MITSUBISHI ELECTRIC
Changes for the Better

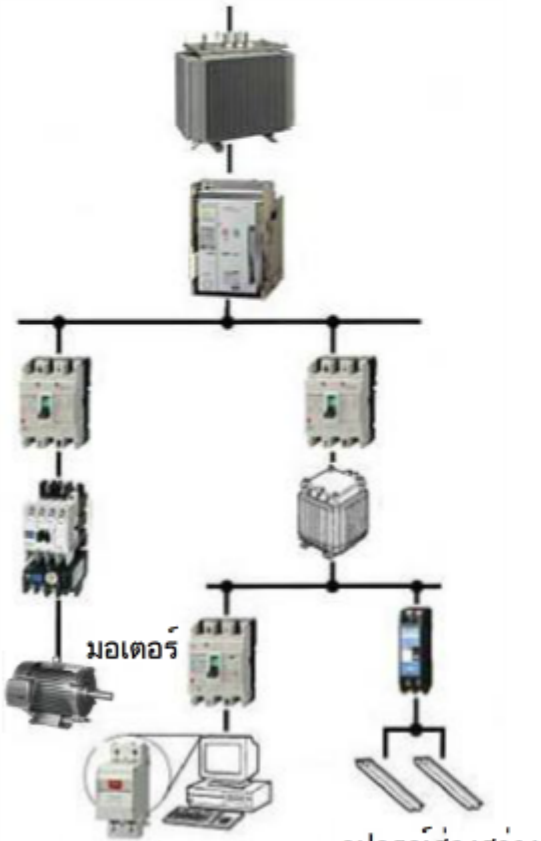
การควบคุมและส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าเบื้องต้น (ผลิตภัณฑ์การควบคุมการส่งจ่ายพลังงาน)

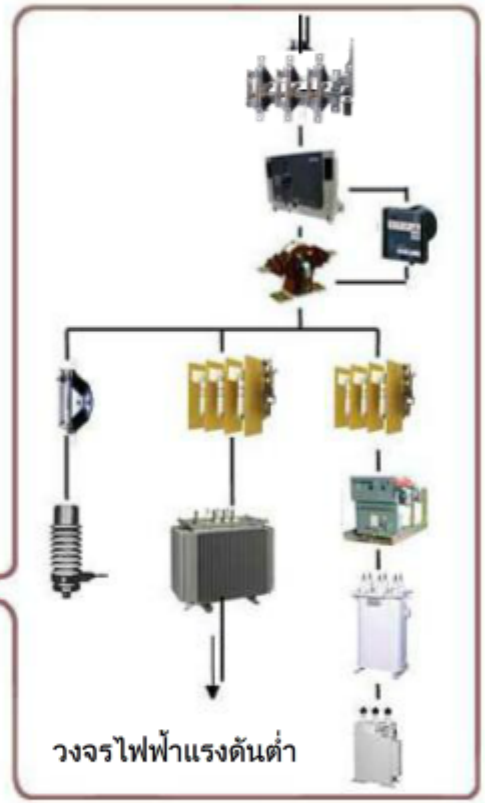
จุดประสงค์ของหลักสูตรนี้คือเพื่อแสดงภาพรวมของการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าและอุปกรณ์ควบคุมเพื่อให้ผู้ที่เริ่มเรียนรู้เข้าใจในระยะเวลาสั้นๆ

Copyright ©2016 Mitsubishi Electric Corporation. สงวนลิขสิทธิ์

บทนำ เป้าหมายทางการศึกษาของหลักสูตรนี้

หลักสูตรนี้จัดทำขึ้นเพื่อมีจุดประสงค์ให้คุณได้ศึกษาความรู้พื้นฐานที่จำเป็นต่อการใช้งานอุปกรณ์การควบคุมและการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าของ Mitsubishi ดังที่ได้แสดงไว้ด้านล่าง
เนื้อหาของหลักสูตรนี้ได้สร้างขึ้นตามมาตรฐานระบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในญี่ปุ่น มาตรฐานของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าอาจจะแตกต่างกันไปตามแต่ละประเทศ ดังนั้นคุณควรทราบว่าเอกสารฉบับนี้เป็นเพียงการอ้างอิงเพื่อการศึกษาเท่านั้น





บทนำ โครงสร้างบทของหลักสูตร

บทต่างๆ ของหลักสูตรนี้จะมีโครงสร้างดังต่อไปนี้
เราขอแนะนำให้คุณศึกษาบทต่างๆ ตามลำดับโดยเริ่มจากบทที่ 1

บทที่ 1 - พื้นฐานด้านไฟฟ้า

บทนี้จะสอนความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับไฟฟ้า

บทที่ 2 - จากสถานีพลังงานไฟฟ้าไปยังผู้บริโภค

บทนี้จะอธิบายเกี่ยวกับวิธีการส่งพลังงานไฟฟ้าไปยังผู้บริโภค

บทที่ 3 - อุปกรณ์การควบคุมและส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า

ในบทนี้ คุณจะได้ทำความเข้าใจกว้างๆ เกี่ยวกับอุปกรณ์ควบคุมและการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า

บทนำ คำแนะนำการปฏิบัติการ

ไปยังหน้าต่อไป		ไปยังหน้าต่อไป
กลับไปยังหน้าก่อนหน้า		กลับไปยังหน้าก่อนหน้า
ไปยังหน้าที่ต้องการ		ระบบจะแสดง "สารบัญ" เพื่อให้คุณสามารถเลือกไปยังหน้าที่ต้องการได้
ออกจากการเรียนรู้		ออกจากการเรียนรู้ ระบบจะปิดหน้าต่างต่างๆ เช่นหน้าจอ "เนื้อหา" และปิดการเรียนรู้

บทนำ ข้อมูลที่สำคัญ

คำแนะนำด้านความปลอดภัย

เมื่อคุณศึกษาโดยใช้ผลิตภัณฑ์จริง เราขอให้คุณอ่าน "คำแนะนำด้านความปลอดภัย" ที่อธิบายไว้ในคู่มือผลิตภัณฑ์ และใช้ผลิตภัณฑ์ด้วยความระมัดระวังด้านความปลอดภัย

บทที่ 1 พื้นฐานด้านไฟฟ้า

ในบทนี้ เราจะเรียนรู้เกี่ยวกับความเข้าใจพื้นฐานด้านไฟฟ้าที่จำเป็นต่อการใช้อุปกรณ์การควบคุมและการส่งจ่ายพลังงาน

บทที่ 1 เนื้อหาด้านการเรียนรู้

1.1 ไฟฟ้าคืออะไร?

1.2 กฎของโอห์ม (ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความต้านทาน)

1.3 ไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ

1.4 ปัจจัยพื้นฐานของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

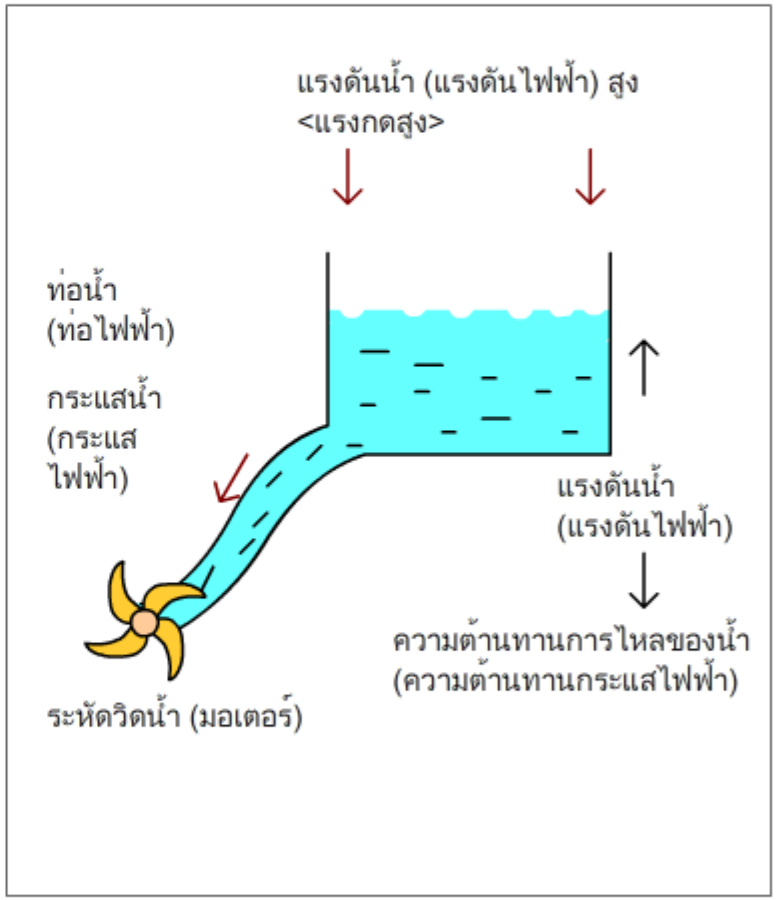
1.5 ข้อมูลเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลัง

1.6 กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าในวงจรเฟสเดียว

1.7 กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าในวงจรสามเฟส

1.1 ไฟฟ้าคืออะไร?

เมื่อเราพูดเกี่ยวกับไฟฟ้า เราจะหมายถึงอะไร เราทุกคนรู้เกี่ยวกับแรงดันไฟฟ้า 100 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 10 แอมแปร์ แต่ยากที่จะอธิบายว่าคำเหล่านี้หมายถึงอะไร
หากเรายกตัวอย่างด้วยน้ำ จะทำให้เราเข้าใจเกี่ยวกับไฟฟ้าได้ง่ายยิ่งขึ้น



• แรงดันไฟฟ้า

หากเราพิจารณาน้ำ แรงดันของน้ำ (แรงดันน้ำ) จะเท่ากับแรงดันของไฟฟ้า (แรงดันไฟฟ้า)
แรงกดของน้ำจะยิ่งมากขึ้นเมื่อแรงดันน้ำเพิ่มขึ้น และในทำนองเดียวกัน แรงการเคลื่อนไหวของไฟฟ้าจะยิ่งมากขึ้นเมื่อแรงดันของไฟฟ้า (แรงดันไฟฟ้า) เพิ่มขึ้น
แรงดันของไฟฟ้า (แรงดันไฟฟ้า) จะวัดด้วยหน่วย โวลต์ [V] และแรงดันไฟฟ้าจะแสดงเป็นหน่วย 100 V, 200 V และในทำนองเดียวกัน

• กระแสไฟฟ้า

การไหลของน้ำจะเรียกว่ากระแสน้ำ และการไหลของไฟฟ้าจะเรียกว่ากระแสไฟฟ้า
เช่นเดียวกับน้ำ กระแสไฟฟ้าจะไหลจากแหล่งความหนาแน่นสูงไปยังแหล่งหนาแน่นต่ำเสมอ
หน่วยวัดกระแสไฟฟ้าคือ แอมแปร์ [A]

• ความต้านทาน

หากท่อน้ำตื้นเขินหรือมีสิ่งสกปรกอุดตัน น้ำจะถูกขวาง (ต้านทาน) ไม่ให้สามารถไหลได้อย่างราบรื่น ในทำนองเดียวกัน สิ่งกีดขวางที่ขัดขวางการไหลของกระแสไฟฟ้าจะเรียกว่าความต้านทานไฟฟ้า
หน่วยสำหรับวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าคือ โอห์ม [Ω]

1.2 กฎของโอห์ม (ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความต้านทาน)

ในวงจรไฟฟ้า การป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่วงจร (โหลด) จะเป็นการป้อนกระแสไฟฟ้า
ปริมาณของกระแสไฟดังกล่าวจะเป็นสัดส่วนกับแรงดันไฟฟ้าและจะเป็นสัดส่วนแปรผันกับความต้านทาน
คำกล่าวนี้จะเรียกว่า “กฎของโอห์ม”

โดยจะแสดงด้วยสูตรต่อไปนี้:

$$I = \frac{E}{R} [A]$$

ในสมการนี้

I : กระแสไฟฟ้า [A]

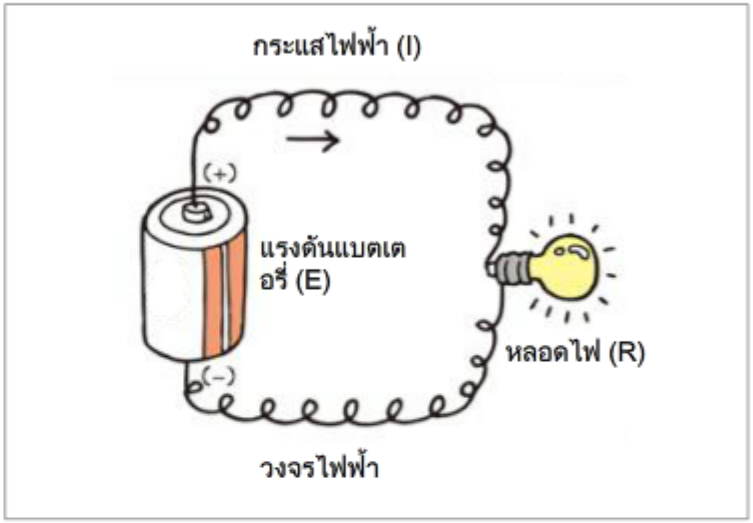
E : แรงดันไฟฟ้า [V]

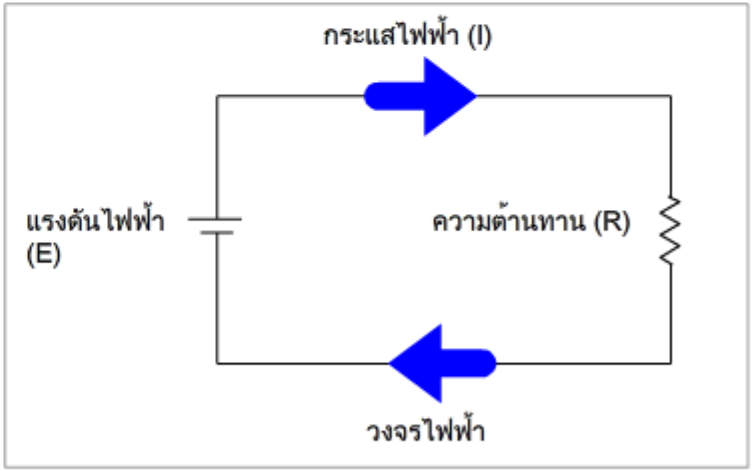
R : ความต้านทานไฟฟ้า [Ω]

เมื่อแปลงสมการดังกล่าว เราจะได้:

$$E = I \times R \ [V]$$

ตามสมการด้านบน กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อความต้านทานไฟฟ้าลดลง





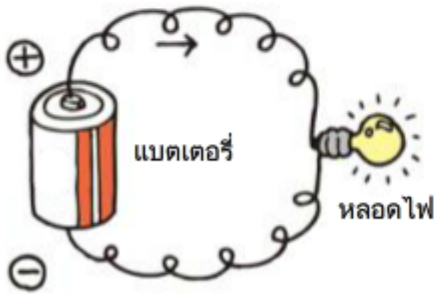
1.3 ไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ

- ไฟฟ้ากระแสตรง (ภาพ 1 ถึง 3)

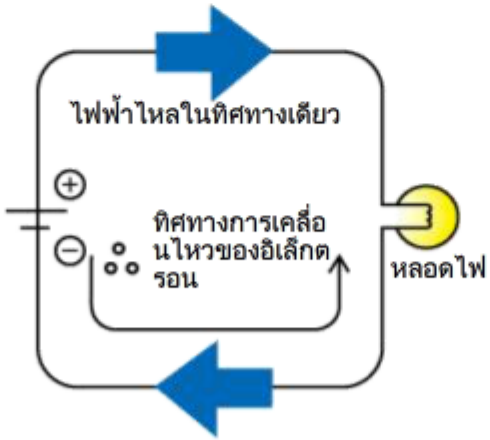
ตัวอย่างที่ดีที่สุดของไฟฟ้ากระแสตรงคือแบตเตอรี่เซลแห้ง แบตเตอรี่จะมีขั้วบวก (+) และขั้วลบ (-) และกระแสไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานจะไหลไปในทางเดียวเสมอ
เมื่อเชื่อมต่อแบตเตอรี่กับหลอดไฟ กระแสไฟฟ้าจะไหลจากขั้ว + และกลับมายังขั้ว - เสมอ
ข้อความดังกล่าวจะถูกนำมาอ้างเมื่อยังไม่เข้าใจไฟฟ้าดี ในความจริงแล้ว อิเล็กตรอนที่มีประจุไฟฟ้าลบ (-) จะเคลื่อนที่ไปยังฝั่งตรงข้าม

- ไฟฟ้ากระแสสลับ

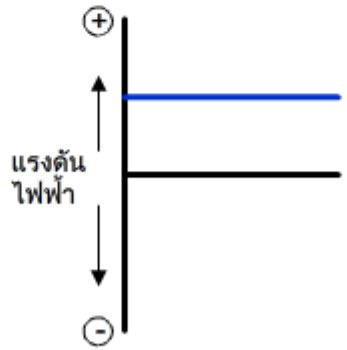
ไฟฟ้ากระแสสลับจะเปลี่ยนทิศทางและขนาดเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป
ภาพที่ 4 แสดงไฟฟ้ากระแสสลับที่สร้างขึ้นโดยเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าที่เรียกว่าไฟฟ้ากระแสสลับไซน์เวฟ
ไฟฟ้ากระแสสลับที่เรามักจะกล่าวถึงจะหมายถึงไฟฟ้ากระแสสลับไซน์เวฟนี้



