บทที่ 2
ระบบการป้องกันไฟฟ้ากำลัง

2.1 รีเลย์ป้องกัน

2.1.1หลักการเบื้องต้นของรีเลย์ป้องกัน

รีเลย์หลัก การป้องกันส่วนที่เกิดฟอลต์ โดยเขตป้องกันของรีเลย์จะมีการแบ่งให้คาบเกี่ยวกัน (over lap) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดจุดบอด โดยรีเลย์ทริปเฉพาะส่วนเกิดการลัดวงจรขึ้นเท่านั้น รีเลย์รองใช้ป้องกันแทนรีเลย์หลัก ในกรณีรีเลย์หลักไม่ทำงานหรือมีการซ่อมบำรุงอยู่

2.1.2เขตของการป้องกัน จะมีการแบ่งขอบเขตการป้องกันตามชนิดอุปกรณ์ คือ

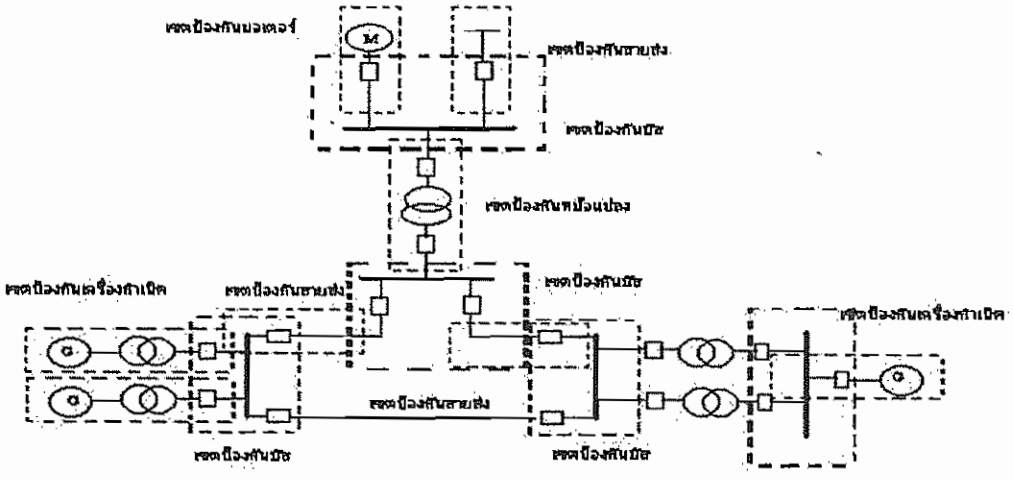
-เขตป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

-เขตการป้องกันหม้อแปลง

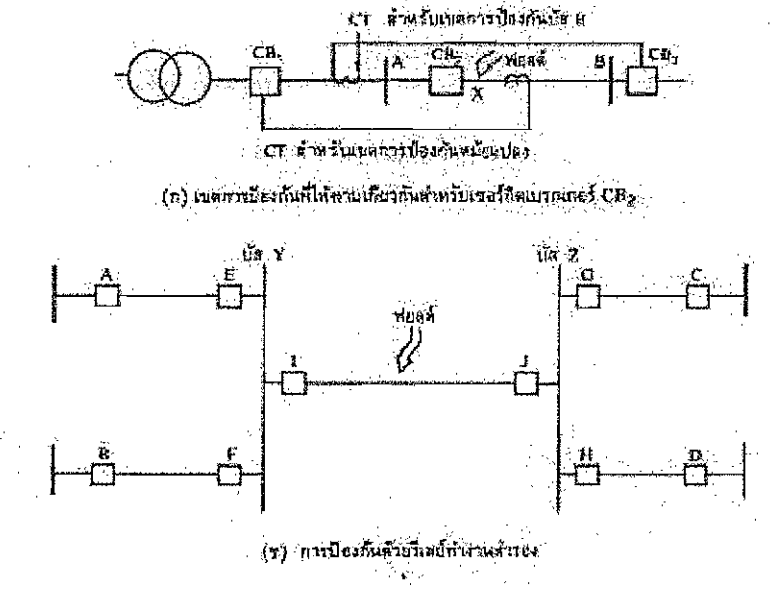
-เขตการป้องกันสายส่งหรือสายจำหน่าย

-เขตการป้องกันมอเตอร์

โดยในแต่ละรีเลย์จะมีการ overlap กันเมื่ออยู่ติดกันเสมอ



รูปที่ 2.1.1 การแบ่งเขตการป้องกันสำหรับรีเลย์หลัก



รูปที่ 2.1.2 การป้องกันของรีเลย์ทำงานสำรอง

2.1.3. ลักษณะเฉพาะที่สำคัญของรีเลย์ป้องกัน

-ความไว(sensitivity)

-ความเชื่อถือ(rediability)

-ความง่าย(simplioity)

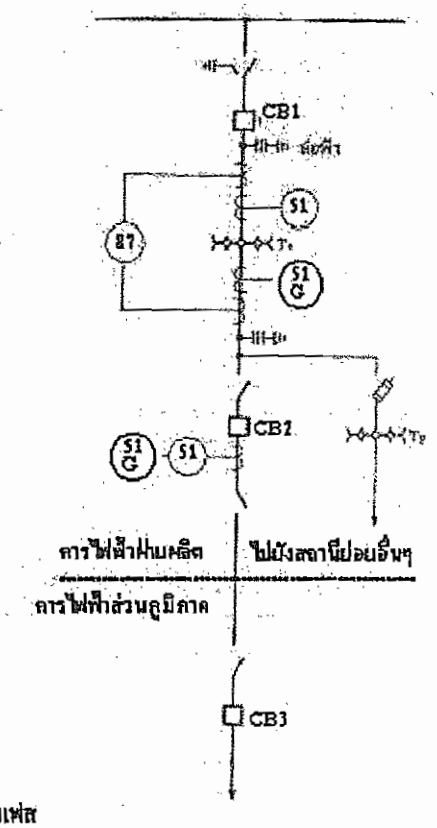
-ความสามารถแยกแยะ(selectivity)

-ความเร็ว(speed)

-ความประหยัด(economy)

2.1.4. การนำรีเลย์ไปใช้งาน

2.1.4.1 ไดอะแกรมเส้นเดียว แสดงถึงระบบการป้องกัน ในไดอะแกรมเส้นเดียวนี้



S1 - รีเลย์กระแสเกินของเฟส

S1G - รีเลย์กระแสเกินไฟร้าวลงดิน

87 - รีเลย์แบบผลต่าง

ไดอะแกรมเส้นเดียวใช้รีเลย์ป้องกันระบบไฟฟ้า

รูป2.1.3 ไดอะแกรมเส้นเดียวใช้รีเลย์ป้องกันระบบไฟฟ้า

2.1.4.2 ต้องรู้ระบบการป้องกันเดิมที่มีอยู่

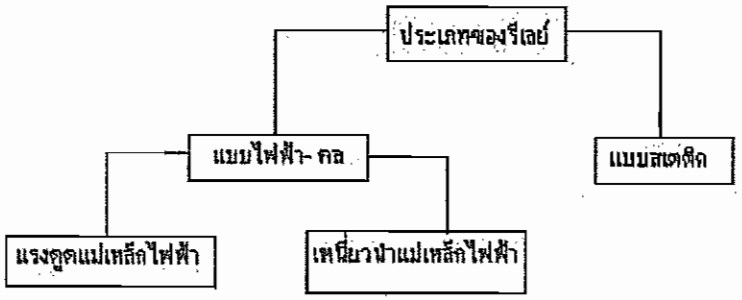
2.1.4.3 ระดับการป้องกันและความสามารถการทำงานของระบบ

2.1.4.4 ศึกษาเกี่ยวกับฟอลต์ชนิดต่างๆที่เกิดขึ้นในระบบ

2.1.4.5 ข้อมูลเกี่ยวกับโหลดสูงสุด อัตราส่วน CT หรือ PT

2.1.4.6 อิมพีแดนซ์ของสายและของหม้อแปลง

2.1.5. ประเภทของรีเลย์ป้องกัน

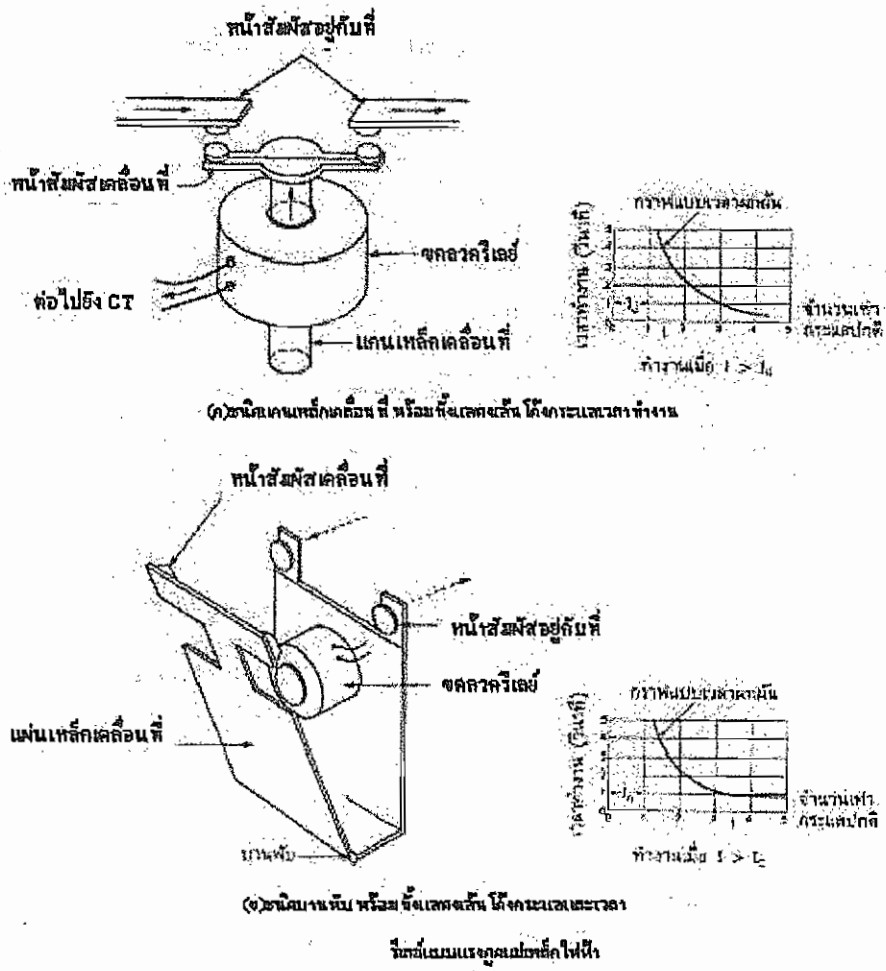


ประเภทของรีเลย์ป้องกัน

รูปที่ 2.1.4 ประเภทของรีเลย์ป้องกัน

รีเลย์แบบไฟฟ้า-กล (electromechanical relay) รีเลย์นี้มีหน้าผิวสัมผัสที่อยู่กับที่รอรับอยู่และส่วนเคลื่อนที่เคลื่อนไปเปิดปิดวงจร รีเลย์นี้มี 2แบบคือ

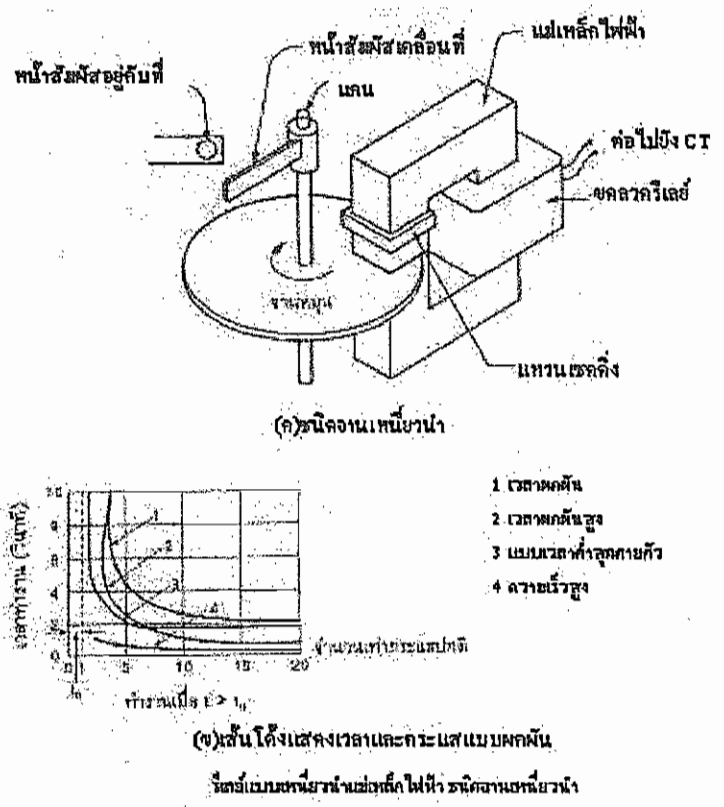
2.1.5.1 รีเลย์แบบแรงดูดแม่เหล็กไฟฟ้า(electromagnetic attraction) ประกอบด้วนแกนเหล็กทำให้เกิดแรงดูดแม่เหล็กไฟฟ้าดูดแผ่นเหล็กที่มีทั้งชนิดแกนเหล็กเคลื่อนที่ ทำงานได้ทันที และชนิดบานพับซึ่งก็ทริปได้ดีเช่นกัน



รูปที่ 2.1.5 รีเลย์แบบดูดแม่เหล็กไฟฟ้า

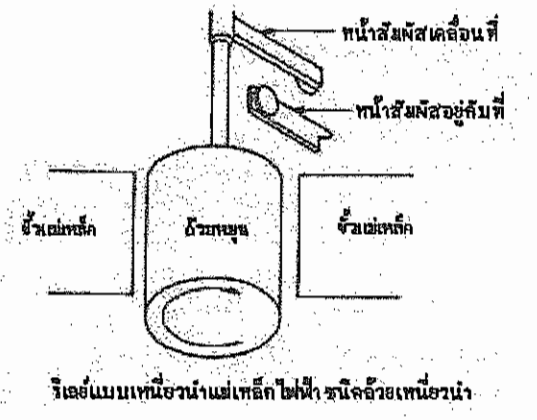
2.1.5.2 รีเลย์แบบเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า(electromagnetic induction) มี 2 ชนิด

2.1.5.2.1 ชนิดจานเหนี่ยวนำ (induction disk) รีเลย์นี้ทำงานแบบผกผันคือกระแสต่ำทำงานช้า ส่วนกระแสมากทำงานเร็ว รีเลย์กำลัง (power relay)



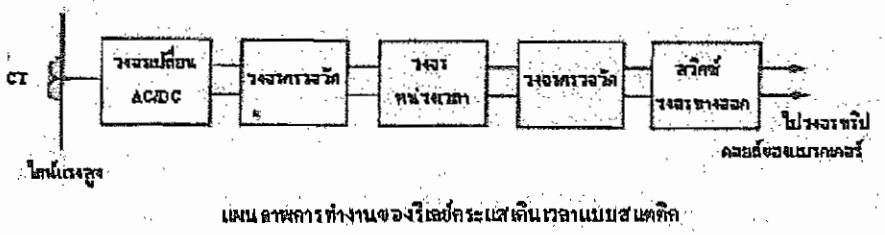
รูปที่ 2.1.6 รีเลย์แบบเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ชนิดจานเหนี่ยวนำ

2.1.5.2.2 ชนิดถ้วยเหนี่ยวนำ(induction cup)ทำงานได้เร็วเป็นรีเลย์แบบทิศทาง



รูปที่ 2.1.7 รีเลย์แบบเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ชนิดถ้วยเหนี่ยวนำ

2.1.5.3.สแตติดรีเลย์(static relay) ลักษณะการทำงานดังรูปที่ 2.1.8



รูปที่ 2.1.8 แผนภาพการทำงานของรีเลย์กระแสเกินเวลาแบบสแตติก

2.1.6.รหัสอุปกรณ์รีเลย์ป้องกันมาตรฐาน ANSI

ตารางที่ 2.1.1รหัสรีเลย์ที่ใช้ในการป้องกันกำลังไฟฟ้าตามมาตรฐาน ANSI

รหัสรีเลย์ (ANSI)	ข้อกำหนดและหน้าที่การทำงาน
2	รีเลย์เริ่มทำงานหน่วงเวลา (time delay staring) หรือรีเลย์สั่งสับ (close relay) เป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่หน่วงเวลาก่อนหรือหลังจากที่จุดอื่น ๆทำงาน หรือเป็นอุปกรณ์เพื่อควบคุมการปิดเปิดวงจร
3	รีเลย์ตรวจสอบ (checking) หรือรีเลย์แบบยึดระหว่างกัน (interlocking relay) เป็นรีเลย์ที่ทำงานที่มีผลกับตำแหน่งของอุปกรณ์ และยอมให้ทำงานตามลำดับตามสภาพแต่ละวัตถุประสงค์
21	รีเลย์แบบระยะทาง(distance relay) เป็นรีเลย์ป้องกันประเภทหนึ่ง ที่ทำงานโดยตอบสนองต่อระยะทางในวงจรไฟฟ้า ระหว่างตำแหน่งที่ติดตั้งรีเลย์ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้า
25	การซิงโครไนซ์ (synchronizing) หรือรีเลย์ตรวจสอบสภาวะซิงโครไนซ์ (synchronism-check relay) เป็นอุปกรณ์สำหรับใช้ทำงานภายใต้วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 2 วงจร เพื่อให้ความถี่ มุมเฟส หรือแรงดัน โดยยอมให้สามารถขนานกันได้ทั้ง 2 วงจร

27	รีเลย์แรงดันต่ำเกิน(undervoltage relay) เป็นรีเลย์ชนิดหนึ่ง ซึ่งทำงานเมื่อแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าพิกัดที่กำหนดไว้
30	รีเลย์แจ้งเหตุ(annunciator relay) เป็นอุปกรณ์ปรับตั้งไม่อัตโนมัติ อุปกรณ์ป้องกันจะมีแต่ละหน้าที่แสดงให้เห็น อาจจัดรีเลย์นี้ทำหน้าที่เพื่อการเปิดค้าง
32	รีเลย์กำลังแบบมีทิศทาง(directional power relay) เป็นอุปกรณ์ตรวจจับทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าทำหน้าที่ตรวจจับเมื่อกำลังไฟฟ้าไหลย้อนกลับทิศทาง
37	รีเลย์กระแสต่ำเกิน(undercurrent relay) หรือรีเลย์กำลังไฟฟ้าต่ำเกิน(underpower relay) เป็นรีเลย์ชนิดหนึ่ง จะทำงานเมื่อกระแสไฟฟ้าหรือกำลังไฟฟ้าหรือกำลังไฟฟ้าลดต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้
40	รีเลย์ขดลวดสนาม (field relay) เป็นรีเลย์ที่มีหน้าที่ตรวจจับความผิดปกติของกระแสขดลวดสนามเครื่องจักรกลไฟฟ้า
44	รีเลย์การเริ่มเดินตามลำดับหน่วย (unit sequence staring relay) เป็นรีเลย์ที่มีหน้าที่เริ่มต้นเดินหน่วยอื่น ๆ ถัดไป
46	รีเลย์แบบกลับเฟส (reverse phase) หรือรีเลย์กระแสสมดุลในเฟส (phase-balance current relay) เป็นรีเลย์มีหน้าที่ตรวจจับกระแสหลายเฟส เมื่อมีการจัดเรียงเฟสผิดไป
47	รีเลย์แรงดันลำดับเฟส(phase sequence voltage relay) เป็นรีเลย์ที่มีหน้าที่ตรวจจับค่าแรงดันหลายเฟสที่เรียงตามลำดับตามค่าที่กำหนดไว้
48	รีเลย์ลำดับไม่สมบูรณ์ (incomplete sequuence relay) เป็นรีเลย์อุปกรณ์ไฟฟ้ากลับทางหมุน หรือหยุดการทำงานเมื่อเฟสลำดับไม่สมบูรณ์ โดยอาจมีสัญญาณเตือนบอกเหตุ
49	รีเลย์ความร้อนเครื่องกลไฟฟ้า(machine thermal relay) เป็นรีเลย์ทำน้าที่ตรวจจับอุณหภูมิของอาร์เมเจอร์หรือขดลวดอื่นๆ รีเลย์นี้จะทำงานเมื่ออุณหภูมิเกินค่าที่กำหนด
50	รีเลย์กระแสเกินชนิดทำงานทันที(instantaneouse overcurrent relay) เป็นรีเลย์ที่ทำงานทันทีเมื่อกระแสเกินหรือเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้า
51	รีเลย์กระแสสลับกระแสเกิน-เวลา (AC- time overcurrent relay) เป็นรีเลย์ที่ทำงานเวลาตายตัวหรือหน่วงเวลา ซึ่งค่ากระแส-เวลาจะทำงานเป็นสัดส่วนผกผันกัน และจะทำงานเป็นสัดส่วนผกผันกัน และจะทำงานเมื่อกระแสสลับในวงจรเกินค่าที่กำหนด

