

บทที่ 4

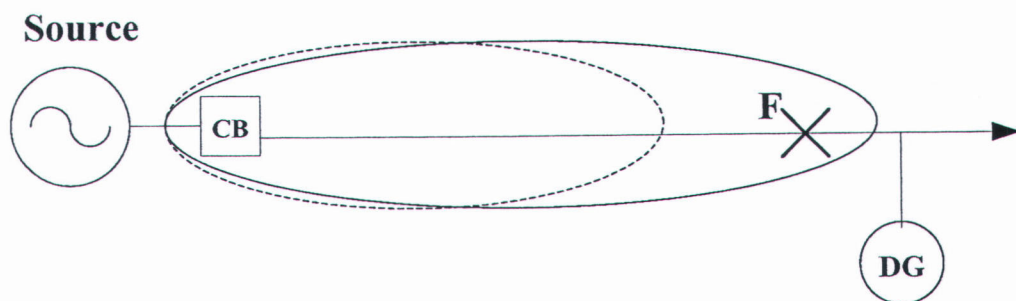
ผลกระทบของการผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

ต่ออุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

จากปัญหาที่ได้กล่าวไว้ในส่วนของบทนำ ในส่วนนี้จะมาพิจารณาถึงรูปแบบต่างๆ เมื่อทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยผลกระทบดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ติดตั้ง ขนาด และโหมดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว โดยสามารถสรุปผลกระทบต่อนุปกรณ์ป้องกันได้เป็น 2 แบบ ประกอบด้วย ผลกระทบต่อการลดขอบเขตการทำงานของรีเลย์ และผลกระทบต่อการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกัน โดยแต่ละผลกระทบแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผลกระทบต่อการลดขอบเขตการทำงานของรีเลย์ (Reduction of Reach)

จากรูปที่ 4.1 การลัดวงจรเกิดขึ้นที่จุด F รีเลย์ต้องทำงานเพื่อกำจัดการลัดวงจรออกจากระบบ ซึ่งแสดงขอบเขตการทำงานได้ตามเส้นวงรี อย่างไรก็ตามเมื่อมีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวเข้ามาในระบบ เป็นผลให้กระแสที่ไหลมาจากสถานีไฟฟ้าจะน้อยลง ทำให้ขอบเขตการทำงานของตัวรีเลย์สั้นลงแสดงได้ตามวงรีเส้นประ เมื่อเกิดการลัดวงจรที่จุด F รีเลย์จะไม่เห็นการเกิดลัดวงจร ส่งผลให้การลัดวงจรที่เกิดขึ้นจะอยู่ในระบบก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบและอุปกรณ์ในระบบได้



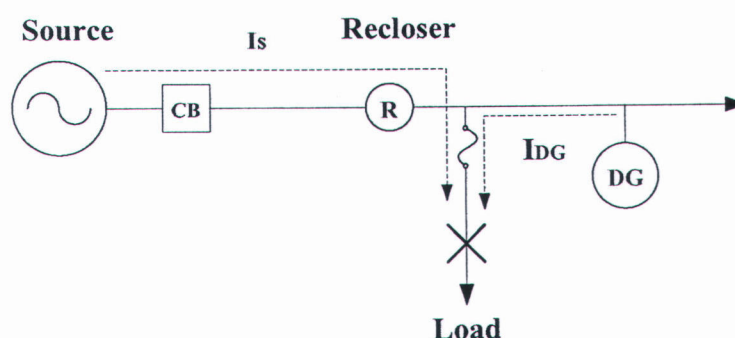
รูปที่ 4.1 การลดขอบเขตการทำงานของรีเลย์

4.2 ผลกระทบต่อการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกัน (Miscoordination of Protective Devices) [6, 8, 19]

ผลกระทบต่อการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันจะแบ่งออกเป็น การทำงานร่วมกันของฟิวส์กับรีโคสเซอร์ (รูปแบบที่ 1-4) เซอร์กิตเบรกเกอร์กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ (รูปแบบที่ 5) และ ฟิวส์กับฟิวส์ (รูปแบบที่ 6)

4.2.1 รูปแบบผลกระทบที่ 1

รูปแบบผลกระทบที่ 1 คือ ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวบนสายป้อนทางด้านหลังรีโคสเซอร์ และเกิดการลัดวงจรที่สายย่อยหลังรีโคสเซอร์ดังรูปที่ 4.2

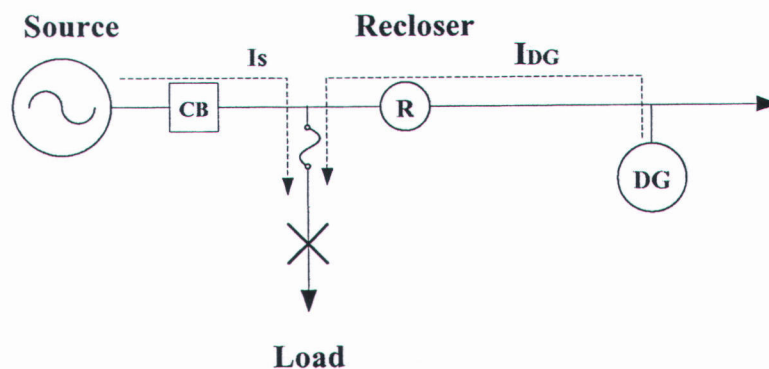


รูปที่ 4.2 การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวบนสายป้อนทางด้านหลังรีโคสเซอร์และเกิดการลัดวงจรที่สายย่อยหลังรีโคสเซอร์

จากรูปที่ 4.2 ฟิวส์จะตรวจจับเห็นกระแสลัดวงจรที่มาจากทั้งสถานีไฟฟ้าย่อย และจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว ซึ่งจะมีค่ามากกว่ารีโคสเซอร์ที่ตรวจจับกระแสลัดวงจรที่มาจากสถานีไฟฟ้าย่อยเพียงแหล่งเดียว ทำให้มีโอกาสที่ฟิวส์จะทำงานก่อนที่รีโคสเซอร์ช่วงการทำงานเร็วจะทำงาน เป็นผลให้การลัดวงจรชั่วคราวเปลี่ยนเป็นลัดวงจรถาวร ส่งผลให้โหลดบริเวณนั้นพบกับระยะเวลาไฟดับที่ยาวนานขึ้น