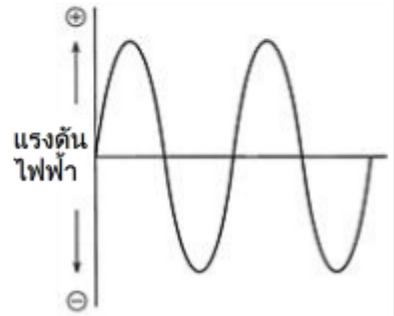
ภาพที่ 1 การไหลของกระแสไฟฟ้า



ภาพที่ 2 ทิศทางการเคลื่อนไหวของอิเล็กตรอน



ภาพที่ 3 ไฟฟ้ากระแสตรง

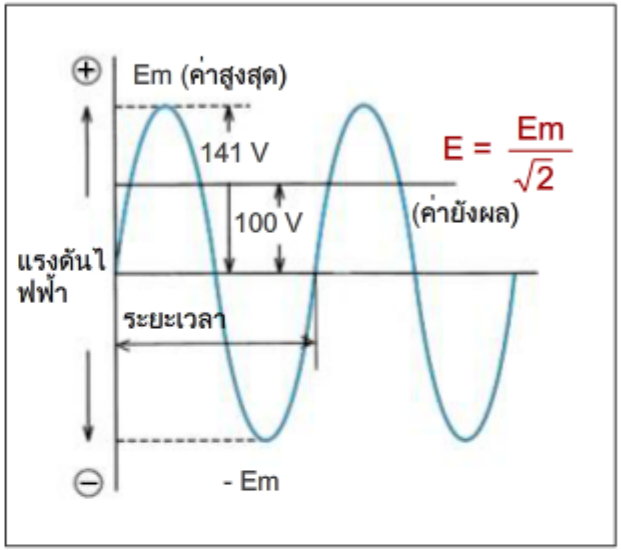


ภาพที่ 4 ไฟฟ้ากระแสสลับไซน์เวฟ

1.3 ไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ

- **ความถี่**

ความถี่หมายถึงจำนวนรอบการซ้ำของไฟฟ้ากระแสสลับในหนึ่งวินาที
ความถี่ 50 Hz หมายความว่าไฟฟ้ากระแสสลับจะเปลี่ยนทิศทาง 50 ครั้งต่อวินาทีตามที่แสดงไว้ในภาพด้านขวา



- **ค่ายังผล**

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้า E ของไฟฟ้ากระแสสลับจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเวลาผ่านไป จึงมีปัญหาว่าค่าที่แท้จริงที่แสดงแรงดันไฟฟ้า 100 โวลต์นั้นมักจะไม่ชัดเจนนัก
โดยปกติแล้ว ค่าดังกล่าวจะแสดงโดยค่ายังผลของพลังงานที่อาจจะตรงกับกรณีของไฟฟ้ากระแสตรง
ค่ายังผลของกระแสไฟฟ้ากระแสสลับไซน์เวฟคือ:

$$E = \frac{Em}{\sqrt{2}}$$

เมื่อ E คือค่ายังผล และ Em คือค่าสูงสุด

พูดง่ายๆ ก็คือ 100 โวลต์หมายถึงค่ายังผล และค่าสูงสุด Em ของไฟฟ้ากระแสสลับคือ

$Em = 100\ V \times \sqrt{2} = 100\ V \times 1.41 = 141\ V$

หมายเหตุ

ค่ายังผลของไฟฟ้ากระแสสลับจะคำนวณเป็น "สแควรูทของค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าในชั่วขณะของช่วงเวลา 1"
เราเรียกค่ายังผลว่า “rms” ซึ่งมาจากตัวอักษรตัวแรกของคำว่า Root, Mean และ Square
ค่ายังผล E ด้านบนจะสามารถคำนวณด้วยสูตรต่อไปนี้โดยใช้ค่า $e = Em \sin \omega t$

$$E = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T e^2 \cdot dt}$$

1.4 ปัจจัยพื้นฐานของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

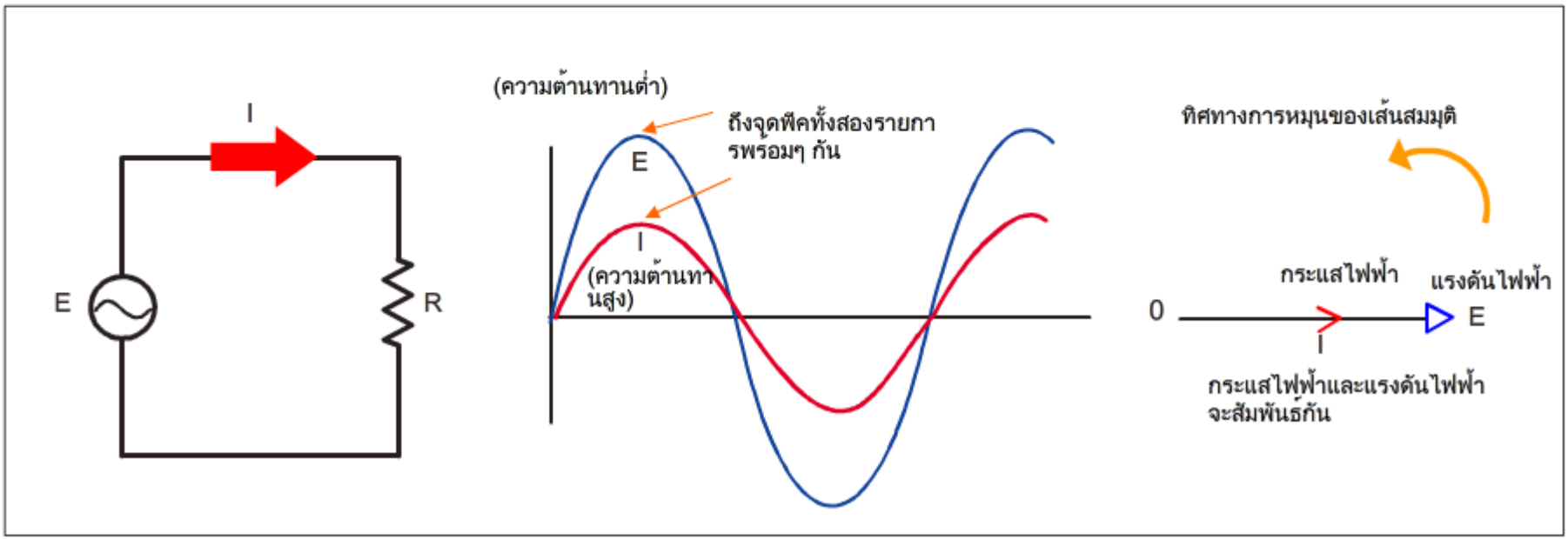
ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง คอยล์จะไม่ขัดขวางการไหลของกระแสไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ นอกจากความต้านทานตามปกติแล้ว คอยล์และคาปาซิเตอร์จะสร้างความต้านทานด้วย ความต้านทานทุกประเภทรวมกันจะเรียกว่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสสลับ

- ความต้านทาน

เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ E เข้าสู่ความต้านทาน R [Ω] กระแสไฟฟ้า I ที่ไหลผ่านวงจรต้านทานคือ:

$$I = \frac{E}{R}$$

คุณสามารถเทียบเคียงได้ว่าเหมือนกับในกรณีของไฟฟ้ากระแสตรง
ในกรณีนี้ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจะสัมพันธ์กัน



1.4 ปัจจัยพื้นฐานของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

• คอยล์ (ความต้านทานกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ)

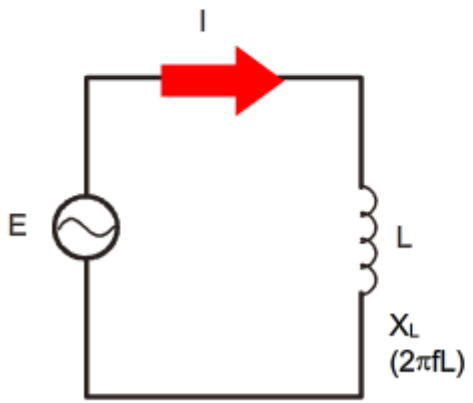
คอยล์ถือเป็นความต้านทานประเภทหนึ่งของไฟฟ้ากระแสสลับ ปริมาณของความด้านทานดังกล่าวจะแสดงในรูปแบบของความต้านทานกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

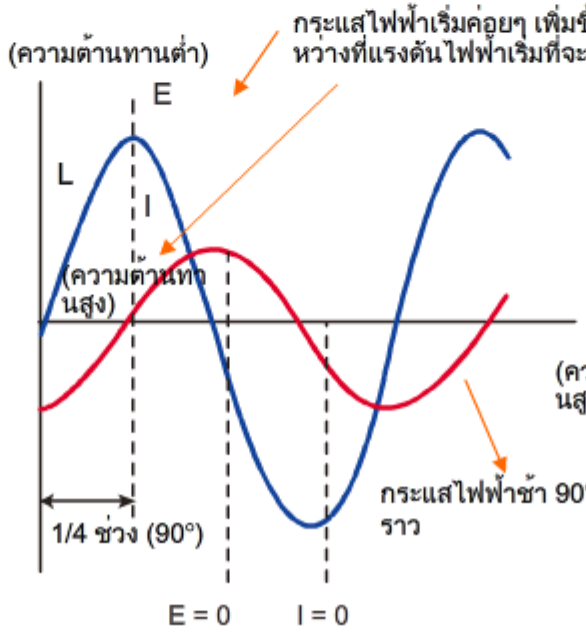
ความต้านทานกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ $X_L = 2\pi fL = \omega L\ [\Omega]$

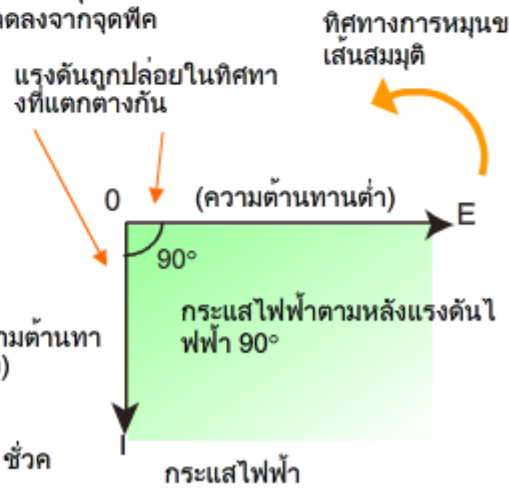
โดยที่ ω : ควาเร็วเชิงมุม f: ความถี่ L: การเหนี่ยวนำตัวเอง

กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรคือ $I = \frac{E}{X_L}$

ดังนั้น จึงตรงกับกฎของโอห์ม
กระแสไฟฟ้าตามหลังแรงดันไฟฟ้า 90°







1.4 ปัจจัยพื้นฐานของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

- คาปาซิเตอร์ (ความต้านทานกระแสไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์)

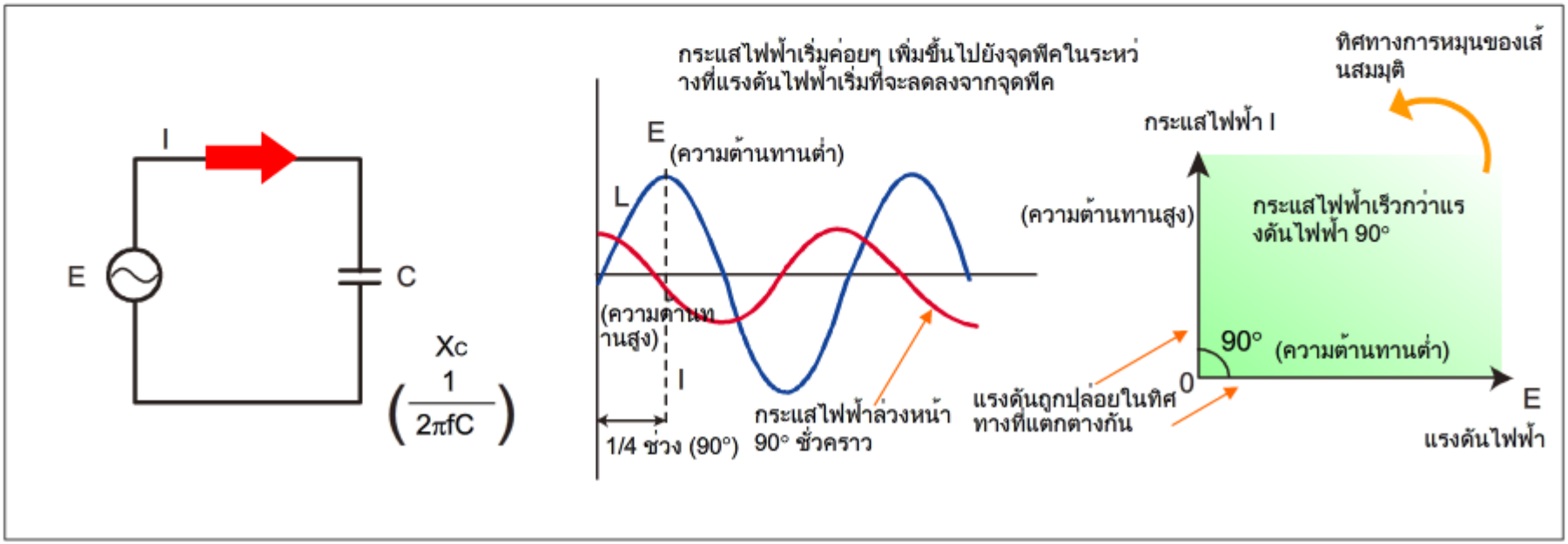
เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้แก่คาปาซิเตอร์ C กระแสไฟฟ้าจะชาร์จและคลายตามรูปแบบที่แสดงในไดอะแกรม และในกรณีนี้ กระแสไฟฟ้าดังกล่าวถือเป็นความต้านทานประเภทหนึ่งของไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งจะเรียกว่าความต้านทานกระแสไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์

$$\text{ความต้านทานกระแสไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์ } X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega C} \ [\Omega]$$

โดยที่ ω : ความเร็วเชิงมุม f: ความถี่ C: ความสามารถในการประจุกระแสไฟฟ้า
กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรคือ

$$I = \frac{E}{X_C}$$

ดังนั้น จึงตรงกับกฎของโอห์ม
กระแสไฟฟ้าเร็วกว่าแรงดันไฟฟ้า 90°



1.4 ปัจจัยพื้นฐานของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

- ความต้านทานรวม (ผลรวมของความต้านทานและความต้านทานกระแสไฟฟ้าสลับ)

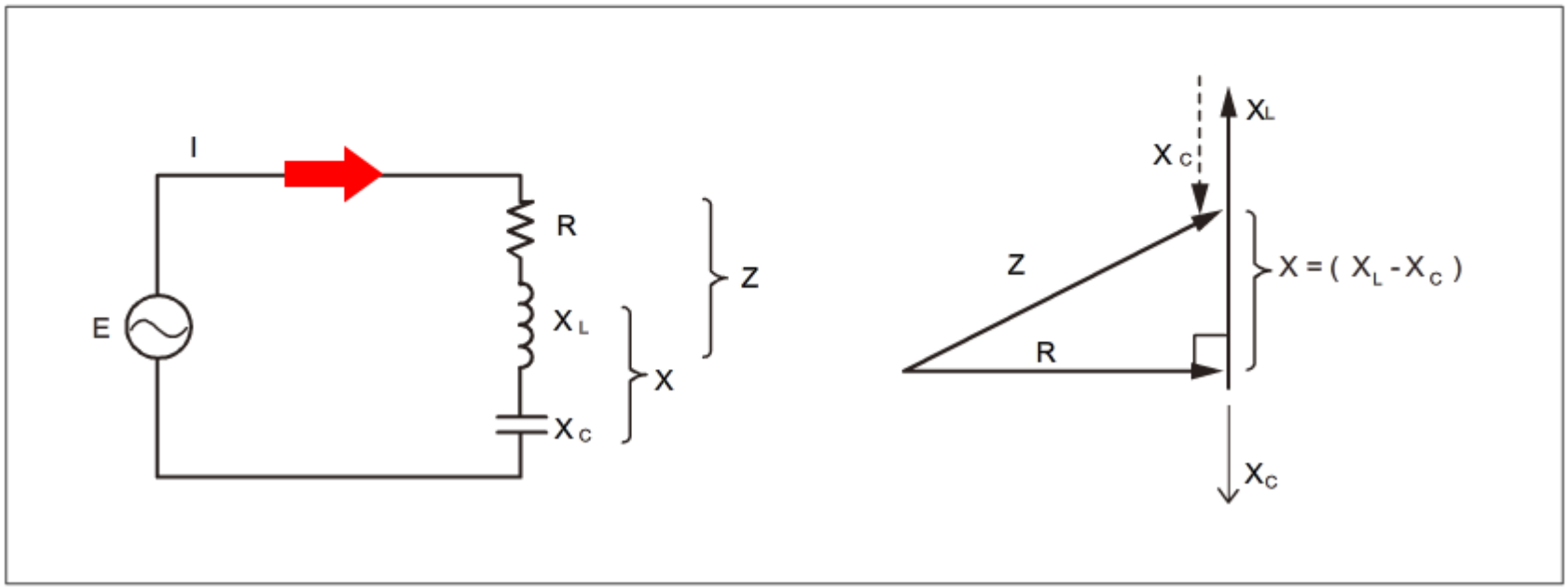
ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ผลรวมของความต้านทานและความต้านทานกระแสไฟฟ้าสลับที่เกิดจากความต้านทานของอุปกรณ์ต่างๆ เ
ช่น คอยล์และคาปาซิเตอร์นั้นจะเรียกว่า ความต้านทานรวม
หน่วยวัดผลคือ โอห์ม (Ω) เหมือนกับในกรณีของค่าความต้านทาน
เนื่องจากทิศทางของเวคเตอร์นั้นจะแตกต่างกันเมื่อรวมความต้านทานและความต้านทานกระแสไฟฟ้าสลับเข้าด้วยกัน ดังนั้น แทนที่จ
ะใช้ผลบวกทางคณิตศาสตร์แบบธรรมดา เราจึงต้องใช้ผลรวมเวคเตอร์ตามที่แสดงในสูตรต่อไปนี้

