บทที่ 4

อุปกรณ์ป้องกันความผิดพร่องของระบบไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าที่มีอยู่ในปัจจุบันมีโอกาสในการเกิดความผิดพร่องได้ทุกเมื่อ ดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์ป้องกันในการตัดวงจรนั้นออกเมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้น เพื่อให้ระบบที่เหลือสามารถใช้งานต่อไปได้ ซึ่งอุปกรณ์ป้องกันที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ ฟิวส์ และเซอร์กิตเบรคเกอร์ โดยแยกตามขนาดของแรงดันที่ใช้ได้ ดังนี้

4.1 อุปกรณ์ป้องกันระดับแรงดันต่ำ (Low-voltage protective device)

อุปกรณ์ที่มีใช้กัน ได้แก่ 1) **ฟิวส์แรงดันต่ำ** (Low-voltage fuse)

2) **เซอร์กิตเบรคเกอร์แรงดันต่ำ** (Low-voltage circuit breaker)

โดยที่อุปกรณ์แต่ละชนิด จะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 ฟิวส์แรงดันต่ำ (Low-voltage fuse)

เป็นสิ่งประดิษฐ์สำหรับป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้า เมื่อมีกระแสเกินพิกัดหรือเกิดการลัดวงจร โดยที่ฟิวส์จะขาดและตัดวงจรออก เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อกระแสเกินพิกัดไหลผ่าน และหลังจากการทำงานของฟิวส์ การที่จะจ่ายไฟฟ้าให้ระบบได้ใหม่นั้นจะเกิดขึ้นหลังจากที่ทำการเปลี่ยนฟิวส์ตัวใหม่เสร็จเรียบร้อยแล้ว

4.1.1.1 ประเภทของฟิวส์แรงดันต่ำ

โดยทั่วไปแล้วฟิวส์แรงดันต่ำจะสามารถแบ่งตามรูปร่างและโครงสร้างได้เป็น 2 แบบ คือ

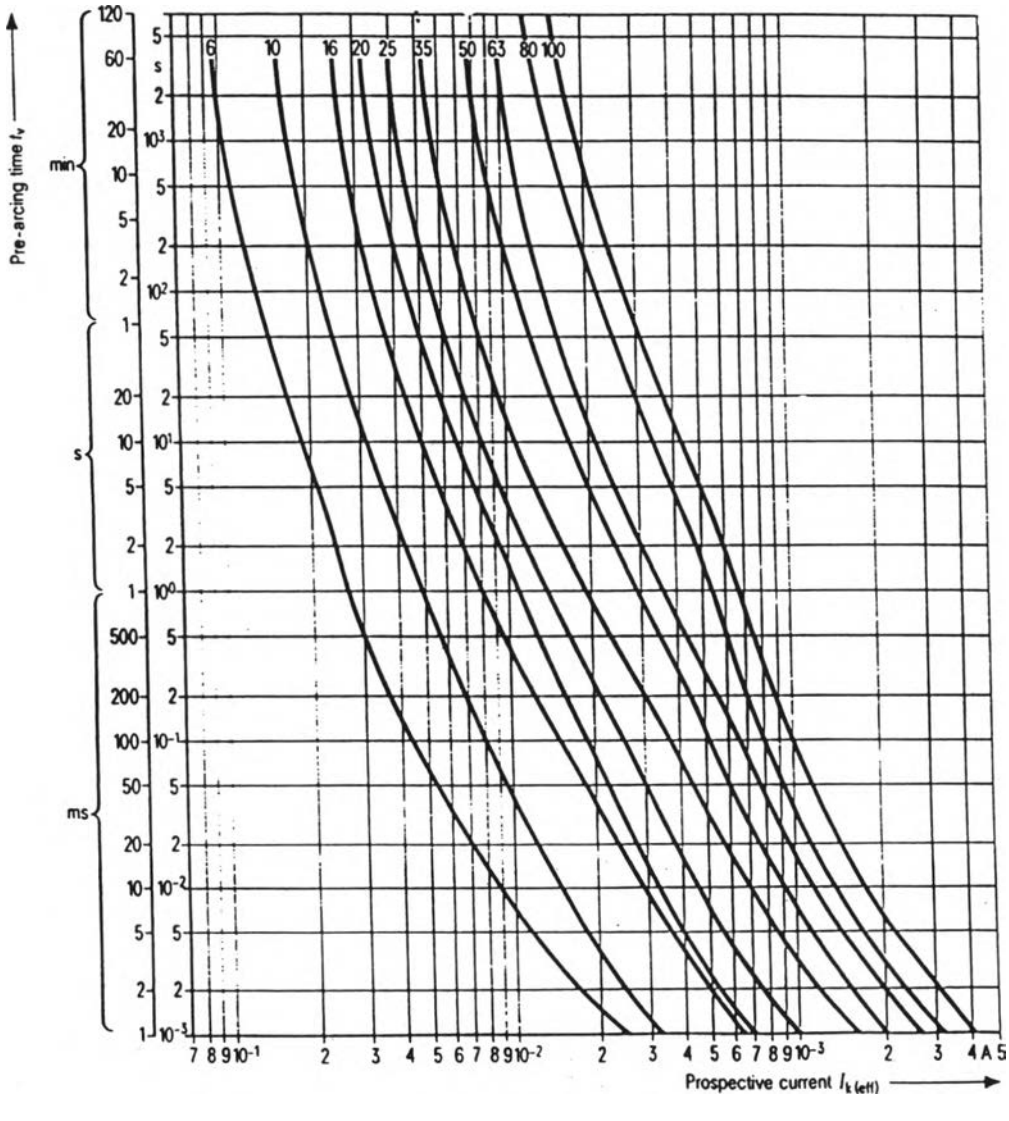
1) ฟิวส์แบบสกรู (Screw type fuse)

2) ฟิวส์แบบใบมีด หรือ แบบทรงกระบอก (Knife blade or drum fuse)

ซึ่งฟิวส์ทั้ง 2 แบบ จะเป็นชุดที่ประกอบด้วย ฐานฟิวส์, ตัวฟิวส์, ตัวรองฟิวส์ และฝาครอบแบบสกรู นอกจากนั้นยังมีฟิวส์อีกประเภทหนึ่งซึ่งสามารถใช้งานได้ในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ นั่นคือ ฟิวส์แบบ HRC (High rupture capacity fuse) ซึ่งเป็นฟิวส์ชนิดพิเศษที่เหมาะ

สำหรับป้องกันกระแสเกินและกระแสลัดวงจรในวงจรไฟฟ้ากำลังทั่วไป โดยมีคุณสมบัติเด่นคือ สามารถตัดกระแสลัดวงจรจำนวนมากๆ ได้อย่างเด็ดขาด แม้ว่าตัวฟิวส์จะมีพิกัดกระแสต่ำก็ตาม

ลักษณะโดยทั่วไปของฟิวส์แบบ HRC คือ ตัวเสื้อหรือส่วนที่ใช้ครอบฟิวส์มักทำด้วยกระเบื้อง และจะมีขั้วทองแดง 2 ขั้วอยู่ที่แต่ละปลาย ภายในจะมีแผ่นฟิวส์ฝังจมอยู่ในเม็ดทรายละเอียดซึ่งมีหน้าที่ในการดับอาร์คและระบายความร้อนที่เกิดขึ้น เมื่อมีกระแสลัดวงจรที่มีขนาดสูงกว่าค่าพิกัดของฟิวส์ไหลผ่าน แผ่นฟิวส์จะหลอมละลายขาดที่หลายจุดพร้อมกัน กระแสลัดวงจรจึงดับอย่างรวดเร็วและเด็ดขาด ฟิวส์แบบนี้ โดยทั่วไปจะมีค่าความคงทนต่อการตัดวงจร (Rupture capacity) สูงมากกว่า 50 kA ที่ระดับแรงดัน 415 V