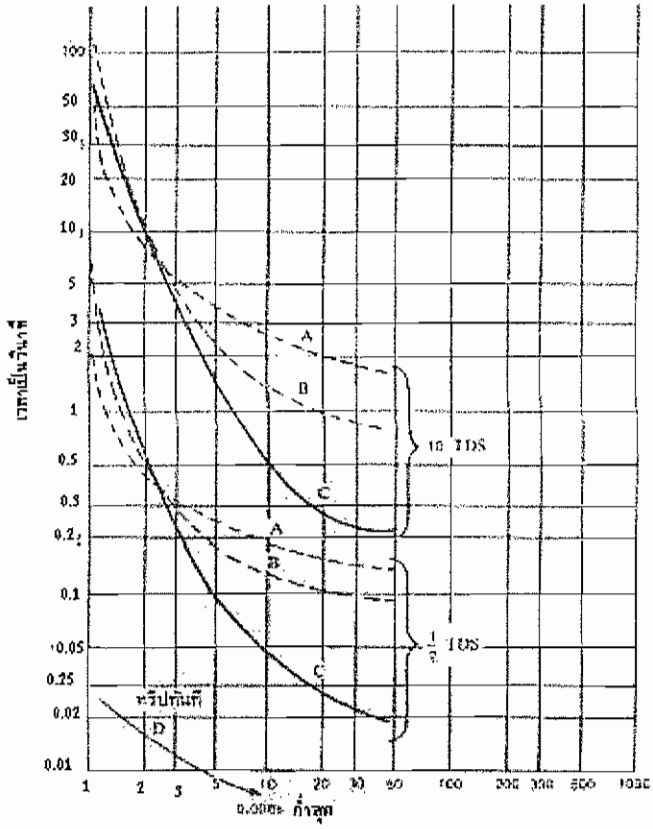
52	เซอร์กิตเบรกเกอร์กระแสสลับ(AC-circuit breaker) เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่สับและตัดกระแสเมื่อเกิดฟอลต์แก่วงจรไฟฟ้ากำลัง ส่วน 52a เป็นหน้าสัมผัสเปิดช่วยและ 52b เป็นหน้าสัมผัสปิดช่วย
55	เพาเวอร์แฟกเตอร์รีเลย์(power factor relay) เป็นรีเลย์ที่จะทำงานเมื่อวงจรไฟฟ้ามีเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำกว่าค่าที่กำหนด
59	รีเลย์แรงดันเกิน(overvoltage relay)เป็นรีเลย์ที่จะทำงานเมื่อแรงดันเกินกว่าค่าที่กำหนด
64	รีเลย์ป้องกันกระแสรั่วลงดิน(ground protective relay) รีเลย์นี้จะทำงานเมื่อฉนวนของเครื่องกลไฟฟ้า หม้อแปลงหรืออื่นๆ บกพร่อง มีกรแสไฟฟ้ารั่วผ่านโครงโลหะของเครื่องจักรกลไฟฟ้าลงสู่ดิน
67	รีเลย์กระแสสลับกระแสเกินแบบมีทิศทาง(AC0-ditectional overcurrent relay) เป็นรีเลย์ตรวจจับกระแสเกิน ในทิศทางการไหลของกระแสที่กำหนด
74	รีเลย์สัญญาณเตือน(alarm relay) รีเลย์นี้เทียบได้กับการแจ้งเหตุ เช่นใช้ทำงาน หรือทำงานให้มองเห็นหรือได้ยินเสียงเตือน
79	รีเลย์กระแสสลับชนิดสับซ้ำ(AC- reclosing relay) เป็นรีเลย์ที่ควบคุมให้สับซ้ำโดยอัตโนมัติ และเปิดค้างเพื่อตัดวงจรไฟฟ้า
81	รีเลย์ความถี่(frequence relay)รีเลย์นี้จะทำงานเมื่อความถี่เปลี่ยนแปลงไปจากความถี่ที่กำหนด
85	รีเลย์คลื่นพาห์หรือสายสื่อสารตอบสนองเครื่องรับ(carrier or pilot wire receive relay) เป็นรีเลย์ตรวจจับฟอลต์ระหว่างสถานีได้ โดยใช้การติดต่อสื่อสารระหว่างรีเลย์
86	รีเลย์เพื่อการเปิดค้าง(locking-out relay) เป็นรีเลย์ที่ใช้ไฟฟ้า ทำงานไม่อัตโนมัติหรือใช้ไฟฟ้าปรับตั้งซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมการหยุดใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า เมื่อเกิดสภาวะไม่ปกติ
87	รีเลย์ป้องกันแบบผลต่าง(diffential protective relay) เป็นรีเลย์ป้องกันโดยวิธีเปรียบเทียบค่าทางไฟฟ้าเป็นเปอร์เซ็นต์ของกระแส 2 จำนวนมาเปรียบเทียบ
92	รีเลย์แรงดันและกำลังไฟฟ้าแบบมิทิศทาง(voltage and power directional relay) เป็นรีเลย์ที่ยินยอมหรือเกิดจากการต่อวงจร 2 วงจร เมื่อแรงดันมีความแตกต่างเกินค่าในทิศทางที่กำหนด และเป็นเหตุให้วงจรทั้ง 2 ถูกปลดออกจากกันเมื่อกำลังไฟฟ้าเกินค่ากว่าทิศทางอีกด้านหนึ่ง

94	รีเลย์การทริปหรือทริปได้อิสระ(tripping or free relay) เป็นรีเลย์ที่ทำหน้าที่ทริปเซอร์กิตเบรกเกอร์คอนแทคคาพาซิเตอร์ หรือทริปอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ หรือป้องกันวงจรการดัดวงจรการตัดกระแสให้เปิดวงจรอย่างอัตโนมัติ

2.1.7.รีเลย์กระแสเกิน

2.1.7.1 ชนิดของรีเลย์กระแสเกิน

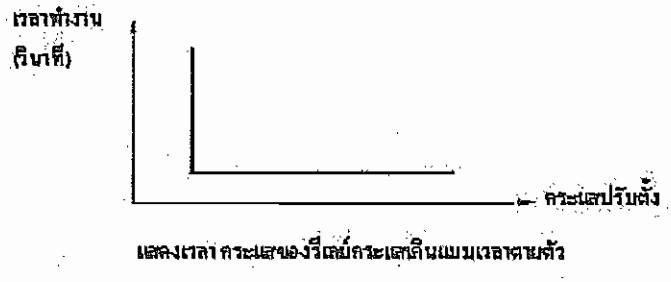
2.1.7.1.1 รีเลย์กระแสเกินชนิดทำงานทันที (intantancous overcurrennt relay) ทำงานเมื่อกระแสเท่ากันหรือสูงกว่าการทำงาน (pickup current)



เส้นโค้งแสดงเวลากระแสรีเลย์กระแสเกินแบบเวลาผกผัน

กราฟที่ 2.1.1 เส้นโค้งแสดงเวลากระแสรีเลย์เกินแบบเวลาผกผัน

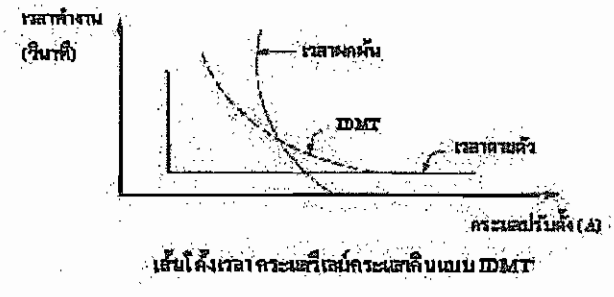
2.1.7.1.2 รีเลย์กระแสเกินแบบตายตัว(definitetine overcurrent relay) รีเลย์ทำงานในช่วงเวลาที่กำหนด



กราฟที่ 2.1.2 แสดงเวลากระแสของรีเลย์กระแสเกินแบบเวลาตายตัว

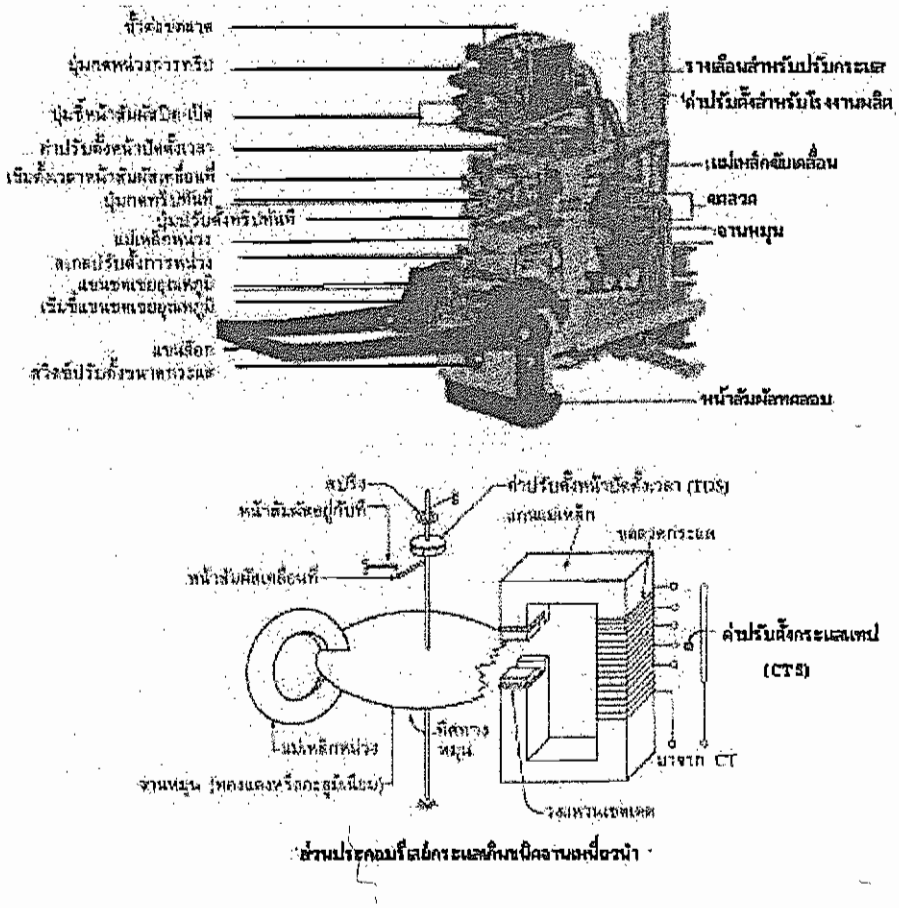
2.1.7.1.3 รีเลย์กระแสเกินแบบผกผัน(inverse time overcurrent relay) กล่าวคือเป็นรีเลย์ที่กระแสมากทำงานเร็วกระแสน้อยทำงานช้า กราฟเปรียบเทียบเวลา-กระแส ดังกราฟที่ 2.1.1 เส้นโค้ง A , B ,C

2.1.7.1.4 รีเลย์กระแสเกินแบบผกผันตายตัวต่ำสุด(IDMT) เป็นแบบผสมระหว่างแบบผกผันกับแบบตายตัว



กราฟที่ 2.1.3 เส้นโค้งแสดงกระแสรีเลย์กระแสเกินแบบ IDMT

2.1.7.2 ค่าปรับตั้งรีเลย์กระแสเกินดังรูปที่ 2.1.9



รูปที่ 2.1.9 ส่วนประกอบรีเลย์กระแสเกินชนิดจานเหนี่ยวนำ

2.1.7.2.1 ค่าปรับตั้งหน้าปัดตั้งเวลา(TDS) หรือตัวคูณค่าปรับตั้งเวลา(TMS) เป็นการปรับระยะห่างระหว่างหน้าสัมผัสเคลื่อนที่กับหน้าสัมผัสอยู่กับที่ การปรับตามมาตรฐาน USA เริ่มจาก 0.5 ถึง 1 ส่วนมาตรฐานอังกฤษเริ่มต้นจาก 0.1 ถึง 1 ถ้าปรับตัวเลขสูงเวลาการทำงานยิ่งนาน

2.1.7.2.2 ตัวคูณค่ากระแสแทป ค่ากระจริงที่ทำให้รีเลย์เริ่มทำงานด้วยตัวคูณเป็นร้อยละของกระแสที่กำหนด ซึ่งเรียกว่าตัวคูณค่าปรับตัวปลั๊ก(PSM) ส่วนค่าปรับตั้งกระแสแทป (CTS)จะมีตัวเลขให้เลือกกระแสแทปหมายถึงการปรับตั้งกระแสเริ่มทำงานต่ำสุด พอดีให้จานหมุนตลอดจนกระทั่งหน้าสัมผัสปิด

ตัวอย่างการคำนวณ เช่น ถ้าให้ CT ทางด้านทุติยภูมิ 1A หรือ 5A เราเลือก 5A เมื่อปรับกระแสแทปไว้ที่ 150%ของ CT ดังนั้น CT = 150%x5= 7.5A

PSM= กระแสลัดวงจร =กระแสลัดวงจรไหลผ่าน

(CTSxCT) (CTS)

เลือกกระแสลัดวงจร 6000A เพื่อเลือก CT 500/5A ต้องการปรับกระแสแทป 200 % ของ CT

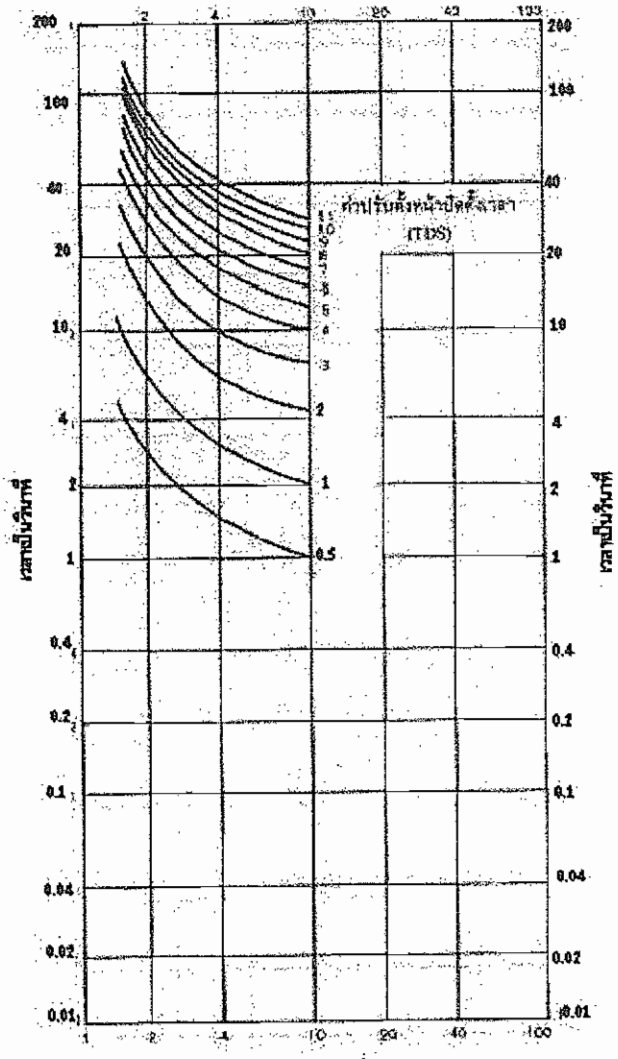
ค่าปรับตั้งกระแสแทป(CTS) = 200 %x5 = 10A

PSM = (6000)/(10x500/5) = 6 Ans

ท่านสามารถเลือกค่าได้ตามตาราง 7.2 330

ตาราง 2.1.2 ย่านปรับตั้งกระแสโหลดผ่านรีเลย์กระแสเกิน

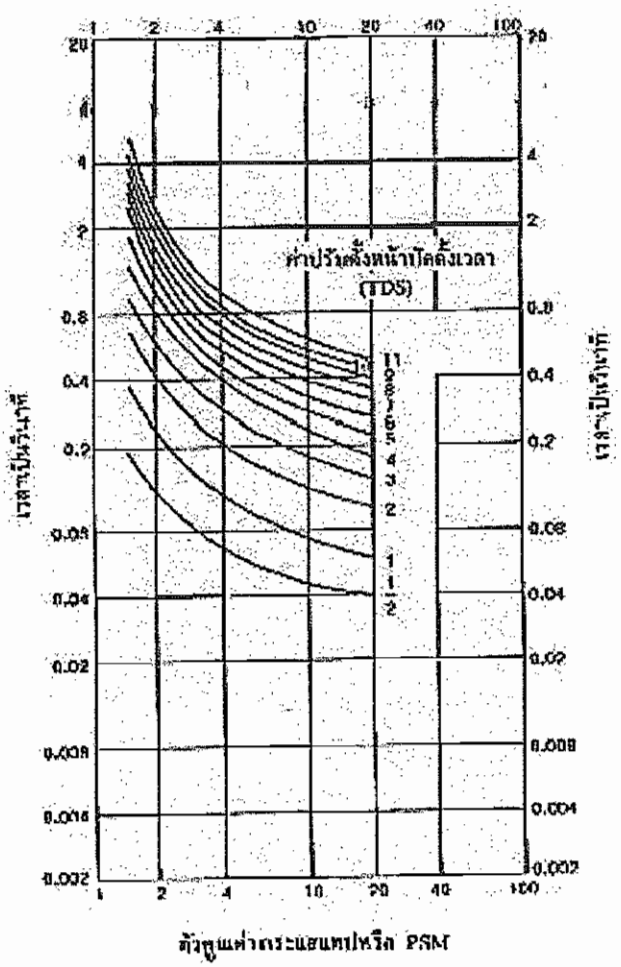
ย่านปรับตั้ง (A)	ค่าปรับตั้งกระแสแทป (CTS) เป็น A
0.5-2.5 (หรือ 0.5-2)	0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0, 2.5
1.5-6 (หรือ 2-6)	1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5, 6
4-16 (หรือ 4-12)	4, 6, 7, 8, 10, 12, 16



เท่าของกระแสแตกปหรือ PSM

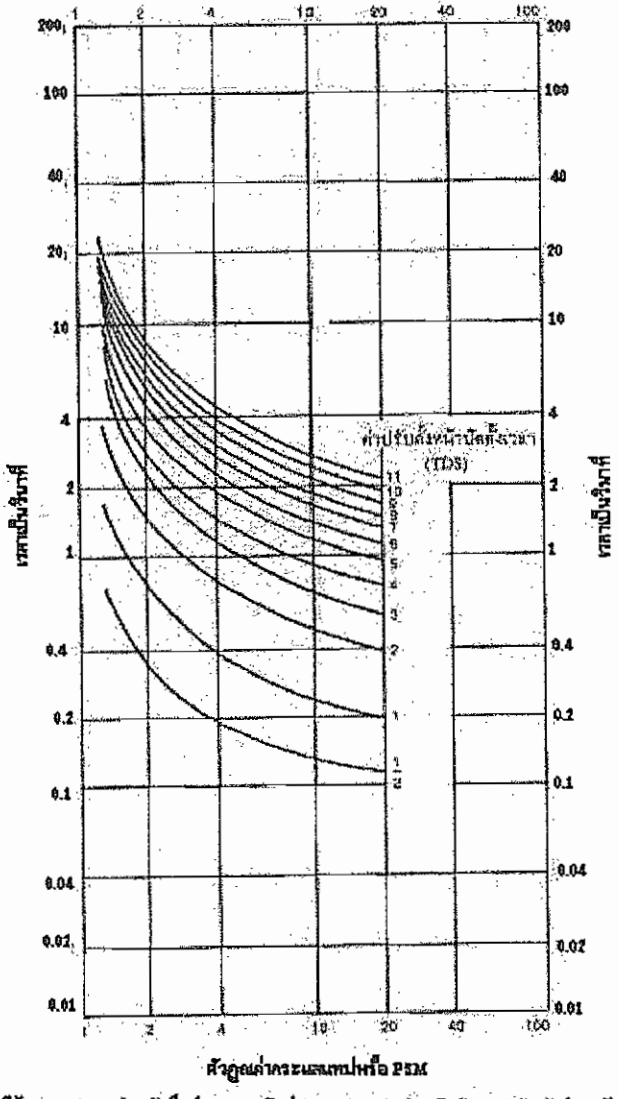
เส้นโค้งผลลัพธ์กระแสสำหรับรีเลย์กระแสเกินช่วงเวลา (long time) เหมาะสำหรับป้องกันมอเตอร์ล็อกโรเตอร์ โดยสามารถเลือกโหมดได้ประมาณ 10 ถึง 70 วินาที

กราฟที่ 2.1.4 เส้นโค้ง-เวลากระแสสำหรับรีเลย์กระแสเกินช่วงเวลา



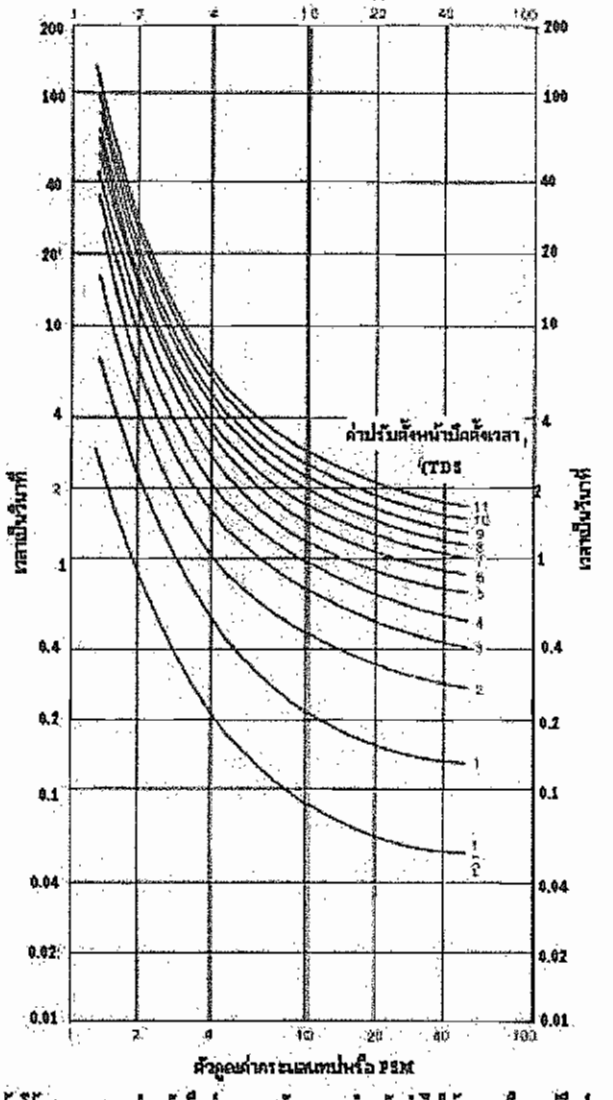
เส้นโค้งเวลา-กระแสสำหรับรีเลย์กระแสเกินช่วงเวลาสั้น (short time) เหมาะสำหรับป้องกันกระแสเกินป้องกันการลัดวงจร และใช้จัดความสัมพันธ์การป้องกัน ทั้งนี้ยอมให้ทริปในเวลา 0.04-1.2 วินาที นอกจากนี้ยังสามารถใช้การป้องกันแบบผลต่าง (differential protection) ให้ทริปช่วงเวลาสั้น

กราฟที่ 2.1.5 เส้นโค้ง-เวลากระแสสำหรับรีเลย์กระแสเกินช่วงเวลาสั้น



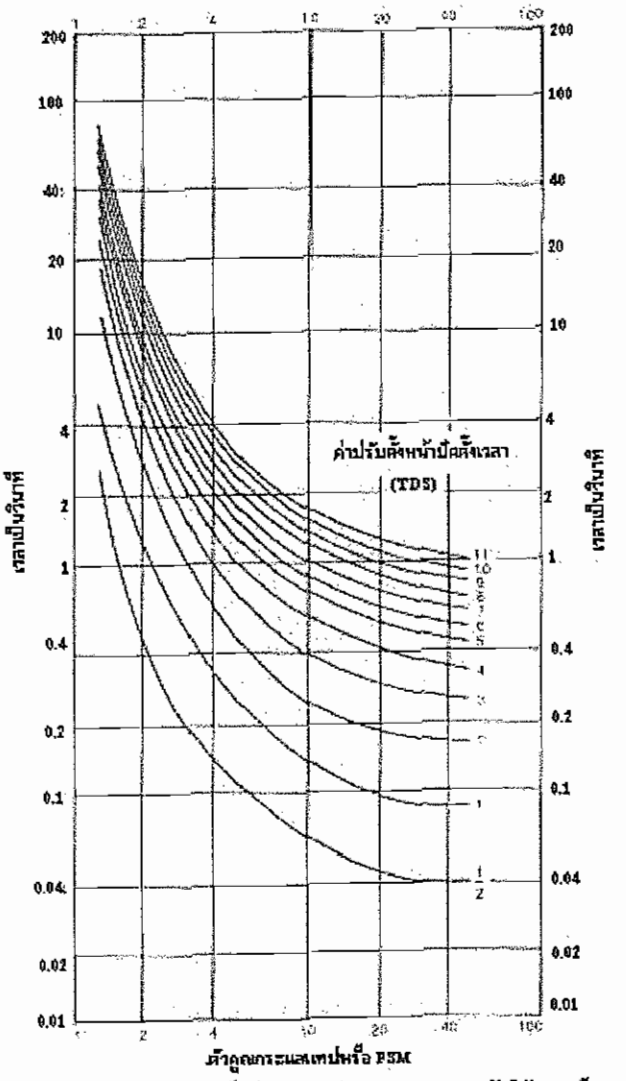
เส้นโค้งเวลา-กระแสสำหรับรีเลย์เวลาผกผันปานกลาง เหมาะสำหรับจัดความสัมพันธ์การป้องกันและเป็นการป้องกันแบบทำงานสำรอง (backup protection) กับรีเลย์วงจรอื่น ๆ