4.2.2 รูปแบบผลกระทบที่ 2

รูปแบบผลกระทบที่ 2 คือ ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวบนสายป้อนทางด้านหลังรีโคสเซอร์ และเกิดการลัดวงจรที่สายย่อยหน้ารีโคสเซอร์ดังรูปที่ 4.3

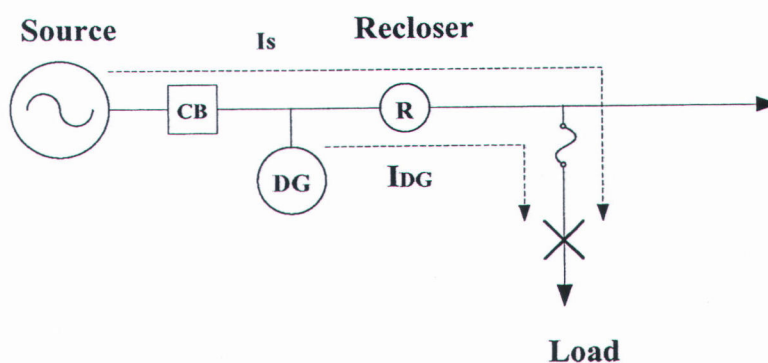


รูปที่ 4.3 การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวบนสายป้อนทางด้านหลังรีโคลสเซอร์ และเกิดการลัดวงจรที่สายย่อยหน้ารีโคลสเซอร์

จากรูปที่ 4.3 เมื่อทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่สายป้อนหลังรีโคลสเซอร์และเกิดการลัดวงจรที่หน้ารีโคลสเซอร์ จะเกิดกระแสลัดวงจรไหลย้อนผ่านรีโคลสเซอร์มาที่จุดเกิดลัดวงจร ถ้ากระแสลัดวงจรไหลย้อนมีค่ามากพอที่จะทำให้รีโคลสเซอร์ช่วงการทำงานเร็วทำงานก่อนที่ฟิวส์จะทำงาน จะส่งผลให้โหลดบริเวณหลังรีโคลสเซอร์ถูกตัดวงจรออกโดยไม่จำเป็น จากปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้สองวิธี คือโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์รีโคลสเซอร์ให้สามารถตรวจวัดทิศทางของกระแสผิดพลาดได้ หรือการกำหนดเวลาให้รีโคลสเซอร์การทำงานแบบเร็วทำงานช้ากว่าฟิวส์จะทำงาน

4.2.3 รูปแบบผลกระทบที่ 3

รูปแบบผลกระทบที่ 3 คือ ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวบนสายป้อนทางด้านหน้ารีโคลสเซอร์ และ เกิดการลัดวงจรที่สายย่อยหลังรีโคลสเซอร์ดังรูปที่ 4.4

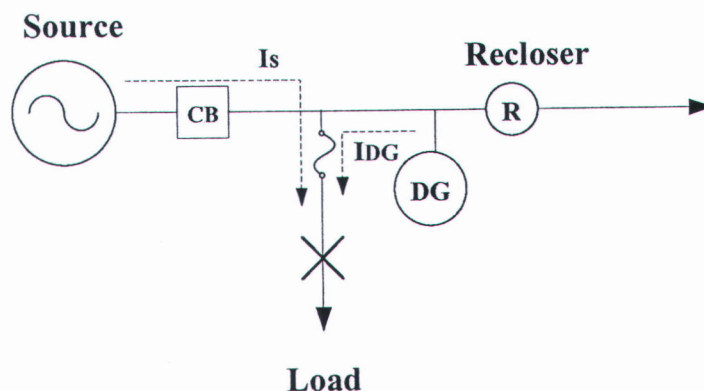


รูปที่ 4.4 การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวบนสายป้อนทางด้านหน้ารีโคลสเซอร์ และเกิดการลัดวงจรที่สายย่อยหลังรีโคลสเซอร์

จากรูปที่ 4.4 เมื่อทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวบนสายป้อนด้านหน้ารีโคลสเซอร์ และเกิดการลัดวงจรที่หลังรีโคลสเซอร์ ทั้งรีโคลสเซอร์และฟิวส์จะเห็นกระแสลัดวงจรในปริมาณที่เท่ากัน คือ กระแสลัดวงจรที่มาจากสถานีไฟฟ้าย่อย และจากตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว ถ้ากระแสลัดวงจรที่มาจากทั้งสองแหล่งกำเนิดมีค่ามากกว่าค่ากระแสสูงสุดของช่วงขอบเขตในการทำงานร่วมกันของฟิวส์กับรีโคลสเซอร์ จะทำให้ลำดับการทำงานของทั้งสองเปลี่ยนแปลงไป เป็นผลทำให้ฟิวส์จะทำงานก่อนรีโคลสเซอร์ช่วงการทำงานเร็วซึ่งเป็นลำดับการทำงานที่ผิดพลาด

4.2.4 รูปแบบผลกระทบที่ 4

รูปแบบผลกระทบที่ 4 คือ ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวบนสายป้อนทางด้านหน้ารีโคลสเซอร์ และเกิดการลัดวงจรที่สายย่อยหน้ารีโคลสเซอร์ดังรูปที่ 4.5

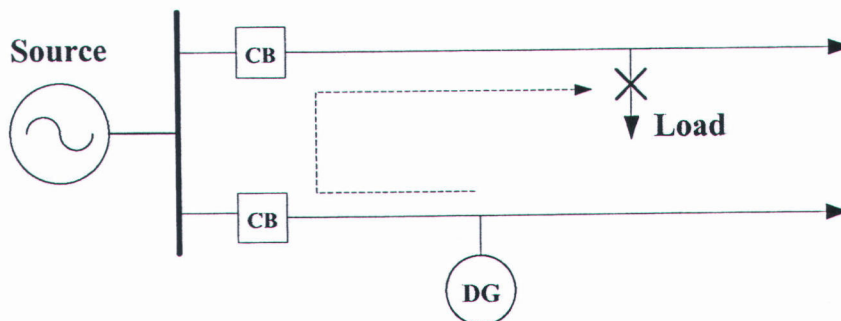


รูปที่ 4.5 การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวบนสายป้อนทางด้านหน้ารีโคลสเซอร์และเกิดการลัดวงจรที่สายย่อยหน้ารีโคลสเซอร์