รูปที่ 4.1 ลักษณะของฟิวส์แบบ HRC

4.1.1.2 ลักษณะสมบัติสมบัติระหว่างกระแสและเวลาของฟิวส์แบบ HRC

ฟิวส์แบบ HRC จะมีลักษณะสมบัติทนและไวในการตัดตอนวงจร นั่นคือที่กระแสไฟฟ้าเกินพิกัดของฟิวส์ ฟิวส์จะทนได้นาน แต่ถ้าเป็นกระแสไฟฟ้าลัดวงจร ฟิวส์แบบ HRC นี้จะหลอมละลายขาดได้เร็วมาก ดังนั้นจึงควรใช้ฟิวส์ชนิดนี้ในการป้องกันสายตัวนำ และสายเคเบิล นอกจากนั้นฟิวส์แบบ HRC นี้ยังเป็นอุปกรณ์ป้องกันที่สามารถจำกัดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรได้ด้วย ซึ่งค่าชั่วขณะของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะเพิ่มขึ้นได้ไม่ถึงค่ายอดสูงสุดในครึ่งรูปคลื่นแรก ซึ่งฟิวส์จะถูกหลอมละลายขาดแล้ว

4.1.1.3 ขนาดพิกัดการทำงานของ ฟิวส์แบบ HRC

พิกัดที่กล่าวถึงนี้ หมายถึง พิกัดที่ผู้ออกแบบจะต้องตัดสินใจเลือกว่าควรใช้ขนาดเท่าไรกับระบบไฟฟ้า ณ.จุดที่กำลังพิจารณา ซึ่งพิกัดที่สำคัญ ได้แก่

1) พิกัดกระแสซึ่งมีพิกัดให้เลือกระหว่าง 6-1250 A
2) ขีดความสามารถในการตัดวงจร สูงถึง 100 KA
3) ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ได้สูงสุด 500 V หรือ 1000 V

นอกจากนั้น ฟิวส์แบบ HRC ยังถูกกำหนดขนาดและความยาวตามค่าพิกัดกระแส ได้ดังตารางที่ 4.1 [5]

ตารางที่ 4.1 ขนาดและความยาวของฟิวส์แบบ HRC

ขนาด	พิกัดกระแสไฟฟ้า (kA)	ขนาดความยาว (mm.)
00	6-160	78
0	6-250	125
1	16-250	135
2	32-400	150
3	315-630	150
4	500-1000	200
4a	500-1250	200

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.1.4 การใช้งานของฟิวส์

ใช้สำหรับป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เช่น สายไฟ, สวิทช์, ตัวเรียงกระแสไฟฟ้า (Rectifier) เป็นต้น โดยเลือกตามลักษณะสมบัติระหว่างกระแสและเวลาของฟิวส์ที่เหมาะสม นอกจากนั้น ยังต้องคำนึงถึงขนาดพิกัดของฟิวส์ และชนิดของการป้องกัน เช่น จะใช้ฟิวส์ป้องกันกระแสเกิน หรือใช้ฟิวส์ในการป้องกันกระแสลัดวงจร เป็นต้น

4.1.2 เซอร์กิตเบรคเกอร์แรงดันต่ำ (Low-voltage circuit breaker)

เซอร์กิตเบรคเกอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ที่ใช้สำหรับเปิดและปิดวงจรไฟฟ้าในภาวะปกติ โดยจะเปิดวงจรไฟฟ้าโดยอัตโนมัติเมื่อเกิดภาวะผิดปกติขึ้น ซึ่งอาจเป็นการใช้กำลังเกิน (Overload) หรือการลัดวงจร (Short circuit)

4.1.2.1 ชนิดของเซอร์กิตเบรคเกอร์

เซอร์กิตเบรคเกอร์ อาจแบ่งตามลักษณะภายนอกและการใช้งานออกเป็น 2 ชนิด คือ [5,28] 1) Molded Case Circuit Breaker (MCCB)

2) Air Circuit Breaker (ACB)

โดยเซอร์กิตเบรคเกอร์แต่ละชนิด จะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) Molded Case Circuit Breaker (MCCB)

คือเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่มีอุปกรณ์ตรวจจับและอุปกรณ์ตัดต่ออยู่ภายในวัสดุฉนวนซึ่งทำด้วยสารประเภทพลาสติกแข็ง MCCB มีตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ และใช้สำหรับป้องกันระบบไฟฟ้าตั้งแต่ วงจรย่อย (Branch circuit), สายป้อน (Feeder) จนถึง สายวงจรหลัก และอุปกรณ์ไฟฟ้า

MCCB ที่ใช้กันอยู่ในขณะนี้ อาจแบ่งตามการใช้งานได้เป็น 4 ประเภท คือ

- ขนาดเล็ก (Miniature circuit breaker : MCB)
- ขนาดมาตรฐาน (Standard circuit breaker)
- แบบคงทนต่อกระแสลัดวงจรสูง (High interrupting circuit breaker)
- แบบจำกัดกระแสลัดวงจร (Current limiting circuit breaker : CLCB)

1.1) MCCB ขนาดเล็ก

แบบนี้มีขนาด 32 AF, 50 AF และ 63 AF ซึ่งใช้สำหรับติดตั้งในแผงจ่ายไฟฟ้ากำลัง (Power board) หรือแผงจ่ายไฟของที่อยู่อาศัย เพื่อป้องกันระบบไฟฟ้าของบ้าน, สำนักงาน หรืออุตสาหกรรม

MCB มีคุณสมบัติพิเศษ ดังนี้

- มีทั้ง 1, 2 หรือ 3 ขั้ว
- มี Interrupting capacity ตั้งแต่ 3 kA ถึง 9 kA

1.2) MCCB ขนาดมาตรฐาน

MCCB แบบนี้ มีขนาดตั้งแต่ 100 AF ถึง 3200 AF และมี Interrupting capacity อยู่หลายระดับ โดยมี Interrupting capacity ไม่สูงนักซึ่งเหมาะสำหรับการใช้ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก

1.3) MCCB แบบคงทนต่อกระแสลัดวงจรสูง

แบบนี้มีขนาดเช่นเดียวกับ MCCB ขนาดมาตรฐาน แต่มี Interrupting capacity สูงขึ้น และใช้ในที่ซึ่งมีกระแสลัดวงจรสูงเกินกว่าที่จะใช้ เซอร์กิตเบรคเกอร์แบบมาตรฐานได้

1.4) MCCB แบบจำกัดกระแสลัดวงจร (Current-limiting circuit breaker : CLCB)

CLCB เป็นเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่มี Interrupting capacity สูงมาก คือ 100 ถึง 200 kA ที่ 380/415 V การที่มี Interrupting capacity สูง เนื่องจากมีความสามารถในการตัดกระแสลัดวงจรได้รวดเร็วมาก คือ ภายในประมาณ 1/4 ของคาบเวลา ซึ่งการที่ CLCB ทำงานได้รวดเร็ว เพราะอาศัยแรงผลัก (Repulsing Force) ที่เกิดจากกระแสลัดวงจรในตัวนำที่วางขนานกันภายในเซอร์กิตเบรคเกอร์