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$X = (X_L - X_C)$$

$$I = \frac{E}{Z}$$

โดยที่ Z: ความต้านทานรวม (Ω), R: ความต้านทาน (Ω), X: ความต้านทานกระแสไฟฟ้าสลับ (Ω)



1.5 ข้อมูลเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลัง

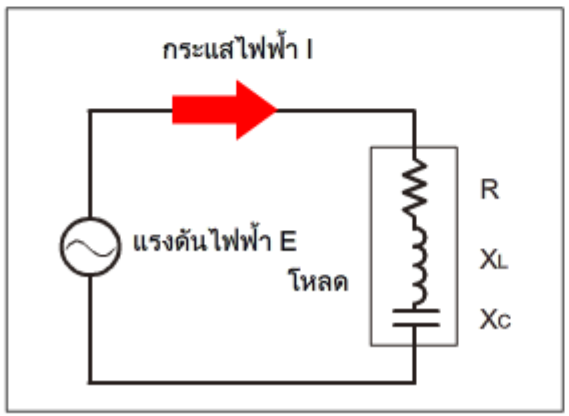
• กำลังไฟฟ้า

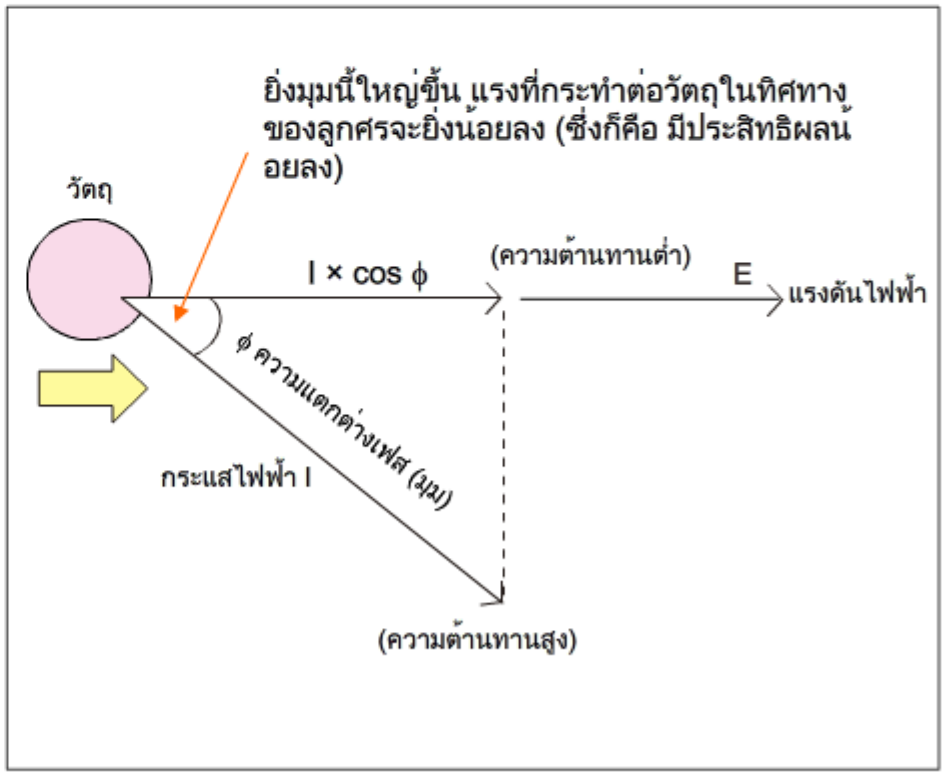
เมื่อป้อนน้ำเข้าสู่ระหัดวิดน้ำ พลังงานที่ใช้หมุนระหัดวิดน้ำคือ (แรงดันน้ำ) × (กระแสน้ำ)
กำลังของไฟฟ้าที่เทียบเคียงได้กับพลังงานของน้ำจะเรียกว่ากำลังไฟฟ้า ปริมาณของกำลังไฟฟ้าคือ (แรงดันไฟฟ้า) × (กระแสไฟฟ้า) และหน่วยวัดที่ใช้คือวัตต์ [W]
หรืออธิบายง่ายๆ ก็คือ

กำลังไฟฟ้า = แรงดันไฟฟ้า × กระแสไฟฟ้า

• ตัวประกอบกำลัง

ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ เนื่องจากมีคอยล์และคาปาซิเตอร์ แรงจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้านั้นจะมีทิศทางที่แตกต่างกัน เมื่อเราพูดถึงไฟฟ้า มุมดังกล่าวจะเรียกว่าความแตกต่างของเฟส เมื่อโคไซน์ของความแตกต่างเฟสดังกล่าว (มุม) หรือความแตกต่างของเฟสคือ ϕ, cos ϕ จะเรียกว่าตัวประกอบกำลัง หากตัวประกอบกำลังมีค่าต่ำ (เมื่อความแตกต่างของทิศทางระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้ามาก) จะมีแรงเกิดขึ้นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในปริมาณที่เท่ากัน





1.6 กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าในวงจรเฟสเดียว

ไฟฟ้า 100 V ที่ใช้ในครัวเรือนทั่วๆ ไปคือไฟฟ้าเฟสเดียว โดยหลักการ จะมีสายไฟฟ้าสองสายที่มาจากแหล่งพลังงานของไฟฟ้าเฟสเดียว ในกรณีของพลังงานไฟฟ้าในวงจรกระแสสลับเฟสเดียว เนื่องจากเวลาที่สามารถสร้างพลังงานได้แรงที่สุดนั้นจะแตกต่างกันไปตามแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า แทนที่เราจะใช้การคูณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าตามปกติ เราจะใช้สูตรต่อไปนี้

กำลังไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว = แรงดันไฟฟ้า x กระแสไฟฟ้า x ตัวประกอบกำลัง

$$P1 = E \times I \times \cos \phi \ [W]$$

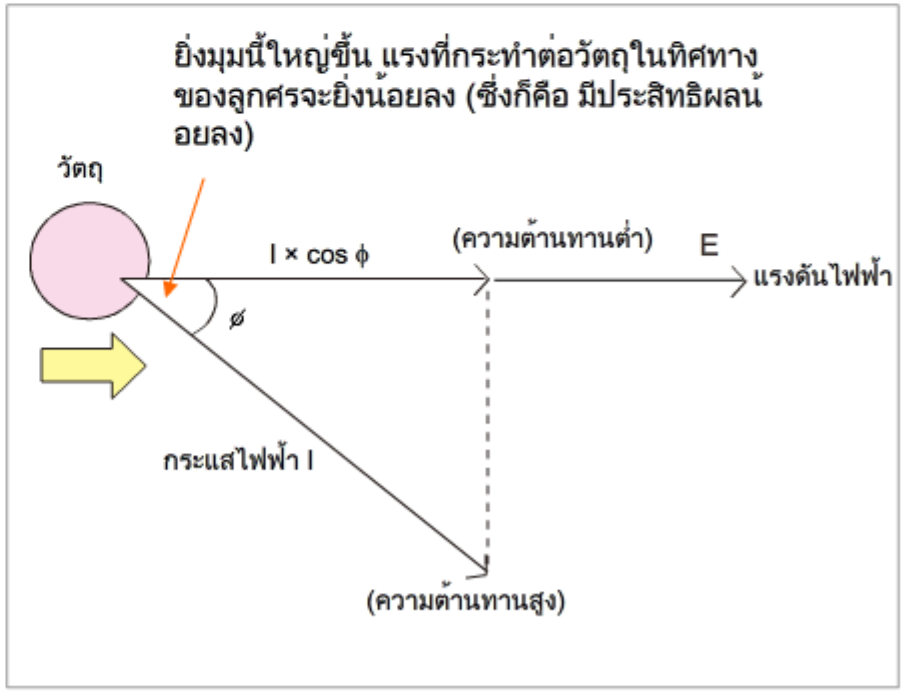
$$P0 = E \times I \ [VA]$$

โดยที่ P1: กำลังเกิดผล [W], P0: กำลังที่ปรากฏ [VA], cos ϕ: ตัวประกอบกำลัง

โดยการคูณเวลา เราจะได้รับพลังงานไฟฟ้า
พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว = กำลังไฟฟ้า × เวลา

$$Ph = P1 \times t = E \times I \times \cos \phi \times t \ [Wh]$$

โดยที่ Ph: พลังงานไฟฟ้า [Wh], T: เวลา [h]

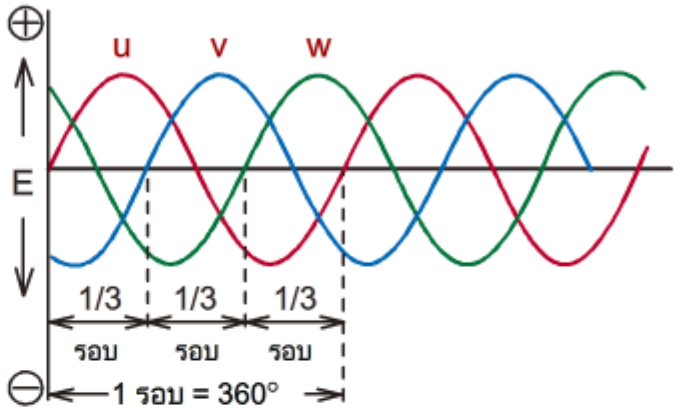


1.7 กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส

โดยปกติแล้วมอเตอร์ที่ใช้เพื่อสร้างแรงขับจะเป็นสามเฟส โดยหลักการแล้วไฟฟ้าสามเฟสจะใช้สายไฟฟ้าสามสาย แม้ว่าจะมีบางกรณีที่ใช้สี่สายซึ่งจะเรียกว่าระบบสามเฟสสี่สายก็ตาม
ดังที่แสดงในภาพที่ 1 ไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสจะมีคลื่นสามลูกในหนึ่งการจ่ายพลังงาน ได้แก่ u, v และ w คลื่นเหล่านี้จะเหลื่อมกัน 1/3 รอบ
เมื่อใช้ระบบนี้เพื่อจ่ายพลังงานให้แก่มอเตอร์ตามที่แสดงในภาพที่ 2 จะมีกระแสไฟฟ้า

Iu, Iv และ Iw

ไหลผ่านสายไฟฟ้าสามสาย ค่าที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าวจะมีรูปแบบของคลื่นดังที่แสดงในภาพที่ 1 และผลรวมของค่าในช่วงเวลาดังกล่าว ณ จุดใดๆ ก็ตามจะเป็นศูนย์เสมอ



ภาพที่ 1 รูปแบบคลื่นแรงดันไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าของวงจรสามเฟสนี้มาจากสูตรต่อไปนี้

กำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส
$= \sqrt{3} \times$ แรงดันไฟฟ้าสาย x กระแสไฟฟ้าสาย × ตัวประกอบกำลัง

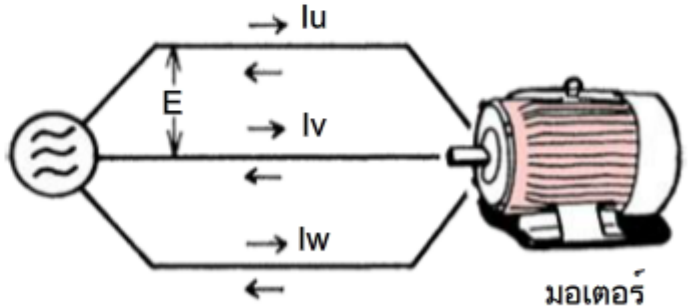
$$P3 = \sqrt{3} \times E \times I \times \cos\phi \quad [W]$$
$$P03 = \sqrt{3} \times E \times I \quad [VA]$$

โดยที่ P3: กำลังเกิดผล [W], P03: กำลังที่ปรากฏ [VA],
cos ϕ: ตัวประกอบกำลัง

โดยการคูณเวลา เราจะได้รับพลังงานไฟฟ้า
พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส = กำลังไฟฟ้า x เวลา

$$Ph = P3 \times t = \sqrt{3} \times E \times I \times \cos\phi \times t \quad [Wh]$$

โดยที่ Ph: พลังงานไฟฟ้า [Wh], t: เวลา [h]



ภาพที่ 2 วงจรมอเตอร์

1.8 สรุปเนื้อหาในบทนี้

ในบทนี้คุณได้เรียนรู้สิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ไฟฟ้าคืออะไร – แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความต้านทาน

- กฎของโอห์ม
  กระแสไฟฟ้า I จะไหลเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า E เข้าสู่ความต้านทาน R ขนาดของกระแสไฟฟ้าดังกล่าวนั้นจะเป็นสัดส่วนกับแรงดันไฟฟ้า และจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความต้านทาน

  ซึ่งจะสามารถเขียนแทนค่าได้ในสูตรต่อไปนี้: $I = \frac{E}{R}$ [A] หรือ $E = I \times R$ [V]

- พื้นฐานของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ
  ความต้านทาน คอยล์ คาปาซิเตอร์ และความต้านทานรวม

- กำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลังคืออะไร
  กำลังไฟฟ้า = แรงดันไฟฟ้า x กระแสไฟฟ้า
  ตัวประกอบกำลัง: $\cos \phi$

- กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าในวงจรเฟสเดียว
  กำลังไฟฟ้า $P1 = E \times I \times \cos \phi$ [W]
  พลังงานไฟฟ้า $Ph = P1 \times t = E \times I \times \cos \phi \times t$ [Wh]

- กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส
  กำลังไฟฟ้า $P3 = \sqrt{3} \times E \times I \times \cos \phi$ [W]
  พลังงานไฟฟ้า $Ph = P3 \times t = \sqrt{3} \times E \times I \times \cos \phi \times t$ [Wh]

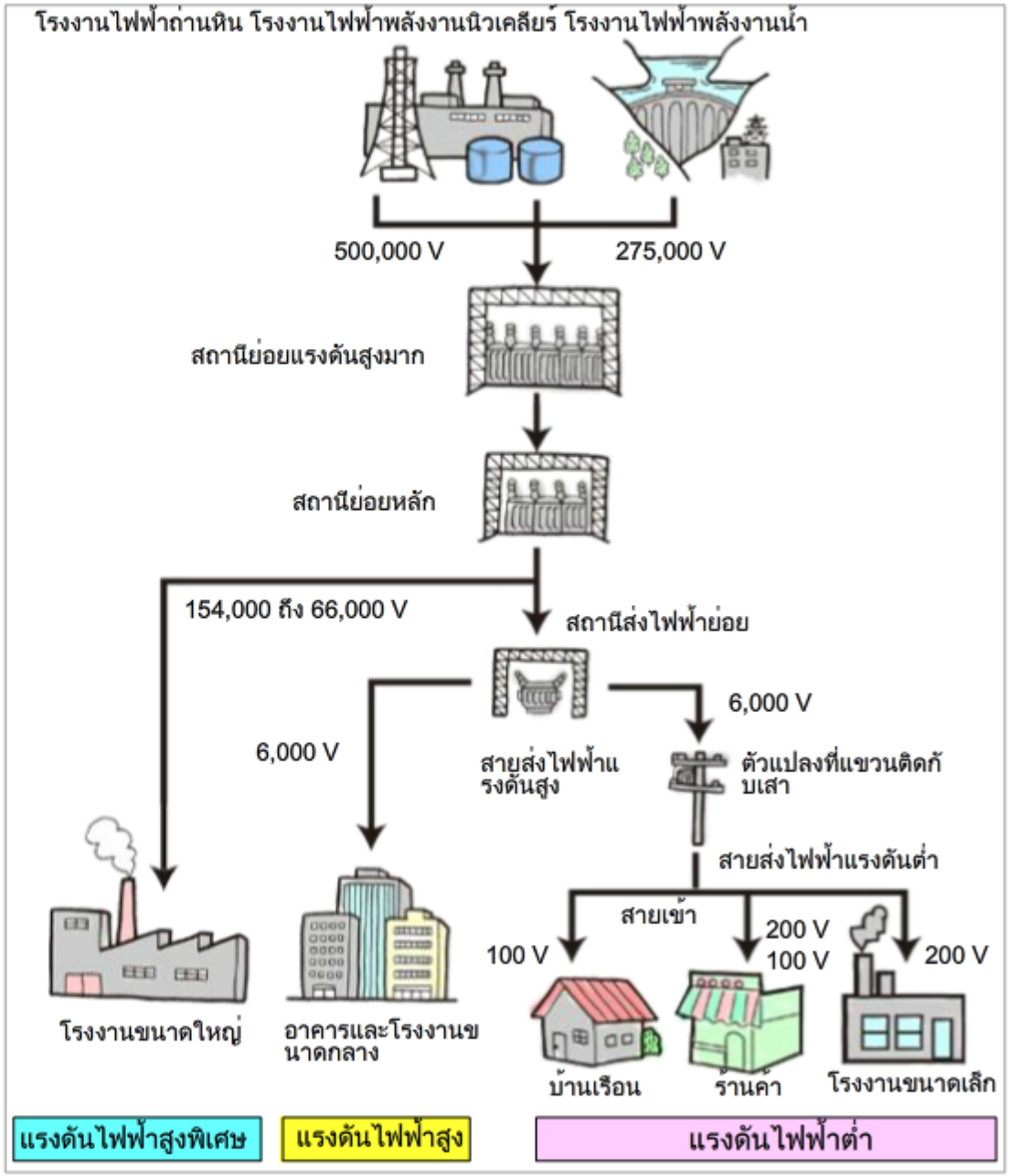
บทที่ 2 จากโรงงานไฟฟ้าถึงผู้บริโภค

โดยหลักๆ แล้ว ไฟฟ้าจะผลิตขึ้นในโรงงานไฟฟ้าถ่านหิน โรงงานไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ โรงงานไฟฟ้าพลังงานน้ำ และจะส่งไปยังโรงงานอุตสาหกรรมและครัวเรือนด้วยวิธีการต่างๆ