จากรูปที่ 4.5 เมื่อทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวบนสายป้อนหน้ารีโคลสเซอร์ และเกิดการลัดวงจรที่หน้ารีโคลสเซอร์ ในรูปแบบนี้จะมีกระแสลัดวงจรไหลผ่านน้อยมากหรือไม่มีการลัดวงจรไหลผ่านรีโคลสเซอร์ ทำให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง อย่างไรก็ตาม กระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านฟิวส์นั้น จะมีค่าเพิ่มขึ้นจากตอนที่ยังไม่มีติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว ดังนั้นกระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านฟิวส์ควรไม่เกิดค่าพิกัดที่ฟิวส์จะทนได้เพื่อเป็นการป้องกันการระเบิดของฟิวส์ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อสายส่งหรืออุปกรณ์ตัวอื่นที่อยู่ใกล้เคียงหรือการเสียหายต่อระบบกักเก็บฟิวส์เอง

4.2.5 รูปแบบผลกระทบที่ 5

รูปแบบผลกระทบที่ 5 คือ การเกิดการลัดวงจรที่สายป้อนคนละเส้นกับสายป้อนที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวดังรูปที่ 4.6 รูปแบบที่ 5 นี้สามารถเรียกชื่อได้เป็น Sympathetic tripping of feeder

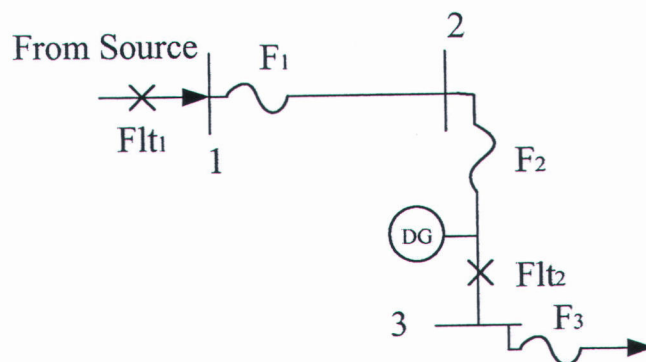


รูปที่ 4.6 การเกิดการลัดวงจรคนละสายป้อนกับที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว

จากรูปที่ 4.6 จุดเกิดการลัดวงจรอยู่บนคนละสายป้อนกับสายป้อนที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว รูปแบบนี้จะเกิดกระแสไหลผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์ในสายป้อนด้านล่างที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว ไปยังจุดเกิดลัดวงจรของอีกสายป้อนหนึ่ง ถ้ากระแสลัดวงจรที่ผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านล่างมากพอที่จะทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงาน จะส่งผลให้โหลดบริเวณสายป้อนด้านล่างถูกตัดออกจากระบบ และอาจจะเกิดกรณีของการแยกตัวเป็นอิสระได้

4.2.6 รูปแบบผลกระทบที่ 6

รูปแบบผลกระทบที่ 6 คือ เมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นที่ $F1_t$ หรือ ที่ $F1_t$ โดยมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวติดตั้งระหว่างบัส 2 กับบัส 3



รูปที่ 4.7 การทำงานร่วมกันผิดพลาดของฟิวส์กับฟิวส์

จากรูปที่ 4.7 ก่อนการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวฟิวส์ F_1 กับ F_2 จะถูกกำหนดให้มีการทำงานร่วมกัน โดยเมื่อเกิดการลัดวงจรที่ F_{L2} ฟิวส์ F_2 ควรทำงานก่อน ฟิวส์ F_1 อย่างไรก็ดีเมื่อมีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวเข้ามาในระบบ และเกิดการลัดวงจรในส่วนของบัส 2-3 ฟิวส์ทั้งสองตัวจะเห็นค่ากระแสค่าเดียวกัน ซึ่งเป็นไม่ได้ที่จะให้ฟิวส์ F_2 ตัดก่อน F_1 ได้

จากผลกระทบต่อระบบป้องกันที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาเฉพาะกรณีที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานร่วมกันของฟิวส์กับรีโคสเซอร์ เพราะกรณีดังกล่าวเกิดขึ้นมากที่สุด นั่นคือรูปแบบผลกระทบที่ 1-4 และจากรูปแบบผลกระทบที่ 1-4 สามารถสรุปกระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านตัวฟิวส์และรีโคสเซอร์ตามแต่ละรูปแบบได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 กระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านรีโคสเซอร์และฟิวส์ในแต่ละรูปแบบ

รูปแบบที่	ตำแหน่งติดตั้ง	ตำแหน่งเกิดลัดวงจร	กระแสลัดวงจร
1	หลังรีโคสเซอร์	หลังรีโคสเซอร์	$I_R = I_S$ $I_f = I_S + I_{DG}$
2	หลังรีโคสเซอร์	หน้ารีโคสเซอร์	$I_R = I_{DG}$ $I_f = I_S + I_{DG}$
3	หน้ารีโคสเซอร์	หลังรีโคสเซอร์	$I_R = I_S + I_{DG} = I_f$
4	หน้ารีโคสเซอร์	หน้ารีโคสเซอร์	$I_R = 0$ $I_f = I_S + I_{DG}$

โดย

I_R คือ กระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านรีโคสเซอร์

I_f คือ กระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านฟิวส์

I_S คือ กระแสลัดวงจรจากสถานีไฟฟ้า

I_{DG} คือ กระแสลัดวงจรจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว

4.3 การกำหนดเงื่อนไขจำกัดทางคณิตศาสตร์เพื่อป้องกันผลกระทบของเครื่องกำเนิด

ไฟฟ้าแบบกระจายตัวต่อการทำงานร่วมกันของฟิวส์กับรีโคลสเซอร์

จากรูปแบบปัญหาต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อระบบป้องกันจากหัวข้อที่ 4.2 ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเลือกพิจารณา รูปแบบที่มีผลกระทบต่อการทำงานร่วมกันของฟิวส์กับรีโคลสเซอร์เท่านั้น ซึ่งคือ รูปแบบผลกระทบที่ 1-4 อย่างไรก็ตาม รูปแบบผลกระทบที่ 4 นั้นไม่มีกระแสลัดวงจรไหลผ่านรีโคลสเซอร์หรือไหลผ่านน้อยมาก ดังนั้นจึงไม่ก่อปัญหาในการทำงานร่วมกันของฟิวส์กับรีโคลสเซอร์ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงพิจารณา รูปแบบผลกระทบที่ 1-3 เป็นเงื่อนไขในการหาขนาดกำลังผลิตสูงสุดที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว ซึ่งแต่ละรูปแบบสามารถกำหนดเงื่อนไขจำกัดทางคณิตศาสตร์ได้ดังต่อไปนี้