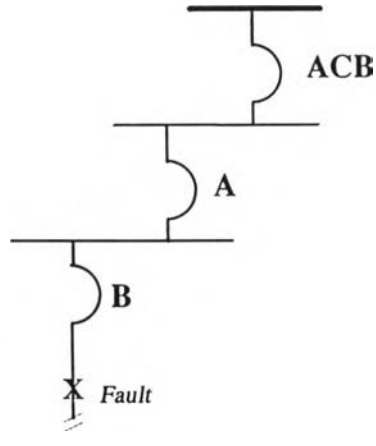
การที่เซอร์กิตเบรคเกอร์แบบ CLCB สามารถลดกระแสยอดและพลังงานผ่านได้นั้น ทำให้เราสามารถใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาดเล็กที่มี Interrupting capacity ต่ำ ในวงจรไฟฟ้าซึ่งมีกระแสลัดวงจรสูงกว่า Interrupting capacity ของเซอร์กิตเบรคเกอร์ได้ โดยมี CLCB คุมอยู่ต้นทาง (Upstream) ซึ่งการทำงานประสานกันระหว่าง CLCB กับเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่เหลือในลักษณะนี้เป็นการติดตั้งระบบป้องกันแบบ Series connected system ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2

2) Air circuit breaker (ACB)

ACB เป็นเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบโครงเปิด (Open frame type) จึงสามารถเพิ่มอุปกรณ์ช่วยและปรับขนาดได้ นอกจากนั้นก็ยังดับอาร์คไฟฟ้าในอากาศได้ด้วย อุปกรณ์ทั้งหมดจะถูกติดตั้งบนฐานหรือราง ACB เป็นเซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาดใหญ่โดยขนาดพิกัดสูงสุดของการปรับตั้ง (Ampere frame) ที่ใช้กันจะอยู่ระหว่าง 800 A ถึง 6300 A ซึ่งใช้สำหรับป้องกันระบบไฟฟ้าของวงจรสายป้อน

และสายเมน โดยปกติแล้วถ้ากระแสเกินไม่มากในช่วงของโหลดเกิน ส่วนตัดวงจรจะปลดออกได้โดยอัตโนมัติด้วยตัวปลดความร้อนแบบหน่วงเวลา แต่หากกระแสเกินมากๆ ในช่วงของกระแสลัดวงจร ส่วนตัดวงจรจะปลดออกทันทีด้วยตัวปลดแม่เหล็กซึ่งตั้งเวลาไว้และอาจมีตัวปลดเมื่อไฟตกเพิ่มเติมด้วยก็ได้ ทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปลดออกเองถ้าไฟด้านแหล่งจ่ายหายไป และจะสับไม่เข้าถ้าไฟด้านแหล่งจ่ายยังไม่มีการสับสวิทช์ไฟเข้าวงจร นอกจากนั้นการสับปลดโดยการใช้มือโยกภายนอกอาจต้องใช้แรงมาก ทำให้ไม่สะดวกเนื่องจากเป็นเบรคเกอร์ขนาดใหญ่ ดังนั้น ACB บางแบบจึงมีอุปกรณ์สำหรับกักเก็บพลังงานไว้ช่วยในการสับปลดให้สะดวกยิ่งขึ้น

ACB จะมี Interrupting capacity สูง และมี Short time rating ซึ่งเป็นลักษณะของเซอร์กิตเบรคเกอร์หลัก (Main circuit breaker) ที่สามารถทนต่อกระแสลัดวงจรได้ภายในช่วงเวลาหนึ่งๆ ก่อนการตัดวงจร โดยทั่วไปมักเป็น 1 ถึง 3 วินาที ซึ่งลักษณะของ Short time rating นี้จำเป็นต้องมีให้กับเซอร์กิตเบรคเกอร์หลัก เพราะเซอร์กิตเบรคเกอร์ประเภทนี้จะเป็นเซอร์กิตเบรคเกอร์ตัวสุดท้ายในการป้องกันการลัดวงจรในระบบไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.2 ลักษณะของ ACB ที่ใช้เป็นเซอร์กิตเบรคเกอร์หลัก

ACB จะมีลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและเวลาเป็นแบบ Solid state trip ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 4.4 เช่นเดียวกับ MCCB ดังที่จะกล่าวต่อไป

4.1.2.2 ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและเวลาของเซอร์กิตเบรคเกอร์

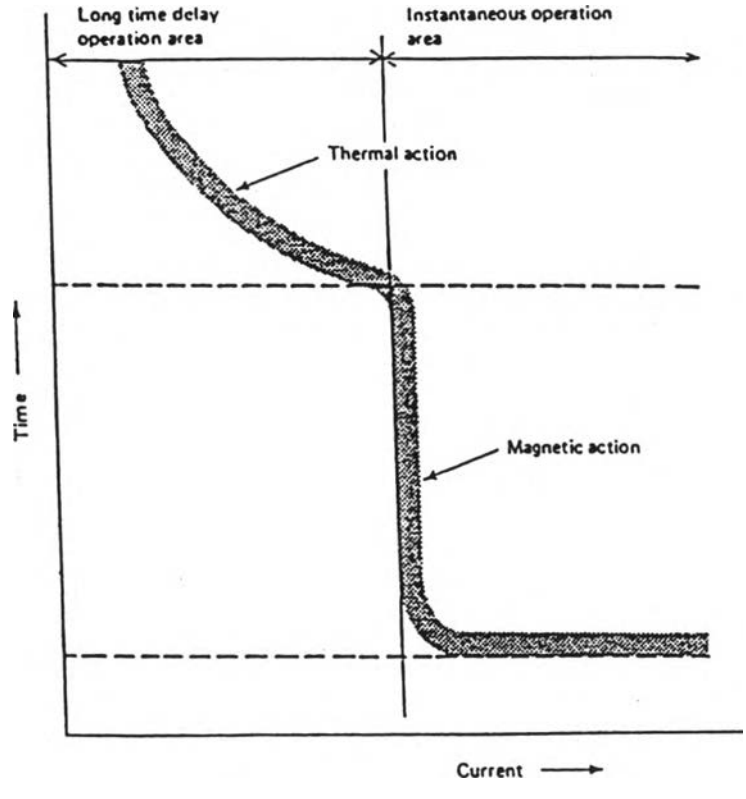
ความสัมพันธ์ของเซอร์กิตเบรคเกอร์นี้จะแสดงออกมาในรูปของเส้นโค้งซึ่งจะบอกถึงความสามารถในการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์ ที่กระแสค่าหนึ่ง ณ.ขณะใดขณะหนึ่ง

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเส้นโค้งแสดงลักษณะจะมี 2 ส่วนที่สำคัญ คือ

1) ส่วนที่มีการหน่วงเวลาในการตัดวงจร (Long time delay trip)

2) ส่วนที่ตัดวงจรในทันที (Instantaneous trip)

เซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาดเล็กส่วนมากมีเส้น Long time delay เป็นแบบที่ปรับไม่ได้ (Non adjustable) แต่เซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาดปานกลางและขนาดใหญ่ ทางบริษัทผู้ผลิตได้ทำให้สามารถปรับค่าได้ และสำหรับส่วนที่ใช้ตัดวงจรในทันที เซอร์กิตเบรคเกอร์ส่วนมากจะสามารถปรับค่าได้โดยอาจปรับได้ตั้งแต่ 5 ถึง 10 เท่าของกระแสพิกัด



