient to design , plan and select the suitable size of protective devices and also show their coordination. So the designed systems will have more safety and more reliability . The program can simulate the single line diagram of power system and use IEEE Standard 141-1986 for reference to calculate the short circuit current , so the result quite reasonable .There is also the tool for generate the report from the result . By working on windows system it can show graphics that easy to understand and learn.With the database of program , user can both add , edit the new model of the protective devices . So it can say that this software is quite useful for the designer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับความรู้พื้นฐานในงานออกแบบระบบไฟฟ้ากำลังจาก รศ.ศุลี บรรจงจิตร ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน และครอบครัวจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ช่วยเหลือ และ ให้คำแนะนำในจุดที่ผู้เขียนติดปัญหาซึ่งทำให้ผู้เขียนได้เข้าใจในงานระบบไฟฟ้าจริงมากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณสำนักงานส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ,พี่ ๆ ธุรการ , น้องๆนักศึกษาที่ช่วยเหลือข้อมูลต่าง ๆ พร้อมช่วยตรวจเทียบ แก้ไขทฤษฎีและอื่น ๆ ที่ผิดพลาด จนสำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุน และ ดำเนินการให้ด้วยความเรียบร้อยดี

สุดท้ายขอขอบคุณ คุณพ่อประสิทธิ์, คุณแม่จันสม น้องเชาว์ ชมภูอินไหวและบรรดาญาติพี่น้องทุกคนที่คอยให้กำลังใจต่อผู้เขียนเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ชาย ชมภูอินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญภาพ.....IX

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงงาน.....1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน.....2

1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....2

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา.....2

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการในการคำนวณหาขนาดกระแสลัดวงจรตาม มาตรฐาน ANSI/IEEE Std 141-1986.....4

2.1 ทฤษฎีและหลักการ.....4

2.1.1 ชนิดของการเกิดลัดวงจร.....4

2.1.2 ผลของกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น.....5

2.2 พื้นฐานเบื้องต้นที่ต้องนำมาพิจารณาเพื่อการคำนวณหากระแสลัดวงจร.....6

2.2.1 การเกิดกระแสลัดวงจร.....7

2.2.2 แหล่งกำเนิดกระแสลัดวงจร.....7

2.3 การคำนวณหาขนาดของกระแสลัดวงจรที่น้อยกว่า 1 kV.....15

2.3.1 ผลของกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้า.....15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4 การคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรที่มากกว่า 1 kV.....18

2.4.1 วิธีอย่างง่ายโดยพิจารณาเฉพาะค่า E/X.....19

2.4.2 วิธีการใช้ค่า E/X ที่มีการชดเชยในส่วนของการลดขององค์ประกอบกระแสตรงและกระแสสลับ.....20

2.4.3 ค่าความต้านทานของระบบและอัตราส่วนรีแอกแตนซ์ต่อรีซีสแตนซ์.....22

2.5 ขั้นตอนการคำนวณหากระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน ANSI/IEEE Std 141-1986...25

บทที่ 3 การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า

3.1 อุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้า.....34

3.2 การทำงานร่วมกัน.....35

3.2.1 หลักการทั่วไปของการทำงานร่วมกัน.....35

3.3 อุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าที่นำมาใช้ในโปรแกรม.....36

3.3.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์.....36

3.3.2 ฟิวส์.....40

3.4 ข้อมูลที่จำเป็นที่จะใช้ในการศึกษาถึงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ไฟฟ้า.....43

3.5 สรุปหลักการทั่วไปของการออกแบบอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อให้มีการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ไฟฟ้า.....45

3.6 หลักการของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการโคออดิเนทเมื่ออยู่ในซิงเกิลไลน์ไดอะแกรม.....47

3.6.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์.....47

3.6.2 ฟิวส์.....49

3.6.3 หม้อแปลง.....50

3.6.4 มอเตอร์.....52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 วิธีการออกแบบ การใช้งาน และผลการทดสอบโปรแกรม

4.1 โครงสร้างของโปรแกรม 55

4.2 การออกแบบโปรแกรมในส่วนการหาขนาดของกระแสลัดวงจรโดยการอ้างอิงมาตรฐาน ANSI/IEEE Std. 141-1986 55

4.3 การออกแบบโปรแกรมในส่วนการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า 59

4.4 การออกแบบโปรแกรมในส่วนเครื่องมือนำเสนอรายงาน 62

4.5 วิธีการใช้โปรแกรม 64

4.5.1 ส่วนในการวาดวงจรซิงเกิลไลน์ 64

4.5.1.1 วิธีการใช้งาน.....67

4.5.1.2 ข้อจำกัดในการใช้งาน.....68

4.5.2 ส่วนของการแสดงการโคออดิเนท อุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า 69

4.5.2.1 วิธีการใช้งาน.....70

4.5.2.2 ข้อจำกัดในการใช้งาน.....72

4.5.3 ส่วนของการนำเสนอรายงาน 72

ตัวอย่างการนำเสนอข้อมูลจากการออกแบบ.....73

4.6 ผลการทดสอบการใช้งานโปรแกรม 75

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 79

บรรณานุกรม.....81

ภาคผนวก.....83

ภาคผนวก ก.....84

ภาคผนวก ข.....93

ประวัติผู้เขียน.....99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 การหาค่ากระแสลัดวงจรแบบไม่สมมาตรหาได้โดยการใช้ค่าตัวคูณ คูณกับกระแสสมมาตร.....14

2.2 แสดงค่ารีแอกแตนซ์ลำดับบวกที่ใช้ในการคำนวณเครื่องจักรไฟฟ้าหมุน.....16

2.3 รวมค่าตัวคูณของรีแอกแตนซ์ (หรืออิมพีแดนซ์) ของเครื่องจักรไฟฟ้าหมุน.....17

2.4 แสดงค่าตัวคูณรีแอกแตนซ์ (อิมพีแดนซ์) ของเครื่องจักรไฟฟ้าหมุน.....18

2.5 แสดงช่วงอัตราส่วน X/R ของอุปกรณ์ในระบบที่สามารถเลือกใช้ได้.....23

2.6 แสดงค่าความต้านทานของอุปกรณ์ในระบบที่สามารถเลือกใช้ได้.....23

2.7 กรณีที่เป็นคลาสอื่น ให้ใช้ค่าแฟกเตอร์ในตารางคูณกับค่าพิกัดกำลัง (MVA) 24

2.8 ค่ารีแอกแตนซ์สำหรับเครื่องจักรไฟฟ้าอินดักชั่นและซิงโครนัส เป็นค่าเปอร์ยูนิตของเครื่องจักรไฟฟ้าที่พิกัด kVA.....29

2.9 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ของสายชนิด PD-IV และPD-THW แบบ 3 เฟสเดิน ในท่อโลหะ.....30

2.10 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ของสายชนิด PD-THW ไม่เดินในท่อโลหะ และชนิด PD-NYY แบบ 3 เฟส เดินในอากาศ หรือต่อลงดินโดยตรงแบบ 3 เฟส.....31

2.11 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง 32

3.1 แสดงค่าตัวคูณของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่จะทำการโคออดิเนท.....47

3.2 ค่าตัวคูณของเซอร์กิตเบรกเกอร์กรณีที่ทางด้านปฐมภูมิมีอุปกรณ์ป้องกันโหลดเกินติดมาด้วย.....48

3.3 แสดงค่าตัวคูณของฟิวส์ที่ใช้ในการโคออดิเนท.....49

3.4 ค่าตัวคูณของเซอร์กิตเบรกเกอร์กรณีที่ทางด้านปฐมภูมิมีอุปกรณ์ป้องกันโหลดเกินด้วย.....50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

3.5...Maximum Rating or Setting of Motor Branch-Circuit , Short-Circuit , Ground-Fault Protective Device.....52

3.6 ผลของการผิดปกติที่เกิดขึ้น ในลักษณะต่างๆซึ่งจะมีผลต่อการป้องกันหม้อแปลงและการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกัน.....53

4.1 แสดงผลการทดสอบโปรแกรมจากตัวอย่างที่ 1.....76

4.2 แสดงผลการทดสอบโปรแกรมจากตัวอย่างที่ 2.....77

4.3 แสดงผลการทดสอบโปรแกรมจากตัวอย่างที่ 3.....78

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 แสดงลักษณะของการเกิดความผิดปกติชนิดต่างๆ.....4
2.2 แสดงผลของแรงที่เกิดขึ้นเมื่อมีกระแสไหล.....5
2.3 แสดงแหล่งกำเนิดของกระแสลัดวงจร.....7
2.4 ค่ากระแสลัดวงจรชนิดวงจรชนิดสมมาตร จะมีค่าเท่ากับผลบวก
ของกระแสลัดวงจรที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอื่นทั้งหมด.....8
2.5 แสดงรูปคลื่นแบบไซน์ของกระแสไม่สมมาตร.....9
2.6 แสดงรูปคลื่นแบบไซน์ของกระแสสมมาตร.....9
2.7 แสดงลักษณะของสมมาตร โดยจะเกิดขึ้นเมื่อขณะเกิดการลัดวงจร
นั้นคือค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ค่าสูงสุด.....11
2.8 แสดงลักษณะของการไม่สามาตร โดยจะเกิดขึ้นเมื่อขณะที่เกิดการ
ลัดวงจรนั้นค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ค่าต่ำสุด.....12
2.9 แสดงกระแสลัดวงจรแบบไม่สมมาตร จะเกิดการรวมของกระแส
สลับที่สมมาตรกับองค์ประกอบกระแสตรง.....12
2.10 แสดงการลัดวงจรที่เกิดขึ้น ณ จุดที่แรงดันไฟฟ้ามีค่าระหว่างสูงสุด
และต่ำสุด.....13
2.11 แสดงองค์ประกอบกระแสตรง.....13
2.12 แสดงการหาค่าตัวคูณในการเปลี่ยนแปลงค่า X/R สัมพันธ์กับเวลา
นับตั้งแต่เริ่มต้นเกิดการผิดปกติ.....15
2.13 กราฟแสดงค่าแฟกเตอร์ตัวคูณในกรณีความผิดปกติแบบสามเฟส
โดยคิดผลของการลดลงขององค์ประกอบกระแสตรง และกระแสสลับ.....21
2.14 กราฟแสดงค่าแฟกเตอร์ตัวคูณในกรณีความผิดปกติแบบหนึ่งเฟส
ลงดินโดยคิดผลของการลดลงขององค์ประกอบกระแสตรง และกระแสสลับ.....21
2.15 กราฟแสดงค่าแฟกเตอร์ตัวคูณในกรณีความผิดปกติแบบสามเฟสและหนึ่งเฟสลงดิน
โดยคิดผลของการลดลงขององค์ประกอบกระแสตรงเพียงอย่างเดียว.....22
2.16 ช่วงของอัตราส่วน X/R สำหรับหม้อแปลงกำลัง.....24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

2.17 ช่วงของอัตราส่วน X/R สำหรับมอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ 3 เฟส.....24

2.18 ช่วงของอัตราส่วน X/R สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซาเลี่ยนโพลที่มีโซลิต โรเตอร์ขนาดเล็ก (Small Solid Rotor and Salient Pole Generator) และ ซิงโครนัสมอเตอร์.....25

2.19 โฟลว์ชาร์ทแสดงการคำนวณกระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน ANSI/IEEE Standard 141-1986.....33

3.1 ขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดการผิดปกติ.....36

3.2 แสดงกราฟกระแส-เวลาของเซอร์กิจเบรกเกอร์.....38

3.3 แสดงคุณลักษณะการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบโซลิดสเตททริป.....38

3.4 แสดงการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบโซลิดสเตททริป.....39

3.5 แสดงเวลาในการหลอมต่ำสำหรับฟิวส์แรงสูงชนิดจำกัดกระแส.....41

3.6 แสดงคุณสมบัติของเวลาในการเปิดวงจรสูงสุดสำหรับฟิวส์แรงสูง ชนิดจำกัดกระแส.....42

3.7 แสดงการทำงานร่วมกันของฟิวส์และเซอร์กิตเบรคเกอร์.....44

3.8 โฟลว์ชาร์ทแสดงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า.....54

4.1 โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมทั้งหมด.....57

4.2 โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการคำนวณหากระแสลัดวงจรของโปรแกรม.....58

4.3 โฟลว์ชาร์ทแสดงการใช้โปรแกรมในการโคออดิเนทของอุปกรณ์ป้องกัน แบบผู้ใช้เลือกเอง (Manual Coordinate).....60

4.4 โฟลว์ชาร์ทแสดงการใช้โปรแกรมในการโคออดิเนทของอุปกรณ์ป้องกัน แบบอัตโนมัติ (Automatic Coordinate).....61

4.5 โฟลว์ชาร์ทการออกแบบเครื่องมือนำเสนอรายงาน.....63

4.6 แสดงหน้าจอของโปรแกรมการคำนวณหากระแสลัดวงจร.....64

4.7 แสดงการป้อนค่าของอุปกรณ์ทางไฟฟ้า.....67

4.8 แสดงหน้าจอการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกัน.....69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ หน้า

4.9 แสดงการเลือกชนิดและรุ่นของอุปกรณ์ป้องกัน.....71
4.10 แสดงตัวอย่างของการนำเสนอรายงาน (Single line Section).....73
4.11 แสดงตัวอย่างของการนำเสนอรายงาน (Coordinate Section).....74
4.12 แสดงรูประบบตัวอย่างที่ 1 ซึ่งใช้เป็นเครื่องมือทดสอบโปรแกรม.....75
4.13 แสดงรูประบบตัวอย่างที่ 2 ซึ่งใช้เป็นเครื่องมือทดสอบโปรแกรม.....76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในระบบไฟฟ้าสิ่งที่จำเป็นที่ต้องคำนึงถึงก็คือ เมื่อเกิดภาวะผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่างๆนั้นสามารถคำนวณหากระแสลัดวงจรได้หรือไม่ เพื่อนำขนาดของกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าไปพิจารณาในการเลือกอุปกรณ์ป้องกันที่เหมาะสม แต่เดิมการคำนวณขนาดของกระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้า , การเลือกอุปกรณ์ป้องกัน และการพิจารณาการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกัน จะใช้วิศวกรหรือผู้เชี่ยวชาญในการคำนวณ ซึ่งมีความยุ่งยากมาก วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เห็นความสำคัญในงานออกแบบระบบไฟฟ้า จึงได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการหาขนาดของกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งต่าง ๆ การเลือกอุปกรณ์ป้องกันและการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้า เพื่อความสะดวก และ รวดเร็วแก่ผู้ออกแบบงานระบบไฟฟ้าที่ระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 1 กิโลโวลต์

1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงงาน

1. สามารถเข้าใจการคำนวณหาขนาดของกระแสลัดวงจรโดยใช้มาตรฐานของ ANSI/IEEE Std 141-1986 และนำมาใช้ในการหาขนาดของกระแสลัดวงจรได้ ที่ระดับแรงดันต่ำกว่า 1 กิโลโวลต์
2. สามารถนำขนาดของกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น ไปเลือกขนาดของอุปกรณ์ป้องกันได้ โดยที่ยังมีการทำงานที่ต่อเนื่องของระบบไฟฟ้า และอุปกรณ์ป้องกันไม่เสียหาย
3. การออกแบบระบบไฟฟ้ากำลัง ต้องทราบว่าโหลดที่ใช้เป็นโหลดชนิดใด มีขนาดเท่าใด สามารถคำนวณหาขนาดของกระแสที่พิกัดของโหลดต่าง ๆ ได้
4. เมื่อได้ขนาดของกระแสที่พิกัด จะนำไปเลือกขนาดของเซอร์กิตเบรคเกอร์ หรือฟิวส์ โดยใช้ มาตรฐานของ NEC 1996 ในการอ้างอิง
5. สามารถนำอุปกรณ์ป้องกันมาทำงานร่วมกัน (Coordination) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
6. สามารถใช้ภาษาเดลไฟช่วยในการสร้างโปรแกรมออกแบบระบบไฟฟ้า และ คำนวณค่าต่างๆ ที่กล่าวมารวมถึงเก็บฐานข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกันต่างๆข้างต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ
7. เมื่อออกแบบระบบไฟฟ้าเสร็จสมบูรณ์แล้วสามารถเก็บข้อมูลต่างๆไว้ในไฟล์ได้ โดยไม่มีการสูญหาย เพื่อสะดวกในการแก้ไขในอนาคตเมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้ [illegible] ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการทำโครงงาน

1. เขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาเคลไฟ ในการคำนวณหาขนาดของกระแสลัดวงจรที่ระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 1 กิโลโวลต์ ตามมาตรฐานของ ANSI/IEEE Std. 141-1986
2. คำนวณกระแสที่พิกัดของโหลดต่าง ๆ , กระแสลัดวงจรและนำไปเลือกขนาดของเซอร์กิตเบรคเกอร์หรือฟิวส์โดยผู้ออกแบบเลือกเองหรือให้โปรแกรมตัดสินใจเลือกแทน
3. นำอุปกรณ์ป้องกันที่ทำการเลือกมาทำงานร่วมกัน (Coordination) โดยผู้ออกแบบเลือกเองหรือโปรแกรมตัดสินใจได้
4. มีฐานข้อมูลที่เก็บชนิดและรุ่นของอุปกรณ์ป้องกันให้ผู้ออกแบบเลือก หากมีอุปกรณ์ป้องกันรุ่นใหม่เพิ่ม สามารถเพิ่มเข้าไปในโปรแกรมได้
5. เมื่อมีการออกแบบระบบไฟฟ้าแล้วสามารถจะเก็บเป็นไฟล์ไว้ในคอมพิวเตอร์ได้ โดยไม่มีการสูญหาย สามารถทำการแก้ไขการออกแบบ จัดทำโหลดให้สมดุลย์ได้ง่ายขึ้น

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีการคำนวณค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในระบบทั้งลัดวงจรแบบสมมาตรและไม่สมมาตร โดยอ้างอิงมาตรฐาน ANSI/IEEE Std. 141-1986
2. ศึกษาวิธีการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้าแต่ละชนิด
3. ศึกษาการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้ภาษาเคลไฟล์
4. รวบรวมข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกันคือ เซอร์กิตเบรคเกอร์ และ ฟิวส์เพื่อเป็นฐานข้อมูลของโปรแกรม
5. เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตามทฤษฎีที่ทำการศึกษา
6. ทดสอบโปรแกรม , เปรียบเทียบผลการทำงานของโปรแกรม และทำการแก้ไขโปรแกรม
7. สรุปผลการทดลอง

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา

1.Asymmetrical Fault หมายถึงการลัดวงจรแบบไม่สมมาตร

2.Coordination หมายถึงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้า

3.Distribution System หมายถึงระบบจำหน่ายไฟฟ้า

4.Interupting Capacity หมายถึงความสามารถในทนต่อขนาดการลัดวงจรของอุปกรณ์

5.Momentary Duty หมายถึง กระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 1-2 ไซเคิลแรก

6.Protective Devices หมายถึงอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้า เช่น ฟิวส์ เซอร์กิตเบรคเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.Short Circuit Current หมายถึงกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในระบบ

8.Symmetrical Fault หมายถึงการลัดวงจรแบบสมมาตรที่เกิดขึ้นในระบบ

9.Symmetrical Component หมายถึงองค์ประกอบสมมาตรของระบบซึ่งช่วยในการคำนวณเพื่อหาภาวะผิดปกติแบบไม่สมมาตร

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปซึ่งเป็นเครื่องมือในการช่วยออกแบบงานระบบไฟฟ้าให้ผู้ออกแบบทำงานได้สะดวกและรวดเร็วมากขึ้น
2. ทำให้การออกแบบวันไลน์ไดอะแกรมมีการทำโหลดสมดุลย์ได้เด่นชัดขึ้น
3. ทำให้การออกแบบการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทำได้ง่าย และ ถูกต้องรวดเร็วมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

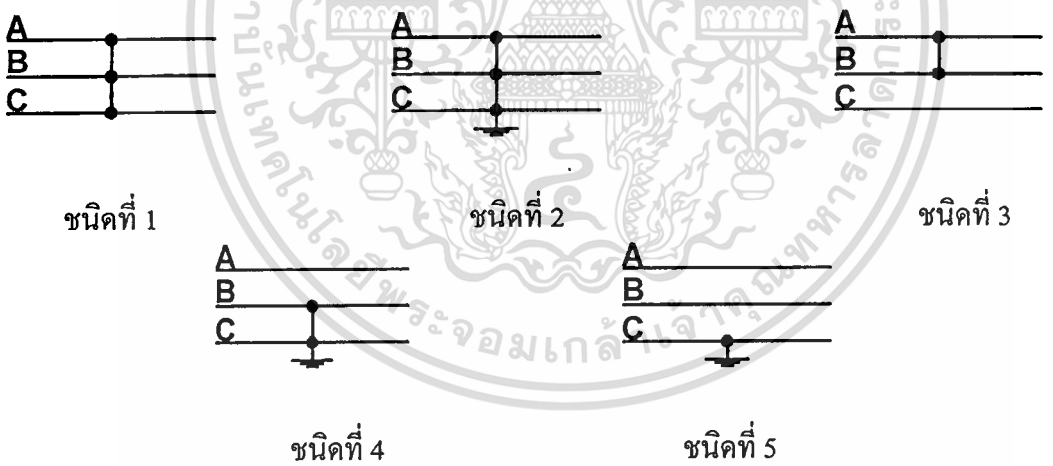
ทฤษฎีและหลักการในการคำนวณหาขนาดของกระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน ANSI/IEEE Standard 141-1986

2.1 ทฤษฎีและหลักการ

การคำนวนหาค่ากระแสลัดวงจรตามมาตราฐาน ANSI/IEEE Standard 141-1986

2.1.1 ชนิดของการเกิดลัดวงจร

1. ทรีเฟสอันกราวด์ฟอลท์ (Three phase ungrounded fault)
2. ทรีเฟสกราวด์ฟอลท์ (Three phase to grouneded fault)
3. เฟสทูเฟสอันกราวด์ฟอลท์ (Phase to phase ungrounded fault)
4. เฟสทูเฟสกราวด์ฟอลท์ (Phase to phase grounded fault)
5. เฟสทูกราวด์ฟอลท์ (Single Phaes to ground fault)



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของการเกิดภาวะผิดปกติชนิดต่าง ๆ

โดยในทางทฤษฎีแล้วค่ากระแสลัดวงจรของชนิดทรีเฟสฟอลท์(ฟอลต์แบบ1จะมีความรุนแรงมากกว่าความผิดปกติของชนิดอื่น (ยกเว้นในบางกรณีค่ากระแสลัดวงจรแบบเฟสทูกราวด์ฟอลท์ (ฟอลต์แบบ5)จะมีขนาดสูงกว่าขึ้นอยู่กับการต่อของวงจร,อุปกรณ์และการติดตั้ง ซึ่งในระบบแรงต่ำโอกาสที่ความรุนแรงของฟอลต์แบบที่ 5 จะมากกว่าแบบที่ 1 นั้นน้อยมาก)

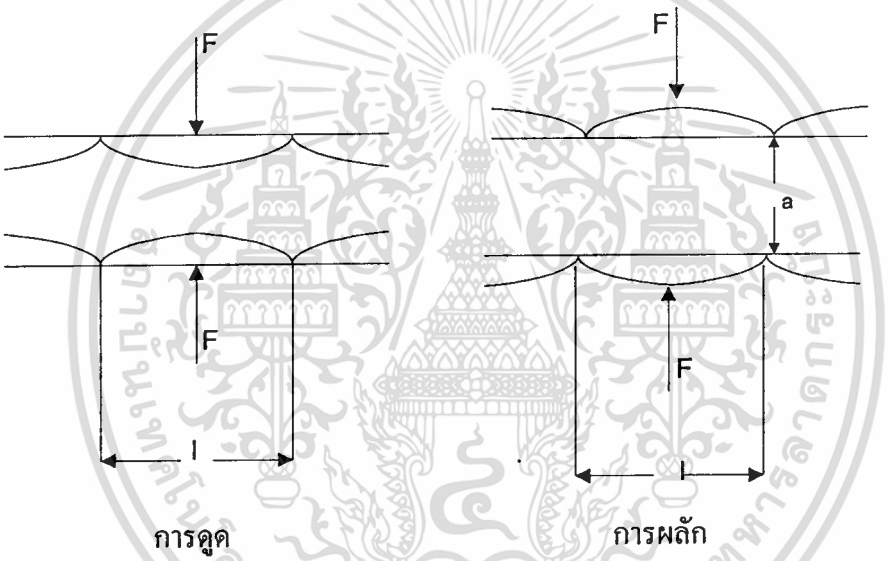
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการพิจารณาคำนวนหาค่ากระแสลัดวงจรนี้จะพิจารณาค่ากระแสลัดวงจรแบบทรีเฟสฟอลท์ซึ่งมีโอกาสเกิดมากที่สุด

2.1.2 ผลของกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น

เนื่องจากเมื่อเกิดกระแสลัดวงจรขึ้นกระแสนี้จะมีขนาดสูงอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ จึงต้องพิจารณาข้อต่อไปนี้

1.ผลจากการเคลื่อนที่ จะพิจารณาได้จากตัวนำ 2 ชุดที่มาขนานกันเมื่อกระแสไหลผ่านตัวนำนี้ต้องมีแรงมากระทำต่อตัวนำในลักษณะดูดและผลัก



รูปที่ 2.2 แสดงผลของแรงที่เกิดขึ้นเมื่อมีกระแสไหลผ่านบัสบาร์

โดยมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$F = 0.2I_s^2[l/a] \quad \text{.....(2.1)}$$

โดยค่า l : ความยาวสาย

a : ระยะห่าง

I_s : กระแสลัดวงจร

F : แรงกระทำ

2. ผลจากความร้อน จะสามารถพิจารณาได้เมื่อตัวนำได้รับกระแสลัดวงจร(I_s) ไหลผ่านโดยกระแสที่เกิดขึ้นนี้เกิดอย่างทันทีทันใดและมีขนาดสูงมากโดยความร้อนที่เกิดขึ้นมาจากค่า I_s^2R ซึ่งเป็นความสูญเสียที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 พื้นฐานเบื้องต้นที่ต้องนำมาพิจารณาเพื่อการคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจร

การเลือกอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ ควรเลือกให้อยู่ในพื้นฐานของการเกิดการผิดปกติและเกิดกระแสลัดวงจร โดยอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้ได้แก่ เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) และฟิวส์ (Fuse) โดยอาจจะมีรีเลย์ (Relay) เป็นตัวจับกระแสที่ผิดปกติเพื่อให้ Breaker เปิดวงจรต่อไป

ในกรณีที่ระบบป้องกันทำงานไม่ดี ไม่น่าเชื่อถือย่อมทำให้เกิดความเสียหายอย่างใหญ่หลวงเป็นผลทำให้ระบบไม่สามารถทำงานต่อไปได้ หรือสูญเสียมูลค่าทางการค้าหรือความเสียหายทางอุปกรณ์ไฟฟ้า

ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรทางไฟฟ้าจะมีสิ่งต่อไปนี้ตามมา เกิดการอาร์คซิ่ง (arcing) และลุกไหม้ ณ ตำแหน่งที่เกิดการลัดวงจร

1. กระแสลัดวงจรจากแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้า หรือโหลดต่าง ๆจะไหลเข้าสู่จุดที่เกิดการลัดวงจร
2. ส่วนประกอบต่างๆที่จะรองรับกระแสลัดวงจรจะต้องทนต่อความร้อนและแรงทางกลที่เกิดขึ้นได้
3. แรงดันไฟฟ้าที่ลดลงของระบบ จะเป็นสัดส่วนกับขนาดของกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น โดยจุดที่เกิดลัดวงจรจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับศูนย์ส่วนอื่นๆของระบบขึ้นอยู่กับเปอร์เซนต์แรงดันไฟฟ้าที่ลดลง

จากความเสียหายที่เกิดขึ้นย่อมทำให้ระบบขาดเสถียรภาพดังนั้นเพื่อป้องกันอันตรายอันเนื่องมาจากผลของกระแสลัดวงจร ในการออกแบบย่อมต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆดังนี้

1. ต้องหาขนาดกระแสลัดวงจรโดยละเอียดเพื่อที่จะเลือกอุปกรณ์ป้องกัน
2. การขยายโหลดในอนาคต ควรหาสิ่งที่ควรรู้เพื่อการใช้งานอุปกรณ์ป้องกันได้เหมาะสม
3. ตรวจสอบบรานช์ว่ามีความสามารถในการรับแรงกด- ดึง เชิงกล อันเนื่องมาจากกระแสลัดวงจร รวมทั้งจุดยึด และ จุดรองรับ
4. ตรวจสอบ สายตัวนำต่างๆ ว่ามีขนาดเพียงพอที่จะทนความร้อนที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากกระแสลัดวงจร
5. ตรวจสอบทั้งระบบ และทุกอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 การเกิดกระแสลัดวงจร

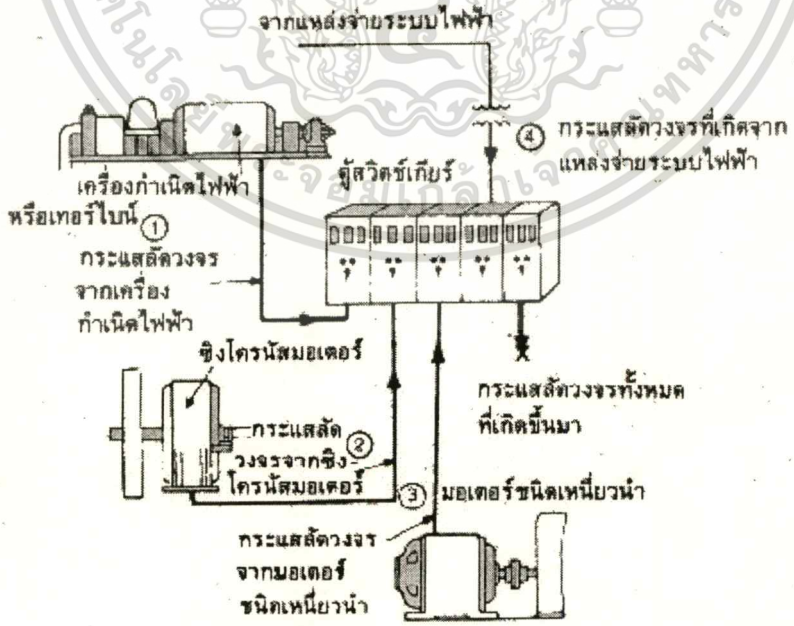
ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรขึ้นในระบบไฟฟ้า ความรุนแรงของกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น ณ จุดที่เกิดกระแสลัดวงจรนั้น จะขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า (source) ต่างๆ ในระบบ ค่ารีแอกแตนซ์ของแหล่งกำเนิด ค่ารีแอกแตนซ์ของระบบจนถึงจุดที่เกิดการลัดวงจร

แหล่งกำเนิดของกระแสลัดวงจร อันได้แก่ ระบบไฟฟ้าที่จ่ายกำลัง (Utility system) หรือ การไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า มอเตอร์ชนิดซิงโครนัส และ มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ เป็นการแสดงถึงแหล่งกำเนิดกระแสลัดวงจรทั้งหมด ซึ่งแหล่งกำเนิดเหล่านี้มีผลต่อกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น ณ จุดเกิดลัดวงจร

2.2.2 <u>แหล่งกำเนิดกระแสลัดวงจร</u>

เมื่อเกิดการลัดวงจรหรือฟอลท์ขึ้นกับระบบไฟฟ้ากำลัง สิ่งที่สำคัญที่สุด คือ การหาขนาดของกระแสลัดวงจรเพื่อจะได้นำมาพิจารณาเลือกขนาดของอุปกรณ์ป้องกันได้อย่างถูกต้อง การหาขนาดกระแสลัดวงจรจำเป็นต้องทราบถึง แหล่งกำเนิดกระแสลัดวงจร และคุณลักษณะรีแอกแตนซ์ของแหล่งกำเนิดกระแสลัดวงจรนั้นซึ่งมีอยู่ 4 แหล่ง ที่แสดงดังรูปที่ 2.3

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
2. มอเตอร์ซิงโครนัสและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์
3. มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ
4. แหล่งจ่ายระบบไฟฟ้า



รูปที่ 2.3 แสดงแหล่งกำเนิดของกระแสลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

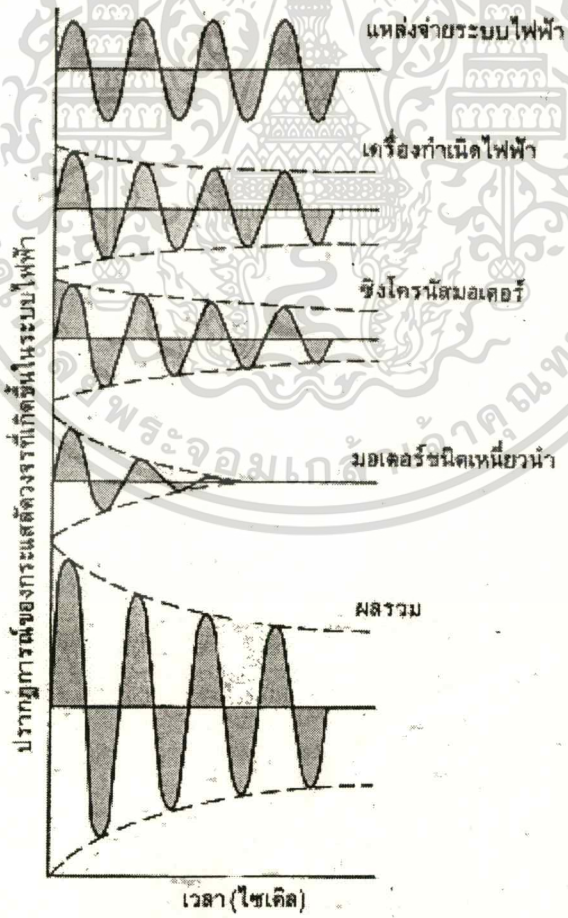
โดยแต่ละแหล่งกำเนิดมีสิ่งที่ต้องพิจารณาดังนี้

