

การศึกษาความแตกต่างของกระแสลัดวงจรตาม IEC60909 กับ IEEE551 และผลกระทบต่อระบบป้องกันกระแสเกินในสถานีไฟฟ้าย่อย

รเวช ปิ่นกระจำง*

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิตย์ เพ็ชรรักษา**

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบเทียบกระแสลัดวงจรในสถานีไฟฟ้าย่อยจากสองมาตรฐานได้แก่ มาตรฐาน IEC60909 [1] , [2] , [3] , [4] กับ IEEE551 [5] โดยเปรียบเทียบวิธีการคำนวณและขนาดกระแสลัดวงจรจากทั้งสองมาตรฐาน แล้วศึกษาผลกระทบต่อระบบป้องกันกระแสเกินสำหรับป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังภายในสถานีไฟฟ้าย่อยโดยใช้กระแสลัดวงจรที่คำนวณจากมาตรฐาน IEC60909 กำหนดค่าการทำงานและจัดลำดับการทำงานให้สัมพันธ์กันของรีเลย์กระแสเกินเนื่องจากปัจจุบันการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคใช้มาตรฐาน IEC60909 เป็นหลักในระบบป้องกันกระแสเกินในสถานีไฟฟ้าย่อย จากนั้นจะตรวจสอบการทำงานจากระบบป้องกันโดยใช้กระแสลัดวงจรที่คำนวณจากทั้งสองมาตรฐาน

จากผลการศึกษาพบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณของทั้งสองมาตรฐานมีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากมีการใช้แฟคเตอร์ตัวประกอบเพื่อปรับค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงของมาตรฐาน IEC60909 และขนาดแรงดันของมาตรฐาน IEEE551 จะใช้ค่าขนาดแรงดันจริงขณะเกิดลัดวงจร ทำให้กระแสลัดวงจรจากทั้งสองมาตรฐานมีค่าต่างกันประมาณ 0.3%–13.7% อย่างไรก็ตามการดำเนินงานของรีเลย์กระแสเกินดังกล่าวยังคงสามารถทำงานได้อย่างเหมาะสมและสัมพันธ์กันทั้งในกรณีที่เกิดการลัดวงจรแล้วค่าขนาดกระแสลัดวงจรเป็นไปตามมาตรฐาน IEC60909 หรือ IEEE551 โดยในกรณีที่ใช้ค่ากระแสลัดวงจรแบบ IEEE551 ตรวจสอบการทำงานพบว่าเวลาในการตัดวงจรของรีเลย์จะช้ากว่าเล็กน้อย

ในกรณีเกิดลัดวงจรตาม IEC60909 บริเวณใกล้กับวงจรจ่ายไฟออกจากระบบจำหน่ายภายในสถานีไฟฟ้าย่อย รีเลย์กระแสเกินบริเวณ outgoing จะสั่งปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ให้เปิดวงจรออกไปเลยไม่มีการสั่งปิดกลับเองแบบอัตโนมัติเนื่องจากรีเลย์กระแสเกินนั้นทำงานด้วยฟังก์ชันแบบปลดวงจรทันทีทันใด (0.05-0.08 s) ตามที่ได้ออกแบบไว้ เนื่องจากค่าขนาดกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นมีค่ามากอาจส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์และบุคคลที่อยู่ภายในสถานีไฟฟ้าได้ แต่หากขนาดกระแสลัดวงจรมีค่าตาม IEEE551 รีเลย์กระแสเกินจะสั่งปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ให้เปิดวงจรออก

* นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการเทคโนโลยีอาคาร มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

** ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(0.19 – 0.35 s) แล้วสั่งปิดกลับเองแบบอัตโนมัติเนื่องจากกระแสลัดวงจรตาม IEEE551 มีขนาดน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ให้ทำงานทันทีทันใด รีเลย์กระแสเกินนั้นจึงทำงานด้วยฟังก์ชันแบบเวลาผกผัน จึงทำงานไม่ตรงกับที่ออกแบบไว้

คำสำคัญ : กระแสลัดวงจร, มาตรฐาน IEC60909 , มาตรฐาน IEEE551 , ระบบป้องกันกระแสเกิน, สถานีไฟฟ้าย่อย