รูปที่ 4.3 ลักษณะสมบัติโดยทั่วไประหว่างกระแสและเวลา ของเซอร์กิตเบรคเกอร์

นอกจากนี้แล้วเรายังมีหน่วยของการตัดวงจรที่เป็นแบบเชิงเส้น (Solid-state tripping unit) [5-6,28] หรือที่เรียกกันว่าแบบอิเล็กทรอนิคส์ (Electronic tripping unit) โดยจะมีหม้อแปลงกระแส (Current transformer) และวงจรอิเล็กทรอนิคส์ เพื่อวัดกระแสแล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ ซึ่งเมื่อค่าที่วัดได้เกินค่าที่ตั้งไว้ให้กับเซอร์กิตเบรคเกอร์ ก็จะมีการส่งสัญญาณให้ขดลวดตัดวงจร ซึ่งจะทำให้มีความแม่นยำและความเชื่อถือได้สูงกว่าหน่วยการตัดวงจรแบบอื่น โดยเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบนี้สามารถปรับค่ากระแสและเวลาต่างๆ ได้ดังนี้

1) ส่วนของการตัดวงจรแบบช่วงเวลายาว (Long time tripping)

ซึ่งต้องพิจารณาถึง - Ampere rating

- Delay band

2) ส่วนของการตัดวงจรแบบช่วงเวลาสั้น (Short time tripping)

ซึ่งต้องพิจารณาถึง - Pick up

- Delay band

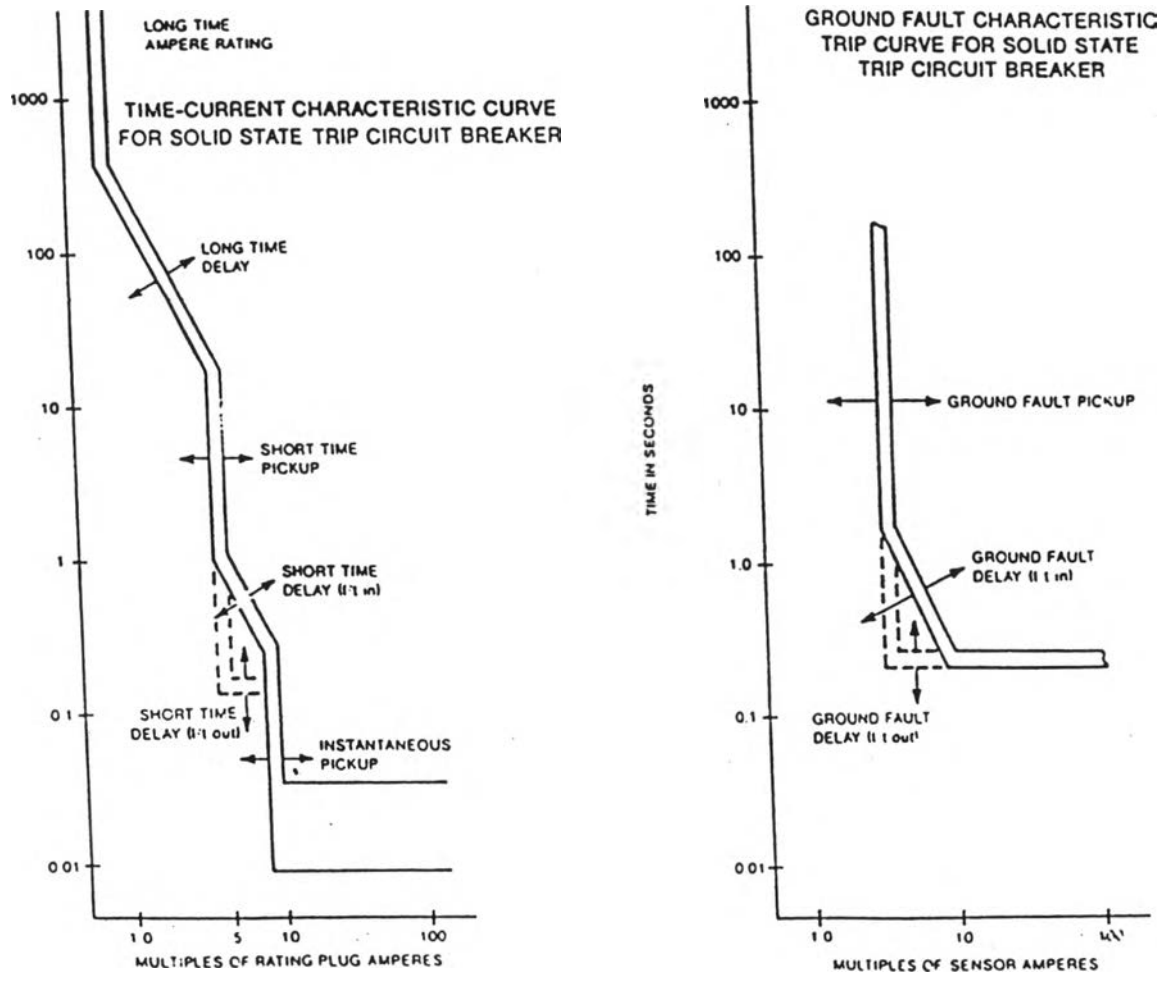
3) ส่วนที่ตัดวงจรในทันที (Instantaneous tripping)

ซึ่งต้องพิจารณาถึง - Pick up

4) ส่วนที่ใช้ตัดวงจรเมื่อมีความผิดพร่องลงดิน (Ground fault tripping)

ซึ่งต้องพิจารณาถึง - Pick up

- Delay



รูปที่ 4.4 ลักษณะสมบัติระหว่างกระแสและเวลา ของเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบอิเล็กทรอนิคส์

จากรูปข้างต้นจะเห็นว่าสามารถปรับเส้นกราฟได้ ทำให้ได้ลักษณะสมบัติของเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ต่างออกไปจากเดิม ซึ่งจะทำให้การออกแบบระบบประสานการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าต่างๆในระบบได้ดียิ่งขึ้น โดยเราอาจจะตั้งปรับที่ตัวแปรต่างๆ ดังนี้ [5,7-9,11,29]

- Rating plug : เซอร์กิตเบรคเกอร์ที่เป็นแบบอิเล็กทรอนิคส์ ส่วนมากจะต้องเลือกกระแสเริ่มต้นก่อน ซึ่งกระแสเริ่มต้นนี้ขึ้นอยู่กับค่าของ Rating plug ที่ใช้ โดย Rating plug จะมีอยู่หลายระดับ Ampere frame

- Long Time Ampere Rating : คือ ค่ากระแสซึ่งเซอร์กิตเบรคเกอร์ สามารถทนไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง สามารถปรับได้หลายระดับ เช่น 0.5x, 0.6x, 0.7x, 0.8x, 0.9x หรือ 1.0x ของค่า Rating plug

- Long time delay band : การปรับค่า Long time delay band จะเป็นการปรับเวลาที่เซอร์กิตเบรคเกอร์ให้สามารถนำกระแสเกินโหลดได้ก่อนตัดวงจร

- Short time pickup : คือ การปรับกระแสเริ่มต้นทำงานของ Short time function ซึ่งค่านี้อาจปรับได้เป็น 2x, 4x, 5x หรือ 6x ของค่า Rating plug

- Short time delay band : การปรับค่าเวลาของ Short time delay band ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อให้เซอร์กิตเบรคเกอร์สามารถนำกระแสเกินโหลด ในช่วง Short time ก่อนการตัดวงจร

- Instantaneous pickup : คือ ค่ากระแสเริ่มต้นของการตัดวงจรแบบทันที ซึ่งอาจเลือกขนาดได้เป็น 2x, 3x, 4x, 5x หรือ 6x ของค่า Rating plug

- Ground fault pickup : สำหรับค่าเริ่มต้นทำงานของกระแสลัดวงจรลงดิน คือ 600 A ถึง 1200 A

- Ground fault trip delay : สามารถปรับค่าหน่วงของกระแสลัดวงจรลงดิน โดยอาจปรับได้ตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.5 วินาที