ไฟฟ้าที่ใช้ในโรงงานและบ้านเรือนจะมีแรงดันไฟฟ้า 100 V หรือ 200 V โดยจะส่งมาจากสถานีแปลงไฟฟ้าย่อยนอกเมืองผ่านทางสายจ่ายไฟฟ้าไปยังหม้อแปลง (ตัวแปลงที่แขวนอยู่กับเสา) ในรูปแบบของไฟฟ้าแรงสูง 6,600 V หากจะอธิบายให้ละเอียดกว่านั้นก็คือ สายส่งไฟฟ้าที่เชื่อมต่อจากโรงงานไฟฟ้าไปยังสถานีย่อยจะทำหน้าที่ส่งกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงมากที่ระดับ 60 kV, 275 kV หรือแม้แต่ 500 kV การใช้แรงดันไฟฟ้าสูงมีจุดประสงค์เพื่อลดการสูญเสียพลังงานในระหว่างการส่งให้น้อยที่สุด

การสูญเสียพลังงานไฟฟ้า (ซึ่งก็คือ ปริมาณความร้อนที่สูญหายไปเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้า) นั้นจะเป็นสัดส่วนกับผลกำลังสองของกระแสไฟฟ้า ดังนั้น กระแสไฟฟ้าจะลดลงได้โดยการเพิ่มแรงดันไฟฟ้า และจะสามารถส่งกระแสไฟฟ้าผ่านสายเคเบิลที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางจำกัดได้อย่างมีประสิทธิผล และยังสามารถส่งไฟฟ้า (พลังงานไฟฟ้า) ได้มากขึ้นโดยผ่านทางสายเคเบิลโดยจะเป็นสัดส่วนกับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้

บทนี้จะอธิบายเกี่ยวกับรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ส่งจากสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยเพื่อให้กลายเป็นระดับ 100 V หรือ 200 V ที่ใช้ในโรงงานหรือในบ้านเรือน และวิธีการทำให้สามารถใช้ได้อย่างปลอดภัย



2.1 ชนิดของแรงดันไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน (แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด)

แรงดันไฟฟ้าจะแบ่งออกได้เป็นสามชั้น คือ แรงดันไฟฟ้าต่ำ แรงดันไฟฟ้าสูง และแรงดันไฟฟ้าสูงพิเศษตามที่แสดงไว้ด้านล่าง

- แรงดันไฟฟ้าต่ำ: ไฟฟ้ากระแสตรงไม่เกิน 750 V หรือไฟฟ้ากระแสสลับไม่เกิน 600 V
- แรงดันไฟฟ้าสูง: ไฟฟ้ากระแสตรง 750 V ขึ้นไป หรือไฟฟ้ากระแสสลับ 600 V ขึ้นไปแต่ไม่เกิน 7,000 V
- แรงดันไฟฟ้าสูงพิเศษ: แรงดันไฟฟ้า 7,000 V ขึ้นไป

แรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน (แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด) ของสายส่งพลังงานไฟฟ้ามีคุณสมบัติตามที่ระบุไว้ใน JEC 0222 ดังต่อไปนี้

ชาร์ท A. แรงดันไฟฟ้ามาตรฐานของสายไฟฟ้า 1,000 V ขึ้นไป

แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด [V]	
3,300	110000
6,600	154000
11,000	187000
22,000	220000
33,000	275000
66,000	500000
77,000	

ชาร์ท B. แรงดันไฟฟ้ามาตรฐานของสายไฟฟ้าไม่เกิน 1,000 V

แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด [V]	
100	230/400
200	400
100/200	

หมายเหตุ: แรงดันไฟฟ้าของสายไฟฟ้าแต่ละสายที่แสดงจะเรียกว่าแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด

2.2 ปริมาณกำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับ

เมื่อผู้บริโภคได้รับพลังงานไฟฟ้าที่ส่งมาในรูปแบบพลังงานที่ลดขนาดลงซึ่งจะแบ่งออกเป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำ แรงดันไฟฟ้าสูง หรือแรงดันไฟฟ้าสูงพิเศษ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณกำลังไฟฟ้าและอุปกรณ์และการจัดการที่จำเป็นต้องใช้สำหรับแรงดันไฟฟ้าชั้นต่างๆ จะแตกต่างกันตามที่แสดงในชาร์ทต่อไปนี้

ปริมาณกำลังไฟฟ้า	ระดับแรงดัน	วิธีการจัดการ
น้อยกว่า 50 kW	แรงดันไฟฟ้าต่ำ (ทั่วๆ ไปคือ 200 V)	อุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วๆ ไป (บริษัทพลังงาน)
50 kW ขึ้นไปแต่ไม่เกิน 2,000 kW	แรงดันไฟฟ้าสูง (ระดับ 6 kV)	อุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้าส่วนตัว (สามารถมอบช่วงสัญญาให้แก่สถาบันด้านการรักษาความปลอดภัยได้)
2,000 kW ขึ้นไป	แรงดันไฟฟ้าสูงพิเศษ (รวมถึงแรงดันไฟฟ้าสูงบางประเภทด้วย)	อุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้าส่วนตัว (หัวหน้าวิศวกร)

- **แรงดันไฟฟ้าต่ำ**

กำลังไฟฟ้าที่ต่ำกว่า 50 kW นั้นจะรับแรงดันไฟฟ้าต่ำ ตัวแปลงที่แขวนอยู่กับเสาจะทำหน้าที่ลดแรงดันไฟฟ้า 6.6 kV ให้กลายเป็นไฟฟ้าสามเฟส 200 V หรือไฟฟ้าเฟสเดียวสามสาย 100 V/200 V
บริษัทพลังงานจะเป็นผู้ดำเนินการจัดการพลังงาน

- **แรงดันไฟฟ้าสูง**

กำลังไฟฟ้าที่ 50 kW ขึ้นไปแต่ต่ำกว่า 2,000 kW นั้นจะรับแรงดันไฟฟ้าสูง ติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้าส่วนตัวและบริหารจัดการโดยหัวหน้าวิศวกร
ในกรณีนี้ จะสามารถจ้างหัวหน้าวิศวกรจากภายนอกได้
แรงดันไฟฟ้าเหล่านี้คือเป้าหมายของหลักสูตรนี้

- **แรงดันไฟฟ้าสูงพิเศษ**

กำลังไฟฟ้าที่ 2,000 kW ขึ้นไปนั้นจะรับแรงดันไฟฟ้าสูงพิเศษ ติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้าส่วนตัวและบริหารจัดการโดยหัวหน้าวิศวกร
โปรดทราบว่าต้องเลือกหัวหน้าวิศวกรจากพนักงานของลูกค้า

2.3 อุปกรณ์รับพลังงานแรงดันสูงชนิดคูบิเคิล

ต้องใช้อุปกรณ์รับพลังงานไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อรับแรงดันไฟฟ้าจากบริษัทพลังงาน
สามารถรับพลังงานไฟฟ้าแรงดันสูงได้หลายวิธี:

- การติดตั้งตัวแปลงรับพลังงานไว้นอกอาคาร และติดตั้งแผงสวิตช์ไว้ในอาคาร
- การติดตั้งตัวแปลงรับพลังงานและแผงสวิตช์ไว้ในอาคารทั้งคู่
- การจัดเก็บตัวแปลงรับพลังงานและแผงสวิตช์ไว้ในคูบิเคิล

อุปกรณ์รับพลังงานแรงดันสูงชนิดคูบิเคิล

อุปกรณ์รับพลังงานแรงดันสูงชนิดคูบิเคิลคืออุปกรณ์ที่ใช้เก็บชุดอุปกรณ์รับพลังงานไฟฟ้าแรงดันสูงขาเข้าไว้ในกรอบโลหะ ซึ่งจะเรียกงายๆ ว่า คูบิเคิล

ในปัจจุบันนี้ มีเทรนด์ในการใช้งาน "อุปกรณ์รับพลังงานแรงดันสูงชนิดคูบิเคิล" สำหรับอุปกรณ์รับพลังงานความจุน้อยถึงปานกลางเพิ่มขึ้นเนื่องจากสาเหตุดังต่อไปนี้

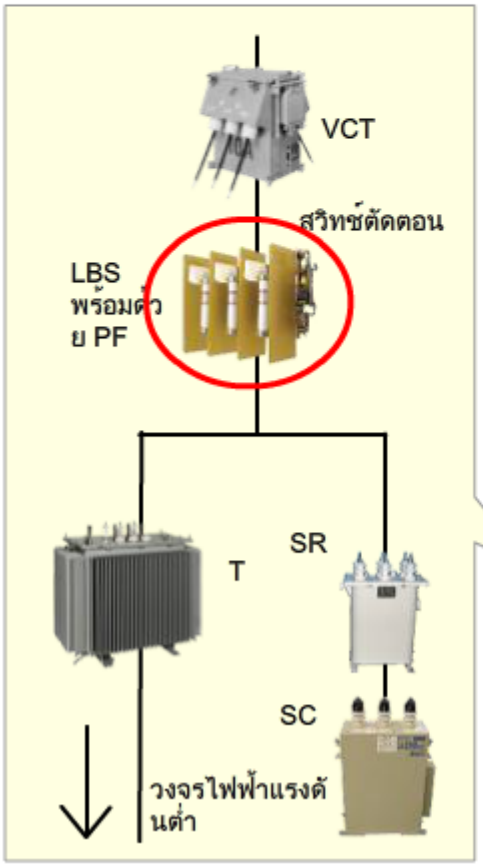
- ใช้ที่น้อย
- ไม่มีข้อจำกัดด้านสถานที่
- เชื่อถือได้สูงเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งและบำรุงรักษาได้ง่าย

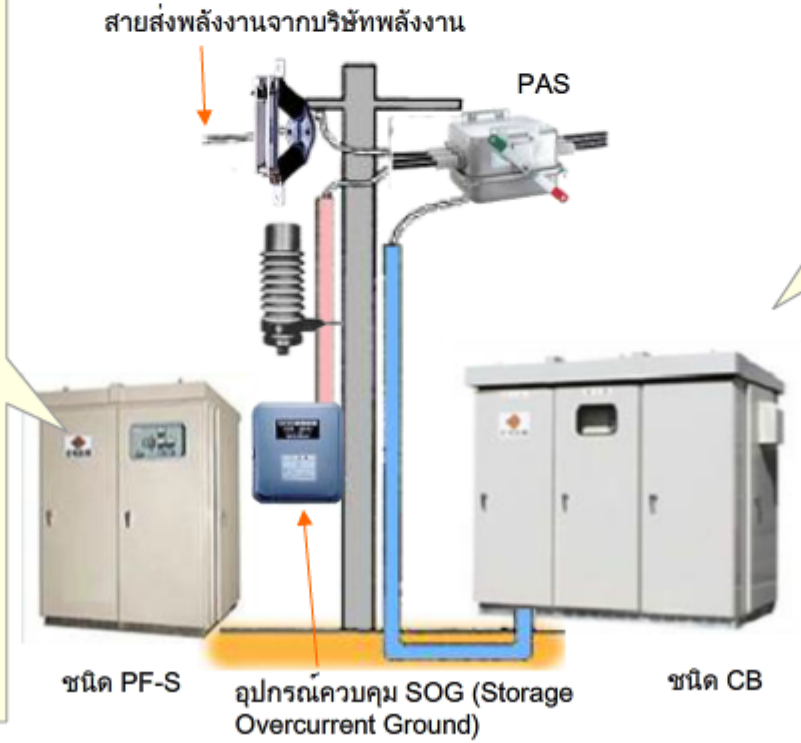
อุปกรณ์รับพลังงานแรงดันสูงชนิดคูบิเคิลที่มีคุณสมบัติตามที่ระบุไว้ใน JIS C4620 นั้นจะใช้สำหรับวงจรที่มีแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 6.6 kV และความสามารถการลัดวงจรระบบ 12.5 kA และใช้กับอุปกรณ์รับที่มีความจุอุปกรณ์รับไม่เกิน 4,000 kVA

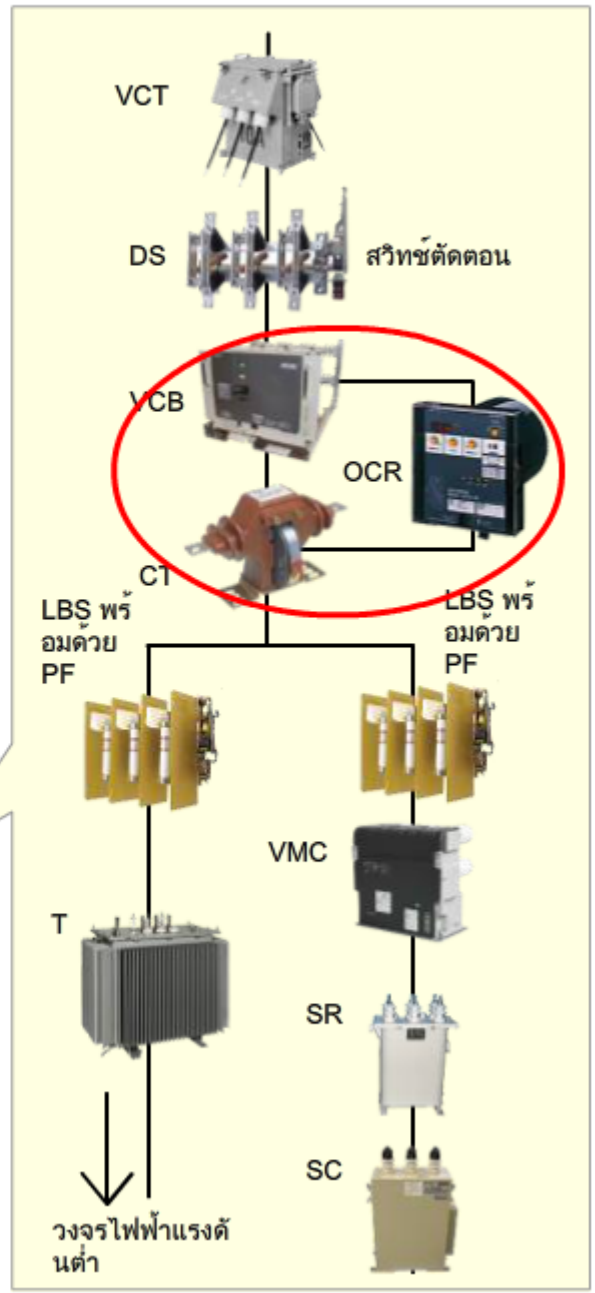
2.3 อุปกรณ์รับพลังงานแรงดันสูงชนิดคูบิเคิล

อุปกรณ์รับพลังงานแรงดันสูงชนิดคูบิเคิลนั้นจะแบ่งออกเป็นชั้นต่างๆ ดังต่อไปนี้ตามชนิดของอุปกรณ์สวิทช์ตัดตอน ชนิดคูบิเคิลที่มีคุณสมบัติตามที่ระบุไว้ใน JIS C4620

ชนิด	สวิทช์ตัดตอน	ความจุการรับ
ชนิด CB	เซอร์กิตเบรกเกอร์ (CB)	ไม่เกิน 4,000 kVA
ชนิด PF-S	สวิตช์ตัดโหลดแบบใช้ฟิวส์ (LBS พร้อมด้วย PF)	ไม่เกิน 300 kVA