1. .ระบบไฟฟ้าที่จ่ายกำลังโดยจะจ่ายพลังงานให้แก่หม้อแปลงเพื่อที่จะได้อาศัยหม้อแปลงในการลดแรงดันไฟฟ้าลงมาแต่หม้อแปลงไม่ใช่แหล่งกำเนิดกระแสลัดวงจรเพราะว่าตัวหม้อแปลงเป็นเพียงอุปกรณ์เปลี่ยนขนาดกระแสและแรงดันเท่านั้น ดังนั้นกระแสลัดวงจรที่เกิดจากระบบไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจากหม้อแปลง จะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันไฟฟ้าทางของด้านทุติยภูมิและเปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง เนื่องจากระบบไฟฟ้าที่จ่ายกำลังนั้นมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของตัวกำเนิดกระแสลัดวงจรตัวอื่นๆมากดังนั้นขนาดของกระแสลัดวงจรที่เกิดจากระบบไฟฟ้าที่จ่ายกำลังจึงจะมีค่าสม่ำเสมอ ดังแสดงไว้ในรูปที่ (รูปที่ 2.4)

ในกรณีที่พิจารณาถึงกระแสลัดวงจรนั้น จะหมายถึงเป็นกระแสในค่าของ RMS หรือค่าจริงของสัญญาณรูป sine นั่นเอง โดยสัญญาณคลื่นของกระแสจะแบ่งเป็น 2 กลุ่ม

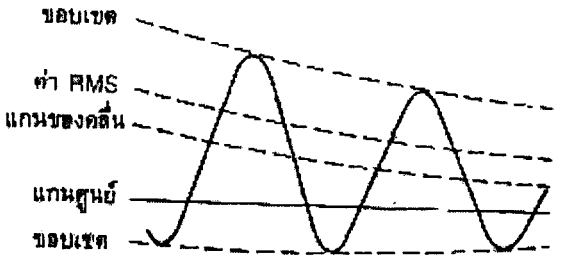
ก. กระแสสมมาตร หมายถึง กระแสสลับที่สมดุลรอบแกนศูนย์ ดังรูปที่ 2.6

ข. กระแสไม่สมมาตร หมายถึง กระแสสลับที่ไม่สมดุลรอบแกนศูนย์ ดังรูปที่ 2.5

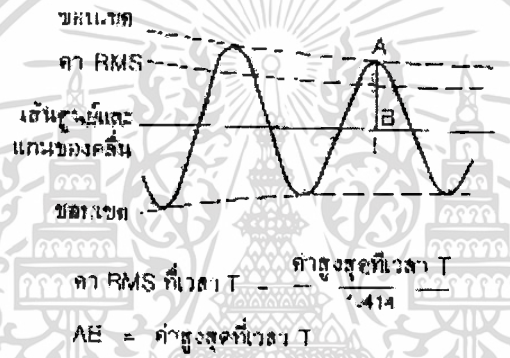


รูปที่ 2.4 ค่ากระแสลัดวงจรชนิดสมมาตร จะมีค่าเท่ากับผลบวกของกระแสลัดวงจรที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอื่นทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงรูปคลื่นแบบไซน์ของกระแสไม่สมมาตร



รูปที่ 2.6 แสดงรูปคลื่นแบบไซน์ของกระแสสมมาตร

2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในขณะที่เกิดการลัดวงจรนั้นตัวต้นกำลัง (prime mover) และกระแสกระตุ้น(excitefield)ยังมีอยู่ ดังนั้นกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกกำหนดโดยค่ารีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตลอดจนขึ้นอยู่กับ ค่าตัวประกอบในวงจรที่อยู่ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับจุดที่เกิดการลัดวงจร นอกจากนี้ผลของการลัดวงจร ยังจะมีผลต่อเนื่องมาถึง ค่ารีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วย โดยค่ารีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแยกพิจารณาได้เป็น

ก.ค่าซับทรานเซียนรีแอกแตนซ์แกนตรง (Direct axis Subtransient reactance ; X''_d) จะเป็นค่ารีแอกแตนซ์ของขดสเตเตอร์ (stator winding) โดยจะปรากฏขึ้นทันทีที่เกิดการลัดวงจร และเป็นตัวกำหนดกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นภายในช่วง 1-2-3 ไซเคิลแรกหลังเกิดการลัดวงจร

ข.ค่าทรานเซียนต์รีแอกแตนซ์แกนตรง (Direct axis transient reactance ; X'_d) จะเป็นค่าที่กำหนดกระแสลัดวงจร โดยค่ารีแอกแตนซ์ค่านี้จะมีผลจนถึง ½ วินาที หรือนานกว่าจนถึง 2 วินาที ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบเครื่องจักรไฟฟ้านั้นๆ

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.ค่าซิงโครนัสรีแอกแตนซ์แกนตรง (Direct axis synchronous reactance ; X_d) ค่านี้จะเป็นตัวกำหนดการไหลของกระแสลัดวงจรในช่วงสถานะอยู่ตัว (steady state) และจะไม่มีผลอะไร ค่ารีแอกแตนซ์ค่านี้จะนำมาพิจารณาหลังจากที่เกิดการลัดวงจรผ่านไปแล้วหลายวินาที ดังนั้นส่วนใหญ่จึงจะไม่นิยมใช้ค่า X_d ในการคำนวณหากระแสลัดวงจร

ค่ารีแอกแตนซ์ที่กล่าวมาแล้วนี้ ถ้านำมาเขียนถึงผลของกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่ากระแสลัดวงจรจะค่อยๆ ลดลงอย่างเอกซ์โพเนนเชียล (exponential)จากค่าสูงลงไปสู่ค่าต่ำจนถึงช่วงสถานะอยู่ตัว ค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น จะขึ้นอยู่กับค่ารีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว โดยค่ารีแอกแตนซ์จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับเวลาค่า- X''_d และ X'_d จะถูกกำหนดมาโดยโรงงานผู้ผลิตจึงพอจะกล่าวได้ว่าผลของกระแสลัดวงจรจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีค่าสูงและจะลดลงสู่ค่าปกติค่าหนึ่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรีแอกแตนซ์ของระบบวงจรนั่นเอง

3. ซิงโครนัสมอเตอร์ เนื่องจากลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดซิงโครนัส และซิงโครนัสมอเตอร์ค่อย ๆ หยุดหมุนและยังคงมีแรงเฉื่อย ซึ่งทำตัวคล้ายกับเป็นตัวต้นกำลังในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งในลักษณะเช่นนี้จะถือว่า ซิงโครนัสมอเตอร์ ได้กลายเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้นก็เกิดกระแสลัดวงจรขึ้นในช่วงหลายไซเคิล ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4

ค่า X''_d , X'_d , X_dในซิงโครนัสมอเตอร์จะมีค่าที่แตกต่างกันออกไปและผลของกระแสลัดวงจรที่มาจากซิงโครนัสมอเตอร์นี้จะขึ้นอยู่กับ ขนาดแรงม้า แรงดันไฟฟ้า และค่ารีแอกแตนซ์ของมอเตอร์ตลอดจนค่ารีแอกแตนซ์ระหว่างจุดที่เกิดการลัดวงจรจนถึงมอเตอร์นั้น

4. มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ เนื่องจากมอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำจะทำงานได้ ต้องอาศัยการกระตุ้นสนาม (Excited field) ที่ได้จากผลของการเหนี่ยวนำจากสเตเตอร์ (Stator) ซึ่งไม่ใช่จากขดกระแสกระตุ้น (DC field winding) ดังนั้นเมื่อเกิดลัดวงจรขึ้น กระแสจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ก็จะพุ่งไปสู่จุดที่เกิดการลัดวงจร เพราะฉะนั้นสนามแม่เหล็ก (Flux) ของมอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำก็จะลดลงอย่างรวดเร็วจนจะทำให้มอเตอร์หยุดหมุนภายในช่วง 2-3 ไซเคิล นับจากเกิดการลัดวงจร ซึ่งในกรณีเช่นนี้กระแสลัดวงจร ก็จะลดลงจนเป็นค่าศูนย์เมื่อเวลาผ่านไป 2-3 ไซเคิล ดังนั้นค่ารีแอกแตนซ์ของมอเตอร์ ก็จะพิจารณาเฉพาะค่าซับทรานเซียนต์รีแอกแตนซ์แกนตรง เท่านั้น โดยจะมีค่าใกล้เคียงกับ ค่าของ ล็อคโรเตอร์รีแอกแตนซ์ (Lock rotor reactance)

ค่าของกระแสลัดวงจรชนิดสมมาตรในตอนเริ่มแรกจะมีค่าเกือบเท่ากับกระแสตอนเริ่มแรกสตาร์ตโดยมีแรงดันเต็มที่ของมอเตอร์ ซึ่งมีค่าประมาณ 600% - 900%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของกระแสโหลดปกติ และค่ากระแสลัดวงจรนี้จะขึ้นอยู่กับ ขนาดแรงม้า พิกัดแรงดันไฟฟ้า ค่ารีแอกแตนซ์ของมอเตอร์ ตลอดจนค่ารีแอกแตนซ์ของจุดที่เกิดการลัดวงจรจนถึงตัวมอเตอร์

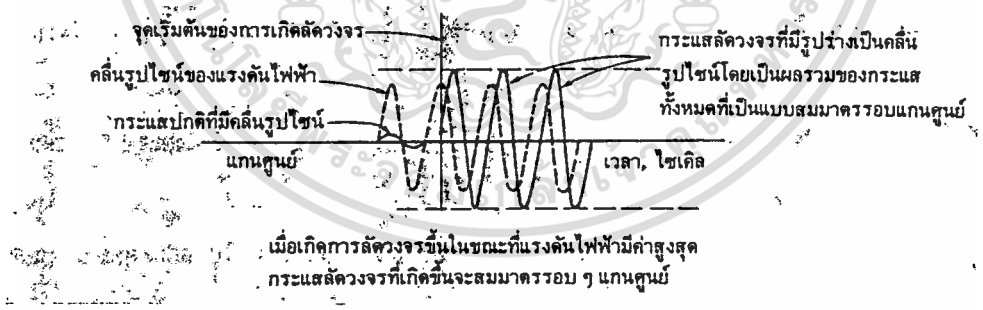
ผลของกระแสลัดวงจรอันเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ นั้นจะถูกรวมกันเป็นกระแสลัดวงจรทั้งหมดโดยแสดงในรูปที่ 2.4 และอิทธิพลของเวลาจะมีผลต่อช่วงของการเกิดลัดวงจร ซึ่งทำให้เกิดลักษณะของคลื่นที่แตกต่างกัน คือ

- กระแสรูปไซน์สมมาตร (Symmetrical sinusoidal current) แสดงในรูปที่ 2.6
- กระแสรูปไซน์ไม่สมมาตร (Asymmetrical sinusoidal current) แสดงในรูปที่ 2.5

2.2.2.1 กระแสสมมาตรและกระแสไม่สมมาตร

ในกรณีที่ระบบเกิดการลัดวงจรขึ้นจะเป็นกระแสลัดวงจรแบบไม่สมมาตร ในช่วง 1-2 – 3 ไซเคิลแรก หลังจากการเกิดการลัดวงจรแบบไม่สมมาตรจะมีค่ามากอยู่ในช่วงไซเคิลแรก ๆ และหลังจาก 2 – 3 ไซเคิลต่อ ๆ มาจะเริ่มเข้าสู่กระแสลัดวงจรแบบสมมาตรต่อไป

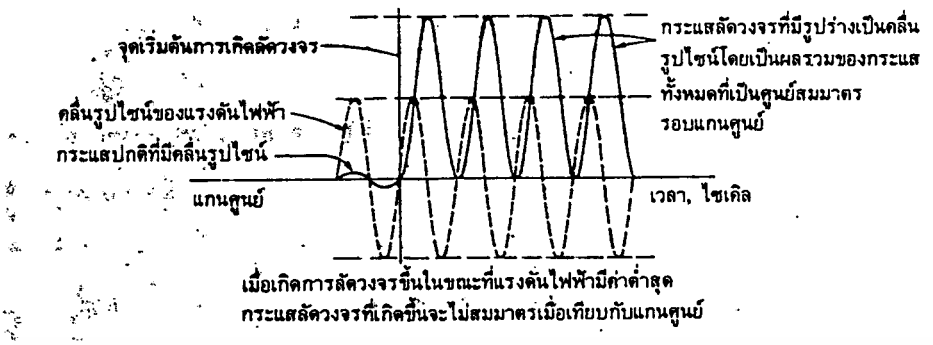
กรณีที่เกิดการลัดวงจรในขณะที่แรงดันไฟฟ้าของวงจรมีค่าสูงสุดกระแสลัดวงจรจะเริ่มที่ค่าเกือบเป็นศูนย์ และจะมีค่าเพิ่มขึ้นลักษณะของรูปไซน์ และทำมุม 90 องศา (ต่างเฟส) กับแรงดันไฟฟ้า และผลของการที่เกิดการลัดวงจรในลักษณะนี้ จะเป็นแบบสมมาตรรอบๆ แกนศูนย์ (Symmetrical about zero axis) ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะของสมมาตร โดยจะเกิดขึ้นเมื่อขณะเกิดการลัดวงจรนั้นคือค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ค่าสูงสุด

กรณีที่เกิดการลัดวงจรในขณะที่แรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ค่าศูนย์กระแสลัดวงจรจะเริ่มต้นที่ค่าศูนย์ กระแสจะล้าหลัง (Lag) แรงดันไฟฟ้าเป็นมุม 90 องศาและจะเป็นลักษณะของกระแสลัดวงจรแบบไม่สมมาตร ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

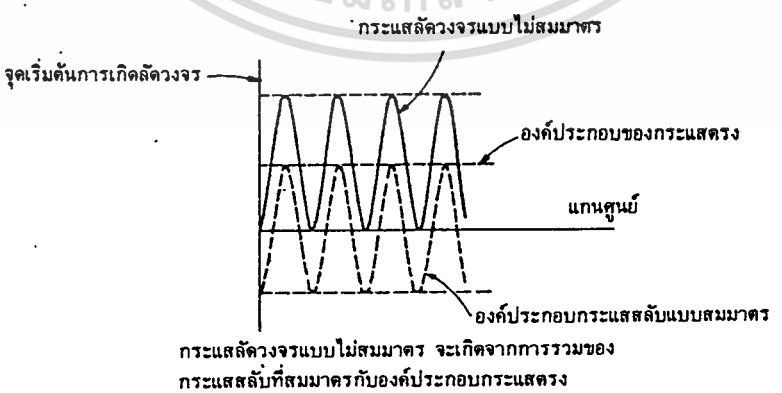


รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของการไม่สามาตร โดยจะเกิดขึ้นเมื่อขณะที่เกิดการลัดวงจรนั้นค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ค่าต่ำสุด

รูปที่ 2.9 เป็นการแสดงว่าในกรณีของผลรวมของกระแสไม่สมมาตรทั้งหมด จะมาจากกระแสสมมาตรที่มีส่วนของกระแสตรงเข้ามาประกอบนั่นเอง

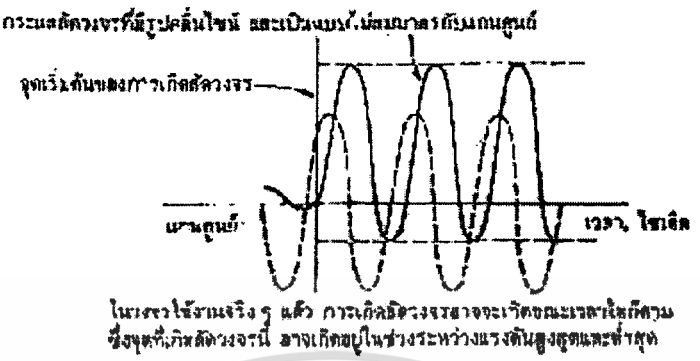
รูปที่ 2.10 เป็นการแสดงถึง กรณีที่เกิดการลัดวงจรขึ้นในขณะที่แรงดันอยู่ระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด กระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นก็คือกระแสไม่สมมาตรที่มีกระแสตรงมาประกอบเพียงแต่ช่วงของการเปลี่ยนรูปคลื่นของกระแสลัดวงจรนี้อาจจะขยับได้ ซึ่งคล้าย ๆ กับรูปที่ 2.9

รูปที่ 2.11 เป็นการแสดงถึงกรณีที่เกิดการลัดวงจรขึ้นโดยเริ่มต้นจากไม่สมมาตรในช่วงไซเคิลแรก ๆ หลังจากนั้น 2–3 ไซเคิลต่อมาก็จะกลายเป็นสมมาตรทั้งนี้เนื่องจากค่าองค์ประกอบกระแสตรงได้ลดลงไป ค่าองค์ประกอบกระแสตรงนี้ ถือว่าเป็นตัวทำให้เกิดการสูญเสีย (I^2R) ภายในวงจรได้

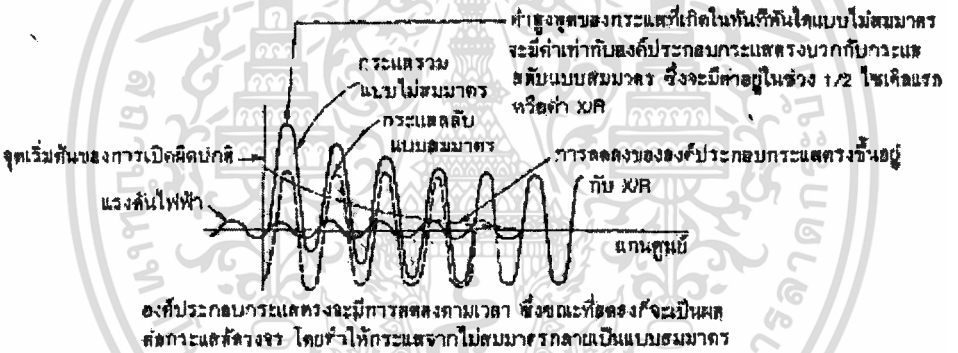


รูปที่2.9 แสดงกระแสลัดวงจรแบบไม่สมมาตร จะเกิดการรวมของกระแสลับที่สมมาตรกับองค์ประกอบกระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงการลัดวงจรที่เกิดขึ้น ณ จุดที่แรงดันไฟฟ้ามีค่าระหว่างสูงสุดและต่ำสุด



รูปที่ 2.11 แสดงองค์ประกอบกระแสตรง

2.2.2.2 คำสำคัญที่ใช้ในการพิจารณาขนาดกระแสลัดวงจรที่ช่วงเวลาต่าง ๆ

ก.แฟกเตอร์ X/R (X/R Ratio)

คืออัตราส่วนของรีแอกแตนซ์ต่อความต้านทานของวงจรที่จะพิจารณา อัตราส่วนของ X/R จะมีผลต่อการลดลงขององค์ประกอบกระแสตรงอย่างมาก (ค่าX,R นี้ได้จากค่ารีแอกแตนซ์และความต้านทานของวงจร ที่อยู่ระหว่างแหล่งกำเนิดดันจุดที่เกิดการลัดวงจร)

ถ้า $R = 0$ แล้ว $X/R = \infty$ และองค์ประกอบกระแสตรงนี้จะไม่ลดลง

ถ้า $X = 0$ แล้ว $X/R = 0$ และองค์ประกอบกระแสตรงจะลดลงอย่างรวดเร็ว

สำหรับกรณีของอุปกรณ์ป้องกันกระแสลัดวงจรนั้น จะพิจารณาเฉพาะค่าองค์ประกอบรีแอกแตนซ์ของเซอร์กิจเบรกเกอร์และฟิวส์ ทั้งนี้เพราะจะได้แน่ใจได้ว่าอุปกรณ์ป้องกันเหล่านี้สามารถที่จะทนต่อกระแสลัดวงจรสูงสุดได้

เอกสารนี้มีไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.โมเมนทารีดิวตี้ (Momentary Duty)

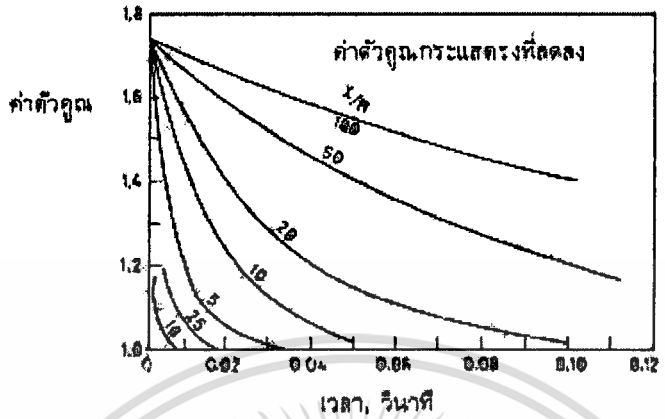
ในการพิจารณากระแสลัดวงจรแบบสมมาตรซึ่งเกิดขึ้นในช่วง 1/2 ไซเคิลแรกของกระแสลัดวงจรนั้นถ้าในระบบมีแหล่งกำเนิดหลายอย่างจะต้องพิจารณาถึงค่าซับทรานเซียนต์รีแอกแตนซ์ของทุกแหล่งกำเนิดหลังจากนั้นทำการหารูปคลื่นของกระแสกรณีไม่สมมาตร(เกิดขึ้นในช่วงไซเคิลแรกดูได้จากรูปที่ 2.11) ต้องนำค่าตัวคูณคงที่มาคูณกับรูปคลื่นของกระแสกรณีสมมาตร โดยปกติทั่วๆไป ในระบบแรงดันไฟฟ้าสูง และแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง ค่าตัวคูณจะเท่ากับ 1.5–1.6 ส่วนในระบบแรงต่ำค่าตัวคูณจะมีค่า 1.25 ดังตารางที่2.1 ข้างล่างนี้เป็นค่าตัวคูณที่กำหนดโดย NEMA รูปที่2.12 แสดงค่าตัวคูณที่ค่า X/R ถูกเปลี่ยนแปลงพิจารณาในช่วงที่เกิดการผิดปกติแล้ว 0–6 ไซเคิล

ตารางที่2.1 การหาค่ากระแสลัดวงจรแบบไม่สมมาตรหาได้โดยการใช้ค่าตัวคูณคูณกับกระแสสมมาตร

ค่าประกอบกำลังลัดวงจร %	ค่าอัตราส่วน X/R ลัดวงจร	ค่าอัตราส่วนกระแส RMS แบบสมมาตร		
		ค่าสูงสุดในช่วงขณะของระบบ 1 เฟส	ค่า RMS สูงสุดที่ 1/2ไซเคิลของระบบ 1 เฟส	ค่าเฉลี่ย RMS ที่ 1/2 ไซเคิลของระบบ 3 เฟส
5	19.974	2.625	1.568	1.301
10	9.9301	2.445	1.436	1.229
15	6.5912	2.309	1.330	1.171
20	4.8990	2.183	1.247	1.127
25	3.8730	2.074	1.181	1.093
30	3.1798	1.978	1.130	1.066
35	2.6764	1.894	1.091	1.046
40	2.2913	1.819	1.062	1.031
45	1.9845	1.753	1.041	1.020
50	1.7321	1.694	1.026	1.013
55	1.5185	1.641	1.015	1.008
60	1.3333	1.594	1.009	1.004
65	1.1691	1.553	1.004	1.002
70	1.0202	1.517	1.002	1.001

เอกสารอ้างอิงที่ [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แสดงการหาค่าตัวคูณในการเปลี่ยนแปลงค่า X/R สัมพันธ์กับเวลานับตั้งแต่เริ่มต้นเกิดการผิดปกติ

ค. อินเตอร์รัพติ้งดิวตี้ (Interrupting Duty)

จะพิจารณาจากขนาดของกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นที่จะทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์เปิดวงจรหรือฟิวส์เริ่มละลาย โดยปกติเซอร์กิตเบรคเกอร์จะเปิดวงจร(Interrupts)ออก หลังจาก 3 , 5 , 8 ไซเคิลแล้วและในโรงงานอุตสาหกรรม จะนิยมตั้งเวลาไว้ 8 ไซเคิลเซอร์กิตเบรคเกอร์หลังจาก 8 ไซเคิลนับจากที่เกิดการผิดปกติผ่านไป มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำจะไม่เข้ามายุ่งเกี่ยวด้วย และค่ารีแอกแตนซ์ของ มอเตอร์ชนิดซิงโครนัสจะถูกเปลี่ยนจากซับทรานเซียนต์ไปเป็นทรานเซียนต์ ซึ่งจะเป็นเหตุผลที่ว่าทำไมในระบบแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 600 V อินเตอร์รับติ้งดิวตี้ของเซอร์กิตเบรคเกอร์จึงใช้ค่าตัวคูณเป็น 1 เพราะพิจารณาในกรณีของซับทรานเซียลรีแอกแตนท์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและค่าทรานเซียลรีแอกแตนซ์ของซิงโครนัสมอเตอร์ โดยไม่คำนึงถึงมอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ และองค์ประกอบกระแสตรงหลังจาก 8 ไซเคิลแล้วหายไป

2.3 การคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรที่น้อยกว่า 1 kV

2.3.1 ผลของกระแสลัดวงจรที่เกิดจากของแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้า

1. เครื่องจักรไฟฟ้าหมุน (Rotating Machine) ชนิดและรายละเอียดของ ซิงโครนัสมอเตอร์และอินดักชั่นมอเตอร์ได้กล่าวแล้วข้างต้น มาตรฐานของการคำนวณอุปกรณ์อินเตอร์รับติ้งทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำนั้นจะพิจารณากลุ่มค่าซับทรานเซียลรีแอกแตนซ์แรงดันไฟฟ้าต่ำของอินดักชั่นมอเตอร์และซิงโครนัสมอเตอร์ ถ้าแรงม้า (Horse power) ทั้งหมดของมอเตอร์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกัดแรงดัน480โวลต์หรือ600โวลตเท่ากับพิกัดกำลัง(RatedPowerVA)หรือเปอร์ยูนิตของรีแอกแตนซ์เท่ากับ 0.25 ของหม้อแปลงแบบระบายความร้อนด้วยตัวเองอาจพิจารณาเพียงตัวเดียวได้

ในกรณีไม่ทราบค่า X/R สามารถนำ 1.25 มาคูณกับกระแสลัดวงจรได้เพราะเมื่อพิจารณาจากกราฟทั้งหมดแล้วค่าสูงสุดจะมีค่าประมาณ 1.25 และจะไม่เกินค่าอินเตอร์รัพติ้งคาร์พาบีริตี้แบบสมมาตรของเซอร์กิจเบรกเกอร์ด้วย

2. ค่ารีแอกแตนซ์ของเครื่องจักรไฟฟ้าหมุน (Rotating Machine Reactance)

ค่ากระแสลัดวงจรเริ่มต้น (Initial Short - circuit Current) ของเครื่องจักรไฟฟ้าที่หมุนจะถูกกำหนดโดยค่าของซับทรานเซียนรีแอกแตนซ์แกนตรง ในการคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจร จะใช้ค่ารีแอกแตนซ์ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.2 แสดงค่ารีแอกแตนซ์ลำดับบวกที่ใช้ในการคำนวณของเครื่องจักรไฟฟ้าหมุน

TYPE OF ROTATION MACHINE	POSITIVE REACTANCE FOR CALCULATE	
	MOMENTARYDUTY	INTERRUPPING DUTY
All turbine generators; all hydrogenerators with Amorthisseur windings; all condensors	1.0 X_d''	1.0 X_d''
Hydrogenerators without amortisseur windings	0.75 X_d''	0.75 X_d''
All synchronouses motors	1.0 X_d''	1.5 X_d''
Induction motors		
1. Above 1000 hp at 1800 rpm or less	1.0 X_d''	1.5 X_d''
2. Above 250 hp at 3600 rpm	1.0 X_d''	1.5 X_d''
3. All others, 50 hp and above	1.2 X_d''	3.0 X_d''
4. All smaller than 50 hp	Neglect	Neglect

หมายเหตุ

1. X_d''ของเครื่องจักรหมุนซิงโครนัสจะพิจารณาที่พิกัดศักดาและค่าไดเร็กแอกซิสซับทรานเซียลรีแอกเตอร์ (Direct – axis Subtransient Reactance)
2. X_d'ของเครื่องจักรหมุนซิงโครนัสจะพิจารณาที่พิกัดศักดาและ ค่าไดเร็กแอกซิสทรานเซียลรีแอกเตอร์ (Direct – axis Transient Reactance)
3. X_d'' ของอินดักชันมอเตอร์ เท่ากับ 1.00 หารด้วย เปอร์ยูนิต ของกระแสล็อกโรเตอร์ (Lock – rotor Current) ที่พิกัดศักดาไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กระแสที่เกิดจากการลัดวงจรของอินดักชันมอเตอร์และ ซิงโครนัสมอเตอร์ขนาดเล็ก จะไม่พิจารณาที่ยูนิตี้ซิสเต็ม (Unity System) ยกเว้นระบบจ่ายและสถานีย่อยที่จ่ายให้กับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เพราะมอเตอร์จะมีขนาดใหญ่ กระแสใน 1/2 ไซเคิล จะมากกว่ากระแสสมมาตร อาจจะคูณด้วย 1.6 ที่กระแสสมาตร แต่จะไม่เกินโมเมนทารีดิวตี้ของเบรกเกอร์
5. ค่าตัวคูณรีแอกแตนซ์ของเครื่องจักรไฟฟ้าหมุนและ E/X แอมแปร์จะอยู่ในรูปที่ 2.13 ซึ่งจะพิจารณาผลของ AC ทั้งหมด

การพิจารณากลุ่มของอินดักชั่นมอเตอร์ที่มีค่ากำลังรวม 50 แรงม้า และมากกว่าจะคูณด้วย 1.0 หรือ 1.2 ที่ ซับทรานเซียลอิมพีแดนซ์ของมอเตอร์ขนาดใหญ่ ในกลุ่มของมอเตอร์

ในการหาขนาดของเซอร์กิจเบรกเกอร์ทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำของมอเตอร์จะอยู่ในมาตรฐาน ANSI/IEEE C37.13-1981 โดยจะกำหนดให้ขนาดของกระแสลัดวงจรที่บัสเท่ากับ 4 เท่าของกระแสพิกัด (หรือประมาณ 0.25 เปอร์ยูนิตอิมพีแดนซ์)

ค่า 4 เท่านี้เป็นเพียงแค่ค่าประมาณ กรณีที่มีอินดักชั่นมอเตอร์75%ของมอเตอร์ทั้งหมดจะคูณด้วย 3.6 เท่าของพิกัดกระแส และซิงโครนัสมอเตอร์ 25 % จะคูณด้วย 4.8 เท่าของพิกัดกระแส ซึ่งรายละเอียดของค่าอิมพีแดนซ์จะอยู่ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าตัวคูณรีแอกแตนซ์ (อิมพีแดนซ์) ของเครื่องจักรไฟฟ้าหมุน*

TYPE OF ROTATION MACHINE	FIRST-CYCLE NETWORK	INTERRUPTING NETWORK
All turbine generators; all hydrogenerators with Amorthisseur windings; all condensors	1.0 X_d''	1.0 X_d''
Hydrogenerators without amortisseur windings	0.75 X_d''	0.75 X_d''
All synchronouses motors	1.0 X_d''	1.5 X_d''
Induction motors		
Above 1000 hp at 1800 rpm or less	1.0 X_d''	1.5 X_d''
Above 250 hp at 3600 rpm	1.0 X_d''	1.5 X_d''
All others, 50 hp and above	1.2 X_d''	3.0 X_d''
All smaller than 50 hp	Neglect	Neglect

*จาก ANSI/IEEE C37.010-1979 และ C 37.5-1979 (เอกสารอ้างอิง [5])

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับอินดักชั่นมอเตอร์ขนาดเล็กน้อยกว่า 50 แรงม้าจะคูณด้วย 3.6 กับพิกัดกระแส (หรือประมาณ 0.28 ของค่าอิมพีแดนซ์เป็นเปอร์ยูนิต) หรือนำค่าตัวคูณ 1.67 คูณกับค่าซับทรานเซียลอิมพีแดนซ์

สำหรับอินดักชั่นมอเตอร์ที่ขนาด 50 แรงม้าและมากกว่าจะคูณด้วย 1.2 กับค่าซับทรานเซียลอิมพีแดนซ์ หรือที่ 0.2 ของค่าอิมพีแดนซ์เปอร์ยูนิต

โดยจากหลักการข้างต้นสามารถที่จะหากระแสลัดวงจรแบบสมมาตรในช่วงไซเคิลแรกที่มอเตอร์ได้โดยพิจารณาค่าอิมพีแดนซ์เป็นค่ารีแอกแตนซ์เปอร์ยูนิตไม่คิดค่าของความต้านทาน

$$I_{sc(sym)} = (E_{pu} * I_{base}) / Z_{pu} \quad \text{.....(2.2)}$$

ในกรณีที่คิดกระแสไม่สมมาตร (Closeing and Latching Capabilites) จะคูณด้วย 1.6 เท่าของกระแสสมมาตรในกรณีแรงดันไฟฟ้าสูงซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

$$I_{sc(tot)} = (E_{pu} / X_{pu}) * 1.6 * I_{base} \quad \text{.....(2.3)}$$

ตารางที่ 2.4 รวมค่าตัวคูณของรีแอกแตนซ์ (หรืออิมพีแดนซ์) ของเครื่องจักรไฟฟ้าหมุน

TYPE OF ROTATING MACHINE	FIRST-CYCLE NETWORK	INTERRUPPTING NETWORK
Induction Motors		
All others 50 hp and above	1.2 X_d'' *	3.0 X_d'' +
All smaller than 50 hp	1.67 X_d'' **	Neglect