4.1.2.3 พิกัดของเซอร์กิตเบรคเกอร์

ในการบอกพิกัดของเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่สำคัญจะถูกกำหนดด้วย

1) แรงดัน (Voltage) : พิกัดแรงดันของเซอร์กิตเบรคเกอร์ หมายถึง แรงดันสูงสุดของระบบไฟฟ้าที่สามารถใช้ได้ ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับตัวแปรในการออกแบบ

2) ความถี่ (Frequency) : พิกัดความถี่ที่ใช้ทั่วไปคือ 50 Hz แต่ถ้าใช้ในงานที่มีความถี่ต่างจากนี้ เช่น 400 Hz ผู้ออกแบบต้องปรึกษาหรือดูจากคู่มือของบริษัทผู้ผลิต เนื่องจากค่าพิกัดอื่นๆ จะเปลี่ยนไป

3) ค่ากระแสต่อเนื่อง (Continuous current) : พิกัดกระแสต่อเนื่องของเซอร์กิตเบรคเกอร์ คือค่ากระแส rms ที่เซอร์กิตเบรคเกอร์สามารถทนได้โดยที่อุณหภูมิไม่เพิ่มเกินค่าที่กำหนดให้ในอุณหภูมิโดยรอบ (Ambient Temperature) ค่าหนึ่ง และในการปรับขนาดพิกัดของ เซอร์กิตเบรคเกอร์นี้ กรณีของ MCCB จะสามารถปรับให้รับกระแสต่อเนื่องได้ถึง 100% ของค่ากระแสพิกัดเมื่อไม่มีโครงห่อหุ้ม (Enclosure) แต่ถ้ามีโครงห่อหุ้ม ผู้ออกแบบก็ไม่ควรที่จะปรับให้รับโหลดได้เกิน 80% ของค่ากระแสพิกัด ที่ Ambient Temperature (ปกติจะประมาณ 25 ถึง 40 ^{o}C) และในกรณีของ ACB นั้น ผู้ออกแบบจะสามารถปรับให้รับโหลดได้ถึง 100% เช่นเดียวกับ MCCB ที่ไม่มีโครงห่อหุ้ม

4) ค่าความคงทนต่อการลัดวงจร (Interrupting capacity) : พิกัดกระแสลัดวงจร คือ กระแสลัดวงจรสูงสุดที่เซอร์กิตเบรคเกอร์สามารถตัดได้ โดยที่เซอร์กิตเบรคเกอร์ไม่ได้รับความเสียหาย ค่าของ Interrupting capacity นี้จะได้มาจากการทดสอบ และขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว เช่น แรงดัน ดังนั้นเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่สามารถใช้ได้กับแรงดันหลายระดับ จะต้องคำนึงถึงค่า Interrupting capacity ที่แต่ละระดับแรงดันด้วย

ค่า Interrupting capacity ของเซอร์กิตเบรคเกอร์ เป็นค่าพิกัดที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในการเลือกเซอร์กิตเบรคเกอร์ สำหรับงานหนึ่งๆนั้นจะต้องให้มี Interrupting capacity เท่ากับหรือมากกว่าค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่จุดติดตั้งเสมอ (ยกเว้นในกรณีของระบบป้องกันแบบ Series connected protective system)

4.1.2.4 การเลือกใช้งานเซอร์กิตเบรคเกอร์

เมื่อเลือกใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์สำหรับแรงดันต่ำ จำเป็นต้องพิจารณาพิกัดต่างๆ ของเซอร์กิตเบรคเกอร์ เช่น พิกัดแรงดัน, กระแสต่อเนื่อง, กระแสลัดวงจร นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึง การติดตั้ง, ระบบป้องกัน, ขนาดสายไฟฟ้า และชนิดของโหลด เป็นต้น โดยในแต่ละจุดของระบบไฟฟ้า จะมีรายละเอียดที่ผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงต่างกัน ดังนี้ [5]

1) ระบบการจ่ายไฟฟ้า (Power supply system)

- วิธีการจ่ายไฟฟ้า
- ขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า
- พิกัดแรงดันและความถี่
- 1 เฟส หรือ 3 เฟส

2) สถานที่ติดตั้ง

- สภาพของบริเวณที่ติดตั้ง
- อากาศโดยรอบ

3) การติดตั้งและการต่อ (Installation and connection)

- แผงจ่ายไฟ หรือ แผงควบคุมมอเตอร์
- วงจรเมน หรือ วงจรย่อย

4) การใช้งาน (Application)

- ป้องกันสายไฟ
- ป้องกันมอเตอร์
- ป้องกันอุปกรณ์พิเศษ

5) ค่าความคงทนต่อการลัดวงจร (Interrupting capacity)

- Fully rated protective system
- Selective protective system
- Series connected protective system

6) กระแสลัดวงจร (Short circuit current)

- เซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ใช้
- ขนาดของ Ampere frame

7) โหลด (Load)

- กระแสพิกัด
- ขนาดสายไฟ, บัสบาร์ (Busbar)

8) ลักษณะพิเศษของอุปกรณ์ (Equipment characteristic)

- สายไฟฟ้า
- อุปกรณ์ใช้ไฟ
- เซอร์กิตเบรคเกอร์

9) การทำงาน (Operation)

- จำนวนครั้งของการตัดต่อ
- วิธีการทำงาน ซึ่งแบ่งเป็น - การควบคุมระยะไกล (Remote control)
  - การควบคุมแบบ Manual

10) อุปกรณ์เสริม (Accessories)

- Undervoltage
- Shunt trip
- Auxiliary switch
- Pad locking
- Mechanical interlock device
- และอื่นๆ

4.2 อุปกรณ์ป้องกันระดับแรงดันปานกลาง

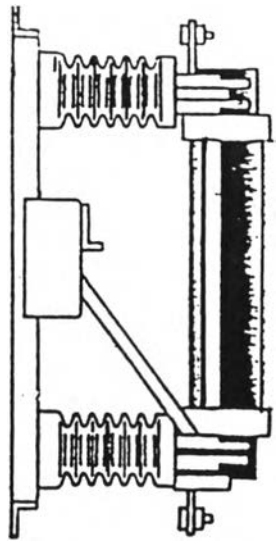
อุปกรณ์ที่มีใช้กัน ได้แก่ 1) ฟิวส์แรงดันปานกลาง (Medium-voltage fuse)
2) เซอร์กิตเบรคเกอร์แรงดันปานกลาง (Medium-voltage circuit breaker)
3) รีเลย์ (Relay)

โดยที่อุปกรณ์แต่ละชนิด จะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 ฟิวส์แรงดันปานกลาง (Medium-voltage fuse)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตัดวงจรโดยการหลอมละลายของบางส่วน ซึ่งเป็นผลมาจากความร้อนภายในที่เกิดขึ้นเมื่อกระแสที่ไหลผ่านมีปริมาณเกินค่าที่กำหนดไว้ภายในช่วงระยะเวลาจำกัดค่าหนึ่ง ซึ่งใช้สำหรับป้องกันอุปกรณ์และระบบไฟฟ้าจากผลทางด้านไดนามิกและความร้อน (Dynamic and thermal effect) อันเกิดจากกระแสลัดวงจรหรือกระแสเกิน