4.3.1 รูปแบบผลกระทบที่ 1

รูปแบบผลกระทบที่ 1 กระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านฟิวส์จะมีค่ามากกว่ารีโคลสเซอร์ เป็นผลให้มีโอกาสที่ฟิวส์จะทำงานก่อนรีโคลสเซอร์ช่วงการทำงานเร็วได้ ดังนั้นเพื่อที่จะไม่ให้เกิดเหตุการณ์ดังกล่าวขึ้น ค่ากระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านฟิวส์ต้องไม่เกิดค่าขอบเขตการทำงานของฟิวส์ ($I_{fuse\ margin}$) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.8 โดย $I_{fuse\ margin}$ คือค่ากระแสที่ไหลผ่านฟิวส์ที่ทำให้ฟิวส์และรีโคลสเซอร์ทำงานพร้อมกัน ซึ่งค่าดังกล่าวหาได้จากสมการที่ (4.1) และค่า Margin ที่แสดงในรูปที่ 4.8 คือค่าผลต่างของกระแสที่ผ่านรีโคลสเซอร์ (Recloser current) กับกระแสที่ไหลผ่านฟิวส์ (Fuse current) ดังนั้นเงื่อนไขในรูปแบบที่ 1 แสดงได้ดังสมการที่ (4.2)

$$I_{fuse\ margin} = 10^{((\log(t_{R,f}) - b)/a)} \quad (4.1)$$

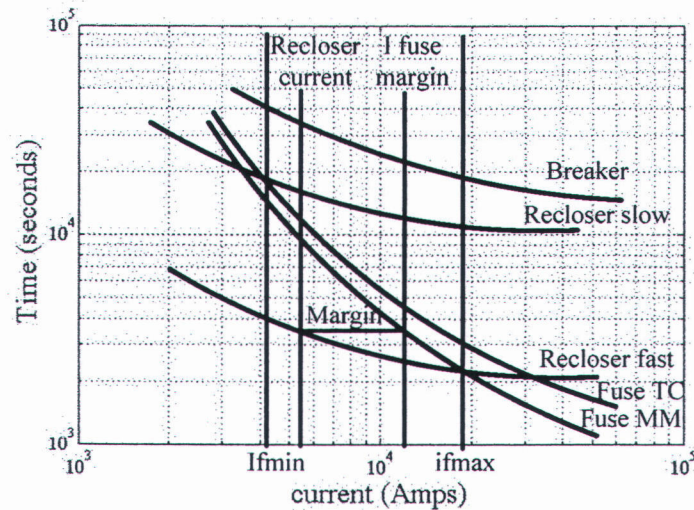
$$I_f \leq I_{fuse\ margin} \quad (4.2)$$

โดย

$t_{R,f}$ คือ เวลาในการทำงานของรีโคลสเซอร์ช่วงการทำงานแบบเร็ว

a, b คือ สัมประสิทธิ์คุณลักษณะของฟิวส์

I_f คือ กระแสที่ไหลผ่านฟิวส์



รูปที่ 4.8 การทำงานร่วมกันของฟิวส์กับรีโคลสเซอร์ในรูปแบบผลกระทบที่ 1

4.3.2 รูปแบบผลกระทบที่ 2

รูปแบบผลกระทบที่ 2 รีโคลสเซอร์จะมองเห็นกระแสไหลย้อนจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวมายังจุดเกิดการลัดวงจร ซึ่งอาจจะทำให้รีโคลสเซอร์ช่วงการทำงานเร็วทำงานก่อนฟิวส์ขึ้นได้ ดังนั้นสมการเงื่อนไขจึงกำหนดให้เวลาที่เริ่มหลอมละลายของฟิวส์ต้องน้อยกว่าเวลารีโคลสเซอร์ช่วงการทำงานเร็ว สามารถแสดงสมการได้ดังต่อไปนี้

$$MMt_{fuse}(I_f) \leq t_{R,f}(I_R) \quad (4.3)$$

โดย

$t_{R,f}(I_R)$ คือ เวลาทำงานของรีโคลสเซอร์ช่วงการทำงานเร็ว

$t_{fuse} MM(I_f)$ คือ เวลาเริ่มหลอมละลายของฟิวส์

4.3.3 รูปแบบผลกระทบที่ 3

รูปแบบผลกระทบที่ 3 ในรูปแบบนี้ค่ากระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านฟิวส์และรีโคลสเซอร์เป็นค่าเดียวกัน อย่างไรก็ตามค่ากระแสลัดวงจรที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวต้องไม่เกินขอบเขตการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ทั้งสอง โดยในรูปแบบนี้รีโคลสเซอร์ช่วงการทำงานแบบเร็วต้องทำงานก่อนที่ฟิวส์จะทำงาน ดังนั้นสมการเงื่อนไขจึงกำหนดให้เวลาในการทำงานของรีโคลสเซอร์ช่วงการทำงานเร็วต้องน้อยกว่าเวลาที่ฟิวส์ทำงาน สามารถแสดงสมการได้ดังต่อไปนี้

$$t_{R,f}(I_R) \leq MMt_{fuse}(I_f) \quad (4.4)$$

4.4 ขั้นตอนในการตรวจสอบการทำงานร่วมกันของฟิวส์และรีโคสเซอร์

การทำงานร่วมกันของฟิวส์กับรีโคสเซอร์จะแบ่งแยกออกเป็น 2 กรณี คือกรณีที่การลัดวงจรเกิดขึ้นที่สายย่อยหน้ารีโคสเซอร์ กับกรณีที่การลัดวงจรเกิดขึ้นที่สายย่อยหลังรีโคสเซอร์

1) การลัดวงจรเกิดขึ้นที่สายย่อยหน้ารีโคสเซอร์ อุปกรณ์ป้องกันที่ควรจะทำก่อนคือฟิวส์ การทำงานแบบนี้จะเรียกว่า (Fuse blowing scheme)