* or estimate the first-cycle network X = 0.20 per unit based on motor rating

\+ or estimate the first-cycle network X = 0.28 per unit based on motor rating

** or estimate the interrupting network X = 0.50 per unit based on motor rating

จาก ANSI/IEEE C37.010-1979 และ C 37.5-1979 (เอกสารอ้างอิง [12])

2.4 การคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรที่มากกว่า 1 kV

วิธีคำนวณกระแสลัดวงจร มีหลายวิธีและกลไกในการคำนวณเพื่อหากระแสลัดวงจร วิธีที่ดีวิธีหนึ่งคือคำนวณเป็นขั้นตอน (Step by Step) เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ของกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สลับ (AC) และ กระแสตรง (DC) ในกราฟของฟังก์ชันลด เมื่อเกิดการลัดวงจร การคำนวณจะแบ่งเป็น 2 วิธี คือ

2.4.1 วิธีอย่างง่ายโดยพิจารณาเฉพาะค่า E/X (E/X Simplifier Method)

- การคิดกระแสลัดวงจรแบบสามเฟส

$$I_{(3\phi)} = E / X_1 \quad \text{.....(2.4)}$$

- การคิดกระแสลัดวงจรแบบซิงเกิลเฟส

$$I_{(1\phi)} = 3E / (2X_1 + X_o) \text{..... .....(2.5)}$$

โดยที่ : X_1 = ค่ารีแอกแตนซ์ลำดับบวก (Positive Sequence Reactance)

X_o = ค่ารีแอกแตนซ์ลำดับศูนย์ (Zero Sequence Reactance)

E = ระดับแรงดันไฟฟ้า

I_{base} = ค่าเบสกระแส

E_{pu} = ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เป็นเปอร์ยูนิต

I_{pu} = ค่ากระแสที่เป็นเปอร์ยูนิต

Z_{pu} = ค่าอิมพีแดนซ์ที่เป็นเปอร์ยูนิต

$I_{sc(tot)}$ = ค่ากระแสลัดวงจรรวม

$I_{(3\phi)}$ ที่หาได้จะเป็นค่าอาร์เอ็มเอสแบบสมมาตร (Symmetrical rms) และสำหรับโมเมนทารีดิวตี้ของเซอร์กิจเบรกเกอร์กำลัง จะได้ค่าอาร์เอ็มเอสแบบไม่สมมาตร (Asymmetrical rms) = 1.6 * $I_{(3\phi)}$ และค่าสูงสุดแบบไม่สมมาตร (Asymmetrical Peak) = 2.7 * $I_{(3\phi)}$

วิธีนี้ เป็นวิธีการคำนวณหากระแสลัดวงจรอย่างง่าย โดยจะพิจารณาเฉพาะค่า X ของระบบ ส่วนค่า R ไม่พิจารณา และผลที่ได้จะถูกต้องเพียงพอก็ต่อเมื่อ X/R ของระบบมีค่า $\leq$ 15

ค่าที่คำนวณได้จากวิธีนี้จะถือเป็น 80% ของอินเตอร์รับติ้งคาร์พาบีริตี้แบบสมมาตรของเซอร์กกิตเบรคเกอร์ในกรณีความผิดพลาดปกติแบบสามเฟสและถือเป็น 70% ของอินเตอร์รับติ้งคาร์พาบีริตี้แบบสมมาตรของเซอร์กิตเบรคเกอร์ ในกรณีความผิดพลาดปกติแบบหนึ่งเฟสลงดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 วิธีใช้ค่า E/X ที่มีการชดเชยในส่วนของการลดขององค์ประกอบกระแสตรงและกระแสสลับ (E/X Method With Adjustment for AC and DC Decrements)

วิธีนี้จะให้ค่าที่ถูกต้องกว่ากรณีแรก และจะใช้วิธีนี้ก็ต่อเมื่อ

1. อัตราส่วน X/R > 15

2. $I_{sc(3\phi)}$>80%ของค่าอินเตอร์รัพติ้งคาร์พาบีริตี้แบบสมมาตรของเซอร์กิจเบรกเกอร์ในกรณีความผิดปกติแบบ 3 เฟสสมมาตร

3. $I_{sc(1\phi)}$>70%ของค่าอินเตอร์รัพติ้งแบบสมมาตรของเซอร์กิจเบรกเกอร์ ในกรณีความผิดปกติแบบหนึ่งเฟสลงดิน

วิธีนี้จะเริ่มต้นด้วยการหาค่ากระแสตามวิธีอย่างง่ายโดยพิจารณา E/X ก่อนจากนั้นจะใช้แฟคเตอร์ตัวคูณ (Multiplying Factor) ที่มีความสัมพันธ์กับค่า อัตราส่วน X/R คูณเพื่อแก้ค่ากระแสลัดวงจรที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีอย่างง่ายซึ่งพิจารณาE/X เพียงอย่างเดียว

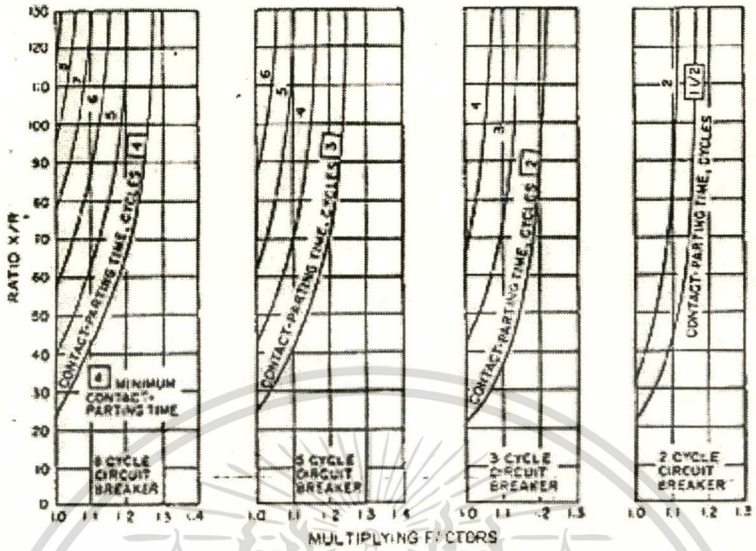
ค่าแฟกเตอร์ตัวคูณที่ใช้สามารถหาได้ดังนี้

(1) กรณีคิดผลของการลดลงขององค์ประกอบกระแสตรง และกระแสสลับ (AC and DC Decrement) ทั้งสองค่าซึ่งกรณีนี้จะใช้เมื่อกระแสลัดวงจรจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายผ่านหม้อแปลงหนึ่งตัว (One Transformer) หรือจ่ายผ่านรีแอกแตนท์ภายนอก (External Reactance) ที่มีค่าน้อยกว่า $1.5*X_d''_{(gen)}$ ที่พิกัดกำลังเบสของระบบ และเป็นไปดังกราฟรูปที่ 2.13

(2) กรณีคิดผลของการลดลงขององค์ประกอบกระแสตรง(DC Decrement) อย่างเดียว ซึ่งกรณีนี้จะใช้เมื่อกระแสลัดวงจรจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายผ่านหม้อแปลง2 ตัวขึ้นไป (Two or More Transformer) หรือจ่ายผ่านรีแอกแตนท์ภายนอกมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ $1.5*X_d''_{(gen)}$ ที่พิกัดกำลังเบสของระบบกราฟที่ใช้จะเป็นดังกราฟรูปที่ 2.14

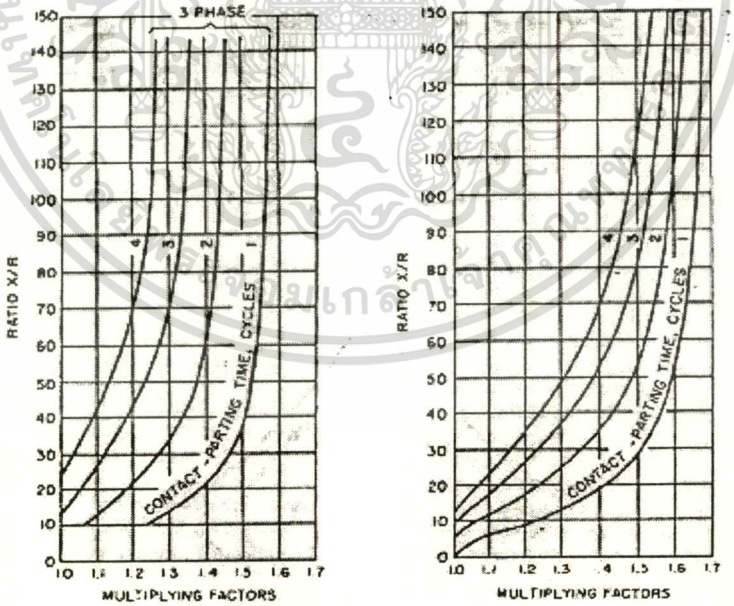
ค่ากระแสลัดวงจรที่คำนวณได้จากวิธีนี้ไม่ควรเกินค่าอินเตอร์รัพติ้งคาร์พาบีริตี้แบบสมมาตรของเซอร์กิจเบรกเกอร์ที่เลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค่าแฟกเตอร์ตัวคูณสำหรับ E/X แอมแปร์ (Amperes)

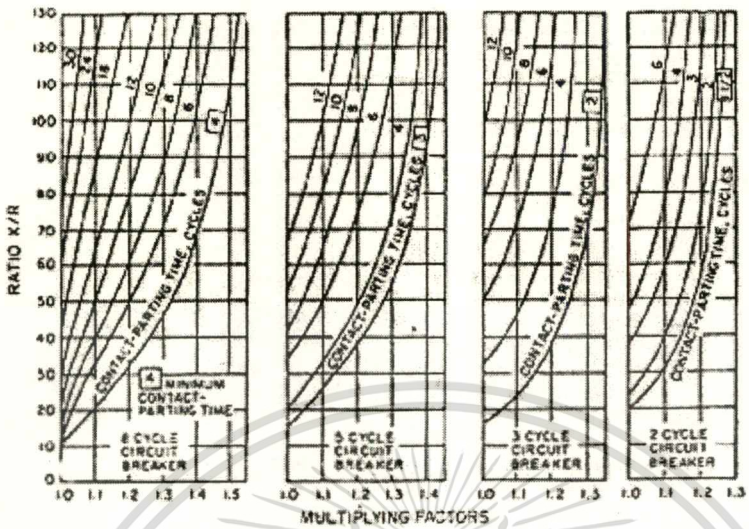
รูปที่ 2.13 กราฟแสดงค่าแฟกเตอร์ตัวคูณในกรณีความผิดปกติแบบสามเฟส โดยคิดผลของการลดลงขององค์ประกอบกระแสตรง และกระแสสลับ



ค่าแฟกเตอร์ตัวคูณสำหรับ E/X แอมแปร์ (Amperes)

รูปที่ 2.14 กราฟแสดงค่าแฟกเตอร์ตัวคูณในกรณีความผิดปกติแบบสามเฟส และ ความผิดปกติแบบหนึ่งเฟสลงดิน โดยคิดของการลดลงขององค์ประกอบกระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค่าแฟกเตอร์ตัวคูณสำหรับ E/X แอมแปร์ (Amperes)

รูปที่ 2.15 กราฟแสดงค่าแฟกเตอร์ตัวคูณในกรณีความผิดปกติแบบสามเฟส และหนึ่งเฟสลงดิน โดยคิดผลของการลดลงขององค์ประกอบกระแสตรงเพียงอย่างเดียว

2.4.2 ค่าความต้านทานของระบบและอัตราส่วน X/R (Resistance of System and Typical X/R Ratio)

จุดประสงค์ของการคำนวณ X/R มาให้ก็เพื่อใช้ในการหาค่าความต้านทานของอุปกรณ์ตัวนั้น ๆและเป็นการแสดงว่าค่าความต้านทานของระบบมีผลต่อค่าของกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น ซึ่งจะต้องนำค่าความต้านทานที่หาได้มาพิจารณาประกอบในการหากระแสลัดวงจรสำหรับพวกเครื่องจักรไฟฟ้า (Machines) ค่าอัตราส่วนX/Rจะเป็นค่าที่ใช้ในการวัดค่าไทม์คอนสแตนท์ของการลดทอนขององค์ประกอบกระแสตรงและกระแสผิดปกติจากเครื่องจักร (Time Constant of Exponential Delay of DC Component of Machine Fault Current)

โดยปกติแล้วค่าความต้านทาน และอัตราส่วน X/R จะดูได้จากคู่มือของอุปกรณ์จากโรงงาน หรืออาจจะใช้ตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 แสดงช่วงอัตราส่วน X/R ของอุปกรณ์ในระบบที่สามารถเลือกใช้ได้

อุปกรณ์ในระบบ	ช่วง	ค่าที่เลือก
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่และซิงโครนัสคอนแคนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยน้ำ	40-120	80
หม้อแปลงกำลัง	ดูรูปที่ 2.16	--
มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ	ดูรูปที่ 2.17	--
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่และซิงโคนัสมอเตอร์	ดูรูปที่ 2.18	--
รีแอกเตอร์	40-120	80
สายส่งแบบเปลือย(Open Wire Lines)	2-13	5
สายเคเบิลใต้ดิน(Underground Cables)	1-3	2

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าความต้านทานของอุปกรณ์ในระบบที่สามารถเลือกใช้ได้

อุปกรณ์ในระบบ	ความต้านทานโดยประมาณ
1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเทอร์ไบน์และคอนเดนเซอร์	ความต้านทานประสิทธิผล (Effective Resistance)
2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซาเลี่ยนโพล (Salient Pole Generator) และมอเตอร์	ความต้านทานประสิทธิผล
3. มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ	1.2 เท่าของความต้านทานอาร์มาเจอร์กระแสตรง (DC Armature Resistance)
4. หม้อแปลงกำลัง (Power Transformers)	ความต้านทานสูญเสียแบบโหลดกระแสสลับ (AC Load Loss Resistance) (ไม่รวมความสูญเสียในขณะไม่มีโหลด หรือความสูญเสียช่วย (No-load Losses or Auxiliary Losses))
5. รีแอกเตอร์	ความต้านทานกระแสสลับ (AC Resistance)
6. สายส่งและสายเคเบิล	ความต้านทานกระแสสลับ (AC Resistance)

หมายเหตุ : ความต้านทานประสิทธิผล = $\frac{X_{2V}}{2\pi f T_{a3}}$

เมื่อ X_{2V} คือ รีแอกแตนซ์ลำดับลบที่พิกัดแรงดันไฟฟ้า

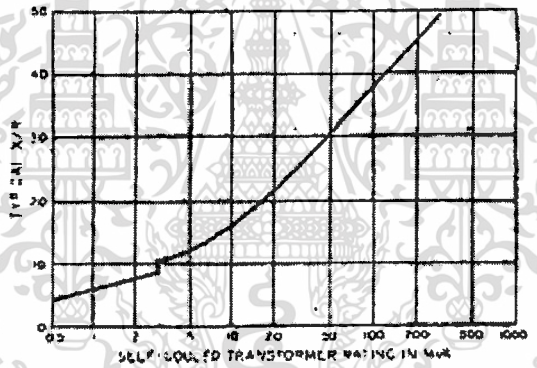
T_{a3} คือ ค่าไทม์คอนสแตนต์อาร์มาเจอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่พิกัดแรงดันไฟฟ้า

โดยปกติแล้วค่าความต้านทานประสิทธิผล จะเท่ากับ 1.2 เท่าของความต้านทานกระแสตรง

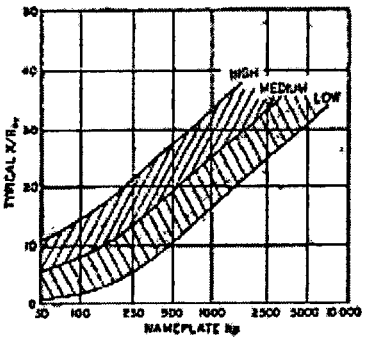
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 กรณีที่เป็นคลาสอื่น ให้ใช้ค่าแฟกเตอร์ในตาราง
คูณกับค่าพิกัดกำลัง (MVA) ก่อนที่จะใช้รูปที่ 2.16

คลาส	พิกัดกำลัง	แฟกเตอร์
OA	ทุกพิกัด	1.67
FA	มากกว่า 14.9	1.33
FA	16และมากว่า	1.25
FOA	ทุกพิกัด	1.00

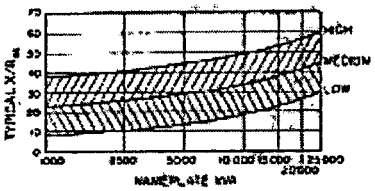


รูปที่ 2.14 ช่วงของอัตราส่วน X/R สำหรับหม้อแปลงกำลัง



รูปที่ 2.15 ช่วงของอัตราส่วน X/R สำหรับมอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ช่วงของอัตราส่วนX/Rสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซาเลี่ยนโพลที่มีโซลิดโรเตอร์ขนาดเล็ก (Small Solid Rotor and Salient Pole Generator) และ ซิงโครนัสมอเตอร์

2.5 ขั้นตอนการคำนวณหากระแสลัดวงจรตามมาตราฐานของ ANSI/IEEE

1. พิจารณาแบบ Single line Diagram ที่มีโดยพิจารณาคิดเฉพาะโหลดหลัก ๆ เท่านั้น (ไม่คิดโหลดย่อย)
2. กำหนดค่า Base Power , Base Voltage นำมาหาค่าของ Base current และ Base impedance โดย :

$$I_{base} = \frac{VA_{base}}{3V_{base\ per\ phase}} \quad \text{.....(2.6)}$$

$$Z_{base} = \frac{V_{base\ per\ phase}}{I_{base\ per\ phase}} \quad \text{.....(2.7)}$$

3. พิจารณาขนาด ความยาวสาย ชนิดของสาย และค่ารีแอกแตนซ์ต่อรีซีสแตนซ์ (X/R)
4. หาขนาดของ อิมพีแดนซ์ ของโหลดต่างๆ

4.1 ในกรณีของโหลดของระบบไฟฟ้าจะทราบค่าโวลต์แอมป์ (VA) ของโหลด สามารถหาอิมพีแดนซ์ ของโหลดได้โดย

$$Z_{จริง} = \frac{VA}{3V^2_{phase}} \quad \text{.....(2.8)}$$

$$Z_{p.u.} = \frac{Z_{จริง}}{Z_{base}} \quad \text{.....(2.9)}$$

หากบอกค่าของเพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power factor) ของโหลดระบบไฟมาก็สามารถหาค่าของรีแอกแตนซ์และรีซิสแตนซ์ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{p.u.} = \frac{V^2}{VA * (pf.)} \quad \text{.....(2.10)}$$

$$X_{p.u.} = \sqrt{(Z^2_{p.u.} - R^2_{p.u.})} \quad \text{.....(2.11)}$$

4.2 กรณีที่โหลดเป็นมอเตอร์หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้พิจารณาค่าซับทรานเซียลรีแอกแตนซ์ (X_d'') และค่ารีแอกแตนซ์ต่อรีซีสแตนซ์ (X/R) ที่เป็นค่าเปอร์ยูนิต

- ในกรณีไม่ทราบค่า (X_d'')ให้ประมาณได้จากตารางที่ 2.8 ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องจักรไฟฟ้านั้น ๆ
- เมื่อทราบค่า (X_d'') แล้วให้นำมาพิจารณาในตารางที่ 2.7 เพื่อนำตัวประกอบมาคูณ

5. ขนาดและความยาวสาย

สามารถหา X และ R ในกรณีที่บอกขนาดสายเป็นตารางมิลลิเมตร , ชนิด และความยาวของสาย

6. เปลี่ยนค่าเปอร์ยูนิตของ อิมพีแดนซ์ , รีแอกแตนซ์ , รีซีสแตนซ์ให้อยู่ในเบสกำลังเดียวกัน โดยส่วนมากเบสกำลังจะกำหนดให้ระบบไฟฟ้าที่จ่ายเป็นเบส
7. พิจารณาค่าที่คำนวณได้ไปในซิงเกิลไลน์ไดอะแกรม แล้วทำการยุบวงจรอย่างง่าย โดยค่าของอิมพีแดนซ์ (โดยแยกพิจารณา รีซีสแตนซ์ กับ รีแอกแตนซ์)
8. เมื่อหาค่าของ รีซีสแตนซ์รวม และ รีแอกแตนซ์รวม ได้แล้ว นำค่าของรีซีสแตนซ์ และรีแอกแตนซ์มาหาค่า อิมพีแดนซ์

$$Z_{p.u.} = \sqrt{(X^2_{\text{total p.u.}} + R^2_{\text{total p.u.}})} \quad \text{.....(2.12)}$$

9. ในกรณีพิจารณาที่ระดับแรงดันไฟฟ้ากลาง (Medium Voltage) ให้นำ $(X/R)_{total}$ ที่ได้ มาพิจารณาเพิ่มเติมโดยพิจารณาค่า ตัวคูณจากตารางที่ 2.1 เพื่อคูณกับกระแสลัดวงจร (I_{sc}) ที่ได้
10. คำนวณหากระแสลัดวงจรได้จาก

$$I_{sc\ sym} = \frac{kVA_{base} * 1000}{Z_{p.u.} * V_{Low\ volt}} \quad \text{.....(2.13)}$$

$$I_{sc(sym)} = (E_{pu} * I_{base}) / Z_{pu} \quad \text{.....(2.14)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ในกรณีหาขนาดของกระแสลัดวงจรของหม้อแปลงจะพิจารณาด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง (Secondary Voltage) โดยที่ต้องทราบค่าพิกัดกระแสของหม้อแปลงไฟฟ้า (Rated Current) จากสมการที่ (2.15)

$$I_{Rated} = \frac{VA}{3\,V_{phase\ (Secondary\ Voltage)}} \qquad \text{..... (2.15)}$$

12. เมื่อได้ค่าของกระแสที่พิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า นำค่าของอิมพีแดนซ์ที่เป็นเปอร์ยูนิตหรือเปอร์เซนต์อิมพีแดนซ์ (%Z or $Z_{p.u.}$) ของหม้อแปลงมาหารดังสมการที่ (2.16) หรือถ้าไม่ทราบอาจจะพิจารณาจากตารางที่ 2.11

$$I_{sc\ sym} = \frac{I_{Rated}}{Z_{p.u}} \qquad \text{.....(2.16)}$$

โดยที่ :

$I_{sc(sym)}$ = กระแสผิดปกติแบบสามเฟสสมมาตร

pf. = เพาว์เวอร์แฟกเตอร์ของโหลดหรือระบบนั้น ๆ

$X_{total\ p.u.}$ = ค่ารีแอกแตนซ์รวมที่เป็นเปอร์ยูนิต

$R_{total\ p.u.}$ = ค่ารีซีสแตนซ์รวมที่เป็นเปอร์ยูนิต

$Z_{จริง}$ = ค่าอิมพีแดนซ์จริง

kVA_{base} = ค่ากำลังไฟฟ้าที่เป็นเบส

I_{Rated} = กระแสที่พิกัด

$V_{Low\ volt}$ = แรงดันไฟฟ้าแรงต่ำ

VA = พิกัดกำลังของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

1. จากข้อที่7 นั้นพิจารณา เพื่อหาค่า รีแอกแตนซ์ กับ รีซีสแตนซ์ ของมอเตอร์ที่แรงดันมากกว่า 1 กิโลโวลต์ อาจมีปัจจัยของตัวคูณค่ากระแสลัดวงจร (I_{sc}) ที่คำนวณได้ดูจากกราฟรูปที่ 2.13 , 2.14 , 2.15
2. ในการพิจารณาผลของมอเตอร์ในแรงดันต่ำนั้นให้นำ 4 คูณกับค่า กระแสพิกัดของมอเตอร์ แล้วนำไปบวกเพิ่มกับกระแสลัดวงจรที่คำนวณได้ โดยค่า 4 ที่ใช้ในการคำนวณเป็นค่าประมาณ ซึ่งประมาณ 75% ของมอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ ใช้ตัวคูณ 3.6 และประมาณ 25% ของซิงโครนัสมอเตอร์ ใช้ตัวคูณ 4.8 ส่วนที่เหลืออนุโลมได้ สรุปได้ว่าใช้ 4 เป็นตัวคูณกับมอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำที่ไม่ระบุมา
3. ในกรณีที่ไม่ทราบค่ารีแอกแตนซ์ต่อรีซีสแตนซ์ (X/R) ของอุปกรณ์ไฟฟ้า , เครื่องจักรต่างๆ อาจจะประมาณค่าได้โดยพิจารณาจากกราฟรูปที่ 2.16 , 2.17 , 2.18

วิธีการยุบวงจรให้อยู่ในรูปอย่างง่าย

1. ในการพิจารณาให้เราพิจารณาหม้อแปลงเพียงตัวเดียวเท่านั้น แม้ว่าระบบนั้นจะใช้หม้อแปลงสองตัวโดยใช้เซอร์กิจเบรกเกอร์เชื่อมกัน (Tie Circuit Breaker) เราจะคิดหม้อแปลงเพียงตัวเดียว ที่ใช้จ่ายโหลดทั้งหมด
2. ในการคิดให้ยึดบรานซ์เป็นหลักโดยพิจารณาว่าไลน์ใดที่ติดกับบรานซ์ให้คิดทีหลัง แยกพิจารณาต่างหาก
3. ให้คิด รีแอกแตนซ์ รวมกันแบบขนานในแต่ละบรานซ และอนุกรมกันในแต่ละไลน์
4. ให้คิด รีซิสแตนซ์ รวมกันแบบขนานในแต่ละบรานซ และอนุกรมกันในแต่ละไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ค่ารีแอกแตนซ์สำหรับเครื่องจักรไฟฟ้าอินดักชั่นและซิงโครนัส เป็นค่าเปอร์ยูนิตของเครื่องจักรไฟฟ้าที่พิกัด kVA

	X_d''	X_d'
Turbine generator **		
2 poles	0.09	0.15
4 poles	0.15	0.23
Salient-pole generators with damper windings **		
12 poles or less	0.16	0.33
14 poles or more	0.21	0.33
Synchronous motors		
6 poles	0.15	0.23
8 – 14 poles	0.20	0.30
16 poles or more	0.28	0.40
Synchronous condensor**	0.24	0.37
Synchronous convertor**		
600 V direct current	0.20	
250 V direct current	0.33	
Individual large induction motors usually above 600 V	0.17	
Smaller motors, usually 600 V and below *** ดูจากตารางที่ 2.2 และ 2.3		

หมายเหตุ ซิงโครนัสมอเตอร์จะสามารถหาค่าพิกัด kVA (โดยประมาณ)ได้จากแรงม้า

- มอเตอร์ที่มีค่า Pf. = 0.8 จะได้ค่า kVA เบส = พิกัดแรงม้า
- มอเตอร์ที่มีค่า Pf. = 1 จะได้ค่า kVA เบส = 0.8 * พิกัดแรงม้า

* ในกรณีที่ทราบค่าจากโรงงานผู้ผลิตให้ใช้ค่าที่มาจากโรงงานนั้น

** X_d' จะไม่ใช้ในการคำนวณหาเกี่ยวกับกระแสลัดวงจร

*** ในกรณีที่เป็นกลุ่มมอเตอร์ ค่า X_d'' ต่ำสุดที่ใช้ในการพิจารณาจากมอเตอร์ตัวใหญ่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ของสายชนิด PD-IV และ PD-THW แบบ 3 เฟส เดินในท่อโลหะ*

CONDUTOR CROSS SECTION SQ.MM.	AC(r) RESISTANCE AT 70° C IN METALLIC CONDUIT Ω/KM.	INDUCTIVE REACTANCE X IN METALLIC CONDUIT Ω/KM.	Three phase effective resistance per unit length $\sqrt{3}(r\cos\theta + X\sin\theta)$ at 70°C various power factor Ω/KM.				
			1.00 Ω/KM.	0.95 Ω/KM.	0.90 Ω/KM.	0.85 Ω/KM.	0.80 Ω/KM.
2.5	8.8658	0.1949	15.33560	14.6936	13.9676	13.2304	12.4874
4	5.5157	0.1811	9.5535	9.1737	8.7349	8.2857	7.8310
6	3.6851	0.1735	6.3825	6.1575	5.8755	5.5837	5.2865
10	2.1895	0.1768	3.7923	3.6983	3.5466	3.3848	3.2176
16	1.3759	0.1712	2.3831	2.3566	2.2741	2.1819	2.0844
25	0.8698	0.1621	1.5065	1.5189	1.4783	1.4285	1.3737
35	0.6332	0.1558	1.0967	1.1262	1.1047	1.0744	1.0393
50	0.4723	0.1533	0.8180	0.8601	0.8520	0.8352	0.8138
70	0.3303	0.1468	0.5721	0.6229	0.6257	0.6202	0.6102
95	0.2425	0.1409	0.4200	0.4751	0.4842	0.4854	0.4822
120	0.1940	0.1412	0.3360	0.3956	0.4090	0.4144	0.4156
150	0.1587	0.1397	0.2749	0.3367	0.3529	0.3611	0.3651
185	0.1281	0.1359	0.2219	0.2843	0.3023	0.3126	0.3187
240	0.1019	0.1319	0.1765	0.2390	0.2584	0.2704	0.2783
300	0.0834	0.1312	0.1445	0.2082	0.2291	0.2425	0.2519

*เอกสารอ้างอิง [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ของสายชนิด PD-THW ไม่เดินในท่อโลหะ และชนิด PD-NYY แบบ 3 เฟส เดินในอากาศ หรือต่อลงดินโดยตรงแบบ 3 เฟส

CONDUTOR CROSS SECTION SQ.MM.	AC(r) RESISTANCE AT 70° C IN METALLIC CONDUIT Ω/KM.	INDUCTIVE REACTANCE X IN METALLIC CONDUIT Ω/KM.	Three phase effective resistance per unit length $\sqrt{3}(r\cos\theta + X\sin\theta)$ at 70°C various power factor Ω/KM.				
			1.00 Ω/KM.	0.95 Ω/KM.	0.90 Ω/KM.	0.85 Ω/KM.	0.80 Ω/KM.
2.5	8.8658	0.1548	15.3560	14.6719	13.9373	13.1939	12.4457
4	5.5157	0.1438	9.5535	9.1536	8.7067	8.2517	7.7922
6	3.6851	0.1380	6.3825	6.1575	5.8755	5.5837	5.2865
10	2.1895	0.1413	3.7923	3.6983	3.5466	3.3848	3.2176
16	1.3759	0.1366	2.3831	2.3379	2.2479	2.1503	2.0485
25	0.8698	0.1293	1.5065	1.5011	1.4535	1.3985	1.3396
35	0.6369	0.1235	1.0858	1.0983	1.0705	1.0356	0.9970
50	0.4630	0.1233	0.8019	0.885	0.8148	0.7941	0.7697
70	0.3207	0.1468	0.5721	0.6229	0.6257	0.6202	0.6102
95	0.2309	0.1136	0.3999	0.4414	0.4457	0.4436	0.4380
120	0.1840	0.1121	0.3187	0.3634	0.3715	0.3732	0.3751
150	0.1493	0.1121	0.2586	0.3063	0.3174	0.3211	0.3234
185	0.1196	0.1094	0.2072	0.2560	0.2690	0.2759	0.2794
240	0.0918	0.1073	0.1590	0.2091	0.2241	0.2331	0.2387
300	0.0737	0.1066	0.1277	0.1789	0.1954	0.2058	0.2129

เอกสารอ้างอิง [17]

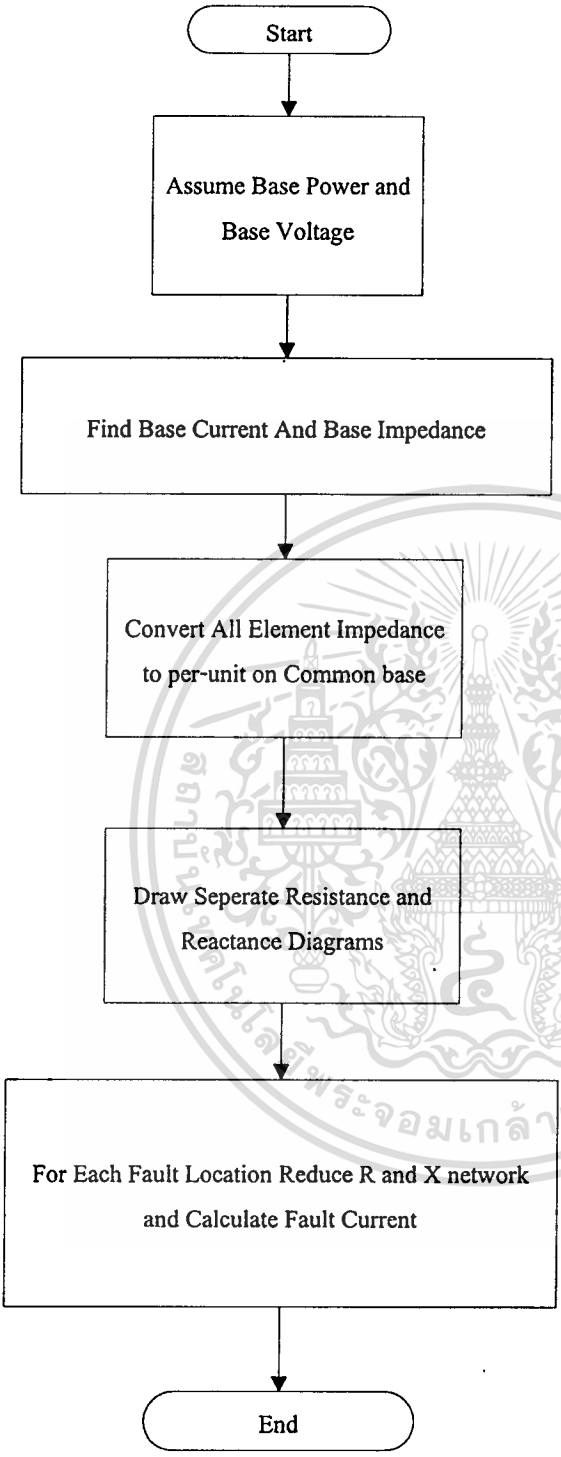
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.11 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง

