

คำนำ

ตำราคู่มือช่างไฟฟ้าเรือเล่มนี้ กพล.กผร. ได้ดำเนินการจัดทำและปรับปรุงใหม่ เพื่อให้สอดคล้องกับอุปกรณ์ไฟฟ้าในเรือ ด้วยวัตถุประสงค์ที่จะให้ผู้เข้ารับการอบรม ซึ่งเป็นข้าราชการชั้นประทวนสาขาช่างกลเรือ แต่ไม่ใช่ช่างไฟฟ้าโดยตรง ได้มีความรู้และความเข้าใจ เพื่อที่จะนำไปปฏิบัติงานภายในเรือได้ โดยไม่เกิดความเสียหายต่อวัตถุ และเป็นอันตรายต่อบุคคล

วิชาช่างไฟฟ้าเรือนี้มีบทบาทมากในเรือทุกประเภทและทุกลำในราชนาวี ทั้งในส่วนที่เกี่ยวข้องกับความเข้าใจในการทำงานและความปลอดภัย ครั้นจะให้ผู้เข้ารับการอบรมที่ไม่ใช่ช่างไฟฟ้าโดยตรง เรียนมากเท่าช่างไฟฟ้าทั่วๆ ไป ก็ไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากมีเวลาจำกัด จึงต้องเลือกเฉพาะเรื่องที่จำเป็นที่กำลังพลประจำเรือต้องนำไปใช้และปฏิบัติ ดังที่ผู้จัดทำได้เรียบเรียงไว้ในเล่มนี้

ในการจัดทำคู่มือเล่มนี้ ยังไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร แต่ก็พยายามแก้ไขปรับปรุงให้เหมาะสมต่อไป หากผู้ใดพบข้อบกพร่อง กรุณาแจ้งมาที่แผนกไฟฟ้า กพล.กผร.

ร.ท.สมจิตต์ อินทรวีสูตร

1 มี.ค. 2547



1. ความรู้เบื้องต้นทางไฟฟ้า	
ทฤษฎีทางไฟฟ้า	1
วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น	8
วิธีตัดต่อสายไฟ	15
2. Battery	19
3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Generator)	27
4. คุณสมบัติของ ความต้านทาน ความเหนี่ยวนำ และความจุไฟฟ้า	35
5. กำลังไฟฟ้าในระบบ 3 Phase	39
6. การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	41
7. ข้อขัดข้องและการแก้ไขเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	49
8. Multimeter	52
9. Transformer	63
10 Rectifier	72
11. D.C Motor	78
12. A.C Motor	81
Single Phase Motor	90
Split Phase Motor	90
Capacitor Motor	92
Shaded Pole Motor	95
Universal Motor	97
Repulsion Motor	98
Three Phase Motor	101
Induction Motor 3 Phase แบบ Squirrel Cage Rotor	101
Induction Motor 3 Phase แบบ Wound Rotor	105
Motor 3 Phase แบบ Synchronous Motor	107
วิธีอ่านคุณสมบัติของ Motor	110
13. ข้อขัดข้องและการแก้ไข AC Motor	114
14. การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ	122
15 Synchro System	135
16. การระวางรักษาเครื่องไฟฟ้าในเรือ	141

เอกสารอ้างอิง

- | | |
|--|-------------------------------|
| 1. หนังสือไฟฟ้าหลักสูตรอาชีพพนักงาเอก | กผล.กผลร. |
| 2. คู่มือวิชาไฟฟ้าชั้นกลางเล่ม 2 | ยศ.ทร. |
| 3. คู่มือสำหรับผู้ปฏิบัติการเรือตรวจการป็น | เรือชุด ตกป. |
| 4. คู่มือไฟฟ้า | ฝ่ายฝึกอบรม การไฟฟ้าฯ บางปะกง |
| 5. การควบคุมมอเตอร์ | - |
| 6. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ | ณรงค์ ขอนตะวัน |
| 7. Electric Motor Repair | |

ความรู้เบื้องต้นทางไฟฟ้า

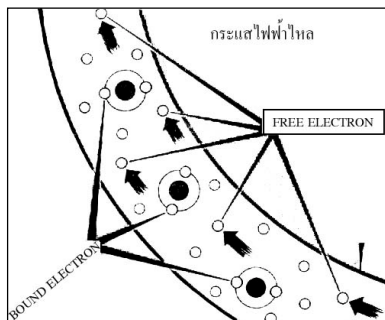
ทฤษฎีทางไฟฟ้า

1. ประจุไฟฟ้า (Electric Charge)

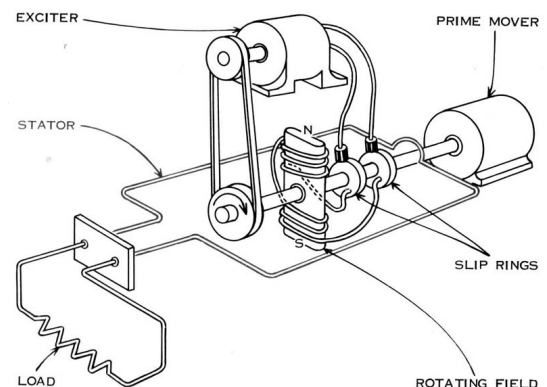
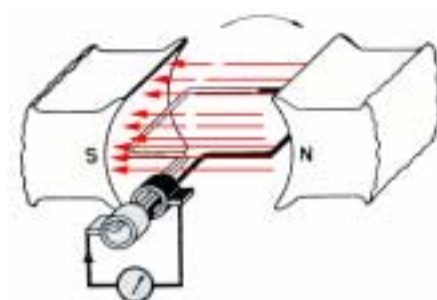
- ปริมาณของสสารประกอบขึ้นจากประจุไฟฟ้า
- โปรตอน เป็น ประจุไฟฟ้าบวก รวมกันอยู่ที่แกนกลางของปรมาณู
- อิเลคตรอนเป็นประจุไฟฟ้าลบซึ่งโคจรรอบ ๆ ปรมาณู
- แกนกลางของปรมาณูเรียกว่า นิวเคลียส จะมีนิวตรอนอยู่รวมกันกับโปรตอน
- นิวตรอนเป็นประจุไฟฟ้าและเป็นส่วนที่หนักของปรมาณู
- ที่นิวเคลียสจะมีสนามไฟฟ้าคอยดึงดูดอิเลคตรอนในปรมาณูไว้
- อิเลคตรอนที่ถูกสนามไฟฟ้าดึงดูดไว้จนไม่สามารถหลุดออกนอกวงโคจรได้ง่ายๆ เรียกว่า อิเลคตรอนในเขต (Bound Electrons)
- อิเลคตรอนที่อยู่ส่วนนอกๆ อาจหลุดออกจากวงโคจรได้ เรียกว่า อิเลคตรอนอิสระ (Free Electrons)

2. กระแสไฟฟ้า (Current)

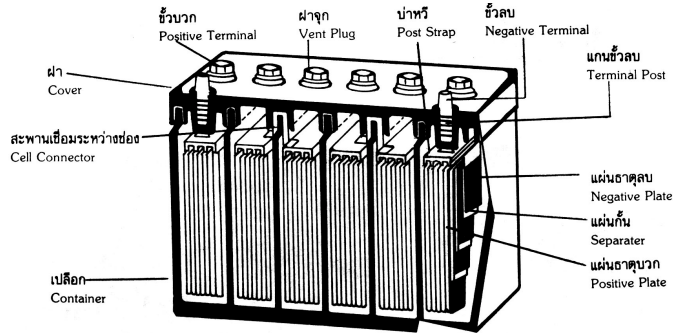
- คือการเคลื่อนที่ของอิเลคตรอนอิสระจากปรมาณูหนึ่งไปอีกปรมาณูหนึ่ง
- กระแสไฟฟ้าไหลจากลบไปบวก
- ปริมาณของวัสดุใดๆ ที่มีอิเลคตรอนมากเกินจำนวนวัสดุนั้นจะมีอำนาจไฟฟ้าเป็นลบ
- ปริมาณของวัสดุที่ขาดอิเลคตรอนไป วัสดุนั้นจะมีอำนาจทางไฟฟ้าเป็น บวก
- ปริมาณที่มีอิเลคตรอนมาก จะถ่ายเทให้ปริมาณที่มีอิเลคตรอนน้อยกว่า
- การถ่ายเทอิเลคตรอนนี้เอง คือ การทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหล



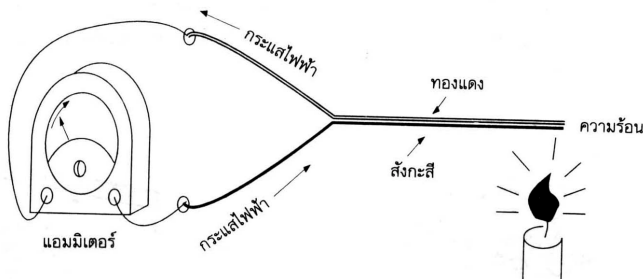
- ต้นกำเนิดไฟฟ้า มีการค้นพบ สรุปได้เป็นหลักการกำเนิดไฟฟ้าไว้ 6 วิธี คือ
- ★ วิธีการเหนี่ยวนำ โดยการใช้สนามแม่เหล็กและขดลวด เป็นหลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)



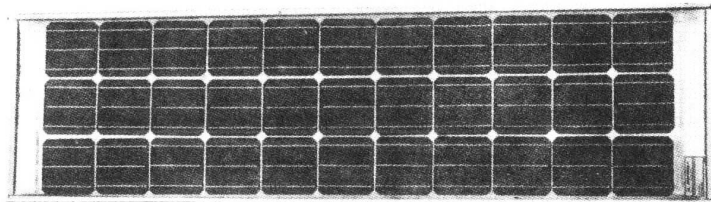
- ★ **วิธีการทางเคมี** โดยการใช้สารละลายกรดกำมะถัน (Sulfuric Acid) เป็นตัวกลางและใช้แท่งโลหะต่างชนิดทำเป็นขั้วไฟฟ้าบวก (+) และขั้วไฟฟ้านลบ (-) บรรจุลงในสารละลายดังกล่าว เป็นหลักการของการทำแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ



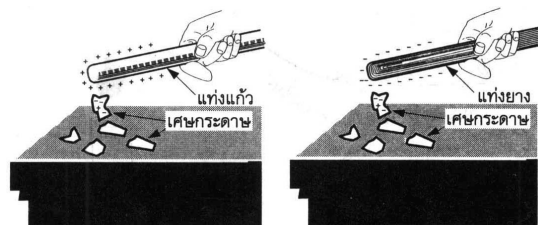
- ★ **วิธีทางความร้อน** โดยการใช้แท่งโลหะ 2 ชนิดต่อกันตามความยาวและนำไปใช้งานโดยเมื่อให้ความร้อนกับโลหะคู่หนึ่ง จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลจากโลหะชนิดหนึ่งไปสู่อีกชนิดหนึ่ง เป็นหลักการของเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ซึ่งนิยมนำไปใช้เป็นตัววัดอุณหภูมิ



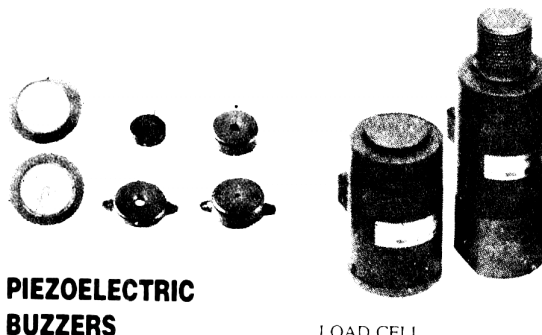
- ★ **วิธีการทางแสง** โดยการใช้สารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอนสร้างเป็นเซลล์กำเนิดไฟฟ้าหรือเซลล์แสงอาทิตย์ (Photo cell หรือ photo-voltaic cell) เพื่อรับแสงจากดวงอาทิตย์ หรือแหล่งกำเนิดแสงอื่นๆ แปลงเป็นกระแสไฟฟ้า



- ★ **วิธีการใช้การขัตุ** โดยการใช้ผ้าขนสัตว์หรือผ้าสักหลาดถูกับแท่งยาง หรือแท่งอำพันจะทำให้แท่งยางหรือแท่งอำพันนั้นมีอำนาจดึงดูดวัตถุต่าง ๆ ได้ เป็นหลักการของไฟฟ้าสถิต (Static Electricity)

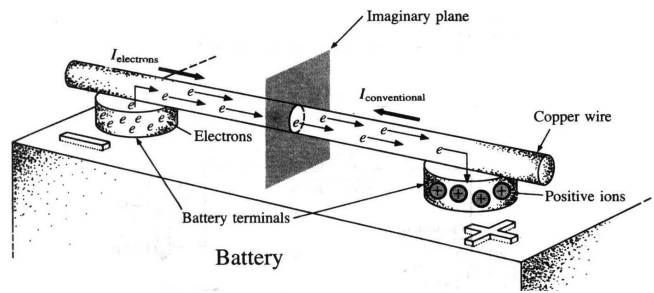


- ★ **วิธีการใช้แรงกดอัด** โดยใช้วัสดุที่เรียกว่าเพียโซ (Piezoelectric) เช่น หินเขี้ยวหุนมาน หรือแท่งแก้วควอทซ์ ซึ่งมีคุณสมบัติจะจ่ายกระแสไฟฟ้าจำนวนเล็กน้อยออกมาเมื่อได้รับแรงกดอัด นิยมนำไปใช้เป็นตัววัดน้ำหนักทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น โหลดเซลล์ (Load Cell) หรือออกไฟฟ้านขนาดเล็ก (Buzzer)



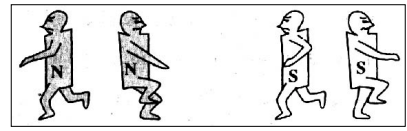
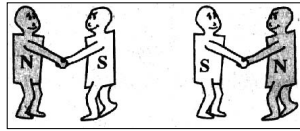
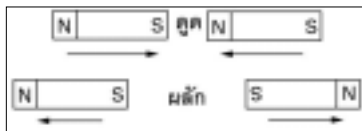
- LOAD CELL
- ใช้ชั่งน้ำหนักหรือวัดระดับของเหลว
 - มีความแม่นยำสูง $\pm 0.05\%$ FS
 - มีขนาดตั้งแต่ 2 kg-1,500 ton

- ต้นกำเนิดไฟฟ้าดังกล่าว ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่จะมี 2 ขั้ว คือขั้วบวก (+) และขั้วลบ (-) ถ้านำกระแสไฟฟ้าไปต่อระหว่างขั้วทั้งสองจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านภาระไฟฟ้านั้นนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น นำหลอดไฟฟ้าต่อกับขั้วทั้งสองของแบตเตอรี่จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลจากขั้วบวกของแบตเตอรี่ผ่านไส้หลอดไฟฟ้าทำให้ไส้หลอดร้อนแดงเปล่งแสงสว่างออกมา ดังแสดงในรูป



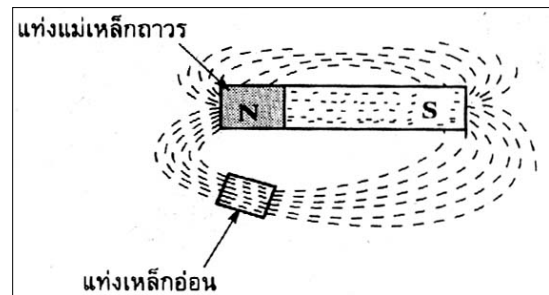
3. อำนาจแม่เหล็กทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า

- 3.1. สารแม่เหล็ก คือวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดสาร มีขั้ว 2 ขั้ว คือขั้วเหนือและขั้วใต้
- 3.2. ขั้วเหมือนกันจะดูดกันและขั้วต่างกันจะผลักกัน
- 3.3. อำนาจแม่เหล็กจะมีมากที่สุดตรงปลายขั้วทั้งสอง



4. แม่เหล็กถาวรและแม่เหล็กชั่วคราว

- 4.1. แม่เหล็กที่ทำจากเหล็กกล้า จะมีอำนาจเหนี่ยวนำมาก เรียกว่า เป็นแม่เหล็กถาวร
- 4.2. เหล็กอ่อนที่ทำเป็นแม่เหล็ก จะสูญเสียอำนาจได้ง่าย เราเรียกว่า แม่เหล็กชั่วคราว

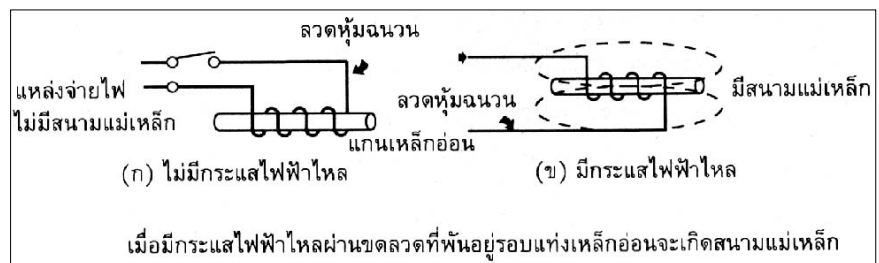


5. แม่เหล็กไฟฟ้า

- 5.1. สายไฟฟ้าที่มีกระแสไหล จะมีอำนาจแม่เหล็กอยู่รอบๆ ตัวมันนั้น
- 5.2. แต่ถ้าเราใช้สายนั้นพันเป็นขด อำนาจแม่เหล็กจะวิ่งผ่านแกนกลางของขดลวดนั้น
- 5.3. ถ้าเราใช้แท่ง

เหล็กเป็นแกน
อำนาจแม่เหล็ก
ก็จะดีขึ้น

- 5.4. ค่าของอำนาจแม่เหล็กจะมาก



หรือน้อยขึ้นอยู่กับ Ampere Turn คือ

1. ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวด (Ampere)
2. จำนวนรอบของขดลวด (Turn)

- 5.5. ถ้าเราใช้ไฟฟ้ากระแสตรงต่อเข้ากับขดลวด อำนาจแม่เหล็กจะมีขั้วคงที่
- 5.6. ถ้าเราใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ อำนาจแม่เหล็กจะเปลี่ยนขั้วอยู่ตลอดเวลา

6. การเกิดไฟฟ้าจากแม่เหล็ก

6.1. เมื่อใช้แม่เหล็กและตัวนำเคลื่อนที่ผ่านกัน จะเกิดไฟฟ้าที่ตัวนำได้

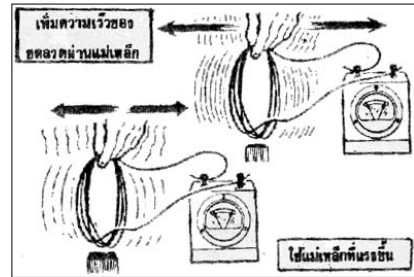
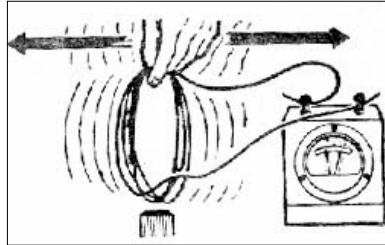
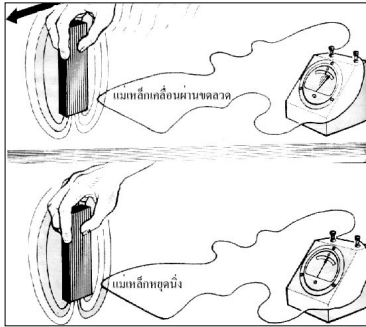
6.2. การเกิดไฟฟ้าแบบนี้เราเรียกว่า การเหนี่ยวนำ (Induction)

6.3. ค่าของกระแสไฟฟ้าจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

1. ความเร็ว

2. อำนาจแม่เหล็ก

3. ความยาวของลวดตัวนำ



7. หน่วยวัดของไฟฟ้า

หน่วยวัดไฟฟ้าเบื้องต้นที่ช่างไฟฟ้าจำเป็นต้องรู้ไว้ ได้แก่ แรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความต้านทานไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า ความถี่ แรงม้า ซึ่งแยกกล่าวได้ดังนี้

7.1. แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)

- ★ แรงเคลื่อนไฟฟ้า คือแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการสะสมตัวของประจุไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุด ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากประจุลบไปประจุบวก ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร หรือแรงดันให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านความต้านทานของวงจร
- ★ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นแรงเคลื่อนจากแหล่งกำเนิดจ่ายไปยัง Load ใช้ตัวอักษรเขียนแทน คือ E ส่วนแรงดันไฟฟ้า คือแรงเคลื่อนที่ตกคร่อม (Volt Drop) ที่ Load แรงเคลื่อนไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็น Volt ใช้สัญลักษณ์เป็น V

1 Kilo-Volt (kV)	=	1,000 Volt (V)
1 Volt (V)	=	1,000 Milli-Volt (mV)
1 Milli-Volt (mV)	=	1,000 Micro-Volt (μ V)

- ★ วัดด้วยโวลต์มิเตอร์ (Volt Meter) ซึ่งเป็นมาตรวัดที่ต้องต่อแบบขนานกับวงจร

7.2. กระแสไฟฟ้า (Current)

- ★ กระแสไฟฟ้า คืออิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากอะตอมหนึ่งไปสู่อีกอะตอมหนึ่ง เป็นการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง ขณะนำเอาวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าต่างกันอย่างไวใกล้กัน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าลบไปยังวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าบวก สัญลักษณ์ที่ใช้ คือ I
- ★ กระแสไฟฟ้ามีหน่วยวัดเป็น แอมแปร์ (Ampere) สัญลักษณ์ที่ใช้ คือ A
- ★ วัดด้วยแอมมิเตอร์ (Amp Meter)ซึ่งเป็นมาตรวัดที่มีค่าความต้านทานต่ำมาก จึงต้องต่อเป็นอนุกรมกับวงจร

1 Ampere (A)	=	1,000 Milli-Ampere (mA)
1 Milli-Ampere (mA)	=	1,000 Micro Ampere (μ A)

★ กระแสไฟฟ้ามี 2 ชนิด คือ

- ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current) คือ ไฟฟ้าที่มีทิศทางการไหลของอิเล็กตรอนไปในทิศทางเดียวตลอด ดังรูปได้แก่ ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่
- ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current) คือ ไฟฟ้าที่มีทิศทางการไหลของอิเล็กตรอนไปในทิศทางเปลี่ยนแปลงซ้ำๆ กันตลอดเวลา ดังรูป

7.3. ความต้านทานไฟฟ้า (Resistance)

- ★ ความต้านทานไฟฟ้า คือ วัตถุที่ต้านการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะต้านการไหลของกระแสมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุนั้นๆ ถ้าวัตถุมีความต้านทานมากกระแสจะผ่านได้น้อย ถ้าวัตถุมีความต้านทานน้อยกระแสจะผ่านได้มาก ใช้สัญลักษณ์ R
- ★ ความต้านทานมีหน่วยวัดเป็น โอห์ม (Ohm) สัญลักษณ์ใช้แทน คือ Ω
- ★ วัดด้วยโอห์มมิเตอร์ (Ohm Meter)
- ★ ถ้าต้องการวัดความต้านทานฉนวน ใช้วัดด้วย เมกเกอร์ (Megger)

$$\begin{aligned} 1 \text{ Meg ohm (M Ohm)} &= 1,000 \text{ Kilo ohm (K Ohm)} \\ 1 \text{ Kilo ohm (K Ohm)} &= 1,000 \text{ Ohm (Ohm)} \end{aligned}$$

7.4. กำลังไฟฟ้า (Electric Power)

- ★ กำลังไฟฟ้า คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานหรืออัตราการทำงาน ใช้สัญลักษณ์ P มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) สัญลักษณ์ใช้แทนคือ W และสามารถวัดได้ด้วยวัตต์มิเตอร์ (Watt Meter)

$$\begin{aligned} 1 \text{ Megawatt (MW)} &= 1,000 \text{ Kilowatt (kW)} \\ 1 \text{ Kilowatt (kW)} &= 1,000 \text{ Watt (W)} \\ 1 \text{ Watt (W)} &= 1,000 \text{ Milliwatt (mW)} \end{aligned}$$

- ★ สมการของกำลังไฟฟ้า (P)

$$P = EI \quad \text{หรือ} \quad P = I^2 R \quad \text{หรือ} \quad P = \frac{E^2}{R}$$

P คือ ค่าของกำลังงานทางไฟฟ้าคิดเป็น **Watt.** E คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า คิดเป็น **Volt.**

I คือ ค่าของกระแสไฟคิดเป็น **Ampere.** R คือ ความต้านทานไฟฟ้าคิดเป็น **Ohm**

- ★ ค่ากำลังไฟฟ้าเปลี่ยนเป็น กำลังงานทางกล

$$\begin{aligned} 746 \text{ Watt} &= 1 \text{ HP} \\ 1000 \text{ Watt} &= 1 \text{ kW} \\ \text{หรือ } 1000 \text{ Watt} &= 1.34 \text{ HP.} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง ปั๊มน้ำไฟฟ้าตัวหนึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ 240 Volt กินกระแสไฟฟ้า 10 แอมแปร์ อยากทราบว่าขนาดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์มีค่าเท่าไร

วิธีทำ

$$\begin{aligned} P &= EI \\ &= 10 \text{ A} \times 240 \text{ V.} \\ &= 2,400 \text{ W หรือ } 2.4 \text{ kW.} \end{aligned}$$

7.5. พลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy)

- ★ พลังงานไฟฟ้า คือกำลังไฟฟ้านำไปใช้ในระยะเวลาหนึ่ง มีหน่วยเป็น Watt-Hour หรือ Unit เช่น เต้าไฟฟ้าขนาด 800 Watt ใช้งานตลอดเวลา 30 นาที พลังงานที่ใช้ไปคือ 800×0.5 Watt-Hour จะได้ 400 Watt-Hour
- ★ พลังงานไฟฟ้าวัดได้ด้วย Watt-Hour Meter หรือ Kilowatt-hour Meter (Kwh meter) ซึ่งเป็นมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้าน
- ★ พลังงานไฟฟ้า $= P = EI$

เมื่อ	W	คือ	พลังงานไฟฟ้า	หน่วยเป็น	Watt-Hour (Wh)
	P	คือ	กำลังไฟฟ้า	หน่วยเป็น	Watt (W)
	E	คือ	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	หน่วยเป็น	Volt (V)
	I	คือ	ค่าของกระแสไฟ	หน่วยเป็น	Ampere (A)
	T	คือ	เวลา	หน่วยเป็น	Hour (h)

$1 \text{ KWh} = 1,000 \text{ Wh} = 1 \text{ Unit}$

7.6. ความถี่ (Frequency)

- ★ ความถี่ หมายถึง จำนวนรอบของกระแสไฟฟ้าสลับต่อวินาที มีหน่วยเป็น Hertz (Hz)
- $1 \text{ Hz} = 1 \text{ รอบ/วินาที}$

7.7. รอบ (Cycle)

- ★ รอบ คือ การเปลี่ยนแปลงครบ 360 องศา ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าบวกและค่าลบได้สมบูรณ์ในหนึ่งครั้งของไฟฟ้ากระแสสลับ

7.8. แรงม้า (Horse Power)

- ★ แรงม้าหรือกำลังม้า (HP.) เป็นหน่วยวัดกำลังหรืออัตราการทำงาน โดยกำหนดว่า 1 HP. คืออัตราการทำงานได้ 550 Ft.-Lbs./sec
- ★ $1 \text{ HP.} = 745.7 \text{ Watt}$ (746 วัตต์)

8. ความหมายที่ควรทราบในเรื่องไฟฟ้า

8.1. ฉนวน (Insulator)

- ★ คือวัสดุที่ใช้ความต้านทานสูง ต่อการไหลของไฟฟ้า
- ★ สารโลหะที่ไม่มีอิเล็กตรอนอิสระจะเป็นฉนวนที่ดี
- ★ ฉนวนที่ดีบางอย่าง คือ แก้ว, ไมก้า, ปอร์ทสเลน, ยาง, เบคก้าไลต์, อากาศแห้ง, น้ำบริสุทธิ์

8.2. ตัวนำ (Conductor)

- ★ คือวัสดุที่ยอมให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านไปได้ง่าย
- ★ สารโลหะ จะมีอิเล็กตรอนอิสระมากจึงเป็นตัวนำที่ดี
- ★ ตัวนำทุกชนิดจะมีค่าความต้านทานไม่เท่ากันเพราะมีค่าของ ความนำจำเพาะ
- ★ ความนำจำเพาะ (Conductivity) ของวัสดุนี้ขึ้นอยู่กับ

1. เส้นผ่าศูนย์กลาง 2. ความยาว 3. ชนิดของโลหะ 4. ความร้อน

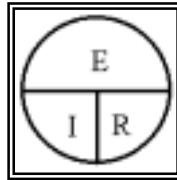
- ★ ตัวนำที่ดีบางอย่าง คือ เงิน, ทองแดง, ทองคำ, อลูมิเนียม, ทองเหลือง, เหล็ก

9. กฎของโอห์ม (Ohm's Law)

- ★ กฎของโอห์ม เป็นกฎที่กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้า และความต้านทานไฟฟ้า กฎของโอห์มซึ่งถือว่าเป็นกฎเบื้องต้นในชั้นพื้นฐานของช่างไฟฟ้า สรุปได้ว่า กระแสไฟฟ้าที่ไหลตามตัวนำ(Conductor) ในวงจรจะมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อความต้านทานไฟฟ้า จากกฎนี้จะได้สูตรดังนี้

$$E = IR \quad \text{หรือ} \quad I = \frac{E}{R} \quad \text{หรือ} \quad R = \frac{E}{I}$$

- ★ ในวงจรที่มีความต้านทานคงที่ เมื่อค่าแรงดันเพิ่ม ค่ากระแสเพิ่มขึ้น
 ◇ กระแสจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับแรงดันเสมอ
- ★ ในวงจรที่มีค่าแรงดันคงที่ เมื่อความต้านทานเพิ่มขึ้น ค่ากระแสจะลดลง
 ◇ กระแสจะเป็น ปฏิกิริยากลับกัน กับความต้านทาน
- ★ วิธีง่าย ๆ ในการหาค่าที่ยังไม่รู้ ให้ปิดค่าที่ต้องการรู้



ตัวอย่าง จงหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทาน $30 \, \Omega$ ที่ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า 120 V.

วิธีทำ
$$I = \frac{E}{R} \quad I = \frac{120}{30} = 4 \, \text{A.}$$

ตัวอย่าง จงหาค่าความต้านทานของหลอดไฟฟ้าอันหนึ่ง ซึ่งต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า 220 V. และปรากฏว่ามีกระแสไหลผ่านหลอดไฟฟ้านี้ 5 A.

วิธีทำ
$$R = \frac{E}{I} \quad R = \frac{220}{5} = 44 \, \Omega$$

ตัวอย่าง กาต้มน้ำไฟฟ้าใบหนึ่ง มีความต้านทาน $20 \, \Omega$ เมื่อต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า ปรากฏว่าเกิดกระแสไหลผ่าน 6 A. อยากทราบว่าแหล่งจ่ายไฟฟ้านี้มีค่าเท่าไร

วิธีทำ
$$E = IR \quad E = 6 \times 20 = 120 \, \text{V.}$$

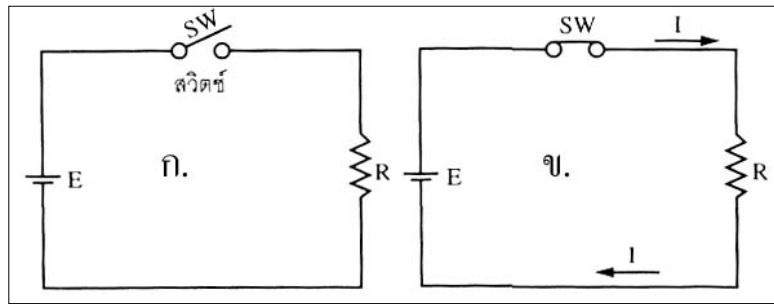
10. ประสิทธิภาพ (Efficiency) หมายถึงความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรกล ที่รับกำลังงานเข้าไป (Power input) และผ่านขั้นตอนต่างๆ จนได้พลังงานออกมาใช้งาน (Power output) ดังนั้นประสิทธิภาพ คือ อัตราส่วนของพลังงานที่จ่ายออกมากับพลังงานที่รับเข้าไป เช่น มอเตอร์ไฟฟ้ารับพลังงานไฟฟ้าเข้าไปทำให้มอเตอร์หมุนได้ จ่ายกำลังงานกลออกมาที่เพลาของมอเตอร์จำนวนหนึ่งซึ่งโดยธรรมชาติของระบบแล้วพลังงานที่จ่ายออกมาจะน้อยกว่าพลังงานที่รับเข้าไปเสมอ ดังสมการของประสิทธิภาพ

$$\% \text{ Eff} = \frac{\text{Power Output}}{\text{Power Input}} \times 100$$

- ★ ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า Power Input เป็นแรงแม่ และ Power Output เป็น Watt
- ★ ในมอเตอร์ Power Input เป็น Watt และ Power Output เป็น Horse Power

วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น (Basic Electric Circuits)

- วงจรไฟฟ้า (Electric Circuits) ประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้า ตัวนำ และสวิตช์



- วงจรเปิด หมายถึงวงจรไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าไหลไม่

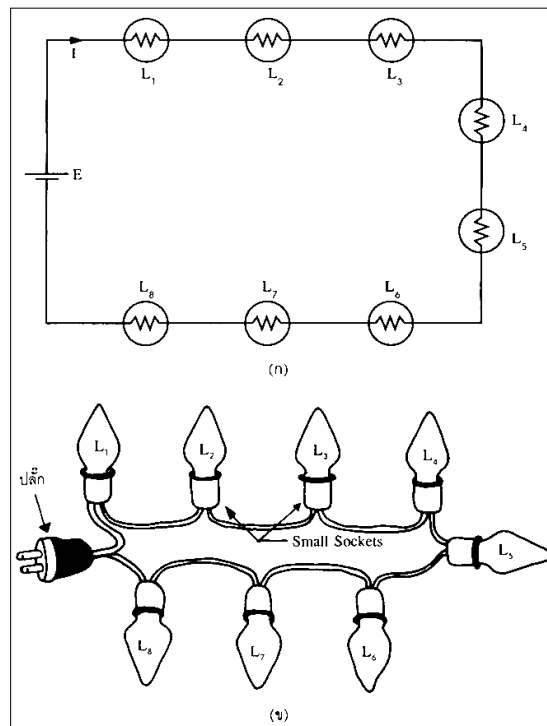
ครบวงจร หรือวงจรขาด (Open Circuit) ดังรูป ก

- วงจรปิด คือ วงจรไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ครบวงจร ทิศทางการไหลของกระแสดังรูป ข

การต่อวงจรไฟฟ้าออกไปใช้งานแยกเป็นดังนี้

1. วงจรอนุกรมหรือวงจรแบบอันดับ (Series Circuit)

- 1.1 เป็นการนำเอาอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า (Load) ที่มีความต้านทานมาต่อเรียงกัน นั่นคือนำเอาสายไฟที่ปลายสายของ Load ที่ 1 ไปต่อสายไฟต้นของ Load ที่ 2 และเอาปลายสายของ Load ที่ 2 ไปต่อกับต้นของ Load ที่ 3 หรือต้นต่อปลายของ Load ถัดไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งเหลือปลาย Load สุดท้ายคู่กับต้น Load อันแรก นำเอาทั้งคู่ไปต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ ดังรูป ก และรูป ข ขวามือ



- 1.2 คุณสมบัติของการต่อวงจรแบบอนุกรม ค่ากระแสไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้า และความต้านทานจะมีคุณสมบัติดังนี้

- ◆ กระแสไฟฟ้าตลอดทั้งวงจรมีค่าเดียวกันตลอด คือ ค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทานแต่ละตัวจะมีค่าเท่ากันหรือเท่ากับค่ากระแสรวมในวงจร

$$\Rightarrow I_t = I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = \dots I_n ; \text{ เมื่อ } I_t \text{ คือค่ากระแสรวมในวงจร}$$

- ◆ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้วงจรมีค่าเท่ากับแรงดันที่ตกคร่อมแต่ละตัวรวมกันโดยตรง

$$\Rightarrow E = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + \dots V_n ; \text{ เมื่อ } E \text{ คือแรงเคลื่อนที่จ่ายให้วงจร}$$

- ◆ ความต้านทานรวมของวงจรมีค่าเท่ากับค่าความต้านทานแต่ละตัวรวมกัน

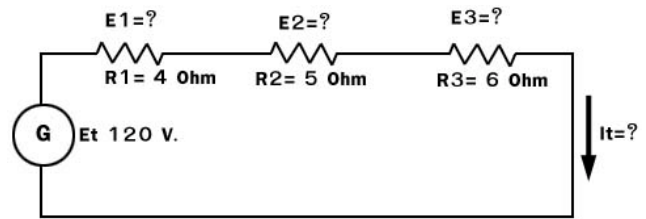
$$\Rightarrow R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n ; \text{ เมื่อ } R_t \text{ คือความต้านทานรวมของวงจร}$$

- ◆ การต่อวงจรแบบอันดับ ถ้ามีตัวต้านทานตัวใดตัวหนึ่งขาดกระแสไฟฟ้าในวงจรจะไหลไม่ครบวงจร (ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร)

ตัวอย่าง เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้แรงเคลื่อน
120 Volt ต่ออนุกรมกับความต้านทาน $4\ \Omega$, $5\ \Omega$, $6\ \Omega$ ตามลำดับ จงหา

ก. กระแสในวงจร

ข. กำลังดันตกที่ความต้านทานแต่ละตัว



วิธีทำ ความต้านทานรวม

$$R_t = 4 + 5 + 6 = 15\ \Omega$$

ก. กระแสในวงจร

$$I_t = \frac{120}{15} = 8\text{Amp}$$

ข. กำลังดันตก

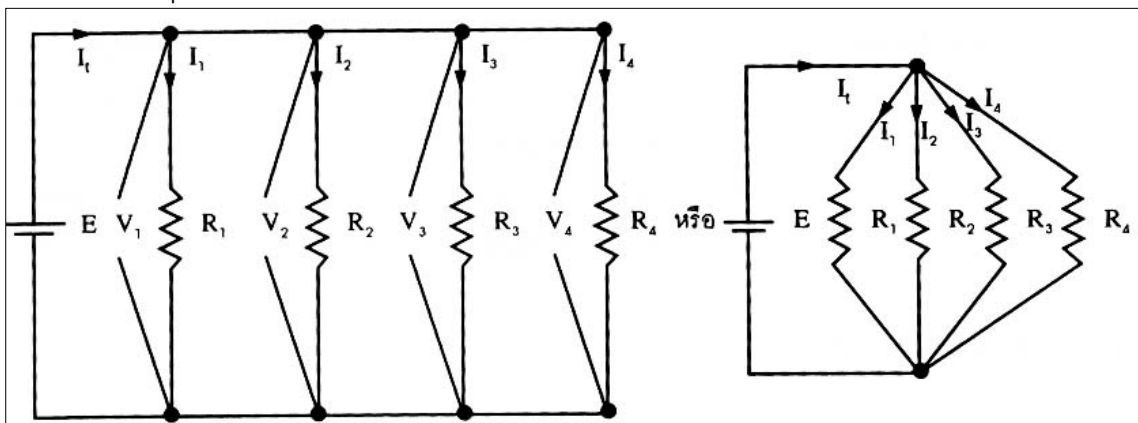
$$E_1 = 4 \times 8 = 32\text{Volt}$$

$$E_2 = 5 \times 8 = 40\text{Volt}$$

$$E_3 = 6 \times 8 = 48\text{Volt}$$

2. วงจรแบบขนาน (Parallel Circuit)

2.1. เป็นการนำเอา Load หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความต้านทานหลายๆ อันมาเรียงคู่กันแล้วนำสายไฟฟ้าที่ต่อเข้าอุปกรณ์แต่ละข้างมารวมกัน และนำไปต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ



2.2. คุณสมบัติการต่อวงจรขนาน ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า ค่าของกระแสไฟฟ้า ความต้านทานจะได้ดังนี้

- ◆ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมความต้านทานแต่ละตัวจะเท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้วงจร

$$\Rightarrow E = V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = \dots V_n$$

- ◆ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทานแต่ละตัวเมื่อรวมกันแล้วจะเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าไปในวงจร (กระแสรวมของวงจร)

$$\Rightarrow I_t = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + \dots I_n$$

- ◆ ความต้านทานรวมของวงจรน้อยกว่าความต้านทานตัวที่น้อยที่สุดในวงจร

$$\Rightarrow \text{การหาต้านทานรวมของวงจรทั่วๆ ไป}$$

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$\Rightarrow \text{ถ้าความต้านทานที่มีค่าต่างกัน ให้หาที่ละคู่ ดังนี้}$$

$$R_t = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

⇒ ถ้าความต้านทานมีค่าเท่ากัน

$$R_t = \frac{R}{R_n}$$

หรือ

$$\frac{\text{ค่าความต้านทาน 1 ตัว}}{\text{จำนวนของความต้านทาน}}$$

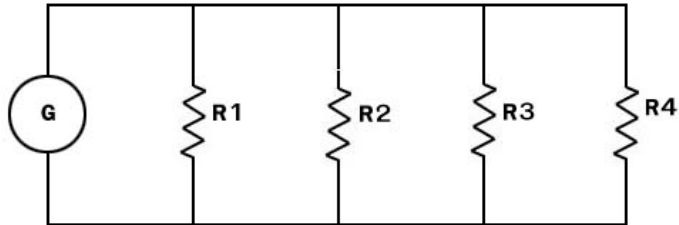
ตัวอย่าง วงจรความต้านทานขนาน ดังรูป จงหา I_1, I_2, I_3, I_4, I_t ,

$$R_1 = 2 \, \Omega,$$

$$R_2 = 4 \, \Omega,$$

$$R_3 = 6 \, \Omega,$$

$$R_4 = 8 \, \Omega$$



วิธีทำ

$$I_1 = \frac{E}{R_1} = \frac{120}{2} = 60 \text{Amps}$$

$$I_2 = \frac{E}{R_2} = \frac{120}{4} = 30 \text{Amps}$$

$$I_3 = \frac{E}{R_3} = \frac{120}{6} = 20 \text{Amps}$$

$$I_4 = \frac{E}{R_4} = \frac{120}{8} = 15 \text{Amps}$$

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

$$I_t = 60 + 30 + 20 + 15 = 125 \text{Amps}$$

$$R_t = \frac{E}{I_t} = \frac{120}{125} = \frac{24}{25} \, \Omega$$

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{1}{8} = \frac{12+6+4+3}{24}$$

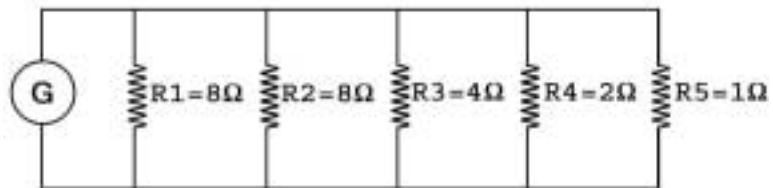
$$R_t = \frac{24}{25} \, \Omega$$

ตัวอย่าง_ตามรูปจงหาความต้านทาน

รวม

วิธีทำ หาความต้านทานรวมโดยแยกที

ละคู่ ดังนี้



$$R1 \& R2 = \frac{8}{2} = 4 \, \Omega$$

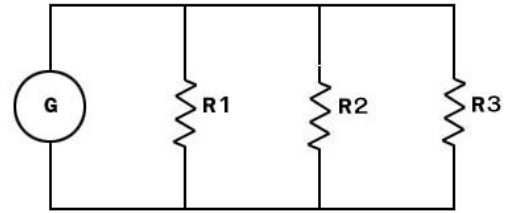
$$R1, R2 \& R3 = \frac{4}{2} = 2 \, \Omega$$

$$R1, R2, R3 \& R4 = \frac{2}{2} = 1 \, \Omega$$

$$R1, R2, R3, R4 \& R5 = \frac{1}{2} = 0.5 \, \Omega$$

ตัวอย่าง ตามรูปวงจรขนานจงหาค่าความต้านทานรวม

$$R_1 = 3 \, \Omega, \quad R_2 = 6 \, \Omega, \quad R_3 = 4 \, \Omega$$



วิธีทำ หาค่าความต้านทานรวมโดยแยกหาทีละคู่ ดังนี้

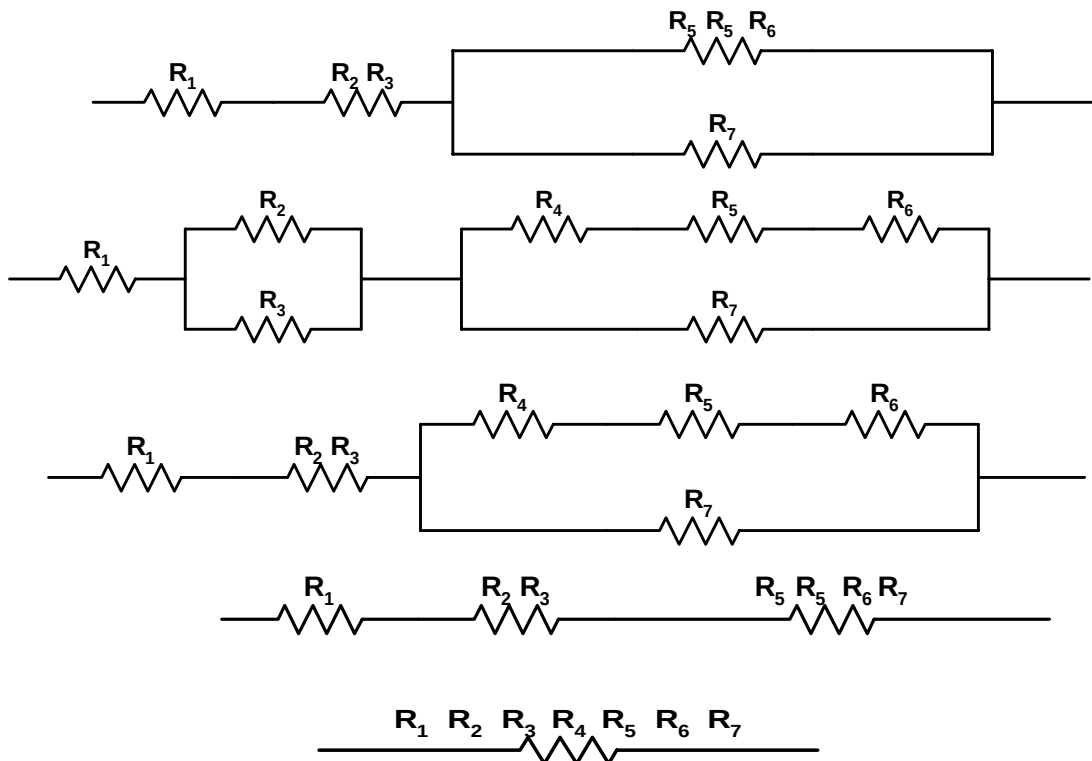
$$\begin{aligned} R_1 \text{ \& \; } R_2 &= \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{3 \times 6}{3 + 6} = 2 \, \Omega \end{aligned}$$

$$R_1, R_2 \text{ \& \; } R_3 = \frac{2 \times 4}{2 + 4}$$

$$R_t = \frac{1}{1 - \frac{1}{3}} \, \Omega$$

3. วงจรแบบผสม (Compound Circuit)