กราฟที่ 2.1.6 เส้นโค้ง-เวลากระแสสำหรับรีเลย์เวลาผกผันปานกลาง



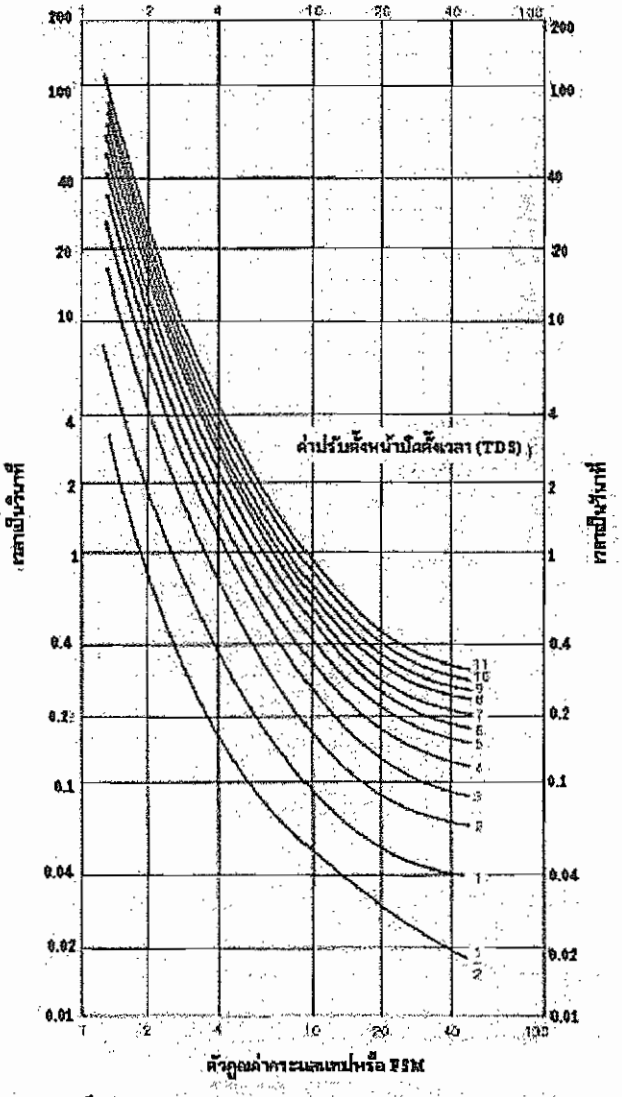
เส้นโค้งเวลา-กระแสสำหรับรีเลย์เวลาผกผัน เหมาะสำหรับนำไปใช้งานแทนรีเลย์ผกผันแบบปานกลาง

กราฟที่ 2.1.7 เส้นโค้ง-เวลากระแสสำหรับรีเลย์เวลาผกผัน



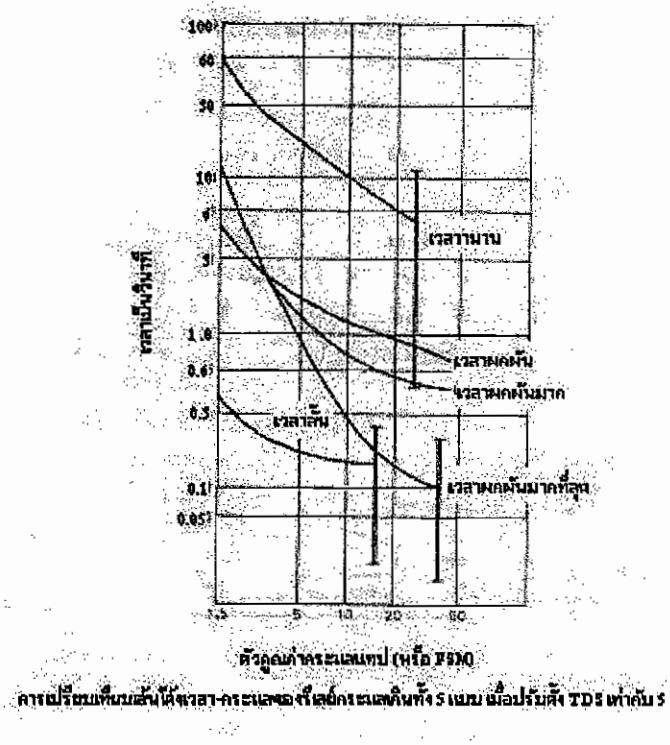
เส้นโค้งเวลา-กระแสสำหรับรีเลย์เวลาผกผันมาก เหมาะสำหรับนำไปใช้งานแม่อันรูป
เวลาผกผันแบบปากคลาง

กราฟที่ 2.1.8 เส้นโค้ง-เวลากระแสสำหรับรีเลย์เวลาผกผันมาก



เส้นโค้งเวลา-กระแสสำหรับรีเลย์เวลาผกผันมากสุด เหมาะสำหรับป้องกันมอเตอร์ ยอมให้สิลกโรเตอร์ในเวลาไม่เกิน 10 วินาที และเหมาะสำหรับจัดลำดับความสัมพันธ์การป้องกันด้วยฟิวส์และรีโคลสเซอร์ หรือสำหรับหม้อแปลงที่มีกระแสพุ่งเข้า (inrush) สูง ๆ

กราฟที่ 2.1.9 เส้นโค้ง-เวลากระแสสำหรับรีเลย์เวลาผกผันมากสุด



กราฟที่ 2.1.10การเปรียบเทียบเส้นโค้งเวลา-กระแสของรีเลย์ทั้ง 5 แบบ

2.1.8. การจัดลำดับความสัมพันธ์การป้องกันด้วยรีเลย์กระแสเกิน

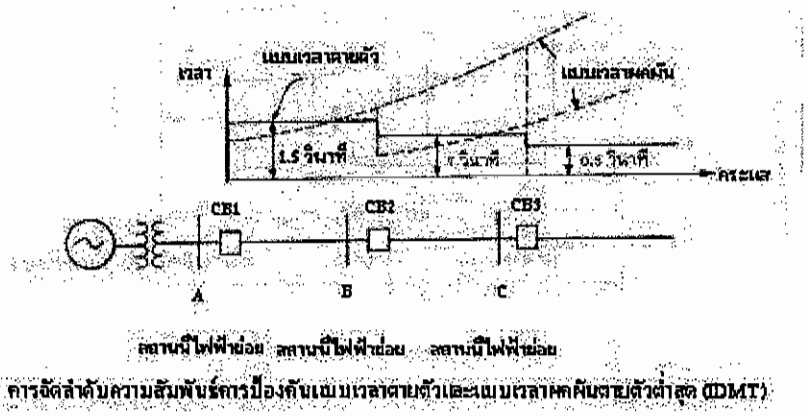
2.1.8.1 การจัดระยะเวลาความสัมพันธ์รีเลย์

2.1.8.1.1 เวลาเบรกเกอร์ทำงาน ประมาณ 0.12 วินาที หรือ 6 ไซเคิล เป็นเวลาที่รีเลย์ปิดหน้าสัมผัสเพื่อสั่งทริปเซอร์กิตเบรกเกอร์

2.1.8.1.2 เวลาทำงานเกิน ประมาณ 0.05 ถึง 0.1 วินาที

2.1.8.1.3 ความคลาดเคลื่อน

2.1.8.1.4 เวลาเพื่อความปลอดภัย โดยทั่วไปเวลาที่เพื่อไว้ทำงานประมาณ 0.4 ถึง 0.5 วินาที



การจัดลำดับความสัมพันธ์การป้องกันแบบเวลาคงที่และแบบเวลาผกผันตัวต่ำสุด (IDMT)

รูปที่ 2.1.10 การจัดลำดับความสัมพันธ์

2.1.8.2การคำนวณหาค่าปรับตั้งรีเลย์กระแสเกิน

2.1.8.2.1 รีเลย์กระแสเกินของเฟส จะกำหนดค่ากระแสเริ่มทำงานต่ำสุด อย่างน้อย 2 เท่าของกระแสโหลดเต็มที่และโดยปกติทั่วไปไม่ควรต่ำกว่า 1.25 เท่าแต่ ไม่เกิน 2.5 เท่า

2.1.8.2.2 รีเลย์กระแสเกินไฟรั่วลงดิน จะกำหนดค่ากระแส เริ่มทำงานต่ำสุด 30 %ของกระแสโหลดเต็มที่

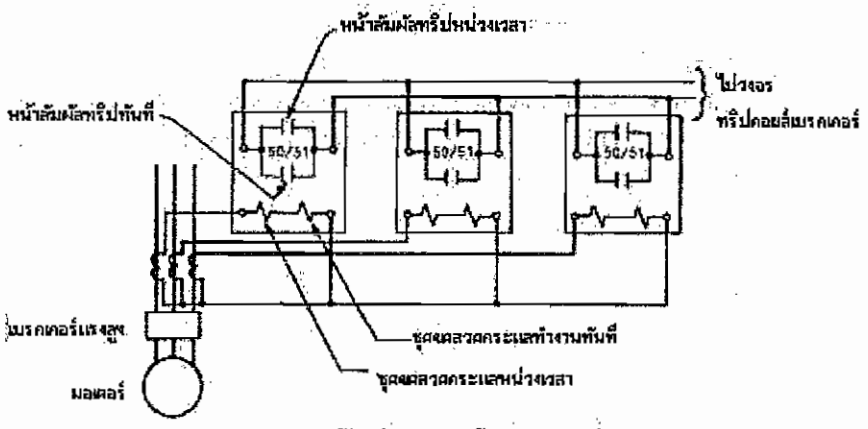
2.1.8.2.3 พิกัดกระแสโหลด

2.1.8.2.4 ปรับตั้งค่ากระแสแทป(CTS) พิจารณาตามค่ากระแสเริ่มทำงานต่ำสุด CTS $\geq$ 2 เท่าของกระแสโหลดเต็มที่ หรือ CTS $\leq$ 1/3 เท่าของกระแสลัดวงจรต่ำสุด

2.1.8.2.5 พิกัดของรีเลย์กระแสเกินเป็น 1A หรือ 5A ถ้าพิกัดของรีเลย์เกิน 5A อัตราส่วนของหม้อแปลงกระแสด้านทุติยภูมิเป็น 5A เสมอ

2.1.9.การเลือกใช้รีเลย์เพื่อการป้องกัน

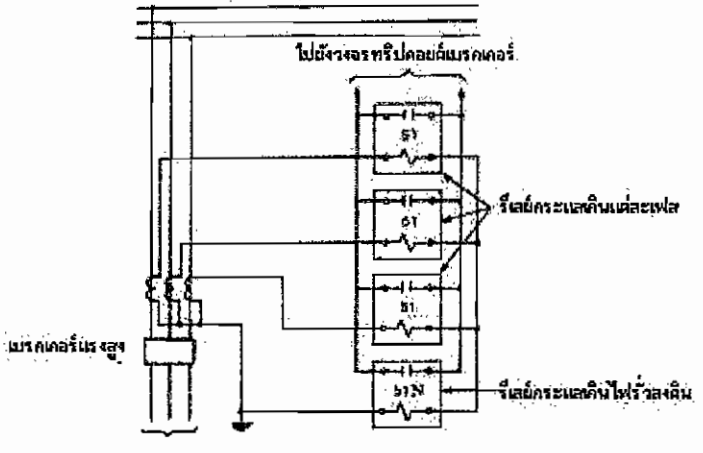
2.1.9.1การป้องกันโหลดเกินของมอเตอร์ จะทำงานเมื่อมีโหลดเกินขณะที่สตาร์ทมอเตอร์ควรปรับให้ค่ากระแสรีเลย์สูงกว่ากระแสสตาร์ทมอเตอร์



การใช้รีเลย์กระแสเกินป้องกันมอเตอร์

รูป 2.1.11 การใช้รีเลย์กระแสเกินป้องกันมอเตอร์

2.1.9.2 การป้องกันไฟฟ้ารั่วลงดิน จะใช้หลักการเช่นเดียวกันกับกระแสป้องกันเฟส



การใช้รีเลย์กระแสเกินไฟรั่วลงดินร่วมกับรีเลย์กระแสเกินของเฟส

รูปที่ 2.1.12 การใช้รีเลย์กระแสเกินไฟรั่วลงดินร่วมกับรีเลย์กระแสเกินของเฟส

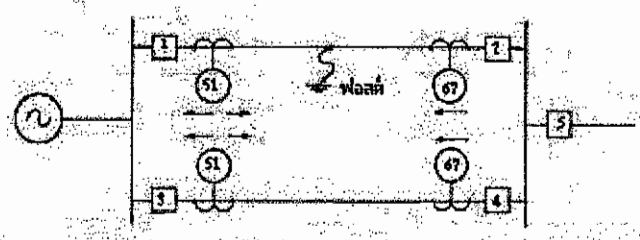
ป
LB
1029.5
ส361ป
2543

- 9 พ.ค. 2544

4440100

สำนักหอสมุด

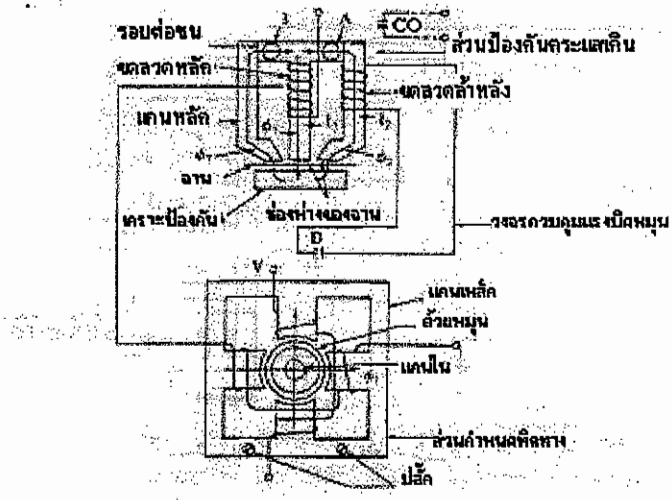
2.1.9.3 รีเลย์กระแสเกินแบบมีทิศทาง รีเลย์ชนิดนี้สามารถแยกแยะทิศทางได้ โดยหลักการทำงานสามารถทำงานโดยเมื่อเกิดการลัดวงจร ส่วนป้องกันกระแสเกินจะทำงานก็ต่อเมื่อมีทิศทางที่เกิดการลัดวงจรนั้นถูกต้อง



51 = รีเลย์กระแสเกิน (ไม่รู้ทิศทาง)

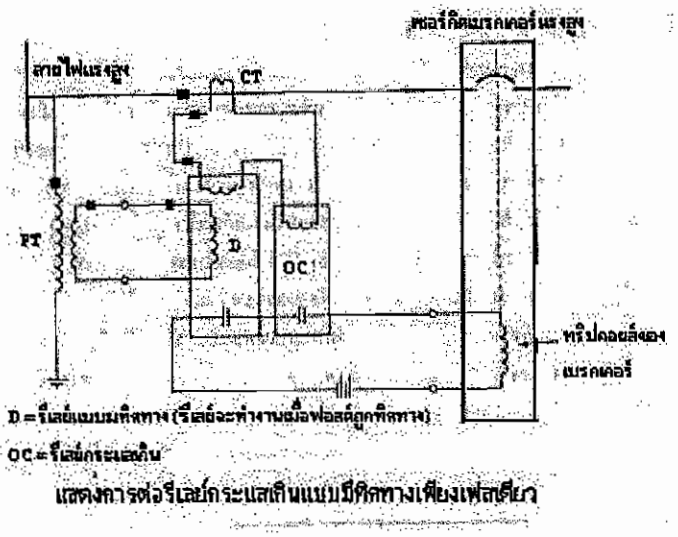
67 = รีเลย์กระแสเกินแบบมีทิศทาง (รู้ทิศทาง)

การใช้รีเลย์กระแสเกินร่วมกับรีเลย์กระแสเกินแบบมีทิศทาง



ชุดควบคุมรีเลย์กระแสเกินแบบมีทิศทาง

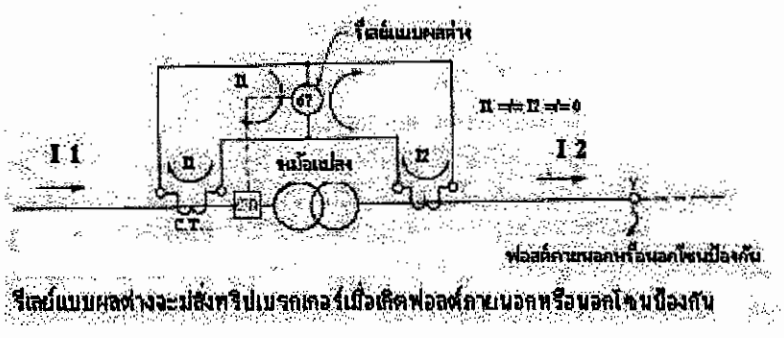
รูปที่ 2.1.13 ชุดควบคุมรีเลย์กระแสเกินแบบมีทิศทาง



รูปที่ 2.1.14 แสดงการต่อรีเลย์กระแสเกินมีทิศทางเฟสเดียว

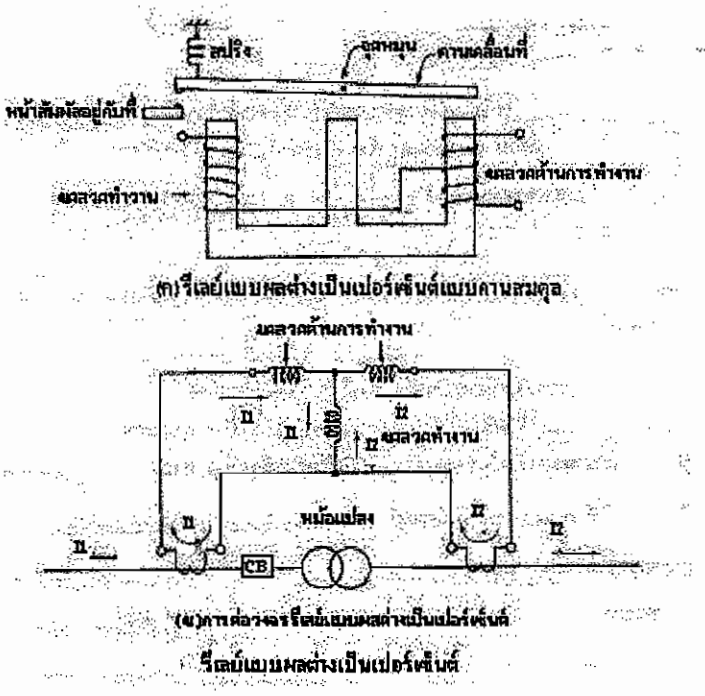
2.1.9.4 รีเลย์แบบผลต่างป้องกันหม้อแปลง แบ่งเป็น 2 ชนิด

2.1.9.4.1 รีเลย์แบบผลต่าง (differential relay) ทำงานเมื่อผลต่างทางเวกเตอร์เป็นปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ต่างกัน 2 ค่า คือ $I_1-I_2 \neq 0$ จึงจะทำงานถ้า $I_1=I_2$ จะไม่ทำงาน



รูปที่ 2.1.15 รีเลย์กระแสผลต่าง

2.1.9.4.2 รีเลย์แบบผลต่างเป็นเปอร์เซ็นต์(percentage differential relay) รีเลย์นี้ประกอบด้วยขดลวดต้านการทำงาน(restraining coil) และขดลวดทำงานจะเทียบเป็นสัดส่วนกับกระแส$(I_1+I_2)/2$ (เนื่องจากขดลวดอยู่ตรงกลางของขดลวดทำงาน) ผลต่างของกระแสทำให้รีเลย์ทำงาน จึงถูกเรียกว่า รีเลย์แบบผลต่างเป็นเปอร์เซ็นต์ ลักษณะการทำงานจะขดลวดทำงานจะสร้างแรงไปปิดหน้าสัมผัส ส่วนขดลวดด้านการทำงานจะสร้างแรงด้านการปิดกล่าวคือ ถ้ากระแสทำงาน(I_1-I_2)ต้องสูงกว่าเปอร์เซ็นต์ที่ปรับตั้งไว้รีเลย์จึงจะสั่งทริปแบรกเกอร์



(ก)รีเลย์แบบผลต่างเป็นเปอร์เซ็นต์แบบคานสมดุล

(ข)การต่อวงจรรีเลย์แบบผลต่างเป็นเปอร์เซ็นต์

รีเลย์แบบผลต่างเป็นเปอร์เซ็นต์

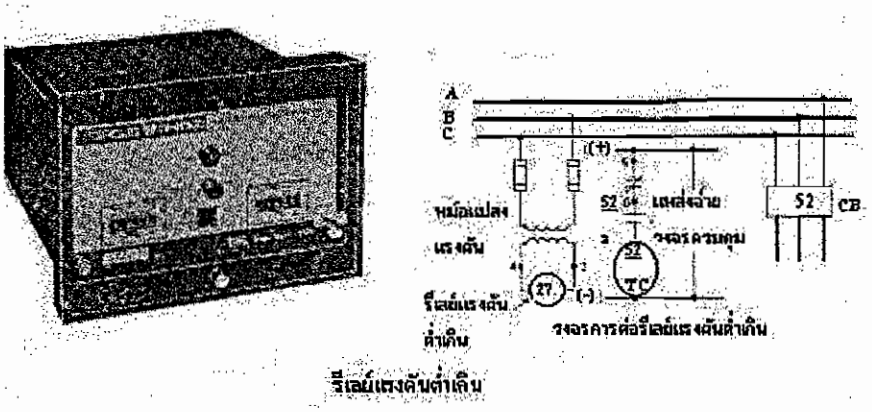
รูปที่ 2.1.16 รีเลย์กระแสแบบผลต่างเป็นเปอร์เซ็นต์

อัตราส่วนผลต่างของกระแสในขดลวดทำงานกับกระแสเฉลี่ยในขดลวดด้านการทำงาน เรียกว่าเปอร์เซ็นต์มิสแมทช์

เปอร์เซ็นต์มิสแมทช์ = $\frac{I_1-I_2 \times 100}{(I_1+I_2)/2} = \frac{I_d \times 100}{(I_1+I_2)/2}$