2) การลัดวงจรเกิดขึ้นที่สายย่อยหลังรีโคสเซอร์ อุปกรณ์ป้องกันที่ควรจะทำก่อนคือรีโคสเซอร์ช่วงการทำงานเร็วเพื่อกำจัดการลัดวงจรชั่วคราวออกจากระบบ การทำงานแบบนี้จะเรียกว่า (Fuse saving scheme) อย่างไรก็ตามถ้าการลัดวงจรดังกล่าวเป็นการลัดวงจรถาวร อุปกรณ์ตัวถัดไปที่จะต้องทำงานก่อนคือ ฟิวส์ ซึ่งควรจะทำก่อนรีโคสเซอร์ช่วงการทำงานช้า

จากลำดับการทำงานร่วมกันของฟิวส์กับรีโคสเซอร์ที่กล่าวไว้ข้างต้นนั้น จะถูกนำมาพิจารณาลำดับการทำงานร่วมกันของฟิวส์กับรีโคสเซอร์หลังจากมีการเชื่อมต่อการผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเข้ามาในระบบ เพื่อพิจารณาว่าเกิดการการทำงานร่วมกันที่ผิดพลาดหรือไม่ โดยขั้นตอนในการพิจารณามีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดตำแหน่งการลัดวงจร โดยพิจารณาดำแหน่งการลัดวงจร 2 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่อยู่หลังฟิวส์ และตำแหน่งบัสที่อยู่หน้าหม้อแปลงแรงดันต่ำ อย่างไรก็ตามค่าอิมพีแดนซ์ของฟิวส์ถือว่าน้อยมาก ดังนั้นการพิจารณาการลัดวงจรที่ตำแหน่งหลังฟิวส์จะทำการพิจารณาที่บัสของสายป้อนหลักที่สายย่อยนั้นเชื่อมต่ออยู่

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาดำแหน่งเกิดการลัดวงจร ว่าเกิดการลัดวงจรที่สายย่อยหน้ารีโคสเซอร์ หรือหลังรีโคสเซอร์ โดยจะทำการพิจารณาดำแหน่งเกิดลัดวงจรในสายย่อยเท่านั้น

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณาเวลาในการทำงานของฟิวส์และรีโคสเซอร์

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบลำดับการทำงานของฟิวส์กับรีโคสเซอร์ว่าถูกต้องตามเงื่อนไขของตำแหน่งการลัดวงจรในขั้นตอนที่ 1 หรือไม่ ถ้าลำดับการทำงานถูกต้องตามที่กำหนดไว้จะถือว่าไม่เกิดการการทำงานร่วมกันที่ผิดพลาด อย่างไรก็ตามถ้าลำดับการทำงานไม่เป็นไปตามที่กำหนดไว้จะถือว่าเกิดการการทำงานร่วมกันของฟิวส์กับรีโคสเซอร์ผิดพลาด

ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบว่ามีการพิจารณาดำแหน่งเกิดลัดวงจรครบทุกสายย่อยในระบบแล้วหรือไม่ ถ้าไม่กลับไปขั้นตอนที่ 1 ถ้าครบแล้วจะจบการพิจารณาและได้ข้อสรุปผลว่า เมื่อมีการ

เชื่อมต่อการผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเข้ามาในระบบ และเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่งไหนบ้าง ที่ส่งผลให้เกิดการทำงานร่วมกันของฟิวส์กับรีโคสเซอร์ที่ผิดพลาด

4.5 แนวทางการแก้ปัญหาการทำงานร่วมกันที่ผิดพลาดของฟิวส์กับรีโคสเซอร์

จากรูปแบบปัญหาต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ จากหัวข้อที่ 4.2 ในหัวข้อนี้จะเป็นการกล่าวถึงวิธีแก้ปัญหาที่เสนอไว้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยการแก้ปัญหาสำหรับกรณีที่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวเข้าไปในระบบไฟฟ้า ซึ่งมีผลให้กระแสลัดวงจรในระบบเพิ่มขึ้น ทำให้การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันอาจผิดพลาดขึ้นได้ ตามมาตรฐาน IEEE 1547-2008 กำหนดไว้ว่า ต้องทำการตัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวออกจากระบบทันทีที่เกิดลัดวงจรขึ้นในระบบ หรือ เกิดขึ้นที่กับตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเอง อย่างไรก็ตามไม่สามารถที่ทราบแน่ชัดได้ว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวจะสามารถตัดออกจากระบบก่อนที่อุปกรณ์ป้องกันตัวอื่นในระบบจะทำงาน ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอแนวทางการแก้ปัญหา 2 วิธี คือการหาขนาดกำลังผลิตสูงสุดที่เหมาะสมที่ยังทำให้การทำงานร่วมกันของฟิวส์กับรีโคสเซอร์ได้อย่างถูกต้อง และการปรับเปลี่ยนระบบป้องกัน สำหรับวิธีการหาขนาดกำลังผลิตสูงสุดที่เหมาะสมจะอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.5.1 และการปรับเปลี่ยนระบบป้องกัน อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.5.2

4.5.1 การหาขนาดกำลังผลิตสูงสุดที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวโดยคำนึงถึงการทำงานร่วมกันของฟิวส์กับรีโคสเซอร์

วิธีการนี้จะเป็นการพิจารณาการหาขนาดกำลังผลิตสูงสุดที่เหมาะสม เมื่อติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วยขนาดดังกล่าวแล้ว จะไม่ก่อให้เกิดปัญหาการทำงานร่วมกันที่ผิดพลาดของฟิวส์กับรีโคสเซอร์ ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางการแก้ไขปัญหา หรือเพื่อเป็นการบ่งบอกให้ทางการไฟฟ้ารู้ว่าถ้ามีขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว เกินจากขนาดดังกล่าวนี้ติดตั้งเข้ามาในระบบ อาจส่งผลให้เกิดการทำงานที่ผิดพลาดของฟิวส์กับรีโคสเซอร์นี้ได้ อย่างไรก็ตามค่าขนาดกำลังผลิตสูงสุดที่ได้นี้จะพิจารณาการทำงานร่วมกันที่ผิดพลาดเป็นหลัก ดังนั้นอาจจะมีโอกาสส่งผลกระทบทางด้านอื่นได้บ้าง อย่างไรก็ตามถ้าสนใจแค่ปัญหาการทำงานร่วมกันที่ผิดพลาดของฟิวส์กับรีโคสเซอร์ก็สามารถนำแนวทางนี้ไปใช้ได้ หรือถ้าต้องการพิจารณาผลกระทบทางด้านอื่น ก็สามารถนำแนวทางนี้ไปประยุกต์ต่อได้ โดยการเพิ่มเงื่อนไขตามแต่ผลกระทบที่ต้องการ ข้อดีสำหรับวิธีนี้จะลดความซับซ้อนในการแก้ปัญหา อย่างไรก็ตามก็มีข้อเสียด้วยกันคือ การจำกัดขนาดอาจจะเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติ