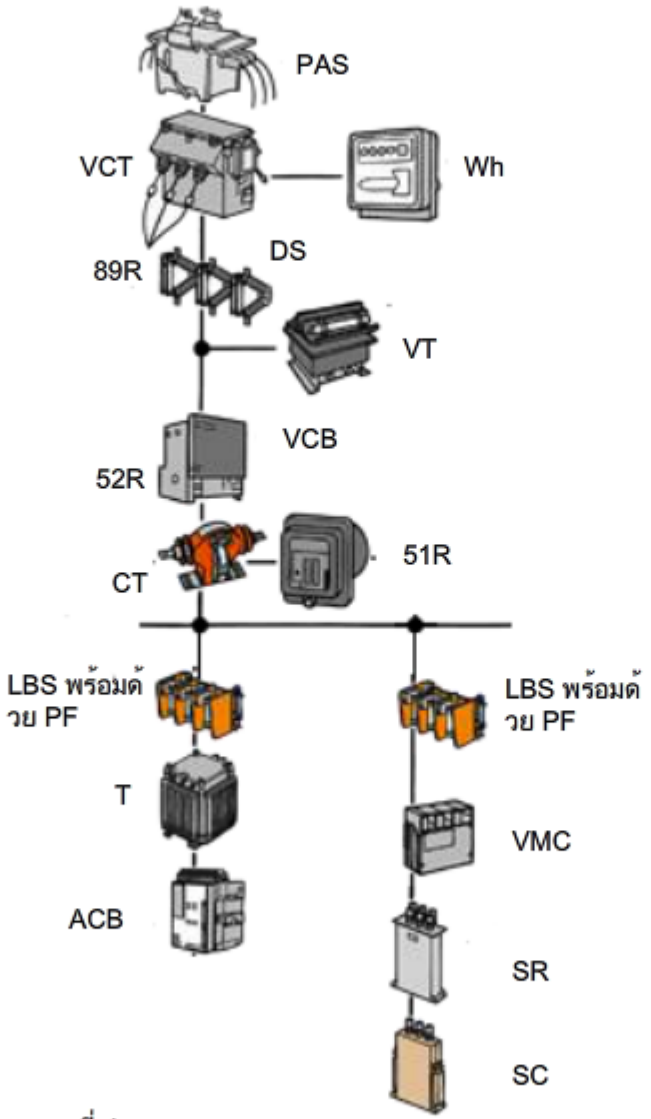




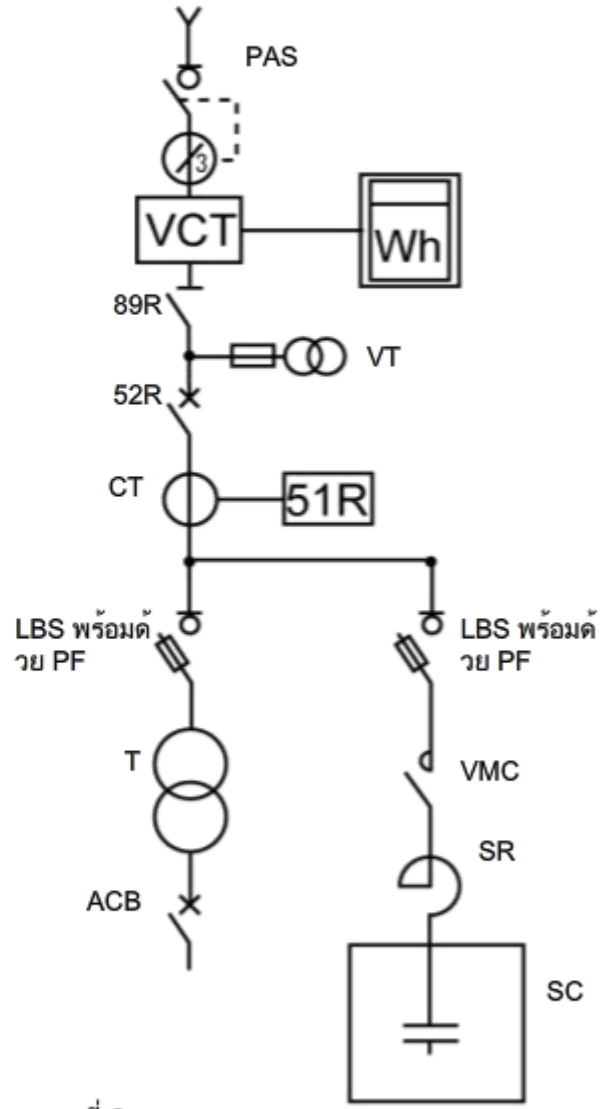
2.4 โครงสร้าง

โครงสร้างคือไดอะแกรมแบบเส้นเดียวเพื่อแสดงไดอะแกรมวงจร แสดงภาพวงจรไฟฟ้าของอุปกรณ์รับของผู้บริโภคโดยใช้เครื่องหมายเพื่อบ่งชี้อุปกรณ์ต่างๆ เช่น อุปกรณ์สวิทช์ตัดตอน อุปกรณ์ฉนวน ตัวแปลง เครื่องมือวัด รีเลย์ป้องกัน แบบร่างชนิดนี้จะใช้ไดอะแกรมแบบเส้นเดียวเพื่อแสดงรูปแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ

ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์รับพลังงานแรงดันสูงคูบิเคิล CB ในภาพที่ 1 จะแสดงในโครงสร้างของภาพที่ 2



ภาพที่ 1
อุปกรณ์รับพลังงานแรงดันสูงชนิดคูบิเคิล

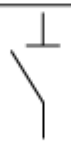
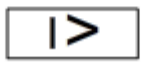


ภาพที่ 2
โครงราง (ไดอะแกรมการเชื่อมต่อแบบเส้นเดียว)

2.5 เครื่องหมาย รหัสอุปกรณ์ และรหัสตัวอักษร

ในโครงร่างจะใช้เครื่องหมาย รหัสอุปกรณ์ และรหัสตัวอักษรเพื่อแสดงอุปกรณ์แต่ละตัว

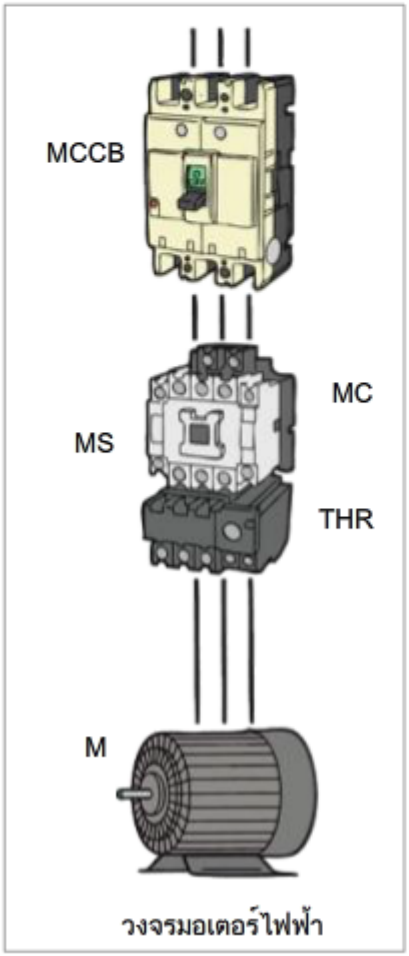
- เครื่องหมาย
  เรียกว่าเครื่องหมาย แสดงอุปกรณ์ไฟฟ้าในรูปแบบไดอะแกรม
- รหัสอุปกรณ์
  แสดงอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้หมายเลข
- รหัสตัวอักษร
  ใช้ตัวย่อเรียกอุปกรณ์และแสดงเป็นเครื่องหมาย ส่วนใหญ่แล้วรหัสตัวอักษรจะมาจากตัวอักษรตัวแรกของชื่อภาษาอังกฤษของอุปกรณ์

ภาพอุปกรณ์	ภาพวาด	ชื่อ	เครื่องหมาย	รหัสอุปกรณ์	รหัสตัวอักษร	ชื่อภาษาอังกฤษ
		สวิตช์แอร์เบรกภายนอกอาคาร		-	PAS	Pole Air-Break Switch หรือ Pole-Mounted Air Switch
		สวิทช์ตัดตอน		89	DS	Disconnecting Switch หรือ Disconnector
		เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบสูญญากาศ		52	VCB	Vacuum Circuit Breaker
		รีเลย์กระแสไฟฟ้าเกิน		51	OCR	Over Current Relay

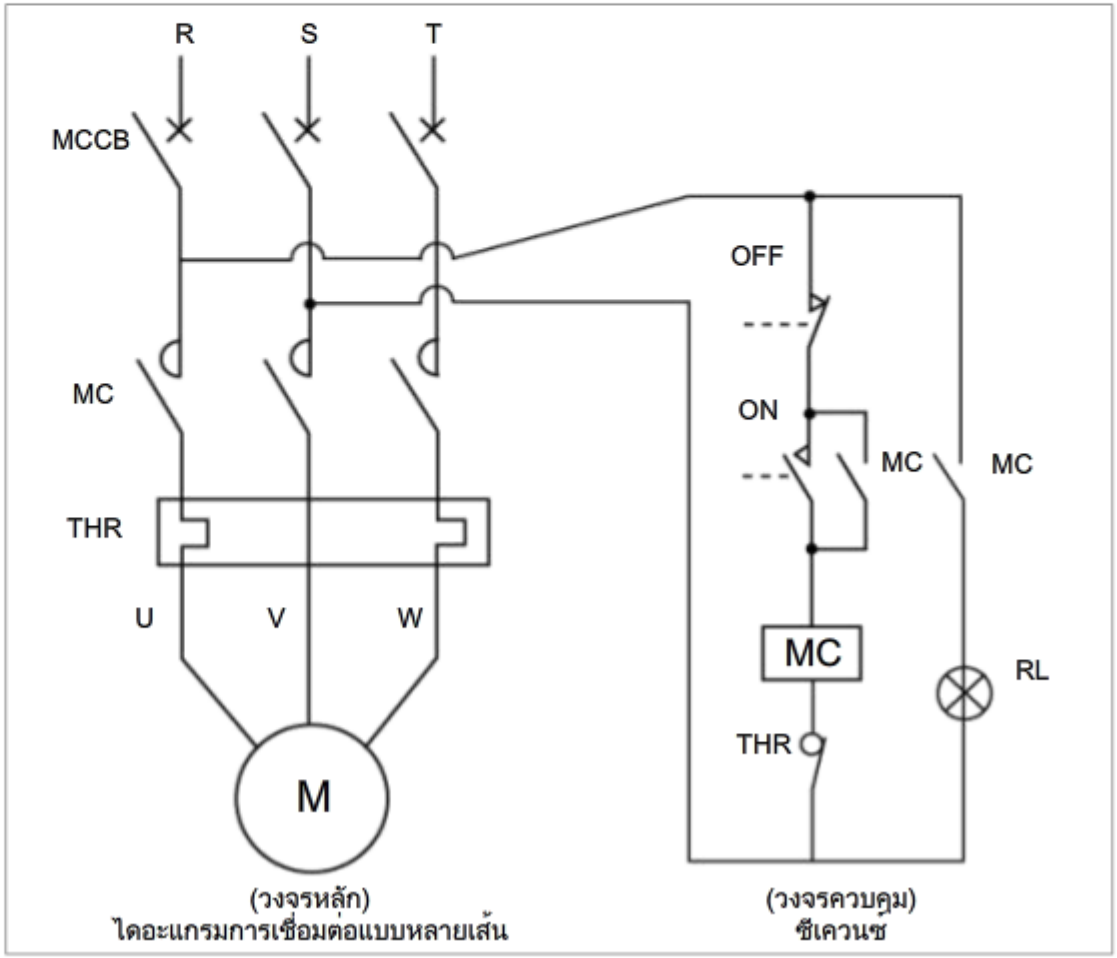
หมายเหตุ: ภาพอุปกรณ์จะแสดงภาพผลิตภัณฑ์ของ Mitsubishi Electric และไดอะแกรมภาพวาดนั้นจัดทำขึ้นเพื่อใช้ในหลักสูตรนี้

2.6 ซีเควนซ์

ไดอะแกรมไฟฟ้าที่แสดงรูปแบบการเชื่อมต่อเพื่อใช้งาน ซึ่งเราจะอธิบายในส่วนนี้
ไดอะแกรมการเชื่อมต่อเพื่อใช้งานนั้นจะเรียกว่าซีเควนซ์ และจะใช้เพื่อแสดงวงจรควบคุมสวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้าของอุปกรณ์การควบคุมและส่งจ่ายพลังงาน และส่วนอื่นๆ
ในซีเควนซ์จะใช้เครื่องหมายและรหัสตัวอักษรที่กำหนดเพื่อใช้แสดงอุปกรณ์ไฟฟ้าและส่วนประกอบต่างๆ เช่น คอนแทค คอยล์ ตัวต้านทาน และฟิวส์ นอกจากนี้ คุณควรทราบว่าซีเควนซ์คือไดอะแกรมการเชื่อมต่อที่จัดทำขึ้นเพื่อแสดงการเชื่อมต่อไฟฟ้าตามลำดับการทำงาน และไม่ได้แสดงถึงตำแหน่งที่แท้จริงของส่วนประกอบ



วงจรมอเตอร์ไฟฟ้า



(วงจรหลัก)
ไดอะแกรมการเชื่อมต่อแบบหลายเส้น

(วงจรควบคุม)
ซีเควนซ์

2.7 สรุปเนื้อหาในบทนี้

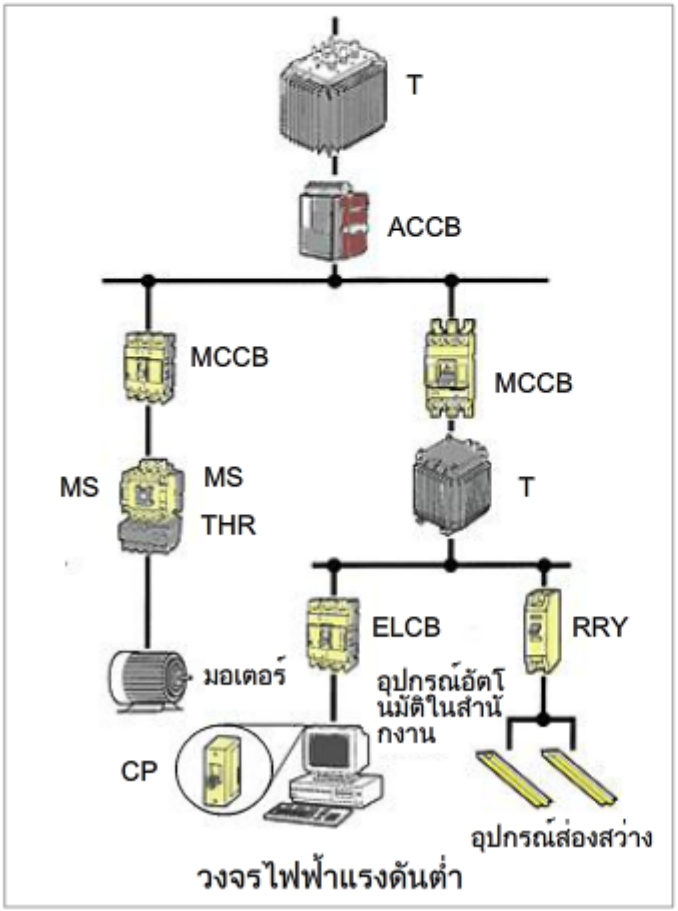
ในบทนี้คุณได้เรียนรู้สิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ไฟฟ้าที่ใช้ในโรงงานและในครัวเรือนจะส่งมาจากโรงผลิตไฟฟ้าด้วยแรงดันไฟฟ้าสูงมาก เช่น 60 kV, 275 kV และ 500 kV
- ไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ผู้บริโภคนั้นจะแบ่งได้เป็นสามประเภทตามปริมาณของกำลังไฟฟ้า (วัตต์) ได้แก่ แรงดันไฟฟ้าต่ำ แรงดันไฟฟ้าสูง และแรงดันไฟฟ้าสูงพิเศษ โดยแต่ละชั้นจะต้องใช้อุปกรณ์และการจัดการที่แตกต่างกัน
- เมื่อจ่ายไฟฟ้าจากบริษัทไฟฟ้าด้วยแรงดันไฟฟ้าสูง จะจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์รับพลังงานแรงดันสูง ในปัจจุบันนี้ มีเทรนด์ในการใช้งานอุปกรณ์รับพลังงานแรงดันสูงชนิดคูบิเคิลเพิ่มขึ้น
- อุปกรณ์รับพลังงานแรงดันสูงชนิดคูบิเคิลจะสามารถแบ่งได้เป็นประเภท CB (ไม่เกิน 4,000 kVA) และประเภท PF-S (ไม่เกิน 300 kVA) ตามชนิดของอุปกรณ์สวิทชตัดตอน
- โครงสร้างคือไดอะแกรมแบบเส้นเดียวเพื่อแสดงไดอะแกรมวงจร แสดงภาพวงจรไฟฟ้าของอุปกรณ์รับของผู้บริโภคโดยใช้เครื่องหมายเพื่อบ่งชี้อุปกรณ์ต่างๆ เช่น อุปกรณ์สวิทช์ตัดตอน อุปกรณ์ฉนวน ตัวแปลง เครื่องมือวัด รีเลย์ป้องกัน แบบร่างชนิดนี้จะใช้ไดอะแกรมแบบเส้นเดียวเพื่อแสดงรูปแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ
- ในโครงร่างจะใช้เครื่องหมาย รหัสอุปกรณ์ และรหัสตัวอักษรเพื่อแสดงอุปกรณ์แต่ละตัว
- ไดอะแกรมการเชื่อมต่อเพื่อใช้งานชนิดหนึ่งที่เรียกว่าซีเควนซ์จะใช้เพื่อแสดงวงจรควบคุมสวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้าของอุปกรณ์การควบคุมและส่งจ่ายพลังงาน และส่วนอื่นๆ
- ในซีเควนซ์จะใช้เครื่องหมายและรหัสตัวอักษรที่กำหนดเพื่อใช้แสดงอุปกรณ์ไฟฟ้าและส่วนประกอบต่างๆ เช่น คอนแทค คอยล์ ตัวต้านทาน และฟิวส์ นอกจากนี้ คุณควรทราบว่าซีเควนซ์คือไดอะแกรมการเชื่อมต่อที่จัดทำขึ้นเพื่อแสดงการเชื่อมต่อไฟฟ้าตามลำดับการทำงาน และไม่ได้แสดงถึงตำแหน่งที่แท้จริงของส่วนประกอบ