Transformer Bank Load (kVA)	Transformer Bank Impedance (percent)
10-50	3.0
75-150	4.0
200-500	5.0
750-2000	5.5
3000-10000	6.0

เอกสารอ้างอิงที่ [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 โฟลว์ชาร์ทแสดงการคำนวณกระแสลัดวงจรตามมาตราฐาน ANSI/IEEE Std 141-1986

กสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า

3.1 อุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้า (Protective Devices)

หมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถรับรู้การเกิดการผิดปกติของระบบไฟฟ้าและสามารถแก้ปัญหาเมื่อเกิดการผิดปกติได้อย่างรวดเร็วซึ่งขึ้นอยู่กับการศึกษาและประสบการณ์ของผู้ออกแบบในการที่จะเลือกใช้อุปกรณ์ดังกล่าว ในการออกแบบระบบไฟฟ้านั้นสิ่งที่ต้องการก็คือต้องการให้ระบบสามารถที่จะทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยจะต้องมีพลังงานไฟฟ้าพร้อมที่จะจ่ายให้แก่เครื่องมือและอุปกรณ์ทางไฟฟ้าได้ตลอดเวลาดังนั้นความน่าเชื่อถือ (reliability) จึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด ถ้าในระบบเกิดกระแสที่มีขนาดมากกว่าปกติหรือกระแสเกิน(overcurrent)ไหลผ่านแล้ว ย่อมเกิดอันตรายมาก กระแสนี้อาจเกิดจากหลายสาเหตุด้วยกันและอาจจะมีกระแสมากกว่า 100 kA ก็ได้

โดยทั่วไปสาเหตุของกระแสเกิน (Over Current) มาจาก 2 สาเหตุหลัก

1. โหลดเกิน (Overload)
2. ลัดวงจร (Short circuit)

ดังนั้นเมื่อมีกระแสเกินเกิดขึ้นในระบบ จะต้องมีอุปกรณ์ที่จะเปิดวงจรออก แต่ต้องเปิดวงจรเฉพาะวงจรที่จำเป็นและน้อยที่สุด แต่มีความปลอดภัยมากที่สุด เพื่อให้อุปกรณ์ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการเกิดกระแสเกินมีพลังงานไฟฟ้าใช้อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา

อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินควรมีหลักการและข้อกำหนดในการทำงานดังนี้

1. การทำงานควรเป็นไปอย่างอัตโนมัติ
2. ในกรณีที่กระแสปกติไหลผ่านตัวมัน ไม่ควรจะมีการเปิดวงจร
3. จะต้องเปิดวงจรทันทีถ้ามีกระแสเกินไหลผ่านตัวมัน
4. จะต้องสามารถเปลี่ยนหรือปรับแต่งได้สะดวก
5. จะต้องมีความปลอดภัยในการใช้งานทั้งในภาวะปกติและภาวะกระแสเกินไหลผ่าน

โดยทั่วไปอุปกรณ์ป้องกันที่นิยมใช้ในงานระบบไฟฟ้ามีอยู่ 2 ชนิด คือ

1. ฟิวส์ (Fuse)
2. เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Circuit Breaker)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า (Coordination of Protective Devices)

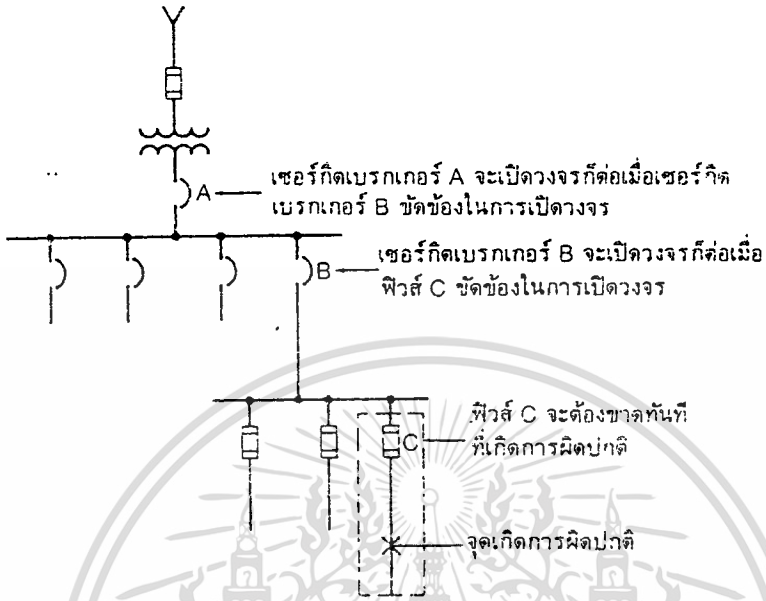
หมายถึงเมื่อเกิดการผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้าอุปกรณ์ป้องกันตัวที่ใกล้จุดที่เกิดการผิดปกติมากที่สุดจะต้องทำงานก่อน และมีประสิทธิภาพ

3.2.1 หลักการทั่วไปของการทำงานร่วมกัน

1. ให้อุปกรณ์ป้องกันตัวที่ใกล้จุดผิดปกติมากที่สุดทำงานก่อน
2. เมื่ออุปกรณ์ป้องกันดังกล่างทำงานแล้ว อุปกรณ์ป้องกันตัวอื่นไม่ควรทำงาน
3. ให้มีความต่อเนื่องของระบบไฟฟ้ามากที่สุดกล่าวคือไม่ควรให้อุปกรณ์ป้องกันตัดไฟฟ้าออกจากระบบบ่อยเกินความจำเป็น และไม่ควรให้โหลดขาดไฟฟ้าเป็นบริเวณกว้าง
4. เมื่อทำการโคออดิเนทแล้ว กราฟที่ได้จากการโคออดิเนทไม่ควรตัดกัน
5. เมื่ออุปกรณ์ป้องกันตัวที่ใกล้จุดที่เกิดความผิดปกติมากที่สุดไม่ทำงานเนื่องจากความผิดปกติภายใน อุปกรณ์ตัวถัดไปต้องทำงานแทนโดยเป็นแบ็คอัพ(Back up) ให้กับตัวแรก ซึ่งทำได้โดยตั้งเวลาเซฟตี้มาจิน (Safety Margin)
6. การทำงานควรเป็นไปอย่างอัตโนมัติ

การทำงานร่วมกัน(Coordination)ของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้ามีความสำคัญเป็นอย่างมากในการออกแบบระบบไฟฟ้าเพราะ ถ้าเกิดการผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้าอาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทุกอย่างหยุดทำงานได้ เนื่องจากการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ในการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าที่ดีนั้น จะต้องมีลักษณะการทำงานคือเมื่อเกิดการผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้าอุปกรณ์ป้องกันตัวที่ใกล้จุดที่เกิดการผิดปกติมากที่สุดจะต้องทำงานก่อนอุปกรณ์ป้องกันตัวอื่นและต้องทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการตัดวงจรส่วนที่เกิดการผิดปกติออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดการผิดปกติ

3.3 อุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าที่จะนำมาใช้ในโปรแกรมเพื่อทำการโคออร์ดิเนท มีดังนี้คือ

3.3.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)

เราสามารถที่จะแบ่งชนิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตามค่าแรงดันที่ใช้งานออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

ก.ระบบแรงดันสูงกว่า 600 Volt

1. เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบตัดวงจรระบบอากาศ (Air Breaker)
2. เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบตัดวงจรระบบสูญญากาศ (Vacumm Breaker)
3. เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบตัดวงจรระบบน้ำมัน (Oil Breaker)
4. เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบตัดวงจรระบบใช้แก๊สเติม (Gas-filled Breaker)

โดยที่ทั้งสี่แบบนี้สามารถเลือกการทำงานเปิดวงจรทั้งแบบทำงานโดยตรงและแบบไม่ทำงานโดยตรงก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. ระบบแรงดันต่ำกว่า 600 Volt

1. เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดอากาศ (Air Circuit Breaker)

โดยส่วนมากแล้วจะใช้ป้องกันในระบบเมน คือเป็นเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ เพื่อป้องกันสายเมนทั้งหมด

2.เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดโมลเคส (MCCB)

โดยส่วนมากแล้วจะใช้ในระบบการป้องกันของสายป้อนหรือวงจรย่อย หรือระบบเมนใหญ่แต่กระแสต้องไม่สูงมากนัก

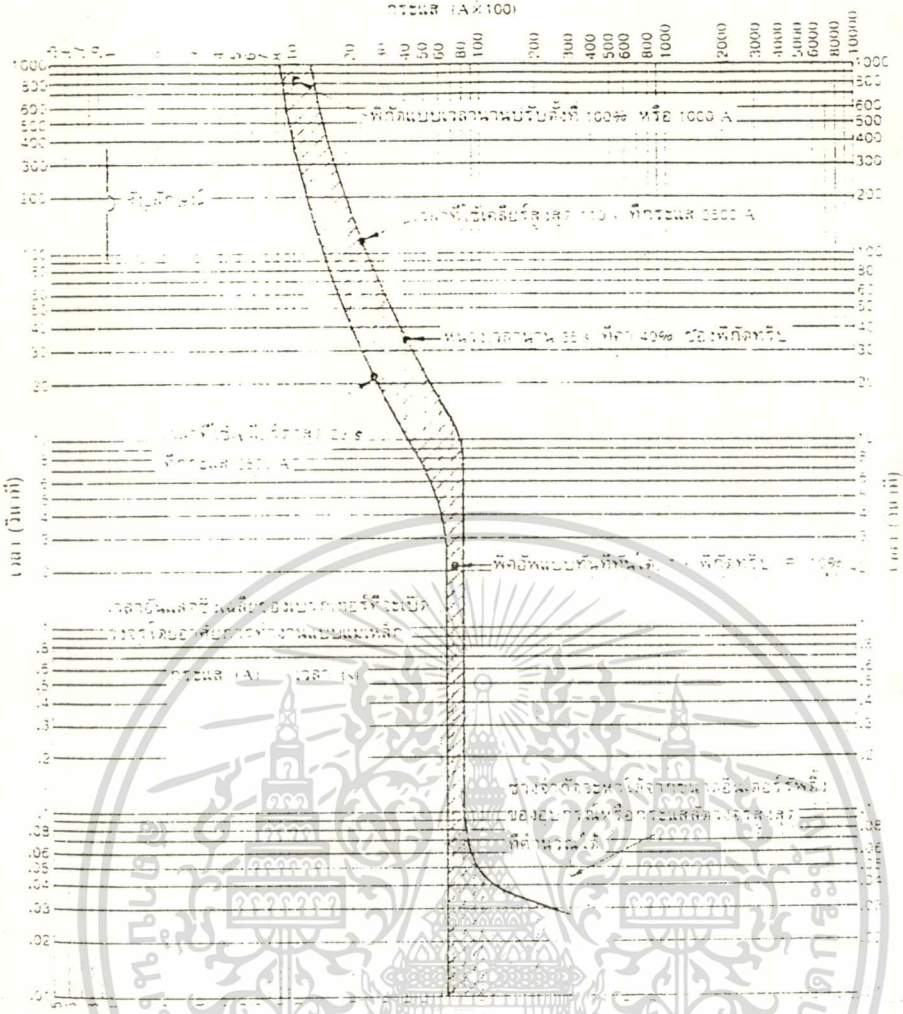
ในการแสดงคุณสมบัติประจำตัวของเซอร์กิตเบรกเกอร์สามารถแสดงได้ด้วยเส้นกราฟในสเกล log-log ซึ่งในแนวแกน y จะหมายถึง แกนของเวลา(หน่วยเป็นวินาที) ส่วนแนวแกน x จะหมายถึง ค่ากระแส (มีหน่วยเป็นแอมแปร์) ดังรูปที่ 3.2 รูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4

ในระบบแรงดันต่ำ(LowVoltage) นั้นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่พบนั้นจะใช้วิธีการเปิดวงจรแบบอิเล็กโตรแมกคานิคอลทริป (Electro -mechanical trip) และ โซลิดสเตททริป (Solid state trip) ซึ่งในทั้งสองแบบนี้จะมีค่าที่ใช้พิจารณาในกราฟคุณสมบัติของเซอร์กิตเบรคเกอร์ คือ การหน่วงเวลาแบบเวลานาน (long time delay) , การหน่วงเวลาแบบสั้น (short time delay) , การทำงานแบบทันทีทันใด (instantaneous pickup) , อันแลตชิ่งไทม์และพิกัดการทนต่อกระแสลัดวงจร

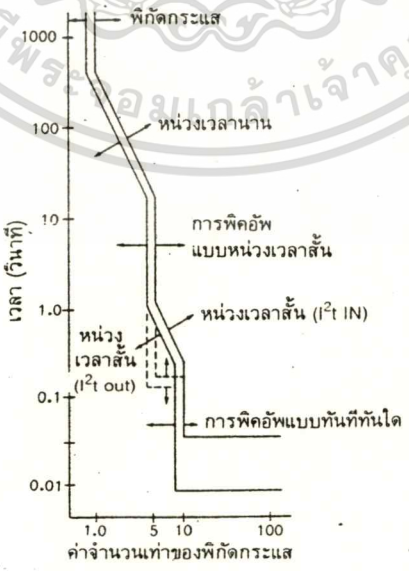
ในแบบ อิเล็กโตรแมกคานิคอลทริป นั้นลักษณะกราฟคุณสมบัติแสดงในรูปที่ 3.2โดยในบางรุ่นสามารถปรับค่าได้ เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบอากาศที่ปรับค่าได้ จะมีพิกัดการปรับตั้งแต่ 80% - 160% เพื่อสะดวกในการนำมาโคออร์ดิเนท

ส่วนในแบบโซลิดสเตททริปนั้น สามารถปรับช่วงการทำงานได้อย่างละเอียดมากกว่า ซึ่งสามารถทำให้ได้ค่าที่แน่นอนตามต้องการมากยิ่งขึ้นดังรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

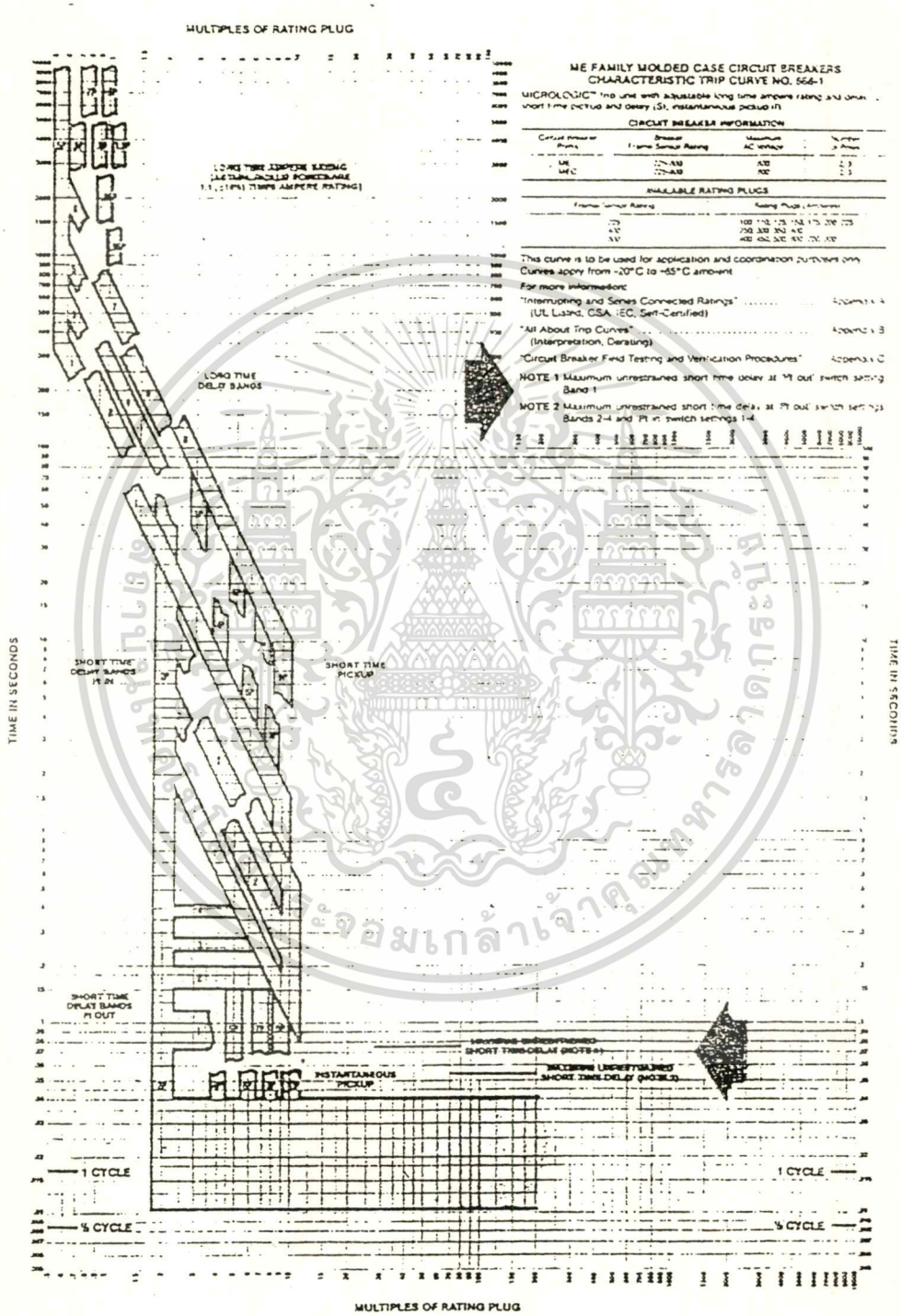


รูปที่ 3.2 แสดงกราฟกระแส-เวลาของเซอร์กิตเบรคเกอร์



รูปที่ 3.3 แสดงคุณลักษณะการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบโซลิดสเตททริป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะการทำงานของเซอร์กิจเบรกเกอร์แบบโซลิดสเตททริป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2. ฟิวส์ (Fuse)

เราสามารถอธิบายหลักการทำงานของฟิวส์อย่างง่าย ๆ คือ เมื่อมีกระแสผิดปกติหรือกระแสที่เกิดจากโหลดเกินไหลผ่านตัวฟิวส์จะทำให้ใส้ฟิวส์ซึ่งอยู่ภายในหลอมละลายออกทำให้เปิดวงจรได้โดยอัตโนมัติ ฟิวส์ที่นิยมใช้มีอยู่ 2 ชนิดคือ

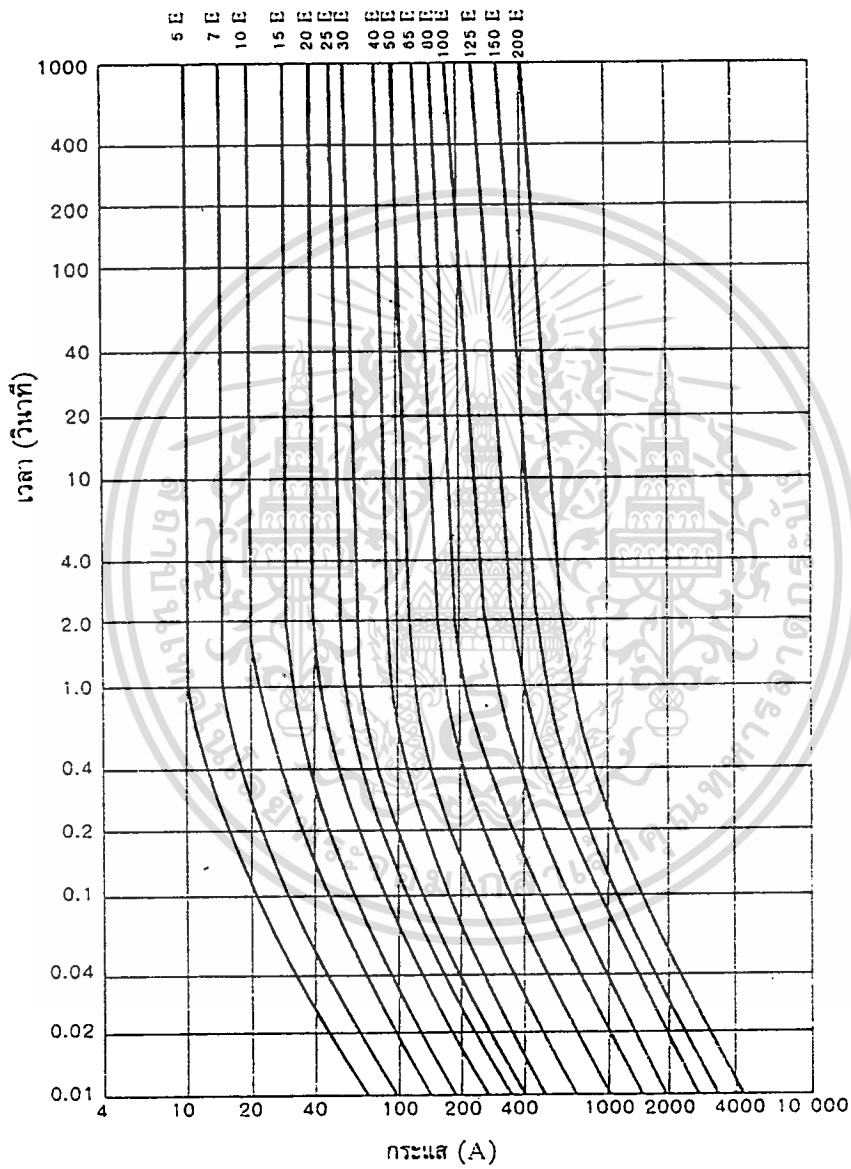
1. ฟิวส์ชนิดจำกัดกระแส
2. ฟิวส์ชนิดไม่จำกัดกระแส

โดยฟิวส์ทั้งสองชนิดจะมีพิกัดการทนต่อกระแสลัดวงจรในช่วงของการเปิดวงจรในรูปของกระแสแบบสมมาตร และก็จะสามารถทนต่อกระแสลัดวงจรแบบไม่สมมาตรได้ถึง 1.6 เท่าของกระแสแบบสมมาตร

ฟิวส์ชนิดจำกัดกระแสจะมีค่าขนาดการทนต่อกระแสลัดวงจรขณะเปิดวงจรสูงมากและสามารถทำการเปิดวงจรในกรณีที่มีการผิดปกติอย่างรุนแรงได้รวดเร็วประมาณ 1/2 ไซเคิล เท่านั้น ส่วนชนิดไม่จำกัดกระแสจะทำงานที่ 1-2 ไซเคิล

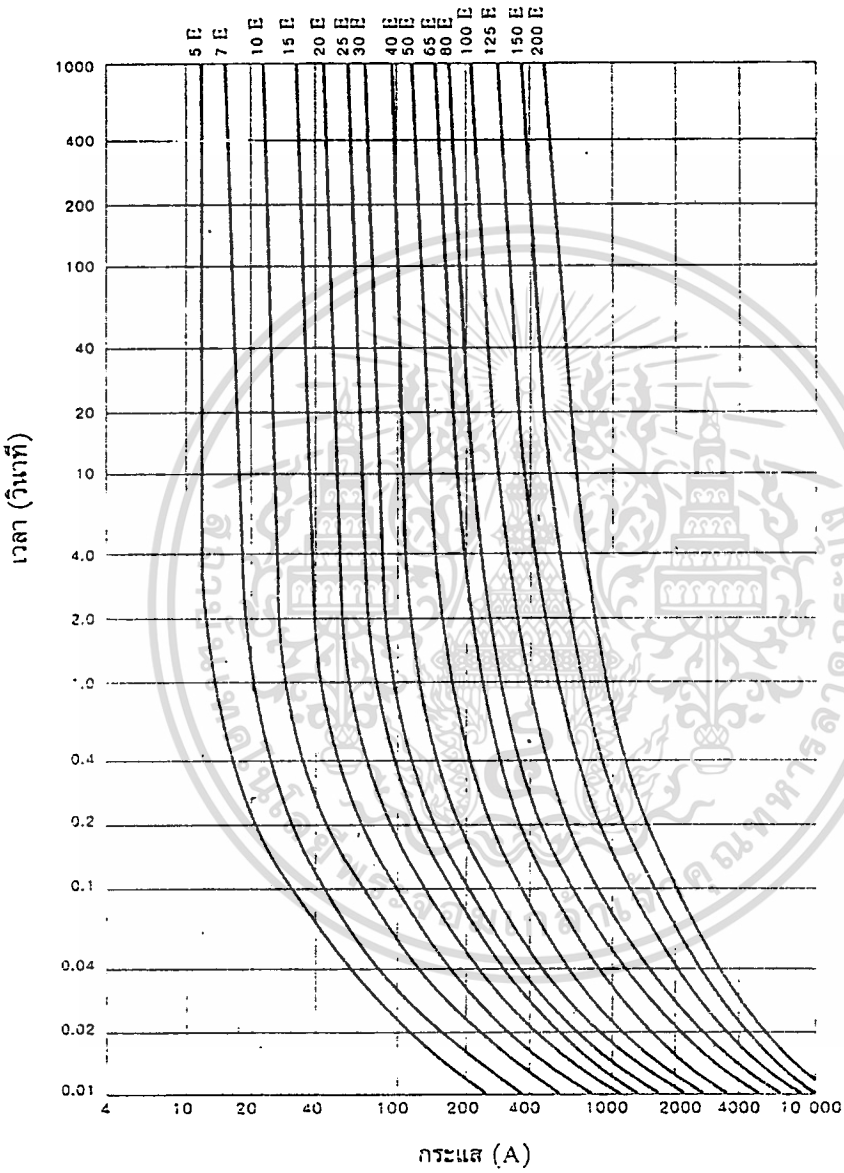
ค่าที่จำเป็นต้องรู้สำหรับคุณสมบัติของฟิวส์ตัวนั้น คือค่าเวลาการหลอมเหลวต่ำสุดของฟิวส์ (minimum melting) และค่าเวลาในการเปิดวงจรสูงสุด (maximum clearing) ดังรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงเวลาในการหลอมต่ำสำหรับฟิวส์แรงสูงชนิดจำกัดกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงคุณสมบัติของเวลาในการเปิดวงจรสูงสุดสำหรับฟิวส์แรงสูงชนิดจำกัดกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 สรุปหลักของการออกแบบอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อให้มีการทำงานร่วมกันในระบบไฟฟ้า

สรุปหลักการของการออกแบบอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าเพื่อให้มีการทำงานร่วมกันในระบบไฟฟ้า จะต้องประกอบไปด้วย

1.วันไลน์ไดอะแกรม โดยจะระบุถึงชนิดและพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันทุกชนิดที่ใช้ในระบบไฟฟ้า ,ข้อมูลโหลด ,ข้อมูลหม้อแปลง ,ข้อมูลสายตัวนำ ,ค่ากระแสลัดวงจรที่เกิด

2.อุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าชนิดพิเศษ โดยแต่ละวงจรอาจจะมีการหาอุปกรณ์ป้องกันพิเศษขึ้นแต่ต้องเป็นไปตามกฎข้อบังคับของ NEC , ANSI เช่น ในกรณีหม้อแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าขนาดกลางอุปกรณ์ป้องกันต้องมีการพิจารณาถึง จุด ANSI , จุดแมกเนติคอินรัชของหม้อแปลงไฟฟ้าหรือการพิจารณากระแสสตาร์ทของมอเตอร์

3.การเลือกสเกล การเลือกสเกลนี้ เป็นประโยชน์ในการเขียนคุณสมบัติประจำตัวลงในแผ่นสเกล การเลือกสเกลจะทำเพื่อสามารถให้กราฟของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ระดับแรงดันต่างกันสามารถนำมา plot ลงในกราฟสเกล log-log อันเดียวกันได้

<u>วิธีการเลือกสเกล</u>

ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่ในระบบไฟฟ้าที่เราพิจารณานั้นมีระดับแรงดันไฟฟ้าต่างกันดังนี้ คือ 480 V , 4.16 kV , 34.4 kV สามารถทำสเกลต่างดังนี้

ถ้าให้ที่ระดับแรงดัน 4.16 kV มีตัวคูณมีค่าเท่ากับ 10 สำหรับกระแสที่ระดับแรงดันที่ระดับแรงดัน 480 V จะมีค่าของตัวคูณกระแสเท่ากับ (4160/480) * 10 มีค่าเท่ากับ 87 ที่ระดับแรงดัน 34.4 kV จะมีค่าของตัวคูณกระแสเท่ากับ (4160/34400) * 10 มีค่าเท่ากับ 1.21

ตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดให้ที่แรงดัน4.16kVมีค่าตัวคูณเท่ากับ10ถ้านำอุปกรณ์ป้องกันที่ระดับแรงดัน 480 V มาทำการโคออร์ดิเนท โดยที่มีค่าของกระแส AT และกระลัดวงจรเท่ากับ 100A และ 11,000A แบบสมมาตร ดังนั้นต้องมีการเปลี่ยนสเกลดังนี้คือ ค่ากระแส AT จะมีค่าเป็น 100/87 เท่ากับ 1.15 A และกระแสลัดวงจรจะมีค่าเป็น 11,000/87 เท่ากับ 126.4 A ดังนั้นกราฟคุณสมบัติของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่จะพล็อตลงในสเกล log - log จะมีค่า AT ที่ 1.15 และค่ากระแสลัดวงจรที่ 126.4 A

4.จุดคงที่ โดยในกระดาษสเกลซึ่งเป็น log-log นั้นอุปกรณ์ป้องกันจะมีคุณสมบัติประจำตัวที่แสดงด้วยจุดคงที่ได้ เช่น กระแสแมกเนติกอินรัช ,กระแส ANSI

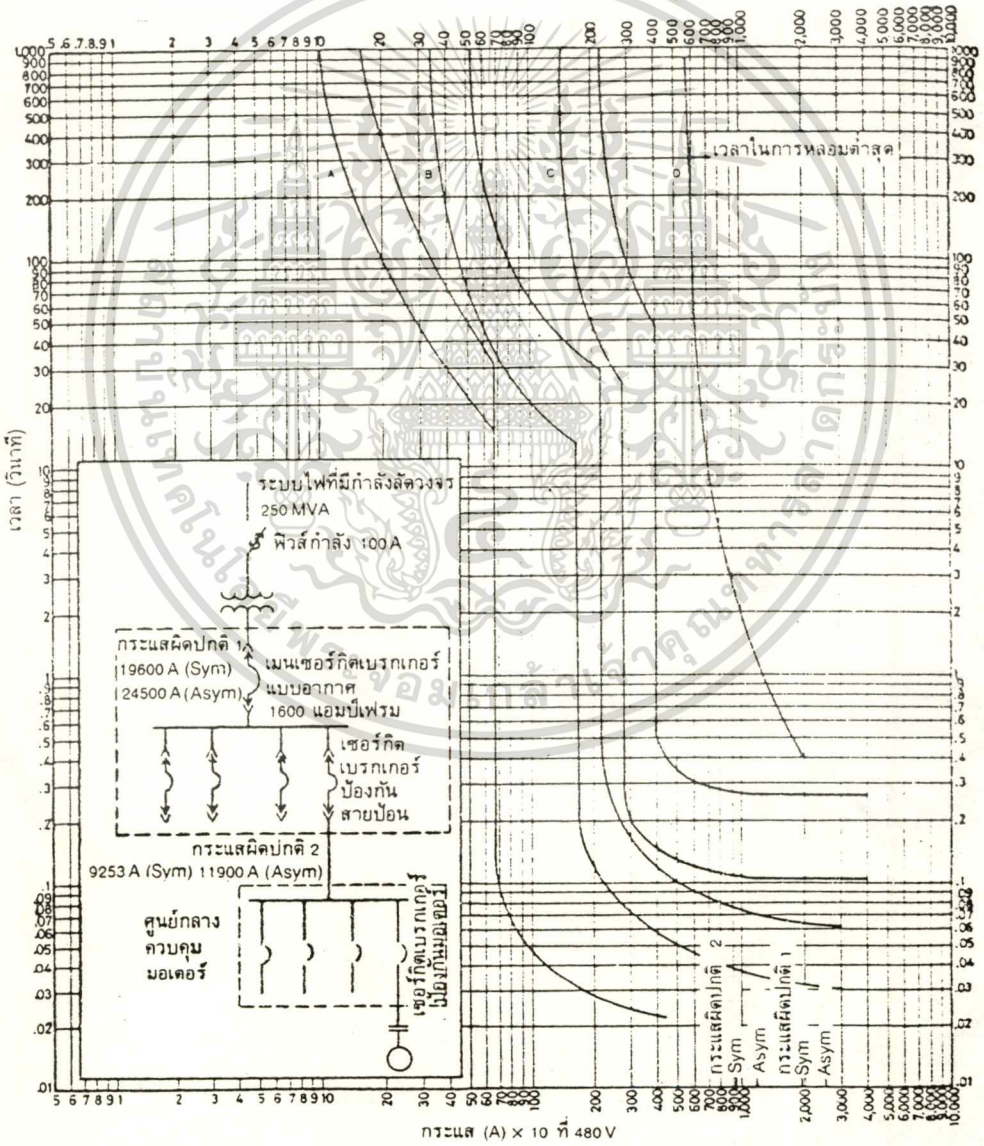
5.การเริ่มทำการออกแบบ โดยทั่วไปจะเริ่มต้นจากอุปกรณ์ป้องกันของวงจรย่อยไล่ไปเรื่อยๆจนถึงแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

