

< EN-113 >

(28)

การพัฒนาฐานข้อมูลอย่างเป็นระบบสำหรับระบบจำหน่ายแรงดันสูงปานกลาง
ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เพื่อการทบทวนการจัดลำดับเวลาการทำงานของ
ระบบป้องกันให้สัมพันธ์กัน

Systematic Database Development on Rajamangala University of Technology Thanyaburi's Medium
Voltage Distribution System for Protection Coordination Review

ธีระพล เหมือนขาว

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ต.คลอง 6 อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

โทร. 0-2549-3567 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail : mk_theerapol@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้้นำโปรแกรม CAPE มาสร้างฐานข้อมูลเพื่อ
ทบทวนการทำงานของระบบป้องกันไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าอ้อมมหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี(มทร.ธัญบุรี) โดยการรวบรวมข้อมูลของ
บริภัณฑ์ และอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ ที่มีใช้งานเฉพาะในระบบไฟฟ้ากำลัง
แล้วจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลของโปรแกรม จากนั้นนำฐานข้อมูลของระบบ
ไฟฟ้ามาเขียนแผนภาพเส้นเดียว(One line Diagram)แล้วทำการคำนวณหา
ค่ากระแสลัดวงจร เพื่อนำค่ากระแสลัดวงจรไปใช้ในการเซตตั้งค่าการทำงานของ
ของอุปกรณ์ป้องกัน ผลการคำนวณค่ากระแสลัดวงจรและการจัดลำดับเวลา
การทำงานของอุปกรณ์ป้องกันได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้ออกแบบไว้

Abstract

This paper propose an application of CAPE to create a database to
review the operation of electrical power system protection of Rajamangala
University of Technology Thanyaburi (RMUTT) substation, The information
in the database consist of the information of electrical equipment and
protection device. The information from this database is used for drawing a
one line diagram. And then calculates a short circuit current from the one line
diagram in order to use this value for setting parameter value of protection
devices. The results of calculated value of short-circuit current and protection
coordination is close to designed value.

Keywords: protection coordination, short circuit, protection relay

1. บทนำ

ปัจจุบันไฟฟ้ามีความสำคัญมากต่อชีวิตของมนุษย์ ซึ่งความ
ต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นทุกวัน นั่นก็แสดงว่าการไฟฟ้า

ฝ่ายผลิตจะต้องเพิ่มปริมาณการผลิตให้มากขึ้น เพื่อให้เพียงพอกับความ
ต้องการ การไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งเป็นผู้
จำหน่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า จะต้องเพิ่มวงจรจ่ายให้เพียงพอกับความ
ต้องการด้วย ถึงแม้ว่าระบบไฟฟ้าจะออกแบบได้อย่างถูกต้อง และมีความ
เชื่อถือได้ แต่การทำงานของระบบที่ผิดปกติอาจเกิดขึ้นได้เสมอ ซึ่ง
อาจเกิดขึ้นเนื่องจากตัวอุปกรณ์ ความผิดพลาดในการปฏิบัติงานของ
บุคคล หรืออาจเกิดขึ้นจากธรรมชาติ ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีระบบ
ป้องกันที่เชื่อถือได้

งานวิศวกรรมป้องกันระบบไฟฟ้า เป็นงานที่เกี่ยวข้องกับ
ข้อมูลของวงจรจ่าย กับข้อมูลของรีเลย์จำนวนมาก เพื่อใช้ในการคำนวณ
ค่าต่างๆ เช่น การคำนวณค่าอิมพีแดนซ์ การคำนวณค่ากระแสลัดวงจร
การคำนวณค่าเซตตั้งของรีเลย์ และการตรวจสอบการจัดลำดับเวลาการ
ทำงานให้สัมพันธ์กัน เป็นต้น ดังนั้นการจัดการฐานข้อมูลจำนวนมาก
ด้วยมือเปล่า จึงเป็นงานที่ลำบาก น่าเบื่อ และเสียเวลาอย่างมาก จึงได้นำ
โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยเหลื่องานวิศวกรรมป้องกันระบบไฟฟ้า
(Computer - Aided Protection Engineering, CAPE)[2] มาช่วยในการ
จัดทำฐานข้อมูลระบบป้องกันไฟฟ้า