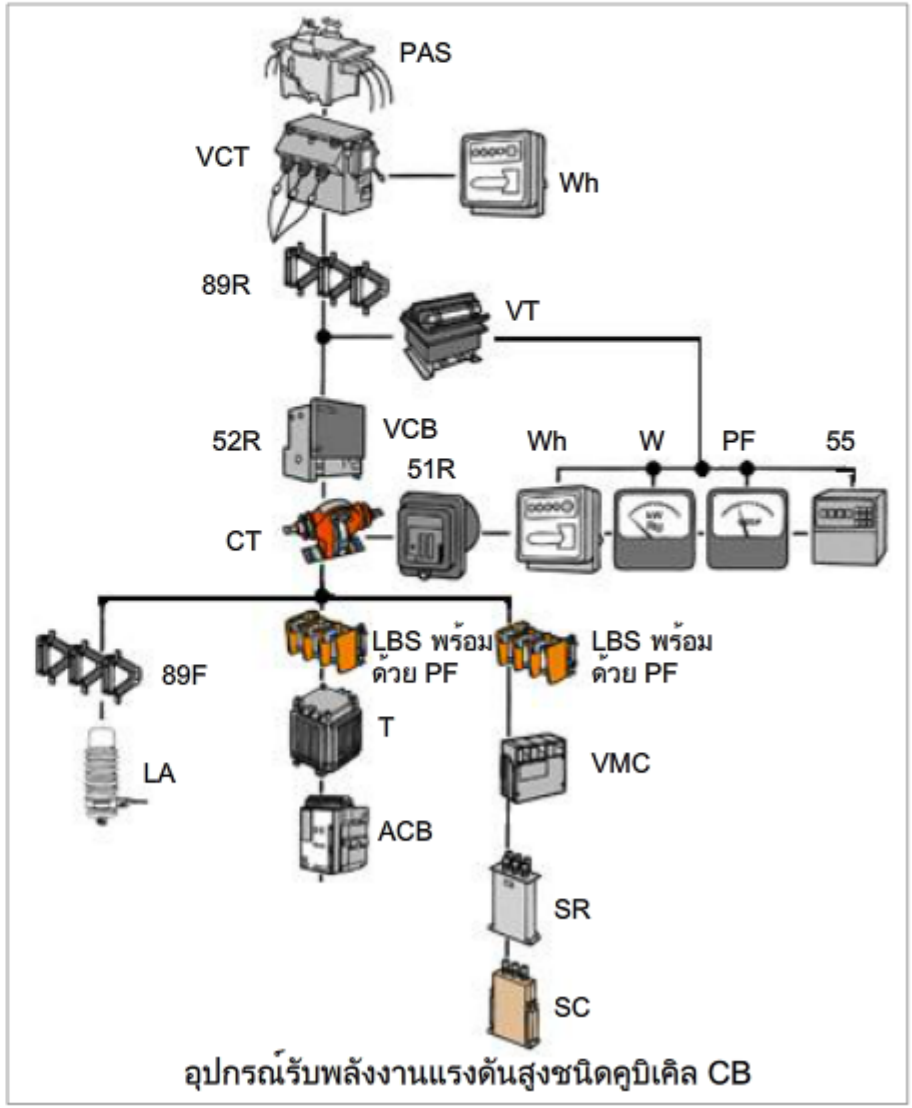
บทที่ 3 อุปกรณ์การควบคุมและส่งจ่ายพลังงาน

อุปกรณ์การควบคุมและส่งจ่ายพลังงานนั้นรวมถึง อุปกรณ์รับพลังงานแรงดันสูงและอุปกรณ์สำหรับวงจรแรงดันไฟฟ้าต่ำ เช่น สวิทซ์ตัดตอนแรงดันไฟฟ้าต่ำและสวิตซ์แม่เหล็กไฟฟ้า
ในบทนี้เราจะแบ่งอุปกรณ์การควบคุมและส่งจ่ายพลังงานเป็นสี่ประเภทและจะอธิบายโดยแยกกัน

(1) อุปกรณ์แรงดันไฟฟ้าสูง
(2) เครื่องมือวัด
(3) สวิทซ์ตัดตอนแรงดันไฟฟ้าต่ำ
(4) สวิตซ์แม่เหล็กไฟฟ้า



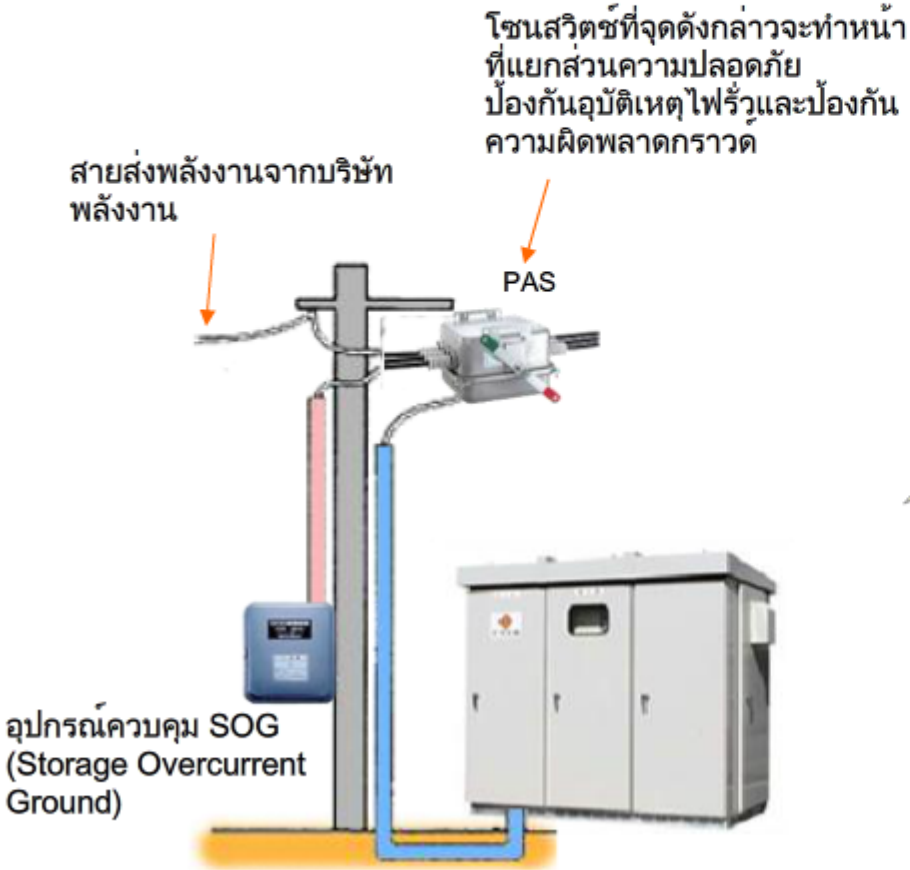
วงจรไฟฟ้าแรงดันต่ำ



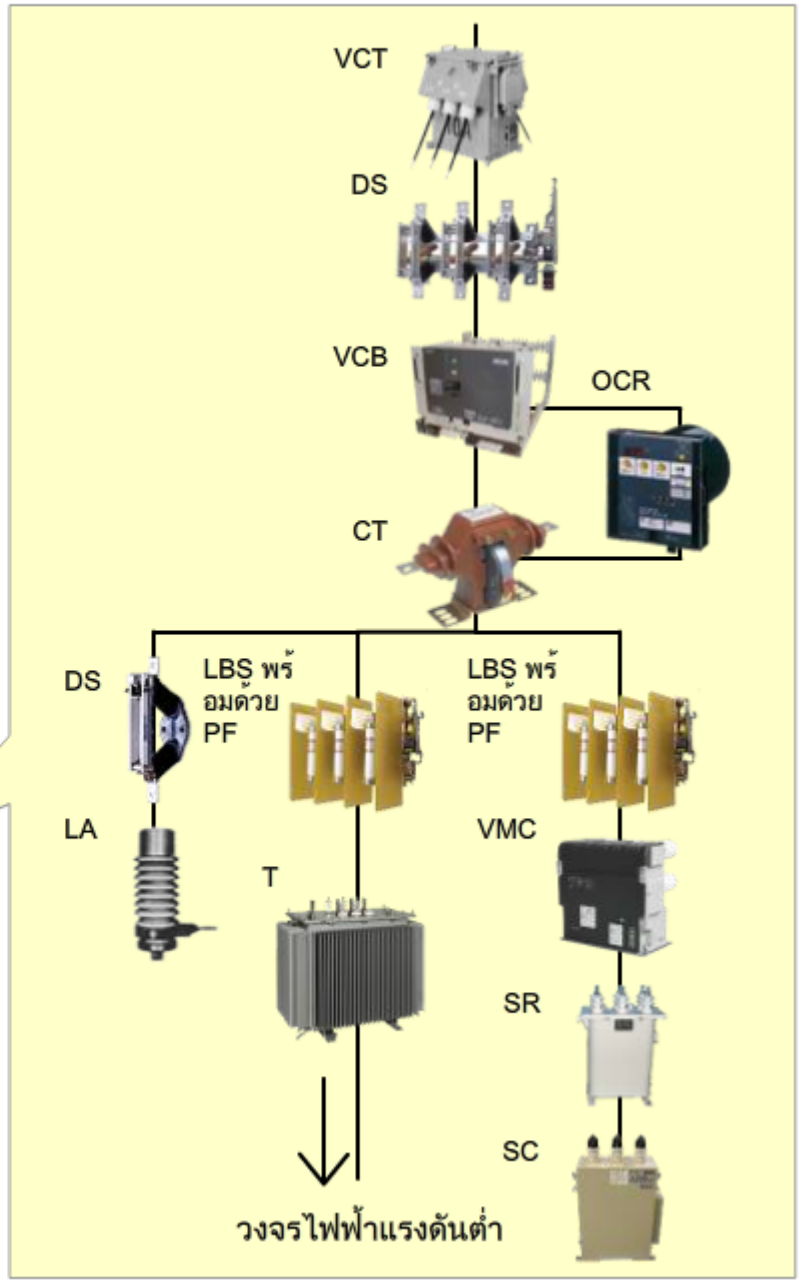
อุปกรณ์รับพลังงานแรงดันสูงชนิดคูบิเคิล CB

3.1 อุปกรณ์แรงดันไฟฟ้าสูง

ในส่วนนี้ เราจะอธิบายเกี่ยวกับอุปกรณ์ควบคุมและส่งจ่ายที่ใช้ในอุปกรณ์รับพลังงานแรงดันสูงชนิดคูบิเคิล



อุปกรณ์รับพลังงานรงดันสูงชนิดคูบิเคิล CB



3.1 อุปกรณ์แรงดันไฟฟ้าสูง

ต่อไปนี้คือชนิดของอุปกรณ์แรงดันไฟฟ้าสูงที่ใช้ในอุปกรณ์รับพลังงานแรงดันสูงชนิดคูบิเคิล

(1) แอร์สวิตช์แบบติดเสา (PAS)

และยังเรียกว่าสวิตช์แอร์เบรกแบบเสา อุปกรณ์นี้จะติดตั้งอยู่ระหว่างบริษัทพลังงานและผู้บริโภค ซึ่งจะเรียกว่าจุดแบ่งความรับผิดชอบ ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุในพื้นที่รับผิดชอบของลูกค้า อุปกรณ์จะตัดวงจรโดยอัตโนมัติโดยใช้สัญญาณจากอุปกรณ์ควบคุม SOG (Storage Overcurrent Ground) เพื่อตัดการเชื่อมต่อวงจรจากสายส่งของบริษัทเพื่อป้องกันอุบัติเหตุจากการไฟรั่วไปยังส่วนอื่นๆ อุปกรณ์นี้จะเรียกว่าโซนสวิตช์ด้วย

จะมีสายเชื่อมต่อกับคานนี้ดังนั้นจึงสามารถใช้งานได้จากด้านล่างของเสาโทรศัพท์

แอร์สวิตช์แบบติดเสา

อุปกรณ์ควบคุม SOG (Storage Overcurrent Ground)

(2) แรงดันไฟฟ้ารวมและตัวแปลงกระแสไฟฟ้า (VCT)

รวมตัวแปลงแรงดันไฟฟ้า (VT) และตัวแปลงกระแสไฟฟ้า (CT)
VCT เป็นทรัพย์สินของบริษัทพลังงาน แต่จะติดตั้งอยู่ในคูบิเคิล
อุปกรณ์นี้จะทำหน้าที่วัดพลังงานที่ใช้ และใช้เพื่อคำนวณค่าใช้ไฟฟ้า

แรงดันไฟฟ้ารวมและตัวแปลงกระแสไฟฟ้า

(3) สวิตช์ตัดการเชื่อมต่อ (DS)

โดยจะเรียกว่าดิสคอนเนกติ้งสวิทช์ด้วย
อุปกรณ์นี้ใช้เพื่อปิดไฟฟ้าในพื้นที่ของลูกค้าเพื่อดำเนินการซ่อมบำรุงภายในพื้นที่ดังกล่าว

สวิตช์ตัดการเชื่อมต่อเฟสเดียว

สวิตช์ตัดการเชื่อมต่อสามเฟส

3.1 อุปกรณ์แรงดันไฟฟ้าสูง

(4) ตัวแปลงกระแสไฟฟ้า (CT)

ตัวแปลงกระแสไฟฟ้าจะเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าวงจรหลักที่มีระดับหลายๆ แอมแปร์ถึงหลายๆ ร้อยแอมแปร์ให้เป็นระดับอินพุท 5 A ซึ่งเป็นระดับที่รีเลย์ป้องกันและเครื่องมือวัดใช้

ในการติดตั้งชนิด CT อุปกรณ์นี้จะใช้เป็นเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า และในกรณีที่มีความผิดปรกติ รีเลย์ป้องกันจะตรวจจับความผิดปกติของกระแสไฟฟ้าและส่งสัญญาณความผิดพลาดไปยังสวิทซ์ตัดตอนแบบสูญญากาศเพื่อตัดวงจร

(5) รีเลย์กระแสไฟฟ้าเกิน (OCR)

รีเลย์กระแสไฟฟ้าเกินจะตัดสินใจว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นหรือไม่จากกระแสไฟฟ้าที่ส่งมาจากตัวแปลงกระแสไฟฟ้า และหากมีความผิดพลาด อุปกรณ์นี้จะส่งสัญญาณความผิดพลาดไปยังสวิทซ์ตัดตอนแบบสูญญากาศเพื่อปกป้องระบบด้วยการตัดวงจรไฟฟ้า

รีเลย์ชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่ OCR รีเลย์แรงดันไฟฟ้าต่ำเกินไป (UVR), รีเลย์กราวด์ (GR) รีเลยกราวด์แบบทิศทาง (DGR) และอื่นๆ

(6) สวิทซ์ตัดตอนแบบสูญญากาศ (VCB)

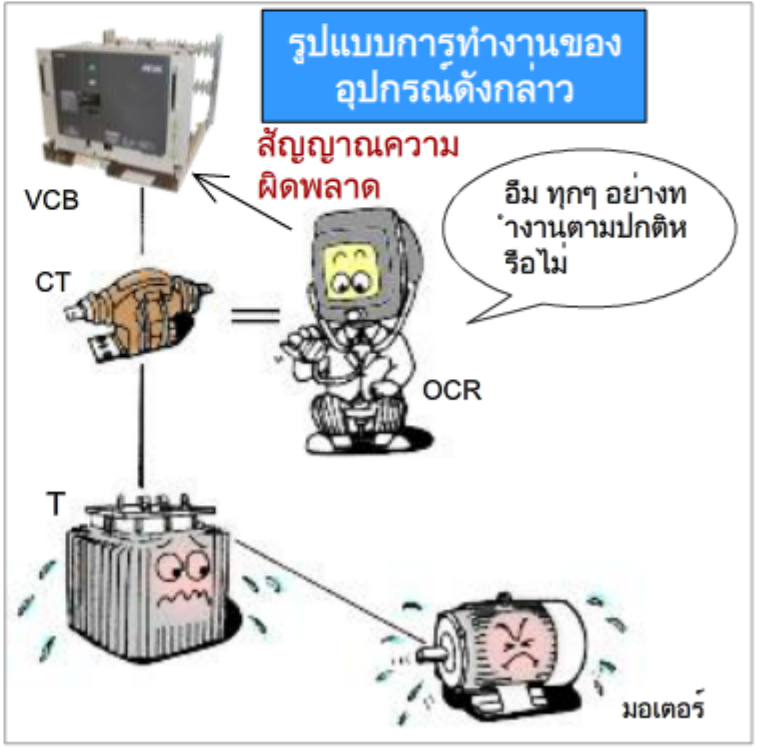
กระแสไฟฟ้าจะเปิดและปิดด้วยการสัมผัสในหลอดสูญญากาศ ในกรณีที่มีความผิดพลาด อุปกรณ์นี้จะรับสัญญาณความผิดพลาดจากรีเลยกระแสไฟฟ้าเกินหรืออุปกรณ์อื่นๆ และตัดวงจร