6.คุณสมบัติของอุปกรณ์ป้องกันที่ระดับแรงดันไฟฟ้าต่างกัน จะต้องหาความสัมพันธ์ของระดับแรงดันไฟฟ้าเหล่านั้น เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า 75 kVA 480V / 220V กระแสทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของระดับแรงดันไฟฟ้าเหล่านั้น เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า 75 KVA 480V / 220V กระแสทางด้านแรงต่ำ 225 A ทางด้านแรงสูงจะมีค่าเท่ากับ 225*240/480 = 112.5 A (คิด กำลังไฟฟ้าเท่ากันทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ)

7.เลือกพิกัดและการปรับของอุปกรณ์ป้องกัน โดยปกติจะเลือกอุปกรณ์ป้องกันที่ค่าต่ำก่อนโดยยอมให้กระแสปกติไหลผ่านแต่จะเปิดวงจรเมื่อมีกระแสผิดปกติไหลผ่านกราฟของอุปกรณ์ป้องกันที่นำมานั้นต้องไม่ทับกัน(overlap)จึงจะใช้ได้และอุปกรณ์ป้องกันต้องทำงานตามลำดับจากวงจรย่อยๆไปสู่วงจรหลักจึงจะเป็นการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สมบูรณ์ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงการทำงานร่วมกันของฟิวส์และเซอร์กิจเบรกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการศึกษาทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้า

1. ข้อมูลโหลด
   - ค่าโวลต์แอมป์ (VA) ของโหลด
   - กระแสโหลดสูงสุดไหลในวงจร
   - กระแสในกรณีที่ขณะสับโหลดทันที
2. หม้อแปลง
   - พิกัดกิโลโวลต์แอมป์ (kVA)
   - แรงดันปฐมภูมิ , ทุติยภูมิ
   - การต่อวงจร เช่น เดลต้า-เดลต้า (Delta-Delta) , (เดลต้า-สตาร์) Delta-Star
   - เปอร์ยูนิตอิมพีแดนซ์ (%Z)
   - กระแสแมกนีติกอินรัช
   - ชนิดของหม้อแปลงว่าเป็นแบบแห้ง , น้ำมันท่วมเต็ม
   - ขนาดของการจ่ายโหลดเกิน
3. มอเตอร์
   - แรงม้า (Horse Power : HP)
   - กระแสพิกัด (Rate Current : A)
   - กระแสล็อกโรเตอร์
   - ค่าเซอร์วิสแฟกเตอร์
   - เวลาในการสตาร์ท
   - ชนิดของการสตาร์ท DOL , Star-Delta
4. กระแสลัดวงจร
   - จะพิจารณาถึงกระแสสูงสุดที่เกิดขึ้นในกรณีลัดวงจรแบบ 3 เฟสสมมาตร
   - ควรจะทราบค่ากระแสลัดวงจรนี้ทุกตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน
5. คุณสมบัติของกระแส-เวลาของอุปกรณ์

   เพื่อนำไปเขียนลงในกระดาษกราฟชนิด log - log ได้
6. เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)
   - ชนิด
   - บริษัทผู้ผลิต
   - ขนาดของ เฟรม
   - พิกัดกระแสหรือพิกัดกระแสของอุปกรณ์ตรวจสอบ (Amp Trip : AT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าการปรับแต่งแบบหน่วงเวลานาน เวลาช้า แบบทันทีทันใด
- ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่ทนได้ (Interupting Capacity : IC)
- ค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage : Volt)

7. รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน
   - ชนิดของรีเลย์
   - บริษัทผู้ผลิต
   - ค่าการปรับกระแสเปิดวงจร
   - ค่าหน่วงเวลา
   - ค่าการปรับแต่งให้ทำงานทันทีทันใด
   - อัตราส่วนของ CT ที่ใช้กับรีเลย์
8. ฟิวส์
   - ชนิดของฟิวส์
   - บริษัทผู้ผลิต
   - พิกัดกระแสต่อเนื่อง
   - ค่าแรงดันไฟฟ้า
   - ค่ากระแสลัดวงจร
9. สายเคเบิลหรือสายตัวนำ
   - จำนวนตัวนำ / เฟส
   - เดินในท่อหรือเดินลอยในอากาศ
   - ชนิดของตัวนำ
   - ชนิดของฉนวน
   - ขนาดกระแสสูงสุด
   - การทนได้ต่อกระแสลัดวงจร
10. บัสเวย์
    - ขนาดกระแสสูงสุด
11. แผงย่อย สวิตซ์บอร์ด
    - ขนาดกระแสสูงสุด
12. บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ จะให้ข้อมูลต่าง ๆ
    - พิกัดการปรับแต่งอุปกรณ์ป้องกัน
    - ชนิดการปรับแต่งพิเศษในอุปกรณ์บางตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 หลักการของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าในการโคออดิเนท

3.6.1 การพิจารณาเซอร์กิตเบรกเกอร์(Circuit Breaker) (CB)

1.ในการพิจารณาเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่จะนำมาโคออดิเนทนั้น ต้องรู้ข้อมูลของเซอร์กิตเบรกเกอร์ดังนี้

- ขนาดกระแสตัดวงจร (Amp Trip : AT)
- ขนาดกระแสเฟรม (Amp Frame : AF)
- กระแสลัดวงจร (Interupting Current : IC)
- แรงดันไฟฟ้า (Voltage : V)

2. CB ที่ตู้จ่ายไฟหลัก (Main Distribution Board) นั้น อินเตอร์รัพติ้งคาร์ปาซิตี้ (IC) ของอุปกรณ์ป้องกันทุกตัวต้องมีค่าเท่ากัน

3. CB ที่เป็นไทร์เบรกเกอร์จะมีขนาดพิกัดเหมือนกับเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์

4. กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่อยู่ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงนั้น การทนได้ของกระแสพิกัดปกติของเซอร์กิตเบรกเกอร์นั้นยังไม่เพียงพอยังต้องสามารถทนกระแสพิกัดทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงด้วย

5. เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ป้องกันหม้อแปลง ตามมาตราฐาน NEC 450-3 (เอกสารอ้างอิง[16])

5.1 หม้อแปลงขนาด > 600 V

5.1.1 ใส่ด้านปฐมภูมิอย่างเดียว(NEC 450-(a)(2)a)ขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีขนาดพิกัดไม่มากกว่า 300 % ของกระแสพิกัดด้านปฐมภูมิในกรณีที่ขนาดเซอร์กิตเบรคเกอร์สูงกว่ามาตราฐานให้ใช้ มาตราฐานที่ถัดขึ้นไป

5.1.2 ใส่ทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ (NEC 450-3(a)(1))

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าตัวคูณของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่จะทำการโคออดิเนท

%Z	ปฐมภูมิ > 600 V	ทุติยภูมิ > 600 V	ทุติยภูมิ < 600 V
Z < 6 %	600%	300%	125%
6 < Z < 10 %	400%	250%	125%

- ด้านปฐมภูมิถ้าค่าที่คำนวณได้สูงกว่า มาตราฐานที่มีให้ใช้มาตราฐานที่ต่ำลงมา
- ด้านทุติยภูมิถ้าค่าที่คำนวณได้สูงกว่า มาตราฐานที่มีให้ใช้มาตราฐานที่ต่ำลงมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 หม้อแปลงขนาด < 600 V

5.2.1 ใส่เซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านปฐมภูมิอย่างเดียว (NEC 450-3(b)(1))

กระแสที่พิกัด >= 9A ค่าการปรับต้องไม่น้อยกว่า 1.25 เท่าของ กระแสที่พิกัด ถ้าขนาดสูงกว่าขนาดมาตราฐานให้ใช้ขนาดสูงถัดขึ้นไป

2 <= กระแสที่พิกัด <9A ค่าการปรับต้องไม่น้อยกว่า1.67เท่าของกระแสที่พิกัด ถ้าขนาดสูงกว่าขนาดมาตราฐานให้ใช้ขนาดที่ต่ำลงมา

กระแสที่พิกัด < 2A ค่าการปรับต้องไม่น้อยกว่า 3 เท่าของ กระแสที่พิกัด ถ้าขนาดสูงกว่าขนาดมาตราฐานให้ใช้ขนาดที่ต่ำลงมา

5.2.2 ใส่เซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ (NEC 450-3(b)(2))

- ทางด้านปฐมภูมิ ค่าการปรับไม่มากกว่า 2.5 เท่าของพิกัดกระแส
- ทางด้านทุติยภูมิเหมือนกับการใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านปฐมภูมิอย่างเดียว

ยกเว้น กรณีด้านปฐมภูมิมีอุปกรณ์ป้องกันโหลดเกินด้วยจะใช้ค่าดังนี้

ตารางที่ 3.2 ค่าตัวคูณของเซอร์กิตเบรกเกอร์กรณีที่ทางด้านปฐมภูมิมีอุปกรณ์ป้องกันโหลดเกินด้วย

%Z	ปฐมภูมิ
%Z < 6%	ไม่มากกว่า 6 เท่า
6% < %Z < 10 %	ไม่มากกว่า 4 เท่า

6.เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่จะนำมาติดกรณีที่โหลดเป็นโหลดโดยรวมทั่วๆไป(เอกสารอ้างอิง [12])

เราจะเลือก $AT = I_{rated} * 1.25$

โดยที่ : I_{rated} = ค่ากระแสที่พิกัด

7. เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่จะนำมาใช้กับคาร์ปาซิเตอร์ (Cap Bank) (เอกสารอ้างอิง[6])

- ที่แรงดัน 400 V ค่าตัวคูณมีค่าเท่ากับ 1.95
- ที่แรงดัน 415 V ค่าตัวคูณมีค่าเท่ากับ 1.88

โดยจะนำค่าตัวคูณนี้ไปคูณกับค่ากิโลวาร์ (kVAR)

8. เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ป้องกันสายและสายเคเบิลตามมาตราฐาน NEC จะมีขนาด 1.25 เท่าของพิกัดกระแสของตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีขนาดประมาณ 1.25 เท่าของพิกัดกระแส

3.6.2 การพิจารณา ฟิวส์(Fuse)

1. ในการพิจารณาฟิวส์ที่จะนำมาโคออดิเนท นั้นต้องรู้ข้อมูลฟิวส์ดังนี้(เอกสารอ้างอิง[6])
   - ขนาดกระแสของฟิวส์
   - กระแสลัดวงจร
   - แรงดันไฟฟ้า

2.ฟิวส์ที่ใช้ป้องกันหม้อแปลง ตามมาตราฐาน NEC 450-3 (เอกสารอ้างอิง[16])

2.1 หม้อแปลงขนาด > 600 V

2.1.1 ใส่ฟิวส์ทางด้านปฐมภูมิอย่างเดียว (NEC 450-3(a)(2)a)

ขนาดของฟิวส์ต้องไม่มากกว่า 250 %

ของกระแสที่พิกัดถ้าขนาดที่คำนวณได้เกินกว่ามาตราฐานที่มีให้ใช้ขนาดถัดขึ้นไป

ใส่ฟิวส์ทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ (NEC 450-3(a)(1))

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าตัวคูณของฟิวส์ที่ใช้ในการโคออดิเนท

%Z	ปฐมภูมิ > 600 V	ทุติยภูมิ > 600 V	ทุติยภูมิ < 600 V
Z < 6 %	300%	250%	125%
6 < Z < 10 %	300%	225%	125%

- ด้านปฐมภูมิถ้าค่าที่คำนวณได้สูงกว่า มาตราฐานที่มีให้ใช้มาตราฐานที่ต่ำลงมา
- ด้านทุติยภูมิถ้าค่าที่คำนวณได้สูงกว่า มาตราฐานที่มีให้ใช้มาตราฐานที่ต่ำลงมา

2.2.หม้อแปลงขนาด < 600 V

2.2.1. ใส่ฟิวส์ด้านปฐมภูมิอย่างเดียว (NEC 450-3(b)(1))

- **กระแสที่พิกัด >= 9A** ค่าการปรับต้องไม่น้อยกว่า 1.25 เท่าของ กระแสที่พิกัด ถ้าขนาดสูงกว่าขนาดมาตราฐานให้ใช้ขนาดสูงถัดขึ้นไป
- **2 <= กระแสที่พิกัด < 9A** ค่าการปรับต้องไม่น้อยกว่า 1.67 เท่าของ กระแสที่พิกัด ถ้าขนาดสูงกว่าขนาดมาตราฐานให้ใช้ขนาดที่ต่ำลงมา

เอกสารนี้ ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **กระแสที่พิกัด < 2A** ค่าการปรับต้องไม่น้อยกว่า 3 เท่าของ กระแสที่พิกัดถ้าขนาดสูงกว่าขนาดมาตราฐานให้ใช้ขนาดที่ต่ำลงมา

2.2.2. ใส่ฟิวส์ด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ (NEC 450-3(b)(2))

- ทางด้านปฐมภูมิ ค่าการปรับไม่มากกว่า 2.5 เท่าของพิกัดกระแส
- ทางด้านทุติยภูมิ เหมือนกับการใช้ เซอร์กิตเบรกเกอร์ ด้านปฐมภูมิอย่างเดียว

<u>ยกเว้น</u> กรณีที่ทางด้านปฐมภูมิมีอุปกรณ์ป้องกันโหลดเกินด้วยจะใช้ค่าดังนี้

ตารางที่ 3.4 ค่าตัวคูณของเซอร์กิตเบรกเกอร์กรณีที่ทางด้านปฐมภูมิมีอุปกรณ์ป้องกันโหลดเกินติดมาด้วย

%Z	ปฐมภูมิ
%Z < 6%	ไม่มากกว่า 6 เท่า
6% < %Z < 10 %	ไม่มากกว่า 4 เท่า

หมายเหตุ

ในกรณีที่ต้องการใส่อุปกรณ์ป้องกัน ทั้งด้านปฐมภูมิ และทุติยภูมินั้น ถ้าจะใส่เซอร์กิตเบรคเกอร์รวมด้านปฐมภูมิและใส่ฟิวส์ด้านทุติยภูมิหรือสลับกันระหว่างฟิวส์กับเซอร์กิตเบรคเกอร์ก็สามารถทำได้ โดยดูข้อกำหนดค่าของตัวคูณในหัวข้อของเซอร์กิตเบรกเกอร์และฟิวส์ดังข้างต้น

3. ฟิวส์ที่ใช้ป้องกันสายและสายเคเบิล ตามมาตราฐาน IEEE std 242-1986 (เอกสารอ้างอิง[13]) จะมีขนาด 300-400% ของพิกัดกระแสของตัวนำ

4. ขนาดฟิวส์ที่จะมาป้องกัน Capacitor (เอกสารอ้างอิง[6])

- ที่แรงดัน 400 V จะมีค่าตัวคูณเท่ากับ 2.38
- ที่แรงดัน 415 V จะมีค่าตัวคูณเท่ากับ 2.30

โดยจะนำค่าตัวคูณนี้ไปคูณกับค่ากิโลวาร์ (kVAR)

3.6.3 การพิจารณา หม้อแปลง(Transformer)

1. การคำนวณหม้อแปลง

- กระแสพิกัดทางด้านปฐมภูมิ = $VA / \sqrt{3} * V_{pri}$
- กระแสพิกัดทางด้านทุติยภูมิ = $VA / \sqrt{3} * V_{sec}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การคำนวณอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลง

ในกรณีที่เป็นระดับแรงดันไฟฟ้ากลาง (Medium Voltage) เราจะพิจารณาค่าที่จุดอินรัช (Inrush Point) และจุดแอนซี (ANSI Point) ด้วย ส่วนในกรณีแรงดันไฟฟ้าต่ำ (Low Voltage) ไม่ต้องนำมาพิจารณา

2.1 หาจุดอินรัช

Inrush Point คือ

จุดที่เรานำมาพิจารณาในการหาขนาดของฟิวส์และเซอร์กิตเบรกเกอร์ให้กับหม้อแปลงโดยพิจารณาจากกระแสอินรัช (Inrush Current) ซึ่งเป็นกระแสที่เกิดขึ้นเนื่องจากการต่อหม้อแปลงเข้ากับระบบไฟฟ้าโดยรวดเร็ว

- กระแสแมกนีติกอินรัช = {กระแสพิกัดด้านที่เราจะใส่ อุปกรณ์ป้องกัน * ค่าคงที่(ใช้ค่า K = 12)}
- เวลาของจุดอินรัชพิจารณาที่ 0.1 วินาที

2.2 หาจุดแอนซี

ANSI Point คือ

จุดที่เรานำมาพิจารณาในการหาขนาดของฟิวส์และเซอร์กิตเบรกเกอร์ให้กับหม้อแปลงโดยพิจารณาจากกระแสแอนซี ที่ได้ปรับค่าแล้ว

- กระแสแอนซี = (กระแสพิกัดที่จะใส่ฟิวส์หรือเบรกเกอร์ * 100) / $Z_{p.u.}$
- กระแสแอนซี ที่ได้ปรับค่า = ค่าจากตาราง 3.7 * I_{ANSI}
- เวลาของจุดแอนซีพิจารณาที่ 0.4 วินาที

2.3 คำนวณหาค่าอุปกรณ์ป้องกันกระสูงสุดทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงตามมาตราฐาน NEC 450 –3 (เอกสารอ้างอิง[16])

2.4 ในการพิจารณากราฟคุณสมบัติของเซอร์กิตเบรกเกอร์ และฟิวส์ของหม้อแปลงระดับแรงดันไฟฟ้ากลางนั้น กราฟของอุปกรณ์ป้องกันต้องอยู่ระหว่างจุดแอนซีและจุดอินรัช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.4 การพิจารณา มอเตอร์(Motor)

1. การคำนวนอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์พิจารณาตามตารางที่ 3.6 ตามมาตราฐาน NEC ตารางที่ 430-152 (เอกสารอ้างอิง[13])

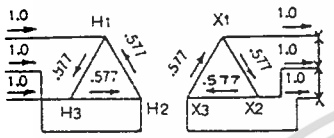
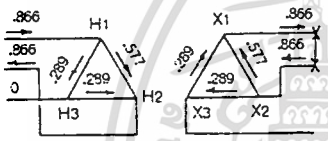
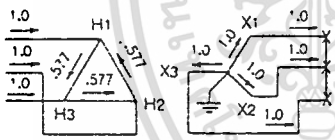
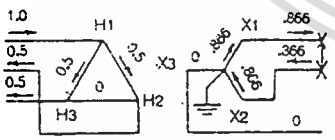
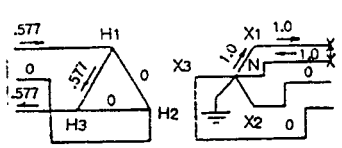
ขนาดอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ = กระแสพิกัด*ค่าตามตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 Maximum Rating or Setting of Motor Branch-Circuit , Short-Circuit , Ground-Fault Protective Device

Type of Motor	Percent of Full load current			
	Nontime Delay Fuse	Dual Element (Time Delay) Fuse	Instantaneous Trip Breaker	Inverse Time Breaker
Single Phase Motor	300	175	800	250
AC Polyphase motors other than Wound rotor Squirrel Cage Other than Design E	300	175	800	250
Design E	300	175	1100	250
Synchronous	300	175	800	250
Wound Rotor	150	150	800	150
Direct-Current (Constant Voltage)	150	150	250	150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 ผลของการเกิดผิดปกติที่เกิดขึ้นในลักษณะต่างๆซึ่งจะมีผลต่อการป้องกันหม้อแปลงและการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกัน

การต่อ		การเกิดผิดปกติ	ความต้องการในการที่จะปรับแต่งเพื่อที่จะให้บรรลุถึงการป้องกันหรือการทำงานร่วมกัน
ปฐมภูมิ	ทุติยภูมิ		
		3-ϕ	- จะไม่มีการปรับแต่งในคุณสมบัติประจำตัว (เวลากระแส) ของอุปกรณ์ป้องกันที่จะใช้ในการทำงานร่วมกัน - จะไม่มีการปรับแต่งกระแส ANSI withstand
		L - L	- จะไม่มีการปรับแต่งในคุณสมบัติประจำตัว (เวลากระแส) ของอุปกรณ์ป้องกันที่จะใช้ในการทำงานร่วมกัน - สำหรับอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรจะคูณกระแส ANSI withstand ด้วย 0.866
		3-ϕ	- จะไม่มีการปรับแต่งในคุณสมบัติประจำตัว (เวลากระแส) ของอุปกรณ์ป้องกันที่จะใช้ในการทำงานร่วมกัน - จะไม่มีการปรับแต่งกระแส ANSI withstand
		L - L	- คุณสมบัติประจำตัวของอุปกรณ์ที่ติดตั้งทางด้านปฐมภูมิจะถูกหักออกเป็นจำนวน 13.4 % ของกระแสมารจิน ดังนั้นกระแสจะถูกคูณด้วยค่า 0.866 และคุณสมบัติของกระแสที่ได้ใหม่จะถูกเขียนลงทางด้านซ้ายของอุปกรณ์ป้องกันทางด้านปฐมภูมิเดิมที่มีอยู่แล้ว - จะไม่มีการปรับแต่งในกระแส ANSI withstand
		L – N	- จะไม่มีการปรับแต่งในคุณสมบัติประจำตัว (เวลากระแส) ของอุปกรณ์ป้องกันที่จะใช้ในการทำงานร่วมกัน - สำหรับการป้องกันการลัดวงจร จะคูณกระแส ANSI withstand ด้วย 0.577

หมายเหตุ ค่ากระแสจะเป็นค่าเพอร์ยูนิตของกระแสที่เกิดในกรณีทรีเฟสฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 โฟลว์ชาร์ทแสดงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วิธีการออกแบบ การใช้งาน และผลการทดสอบโปรแกรม

4.1 โครงสร้างของโปรแกรม

การเขียนโปรแกรมการหาขนาดของกระแสลัดวงจร และการทำงานร่วมกันของเซอร์กิตเบรคเกอร์และฟิวส์นั้น จำเป็นต้องทราบข้อมูลหลักอยู่ 3 อย่างคือ

1. ข้อมูลของกระแสลัดวงจร (Short Circuit Data Base)
2. ข้อมูลของรีเลย์ป้องกัน (Protective Relay Data Base)
3. ข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกัน (Protective Equipment Data Base)

ดังนั้นในการออกแบบโครงสร้างของโปรแกรมจึงประกอบไปด้วยการออกแบบ 3 ส่วนหลัก ๆ คือ การออกแบบส่วนการหาขนาดกระแสลัดวงจร , การออกแบบส่วนการทำงานร่วมกัน และการออกแบบเครื่องมือนำเสนอรายงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.1

4.2 ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมหาขนาดกระแสลัดวงจรโดยการอ้างอิงมาตราฐานของ ANSI/IEEE Std 141-1986 (Short Circuit Current Calculation Procedure)

1. ออกแบบวาดซิงเกิลไลน์ของระบบไฟฟ้า (Single line diagram) ลงในโปรแกรม
2. โปรแกรมจะมีอุปกรณ์ไฟฟ้า (Power Component) ให้ผู้ออกแบบเลือกคือ
   - 2.1 ระบบไฟฟ้า (Utility System)
   - 2.2 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) สามารถมีหม้อแปลงเปลี่ยนระดับแรงดันได้ 1 ระดับเท่านั้น
   - 2.3 มอเตอร์ (Motor)
   - 2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)
   - 2.5 โหลดของระบบไฟฟ้า
   - 2.6 คาปาซิเตอร์ (Capacitor or Cap bank , kVAR)
   - 2.7 สายป้อน (Feeder)

   โดยทุก ๆ อุปกรณ์จะใช้สัญลักษณ์ตามมาตรฐานของ ANSI/IEEE (เอกสารภาคผนวก ข)
3. เมื่อทำการออกแบบวาดระบบไฟฟ้าแล้ว จะต้องป้อนค่าต่างๆของอุปกรณ์นั้นได้แก่ ระดับแรงดันไฟฟ้า , กำลังไฟฟ้าของระบบ (MVA) , ขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า (kVA) , เปอร์ยูนิตอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง (%Z) , ค่าซับทรานเซียลรีแอกแตนซ์ , ค่ารีแอกแตนซ์ต่ออิมพีแดนซ์(X/R)ของสาย,ชนิดสาย,ความยาวและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่หน้าตัดของสาย,ขนาดโหลด (kW) , ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของโหลด (pf.) , ขนาดของกำลังเครื่องจักรไฟฟ้า (kW)

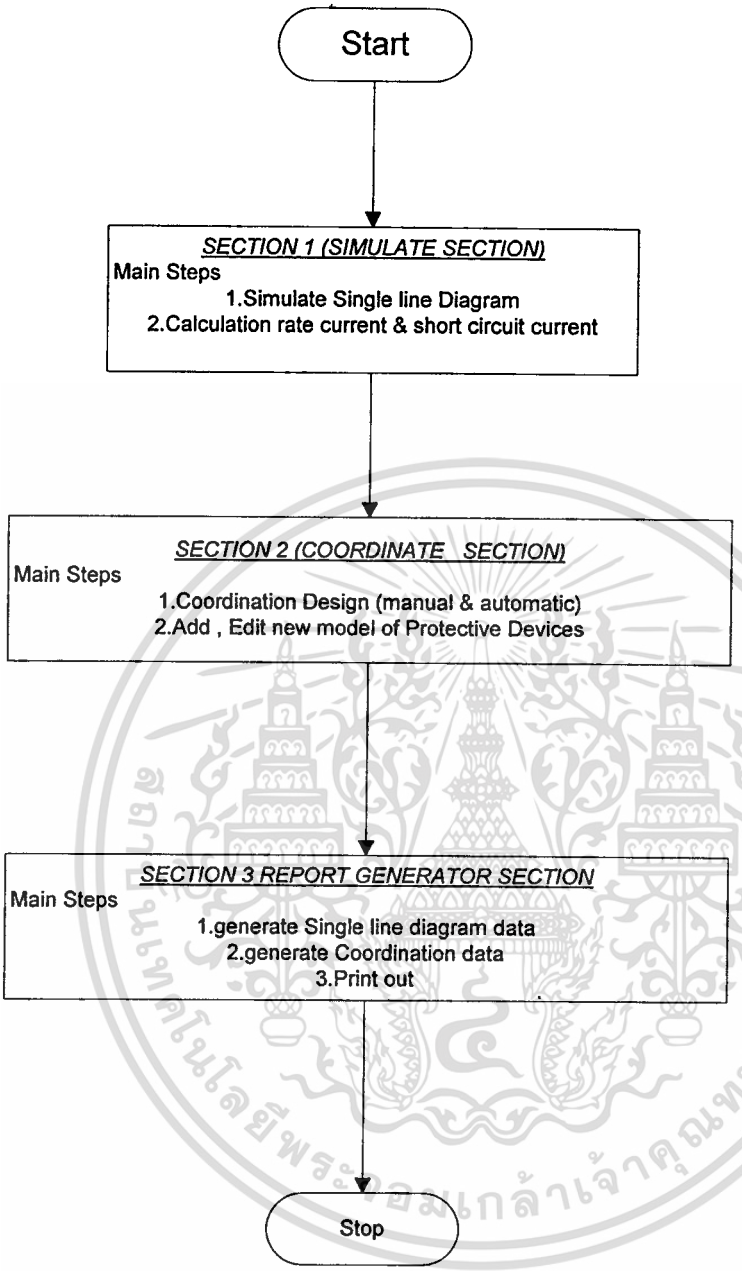
4. เมื่อรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ แล้ว โปรแกรมจะมีขั้นตอนในการคำนวณโดยแยกการพิจารณาดังนี้
   4.1 กำหนดเบสกำลัง , กำหนดเบสแรงดันไฟฟ้า , หาเบสอิมพีแดนซ์ , หาเบสกระแส
   4.2 หม้อแปลงไฟฟ้าหาค่ากระแสลัดวงจรจากสมการที่ 2.15 และ 2.16 หากไม่ทราบค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง (%Z) สามารถพิจารณาจากตารางที่ 2.11
   4.3 ค่าอิมพีแดนซ์และรีซีสแตนซ์ของสาย สามารถทราบค่าได้จากการเปิดตารางที่ 2.9 และ 2.10
   4.4 ค่าของซับทรานเซียลรีแอกแตนซ์ของเครื่องจักรไฟฟ้าต่าง ๆ สามารถทราบค่าได้จากตารางที่ 2.2 , 2.3 , 2.4 , 2.5 และ 2.8 และสามารถหาค่ารีแอกแตนซ์ต่อรีซีสแตนซ์ (X/R) จากรูปที่ 2.16 , 2.17 , 2.18
   4.5 โหลดของระบบไฟฟ้า สามารถหาค่ารีซีสแตนซ์และรีแอกแตนซ์จากสมการที่ 2.8 , 2.9 , 2.10 , 2.11

<u>หมายเหตุ</u> โดยที่ทุกขั้นตอนในข้อ 4 จะพิจารณาเป็นค่าเปอร์ยูนิตทั้งหมด

5. เมื่อทราบค่ารีแอกแตนซ์และรีซีสแตนซ์ของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ แล้วเปลี่ยนค่าเปอร์ยูนิตทั้งของรีแอกเตอร์และรีซีสเตอร์ให้อยู่ในเบสเดียวกัน
6. เมื่อทราบค่าเปอร์ยูนิตของรีซีสแตนซ์ และรีแอกแตนซ์ของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งระบบแล้ว ทำการยุบวงจรโดยจะแยกพิจารณารีซีสแตนซ์ และรีแอกแตนซ์ รีซีสแตนซ์ที่อยู่บนบรานซ เดียวกันจะขนานกัน และที่อยู่บนไลน์เดียวกันจะอนุกรม
7. หลังจากที่ยุบค่าของรีซีสแตนซ์ และรีแอกแตนซ์แล้ว จะหาขนาดของกระแสลัดวงจรบนบรานซนั้น ๆ จากสมการที่ 2.13 , 2.14
8. แสดงค่าของกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งต่างๆ

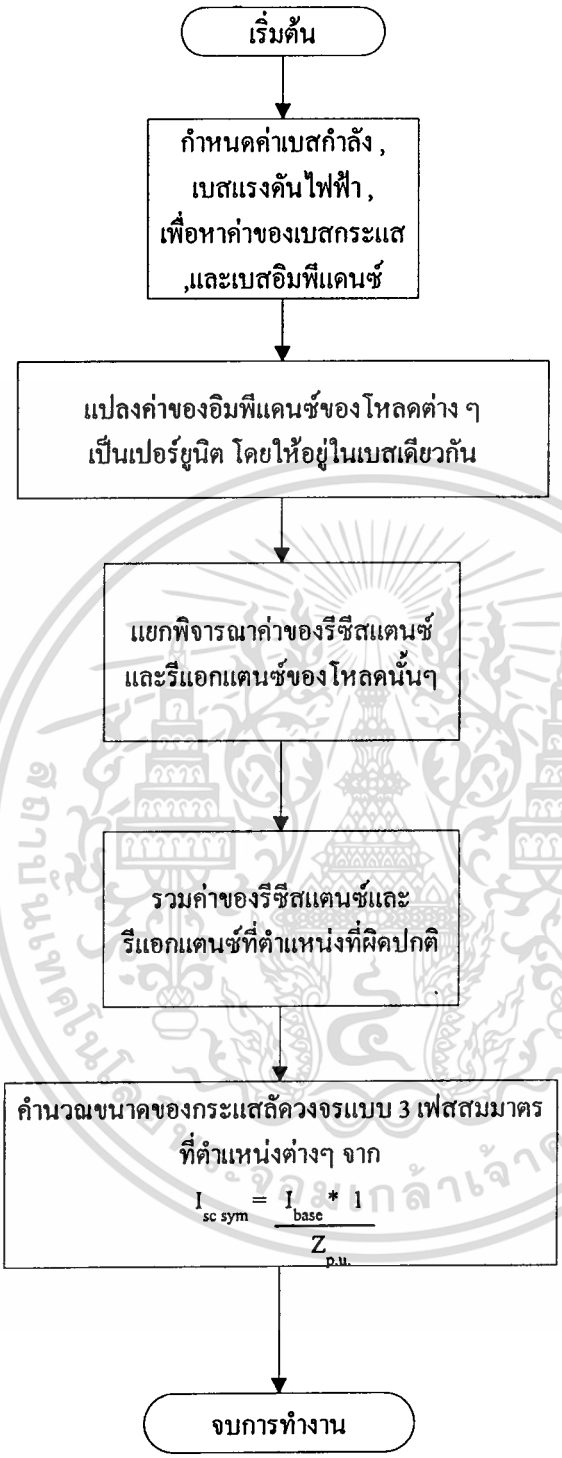
จากขั้นตอนทั้งหมดจะสามารถทราบค่ากระแสลัดวงจรตามจุดต่างๆของระบบไฟฟ้าที่ออกแบบได้ โดยจะแสดงเป็นโฟลว์ชาร์ทรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมการคำนวณหากระแสลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