1. บทนำ

เนื่องจากพลังงานไฟฟ้ามีความสำคัญต่อผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งในภาคอุตสาหกรรม ธุรกิจ ส่วนราชการและเอกชน รวมถึงบ้านเรือนที่อยู่อาศัยทั่วไป จำเป็นต้องมีคุณภาพและความต่อเนื่อง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) รับผิดชอบระบบจำหน่ายในจังหวัดต่างๆ ทั่วประเทศไทย ไม่นับรวมกรุงเทพฯ และจังหวัดใกล้เคียงที่เป็นส่วนรับผิดชอบของการไฟฟ้านครหลวง กฟภ. มีสถานีไฟฟ้าย่อยจำนวนมาก ส่วนใหญ่มีหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่แปลงแรงดันไฟฟ้าที่มีแรงดันสูง (115 kV) ลงมาเป็นแรงดันต่ำลง 22 kV หรือ 33 kV หากการลัดวงจรในสถานีไฟฟ้าย่อย ระบบป้องกันต้องทำงานและแยกส่วนที่ผิดปกตินั้นออกไป เพื่อให้ส่วนที่จ่ายไฟปกติยังคงสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างเดิมอย่างต่อเนื่อง [6] , [7] , [8] ในส่วนที่ผิดปกตินั้น กฟภ. จะตรวจสอบหาสาเหตุการเกิดลัดวงจรและแก้ไขใ้หน้ากลับเข้ามาอย่างเดิมโดยเร็ว

ปัจจุบัน กฟภ. กำหนดให้ใช้กระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEC60909 ในระบบป้องกันกระแสเกินภายในสถานีไฟฟ้า ทั้งการปรับตั้งและกำหนดค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน และจัดลำดับการทำงานให้สัมพันธ์ด้วย แต่มาตรฐานที่ใช้คำนวณกระแสลัดวงจรที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและมีความน่าเชื่อถือ คือ มาตรฐาน IEC60909 และมาตรฐาน IEEE551 และในซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ทางวิศวกรรมในปัจจุบันสามารถเลือกคำนวณกระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEC60909 หรือ IEEE551 ก็ได้ ขนาดกระแสลัดวงจรที่คำนวณจากทั้งสองมาตรฐานอาจมีค่าต่างกัน หากนำกระแสลัดวงจรจากมาตรฐาน IEC60909 เป็นค่าที่ใช้ปรับตั้งและกำหนดการทำงานของระบบป้องกัน แล้วกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นจริงมีค่าแตกต่างไป อาจส่งผลกับเวลาการเปิดวงจรเพื่อตัดไฟ ฟังก์ชันการทำงานและการจัดลำดับการทำงานจากระบบป้องกัน อาจทำให้เกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้างและเป็นเวลานาน ซึ่งอาจเกิดความเสียหายต่อหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังและอุปกรณ์อื่นๆ ภายในสถานีไฟฟ้า

อริยะ เมธเศรษฐ์ (2544) [4] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการคำนวณกระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEC60909 และพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณกระแสลัดวงจรตามมาตรฐานดังกล่าว เพื่อความสะดวกในการคำนวณกระแสลัดวงจรซึ่งจะนำไปใช้ปรับตั้งและเลือกค่าพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันต่อไป ค่ากระแสลัดวงจรที่คำนวณจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่

พัฒนาขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ด้วยมือเปล่า สามารถนำไปใช้ในการคำนวณกระแสลัดวงจรได้ทั้งกรณีที่มีหรือไม่มีมอเตอร์ในระบบ

2. ความเป็นมา

จากความสำคัญของกระแสลัดวงจรในระบบป้องกันกระแสเกินสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในสถานี่ไฟฟ้า เมื่อมีการใช้ค่ากระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEC60909 ในการปรับตั้งและกำหนดค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน และจัดลำดับการทำงานให้สัมพันธ์กันระหว่างอุปกรณ์ป้องกันแล้ว หากกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นจริงอาจมีค่าแตกต่างออกไประบบป้องกันกระแสเกินในสถานี่ไฟฟ้าของ กฟภ. ยังคงทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ ในการศึกษาเรื่องนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในตรวจสอบการทำงานของระบบป้องกันกระแสเกินที่ใช้ค่ากระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEC60909 ปรับตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน แล้วใช้กระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEEE551 ตรวจสอบการทำงานของระบบป้องกัน

มาตรฐาน IEC60909 (2544) [1] เป็นมาตรฐานที่ใช้คำนวณกระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้าใช้ได้ทั้งระดับแรงดันต่ำและแรงดันสูง ค่าของกระแสลัดวงจรได้ทั้งแบบสมมูลและแบบไม่สมมูล มาตรฐานแสดงรายละเอียดวิธีการคำนวณกระแสลัดวงจรที่เกิดจากแหล่งกำเนิดต่างๆและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ในระบบ เช่น มอเตอร์ คาปาซิเตอร์ และคอนเวอร์เตอร์