ในการติดตั้งชนิด CB อุปกรณ์หมายเลข (4) ถึง (6) ด้านบนจะทำงานร่วมกันเพื่อปกป้องวงจรเมื่อมีกระแสไฟฟ้าเกินเนื่องจากการโอเวอร์โหลด ลัดวงจร หรืออุบัติเหตุอื่นๆ

ตัวแปลงกระแสไฟฟ้า

สวิทซ์ตัดตอนแบบสูญญากาศ

รีเลย์ป้องกัน



3.1 อุปกรณ์แรงดันไฟฟ้าสูง

(7) สวิตช์ตัดโหลด (LBS)

สวิตช์ตัดโหลดจะสามารถเปิดและปิดกระแสไฟฟ้า หรือปล่อยผ่านกระแสไฟฟ้าได้
โดยปกติแล้ว อุปกรณ์นี้จะใช้ร่วมกับฟิวส์ และจะเรียกว่าสวิตช์ตัดโหลดแบบมีฟิวส์ (LBS พร้อมด้วย PF)
ด้วยคุณสมบัติของฟิวส์ สวิตช์ตัดโหลดแบบมีฟิวส์นั้นจะใช้เพื่อปกป้องตัวแปลงแรงดันไฟฟ้า ปกป้องคาปาซิเตอร์ และปกป้องมอเตอร์
อุปกรณ์รับพลังงานแรงดันสูงชนิดคูบิเคิลจะใช้สวิตช์ดังกล่าวเป็นอุปกรณ์ตัดต่อของวงจร

สวิตช์ตัดโหลดแบบใช้ฟิวส์
(แบบไม่มีที่กั้น)

สวิตช์ตัดโหลดแบบใช้ฟิวส์
(แบบมีที่กั้น)

(8) ฟิวส์ (PF)

ในกรณีที่มีอุบัติเหตุการลัดวงจรเกิดขึ้น ส่วนประกอบฟิวส์ในกระบอกฟิวส์จะละลายเพื่อตัดวงจร ดังนั้นจึงช่วยป้องกันไม่ให้อุปกรณ์และสายไฟฟ้าไหม้ได้

ฟิวส์ไฟฟ้า

(9) ตัวแปลง (T)

ตัวแปลงทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าสูง เช่น 6.6 kV ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำ เช่น 100 V/200 V/400 V
ตัวแปลงจะมีทั้งสำหรับทั้งไฟฟ้าเฟสเดียวและไฟฟ้าสามเฟส

ตัวแปลงแบบน้ำมัน
สามเฟส 500 kVA 50 Hz

ตัวแปลงแบบโมลด์
สามเฟส 500 kVA 50 Hz

3.1 อุปกรณ์แรงดันไฟฟ้าสูง

(10) คอนแทคเตอร์แบบสูญญากาศ (VMC)

อุปกรณ์นี้จะทำหน้าเปิดและปิดกระแสไฟฟ้าด้วยหลอดสูญญากาศเช่นเดียวกับ สวิทช์ตัดตอนแบบสูญญากาศ
การทำงานของคอนแทคเตอร์แบบสูญญากาศจะเปิดและปิดการสัมผัส ดังนั้นอุปกรณ์นี้จะมีอายุการใช้งานยาวนาน และสามารถเปิดและปิดมอเตอร์และคาปาซิเตอร์ได้บ่อยๆ

คอนแทคเตอร์แบบสูญญากาศ

(11) คาปาซิเตอร์ (SC)

คาปาซิเตอร์จะใช้เพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลังในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับของโหลดเหนี่ยวนำในอุปกรณ์ เช่น มอเตอร์และเตาไฟฟ้านั้นคือปัจจัยที่ก่อให้เกิดตัวประกอบกำลังต่ำลง SC จะใช้เพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลังดังกล่าวและทำให้ตัวประกอบกำลังมีค่าเข้าใกล้ 1 มากขึ้น
เมื่อคุณตัวประกอบกำลัง คุณจะได้รับส่วนลดค่าธรรมเนียมสัญญาพื้นฐานรายเดือน

คาปาซิเตอร์แบบคงที่ใช้น้ำมัน

คาปาซิเตอร์แบบคงที่ใช้ก๊าซ

(12) รีแอคเตอร์ (SR)

รีแอคเตอร์จะติดตั้งเป็นชุดพร้อมด้วยคาปาซิเตอร์และช่วยลดการผิดเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากความถี่สูงภายในวงจร อุปกรณ์นี้จะช่วยปกป้องคาปาซิเตอร์โดยจำกัดปริมาณกระแสไฟฟ้าเมื่อต่อคาปาซิเตอร์เข้าระบบ

อุปกรณ์ (10) ถึง (12) จะทำงานร่วมกันเพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

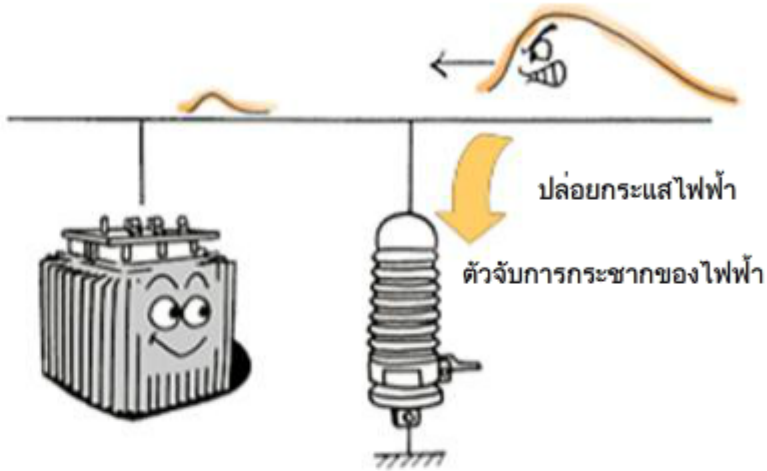
รีแอคเตอร์แบบชุดใช้น้ำมัน

รีแอคเตอร์แบบชุดใช้โมลด์

3.1 อุปกรณ์แรงดันไฟฟ้าสูง

(13) ตัวจับการกระชากของไฟฟ้า (SAR)
และจะเรียกอีกอย่างว่าตัวป้องกันฟ้าผ่า (LA)
อุปกรณ์นี้จะช่วยปกป้องอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น มอเตอร์และตัวแปลงซึ่งจะมีแรงดันไฟฟ้าผ่านเสมอจากการไหม้หรือกลายเป็นสีดำที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าที่สูงผิดปกติที่เกิดขึ้นจากฟ้าผ่าและเหตุอื่นๆ

ปกป้องอุปกรณ์จากแรงดันไฟฟ้าผิดปกติโดยการปล่อยแรงดันไฟฟ้าผ่านทางตัวจับการกระชากของไฟฟ้า



หมายเหตุ

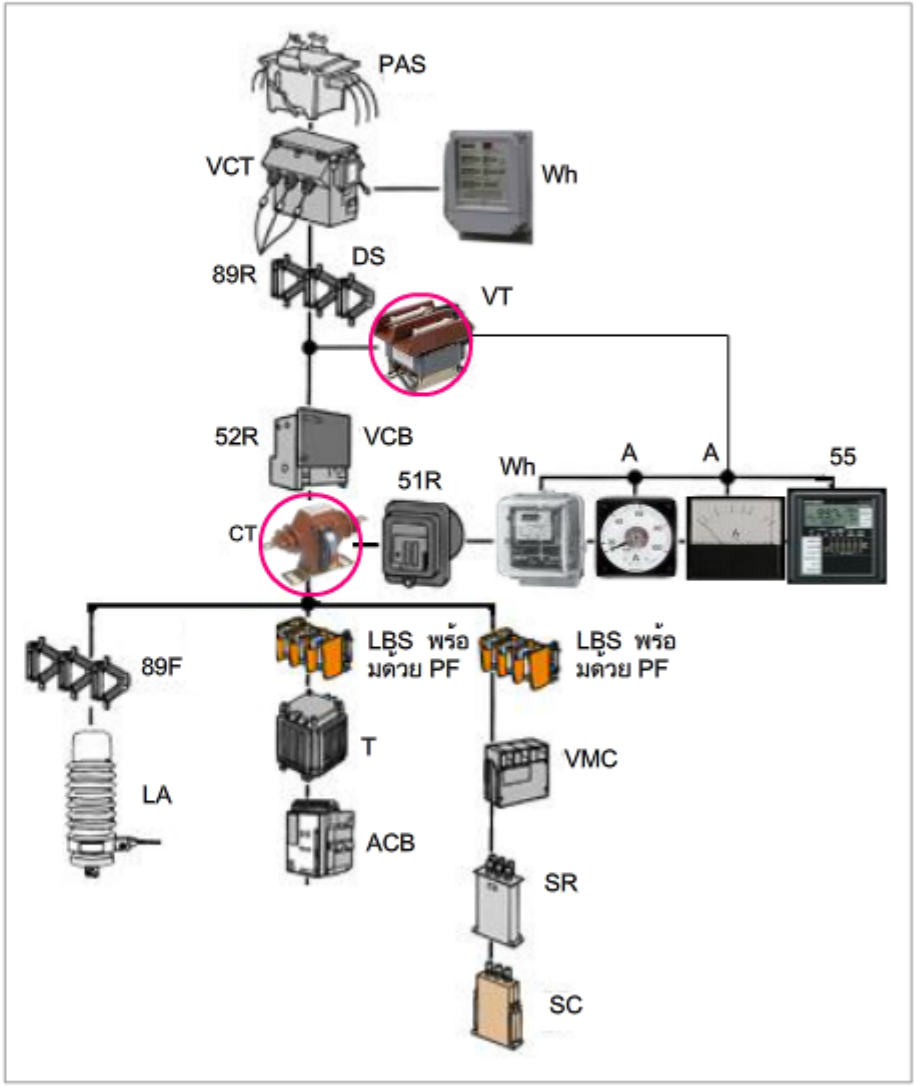
คอนดักเตอร์ป้องกันฟ้าผ่า

คอนดักเตอร์ป้องกันฟ้าผ่าจะใช้เพื่อรับฟ้าผ่าเพื่อป้องกันไม่ให้อาคารอื่นๆ ถูกฟ้าผ่า

ตัวจับการกระชากของไฟฟ้า

3.2 เครื่องมือวัด

เมื่อใช้ไฟฟ้า เป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องวัดปริมาณของไฟฟ้าเพื่อให้ทราบว่าใช้ไฟฟ้าไปเท่าใด
อย่างไรก็ตาม ดวงตาของมนุษย์จะไม่สามารถมองเห็นไฟฟ้าได้ เราจึงใช้เครื่องมือวัดต่างๆ เพื่อให้สามารถวัดและจัดการการใช้งานไฟฟ้าได้
สามารถใช้เครื่องมือวัด หรือเรียกอีกอย่างว่ามาตรวัด เพื่อวัดค่าต่างๆทางไฟฟ้าทั้งแบบแรงดันต่ำและแรงดันสูงได้ Mitsubishi Electric จัดประเภทอุปกรณ์เหล่านี้เป็นเครื่องมือแรงดันไฟฟ้าต่ำ



โดยหลักๆ แล้ว เครื่องมือวัดจะมีจุดประสงค์เพื่อ:

- ตรวจหา (ตัวแปลงอุปกรณ์)
- ตรวจปริมาณ (มาตรวัดพลังงาน)
- วัด (มาตรบ่งชี้ไฟฟ้า ทรานดิวเซอร์)

การใช้งานอื่นๆ นั้นได้แก่:

- ปรับปรุงตัวประกอบกำลัง (ปรับตัวประกอบกำลังโดยอัตโนมัติ)
- จัดการพลังงานไฟฟ้าตามสัญญา (อุปกรณ์ควบคุมและตรวจสอบความต้องการ)

3.2 เครื่องมือวัด

ตัวแปลงคือคำที่ใช้เพื่อเรียกตัวแปลงแรงดันไฟฟ้าเครื่องมือวัดและตัวแปลงกระแสไฟฟ้า อุปกรณ์นี้มีหน้าที่วัดไฟฟ้าแรงดันสูงและกระแสไฟฟ้าปริมาณมากๆ ได้อย่างแม่นยำและปลอดภัย

(1) ตัวแปลงแรงดันไฟฟ้า (VT)

ตัวแปลงแรงดันไฟฟ้าจะใช้เพื่อวัดไฟฟ้าแรงดันสูง อุปกรณ์นี้จะเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าจาก 6.6 kV ให้เป็น 110 V

ตัวแปลงแรงดันไฟฟ้า

(2) ตัวแปลงกระแสไฟฟ้า (CT)

ตัวแปลงกระแสไฟฟ้าจะใช้เพื่อแปลงกระแสไฟฟ้าปริมาณมากๆ อุปกรณ์นี้จะเปลี่ยนไฟฟ้าหลายๆ สิบแอมแปร์จนถึงหลายๆ ร้อยแอมแปร์ให้เป็น 5 A

ตัวแปลงกระแสไฟฟ้า

(3) มาตรวัดวัตต์ต่อชั่วโมง (WHM)

มาตรวัดวัตต์ต่อชั่วโมงจะใช้เพื่อวัดปริมาณพลังงานไฟฟ้า WHM จะมีทั้งแบบกลไกและแบบไฟฟ้า

มาตรวัดวัตต์ต่อชั่วโมง
แบบกลไก

มาตรวัดวัตต์ต่อชั่วโมง
แบบอิเล็คทรอนิคส์

มาตรวัดวัตต์ต่อชั่วโมง
แบบอิเล็คทรอนิคส์
ชนิดพื้นผิว

3.2 เครื่องมือวัด

(4) มาตรวัดไฟฟ้าที่บ่งชี้ได้ (M)

หรือเรียกง่ายๆ ว่ามาตรวัด อุปกรณ์นี้จะใช้เพื่อวัดและแสดงปริมาณไฟฟ้า เช่น แรงดันไฟฟ้าหรือกำลังของกระแสไฟฟ้า
เช่น
แรงดันไฟฟ้าจะใช้ มาตรวัดแรงดันไฟฟ้า (V) เป็นตัววัด
กระแสไฟฟ้า (ปริมาณของกระแสไฟฟ้า) จะใช้มาตรวัดปริมาณของกระแสไฟฟ้า (A) เป็นตัววัด
กำลังไฟฟ้าจะใช้มาตรวัดวัตต์ (W) เป็นตัววัด
ตัวประกอบกำลังจะใช้มาตรวัดตัวประกอบกำลัง (PF) เป็นตัววัด

เราสามารถวัดปริมาณไฟฟ้าประเภทต่างๆ ได้โดยการใช้มาตรวัดแบบมัลติทั้งชนิดกลไกและชนิดอิเล็คทรอนิคส์

มาตรวัดแรงดันไฟฟ้า

มาตรวัดกำลังของกระแสไฟฟ้า

มาตรวัดแบบมัลติ

(5) ทรานส์ดิวเซอร์ (TD)

สัญญาณไฟฟ้าทั้งแบบไฟฟ้ากระแสตรงหรือไฟฟ้ากระแสสลับจะไหลเข้าสู่ทรานสดิวเซอร์และถูกแปรเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหรือไฟฟ้ากระแสตรงและส่งต่อไปยังอุปกรณ์ตรวจสอบและควบคุม เช่น มาตรวัดบ่งชี้หรือคอมพิวเตอร์

ทรานส์ดิวเซอร์

3.2 เครื่องมือวัด

(6) ตัวควบคุมตัวประกอบกำลังอัตโนมัติ (APFC)

อุปกรณ์นี้จะส่งสัญญาณที่สามารถเปิดหรือปิดคาปาซิเตอร์ได้โดยอัตโนมัติเพื่อรักษาระดับตัวประกอบกำลังให้ได้ตามเป้าหมาย

ตัวควบคุมตัวประกอบกำลังอัตโนมัติ

(7) มาตรวัดความต้องการ (DM)