บทความนี้ได้นำเอาโปรแกรม CAPE มาทำการวิเคราะห์
ระบบการจัดการฐานข้อมูลของระบบไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าอ้อม มทร.
ธัญบุรี เพื่อให้โปรแกรมคำนวณค่ากระแสลัดวงจร และนำผลที่ได้จาก
การคำนวณค่ากระแสลัดวงจร ไปใช้ในการวิเคราะห์ ผลการจัดลำดับ
เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้า ซึ่งฐานข้อมูลที่ได้
สร้างไว้ในโปรแกรมสามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้กรณีมีการ
เปลี่ยนแปลงวงจรจ่าย มีการเพิ่มโหลด โดยสามารถปรับเปลี่ยนค่าเซตตั้ง
ของอุปกรณ์ป้องกันได้ โดยใช้ฐานข้อมูลที่มีอยู่ ซึ่งมีความสะดวกรวดเร็ว
ไม่ต้องคำนวณด้วยมือเปล่าซึ่งเสียเวลามาก

2. การคำนวณกระแสลัดวงจรและการจัดลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน

การคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการจัดลำดับเวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเนื่องจากจะต้องใช้ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดและกระแสลัดวงจรต่ำสุดมาพิจารณาในการกำหนดค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเพื่อหาค่าเซตคั้งที่เหมาะสม ดังนั้นจำเป็นจะต้องพิจารณาค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดและต่ำสุดที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบ ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณค่ากระแสลัดวงจรประกอบด้วย แผนภาพเส้นเดียว (Single Line Diagram) อิมพีแดนซ์แหล่งจ่าย (Source Impedance) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า โดรวิ่งพอยต์ (Driving Point) ข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในการคำนวณได้แก่ ค่าซีเค้นอิมพีแดนซ์ พิกัดกำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า การต่อขดลวดหม้อแปลง และ X/R อิมพีแดนซ์ของสายไฟฟ้าสายไฟฟ้าในแต่ละชนิดแต่ละขนาดของสาย จะมีค่าอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากัน ซึ่งหาได้จากบริษัทผู้ผลิตและจะต้องพิจารณาลักษณะการจัดวางสายในการติดตั้ง เช่น วางแบบแนวนราบ (Flat) วางแบบทรีฟอยล์ (Trifoil)

2.1 ฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง

ในระบบไฟฟ้ากำลังอาจแบ่งการลัดวงจรดังนี้

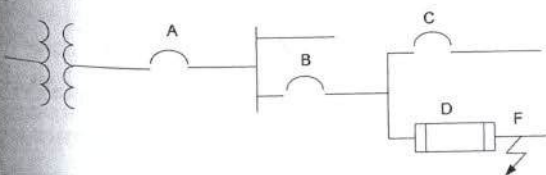
1. การลัดวงจรแบบสมมาตร (Symmetrical Fault)
2. การลัดวงจรแบบไม่สมมาตร (Unsymmetrical Fault)

การลัดวงจรไม่สมมาตร (Unsymmetrical Fault) ในระบบไฟฟ้าสามารถแบ่งได้อีก 3 ประเภท คือ

1. ฟอลต์ลงดินเส้นเดียว (Single Line to Ground Fault)
เกิดจากเฟสหนึ่งเฟสใดลัดวงจรลงสู่ดิน
2. ฟอลต์ระหว่างสาย (Line to Line Fault)
3. ฟอลต์สองสายลงดิน (Double Line to Ground Fault)

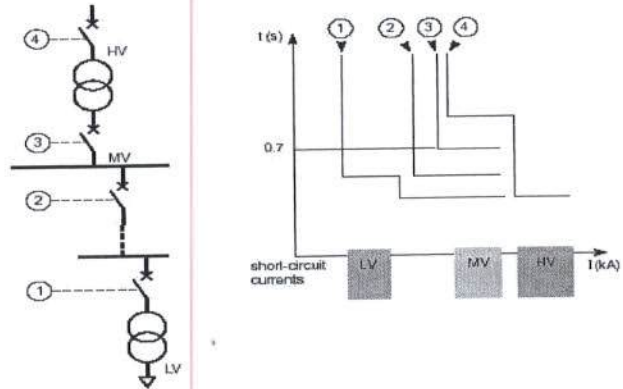
2.2 การจัดลำดับความสัมพันธ์ในการป้องกัน

ระบบการป้องกันไฟฟ้ากำลัง จำเป็นต้องจัดลำดับความสัมพันธ์ในการทำงาน เพื่อที่จะสามารถแยกแยะการทำงานในบทบาทหน้าที่ของแต่ละตัวเพื่อป้องกันระบบในส่วนที่รับผิดชอบ ดังนั้นกรณีเกิดลัดวงจรอุปกรณ์ตัวที่อยู่ใกล้จุดลัดวงจรมากที่สุด จะต้องตัดวงจรก่อนอุปกรณ์ตัวอื่นๆ ที่อยู่เหนือถัดจะทำงานไปดังรูปที่ 1 เมื่อเกิดลัดวงจรที่จุด F ฟิวส์ D จะต้องขาดก่อนเซอร์กิตเบรกเกอร์ B ทรูป ซึ่งเป็อุปกรณ์ป้องกันตัวสำรอง