ฟิวส์แรงดันปานกลางที่มีใช้กันมาก ได้แก่ ฟิวส์แรงดันปานกลางแบบ HRC ซึ่งลักษณะโครงสร้างจะประกอบด้วยฟิวส์ที่มีการเชื่อมต่อกันหลายตัวและต่อขนานกัน (Fuse link) และถูกบรรจุภายในสารที่ใช้ดับอาร์ค ซึ่งโดยปกติจะใช้ทรายหรือควอทซ์ (Quartz) ส่วนภายนอกจะทำด้วย กระเบื้อง (Porcelain) ฟิวส์บางรุ่นจะมี Striker pin เพื่อบอกให้ทราบว่าฟิวส์ขาด โดยจะยื่นออกมาจากปลายของ Fuse link เมื่อฟิวส์ขาด ซึ่งกลไกนี้สามารถใช้ขับเคลื่อนทำให้มอนิเตอร์แสดงสถานะของฟิวส์ทำงานหรือไปทำให้อุปกรณ์ปลดสวิทช์ (Switch disconnector) เปิดวงจรโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 4.5 ลักษณะโครงสร้างของฟิวส์แรงดันปานกลางแบบ HRC

4.2.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ฟิวส์แรงดันปานกลางในการป้องกัน [5]

ฟิวส์ประเภทนี้สามารถนำมาใช้ป้องกันอุปกรณ์ได้หลายประเภท โดยในแต่ละประเภท ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่ต่างกัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

โดยการป้องกันอุปกรณ์แต่ละชนิด มีหลักพิจารณาดังนี้

1) หม้อแปลงกำลัง (Transformer)

- เลือกตามพิกัดกระแส และ ลำดับการตัดวงจรของอุปกรณ์ป้องกัน (Selectivity)
- ต้องคำนึงถึงกระแสพุ่งเข้า (Inrush current) เมื่อเริ่มการทำงานของเครื่องจักร

2) ตัวเก็บประจุ (Capacitor)

- ใช้ฟิวส์ขนาดไม่น้อยกว่า 2.5 เท่าของกระแสพิกัด Capacitor เพื่อให้สามารถทนกระแสพุ่งเข้าได้

3) มอเตอร์ (Motor)

- ฟิวส์ต้องทนกระแสตอนสตาร์ทได้ คือค่ากระแสก่อนการเกิดอาร์ค (Pre-arcing current) ต้องสูงกว่าค่ากระแสตอนสตาร์ทมอเตอร์

4) หม้อแปลงแรงดัน (Voltage transformer)

- เลือกใช้งานฟิวส์ขนาดเล็กที่สุด คือ 6.3 A เนื่องจาก VT กินกระแสน้อยมาก

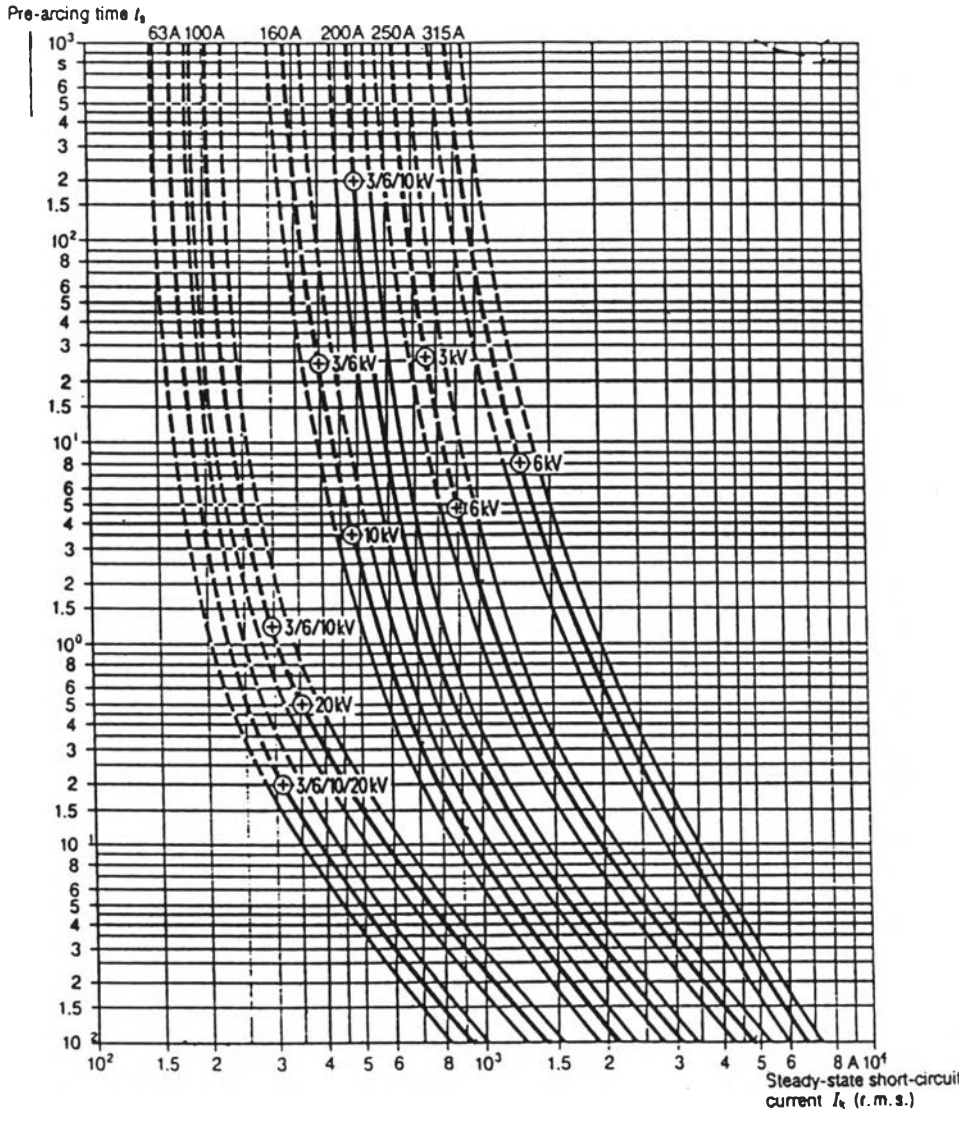
5) สายเคเบิล (Cable)

- เลือกตามพิกัดกระแสต่อเนื่อง
- พิจารณาการจัดลำดับการตัดวงจรของอุปกรณ์ป้องกัน (Selectivity)

4.2.1.2 ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและเวลาของ

ฟิวส์แรงดันปานกลาง

จะมีลักษณะเช่นเดียวกับฟิวส์แรงดันต่ำ ซึ่งเป็นแบบผกผันระหว่าง กระแสและเวลา ดังตัวอย่างรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ลักษณะสมบัติโดยทั่วไประหว่างกระแสและเวลา ของฟิวส์แบบ HRC

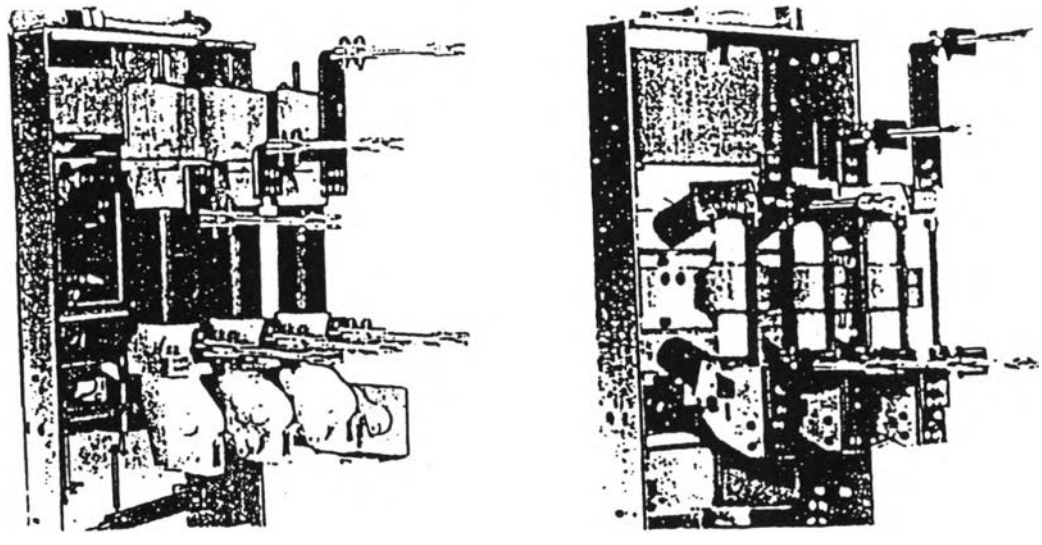
4.2.1.3 ข้อควรคำนึงในการเลือกใช้ฟิวส์แรงดันปานกลาง