สำหรับแนวทางการแก้ปัญหาด้วยวิธีนี้จะอาศัยการแก้ปัญหาค่าเหมาะสม (Optimization problem) โดยมีฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective function) และเงื่อนไข (Constraints) ดังต่อไปนี้

ฟังก์ชันจุดประสงค์

$$\text{Max} : S_{DG} \quad (4.5)$$

โดย S_{DG} คือกำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว

สำหรับเงื่อนไขจะแบ่งออกไป 5 กลุ่ม ประกอบด้วย เงื่อนไขการไหลของกำลังไฟฟ้า เงื่อนไขการจำกัดกำลังไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้า เงื่อนไขจำกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว เงื่อนไขของแรงดันไฟฟ้าแต่ละบัส และ เงื่อนไขการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันในแต่ละรูปแบบปัญหา แต่ละเงื่อนไขแสดงได้ดังสมการที่ (4.6)-(4.13)

เงื่อนไขการไหลของกำลังไฟฟ้า

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \dots \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \dots \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

เงื่อนไขการจำกัดกำลังไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าย่อย

$$|S_{sub}| \leq S_{sub,limit} \quad (4.7)$$

โดย S_{sub} $S_{sub,limit}$ คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏของสถานีไฟฟ้าย่อย และ ค่าจำกัดของกำลังไฟฟ้าปรากฏของสถานีไฟฟ้าย่อย

เงื่อนไขการจำกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว

$$S_{DG,min} \leq S_{DG} \leq S_{DG,max} \quad (4.8)$$

โดย $S_{DG,min}$ $S_{DG,max}$ คือ ค่าจำกัดขนาดกำลังผลิตต่ำสุด และค่าจำกัดขนาดกำลังผลิตสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว

เงื่อนไขกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลในสายส่ง

$$|S_{mn}| \leq S_{mn,limit} \quad (4.9)$$

โดย S_{mn} $S_{mn,limit}$ คือ การไหลของกำลังไฟฟ้าปรากฏจากสายส่ง m ไป n และ ค่าจำกัดการไหลของกำลังไฟฟ้าปรากฏจากสายส่ง m ไป n

เงื่อนไขของแรงดันไฟฟ้าแต่ละบัส

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{max} \quad (4.10)$$

โดย i V_i V_{min} V_{max} คือ ค่าแรงดันที่บัสต่างๆ ค่าแรงดันที่บัส i ค่าจำกัดแรงดันที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้ และค่าจำกัดแรงดันที่มากที่สุดที่ยอมรับได้ ตามลำดับ

เงื่อนไขการทำงานร่วมกันของฟิวส์กับรีโคลสเซอร์ ซึ่งนำมาจากจากหัวข้อที่ 4.3 มีดังต่อไปนี้

รูปแบบผลกระทบที่ 1

$$I_f \leq I_{fuse, margin} \quad (4.11)$$

รูปแบบผลกระทบที่ 2

$$MMt_{fuse}(I_f) \leq t_{R,f}(I_R) \quad (4.12)$$

รูปแบบผลกระทบที่ 3

$$t_{R,f}(I_R) \leq MMt_{fuse}(I_f) \quad (4.13)$$

4.5.1.1 กระบวนการหาขนาดกำลังผลิตสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวโดยคำนึงถึงการทำงานร่วมกันของฟิวส์กับรีโคลสเซอร์

จากหัวข้อที่ 4.5.1 ได้อธิบายเกี่ยวกับฟังก์ชันจุดประสงค์ที่ต้องการหาค่าความเหมาะสม โดยมีเงื่อนไขต่างๆ สำหรับในหัวข้อนี้จะเป็นการอธิบายถึงกระบวนการในการหาขนาดกำลังผลิตที่เหมาะสม ซึ่งขั้นตอนของกระบวนการมีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ป้อนข้อมูลของระบบที่จะทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่น อิมพีแดนซ์ของสายส่ง ค่าโหลดแต่ละจุดโหลด เป็นต้น รวมถึงข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว เช่นค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 2 ทำการคำนวณหาค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าในแต่ละสายส่งของระบบ เพื่อที่จะนำไปคำนวณค่ากระแสลัดวงจรแต่ละประเภทการลัดวงจรที่พิจารณา เมื่อทราบค่ากระแสลัดวงจรในแต่ละบัสและกระแสลัดวงจรที่ไหลในแต่ละสายป้อนแล้ว จะนำไปเลือกขนาดของอุปกรณ์ป้องกันรวมถึงตั้งค่าการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์แต่ละตัว

ขั้นตอนที่ 3 ทำการตรวจสอบลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันว่าลำดับการทำงานถูกต้องหรือไม่ โดยพิจารณาการลัดวงจรแต่ละจุดแล้วตรวจสอบลำดับการทำงานว่าถูกต้องครบทุกจุดเกิดการลัดวงจรหรือไม่ ถ้าถูกต้องครบทุกจุดการลัดวงจรไปขั้นตอนที่ 4 อย่างไรก็ตามถ้ายังไม่ถูกต้องครบทุกจุดจะกลับไปทำงานตั้งค่าการทำงานใหม่ในขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 4 เลือกตำแหน่งที่จะติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว ในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว โดยกำหนดให้มีการติดตั้งที่สายป้อนหลักเพียงอย่างเดียว และทำการติดตั้งเพียงเครื่องเดียวเท่านั้น

ขั้นตอนที่ 5 สมมติให้การลัดวงจรเกิดขึ้นที่บัส k ของสายส่งย่อย โดยพิจารณาการเกิดลัดวงจรที่สายย่อยเท่านั้น