I_1-I_2 = กระแสไหลผ่านขดลวดทำงาน

$(I_1+I_2)/2$ = กระแสไหลผ่านขดลวดด้านการทำงาน



รูปที่ 2.1.17 รีเลย์แรงดันต่ำเกิน

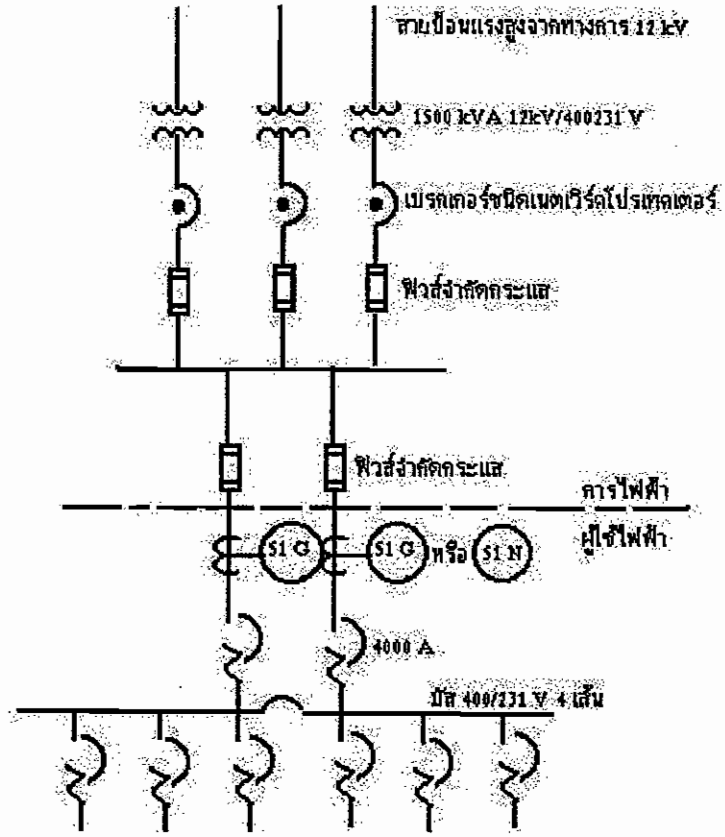
2.1.9.5 รีเลย์ตอบสนองแรงดัน (voltage relay)

2.1.9.5.1 รีเลย์แรงดันต่ำเกิน (undervoltage relay) ใช้สำหรับป้องกันมอเตอร์

2.1.9.5.2 รีเลย์แรงดันเกิน (overvoltage relay) ใช้สำหรับกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

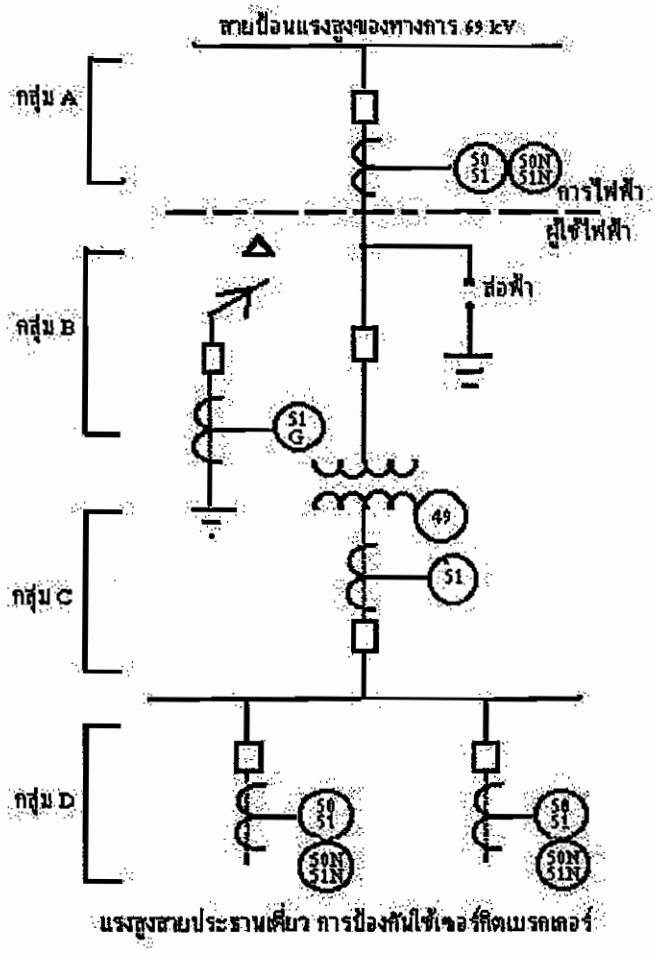
2.1.10.การป้องกันระบบการจ่ายไฟฟ้า

2.1.10.1 ระบบการจ่ายไฟฟ้าวงจรตาข่ายแรงดันต่ำกว่า 600V



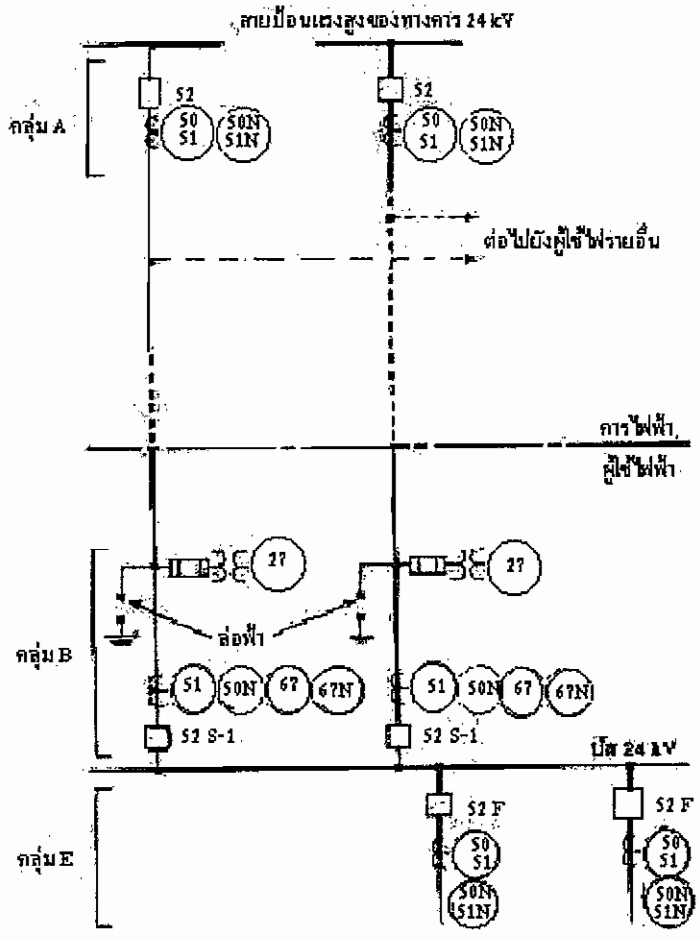
รูปที่ 2.1.18 ระบบจ่ายไฟฟ้าวงจรตาข่ายแรงดันต่ำกว่า 600 V

2.1.10.2 ระบบการจ่ายไฟแรงสูงสายประธานเดี่ยว



รูปที่ 2.1.19 ระบบการจ่ายไฟแรงสูงสายประธานเดี่ยว

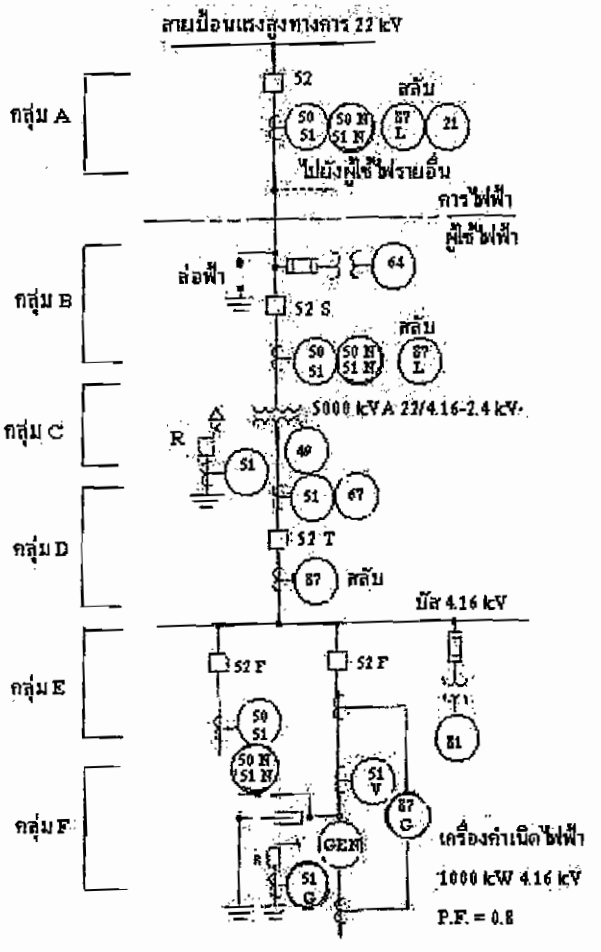
2.1.10.3 ระบบการจ่ายไฟแรงสูงสายประธานคู่



แรงสูงสายประธานคู่ไม่มีหม้อแปลง

รูปที่ 2.1.20 ระบบการจ่ายไฟแรงสูงสายประธานคู่

2.1.10.4 การป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสถานประกอบการ



รูปที่ 2.1.21 ระบบการป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสถานประกอบการ

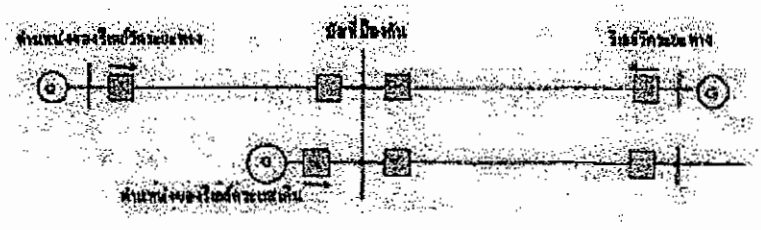
2.2 ระบบป้องกันสำหรับป้องกันบัส

1. การป้องกันบัสโดยใช้รีเลย์รองของระบบ (Protection by Back-up Relay)
2. การป้องกันโครงสร้างรองรับกับดิน (Frame-earth Protection)
3. การป้องกันแบบใช้ค่าผลต่าง (Differential Protection)
4. การป้องกันแบบเปรียบเทียบมุมเฟส (Phase comparison Protection)
5. การป้องกันแบบเปรียบเทียบทิศทาง (Directional locking Protection)

ปัจจุบันนิยมใช้การป้องกันบัสแบบ 2 และแบบ 3 กันมาก ส่วนแบบ 1 นั้นจะใช้ได้เฉพาะบัสในสถานีจ่ายไฟฟ้าแบบย่อยขนาดเล็กเท่านั้น แบบ 4 และแบบ 5 ไม่นิยมใช้

2.2.1 การป้องกันบัสโดยใช้รีเลย์รองของระบบ (Protection by Back-up Relay)

การป้องกันแบบใช้รีเลย์กระแสเกิน หรือรีเลย์แบบวัดระยะทางเป็นการป้องกันแบบที่ไม่จำกัดบริเวณรีเลย์จะมองเห็นเลยออกไปจากเขตควบคุมของตัวเองได้ ระบบป้องกันแบบนี้จึงสามารถป้องกันรวมไปถึงบัสได้ การป้องกันโดยใช้รีเลย์กระแสเกินมักใช้กับระบบการจ่ายไฟฟ้าขนาดเล็กเท่านั้น หรือใช้เป็นรีเลย์รองของระบบป้องกัน ซึ่งปรับตั้งถ่วงเวลาการทำงานให้นานพอสมควร ส่วนรีเลย์วัดระยะทางนั้นมี 3 หน่วยซึ่งมีเขตป้องกัน 3 เขตด้วยกัน เขตแรกจะป้องกันสายได้ไม่ตลอดทั้งสาย แต่เขตที่ 2 จะป้องกันเลยไปถึงบัสที่ปลายสายอีกข้างหนึ่งได้ จึงอาจใช้รีเลย์เขตที่ 2 นี้ป้องกันบัส ในทั้งสองกรณีการป้องกันบัสจะเปรียบเสมือนอยู่ในการป้องกันชั้นที่ 2 ของรีเลย์เหล่านี้ เวลาการทำงานจะช้า ซึ่งจะใช้ได้เฉพาะกรณีที่บัสต้องการป้องกันมีความสำคัญต่อระบบน้อย ข้อเสียอีกประการหนึ่ง คือ บางครั้งต้องตัดสายออกไปทั้งสายโดยที่ไม่มีการลัดวงจรในสายนั้นเลย และถ้ามีการใช้โหลดจากสายนั้นก็ต้องขาดไปโดยไม่จำเป็น

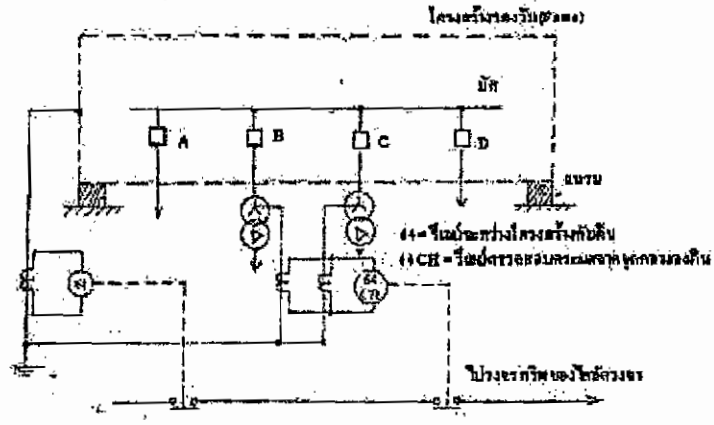


รูปที่ 2.2.1 การป้องกันบัสโดยใช้รีเลย์รองของระบบ

2.2.2 การป้องกันโดยต่อรีเลย์ระหว่างโครงสร้างรองรับกับดิน

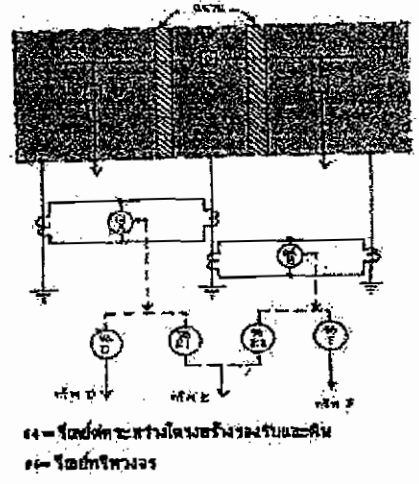
บางครั้งมีการฉนวนโครงสร้างที่รองรับบัส และอุปกรณ์อื่นๆ ทุกชิ้นจากดิน แล้วต่อสายจากโครงสร้างที่ต่อถึงกันเหล่านี้ลงดินที่จุดเดียว จะป้องกันการลัดวงจรลงดินของบัส และ

อุปกรณ์อื่นในเขตนี้โดยต่อหม้อแปลงกระแสในสายดินดังกล่าว และใช้รีเลย์กระแสเกินแบบทำงานทันที หลักการง่ายๆ คือเมื่อไม่มีการลัดวงจรในเขตบัสจะไม่มีกระแสไหลผ่านสายต่อลงดินเลย และเมื่อมีการลัดวงจรลงดิน กระแสจะไหลลงดินผ่านสายนี้ได้ทางเดียวทำให้รีเลย์ทำงานได้ เพื่อป้องกันการทำงานผิดพลาด อาจใช้รีเลย์ซึ่งต่อในสายจากจุดกลางของหม้อแปลงกำลังลงดินตรวจสอบว่าเป็นการลัดวงจรลงดินในเขตนี้จริงหรือไม่ตามหลักการ ถ้ารีเลย์ในระบบทั้งสองทำงานด้วยทั้งคู่ จะทำให้วงจรทริพกระแสไหล และจะสั่งไกตัดวงจรทุกตัวให้ทำงาน ระบบนี้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.2.2



รูปที่ 2.2.2 การป้องกันบัสโดยใช้รีเลย์ต่อระหว่างโครงสร้างรองรับกับดิน

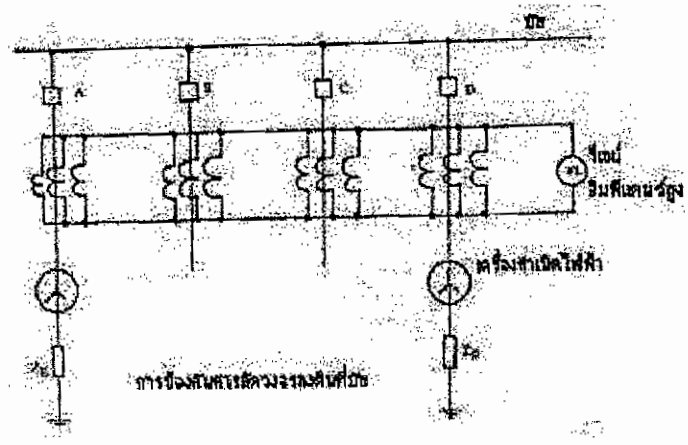
2.2.3 การป้องกันโดยใช้ระบบรีเลย์แบบกระแสผลต่าง (Differential Protection)



รูปที่ 2.2.3 การป้องกันบัสซึ่งแบ่งออกเป็น 3 เขต

2.2.3.1 รีเลย์กระแสผลต่างสำหรับการลัดวงจรลงดิน

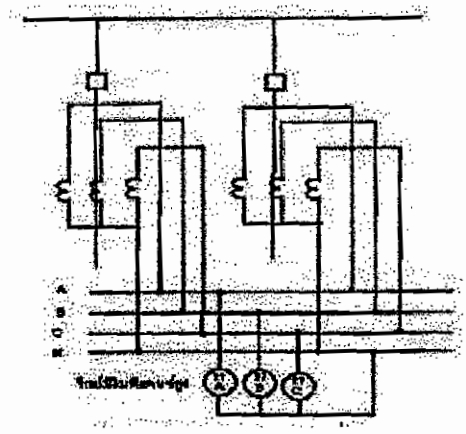
การป้องกันจะทำได้โดยต่อหม้อแปลงกระแสขนานกันในแต่ละเฟสของวงจรหนึ่งๆ เป็นชุดสำหรับแต่ละสายที่ออกไปจากบัส แล้วต่อหม้อแปลงกระแสแต่ละชุดขนานเข้ารีเลย์ รีเลย์ที่ใช้ในกรณีนี้มักเป็นอิมพีแดนซ์สูง การต่อวงจรป้องกันได้เฉพาะการลัดวงจรลงดินเท่านั้น



รูปที่ 2.2.4 การป้องกันการลัดวงจรลงดินที่บัส

2.2.3.2 รีเลย์กระแสผลต่างสำหรับการลัดวงจรระหว่างเฟสและการลัดวงจรลงดิน

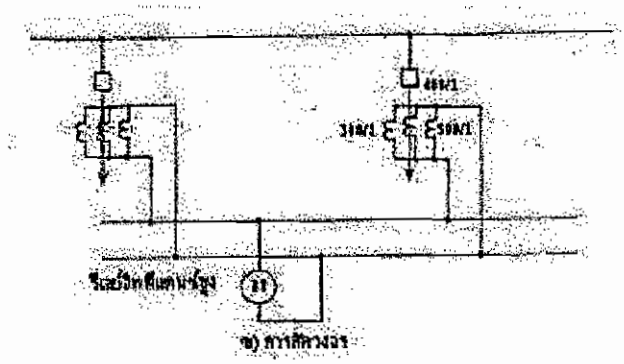
การป้องกันการลัดวงจรระหว่างเฟสอาจทำได้โดยการต่อวงจร โดยมีรีเลย์ 3 ตัว การปรับตั้งรีเลย์สำหรับการลัดวงจรระหว่างเฟส และการลัดวงจรลงดินจะตั้งค่าไว้เท่ากัน การต่อวงจรแบบนี้นิยมใช้กันพอสมควรเพราะง่าย และทำงานได้ดี



รูปที่ 2.2.5 การป้องกันการลัดวงจรระหว่างเฟสและลงดินที่บัส

2.2.3.3 การป้องกันการลัดวงจรระหว่างเฟสและต่อลงดินโดยใช้หม้อแปลงกระแสขนาดต่างกัน

การป้องกันการลัดวงจรระหว่างเฟส และการลัดวงจรลงดิน อาจทำได้โดยการต่อหม้อแปลงกระแส ซึ่งมีอัตราการแปลงต่างกันในเฟสแต่ละเฟส เช่นอาจเป็นหม้อแปลง ซึ่งมีอัตราแปลง 300/1 ในเฟส A 400/1 ในเฟส B และ 500/1 ในเฟส C หม้อแปลงกระแสแต่ละชุดจะต่อเข้ารีเลย์เพียงตัวเดียว ดังแสดงในรูป 2.2.6



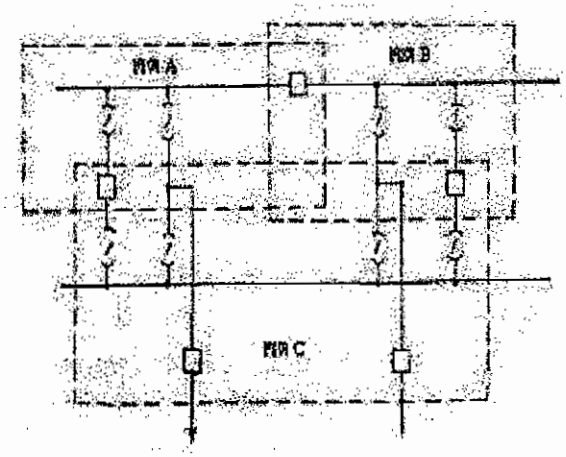
รูปที่ 2.2.6 การป้องกันการลัดวงจรระหว่างเฟสและลงดินที่บัสโดยใช้ CT ต่างกัน

การต่อแบบนี้จะป้องกันการลัดวงจรได้ทุกแบบ โดยตั้งให้รีเลย์สนองตอบต่อการลัดวงจรต่างๆกัน การลัดวงจรลงดินจะมีการปรับตั้งต่ำกว่า การลัดวงจรระหว่างเฟส การต่อวงจรแบบนี้เหมาะสมสำหรับระบบที่มีการต่อลงดินโดยผ่านความต้านทาน ระบบป้องกันแบบนี้จะระคาถูกกว่า เนื่องจากใช้สายบัส สวิทย์ช่วยและรีเลย์น้อยกว่าระบบ

2.2.3.4 การป้องกันการลัดวงจรระหว่างเฟสและการลัดวงจรลงดินโดยใช้หม้อแปลงกรแสเท่ากัน อีกวิธีหนึ่งที่ในการป้องกันระบบที่ต่อลงดินโดยตรง คือใช้หม้อแปลงกระแสที่อัตราการแปลงเท่ากัน