1) พิกัดแรงดันใช้งานค่าสูงสุด
2) พิกัดกระแสใช้งานที่แรงดันค่าสูงสุด
3) ข้อกำหนดในการจัดลำดับการตัดวงจรของอุปกรณ์ป้องกัน
4) การลัดวงจร
5) กระแสและเวลาเมื่อเริ่มเดินเครื่องจักร

4.2.2 เซอร์กิตเบรคเกอร์แรงดันปานกลาง

(Medium-voltage circuit breaker)

เท่าที่ใช้กันอยู่มีหลายชนิด ได้แก่ เซอร์กิตเบรคเกอร์แบบใส่น้ำมัน, แบบสูญญากาศ และแบบบรรจุกาซ SF_6 โดยสองแบบหลังนับว่าเป็นประเภทที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน



รูปที่ 4.7 แสดงรูปเซอร์กิตเบรคเกอร์แรงดันปานกลาง

(ก) แบบบรรจุน้ำมัน

(ข) แบบบรรจุกาซ SF_6

แรงดันไฟฟ้า 10 kV ถึง 30 kV

กลไกการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์ทั้งสามแบบคล้ายคลึงกัน คือเป็นแบบสะสมพลังงาน สามารถเปิดและปิดวงจรได้เมื่อชาร์จสปริงภายใน อาจใช้มือดึงหรือใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนกลไกการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์ได้เมื่อเซอร์กิตเบรคเกอร์ตัดวงจร อาร์คจะถูกดับในขณะที่กระแสเป็นศูนย์ในกรณีของเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบใส่น้ำมัน กระแสก่อนเป็นศูนย์หรือใกล้ศูนย์จะถูกตัดโดยน้ำมันซึ่งเคลื่อนเข้าบริเวณที่มีอาร์คขณะที่หน้าสัมผัสจากกัน เมื่ออาร์คดับแล้วกาซและไอน้ำมันที่เกิดขึ้นจะรวมตัวเป็นน้ำมันใหม่ ดังนั้นการทำงานของแบบใส่น้ำมันจะไม่สิ้นเปลืองน้ำมันแต่อย่างใด แต่จำนวณครั้งในการทำงานของสวิทช์จะมีจำนวนจำกัด เพราะหน้าสัมผัสกร่อนและน้ำมันสกปรก

เซอร์กิตเบรคเกอร์แบบสูญญากาศและแบบบรรจุกาซ SF_6 นั้น คุณสมบัติทางฉนวนของสูญญากาศและกาซจะดีมากและคืนสภาพได้เร็วมากเมื่ออาร์คดับ ไอโลหะรวมตัวอย่าง

รวดเร็วจับตามผิวโลหะ เซอร์กิตเบรคเกอร์ชนิดนี้จึงเหมาะกับการใช้เปิดและปิดกระแสคะปาซีตีฟ (Capacitive current) หรือโหลดที่เปิดและปิดบ่อยๆ ซึ่งมักจะถูกนำไปใช้งานร่วมกับ

- รีเลย์ป้องกัน (Protective relay)
- หม้อแปลงกระแส (Current transformer)
- หม้อแปลงแรงดัน (Voltage transformer)

4.2.3 รีเลย์ (Relay) [1,5-9,11,29,32-33]

รีเลย์ที่ใช้ในการป้องกันระบบไฟฟ้า คือรีเลย์ที่จะทำงานเมื่อเกิดภาวะผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง และจะสั่งสวิตช์ตัดตอนอัตโนมัติให้แยกส่วนที่เสีย หรือส่วนที่มีการลัดวงจรออกไปจากระบบ เพื่อให้มีการขาดหายในด้านการบริการของระบบน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยจะต้องแยกส่วนหนึ่งส่วนใดออกจากระบบทันทีเมื่อมีการลัดวงจร หรือมีการทำงานที่ผิดปกติขึ้นในส่วนนั้น ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่ระบบได้ ในการกระทำเช่นนี้จะต้องมีสวิทช์ตัดตอนอัตโนมัติหรือที่เรียกกันว่า เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Circuit breaker) ที่มีขนาดที่เหมาะสม และสามารถที่จะตัดกระแสนั้นๆได้ นอกจากนี้หน้าที่อีกอย่างหนึ่งของรีเลย์ป้องกันคือ สามารถบอกตำแหน่ง และชนิดของการทำงานผิดปกติที่เกิดขึ้นได้ ข้อมูลเหล่านี้นอกจากจะช่วยให้การซ่อมแซมเร็วขึ้น แล้วยังช่วยให้สามารถนำข้อมูลมาเปรียบเทียบในการวิเคราะห์ว่า ระบบที่ออกแบบไว้นั้นมีความเหมาะสมเพียงใดอีกด้วย

4.2.3.1 ส่วนประกอบของระบบป้องกันในระบบไฟฟ้า [1,4,6-7,29,33]

โดยทั่วไประบบป้องกันประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญ ดังต่อไปนี้

1) สวิทช์ตัดตอนอัตโนมัติ (Circuit breaker)

ใช้สำหรับเปิดและปิดวงจรทั้งในขณะที่ระบบไฟฟ้ากำลังอยู่ในภาวะปกติ หรือในภาวะปกติผิดปกติ การเปิดและปิดวงจรในภาวะปกติจะทำด้วยมือเมื่อใดก็ได้ตามต้องการ แต่เมื่อระบบอยู่ในภาวะผิดปกติ จะต้องตัดอย่างรวดเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ ก่อนที่อุปกรณ์จะเสียหาย จึงจำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์อื่นๆ ประกอบเพื่อตรวจจับภาวะผิดปกติ และสั่งให้สวิทช์ตัดตอนอัตโนมัติเปิดหรือปิดวงจรด้วยความเร็วสูงโดยอัตโนมัติ

2) หม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดัน

(Current transformer and voltage transformer)

มีหน้าที่แปลงกระแส และแรงดันจากระบบไฟฟ้ากำลังที่แรงดันสูง ให้เป็นกระแสและแรงดันที่แรงดันต่ำ เพื่อให้สามารถป้อนเข้าสู่รีเลย์ได้ ซึ่งมีขนาดกระแสและแรงดันที่กำหนดเป็นค่าต่ำและโดยทั่วไปจะมีขนาดมาตรฐานที่ กระแส 1 หรือ 5 แอมแปร์, แรงดันที่ 110 หรือ 120 โวลท์

3) วงจรตัดวงจร (Trip circuit)

ประกอบด้วยสายไฟ และแบตเตอรี่ ซึ่งป้อนกระแสเข้าสู่ขดลวดเพื่อกระตุ้นให้สวิทช์ตัดตอนอัตโนมัติเปิดหรือปิดวงจร นอกจากนี้ยังอาจมีรีเลย์ช่วยอื่นๆ เช่น รีเลย์หน่วงเวลา (Time delay relay), รีเลย์เสริม (Auxiliary relay) และอุปกรณ์อื่นๆ