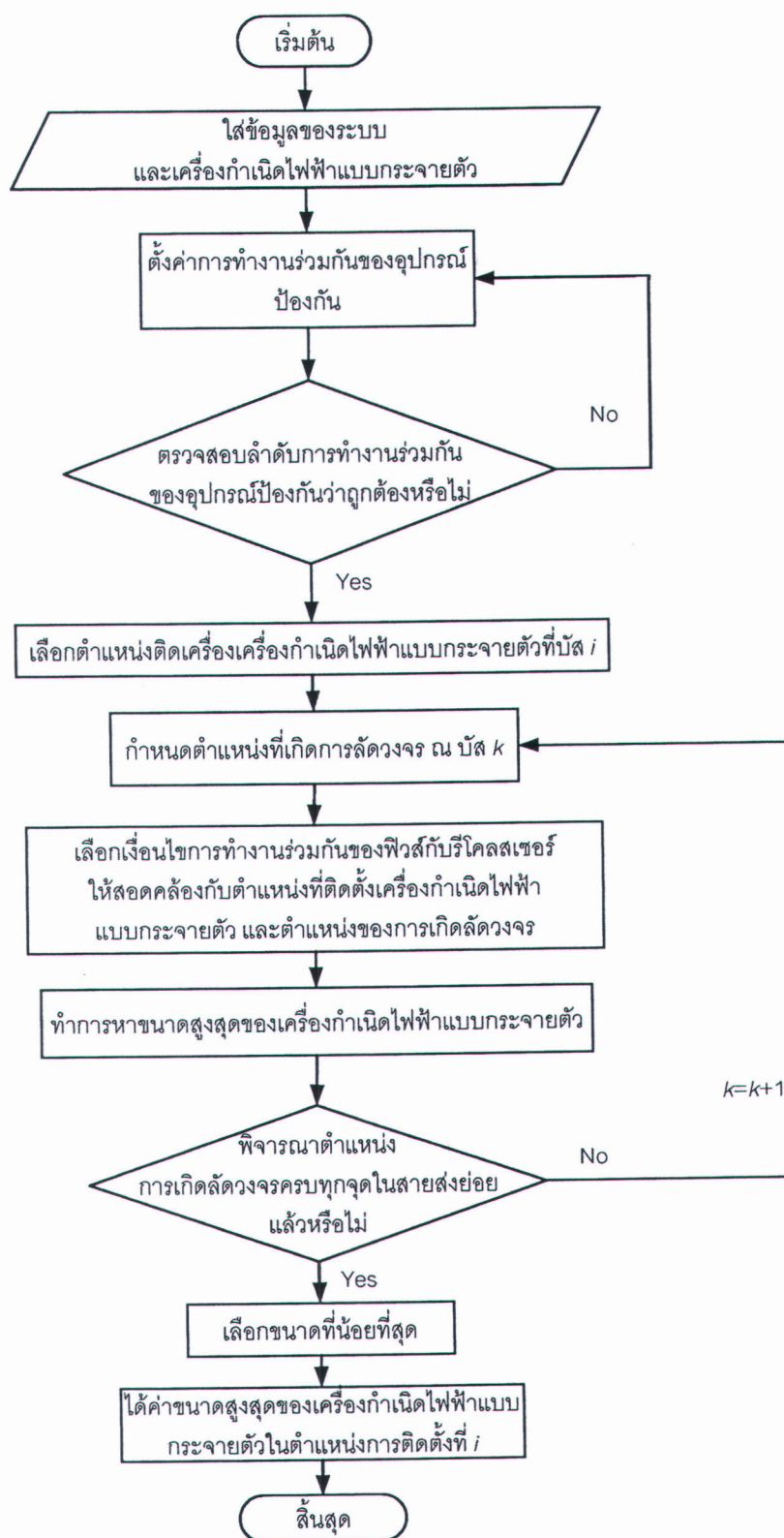
ขั้นตอนที่ 6 เลือกเงื่อนไขการทำงานร่วมกันของฟิวส์กับรีโคสเซอร์ให้สอดคล้องกับตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว (ขั้นตอนที่ 4) และตำแหน่งของการเกิดลัดวงจร (ขั้นตอนที่ 5)

ขั้นตอนที่ 7 เข้ากระบวนการการหาขนาดสูงสุดที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 8 ทำการตรวจสอบ ว่าพิจารณาตำแหน่งในการเกิดลัดวงจรครบทุกจุดในสายส่งย่อยแล้วหรือไม่ ถ้ายังกลับไปขั้นตอนที่ 5

ขั้นตอนที่ 9 เมื่อพิจารณาตำแหน่งในการเกิดลัดวงจรครบทุกจุดในสายส่งย่อยแล้ว จะทำการเลือกขนาดที่น้อยที่สุด ที่ได้มาจากการหาขนาดสูงสุดที่เหมาะสม ทั้งนี้ทำการเลือกขนาดที่น้อยที่สุดเพื่อเป็นการยืนยันว่าไม่ว่าจะเกิดลัดวงจรที่ตำแหน่งไหน จะไม่ก่อให้เกิดปัญหาการทำงานร่วมกันที่ผิดพลาดของฟิวส์กับรีโคสเซอร์ได้ ในขั้นตอนนี้จะได้ขนาดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตำแหน่งที่เลือกไว้ในขั้นตอนที่ 4

จากขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้วสามารถแสดงเป็นผังกระบวนการได้รูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กระบวนการหาขนาดกำลังผลิตสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว

4.5.2 การปรับเปลี่ยนระบบป้องกัน

การปรับเปลี่ยนการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน จะเป็นการปรับปรุงแก้ไขกราฟคุณลักษณะของตัวรีโคสเซอร์ หรือการเปลี่ยนการตั้งค่าการทำงาน อย่างไรก็ตามสำหรับบางกรณีที่ไม่สามารถที่จะทำงานปรับเปลี่ยนการทำงานของรีโคสเซอร์ได้ เนื่องจากเมื่อทำการปรับเปลี่ยนการทำงานของรีโคสเซอร์เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวแล้ว กลับส่งผลให้การทำงานร่วมกันของฟิวส์และรีโคสเซอร์ในตำแหน่งเกิดการลัดวงจรอื่นผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นจึงพิจารณาการเปลี่ยนขนาดของฟิวส์ร่วมด้วยเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว สำหรับข้อดีของวิธีนี้คือ ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าสามารถเชื่อมต่อได้ตามต้องการ อย่างไรก็ตามข้อเสียของวิธีนี้คือ มีความยุ่งยากซับซ้อนในการปรับเปลี่ยนการทำงาน ยิ่งระบบมีขนาดใหญ่มากเท่าไร จะมีความยากในการตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันมากยิ่งขึ้น กระบวนการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันจะอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.5.2.1.1 ดังนี้