มาตรฐาน IEEE551 (2549) [5] เป็นมาตรฐานที่คำนวณกระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรม โรงจักรไฟฟ้า และสถานี่ไฟฟ้า โดยอธิบายพื้นฐานและหลักการคำนวณและหลักการทางวิศวกรรมไฟฟ้า รวมถึงความจำเป็นที่ต้องคำนวณขนาดกระแสลัดวงจรและผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นเมื่อมีกระแสลัดวงจรขนาดใหญ่ไหลผ่านอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า

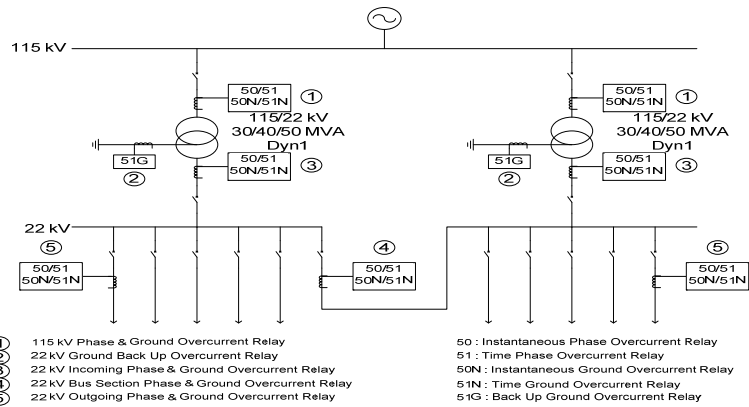
3. ระเบียบงานวิจัย

ระบบป้องกันกระแสเกินภายในสถานี่ไฟฟ้าย่อยทั้งหมด 3 กรณี แสดงในภาพที่ 1-3 ซึ่งประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันสมมูล หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง สายป้อน ระบบป้องกันทั้งด้านเฟสและด้านกราวด์ โดยหม้อแปลงในแต่ละกรณีมีค่าพิกัดดังนี้

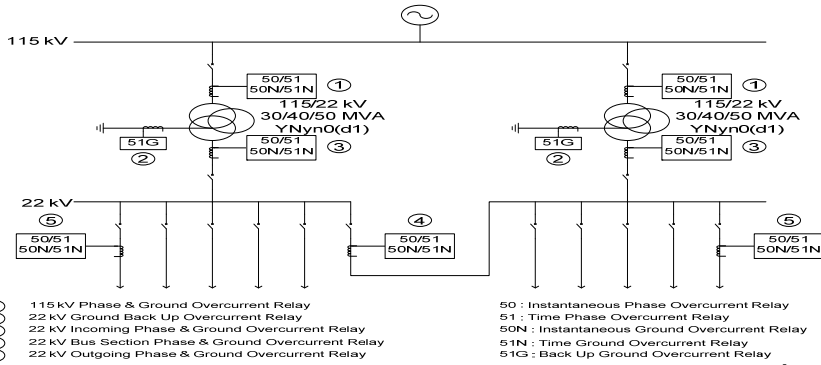
กรณี 1 หม้อแปลงแบบ 2 ขดลวด 30/40/50 MVA 115/22 kV เวกเตอร์กรุป Dyn1

กรณี 2 หม้อแปลงแบบ 3 ขดลวด 30/40/50 MVA 115/22 kV เวกเตอร์กรุป YNyn0(d1)

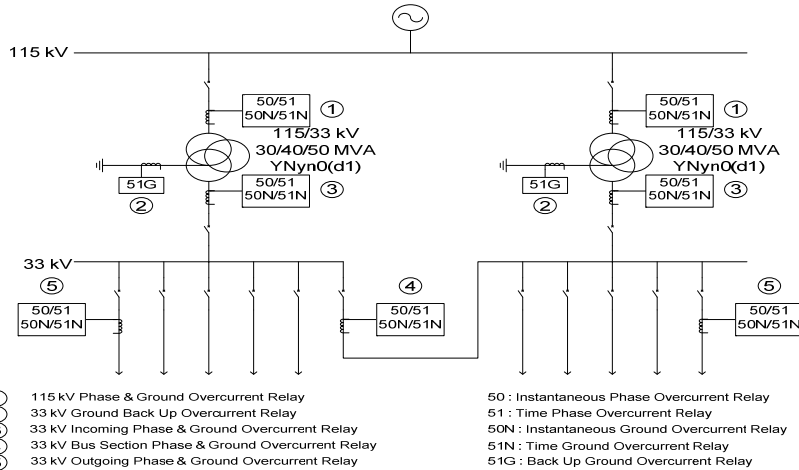
กรณี 3 หม้อแปลงแบบ 3 ขดลวด 30/40/50 MVA 115/33 kV เวกเตอร์กรุป YNyn0(d1)