- 3.1. เป็นการนำเอา Load หรือ ความต้านทานมาต่อเข้าด้วยกันทั้งแบบอันดับและแบบขนาน ต้องพิจารณาดูว่าความต้านทานตัวใดต่อแบบอันดับและมีตัวใดบ้างต่อแบบขนาน ดังรูป
- 3.2. ควรทำการหาค่ารวมของ ความต้านทาน ที่อยู่ภายในก่อนจึงหาวงจรภายนอก
- 3.3. จากรูปข้างล่างเป็นวงจรรวมการทำ ทำให้เป็นขั้น ๆ ดังภาพ



ตัวอย่าง จากรูป จงหาค่าความต้านทาน

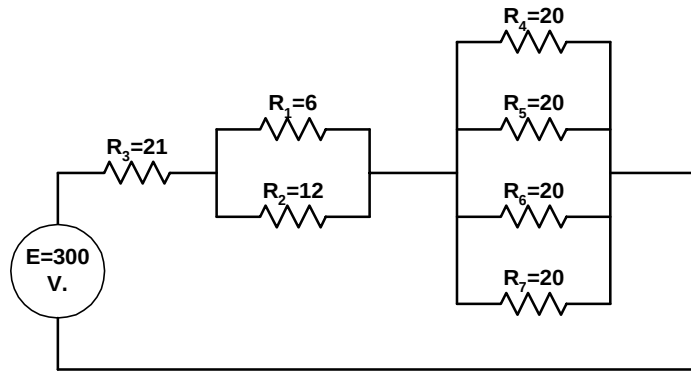
รวมและกระแสรวม

วิธีทำ แบ่งความต้านทานออกเป็น 3 ตอน

$$\begin{aligned} 1. R_1 \text{ \& R}_2 &= \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{6 \times 12}{6 + 12} \\ &= 4 \, \Omega \end{aligned}$$

$$2. R_3 = 21 \, \Omega$$

$$\begin{aligned} 3. \text{สูตร } \frac{\text{ความต้านทาน 1 ตัว}}{\text{จำนวนความต้านทาน}} &= \frac{R_4 R_5 R_6 R_7}{4} = \frac{20}{4} = 5 \, \Omega \\ R_t &= 4 + 21 + 5 = 30 \, \Omega \\ I_t &= \frac{E}{R_t} = \frac{300}{30} = 10 \text{ Amps} \end{aligned}$$

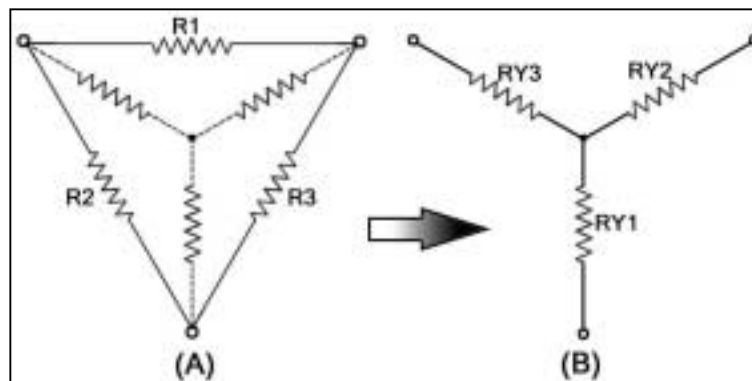


4. วิธีเปลี่ยนค่าความต้านทานที่ต่อแบบ Delta (Δ) ให้เป็นแบบ Star (γ) และจากแบบ Star (γ) ให้เป็นแบบ Delta (Δ)

การเปลี่ยนค่าความต้านทานที่ต่อแบบ Delta (Δ) ให้เป็นแบบ Star (γ) หรือจากแบบ Star (γ) ให้เป็นแบบ Delta (Δ) ซึ่งจะช่วยให้ง่ายต่อการรวมค่าความต้านทานได้มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ไม่สามารถรวมความต้านทานแบบธรรมดา

4.1. การเปลี่ยนค่าความต้านทานที่ต่อแบบ Delta (Δ) ให้เป็นแบบ Star (γ)

การเปลี่ยนค่าความต้านทานที่ต่อแบบ Delta (Δ) ให้เป็นแบบ Star (γ) สามารถพิจารณาจากรูป A และ B



จากรูป จะได้

$$R_{Y1} = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{R_2 R_3}{\sum R_A}$$

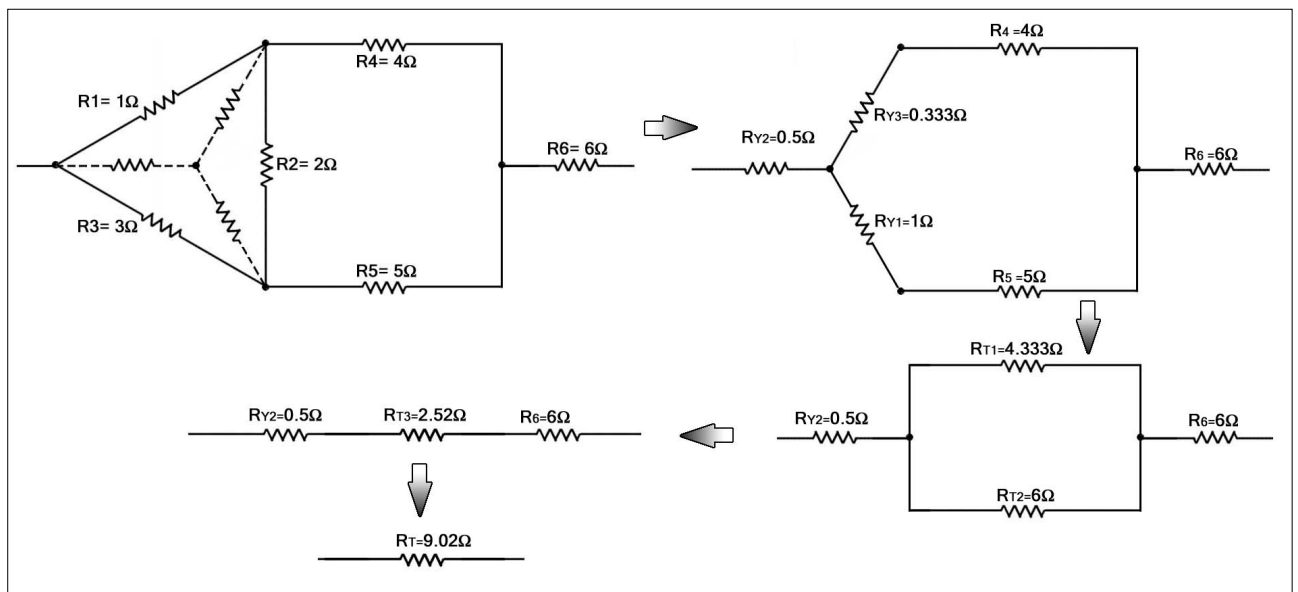
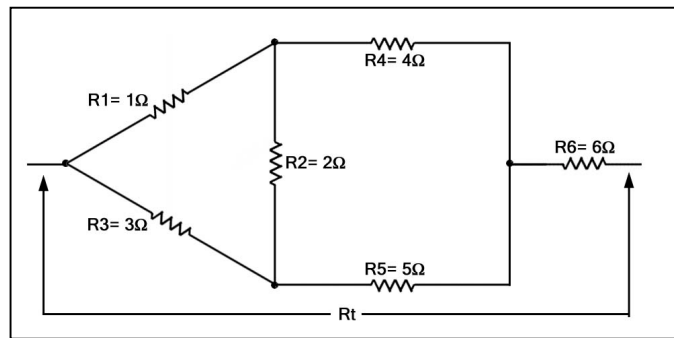
$$R_{Y2} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{R_1 R_3}{\sum R_A}$$

$$R_{Y3} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{R_1 R_2}{\sum R_A}$$

ในที่นี้ $\sum R_A$ หมายถึงผลรวมของความต้านทานทั้ง 3 ตัวซึ่งมีค่าเท่ากับ $R_1 + R_2 + R_3$ และ R_{Y1} หรือ R_{Y2} หรือ R_{Y3} หมายถึงค่าความต้านทานที่ต่อในแบบ Star (γ)

ตัวอย่าง จากรูป จงหาค่าความต้านทานรวม R_T

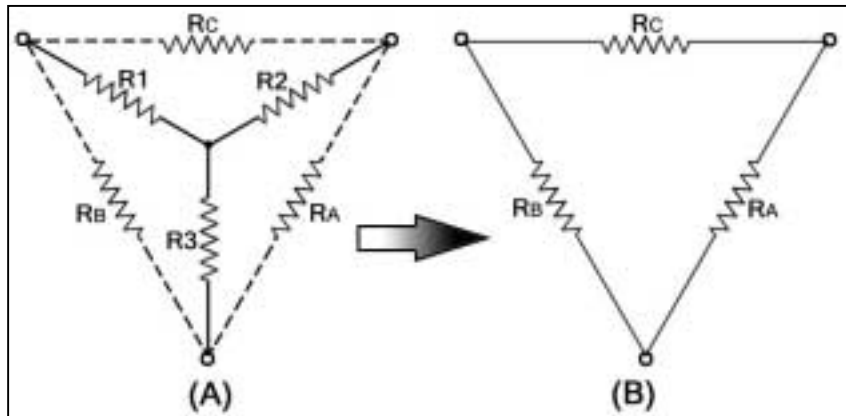
วิธีทำ



$$\begin{aligned}
 R_{Y1} &= \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{2\Omega \times 3\Omega}{1\Omega + 2\Omega + 3\Omega} = 1\Omega \\
 R_{Y2} &= \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{1\Omega \times 3\Omega}{1\Omega + 2\Omega + 3\Omega} = 0.5\Omega \\
 R_{Y3} &= \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{1\Omega \times 2\Omega}{1\Omega + 2\Omega + 3\Omega} = 0.333\Omega \\
 R_{T1} &= R_{Y3} + R_4 = 0.333\Omega + 4\Omega = 4.333\Omega \\
 R_{T2} &= R_{Y1} + R_5 = 1\Omega + 5\Omega = 6\Omega \\
 R_{T3} &= \frac{R_{T1} R_{T2}}{R_{T1} + R_{T2}} = \frac{4.333\Omega \times 6\Omega}{4.333\Omega + 6\Omega} = 2.516\Omega \\
 R_T &= R_{Y2} + R_{T3} + R_6 = 0.5\Omega + 2.516\Omega + 6\Omega = 9.016\Omega
 \end{aligned}$$

4.2. การเปลี่ยนค่าความต้านทานที่ต่อแบบ Star (Y) ให้เป็นแบบ Delta (Δ)

การเปลี่ยนค่าความต้านทานที่ต่อแบบ Star (Y) ให้เป็นแบบ Delta (Δ) สามารถพิจารณาจากรูป A และ B



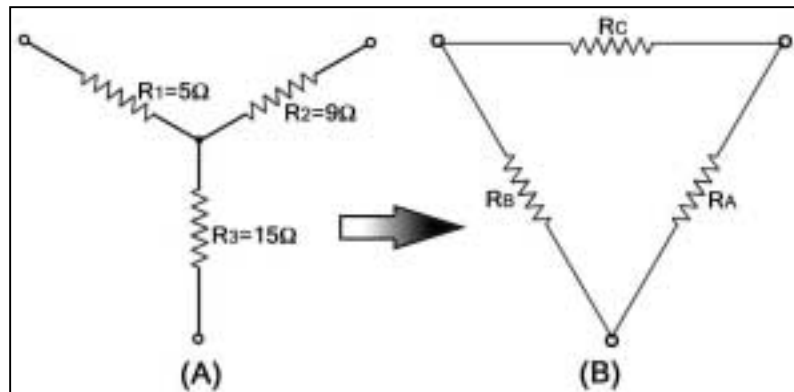
$$R_A = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1} = \frac{\sum R_Y}{R_1}$$

$$R_B = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_2} = \frac{\sum R_Y}{R_2}$$

$$R_C = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_3} = \frac{\sum R_Y}{R_3}$$

ในที่นี้ $\sum R_Y$ หมายถึงผลรวมของความต้านทานแต่ละคู่ที่ต่อแบบ Star (Y) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1$ ส่วนค่าความต้านทาน R_A , R_B และ R_C หมายถึงค่าความต้านทานที่ต่อในแบบ Delta (Δ)

ตัวอย่าง จากรูป จงหาค่าความต้านทาน R_A , R_B และ R_C



วิธีทำ

$$\begin{aligned} \sum R_Y &= R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1 \\ &= 5\Omega \times 9\Omega + 9\Omega \times 15\Omega + 15\Omega \times 5\Omega \\ &= 45\Omega^2 + 135\Omega^2 + 75\Omega^2 \\ &= 255\Omega^2 \end{aligned}$$

$$R_A = \frac{\sum R_Y}{R_1} = \frac{255\Omega^2}{5\Omega} = 51\Omega$$

$$R_B = \frac{\sum R_Y}{R_2} = \frac{255\Omega^2}{9\Omega} = 28.33\Omega$$

$$R_C = \frac{\sum R_Y}{R_3} = \frac{255\Omega^2}{15\Omega} = 17\Omega$$

วิธีตัด-ต่อสายไฟ

เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือเดินสายไฟฟ้า จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการตัดและต่อสายไฟฟ้า เช่น ตัดสายให้สั้น หรือต่อสายให้ยาวจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง การตัดและต่อสายไฟฟ้า จะต้องตัดหรือต่อให้ถูกวิธีพร้อมกับใช้เครื่องมือให้ถูกต้อง เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานตัดต่อสายไฟ จึงได้แยกวิธีการตัดต่อสายไฟดังนี้

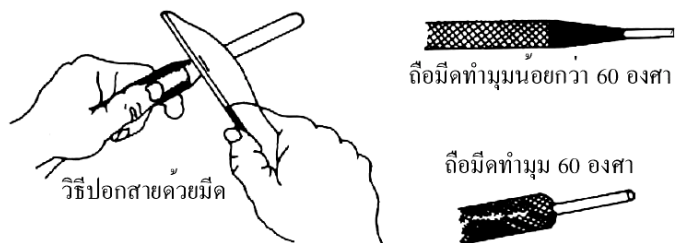
1. วิธีตัดสายไฟ

ให้ใช้คีมตัดสายไฟเพียงอย่างเดียว ไม่ควรใช้มีดตัด ถ้าเป็นสายไฟขนาดเล็กไปจนถึงขนาดกลาง สายไฟหลายเส้น หรือเส้นเดียว รวมทั้งสายแข็งจำนวนน้อยเส้น ต้องเลือกขนาดคีมให้พอดีเช่น อาจใช้คีมตัดสาย หรือคีมช่างไฟดัดรูป ถ้าสายไฟขนาดใหญ่ สายแข็ง หรือสายดีเกลียว ควรใช้คีมขนาดใหญ่หรือใช้เลื่อยตัดเหล็ก



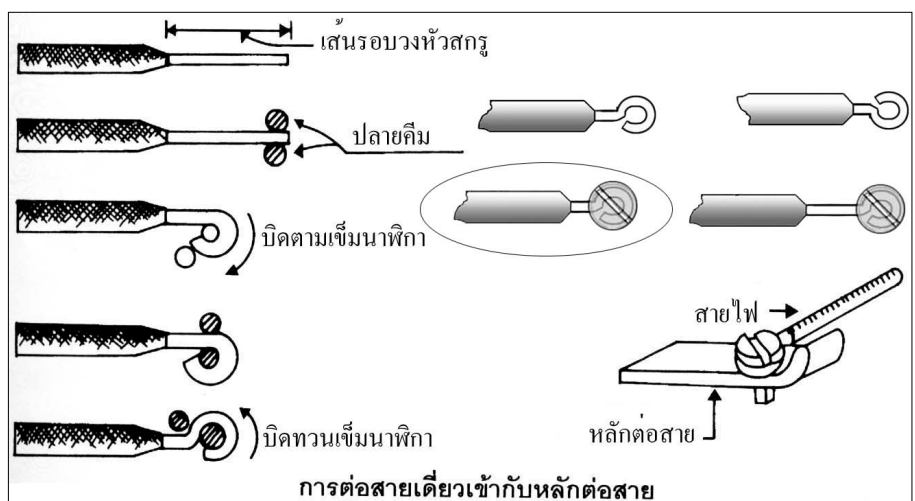
2. วิธีปอกสายไฟ

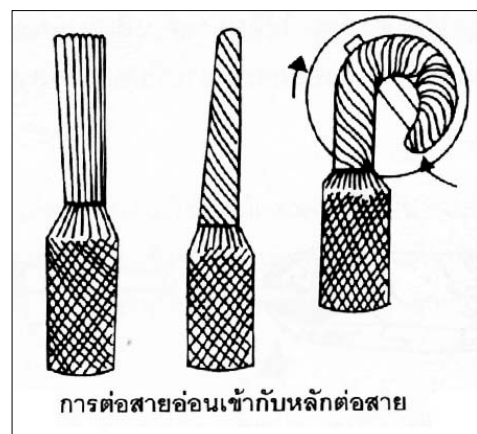
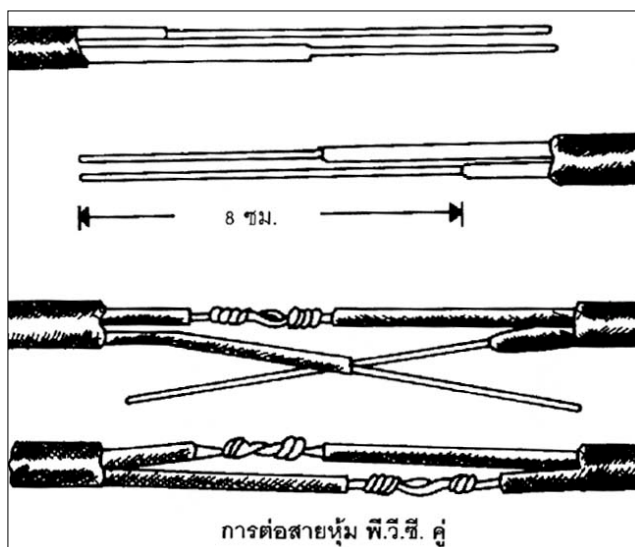
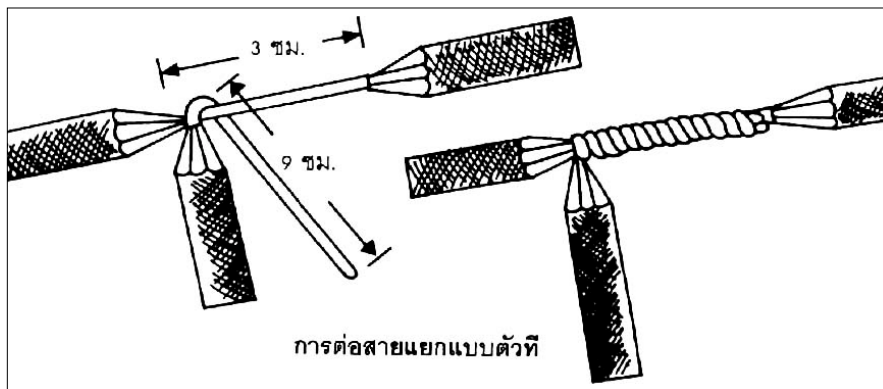
ก่อนที่จะต่อสายหลังจากการตัดสายแล้ว ต้องปอกสายไฟ หมายถึงปอกฉนวนที่หุ้มตัวนำออกเสียก่อน วิธีปอกสายอาจใช้มีดหรือคีมปอกสาย

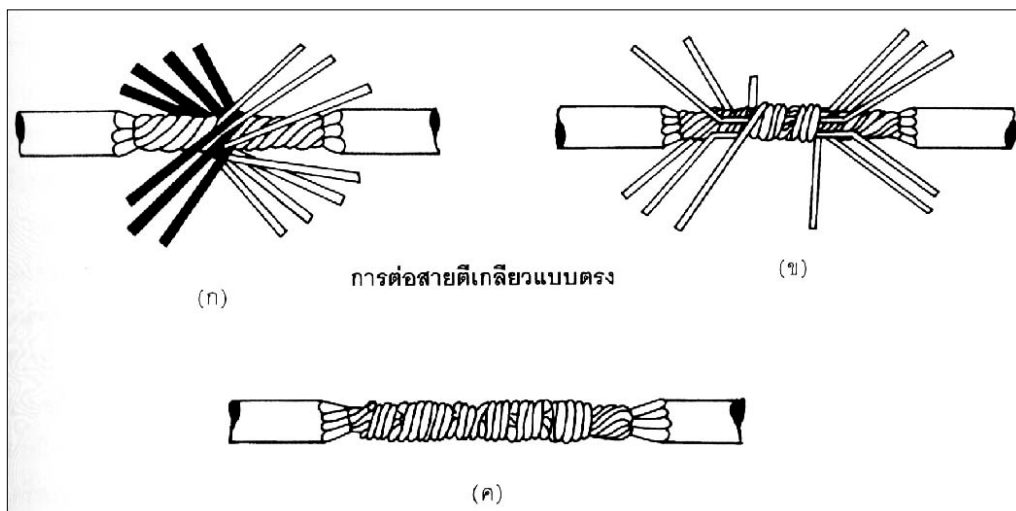
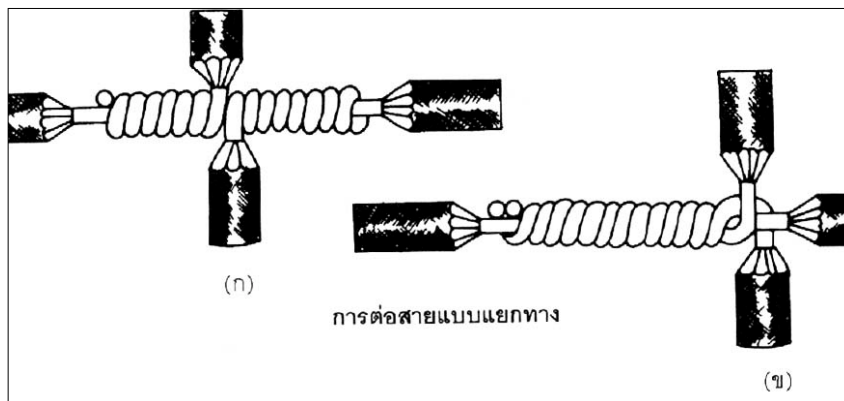
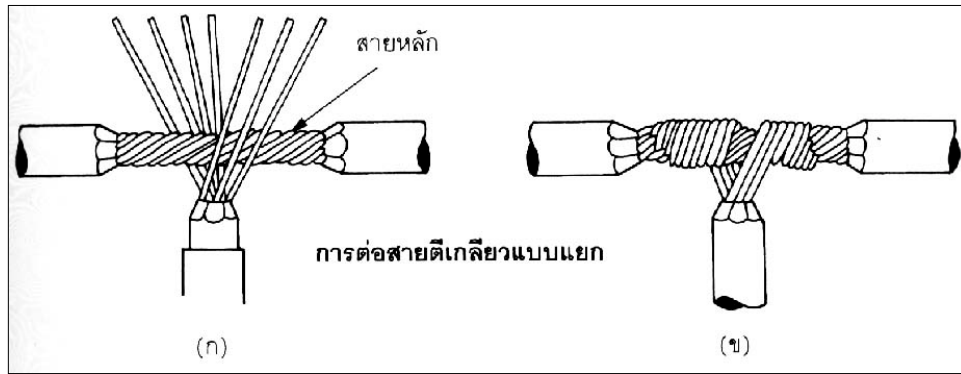


3. วิธีต่อสายไฟ

การต่อสายไฟ เป็นขั้นตอนสุดท้ายหลังจากการตัดและปอกสายที่จะนำกระแสไฟให้ครบวงจร หรือไปสู่อุปกรณ์ไฟฟ้า ถ้าต่อสายไม่แน่นจะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลไม่สะดวก หรือถ้าต่อสายผิดวิธีก็จะทำให้เกิดความสวยงามและอาจทำให้เกิดอันตรายต่อทรัพย์สินและตัวบุคคล การต่อสายแต่ละแบบขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการทำงาน แบบต่างๆ ของการต่อสาย เพื่อนำไปใช้งาน มีดังนี้







สรุปกฎทางไฟฟ้า

1. กฎของโอห์ม กระแสไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับแรงเคลื่อนแต่จะเป็นปฏิกิริยาส่วนกลับกับความต้านทาน
2. กฎของเคอร์ชอฟท์

กฎที่ 1 กระแสไฟฟ้ารวมที่ไหลเข้าจุดรอยต่อจุดหนึ่งของวงจรย่อมเท่ากับกระแสไฟฟ้ารวมที่ออกจากจุดรายนั้น

กฎที่ 2 ผลรวมของกำลังดันตกคร่อมความต้านทานต่างๆ ของวงจรปิดหนึ่งย่อมเท่ากับกำลังดันไฟฟ้าที่ใช้ในวงจรนั้น
3. กฎมือซ้ายของเครื่องกำเนิด ถ้ากางมือซ้ายออก ให้นิ้วชี้ นิ้วกลาง นิ้วหัวแม่มือ ตั้งฉากซึ่งกันและกัน นิ้วชี้ ชี้ทิศทางสนามแม่เหล็ก นิ้วกลาง-ชี้ทิศทางแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ นิ้วหัวแม่มือ ชี้ทิศทางตัวนำเคลื่อนที่
4. กฎมือขวาของเฟลมมิ่ง ถ้ากางมือขวาออก ให้นิ้วชี้ นิ้วกลาง นิ้วหัวแม่มือ ตั้งฉากซึ่งกันและกัน นิ้วชี้ จะชี้ทิศทางของสนามแม่เหล็ก นิ้วกลาง จะชี้ทิศทางกระแสไหลในตัวนำ นิ้วหัวแม่มือ จะชี้ทิศทางตัวนำเคลื่อนที่
5. กฎของเลนส์ ตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ ตัวนำนั้น (หาได้โดยใช้มือซ้ายกำรอบตัวนำ)
6. กฎมือซ้ายใช้กับขดลวดที่มีกระแสไหล ถ้าเรากุมขดลวดไว้ด้วยมือซ้ายโดยให้นิ้วทั้งสี่ (นอกจากนิ้วหัวแม่มือ) ชี้ไปในทิศทางที่กระแสไหล นิ้วหัวแม่มือจะชี้บอกปลายของ Coil เป็นขั้วเหนือ

BATTERY

- Battery เป็นอุปกรณ์ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่สำคัญทั้งในสภาวะปกติและในสภาวะฉุกเฉิน
 - ✓ ในสภาวะปกติ เช่นการเริ่มเดินเครื่องจักรใหญ่และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเรือที่ใช้ระบบ Battery Start
 - ✓ ในสภาวะฉุกเฉิน เช่นการจ่ายไฟให้กับระบบไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉิน ระบบสื่อสารภายใน เครื่องวิทยุฉุกเฉิน ระบบไฟเดินเรือ และระบบไฟสำรอง (Uninterrupted Power Supply) สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และระบบควบคุมต่าง ๆ
- ในเรือบางลำอาจจะเป็นอุปกรณ์จ่ายพลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าฉุกเฉินของเรือ จากความสำคัญดังกล่าว Battery ที่ติดตั้งในเรือ จำเป็นต้องเป็นชนิดที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการใช้งานในเรือ เหมาะสมกับลักษณะของงานและติดตั้งอย่างถูกต้อง เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานในเรือ มีความเชื่อถือได้สูงและเพื่ออายุการใช้งานที่ยาวนาน
- Battery ควรเป็นชนิดที่ถูกออกแบบให้มีความความทนต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในเรือ โดยเฉพาะสภาพที่เกิดจากอาการโคลงของเรือได้สูงถึง 30° ทั้งทางข้างและทางยาวสภาพที่เกิดจากการสั่นสะเทือนและสภาพบรรยากาศที่มีความชื้นและความเค็มสูง
- Battery คือเซลล์ไฟฟ้าตั้งแต่ 2 เซลล์ขึ้นไป เอามาต่อรวมกันภายนอก
- เซลล์ไฟฟ้าคือต้นกำเนิดไฟตรงที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี ประกอบด้วยแผ่นแร่ 2 ชนิด คือแผ่นแรบวกและแผ่นแรลบ แลอยู่ในน้ำยาเคมีเรียกว่า " อิเล็คโทรไลต์ "
- เซลล์ไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ชนิด
 1. เซลล์ปฐมภูมิ หรือ **Primary Cell** บางครั้งเรียกว่า เซลล์แห้ง เซลล์ชนิดนี้เมื่อใช้หมดแล้วต้องทิ้งไป เพราะแผ่นแร่ฝุกร่อนชำรุด
 2. เซลล์ทุติยภูมิ หรือ **Secondary Cell** บางครั้งเรียกว่า เซลล์เปียก เซลล์ชนิดนี้เมื่อใช้แล้วสามารถนำไปประจุไฟกลับติดตั้งเดิมอีก
- Battery โดยทั่วไปนิยมใช้กันอยู่ 2 ชนิด คือ
 1. Battery แบบ กรด (Lead-Acid)
 2. Battery แบบ ต่าง (Nickel-Alkaline)
- โดยปกติ Battery ที่ใช้ในเรือ อาจจะเป็นแบบกรด (Lead-Acid) หรือแบบต่าง (Nickel-Alkaline) ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมสำหรับงานแต่ละชนิด

Battery แบบกรด (Lead-Acid)

1. โครงสร้างและส่วนประกอบ

❖ เปลือกหม้อ (Container)

- ◆ ทำด้วยยางแข็ง แก้ว พลาสติก จำพวกอลูโหที่มีความแข็งแรง ทนสะเทือนได้ดี ใช้เป็นภาชนะที่บรรจุน้ำยา และส่วนประกอบทั้งหมด

❖ แผ่นแร่ (Plates)

- ◆ แผ่นแร่ (Plates) ควรมีโครงสร้างที่แข็งแรง ไม่โค้งงอ และถูกออกแบบมาให้อายุการใช้งานที่ยาวนานที่สุด แผ่นตะกั่ว (Lead Plates) ควรมีความหนาระหว่าง $\frac{1}{8} - \frac{1}{4}$ นิ้ว ขึ้นอยู่กับขนาดความกว้าง-ยาว (Dimension) ของแผ่นที่ใช้ ยกเว้นแผ่นสำหรับ Battery ที่ใช้ในการสตาร์ทเครื่องอาจเป็นชนิดบาง คือมีความหนาแน่นระหว่าง $0.080 - \frac{1}{8}$ นิ้ว

- ◆ แผ่นแรบบว เป็นตะกั่วเปอร์ออกไซด์ หรือตะกั่วไดออกไซด์ สีนํ้าตาลไหม้
- ◆ แผ่นแรลบ เป็นตะกั่วพูน สีเทา
- ◆ จำนวนแผ่นแรลบมีมากกว่าแผ่นแรบบว 1 แผ่นต่อเซลล์เสมอ เพราะกรรมวิธีในการสร้างแผ่นแรบบวทำยากและเสียเวลามากกว่า อีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มีแผ่นลบมากกว่าแผ่นบวกก็เพราะว่าแผ่นบวกจะทำปฏิกิริยาได้เร็วกว่าแผ่นลบ เพราะฉะนั้นถ้าเพิ่มพื้นที่ของแผ่นลบให้มากขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เกือบเท่ากัน

1.1. แผ่นกั้น (Separators)

- ◆ ทำด้วยไม ยาง ไฟเบอร์ วัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าและมีคุณสมบัติดูดซึมนํ้าได้ดี
- ◆ แผ่นกั้น จะกั้นระหว่างแผ่นแรบบว และแผ่นแรลบ ไม่ให้สัมผัสกัน
- ◆ ด้านหนึ่งของแผ่นกั้น จะเขาเป็นร่องลูกฟูกในทางตั้ง ด้านลูกฟูกติดอยู่กับแผ่นแรบบว ทั้งนี้เพื่อให้ก๊าซออกซิเจนออกได้ง่าย
- ◆ แผ่นกั้นชำรุดจะเกิดลัดวงจรภายในแผ่น

1.2. ฝาปิดเซลล์ (Cell Cover)

- ◆ เป็นฝาสี่เหลี่ยม ทำจากวัสดุอย่างเดียวกับเปลือกหม้อ มีขนาดพอดีกับเซลล์ ด้านบนมีรู 3 รู
- ◆ 2 รู สำหรับให้ขั้วบวก และขั้วลบยื่นออกมา รูกกลางมีจุกเกลียวปิดอยู่ เพื่อวัดและดูระดับนํ้ายาหรือเติมนํ้ายา

1.3. สะพานไฟ (Cell Connector)

- ◆ เป็นแท่งตะกั่ว ต่อระหว่างเซลล์แห่งเป็นอนุกรมกัน สามารถทนกระแสหลายๆ ได้
- ◆ ที่สะพานไฟนี้ จะมีตัวเลขแสดงจำนวนของแผ่นแรที่บรรจุอยู่ในห้องเซลล์

1.4. ขั้ว Battery (Terminals)

- ◆ ทำด้วยแท่งตะกั่ว เป็นที่ต่อรวมของแผ่นบวกและแผ่นลบ ในแต่ละเซลล์
- ◆ ปลายขั้วจะโผล่ยื่นออกมาจากฝาปิดเซลล์ และมีสะพานไฟหล่อยึดอีกทีหนึ่ง
- ◆ ที่ปลายสุดของ Battery จะมีขั้ว 2 ขั้ว เพื่อต่อทางไฟกับวงจรภายนอก
- ◆ ที่ขั้วทั้ง 2 จะมีเครื่องหมาย บวก (+) และ ลบ (-) แสดงไว้
- ◆ ถ้าไม่มีเครื่องหมาย ก็จะทำสีดําที่ขั้วลบ และสีแดงที่ขั้วบวก
- ◆ บางทีก็เขียน P หรือ Pos ที่ขั้วบวก และ N หรือ Neg ที่ขั้วลบ
- ◆ ถ้าไม่มีเครื่องหมายอะไรเลย ก็จะสังเกตได้โดยขั้วบวกจะโตกว่าขั้วลบ

1.5. แผ่นป้าย (Nameplate)

- ◆ Battery แต่ละหม้อควรมีแผ่นป้ายแสดงรายละเอียดคุณสมบัติเฉพาะของ Battery นั้นติดอยู่อย่างแน่นหนา รายละเอียดบนแผ่นป้ายประกอบด้วย
 - ◇ ตราอักษร , บริษัทผู้ผลิต
 - ◇ แบบ (Type Designation)
 - ◇ อัตราการจ่ายกำลังไฟฟ้า (กระแส/ชม. - Ampere/Hour) โดยระบุด้วยว่าเป็นอัตราการจ่ายกำลังไฟฟ้าในสภาวะแบบไหน, ลักษณะของงานเป็นอย่างไร
 - ◇ ความถ่วงจำเพาะของสารละลาย เมื่อประจุไฟเต็มที่ (สำหรับBatteryแบบกรด)

1.6. นํ้ายาอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

- ◆ เป็นส่วนผสมของกรดกำมะถันและน้ำบริสุทธิ์ มีความถ่วงจำเพาะ 1.180-1.300 ณ อุณหภูมิ 80° F
- ◆ ทำหน้าที่เป็นสื่อไฟฟ้า โดยมันจะดึงอิเล็กตรอนจากแผ่นบวกไปให้แผ่นลบทำให้แผ่นแรลบเพิ่มจำนวนอิเล็กตรอนมากขึ้น
- ◆ ระดับปกติ ตามเกณฑ์สูงกว่าแผ่นแร่ $\frac{1}{2}$ นิ้ว สูงกว่าแผ่นกัน $\frac{1}{4}$ นิ้ว

2. ปฏิกริยาทางเคมีภายใน (Chemical Action)

- ◆ Batteryเมื่ออยู่ในสภาพพร้อมที่จะใช้งาน
 - ◇ น้ำยาอิเล็กโทรไลต์ มี ถพ. 1.280 - 1.300
 - ◇ กำลังดันต่อเซลล์ประมาณ 2 โวลท์
- ◆ ขณะจ่ายไฟ (Discharge)
 - ◇ กรดจะทำปฏิกิริยากับแผ่นแร่ทั้งสอง ทำให้เกิดความร้อน
 - ◇ แผ่นแร่ทั้งสองจะเกิดซัลเฟต และผุกร่อน น้ำยาจะกลับเป็นน้ำ ค่า ถพ.จะลดลงทุกที
- ◆ เซลล์ตาย (Dead Cell)
 - ◇ ค่า ถพ.จะต่ำกว่า 1.160
 - ◇ แรงดันต่ำกว่า 1.8 โวลท์

3. ความจุพิกัด (CAPACITY RATIO)

- ◆ Battery ที่สร้างขึ้นมานั้น มีความสามารถที่จะจ่ายไฟได้นานชั่วระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น
- ◆ Battery ขนาดใหญ่ที่มีจำนวนแผ่นแร่มากๆ จะใช้ได้นานกว่าขนาดเล็กๆ
- ◆ การที่ Battery สามารถใช้ได้ยาวนานขึ้นขึ้นอยู่กับ อัตราการจ่ายกระแสไฟของ Battery เอง เราเรียกว่า "ความจุพิกัด" มีหน่วยเป็น แอมป์/ชั่วโมง

คือ ผลคูณของกระแส เป็นแอมแปร์ และเวลา เป็นจำนวน ชั่วโมง

สูตร ความจุพิกัด = กระแส X ชั่วโมง

เช่น Battery หม้อหนึ่ง ขนาด 100 แอมแปร์/ชั่วโมง

ถ้าใช้ไฟ 4 แอมแปร์ จะหมดในเวลา 25 ชั่วโมง

ถ้าใช้ไฟ 5 แอมแปร์ จะหมดในเวลา 20 ชั่วโมง

ถ้าใช้ไฟ 10 แอมแปร์ จะหมดในเวลา 10 ชั่วโมง

- ◆ ค่าความจุพิกัดมาตรฐาน กำหนดตามอัตราการคายประจุใน 10 ชั่วโมง
 - ◇ ทั้งนี้เพราะทางใช้งานจริงๆ ถ้าจ่ายไฟสูงๆ ปฏิกริยาของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ และอุณหภูมิของแผ่นจะกลับตัวไม่ทัน กระแสอาจหมดก่อนกำหนดได้
 - ◇ ตามตัวอย่างข้างบน ถ้าจ่ายไฟถึง 100 แอมแปร์ อาจจะหมดในเวลา $\frac{1}{2}$ ชม.เท่านั้น
 - ◇ ถ้าจ่ายไฟเพียง 4 แอมแปร์ อาจใช้ได้จนถึง 30 ชั่วโมง
 - ◇ ค่าความจุมาตรฐานใช้วัดจากค่าของแรงดันคือ เริ่มตั้งแต่ **Full Charge** จนกระทั่งเหลือ 1.75 โวลท์ และค่า ถพ.เหลือ 1.160
 - ◇ Battery ที่สร้างขึ้นมีความจุอันหนึ่ง ซึ่งความจุอันนั้นอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามอัตราการใช้งาน ทั้งนี้มีสาเหตุหลายประการ คือ

- คุณสมบัติของแผ่นแร่
- การผสมน้ำยาไม่ได้ส่วน หรือมีสิ่งสกปรก เช่นแร่ธาตุอื่นๆ เจือปน
- การประจุหรือการจ่ายไฟสูงเกินไปบ่อยครั้ง
- เกิดความร้อนจากอุณหภูมิภายนอก
- ทำการประจุไม่เต็มที่เสมอ
- ไม่มีการระวังรักษาที่ดีพอ

◆ ความจุของ Battery ขนาดต่าง ๆ

- ◇ Battery ขนาดต่างๆ จะทราบจำนวนแผ่นแร่ได้ โดยอ่านที่สะพานไฟ เช่น เขียนหมายเลข **367** จะทราบว่าเป็น Battery ขนาด 6 โวลท์ มีแผ่นแร่จำนวน 13 แผ่น(ต่อเซลล์) เป็นต้น โดยที่
- (ตัวแรก) หมายถึง จำนวนเซลล์ (เซลล์ละ 2 โวลท์) จะได้ค่า 6 โวลท์
- (ตัวที่สอง) หมายถึง จำนวนแผ่นแร่ลบ มีจำนวน 6 แผ่น
- (ตัวที่สาม) หมายถึง จำนวนแผ่นแร่ลบ มีจำนวน 7 แผ่น

4. การประจุไฟ Battery (Charge Battery)

- ◆ การประจุไฟ คือการไล่เซลล์เฟตออกจากแผ่นแร่ ทำให้น้ำยากลับเป็นกรดกำมะถันอย่างเดิม โดยการต่อทางไฟย้อนกลับจากที่จ่ายไฟ
- ◆ ขณะที่ Battery คายประจุไฟ ส่วนของกรดจะค่อยๆ หดไป แผ่นแร่จะมีเซลล์เฟตจับหนาขึ้นทุกที เซลล์เฟตจะอยู่ในสภาพอ่อนตัวและกลับเป็นแผ่นแร่ได้ เมื่อได้รับการประจุไฟ
- ◆ ในการคายประจุของ Battery ที่ใช้งาน จะต้องไม่ให้หมดหม้อเลยทีเดียว จะให้พร่องไปเพียงเล็กน้อย ก็ต้องรีบทำการประจุไฟทันที เพราะตะกั่วเซลล์เฟตจะแข็งตัวได้เมื่อถูกอากาศ แม้จะนำมาประจุไฟก็ไม่สามารถไล่เซลล์เฟตออกได้
- ◆ Battery ตะกั่วกรด ควรได้รับการประจุไฟเมื่อ
 - ◇ ใช้งานเป็นประจำ สัปดาห์ละครั้ง
 - ◇ เก็บไว้ในคลังนานๆ เดือนละครั้ง
 - ◇ เมื่อ ถพ.ลดลงเหลือ **1.180** หรือต่ำกว่า ให้ประจุทันที
 - ◇ ค่าของแรงดันขณะต่อใช้งาน หรือ 1.8 โวลท์ต่อเซลล์ หรือต่ำกว่า ให้ประจุทันที
 - ◇ ทุกๆ ครั้งที่เติมน้ำกลั่นให้ทำการประจุไฟทันที

5. แบบของการประจุ โดยทั่วไปนิยมทำกันอยู่ 5 วิธี คือ

5.1. วิธีประจุไฟเริ่มแรก (Initial Charge)

- ◇ Battery ใหม่ นั้น แผ่นแร่เก็บไว้ในลักษณะแห้ง และไม่อยู่ในสภาพของการประจุไฟฟ้า ภายหลังจากเติมน้ำยาอีเลคโทรไลต์ลงไปแล้ว จำเป็นต้องเปลี่ยนแผ่นแร่ให้อยู่ในสภาพของการประจุไฟฟ้า ซึ่งทำได้โดยนำต้อง Battery ไปประจุไฟฟ้าด้วยอัตราต่ำเป็นเวลานานๆ ซึ่งเป็นการประจุไฟฟ้าในตอนแรกและการประจุไฟฟ้านั้นต้องเป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิต ซึ่งบอกมากับ Battery แต่ละชนิด ถ้าโรงงานผลิตไม่แนะนำมาให้ อาจจะหารายละเอียดในสำนักงานที่มีใช้เป็นประจำโดยตรง

5.2. วิธีประจุไฟปกติ (Normal Charge) มีอยู่ 2 อย่าง คือ

5.2.1. แอมป์คงที่

- † คือประจุด้วยกระแส **10% ของความจุของหม้อ**เป็นประจำ จนเกิดแก๊สขึ้น
- † แก๊สขึ้นคือส่วนของกระแสที่เกิดในการแยกน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ โดยไฮโดรเจนจะออกจากแผ่นลบ และออกซิเจนจะออกจากแผ่นบวก
- † เมื่อเกิดแก๊สขึ้นแล้ว ให้ลดอัตราการประจุเป็น $\frac{1}{4}$ ของอัตราประจุครั้งแรก เราเรียกว่าเป็น **การประจุด้วยอัตราขั้นสุดท้าย**
- † ในการประจุBatteryแอมป์คงที่นี้ ต้องให้แรงดันสูงกว่าแรงดันBatteryประมาณ **4 ถึง 5** เท่า
- † เมื่อBatteryเต็ม หมายถึงค่า ถพ.คงที่ ประมาณ 2 ชม.