4.5.2.1.1 กระบวนการปรับเปลี่ยนระบบป้องกัน

ในหัวข้อนี้จะเป็นการอธิบายกระบวนการในการปรับเปลี่ยนระบบป้องกัน ซึ่งขั้นตอนของกระบวนการมีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นว่าเกิดจากสาเหตุใด โดยแบ่งสาเหตุหลักออกเป็น 2 สาเหตุคือ กระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นเกินค่ากระแสสูงสุดของขอบเขตการทำงานร่วมกัน (I_{fmax} จากรูปที่ 3.7) หรือกระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านอุปกรณ์ตัวนั้นๆ น้อยกว่าค่าขอบเขตการทำงานร่วมกัน (I_{fmin} จากรูปที่ 3.7) โดยทั้งสองสาเหตุนี้เป็นสาเหตุที่ทำให้ลำดับการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนไป ส่งผลให้เกิดการทำงานผิดพลาดได้

ขั้นตอนที่ 2 ทำการปรับเปลี่ยนการทำงานของตัวรีโคสเซอร์ เมื่อทราบสาเหตุจากขั้นตอนที่ 1 แล้วจะทำงานปรับเปลี่ยนการทำงานของรีโคสเซอร์ตามสาเหตุจากขั้นตอนที่ 1 ดังนี้

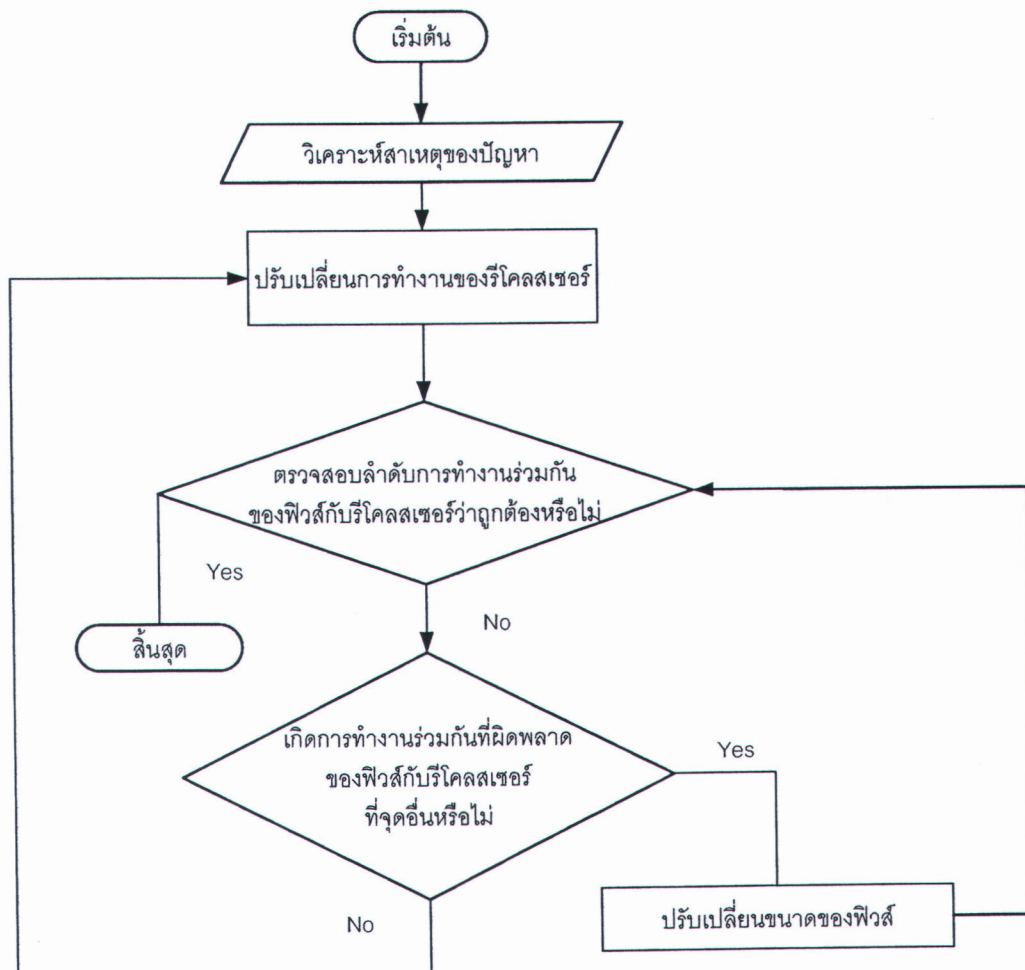
กระแสลัดวงจรเกินค่าสูงสุดการทำงานร่วมกัน จะทำการปรับเปลี่ยนการทำงานของรีโคสเซอร์ให้มีความไวมากขึ้น หรือทำการปรับเปลี่ยนกราฟคุณลักษณะของรีโคสเซอร์

กระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านรีโคสเซอร์มีค่าน้อยลง ซึ่งอาจน้อยกว่าค่ากระแสเริ่มต้นทำงานของรีโคสเซอร์ ดังนั้นจึงทำการปรับลดค่ากระแสเริ่มต้นทำงาน หรือทำการปรับเปลี่ยนกราฟคุณลักษณะของรีโคสเซอร์

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบการทำงานของระบบหลังจากทำการปรับเปลี่ยนการทำงานของรีโคลสเซอร์ ถ้ายังมีการทำงานที่ผิดพลาดกลับไปขั้นตอนที่ 2 และทำการปรับเปลี่ยนค่าจนกว่าจะไม่มีการทำงานผิดพลาด

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อไม่สามารถทำการปรับเปลี่ยนการทำงานของรีโคลสเซอร์เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวได้ จะทำการพิจารณาการปรับเปลี่ยนขนาดของฟิวส์รวมกับการปรับเปลี่ยนการทำงานของรีโคลสเซอร์ โดยนำสาเหตุที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาวิเคราะห์ กรณีที่กระแสลัดวงจรเกินค่ากระแสสูงสุดของการทำงานร่วมกันจะทำการเพิ่มขนาดฟิวส์ให้มีขนาดใหญ่มากขึ้น สำหรับกรณีที่กระแสลัดวงจรน้อยกว่าค่ากระแสต่ำสุด จะทำการปรับเปลี่ยนขนาดฟิวส์ให้มีค่าน้อยลง

จากขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้วสามารถแสดงเป็นผังกระบวนการได้รูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กระบวนการปรับเปลี่ยนระบบป้องกัน