2.2.3.5 การป้องกันบัสที่แบ่งออกเป็นส่วน และบัสคู่

ในกรณีที่บัสแยกออกเป็นส่วน ควรจะต้องป้องกันแต่ละส่วนด้วยระบบรีเลย์ แบบกระแสผลต่างแยกต่างหาก โดยจัดให้เขตป้องกันคาบเกี่ยวกัน แสดงดังรูปที่ 2.2.7



รูปที่ 2.2.7 เขตการป้องกันของบัสแยกส่วน

2.3 หลักการป้องกันหม้อแปลง

2.3.1. การป้องกันความร้อนสูงเกินขนาด (Overheating Protection)

พิกัดของหม้อแปลงจะขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น (Temperature Rise) จากอุณหภูมิโดยรอบสูงสุดที่กำหนดเป็นข้อจำกัดในการจ่ายโหลดของหม้อแปลง และในกรณีนี้ การจ่ายโหลดเกินขนาดเป็นเวลาต่อเนื่องนานๆ จะทำไม่ได้ถ้าอุณหภูมิโดยรอบต่ำกว่าค่าที่กำหนดดังกล่าว อาจใช้หม้อแปลงจ่ายโหลดเกินขนาดได้บ้างในช่วงเวลาสั้นๆ ขึ้นอยู่กับการใช้งานของหม้อแปลงก่อนหน้านั้น กฎตายตัวที่จะกำหนดว่าหม้อแปลงจะจ่ายโหลดเกินขนาดเป็นระยะเวลาเท่าไรนั้นทำได้ยาก แต่สิ่งที่กล่าวได้อย่างแน่นอน คือจะต้องไม่ให้ขดลวดตัวนำมีความร้อนสูงมากเกินไป

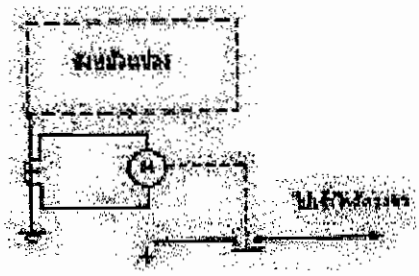
2..3.2 การป้องกันฟลักซ์สูงเกินขนาด (Overfluxing Protection)

การเกิดฟลักซ์สูงเกินนี้มักเกิดจากความผิดพลาดในการดำเนินการใช้หม้อแปลง คือ สภาวะการทำงานผิดปกติ กรณีเช่นนี้ไม่จำเป็นต้องรีบตัดหม้อแปลงออกจากระบบทันที เพราะระบบอาจมีการรบกวนชั่วขณะ อาจปล่อยไว้ได้นานถึง 1 หรือ 2 นาที แต่สภาพยังคงเป็นเช่นเดิม

การป้องกันฟลักซ์สูงเกินนี้จะใช้ค่อนข้างมากกับชุดหม้อแปลงที่ติดอยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพราะโอกาสเกิดการทำงานผิดปกตินั้นมีมากกว่าหม้อแปลง

2.3.3 การป้องกันการลัดวงจรจากถังลงดิน (Tank-earth Protection)

การป้องกันแบบนี้เรียกว่า การป้องกันแบบโฮวาด (Howard Protection) ถังของหม้อแปลงมีการฉนวนจากดินโดยปกติค่าความต้านทานของฉนวน ประมาณ 10 โอมห์ จะมีเพียงพอที่จะสามารถป้องกันการลัดวงจรลงดินได้ โดยต่อรีเลย์ซึ่งอาจจะเป็นแบบทำงานทันทีแบบง่ายๆเข้าทางขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง



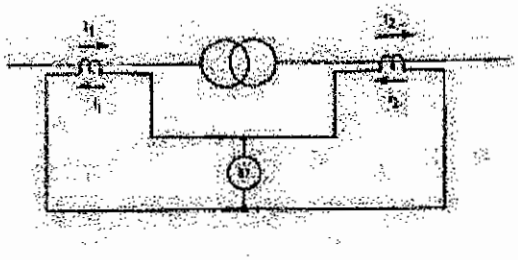
รูปที่ 2.3.1 การป้องกันการลัดวงจรจากถังลงดิน

2.3.4 การป้องกันโดยการวัดแกสที่เกิดขึ้นในหม้อแปลง (Gas Detection Protection)

ในกรณีที่หม้อแปลงเป็นแบบแช่อยู่ในน้ำมัน การลัดวงจรทุกชนิดที่เกิดใต้ระดับน้ำมันจะทำให้เกิดความร้อนสูงเฉพาะแห่ง (Local Heathing) และจะทำให้น้ำมันแยกตัวออก เมื่อเกิดการอาร์ค ถึงแม้เล็กน้อยก็จะทำให้น้ำมันแยกตัวเป็นแกส เช่น ไฮโดรเจน,คาร์บอนโมโนออกไซด์หรือไฮโดรคาร์บอนชนิดเบาๆถ้าการลัดวงจรที่เกิดขึ้นไม่รุนแรงมากจะมีแกสค่อยๆ ออกมาและแกสนี้จะลอยตัวขึ้นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังมีไอน้ำมันด้วย ก็จะสร้างแรงดันสูงมากและผ่านท่อไปยังถังเก็บน้ำมันเป็นจำนวนมาก

2.3.5 การป้องกันแบบกระแสต่าง (Differential Protection)

เนื่องจากหม้อแปลงมีประสิทธิภาพสูง มีความสูญเสียในแกนเหล็กและในทองแดงต่ำ จำนวนแอมแปร์-รอบ ของทางด้านปฐมภูมิมีค่าประมาณเท่ากัน จึงสามารถจะจัดระบบป้องกันแบบกระแสผลต่างสำหรับหม้อแปลงทั้งสามตัวแสดงดังรูปที่ 2.3.2



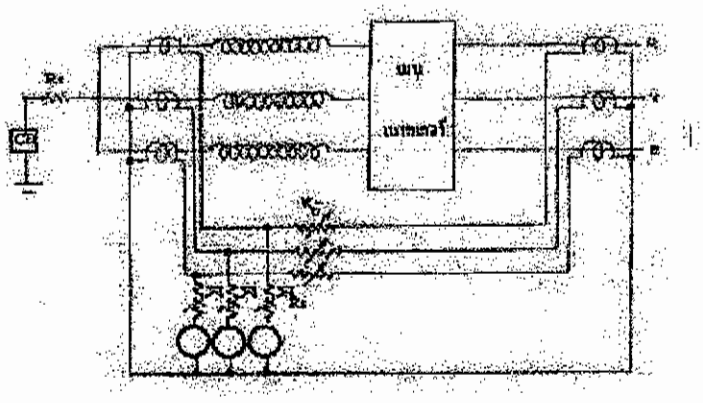
รูปที่ 2.3.2 การป้องกันหม้อแปลงแบบใช้กระแสผลต่าง

2.4 การป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.4.1 การป้องกันแบบวัดค่าผลต่าง

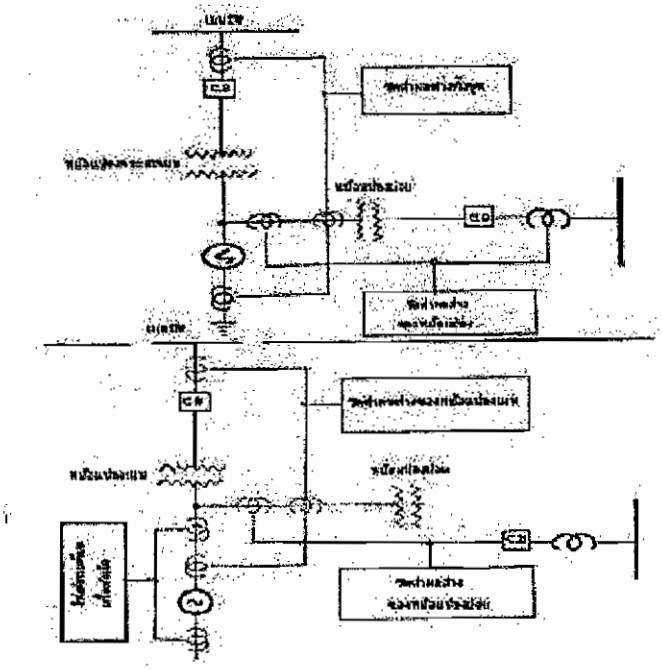
การป้องกันแบบวัดค่าผลต่างเป็นระบบป้องกันที่น่าพอใจมากที่สุดในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ โดยมากจะติดตั้งในเครื่องกำเนิดขนาดพิกัด 2 MVA ขึ้นไป ระบบนี้จะให้การป้องกันที่รวดเร็วมาก สำหรับกระแสลัดวงจรระหว่างเฟสและกระแสลัดวงจรลงดินที่เกิดขึ้นในสเตเตอร์ ระบบนี้จะทำงานรวดเร็วมาก เวลาการทำงานของรีเลย์อาจสั้นเพียง 15 วินาทีเท่านั้น รีเลย์ที่ใช้อาจเป็นรีเลย์อิมพีแดนซ์สูงหรือรีเลย์วัดค่าผลต่างเป็นเปอร์เซนต์ ค่าเซทติ้งของรีเลย์จะมีค่าต่ำแต่ไม่ต่ำมากจนเกินไปจนรีเลย์ไม่สามารถทำงานได้

เมื่อมีกระแสฟอลต์ขนาดสูงๆ นอกเขตป้องกันรีเลย์วัดค่าผลต่างให้การป้องกันอย่างสมบูรณ์สำหรับฟอลต์ระหว่างเฟสและจะไม่ตอบสนองต่อฟอลต์นอกเขตการป้องกันและภาระเกินขนาดสำหรับเครื่องกำเนิดที่ต่อจุดกลางลงดินโดยตรงนั้น ฟอลต์ลงดินที่เกิดขึ้นในสเตเตอร์จะได้รับการป้องกันครอบคุมทุกจุดบนขดลวด แต่ถ้าต่อจุดกลางลงดินผ่านความต้านทานหรือรีแอคแตนซ์แล้วขดลวดบางส่วนของเครื่องใกล้จุดกลางจะไม่ได้รับการป้องกันเมื่อเกิดฟอลต์ลงดิน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของความต้านทานหรือรีแอคแตนซ์แล้วขดลวดบางส่วนของเครื่องใกล้จุดกลางจะไม่ได้รับการป้องกันเมื่อเกิดการลัดวงจรลงดิน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของความต้านทานหรือรีแอคแตนซ์ที่ต่ออยู่



รูปที่ 2.4.1 แสดงระบบการป้องกันขดลวดด้วยระบบวัดค่าผลต่างโดยใช้รีเลย์อิมพีแดนซ์สูง

ในบางกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่และหม้อแปลงใช้งานเป็นชุดหรือหน่วยเดียวกันการป้องกันแบบวัดค่าผลต่าง จะต้องขยายไปป้องกันอุปกรณ์ทั้งสองและในกรณีนี้จำเป็นต้องใช้รีเลย์วัดค่าผลต่างเป็นเปอร์เซนต์ถ้าหากค่าเซนซิติวิตีของรีเลย์ไม่สูงพอควรใช้รีเลย์วัดค่าผลต่างป้องกันแต่ละเครื่องแยกกันต่างหาก ลักษณะของระบบป้องกันอย่างง่ายๆ



รูปที่ 2.4.2 การป้องกันแบบวัดค่าผลต่างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.4.2 การป้องกันฟอลต์จำกัดบริเวณ (Restricted earth fault protection)

เมื่อจุดกึ่งกลางของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อกับดินโดยตรงขนาดของกระแสลัดวงจรลงดินเมื่อเกิดลัดวงจรที่เฟสใดๆ จะมีมากพอที่ระบบการป้องกันแบบวัดผลต่างจะทำงานได้ แต่ในทางปฏิบัติมักจะต่อจุดกลางลงดินผ่านความต้านทานหรือรีแอคแตนซ์ค่าหนึ่ง เพื่อจำกัดกระแสลัดวงจรลงดิน ดังนั้นการลัดวงจรลงดินที่เกิดใกล้จุดกลางมีกระแสไหลน้อยเป็นผลให้รีเลย์ไม่ Sensitive พอที่จะทำงานได้ เพราะว่าถ้าตั้งค่าเซทติ้งของรีเลย์ให้ Sensitive กระแสลัดวงจรขนาดสูงๆหรือ CT อาจอิ่มตัวในทางปฏิบัติมักจะตั้งค่าเซทของรีเลย์ให้ป้องกันได้ประมาณ 85 % ของขดลวดทั้งหมด ปล่อยให้อีก 15 % ของขดลวดใกล้จุดกลางไม่ได้รับการป้องกัน ซึ่งบริเวณใกล้จุดกลางมีโอกาสเกิดการลัดวงจรลงดินยาก เพราะมีแรงดันต่ำอยู่แล้ว

การคำนวณเปอร์เซนต์ของขดลวดที่ไม่ได้รับการป้องกันอาจคำนวณได้จากสูตร

$$\% \text{ ของขดลวดที่ไม่ได้รับการป้องกัน} = \frac{R \times I_o \times 100}{V}$$

R = อิมพีแดนซ์ที่ต่อจากจุดกลางลงดินมีหน่วยเป็นโอมห์

I_o = กระแสด้านปฐมภูมิของ CT ต่ำสุดที่ทำให้รีเลย์ทำงาน

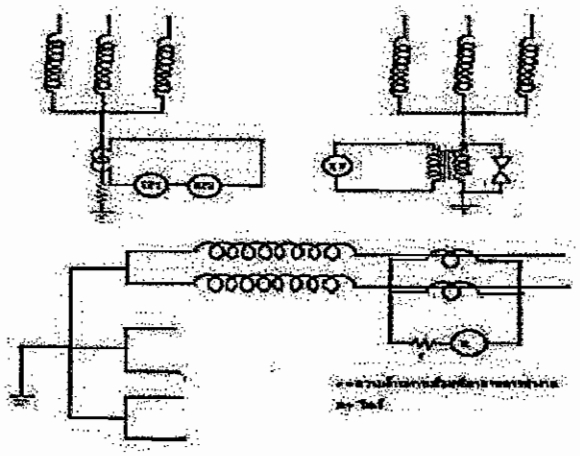
V = แรงดันระหว่างสายกับจุดกลาง

2.4.3 การป้องกันการลัดวงจรจากสเตเตอร์ลงดินแบบเซนซิตีฟ

การป้องกันแบบวัดค่าผลต่างไม่สามารถให้การป้องกันแบบสมบูรณ์ได้ อาจจำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกันการลัดวงจรลงดินที่เซนซิติฟสำรองไว้ ระบบนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของการต่อจุดกลาง ซึ่งมีดังต่อไปนี้

2.4.3.1 ถ้าต่อจุดกลางลงดินผ่านความต้านทานโดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ ค่าความต้านทานมักจะสูงและจำกัดขนาดกระแสลัดวงจรต่ำกว่าพิกัดกระแสมากๆ รีเลย์ป้องกันฟอลต์ลงดิน 2 ตัว คือ EF_1 และ EF_2 EF_1 จะตั้งค่าไว้ 10 % ของพิกัดกระแสและมีเวลาทำงานชนิดทันทีทันใด (Instaneous) EF_2 จะตั้งค่าไว้ 5 % ของพิกัดกระแสและทำงานแบบ IDMT ดังนั้น EF_1 ป้องกันได้ 90 % ส่วน EF_2 ป้องกันได้ 95 %

2.4.3.2 ถ้าจุดกึ่งกลางลงดินผ่านหม้อแปลงแรงดัน (V.T.) คือแรงดันระหว่างเฟสกับจุดกึ่งกลางรีเลย์ EF ต่อทางทุติยภูมิของ V.T. และจะตั้งให้ทำงานที่ 10 % ของพิกัดแรงดันของ V.T. เมื่อแรงดันระหว่างจุดกึ่งกลางกับดินต่างกันเกิน 10 % ของพิกัดแรงดัน ER จะทำงาน สังเกตว่า V.T. จะได้รับการป้องกันจากฟ้าผ่าโดยอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้ว



รูปที่ 2.4.3 การป้องกันลงดินโดยใช้เซนซิติฟ

2.4..4 การป้องกันการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด

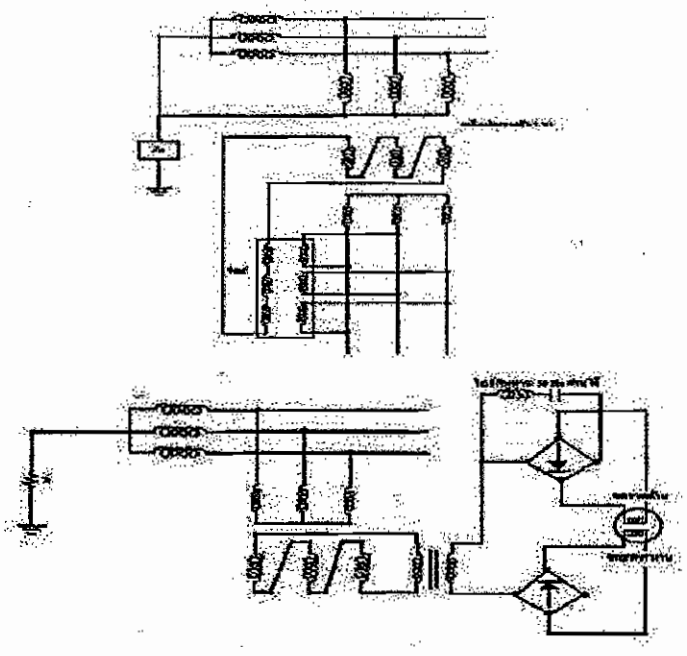
เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขดลวดเพียงชุดเดียวต่อหนึ่งเฟสและต้องการป้องกันการลัดวงจรระหว่างรอบขดลวดอาจทำได้ 2 วิธี

2.4.4.1 ใช้หม้อแปลงแรงดัน 5 ขา ซึ่งมีขดลวดทุติยภูมิและขดลวดตติยภูมิต่อเข้ากับรีเลย์แบบมาตรวัดวัตต์ชั่วโมง การตรวจจับฟอลต์ระหว่างรอบขดลวดทำได้โดยอาศัยการวัดค่าแรงดันค้าง (Residual Voltage) ซึ่งในระหว่างภาวะปกติ แรงดันคงค้าง มีค่าดังสมการ

$$V_{RES} = V_{RN} + V_{YN} + V_{BN} = 0$$

แต่ในระหว่างเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด แรงดันคงค้างจะไม่เป็นศูนย์ ซึ่งแรงดันนี้จะป้อนกระแสเข้าสู่ขดลวดทำงานของรีเลย์

2.4.4.2 การต่อหม้อแปลงแรงดันแบบสตาร์-เดลต้า โดยด้านทุติยภูมิต่อแบบเดลต้าเปิดและต่อเข้าหม้อแปลงช่วยซึ่งจะวัดแรงดันคงค้างจ่ายให้กับรีเลย์ผ่าชุดผ่านชุดแปลงกระแสสลับเป็นกระแสตรง วงจร LC ในรูปเป็นวงจรกรองที่ยอมให้สัญญาณความถี่ 50 Hz ผ่านเท่านั้น รีเลย์นี้มีหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรลงดิน ดังนั้นเมื่อเกิดการลัดวงจรลงดินแรงดันลำดับศูนย์ที่มีองค์ประกอบฮาร์โมนิก ลำดับที่ 3 จะป้อนเข้าสู่ขดลวดต้านการทำงานทำให้รีเลย์ไม่ทำงานเมื่อเกิดการลัดวงจรลงดิน



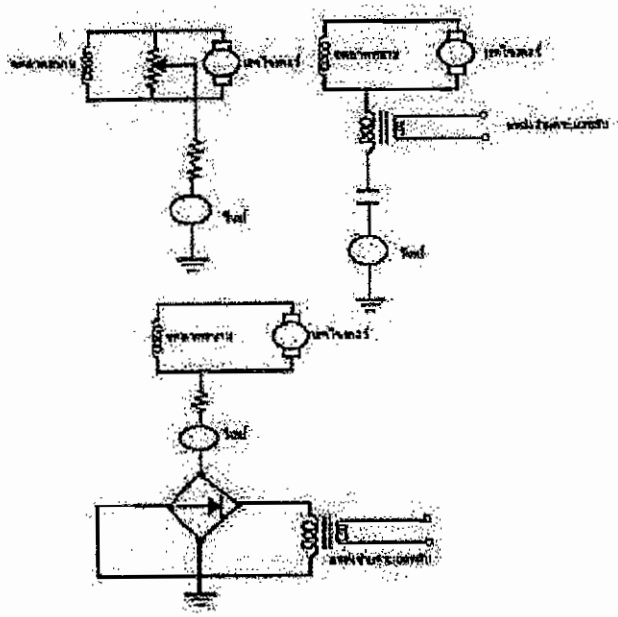
รูปที่ 2.4.4 การป้องกันการลัดวงจรระหว่างรอบขดลวดโดยการวัดแรงดันคงค้าง

2.4.5 การป้องกันกระแสลัดวงจรจากโรเตอร์ลงดิน

ขดลวดโรเตอร์ไม่ต่อลงดินจึงต้องตรวจจับการลัดวงจรลงดิน โดยการต่อรีเลย์ผ่านสายลงดิน การตรวจจับการลัดวงจรลงดิน 2 วิธี

2.4.5.1 โดยใช้ความต้านทานสูงต่อขนานกับขดลวดสนามต่อจุดกึ่งกลางของความต้านทานลงดินผ่านรีเลย์ที่เซนซิตีฟ รีเลย์จะตรวจจับพบกระแสลัดวงจรลงดินเกือบทุกส่วนของโรเตอร์ ยกเว้นที่จุดกึ่งกลางของโรเตอร์

2.4.5.2 โดยการส่งสัญญาณกระแสสลับหรือกระแสตรง เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรลงดินที่จุดใดจะทำให้วงจรสนามครบวงจรและมีกระแสไหลผ่านจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่รีเลย์ลงดินวิธีส่งสัญญาณกระแสตรงทำได้ง่ายและไม่มีปัญหากระแสรั่วลงดิน (leakage current)