มาตรวัดความต้องการคืออุปกรณ์ที่ใช้เพื่อตรวจสอบและควบคุมความต้องการ
ความต้องการหมายถึงปริมาณเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ภายใน 30 นาที ให้เราพิจารณากรณีของลูกค้าที่สมัครเข้าสู่ระบบค่าธรรมเนียมการใช้งานไฟฟ้าที่เก็บค่าบริการตามที่ใช้งานจริงตามสัญญาพลังงานแบบไม่เกิน 500 kW ในกรณีนี้ หากค่าความต้องการเกินกำลังไฟฟ้าตามที่สัญญากำหนด ค่าความต้องการดังกล่าวจะทำถูกบันทึกว่าเป็นกำลังไฟฟ้าตามที่สัญญากำหนดสำหรับปีต่อไป และผู้บริโภคจะต้องจ่ายค่าธรรมเนียมการใช้งานเพิ่มขึ้น
มาตรวัดความต้องการจะคาดการณ์ความต้องการและส่งสัญญาณเตือนหรือสัญญาณควบคุมโหลดเพื่อจัดการค่าความต้องการให้อยู่ภายในระดับที่สัญญากำหนด
มาตรวัดความต้องการจะรวมถึงผลิตภัณฑ์ในรุ่น DEMACON และผลิตภัณฑ์รุ่น E-Energy

มาตรวัดความต้องการ (รุ่น DEMACON)

เว็บเซิร์ฟเวอร์ตรวจสอบความต้องการกำลังไฟฟ้า (รุ่น E-Energy)

(8) สวิตช์เวลา

อุปกรณ์นี้คือสวิตช์ที่ทำงานร่วมกับนาฬิกา สวิตช์จะเปิดหรือปิดตามเวลาที่ตั้งไว้

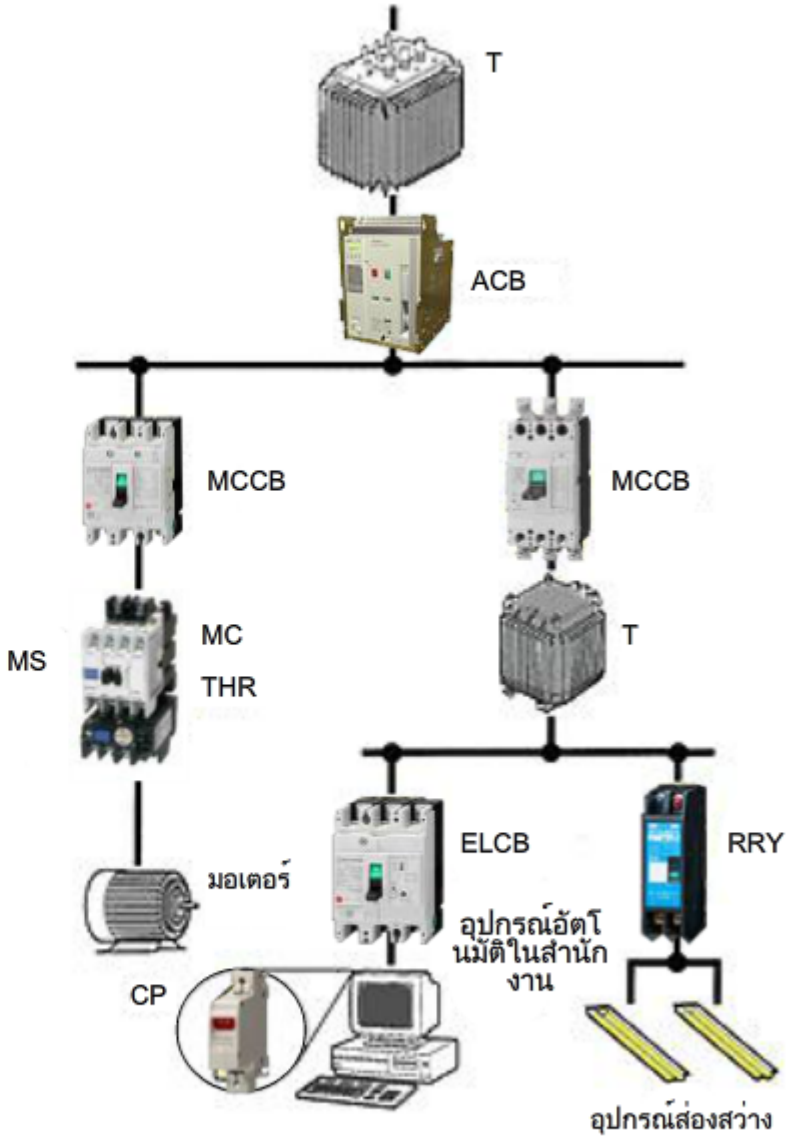
สวิตช์เวลา

3.3 สวิทซ์ตัดตอนวงจรแรงดันไฟฟ้าต่ำ

สวิทซ์ตัดตอนวงจรแรงดันไฟฟ้าต่ำคือคำที่ใช้เรียกอุปกรณ์ตัดตอนวงจรที่ใช้เพื่อป้องกันสายไฟและอุปกรณ์ในวงจรไฟฟ้าแรงดันต่ำ

สวิทซ์ตัดตอนวงจรแรงดันไฟฟ้าต่ำนั้นได้แก่:

- MCCB (โมเดสเคสเซอร์กิตเบอร์เกอร์) สำหรับสายไฟ
- ELCB (เอิร์ทลีกเซอร์กิตเบอร์เกอร์)
- ACB (แอร์เซอร์กิตเบอร์เกอร์)
- อุปกรณ์ควบคุมระยะไกล เช่น RRY (รีเลย์ควบคุมระยะไกล)
- CP (เซอร์กิตโปรเทคเตอร์)



วงจรไฟฟ้าแรงดันต่ำ

3.3 สวิทซ์ตัดตอนวงจรแรงดันไฟฟ้าต่ำ

(1) โมเดสเคสเซอร์กิตเบรกเกอร์ (MCCB)

อุปกรณ์นี้ใช้เพื่อป้องกันสายไฟจากการโอเวอร์โหลดและการลัดวงจร

โมเดสเคสเซอร์กิตเบรกเกอร์

มินิเอเจอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์สำหรับบอร์ดจ่ายพลังงาน

เซอร์กิตเบรกเกอร์นิรภัยชนิด BL

(2) เอิร์ทลีกเซอร์กิตเบรกเกอร์ (ELCB)

ELCB จะป้องกันไฟฟ้าดูด การรั่วลงสายดิน และความเสียหายต่อสายไฟเมื่อเกิดอุบัติเหตุหรือความผิดพลาด เช่น การโอเวอร์โหลด การลัดวงจร และการลัดวงจรลงดิน

ELCB

ELCB สำหรับบอร์ดจ่ายพลังงาน

ELCB ชนิดสะพานไฟนิรภัย

3.3 สวิทซ์ตัดตอนวงจรแรงดันไฟฟ้าต่ำ

(3) แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (ACB)

ACB จะใช้ในอาคาร โรงงาน และยานพาหนะทางน้ำ อุปกรณ์นี้จะมีสองประเภทหลักๆ เพื่อใช้ป้องกันวงจรไฟฟ้าหรือป้องกันตัวกำเนิดไฟฟ้า
ACB คือเซอร์กิตเบรกเกอร์วงจรหลักที่มีสเกลใหญ่กว่า MCCB

อาคารและโรงงาน

ยานพาหนะทางน้ำ

แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิด AE1600-SW

(4) อุปกรณ์ควบคุมระยะไกล

อุปกรณ์เหล่านี้จะใช้เพื่อควบคุมระยะไกลจากส่วนกลาง (การควบคุมระยะไกล) เช่น การเปิดและปิดไฟในอาคาร โรงเรียน โรงพยาบาล หรือสถานที่อื่นๆ อุปกรณ์นี้จะประกอบด้วยรีเลย์การควบคุมระยะไกลเซอร์กิตเบรกเกอร์ควบคุมระยะไกล เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบตัดไฟรั่วลงดินสำหรับการควบคุมระยะไกล สวิตช์การควบคุมระยะไกล และตัวแปลงการควบคุมระยะไกล

เซอร์กิตเบรกเกอร์ควบคุมระยะไกล

เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบตัดไฟรั่วลงดินสำหรับการควบคุมระยะไกล

รีเลย์การควบคุมระยะไกล

ตัวแปลงการควบคุมระยะไกล

สวิตช์การควบคุมระยะไกล

(5) ตัวป้องกันวงจร

อุปกรณ์นี้จะรวมถึงตัวป้องกันวงจร (CP) และเซอร์กิตเบรกเกอร์วงจรสำหรับอุปกรณ์ (CBE) อุปกรณ์เหล่านี้จะเป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาดเล็กพิเศษที่มีฟังก์ชั่นการสลับและมีคุณสมบัติการป้องกันเหมือนฟิวส์เพื่อป้องกันอุปกรณ์

ตัวป้องกันวงจร

3.4 สวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า

อุปกรณ์การผลิตและอุปกรณ์หรือเครื่องจักรหลากหลายชนิดในโรงงานจะใช้มอเตอร์ชนิดต่างๆ สวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้าจะทำหน้าที่เปิด ปิด และป้องกันมอเตอร์เหล่านี้

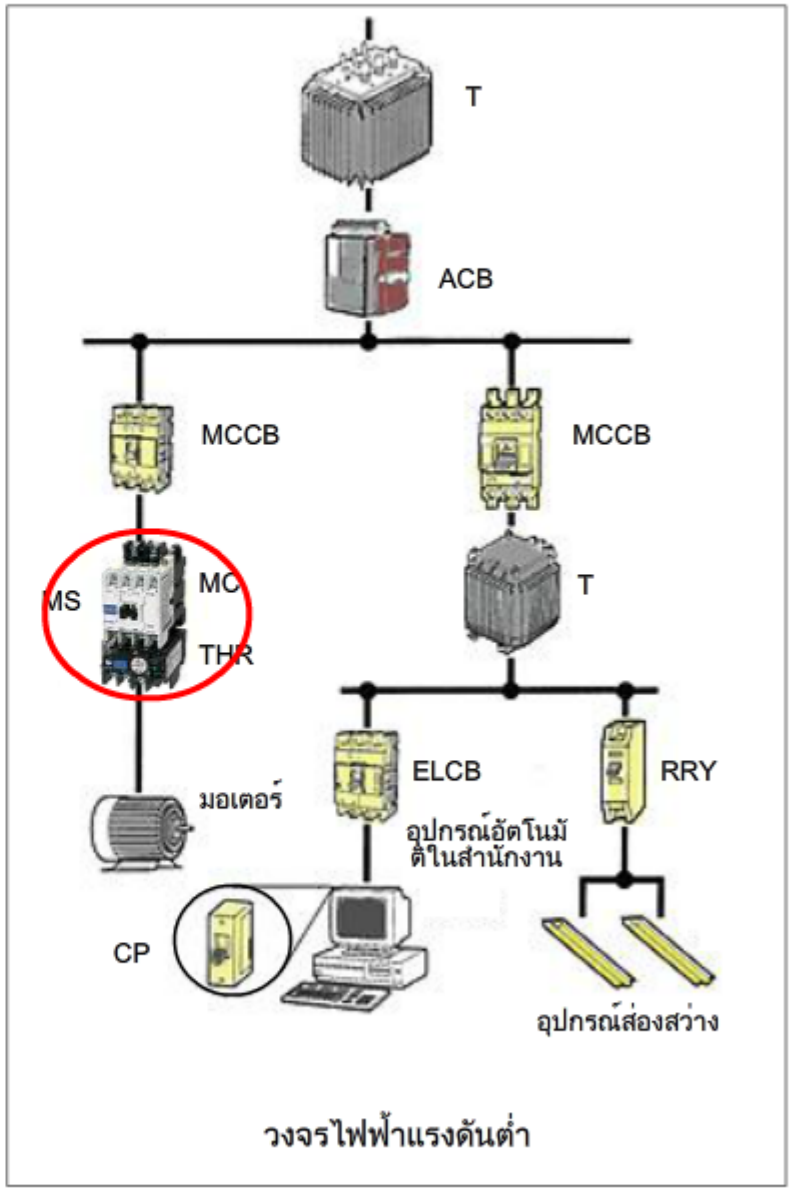
(1) สวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า (MS)

อุปกรณ์เหล่านี้สร้างขึ้นโดยรวมคอนแทคเตอร์แม่เหล็กไฟฟ้าและรีเลย์อุณหภูมิเข้าด้วยกัน
อุปกรณ์ชนิดหลักมีสองแบบ ซึ่งจะสามารถหมุนมอเตอร์ได้เพียงทิศทางเดียว และชนิดที่สามารถทำงานย้อนกลับได้ ซึ่งจะสามารถหมุนมอเตอร์ได้ทั้งทิศไปและทิศกลับ

สวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า = คอนแทคเตอร์แม่เหล็กไฟฟ้า + รีเลย์อุณหภูมิ

สวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้านั้นมีจุดประสงค์การใช้งานดังต่อไปนี้:

- เริ่มและหยุดมอเตอร์
- ป้องกันการไหม้ของมอเตอร์



วงจรไฟฟ้าแรงดันต่ำ

3.4 สวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า

(2) คอนแทคเตอร์แม่เหล็กไฟฟ้า (MC)

อุปกรณ์นี้จะเปิดและปิดหน้าสัมผัสด้วยการทำงานของแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้น จึงมีอายุการใช้งานที่ยาวนานและสามารถใช้เปิดและปิดได้บ่อยๆ เช่น ในการทำงานของมอเตอร์

อุปกรณ์นี้ยังรวมถึงคอนแทคเตอร์แบบความไวสูง ซึ่งควบคุมโดยทรานซิสเตอร์และโซลิทสเตทคอนแทคเตอร์

คอนแทคเตอร์แม่เหล็กไฟฟ้า

คอนแทคเตอร์ความไวสูง

คอนแทคเตอร์โซลิดสเตท

คอนแทคเตอร์โซลิดสเตท

(3) รีเลย์อุณหภูมิ (THR)

อุปกรณ์เหล่านี้จะใช้เพื่อป้องกันมอเตอร์จากการโอเวอร์โหลด ในกรณีของการโอเวอร์โหลด ไบเมทัลจะตอบสนองต่อความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าเกิน และเปิดการเชื่อมต่อภายใน การดำเนินการดังกล่าวจะเป็นการหยุดการทำงานของคอยล์ที่เชื่อมต่อกับการสัมผัสดังกล่าว เปิดคอนแทคเตอร์แม่เหล็กไฟฟ้า และป้องกันมอเตอร์

รีเลย์อุณหภูมิ

3.5 สรุปเนื้อหาในบทนี้

ในบทนี้คุณได้เรียนรู้สิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

- อุปกรณ์การควบคุมและส่งจ่ายพลังงานของ Mitsubishi นั้นจะแบ่งเป็นประเภทแรงดันไฟฟ้าสูงและแรงดันไฟฟ้าต่ำ เครื่องมือวัด เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันไฟฟ้าต่ำ และสวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า

- อุปกรณ์แรงดันไฟฟ้าสูงนั้นมักจะใช้ในอุปกรณ์รับพลังงานแรงดันไฟฟ้าสูงชนิดคูบิเคิล และจะรวมถึงสวิตช์อากาศแบบติดเสา (PAS) ตัวแปลงกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าแบบรวม (VCT) สำหรับการจ่ายพลังงานและการรับ สวิทช์ตัดตอน (DS) ตัวแปลงกระแสไฟฟ้า (CT) รีเลย์กระแสไฟฟ้าเกิน (OCR) เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบสูญญากาศ (VCB) โหลดเบรกสวิทช์แบบมีฟิวส์ (LBS พร้อมด้วย PF) ฟิวส์ (PF) ตัวแปลง (T) คอนแทคเตอร์แม่เหล็กไฟฟ้าสูญญากาศ (VMC) คาปาซิเตอร์ (SC) ซีรียีรีแอคเตอร์ (SR) และอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้ากระชากจากฟ้าผ่า (LA)

- นอกจากตัวแปลงแรงดันไฟฟ้าแบบรวมและตัวแปลงกระแสไฟฟ้า (VT, CT) มาตรวัดวัตต์ต่อชั่วโมง (WHM), มาตรวัดกระแสไฟฟ้าที่บ่งชี้ได้ (M) และทรานส์ดิวเซอร์ (TD) แล้ว เครื่องมือวัดยังรวมถึงตัวควบคุมตัวประกอบกำลัง (APFC) มาตรวัดความต้องการ (DM) เพื่อการตรวจสอบและควบคุม และสวิตช์เวลา (TS) ด้วย

- เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันไฟต่ำนั้นจะรวมถึงโมเดสเคสเซอร์กิตเบรกเกอร์ (MCCB) สำหรับสายไฟ เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบตัดไฟรั่วลงดิน (ELCB) แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (ACB) อุปกรณ์ควบคุมระยะไกล เช่น รีเลย์การควบคุมระยะไกล (RRY) และตัวป้องกันวงจร (CP)

- สวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า (MS) สร้างขึ้นโดยรวมคอนแทคเตอร์ (MC) แม่เหล็กไฟฟ้าและรีเลย์อุณหภูมิ (THR) เข้าด้วยกัน

คุณได้เรียนรู้เนื้อหาในหลักสูตร การควบคุมและส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าเบื้องต้น (ผลิตภัณฑ์การควบคุมการส่งจ่ายพลังงาน) จบแล้ว

ขอขอบคุณที่เรียนรู้เนื้อหาในหลักสูตรนี้

เราหวังว่าคุณจะเพลิดเพลินกับเนื้อหาในบทเรียนและหวังว่าข้อมูลที่ได้รับจากหลักสูตรนี้จะเป็นประโยชน์ต่อคุณในอนาคต

คุณสามารถทบทวนหลักสูตรได้ทุกเมื่อที่คุณต้องการ

ทบทวน ปิด