ภาพที่ 1 ไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบป้องกันกระแสเกินในสถานีไฟฟ้าย่อยที่ใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขนาดพิกัด 30/40/50 เอ็มวีเอ แรงดัน 115/22 เควี เวกเตอร์กรุป Dyn1



ภาพที่ 2 ไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบป้องกันกระแสเกินในสถานีไฟฟ้าย่อยที่ใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขนาดพิกัด 30/40/50 เอ็มวีเอ แรงดัน 115/22 เควี เวกเตอร์กรุป YNyn0(d1)



ภาพที่ 3 ไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบป้องกันกระแสเกินในสถานีไฟฟ้าย่อยที่ใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขนาดพิกัด 30/40/50 เอ็มวีเอ แรงดัน 115/33 เควี เวกเตอร์กรุป YNyn0(d1)

การคำนวณค่ากระแสลัดวงจรเมื่อมีการลัดวงจรที่สายป้อนบริเวณ outgoing มีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

ขั้นตอน 1 คำนวณกระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEC60909 และมาตรฐาน IEEE551

ขั้นตอน 2 ใช้ค่าขนาดกระแสลัดวงจรที่คำนวณได้ตามมาตรฐาน IEC60909 กำหนดค่าการทำงานของรีเลย์กระแสเกินและจัดลำดับการทำงานให้สัมพันธ์กัน

ขั้นตอน 3 ตรวจสอบการทำงานของระบบป้องกันกระแสเกิน 2 กรณี

กรณีย่อยที่ 3.1 ใช้กระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEC60909

กรณีย่อยที่ 3.2 ใช้กระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEEE551

ขั้นตอน 4 เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลของการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินและการจัดลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันดังกล่าวทั้งสองกรณี

ขั้นตอน 5 สรุปผลการศึกษาการทำงานของระบบป้องกันกระแสเกินและการจัดลำดับการทำงาน

4. ผลการศึกษา

บทความนี้ศึกษากระแสลัดวงจรที่คำนวณตามมาตรฐาน IEC60909 และ IEEE551 ที่หม้อแปลงมีจำนวนขดลวดและการต่อขดลวดแตกต่างกัน และขนาดแรงดันขณะเกิดลัดวงจรแตกต่างกัน ($0.95 \leq V_{th} \leq 1.05$ p.u.) และมี Source Impedance แตกต่างกัน โดยใช้ค่า Source Impedance ของกฟภ. ในปัจจุบัน (2557) แล้วศึกษาการทำงานของรีเลย์กระแสเกินด้านเฟส

4.1 ขนาดกระแสลัดวงจรทั้งแบบลัดวงจรสามเฟส

ขนาดกระแสลัดวงจรที่คำนวณตามมาตรฐาน IEC60909 และ IEEE551 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1-4.3 ในกรณีหม้อแปลงที่มีจำนวนขดลวดและการต่อขดลวดที่แตกต่างกัน โดยใช้ค่า Source Impedance ของกฟภ. ในปัจจุบัน

ตารางที่ 4.1 แสดงค่ากระแสลัดวงจรสำหรับหม้อแปลงแบบ 2 ขดลวด 30/40/50 MVA 115/22 kV เวกเตอร์กรุป Dyn1

มาตรฐาน กรณีศึกษา		ค่าขนาดกระแสลัดวงจรสามเฟส (A)	
Source Impedance	Prefault Voltage (pu)	IEC	IEEE
$Z_s = 0$ pu	$V_{th} = 0.95$	11,547	9,972
	$V_{th} = 1.00$	11,547	10,496
	$V_{th} = 1.05$	11,547	11,021
$Z_{min} = 0.0167$ pu	$V_{th} = 0.95$	10,762	9,351
	$V_{th} = 1.00$	10,762	9,844
	$V_{th} = 1.05$	10,762	10,335
$Z_{max} = 0.4108$ pu	$V_{th} = 0.95$	4,132	3,791
	$V_{th} = 1.00$	4,132	3,990
	$V_{th} = 1.05$	4,132	4,190

ตารางที่ 4.2 แสดงค่ากระแสลัดวงจรสำหรับหม้อแปลงแบบ 3 ขดลวด 30/40/50 MVA 115/22 kV เวกเตอร์กรุป YNyn0(d1)

มาตรฐาน กรณีศึกษา		ค่าขนาดกระแสลัดวงจรสามเฟส (A)	
Source Impedance	Prefault Voltage (pu)	IEC	IEEE
$Z_s = 0$ pu	$V_{th} = 0.95$	11,547	9,972
	$V_{th} = 1.00$	11,547	10,496
	$V_{th} = 1.05$	11,547	11,021
$Z_{min} = 0.0474$ pu	$V_{th} = 0.95$	9,589	8,411
	$V_{th} = 1.00$	9,589	8,854
	$V_{th} = 1.05$	9,589	9,296
$Z_{max} = 0.4028$ pu	$V_{th} = 0.95$	4,183	3,836
	$V_{th} = 1.00$	4,183	4,037
	$V_{th} = 1.05$	4,183	4,239