5.2.2. โวลต์คงที่

- † คือประจุด้วยกำลังดันสูงกว่าBattery **25%** เรื่อยไปตลอดเวลาจนเต็ม
- † ในการประจุแบบนี้ ค่ากระแสครั้งแรกจะมาก ภายหลังหม้อเต็มจะเกิดความร้อน ค่าความต้านทานของBatteryจะ สูง และ แรงดันไฟจะต่ำ

5.3. วิธีประจุไฟเพิ่มเติม (Equalizing Charge)

- ◇ คือการยืดเวลาการประจุไฟตามปกติด้วยอัตราขั้นสุดท้ายออกไปอีก จึงต้องกำหนดช่วงเวลาเพื่อให้แน่ใจว่าเซลล์เฟตทั้งหมดถูกขับออกไปจากแผ่นแร่จนหมด และเซลล์คืนสู่สภาพที่มี ถพ.สูงสุด การประจุเพิ่มเติมต้องทำต่อเนื่องกันไปจนกระทั่ง ถพ.ของทุกเซลล์ ไม่เปลี่ยนไปตลอดเวลา **4 ชั่วโมง** ตามอุณหภูมิที่ถูกต้อง และจะต้องทำการอ่าน ถพ.ของแต่ละเซลล์ทุกๆ 30 นาที

5.4. วิธีประจุไฟลอย (Floating Charge)

- ◇ Batteryจะรักษาให้มีประจุไฟฟ้าเต็มที่อยู่ตลอดเวลา โดยการต่อBatteryเข้ากับแหล่งกำเนิดการประจุไฟฟ้า ซึ่งมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าอยู่ในขีดจำกัดจาก 2.13 - 2.17 โวลต์ต่อเซลล์ของ Battery ในการประจุวิธีนี้ อัตราการประจุจะกำหนดโดยแรงเคลื่อนของBatteryมากกว่ากำหนดค่ากระแส แรงเคลื่อนจะรักษาให้อยู่ในระหว่าง **2.13-2.17** โวลต์ ต่อเซลล์ หรือด้วยค่าเฉลี่ย **2.15** โวลต์ เท่าที่จะเป็นไปได้

5.5. วิธีประจุไฟฉุกเฉิน (Emergency Charge)

- ◇ เป็นการประจุเพื่อให้ เต็มในเวลาอันสั้น เมื่อเร่งด่วน
- ◇ ใช้อัตรากระแสประมาณ **20 % ของค่าความจุปกติของหม้อBattery**
- ◇ วิธีการประจุแบบนี้ บางครั้งทำการประจุไป และใช้เครื่องไปพร้อมกัน
- ◇ ไม่ควรทำการประจุด้วยวิธีนี้น้อยๆ เพราะจะทำให้ต้องBatteryเสื่อมเร็ว
- ◇ เวลาที่ใช้ในการประจุไม่ควรเกินกว่า **5 ชั่วโมง**

6. วิธีประจุไฟ Battery โดยทั่วไป

- 6.1. ตรวจระดับน้ำยาให้ได้ตามเกณฑ์ สูงจากแผ่นแร่ $\frac{1}{2}$ " สูงกว่าแผ่นกัน $\frac{1}{4}$ "
- 6.2. ต่อสายประจุเข้ากับBattery บวกต่อบวก ลบต่อลบ
- 6.3. ทำการประจุแบบใดแบบหนึ่งดังกล่าว
- 6.4. การประจุแบบแอมป์คงที่สำหรับเครื่องประจุในเรือใหญ่ หรือโรงงาน
- 6.5. การประจุแบบโวลต์คงที่ ใช้ประกอบ Cutout Relay เช่นในรถยนต์หรือเรือเล็กๆ
- 6.6. หมั่นวัด ถพ.ทุกๆ ชั่วโมง จนกว่าจะเกิดแก๊สขึ้น หลังจากเกิดแก๊สขึ้นแล้วให้วัดทุกๆ ครึ่งชั่วโมง

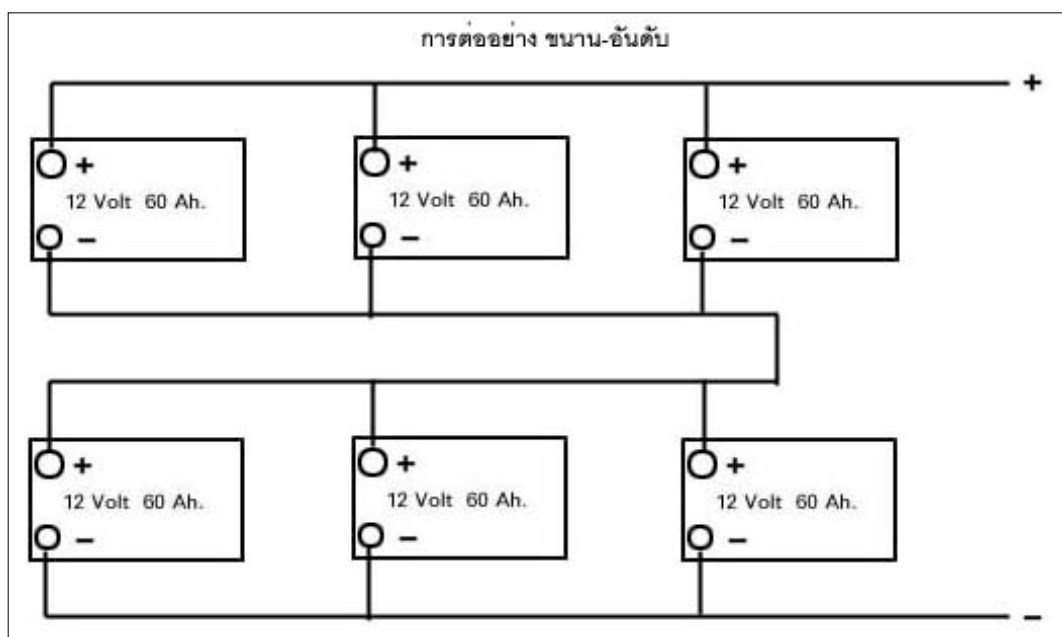
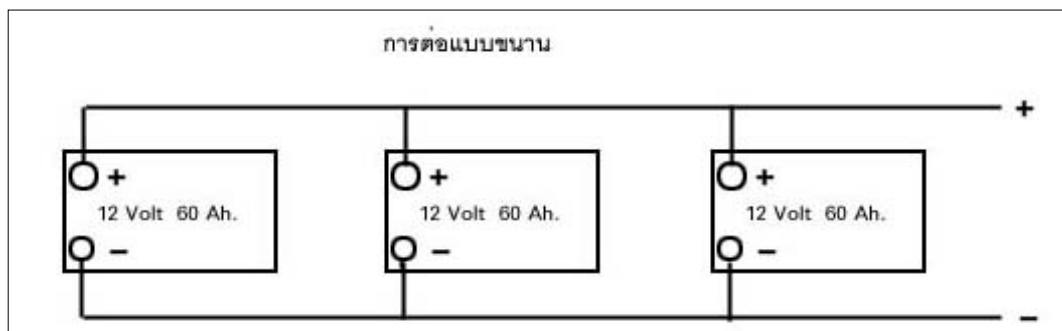
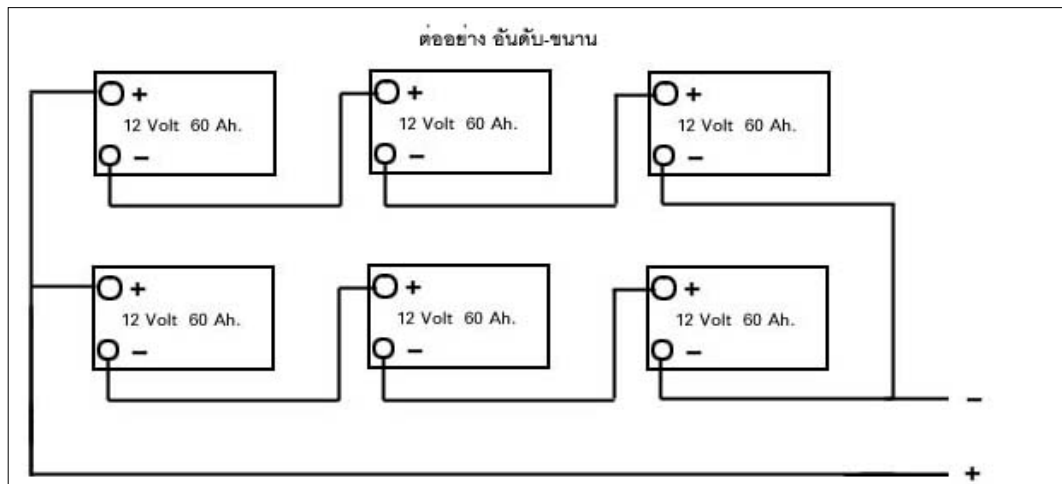
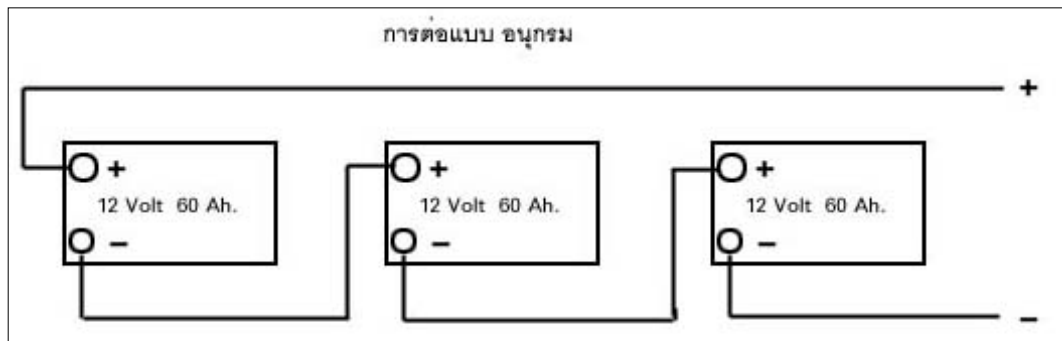
7. การระวังรักษา

7.1. ขณะประจุไฟ Battery

- 7.1.1. ต้องแน่ใจว่าเครื่องระบายอากาศในห้อง Battery เติบโตเรียบร้อยแล้ว จึงเริ่มทำการประจุไฟ ถ้าระบบการระบายอากาศไม่เรียบร้อย ควรหยุดทำการประจุไฟนอกจากเวลาฉุกเฉินเท่านั้น
- 7.1.2. การประจุไฟต้องกระทำตามอัตราที่กำหนดไว้ในคู่มือของ Battery หรืออัตราความจุของ Battery เอง
- 7.1.3. จะต้องลดอัตราการประจุลงทันที เมื่อ Battery เกิดแก๊สขึ้น หรืออุณหภูมิสูงถึง **110°F**
- 7.1.4. ระวังอย่าให้น้ำยาที่กระเด็นออกมาไหลลงในหีบรองรับ Battery เพราะจะทำให้เกิดการคายประจุ และหีบรองรับ Battery จะเสียหาย

7.2. ขณะใช้งานปกติ

- 7.2.1. หีบ ชั้นเก็บ และเปลือกหุ้ม ควรรักษาให้สะอาดและแห้ง ถ้าปล่อยให้สกปรก และชื้นจะเกิดการคายประจุได้
- 7.2.2. ยานำเปลวไฟ และประกายไฟทุกชนิดเข้าใกล้ Battery
- 7.2.3. อย่าปล่อยให้ น้ำยาอิเล็กโทรไลต์หก หรือกระฉอก จะทำให้หีบเก็บเสียหาย ถ้ามีการหกหรือกระเด็นออกมา ให้ดูดหรือเช็ดออกให้แห้ง
- 7.2.4. เปลือกหุ้มไส้ด้วยวานิช ถ้าเป็นสนิมให้ใช้ผ้าชุบน้ำมันกัดเช็ดให้สะอาด และทาทด้วยวานิช ห้ามขัดด้วยเหล็กหรือกระดาษทราย เพราะจะทำให้มีเกล็ดที่เคลือบอยู่หลุดไป
- 7.2.5. ถ้ามีเกล็ดเกาะอยู่ที่ผิวหน้าของเซลล์ให้ใช้แปรงขน หรือแปรงไม้ขัดเอาเกล็ดออก
- 7.2.6. ถ้าน้ำยาลดลงเพราะการระเหย ให้เติมน้ำกลั่น
- 7.2.7. ถ้าน้ำยาหกหรือ กระฉอก ให้เติมน้ำยาใหม่ เพื่อให้ความหนาแน่นเท่าเดิม
- 7.2.8. ระวังอย่าให้ระดับน้ำยาลดลงต่ำกว่าแผ่นแร่ เพราะจะทำให้แผ่นแร่เสียหาย
- 7.2.9. จงแน่ใจว่าห้อง Battery ที่ปิดไว้ จะต้องมีการระบายอากาศก่อนที่จะเข้าไปปฏิบัติงานต่างๆ ในห้องนั้น
- 7.2.10. รักษาอุณหภูมิของห้องเก็บ Battery ให้ต่ำกว่า 95°F
- 7.2.11. อย่าเก็บกรดกำมะถันในที่ๆ มีอุณหภูมิแข็งตัว
- 7.2.12. รักษาระดับของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ ให้เหนือกว่าแผ่นกั้นประมาณ $\frac{1}{4}$ นิ้ว
- 7.2.13. จงเติมเฉพาะน้ำกลั่นบริสุทธิ์ลงใน Battery เท่านั้น
- 7.2.14. อย่าคายประจุของ Battery ต่ำกว่าเขตจำกัดกำลังต่ำสุดที่กำหนด **1.75** โวลต์ต่อเซลล์ นอกจากเวลาฉุกเฉิน
- 7.2.15. อย่าให้ Battery ที่มีสภาพคายประจุหมดแล้ว อยู่นานเกินกว่า 24 ชั่วโมง
- 7.2.16. อย่าให้ Battery ทำงานที่อุณหภูมิเกินกว่า 125°F
- 7.2.17. อย่าให้มีประกายไฟทุกชนิดเมื่อถอด Battery หรือประกอบเข้าที่ เพราะอาจจะมีไอระเหยของน้ำมันในที่ซึ่งใช้ Battery ที่มีขั้วลงดินสายหนึ่ง เวลาถอด Battery ออก จะต้องปลดขั้วลงดินก่อนเสมอ และเวลาประกอบเข้าที่จะต้องต่อขั้วลงดินหลังสุด
- 7.2.18. อย่าตรวจ Battery ว่ามีไฟหรือไม่ โดยการต่อสายที่ขั้วทั้งสองตะกั่ว
- 7.2.19. ถ้าน้ำยาเข้าตา ให้ล้างตาด้วยน้ำยาคาร์บอริก 10 % แล้วหยอดด้วยน้ำมันมะกอก
- 7.2.20. ถ้าน้ำยากระเด็นถูกเสื้อผ้า หรือผิวหนัง ให้รีบล้างด้วยแอมโมเนียผสมน้ำ



เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

1. กล่าวโดยทั่วไป

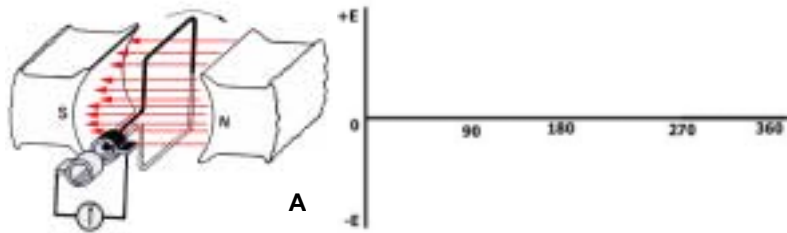
- ไฟฟ้ากระแสสลับ หมายถึงกระแสซึ่งไหลเปลี่ยนทิศทางตลอดเวลา คือในตอนแรกไหลในทิศทางหนึ่ง และในเวลาต่อมาก็จะไหลในอีกทิศทางหนึ่งซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกับตอนแรก
- กระแสไฟสลับนิยมใช้เป็นไฟแสงสว่างและไฟกำลังเพราะ
 1. สามารถส่งกำลังไฟฟ้าไปได้ไกลจากต้นกำเนิด
 2. สามารถเพิ่มและลดระดับ Voltage ได้โดยใช้ Trans Former (Step up-Step down)
 3. จะเกิด Power Loss น้อยในการส่งกำลังไฟฟ้า
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสตรง ต่างก็ทำหน้าที่เหมือนกัน คือผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้า แต่มีข้อแตกต่างที่สำคัญอยู่อย่างหนึ่ง ระหว่างเครื่องกำเนิดทั้งสองชนิด คือในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงนั้นขดลวด Armature เป็นส่วนหมุน และขดลวดสนามแม่เหล็กเป็นส่วนอยู่กับที่ ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับนั้น อาจจะใช้ขดลวด Armature เป็นส่วนหมุน หรือเป็นส่วนอยู่กับที่ก็ได้
- ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ส่วนใหญ่จะเป็นแบบขั้วแม่เหล็กหมุน (Rotating Field) ส่วนในเครื่องกำเนิดขนาดเล็กที่ผลิตแรงเคลื่อนต่ำๆ จะเป็นได้ทั้งแบบ Armature หมุน (Rotating Armature) และแบบขั้วแม่เหล็กหมุน (Rotating Field)
- ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับขนาดใหญ่จะเป็นแบบขั้วแม่เหล็กหมุน เพราะเหตุว่า
 1. สามารถนำกระแสจาก Armature ไปใช้ได้โดยตรง ไม่ต้องผ่าน Slip Ring และแปรงถ่าน ฉะนั้นปัญหาจากการอาร์คที่หน้าสัมผัสระหว่าง Slip Ring กับแปรงถ่านจึงไม่เกิดขึ้น
 2. สามารถผลิตแรงเคลื่อนได้สูงถึง 30 kV เพราะว่าเมื่อขดลวด Armature อยู่กับที่ ปัญหาการกันชนวนระหว่าง Slip Ring ก็จะไม่เกิดไป
 3. ขนาดของส่วนหมุนจะลดลง เพราะว่าขดลวดสนามแม่เหล็กที่เป็นส่วนหมุนนั้น จะมีพื้นที่หน้าตัดเล็กกว่าขดลวด Armature มาก และเนื่องจากขดลวดสนามแม่เหล็กรับแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 120-240 Volt เท่านั้น ดังนั้นการอาร์คที่หน้าสัมผัสระหว่าง Slip Ring กับแปรงถ่านจะมีน้อย เพราะกระแสที่สร้างสนามแม่เหล็กมีค่าน้อยมาก
 4. พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับอาจบอกเป็น kW ได้ถ้าทราบค่า Power Factor ของ Load

2. หลักการ AC Generator เบื้องต้นและการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำรูปคลื่น Sine

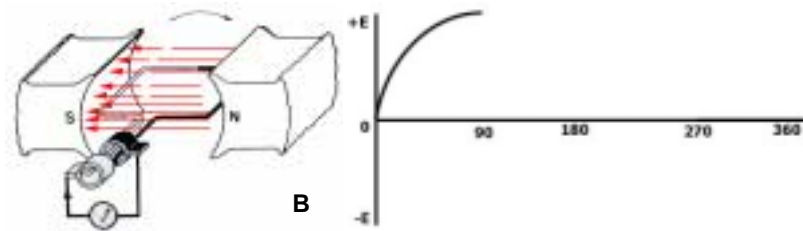
- หลักการเบื้องต้นของการกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับและการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำรูปคลื่น Sine จะเห็นได้ว่า ขดลวดตัวนำ 1 รอบเคลื่อนที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก ในขณะที่ขดลวดตัวนำตัดกับสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขึ้นที่ปลายขดลวดทั้งสอง ที่ปลายของขดลวดทั้งสองจะต่ออยู่กับ Slip Ring ที่ Slip Ring แต่ละวง จะมีแปรงถ่านต่อสัมผัสอยู่เพื่อทำหน้าที่จ่ายแรงเคลื่อนออกไปยังวงจรภายนอก
- ขั้วแม่เหล็กจะมีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กมากที่สุดที่กึ่งกลางขั้วและความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะน้อยลง ทางด้านข้างทั้งสองของขั้วแม่เหล็ก
- เมื่อต้นกำลังหมุนขั้วส่วนเคลื่อนที่ของเครื่องกำเนิด ขดลวด Armature ซึ่งเป็นส่วนเคลื่อนที่ จะถูกต้นกำลังขั้วตัดกับขดลวดสนามแม่เหล็กซึ่งอยู่กับที่ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นมาที่ขดลวด

Armature ซึ่งแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามหลักของเฟลมมิ่ง (Flaming's Rule) และปริมาณของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นไปตามหลักของฟาราเดย์ (Faraday's Law)

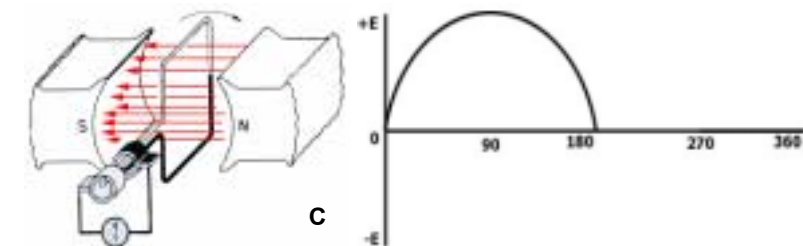
- รูป A ขดลวดจะวางอยู่ในตำแหน่งศูนย์ (Neutral) ระหว่างขั้วแม่เหล็ก N-S จะไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กตัดขดลวดเลย จึงไม่เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขึ้น



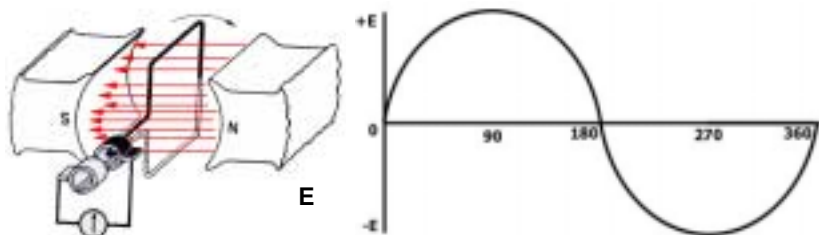
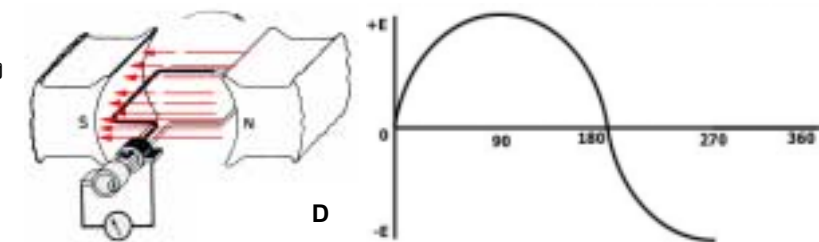
- รูป B เมื่อขดลวดหมุนไปตามเข็มนาฬิกา ก็จะเริ่มตัดเส้นแรงแม่เหล็กและเริ่มเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำมากขึ้นๆ จนขดลวดไปอยู่ในตำแหน่ง 90 องศาไฟฟ้า ขดลวดจะตัดเส้นแรงแม่เหล็กที่มีความเข้มมากที่สุด ตำแหน่งนี้ก็จะเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำมากที่สุด ขณะนี้ด้านสีดำของขดลวดจะอยู่ภายใต้ขั้ว N และด้านสีขาวจะอยู่ภายใต้ขั้ว S กระแสจะไหลออกด้านสีดำ และไหลเข้าด้านสีขาว



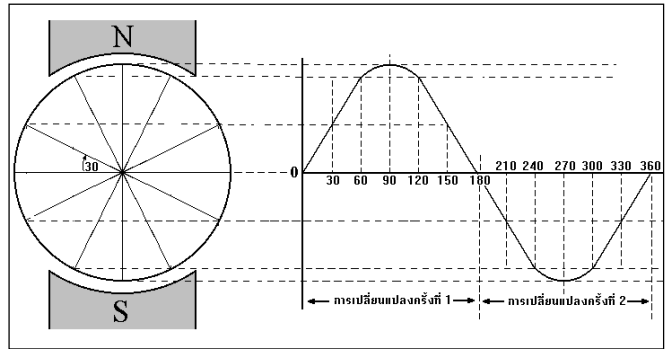
- รูป C เมื่อขดลวดหมุนต่อไป ขดลวดด้านสีดำและสีขาวจะตัดเส้นแรงแม่เหล็กขั้ว N และขั้ว S น้อยลง แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นก็จะน้อยลงๆ จนกระทั่งขดลวดเคลื่อนที่ไปในตำแหน่งศูนย์ ซึ่งขดลวดด้านสีดำจะอยู่ด้านล่าง และด้านสีขาวจะอยู่ด้านบน



- รูป D เมื่อขดลวดหมุนต่อไปด้านสีดำจะเริ่มตัดเส้นแรงแม่เหล็กขั้ว S และด้านสีขาวจะเริ่มตัดเส้นแรงแม่เหล็กขั้ว N เมื่อขดลวดหมุนไปอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางแม่เหล็ก ด้านทั้งสองจะตัดเส้นแรงแม่เหล็กมากที่สุด และจะเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำมากที่สุด在这一ตำแหน่ง และมีทิศทางตรงกันข้ามกับรูป B ขณะนี้ด้านดำขดลวดอยู่ใต้ขั้ว S ด้านขาวอยู่ใต้ขั้ว N กระแสจะไหลออกด้านขาวของขดลวด และไหลเข้าทางด้านดำ



- รูป E เมื่อขดลวดหมุนต่อไปขดลวดด้านสีดำ จะตัดเส้นแรงแม่เหล็กขั้ว S น้อยลง และด้านสีขาวจะตัดเส้นแรงแม่เหล็กขั้ว N น้อยลง แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นก็จะน้อยลงๆ จนกระทั่งขดลวดเคลื่อนที่ไปในตำแหน่งศูนย์อีกครั้งหนึ่ง ด้านทั้งสองของขดลวดจะไม่ตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กเลย และก็จะไม่เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นมา คือจะมีค่าเป็นศูนย์



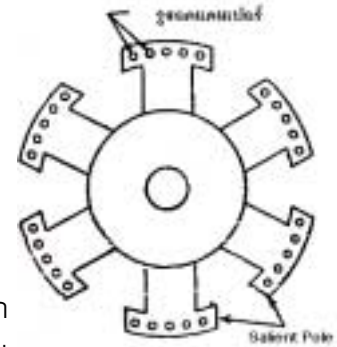
- ขณะนี้เกิดรูปคลื่น Sine ขึ้นมา 1 รูปคลื่น ซึ่งเรียกว่า 1 Cycle
3. ส่วนประกอบในการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับทั่ว ๆ ไป

3.1 ส่วนเคลื่อนไหว (Rotor)

- นิยมใช้แบบขั้วแม่เหล็กหมุน (Rotating Field) แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด

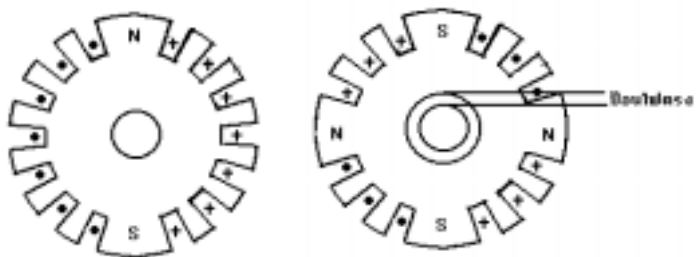
1. ชนิดหมุนขั้วหรือแบบขั้วแม่เหล็กยื่น (Salient Pole)

- เหมาะสำหรับเครื่องที่มีความเร็วต่ำและปานกลาง ซึ่งต้นกำลังขับที่ใช้ขับได้แก่ เครื่องยนต์ดีเซล และกังหันน้ำ (Water Turbine) ซึ่งมีความเร็วรอบตั้งแต่ 1200 รอบ/นาที ลงมา
- จำนวนขั้วแม่เหล็กจะมีจำนวน 4 ขั้วขึ้นไป
- ขั้วแม่เหล็กจะยื่นออกไปจากแกน Rotor ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ อัดติดกัน (Laminated Sheet Steel) เพื่อลดการเกิดกระแสวนเวียน (Eddy Current)
- Rotor แบบนี้จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางโต และความยาวของแกนจะสั้น
- ที่ปลายขั้วแม่เหล็กจะเจาะรูตลอดความยาวของขั้วแม่เหล็ก แล้วสอดด้วยแท่งทองแดง และที่ปลายแท่งทองแดงของขั้วแม่เหล็กแต่ละด้านจะเชื่อมเข้าด้วยกันด้วยแท่งทองแดง หรือวัตถุตัวนำไฟฟ้าอย่างอื่นก็ได้ ขดลวดนี้เรียกว่าขดลวดแดมเปอร์ (Damper Winding) มีไว้สำหรับแก้การสั่น(Hunting)ของ Rotor ขณะที่ Rotor กำลังหมุนอยู่ การสั่นของ Rotor หรือความเร็วของ Rotor ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากความเร็วต้นกำลัง (Prime Mover) ไม่สม่ำเสมอ



2. ชนิดหมุนเร็วหรือแบบขั้วแม่เหล็กเรียบรูปทรงกระบอก (Non-Salient Pole Rotor)

- เหมาะสำหรับเครื่องกำเนิดที่ถูกขับด้วยความเร็วสูง กำลังที่ใช้ขับได้แก่ เครื่องกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) และเครื่องกังหันก๊าซ (Gas Turbine)
- Rotor จะถูกขับด้วยความเร็วสูงประมาณ 3,000 รอบ/นาที โครงสร้างของ Rotor จึงทำเป็นรูปกระบอก มีพื้นผิวเรียบเสมอกัน เหตุที่ต้องใช้ขั้ว



แม่เหล็กแบบนี้ ก็เพื่อหลีกเลี่ยงแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง(Centrifugal)และลดการสูญเสียเนื่อง
จากแรงต้านจากลม(Windage Loss)

- จะมีขั้วเพียง 2 หรือ 4 ขั้วเท่านั้น
- ลักษณะของส่วนหมุนจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กเมื่อเทียบกับความยาวแกน

3.2 ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator)

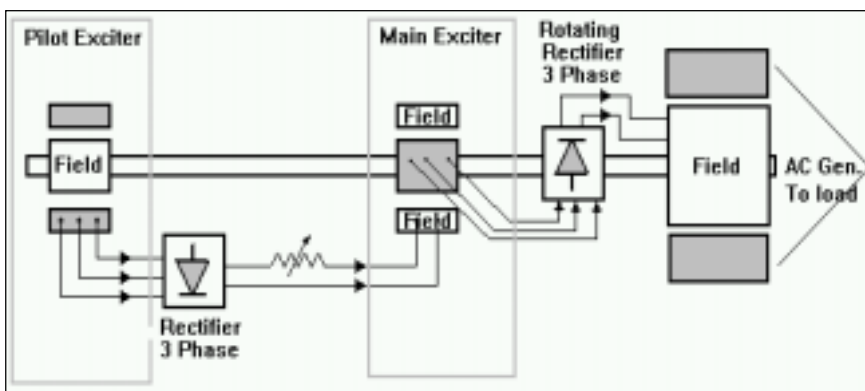
- ในกรณีที่เครื่องกำเนิดขนาดเล็กแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นต่ำ ส่วนอยู่กับที่จะเป็นขดลวดขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดกับโครงเหล็กเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตรง
- ถ้าเป็นเครื่องกำเนิดขนาดใหญ่ผลิตแรงเคลื่อนสูงๆ ขดลวดที่ผลิตแรงเคลื่อนหรือที่เรียกว่าขดลวด Armature นั้น จะพันอยู่ใน Slot ของ Stator ที่ยึดติดแน่นอยู่กับโครงเหล็ก (Frame)
- เครื่องกำเนิดขนาดใหญ่แกนเหล็กของ Armature มีช่องให้อากาศผ่านเพื่อช่วยระบายความร้อน
- ส่วนที่พันขดลวด Armature ทำด้วยเหล็กแผ่นบาง ๆ (Laminate Sheet Steel) บี้เป็นร่อง (Slot) แล้วนำมาอัดติดกันเพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน
- ลักษณะ Slot ที่พันด้วยขดลวดโดยทั่วไปจะมี 2 แบบ คือ แบบเปิด (Open Type) เป็นแบบที่ใช้ในเครื่องกำเนิด (Semi-closed Type) แบบนี้จะมีใช้มากกับมอเตอร์ไฟสลัป

3.3 การนำไฟเข้าเลี้ยงขั้วแม่เหล็ก (Excitation)

- Exciter คือเครื่องกำเนิดไฟตรงเล็กๆ ทำหน้าที่ผลิตกระแสไฟตรงเลี้ยงขดลวดสนามแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟสลัป แต่ในปัจจุบันเป็นเครื่องกำเนิดไฟสลัปขนาดเล็ก แล้วนำไฟสลัปที่ผลิตได้ไปเปลี่ยนเป็นไฟตรง
- กระแสไฟฟ้าสำหรับสร้างสนามแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟสลัปชนิด Rotating Field นั้น ต้องเป็นไฟ DC จะเอามาจากต้นกำเนิดภายนอก หรือตัวมันเองก็ได้
- ปัจจุบัน Excitation ที่ใช้กันอยู่มี 3 แบบ

3.3.1. แบบ Main Exciter และ Pilot Exciter ระบบไร้แปรงถ่าน

- ◆ รูปแบบของ Excitation แบบนี้ การจ่ายไฟตรงเข้าที่ Rotor ของเครื่องกำเนิดไฟสลัปนั้นแบ่งออกได้ 2 ส่วน คือ ส่วน **Pilot Exciter** และ **Main Exciter** ซึ่งแต่ละส่วนจะมีชุด Rectifier 3 Phase ทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟสลัปเป็นกระแสไฟตรง



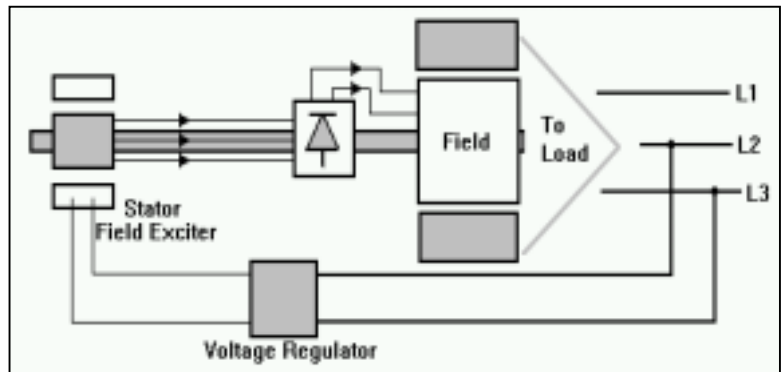
- ◆ Pilot Exciter เป็นเครื่องผลิตกระแสไฟสลัปขนาดเล็ก มีขั้วแม่เหล็กถาวรเล็กๆ เพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก (Pilot Exciter Field) ประกอบติดอยู่กับแกน Rotor

เครื่องกำเนิด ส่วนขด Armature (Pilot Exciter Armature) จะประกอบอยู่ที่ Stator

- ◆ Main Exciter เป็นเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าอีกชุดหนึ่ง ที่มีขดลวดสนามแม่เหล็กประกอบติดอยู่กับ Stator ของเครื่องกำเนิด ส่วนขดลวด Armature Main Exciter นั้นประกอบติดกับ Rotor กระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงของ Main Exciter นี้รับมาจาก Pilot Exciter
- ◆ ชุด Rectifier 3 phase ของแต่ละชุดมีหน้าที่เปลี่ยนกระแสสลับเป็นกระแสตรง เนื่องจาก Pilot Exciter และ Main Exciter ผลิตแรงเคลื่อนและกระแสออกมาเป็นไฟสลับจึงต้องใช้ชุด Rectifier เพื่อเปลี่ยนให้เป็นไฟตรงก่อนเอาไปใช้งาน โดยชุด Rectifier 3 phase ของชุด Pilot Exciter สร้างประกอบไว้กับส่วน Stator ส่วนชุด Rectifier 3 phase ของ Main Exciter สร้างประกอบติดไว้กับ Rotor ของเครื่องกำเนิดไฟสลับและหมุนไปพร้อมกับ Rotor ของเครื่องกำเนิดไฟสลับ (Rotating Rectifier)
- ◆ การทำงานเมื่อเครื่องกำเนิดถูกต้นกำลังขับให้เพลลาของ Rotor หมุน สนามแม่เหล็กของชุด Pilot Exciter จะหมุนตัดกับขดลวด (Pilot Exciter Armature) ที่ Stator และจะเกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟสลับขึ้นที่ Stator จากนั้นจะจ่ายกระแสไฟสลับผ่านชุด Rectifier 3 phase ของชุด Pilot Exciter และเปลี่ยนเป็นไฟตรง แล้วส่งผ่านความต้านทานปรับค่าได้เพื่อใช้เป็นไฟเลี้ยงขดลวด Stator ของ Main Exciter เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กต่อไป
- ◆ ในขณะที่เพลลา Rotor หมุนอยู่นั้น ขดลวด Armature ของชุด Main Exciter จะหมุนตัดกับสนามแม่เหล็กที่ Stator ของชุด Main Exciter ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟสลับขึ้นที่ Armature (Rotor) ของ Main Exciter และจ่ายกระแสไฟสลับไปผ่านชุด Rectifier 3 phase (Rotating Rectifier) ของชุด Main Exciter เพื่อนำกระแสไฟตรงไปเลี้ยงขดลวดสนามแม่เหล็ก (Rotor) ของเครื่องกำเนิดต่อไป

3.3.2. แบบ Brushless Excitation

- ◆ Excitation แบบนี้ Rotor ของ Exciter ทำหน้าที่เป็น Armature ยึดติดอยู่กับเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟสลับ พร้อมทั้งมี ชุด Rectifier 3 phase ยึดติดกับเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟสลับเช่นกัน (Rotating Rectifier)

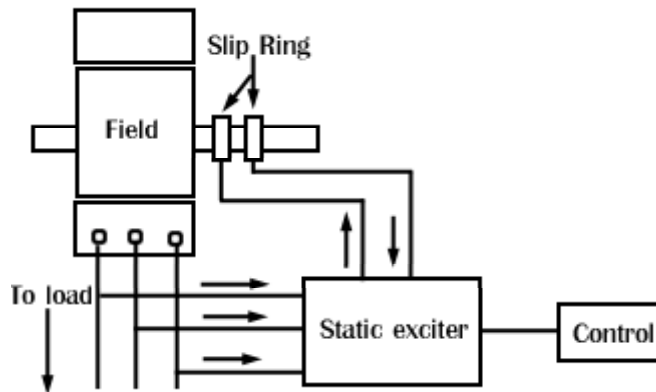


- ◆ Rotor ของ Exciter (Armature) จะหมุนตัดกับสนามแม่เหล็กที่ Stator ทำให้ที่ขด Rotor เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำไฟสลับขึ้นมา กระแสไฟจะไหลผ่านชุด Rotating Rectifier แล้วเปลี่ยนกระแสไฟออกมาเป็นไฟกระแสตรง จ่ายเข้าที่ Rotor ของเครื่องกำเนิดไฟสลับ
- ◆ สามารถที่จะควบคุมสนามแม่เหล็กที่ Stator ของ Exciter ได้โดยนำไฟที่จะเข้าเลี้ยงสนามแม่เหล็กนี้ผ่านชุด Voltage Regulator

3.3.3.Static Excitation

- ◆ Excitation แบบนี้ Exciter จะไม่มีส่วนหนึ่งส่วนใดเคลื่อนไหว

- ◆ ไฟ AC. ที่ออกจาก Line ของ Stator ของเครื่องกำเนิดไฟสลับจะถูกส่งมาเข้าที่ Static Exciter และเปลี่ยนเป็นไฟ DC สามารถที่จะ Control ได้ทั้ง



Automatic Voltage Regulator และแบบ Manual

- ◆ ไฟที่ออกจาก Static Exciter นี้จะจ่ายให้ Rotor ของเครื่องกำเนิด โดยผ่านเข้าทาง Slip Ring.

4. องศาทางไฟฟ้า (Electrical Degree)

- ถ้าขดลวดตัวนำหมุนตัดสนามแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้วจำนวน 1 รอบ จะเกิดรูปคลื่น Sine ขึ้น 1 รูป หรือ 1 Cycle เป็นมุม 360° ในกรณีนี้จำนวนองศาทางกลจะเท่ากับองศาทางไฟฟ้าทุกประการ
- ถ้าเพิ่มขั้วแม่เหล็กเป็น 4 ขั้ว จะเกิดรูปคลื่น Sine 2 รูป หรือ 2 Cycle นั่นคือจำนวนองศาทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เป็น $360 \times 2 = 720$ องศาทางไฟฟ้า
- ฉะนั้นสรุปได้ว่าจำนวนองศาทางไฟฟ้า = จำนวนองศาทางกล $\times$ จำนวนคู่ของขั้วแม่เหล็ก

5. ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว (N), ความถี่ (f) จำนวนขั้ว (P)

- ถ้าขดลวดตัวนำหมุนตัดขั้วแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดที่มี 2 ขั้ว ครบ 1 รอบ จะเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำความถี่ 1 Cycle ในเวลาใดเวลาหนึ่ง และถ้าขั้วแม่เหล็กมี 4 ขั้ว ตัวนำหมุนตัดครบทั้ง 4 ขั้ว ในเวลาใดเวลาหนึ่งเช่นกัน จะได้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่ความถี่ 2 Cycle เราจะเห็นได้ว่าความถี่ที่เกิดขึ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วแม่เหล็ก
- ในเครื่องกำเนิด 2 ขั้ว ถ้าขดลวดตัวนำหมุนตัดขั้วแม่เหล็ก 2 รอบในเวลาใดเวลาหนึ่ง จะได้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำความถี่ 2 Cycle จะเห็นได้ว่าความถี่ที่เกิดขึ้นนั้นก็จะขึ้นอยู่กับความเร็วของขดลวดตัวนำที่หมุนตัดเช่นกัน
- สรุปจากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่า ความถี่ (f) จะแปรผันโดยตรงกับความเร็ว (N) และจำนวนขั้วแม่เหล็ก (P) เมื่อเขียนเป็นสมการจะได้ดังนี้

$$F = \frac{PS}{120} \quad \text{หรือ} \quad F = \frac{PN}{120} \quad \text{c/s (Hz)}$$

Ex เครื่องกำเนิด 4 ขั้ว หมุนด้วยความเร็ว 1500 รอบ/นาที แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำขึ้น มีความถี่เท่าไร

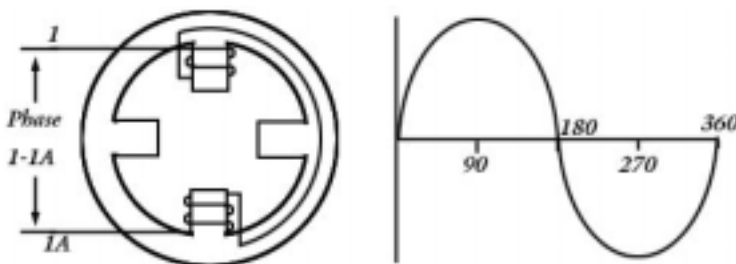
$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad F &= \frac{PN}{120} \\ &= \frac{4 \times 1500}{120} = 50 \text{ Hz} \end{aligned}$$

6. ผลของกระแสในขดลวดตัวนำของ Armature

- จำนวนกระแสที่ไหลผ่าน Armature ขณะที่เครื่องกำเนิดกระแสไฟสลับจ่ายให้กับภาระนั้นขึ้นอยู่กับ
 - ❖ แรงเคลื่อนชักนำที่เกิดขึ้นใน Armature
 - ❖ ค่าความต้านทาน (Impedance) ในวงจรของเครื่องกำเนิด
 - ❖ ภาระที่เครื่องจ่ายให้
 - ❖ ค่า Power Factor ซึ่งแล้วแต่ชนิดของภาระ
- ค่ากระแสสูงสุดที่จ่ายออกจำกัดด้วยขนาดของขดลวดตัวนำที่ใช้ ถ้ากระแสสูงเกินไปเกินที่ขดลวดตัวนำจะทนได้ ความร้อนซึ่งคิดได้จาก I^2R จะเป็นตัวทำให้เครื่องกำเนิดนั้นหมดประสิทธิภาพไป
- การที่เครื่องกำเนิดจ่ายภาระนั้น กระแสจะไหลผ่านออกจากขดลวดตัวนำของ Armature ไปสู่ภาระการเกิดกระแสนี้ก่อผล 3 ประการ คือ
 - ❖ เกิดแรงเคลื่อนตก เนื่องจากความต้านทาน
 - ❖ เกิดแรงเคลื่อนตกเนื่องจาก Reactance
 - ❖ เกิด Armature Reaction
- ผลทั้ง 3 ประการ เป็นเหตุให้แรงเคลื่อนปลายสายลดต่ำลง เวลาที่มีภาระเพิ่มขึ้น

7. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งตาม ลักษณะการจ่ายแรงดันไฟฟ้ามี 2 ชนิดด้วยกันคือ

7.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ Single Phase

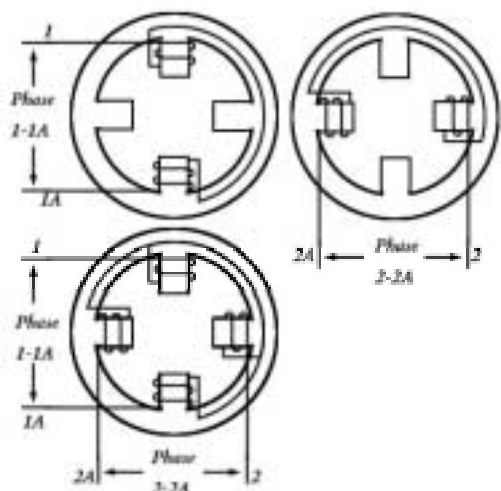


* มีขดลวด Armature ชุดเดียว ถึงแม้ว่ามีขั้วแม่เหล็ก (P) เท่าใดก็ตาม และขดลวด Armature จะต่ออนุกรมกันทั้งหมด แล้วเหลื่อมปลายสายออกมา 2 เส้น เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับ Load ภายนอก

* เครื่องกำเนิดชนิดนี้มีกำลัง Out put ต่ำ และเป็นแบบ Self Excited

7.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Two Phase

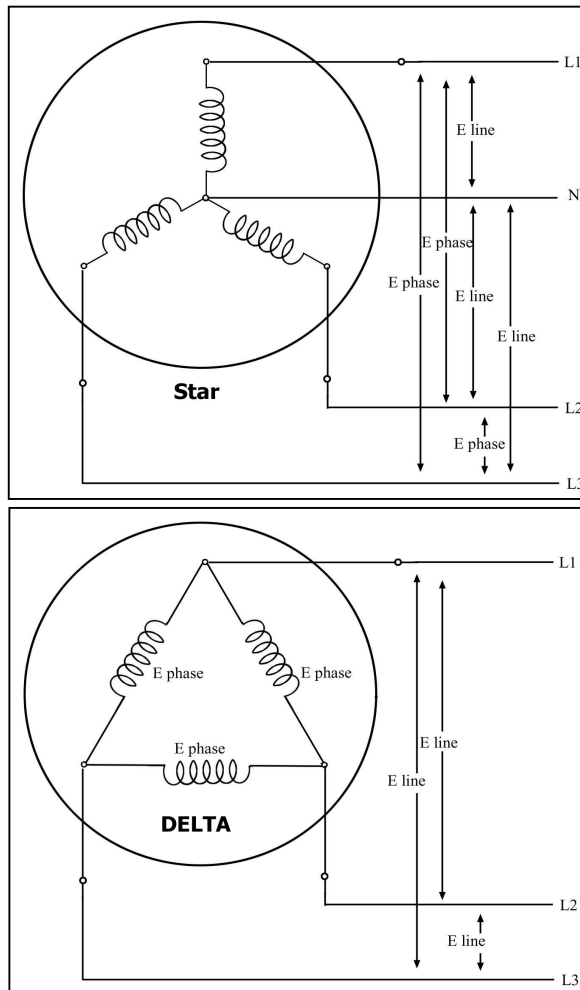
- * ทำเป็นแบบขั้วแม่เหล็กเดี่ยวสองชุด วางห่างกัน 90 องศาทางไฟฟ้า
- * ขณะที่ขด A มีกระแสสูงสุดในขด B จะไม่มีกระแสเลย
- * จำนวนขั้วแม่เหล็ก = จำนวนขดของเฟสใดเฟสหนึ่ง
- * อาจต่อออกเป็น 3 สาย
- * แรงเคลื่อนรวมจะเท่ากับผลรวมทาง Vector คือ



$$E = \sqrt{2 \times E_{\max}}$$

7.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Three Phase

- ✱ ส่วนใหญ่จะมีกำลัง Out put สูง และมีขั้วแม่เหล็กมาก
- ✱ ขดลวด Armature จะเป็นส่วนอยู่กับที่ สนามแม่เหล็กเป็นส่วนหมุน
- ✱ ภายใต้ขั้วแม่เหล็ก 1 ขั้ว (Pole) จะมีขดลวด Armature อยู่ 3 ชุดด้วยกัน โดยแต่ละชุดจะพันห่างกัน 120 องศาไฟฟ้า (แต่ละชุดเรียกว่า Phase)
- ✱ มีปลายสายขดลวดอยู่ 3 คู่ หรือ 6 เส้น ซึ่งปลายสายทั้ง 3 คู่ สามารถนำมาต่อเข้าด้วยกันเพื่อให้วงจรขดลวด Armature เป็นแบบ Star (Y) หรือ Delta (Δ) อย่างใดอย่างหนึ่ง
- ✱ ถ้าต่อแบบ Star จะมีสายไฟที่ต่อไปหา Load 4 เส้น สายไฟที่ต่อออกจาก Phase แต่ละ Phase อาจเรียกว่า Line 1, Line 2 , Line 3 ส่วนสายที่ต่อออกจากจุดต่อร่วมของทั้ง 3 Phase เรียกว่าสายศูนย์ หรือสายกลางหรือสาย Neutral
- ✱ เครื่องกำเนิดแบบ Three Phase จะนิยมใช้มาก เพราะแรงม้าสูง ความถี่ราบเรียบ
- ✱ การต่อแบบดาว STAR หรือแบบ WYE คือการต่อร่วมปลายสายสามสายเข้าด้วยกัน ส่วนที่เหลือเป็นสายภายนอก ค่า E และ I หาได้จาก



$$E_L = 1.732 \times E_p$$

$$I_L = I_p$$

- ✱ การต่อแบบ Delta คือการต่อต้นและปลายของแต่ละ Phase เข้าด้วยกัน ปลายสายที่ต่อออกมาภายนอก จะต่อออกมาระหว่างรอยต่อของแต่ละชุด ค่า E และ I หาได้จาก

$$E_L = E_p$$

$$I_L = 1.732 \times I_p$$

E_L = แรงเคลื่อนที่ Line

E_p = แรงเคลื่อนที่ Phase

I_L = กระแสที่ Line

I_p = กระแสที่ Phase

คุณสมบัติของ ความต้านทาน (R) ความเหนี่ยวนำ (L) ความเก็บประจุ (C) ในวงจร AC.