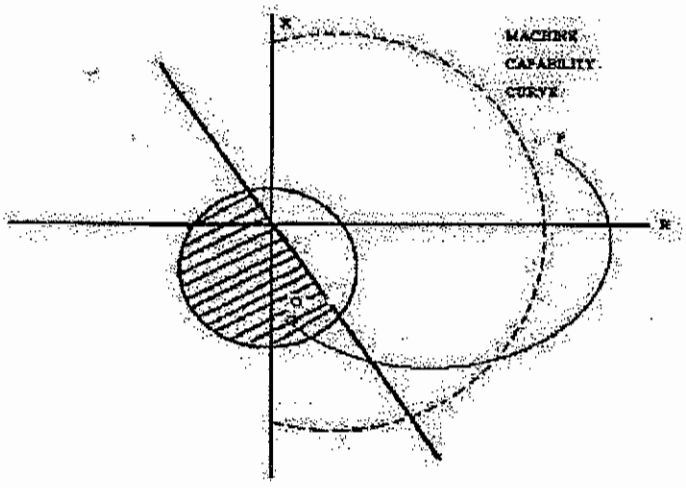


รูปที่ 2.4.5 การป้องกันการลัดวงจรจากโรเตอร์ลงดิน

2.4.6 การป้องกันเมื่อเกิดการสูญเสียสนาม

ทำได้โดยการใช้รีเลย์แบบรู้ทิศทางทำงานร่วมกับออฟเซทโมรีเลย์ การหายไปของสนามแม่เหล็กทำให้อิมพีแดนซ์ปรากฏที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานอยู่ในสภาวะปกติอาจแทนสภาวะนี้ด้วยจุด P ในแผนภาพ R-X ซึ่งอยู่นอกบริเวณของ Machine capability curve เมื่อสนามหายไปอิมพีแดนซ์ที่เห็นโดยรีเลย์จะเปลี่ยนแปลงไปตามแนวเส้นประจากจุด P เข้าสู่จุด Q ที่จุด Q แสดงว่าสนามแม่เหล็กกำลังอ่อนมากหรืออาจหายไปเลย รีเลย์แบบรู้ทิศทางร่วมกับออฟเซทโมรีเลย์มีลักษณะแสดงการแรเงาในรูปที่ 2.4.6 จะเห็น

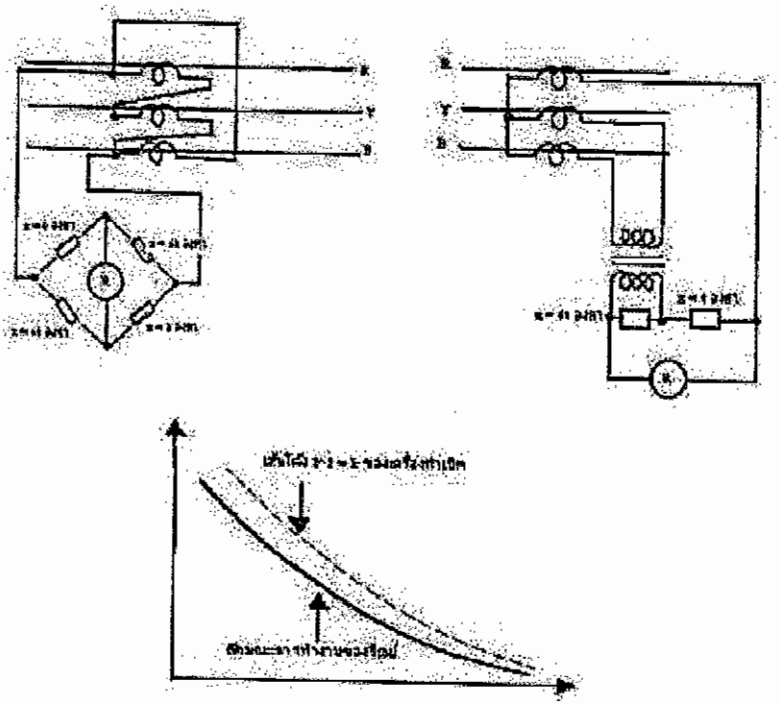
กระแสลัดวงจร รีเลย์อาจทำการส่งสัญญาณเตือนเพื่อให้พนักงานได้มีโอกาสสับสวิทช์จ่ายไฟให้กับสนามและอาจทริฟให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหยุดเครื่องในเวลาที่ตั้งไว้



รูปที่ 2.4.6 แผนภาพ R-X

2.4.7 การป้องกันเมื่อมีกระแสซีเควนซ์ลบไหล (Negative phase sequence protection)

เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสไหลไม่สมดุล กระแสซีเควนซ์ลบไหลในสเตเตอร์อาจทำให้โรเตอร์ร้อนจัดได้ การป้องกันสามารถทำได้โดยการต่อรีเลย์เข้ากับวงจรกรอง ที่ตอบสนองและให้สัญญาณทางออก เข้าสู่รีเลย์เฉพาะเมื่อมีกระแสซีเควนซ์ลบไหลเท่านั้น วงจรกรองนี้มีจำนวนมากมาย ดังตัวอย่างวงจรกรองที่ใช้ดังรูปที่ 2.4.7 ลักษณะการทำงานของรีเลย์ที่ใช้เข้ากันได้กับลักษณะเส้นโค้งของความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับกระแสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยลักษณะการทำงานของรีเลย์จะอยู่ต่ำกว่าเล็กน้อย ปกติรีเลย์ดังกล่าวจะตั้งค่าเริ่มทำงานเมื่อเกิดกระแสซีแควนซ์ลบขนาด 10 % ของพิกัดกระแสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 2.4.7 การป้องกันเมื่อมีกระแสซีแคนซ์ลบไหล

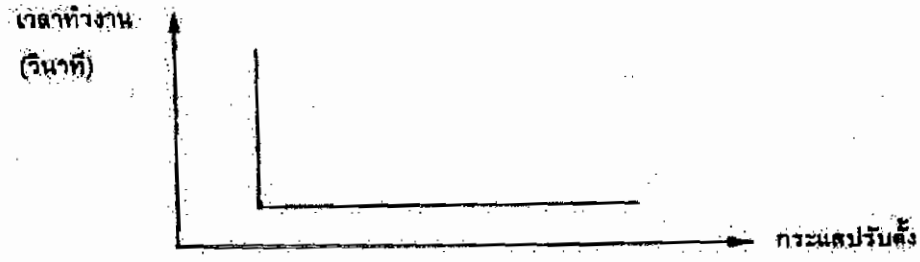
2.5 การป้องกันกระแสเกินและการลัดวงจรต่อลงดิน

รีเลย์กระแสเกิน(Overcurrent relay) รีเลย์กระแสเกินจะทำงานเมื่อมีกระแสเกินพิกัดไหลในระบบที่ต้องการป้องกัน เป็นรีเลย์ที่ใช้งานมากที่สุด คือใช้ในการป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลง สายส่ง บัสบาร์

2.5.1 การแบ่งรีเลย์กระแสเกินตามลักษณะการทำงานได้ดังนี้

2.5.1.1 แบบอินสแตนเทเนียส เป็นรีเลย์ที่จะทำงานทันทีทันใดที่เกิดกระแสเกินค่าพิคอัพของรีเลย์

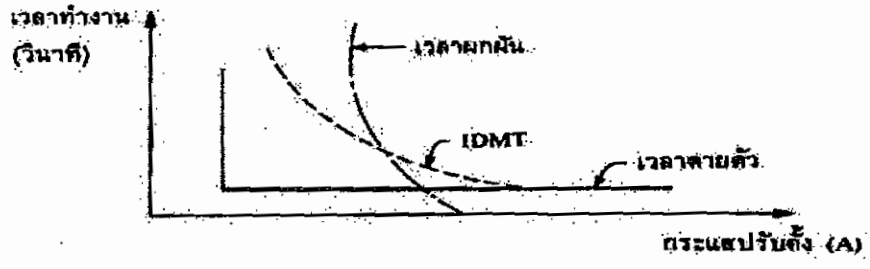
2.5.1.2 แบบเดฟฟีนิทไทม์ เป็นรีเลย์ที่จะทำงานที่เวลาคงที่ ไม่ว่ากระแสพิกัดจะมากหรือน้อยสังเกตจากรูปที่ 2.5.1



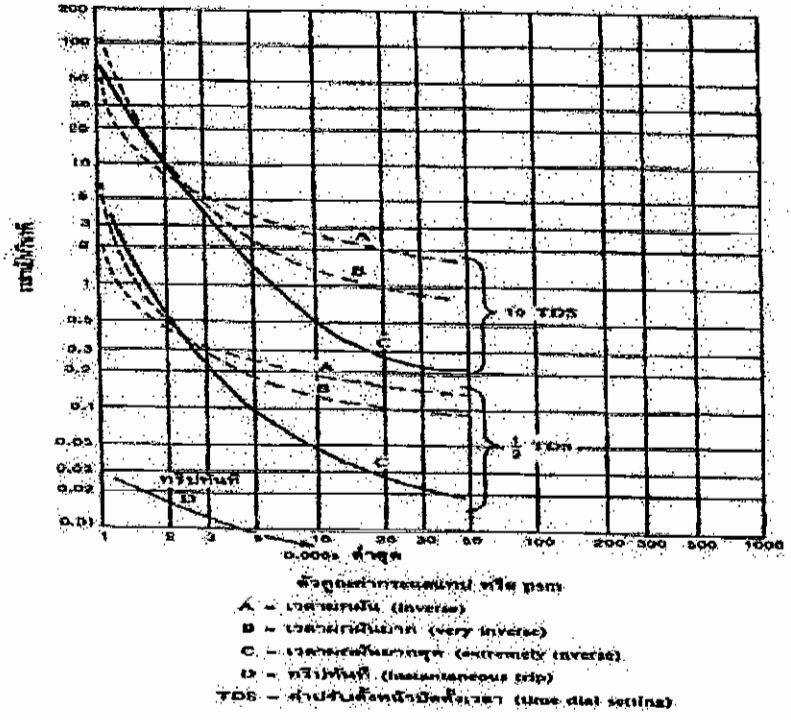
กราฟที่ 2.5.1 แสดงเวลา – กระแสของรีเลย์กระแสเกินแบบตายตัว

2.5.1.3 แบบอินเวอสไทม์ ช่วงเวลาการทำงานของรีเลย์กระแสเกินแบบนี้เป็นส่วนกลับกับกระแสและระหว่างเวลากับกระแสอาจแทนด้วยสมการ $It = K$

2.5.1.4 แบบอินเวอสเดฟฟีนิทมินิมั่มไทม์ หรือ IDMT เป็นรีเลย์ที่มีลักษณะเวลากับกระแสเป็นแบบผสมระหว่างแบบอินเวอสไทม์กับเดฟฟีนิทไทม์



กราฟที่ 2.5.2 เส้นโค้งเวลา – กระแสรีเลย์กระแสเกินแบบ IDMT

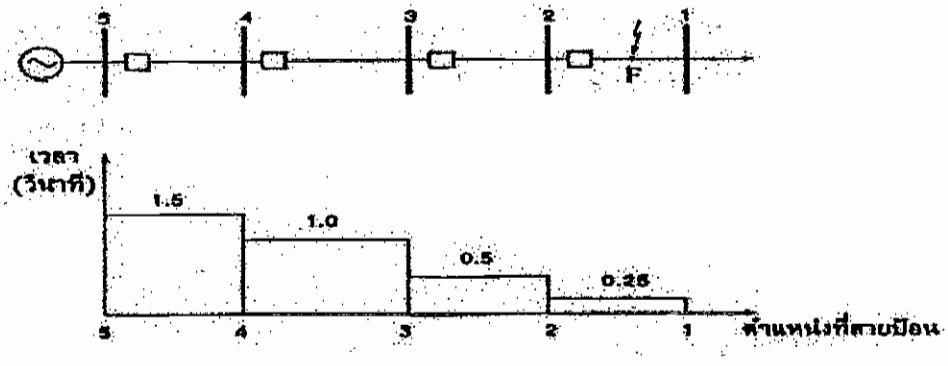


กราฟที่ 2.5.3 เส้นโค้งแสดงเวลา – กระแส รีเลย์กระแสเกินแบบผกผัน

2.5.2 รีเลย์กระแสเกินแบบไม่รู้ทิศทาง รีเลย์แบบนี้คือ อินดักชั่นรีเลย์

2.5.3 หลักการตัดตอนลำดับกัน หลักการออกแบบระบบป้องกันที่ใช้รีเลย์กระแสเกินเพื่อให้มีการตัดตอนลำดับกันอาจกระทำได้ 2 วิธีดังนี้

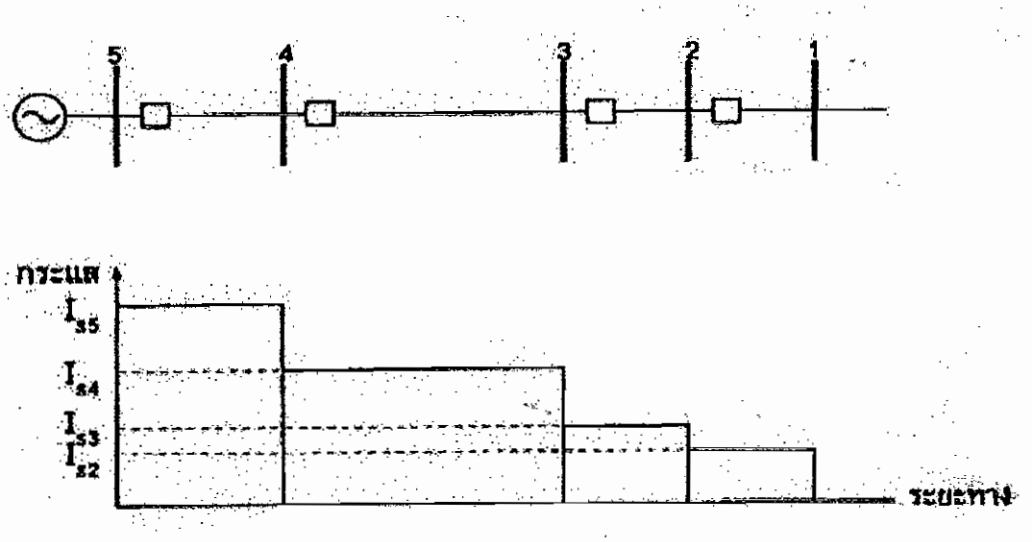
2.5.3.1 การลำดับเวลา วิธีนี้รีเลย์ที่ควบคุมการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์แต่ละจุดจะจัดให้มีช่วงเวลาการทำงานแตกต่างกันเพื่อให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ที่อยู่ใกล้จุดที่เกิดฟอลต์มากที่สุดเปิดวงจรก่อน



รูปที่ 2.5.1หลักการของการจัดลำดับชั้นการทำงานของรีเลย์ด้วยเวลาสำหรับระบบเรเดียล

จากรูปที่ 2.5.1 จะพบว่าจุดที่อยู่ใกล้กระแสลัดวงจรจะมีเวลาการปลดเซอร์กิตเบรคเกอร์ออกไปก่อนและตัวต่อไปมีเวลาไล่กันมาตามการติดตั้งเวลาของรีเลย์กระแสเกิน

2.5.3.2 การลำดับขนาดของกระแส ขนาดของกระแสลัดวงจรแปรผันโดยตรงกับจุดที่เกิดการลัดวงจร



รูปที่ 2.5.2 การลำดับขนาดของกระแส

จากรูป 2.5.2 พบว่า กระแสลัวงจรจะมีค่ายิ่งสูงถ้าตำแหน่งของการเกิดการลัดวงจรยิ่งเข้าใกล้แหล่งจ่าย ดังนั้นวิธีการจัดลำดับชั้นการทำงานของรีเลย์ด้วยกระแสก็อาศัยการตั้งกระแสให้มีค่าลดลงตามระยะจากแหล่งจ่าย

2.5.4 ช่วงเวลาลำดับ ช่วงเวลาที่แตกต่างระหว่างเวลาทำงานของรีเลย์กระแสเกินสองชุดที่อยู่ในเขตป้องกันชิดกัน เรียกว่า ช่วงเวลาลำดับ ช่วงเวลาลำดับประกอบด้วยช่วงเวลาเหล่านี้

2.5.4.1 ช่วงเวลาตัดตอนของเซอกิตเบรคเกอร์ มีค่าประมาณ 0.1 วินาที

2.5.4.2 โอเวอร์ชูท เมื่อเกิดการลัดวงจรงานของรีเลย์อินดักชั่นในเขตถัดไปอาจยังคงมีการเคลื่อนที่ไปอีกนิดหน่อยเนื่องจากแรงเฉื่อยที่เรียกว่า โอเวอร์ชูท

2.5.4.3 ความผิดผลาด

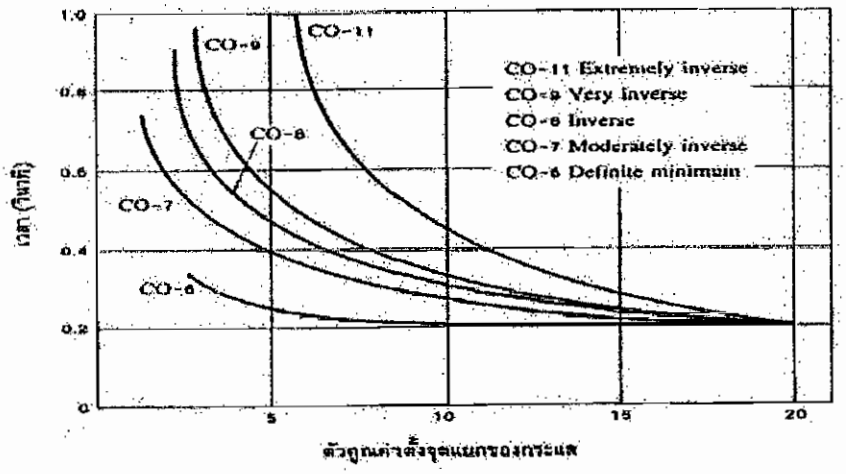
2.5.4.4 ช่วงเวลาเผื่อ มีค่าประมาณ 0.1 วินาที

2.5.5 คำจำกัดความที่ควรทราบ

2.5.5.1 ปลั๊กเซทติ้ง (plug setting) มีค่าเป็นร้อยละของกระแสที่กำหนด ซึ่งเป็นค่ากระแสที่ไหลในรีเลย์เริ่มทำงาน

2.5.5.2 ตัวคูณปลั๊กเซทติ้ง (P.S.M.) หมายถึงพหุคูณของค่าเซทติ้งของกระแส

2.5.5.3 ตัวคูณเวลา (TDS) คือการปรับตั้งระยะห่างระหว่างหน้าสัมผัสที่เคลื่อนที่กับหน้าสัมผัสที่อยู่กับที่ของรีเลย์



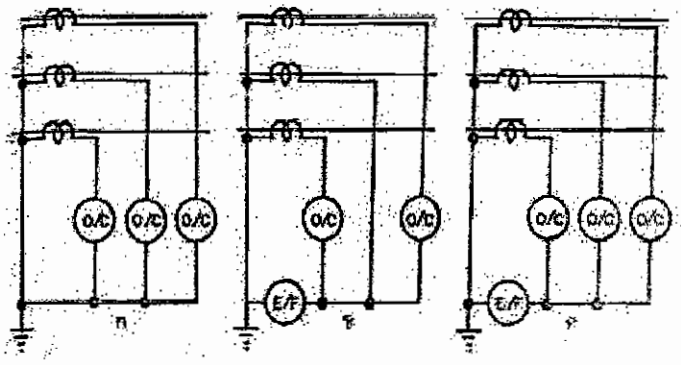
กราฟที่ 2.5.4 การเปรียบเทียบเส้นโค้งคุณลักษณะของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินตระกูล CO

2.5.6 การเปรียบเทียบลักษณะการทำงานของรีเลย์กระแสเกินแบบต่างๆ

ในกรณีที่ Zs มีค่าน้อยเทียบกับอิมพีแดนสายส่ง Zl การลัดวงจรเกิดขึ้นตรงปลายสาย แบบนี้ควรใช้แบบอินเวอสไทม์ ถ้า Zl มีค่าสูงเมื่อเทียบกับ Zs ควรใช้รีเลย์แบบอินเวอสแทนเทเนียส ต่อมามีการนำลักษณะการทำงานแบบอินเวอสไทม์และแบบเดฟฟีนิทไทม์มาผสมกันเป็นการทำงานแบบ IDMT เป็นที่นิยมมาก

2.5.7 วิธีการต่อรีเลย์กระแสเกินในระบบป้องกัน

การต่อมี 3 วิธี



รูปที่ 2.5.3วิธีการต่อรีเลย์กระแสเกินในระบบป้องกัน

แบบ ก สามารถตอบสนองกับการลัดวงจรระหว่างเฟสกับการลัดวงจรลงดินทุกชนิด

แบบ ข ใช้รีเลย์ 2 ตัว และต่อรีเลย์ป้องกันการลัดวงจรลงดิน (E\F) ด้วย

แบบ ค มีการติดตั้งรีเลย์ป้องกันฟอลต์ลงดินการตั้งค่ารีเลย์ป้องกันการลัดวงจรลงดินในระบบ 3 เฟส 4 สาย จะต้องคำนึงความสมดุลของกระแสโหลดในแต่ละเฟสด้วย

2.5.8 รีเลย์แบบรู้ทิศทาง

เป็นรีเลย์ที่มีปริมาณไฟฟ้ากระตุ้น 2 ค่าจากแหล่งกำเนิดอิสระ 2 แหล่งที่แยกกัน และมุม θ มีค่าแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการใช้กัน

แรงบิดที่เกิดขึ้นอาจเขียนในเทอมของปริมาณกระตุ้นดังสมการ

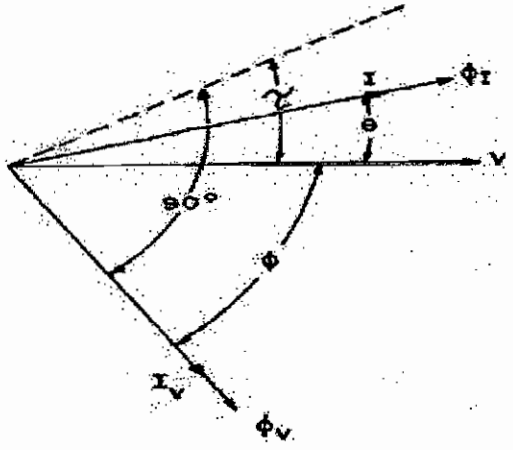
$T = K_1 VI\cos(\theta - \tau) - K_2$, แต่ $\tau = 90^\circ - \phi$

โดยที่ V = ค่า rms ของแรงดันที่ป้อนให้กับขดลวดแรงดัน

I = ค่า rms ของกระแสที่ป้อนให้กับขดลวดกระแส

θ = มุมที่วัดระหว่างกระแส กับ แรงดัน

τ = มุมของแรงบิดสูงสุด วัดทวนเข็มนาฬิกาจากตำแหน่งของแรงดัน



รูปที่ 2.5.4 รีเลย์แบบรู้ทิศทาง

ถ้าปรับมุม ϕแล้ว รีเลย์แบบรู้ทิศทางอาจใช้งานแตกต่างกันได้หลายแบบได้ 3 แบบ

1. เมื่อ $\phi = 0^\circ$จะได้ $T \propto VI\sin\theta$ รีเลย์แบบนี้เรียกว่า รีแอคตีฟรีเลย์

2. เมื่อ $\phi = 90^\circ$จะได้ $T \propto VI\cos\theta$ รีเลย์แบบนี้เรียกว่า แอคตีฟเพาเวอร์รีเลย์