ตารางที่ 4.3 แสดงค่ากระแสลัดวงจรสำหรับหม้อแปลงแบบ 3 ขดลวด 30/40/50 MVA 115/33 kV เวกเตอร์กรุป YNyn0(d1)

มาตรฐาน กรณีศึกษา		ค่าขนาดกระแสลัดวงจรสามเฟส (A)	
Source Impedance	Prefault Voltage (pu)	IEC	IEEE
$Z_s = 0$ pu	$V_{th} = 0.95$	7,698	6,648
	$V_{th} = 1.00$	7,698	6,997
	$V_{th} = 1.05$	7,698	7,347
$Z_{min} = 0.0423$ pu	$V_{th} = 0.95$	6,505	5,698
	$V_{th} = 1.00$	6,505	5,997
	$V_{th} = 1.05$	6,505	6,297
$Z_{max} = 0.2559$ pu	$V_{th} = 0.95$	3,642	3,304
	$V_{th} = 1.00$	3,642	3,478
	$V_{th} = 1.05$	3,642	3,652

4.2 การทำงานของรีเลย์กระแสเกินด้านเฟส

การศึกษาระบบป้องกันกระแสเกินด้านเฟสแบ่งเป็น 3 กรณีตามชนิดของหม้อแปลง โดยการศึกษานี้เป็นการจำลองระบบไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง เวลาในการเปิดวงจรของรีเลย์กระแสเกินแต่ละตัวแสดงในภาพ 4.1-4.3 โดยที่เส้น curve แต่ละเส้นมีความหมายดังนี้

R1 : Transformer Thermal Damage Curve

R2 : Mechanical Damage Curve

R3 : Transformer Inrush Curve

Curve 1 : 50/51 outgoing, 51_IEC

Curve 2 : 50/51 outgoing, 50_IEC

Curve 3 : 50/51 bus section, 51_IEC

Curve 4 : 50/51 bus section, 50_IEC

Curve 5 : 50/51 incoming, 51_IEC

Curve 6 : 50/51 incoming, 50_IEC

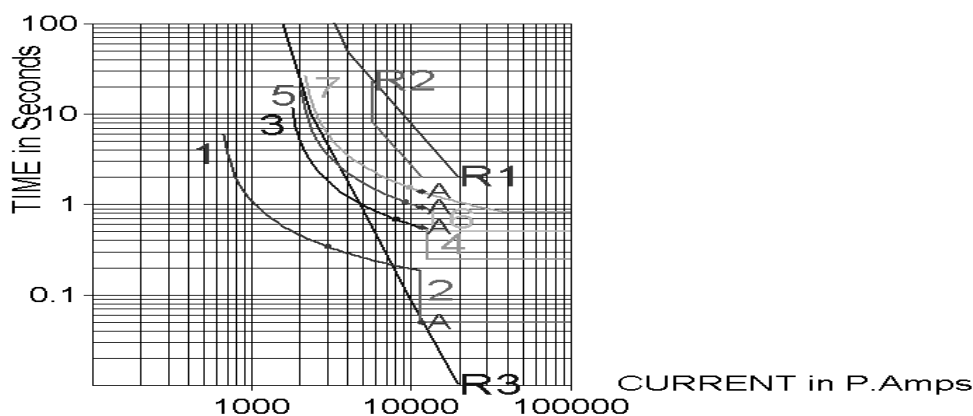
Curve 7 : 50/51 115 kV incoming, 51_IEC

กรณีที่ 1 อิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าสมมูลและค่า Driving Point มีค่าเป็นศูนย์
หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังแบบ 2 ขดลวด แรงดัน 115-22 kV เวกเตอร์กรุป Dyn1

การจัดลำดับการทำงานของรีเลย์กระแสเกินด้านเฟสในสถานีไฟฟ้าย่อยที่ใช้หม้อแปลง
ไฟฟ้ากำลังแบบ 2 ขดลวด แรงดัน 115-22 เควี เวกเตอร์กรุป Dyn1 แสดงในภาพที่ 4.1 โดยมิ
การจัดเรียงลำดับการทำงานของรีเลย์กระแสเกิน เริ่มจากรีเลย์กระแสเกินด้านจ่ายไฟออกกระบบ
จำหน่าย รีเลย์ป้องกันกระแสเกินในส่วนของบัส รีเลย์ป้องกันกระแสเกินด้านทุติยภูมิและปฐมภูมิ
ของหม้อแปลงไฟฟ้า