1. ความต้านทานในวงจร R

- 1.1. Resister คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า โดยความต้านทานของ Resister จะเป็นค่าความต้านทานบริสุทธิ์ (Pure Resistance) มีหน่วยวัดเป็นโอห์ม (Ω)
- 1.2. Resistance คือความสามารถของอุปกรณ์ในการต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า
- 1.3. ในตัวนำของไฟฟ้าทุกชนิด ในตัวมันเองนั้นก็มีความต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าอยู่ และเราสามารถที่จะวัดค่าออกมาได้มีหน่วยเป็น Ω เช่นเดียวกัน
- 1.4. Resistor สามารถแบ่งออกได้ 3 แบบ
 - 1.4.1. Resistor ค่าคงที่ (Fixed Resistor)
 - 1.4.2. Resistor ปรับค่าได้ (Adjustable Resistor) หรือ Resistor แบบ tap
 - 1.4.3. Resistor แบบเปลี่ยนค่าได้ (Variable Resistor)
- 1.5. การหาค่าความต้านทานในวงจรอนุกรมหาได้ดังนี้



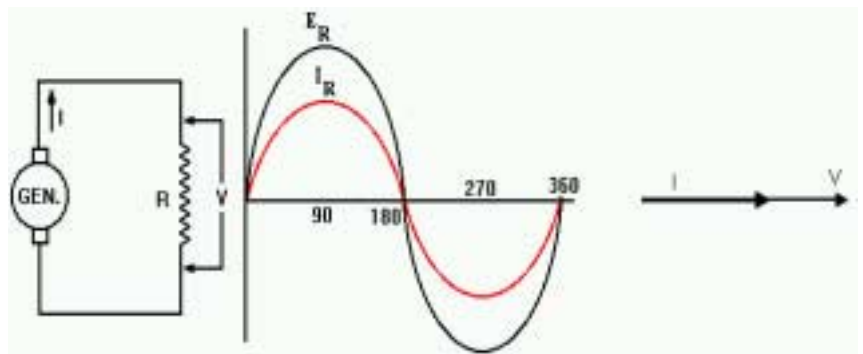
$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

- 1.6. การหาค่าความต้านทานในวงจรขนานหาได้ดังนี้

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

- 1.7. เมื่อต่อความต้านทานขนานกัน Volt ที่ตกคร่อมแต่ละตัวที่ขนานกันอยู่จะเท่ากัน แต่กระแสจะแตกต่างกันไปตามค่าของความต้านทาน ถ้าค่าความต้านทานตัวไหนมากกระแสจะไหลน้อย ค่าความต้านทานน้อยกระแสจะไหลมาก วงจรนี้บางที่เรียกว่า วงจรแบ่งกระแส
- 1.8. เมื่อต่อความต้านทานอนุกรมกัน Volt ที่ตกคร่อมแต่ละตัวจะแตกต่างกันไปตามค่าของความต้านทาน ถ้าค่าความต้านทานตัวไหนมาก Volt ตกคร่อมจะมากตาม แต่กระแสในวงจรเดียวกันจะไหลผ่านความต้านทานเท่ากันทุกตัว วงจรนี้บางที่เรียกว่าวงจรแบ่งแรงเคลื่อน ซึ่งวิธีนี้ สามารถนำไปขยายผลเป็นวงจรต่างๆ เช่นวงจรจ่ายไฟให้อุปกรณ์ไฟฟ้า, วงจรไบอัส Transistor

- 1.9. วงจรไฟสลับที่ประกอบด้วย R เพียงอย่างเดียวดังรูป จะเห็นว่า วงจรประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแรงเคลื่อนไฟสลับรูปคลื่น Sine จะจ่ายแรงเคลื่อน E



Volt (ค่า rms.) ให้กับความต้านทาน R โอห์ม ซึ่งทำให้เกิดกระแส I Amp (ค่า rms.) ไหลในวงจร จะ Inphase กับแรงเคลื่อน E ที่ตกคร่อม ในวงจร

- 1.10. ลักษณะสมบัติของวงจรไฟสลับที่ประกอบด้วย R เพียงอย่างเดียว

- ✦ กระแสกับแรงเคลื่อนจะ Inphase กัน จะทำให้มุม Phase ของวงจรที่ได้มีค่าศูนย์ ($\theta=0$)
- ✦ ค่า Impedance จะเท่ากับค่าความต้านทาน ($Z = R$)
- ✦ กำลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรถือว่าเป็นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power = EI)

- 1.11. ในวงจรที่มีความต้านทานเพียงอย่างเดียว นั่น กระแสและแรงเคลื่อน Inphase กัน กฎต่างๆ ที่ใช้กับไฟตรงจึงนำมาใช้ได้
- 1.12. ค่ากำลังงานเฉลี่ย เส้นโค้งของกำลังงานเป็นบวกเสมอ เพราะ $P = EI$ เมื่อ E และ I คูณกัน เครื่องหมายเป็น บวกทั้งคู่ เส้นโค้งจึงอยู่ในทางบวกเสมอ
ฉะนั้น กำลังงานไฟสลับจะได้เป็นค่าเฉลี่ยเป็นครึ่งหนึ่งของกำลังงาน สูงสุด

2. การเหนี่ยวนำในวงจร (L)

- 2.1. Inductor คืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ลวดตัวนำขดเป็น Coil ทำหน้าที่ให้เกิดการเหนี่ยวนำในวงจรไฟฟ้า มักจะใช้ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ บางทีเรียกว่า โซลิด หรือ Coil ซึ่งมีความหมายเป็นตัวเดียวกัน และใช้อักษรย่อ L



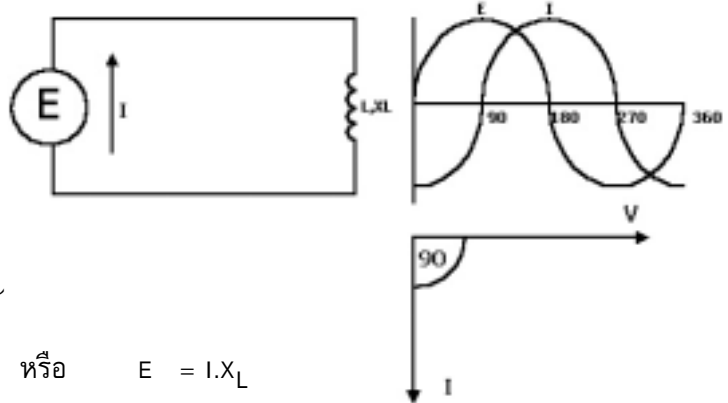
- 2.2. การเหนี่ยวนำ (Inductance) คือคุณสมบัติของวงจรซึ่งต้านต่อการเปลี่ยนแปลงใดๆ ที่มีต่อการไหลของกระแส วัดด้วยหน่วย Henry
- 2.3. ขดลวดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแส 1 A ในเวลา 1 วินาที ทำให้เกิดแรงเคลื่อนชักนำ 1 Volt ขดลวดนั้นมีความเหนี่ยวนำ 1 Henry (H)
- 2.4. แรงเคลื่อนชักนำ (Induced EMF.) เป็น Voltage ที่เกิดขึ้นในวงจรโดยการ ยุบและขยายตัวของเส้นแรงแม่เหล็กในขณะที่กระแสเปลี่ยนแปลง และจะต้านต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแส ซึ่งจะทำให้กระแสล่าหลังแรงเคลื่อน 90°
- 2.5. ชนิดของ Inductor รูปร่าง ชนิดของแกน และลักษณะการพันรอบแกนของ Coil นั้น มีผลต่อค่า Inductance มาก Coil ที่แกนเป็นสารแม่เหล็กจะมีค่าเป็น Inductance มากกว่าแกนที่เป็นฉนวนหรืออากาศ และ Coil ที่จำนวนรอบของขดลวดเท่ากัน ตัวที่มี พ.ท. หน้าตัดโตกว่า เส้นแรงแม่เหล็กจะมากกว่า และเช่นเดียวกัน Coil ตัวที่แกนยาวกว่า(จำนวนรอบขดลวดเท่ากัน) เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น จะน้อยกว่า นอกจากนั้นจำนวนรอบและระยะห่างระหว่างรอบยังมีผลต่อค่า Inductance ด้วย ยิ่งมากรอบ ค่า Inductance ยิ่งมาก
- 2.6. Inductor มีทั้งแบบตายตัวและปรับค่าได้ ชนิดที่ปรับค่าได้ วิธีเปลี่ยนค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance) ของ Coil อาจเปลี่ยนแปลงได้หลายประการเช่น
 1. โดยการแยก (Tap)
 2. โดยการแยก Coil ออกเป็น 2 ชุด เราสามารถปรับตำแหน่งของแกน Coil ได้ เพราะเมื่อขดลวดทั้งสองขด อยู่ในตำแหน่งที่เส้นแรงแม่เหล็กเสริมกัน (ตั้งฉากกัน) ค่าของความเหนี่ยวนำก็สูง ถ้าลบล้างกันก็จะมีค่าความเหนี่ยวนำต่ำ อุปกรณ์ชนิดนี้เรียกว่า Variometer
 3. โดยการใส่วัตถุที่มีค่า Permeability มากหรือน้อยเข้าไปในขดลวด หรือเปลี่ยนตำแหน่งในขดลวดก็ได้ เช่นการใส่เหล็กหรือผงเหล็กเข้าไปทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความเหนี่ยวนำสูง ถ้านำเอาทองเหลืองใส่เข้าไปก็ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กลง ค่าความเหนี่ยวนำก็ต่ำ เป็นต้น
- 2.7. Coil ที่ใช้ในวงจรวิทยุโดยมากก็อาจแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท เช่น
 1. ใช้เป็นตัวกั้นไม่ให้ไฟที่มีความถี่ผ่านไปได้ เราเรียกง่ายๆว่าโซลิด (Choke)
 2. ให้ไฟตรงไหลผ่านไปได้โดยสะดวก
 3. ใช้เป็นตัวกรองกระแสที่เป็นห้วงๆ (Pulsating Current) ให้เรียบ
 4. ใช้ร่วมกับ Condenser ในวงจร “จูน” หรือที่เรียกว่า Resonance Circuit

2.8. ถ้าเอากระแสที่เปลี่ยนค่าความถี่ได้ไหลผ่าน Coil จะพบว่าเมื่อความถี่สูง Coil มีความต้านสูง เมื่อค่าความถี่ต่ำ Coil ก็มีความต้านทานต่ำ ซึ่งตรงกันข้ามกับ Condenser

2.9. การหาค่ารวมของความเหนี่ยวนำ

เมื่อนำมาต่ออนุกรมกัน	$L_t = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$
เมื่อนำมาต่อขนานกัน	$\frac{1}{L_t} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}$

จากรูปนำ L ต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า E ทำให้กระแสไหล I ไหลในวงจรและเกิดแรงเคลื่อนตกคร่อมที่ L โดยกระแสที่ไหลในวงจรจะเกิดล้าหลังแรงเคลื่อน V เป็นมุม 90°



จากวงจรในรูป อาศัยกฎของ Ohm จะได้

$$I = \frac{E}{X_L} \quad \text{หรือ} \quad X_L = \frac{E}{I} \quad \text{หรือ} \quad E = I \cdot X_L$$

2.10. Inductive Reactance คือการกระทำของการชักนำที่ต้านต่อการไหลของกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ และทำให้กระแสล้าหลัง Voltage วัดได้เป็น Ohm ค่าของการต้านทานนี้เราอาจเรียกว่าค่า X_L โดยค่า X_L นี้สามารถหาค่าได้จากสูตร

$$X_L = 2\pi fL$$

X_L = ค่า Inductive Reactance มีหน่วยเป็น Ohm (Ω)

f = ความถี่ มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz)

L = ค่า Inductance ของขดลวดมีหน่วยเป็น Henry (H)

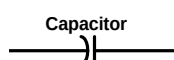
2π = ค่ามุม 1 Cycle ในมาตรา Radial (6.28)

2.11. สรุปลักษณะสมบัติของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วย L เพียงอย่างเดียว คือ

- ✦ กระแสกับแรงเคลื่อน มี Phase ต่างกัน 90° โดย แรงเคลื่อน ที่เกิดขึ้นในวงจรจะนำหน้ากระแส เป็นมุม 90° หรือ กระแส ล้าหลัง แรงเคลื่อน เป็นมุม 90°
- ✦ มุม Phase ของวงจร (มุมเฟสของกระแสเมื่อเทียบกับแรงเคลื่อน) มีค่าเท่ากับ -90°
- ✦ ค่า Impedance จะเท่ากับค่า Inductive Reactance ($Z = X_L = 2\pi fL$)
- ✦ จะไม่มีกำลังงานไฟฟ้า (กำลังเฉลี่ย) เกิดขึ้นในวงจร ($P = 0$)

3. ความจุไฟฟ้าในวงจร (C)

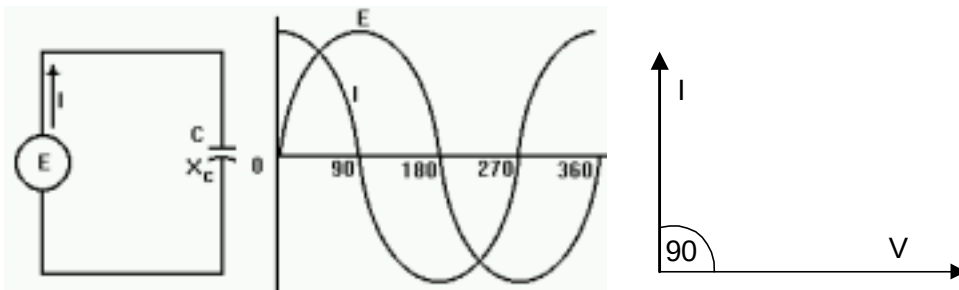
3.1. Capacitor คืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เก็บประจุไฟฟ้า (Charge) หรือคายประจุไฟฟ้า (Discharge) ใช้ตัวย่อ C บางทีเราก็มักเรียกว่า Condenser ส่วนค่าความจุของ Capacitor คิดเป็น Farad ย่อด้วยตัว F ใช้สัญลักษณ์



3.2. Capacitance คืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำให้เกิดความจุแก่วงจรเมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสสลับให้แก่แผ่นตัวนำทั้งสองของ Capacitor

- 3.3. Capacitive Reactance คือค่าความต้านทานของ Capacitor ที่มีต่อไฟฟ้ากระแสสลับ โดยจะต้านการเปลี่ยนแปลงของแรงเคลื่อนไฟฟ้า ทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าโดนหน่วงเอาไว้ ในขณะที่กระแสไฟตรงจะผ่านไปได้เลย ซึ่งทำให้ กระแสไฟนำหน้าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นมุม 90°
- 3.4. Capacitor ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 อย่าง คือ แผ่นตัวนำ, ไดอิเล็กตริก, ขั้วต่อใช้งาน
- 3.5. ค่าความจุของ Capacitor ขึ้นอยู่กับตัวแปร 3 ตัว คือ
- 3.5.1. พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ ถ้ามีพื้นที่มากกว่าการรับประจุไฟฟ้าจะมากตามไปด้วย
 - 3.5.2. ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง ถ้าห่างกันมากความจุจะน้อย
 - 3.5.3. ค่า Permeability ของไดอิเล็กตริก ค่าคงที่ของไดอิเล็กตริกแต่ละตัวจะแตกต่างกันออกไป ดังนั้น Capacitor ที่ใช้ไดอิเล็กตริกต่างกัน แม้รูปร่างเท่ากันแต่ความจุและอัตราทน Volt อาจแตกต่างกันออกไป
- 3.6. Capacitor แบ่งได้หลายชนิด ถ้าแบ่งตามระบบเกาสามารถแบ่ง Capacitor ออกเป็น 3 แบบ
1. Capacitor ค่าคงที่ (Fixed Capacitor) เป็น Capacitor แบบธรรมดา หรือเป็นพวกอีเลคโตรไลติก หรือโพลาร์ก็ได้
 2. Capacitor เปลี่ยนค่าได้ (Variable Capacitor) มักใช้ในวงจรที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนความถี่
 3. Capacitor เลือกค่าได้ (Selected Capacitor) เป็น Capacitor หลากๆ ตัวบรรจุอยู่ในถังเดียวกัน สามารถเลือกค่าเอาตามที่ต้องการ
- 3.7. Capacitor ที่ใช้ในวงจรวิทยุ มีหลายประการคือ
1. ใช้กันมิให้ไฟตรงไหลผ่าน (Blocking)
 2. ให้ไฟสลับหรือคลื่นความถี่ผ่านได้ (By Pass) ผ่านได้มากน้อยแล้วแต่ความถี่ และขนาดของความจุ จึงเปรียบเทียบกับคล้ายกับเป็นความต้านทานสำหรับกระแสไฟสลับ (Reactance)
 3. ใช้ในการกรองกระแสไฟที่เป็นห้วง ๆ ให้เรียบ (Smooth)
 4. ใช้ร่วมกับ Coil ในวงจรจูน
- 3.8. Condenser มีหน่วยการวัดเป็นโอห์ม เช่นเดียวกับความต้านทานธรรมดา เรียกตัวย่อว่า X_c (Capacitive Reactance) ถ้าเอากระแสไฟสลับที่เปลี่ยนค่าความถี่ได้ให้ผ่าน Capacitor จะเห็นว่าเมื่อความถี่มากขึ้น ค่าความต้านทานของมันก็จะลดน้อยลง
- 3.9. การหาค่ารวม Capacitor

เมื่อนำมาต่ออนุกรมกัน	$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$
เมื่อนำมาต่อขนานกัน	$C_t = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$



จากรูปเมื่อนำ C มาต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า E ทำให้กระแส I ไหลในวงจร และเกิดแรงเคลื่อนตกคร่อมที่ C โดยกระแสที่ไหลในวงจรจะนำหน้าแรงเคลื่อน V เป็นมุม 90°

จากวงจรในรูป เมื่ออาศัยกฎของ Ohm จะได้

$$I = \frac{E}{X_C} \quad \text{หรือ} \quad X_C = \frac{E}{I} \quad \text{หรือ} \quad E = I \cdot X_C$$

3.10. Capacitive Reactance คือค่าความต้านทานของ Capacitor ที่มีต่อไฟฟ้ากระแสสลับ และทำให้กระแสหน้าแรงเคลื่อน คิดค่าเป็น Ohm ค่าของการต้านทานนี้เราอาจเรียกว่าค่า X_C โดยค่า X_C หาได้จากสูตร

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

X_C = ค่า Capacitive Reactance มีหน่วยเป็น Ohm (Ω)

f = ความถี่ มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz)

C = ค่าความจุของ Capacitor ในวงจรมีหน่วยเป็น F

2π = ค่ามุม 1 Cycle ในมาตรา Radial (6.28)

3.11. สัญลักษณ์สมบัติของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วย C เพียงอย่างเดียว คือ

- † กระแสกับแรงเคลื่อน มี Phase ต่างกัน 90° โดยกระแสที่เกิดขึ้นในวงจรจะนำหน้า แรงเคลื่อน เป็นมุม 90°
- † มุม Phase ของวงจร (มุมเฟสของกระแส เมื่อเทียบกับแรงเคลื่อน) มีค่าเท่ากับ $+90^\circ$
- † ค่า Impedance จะเท่ากับค่า Capacitive Reactance ($Z = X_C = \frac{1}{2\pi f C}$)
- † จะไม่มีกำลังงานไฟฟ้า (กำลังเฉลี่ย) เกิดขึ้นในวงจร ($P = 0$)

กำลังไฟฟ้าในระบบ 3 Phase

1. กำลังไฟฟ้า 3 Phase ที่ต่อ แบบ Star

- † กำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงาน หรือกำลังไฟฟ้าจริงที่เกิดขึ้นในแต่ละ Phase คือ P_p ของวงจรระบบ 3 Phase ที่ต่อแบบ Star นั้น จะมีค่าเช่นเดียวกับกำลังงานไฟฟ้าที่เกิดในระบบ Single Phase นั่นคือ

$$P_p = E_p \times I_p \times \cos\theta$$

- † θ หมายถึง มุมระหว่างแรงเคลื่อนที่ Phase (E_p) กับกระแสที่ไหลภายในวงจร (I_p)
- † ดังนั้นกำลังงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นในวงจรระบบ 3 Phase จะมีค่าเท่ากับ

$$P_T = 3P_p = 3 \times E_p \times I_p \times \cos\theta$$

- † ในทางปฏิบัติเราจะวัดค่าแรงเคลื่อนระหว่างสาย (Line Voltage) และกระแสที่ไหลในสาย (Line Current) มากกว่าที่ Phase ดังนั้นถ้าเปลี่ยนค่าที่ Phase มาเป็นค่าที่สาย ในขณะที่วงจรต่อแบบ Star จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$I_p = I_L \quad \text{และ} \quad E_p = \frac{E_L}{\sqrt{3}}$$

- † เมื่อแทนค่า I_p และ E_p จะได้

$$P_T = 3 \times \frac{E_L}{\sqrt{3}} \times I_L \times \cos\theta \quad \text{หรือ} \quad P_T = \sqrt{3} \times E_L \times I_L \times \cos\theta$$

$$\text{แต่} \quad \cos\theta = \frac{P}{S} \quad \text{หรือ} \quad S = \frac{P}{\cos\theta}$$

$$\text{ในที่นี้} \quad \cos\theta = \text{Power Factor}$$

$$P = \text{กำลังไฟฟ้าจริง (W)} \quad S = \text{กำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA)}$$

ดังนั้นจะได้ $S = \frac{\sqrt{3} E_L \cdot I_L \cdot \cos \theta}{\cos \theta}$ หรือ $= \sqrt{3} E_L \cdot I_L$

ส่วนค่า P.F. ที่ต่อแบบ Star ที่อยู่ในภาวะสมดุล จะมีค่าเท่ากับ

$$P.F. = \cos \theta = \frac{P_T}{\sqrt{3} E_L \cdot I_L}$$

2. กำลังไฟฟ้า 3 Phase ที่ต่อ แบบ Delta

- † กำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงาน หรือกำลังไฟฟ้าจริงที่เกิดขึ้นในแต่ละ Phase คือ P_p ของวงจรระบบ 3 Phase ที่ต่อแบบ Delta นั้น จะมีค่าเช่นเดียวกับกำลังงานไฟฟ้าที่เกิดในระบบ Single Phase นั่นคือ

$$P_p = E_p \times I_p \times \cos \theta$$

- † θ หมายถึง มุมระหว่างแรงเคลื่อนที่ Phase (E_p) กับกระแสที่ไหลภายในวงจร (I_p)

- † ดังนั้นกำลังงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นในวงจรระบบ 3 Phase จะมีค่าเท่ากับ

$$P_T = 3P_p = 3 \times E_p \times I_p \times \cos \theta$$

- † ในทางปฏิบัติเราจะวัดค่าแรงเคลื่อนระหว่างสาย (Line Voltage) และกระแสที่ไหลในสาย (Line Current) มากกว่าที่ Phase ดังนั้นถ้าเปลี่ยนค่าที่ Phase มาเป็นค่าที่สาย ในขณะที่วงจรต่อแบบ Delta จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$E_p = E_L \quad \text{และ} \quad I_p = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

- † เมื่อแทนค่า I_p และ E_p จะได้

$$P_T = 3 \times E_L \times \frac{I_L}{\sqrt{3}} \times \cos \theta \quad \text{หรือ} \quad P_T = \sqrt{3} \times E_L \times I_L \times \cos \theta$$

แต่ $\cos \theta = \frac{P}{S} \quad \text{หรือ} \quad S = \frac{P}{\cos \theta}$

ในที่นี้ $\cos \theta = \text{Power Factor}$

$$P = \text{กำลังไฟฟ้าจริง (W)} \quad S = \text{กำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA)}$$

ดังนั้นจะได้ $S = \frac{\sqrt{3} E_L \cdot I_L \cdot \cos \theta}{\cos \theta}$ หรือ $= \sqrt{3} E_L \cdot I_L$

ส่วนค่า P.F. ที่ต่อแบบ Star ที่อยู่ในภาวะสมดุล จะมีค่าเท่ากับ

$$P.F. = \cos \theta = \frac{P_T}{\sqrt{3} E_L \cdot I_L}$$

การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

1. ความมุ่งหมายในการเดินเครื่องขนาน มีความมุ่งหมายอยู่ 3 ประการ คือ

- ◆ เพื่อเพิ่มให้มีกำลังไฟฟ้ามากขึ้นกว่าที่ใช้เครื่องเดียว
- ◆ เพื่อเอาไว้สำรองกำลังที่คิดว่าต้องการจะใช้เพิ่มขึ้น
- ◆ ผลัดเปลี่ยนกันจ่ายกำลังโดยไม่ให้มีการขาดตอน

2. รายละเอียดโดยทั่วไป (General Description)

- ◆ สำหรับการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าส่วนใหญ่ ประกอบขึ้นจากโลหะแผ่นซึ่งเป็นแบบกันฝุ่นกันการหยดของน้ำและกันสะเทือน และเป็นส่วนที่แสดงอุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่สำคัญ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว (ซึ่งจะมีมากกว่า 2 ตัวขึ้นไป)
- ◆ สำหรับการบรรจุอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และอุปกรณ์ที่บ่งบอกความเป็นฉนวนของสายไฟในระบบจ่ายไฟ บรรจุอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมระบบไฟชายฝั่งอย่างครบถ้วน รวมทั้งสวิตช์ตัดตอนอัตโนมัติรวมอยู่ด้วย
- ◆ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องหนึ่งจะกำหนดให้เป็นตัวที่ทำงานสำรอง เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวใดตัวหนึ่ง หรือ หลายตัวซึ่งกำลังจ่ายไฟฟ้าอยู่เกิดขัดข้อง หรือผิดปกติใดๆ จนเป็นเหตุให้ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าออกไปได้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ถูกเลือกให้ทำงานสำรองก็จะเริ่มเดินขึ้นเองโดยอัตโนมัติ พร้อมกับจ่ายกำลังไฟฟ้าออกไปทันที

3. รายละเอียดทั่วไปของส่วนที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (General Section Description)

- ◆ ภายในเรือส่วนใหญ่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัวมีส่วนที่บอกลักษณะของตัวมันเอง ส่วนบนครึ่งหนึ่งจะบรรจุอุปกรณ์เครื่องมือวัดดังแสดงในรูป
- ◆ ส่วนล่างเครื่องหนึ่งจะบรรจุสวิตช์ตัดตอนอัตโนมัติแบบใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน มีสวิตช์ปุ่มกด เปิด, ปิด สำหรับตัดต่อกำลังไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กับภาระ (Loads) ภายในเรือทั้งหมด
- ◆ อุปกรณ์ต่าง ๆ มีดังนี้

แอมป์มิเตอร์ (Ammeter) มีแอมป์มิเตอร์ 3 ตัว มีย่านวัดจาก 0-

250 แอมป์ มิเตอร์ ใช้วัดกระแสไฟฟ้าตัวละเฟส (3 เฟส)

โวลท์มิเตอร์ (Voltmeter) มีโวลท์มิเตอร์อยู่ 1 ตัว มีย่านวัดจาก

0-600 โวลท์

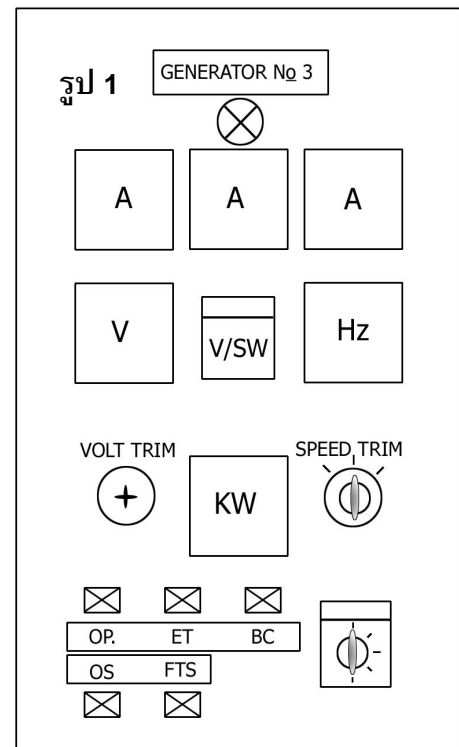
สวิตช์เลือกสำหรับโวลท์มิเตอร์ (Voltmeter Selector Switch) ใช้เลือกวัดแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสได้ทุกคู่

มิเตอร์วัดความถี่ (Frequency Meter) มีมิเตอร์วัดความถี่อยู่ 1 ตัว ใช้วัดความถี่ตั้งแต่ 45-65 เฮิรท์

มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า (Kilowatt Meter) มีย่านการวัด เป็น 50-

0-200 กิโลวัตต์ ทำงานจากตัวแปลงกำลังไฟฟ้าซึ่งติดตั้งอยู่

ภายในส่วนนี้ เครื่องมือวัดชนิดนี้ สามารถบ่งบอกถึงขนาดของกำลังไฟฟ้าย้อนกลับ ได้ถึง 50 กิโลวัตต์ ซึ่งเป็นขนาดเพียงพอที่จะทำให้สวิตช์ตัดตอนแบบอัตโนมัติที่ใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน สามารถที่จะปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



ให้ออกจากการจ่ายภาระ (Load) ภายในเรือได้ และมีขีดสีแดงบนมิเตอร์ 2 เส้น ซึ่งเป็นตัวแสดงให้ทราบการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดแต่ละตัวที่ 100 % และ 110 %ตามลำดับ

ตัวปรับขนาดแรงดันไฟฟ้า (Volts Trim) ตัวปรับขนาดของแรงดันไฟฟ้านี้ เป็นตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ มีค่าสูงสุด 500 โอห์ม มีปุ่มสำหรับปรับที่มีตัวเลขอยู่ด้วยกรอบอีกทีหนึ่ง และใช้สำหรับปรับแต่งขนาดของแรงดัน บนแผ่นควบคุม A.V.R. รุ่น Ti 7.5d/W ดังได้อธิบายไปแล้วในเรื่องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อให้ได้ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามต้องการ

สวิตช์ปรับความเร็ว (Speed Trim) สวิตช์นี้จัดเตรียมไว้สำหรับปรับความเร็ว ให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าที่ขับเคลื่อน (Rack) ควบคุมน้ำมันของตัวควบคุมน้ำมันอัตโนมัติ (Governor)

ตัวบ่งบอกถึงสถานะที่เครื่องยนต์กำลังทำงานอยู่ (E.R.) Engine Run Indicator เมื่อเครื่องยนต์ที่ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังหมุนอยู่ จะมีหลอดไฟสีเขียวติดสว่างอยู่ด้านบนแสดงว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพร้อมที่จะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบ

หลอดไฟแสดงหรือบ่งบอกถึงการผิดปกติของแรงดันน้ำมันหล่อลื่น (O.P.) Oil Pressure Fault Lamp หลอดไฟ (สีแดง) ดวงนี้จะติดสว่างขึ้น เมื่อแรงดันของน้ำมันหล่อลื่นต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ (15 P.S.I) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็จะหยุดทำงานเองโดยอัตโนมัติ และหลอดไฟสีแดงดวงนี้ก็จะติดสว่างขึ้นเพื่อบอกให้ผู้ปฏิบัติงานทราบว่าเกิดการผิดปกติชนิดนี้ขึ้น

หลอดไฟแดงหรือบ่งบอกถึงการผิดปกติของอุณหภูมิเครื่องยนต์ (ET.) Engine Temperature Fault Lamp หลอดไฟ (สีแดง) ดวงนี้จะติดสว่างขึ้น เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์สูงเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็จะหยุดทำงานเองโดยอัตโนมัติ และหลอดไฟสีแดงดวงนี้ก็จะติดสว่างขึ้น เพื่อบอกให้ผู้ปฏิบัติงานทราบว่าเกิดการผิดปกติชนิดนี้ขึ้น

หลอดไฟแสดงหรือบ่งบอกถึงการผิดปกติของการหมุนเร็วเกินไปจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (O.S.) Overspeed Fault หลอดไฟ (สีแดง) ดวงนี้จะติดสว่างขึ้น เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนเร็วเกินความเร็วปกติ (มากกว่า 1950 รอบ/นาที) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็จะหยุดทำงานเองโดยอัตโนมัติ และหลอดไฟสีแดงดวงนี้ก็จะติดสว่างขึ้น เพื่อบอกให้ผู้ปฏิบัติงานทราบว่าเกิดการผิดปกติชนิดนี้ขึ้น

หลอดไฟแสดงการประจุไฟของแบตเตอรี่ (B.C.) Battery Charge Fault Lamp หลอดไฟ (สีแดง) ดวงนี้จะติดสว่างขึ้น เมื่อวงจรการประจุไฟให้กับแบตเตอรี่เกิดการผิดปกติ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะไม่หยุดทำงานเองโดยอัตโนมัติ เหมือนกรณีอื่น ๆ ข้างต้น

หลอดไฟแสดงการเริ่มเดินเครื่องยนต์ไม่ติด (F.T.S.) Fail To Start หลอดไฟ (สีแดง) ดวงนี้จะติดสว่างขึ้น เมื่อผู้ปฏิบัติการทำการเริ่มเดินแล้วเครื่องไม่ติด

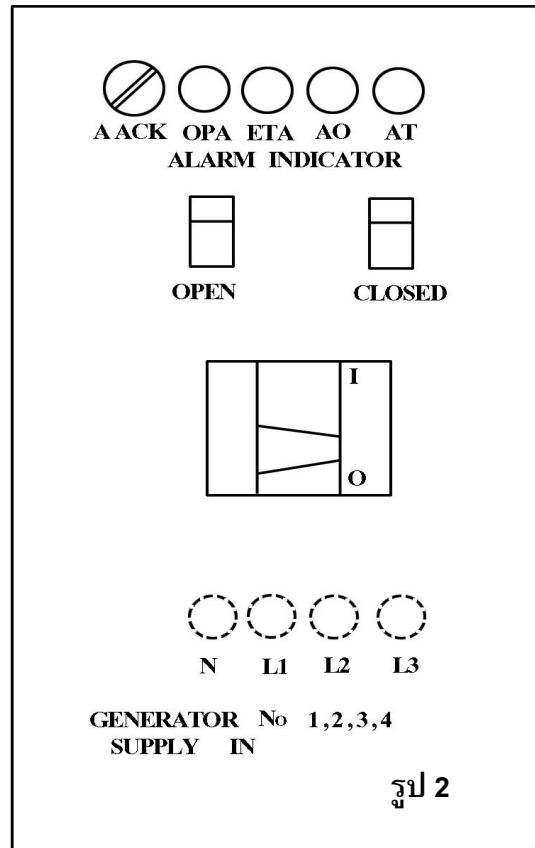
สวิตช์เลือก (Selector Switch) สวิตช์เลือกตัวนี้จะเลือกการทำงานได้ 3 ตำแหน่ง คือ เริ่มเดิน-หยุดเดิน-ทำงานแบบสำรอง (On-Off-Standby) ผู้ปฏิบัติการจะต้องปิดสวิตช์นี้ด้วยมือตามตำแหน่งที่ต้องการว่าจะเริ่มเดิน,หยุดเดิน หรือให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานแบบสำรอง ซึ่งเป็นขั้นตอนสำหรับจะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบหรือวัตถุประสงค์ในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในกรณีที่เลือกมาที่ตำแหน่งทำงานแบบสำรอง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวนี้จะเริ่มเดินขึ้นมาเองโดยอัตโนมัติ พร้อมกับจ่ายกำลังไฟฟ้าแก่ภาระทั้งหมดในเรือทันที ในกรณีที่เครื่องกำเนิดตัวใดตัวหนึ่ง หรือหลายตัวที่กำลังจ่ายภาระอยู่เกิดขัดข้องขึ้น จนไม่สามารถที่จะจ่ายกำลังไฟฟ้าออกไปได้

ข้อควรระวัง การเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ตัวใดให้ทำงานในสภาพทำงานสำรอง (Standby) จะต้องเลือกได้เพียงตัวเดียวเท่านั้น ถ้าผู้ปฏิบัติงาน เลือก Generator ให้ทำงานในสภาพ Standby มากกว่า 1 ตัว แล้วเกิดเหตุขัดข้อง (Fault) ขึ้นกับชุดของ Generator ตัวที่กำลังจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ภาระในเรือ (Duty

Set Generator) หลายชุดที่เลือก Standby ไว้นั้นจะเริ่มเดิน (Start) ขึ้นมาเองโดยอัตโนมัติพร้อมกัน หรือในเวลาเดียวกัน จากนั้นก็จะพยายามขนานกัน (Synchronize) แบบอัตโนมัติ แต่เนื่องจาก Generator แต่ละตัวมีลักษณะของตนเองในการเร่งเวลาเพื่อให้ถึงพิกัดของแรงดัน (Rated Voltage) ที่กำหนดไว้ไม่เท่ากัน ช่วงของการ Synchronization จะเกิดขึ้นผิดช่วงเวลาและอาจจะเกิดความเสียหายขึ้นอย่างรุนแรงได้

- ◆ ส่วนนี้เป็นส่วนของเครื่องขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- สวิตช์เลือกสำหรับรับทราบสัญญาณเตือนเหตุขัดข้อง Alarm Acknowledge Selector Switch (A.ACK) เป็นสวิตช์เลือกสำหรับปิดได้ 2 ตำแหน่ง ตำแหน่งแรก เป็นตำแหน่งที่ปิดไว้ที่สภาพปกติ (Normal) เมื่อเกิดเหตุขัดข้อง สัญญาณจาก Siren จะดังขึ้นพร้อมกับหลอดไฟของเหตุขัดข้องนั้น ๆ จะติดสว่างขึ้นมา เมื่อผู้ปฏิบัติงานปิดสวิตช์ไปที่อีกตำแหน่งหนึ่ง สัญญาณเสียงเท่านั้นจะหยุดดัง แต่ยังคงเหลือหลอดไฟของเหตุขัดข้อง นั้นๆ ติดสว่างอยู่
- หลอดไฟสัญญาณเตือนสำหรับแรงดันน้ำมันหล่อลื่นต่ำ Low Oil Pressure Alarm (OPA) หลอดไฟ (สีแดง) ดวงนี้จะติดสว่างขึ้น เมื่อแรงดันของน้ำมันหล่อลื่นต่ำกว่าที่กำหนดไว้ พร้อมกับสัญญาณเสียงจาก SIREN จะดังขึ้น เพื่อบอกให้ผู้ปฏิบัติงานทราบว่าเกิดการขัดข้องชนิดนี้ ขึ้นต้น



รูป 2

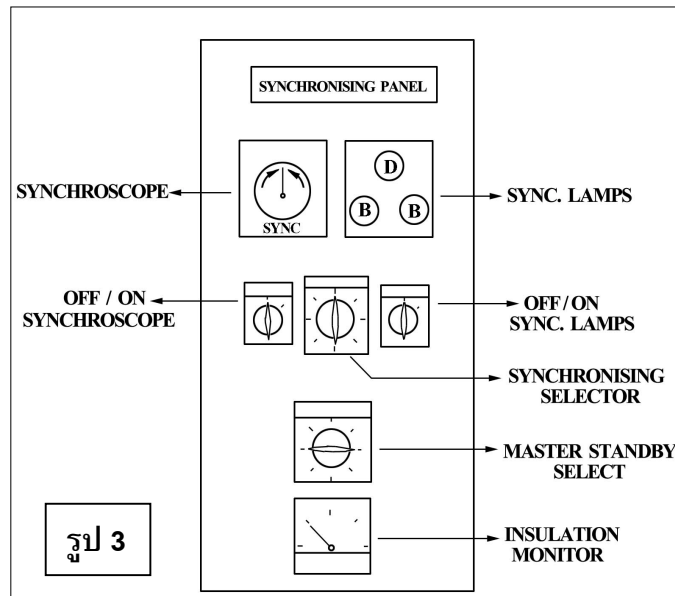
- หลอดไฟสัญญาณเตือนสำหรับอุณหภูมิของเครื่องยนต์สูงเกินไป High Engine Temperature Alarm (ETA) หลอดไฟ (สีแดง) ดวงนี้จะติดสว่างขึ้น เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันหล่อเย็นของเครื่องยนต์ สูงเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ พร้อมกับสัญญาณเสียงจาก SIREN จะดังขึ้น เพื่อบอกให้ผู้ปฏิบัติงานทราบว่าเกิดการขัดข้องชนิดนี้ ขึ้นต้น
 - หลอดไฟแสดงว่าวงจรสัญญาณเตือนเหตุขัดข้องทั้งหมดทำงาน Alarm Circuit On (AO) หลอดไฟ (สีแดง) ดวงนี้จะติดสว่างขึ้น เมื่อ Generator กำลังทำงานอยู่
 - สวิตช์ปุ่มกดสำหรับทดสอบวงจรสัญญาณเตือนเหตุขัดข้องทั้งหมด Alarm Circuit Test (AT) สวิตช์นี้ใช้กดสำหรับทดสอบวงจร SIREN พร้อมทั้งหลอดไฟเตือนทุกดวงว่าอยู่ในสภาพใช้งานได้หรือไม่
4. รายละเอียดของส่วนที่ใช้ในการขนาน (Synchronizing Section Description) ในรูปที่ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ เครื่องวัดดังต่อไปนี้
- ◆ Synchroscope เป็นตัวแสดงการเกิดเฟส (Phase) การหมุนของ (Phase) และความถี่ (Frequency) ของ Generator ตัวที่จะเข้าไปขนาน

- ◆ หลอดไฟที่ช่วยในการขนาน (Synchronizing Lamps) หลอดไฟที่ช่วยในการขนานนี้มีอยู่ 3 ดวง ซึ่งทั้งหมดนี้ทำหน้าที่เช่นเดียวกับ Synchroscope ช่วงของการขนานเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อหลอดไฟ 2 ดวง ข้างสว่างสูงสุด และหลอดไฟดวงกลางดับสนิท

- ◆ สวิตช์ เปิด-ปิด Synchroscope เป็นสวิตช์ที่ใช้สำหรับ เปิด-ปิด Synchroscope ในช่วงที่ต้องการขนาน Generator เข้าด้วยกัน

- ◆ สวิตช์เปิด - ปิด หลอดไฟที่ช่วยในการขนาน (Synchronizing Lamps On/Off Switch) เป็นสวิตช์ใช้สำหรับ เปิด - ปิด หลอดไฟที่ช่วยในการขนาน ในช่วงที่ต้องการขนาน Generator เข้าด้วยกัน

- ◆ สวิตช์เลือกการขนาน (Synchronizing Selector Switch)



มีตำแหน่งสำหรับการเลือก Gen 1 , Gen 2 , Gen 3 หรือ Gen 4 พร้อมกับมีตำแหน่งปิด ระหว่างการเลือกข้างต้น สำหรับการเลือกจะต้องเลือก Generator ตัวใดตัวหนึ่ง คือตัวที่ต้องการจะขนาน ให้เข้ากับตัวที่กำลังจ่ายภาระของเรือที่ Bus-Bar อยู่

- ◆ สวิตช์หลักในการเลือกการทำงานแบบสำรอง (Master Standby Selector Switch) มีตำแหน่งสำหรับการเลือก Gen 1, Gen 2, Gen 3 หรือ Gen 4 ให้ทำงานในตำแหน่งสำรอง (Standby) ตัวใดตัวหนึ่ง พร้อมกับมีตำแหน่งปิด (Off) ระหว่างการเลือกข้างต้น
- ◆ มิเตอร์บอกถึงความเป็นฉนวนของระบบ (Insulation Monitor) การบ่งบอกความเป็นฉนวน (การรั่วลงตัวเรือ) ของระบบจะทราบได้จากอ่านค่าจากมิเตอร์ที่แผงควบคุมนี้ ค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์ควรจะเป็น 1.0 เมกกะโอห์ม หรือ มากกว่า ถ้าค่าที่อ่านได้มีระดับต่ำกว่านี้จะแสดงว่าจะต้องมีสิ่งผิดปกติ (Fault) เกิดขึ้นในระบบ ผู้ปฏิบัติงานจะต้องทำการค้นหาตำแหน่งของ (Fault) นั้นๆ

5. วิธีการขนานเครื่อง Generator (Synchronizing Procedure)

สิ่งที่ต้องการหรือจำเป็นมาก ซึ่งจะต้องปฏิบัติให้ได้ครบถ้วนก่อนที่จะให้ Generator เดินขนานกันได้มีดังนี้