4) รีเลย์ป้องกัน (Protective relay)

คืออุปกรณ์ที่ได้รับการออกแบบให้สามารถรับการกระตุ้นจากสัญญาณที่แปลงมาจากระบบไฟฟ้ากำลัง รีเลย์มีหน้าที่ตรวจจับภาวะผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยจะทำการวัดปริมาณไฟฟ้าตลอดเวลา ค่าที่วัดนี้ในภาวะปกติจะต่างกับค่าที่วัดภายใต้ภาวะผิดปกติ ปริมาณที่อาจเปลี่ยนแปลง เมื่อเกิดภาวะผิดปกติ ได้แก่ แรงดัน, กระแส, มุมทางไฟฟ้า และความถี่ เป็นต้น

รีเลย์อาจมีสัญญาณเข้า 1 สัญญาณหรือมากกว่าก็ได้ ขึ้นกับชนิดของรีเลย์ เมื่อขนาดของสัญญาณถึงขนาดที่กำหนดให้รีเลย์ทำงาน หน้าสัมผัสของรีเลย์จะปิดให้วงจรดัดครบทุกวงจร ทำให้มีกระแสไหลในวงจรตัดวงจรไปกระตุ้นให้สวิทช์ดัดตอนอัตโนมัติตัดแยกส่วนของวงจรที่เกิดภาวะผิดปกติออกจากระบบ

4.2.3.2 การใช้งานของรีเลย์ [6]

เนื่องจากรีเลย์ที่ใช้มีอยู่หลายชนิด ดังนั้นมาตรฐาน ANSI ของสหรัฐอเมริกา จึงได้ให้ชื่อตามหน้าที่ของรีเลย์เป็นตัวเลขของอุปกรณ์ (Device number) โดยรีเลย์ที่นิยมใช้กันมาก เช่น

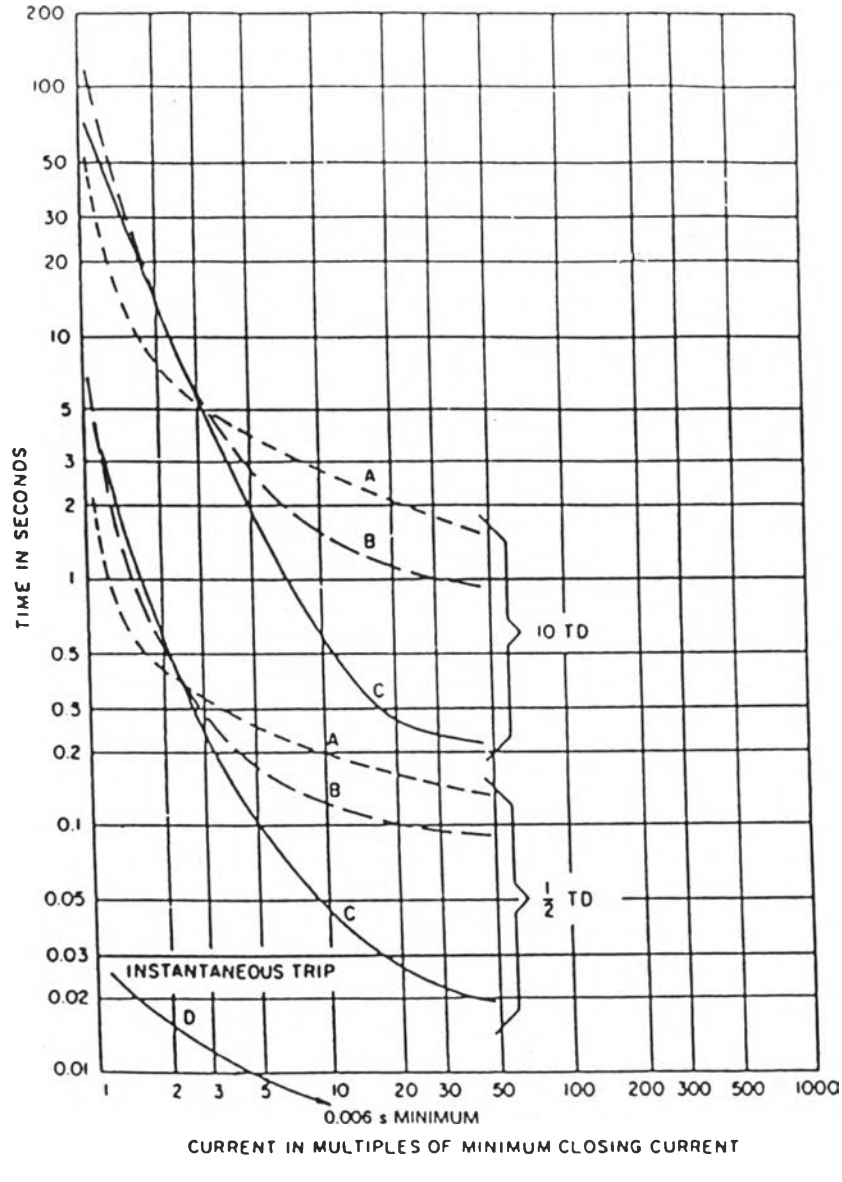
1) หมายเลข 50 เป็นการป้องกันกระแสเกินแบบ Instantaneous overcurrent

2) หมายเลข 51 เป็นการป้องกันกระแสเกินแบบ Time overcurrent

3) หมายเลข 50N/51N เป็นการป้องกันกระแสเกินพร้อมทั้งการเกิดความผิดพร่องลงดิน

(Overcurrent with ground fault)

4.2.3.3 ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและเวลาของรีเลย์ แบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังรูปที่ 4.8 [1,5-9,11,29,33]



A Inverse
B Very Inverse
C Extremely Inverse
D Instantaneous
TD Relay Time Dial Setting

รูปที่ 4.8 ลักษณะสมบัติระหว่างกระแสและเวลาแบบผกผันของรีเลย์ ทั้ง 3 แบบ

I 17407333

โดยรีเลย์แต่ละประเภทมีรายละเอียด ดังนี้

1) แบบทำงานทันทีทันใด (Instantaneous type) ซึ่งจะทำการตัดวงจรเมื่อมีกระแสเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้ โดยในทางปฏิบัติเวลาที่ว่าทันทีทันใดนั้นจะประมาณน้อยกว่า 100 มิลลิวินาที แต่ไม่สามารถปรับให้เร็วหรือช้าตามต้องการได้

2) แบบทำงานด้วยเวลาที่คงที่ (Fixed time type หรือ time dial setting type) ซึ่งสามารถตั้งให้เร็วหรือช้าได้ตามต้องการ

3) แบบเวลาผกผันกับกระแส (Inverse time type) กล่าวคือ เมื่อกระแสยิ่งเกินจากค่าที่ตั้งไว้มาก เวลาที่รีเลย์ทำงานก็จะเร็วขึ้น แต่หากกระแสเกินจากค่าที่ตั้งไว้น้อย เวลาที่รีเลย์ทำงานก็จะช้าลง โดยที่รีเลย์แบบนี้ยังแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามรูปที่ 4.8 ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับของความผกผันจากน้อยไปมาก ดังนี้

3.1) Normal inverse relay

3.2) Very inverse relay

3.3) Extreamly inverse relay

ในการใช้งานบางประเภท รีเลย์อาจมีลักษณะสมบัติมากกว่า 1 แบบ เช่น อาจเป็นแบบ Inverse time type ในช่วงกระแสต่ำ แต่เป็นแบบ Instantaneous type ในช่วงกระแสสูง