ตารางที่ 4.4 แสดงเวลาการทำงานของรีเลย์กระแสเกินด้านเฟสแต่ละตำแหน่งกรณีเกิดการ
ลัดวงจรไฟฟ้าแบบสามเฟสในสถานีไฟฟ้าย่อยที่ใช้หม้อแปลงแบบ 2 ขดลวด แรงดัน 115-22
เควี เวกเตอร์กรุป Dyn1 กรณีอิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าสมมูลและค่า Driving Point มี
ค่าเป็นศูนย์

กระแสลัดวงจร ตำแหน่งรีเลย์	IEC (11,547 A)	IEEE (10,496 A)
115 kV Incoming	1.40 วินาที	1.48 วินาที
22 kV Incoming	0.93 วินาที	0.99 วินาที
22 kV Bus Section	0.56 วินาที	0.59 วินาที
22 kV Outgoing	0.05 วินาที	0.19 วินาที



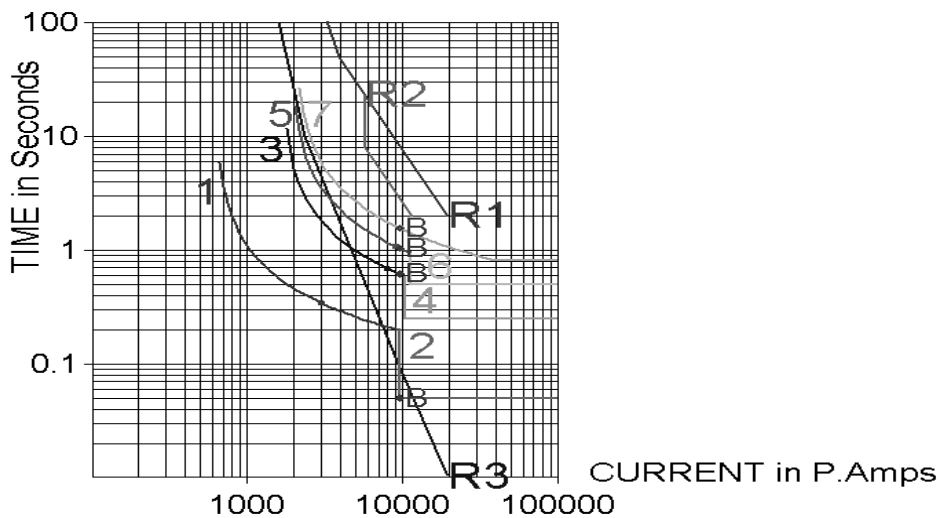
ภาพที่ 4.1 การจัดลำดับการทำงานของรีเลย์กระแสเกินด้านเฟส กรณีใช้กระแสลัดวงจร
IEC60909 ในการกำหนดค่าการทำงานสำหรับป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 2 ขดลวด แรงดัน
115-22 kV เวกเตอร์กรุป Dyn1

กรณีที่ 2 อิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าสมมูลและค่า Driving Point มีค่าน้อยที่สุด
หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังแบบ 3 ขดลวด แรงดัน 115-22 kV เวกเตอร์กรุป YNyn0(d1)

การจัดลำดับการทำงานของรีเลย์กระแสเกินด้านเฟสในสถานีไฟฟ้าย่อยที่ใช้หม้อแปลงไฟฟ้า
กำลังแบบ 3 ขดลวด แรงดัน 115-22 kV เวกเตอร์กรุป YNyn0(d1) แสดงในภาพที่ 4.2 โดยมี
การจัดเรียงลำดับการทำงานของรีเลย์กระแสเกิน เริ่มจากรีเลย์กระแสเกินด้านจ่ายไฟออกกระบบ
จำหน่าย รีเลย์ป้องกันกระแสเกินในส่วนของบัส รีเลย์ป้องกันกระแสเกินด้านทุติยภูมิและปฐมภูมิ
ของหม้อแปลงไฟฟ้า

ตารางที่ 4.6 แสดงเวลาการทำงานของรีเลย์กระแสเกินด้านเฟสแต่ละตำแหน่งกรณีเกิดการ
ลัดวงจรไฟฟ้าแบบสามเฟสในสถานีไฟฟ้าย่อยที่ใช้หม้อแปลงแบบ 3 ขดลวด แรงดัน 115-22
เควี เวกเตอร์กรุป YNyn0(d1) กรณีอิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าสมมูลและค่า Driving
Point มีค่าน้อยที่สุด

กระแสลัดวงจร ตำแหน่งรีเลย์	IEC (9,589 A)	IEEE (8,854 A)
115 kV Incoming	1.56 วินาที	1.65 วินาที
22 kV Incoming	1.04 วินาที	1.09 วินาที
22 kV Bus Section	0.61 วินาที	0.64 วินาที
22 kV Outgoing	0.05 วินาที	0.20 วินาที