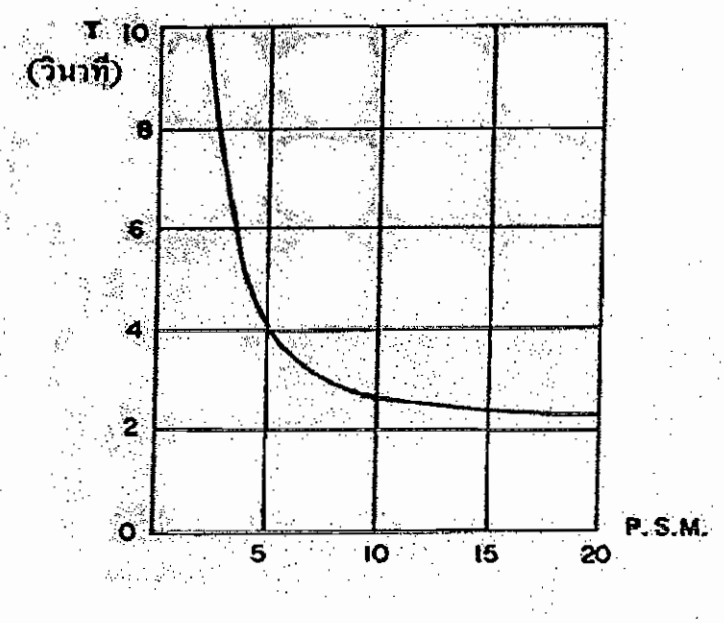
3. เมื่อ ϕ มีค่าอยู่ระหว่าง 0°กับ90° รีเลย์จะตอบสนองต่อค่าลังไฟฟ้าและกำลังรีแอคตีฟ

รีเลย์ทั้ง 3 แบบมีการใช้งานที่แตกต่างกัน

<u>แสดงตัวอย่างการคำนวณ</u>

<u>ตัวอย่าง</u>

รีเลย์กระแสเกิน มีค่าเซทติ้งของกระแสเท่ากับ 150% และตัวคูณเวลาเท่ากับ 0.5 อัตราส่วน CT 500:5 แอมแปร์ จงคำนวณช่วงเวลาการทำงานของรีเลย์เมื่อมีการลัดวงจรขนาด 6000 แอมแปร์ไหลในวงจรป้องกันที่ต้องการป้องกัน ลักษณะเวลากับกระแสของรีเลย์ดังในรูปที่ 2.5.5



กราฟที่ 2.5.5 ลักษณะเวลากับกระแสของรีเลย์

<u>วิธีทำ</u>

กระแสการลัดวงจรทางด้านทุตติยภูมิของซีทีคือ 6000 * 5/100 = 60 แอมแปร์

P.S.M. = กระแสที่ไหลในรีเลย์ / เซทติ้งของกระแส

= 60 / 1.5 * 5

= 8

จากรูปพบว่า ที่ P.S.M. = 8 ; เวลา = 3.15 วินาที

ช่วงเวลาการทำงานของรีเลย์ = 3.15 * 0.5 = 1.574 วินาที

2.6 ระบบป้องกันระยะทาง

Distance relay ถูกนำมาใช้งานแทนสายส่งไฟฟ้าแทน Overcurrent relay เพราะ Overcurrent relay ทำงานได้ช้าอันเนื่องมาจากการปรับค่าเวลาของ Overcurrent relay และขาด Selectivity คือ การพิจารณาว่าการลัดวงจรที่เกิดขึ้นอยู่ในเขตป้องกันหรือไม่ อาจกล่าวได้ว่า Overcurrent relay ไม่มีเขตป้องกันที่แน่นอน และไม่สามารถแยกได้ว่าเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นเหตุการณ์ปกติหรือไม่ปกติ

Distance relay ทำงานโดยอัตราส่วนระหว่างแรงดัน และ กระแสที่จุดใดๆบนสายไฟฟ้าคือการทำงานโดยค่า อิมพีแดนซ์ (Impedance (Z)) ของสายส่งไฟฟ้านั่นเอง

2.6.1 Distance relay มีอยู่ 3 แบบใหญ่ๆคือ

2.6.1 Impedance relay วัดค่า Impedance (Z) ของสายส่งไฟฟ้า

2.6.2 Reactance relay วัดค่า Reactance (X) ของสายส่งไฟฟ้า

2.6.3 MHO Type relay วัดค่า Admitance (Y) คือค่า Conductance และ Susceptance

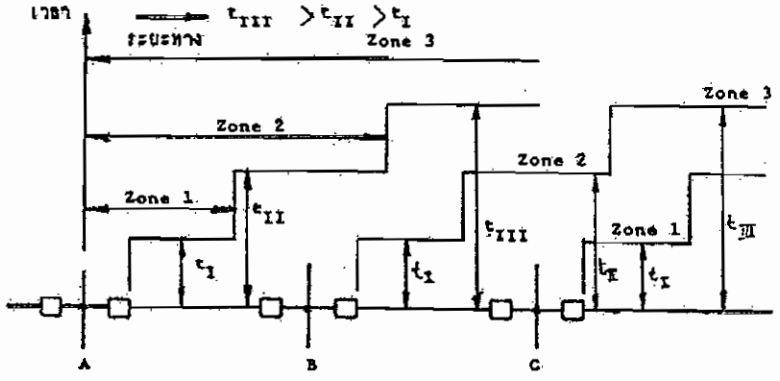
2.6.2 การเลือกใช้ Distance Relay ให้เหมาะสม

2.6.2.1Impedance (Z) Type เหมาะสำหรับในสายส่งที่มีความยาวขนาดปานกลาง 100 – 250 Km.

2.6.2.2 Reactance (X) Type เหมาะสำหรับในสายส่งที่มีความยาวขนาดสั้น 80 – 100Km.

2.6.2.3 MHO Type เหมาะสำหรับเฟสลัดวงจรของสายส่งที่มีขนาดความยาวมาก 250Km. ขึ้นไป

2.6.3 การแบ่งเขตป้องกัน (Zone) ของ Distance Relay



รูปที่ 2.6.1 การแบ่งเขตป้องกัน

Distance relay จะแบ่งเขตป้องกันออกเป็น 3 เขต

2.6.3.1 เขตที่ 1 (Zone 1) จะเป็นเขตป้องกันนำ

2.6.3.2 เขตที่ 2 (Zone 2) จะเป็นเขตป้องกันตาม

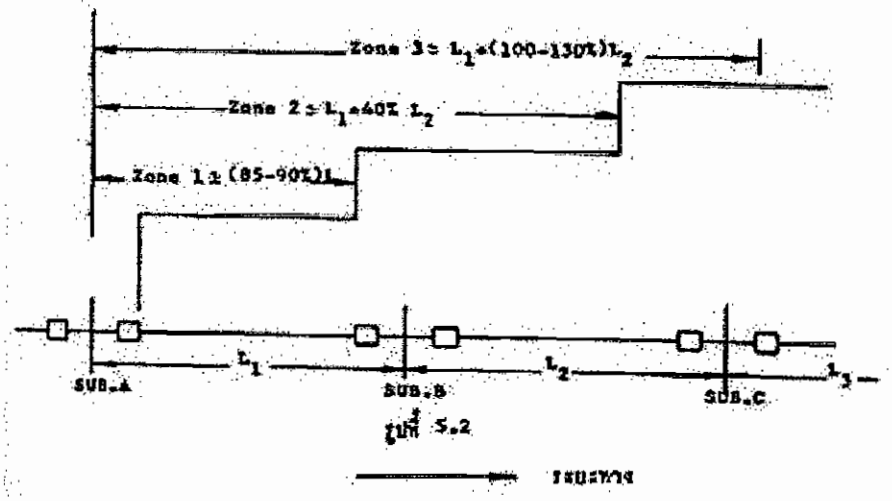
2.6.3.3 เขตที่ 3 (Zone 3) จะเป็นเขตป้องกันตามเหมือน Zone 2 แต่มีการชลอเวลา (Delay Time) มากกว่า Zone 2

2.6.4 การกำหนดระยะทางของ Zone แต่ละ Zone มีการกำหนดดังนี้

2.6.4.1 เขตที่ 1 (Zone 1) โดยทั่วไปจะตั้งค่าให้รีเลย์มีเขตป้องกันประมาณ 85 -90 % ของความยาวสายส่ง และถ้าเกิดการลัดวงจรในเขตป้องกันนี้รีเลย์จะทำงานโดยสั่งปลดทันที

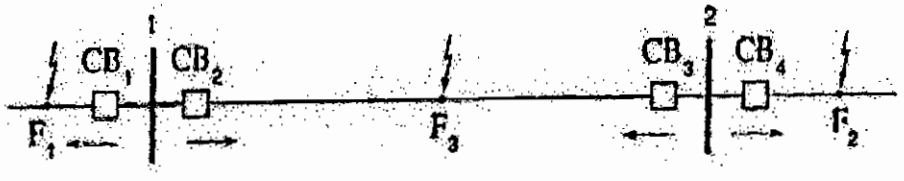
2.6.4.2 เขตที่ 2 (Zone 2) โดยทั่วไปจะตั้งค่าให้รีเลย์มีเขตป้องกันยาวกว่าเขตป้องกันที่ 1 คือประมาณ 120 % และหน่วงเวลาไปประมาณ 12 ถึง 18 ไซเคิล (0.24 ถึง 0.36 วินาที)

2.6.4.3 เขตที่ 3 (Zone 3) โดยทั่วไปจะตั้งค่าให้รีเลย์มีเขตป้องกันยาวกว่าเขตป้องกันที่ 1 คือประมาณ 250 % และหน่วงเวลาไปประมาณ 60 ไซเคิล (1.2 วินาที)



รูปที่ 2.6.2 การกำหนดระยะทางของ Zone แต่ละ Zone

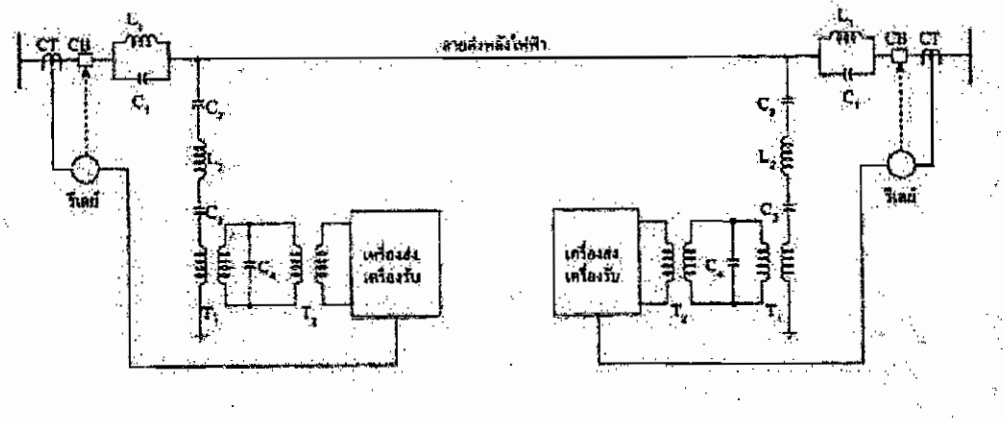
2.6.5 การทำงานของรีเลย์ชนิดเปรียบเทียบทิศทาง



รูปที่ 2.6.3 การเกิดการลัดวงจรบนสายส่งไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.6.3 กำหนดให้รีเลย์ควบคุมเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่บัส 1 เป็นรีเลย์แบบมีทิศทาง จำนวน 2 ชุด โดยรีเลย์ที่ควบคุม CB_1 มีทิศางมองไปทางซ้ายของบัส 1 ในขณะที่รีเลย์ที่ควบคุม CB_2 จะมองไปทางขวาของบัส 1 เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ F1 ขึ้นรีเลย์แบบทิศทางที่ควบคุม CB_1 จะมองเห็นการลัดวงจรแต่รีเลย์ที่ควบคุม CB_2 มองไม่เห็น ดังนั้น CB_1 จึงได้รับคำสั่งจากรีเลย์ให้ปลดวงจร แต่ CB_2จะอยู่ในสถานะเดิมคือไม่ทำงานในขณะเดียวกันรีเลย์ที่ควบคุม CB_1 จะส่งสัญญาณผ่านสายส่งไปยังรีเลย์ที่บัส 2 เพื่อสั่งห้ามเซอร์กิตเบรกเกอร์ CB_3 และ CB_4 ไม่ให้ทำงานด้วยเหตุนี้สายส่งในส่วนอื่นๆ จึงยังคงส่งพลังงานไฟฟ้าได้ตามปกติ สำหรับการเกิดการลัดวงจรสำหรับการเกิดการลัดวงจร F2 รีเลย์ที่บัส 2 ก็มีการทำงานในลักษณะเดียวกันเพียงแต่สลับทิศทางซ้ายและขวา

ในส่วนของการเกิดการลัดวงจร F3 ขึ้นภายในเขตป้องกัน ดังนั้นทั้งรีเลย์ที่ควบคุม CB_2 และ CB_3 มองเห็นการลัดวงจรจึงสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทั้งสองปลดวงจรเพื่อแยกฟอลต์ส่วนนี้ออกจากระบบ



รูปที่ 2.6.4 การป้องกันสายส่งด้วยระบบการพาห์คลื่นผ่านสายส่งไฟฟ้า

2.6.6 การทำงานของรีเลย์ชนิดเปรียบเทียบเฟส

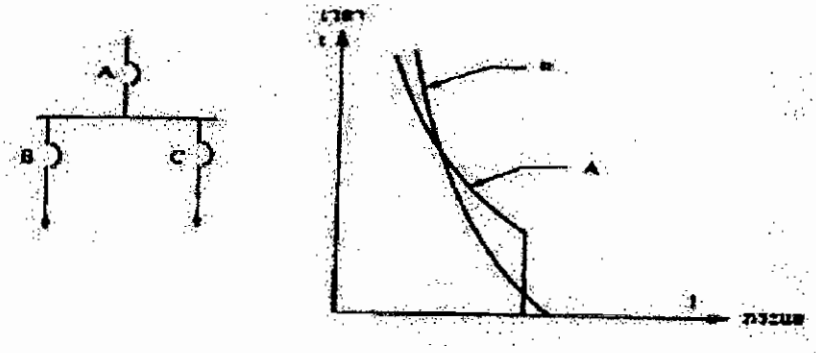
การทำงานของรีเลย์ชนิดเปรียบเทียบเฟสของกระแสที่จุดปลายสายส่ง ถ้าในสภาวะโหลดหรือเกิดการลัดวงจรอยู่นอกเขตป้องกันรีเลย์จะเห็นมุมเฟสของกระแสทั้งสองมีมุมเฟสใกล้เคียงกันหรือมุมเฟสเดียวกัน ดังนั้นจะมีสัญญาณห้ามไม่ให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ปลดวงจร แต่การลัดวงจรเมื่ออยู่ในเขตป้องกัน รีเลย์จะมองเห็นมุมเฟสของกระแสต่างกันใกล้เคียง 180 องศา ดังนั้นจะมีการสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ปลดวงจรทันที

2.7 การจัดลำดับความสัมพันธ์การป้องกัน

การจัดลำดับความสัมพันธ์การป้องกัน คือจะต้องจัดลำดับเวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่มีอยู่ในระบบไฟฟ้าหลายๆ ตัว เพื่อแยกแยะว่า เมื่อเกิดการลัดวงจรแล้ว อุปกรณ์ตัวใดที่อยู่ใกล้จุดลัดวงจรที่สุด จะต้องตัดวงจรก่อนที่อุปกรณ์ตัวอื่นๆ ที่อยู่เหนือถัดไป วิธีการจัดลำดับความสัมพันธ์จะเริ่มจากวงจรย่อยก่อน โดยการเลือกหรือปรับตั้งให้อุปกรณ์ป้องกันขณะฟอลต์นั้นทริปในเวลาต่ำสุด ส่วนเบรกเกอร์สายป้อนนั้นจะให้ทริปในเวลานานกว่าขึ้นไป

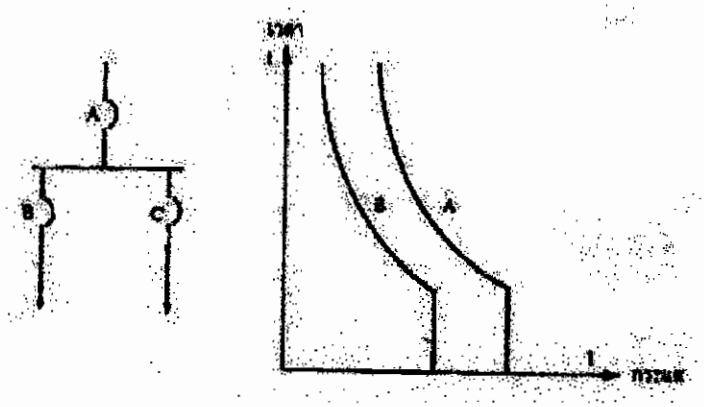
2.7.1 ชนิดของการจัดลำดับความสัมพันธ์

2.7.1.1 ไม่มีการจัดลำดับความสัมพันธ์ คือการจัดอุปกรณ์ป้องกันในการทำงานให้ทำงานซ้ำซ้อนในเวลาเดียวกัน



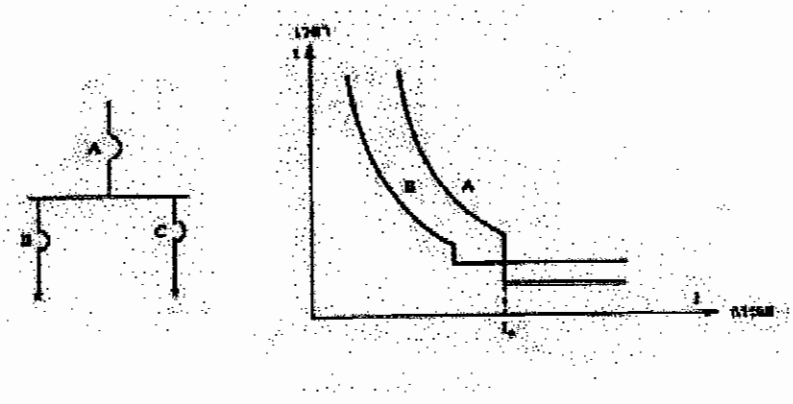
รูปที่ 2.7.1 ไม่มีการจัดลำดับความสัมพันธ์

2.7.1.2 การจัดลำดับความสัมพันธ์ทั้งหมด คือการจัดอุปกรณ์ป้องกันให้มีเวลาการทำงานก่อนและหลังโดยสมบูรณ์



รูปที่ 2.7.2 การจัดลำดับความสัมพันธ์ทั้งหมด

2.7.1.3 การจัดลำดับความสัมพันธ์บางส่วน คือการจัดลำดับอุปกรณ์ป้องกันให้เวลาการทำงานในลักษณะก่อนและหลังในช่วงกระแสค่าหนึ่ง และค่ากระแสเกินขีดจำกัดนี้ อุปกรณ์จะมีการกลับลำดับการทำงาน



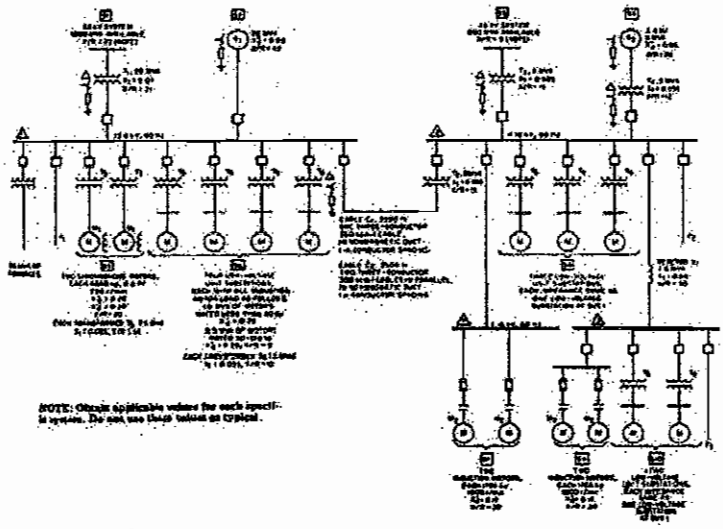
รูปที่ 2.7.3 การจัดความสัมพันธ์บางส่วน

2.7.2 ข้อมูลการจัดลำดับความสัมพันธ์การป้องกัน

ข้อมูลที่ต้องการจัดลำดับความสัมพันธ์การป้องกันอันได้แก่

2.7.2.1 ไดอะแกรมเส้นเดียว

ของระบบไฟฟ้าดังรูป จะบอกรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.7.4ไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบไฟฟ้า

2.7.2.1.1 หม้อแปลง ต้องทราบขนาด KVA เปอร์เซนต์อิมพีแดนซ์ พิกัดแรงดันและการต่อขดลวด

2.7.2.1.2 มอเตอร์ ต้องทราบขนาดแรงม้า กระแสใช้งานเต็มที่ ระยะเวลาการเดินเครื่อง

2.7.2.1.3 สายเคเบิล ต้องทราบขนาดและความยาวของสาย

2.7.2.1.4 ชนิดของฟิวส์และเซอร์กิตเบรกเกอร์

2.7.2.2 ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดและต่ำสุด

2.7.2.2.1 กระแสลัดวงจรสูงสุดและต่ำสุด

2.7.2.2.2 กระแสไฟรั่วลงดินสูงสุดและต่ำสุด

2.7.2.3 ระยะเวลาการจัดลำดับความสัมพันธ์การป้องกัน

การเขียนเส้นโค้งเพื่อจัดลำดับความสัมพันธ์ จำเป็นต้องมีระยะห่างระหว่างเวลาของอุปกรณ์ป้องกันแต่ละเส้น ซึ่งระยะห่างนี้เรียกว่า ระยะเวลาเผื่อ

2.7.2.3.1 การจัดลำดับความสัมพันธ์ของรีเลย์กระแสเกินเวลาผกผัน ควรให้มีระยะเวลาเผื่อ 0.3 ถึง 0.4 วินาที ซึ่งพิจารณาได้ดังนี้

-ช่วงเวลาเปิด(opening time) เซอร์กิตเบรกเกอร์= 0.1 วินาที

-เวลาทำงานเกิน(overtravel time) = 0.1 วินาที

- เวลาเผื่อเพื่อความปลอดภัย = 0.1-0.2 วินาที

อย่างไรก็ตามถ้าเป็นรีเลย์แบบสแตติค ช่วงระยะเวลาเผื่อจะลดลงเหลือ 0.3 วินาที เนื่องจากรีเลย์แบบสแตติค ไม่ต้องคำนึงถึงเวลาทำงานเกิน

2.7.2.3.2 การจัดลำดับความสัมพันธ์ระหว่างรีเลย์กับฟิวส์

โดยที่ฟิวส์ไม่มีเวลาทำงานเกิน แต่เซอร์กิตเบรกเกอร์ต้องมีช่วงเวลาเปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ แต่รีเลย์ต้องมีความสัมพันธ์กับเวลาในการตัดกระแส(clearing time) ของฟิวส์ และต้องมีเวลาเผื่อเพื่อความปลอดภัย ดังนั้น ควรให้มีระยะเวลาเผื่อ 0.3 ถึง 0.4 วินาที

2.7.2.3.3 การจัดลำดับความสัมพันธ์ระหว่างฟิวส์กับเบรกเกอร์ กรณีเป็นเบรกเกอร์แรงต่ำมีอุปกรณ์กลไกการทริปในตัว ควรให้มีระยะเวลาเผื่อ 0.4 วินาที