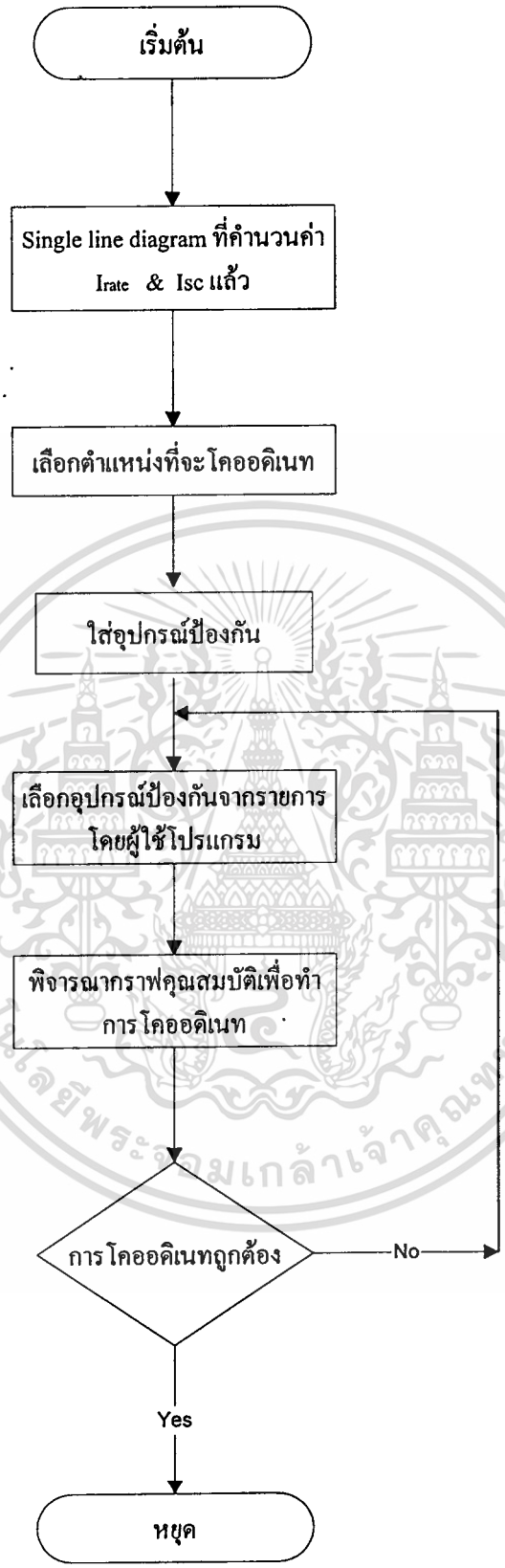
4.3 ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า (Coordination Procedure)

โปรแกรมการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า จะพิจารณา 2 กรณี คือ

1. การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันแบบผู้ออกแบบเลือกเอง (Manaul Coordinate)
   1.1 โปรแกรมจะคำนวณค่ากระแสที่พิกัด และกระแสลัดวงจร ณ ตำแหน่งต่างๆ
   1.2 ค่าของกระแสที่พิกัด และกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของโหลด จะถูกเก็บไว้ในรหัสของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า
   1.3 เมื่อมีการเลือกชนิดของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า โปรแกรมจะเข้าไปในฐานข้อมูล (Data base) ที่เก็บข้อมูลอุปกรณ์ป้องกันโดยเก็บเป็นไฟล์ (File of record) แยกตามบริษัทผู้ผลิต และ พิกัดแรงดันใช้งาน
   1.4 เมื่อดับเบิ้ลคลิกไปที่รุ่นของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า จะแสดงกราฟคุณลักษณะแต่ละชนิดของเซอร์กิตเบรคเกอร์ ในกราฟ ล็อก – ล็อก (log – log) ที่มีการพล็อตในลักษณะคู่ลำดับ X , Y ซึ่งจะเก็บเป็นอาร์เรย์ (Array)
   1.5 ผู้ออกแบบทำการเลือกรุ่นของอุปกรณ์ป้องกันตัวต่อไป เพื่อนำมาแสดงการทำงานร่วมกันเพื่อให้ได้กราฟคุณลักษณะการทำงานที่ไม่ทับซ้อนกัน จนได้ครบทุกตัว

2. การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ (Automatic Coordinate)
   2.1 โปรแกรมจะคำนวณค่ากระแสที่พิกัดและกระแสลัดวงจร ณ ตำแหน่งต่างๆ
   2.2 ค่าของกระแสที่พิกัด และกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของโหลดจะถูกเก็บไว้ในรหัสของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า
   2.3 โปรแกรมทำการเลือกค่าตัวคูณตามมาตรฐาน NEC 450-3 ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับเลือกอุปกรณ์ป้องกันที่เหมาะสมมาคูณกับกระแสที่พิกัด
   2.4 นำรายการอุปกรณ์ที่เลือกไว้มาแสดงในรายงานซึ่งสามารถบันทึกได้

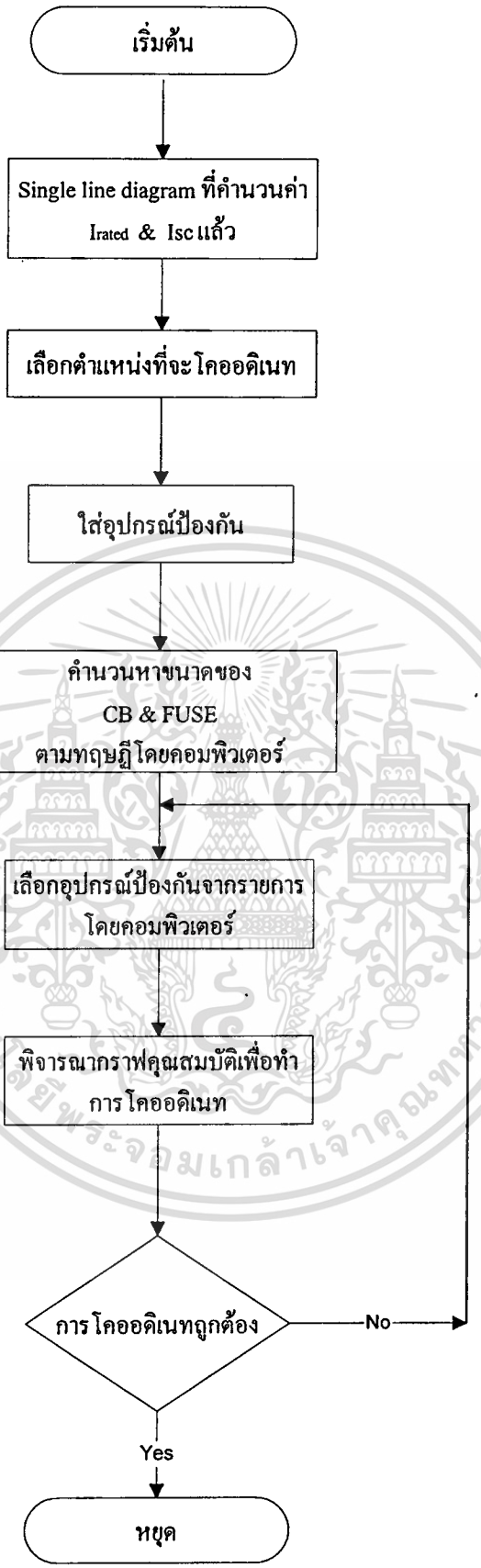
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3

โฟลว์ชาร์ทแสดงการใช้โปรแกรมการโคออดิเนทของอุปกรณ์ป้องกัน แบบผู้ใช้เลือกเอง (Manual Coordinate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



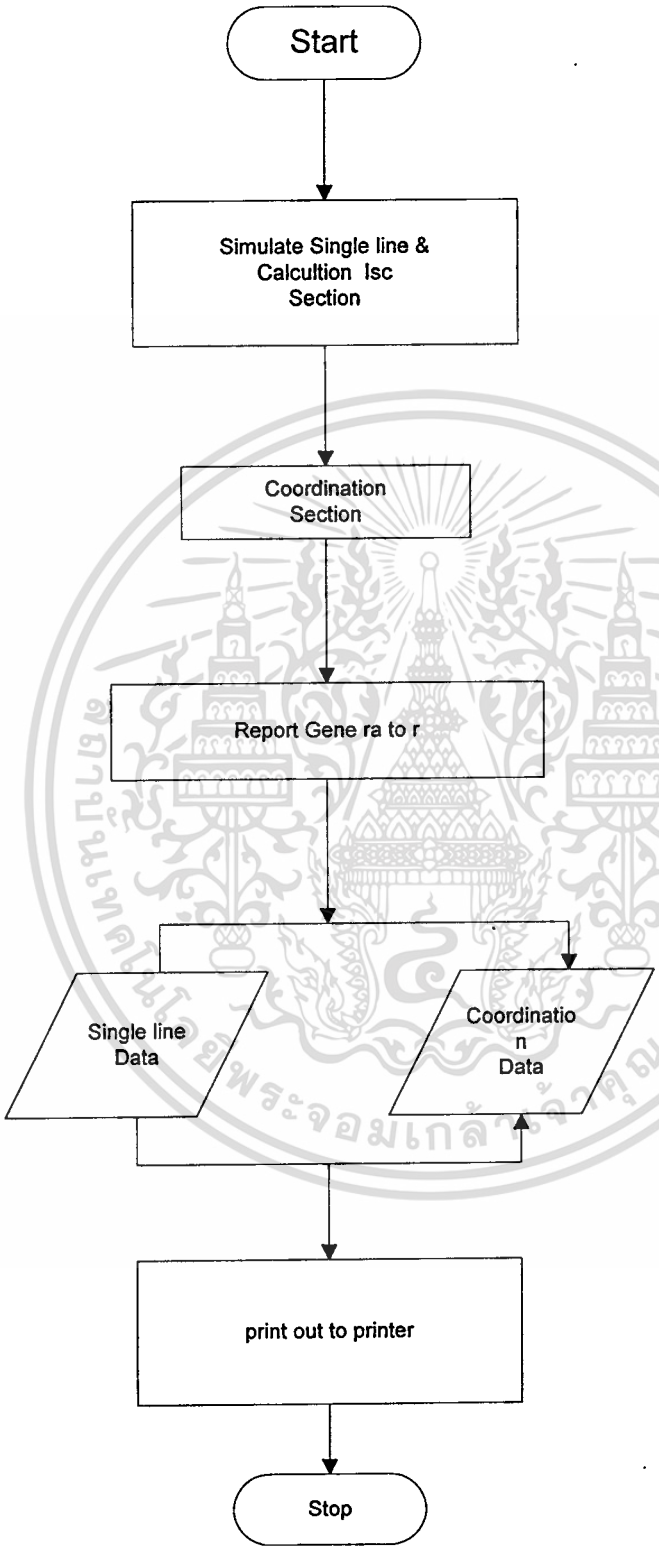
รูปที่ 4.4 โฟลว์ชาร์แสดงการใช้โปรแกรมในการโคออดิเนทของอุปกรณ์ป้องกันแบบอัตโนมัติ (Automatic Coordinate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ขั้นตอนการออกแบบเครื่องมือนำเสนอรายงาน (Report Generator Procedure)

หลังจากผู้ออกแบบได้ทำการจำลองสร้างซิงเกิลไลน์ไดอะแกรม , คำนวณผลกระแสลัดวงจร ตลอดจนทำการโคออดิเนชั่น อุปกรณ์ป้องกันเรียบร้อยแล้ว การนำเสนอผลลัพธ์ทั้งหมดต่อบุคคลอื่นให้ได้เข้าใจเป็นสิ่งที่จำเป็น ดังนั้นภายในโปรแกรมจึงได้สร้างเครื่องมือ (Tool) ที่เรียกว่า Report Generator ไว้ซึ่งมันมีหน้าที่สรุปผลและแสดงผลการออกแบบงานระบบไฟฟ้า โดยจะแสดงออกมา 2 ส่วนคือ ส่วนการจำลองสร้างซิงเกิลไลน์ (Simulate Single line Section) และ ส่วนของการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกัน (Coordination Section)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



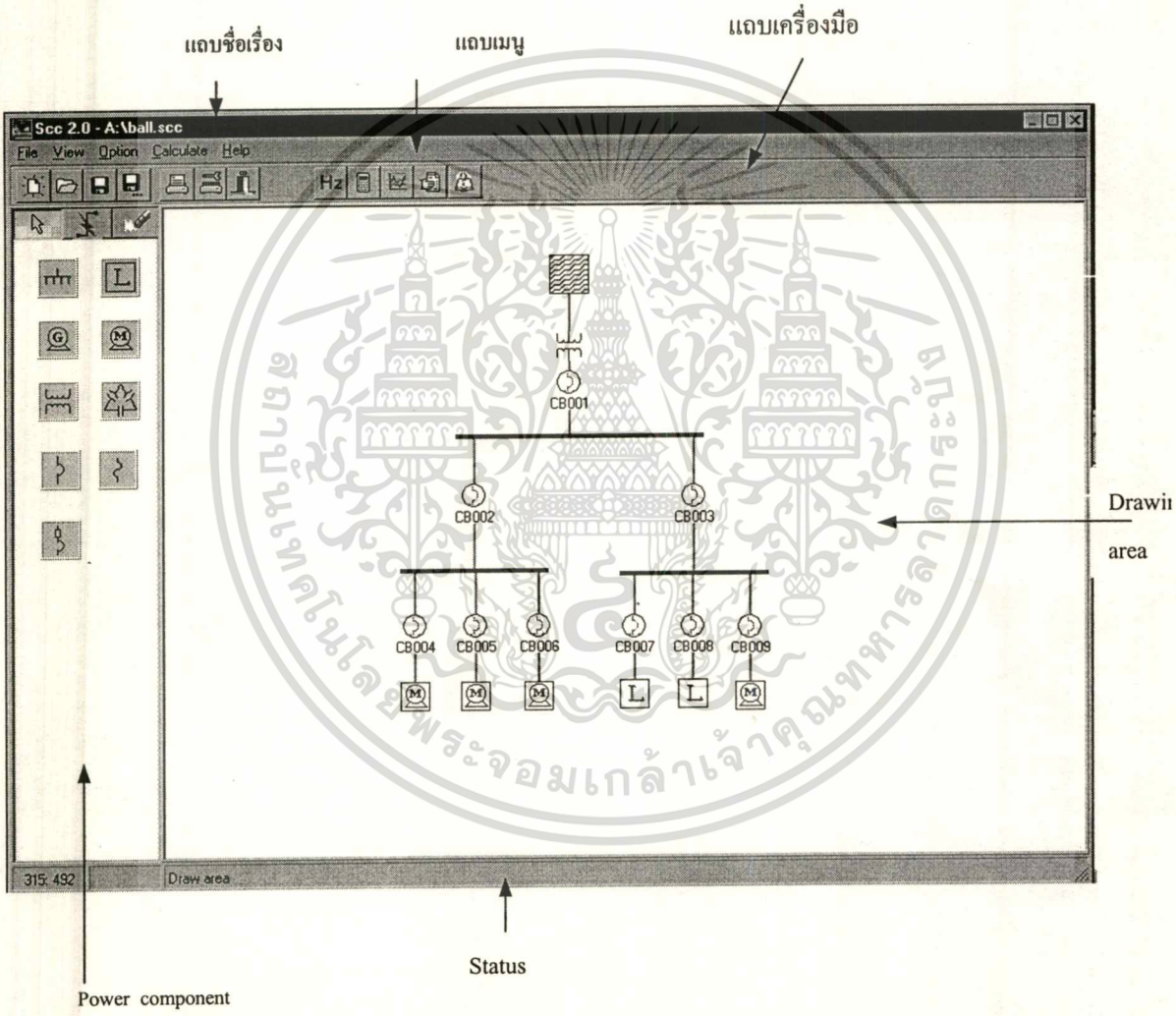
รูปที่ 4.5 โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการใช้งานในส่วนเครื่องมือนำเสนอรายงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 วิธีการใช้โปรแกรม (Program Usage)

ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

4.5.1 ส่วนในการวาดวงจร ซิงเกิลไลน์ไดอะแกรม และการคำนวณหากระแสลัดวงจร, กระแสที่พิกัดของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าต่าง ๆ (Single line Simulation Section) จะมีหน้าต่างแสดงการทำงานของโปรแกรมดังแสดงในรูปที่ 4.6 โดยหน้าต่างนี้ประกอบด้วย 4 ส่วนประกอบคือ



รูปที่ 4.6 แสดงหน้าจอของโปรแกรมการคำนวณหากระแสลัดวงจร

ก.แถบแสดงชุดคำสั่งที่ใช้งานในโปรแกรม (Tools Bar)

- แถบชื่อเรื่อง (title bar) คือ ส่วนที่แสดงชื่อของโปรแกรม และแสดงชื่อของไฟล์
- แถบเมนู (menu bar) คือ ส่วนคำสั่งทั้งหมด มี hot key ระบุต่อท้ายด้วย
- แถบเครื่องมือ (tool bar) คือ ส่วนแสดงคำสั่งที่ใช้ โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ช่วงแรก ประกอบไปด้วยคำสั่งที่ใช้โดยทั่วไป เช่น การสร้างข้อมูลใหม่ , การเปิดข้อมูลเก่า , การบันทึกข้อมูล เป็นต้น
- ช่วงที่สอง ประกอบไปด้วยคำสั่งเฉพาะที่ใช้ในโปรแกรมนี้ เช่น

คำสั่งการคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจร และกระแสพิกัดจากวงจรไฟฟ้า

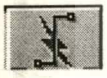
คำสั่งการเข้าสู่ส่วนของการโคออดิเนท (Coordination)

คำสั่งในการตรวจสาเหตุในการเกิดการคำนวณผิดพลาด

ใช้ในการบอกความถี่ของระบบไฟฟ้า

ข.ชุดเครื่องมือในการวาดวงจร (Tools for Drawing)

pointer เป็นเครื่องมือใช้ชี้เลือกอุปกรณ์ทางไฟฟ้า ใช้ลากอุปกรณ์ที่ต้องการมาวางในพื้นที่ที่ใช้วาด (draw area)


line เป็นสายป้อน (feeder) ที่ใช้เชื่อมระหว่างอุปกรณ์ กับอุปกรณ์

delete เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการลบส่วนที่ไม่ต้องการออก

ค.ชุดอุปกรณ์ทางไฟฟ้า (Power Component)

system เป็นระบบทางไฟฟ้าถูกกำหนดให้มีเพียง 1 ระบบต่อวงจร

transformer หม้อแปลง ถูกกำหนดให้มีเพียง 1 ตัว ต่อวงจร

motor เป็นทั้งอินดักชันและซิงโครนัส (Induction & Synchronous)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

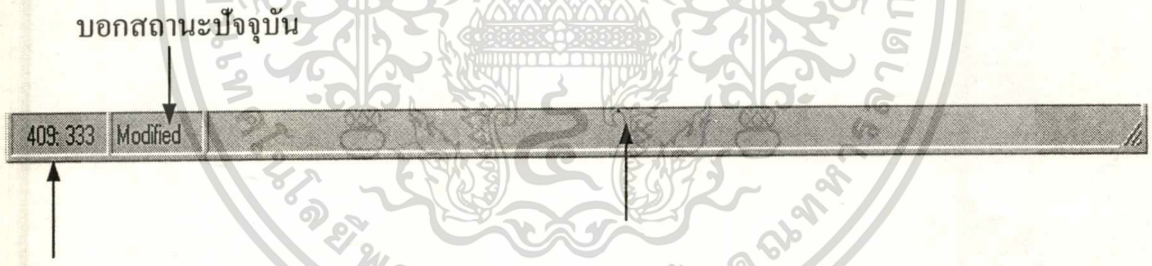
generator เป็นการออกแบบเพื่อจ่ายไฟสำรอง

capacitor เป็นตัวใช้ในการปรับปรุงค่า power factor

load อาทิเช่น อุปกรณ์แสงสว่าง เป็นต้น

bus bar เป็นบัสบาร์ในตู้ควบคุม

ง. แถบสถานะ (Status Bar)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1.1 วิธีการใช้ (How to use Program)

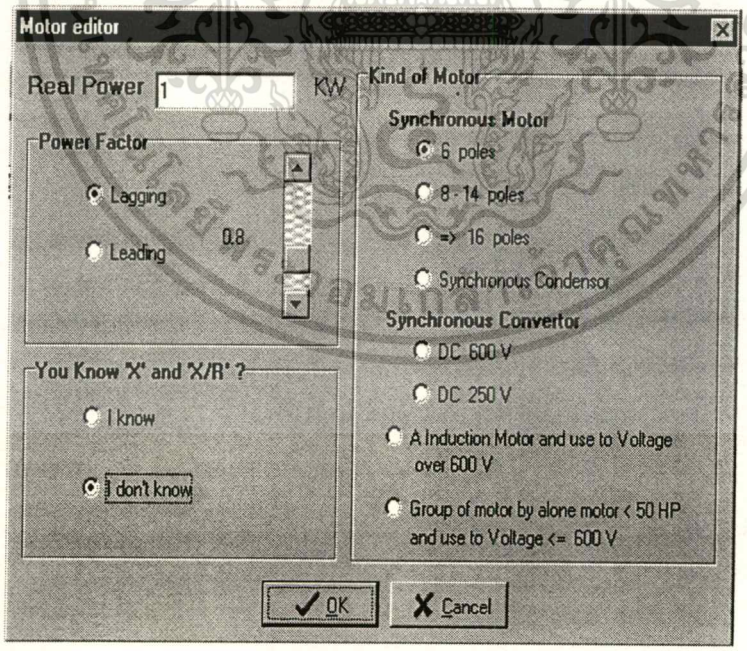
1. ใช้ ตัวชี้ (pointer) ในการลากอุปกรณ์ทางไฟฟ้ามาวางในพื้นที่ที่ใช้วาด (อาจดูจากที่ status bar ก็ได้)

2. ใช้ Line (ใช้ ตัวชี้ (pointer) ไปคลิ๊กที่รูปสาย)ในการเชื่อมอุปกรณ์ทางไฟฟ้าใช้แทนสายป้อน (feeder)ในกรณีที่ต้องการลบอุปกรณ์ทางไฟฟ้าบางตัวให้ใช้ delete (ใช้ ตัวชี้ (pointer) ไป คลิ๊ก ที่รูปยางลบ) อาจใช้วิธี คลิ๊กเมาส์ทางขวาแล้วเลือก Pointer , Line , Delete ได้

3.ป้อนข้อมูลของอุปกรณ์ทางไฟฟ้า โดยการใช้ตัวชี้ไปที่อุปกรณ์ทางไฟฟ้าแล้วดับเบิ้ลคลิ๊ก โดยข้อมูลในการป้อนจำแนกออกเป็น

3.1 ข้อมูลทั่วไปที่ต้องรู้ (I know) เช่น ค่าโวลต์แอมป์ (VA) , กิโลวัตต์ (kW) , เพาว์เวอร์แฟกเตอร์ (pf.) ของอุปกรณ์ทางไฟฟ้า , ค่าขนาดและความยาวของสายตัวนำ , ค่าแรงดันด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลง เป็นต้น

3.2 ข้อมูลจำเพาะที่อาจไม่ทราบก็ได้ (I don't know) เช่นค่าซับทรานเซียลรีแอกแตนซ์ (Subtransient Reactance) ของมอเตอร์ และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (motor & generator) , ค่ารีแอกแตนซ์ และ รีซีสแตนซ์ ของสายตัวนำ เป็นต้น



รูปที่ 4.7 แสดงการป้อนค่าของอุปกรณ์ทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ใช้ ตัวชี้ (pointer) ไปคลิ๊ก ที่รูปเครื่องคิดเลข (หรือ กด F9) เพื่อให้โปรแกรมคำนวณค่ากระแสลัดวงจร และกระแสที่พิกัดของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าใช้ ตัวชี้ (pointer) ชี้ที่สาย (feeder) จะแสดงค่าของกระแสลัดวงจร และกระแสที่พิกัดของอุปกรณ์ทางไฟฟ้า (แสดงที่ status bar ด้วย)

5.ในกรณีที่การคำนวณเกิดข้อผิดพลาดขึ้น โปรแกรมจะแสดงให้เห็นข้อผิดพลาดโดยดูข้อผิดพลาดได้ที่ Report Error (ใช้ ตัวชี้ (pointer) ไป คลิ๊ก ที่รูปรายงาน)

4.5.1.2 ข้อจำกัดในการใช้โปรแกรมในส่วนการวาดซิงเกิลไลน์ไดอะแกรม

(Single line Simulation Section Limit)

1.ไม่สามารถวาดหม้อแปลงได้มากกว่า 1 ตัว ในกรณีที่ต้องการลดแรงดันไฟฟ้าหม้อแปลงหรือมีหม้อแปลง 2 ตัวช่วยจ่ายโหลด เนื่องจากผู้เขียนโปรแกรมเห็นว่าในปัจจุบันการต่อหม้อแปลงลักษณะดังกล่าวไม่นิยมปฏิบัติ เพราะปัจจุบันระบบไฟฟ้ามีความน่าเชื่อถือมากขึ้น อีกทั้งระบบ ATS (Automatics Transfer Switch) มีความรวดเร็วในการทำงานและมีราคาถูกลงกว่าอดีตมาก

2. จากข้อ 1. ทำให้การคิดคำนวณหาค่าต่าง ๆ จะกระทำที่แรงดันระดับเดียวเท่านั้นเพราะมีหม้อแปลงเพียงตัวเดียวในระบบเท่านั้นและเป็นการออกแบบในระบบแรงต่ำ (น้อยกว่า 1 kV)

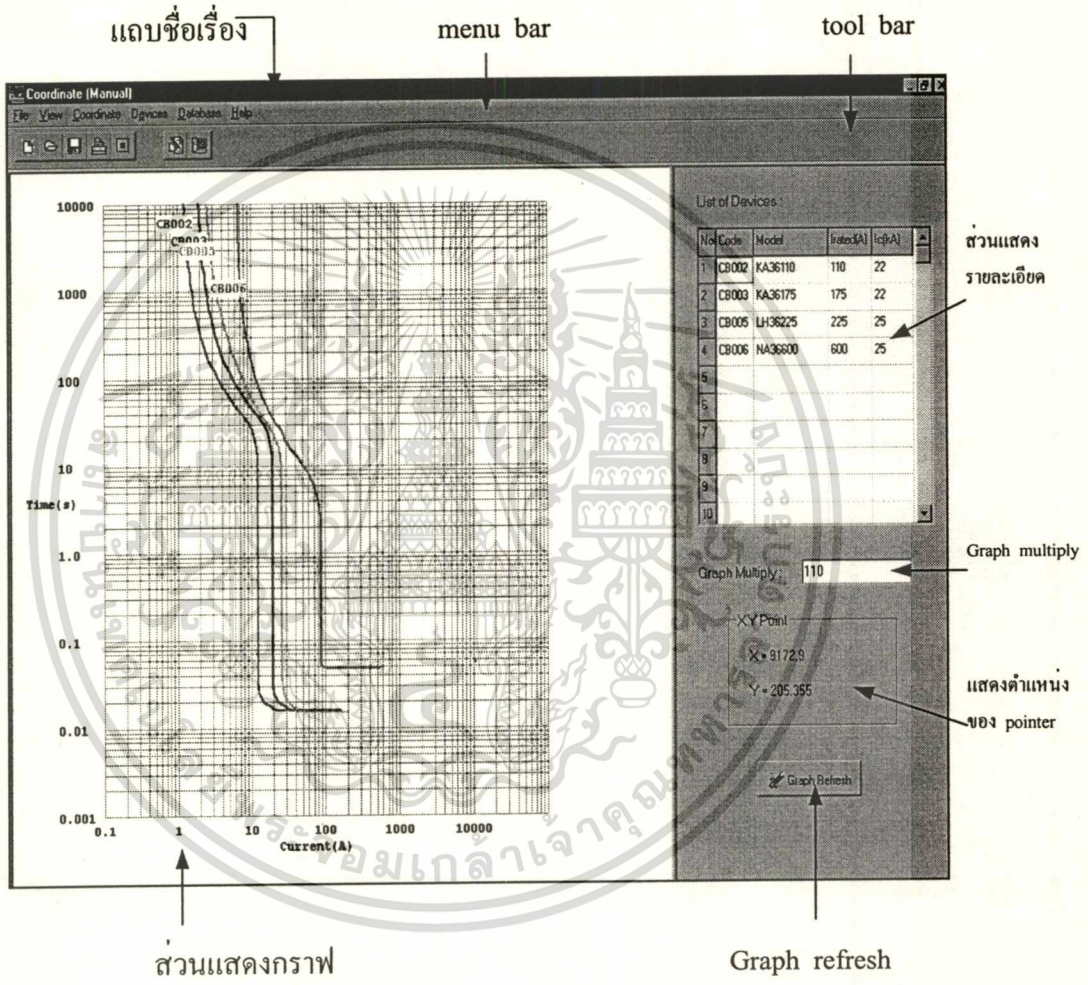
3.การลากสาย (feeder) ระหว่างบัสบาร์ ไม่สามารถลากมา 2 เส้นได้ โดยโปรแกรมจะแจ้งข้อผิดพลาด "Fault" ให้เห็น

4. ค่าแรงดันไฟฟ้าทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิจะใช้เป็นพิจารณาเป็นแรงดันต่อเฟสในขณะที่ค่าโวลต์แอมป์ (VA) , กิโลวัตต์ (kW) จะใช้เป็นลักษณะต่อ 3 เฟส

5.เนื่องจากค่าจำเพาะนั้นผู้ใช้ส่วนใหญ่ไม่สามารถระบุได้ ดังนั้นโปรแกรมจะประมาณค่าเหล่านั้นตามข้อมูลที่ผู้ใช้ทราบ โดยอ้างอิงจากมาตรฐาน ANSI/IEEE Std. 141-1986 ตามทฤษฎีที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นการคำนวณอาจมีการคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ส่วนของการแสดงการโคออดิเนท (Coordinate) อุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า หน้าต่างแสดงการทำงานของโปรแกรมดังแสดงในรูปที่ 4.8 โดยหน้าต่างนี้ประกอบด้วย 4 ส่วนประกอบคือ



รูปที่ 4.8 แสดงหน้าจอการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกัน

โดยหน้าต่างของการแสดงการโคออดิเนทนี้นั้นจะมีส่วนที่คล้ายคลึงกันบ้างกับส่วนแรก ซึ่ง มีส่วนที่แตกต่างกันดังนี้

-menu bar แสดงคำสั่งโดยรวม ซึ่งมีโปรแกรมนี้คือ

device ใช้ในการเรียกข้อมูลกราฟของ เซอร์กิจเบรกเกอร์, ฟิวส์

database ใช้ในการแก้ไขหรือเพิ่มข้อมูลของกราฟคุณลักษณะ (Characteristics)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **tool bar** แสดงคำสั่งที่ใช้บ่อย ๆ ที่แตกต่างออกไปได้แก่

  manual เป็นการทำการโคออดิเนท (Coordinate)โดยผู้ใช้เอง

  automatics เป็นการทำโคออดิเนท (Coordinate) แบบอัตโนมัติ

- **ส่วนแสดงกราฟ**

- **ส่วนแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า** เช่น รุ่น (Model) , รหัส(Code) , AT, อินเทอร์รัพติ้ง คาปาซิตี้ (Interrupting Capacity , I_c)

- **ส่วนแสดงตำแหน่งพิกัดของตัวชี้** (pointer)

- **Graph refresh** เป็นการเคลียร์ข้อมูลและเส้นกราฟในส่วนการแสดงกราฟทั้งหมด

- **Graph multiply** บอกอัตราส่วนการคูณของกราฟ

4.5.2.1 วิธีการใช้ (How to use program)

1.คลิ๊กที่รูปโคออดิเนท(Coordinate)จากหน้าต่างการคำนวณเข้าสู่การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า

2.ในกรณีทำเป็นแบบผู้ใช้เลือกเอง (Manual Coordinate) นั้นจะเป็นการเลือกเซอร์กิตเบรคเกอร์หรือฟิวส์มาใช้เองจากนั้นคลิ๊กไปที่อุปกรณ์ (device)ให้เลือกว่าจะใช้ เซอร์กิตเบรคเกอร์หรือ ฟิวส์ มาใช้

2.1ใส่ค่าแรงดันไฟฟ้า(Voltage)แล้วใส่ชื่อcode เป็นการใส่ชื่อของเซอร์กิจเบรกเกอร์ , ฟิวส์ ในการแสดงกราฟนั่นเอง

2.2 คลิ๊ก ที่ **Show list** จะแสดงชื่อบริษัทที่มีอยู่ในฐานข้อมูล (Database) จากนั้นคลิ๊ก ที่ชื่อ บริษัท จะปรากฏชื่อรุ่น (model) ของ เซอร์กิจเบรกเกอร์หรือ ฟิวส์

2.3 คลิ๊ก ที่ชื่อรุ่นของเซอร์กิตเบรคเกอร์หรือ ฟิวส์ จะปรากฏค่า AT / AF และค่าอินเทอร์รัพติ้งคาร์ปาซิตี้ (InterruptingCapacity , I_c) ให้พิจารณาว่าตรงกับการคำนวณในส่วนแรก รวมทั้งความต้องการของผู้ใช้ด้วยหรือไม่