5.1. เฟส (Phase) ของแต่ละตัวต้องเรียงให้เหมือนกัน

- ลำดับช่องของวัตภาค (Phase Rotation) ของทั้งสองเครื่องจะต้องเรียงให้เหมือนกัน ดูได้ที่ขั้วปลายสายโดยมากแต่ละเฟสจะมีเครื่องหมายบอกไว้หรือทำได้โดยการตรวจจากแบบใช้ดวงโคมชนิดดับหมด (All Dark) หรือทำได้โดยดูจากกล่องต่อสาย (A.C. Terminal Box) ของ Generator แต่ละตัว ซึ่งได้ออกแบบมา และทำเครื่องหมายไว้เรียบร้อยแล้ว

5.2. ความถี่ (Frequency) ต้องเท่ากัน

- ปรับแต่งได้ที่ความเร็วของเครื่องขับโดยแต่งที่กัปเวอร์เนอร์ซึ่งจะทำให้เครื่องกำเนิดเปลี่ยนความเร็ว ความถี่ก็เปลี่ยนไปด้วย
- หรือการทำให้ความถี่เท่ากันทำได้โดยปิดสวิตช์ปรับความเร็ว (Speed Trim) ไปตำแหน่ง Raise เมื่อ ต้องการเพิ่ม ความถี่และที่ตำแหน่ง Lower เมื่อต้องการลดความถี่ แต่การปรับจะต้องปรับให้

ความถี่ของ Generator ชุดที่เรา กำลังจะขนานเข้าไปสูงกว่าความถี่ของ Voltage บน Busbar เล็กน้อย สภาวะนี้เห็นได้ด้วยตัวของมันเอง โดยดูจากการหมุนอย่างช้าของเข็มชี้บน Synchroscope ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

5.3. ขนาดของแรงดัน (Voltage) ต้องเท่ากัน

- ปรับแต่งที่ Field Rheostat ของเครื่องที่จะนำเข้ามาต่อขนาน ให้กระแสเข้ามาเลี้ยง Field จนแรงเคลื่อนสูงเท่ากับเครื่องที่กำลังเดินอยู่ (ดูที่โวลท์มิเตอร์) ทำได้โดยปรับค่าของ Voltage Trim

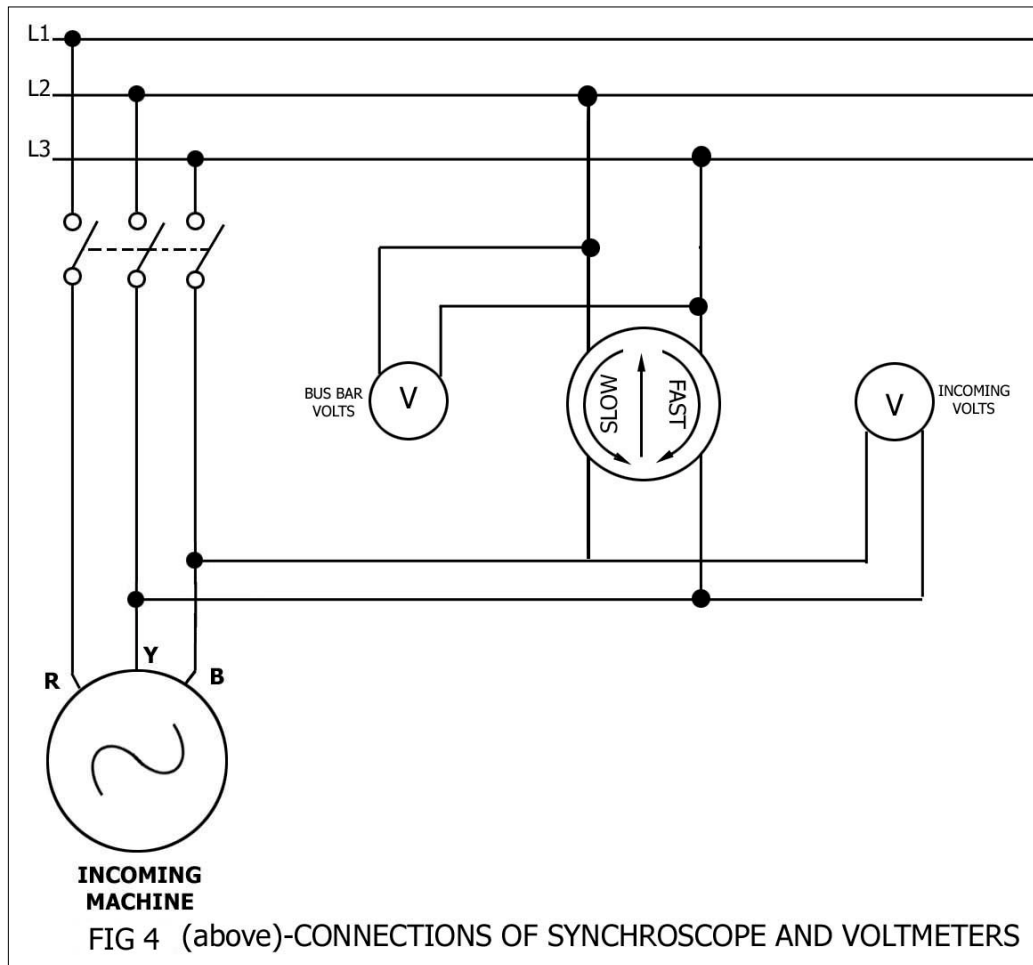
5.4. แรงดัน (Voltages) จะต้องมีส่วนเกิด Phase เหมือนกัน (In Phase)

- ดูที่เครื่องตรวจ (Synchronizing Device) ซึ่งต่อระหว่างสายจ่ายร่วม (Bus Bar) กับเครื่องที่นำมาต่อขนาน อาจใช้ดวงโคมหรือดูได้จากเข็มชี้ของ Synchroscope เมื่อชี้ที่ 12 นาฬิกา เมื่อเราปรับ Voltage ให้ In Phase กันได้แล้วการหมุนของเข็ม Synchroscope หมุนอย่างช้ามาก การ Synchronization ควรจะทำที่ตำแหน่งของเข็มหมุนก่อนถึง 12.00 น ประมาณ 2-3 องศา

6. ลำดับขั้นตอนการขนาน

- ◆ สมมุติว่า Generator ตัวที่ 1 กำลังเดินจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับภาระของเรืออยู่ สามารถที่จะ Start Generator ตัวที่ 2 แล้วขนานเข้ากับตัวที่ 1 ด้วยลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้
- 6.1. Start Generator ตัวที่ 2 โดยปิดสวิตช์เลือก (On-Off-Standby) ไว้ที่ตำแหน่ง On
- 6.2. ต้องแน่ใจว่าค่า Frequency และ Voltage ของ Generator ตัวที่ 1 ปรับได้ค่าที่ถูกต้องตามต้องการ โดยปรับที่ Speed Trim และ Voltage Trim แล้ว
- 6.3. ปรับ Voltage ของ Generator ตัวที่ 2 ให้เท่ากับ Generator ตัวที่ 1 แต่ปรับ Frequency ของ Generator ตัวที่ 2 ให้สูงกว่าตัวที่ 1 ที่กำลังจ่ายกำลังไฟฟ้าอยู่เล็กน้อย
- 6.4. เปิดสวิตช์ของ Synchroscope และหลอดไฟที่ช่วยในการขนาน (Synchronizing Lamps) และปิดสวิตช์เลือกขนานมาไว้ที่ตำแหน่ง Gen 2 ให้สังเกตดูช่วงที่หลอดไฟดวงข้างทั้ง 2 ดวง สว่างสูงสุด และหลอดไฟดวงตรงกลางดับสนิท ในเวลาเดียวกันเข็มของ Synchroscope ก็จะมีที่ตำแหน่งประมาณ 12 นาฬิกา (แนวตั้ง) ช่วงเวลานี้ให้กดสวิตช์ปุ่มกดสีเขียวของ Generator ตัวที่ 2 ซึ่งขณะนี้ Generator ตัวที่ 2 ก็จะขนานกับ Generator ตัวที่ 1 ตามต้องการ
- 6.5. ตรวจสอบพร้อมกับปรับค่าต่าง ๆ บนมิเตอร์ของ Generator ทั้ง 2 ตัว ให้เท่ากันพร้อมกับทำการแบ่งภาระภายในเรือ (kW) ให้เท่ากัน โดยการปรับค่า Voltage หรือ Frequency โดยวิธีข้างต้นนี้ สามารถที่จะทำงานการขนาน Generator ตัวที่ 3 และตัวที่ 4 เข้าไปเพิ่มได้อีก (ในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากกว่า 2 เครื่อง)

7. อุปกรณ์ช่วยในการขนาน Generator เข้าด้วยกัน



7.1. Synchroscope

- ◆ Synchroscope ตัวหนึ่งประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด ชุดหนึ่งจะต่ออยู่กับ บัสบาร์ (Bus Bar) หรือ Generator ที่กำลังจ่าย Load และอีกชุดหนึ่งจะต่ออยู่กับ Generator ตัวที่กำลังจะขนานเข้าไปที่ฝั่งของ Generator ขณะที่ยังไม่ได้ต่อสวิตช์ตัดตอน (Circuit Breaker) เข้ากับ Bus Bar ดังรูป 4 ถ้ามี Generator หลายตัวที่จะนำมาขนานกัน แต่มี Synchroscope ตัวเดียว สามารถทำได้โดยใช้ Socket หรือสวิตช์เลือก เพื่อต่อขดลวดชุดที่ต่ออยู่กับ Generator ที่ต้องการจะขนาน เข้าไปแต่ละตัวตามต้องการ เข็มชี้ของ Synchroscope สามารถหมุนได้อย่างอิสระทั้งทางตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งเป็นบอกผลต่างของมุมของแรงดันที่มาจาก 2 แหล่งจ่าย เมื่อผลต่างของมุมเท่ากับ 0 (ศูนย์) คือเป็นเฟสพร้อมกัน (Inphase) เข็มชี้จะชี้อยู่ที่ตำแหน่ง 12 นาฬิกา บนแผงหน้าปัทม์เขียนไว้ว่า “ Fast ” และ “ Slow ” ซึ่งเข็มชี้จะหมุนไปในทิศทาง Fast หรือ Slow นั้นขึ้นอยู่กับเครื่องยนต์ของ Generator ตัวที่ขนานกับ Bus Bar ว่าหมุนเร็วหรือช้าไป
- ◆ จากรูป 5 แสดงให้เห็นตัว Synchroscope ที่ใช้งานจริง ๆ การที่เข็มหมุนได้นั้นเกิดเนื่องจากภายใน Synchroscope ประกอบด้วย ขดลวดชุดอยู่กับที่ (Stator Winding) ซึ่งเป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นมา แล้วตัวหมุน (Rotor) ซึ่งถูกทำให้เป็นแม่เหล็กโดยขดลวดชุดอยู่กับที่ Rotor ถูกรองรับด้วย แบร็ง มีเข็มชี้ติดอยู่ที่เพลลาของมัน ดังนั้นจึงไม่มีขดลวดที่เคลื่อนที่การสัมผัส (Contact) ทางไฟฟ้า หรือ

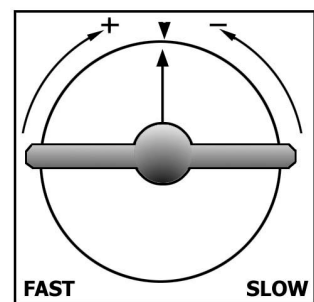
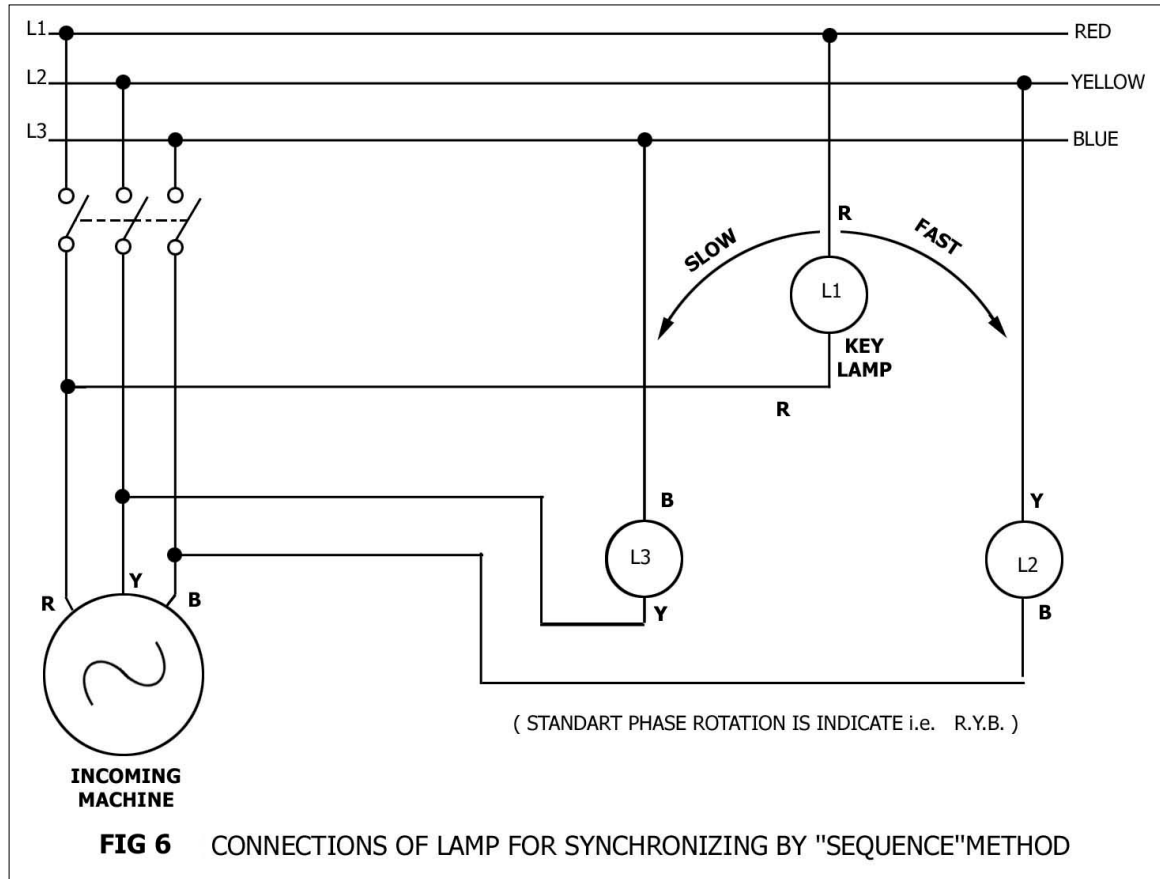


FIG 5 A.F.I. TYPE FC SYNCHROSCOPE

สปริงควบคุม เมื่อความถี่ของแรงดัน 2 ชุด เท่ากัน เข็มชี้ก็จะอยู่ที่ตำแหน่ง 12 นาฬิกา ซึ่งถือเป็นช่วงของการขนาน เพื่อหลีกเลี่ยงการชี้ของเข็มที่ผิดพลาดก่อนที่จะมีการขนาน จึงออกแบบให้เข็มชี้ตกลงมาจากตำแหน่ง 12 นาฬิกา เสมอ

- ◆ เพื่อที่จะช่วยการขนาน จะใช้หลอดไฟจากภายนอกเป็นอุปกรณ์ช่วยอีกครั้งหนึ่ง วงจรสำหรับการขนานเมื่อหลอดไฟดับ แสดงให้เห็นดัง รูป 6



- ◆ ในทางปฏิบัติส่วนใหญ่จะเป็นไปไม่ได้ที่จะปรับความเร็ว เพื่อให้เข็มชี้มีค่าคงที่ 12 นาฬิกา อยู่ตลอดเวลา ซึ่งการปฏิบัติที่ถูกต้องและดีที่สุดควรจะฝึกการขนานโดยการต่อสวิตช์ให้ Generator ตัวที่จะขนานเข้าไปที่ตำแหน่ง 11 นาฬิกา และเข็มชี้หมุนประมาณ 1 รอบ ใน 5 วินาที ในทิศทาง "Fast" Generator ตัวที่ต่อเข้าไปจะสามารถจ่าย Load ได้ทันทีแต่ถ้าสับสวิตช์ให้ต่อในช่วง "Slow" Generator ตัวที่สับเข้าไปอาจจะกลายเป็น Motor ซึ่งมีผลทำให้ Reverse Power Relay ทำงานแต่ในทางปฏิบัติจะตั้งเวลาหน่วงไม่ให้ Reverse Power Relay ทำงานได้ทันที
- ◆ ในการขนานจะใช้ โวลท์มิเตอร์ 2 ตัว ตัวหนึ่งต่อไว้กับ Bus Bar หรือ Generator ตัวที่กำลังจ่าย Load ส่วนอีกตัวหนึ่งจะต่อไว้กับ Generator ตัวที่กำลังจะขนานเข้าไป ในทางปฏิบัติขนาดของแรงดันที่แตกต่างกันซึ่งยอมให้ได้ คือ 10 เปอร์เซ็นต์
- ◆ ในที่ซึ่งหา Synchroscope ไม่ได้ หรือไม่มี เราก็สามารถใช้หลอดไฟ (Lamp) เป็นตัวบอกช่วงของการขนานก็ได้ ซึ่งลำดับขั้นการเรียง (Sequence) แสดงให้เห็นในรูป 6
- ◆ ดวงไฟดวงหนึ่งจะเป็นดวงหลัก (Key Lamp) จะต่ออยู่กับเฟสเดียวกันส่วนหลอดไฟอีก 2 ดวง ก็จะสลับกันสว่าง ซึ่งถ้าเราวางให้อยู่ในรูปของสามเหลี่ยม หลอดไฟก็จะสลับกันสว่างแบบหมุนรอบ ซึ่งอาจจะเป็นแบบหมุนตามเข็มหรือทวนเข็ม เป็นการบอกว่า เครื่องยนต์ที่ขับ Generator นั้นหมุนเร็วหรือช้าไป เช่นเดียวกันกับเข็มของ Synchroscope ช่วงของการขนานคือ เมื่อ Key Lamp (ซึ่ง

ควรจะต้องอยู่บนสุดของสามเหลี่ยม) ดับสนิท และหลอดไฟที่เหลืออยู่อีก 2 ดวง สว่างเท่า ๆ กัน ถ้าต่อให้ทิศทางของแสงของเฟสผิดไปจากนี้ หลอดไฟทั้ง 3 ดวง จะสว่างและดับพร้อมกัน เพื่อแก้ไขถูกต้องทำได้โดยสลับสาย 2 เฟส

- ◆ เนื่องจากหลอดไฟที่ใช้กับแรงดันขนาดมากกว่า 250 โวลต์ หายาก เราอาจจะใช้หลอดไฟ 220 โวลต์ 2 หลอด ต่ออนุกรมกัน หรือใช้หลอดไฟที่มีหม้อแปลงอยู่ภายในก็ได้

8. การป้องกันกำลังไฟฟ้าย้อนกลับ (Reverse Power Protection)

- ◆ เนื่องจากการป้องกันการไหลกลับของกระแสไฟฟ้ากระแสสลับไม่สามารถทำได้ ดังนั้นจึงต้องหันมาหาวิธีป้องกันอย่างอื่นมาแทน นั่นคือ ป้องกันกำลังไฟฟ้าย้อนกลับ ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันมิให้ Generator กลับสภาพเป็นมอเตอร์ ซึ่งเนื่องจากสาเหตุของการสูญเสียกำลังของตัวต้นกำลัง (เครื่องยนต์ดีเซลใช้ขับ) การสูญเสียกำลัง ของเครื่องยนต์อาจจะเนื่องมาจากสาเหตุขัดข้องทางกล หรือระบบน้ำมันเชื้อเพลิงหรืออาจจะเกิดจากความตั้งใจที่จะหยุดเดินเครื่องของผู้ควบคุม ถ้า Generator ตัวที่ดับอยู่ไม่แล้ว แต่ยังต่ออยู่กับ Generator ตัวอื่น ๆ ที่ขนานกันและกำลังจ่าย Load อยู่อย่างต่อเนื่องจะมีผลทำให้เครื่องยนต์ที่ขับของ Generator ตัวที่หยุดทำงานไปแล้วนั้นชำรุดเสียหายได้
- ◆ เพื่อป้องกันจากการเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวข้างต้น จะใช้รีเลย์ป้องกันกำลังไฟฟ้าย้อนกลับ (Reverse Power Relay) เป็นตัว Lock ภายในวงจร ซึ่งจะต้องสอดคล้องกับเหตุขัดข้องของเครื่องยนต์ที่กำหนดไว้ก่อน เช่นแรงดันของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ การปิดของ Solenoid น้ำมันเชื้อเพลิง , ความเร็วของเครื่องยนต์สูงเกินไป
- ◆ เพื่อป้องกันมิให้ (Reverse Power Relay) ทำงานขึ้นมาทันทีทันใด เมื่อเกิดการพุ่งขึ้นของกำลังไฟฟ้า (Power Surges) ในช่วงของการขนาน Generator เข้าด้วยกัน ดังนั้นจึงต้องใช้รีเลย์หน่วงเวลา (Time Delay Relay) เข้ามาควบคุมการทำงานก่อน สำหรับในที่ซึ่งใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นตัวต้นกำลังขั้วนั้น ในทางปฏิบัติจะตั้งไว้ที่ 10-15 เปอร์เซ็นต์ ของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายได้ตามพิกัด

หมายเหตุ ข้อมูลบางส่วนในเรื่อง การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ นี้ได้ใช้ข้อมูลจากเรือชุดตรวจการณ์ปืน (ตกป.) ซึ่งการปฏิบัติและขั้นตอนต่างๆ ส่วนใหญ่สามารถดัดแปลงใช้กับเรือต่างๆ ได้

ข้อขัดข้องและการแก้ไข เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ข้อขัดข้อง	สาเหตุ	การแก้ไข
1. ขมู ภาวณุ ยส์ไ้หจุ ผลลณุณท	1. ท้ทตท ท Load° สํสฝั	พทท ฐ ฐ Load° ํสฝั
	2. พะ ถัโอส Coupling ี อะส ี พื ท พCoupling° สํฝพฝร	ถทท พ Coupling ี °ฝพฝร ฐ ภา ี “ ยย
	3. พหุ ถั ฐะ ฐพ ี ะ ฐ Rotor ฐ Stator° สฝ	พททถณุ หว ย ฐถัถ ี อะส ี พื ํท ี “ ถท ฐ ฐพฝร ฐ ี พื ถอทยฐถัถ ี ส’ ฐ ี พทท
	4. ี ี ฐร ฐ (Lamination) ี อะส	ทฝ Nut ี “ยย ี ี ะ ย ฐ ี ี ี ส’ ี อะส
2. ฐะ ส ี ํยํฐลณุ ณท	1. ภาวณุ ย ฐท ฐฝ(Over Load)	ะฝทพ ํ ภาทททท ย ฝรย ี ี ี ท (Name Plate) ฐ ฐฝ Load
	2. Load° สํสฝั	ทฝ Load° ํสฝั
	3. ี ี ํ ํ ี ี ี ี Load ท ฝ	ี ถอทย ี ี ี ส’
	4. ท พทท ฐะ ส ี ี ี สฝ	ภาวณุ สํ ี ฝ ี ฐ ี ํ ฐทฝ ฐะ ฐร ฐ พทท ฐะ ส ี ี ี ี ท
	5. ฆดลวด Rotor ลัดวงจรหรือฆด ลวดไม่ครบวงจร หรือฆดลวดร่วลง ดิน	ตรวจและเปลี่ยนขดลวดที่ชำรุดใหม่
	6. ฆดลวด Stator ลัดวงจร หรือฆด ลวดไม่ครบวงจร หรือฆดลวดร่วลง ดิน	ตรวจและเปลี่ยนขดลวดที่ชำรุดใหม่
	7. ฐูกป็น (Bearings)	ตรวจฐูกป็นว่า หลวม หรือแห้ง หรือแตก หรือ มีนํ้ามันหล่อลื่นมากเกินไป เปลี่ยนฐูกป็นที่ หลวมหรือแตก หล่อลื่นฐูกป็นที่แห้ง และเช็ด นํ้ามันหล่อลื่นในฐูกป็นที่มีนํ้ามันหล่อลื่นมาก เกินไป
3. ฆนะทํางานไม่มีแรง ดัน Out Put	1. ฆดลวด Stator ลัดวงจร หรือฆด ลวดวงจรเปิด	ตรวจและเปลี่ยนขดลวดที่ชำรุดใหม่
	2. ฆดลวด Rotor ลัดวงจรหรือฆด ลวดวงจรเปิด	ตรวจและเปลี่ยนขดลวดที่ชำรุดใหม่

	3. Slip Ring ลัดวงจร	ปลดสายไฟวงจรฟิลด์ ตรวจสอบความต้านทาน ฉนวน Slip Ring ด้วยเมกเกอร์ แล้วแก้ไขให้ดี
ข้อขัดข้อง	สาเหตุ	การแก้ไข
	4. ความชื้นภายใน	ตรวจสอบความต้านทานของขดลวด แล้วอบให้ แห้ง
	5. ไม่มีแรงดันไฟตรงที่แปรงถ่าน บน Slip Ring หรือไม่มีแรงดันไฟ ตรงจาก Exciter	ตรวจสอบความบกพร่องของสวิตช์ ตรวจสอบฟิวส์ จากสายไฟ Exciter ซ่อมหรือเปลี่ยนสวิตช์ เปลี่ยนฟิวส์ ตรวจสอบสายไฟจาก Exciter ว่าขาด หรือลัดวงจร ซ่อมข้อต่อหรือเปลี่ยนสายใหม่
	6. Volt-Meter บกพร่อง	ใช้ Volt-Meter ที่ดีตรวจสอบ ถ้า Volt-Meter เกิด บกพร่องหรือเสีย ให้แก้ไข หรือเปลี่ยนใหม่
	7. ขดชั้น(Shunt) ของ Amp-Meter วงจรเปิด	เปลี่ยน Amp-Meter และขดชั้น(Shunt)ใหม่
	8. ข้อต่อที่ Slip Ring ไม่ดี	ทำความสะอาดที่ Slip Ring และแปรงถ่าน ปรับแปรงถ่านให้สัมผัสแน่น
	9. หลัต่อสายหลวม	ทำความสะอาดและปรับหน้าสัมผัสให้แน่น
	10. ลืมปรับ Voltage Regulator และ Governor ควบคุมความเร็ว	ปรับ Governor ควบคุมความเร็ว และปรับ Voltage Regulator
4. ปล่อยให้ Out Put ว่าง นานเกินไป	1. ความเร็วสูงเกินไป	ปรับ Governor ควบคุมความเร็วให้เปิดน้อย ลง
	2. ป้อนฟิลด์มากเกินไป	ปรับ Voltage Regulator
	3. ขดลวด Stator ที่ต่อแบบเดลต้า วงจรเปิดชุดหนึ่ง	ต่อ ,ซ่อมหรือเปลี่ยนขดลวดที่ชำรุดใหม่
5. ความถี่ไม่ถูกต้อง หรือเปลี่ยนแปลงอยู่ เรื่อย ๆ	1. ความเร็วไม่ถูกต้อง หรือเปลี่ยน แปลงอยู่เรื่อย ๆ	ปรับ Governor ควบคุมความเร็ว
	2. แรงดันไฟตรงป้อนฟิลด์ไม่คงที่	ปรับสายพานขับ Exciter ให้ตึง
6. แรงดัน Out Put สูงๆ ต่ำๆ	1. หน้าสัมผัส Voltage Regulator สกปรก	ทำความสะอาด และปรับหน้าสัมผัสให้แน่น
	2. ความต้านทานฟิลด์ภายนอกไม่ แน่น	ต่อและปรับหน้าสัมผัสให้แน่น

7. Stator ร้อนเป็นจุดๆ	1. ขดลวดอาร์มาเจอร์บาง Phase ลัดวงจร	ตรวจและเปลี่ยนขดลวดที่ชำรุดใหม่
------------------------	--------------------------------------	---------------------------------

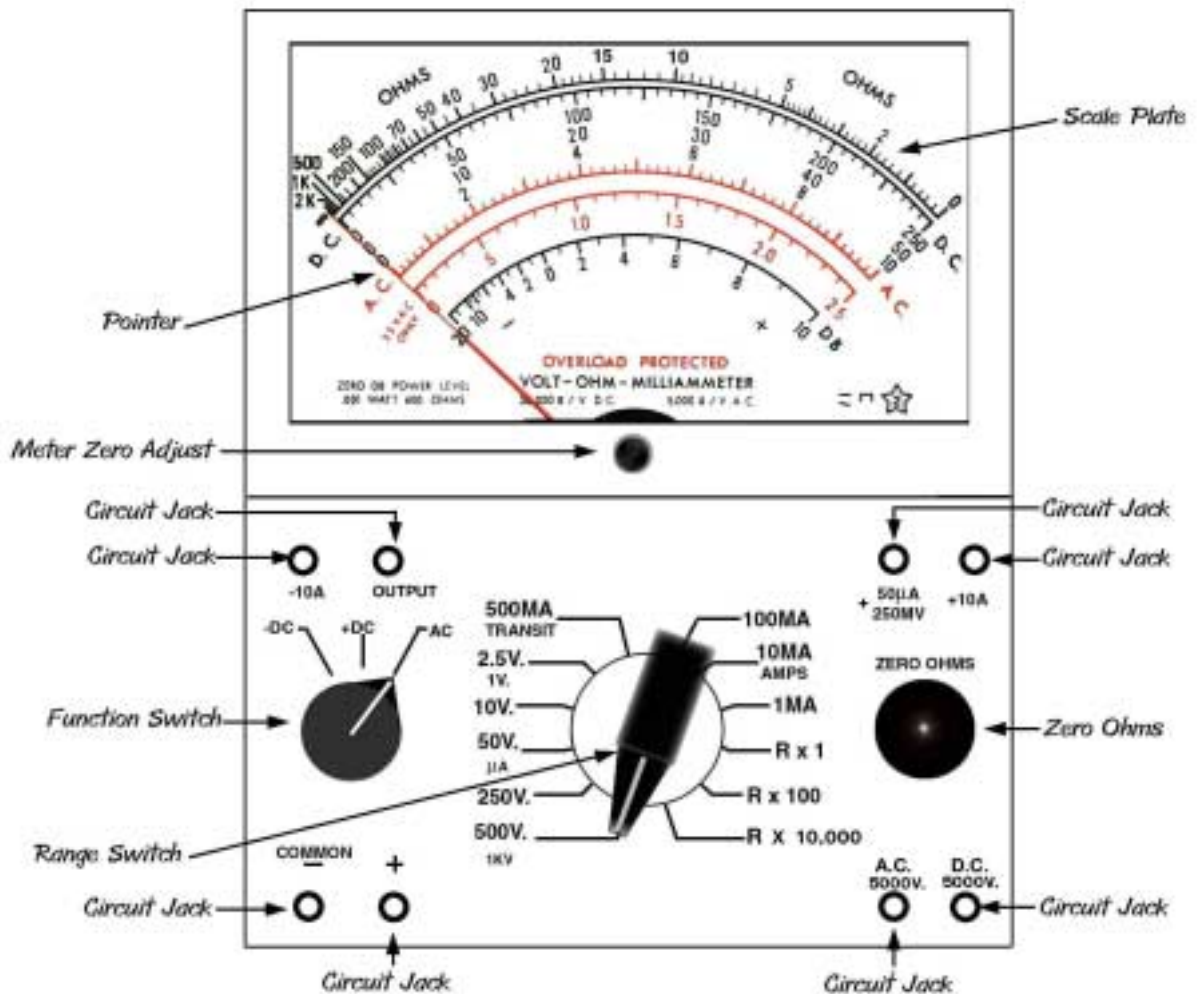
ข้อขัดข้อง	สาเหตุ	การแก้ไข
	2. Rotor ไม่ได้ศูนย์ (ระยะช่องว่างระหว่าง Rotor และ Stator ไม่เสมอ)	ตรวจการโค้งงอของเพลลา ตรวจลูกปืนแตกหรือหลวม แล้วตัด-ปรับเพลลาให้ตรง เปลี่ยนลูกปืนใหม่
	3. ขดลวดแต่ละวงจรไม่สมดุล	ปรับขดลวดแต่ละวงจรให้สมดุล
	4. ข้อต่อขดลวดไม่แน่น	ทำข้อต่อขดลวดให้แน่น
	5. การต่อลำดับ Phase ของขดลวดผิด	ต่อลำดับ Phase ของขดลวดให้ถูกต้อง
8. ขดลวดสนามแม่เหล็กร้อนเกินไป	1. ขดลวดสนามแม่เหล็กลัดวงจร	ตรวจและเปลี่ยนขดลวดที่ชำรุดใหม่
	2. กระแสไฟตรงป้อนฟิลด์สูงเกินไป	ลดกระแสไฟตรงจาก Exciter ลง โดยปรับที่ Voltage Regulator
	3. การระบายความร้อนไม่ดี	ทำความสะอาดส่วนต่าง ๆ เอาสิ่งสกปรกที่กีดขวางทางระบายความร้อนออก
9. เมื่อสัมผัสโครงเครื่องกำเนิดแล้วไฟลัดวงจร (ดูด)	1. ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กที่ Stator กลับทาง	ตรวจลำดับขั้ว และต่อลำดับขั้วสายไฟให้ถูกต้อง
	2. ประจุไฟฟ้าสถิตย์ หรือขดลวดสนามแม่เหล็กรั่วลงดิน	ตรวจข้อต่อสายเดินของโครงเครื่องกำเนิด ทำความสะอาดและต่อใหม่ให้แน่น ช่อมหรือเปลี่ยนขดลวดสนามแม่เหล็ก
	3. ขดลวดอาร์มาเจอร์รั่วลงดิน	ตรวจการรั่วลงดินของขดลวดอาร์มาเจอร์ ช่อมหรือเปลี่ยนขดลวดอาร์มาเจอร์ใหม่

Multimeters

- Ammeter, Voltmeter และ Ohmmeter เป็นมิเตอร์มีโครงสร้างมาจากดาร์ซอแนล (D'ARSONVAL) มิเตอร์เหมือนกัน ใช้สภาวะการทำงานเมื่อมีกระแสไหลผ่านดาร์ซอแนลมิเตอร์เหมือนกัน ส่วนที่ต่างกันของมิเตอร์เหล่านี้คือ วงจรเบื้องต้นที่ถูกนำมาใช้ต่อเข้ากับส่วนที่เคลื่อนไหวของดาร์ซอแนล มิเตอร์ ดังนั้นถ้านำเอาวงจรเบื้องต้นของมิเตอร์เหล่านี้มารวมสร้างไว้ด้วยกัน ใช้ส่วนเคลื่อนไหวของดาร์ซอแนลมิเตอร์ร่วมกัน การเลือกใช้มิเตอร์ชนิดใดสามารถทำได้โดยใช้สวิตช์เลือกย่านวัด (Range Switch) เลือกวงจรของมิเตอร์ชนิดนั้นไปใช้งานร่วมกับดาร์ซอแนลมิเตอร์
- มิเตอร์ดังกล่าวนี้ถูกเรียกรวมกันว่า Multimeters หรือ VOM (Volt-Ohm-Milliammeter) รูปร่างของ Multimeters แสดงดังรูป
- Volt-Ohm-Milliammeter หรือ VOM บางครั้งเรียกว่าเครื่องตรวจสอบวงจร ได้ออกแบบเพื่อใช้วัดแรงเคลื่อนทั้งไฟตรงและไฟสลับ ความต้านทานและกระแส โดยใช้สวิตช์เลือก (Range Switch)
- จากรูป เป็น Multimeters แบบมาตรฐาน ที่ถูกผลิตขึ้นมาเพื่อการใช้งานทั่วไปภายใน Multimeters สามารถทำเป็นมิเตอร์ได้ 4 ชนิด คือ D.C. Voltmeter (D.C.V) A.C. Voltmeter (A.C.V) D.C. Milliamp Meter (D.C.mA) และ Ohms Meter (Ω) นอกจากนี้ยังสามารถนำไปวัดค่าปริมาณไฟฟ้าอื่น ๆ ได้อีกหลายอย่าง เช่น วัดความดังของสัญญาณเสียงเป็นเดซิเบล (Decibel: dB) วัดการต่อวงจรแสดงด้วยเสียงจากบัสเซอร์ (Buzzer) วัดอัตราขยายของทรานซิสเตอร์ (h_{FE}) วัดกระแสรั่วซึมของทรานซิสเตอร์ (I_{CEO}) เป็นต้น
- Multimeters ต่างรุ่นต่างบริษัท ตำแหน่งต่าง ๆ ของส่วนกลางจะถูกวางแตกต่างกันไป เช่น ขั้วเสียบสายวัดของมิเตอร์ ตำแหน่ง Scale ของย่านวัด ตำแหน่ง Scale บอกค่า ตลอดจนตัวเลขที่กำกับไว้บน Scale และอื่น ๆ อีกมากมาย ถึงแม้ว่าส่วนประกอบต่างรุ่นจะมีความแตกต่างกัน แต่ก็มีส่วนที่เหมือนกันใน Multimeters ทุกรุ่นคือ สามารถวัดชนิดของปริมาณไฟฟ้าได้เหมือน ๆ กัน ได้แก่ วัดแรงดันไฟกระแสตรง (V D.C.) วัดแรงดันไฟกระแสสลับ (V A.C.) วัดกระแสไฟตรง (D.C.mA) และวัดความต้านทาน (Ω)
- การนำ Multimeters ไปใช้งานในการวัดปริมาณทางไฟฟ้า จะมีวิธีการตั้งย่านวัด วิธีการปรับแต่ง วิธีการอ่าน Scale ทำได้ในหลักการเดียวกัน ไม่ว่าจะเป็น Multimeters รุ่นใดก็ตาม



1. ส่วนประกอบของ Multimeters



1.1. Pointer คือ เข็มชี้ของมิเตอร์

1.2. Scale Plate คือ แผ่น Scale หน้าปัดของมิเตอร์

1.3. Meter Zero Adjust

- ◆ สกรูเพื่อปรับแต่งเข็มชี้ให้ชี้ที่ตำแหน่งด้านซ้ายมือสุดของ Scale คือชี้ที่ Scale 0 (0V , 0A , ∞) ช่วยให้การแสดงค่าออกมาถูกต้อง ซึ่งก่อนที่จะทำการวัดใด ๆ ก็ตาม ต้องตรวจสอบว่าเข็มของมาตรวัดชี้ที่ Scale 0 (0V , 0A , ∞) หรือไม่ ถ้าเข็มไม่ชี้ที่ Scale 0 จริง ๆ เราแต่ง Meter Zero Adjust ที่ติดอยู่บนเบเคิลที่ตรงกึ่งกลางหน้าปัดของมาตรวัดโดยใช้ไขควงเล็กหมุน Meter Zero Adjust ไปตามเข็มนาฬิกา หรือทวนเข็มนาฬิกาจนกระทั่งเข็มทับที่ Scale 0 ซึ่งอยู่ทางด้านซ้ายของ Scale จริง ๆ

1.4. Circuit Jack

- ◆ Circuit Jack เหล่านี้เป็นจุดต่อสำหรับสายวัด เพื่อเลือกวงจรในการวัดค่าต่าง ๆ มี 8 รู
- ◆ Circuit Jack ด้านล่างซ้ายมือ จะเป็น Circuit Jack ซึ่งกำหนดด้วยอักษร Common- และ + จะต้องต่อสายสีดำเข้าที่ Circuit Jack ของ COMMON- และสายวัดสีแดงเข้าที่เครื่องหมาย + ในทุก ๆ ย่านระยะและทุก ๆ วงจร เว้นแต่ในย่านระยะ 10 A.
- ◆ ส่วนอีก 2 รู ด้านบนที่อยู่ตรงข้ามกับ Circuit Jack ของ Common - และ + คือ Circuit Jack ที่กำหนดไว้ด้วยอักษร -10 A., Output (Simpson 260 Series 5) หรือ -10A., +1V

- ◆ ด้านบนขวาจะเป็น Circuit Jack ที่กำหนดไว้ด้วยอักษร $+50 \mu\text{AmpS}$ กับ 250 MV. และ +10 A. (260 Series 6) เมื่อจะใช้วัดกำลังดันทางออกของ Audio Frequency เราจะต่อสายวัดสีแดงเข้าที่ Circuit Jack ของ Output สำหรับการวัดในย่านกระแสไฟตรง 50 Micro ampere และกำลังดันไฟตรง 250 Milli volt ใช้สายวัดสีแดงเสียบเข้าที่ Circuit Jack ของ $50 \mu\text{Amps}$
- ◆ ในย่านกระแสไฟตรง 10 Ampere เราเอาสายวัดสีดำเอาไว้ที่ Circuit Jack เครื่องหมาย - 10 A. และเอาสายวัดสีแดงไว้ที่ Circuit Jack ของ +10 A.

1.5. Function Switch

- ◆ Function Switch คือสวิตช์เลือกตำแหน่ง สวิตช์นี้ติดอยู่ทางซ้ายมือส่วนล่างของเครื่องวัด มีตำแหน่งอยู่ 3 ตำแหน่ง คือ - D.C., + D.C. และ A.C. เมื่อเราต้องการวัดกำลังดันไฟตรง และความต้านทาน เราก็บิดสวิตช์เลือกย่านไปทาง + D.C., - D.C. ขึ้นอยู่กับขั้วของกระแสและกำลังดันไฟที่เราจะวัดประโยชน์อีกอย่างหนึ่งของสวิตช์นี้คือเมื่อเรามีความจำเป็นที่จะสลับสายไฟ เราไม่จำเป็นต้องถอดออกจากรูเสียบ เราใช้บิดสวิตช์นี้แทนได้

1.6. สวิตช์เลือกย่าน

- ◆ Range Switch คือสวิตช์เลือกย่าน สวิตช์เลือกย่านนี้อยู่ตรงกลางส่วนล่างของมาตรวัด ซึ่งประกอบด้วยย่านวัดต่าง ๆ 12 ตำแหน่ง สวิตช์นี้บิดไปได้ทั้งสองทาง เพื่อเลือกย่านวัดและตำแหน่งของวงจรที่ต้องการ ซึ่งต้องใช้สัมพันธ์กันกับการเสียบสายที่ Circuit Jack และตำแหน่ง Function Switch

1.7. Zero Ohm

- ◆ Zero Ohm ปุ่มปรับศูนย์ เป็นปุ่มบังคับการทำงานอีกอันหนึ่งอยู่ทางขวามือบนตัวมาตรวัด เป็นความต้านทานที่เปลี่ยนค่าได้ ความต้านทานเปลี่ยนค่าได้ตัวนี้ อยู่ในวงจรสำหรับวัดค่าความต้านทาน ใช้ปุ่มนี้เพื่อแต่งเข็มมาตรวัดให้ชี้ 0 เมื่อเราแตะปลายสายทั้งสองของสายวัดเข้าด้วยกัน เมื่อเราใช้วัดค่าความต้านทาน

1.8. Scale Plate จะเป็น ส่วนบอกค่าต่างๆ ที่เราวัดได้

- ◆ วิธีการอ่าน Scale บนหน้าปัทม์ Meter (Simpson 260 Series 5)



- ◆ Scale สีดำด้านบนสุดของหน้าปัทม์ จาก 0 - 2K ใช้สำหรับบอกค่าของความต้านทานที่เราต้องการวัด
- ◆ Scale สีดำถัดลงมาใช้สำหรับบอกค่า Volt - D.C. และกระแสไฟ D.C. ด้วย แบ่งออกเป็น 3 ย่าน คือ
 - ① 0 - 250
 - ② 0 - 50
 - ③ 0 - 10

- ◆ Scale A.C. สีแดงถัดลงมาใช้สำหรับบอกค่า เมื่อวัด Volt A.C. การอ่านตัวเลขบน Scale ให้อ่านตัวเลข เดียวกันกับเมื่อใช้วัด Volt D.C.
- ◆ Scale สีแดง ถัดลงมาใช้สำหรับวัด Volt A.C. เท่านั้น แบ่งออกเป็น 1 ย่าน คือ 0 - 2.5

◆ Scale สี่ตำแหน่งล่างสุด ใช้ในส่วนของ decibel

1.9. Battery ภายใน

1.9.1. Battery ที่ใช้ใน Meter Simpson 260 Series 5 ใช้ถ่านไฟฉายก้อนใหญ่ขนาด 1.5 Volt (# 2 ,Size D) จำนวน 1 ก้อนและขนาดเล็ก (# Z) อีก 4 ก้อน

- ถ้าเราใช้มาตรวัดเพื่อวัดค่าความต้านทานในย่านระยะ R x 1 และ R x 100 แต่ไม่สามารถจะปรับแต่ง Zero Ohm ได้ ให้เปลี่ยนถ่านก้อนใหญ่
- ถ้าเราใช้มาตรวัดเพื่อวัดค่าความต้านทานในย่านระยะ R x 10,000 แต่ไม่สามารถปรับแต่ง Zero Ohm ได้ ให้เปลี่ยนถ่าน 4 ก้อนเล็ก

1.9.2. สำหรับ Meter Simpson 260 Series 6 ใช้ถ่านไฟฉายก้อนใหญ่ขนาด 1.5 Volt (#2,Size D) จำนวน 1 ก้อน และ Battery 9 Volt 1 ก้อน

- ถ้าเราใช้มาตรวัดเพื่อวัดค่าความต้านทาน ในย่านระยะ R x 1 และ R x 100 แต่ไม่สามารถจะปรับแต่ง Zero Ohm ได้ ให้เปลี่ยนถ่านก้อนใหญ่
- ถ้าเราใช้มาตรวัดเพื่อวัดค่าความต้านทานในย่านระยะ R x 10,000 แต่ไม่สามารถปรับแต่ง Zero Ohm ได้ ให้เปลี่ยน Battery 9 Volt
- สำหรับ Meter Simpson 260 Series 6 เวลาเปลี่ยนถ่านและเปลี่ยน Fuse ไม่ต้องถอดฝาครอบออกเพียงแต่คายตะปูทองเหลืองที่ Battery And Fuse Compartment ออกก็จะเห็น Fuse และถ่าน
- การเปลี่ยนถ่านต้องดูขั้วให้ถูกต้องด้วย

1.10. Fuse เป็นอุปกรณ์สำหรับป้องกันวงจรภายในของมาตรวัด

- สำหรับ Series 5 ยกกรอบด้านหน้าของมาตรวัดออกจากกล่องแล้วปลด Fuse ที่เสียออก ใช้ Fuse ขนาด 1 Amp 250 Volt Pictail Fuse แบบ 3 AG
- สำหรับ Series 6 ไม่ต้องถอดฝาครอบออกเพียงถอด Battery And Fuse Compartment ออกก็จะเห็น Fuse ซึ่งอยู่ในที่ยึด Fuse และ Fuse Spare Fuse ที่ใช้ขนาด 1.5 Amps 250 Volt

2. ย่านวัด

2.1. กำลังดันไฟตรง D.C. ความไว 20,000 Ohms Per Volt มีย่านวัดดังนี้

0 - 250 mV. 0 - 2.5 V. 0 - 10 V.
0 - 50 V. 0 - 250 V. และ 0 - 1 kV.