รูปที่ 1 การจัดลำดับความสัมพันธ์ของการป้องกันให้ทำงานตามลำดับ

จากรูปที่ 2 เป็นหลักการจัดลำดับเวลาการทำงานระหว่างรีเลย์ป้องกันที่ระดับแรงดันต่างกัน และแรงดันเดียวกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเซตคั้งของรีเลย์ชุดที่ 2 กับ รีเลย์ชุดที่ 3 นั้นเป็นเรื่งก่อนข้างยาก เนื่องจากรีเลย์ทั้งสองชุดอยู่ใกล้กัน และมองเห็นค่ากระแสลัดวงจรค่าเท่ากัน ดังนั้นค่าเซตคั้งของรีเลย์ดังกล่าว จะต้องเซตค่าให้มีความแตกต่างกัน เพื่อให้เกิดการแยกแยะในการทำงาน และเพื่อป้องกันไม่ให้รีเลย์ทั้งสองทำงานพร้อมกัน ทั้งนี้ต้องพิจารณาช่วงเวลาล่าับให้มีความเหมาะสมด้วย ซึ่งแสดงลักษณะการเซตคั้ง [3] ดังรูป 2



รูปที่ 2 การจัดลำดับเวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันกรณีรีเลย์อยู่ใกล้กับ

ในบทความนี้อุปกรณ์ป้องกันประกอบด้วย ฟิวส์ และรีเลย์ โดยมีการปรับตั้งค่าตามมาตรฐาน IEC Standard [3]

IPCEA P-32-382 ได้กำหนดสูตรสำหรับคุณลักษณะการทนกระแสลัดวงจรของสายเคเบิลแบบมีฉนวนไว้ดังนี้

สำหรับสายเคเบิลที่ทำด้วยทองแดง

$$\left[\frac{I}{A} \right]^2 \times t = 0.0297 \times \log_{10} \frac{T_2 + 234}{T_1 + 234} \quad (1)$$

สำหรับสายเคเบิลที่ทำด้วยอะลูมิเนียม

$$\left[\frac{I}{A} \right]^2 \times t = 0.0125 \times \log_{10} \frac{T_2 + 228}{T_1 + 228} \quad (2)$$

เมื่อ

- I คือ กระแสลัดวงจรมีหน่วยเป็น แอมแปร์
- A คือ พื้นที่หน้าตัดของสาย มีหน่วยเป็น Cmil
- t คือ เวลา มีหน่วยเป็น วินาที
- T_1 คือ อุณหภูมิใช้เริ่มต้นของฉนวนสายไฟฟ้า
- T_2 คือ อุณหภูมิสุดท้ายที่สายไฟฟ้าทนได้

3. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยเหลือนงานวิศวกรรมป้องกัน (CAPE) และการเก็บรวบรวมข้อมูลของ

3.1 โครงสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยเหลือนงานวิศวกรรมป้องกัน (CAPE) [3]

โปรแกรม CAPE เป็นซอฟต์แวร์หนึ่งที่ใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์การลัดวงจร และการจัดลำดับเวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันให้สัมพันธ์กัน ประกอบด้วยโมดูลการเก็บข้อมูล การวิเคราะห์และรายงานผลต่างๆ ได้แก่ โมดูลบรรณาธิการฐานข้อมูล (Data Base Editor) โมดูลการคำนวณการลัดวงจร (Short Circuit) โมดูลการจัดลำดับเวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแบบกราฟ (Coordination Graphic) โมดูลสร้างแผนภาพระบบไฟฟ้า (One Line Diagram) โมดูลคำนวณค่าเซตคั้งของรีเลย์ (Relay Setting) โมดูลตรวจเช็คลำดับเวลาของการทำงานของรีเลย์ (Relay Checking) โมดูลจำลองระบบการทำงานจริง (System Simulator)