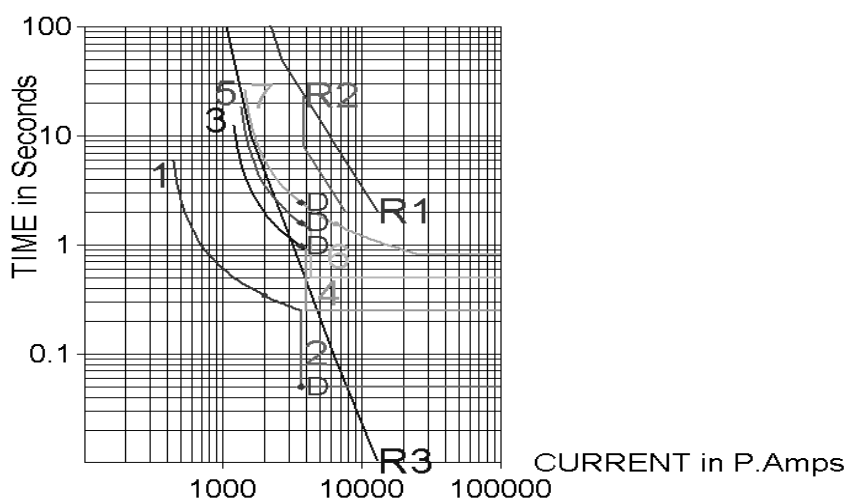
ภาพที่ 4.2 การจัดลำดับการทำงานของรีเลย์กระแสเกินด้านเฟส กรณีใช้กระแสลัดวงจร
IEC60909 ในการกำหนดค่าการทำงานสำหรับป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 3 ขดลวด แรงดัน
115-22 kV เวกเตอร์กรุป YNyn0(d1)

กรณีที่ 3 อิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าสมดุลและค่า Driving Point มีค่ามากที่สุด
หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังแบบ 3 ขดลวด แรงดัน 115-33 kV เวกเตอร์กรุป YNyn0(d1)

การจัดลำดับการทำงานของรีเลย์กระแสเกินด้านเฟสในสถานีไฟฟ้าย่อยที่ใช้หม้อแปลงแบบ 3 ขดลวด แรงดัน 115-22 kV เวกเตอร์กรุป YNyn0(d1) ดังแสดงในภาพที่ 4.3 โดยมีการจัดเรียงลำดับการทำงานของรีเลย์กระแสเกิน เริ่มจากรีเลย์กระแสเกินด้านจ่ายไฟออกระบบจำหน่าย รีเลย์ป้องกันกระแสเกินในส่วนของบัส รีเลย์ป้องกันกระแสเกินด้านทุติยภูมิและปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า

ตารางที่ 4.8 แสดงเวลาการทำงานของรีเลย์กระแสเกินด้านเฟสแต่ละตำแหน่งกรณีเกิดการลัดวงจรไฟฟ้าแบบสามเฟสในสถานีไฟฟ้าย่อยที่ใช้หม้อแปลงแบบ 3 ขดลวด แรงดัน 115-33 kV เวกเตอร์กรุป YNyn0(d1) กรณีอิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าสมดุลและค่า Driving Point มีค่ามากที่สุด

กระแสลัดวงจร ตำแหน่งรีเลย์	IEC (3,642 A)	IEEE (3,478 A)
115 kV Incoming	2.44 วินาที	2.55 วินาที
33 kV Incoming	1.58 วินาที	1.65 วินาที
33 kV Bus Section	0.97 วินาที	1.01 วินาที
33 kV Outgoing	0.05 วินาที	0.25 วินาที



ภาพที่ 4.3 การจัดลำดับการทำงานของรีเลย์กระแสเกินด้านเฟส กรณีใช้กระแสลัดวงจร IEC60909 ในการกำหนดค่าการทำงานสำหรับป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 3 ขดลวด แรงดัน 115-33 kV เวกเตอร์กรุป YNyn0(d1)

4.3 การวิเคราะห์ผล

จากการศึกษาการป้องกันกระแสเกินในสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 30/40/50 MVA ทั้ง 3 กรณีนั้น คือ กรณี 1 หม้อแปลงแบบ 2 ขดลวด 30/40/50 MVA 115/22 kV เวกเตอร์กรุป Dyn1, กรณี 2 หม้อแปลงแบบ 3 ขดลวด 30/40/50 MVA 115/22 kV เวกเตอร์กรุป YNyn0(d1), กรณี 3 หม้อแปลงแบบ 3 ขดลวด 30/40/50 MVA 115/33 kV เวกเตอร์กรุป YNyn0(d1) พบว่ากระแสลัดวงจรที่คำนวณตามมาตรฐาน IEEE551 จะมีขนาดที่น้อยกว่ากระแสลัดวงจรที่คำนวณตามมาตรฐาน IEC60909 อยู่ประมาณ 0.3-13.7%