2.2. กำลังดันไฟสลับ A.C. ความไว 5,000 Ohms Per Volt มีย่านวัดดังนี้

0 - 2.5 V. 0 - 10 V. 0 - 50 V.
0 - 250 V. และ 0 - 1 kV.

2.3. กระแสไฟตรง มีย่านวัดดังนี้

0 - 50 A. 0 - 1 mA. 0 - 10 mA.
0 - 100 mA. 0 - 500 mA. และ 0 - 10 A.

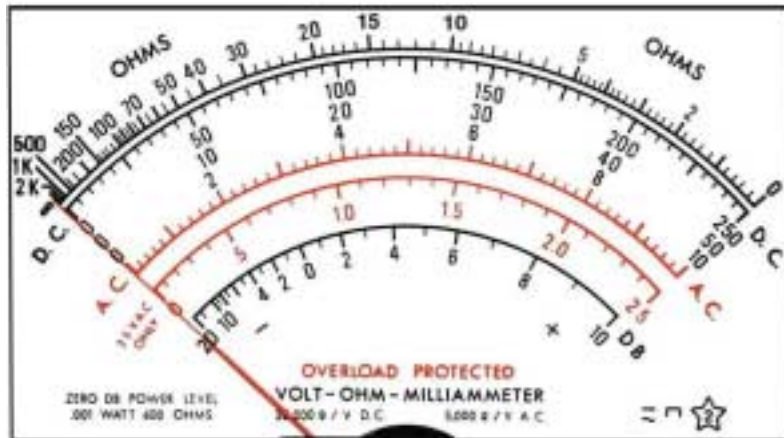
2.4. ความต้านทาน มีย่านวัดดังนี้

RX1	ใช้สำหรับ	0 - 200	Ohms
RX100	ใช้สำหรับ	200 - 20,000	Ohms
RX10,000	ใช้สำหรับ	20,000	Ohms ขึ้นไป

3. การใช้ Multimeter

3.1. การวัดกำลังดันไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Voltage Measurement)

- ◆ การแบ่ง Scale ในมาตรวัดกำลังดันไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกได้ดังนี้ (ดูรูปประกอบ) จาก 0 ถึงสูงสุดแบ่งออกไป 50 ช่อง เท่าๆ กัน และใน 50 ช่องนี้ กำหนดให้ใช้เป็น 3 ย่านวัด คือ



ย่านวัด	0 – 250 V	ในแต่ละช่องจะมีค่า = 5V
ย่านวัด	0 – 50 V	ในแต่ละช่องจะมีค่า = 1V
ย่านวัด	0 – 10 V	ในแต่ละช่องจะมีค่า = 0.2 V

- ◆ ใน 3 ย่านวัดนี้เป็นการแบ่ง Scale แบบมาตรฐานเพื่อใช้เป็น Scale อ้างอิง เพราะในมาตรวัดนั้นสามารถวัดค่ากำลังดันต่ำกว่า 10 Volt หรือสูงกว่า 250 Volt ก็ได้ ไม่ว่าจะวัดค่ากำลังดันขนาดใดก็ตามเราก็จะใช้ Scale ของย่านวัดทั้งสามนี้เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ออกมาให้เราดังนี้
 - ถ้าวัดค่ากำลังดันระหว่าง 0 – 250 Milli Volt จะอาศัย Scale ของย่านวัด 0 – 250 Volt ดังนั้นในแต่ละช่องจะมีค่าเท่ากับ 5 Milli Volt
 - ถ้าวัดค่ากำลังดันระหว่าง 0 – 1000 Volt จะอาศัย Scale ของย่านวัด 0 – 10 Volt ดังนั้นในแต่ละช่องจะมีค่าเท่ากับ 20 Volt
 - ถ้าวัดค่ากำลังดันระหว่าง 0 – 1 Volt จะอาศัย Scale ของย่านวัด 0 – 10 Volt ดังนั้นในแต่ละช่องจะมีค่าเท่ากับ 0.02 Volt

3.1.1. การวัดกำลังดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าระหว่าง 0 – 250 Milli Volt

ข้อควรระวัง เมื่อใช้มาตรวัดเพื่อวัดกำลังดัน ซึ่งอยู่ในย่าน Milli volt จงใช้ความระมัดระวังให้มากที่สุด เพื่อมิให้เกิดความเสียหายแก่มาตรวัดการที่มีกำลังดันเกินเข้ามาในมาตรวัด ส่วนเคลื่อนไหวของมตรวัดจะเสียหายได้ ดังนั้นต้องทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

- 1) ตั้ง Function Switch ไว้ที่ตำแหน่ง + D.C.
- 2) เสียบสายวัดสีดำเข้าที่ Jack Common- และสายวัดสีแดงเข้าที่ Jack 250 MV (+50 μ AMPS)
- 3) ตั้ง Range Switch ไว้ที่ 50 V. (μ Amps)
- 4) ต่อสายวัดสีดำไปยังด้านลบของวงจรที่จะวัด และสายวัดสีแดงไปยังด้านบวกของวงจร
- 5) อ่านค่ากำลังดันที่ Scale D.C. ย่านระยะ 0–250 โดยตรงเป็น Milli Volt

3.1.2. การวัดกำลังดันไฟฟ้ากระแสตรง ย่านระยะ 0 – 1 Volt

- 1) ตั้ง Function Switch ไว้ที่ตำแหน่ง + D.C.
- 2) เสียบสายวัดสีดำเข้าที่ Jack Common – และสายวัดสีแดงเข้าที่ Jack +1v

- 3) ตั้ง Range Switch ไว้ที่ 1 V (ตำแหน่งคู่กับ 2.5 V)
- 4) ต่อสายวัดสีดำไปยังด้านลบของวงจรที่จะวัด และสายวัดสีแดงไปยังด้านบวกของวงจร
- 5) อ่านค่ากำลังดันที่ Scale D.C. ย่านระยะ 0 – 10 แล้วหารค่าที่อ่านได้ด้วย 10

3.1.3. การวัดกำลังดันไฟฟ้ากระแสตรง 0 – 2.5 ผ่านย่านระยะ 0 – 500 V

- 1) ตั้ง Function Switch อยู่ที่ตำแหน่ง +D.C.
- 2) เสียบสายวัดสีดำเข้าที่ Jack Common- และสายวัดสีแดงเข้าที่ Jack +
- 3) ตั้ง Range Switch ไว้ที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งของย่านระยะกำลังดันที่ต้องการจะวัด ที่มีอยู่ 5 ย่านระยะคือ 2.5 V., 10 V., 50 V., 250 V., หรือ 500 V.

หมายเหตุ ถ้ายังไม่แน่ใจว่ากำลังดันที่เราจะวัดเป็นเท่าไร ให้ตั้ง Range Switch ไว้ที่ย่านระยะสูงกว่าไว้ก่อนเสมอ เพื่อป้องกันเครื่องมือให้เสียหาย ถ้ากำลังดันอยู่ในย่านที่ต่ำกว่า ให้ปรับตั้ง Range Switch ใหม่ ให้อยู่ในย่านระยะกำลังดันที่เหมาะสมหรือต่ำกว่าเดิม เพื่อให้ได้รับค่าการอ่านที่แน่นอนยิ่งขึ้น

- 4) ต่อสายวัดสีดำไปยังด้านลบของวงจรที่กำลังจะวัด และสายต่อสายวัดสีแดงไปยังด้านบวกของวงจร
- 5) อ่านค่ากำลังดันที่ Scale D.C.
 - ย่านระยะ 2.5 V อ่านค่ากำลังดันที่ Scale D.C. ย่านระยะ 0–250 แล้วหารด้วย 100
 - ย่านระยะ 10 V, 50 V, และ 250 V อ่านค่ากำลังดันที่ Scale D.C. ที่ 0 – 10, 0 – 50, 0- 250 ได้โดยตรง
 - ย่านระยะ 500 V อ่านค่ากำลังดันที่ Scale D.C. ที่ 0 – 50 แล้วคูณด้วย 10

3.1.4. การวัดกำลังดันไฟตรงย่านระยะ 0 – 1000 Volt

ข้อควรระวัง การทำงานกับวงจรกำลังดันไฟสูงๆ จะต้องมีคามระมัดระวังอย่างมาก อย่าแตะต้องเครื่องมือหรือสายวัดทั้งสองในขณะที่ Power กำลังทำงานอยู่กับวงจรที่กำลังจะวัด

- 1) ตั้ง Function Switch ไว้ที่ตำแหน่ง +D.C.
- 2) ตั้ง Range Switch ไว้ที่ตำแหน่ง 1000 V (คู่กับ 500 V)
- 3) เสียบสายวัดสีดำเข้าที่ Jack Common - และสายวัดสีแดงเข้าที่ Jack 1000 V
- 4) ต้องแน่ใจว่า Power ของวงจรที่กำลังจะวัดนั้นมิได้ทำงาน และ Capacitor ทั้งหมดได้ Discharge (คายประจุ) แล้วต่อสายวัดสีดำไปยังด้านลบของวงจรที่กำลังจะตรวจหรือวัด และสายวัดสีแดงไปยังบวกของวงจร
- 5) เปิด Power ในวงจรที่กำลังจะวัดให้ทำงาน
- 6) อ่านค่ากำลังดันที่ Scale D.C. ย่านระยะ 0 – 10 แล้วคูณค่าที่อ่านได้ด้วย 100

3.2. การวัดกำลังดันไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C. Voltage Measurement)

- ◆ การแบ่ง Scale ในมาตรวัดไฟฟ้ากระแสสลับเหมือนกับมาตรวัดไฟฟ้ากระแสตรงทุกอย่าง ยกเว้นย่านวัด 2.5 V จะแยกออกไปอีก Scale หนึ่งต่างหากและใช้เฉพาะการวัดไฟฟ้ากระแสสลับจาก 0 – 2.5 V เท่านั้น และมีการแบ่ง Scale ออกเป็น 25 ช่อง ซึ่งแต่ละช่องจะมีค่าเท่ากับ 0.1 V.

3.2.1. การวัดกำลังดันไฟฟ้ากระแสสลับ 0 – 2.5 ผ่านย่านระยะ 0 – 500 Volt

- 1) ตั้ง Function Switch ไว้ที่ตำแหน่ง A.C.

- 2) ตั้ง Range Switch ที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งของตำแหน่งกำลังดัน 5 ย่านระยะ คือที่ 2.5 V., 10 V., 50 V., 250 V. หรือ 500 V. ถ้ายังไม่แน่ใจว่ากำลังดันที่เราจะวัดเป็นเท่าไร ให้ตั้ง Range Switch ไว้ที่ย่านระยะสูงกว่าไว้ก่อนเสมอ เพื่อป้องกันเครื่องมือมิให้เสียหาย ถ้ากำลังดันอยู่ในย่านที่ต่ำกว่า ให้ปรับตั้ง Range Switch ใหม่ ให้อยู่ในย่านระยะกำลังดันที่เหมาะสมหรือต่ำกว่าเดิม เพื่อให้ได้รับค่าการอ่านที่แน่นอนยิ่งขึ้น
- 3) เสียบสายวัดสีแดงเข้าที่ Jack Common - และสายวัดสีดำเข้าที่ Jack +
- 4) ต่อสายวัดทั้งสองคร่อมที่ต้นกำเนิดกำลังดัน
- 5) เปิด Power วงจรที่กำลังจะวัดให้ทำงาน
- 6) การอ่านค่าสำหรับย่านวัดกำลังดัน
 - ย่านวัด 0 – 2.5 V. อ่านค่าโดยตรงที่ Scale 2.5 V.A.C.(สีแดง)
 - ย่านวัด 10 V., 50 V. และ 250 V อ่านค่าที่ Scale A.C. (สีแดง) และใช้ค่าตัวเลขร่วมกับของกำลังดันไฟตรง (บางเครื่องก็มีตัวเลขบน Scale ของตัวเอง) ที่อยู่เหนือ Scale กำลังดันไฟสลับขึ้นไป
 - ย่านวัด 500 V. อ่านค่าที่ Scale A.C. ย่านระยะ 0 – 50 แล้วคูณค่าที่อ่านได้ด้วย 10

3.2.2.การวัดกำลังดันไฟสลับย่านระยะ 0 – 1000 Volt

ข้อควรระวัง การทำงานกับวงจรที่มีกำลังดันไฟฟ้าสูงๆ ทั้งหลาย จะต้องมีความระมัดระวังอย่างมากอย่าแตะต้องเครื่องมือหรือสายวัดทั้งสองในขณะที่ Power เปิดทำงานอยู่กับวงจรที่กำลังจะทำการวัด

- 1) ตั้ง Function Switch ไว้ที่ตำแหน่ง A.C.
- 2) ตั้ง Range Switch อยู่ที่ตำแหน่ง 1000 V. (คู่กับ 500 V.)
- 3) เสียบสายวัดสีแดงเข้าที่ Jack Common - และสายวัดสีดำเข้าที่ Jack 1000 V.
- 4) ต้องให้แน่ใจว่า Power ในวงจรที่กำลังจะวัดนั้นไม่ทำงาน และ Capacitor ทั้งหมดได้ทำการคายประจุแล้ว ต่อสายวัดทั้งสองเข้ากับวงจร
- 5) เปิด Power ในวงจรที่กำลังจะวัดให้ทำงาน
- 6) อ่านค่ากำลังดันบน Scale A.C. ย่านระยะ 0 – 10 แล้วคูณค่าที่อ่านได้ด้วย 100

3.3. การวัดความต้านทาน (Resistance Measurement)

3.3.1.การแบ่ง Scale ของมาตรวัด Ohm จะมี Scale แตกต่างไปจากมาตรวัด Volt หรือมาตรวัด Ampere คือมาตรวัด Ohm จะเริ่มต้นค่าศูนย์ทางขวามือสุด และค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้นมาทางซ้ายมือ Scale ทางซ้ายมือสุดจะมีค่าความต้านทานเป็น ∞ โดยทำการแบ่ง Scale จาก 0 ถึง ∞ เป็นช่วงๆ ดังนี้

จาก 0 – 2 Ω แบ่งเป็น 10 ช่อง แต่ละช่องมีค่า 0.2 Ω ที่ค่า 1 Ω จะขีดยาวไว้

จาก 2 – 5 Ω แบ่งเป็น 15 ช่อง แต่ละช่องมีค่า 0.2 Ω ที่ค่า 3 Ω และ 4 Ω จะขีดเส้นยาวไว้

จาก 5 – 10 Ω แบ่งเป็น 10 ช่อง แต่ละช่องมีค่า 0.5 Ω

จาก 10 – 15 Ω แบ่งเป็น 5 ช่อง แต่ละช่องมีค่า 1 Ω

จาก 15 – 20 Ω แบ่งเป็น 5 ช่อง แต่ละช่องมีค่า 1 Ω

จาก 20 – 30 Ω แบ่งเป็น 5 ช่อง แต่ละช่องมีค่า 2 Ω

จาก 30 – 40 Ω แบ่งเป็น 2 ช่อง แต่ละช่องมีค่า 5 Ω

กองฝึกการช่างกล กองการฝึก กองเรือยุทธการ ☎ 068-2699

จาก 40 – 50 Ω แบ่งเป็น 2 ช่อง แต่ละช่องมีค่า 5 Ω

จาก 50 – 70 Ω แบ่งเป็น 4 ช่อง แต่ละช่องมีค่า 5 Ω ที่ค่า 60 Ω ชีตเส้นดำหนาไว้

จาก 70 – 100 Ω แบ่งเป็น 6 ช่อง แต่ละช่องมีค่า 5 Ω ตรง 80 และ 90 Ω ชีตเส้นดำหนาไว้

จาก 100 – 150 Ω แบ่งเป็น 5 ช่อง แต่ละช่องมีค่า 10 Ω

จาก 150 – 200 Ω แบ่งเป็น 1 ช่อง มีค่า 50 Ω

จาก 200 – 500 Ω แบ่งเป็น 3 ช่อง แต่ละช่องเท่ากับ 100 Ω

จาก 500 – 1 K Ω แบ่งเป็น 1 ช่อง มีค่า 500 Ω

จาก 1 K – 2 K Ω แบ่งเป็น 1 ช่อง มีค่า 1000 Ω

จาก 2 K – ∞ Ω แบ่งเป็น 1 ช่อง มีค่า ตั้งแต่ 2000 Ω จนถึง ∞

ข้อสังเกต จะเห็นว่า Scale ของความต้านทานนั้นในแต่ละช่อง และในแต่ละช่วงจะมีขนาดไม่เท่ากัน และค่าในแต่ละช่องก็ไม่เท่ากันด้วย ดังจะเห็นได้จากรายการข้างบน

3.3.2. การปรับแต่งค่าศูนย์โอห์ม

- เมื่อจะวัดค่าความต้านทาน Battery ที่อยู่ในมาตรวัด จะเป็นตัวจ่าย Power สำหรับวงจร เนื่องจากว่า Battery ภายในมาตรวัดมีสองชุด และทั้งสองชุดนี้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของกำลังดัน และความต้านทานภายใน จำเป็นต้องปรับแต่งเครื่องมือก่อนที่จะใช้วัดค่าความต้านทาน ดังนี้
 - 1) ปิด Function Switch ไว้ที่ตำแหน่ง – D.C. หรือ + D.C. ยานใดยานหนึ่ง
 - 2) ปิด Range Switch ไปยังย่านระยะ Ohm ที่ต้องการ (R x 1, R x 100, R x 10000)
 - 3) เสียบสายวัดสีดำเข้าในช่อง Jack Common – และสายวัดสีแดงเข้าในช่องแจ๊ค +
 - 4) ต่อปลายทั้งสองของสายวัดเพื่อลัดวงจรความต้านทานของมาตรวัด
 - 5) หมุนปุ่ม Zero Ohms จนกว่าเข็มชี้จะชี้ค่า 0 Ohm ถ้าเข็มชี้ไม่สามารถที่จะปรับให้ตรง 0 Ohm ได้ ให้ตรวจดู Battery 1 ชุด หรือ 2 ชุด จะต้องเปลี่ยนใหม่การเปลี่ยนแบตเตอรี่ใหม่ ดูที่คู่มือเครื่อง
 - 6) ปลดปลายสายทั้งสองของสายวัดออก แล้วต่อไปยังอุปกรณ์ที่กำลังจะวัด

3.3.3. วิธีวัดความต้านทาน

- ก่อนที่จะวัดความต้านทาน ต้องแน่ใจว่า Power ได้ถูกปลดออกจากวงจรที่จะตรวจแล้ว
- ถอดอุปกรณ์จากวงจรก่อนที่จะตรวจวัดความต้านทานของมัน
 - 1) ตั้ง Range Switch ไปยังตำแหน่งย่านความต้านทานหนึ่งดังต่อไปนี้
 - สำหรับการอ่านค่าความต้านทานจาก 0 ถึง 200 Ω ใช้ที่ Rx1
 - สำหรับการอ่านค่าความต้านทานจาก 200 ถึง 20,000 Ω ใช้ที่ Rx100
 - สำหรับการอ่านค่าความต้านทานที่มากกว่า 20,000 Ω ใช้ที่ Rx10,000
 - 2) ตั้ง Function Switch ไว้ที่ตำแหน่ง -D.C. หรือ +D.C. ได้ผลอย่างเดียวกัน
 - 3) ปรับแต่งปุ่ม Zero Ohms สำหรับแต่ละย่านระยะความต้านทาน
 - 4) สังเกตค่าการอ่านที่ Scale Ohms ตอนบนของหน้าปัทม์ คอยดูการอ่าน Scale จากขวาไปซ้ายในการเพิ่มค่าของความต้านทาน

- 5) ในการพิจารณาหาค่าความต้านทานที่แท้จริง คุณค่าที่อ่านได้ด้วยแอมมิเตอร์ ที่ตำแหน่ง Switch (Rx1, Rx100, Rx10000)

3.4. การวัดกระแสไฟตรง (Direct Current Measurement)

- ◆ การแบ่ง Scale ที่ขึ้นบอกค่าของกระแสไฟตรงนั้น เราจะใช้ Scale อันเดียวกันกับของ Scale ที่ขึ้นบอกค่ากำลังดันไฟฟ้ากระแสตรง

ข้อควรระวัง อย่าต่อสายวัดทั้งสองโดยตรงคร่อมกำลังดัน เมื่อมาตรวจวัดถูกปรับตั้งไว้ในย่านที่เป็นเครื่องขึ้นบอกค่าของกระแส เราต้องต่อมาตรวัดนี้ให้เป็นอนุกรมกับภาระ แล้วจึงจ่ายกระแสเข้า Load ที่ต้องการวัด

3.4.1. การวัดกระแสไฟตรงย่านระยะ 0 – 50 Micro ampere

- 1) ตั้ง Function Switch ไว้ที่ตำแหน่ง +D.C.
- 2) เสียบสายวัดสีแดงเข้าที่ Jack Common - และสายวัดสีแดงเข้าที่ Jack + 50 μ Amps (250 MV.)
- 3) ตั้ง Range Switch ไว้ที่ตำแหน่ง μ Amps (50 V)
- 4) ทำให้วงจรที่จะวัดกระแสเปิด (สายขาด) ต่อมาตรวัดให้เป็นอันดับกับวงจรต่อสายวัดสีแดงไปยังด้านต้นกำเนิด และสายวัดสีดำไปยังด้านวงจร
- 5) อ่านค่าของกระแสบน Scale D.C. ที่ตัวเลข 0 – 50 โดยตรงเป็น Micro ampere

3.4.2. การวัดกระแสไฟตรง 0 – 1 ผ่านย่านระยะ 0 – 500 Milli ampere

- 1) ตั้ง Function Switch ไว้ที่ตำแหน่ง +D.C.
- 2) เสียบสายวัดสีแดงเข้าที่ Jack Common - และสายวัดสีแดงเข้าที่ Jack +
- 3) ตั้ง Range Switch ไว้ที่ย่านใดย่านหนึ่งของย่านระยะที่ต้องการวัด คือ 1 MA, 10 MA., 100 MA., หรือ 500 MA.
- 4) เปิดวงจรที่กำลังจะตรวจวัดกระแส ต่อมาตรวัดให้เป็นอันดับกับวงจร ต่อสายวัดสีแดงไปยังด้านต้นกำเนิด และสายวัดสีดำไปยังด้านวงจร
- 5) การอ่านค่ากระแสเป็น Milli ampere ที่ Scale D.C.
 - สำหรับย่านระยะ 1 mA. ใช้ Scale 0 – 10 แล้วหารด้วย 10
 - สำหรับย่านระยะ 10 mA ใช้ Scale 0 – 10 โดยตรง
 - สำหรับย่านระยะ 100 mA ใช้ Scale 0 – 10 แล้วคูณด้วย 10
 - สำหรับย่านระยะ 500 mA ใช้ Scale 0 – 50 แล้วคูณด้วย 10

3.4.3. การวัดกระแสไฟตรงย่านระยะ 0 – 10 แอมป์

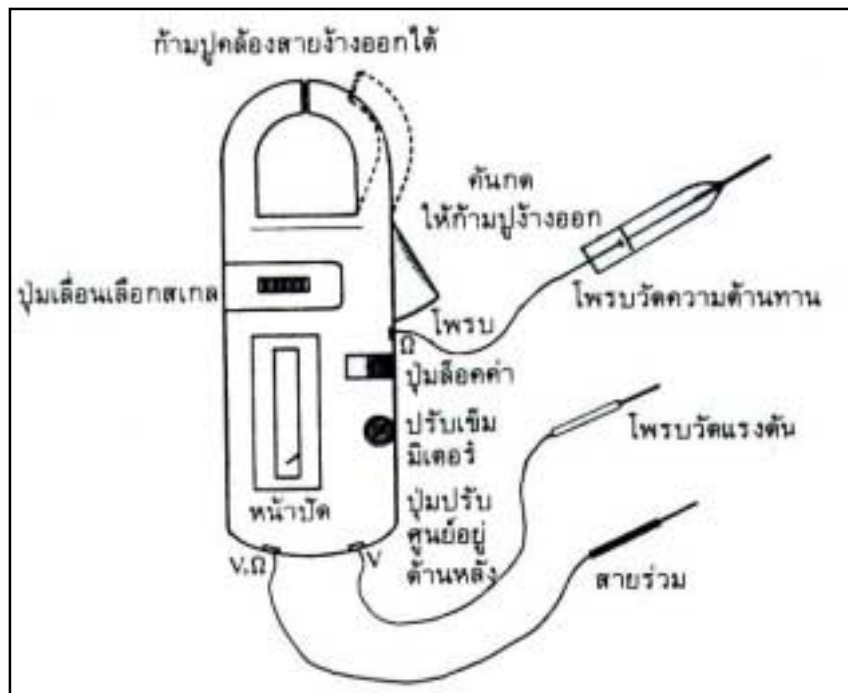
- 1) เสียบสายวัดสีแดงเข้าที่ Jack -10 A และสายวัดสีแดงเข้าที่ Jack +10 A
- 2) ตั้ง Range Switch ไว้ที่ตำแหน่ง 10 Amps. (10 MA.)
- 3) เปิดวงจรที่กำลังจะวัดกระแส ต่อมาตรวัดให้เป็นอันดับกับวงจร ต่อสายวัดสีแดงไปยังต้นกำเนิด และสายวัดสีดำไปยังด้านวงจร

หมายเหตุ Function Switch ไม่มีผลอย่างใดต่อขั้วสำหรับย่านวัด 10 Amps

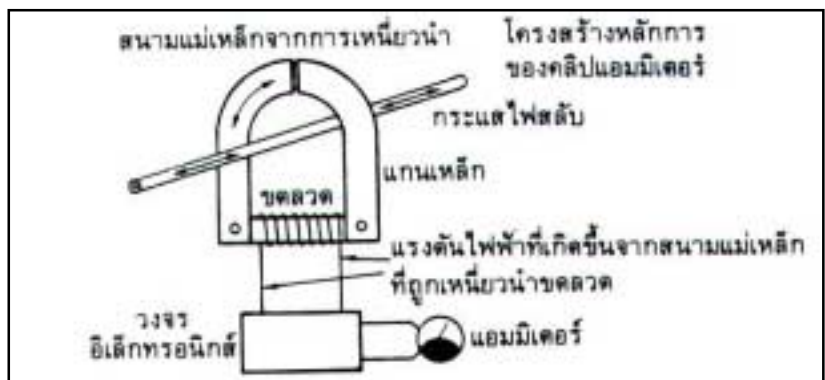
- 4) อ่านค่าของกระแสโดยตรงที่ Scale D.C. ใช้ Scale 0 – 10 โดยตรงเป็น Amperes

ข้อควรระวัง เมื่อใช้ย่านระยะ 10 AMP อย่าเคลื่อนสายวัดออกจากแจ๊คของมันในขณะที่กระแสกำลังไหลผ่านวงจร มิฉะนั้นแล้วอาจทำลายปลั๊กและแจ๊คได้

Clamp-On Volt- Ammeter

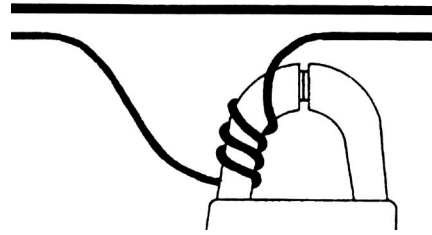


- เครื่องวัดแบบนี้ประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าตัวหนึ่งโดยขดปฐมภูมิ (Primary Winding) คือกระแสไฟที่นำไปเลี้ยง Load ส่วนขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) จะพันอยู่บนแกนเหล็กซึ่งปลายข้างหนึ่งสามารถที่จะทำให้แยกตัว (Split Core) คล้องสายไฟที่มีกระแสไหลผ่านสนามแม่เหล็กจากสายไฟฟ้า (ขดลวดปฐมภูมิ) จะเคลื่อนตัวตัดกับขดลวดทุติยภูมิ (Split Core) ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดทุติยภูมิ (Secondary Winding) กระแสไฟจำนวนนี้จะไหลผ่าน Moving Coil และทำให้เข็มชี้บ่ายเบนไปได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ไปเลี้ยง Load



- ถ้าหากว่ากระแสไฟฟ้าที่จะทำการวัดมีค่าสูง หรือต้องการที่จะวัดกระแสไฟฟ้าหลาย ๆ ขนาด ก็สามารถที่จะทำได้โดยใช้ลวดชั้น (Shunt) ต่อเข้ากับวงจร
- การใช้ Clamp-On Volt- Ammeter วัดกระแสไฟสลับ ให้ปฏิบัติดังนี้
 - ตั้งย่านวัดกระแส เลือกย่านวัดให้เหมาะสมกับขนาดกระแสที่ต้องการวัด
 - ถ้าไม่สามารถประมาณค่าของกระแส ให้ตั้งย่านวัดที่วัดกระแสได้สูงสุดไว้ก่อน เมื่อกระแสที่วัดมีค่าต่ำกว่าค่าเต็ม Scale จึงค่อยลดย่านวัดให้ต่ำลง เพื่อให้สามารถอ่านได้ละเอียดขึ้นหรือค่าผิดพลาดน้อยลง
 - คล้องก้ามปูคล้องสายเข้ากับสายเพียงเส้นใดเส้นหนึ่งของวงจรที่ต้องการวัด ในขณะที่ใช้ Load

➡ ในกรณีใช้ย่านวัดต่ำสุด วัดกระแสไฟฟ้าถ้าเข็มยังไม่ป้ายเบนหมายความว่ากระแสที่วัดนั้นมีจำนวนน้อยมาก แต่สามารถวัดได้โดยการขดสายไฟที่จะไปเลี้ยง Load นั้นหลาย ๆ รอบ แล้ว เอาแกนเหล็ก (Split Core) คล้อง ถ้าอ่านไม่ออกอีกก็ให้เพิ่มจำนวนรอบของขดมากขึ้นอีก เมื่ออ่านค่าได้แล้วให้เอาจำนวนรอบของขดลดหารด้วยจำนวนของกระแสไฟ ผลหารที่ได้ก็คือค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายไฟฟ้าเส้นนั้นไปหา Load



➡ ในขณะเดียวกัน Clamp-On Volt- Ampmeter สามารถทำเป็น Volt meter ได้ด้วยเพียงแต่ใช้ความต้านทาน (Multiplier) ต่อกับ Moving Coil เท่านั้นเอง และต่อสายวัดออกมาจากหลักต่อสายด้านล่างขวามือ เมื่อต้องการจะวัดแรงดันไฟฟ้าหลาย ๆ ขนาดก็ใช้ความต้านทานหลาย ๆ ค่า ต่อกับ Moving Coil เมื่อจะต้องการวัดแรงดันไฟฟ้า ก็ใช้ปลายสายวัดทั้งสองที่ต่อออกมาจากหลักสายด้านล่างขวามือต่อขนานกับ Load

➡ ใช้วัดไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น

ข้อควรระมัดระวังในการใช้มาตรวัดไฟฟ้า

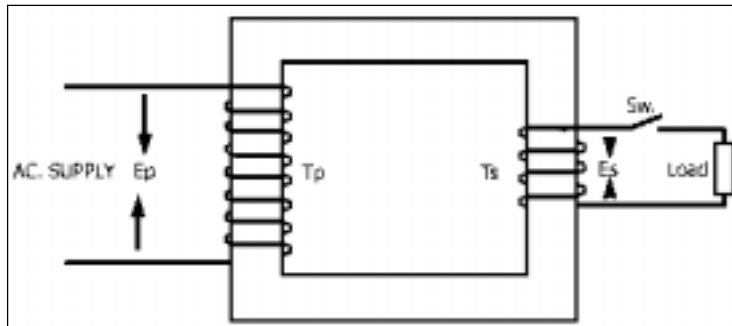
- 1) อย่าใช้มาตรวัดย่านการวัด Ohms ในวงจรที่มีกำลังดันไฟฟ้าอยู่
- 2) อย่าใช้มาตรวัดย่านการวัดกระแส ต่อคร่อมต้นกำเนิดกำลังดันหรือคร่อมวงจรที่มีกำลังดันใด ๆ
- 3) อย่าใช้มาตรวัดย่าน A.C.Volt วัดกำลังดันไฟตรง
- 4) อย่าใช้มาตรวัดย่าน D.C.Volt ในวงจรจนกว่าท่านจะรู้ว่าขั้วไหนเป็น + หรือ -
- 5) เวลาไม่ใช้มาตรวัด อย่าปล่อยให้มาตรวัดนั้นอยู่ในลักษณะวัดความต้านทาน (Ohms) จงตั้งมาตรวัดไว้ที่ย่านกำลังดันไฟสูงสุดเสมอ
- 6) ส่วนเคลื่อนไหวของมาตรวัด (Meter Movement) มีความละเอียดอ่อนอย่างเดียวกับนาฬิกาข้อมือดี ๆ เพราะฉะนั้น จงประกอบมาตรวัดให้พอดี อย่าให้เกิดการกระทบกระแทกขึ้นได้
- 7) การตั้งย่านวัด จะต้องตั้งย่านวัดให้ถูกชนิดของปริมาณไฟฟ้านั้น ๆ เพราะการตั้งย่านวัดผิดชนิด อาจมีผลให้ Multi meter ชำรุดเสียหายได้ทันที
- 8) การตั้งย่านวัดที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นซึ่งจะช่วยให้การวัดค่าการอ่านถูกต้องมากขึ้น กรณีไม่ทราบค่าปริมาณไฟฟ้านั้น ควรตั้งย่านวัดในย่านสูงสุดไว้ก่อนเสมอ เมื่อวัดค่าและอ่านค่าโดยประมาณได้แล้วจึงค่อย ๆ ปรับย่านวัดลดลงในย่านที่เหมาะสมอีกครั้ง

Transformer

หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ในถ่ายเทพลังงานไฟฟ้าจากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่ง โดยทำให้แรงดันเปลี่ยนแปลง แต่ความถี่คงที่ เมื่อหม้อแปลงจ่ายแรงดันออกมาต่ำกว่าแรงดันที่ใส่เข้าไป เรียกว่า Step Down ถ้าหม้อแปลงจ่ายแรงดันออกมาสูงกว่าแรงดันที่ใส่เข้าไปเรียกว่า Step Up

ประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด คือ ขดปฐมภูมิ (Primary Coil) และขดทุติยภูมิ (Secondary Coil) พันรอบแกนเหล็กที่เป็นแบบวงจรแม่เหล็กปิด เนื่องจากหม้อแปลงขณะทำงานไม่มีส่วนเคลื่อนที่ การสูญเสียจึงมีน้อย ทำให้ประสิทธิภาพมีค่าสูง ประสิทธิภาพอาจมีถึง 99% ในหม้อแปลงขนาดใหญ่ๆ และการบำรุงรักษาก็ง่าย

1. การทำงานของหม้อแปลง



- เมื่อจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับให้กับ Primary Coil จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นภายในแกนเหล็ก และการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็ก ก็จะทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นทาง Secondary Coil ได้ เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเรียกว่าสนามแม่เหล็กร่วมกัน (Mutual Flux)

ขณะที่ไม่มี Load เมื่อยังไม่ได้สับสวิตช์ Sw. จ่ายแรงเคลื่อน (E_p) ให้ขดปฐมภูมิ (T_p)

- ◇ ทำให้มีกระแสไหลใน T_p เรียกว่า "No Load Current" เพราะวงจรครบ
- ◇ เมื่อมีกระแสไหล จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กเดินผ่านไปตามแกนเหล็กผ่าน T_p ทำให้เกิดแรงเคลื่อนชักนำขึ้น ซึ่งจะสวนทางและมีค่าใกล้เคียงกับแรงเคลื่อนที่จ่ายให้กับขดปฐมภูมิ T_p มาก ทำให้ค่าของกระแสไหลน้อยมาก

ขณะที่มี Load เมื่อสับสวิตช์ Sw. จ่ายแรงเคลื่อน (E_p) ให้ขดปฐมภูมิ (T_p)

- ◇ ขดทุติยภูมิ (T_s) จะต่อกับ Load ทำให้ครบวงจร แรงเคลื่อนชักนำที่เกิดขึ้นทาง T_s และจะจ่ายกระแสให้ Load ซึ่งจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความต้องการของ Load
- ◇ เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นทาง T_s จะมีทิศทางตรงข้ามและหักล้างกับเส้นแรงแม่เหล็กทาง T_p ทำให้แรงเคลื่อนชักนำทาง T_p ลดลง
- ◇ ค่าความแตกต่างระหว่างแรงเคลื่อนที่ประยุกต์กับวงจรมากขึ้น จะทำให้ค่ากระแสเพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อกระแสเพิ่มขึ้นก็จะผลิตเส้นแรงแม่เหล็กมากขึ้น เป็นการชดเชยที่ถูกหักล้างไปให้มีค่าอย่างเดิม

2. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อน กระแส และจำนวนรอบของขดที่พัน

E_p = ค่าแรงเคลื่อนที่ประยุกต์ให้ Primary Coil

E_s = ค่าแรงเคลื่อน Secondary Coil

T_p = จำนวนรอบของ Primary Coil

T_s = จำนวนรอบของ Secondary Coil

I_p = ค่ากระแสทาง Primary Coil

I_s = ค่ากระแสทาง Secondary Coil

- ◇ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเคลื่อนกับจำนวนรอบที่พัน $\frac{E_p}{E_s} = \frac{T_p}{T_s}$

ค่าแรงเคลื่อนแต่ละขดเปลี่ยนแปลงได้ส่วนโดยตรงกับจำนวนรอบของขดที่พัน

- ◇ ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสกับจำนวนของขดที่พัน $\frac{I_s}{I_p} = \frac{T_p}{T_s}$

จำนวน Ampere-Turn ของ Primary Coil = จำนวน Ampere-Turn ของ Secondary Coil

◇ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อน กับ กระแส $E_p \cdot I_p = E_s \cdot I_s$ หรือ $\frac{E_p}{E_s} = \frac{I_s}{I_p}$

นั่นคือ	$\frac{E_p}{E_s} = \frac{I_s}{I_p} = \frac{T_p}{T_s}$	=	RATE TRANSFORMER
---------	---	---	------------------

Ex หม้อแปลงตัวหนึ่งมีขดลวดทาง Primary Coil จำนวน 200 รอบ Secondary Coil มี 50 รอบ และจ่ายไฟเข้า Primary Coil 120 V. จงหาค่าอัตราการแปลงและ Voltage ด้าน Secondary Coil เมื่อนำหม้อแปลงตัวนี้ไปใช้กับแรงดันไฟฟ้าที่มีความถี่ 50 Hz

$$\text{Rate Transformer} \quad \frac{T_p}{T_s} = \frac{200}{50} = 4:1$$

$$\begin{aligned} \text{Voltage ด้าน Secondary Coil} \quad \frac{E_p}{E_s} &= \frac{T_p}{T_s} \\ E_s &= \frac{T_s \times E_p}{T_p} \\ E_s &= \frac{50 \text{ Turns} \times 120 \text{ Volt}}{200 \text{ Turns}} = 30 \text{ V.} \end{aligned}$$

3. Regulation Of Transformers

- คือ ค่าผลต่างของแรงเคลื่อนทางทุติยภูมิระหว่างไม่มีภาระกับมีภาระเต็มตัว กำหนดเป็นจำนวน % ของค่าแรงเคลื่อนเมื่อภาระเต็มตัว

$$\text{Regulation} = \frac{E_s (\text{NoLoad}) - E_s (\text{FullLoad})}{E_s (\text{FullLoad})} \times 100$$

- ค่า Regulation หมายถึง Voltage Regulation

4. ความสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า (Loss)

หม้อแปลงไฟฟ้าไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ได้ ดังนั้นความสูญเสีย (Loss) เกี่ยวกับความเสียดทาน (Friction) และลม (Windage) จึงไม่มี ดังนั้นความสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้าจะอยู่ในรูปของแกนเหล็ก (Iron loss), ทองแดง (Copper loss) และ Leakage Flux

4.1. ความสูญเสียเนื่องจากแกนเหล็ก (Core loss หรือ iron loss)

ความสูญเสียชนิดนี้จะประกอบด้วย ความสูญเสีย เนื่องจาก Hysteresis (Hysteresis loss) และความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (Eddy current loss) เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กที่แกนเหล็กหม้อแปลงไฟฟ้าที่เรียกว่า Mutual Flux จะมีค่าคงที่ ไม่ว่า Load จะเปลี่ยนแปลงอย่างไรก็ตาม (ถ้าเปลี่ยนแปลงก็น้อยมาก ประมาณ 1–3 % เท่านั้น) ดังนั้น จึงถือว่าความสูญเสียชนิดนี้มีค่าคงที่ด้วย

4.1.1. ความสูญเสียเนื่องจาก Hysteresis

◇ เนื่องจากไฟฟ้ากระแสสลับจะมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ตลอดเวลา เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นก็จะมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางตลอดเวลาและเปลี่ยนแปลงด้วยอัตราเดียวกับกระแสไฟด้วย ดังนั้นโมเลกุล (Molecule) ของเหล็กจะมีการกลับทิศทางจากเหนือเป็นใต้และจากใต้เป็นเหนือตลอดเวลา ในการกลับทิศทางจากขั้วเหนือไปขั้วใต้นั้นจะต้องใช้พลังงานเพื่อเอาชนะความฝืดหรือความเสียดทานของโมเลกุลก่อน โมเลกุลนั้นจึงจะกลับทิศทางได้ พลังงานที่ใช้จะออกมาในรูปของพลังงานความร้อน เรียกพลังงานที่สูญเสียไปในการเอาชนะความเสียดทานของโมเลกุลนี้ว่า Hysteresis เพื่อลดความสูญเสียชนิดนี้

จึงใช้เหล็ก ซิลิกอน (Silicon) เครื่องกลไฟฟ้าหรือเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสสลับทุกชนิดจะมีความสูญเสียชนิดนี้ด้วยกันทั้งนั้น

4.1.2. ความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน

◇ ขณะที่กระแสไฟฟ้าสลับมีการเปลี่ยนแปลงขนาดและทิศทางอยู่ตลอดเวลา นั้น เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงและตัดกับแกนเหล็กด้วย ทำให้เกิดแรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในแกนเหล็กและแกนเหล็กจะมีความต้านทานอยู่ด้วย ดังนั้นจะเกิดกำลังไฟฟ้า (I^2R) ขึ้นในแกนเหล็กและแสดงออกมาในรูปของความร้อน จะลดความสูญเสียชนิดนี้ลงได้โดยการเลือกใช้แผ่นเหล็กบาง ๆ แทนแท่งเหล็กตัน

◇ ความสูญเสียเนื่องจากแกนเหล็กที่ได้กล่าวมานี้สามารถหาได้โดยการทดสอบวงจรเปิด (Open – circuit test) ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

4.2. ความสูญเสียเนื่องจากทองแดง (Copper loss)

- ความสูญเสียชนิดนี้จะเกิดขึ้นที่ขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าเนื่องจากขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวดหลายรอบด้วยกัน ดังนั้นจำนวนความต้านทาน จึงมีค่ามากขึ้นตามจำนวนรอบของขดลวดด้วย ในขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้าทำงานเมื่อไม่มี Load (no load) จะมีกระแสไหลเฉพาะขดลวดปฐมภูมิเท่านั้น ซึ่งมีจำนวนน้อยมาก ความสูญเสียที่เกิดขึ้นจึงไม่มากนักและความสูญเสียเกิดขึ้นเฉพาะขดลวดปฐมภูมิเท่านั้น แต่พอมี Load ต่อเข้ากับขดลวดทุติยภูมิจะมีกระแสไหลในขดลวดทุติยภูมิและกระแสในขดลวดปฐมภูมิก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นความสูญเสียจะเกิดขึ้นทั้งในขดลวด ทุติยภูมิ และปฐมภูมิ ความสูญเสียที่เกิดขึ้นที่ขดลวดปฐมภูมิตอนมี Load จะมากกว่าตอนที่ไม่มี Load หลายเท่า ดังนั้นความสูญเสียที่เกิดขึ้นกับหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อมี Load จะมีค่าสูงขึ้น และเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของ Load และออกมาในรูปของความร้อน
- ความสูญเสียชนิดนี้ สามารถหาได้โดยการทดสอบแบบวงจรลัด (Short – circuit test) ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

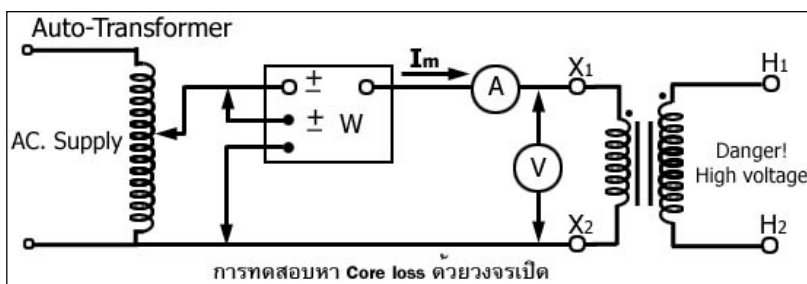
4.3. สูญเสียโดยการรั่วไหลของเส้นแรงแม่เหล็ก (Leakage Flux)

- เส้นแรงแม่เหล็กบางส่วนจะไม่กระทำต่อขดลวดอีกด้านหนึ่ง จึงทำให้มีการรั่วไหลของเส้นแรงแม่เหล็กขึ้น เรียกว่า "Leakage Flux" จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวน Ampere-Turn ของขดลวด

5. การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer testing)

การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าโดยทั่วไป เพื่อที่จะได้ทราบว่าหม้อแปลงไฟฟ้าตัวนั้นจะมีความสูญเสีย (Losses) เกิดขึ้นเท่าใด และมีประสิทธิภาพเท่าใด การทดสอบมี 2 วิธีคือ

5.1. การทดสอบด้วยวงจรเปิด (Open – circuit หรือ No – load test)



- การทดสอบแบบนี้ เพื่อที่จะหาค่าความสูญเสียของหม้อแปลงเมื่อไม่มี Load (No-load loss) หรือความสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss หรือ Iron loss) การทดสอบกระทำดังรูป เราจะทำ

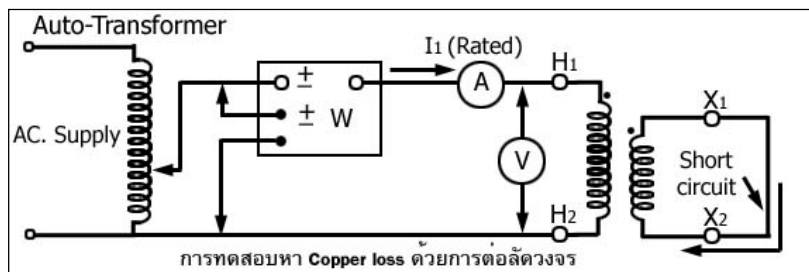
การทดสอบที่ขดลวดแรงดันต่ำ ส่วนขดลวดแรงดันสูงนั้นปล่อยปลายสายเปิดไว้