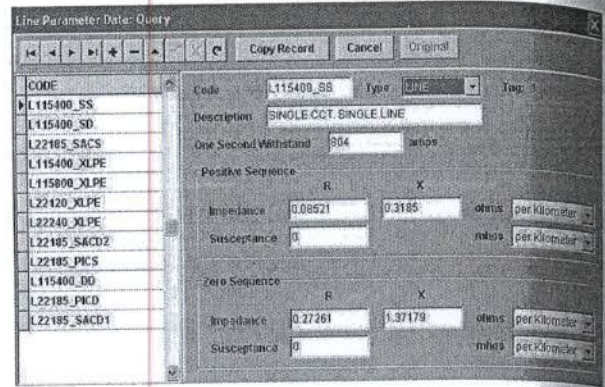
3.2 ระบบไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าย่อย มทร.ธัญบุรี

สถานีไฟฟ้าย่อย มทร.ธัญบุรี ซึ่งเป็นสถานีสมัยใหม่ ระบบไฟฟ้าเกือบทั้งหมดอยู่ในอาคาร (Indoor) และเป็นระบบที่ใช้ก๊าซ SF6 เป็นฉนวนหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าระบบ Gas Insulated Switchgear, GIS ซึ่งเป็นระบบที่ดีกว่ามีความปลอดภัย และมีความน่าเชื่อถือสูงกว่าระบบที่ติดตั้งภายนอกอาคาร สถานีไฟฟ้าประกอบด้วยหม้อแปลงกำลัง (Power Transformer) ขนาด 25 เมกกะวัตต์ รับแรงดัน 115/22 เควี จำนวน 1 ตัว และอนาคต มีโครงการเพิ่มอีก 1 ตัว เพื่อจ่ายโหลดให้กับมหาวิทยาลัย โดยมีหม้อแปลงจำหน่ายระดับแรงดัน 22,000/380 โวลต์ จำนวน 35 ตัว ลักษณะการเดินสายไฟฟ้าเป็นแบบฝังใต้ดิน (Under Ground Cable) ทั้งหมดภายในมหาวิทยาลัย รับไฟจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2 ระดับแรงดัน 115 เควี จำนวน 1 สาย ป้อนและรับไฟจากสถานีไฟฟ้าธัญบุรีอีก 1 สายป้อน ระดับแรงดัน 22 เควี เพื่อสำรองไว้กรณีฉุกเฉิน

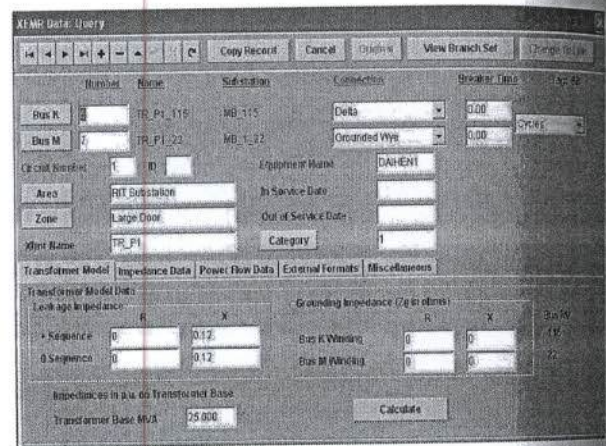
3.3 การสร้างฐานข้อมูลในบรรณาธิการฐานข้อมูลโปรแกรม CAPE

เมื่อทำการสำรวจและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า และระบบป้องกันแล้ว นำข้อมูลที่ได้อาจจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลในโปรแกรม CAPE โดยมีการจัดเก็บข้อมูลในส่วนของ Data Base Editor ตามรายการข้อมูลต่างๆ เช่น การจัดเก็บข้อมูลเครื่องกั้นเปิด การจัดเก็บข้อมูลของสาย การจัดเก็บข้อมูลหม้อแปลง การจัดเก็บข้อมูลของฟิวส์ การจัดเก็บข้อมูลค่าเซตคั้งของรีเลย์ เป็นต้น