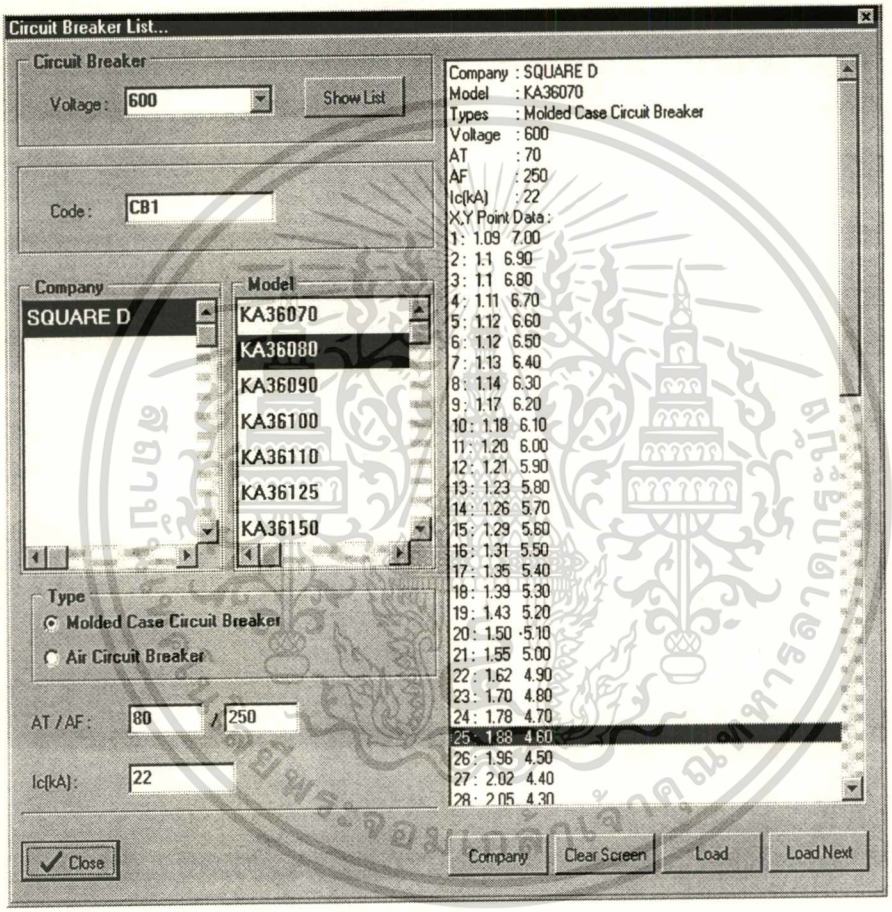
2.4 ดับเบิ้ลคลิ๊กที่ชื่อรุ่นของ เซอร์กิตเบรคเกอร์ , ฟิวส์จะปรากฏกราฟในส่วนการแสดงกราฟ

2.5ในกรณีต้องการดูรายละเอียดของอุปกรณ์แต่ละตัว ให้คลิ๊กที่โหลดในส่วนแสดงรายงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6ในกรณีต้องการจะแก้ไข หรือเพิ่มเติมข้อมูลของกราฟของ เซอร์กิจเบรกเกอร์, ฟิวส์ทำได้โดยคลิ๊กที่ฐานข้อมูล (Database) จะปรากฏให้เลือก ในกรณีต้องการดูรายละเอียดจากรายงาน (report) ให้ คลิ๊กที่ โหลด ในส่วนแสดงรายงาน

2.7 ในกรณีของ ฟิวส์ ต้องใส่ค่าตัวคูณของกราฟของ ฟิวส์ ในช่อง multiply



รูปที่ 4.9 แสดงการเลือกชนิด และ รุ่นของอุปกรณ์ป้องกัน

3.ในกรณีทำเป็นแบบอัตโนมัติ (Automatic Coordinate)

3.1 ข้อมูลการลัดวงจรในแต่ละตำแหน่งที่คำนวณได้ในส่วนของ Single line Section จะถูกส่งถ่ายเก็บไว้ในข้อมูลของเซอร์กิตเบรคเกอร์แต่ละตัว

3.2 ผู้ใช้เลือกเมนู Coordinate จากหน้าจอภาพแล้วเลือก Automatic โปรแกรมจะทำการจัดหาเลือกขนาดเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่เหมาะสมที่ตรงกับข้อมูลการลัดวงจรที่มีอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ในกรณีต้องการจะแก้ไข หรือเพิ่มเติมข้อมูลของกราฟของ เซอร์กิจเบรกเกอร์, ฟิวส์ ทำได้โดยคลิ๊กที่ฐานข้อมูล (database) จะแสดงตัวเลือก เซอร์กิจเบรกเกอร์หรือ ฟิวส์

4.1 ในกรณีเพิ่มข้อมูล Add

1.ให้ป้อนข้อมูลทั้งหมดของ เซอร์กิจเบรกเกอร์, ฟิวส์ เช่น ค่า voltage , ชื่อรุ่น , ขนาดของ AT / AF , ลักษณะของ เซอร์กิจเบรกเกอร์, ฟิวส์

2.ป้อนค่าพิกัดค่า characteristics ของ เซอร์กิจเบรกเกอร์, ฟิวส์ โดยการป้อนค่า X,Y แล้วกด Next เพื่อเติมค่าต่อไป

3.ในกรณีที่ลักษณะกราฟมีค่าคุณลักษณะ (characteristics) คล้ายคลึงกันสามารถใช้ปุ่ม " Get X, Y " โดยใส่ค่าชื่อรุ่นของอุปกรณ์ที่ต้องการอ้างอิงลงในช่อง รุ่น (model)

4.2 ในกรณีแก้ไข Edit

จะแก้ไขค่าเฉพาะอย่าง ทำลักษณะเดียวกันกับกรณีของ Add เช่นเดียวกัน

4.5.2.2 ข้อจำกัดในการใช้งานโปรแกรมในส่วนการโคออดิเนชั่น (Coordination Section Limit)

1.ในการเลือกให้โปรแกรมทำการโคออดิเนตให้ (Automatic Coordinate) โปรแกรมจะเลือกทำการโคออดิเนตเฉพาะเซอร์กิตเบรคเกอร์เท่านั้น และจะต้องเป็นผลิตภัณฑ์บริษัทเดียวกัน

2. ชนิด และจำนวนของอุปกรณ์ป้องกันที่เป็นฐานข้อมูลของโปรแกรมประกอบไปด้วยข้อมูลของเซอร์กิตเบรคเกอร์และฟิวส์ของ 3 บริษัทคือ Square D , Fuji และ Merlin Gerin และส่วนมากจะเป็นเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบโมลเคสและมี แอร์เซอร์กิตเบรคเกอร์เพียง 2-3 ตัว

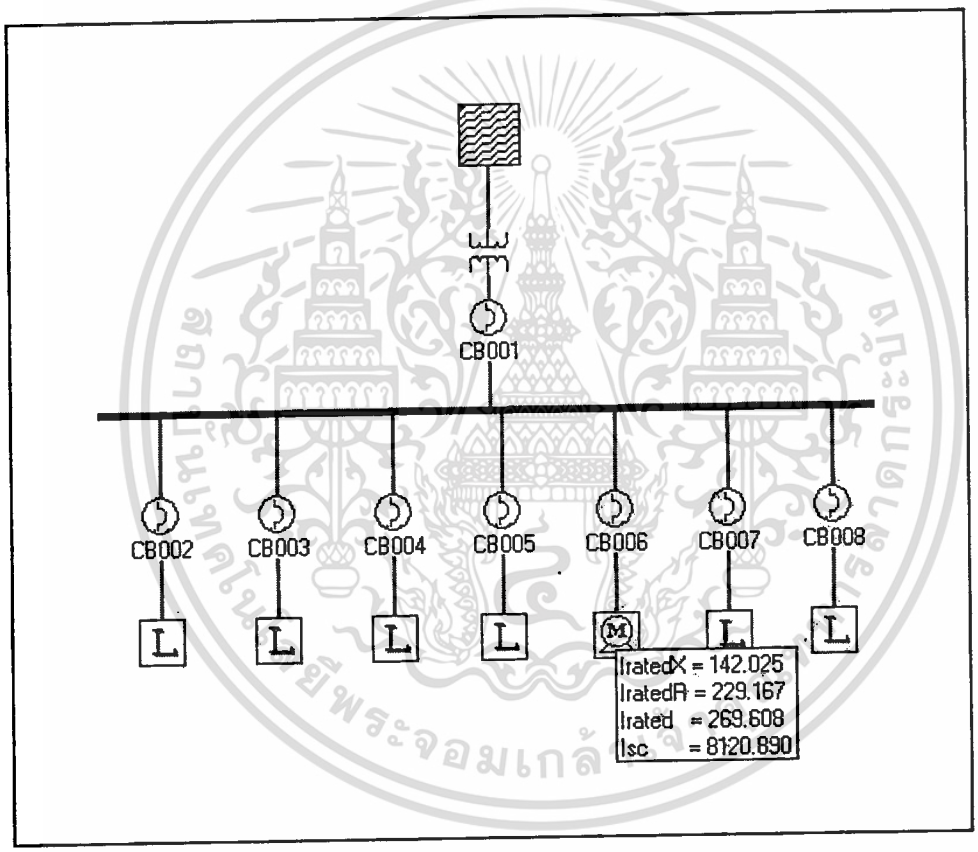
4.5.3 ส่วนในการนำเสนอรายงานการออกแบบ (Report Generator Section)

หลังจากผู้ออกแบบได้ทำการออกแบบระบบครบสมบูรณ์ทั้งในส่วน Simulate Single line Section และ ในส่วน Coordinate Section แล้ว การนำเสนอรายงานทำได้โดยเลือกเมนู print โปรแกรมจะให้ผู้ออกแบบป้อนข้อมูลรายละเอียดในการออกแบบ ชื่องาน แล้วทำการพิมพ์ผลการออกแบบออกมาใน 2 ลักษณะดังรูปที่ 4.10 และ รูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL SC&CO TEST REPORT

SINGLE LINE SECTION



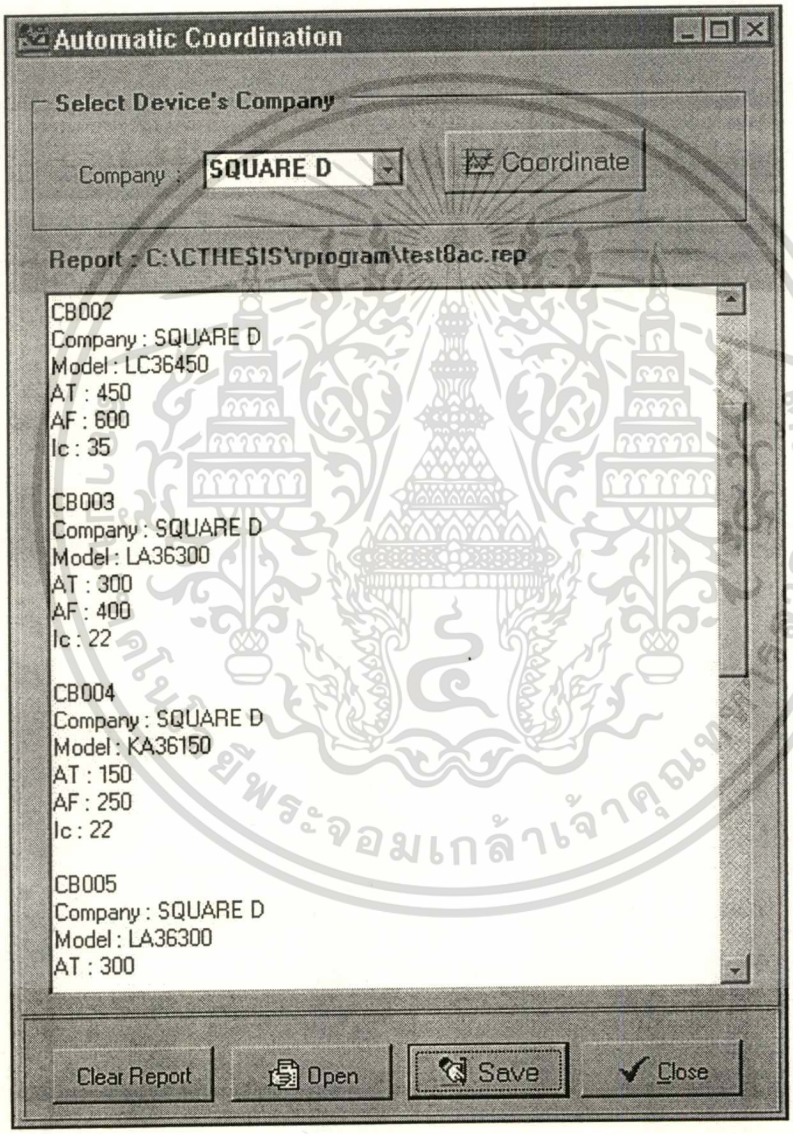
รูปที่ 4.10 แสดงตัวอย่างการนำเสนอรายงาน (Single Line Section)

JOB NAME : REPORT 01
DESIGN BY : CHAI CHOMPOOINWAI
DATE : 1 JANUARY , 1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL SC&CO TEST REPORT

COORDINATE SECTION



รูปที่ 4.11 แสดงตัวอย่างการนำเสนอรายงาน (Coordination Section)

JOB NAME : REPORT 01	
DESIGN BY : CHAI CHOMPOOINWAI	
DATE : 1 JANUARY , 1998	

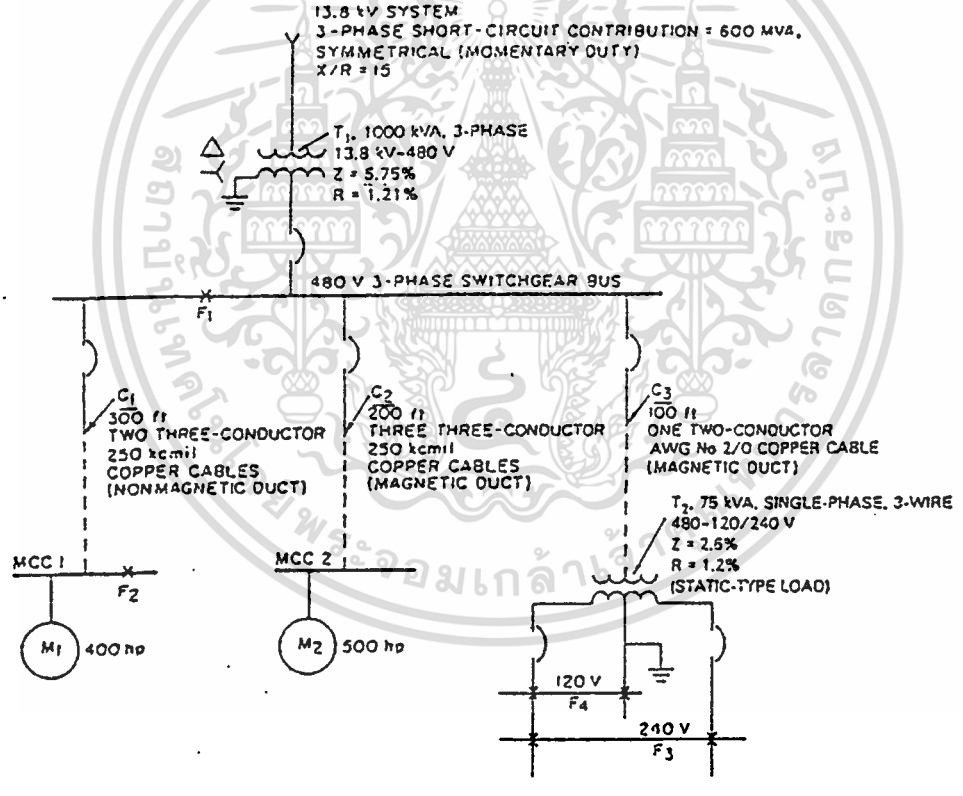
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการทดสอบโปรแกรม (Program Result)

หลังจากเขียนโปรแกรมเสร็จแล้วได้นำตัวอย่างการออกแบบงานในระบบไฟฟ้ากำลังมาเป็นเครื่องมือในการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม โดยได้นำตัวอย่างมา 3 ตัวอย่าง คือ

ตัวอย่างที่ 1 จากเอกสารอ้างอิง IEEE std. 141-1986 (เอกสารอ้างอิงหมายเลข 12)

ซึ่งมีผลการทดสอบเพื่อหาขนาดกระแสลัดวงจรตามตารางบันทึกผลที่ 4.1



NOTE: The motor horsepower indicated at MCC 1 and 2 represents a lumpted total of small induction three-phase machines ranging in size from 10-150 hp.

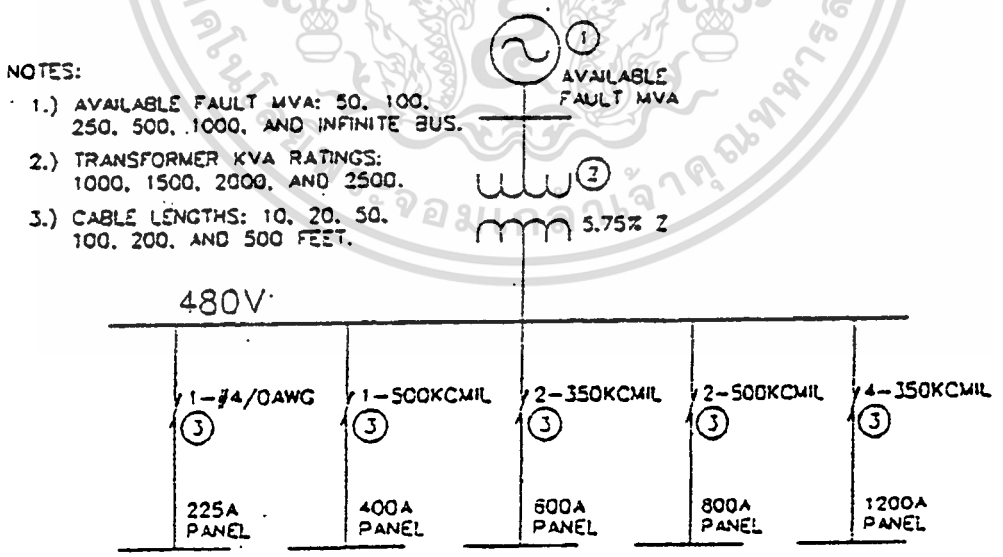
รูปที่ 4.12 แสดงระบบ Low Voltage System ที่นำมาเป็นตัวอย่างทดสอบโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาผลประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 บันทึกผลการทดลอง จากตัวอย่างที่ 1
คำนวณเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเอกสารอ้างอิง

ตำแหน่งที่เกิด fault	ค่ากระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟสสมมาตร (kA)		% ความแตกต่าง
	จาก IEEE	จากโปรแกรม	
1.ขั้วหม้อแปลง	-	20.928	-
2.F1	24.470	23.426	4.2
3.F2	16.480	16.520	0.24

ตัวอย่างที่ 2 จากเอกสารอ้างอิง IEEE Transactions on Industry Applications vol.32 No.2 ,March /April 1996



รูปที่ 4.13 แสดงระบบ Sample System ที่นำมาเป็นตัวอย่างทดสอบโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 บันทึกผลการทดลอง จากตัวอย่างที่ 2
คำนวณเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเอกสารอ้างอิง

2000 kVA Transformer High Side with Infinite Bus				
บัสต่าง ๆ ที่เกิดฟอลต์	ระยะห่างของจุดฟอลต์กับหม้อแปลง	ค่ากระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟสสมมาตร (kA)		
		จากเอกสาร	โปรแกรม	% ความแตกต่าง
Transformer Secondary	-	41.8	41.856	-
225 A.Panel (1-#4/0 AWG)	100 ft.	22.3	23.132	3.7
	200 ft.	14.7	14.484	1.5
	500 ft.	7.0	6.852	2.1
400 A.Panel (1-500 kcmil)	100 ft.	26.5	27.493	3.7
	200 ft.	19.1	19.051	0.3
	500 ft.	10.3	10.037	0.6
600 A.Panel (2-350 kcmil)	100 ft.	31.8	34.235	7.6
	200 ft.	25.2	26.115	3.6
	500 ft.	15.2	15.086	0.7
800 A.Panel (2-500 kcmil)	100 ft.	32.6	35.148	7.8
	200 ft.	26.5	27.495	3.7
	500 ft.	16.7	16.569	0.7
1200 A.Panel (4-350 kcmil)	100 ft.	36.3	40.145	10
	200 ft.	31.8	34.226	7.6
	500 ft.	22.8	23.346	2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 3 จากเอกสารอ้างอิง IEEE Transactions on Industry Applications vol.32 , No.2 ,March /April 1996 (กรณีคิดผลของมอเตอร์) (ใช้รูปเดียวกับตัวอย่างที่ 2)

ตารางที่ 4.3 บันทึกผลการทดลอง จากตัวอย่างที่ 3
คำนวณเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเอกสารอ้างอิง

2000 kVA Transformer High Side with Infinite Bus with 1000 HP Motor Contribution , Locate at 100 ft.from1200 A.Panel				
บัสต่าง ๆ ที่เกิดฟอลต์	ระยะห่างของจุดฟอลต์กับหม้อแปลง	ค่ากระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟสสมมาตร (kA)		
		จากเอกสาร	โปรแกรม	% ความแตกต่าง
Transformer	-	41.8	41.856	-
225 A.Panel	100 ft.	24.0	23.758	1
(1-#4/0 AWG)	200 ft.	15.2	14.686	3.3
	500 ft.	7.1	6.885	3
400 A.Panel	100 ft.	28.6	28.519	0.3
(1-500 kcmil)	200 ft.	20.1	19.493	3
	500 ft.	10.5	10.134	3.4
600 A.Panel	100 ft.	35.0	35.886	2.5
(2-350 kcmil)	200 ft.	27.1	26.988	0.4
	500 ft.	15.8	15.321	3
800 A.Panel	100 ft.	36.0	36.920	2.5
(2-500 kcmil)	200 ft.	28.6	28.501	0.3
	500 ft.	17.5	16.875	3.5
1200 A.Panel	100 ft.	42.2	47.505	12
(4-350 kcmil)	200 ft.	N/A	42.098	-
with 1000 Hp	500 ft.	N/A	32.424	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

การใช้โปรแกรมวิเคราะห์กระแสลัดวงจร และแสดงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า (SC & CP) พิจารณาที่ระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 1 กิโลโวลต์ ซึ่งการคำนวณกระแสลัดวงจรของโปรแกรมนั้น จะพิจารณากระแสผิดปกติแบบ 3 เฟสสมมาตร (Three phase symmetrical fault) เนื่องจากมีโอกาสเกิดมากกว่ากระแสผิดปกติแบบไลน์ทูกราวด์ (Line to ground fault) แม้ว่าในบางกรณีกระแสผิดปกติแบบไลน์ทูกราวด์จะมีความรุนแรงมากกว่า และการคำนวณค่าของกระแสผิดปกติแบบ 3 เฟสสมมาตร จะอ้างอิงมาตรฐานของ ANSI/IEEE Std 141-1986 ในการคำนวณ ซึ่งปัจจัยที่มีผลการคำนวณต่อกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น คือ ค่าซับทรานเซียลรีแอกแตนซ์ (X_d") ของมอเตอร์ชนิดต่าง ๆ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และค่ารีแอกแตนซ์ต่อรีซีสแตนซ์ (X/R) ของมอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และสายตัวนำ

หลักการในการคำนวณกระแสลัดวงจรของโปรแกรม คือจะพิจารณาเป็นเปอร์ยูนิตโดยที่จะทราบค่าของกระแสลัดวงจรที่จุดต่างๆจากการนำกระแสเบสหารด้วยค่าผลรวมของรีแอกแตนซ์และรีซีสแตนซ์ที่จุดนั้น ๆ และตำแหน่งที่จะเกิดกระแสลัดวงจรที่รุนแรงที่สุดคือ ที่หม้อแปลงไฟฟ้าการหากระแสลัดวงจร จะคิดจากค่ากระแสที่พิกัดของหม้อแปลงหารด้วยเปอร์ยูนิตอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง เมื่อทำการคำนวณขนาดของกระแสลัดวงจรได้แล้ว จะต้องทำการเลือกอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าซึ่งได้แก่ เซอร์กิตเบรกเกอร์ หรือฟิวส์ แต่ต้องทราบค่ากระแสที่พิกัดของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ ก่อน โดยการคำนวณโดยโปรแกรมจะทราบกระแสลัดวงจร แต่ที่เซอร์กิตเบรคเกอร์หรือฟิวส์จะบอกค่าของอินเตอร์รัพติ้งคาปาซิตี้ (I_c) จะต้องเลือกอินเตอร์รัพติ้งคาปาซิตี้ให้มากกว่ากระแสลัดวงจรเพื่อความปลอดภัยของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า

ส่วนการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้านั้น การทำงานที่มีประสิทธิภาพของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า อุปกรณ์ที่ป้องกันที่ควรจะทำงานก่อน คือ ที่มีความสำคัญน้อยที่สุดและที่ไม่ควรจะตัดวงจรออกก็คือบริเวณอุปกรณ์จ่ายไฟฟ้าหลัก (Main distribution) เมื่อมีกระแสลัดวงจรเกิดขึ้นที่จุดย่อยๆ ดังนั้น อินเตอร์รัพติ้งที่เซอร์กิตเบรกเกอร์หลัก (Main circuit breaker) จึงมีค่ามากที่สุด โดยในส่วนของโปรแกรมการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าจะมีอยู่ 2 กรณี คือ กรณีแรกผู้ใช้เลือกอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าเองและทำการพิจารณากราฟ (Charecteristic) ของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า และกรณีที่ สอง คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเลือกขนาดของเซอร์กิจเบรกเกอร์ให้ โดยจะคูณกระแสที่พิกัดของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าด้วยตัวคูณตามม่าตรฐานของ NEC ผู้ใช้จะพิจาณากราฟตามรุ่นของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่โปรแกรมคำนวณให้มาทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกัน โดยไม่ให้กราฟทับกัน(Overlap)อย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อมีการใช้โปรแกรมวิเคราะห์กระแสลัดวงจร และแสดงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันเรียบร้อยแล้วสามารถที่จะบันทึกไว้ในคอมพิวเตอร์

5.2 ข้อเสนอแนะ

โปรแกรมในการวิเคราะห์กระแสลัดวงจรและการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าจะคำนวณกระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟสสมมาตรโดยโปรแกรมมีข้อจำกัดอยู่บ้างกล่าวคือ

ประการที่หนึ่ง คือ ผู้ออกแบบจำเป็นต้องทราบค่าซับทรานเซียลรีแอกแตนซ์ของมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะสามารถคำนวณค่ากระแสลัดวงจรได้ถูกต้องมากขึ้น เพราะโปรแกรมการคำนวณกระแสผิดปตินี้ จะประมาณค่าของซับทรานเซียลรีแอกแตนซ์ จากมาตรฐานของ ANSI/IEEE Std. 141-1986

ประการที่สอง คือ การออกแบบระบบไฟฟ้ากำลังไม่สามารถทำในระบบหลายแรงดันได้

และประการสุดท้าย คือ จากที่ทำการทดสอบโปรแกรมสามารถต่ออุปกรณ์ทางไฟฟ้าได้มากสุดที่19ไลน์ในบรานซ์เดียวกัน ถ้ามีจำนวนมากกว่านี้จะไม่ส่งค่าไปยังส่วนของ การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า แต่ยังสามารถคำนวณกระแสลัดวงจรและกระแสที่พิกัดได้

ส่วนโปรแกรมการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้านั้น มีข้อจำกัด ในกรณีที่โปรแกรมจะเลือกอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าให้ เป็นเพียงการเลือกรุ่นให้ไม่ได้ทำการเปรียบเทียบกราฟคุณลักษณะของเซอร์กิตเบรกเกอร์แต่ละรุ่นไว้ให้เนื่องจาก หากจำนวนบรานซ์และไลน์มากจะทำให้ดูยุ่งยาก

ข้อเสนอแนะนี้จึงเป็นแนวทางให้ผู้สนใจ จะสามารถใช้งานโปรแกรมให้ถูกต้องมากขึ้นและพัฒนาโปรแกรมให้ทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. การไฟฟ้านครหลวง , คู่มือการติดตั้งสายเคเบิล , กฟน. 2538

2. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค , คู่มืออบรมหลักสูตรสวิตย์เกียร์ 1 , กฟภ. 2524

3.ชำนาญ ห่อเกียรติ , การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง , กรุงเทพ , มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , 2532

4. ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์,การคำนวณค่ากระแสลัดวงจรของระบบไฟฟ้าแรงต่ำ,สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าไทย , กรกฎาคม 2537

5. ศุลี บรรจงจิตร,หลักการและเทคนิคการออกแบบระบบไฟฟ้ากำลัง , บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด ,2540.

6. ศุลี บรรจงจิตร ,อุปกรณ์และการติดตั้งในงานระบบไฟฟ้า , บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด , 2539

7.Alberto BerizzI,Stefano Massucco,Andrea SIlvestrI, and DarIo ZanInelII , Short CIrcuIt current CalculatIon : A ComparIson of IEC and ANSI standard UsIng DynamIc SImulatIon as Reference , IEEE TransactIons on Industry ApplIcatIon ,Vol 30 , No.4 ,July/August 1994

8.EGAT , ProtectIve relay and practIce.

9.FUJI , CharacterIstIc Curve of SwItchgear , 1992

10.IEC, IEC TechnIcal CommIttee No.73 ,IEC 909-1 ,1988

11. IEC, IEC TechnIcal CommIttee No.73 ,IEC 909-2 ,1988

12. IEEE , IEEE Recommended practce for electrIc power dIstrIbutIon for IndustrIal plants , (IEEE Std 141-1986) IEEE Red book , 1986

13.IEEE,IEEE Recommended practIce for protectIon and coordInatIon of IndustrIal and commercIal power system , (IEEE Std 242-1986) IEEE Buff book , 1986

14 . IRWIN LAZAR , ElectrIcal systems analysIs and desIgn for IndustrIal plants , Mcgraw-HIll book company , 1980

15. MerlIn GerIn , CharacterIstIc curve of cIrcuIt breaker , 1995

16. NEC , NatIonal ElectrIc Code reference book , 1996

17. Phelps dodge , Phelps Dodge's DesIgn Manual on ElectrIcal Conductor for InterIor WIrIng , fIrst edItIon 15 th December , 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18.SIemens , ElectrIcal InstallatIon handbook , Vol.1,2 1979

19.SIemens , Low-Voltage handbook , 1984

20. SIemens , Overload-and Short-cIrcuIt protectIon In low-voltage InstallatIon

21. SIemens , TechnIcal InformatIon low-voltage swItchgear and controlgear , Catalogue NSO/NVO ,1978

22.Square D , All about trIp curve , March ,1985

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

บทความทางวิชาการ เรื่อง

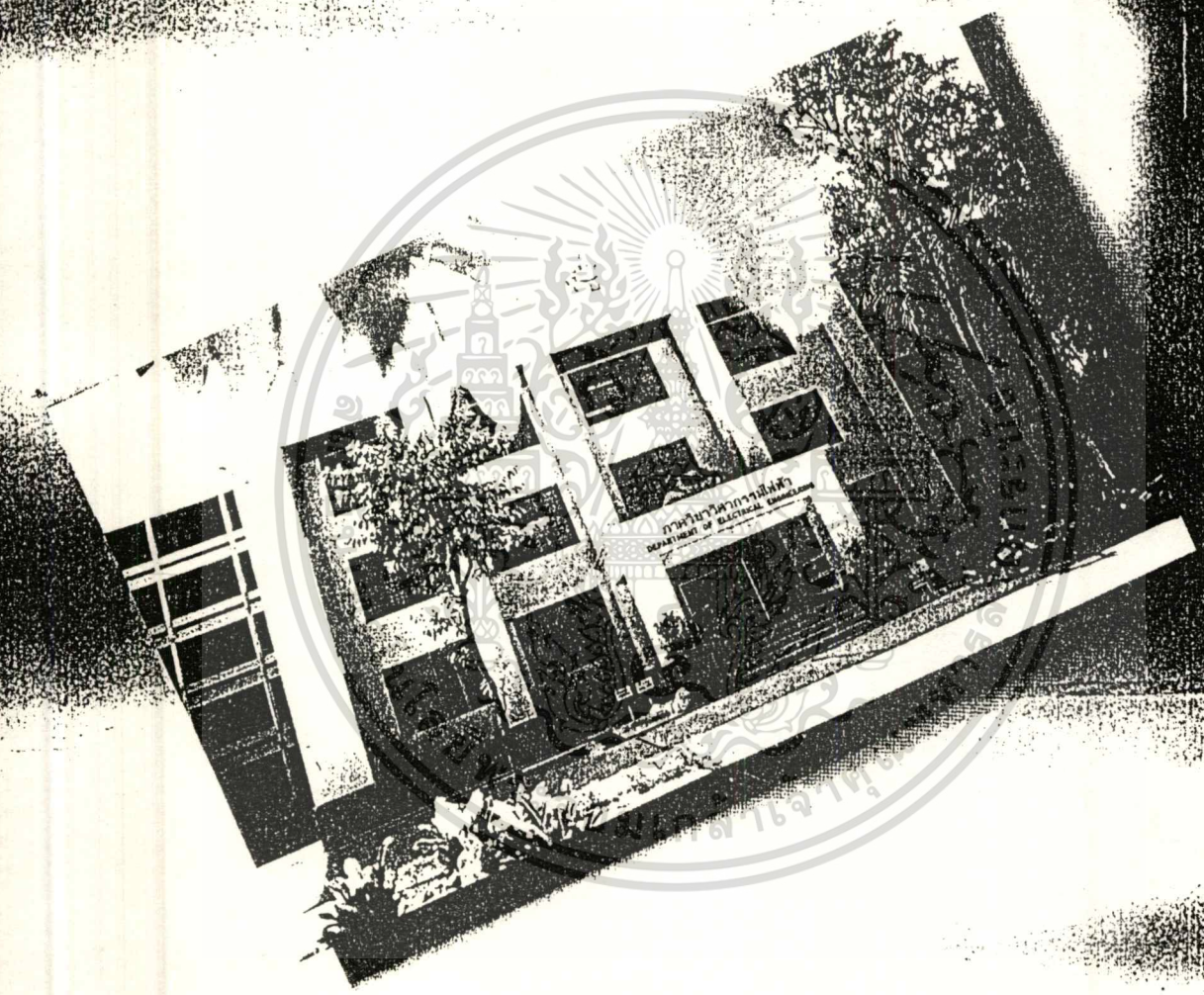
" การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ขนาดกระแสลัดวงจรและแสดงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้า"

"CAD FOR SHORT CIRCUIT CURRENT ANALYSIS AND COORDINATE OF PROTECTIVE DEVICES IN DISTRIBUTION SYSTEM"

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 19
ณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการ
ทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 19



คำแถลงการจัดการประชุมโดย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

7-8 พฤศจิกายน 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์หาขนาดกระแสลัดวงจรและแสดงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้ากำลัง

CAD FOR SHORT CIRCUIT CURRENT ANALYSIS AND COORDINATION OF PROTECTIVE DEVICE IN POWER SYSTEM

ชาย ชมภูอินไหว* รศ.ศุลี บรรจงจิตร**

* นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย

** อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อช่วยในการวิเคราะห์คำนวณหาขนาดกระแสโหลดและกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในงานระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่ออำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้งานได้นำค่าของกระแสที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้ในการตัดสินใจเลือกพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า และ ยังสามารถแสดงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกัน(Coordination of protective device) เพื่อให้ระบบไฟฟ้าที่ทำการออกแบบมีความน่าเชื่อถือ,ปลอดภัย และประหยัดที่สุดในการใช้งานจริง โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น สามารถจำลองสร้างไดอะแกรมเส้นเดียว (Single line diagram)แล้วคำนวณหาขนาดกระแสลัดวงจรโดยอ้างอิงมาตรฐานของนานาชาติคือมาตรฐาน ไอ.อี.ซี และมาตรฐาน ไอทริปเพิลอีทำให้ผลการคำนวณที่ได้มีความถูกต้องและส่วนแสดงผลเป็นกราฟฟิกส์ชัดเจนเข้าใจได้ง่ายจึงเป็นประโยชน์อย่างมาก ต่อผู้ที่ทำการออกแบบงานระบบไฟฟ้า

Abstract

This paper presents about the computer software that use to analize short circuit current and provide the user more convenient to design,plan and select the size of protective devices.So the designed sytem will have reliability,low cost and more safety.