- ที่ขดลวดแรงดันต่ำจะต่อ Amp Meter, Volt Meter และ Watt Meter แล้วป้อนแรงดันตามขนาดของขดลวดที่ความถี่ปกติกับขดลวดแรงดันต่ำนั้น ค่าที่อ่านได้จาก Watt Meter จะเป็นค่าความสูญเสียของแกนเหล็ก (Core loss) หรือความสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มี Load (No-load loss) กระแสที่อ่านได้จาก Amp Meter จะเป็นกระแสของหม้อแปลงเมื่อไม่มี Load (I_0) ซึ่งมีค่าต่ำมาก ประมาณ 2–10 % ของกระแสไฟฟ้า Full Load ความสูญเสียเนื่องจากทองแดง (Copper loss) น้อยมากจึงจะถือว่าเป็นศูนย์ ความสูญเสียเนื่องจากแกนเหล็ก (Core loss) นี้จะมีค่าน้อยมากและมีค่าคงที่ด้วย ถึงแม้ Load จะเปลี่ยนแปลงจนถึง Full Load ก็ตาม
- ถ้าความถี่ที่ป้อนให้กับขดลวดเปลี่ยนไปจากที่ออกแบบไว้ จะทำให้ Core loss เปลี่ยนแปลงไปด้วย Core loss มีสองส่วนด้วยกัน คือ Core loss ที่เกิดจากกระแสไหลวนในแกนเหล็ก (Eddy current loss) และจากกระแสที่ทำให้เกิด Hysteresis (Hysteresis loss)

5.2. การทดสอบด้วยการต่อวงจรลัด (Short-circuit หรือ Copper loss test)

- การทดสอบแบบนี้เพื่อที่จะทราบว่าหม้อแปลงไฟฟ้าตัวนั้นมีความสูญเสียเนื่องจากทองแดง (Copper loss) ที่ Full Load หรือที่ Load ขนาดต่าง ๆ เท่าไร
- หม้อแปลงไฟฟ้ามีความต้านทานสมมูล (R_{01}, R_{02}) รีแอกแตนซ์สมมูล (X_{01}, X_{02}) และอิมพีแดนซ์สมมูล (Z_{01}, Z_{02}) เท่าไร
- เมื่อทราบค่าอิมพีแดนซ์สมมูล (Z_{01}, Z_{02}) ก็สามารถคำนวณหาแรงดันตกคร่อมหม้อแปลงไฟฟ้าได้ ในที่สุดก็จะสามารถคำนวณหาค่า Voltage Regulation ได้
- ในการทดสอบแบบนี้ มักนิยมต่อปลายสายของขดลวดแรงดันต่ำเข้าด้วยกัน (Short circuit) ส่วน

ขดลวดแรงดันสูงจะต่อ Volt Meter, Amp Meter และ Watt Meter และป้อนแรงดันเข้าที่ขดลวดนี้ โดยปรับแรงดันที่ป้อนให้กับขดลวดมีค่าสูงจนกระทั่ง



ทำให้ค่าที่อ่านได้จาก Amp Meter เท่ากับกระแส Full Load ที่ขดลวดนั้นกำหนดไว้ ดังรูป

- แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ขดลวดจะมีค่าประมาณ 5–10 % ของแรงดัน Full Load เท่านั้น โดยความถี่ของแรงดันจะต้องมีค่าเท่ากับค่าที่ออกแบบไว้ด้วย
- ค่าที่อ่านได้จาก Watt Meter เป็น Copper loss ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ Full Load ส่วน Core loss น้อยมาก
- สมมติว่าขดลวดแรงดันต่ำเป็นขดลวดทุติยภูมิและต่อเป็นวงจรลัดด้วย ดังนั้นขดลวดแรงดันสูงจึงเป็นขดลวดปฐมภูมิ ในกรณีเช่นนี้ ค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้ เช่น ความต้านทานสมมูล หรือรีแอกแตนซ์สมมูล หรืออิมพีแดนซ์สมมูลจึงได้มาจากการพิจารณาที่ขดลวดปฐมภูมิ

6. ประสิทธิภาพของหม้อแปลง

- คืออัตราส่วนระหว่างกำลังที่จ่ายออก (Out-Put) ทางด้านทุติยภูมิ กับกำลังที่ส่งเข้า (In-Put) ทางด้านปฐมภูมิ

- เมื่อมีการสูญเสียเกิดขึ้น กำลังทางด้าน In-Put และ Out-Put จะไม่เท่ากัน
- กำลังทางด้าน $\text{In-Put} = \text{Out-Put} + \text{Losses.}$

ฉะนั้นประสิทธิภาพ = $\frac{\text{Out Put}}{\text{In Put}} \times 100$ หรือ = $\frac{\text{Out Put}}{\text{Out Put} + \text{Losses}} \times 100$

- การที่หม้อแปลงไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพสูงสุดได้จะต้องมีการสูญเสียน้อยที่สุดคือ
 - ◇ มีการระบายความร้อนที่ดี
 - หม้อแปลงขนาดเล็ก ระบายความร้อนด้วยอากาศ
 - หม้อแปลงขนาดใหญ่ ระบายความร้อนด้วยน้ำมัน และระบายความร้อนแรงของน้ำมันด้วยพัดลม, น้ำ หรือระบายความร้อนด้วยตนเอง
 - ◇ ลดการสูญเสียให้น้อยลง
 - ใช้แกนเหล็กดีขึ้น หรือทำเป็นแผ่นบาง ๆ ซ้อนกัน (แผ่น Laminate)
 - ใช้ขดลวดมีความต้านทานน้อย
 - ออกแบบให้เกิด Leakage Flux น้อยที่สุด

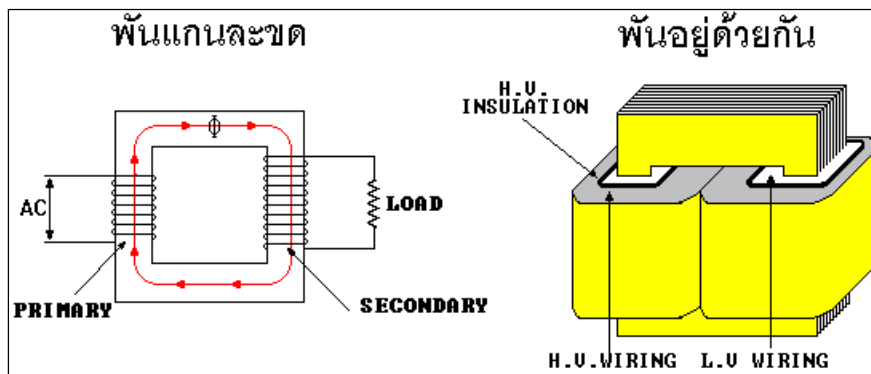
7. การกำหนดขนาด

- ◆ การกำหนดขนาดของหม้อแปลงขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพ ส่วนใหญ่จะกำหนดเป็น V.A. หรือ KVA และบอกค่า P.F. ไว้ด้วย หม้อแปลงขนาดเล็กอาจจะบอกเป็น Watt เมื่อค่ากำลังงานที่บอกนั้นไม่เกินจาก P.F. แต่บางแบบอาจบอกเป็นแอมป์ก็มี

8. การแบ่งหม้อแปลงออกเป็นแบบต่าง ๆ

8.1. แบ่งตามการสร้าง

8.1.1. Core Type

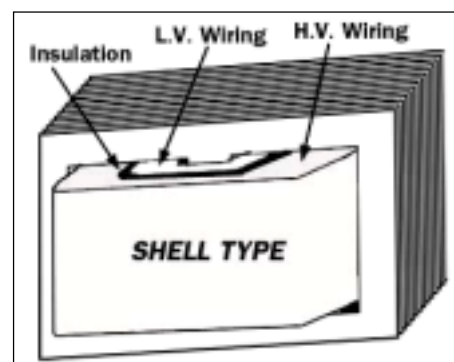


- ◆ ขดลวด Primary และ Secondary จะพันอยู่รอบแกนๆ ละขดแต่ละขดจะทำให้ค่า Leakage Flux สูง และค่า Regulation ต่ำ
- ◆ ขดลวดแรงเคลื่อนไฟสูง (H.V.) และขดลวดแรงเคลื่อนไฟต่ำ (L.V.) พันอยู่ด้วยกันจะลดค่า Leakage Flux ให้น้อยลง

- ◆ เหมาะที่จะใช้กับงานที่มีแรงเคลื่อนสูง

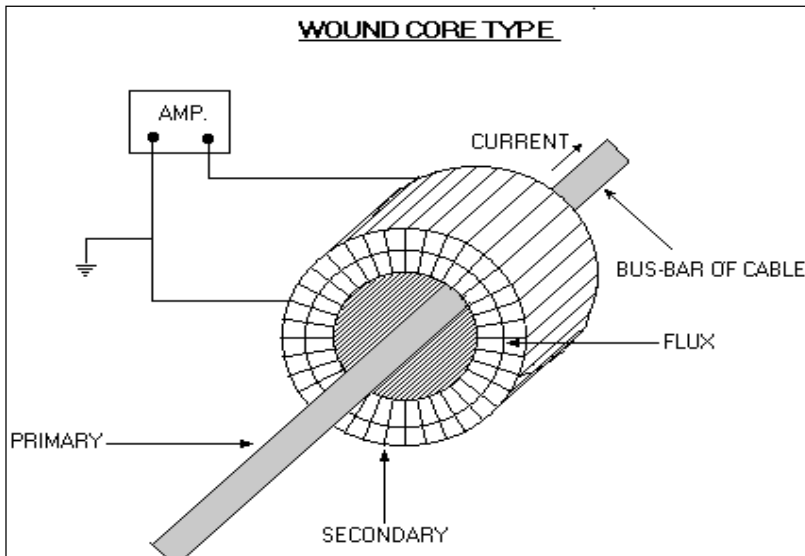
8.1.2. Shell Type

- ◆ แกนเหล็กอยู่ด้านนอกขดลวดอยู่ด้านใน ขดลวด L.V. และ H.V. จะซ้อนกันอยู่เป็นการลด Leakage Flux ให้น้อยลง
- ◆ เหมาะที่จะใช้กับงานที่มีกระแสสูง



8.1.3. Wound Core Type

- ◆ จำนวนขดลวดน้อยรอบและพันด้วยมือเป็นรูปวงกลม แกนเป็นแท่งกลมหรือตัว L.
- ◆ ส่วนใหญ่ใช้กับเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

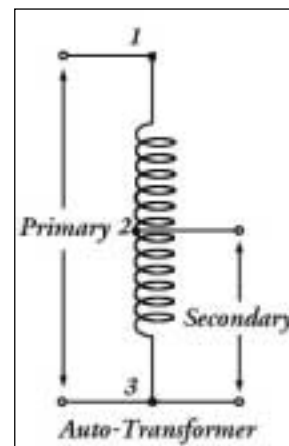


- ◆ Spirakore Type แบบนี้แกนขดลวดจะถูกเผาก่อนที่จะนำลวดมาพันรอบแกน ข้อดีของหม้อแปลงแบบนี้คือ ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กจะมีทิศทางเดียวกัน ทำให้มี Iron Loss น้อย การสูญเสียแทบจะไม่มี แกนเหล็กแข็งแรงทนทาน ไม่มีการยืดตัว แกนนี้ใช้มากในหม้อแปลงที่มีขนาด 5 KVA. ลงมา ส่วนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นไปใช้แบบ Spirakore of Rectangular

8.2. แบ่งตามลักษณะการใช้งาน

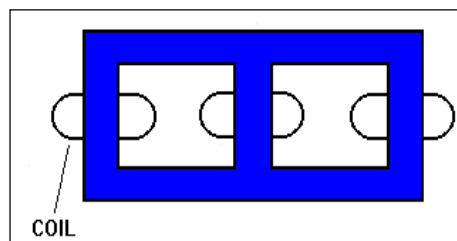
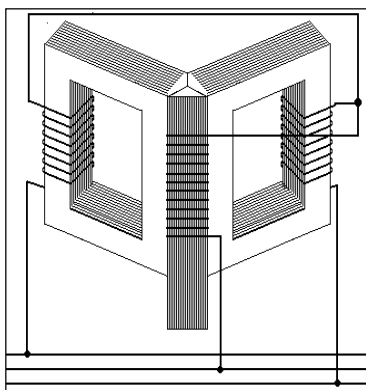
8.2.1. Auto Transformer

- ◆ มีขดลวดเพียงขดเดียวทำหน้าที่เป็นทั้งขด Primary และ Secondary
- ◆ จุด 1-3 เป็นขด Primary และจุด 3-2 เป็นขด Secondary
- ◆ ราคาถูกกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแบบอื่นๆ ที่มีขนาดจุเท่ากัน
- ◆ ทำงานมีประสิทธิภาพดี



8.2.2. Three Phase Transformer

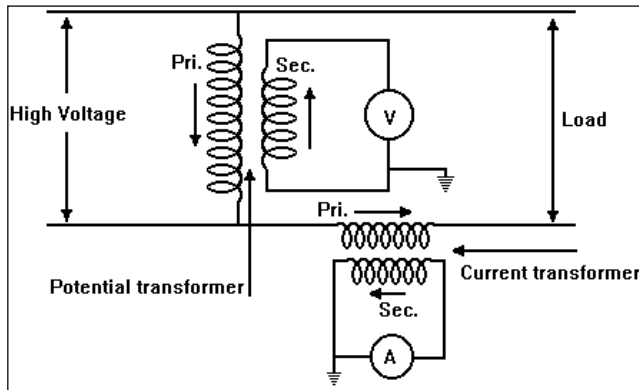
- ◆ เป็นหม้อแปลงที่กินเนื้อที่น้อยกว่าการใช้หม้อแปลง Single-Phase 3 หม้อมาต่อกัน



8.2.3. Instrument Transformer แบ่งออกเป็น 2 แบบ

8.2.3.1. Potential Transformer มีลักษณะเช่นเดียวกับ Core Type Or Shell Type ใช้ใน Volt-Meter

- Potential Transformer เป็นหม้อแปลงที่ลดแรงดันไฟฟ้า ปกติจะใช้ต่อร่วมกับ Volt Meter ย่านวัดต่ำ เช่น 150 โวลท์ ซึ่งไม่สามารถต่อเข้ากับวงจรแรงดันสูงของสายส่ง



ได้ แต่จะต่อโดยเอาขดลวดแรงดันสูงต่อเข้ากับสายไฟแรงดันสูง และต่อ Volt-Meter เข้ากับขดลวดแรงดันต่ำ เมื่ออ่านค่าแรงดันจาก Volt-Meter ได้เท่าใด จะต้องคูณด้วยจำนวนเท่าของขดลวดปฐมภูมิต่อขดลวดทุติยภูมิ จึงจะได้ค่าแรงดันของระบบไฟแรงสูงที่ต่ออยู่กับขดลวดปฐมภูมิที่ถูกต้อง

8.2.3.2. Current Transformer คือหม้อแปลงที่ลดค่าของกระแสไฟสลับให้ต่ำลงพอเหมาะกับขนาดย่านวัดของ Amp-Meter

- การต่อ Current Transformer ร่วมกับ Amp-Meter จะต่อขดลวดเส้นโตน้อยรอบอันดับกับวงจรแรงดันไฟสูง และต่อขดลวดเส้นเล็กมากรอบอันดับกับ Amp-Meter เป็นการเพิ่มแรงดัน (Step - Up) และลดกระแสในขดลวดทุติยภูมิ
- เมื่อใช้ทั้งแบบ Potential และ Current Transformer รวมกันทั้งสองอย่าง เป็นการต่อเพื่อใช้ใน Watt-Meter

8.3. แบ่งตามลักษณะการต่อ

การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าไปใช้งานมีหลายวิธี การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้งานเพียงตัวเดียวเพื่อใช้งานเป็นจุดๆ นั้น มักไม่มีปัญหา แต่ถ้าต่อหม้อแปลงไฟฟ้าหลายๆ ตัว เพื่อให้ทำงานร่วมกันนั้น เราจะต้องทราบ และสามารถกำหนดขั้วของหม้อแปลงได้ถูกต้อง

8.3.1. วิธีการกำหนดขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้า (Polarity Markings)

- **การจัดขั้วไปในทางบวก (Additive Polarity)** คือการที่ต่อขั้วทั้งสองของขดลวดแรงเคลื่อนสูง และขดลวดแรงเคลื่อนต่ำแล้ว แรงเคลื่อนไฟฟ้าของขดลวดทั้งสองจะเสริมกันหรือบวกกัน
- **การจัดขั้วไปในทางลบ (Subtractive Polarity)** คือการที่ต่อขั้วทั้งสองของขดลวดแรงเคลื่อนสูง และขดลวดแรงเคลื่อนต่ำแล้ว แรงเคลื่อนไฟฟ้าของขดลวดทั้งสองจะหักล้างกันหรือลบกัน

เนื่องจากระบบไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นภายในเรือส่วนมากเป็นระบบ 3 เฟส ฉะนั้นหม้อแปลง 3 เฟส จึงจำเป็นต้องมี เพื่อเป็นการเพิ่มหรือลดแรงดันที่จ่ายออกมา การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าจึงทำได้ 2 ลักษณะคือ

1) สร้างออกมา 3 เฟสโดยตรง

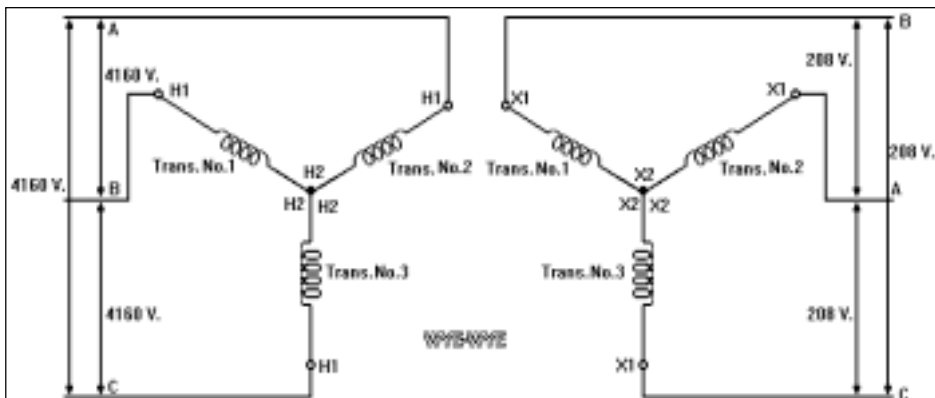
- ◇ เป็นลักษณะของหม้อแปลง 3 เฟส ประกอบอยู่ในชุดเดียวกัน
- ◇ มีข้อดีคือ เปลืองเนื้อที่น้อยในการติดตั้ง

- ◇ มีข้อเสียคือ เมื่อเฟสใดเฟสหนึ่งขาดไปจะต้องเปลี่ยนทั้งตัว
- 2) ใช้หม้อแปลงเฟสเดียว 3 ตัว
 - ◇ เป็นลักษณะของหม้อแปลงที่นำหม้อแปลงเฟสเดียว 3 ตัว ต่อเข้าด้วยกัน
 - ◇ มีข้อดีคือ เวลาเฟสใดเฟสหนึ่งขาดก็เปลี่ยนเฉพาะตัวนั้น
 - ◇ ข้อเสียคือ เปลืองเนื้อที่มากกว่าในการติดตั้ง

8.3.2. การประกอบหม้อแปลงใช้กับงาน 3 เฟส อาจทำได้ดังนี้คือ.-

- ❖ การต่อแบบ Star - Star
- ❖ การต่อแบบ Delta - Delta
- ❖ การต่อแบบ Star - Delta
- ❖ การต่อแบบ Delta - Star

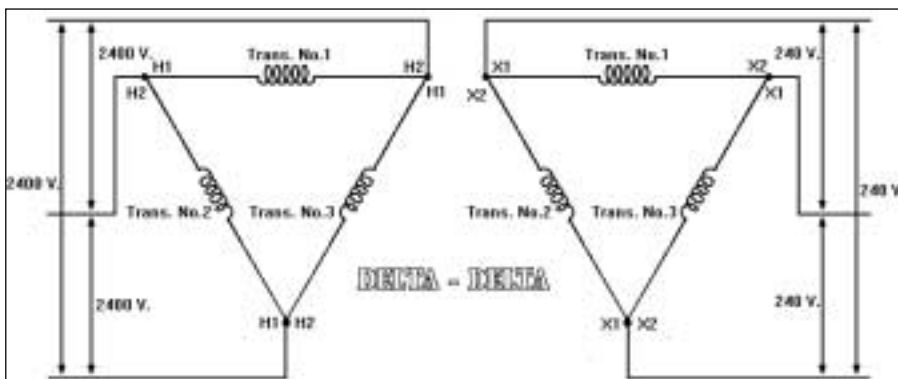
8.3.2.1. การต่อแบบ Star-Star



- เป็นการต่อโดยการนำเอาขั้วต่อสายด้านหนึ่งของขดลวดแต่ละชุดที่มีอักษรกำกับไว้เหมือนกันมาต่อเข้าด้วยกัน ทั้งขดลวดแรงดันสูงและขดลวดแรงดันต่ำ

- การต่อแบบนี้ทำให้ กระแสในสาย = กระแสในเฟส
แรงเคลื่อนในสาย = $1.732 \times$ แรงเคลื่อนในเฟส

8.3.2.2. การต่อแบบ Delta - Delta

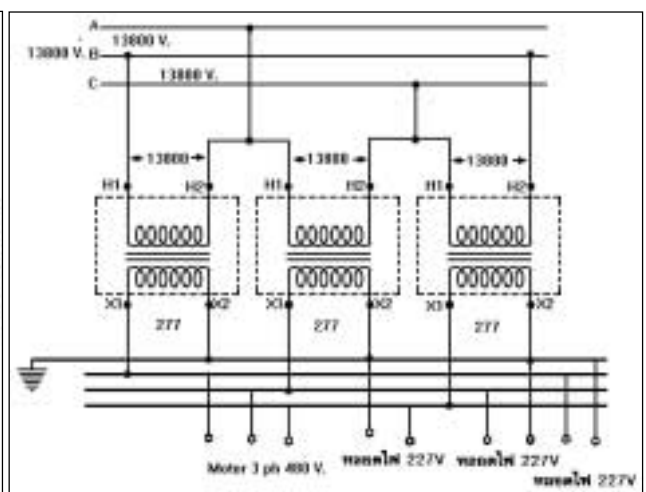
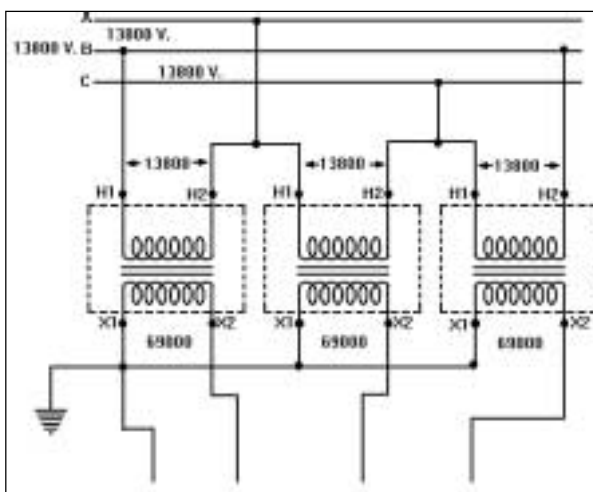
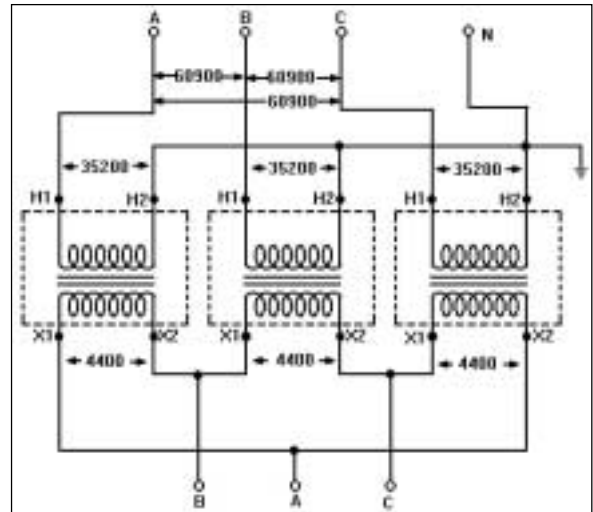


- เป็นการต่อโดยการนำเอาขั้วต่อสายด้านหนึ่งของขดลวดแต่ละชุดที่มีอักษรกำกับไว้ไม่เหมือนกันมาต่อเข้าด้วยกัน ทั้งขดลวดแรงดันสูงและขดลวดแรงดันต่ำ นิยมใช้ในเรือ

- การต่อแบบนี้ทำให้ กระแสในสาย = $1.732 \times$ กระแสในเฟส
แรงเคลื่อนในสาย = แรงเคลื่อนในเฟส
- ถ้าเฟสใดขาดไปส่วนที่เหลือยังทำงานได้ในลักษณะของ Open-Delta ซึ่งจะมีผลเพียง 57 % ของแบบ Delta เท่านั้น

8.3.2.3. การต่อแบบ Star - Delta

- การต่อแบบนี้เหมาะสำหรับลดแรงเคลื่อนจากต้นกำเนิดที่มีแรงเคลื่อนสูง ๆ
- มีการต่อสาย นิวตรอน ที่ขดลวดแรงดันสูงลงดิน เพื่อลดอันตรายจากฟ้าผ่า



การต่อแบบ Delta - Star จะมีทั้งการต่อเพื่อเพิ่มแรงดันและลดแรงดัน

☒ การต่อแบบ Delta-Star เพิ่มแรงดัน การต่อแบบนี้แรงดัน Input จะมีค่าต่ำกว่าแรงดันที่ปลายทาง ซึ่งเป็นการเพิ่มแรงดัน (Step-Up)

☒ การต่อแบบ Delta-Star ลดแรงดัน การต่อแบบนี้แรงดัน Input จะมีค่ามากกว่าแรงดันที่ปลายทาง ซึ่งเป็นการลดแรงดัน (Step-Down)

9. ประโยชน์ของหม้อแปลงไฟฟ้า

- 9.1. เพื่อเพิ่มหรือลดแรงเคลื่อนหรือกระแส
- 9.2. มีการสูญเสียน้อยเพราะไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหว
- 9.3. มีประสิทธิภาพสูง
- 9.4. ไม่มีการติดต่อบetweenวงจรไฟฟ้าทั้ง 2 วงจร
- 9.5. ไม่ต้องมีการบำรุงรักษามากนัก
- 9.6. สะดวกในการติดตั้งและราคาถูก
- 9.7. สร้างง่าย มั่นคง ทนทาน

10. การบำรุงรักษา

- 10.1. อย่าให้รับภาระเกินขนาดของหม้อแปลง
- 10.2. ให้มีการระบายความร้อนที่ดีเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพเต็มที่ และมีอายุการใช้งานนาน

Rectifier

วงจรอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่จำเป็นต้องมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าสำหรับเลี้ยงวงจร แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ว่านี้ก็คือแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรงหรือ D.C. ซึ่งสามารถสรรหามาจากแบตเตอรี่หรือถ่านไฟฉาย แต่เนื่องจากแบตเตอรี่และถ่านไฟฉายมีขีดจำกัดเรื่องของพลังงาน เมื่อเราใช้พลังงานภายในของมันหมดลงเราจำเป็นต้องชาร์จหรือไม่ก็ต้องจัดหาใหม่ซึ่งไม่สะดวกต่อการใช้งาน เนื่องจากว่า Diode ยอมให้กระแสไหลได้ทางเดียว ดังนั้น Diode จึงมีบทบาทเป็นอย่างมากสำหรับการเรียงกระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้าบ้านหรือ A.C. 220 Volt ให้เป็นไฟฟ้า D.C. ตามที่เรากำหนดได้ วงจรที่ง่ายที่สุดสำหรับการนี้ก็คือ วงจร Rectifier

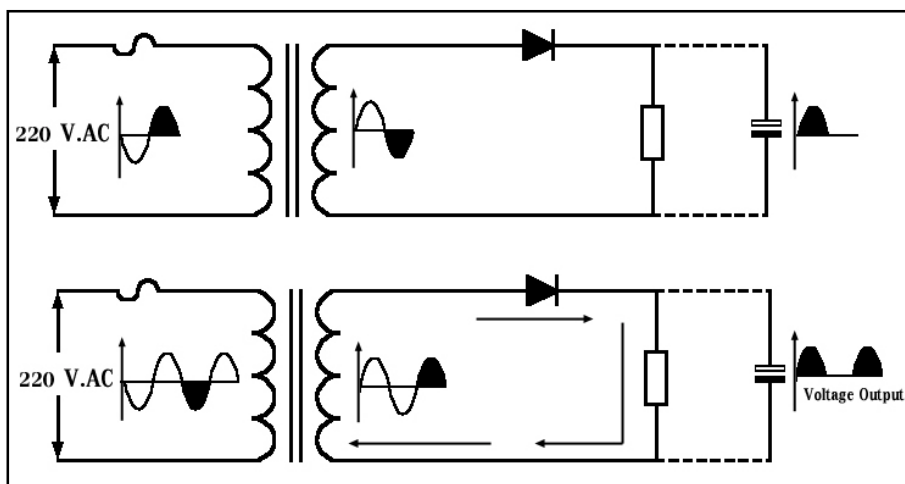
ความหมายของ Rectifier

หมายถึงวงจรไฟฟ้าที่สามารถเรียงกระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับหรือ A.C. ให้กลายเป็นไฟฟ้ากระแสตรงหรือ D.C. ซึ่งอุปกรณ์ที่สามารถจะทำงานอย่างนี้ได้จำเป็นต้องมีคุณสมบัติสำคัญคือ ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปในทิศทางเดียวเท่านั้นอุปกรณ์นั้นคือ **Diode** นั่นเอง

1. การ Rectifier แบบครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier)

ความต้องการแหล่งจ่ายไฟในยุคปัจจุบัน การที่เราจะเอามาจาก Battery นั้นเป็นการสิ้นเปลืองมาก เราจึงหันมาใช้ไฟ A.C. 220 Volt 50 Hz. เพราะประหยัดได้มากกว่า เราสามารถทำให้ไฟบ้านมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าลดลงได้ด้วยการใช้ Transformer Step-Down ลงมา แล้วเราจะใช้วงจร Rectifier เรียงกระแสจาก A.C. ให้เป็น D.C. เมื่อจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ 220 Volt เข้ามาทางขด Primary ของ Transformer จะทำการเหนี่ยวนำกระแสไปยังขด Secondary จากการที่เราได้ศึกษาวงจร Transformer และการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะทราบว่า Phase ของสัญญาณเข้ากับ Phase ของสัญญาณออก จะต่าง Phase กันอยู่ 180 องศา จากรูปข้างล่างนี้ เมื่อขั้วบวกของขด Secondary ได้รับ Phase บวก ขั้วล่างเทียบได้ Phase ลบ ทำให้อาโนดของ Diode ได้รับแรงเคลื่อนบวก แคโทดได้รับลบ และทำให้ Diode ได้รับไบอัสแบบฟอร์เวิร์ด กระแสสามารถไหลผ่านวงจรไปได้

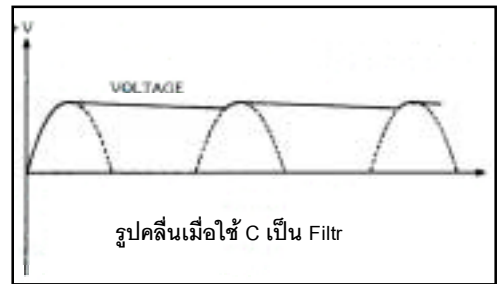
ในจังหวะต่อมาซึ่งเป็นครึ่ง Cycle หลัง ขั้วบนของขด Secondary ได้รับ Phase ลบ ขั้วล่างเทียบได้ Phase บวก ลักษณะนี้ทำให้อาโนดได้รับลบ แคโทดได้รับบวก ลักษณะนี้เราเรียกว่า Diode ได้รับไบอัสแบบรีเวิร์ส Diode ไม่สามารถนำกระแสได้



แบบรีเวิร์ส Diode ไม่สามารถนำกระแสได้

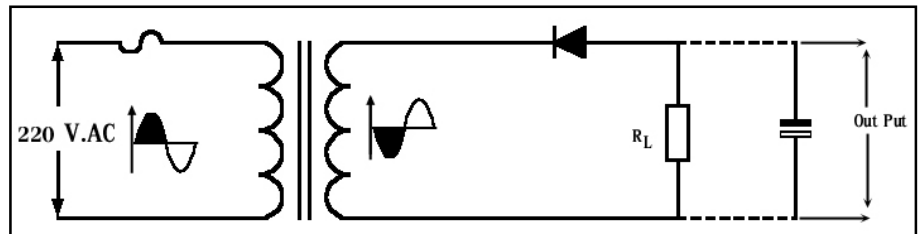
เมื่อ Cycle ต่อๆ มาเข้ามา การทำงานก็จะเป็นไปตามลักษณะเดิมข้างต้น ทำให้ Voltage ที่ได้จากการ Rectifier ออกมาเพียงครึ่งคลื่นบวกเท่านั้นเอง

อย่างไรก็ตาม เวลาที่เราเอาไฟ D.C. ไปใช้งานนั้น จำเป็นต้องเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า D.C. ที่เรียบจริงๆ แต่ลักษณะที่วงจรนี้ Rectifier ออกมายังไม่เรียบ ซึ่งเราเรียกว่ายังมีการกระเพื่อมหรือ Ripple เราสามารถทำให้แรงเคลื่อนนี้เรียบขึ้นได้โดยการใช้ C เป็นตัวกรองคลื่น (Filter) ซึ่งเราเรียก C พวกนี้ทับศัพท์ไปว่า C-Filter กับเฟสของสัญญาณออกจะต่าง Phase กันอยู่ 180 องศา จากรูปข้างต้น เมื่อขั้วบนของขด Secondary ได้รับ Phase บวก ขั้วล่างเทียบได้ Phase ลบ ทำให้เอาโหนดของ Diode ได้รับแรงเคลื่อนบวก แคโทดได้รับลบ ทำให้ Diode ได้รับไบอัสแบบฟอร์เวิร์ด กระแส Filter นี้เป็น C ที่มีค่ามากทำให้การ Discharge เป็นไปอย่างช้า ๆ ยังไม่ทัน Discharge Volt หมด ครึ่ง Cycle บวกใหม่ก็เข้ามาอีกแล้ว ทำให้ C ตัวนี้เริ่มเก็บประจุจนเต็มต่อไปอีก เมื่อ Volt ตกลงมามันก็จะ Discharge ใหม่อีก เป็นไปอย่างนี้โดยตลอดยิ่งเราใช้ C Filter ค่ายิ่งมากเท่าไร แรงเคลื่อนไฟฟ้า D.C. ที่ออกมาก็จะเรียบขึ้นเท่านั้น



ถ้าจะ Rectifier ไฟลบนเราเพียงแต่กลับ Diode เท่านั้นเราก็ได้วงจร Rectifier แบบนี้แล้ว จากรูป

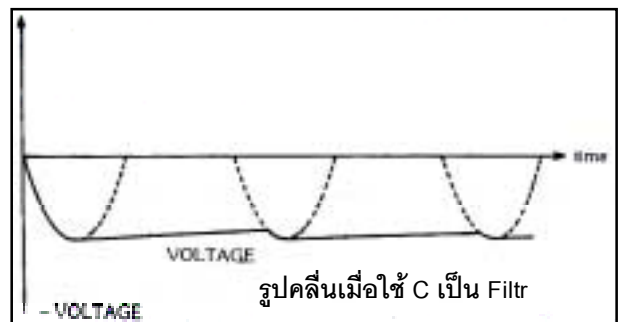
เมื่อขั้วบนของขด Secondary ได้รับ Phase ลบ ขั้วล่างเทียบได้ Phase บวก ลักษณะเช่นนี้จะ



ทำให้ Diode ได้รับไบอัสแบบฟอร์เวิร์ด ไบอัส Diode สามารถนำกระแสได้ กระแสจะไหลจากขั้วบวกผ่าน Load เข้าทางเอาโหนด (A) ออกทางแคโทด (K) ครบวงจร ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ขั้วบนของ Load มีศักย์เป็นลบ ขั้วล่างมีศักย์เป็นบวก

เมื่อขั้วบนของ Transformer ได้รับ Phase บวก ขั้วล่างเทียบได้ Phase ลบ จะทำให้ Diode ไม่สามารถนำกระแสได้ เพราะลักษณะของการจ่ายกระแสแบบนี้จะทำให้ Diode ได้รับไบอัสแบบรีเวิร์สไบอัส จึงจะไม่ปรากฏ Volt ออกมาที่ Load

เมื่อเราใส่ C-Filter เข้าไปในวงจร C-Filter ก็จะกรองกระแส D.C. ที่ไม่เรียบนี้ให้เป็น D.C. ที่เรียบต่อไป



จะเห็นได้ว่าถ้าเราใช้วงจร Rectifier แบบ

นี้เราจะได้ไฟ A.C. ออกมาเพียงครึ่งเดียวเท่านั้น อาจจะเป็นครึ่งคลื่นบวกหรือครึ่งคลื่นลบก็ได้ แล้วแต่ว่าวงจรนั้น ๆ จะต้องการ Volt บวกหรือ Volt ลบ สำหรับการนำไปเลี้ยงวงจร วงจรแบบนี้เราจึงเรียกว่าวงจร Rectifier แบบ Half Wave Rectifier

ข้อความระวัง การใส่ C-Filter เนื่องจากว่า C-Filter จำเป็นต้องเป็น C ที่มีค่ามาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ C แบบ Electrolytic ซึ่ง C แบบนี้เป็น C ที่มีขั้วบวก-ลบ การต่อ C พวกนี้เข้าไปในวงจรจะต้องต่อให้ถูกขั้วด้วย

อย่างไรก็ตามแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับที่วัดได้ด้วยมิเตอร์เท่ากับ 220 Volt นั้น เรียกว่า Volt RMS. (V_{RMS}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.707 เท่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุด (Peak Voltage) จึงเขียนความสัมพันธ์ของ Volt ทั้งสองแบบนี้ออกมาได้ดังกราฟรูปด้านขวา

ในกรณีที่เรานำ Rectifier แบบ Half Wave ถ้ายังไม่มีวงจร filter เมื่อวัดแรงเคลื่อนเฉลี่ยทั้งหมดจะได้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าออกมาเพียง 0.318 เท่า ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดเท่านั้น

ฉะนั้น เมื่อเรา Rectifier แรงเคลื่อนไฟฟ้า A.C. ให้เรียงกระแสกลายเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า D.C. แล้ว Volt ที่ออกมาจึงสูงกว่า Volt ที่เราวัดได้จากขดลวด Transformer ก่อนที่จะมีการ Rectifier จากหลักการข้างต้นนี้ คือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในวงจร

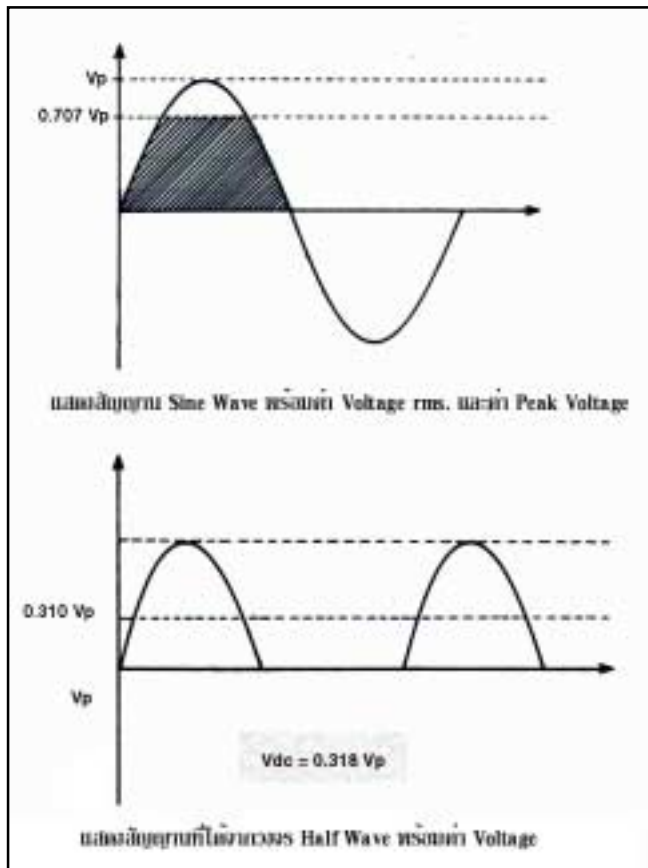
เพราะฉะนั้น เวลาที่ประกอบวงจร Rectifier ต้องคำนึงถึงว่าเมื่อ Rectifier ออกมาแล้ว Volt ที่ออกมานั้นต้องสูงขึ้นมาอีกประมาณ 1.414 เท่าเสมอ (เมื่อผ่าน Filter จนได้แรงเคลื่อนที่เรียบแล้ว)

$$V_{dc(Filter)} = 1.414V_{RMS}$$

2. การ Rectifier แบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier)

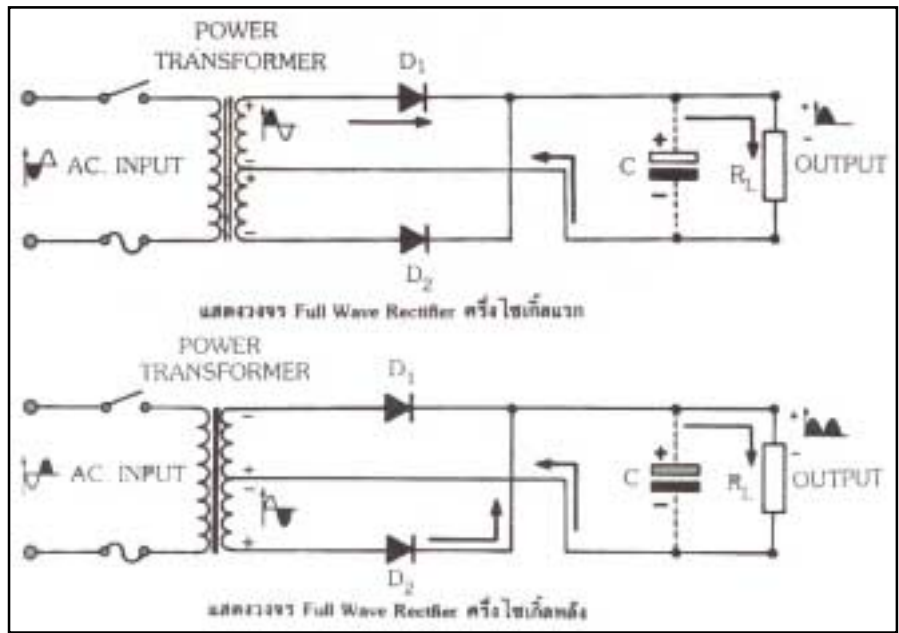
แม้ว่าการ Rectifier แบบ Half Wave เราจะได้ Volt D.C. ออกมาแล้วก็ตาม แต่เมื่อพิจารณากันแล้วจะเห็นว่า Volt ที่ออกมานั้นยังไม่เรียบเสียทีเดียว การ Rectifier แบบ Half Wave นั้นอาจจะก่อให้เกิดเสียงรบกวนอันเนื่องมาจาก Ripple 50 Hz. ได้ ซึ่งเราเรียกลักษณะสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นนี้ว่าการเกิดเสียงฮัม (Hum) ซึ่งเราสามารถทดสอบได้โดยการฟังเสียงที่ออกลำโพง แม้ในขณะนี้ยังไม่ป้อนสัญญาณเสียงเข้าไปก็จะได้ยินเสียงดังหึ่งๆ อยู่ตลอดเวลา เราสามารถทำการ Rectifier ให้สัญญาณที่ออกมาเรียบกว่านั้นได้ด้วยการใช้ Rectifier แบบ Full Wave Rectifier หรือการ Rectifier เต็มคลื่น

การที่จะให้สัญญาณ A.C. ออกมาได้ทั้ง Cycle จำเป็นอยู่เองที่จะต้องใช้ Diode Rectifier ถึงสองตัวด้วยกัน โดยให้แต่ละตัวทำงานคนละครึ่ง Cycle นอกจากจะสามารถจ่ายกระแสตรงได้เรียบกว่า Half Wave แล้ว วงจร Full Wave ยังสามารถจ่ายกระแสให้กับวงจรได้สูงกว่าด้วย



จากรูป เรามาดูสัญญาณในครึ่ง Cycle แรก เมื่อขด Primary ได้รับ Volt A.C. ก็จะทำให้การเหนี่ยวนำมายังขด Secondary โดยจะมี Phase ของสัญญาณต่าง Phase กันอยู่ 180 องศา Transformer ที่เราเอามาใช้นั้นต้องเป็น Transformer ที่มีจุด Center-Tap ที่ให้ Volt และกระแสชีกบนและชีกล่างเท่ากัน

อย่างเช่นในครึ่ง Cycle แรกขั้วบนของขด Secondary ได้

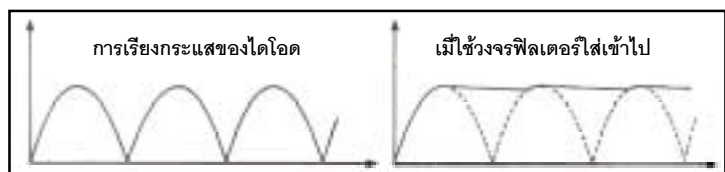


รับ Phase บวก ขั้วล่างได้รับเป็น Phase ลบ Diode D_1 จะสามารถนำกระแสได้ ส่วน D_2 ไม่สามารถที่จะนำกระแสได้ ก็จะมีกระแสไหลจากขั้วบนของ Transformer เข้าทาง A ออกทาง K ของ Diode D_1 ผ่าน R_L ครบวงจรที่จุด Center-Tap (เพราะจุด Center-Tap จะเป็น Phase ลบเมื่อเทียบกับขั้วบนของ Transformer ขด Secondary) ได้แรงเคลื่อนไฟฟ้า D.C. เป็น Phase บวกออกมาปรากฏที่ R_L