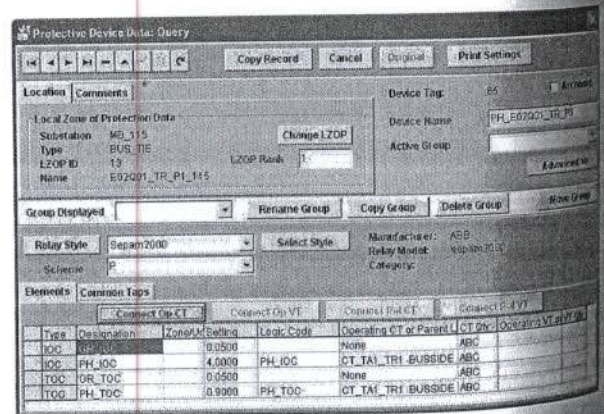
จากรูปที่ 3 คือการบันทึกข้อมูลสายส่งและสายในระบบจำหน่ายในแต่ละรูปแบบการติดตั้งพร้อมด้วยระยะทางในแต่ละช่วงของสาย รูปที่ 4 คือการนำข้อมูลพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้า ทั้งหม้อแปลงกำลังและหม้อแปลงในระบบจำหน่ายมาเก็บไว้ในฐานข้อมูลของหม้อแปลง และรูปที่ 5 คือการตั้งค่าเซตคั้งของอุปกรณ์ป้องกันในระบบ เพื่อนำข้อมูลนี้ไปใช้ประกอบในการจัดลำดับเวลาการทำงานต่อไป



รูปที่ 3 ฐานข้อมูลพารามิเตอร์สายในรูปแบบแต่ละรูปแบบการติดตั้ง



รูปที่ 4 ฐานข้อมูลหม้อแปลงกำลังและในระบบจำหน่าย



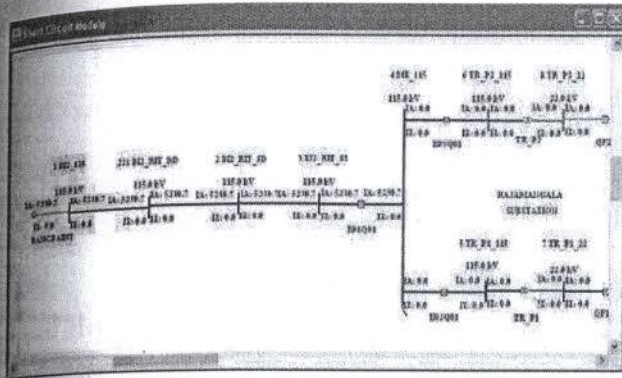
รูปที่ 5 ฐานข้อมูลอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน

4 ผลการทดลอง

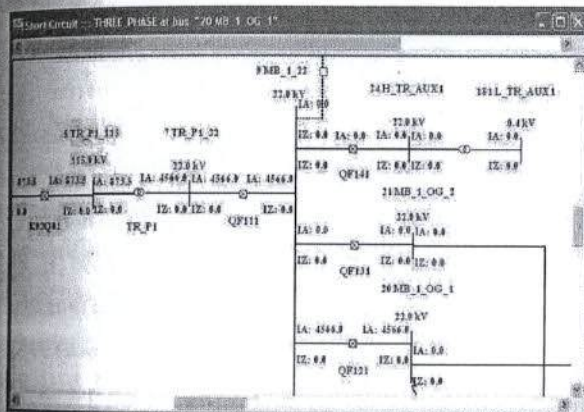
4.1 ผลการคำนวณค่ากระแสลัดวงจร

การคำนวณค่ากระแสลัดวงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ใช้ฐานข้อมูลจริงที่ได้ไปสำรวจระบบ และเลือกโมดูลการคำนวณกระแสลัดวงจร สามารถเลือกตำแหน่งที่ต้องการจำลองการลัดวงจร โดยเลือกประเภทของการลัดวงจร จากรูปที่ 6 ได้จำลองให้เกิดการลัดวงจรที่ บัส MB 115 ของระบบ

กำหนดการลัดวงจรแบบสามเฟส ได้ค่ากระแสลัดวงจร 5230.7 A และในรูปที่ 76 ได้จำลองให้เกิดการลัดวงจรที่ บัส MB_1_OG_1 ของสถานี โดยกำหนดการลัดวงจรแบบสามเฟส ได้ค่ากระแสลัดวงจร 4566.01 A