ขนาดกระแสลัดวงจรที่แตกต่างกันของทั้งสองมาตรฐานเนื่องจากแฟคเตอร์ตัวประกอบอิมพีแดนซ์สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า (ใช้เฉพาะในมาตรฐาน IEC60909) และขนาดแรงดันขณะเกิดการลัดวงจร (ใช้เฉพาะในมาตรฐาน IEEE551) ดังนั้นในการเกิดลัดวงจรแบบ 3 เฟส หากใช้กระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEC60909 เป็นตัวกำหนดค่าการทำงานของระบบป้องกันตามข้อกำหนดของ กฟภ. แล้วใช้กระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEEE551 ในการตรวจสอบการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน จะได้เวลาในการเปิดวงจรของรีเลย์ช้ากว่าที่ออกแบบไว้เกือบทุกกรณี ยกเว้นกรณีที่แรงดันขณะเกิดลัดวงจรมีค่าเป็น 1.05 p.u. และค่า Source Impedance มีค่ามากที่สุด ซึ่งกระแสลัดวงจรคำนวณจากทั้งสองมาตรฐานมีค่าใกล้เคียงกัน โดยกระแสลัดวงจรที่คำนวณจากมาตรฐาน IEEE551 มีค่ามากกว่า 0.3-1.7%

5. บทสรุป

กระแสลัดวงจรที่คำนวณตามมาตรฐาน IEEE551 จะมีขนาดที่น้อยกว่าขนาดกระแสลัดวงจรที่คำนวณได้ตามมาตรฐาน IEC60909 อยู่ประมาณ 0.3-13.7% ขนาดกระแสลัดวงจรที่แตกต่างกันมีผลมาจากแฟคเตอร์ตัวประกอบอิมพีแดนซ์สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง และขนาดแรงดันขณะเกิดการลัดวงจร และมีกรณีพิเศษที่กระแสลัดวงจรที่คำนวณตามมาตรฐาน IEEE551 จะมีขนาดที่มากกว่าขนาดกระแสลัดวงจรที่คำนวณได้ตามมาตรฐาน IEC60909 อยู่ประมาณ 0.3-1.7% คือกรณีที่แรงดันขณะเกิดลัดวงจรมีค่าเป็น 1.05 p.u. และค่า Source Impedance มีค่ามากที่สุด

การกำหนดค่าการทำงานและการจัดลำดับการทำงานให้สัมพันธ์กันของรีเลย์กระแสเกิน โดยใช้ค่าขนาดกระแสลัดวงจรตาม IEC60909 ตามข้อกำหนดของ กฟภ. นั้น หากใช้กระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEEE551 ในการตรวจสอบการทำงานของระบบป้องกันในสถานีไฟฟ้าย่อย เวลาการทำงานของรีเลย์กระแสเกินด้านเฟสทำงานข้างเกือบทุกกรณี ยกเว้นกรณีที่แรงดันขณะเกิดลัดวงจรมีค่าเป็น 1.05 p.u. และค่า Source Impedance มีค่ามากที่สุด เวลาการทำงานของรีเลย์กระแสเกินมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ออกแบบไว้ อย่างไรก็ตามการปรับลำดับการทำงานของรีเลย์กระแสเกินทั้งหมดในระบบยังคงสามารถทำงานได้ตามลำดับตามที่ออกแบบไว้

บรรณานุกรม

IEC60909 Short-circuit currents in three-phase a.c.systems. (2001).

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตร การคำนวณกระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEC60909. กรุงเทพฯ: วสท. Jurgen Schlabbach. (2005). Short-circuit Currents. UK: IET

อริยะ เมธเศรษฐ์. (2544). การวิเคราะห์กระแสลัดวงจรเพื่อใช้ปรับตั้งและเลือกค่าพิกัดของอุปกรณ์ป้องกัน (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

IEEE551 Recommended Practice for Calculating Short-Circuit in Industrial and Commercial Power Systems. (2006).

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. (2548). การป้องกันระบบไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: ทีซีซี พรินต์ติ้ง.

สุชาติ ปรีชาธร. (2555). วิศวกรรมการป้องกันระบบไฟฟ้าแรงสูง เล่มที่ 1. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

สุชาติ ปรีชาธร. (2556). วิศวกรรมการป้องกันระบบไฟฟ้าแรงสูง เล่มที่ 2. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.