The programe can simulate the single line diagram of the power system and use IEC 909, IEEE C37.010.1979 standard for reference to calculate the short circuit current so the result quite reasonable and accurable ,with working on windows it can show graphics that easy to understand and learn.So it can say that this software is quite useful for the designer.

1.บทนำ

ในการวางแผน, ออกแบบ หรือ เลือกใช้งานอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้านอกจากจะต้องคำนึงถึงพิกัดกระแสในสภาวะการใช้งานปกติแล้วยังต้องคำนึงถึงกระแสขณะเกิดสภาวะผิดปกติในระบบด้วยนั่นคือสภาวะขณะที่เกิดการลัดวงจรโดยการลัดวงจรที่เกิดขึ้นทั้งจากอุบัติเหตุ และการเสื่อมสภาพของฉนวนซึ่งจะมีผลทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance)ของวงจรมีค่าลดลง ส่งผลให้เกิดกระแสไหลในวงจรมากกว่าปกติหลายเท่าซึ่งกระแสลัดวงจรนี้จะทำให้เกิดความเครียดทางกล (Mechanical Stress)และความเครียดทางความร้อน (Thermal stress)ขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายได้และยังเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการคำนวณค่ากระแสลัดวงจรของระบบไฟฟ้า จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่สุดอย่างหนึ่ง ของการออกแบบระบบไฟฟ้ากำลัง โดยผู้ออกแบบระบบจะต้องทราบค่าพิกัดกระแสลัดวงจร ที่อาจจะเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในระบบล่วงหน้าก่อนทั้งนี้เพื่อจะสามารถเลือกอุปกรณ์มาใช้งานได้อย่างเหมาะสมเพราะถ้าผู้ออกแบบเลือกใช้อุปกรณ์ ที่มีขนาดเล็กเกินไป ย่อมเกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ ทรัพย์สิน และชีวิตได้เมื่อเกิดการลัดวงจร ในทางกลับกันถ้าผู้ออกแบบเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันที่มีพิกัดใหญ่เกินไป ก็จะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบ ด้วยเหตุนี้การคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรของระบบไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมากสำหรับผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าที่ดี

2.ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การคำนวณเพื่อหาขนาดของกระแสลัดวงจร นั้นได้นำมาตรฐาน 2 ระบบมาเป็นตัวอ้างอิงในการคำนวณนั่นคือ

ก.มาตรฐาน IEC 909

กระบวนการคำนวณตามมาตรฐานของ IEC นี้มีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อหาขนาดกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นจริงในระบบโดยพิจารณาว่าค่ากระแสลัดวงจรจะมีค่าแตกต่างกันระหว่างจุดเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งใกล้กับอุปกรณ์แหล่งจ่ายและตำแหน่งที่ไกลจากแหล่งจ่ายออกไป โดยในการคำนวณจะมีการหาค่า $I_k^{"}$ และพิจารณาให้ระดับแรงดันที่จุดเกิดฟอลต์เป็น cU_n โดยแฟคเตอร์ c จะมีค่าต่าง ๆ กันออกไปเรียก c ว่าแฟคเตอร์แก้ไข (Corrective factor) ซึ่งประมาณค่า c ดังนี้

c = 1 ในระบบแรงดันต่ำ 230/400 โวลท์

c = 1.05 ในระบบแรงต่ำอื่น ๆ

c = 1.1 ในระบบแรงดันขนาดกลางและสูง

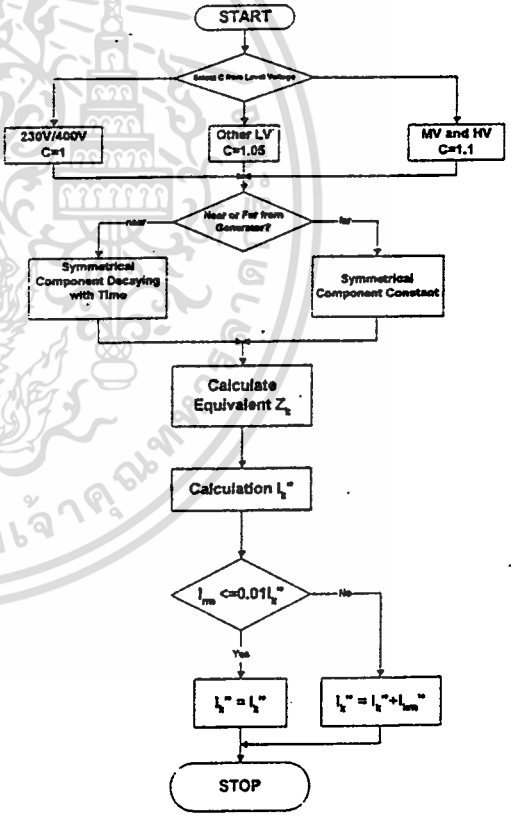
ดังนั้นค่ากระแสลัดวงจรจะพิจารณาได้จากความสัมพันธ์

$$I_k^{"} = cU_n/\sqrt{3}\, Z_k$$

โดยที่ $I_k^{"}$: เป็นค่าเฉลี่ยเริ่มต้นของส่วนประกอบสมมาตรของกระแสลัดวงจร (rms initial symmetrical component)

cU_n : เป็นค่าแรงดันที่ตำแหน่งเกิดฟอลต์

Z_k : เป็นค่าอิมพีแดนซ์เสมือนที่มองจากบัสที่เกิดฟอลต์



รูปที่ 1 โฟลว์ชาร์ทแสดงการหาค่ากระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.มาตรฐาน ANSI/IEEE C37.010.1979

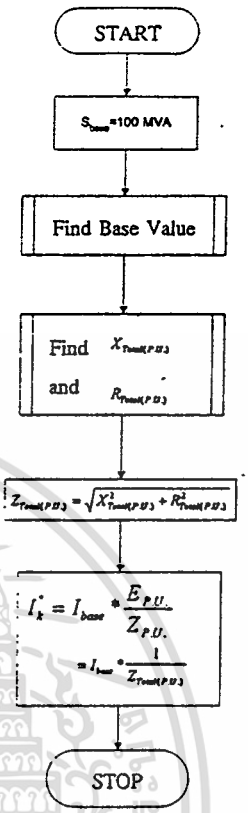
กระบวนการคำนวณตามมาตรฐาน IEEE นี้มีจุดยืนเพื่อหาขนาดกระแสลัดวงจรสำหรับนำไปเลือกขนาดของอุปกรณ์ป้องกันโดยตรง วิธีง่าย ๆ ของ IEEE ทำได้โดยการแปลงลดระบบไฟฟ้าให้เป็นวงจรเสมือนซึ่งประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันในอุดมคติ E กับค่ารีแอคแตนท์เสมือน(ซึ่งมักคิดในรูปเปอร์ยูนิต) โดยจะมุ่งเน้นความสนใจไปที่การเกิด 3 เฟสฟอลต์และไลน์ทูกราวด์ฟอลต์โดยแบ่งชนิดการพิจารณาออกเป็น 3 ชนิด คือ

ข.1 First-cycle duty คือค่ากระแสซึ่งคิดที่ช่วงเวลา 1 ไซเคิลหลังจากการเกิดฟอลต์จะมีค่าประมาณเท่ากับ E/X

ข.2 Contact-parting duty คือขนาดกระแสเฉลี่ยที่ทำให้หน้าสัมผัสของอุปกรณ์ตัดตอนแยกออกจากกันมักจะคิดที่เวลาประมาณ 1.5-4 ไซเคิลหลังจากเกิดฟอลต์ค่านี้จะประมาณเท่ากับ 1.25 E/X

ข.3 Short circuit current for time delayed relaying devices จะเป็นการคำนวณหาขนาดกระแสลัดวงจรหลังจากเวลา 6 ไซเคิลไปแล้วในการคำนวณขนาดกระแสจะประมาณเท่ากับ E/X โดยในวงจรจะนำคิดเฉพาะผลของอุปกรณ์แหล่งจ่าย,อุปกรณ์พวกแพสซีฟและพวกสายส่ง หม้อแปลง โดยจะไม่คิดผลของกระแสที่มาจากมอเตอร์

2.2 การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกัน (Coordination of Protective Devices) หมายถึงเมื่อเกิดภาวะผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้าอุปกรณ์ป้องกันตัวที่ใกล้จุดเกิดภาวะผิดปกติมากที่สุดจะต้องทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั่นคือจะต้องสามารถตัดวงจรส่วนที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบใหญ่ได้ และจะต้องทำงานได้ก่อนอุปกรณ์ตัวที่อยู่ไกลออกไป



รูปที่ 2 โฟลว์ชาร์ทแสดงการหาค่ากระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน ANSI/IEEE

2.2 หลักการของการทำงานร่วมกัน

1. อุปกรณ์ป้องกันตัวใกล้ฟอลต์มากที่สุดต้องทำงานก่อน

2. เมื่ออุปกรณ์ดังกล่าวในข้อ 1 ทำงานแล้วอุปกรณ์ป้องกันตัวอื่นไม่ควรทำงาน

3.ให้ระบบมีความต่อเนื่องมากที่สุด คือ ไม่ควรให้อุปกรณ์ป้องกันตัดตอนบ่อยเกินความจำเป็น

4.เมื่อทำการโคออดิเนทแล้วกราฟแสดงคุณสมบัติในการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันไม่ควรตัดกัน

5.เมื่ออุปกรณ์ป้องกันตัวใกล้ที่สุดไม่ทำงานตัวที่ใกล้ถัดมาต้องทำงานแทน(Back Up)ให้กับอุปกรณ์ตัวแรก

6.การทำงานควรเป็นไปอย่างอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

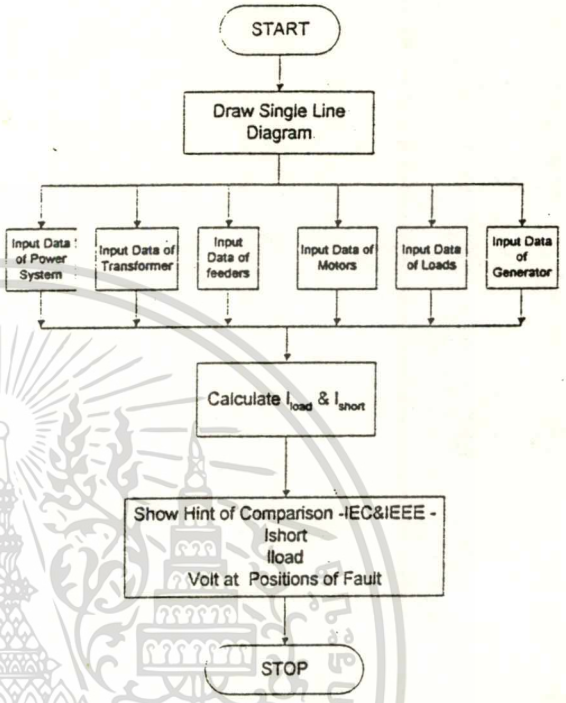
3.การออกแบบโปรแกรม

โปรแกรมสำเร็จรูปที่ออกแบบขึ้นประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ ส่วนการป้อนค่าเข้าไปที่ตัวโปรแกรม,ส่วนการประมวลผล,และส่วนการแสดงผล โดยแต่ละขั้นตอนจะเน้นความสะดวกในการใช้งาน โดยผู้ใช้สามารถติดต่อกับโปรแกรมได้โดยง่าย ผ่านทางระบบปฏิบัติการวินโดว์ซึ่งการป้อนข้อมูลและการแสดงผลจะเป็นกราฟฟิกส์ที่ ชัดเจน สวยงาม และถูกต้อง

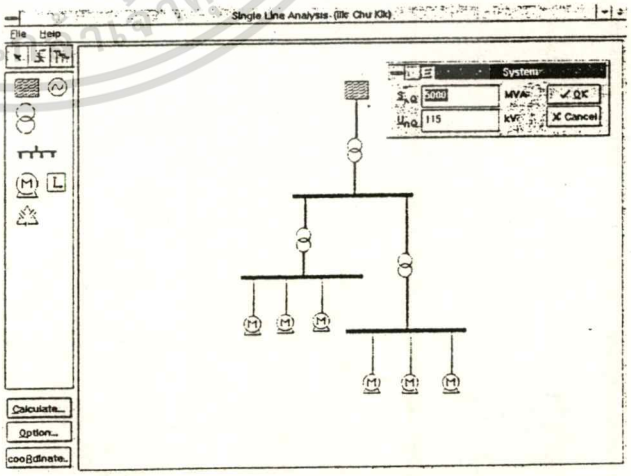
3.1 ส่วนการป้อนค่าเข้าโปรแกรม

*3.1.1 ในการเริ่มต้นการใช้โปรแกรม*หากผู้ใช้ต้องการออกแบบงานระบบไฟฟ้าใด ๆ เช่นระบบไฟฟ้าโรงงาน, ระบบไฟอาคารสูง เหล่านี้ผู้ใช้สามารถเลือกเพาเวอร์คอมโพเนนท์ (Power Component) เพื่อที่จะสร้างระบบไฟฟ้าจำลองขึ้นจากคอมโพเน้นท์ย่อย ๆ อันได้แก่ แหล่งจ่ายไฟฟ้า,หม้อแปลงไฟฟ้า,สายส่ง,มอเตอร์,โหลด เป็นต้น การวาดนั้นทำได้ง่ายเพียงแค่นำเม้าส์ไปคลิกที่เพาเวอร์คอมโพเน้นท์ที่เราต้องการ แล้วจับมาวาง ณ ตำแหน่งที่เราต้องการในหน้าต่าง ๆที่เตรียมไว้ เพื่อประกอบรวมเป็นวันไลน์ไดอะแกรม (Single line Diagrame) ที่ต้องการ

*3.1.2 การป้อนค่าพารามิเตอร์ของระบบ*หลังจากได้ทำการวาดรูปไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบไฟฟ้าก็จะต้องทำการป้อนค่าพารามิเตอร์ของคอมโพเน้นท์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในรูป เช่น หม้อแปลงก็จะต้องป้อนพิกัดกำลัง,พิกัดแรงดันปฐมภูมิ/ทุติยภูมิ,ค่าของเปอร์เซนต์อิมพีแดนซ์, ประสิทธิภาพหรือในส่วนพารามิเตอร์ของสายส่ง ก็จะต้องบอกโปรแกรมว่าเป็นสายชนิดใด ทั้งนี้เพื่อหาขนาดอิมพีแดนซ์รวมขณะที่เกิดการลัดวงจรในการป้อนค่าพารามิเตอร์ของแต่ละคอมโพเน้นท์ย่อย ๆ นั้นก็ทำได้ง่ายโดยการกรอกในช่องใส่ข้อมูล (Dialox Box) ที่สร้างขึ้นให้ครบถ้วนและถูกต้องตามสภาพการใช้งานจริงทั่ว ๆ ไป



รูปที่ 3 โฟลว์ชาร์ทการใช้การใช้งานโปรแกรมคำนวณหาขนาดกระแสลัดวงจร

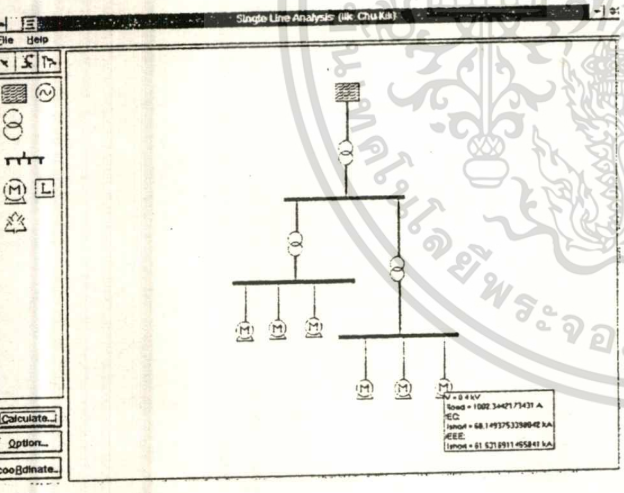


รูปที่ 4 แสดงวันไลน์ไดอะแกรมที่สร้างขึ้นและแสดงการป้อนข้อมูลให้อุปกรณ์แต่ละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ส่วนการประมวลผล

เมื่อทำการป้อนค่าทุกอย่างครบถ้วนจึงให้โปรแกรมทำการคำนวณ (Caculate) โปรแกรมจะเริ่มคำนวณโดยทำการแปลงอุปกรณ์ย่อย ๆ แต่ละตัวให้อยู่ในรูปของรีแอคแตนซ์ไดอะแกรมแล้วคำนวณหากระแสลัดวงจรที่ทุก ๆ ตำแหน่งจากสายป้อนหลัก(Main Feeder) ของระบบไฟฟ้าจำลองที่สร้างขึ้นการดูผลก็ทำได้โดยแค่ผู้ใช้เพียงแต่นำเมาส์ไปคลิกส์ ณ ตำแหน่งที่ต้องการทราบผลการคำนวณก็จะปรากฏผลกระแสจากการคำนวณ เป็นค่ากระแสโหลดและกระแสลัดวงจรตามมาตรฐานของ IEC เทียบกับ IEEE ให้เห็นพร้อม ๆ กันนอกจากนี้ ยังจะแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า ณ ตำแหน่งบัสตรงนั้นด้วย

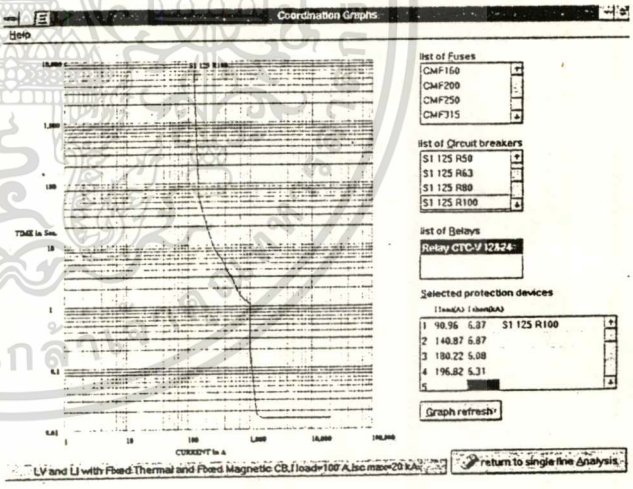


รูปที่ 5 แสดงผลการคำนวณ

3.3 ส่วนของการเลือกอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้ามาทำงานร่วมกัน (Coordination of Protective Device)

3.3.1 จากระบบไฟฟ้ากำลังจำลองที่สร้างขึ้นและผลการคำนวณ ผู้ใช้จะต้องเลือกตำแหน่งที่จะทำการเลือกอุปกรณ์ป้องกันมาทำงานร่วมกัน และต้องพิจารณาเลือกพิกัดอุปกรณ์ตามค่ากระแสโหลดและค่ากระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEEE เพราะเป็นมาตรฐานที่กำหนดขึ้นโดยมีจุดประสงค์ในการหาค่ากระแสลัดวงจรเพื่อติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้าโดยเฉพาะ

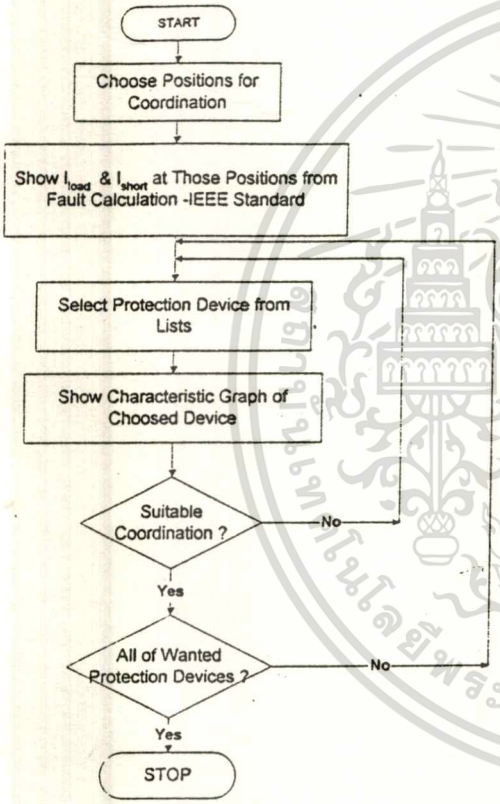
3.3.2 ในการเลือกอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้าจากรายการอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ เช่น ฟิวส์ , รีเลย์ หรือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ เมื่อผู้ใช้เลื่อนแถบสว่างหรือรายการอุปกรณ์ตัวใดก็จะปรากฏรายละเอียดของ พิกัดใช้งานของอุปกรณ์ตัวนั้นขึ้นตามที่ผู้ผลิต ได้กำหนดมา เช่น ค่าพิกัดกระแสโหลด , พิกัดกระแสลัดวงจรสูงสุดที่อุปกรณ์ทนได้ ดังนั้นการเลือกอุปกรณ์ต้องให้สัมพันธ์กับค่าที่คำนวณได้จากในขั้นตอนการคำนวณ เมื่อตัดสินใจเลือกอุปกรณ์ตัวหนึ่งแล้วก็เพียงแต่นำเม้าท์ไปดับเบิลคลิก (Double Click) ที่อุปกรณ์ตัวนั้นคอมพิวเตอร์ก็จะแสดงกราฟการทำงานของอุปกรณ์บนแกนล็อก-ล็อก (Log-Log) ที่สร้างขึ้น



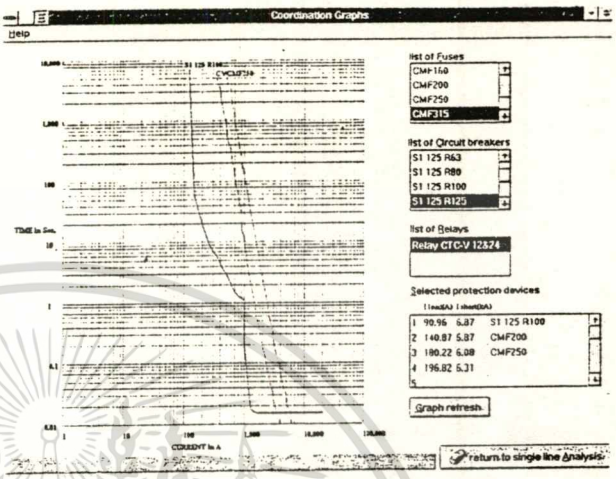
รูปที่ 6 แสดงอุปกรณ์ป้องกันตัวแรกที่เลือก

3.3.3 ทำการเลือกอุปกรณ์ตัวถัดไปจนครบหากกราฟการทำงานร่วมกันที่ได้ของอุปกรณ์เกิดทับซ้อนกัน ผู้ใช้สามารถลบเส้นกราฟของอุปกรณ์ที่ไม่ต้องการทิ้งได้ จากนั้นก็ทำการเลือกอุปกรณ์ตัวใหม่เพื่อให้ได้อุปกรณ์ป้องกันที่สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างเหมาะสมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 โฟลว์ชาร์ทแสดงการใช้โปรแกรมโคออดิเนทของอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้า



รูปที่ 8 แสดงกราฟการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันโดยเลือกใช้ CB ร่วมกับ Fuse 2 ตัว

4.สรุปการทดสอบโปรแกรม

การคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจเลือกพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้าได้ดี มีความสะดวกในการใช้งานและมีความถูกต้องสูงโดยทำให้สามารถมองภาพรวมของระบบที่สร้างขึ้นได้ว่าตรงตำแหน่งใดมีภาระในการรับกระแสโหลดและกระแสลัดวงจรมากน้อยเพียงใดเพื่อช่วยในการทำโหลดให้สมดุล(Balance Load)ได้เด่นชัดขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้ผู้ออกแบบระบบสามารถตัดสินใจเลือกระดับแรงดันที่ใช้งาน,ชนิด พิกัดของอุปกรณ์ป้องกันเพื่อให้การออกแบบระบบเป็นไปอย่างสะดวกรวดเร็ว และระบบที่ได้มีความน่าเชื่อถือ,ประหยัด ให้ความปลอดภัยสูงที่สุด

5.กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนา และส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ(สวทช.)ที่ให้การสนับสนุนและขอบคุณท่านที่คอยให้กำลังใจเสมอมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.เอกสารอ้างอิง

[1] รศ.ศุลี บรรจงจิตร. "หลักการและเทคนิคการออกแบบระบบไฟฟ้ากำลัง" (ฉบับปรับปรุงและเพิ่มเติม) บ. ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน),2537

[2] เกรียงไกร ปิยะธำรงชัย,เกรียงศักดิ์ จารุรัตน์ธาดา, "Electrical Design 1 ",2536

[3] ผศ.ประสิทธิ์ พิทยาพัฒน์,"Short circuit current Calculation " คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์

[4] Alberto Berizzi,Stefano Massucco,andrea Silvestri and Dario Zanielli "Short Circuit Current Calculation :A Comparison Between Methods of IEC and ANSI Standards Using Dynamic Simulation As Reference ",IEEE Transactions on Industry Applications,Vol.30 ,NO.4 ,July/August 1994

[5] IEC ,"IEC Technical Committee NO.73 ",IEC 909-1,1988

[6] ANSI /IEEE C37.010.1979 "American National Standard Application Guide for AC High-voltage Circuit breakers Rates on a Symmetrical Current Basis 1979 Consolidated Edition "American National Standards Institute Inc.,1979

[7] Phelps Dodge ,"Phelps Dodge's Manual on Electrical Conductor for Interior Wiring",Phelps Dodge Thailand Limited,Firt Edition December,1992

[8] Square D."All About Trip Curve",Square D Company(Thailand) Limited,March 1992

[9] Neil J.Rubenking "Delphi Programming for Dummies",IDG Books Worldwide Inc.,March 1995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

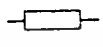
ภาคผนวก ข

ตารางแสดงแผนภาพตามมาตรฐาน

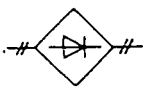
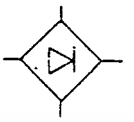
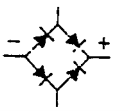
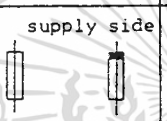
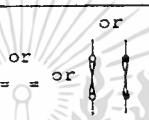
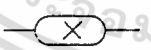
DIN , BS และ ANSI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

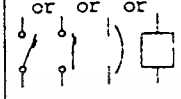
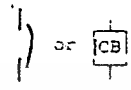
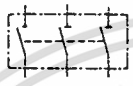
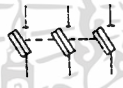
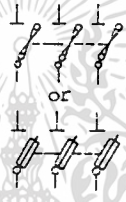
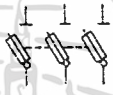
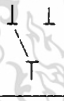
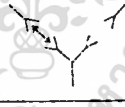
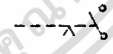
General circuit elements

รายละเอียด	สัญลักษณ์ของประเทศเยอรมัน	สัญลักษณ์ของประเทศอังกฤษ	สัญลักษณ์ของประเทศอเมริกา/แคนาดา
Resistor		= or	= or
with tappings		=	=
Winding, Inductor			
with tappings			
Capacitor			
with tapping			
Polarized capacitor			=
Polarized electro-lytic capacitor			
Permanent magnet		=	= or PM
Accumulator cell, battery (long line-positive pole)			=

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

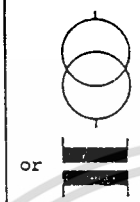
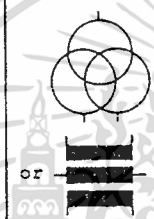
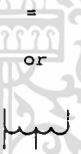
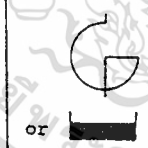
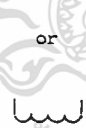
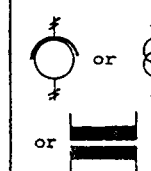
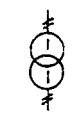
รายละเอียด	สัญลักษณ์ของประเทศเยอรมัน	สัญลักษณ์ของประเทศอังกฤษ	สัญลักษณ์ของประเทศอเมริกา/แคนาดา
Single-phase bridge-connected rectifier			
Isolating fuse		-	-
Fuse			
Isolating link			
Plug and socket device			
Filament lamp			
Discharge lamp			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

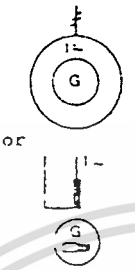
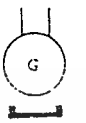
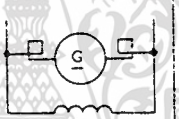
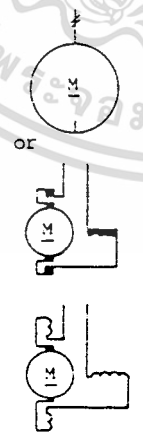
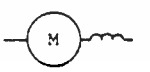
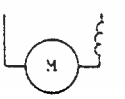
รายละเอียด	สัญลักษณ์ของประเทศเยอรมัน	สัญลักษณ์ของประเทศอังกฤษ	สัญลักษณ์ของประเทศอเมริกา/แคนาดา
Circuit breaker			
Triple-pole load-break switch			–
Triple-pole fused isolator			
Triple-pole isolator			
Isolating link, change-over type			
Single-throw switch, manually operated			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transformers, reactors and transductors

รายละเอียด	สัญลักษณ์ของประเทศเยอรมัน	สัญลักษณ์ของประเทศอังกฤษ	สัญลักษณ์ของประเทศอเมริกา/แคนาดา
Transformer with two separate windings		= or	= or
Transformer with three separate windings		= or	= or
Auto-transformer		= or	= or 
Reactor		= or 	
Current transformer			
Voltage (potential) transformer			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียด	สัญลักษณ์ของประเทศเยอรมัน	สัญลักษณ์ของประเทศอังกฤษ	สัญลักษณ์ของประเทศอเมริกา/แคนาดา
Single-phase synchronous generator with permanent magnet excitation			
D.C. shunt-wound generator, interpole windings arranged in symmetry with the armature			
D.C. series-wound motor, interpole windings arranged in symmetry with the armature			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายชาย ชมภูอินไหว
วัน-เดือน-ปี เกิด	วันอังคารที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ.2516 , ปีฉลู
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ. ไฟฟ้ากำลัง) เกียรตินิยมอันดับ 2
สถานที่สำเร็จการศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2537
ผลงานทางวิชา	1." การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์หาขนาดกระแสลัดวงจรและแสดงการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้า " (CAD FOR SHORT CIRCUIT CURRENT ANALYSIS AND COORDINATION OF PROTECTIVE DEVICES IN DISTRIBUTION SYSTEM) - การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 19 จัดโดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ทุนที่เคยได้รับ	ทุนบัณฑิตศึกษาภายในประเทศ โดยสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (ทุน สวทช.)
ประสบการณ์ทำงาน	พ.ศ. 2538-ปัจจุบัน อาจารย์ระดับ 4 ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้