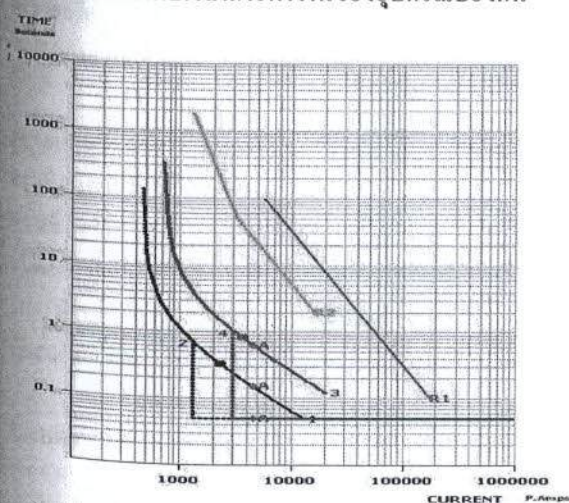


รูปที่ 6 คำนวณค่ากระแสลัดวงจรสามเฟสที่บัส MB_115

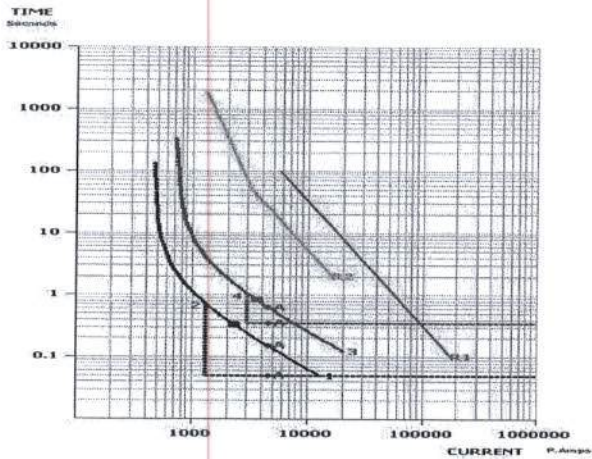


รูปที่ 7 คำนวณค่ากระแสฟอลต์สามเฟสที่บัส MB_1_OG_1

4.2 ผลการจัดลำดับเวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน



รูปที่ 8 ผลของรีเลย์ป้องกันกระแสนะหว่างคู่รีเลย์ QF121 กับ QF111 เมื่อกำหนดให้มีการลัดวงจรสามเฟสที่บัส MB_1_OG_1



รูปที่ 9 ผลของรีเลย์ป้องกันกระแสนะหว่างคู่รีเลย์ QF121 กับ QF111 กรณีกำหนดให้มีลัดวงจรสามเฟสที่บัส MB_1_OG_1 เมื่อปรับเปลี่ยนค่าเซตติง

จากผลการจัดลำดับเวลาการทำงานระหว่าง คู่รีเลย์ QF121(กราฟหมายเลข 1) กับ QF111 (กราฟหมายเลข 3) กรณีกำหนดให้มีการลัดวงจรสามเฟสที่บัส MB_1_OG_1 กระแสลัดวงจรเท่ากับ 4566.01 A ดังรูปที่ 8 R1 คือ เส้นกราฟวิบัติของหม้อแปลงขนาด 25 MVA R2 คือ เส้นกราฟวิบัติของสายตัวนำชนิด AAC ขนาด 400 ตร.มม. ซึ่งการทำงานแบบเวลาผกผันของรีเลย์ QF121 ทำงานที่เวลา 0.152 วินาที รีเลย์ QF111 ทำงานที่เวลา 0.632 วินาที ช่วงเวลาล่าช้า เท่ากับ 0.48 แต่การทำงานแบบทันทีทันใด ทั้ง 2 ตัวชุดไว้ที่ค่าเดียวกันส่งผลให้รีเลย์ทำงานพร้อมกันเนื่องจากอยู่ใกล้กันมองเห็นกระแสลัดวงจรค่าเดียวกัน จึงเสนอแนะวิธีการแก้ไขโดยการปรับค่าเวลาการทำงานแบบทันทีทันใดของรีเลย์ QF111 ให้ทำงานที่เวลา 0.35 วินาที

5. สรุป

บทความนี้ได้ทำการรวบรวมข้อมูลของระบบไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าย่อย มทร.ธัญบุรี เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการคำนวณค่ากระแสลัดวงจรในรูปแบบต่าง ๆ และนำไปใช้ในการจัดลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันให้เกิดความเหมาะสมและความปลอดภัยในการทำงาน ซึ่งต้องมีการแยกแยะการทำงานได้ระบบนี้ยังช่วยอำนวยความสะดวกในการปรับปรุงแก้ไข กรณีมีการขยายระบบในการปรับตั้งค่าเซตติงใหม่ได้อย่างรวดเร็วไม่ต้องเสียเวลามาคำนวณใหม่ และนอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้เพื่อคำนวณหาพิสัยทนกระแสลัดวงจร (Interrupting Capacity) หรือใช้หา MVA Short Circuit ของระบบที่ต้องการในการออกแบบระบบไฟฟ้าต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, "ข้อมูลค่าเซตติง", 2552.
- [2] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, "โปรแกรม CAPE", 2552
- [3] The Institute of Electrical and Electronic Engineering, "IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power System", IEEE std.242,1986.