2.7.2.4 กระแสพิคอัพหรือกระแสเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน

2.7.2.4.1 กระแสพิคอัพของรีเลย์หมายถึงค่ากระแสที่ทำให้รีเลย์เริ่มขยับตัวทำงานทำการปิดหรือเปิดหน้าสัมผัสเรียกว่า รีเลย์พิคอัพ

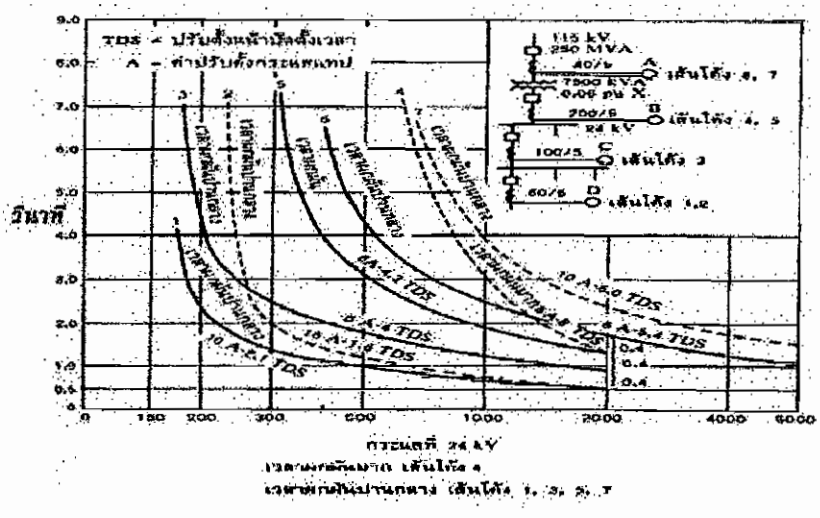
2.7.2.4.2 กระแสพิคอัพของเบรกเกอร์แรงต่ำ หมายถึงค่ากระแสต่ำสุดที่จะทำให้เบรกเกอร์ทริป โดยมีอุปกรณ์การควบคุมการทริป เช่น หน่วงเวลานาน หน่วงเวลาสั้น และทริปทันที การปรับตั้งกระแสทริปของเบรกเกอร์ดังตารางที่2.7.1

อุปกรณ์ควบคุมการทริป	กระแสปรับตั้ง % ของพิกัดกระแส
หน่วงเวลานาน (long time delay)	100% ± 10%
หน่วงเวลาสั้น (short time delay)	500% ± 10%
ทริปทันที (instantaneous)	900% ± 10%

ตารางที่ 2.7.1 การปรับตั้งกระแสพิคอัพ

2.7.2.5 เส้นโค้งเวลา – กระแสของอุปกรณ์ป้องกัน

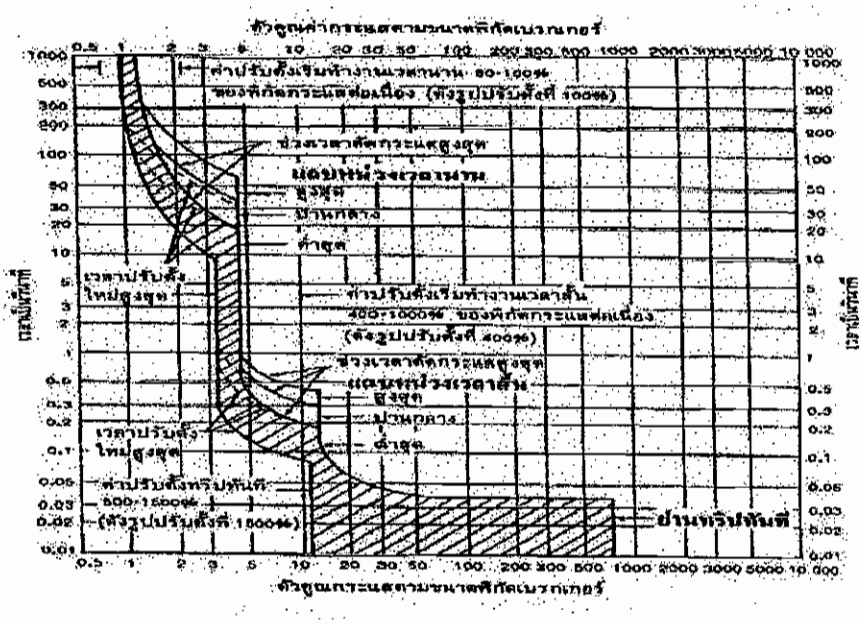
2.7.2.5.1 เส้นโค้งเวลา – กระแสของรีเลย์



กราฟที่ 2.7.1 เส้นโค้งเวลา – กระแสของรีเลย์กระแสเกิน

2.7.2.5.2 เส้นโค้งเวลา – กระแสของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงต่ำ

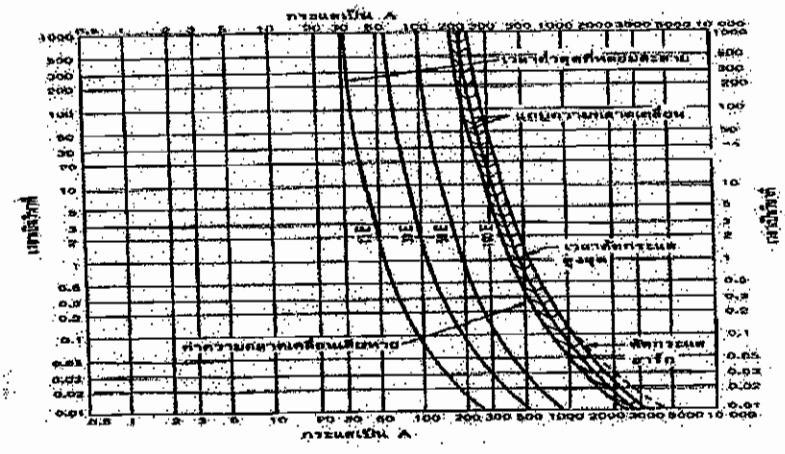
เป็นแถบเส้นโค้งของเพาเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงต่ำ มีอุปกรณ์ทริปทางไฟฟ้า-ทางกล ช่วงเวลาตัดกระแสสูงสุด เป็นเวลาทั้งหมดตั้งแต่เริ่มกระตุ้นจนกระทั่งเบรกเกอร์ตัดกระแสลัดวงจร



กราฟที่ 2.7.2 การปรับตั้งการทริปของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงต่ำ

2.7.2.5.3 เส้นโค้งเวลา – กระแสของฟิวส์

เส้นโค้งเวลา-กระแสของเพาเวอร์ฟิวส์ดังกราฟที่ 2.7.3 เวลาทั้งหมดของการตัดกระแสขึ้นอยู่กับเถบความคลาดเคลื่อนของฟิวส์จะเป็นเวลาตัดกระแสสูงสุด ค่าความคลาดเคลื่อนเสียหายเป็นคุณลักษณะของความร้อน ทำให้การจัดลำดับความสัมพันธ์เสียไปหรือเวลาการจัดหน่วงเวลาปกติเปลี่ยนไป



กราฟที่ 2.7.3 เส้นโค้งเวลา – กระแสของฟิวส์

2.7.2.6 การอิ่มตัวของหม้อแปลงกระแส หลักการเลือกอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแส จะพิจารณาจากสิ่งต่อไปนี้

2.7.2.6.1 กระแสไหลดสูงสุด

2.7.2.6.2 กระแสลัดวงจรสูงสุด ต้องไม่ทำให้หม้อแปลงกระแสเสียหาย และกระแสต้องสูงไม่ถึงจุดอิ่มตัวของหม้อแปลงกระแส

2.7.2.6.3 ควรปรับตั้งรีเลย์ชนิดทำงานทันที ให้กระแสพิคอัพต่ำกว่าจุดอิ่มตัวของหม้อแปลงกระแส

2.7.2.6.4 ค่าเบอร์เดน (burden) ของหม้อแปลงกระแส ต้องให้เหมาะสมอุปกรณ์ไฟฟ้าที่นำมาต่อ ถ้ามีอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อเข้ากับหม้อแปลงกระแสมากเกินไป จะทำให้หม้อแปลงกระแสมีกระแสสูงถึงจุดอิ่มตัว รีเลย์อาจทำงานช้าหรือทำงานผิดพลาดได้

2.8 การต่อจุดกลางลงดิน

2.8.1 การต่อลงดิน

วัตถุประสงค์ของการต่อลงดินโดยทั่วไปอาจกล่าวได้รวมๆดังนี้

2.8.1.1 ต่อลงดินเพื่อให้สิ่งที่ต่อลงดินมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับดิน ไม่ว่าส่วนนั้นจะมีไฟฟ้าหรือไม่มีก็ตามจะต่อลงดินด้วยตัวนำไฟฟ้า เช่นตัวถังหรือโครงโลหะห่อหุ้มอุปกรณ์ไฟฟ้า ถ้าชนวนเกิดชำรุด ส่วนที่มีไฟฟ้าจะไปสัมผัสกับตัวถังโลหะ เรียกว่า เกิดไฟรั่ว ย่อมทำให้ตัวถังอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น ตู้เย็น หม้อหุงข้าว เตาอบ เตารีด มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าดิน เมื่อคนไปสัมผัสเข้ากับตัวถังโลหะก็จะเกินกระแสไหลผ่านร่างกายลงสู่ดิน เป็นการเกิดอันตรายในลักษณะที่เรียกว่า ถูกไฟดูด แต่ถ้าตัวถังโลหะมีการต่อลงดิน หากใครบังเอิญไปสัมผัสกับตัวถังโลหะ การเกิดถูกไฟดูดย่อมไม่เกิดขึ้น การต่อตัวถังโลหะลงดินนอกจากจะทำให้ศักย์ไฟฟ้าเทียบกับดินแล้ว ยังทำให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน เช่น ฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรไฟฟ้า ทั้งนี้เพราะเกิดกระแสลัดวงจรลงสู่ดินนั่นเอง

2.8.1.2 ต่อลงดินเพื่อให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ป้องกันกระแสไฟรั่วลงดินทำงาน เมื่อเกิดลัดวงจรลงสู่ดินจะขจัดส่วนที่บกพร่องที่ลัดวงจรลงสู่ดินออกไป ส่วนอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการลัดวงจรลงสู่ดินก็ยังใช้งานได้ต่อไป

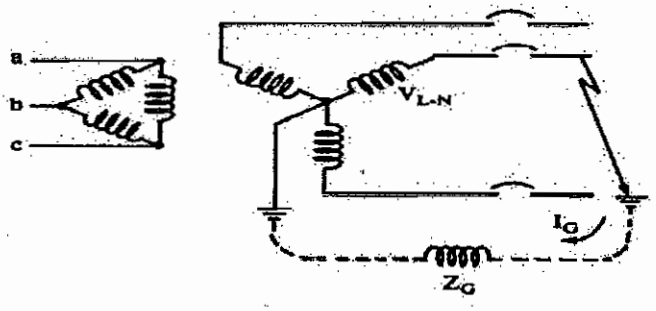
2.8.1.3 ต่อลงดินเพื่อป้องกันแรงดันเกิน ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าอาจเกิดแรงดันเกินได้จากสาเหตุหลายประการ เช่น เกิดจากฟ้าผ่าหรือสวิตชิ่งเสิร์จ

2.8.1.4 การต่อลงดินเพื่อคลายประจุ การต่อลงดินลักษณะเช่นนี้เป็นการทำทางให้คลายประจุลงสู่ดินไฟโดยสะดวก และไม่เกิดผลเสียหายจากการคลายประจุ เช่น เคเบิลแรงสูงหลังจากใช้

งานแล้วยังคงมีประจุค้างอยู่ จะเป็นอันตรายแก่ผู้ที่บังเอิญไปสัมผัสเข้า เมื่อมีการต่อลงดินก็จะเป็นทางระบายประจุดังกล่าวลงสู่ดิน

2.8.2 การต่อลงดินของระบบ (system grounding) การต่อลงดินของระบบมีวัตถุประสงค์ก็เพื่อให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินทำงานเมื่อเกิดลัดวงจรลงสู่ดิน และทำหน้าที่ป้องกันอันตรายจากแรงดันเกินในระบบ การต่อลงดินแบบเจตนา โดยปกติที่จุดศูนย์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และหม้อแปลงต้องต่อลงดิน ระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม และอาคารพาณิชย์จะมีการต่อลงดินของระบบ 3 แบบคือ

2.8.2.1 การต่อลงดินโดยตรง (solid grounding) เป็นการต่อจุดศูนย์(neutral) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหม้อแปลงลงสู่ดินโดยตรง ไม่มีค่าอิมพีแดนซ์เพิ่มเติมในสายต่อลงดิน ดังรูปที่ 2.8.1 ระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรรมและอาคารพาณิชย์ ใช้ได้ทั้งระบบแรงดันสูงกว่า 600 V และแรงดันต่ำกว่า 600 V โดยทั่วไปจะรับไฟฟ้าจากการไฟฟ้าของทางการ ซึ่งจะเป็นระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรงที่หม้อแปลง ทั้งนี้เพื่อป้องกันแรงดันเกินและกระแสไฟรั่วลงดิน กระแสไฟรั่วลงดินนี้จะไหลผ่านรีเลย์ป้องกันไฟรั่วลงดินเพื่อสั่งทริปเบรกเกอร์ ข้อเสียของการต่อลงดินโดยตรงก็คือกระแสรั่วลงดินจะสูงมาก อาจมีการทำลายอย่างรวดเร็วจากกระแสอาร์กลงดิน



$$I_G = \frac{3V_{L-N}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_G}$$

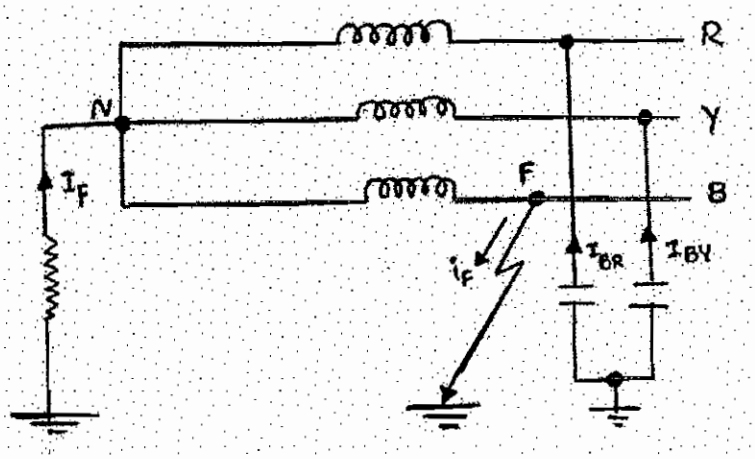
$$\approx \frac{V_{L-N}}{Z_1 + Z_G}$$

I_G (สูงสุด) $\approx \frac{V_{L-N}}{Z_1} \approx$ ไฮ ฟอลต์

I_G (ต่ำสุด) จะต่ำมาก ๆ ถ้าไม่มีกระแสไฟรั่วลงดิน

รูปที่ 2.8.1 ต่อลงดินโดยตรง

2.8.2.2 การต่อจุดกลางลงดินผ่านความต้านทาน

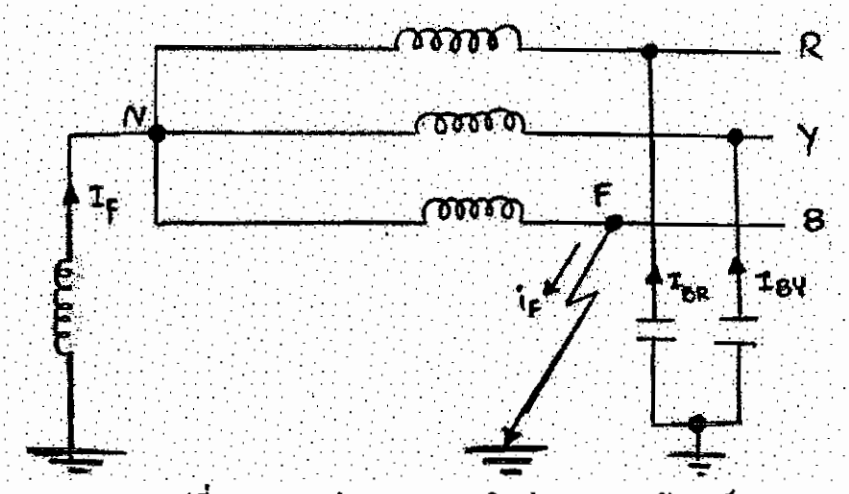


รูปที่ 2.8.2 การต่อจุดกลางลงดินผ่านความต้านทาน

การต่อจุดกลางลงดินผ่านความต้านทานที่ใช้อาจทำจากโลหะ แต่ระบบที่มีพิกัดแรงดันตั้งแต่ 0.6 kV ขึ้นไปมักใช้ความต้านทานที่ทำจากของเหลว

2.8.2.3 การต่อจุดกลางลงดินผ่านรีแอคแตนซ์

การต่อจุดกลางลงดินผ่านรีแอคแตนซ์ หมายถึงการต่อลงดินผ่านอิมพีแดนซ์ซึ่งมีรีแอคแตนซ์เป็นหลัก อาจกล่าวได้ว่าสายส่งที่มีความจุไฟฟ้าสูงๆ เช่นสายเคเบิลการต่อจุดกลางลงดินผ่านรีแอคแตนซ์จะเหมาะสมกว่า



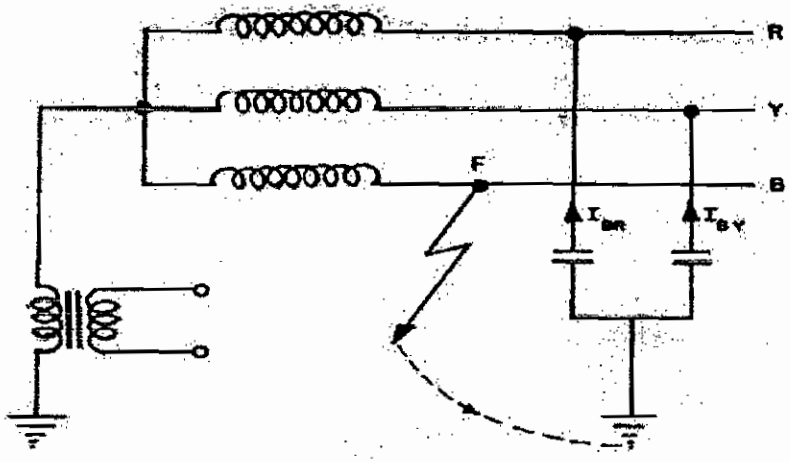
รูปที่ 2.8.3 การต่อจุดกลางลงดินผ่านขดลวดดับอาร์ก

2.8.2.4 การต่อจุดกลางลงดินผ่านขดลวดดับอาร์ก

ขดลวดดับอาร์กคือรีแอคแตนซ์ที่มีแกนทำจากเหล็กติดตั้งในวงจรต่อจุดกลางลงดินซึ่งสามารถปรับได้เข้า resonant กับความจุไฟฟ้าของระบบเมื่อเกิดการลัดวงจรลงดินในสายหนึ่ง ขดลวดดับอาร์กมีไว้เพื่อให้อาร์กที่เกิดระหว่างที่เกิดการลัดวงจรลงดินดับเองได้และลดขนาดของกระแสลัดวงจรให้มีค่าต่ำ

2.8.2.5 การต่อจุดกลางลงดินผ่านหม้อแปลงแรงดัน

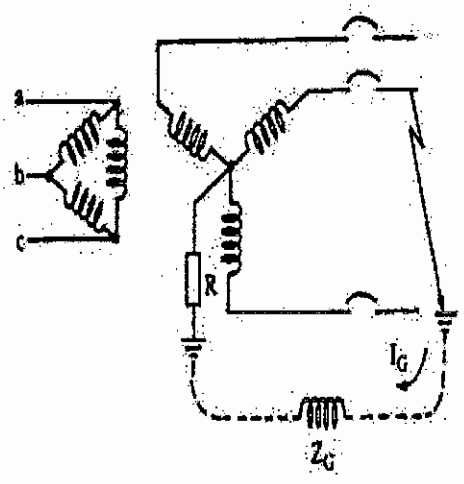
การใช้หม้อแปลงแรงดันต่อระหว่างจุดกลางลงดินนี้ส่วนมากจำกัดใช้ในระบบที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังโดยตรงซึ่งจะมีสายเคเบิลช่วงสั้นๆ ดังนั้นความจุน้อยจึงไม่มีการเสี่ยงต่อการเกิดแรงดันเนื่องจากปรากฏการณ์อาร์กซ้ำกราวนด์



รูปที่ 2.8.4 การต่อจุดกลางลงดินผ่านหม้อแปลงแรงดัน

2.8.3 ระบบไม่ต่อลงดิน (ungrounded system)

ดังรูปที่ 2.8.5 เป็นระบบหรือวงจร หรืออุปกรณ์ไม่มีการต่อลงดินโดยเจตนา จะมีเส้นทางที่เกี่ยวโยงกับดินก็เพียงทางผ่านของอุปกรณ์วัดแรงดันไฟฟ้า หรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูงมาก หรือไม่ก็เป็นทางผ่านค่าความจุไฟฟ้า ในกรณีที่ไม่มีการลัดวงจรลงสู่ดิน เมื่อโหลดอยู่ในสภาวะสมดุล จะมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับดิน จะมีค่าเท่ากัน ข้อดีของระบบนี้ก็คือระบบไฟฟ้ายังสามารถจ่ายไฟฟ้าต่อไปได้แม้ว่าจะมีการลัดวงจรลงดินเส้นเดียว การรบกวนต่อระบบสื่อสารจะลดลงเนื่องจากไม่มีกระแสลำดับศูนย์ไหล (zero sequence current) แต่มีข้อเสียก็คือแรงดันไฟฟ้าในระบบอาจสูงเกินและจะทำอันตรายต่ออุปปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันสูงเกินอาจเป็นปัญหาจากการเกิดเรโซแนนซ์ (resonance) ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับดิน หรือเกิดจากฟ้าผ่า รีเลย์ป้องกันกระแสไฟรั่วลงดิน ต้องมีความไวเพียงพอที่จะแสดงการเกิดการลัดวงจรขึ้นในวงจรได้



$I_G \approx \frac{V_{LN}}{R}$

ถ้า $I_G \approx 5-10$ A; ดังนั้น

$R = \frac{220}{I_G} \approx 22-44\ \Omega$

สำหรับระบบ 380/220 V

รูปที่ 2.8.5 ระบบไม่ต่อลงดิน

2.8.4 การเลือกวิธีการต่อจุดกลางลงดิน

ในบริเวณเมืองใหญ่ๆ หรือในย่านอุตสาหกรรม การต่อจุดกลางลงดินโดยตรงเป็นวิธีที่เหมาะสม ในบริเวณที่มีประชากรไม่หนาแน่น มักนิยมใช้ขดลวดดับอาร์ก