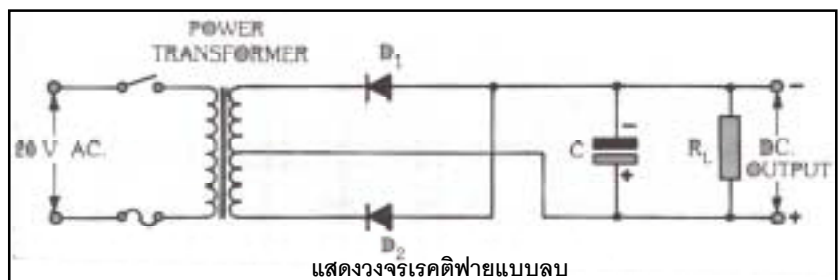
ในครึ่ง Cycle ถัดมา ขั้วบนของขดลวดขั้วบน Secondary ได้รับสัญญาณ Phase ลบ ขั้วล่างได้รับ Phase บวก ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ D_1 ไม่สามารถนำกระแสได้ ส่วน D_2 สามารถที่จะนำกระแสให้ไหลผ่านไปได้ โดยจะไหลผ่านเอาโหนดของ A ออกทางแคโทด K ผ่าน R_L ครบวงจรที่ Center-Tap (กรณีนี้เราจะพบว่า Center-Tap จะมีศักย์เป็นลบเมื่อเทียบกับขั้วล่างของ Transformer) ได้แรงเคลื่อนไฟฟ้า D.C. เป็นบวกออกมาทาง Output หรือตกคร่อมตรง R_L

เมื่อ Cycle ต่อมาเข้ามา การทำงานของชุด Rectifier แบบนี้ก็จะทำงานในทำนองนี้ต่อเนื่องกันไป เมื่อเราจับสัญญาณที่เกิดจากการเรียง

กระแสเราจะเห็นได้ว่าการเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น เราจึงเรียกการ Rectifier แบบนี้ว่า Full Wave Rectifier จึงพอจะมองออกได้ว่าการ Rectifier แบบนี้จะให้แรงเคลื่อนที่เรียบกว่าแบบแรกมากเมื่อเราใช้ C Filter กรองกระแส

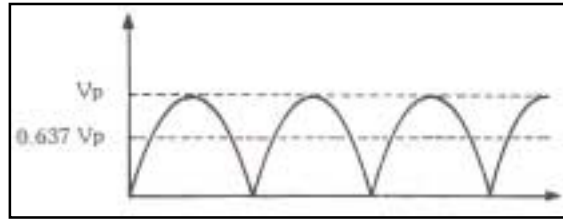


จะเห็นได้ว่าการที่เราใช้วงจร Full Wave Rectifier นั้น จะทำให้ Diode ทั้งสองตัวผลัดกันทำงานคนละครึ่ง Cycle นี่เองที่เป็นสาเหตุโดยตรงที่ทำให้การ Rectifier

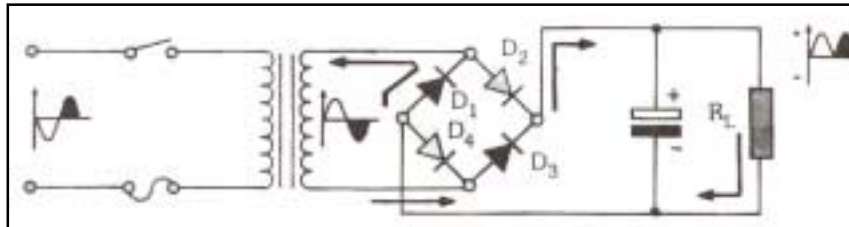


ออกมาครบทั้งสอง Phase จากวงจรที่ผ่านมาเราเพียงกระแสมาเรียงใหม่ดังแสดงวงจรไว้ในรูป

อย่างไรก็ตามเราได้ทราบมาแล้วว่า Volt ที่เราวัดด้วยมิเตอร์เป็น Volt RMS. (V_{RMS}) ซึ่งมีค่าเพียง 0.707 เท่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุด (V_p) ดังนั้นเมื่อเรา Rectifier ออกมาเป็น Full Wave เราจะได้ความสัณพันธ์ (ซึ่งยังไม่ได้ใช้ C Filter กรองกระแส) ดังรูป



จากรูปจะเห็นว่าเมื่อทำการ Rectifier ออกมาแล้ว แรงเคลื่อน D.C. แบบ Full Wave จะเป็น 2 เท่าของแรงเคลื่อน DC.Half Wave คือเท่ากับ 0.637 เท่าของ Volt สูงสุด



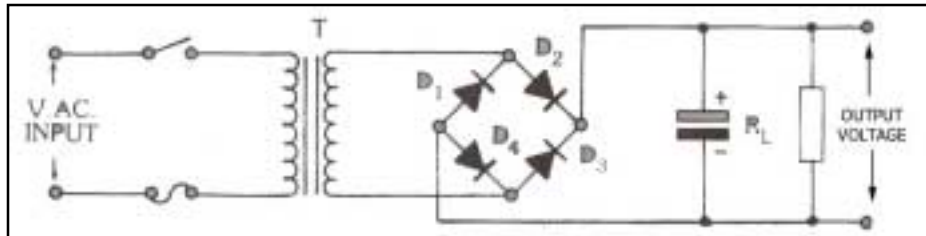
$$V_{DC} = 0.637 V_p$$

ดังนั้นเมื่อใช้ C Filter เข้ามาเป็นตัวกรองกระแส เราจึงได้ D.C. ที่เต็มรูปขึ้นมา ดังได้แสดงไว้ในภาพข้างต้นแล้ว เมื่อเราวัด Volt D.C. ที่ได้จากการ Rectifier และผ่าน C Filter แล้ว จะสูงขึ้นมาอีกประมาณ 1.414 เท่าของ Volt A.C. ที่เราวัดได้จาก Transformer เมื่อยังไม่ถูก Rectifier

3. วงจร Bridge Rectifier

วงจร Rectifier แบบ Full Wave อีกแบบหนึ่งซึ่งไม่จำเป็นจะต้องใช้ Transformer ที่มี Center-Tap อันจะช่วยให้เราสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายลงมา เราสามารถใช้ Transformer ธรรมดาแบบที่ใช้กับวงจร Half Wave ก็ได้

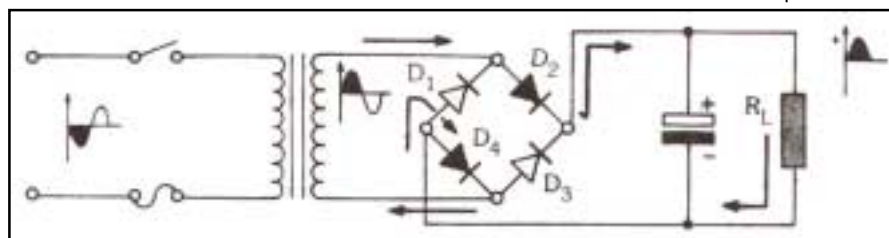
เพียงแต่เอาสัญญาณ A.C. นี้เข้าไป Rectifier ด้วยวงจร Bridge โดยเอาสัญญาณ A.C. ป้อน



เข้าไปที่มุมสองมุมของ Bridge แล้วเอาสัญญาณ Output ออกทางอีกสองมุมของ Bridge ที่เหลืออยู่

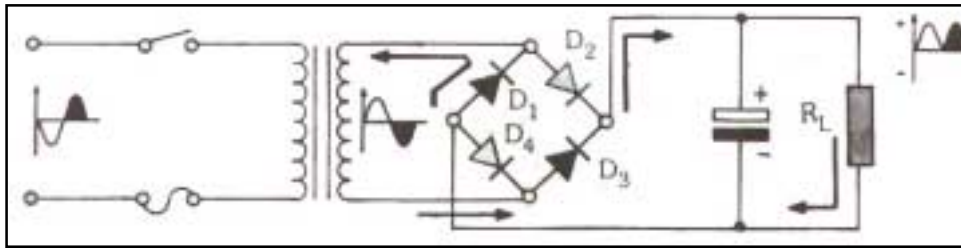
จากข้อเด่นที่ได้กล่าวมาแล้วว่าวงจร Rectifier แบบ Full Wave นั้นไม่จำเป็นจะต้องใช้ Transformer ที่มี Center-Tap ก็ได้ จึงทำให้วงจร Bridge เป็นวงจร Rectifier ที่ได้รับความนิยมใช้กันมากในปัจจุบัน

ในครึ่ง Cycle แรก เมื่อขั้วบนของ Transformer (ทางด้าน Secondary) ได้รับ Phase บวก ขั้วล่างจะ



เทียบศักย์เป็น Phase ลบ มีผลทำให้ Diode D_1 และ D_4 อยู่ในสภาพ ฟอร์เวิร์ด ดังนั้นจึงเกิดการไหลของกระแสครบวงจรจากขั้วบนของ Transformer ผ่าน Diode D_2 , Load Resistor R_L , Diode D_4 ครบวงจรกับขั้วล่างของ Transformer ดังรูปบน ทำให้ Load Resistor มี Volt ศักย์บวกตกคร่อมที่ขั้วบน Output ที่ออกมาจึงออกมาได้ 1 คลื่นบวก

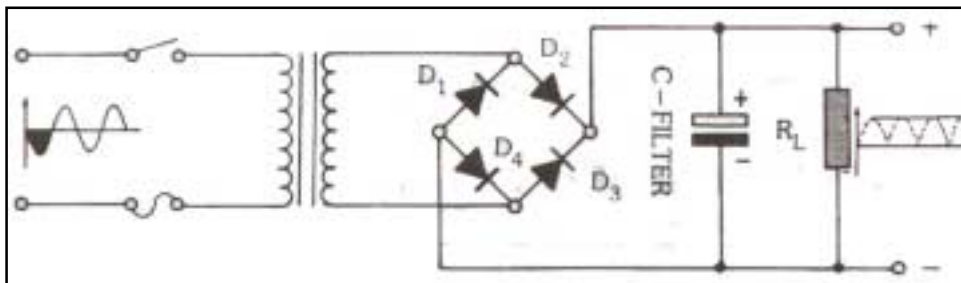
ในครึ่ง Cycle ถัดมา แรงเคลื่อนไฟฟ้า A.C. ได้เปลี่ยนมาเป็นบวกทางขั้วล่าง และเทียบศักย์เป็นลบขึ้นที่ขั้วบนบ้าง ลักษณะนี้จะทำให้ Diode D_3 และ D_1 อยู่ในสภาพ ฟอร์เวิร์ด เกิดการไหลของกระแสวงจร โดยเริ่มตั้งแต่



ขั้วล่าง ของ Transformer ขด Secondary ผ่าน Diode D_3 Load Resistor

R_L , Diode D_1 ไปครบวงจรกับขั้วบนของ Transformer ดังแสดงไว้ในรูปบน ทำให้เราได้แรงคลื่นตรงจุด Output มาอีก 1 คลื่นบวก

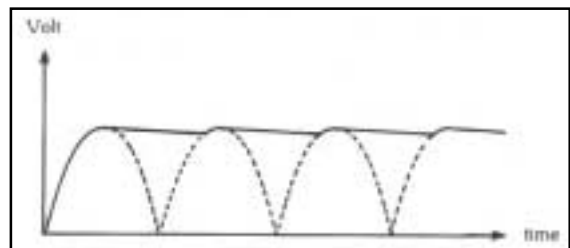
เมื่อ Cycle ต่อมาผ่านเข้ามาอีก การทำงานของวงจรก็จะเป็นไปในทำนองเดียวกันกับที่กล่าวมา



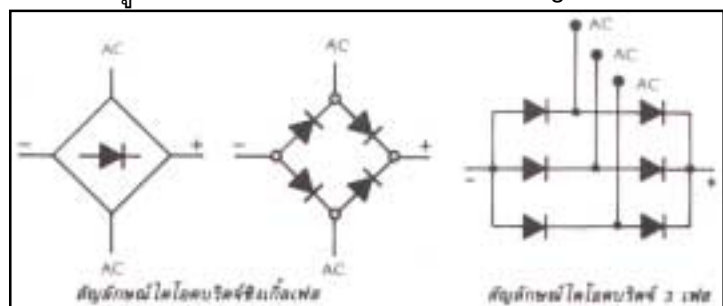
แล้ว เมื่อเราจับสัญญาณ A.C. ซึ่งผ่าน Bridge Rectifier ออกมา แล้ว เราจะได้สัญญาณ Full

Wave เหมือนกับวงจร Rectifier Full Wave ธรรมดาตั้งที่กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้ ดังรูป

เช่นเดียวกันหากว่าเราต้องการให้ D.C. ที่ Rectifier ออกมาเรียบขึ้น เราต้องใช้ C ค่ามาก ๆ มาเป็นตัว Filter ยิ่ง C Filter มีค่ามากเท่าไรการคายประจุก็ต้องใช้เวลามากขึ้น จึงทำให้ D.C. ที่ออกมาเรียบมากที่สุด



จากการที่เราได้กล่าวมาแล้วว่าวงจร Rectifier แบบ Bridge เป็นที่นิยมกันมาก จึงมีการผลิต Diode แบบ Bridge ขึ้นมาใช้งาน กลายเป็น Diode สำเร็จรูปโดยยังคงมีโครงสร้างเหมือนกับ Bridge ที่ใช้ Diode 4 ตัวทุกประการ และถ้าเป็นวงจรที่ต้อง Rectifier 3 Phase จะมี Diode เพิ่มขึ้นอีก 2 ตัว กลายเป็น Diode Bridge 5 ขา แทนที่จะมีขาใช้งาน 4 ขาเหมือนกับ Diode แบบ Single Phase Phase



MOTOR

มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ซึ่งอยู่ในรูปของการหมุน แบ่งออกได้เป็นมอเตอร์ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง (D.C.Motor) และมอเตอร์ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ (AC.MOTOR)

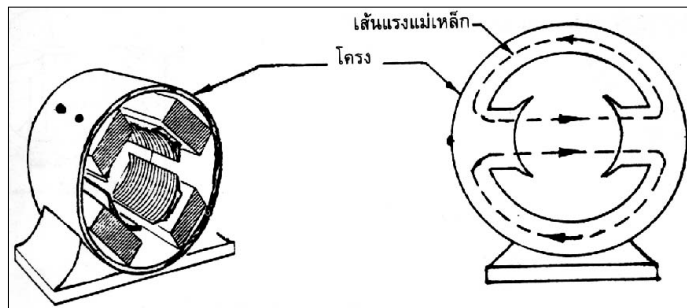
D.C. Motor

- สามารถที่จะแบ่งตามชนิดของการต่อขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) ได้เป็น 3 ชนิด คือ

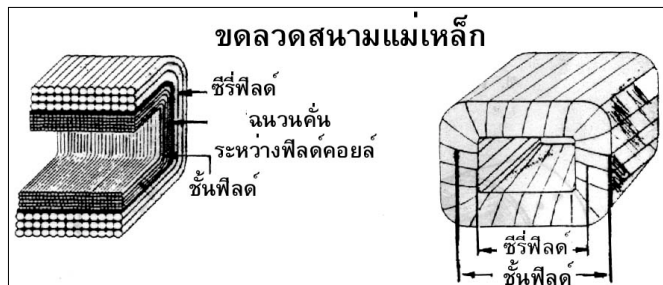
- ❖ ซีรีส์มอเตอร์ (Series Motor)
- ❖ ชันท์มอเตอร์ (Shunt Motor)
- ❖ คอมปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)

1. โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วย

- 1.1 โครงมอเตอร์ (Frame) คือ เปลือกหุ้มภายนอกของมอเตอร์ ทำหน้าที่เป็นตัวห่อหุ้มส่วนประกอบอื่นที่อยู่ภายในมอเตอร์ และทำหน้าที่ยึดส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) กับฝาครอบหัวท้ายของตัวมอเตอร์ อีกด้วย

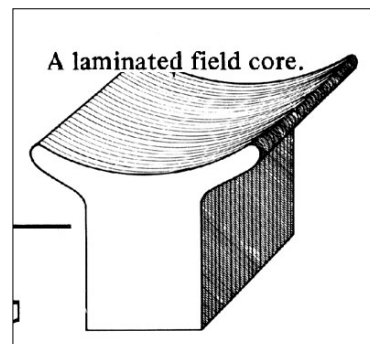


- 1.2 ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) คือ ขดลวดที่พันอยู่กับ ขั้วแม่เหล็ก ซึ่งยึดติดกับ Stator ทำหน้าที่กำเนิดขั้วแม่เหล็กขั้วเหนือและขั้วใต้ สลับกันไป ซึ่งจะเกิดขึ้นได้



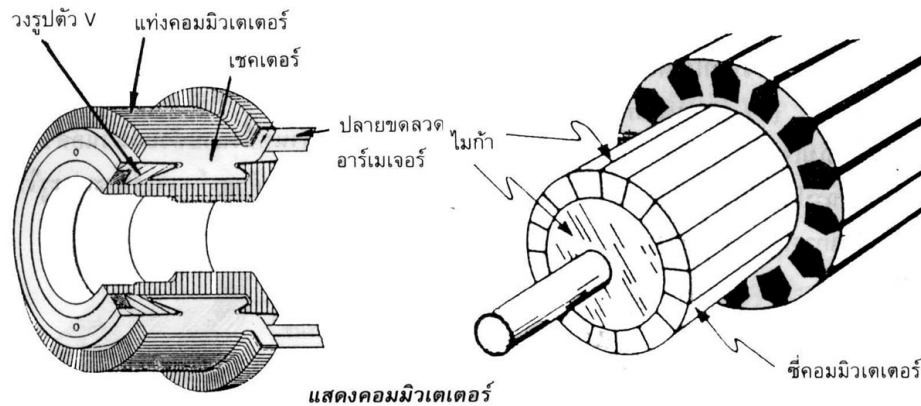
เมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงนี้ป้อนเข้าไป

- 1.3 ขั้วแม่เหล็ก (Pole Pieces) จะเป็นแกนของขดลวดสนามแม่เหล็ก ซึ่งมันจะยึดติดกับด้านในของโครง (Frame) ด้วยสกรู ทำจากแผ่นเหล็กบาง ๆ อันซ้อนกัน (Laminated Sheet Steel) ซึ่งพื้นผิวด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กจะมีลักษณะโค้งรับกับอาร์เมเจอร์พอดี ดังรูป



- 1.4 อาร์เมเจอร์ (Armature) คือ ตัวหมุน (Rotor) จะยึดติดกับเพลาและหมุนอยู่ในสนามแม่เหล็ก อาร์เมเจอร์ จะทำจากเหล็กแผ่นบาง ๆ นำมาอัดซ้อนกัน และมีร่อง (Slots) เพื่อไว้พันขดลวดอาร์เมเจอร์ โดยระหว่างขดลวดอาร์เมเจอร์กับแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ จะต้องมียุทกัน

และเมื่อพันขดลวดเสร็จเรียบร้อยแล้ว ต้องใช้ลึ่มไฟเบอร์อัดเข้าไปที่ส่วนบนของร่องนี้ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดขดลวดหลุดออกมาขณะที่อาร์เมเจอร์หมุน ปลายของขดลวดอาร์เมเจอร์จะต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์ ดังรูป

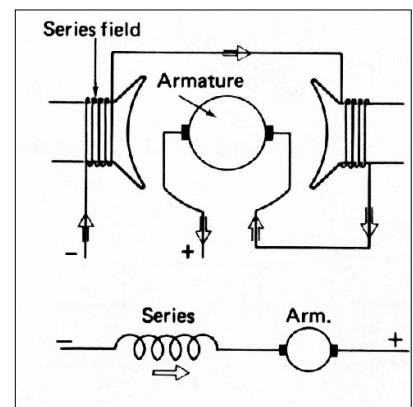


- 1.5 คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ประกอบด้วยแท่งทองแดงแข็ง ประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก และยึดเข้าด้วยกันด้วยวงแหวนรูปตัว วี. ดังรูปที่ 11 – 4 ซีคอมมิวเตเตอร์จะมีจำนวนกันไม่ให้ถึงกัน ฉนวนที่ใช้โดยมากจะเป็นไมก้า ที่ซีคอมมิวเตเตอร์จะมีปลายของขดลวดอาร์เมเจอร์ต่ออยู่
- 1.6 แปรงถ่านและที่ยึดแปรงถ่าน (Brushes And Brush Holders) แปรงถ่านจะทำหน้าที่นำกระแสไฟฟ้าจากซีคอมมิวเตเตอร์ไปสู่วงจรภายนอก ซึ่งแปรงถ่านนี้จะทำจากส่วนผสมของคาร์บอนและกราไฟท์ ทำให้มีความแข็งและนำไฟฟ้าได้ดี
- ◆ ที่ยึดแปรงถ่าน จะยึดติดกับช่องของแปรงถ่าน ทำหน้าที่ยึดแปรงถ่านให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมบนคอมมิวเตเตอร์

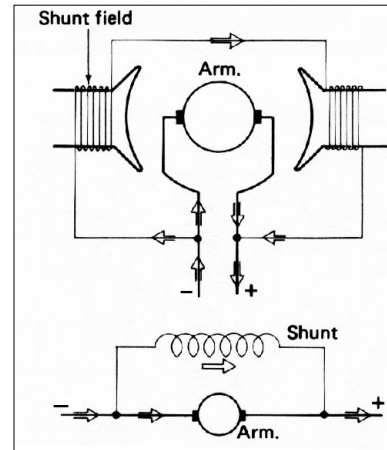
2. หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

- 2.1 การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จะใช้หลักการที่ว่า ถ้านำตัวนำไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน (Armature) ไปวางไว้ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ก็จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กตัดกับขดลวดสนามแม่เหล็ก มีแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำเกิดขึ้น และจำทำให้ตัวนำไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปได้
- 2.2 การต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบ่งได้เป็น 3 แบบ ตามการต่อขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coils) เข้ากับวงจรอาร์เมเจอร์ คือ

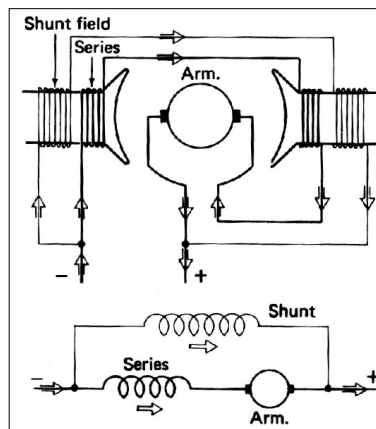
- ◆ ซีรีส์มอเตอร์ (Series Motor) มอเตอร์ชนิดนี้ขดลวดสนามแม่เหล็กจะต่ออนุกรมกับวงจรอาร์เมเจอร์ ดังรูป มอเตอร์ชนิดนี้มักจะนำไปใช้งานเป็นตัวขับเคลื่อน, ตัวจุดลาก เช่น ปั๊มจันไฟฟ้าเครื่องยก เป็นต้น เพราะมีแรงบิดเริ่มหมุนสูง ข้อควรระวังของมอเตอร์ ชนิดนี้ก็คือ จะต้องไม่ต่อมอเตอร์ ชนิดนี้ขณะไม่มี Load เพราะจะทำให้มีความเร็วสูงมาก จนเป็นอันตรายกับตัวมอเตอร์ได้



- ◆ ชั้ท์มอเตอร์ (Shunt Motor) มอเตอร์ชนิดนี้ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) จะต่อขนานกับวงจรอาร์เมเจอร์ ดังรูป มอเตอร์ชนิดนี้มักจะนำไปใช้ขับเคลื่อนเครื่องจักร เช่น เครื่องกลึง เครื่องไส เครื่องกัด เป็นต้น เพราะว่าชั้ท์มอเตอร์นี้จะมีความเร็วเกือบคงที่ ไม่ว่า Load จะเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม



- ◆ คอมปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor) มอเตอร์ชนิดนี้จะมีขดลวดอยู่ 2 ชุดด้วยกันคือ ซีรีส์ฟิลด์ จะต่ออนุกรมกับวงจรอาร์เมเจอร์ และชั้ท์ฟิลด์จะต่อขนานกับวงจรอาร์เมเจอร์ ดังรูป มอเตอร์ชนิดนี้ มีข้อดีกว่ามอเตอร์ทั้ง 2 ชนิดที่กล่าวมาแล้ว คือจะมีแรงบิดเริ่มหมุนสูงกว่าชั้ท์มอเตอร์ และความเร็วจะเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าซีรีส์มอเตอร์ เมื่อมี Load



2.3

การกลับทางหมุน

- ◆ การกลับทางหมุนของ D.C. Motor ทำได้โดยการกลับขั้วที่แหล่งจ่าย จากขั้วบวกเป็นขั้วลบและขั้วลบเป็นขั้วบวก หรืออาจจะกลับขั้วที่อาร์เมเจอร์อย่างใดอย่างหนึ่ง

AC. MOTOR

- ★ ในปัจจุบันนี้งานที่ต้องการใช้กำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับไปขับโหลดต่างๆ ภายในเรื่อนั้นมีมากมายหลายชนิด ดังนั้นการเลือกมอเตอร์ให้เหมาะสมกับชนิดของงาน จึงมีความสำคัญ ซึ่งจะทำให้งานมีประสิทธิภาพสูงและประหยัดค่าใช้จ่ายมากที่สุด
- ★ มอเตอร์มากกว่าหนึ่งชนิดสามารถใช้กับงานชนิดเดียวกันได้ แต่ว่าต้องพิจารณาว่าใช้มอเตอร์ชนิดใดจึงเป็นการประหยัดกว่ากัน การทดลองเพื่อที่จะหาขนาดของงานในขณะซึ่งทำงานจริง ๆ มีความจำเป็นมากในการเลือกมอเตอร์ให้ได้ดีที่สุด
- ★ หลักของการเลือกใช้มอเตอร์จะต้องพิจารณาถึง

1. ชนิดของงานและกำลังงานซึ่งงานนั้นๆ ต้องการ เช่น เมื่อต้องการใช้มอเตอร์ในการยกของมอเตอร์นั้นจะต้องมีแรงบิดมากเมื่อเริ่มต้นหมุนและมีกำลังม้า (HP) พอเพียงที่จะยกของได้
2. ลักษณะของพลังงานไฟฟ้าซึ่งจะต้องจ่ายให้มอเตอร์ให้เหมาะสมกัน เช่น เมื่อมีระบบจ่ายไฟ 3 Phase 380 โวลท์ ก็ควรเลือกมอเตอร์ที่ใช้กับไฟฟ้า 3 Phase 380 โวลท์เช่นกัน
3. ราคาของมอเตอร์ ต้องเลือกมอเตอร์ที่ใช้งานได้ตรงตามจุดประสงค์ที่ราคาถูกที่สุด
4. ลักษณะภายนอกของมอเตอร์ต้องเหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมของงาน เช่น มอเตอร์ซึ่งใช้กับงานซึ่งมีฝุ่นละอองมาก เช่น ในเครื่องบดปูนซีเมนต์ก็ควรเป็นมอเตอร์ซึ่งปิดมิดชิดสามารถกันฝุ่นผงปูนซีเมนต์เข้าไปภายในได้

1. ส่วนประกอบต่างๆ ไป ของ AC. Motor

1.1. มอเตอร์ไฟสลับต่างๆ ไป แบ่งออกได้ 2 แบบ คือ

1. Induction Motor

2. Synchronous Motor

1.2. มอเตอร์ไฟสลับนี้เป็นมอเตอร์ที่ทำงานด้วยความเร็วคงที่เป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นบางชนิดออกแบบให้ปรับความเร็วได้ก็มี แต่ก็เป็นส่วนน้อย

1.3. Induction Motor มีทั้งชนิด Single phase และ Poly phase ซึ่งหลักการทำงานก็เช่นเดียวกัน แต่ในชนิด Single Phase ต้องเพิ่มขดลวดเริ่มเดินพิเศษ (Special-Starting Winding)

1.4. มอเตอร์ไฟสลับส่วนประกอบโดยทั่วไปจะมีส่วนประกอบคล้ายๆ กัน คือส่วนอยู่กับที่ (Stator) เหมือนกัน ฝาครอบ (End Plate) เหมือนกัน จะแตกต่างกันก็เฉพาะส่วนที่ เคลื่อนที่ (Rotor) และขดลวด Stator.

1.5. มอเตอร์ไฟสลับแบบชักนำ (Induction Motor) ใช้กันมากที่สุด เพราะ

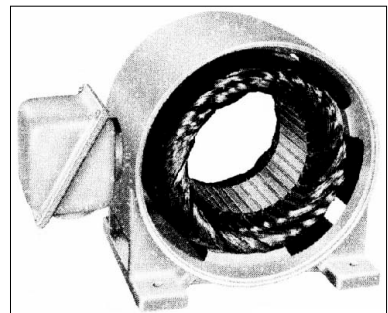
1. มีประสิทธิภาพสูง
2. ราคาถูก
3. สร้างง่ายกว่ามอเตอร์ไฟตรง

2. ส่วนประกอบที่จำเป็น ของมอเตอร์ไฟสลับมีอยู่ 2 ส่วน คือ Stator และ Rotor

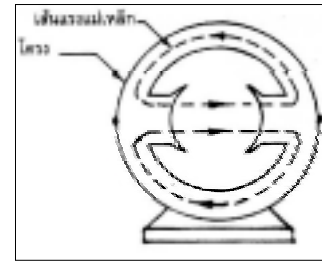
2.1. **Stator** (ส่วนที่อยู่นิ่ง) ประกอบด้วยโครง (Yoke) แกนขดลวด, ขดลวด

2.1.1. โครง (Yoke) ทำด้วยเหล็กหล่อทรงกระบอกฐานล่าง มีลักษณะเป็นขาตั้ง มีกล่องสำหรับต่อสายอยู่ด้านบนหรือด้านข้าง

2.1.2. แกนขดลวด (Stator Core) ทำด้วยเหล็กแผ่น



บางๆ ลักษณะกลม เสาร่องภายในโดยรอบ เรียกว่าแผ่นลามิเนต (Laminated Sheet) อาบด้วยซิลิกอน แล้วอัดเข้าด้วยกัน สำหรับร่องที่เสาะเรียกว่า Slot สำหรับพันขดลวดและทำหน้าที่เป็นทางเดินเส้นแรงแม่เหล็กหรือวงจรแม่เหล็กด้วย

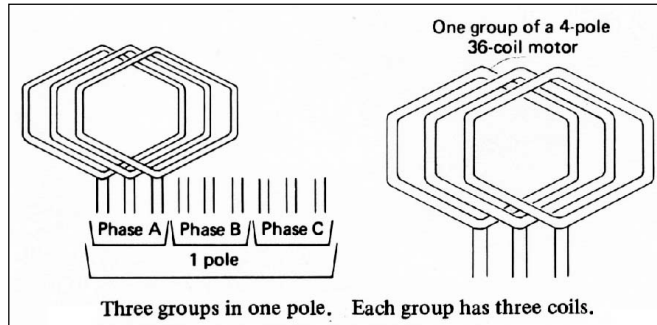


2.1.3. ขดลวด Stator

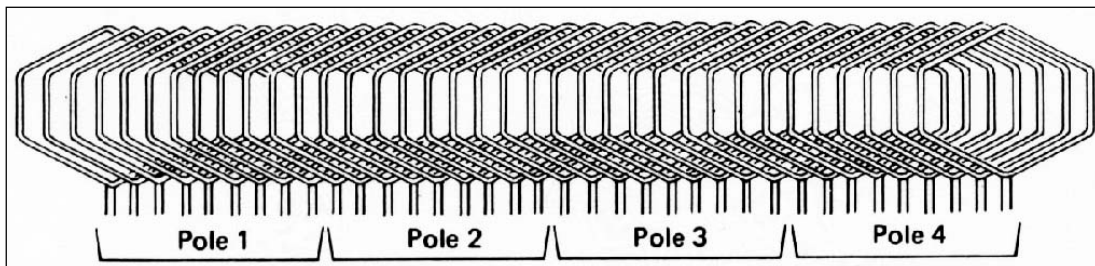
2.1.3.1. แบบ Three Phase Motor

▲ ขดลวดภายในตัวแม่เหล็กขั้วหนึ่ง มี 3 ชุด แต่ละชุดเรียกว่า Phase

▲ แต่ละ Phase จะมีกลุ่มของ Coil เช่น มอเตอร์ 36 Slot 4 Pole, 3 Phase ดังนั้น จำนวน Slot/Pole = 9 Slot และจะได้จำนวนของกลุ่ม Coil ต่อ 1 Phase = 3 Coil



▲ การพันจะสังเกตเห็นว่าใน 1 Slot จะมี Coil Side อยู่ 2 Coil Side ซึ่งเป็น Coil Side ที่แตกต่างกันเนื่องจากลักษณะขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์จะเหมือนกับขดลวดอาร์

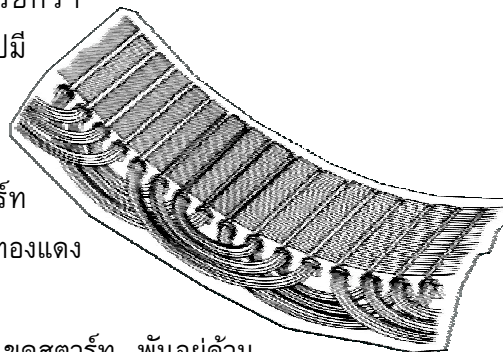


เมเจอร์ของเครื่องกำเนิด ดังนั้นระยะพิชของ Coil จึงแบ่งออกเป็น 2 แบบด้วยกัน คือ Coil ที่มีระยะพิชเต็ม (Full Pitch) และ Coil ที่มีระยะพิชเศษส่วน (Fractional Pitch)

▲ ระยะพิชของ Coil มอเตอร์ส่วนใหญ่มีระยะพิชเป็นเศษส่วน

2.1.3.2. แบบ Single Phase Motor

▲ ขดลวดมีลักษณะเป็นชุดๆ เรียกว่า Concentrate Winding โดยทั่วไปมี 2 ชุด คือ ขดรัน (Running Winding) พันด้วยลวดทองแดง เส้นโตรอบมาก และขด สตาร์ท (Starting Winding) พันด้วยลวดทองแดง เส้นเล็กน้อรอบ



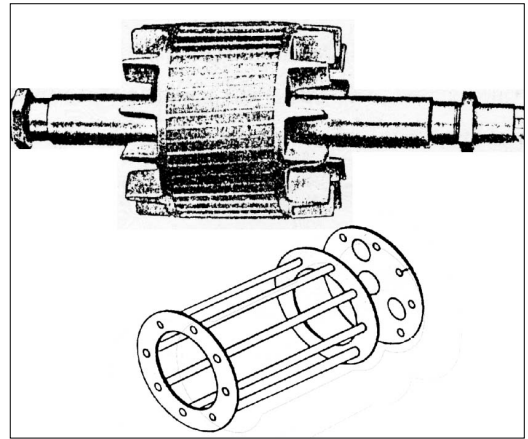
▲ ขดรันจะพันอยู่ด้านในของ Slot ขดสตาร์ท พันอยู่ด้านนอกของ Slot

2.2. Rotor (ส่วนเคลื่อนไหว)

ในมอเตอร์ชักนำ (Induction Motor) มี 2 แบบด้วยกัน คือ Squirrel Cage Rotor หรือแบบกรงกระรอก และ Wound Rotor แต่ ละแบบจะประกอบด้วยสิ่งที่สำคัญต่อไปนี้คือ แกน Rotor , ตัวนำ , ใบพัด , เฟลา

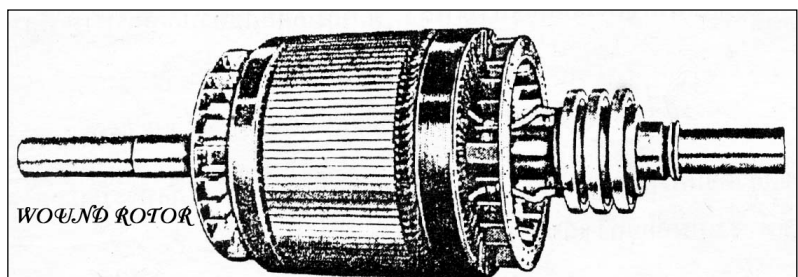
2.2.1. Squirrel Cage Rotor แบบใช้ไฟ 3 Phase นิยมใช้กันแพร่หลายที่สุด

- แกน Rotor (Rotor Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบาง ลามิเนท (Laminated Sheet Steel) มีลักษณะกลมเซาะผิวภายนอกให้เป็นร่องโดยรอบเรียกว่า Slot แล้วนำมาอัดรวมกัน
- ตรงกลางแผ่นเจาะรูสำหรับสอดเพลลา (Shaft) บริเวณ Slot รอบๆ ขอบรูของเพลลาจะเจาะรูเอาไว้เพื่อระบายความร้อนและลดน้ำหนัก Rotor
- ร่อง Slot จะไม่เท่ากันกับ Stator เพื่อป้องกันการเกิดตำแหน่งที่แรงบิด (Torque) เป็น 0 (ศูนย์) เรียกว่า Dead Point หรืออาจจะป้องกันโดยทำ Slot ให้เฉียงกับเพลลาซึ่งเรียกว่า Skewing
- การทำ Skewing ยังได้ประโยชน์ในการลด Magnetic Noise และการเปลี่ยนแปลงของ Torque เป็นไปโดยสม่ำเสมอ
- ตัวนำ(Conductor) ใช้บรรจุอยู่ใน Slot ของ Rotor ทำด้วยแท่ง อลูมิเนียมหรือ ทองเหลือง, ทองแดง, อัดแน่นอยู่ใน Slot
- ตัวนำแต่ละตัวจะต่อถึงกันหมดเพื่อให้ครบวงจรทางไฟฟ้าโดยใช้วงแหวน (End Ring) ที่มีครีดยื่นออกมายึดไว้กับปลายแต่ละข้างของตัวนำ



2.2.2. Wound Rotor ส่วนประกอบต่างๆ จะเหมือนกับแบบ Squirrel Cage Rotor จะแตกต่างกันที่ตัวนำ ซึ่งแบบ Wound Rotor ใช้ขดลวดพันและมีแหวนทองแดงเรียกว่า Slip Ring ต่อรวมกับปลายสายของขดลวด

- โดยการสร้างมีจุดประสงค์เพื่อให้ลด Starting Current



- ปกติ Wound

Rotor ใช้กับมอเตอร์ 3 Phase ดังนั้น Slip Ring ทั้ง 3 ตัว จึงมีไว้สำหรับต่อเข้ากับอุปกรณ์ควบคุม หรือตัวความต้านทาน

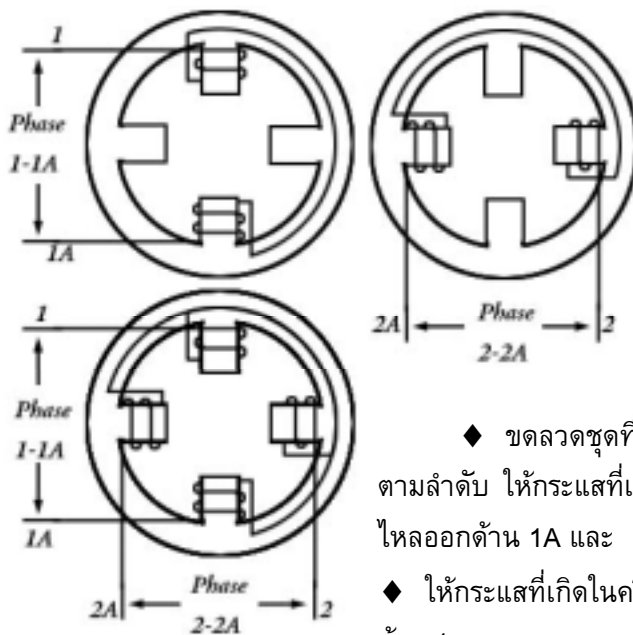
- Wound Rotor นี้เมื่อพันต่อกันเรียบร้อยแล้วเอาปลายขดทั้งสามเส้นต่อกับ Slip Ring 3 วง และมีแปรงถ่าน 3 อัน ต่อออกไปยังตัวความต้านทานภายนอก

3. หลักการทำงานของ Induction Motor

- ในมอเตอร์ทั้ง Single Phase และ Poly Phase ใช้หลักการอันเดียวกัน คือสนามแม่เหล็กหมุน (Rotating Magnetic Field) ตัดกับตัวนำ เป็นผลทำให้โรเตอร์หมุน และเป็นเหตุให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหมุนได้
- สนามแม่เหล็กหมุนเราไม่สามารถมองเห็นได้แต่เราสามารถมองเห็นผลอันเกิดจากสนามแม่เหล็กหมุนได้ เมื่อเราป้อนไฟสลับให้กับ Stator แล้วนำเอาเข็มทิศไปไว้ในสนามแม่เหล็ก จะเห็นว่าเข็มทิศจะหมุนเร็วมาก

3.1. สนามแม่เหล็กหมุน (Rotating Magnetic Field)

3.1.1. สนามแม่เหล็กหมุนแบบ **Two Phase** ใช้ขดลวด Stator เพียง 2 ชุด วางให้เป็นมุมฉากต่อกันรอบๆ สเตเตอร์



กันรอบๆ สเตเตอร์

◆ เมื่อจ่ายไฟ 2 Phase เข้าที่ Stator จะเกิดสนามแม่เหล็กที่หมุนได้ครบรอบ ต่อไฟสลับ 1 Cycle ดังรูป มอเตอร์ชนิดนี้ไม่นิยมใช้

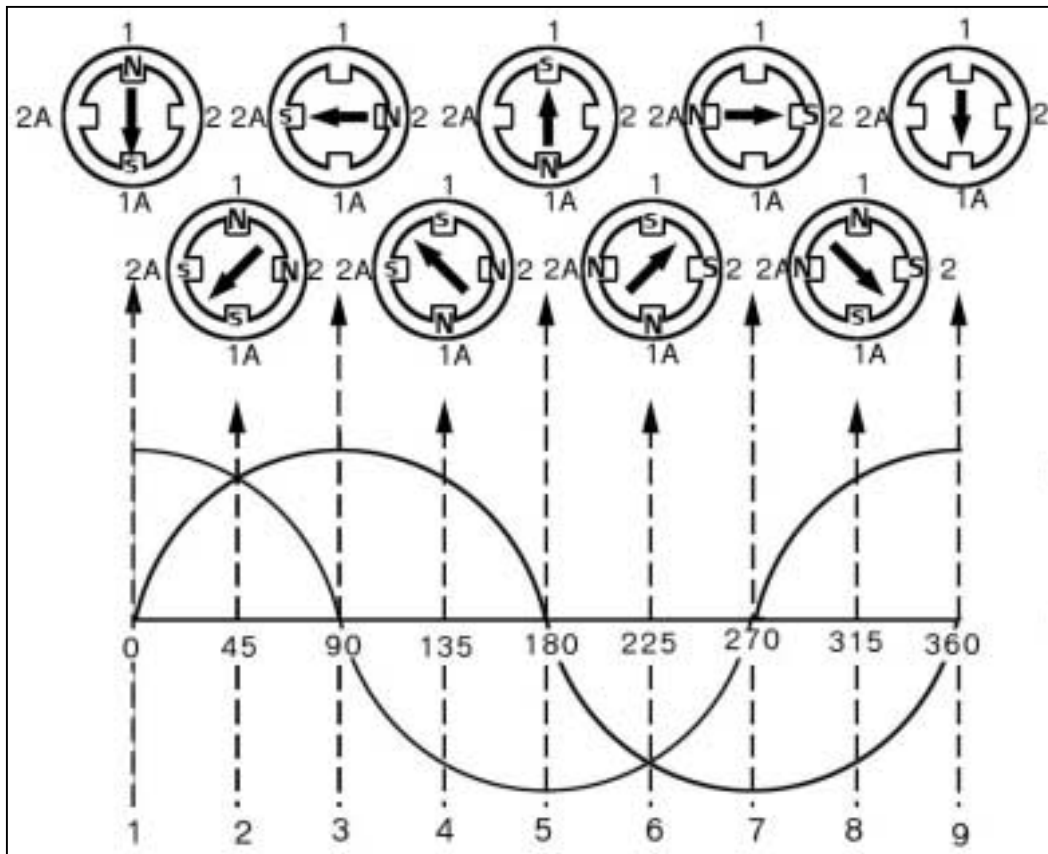
◆ มีขดลวดสนามแม่เหล็กที่ Stator 2 ชุด ต่อ 1 ขั้ว หรือหมายความว่า มีขดลวด ชนิด Single Phase 2 ชุดต่อ 1 ขั้ว วางห่างกันเป็นมุม 90° ทางไฟฟ้า

◆ ขดลวดชุดที่ 1 หรือ Phase 1 มีต้นกับปลาย คือ 1 และ 1A ตามลำดับ ให้กระแสที่เกิดในครึ่ง Cycle บวกไหลเข้าขดลวดด้าน 1 และไหลออกด้าน 1A และ

◆ ให้กระแสที่เกิดในครึ่ง Cycle ลบไหลเข้าขดลวดด้าน 1A ไหลออกด้าน 1

◆ ขดลวดชุดที่ 2 หรือ Phase 2 มีต้นกับปลายคือ 2 และ 2A ตามลำดับ ให้กระแสครึ่ง Cycle บวกไหลเข้าขดลวดด้าน 2 และไหลออกด้าน 2A และให้กระแสครึ่ง Cycle ลบไหลเข้าขดลวดด้าน 2A และไหลออกด้าน 2

◆ ทั้งนี้กำหนดให้ทิศทางที่กระแสไหลเข้าเป็น N และไหลออกเป็น S



จากรูป ผลที่เกิดจากการป้อนไฟเข้าที่ขดลวด Stator คือ

ตำแหน่งที่ 1 (0°)

- ◆ กระแส Phase ที่ 1 มีค่าเป็นบวกสูงสุด ทำให้ขดลวดชุดที่ 1 กระแสไหลเข้าที่ 1 และไหลออกที่ 1A ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กจาก $N \rightarrow S$ (1 ไป 1A)
- ◆ กระแส Phase ที่ 2 มีค่าเป็น 0 ทำให้ไม่มีกระแสไหลในขดลวดชุดที่ 2
- ◆ ณ ตำแหน่งนี้สนามแม่เหล็กรวมจะอยู่ที่ตำแหน่ง 1 ไป 1A

ตำแหน่งที่ 2 (45°)

- ◆ กระแส Phase ที่ 1 มีค่าลดลงแต่ยังอยู่ในทิศทางเดิม กระแสไหลเข้าที่ 1 และไหลออกที่ 1A ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กจาก $N \rightarrow S$ (1 ไป 1A)
- ◆ กระแส Phase ที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้นในทิศทางบวก กระแสไหลเข้าที่ 2 และไหลออกที่ 2A ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กจาก $N \rightarrow S$ (2 ไป 2A)
- ◆ ณ ตำแหน่งนี้สนามแม่เหล็กทั้งสองที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางการเคลื่อนที่เสริมกันทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรวมอยู่ในตำแหน่งเปลี่ยนจากตำแหน่งที่ 1 ในทิศทาง 45° ทวนเข็มนาฬิกา

ตำแหน่งที่ 3 (90°)

- ◆ กระแส Phase ที่ 1 จะลดลงอยู่ที่ 0 ทำให้ไม่มีกระแสไหลในขดลวดชุดที่ 1
- ◆ กระแส Phase ที่ 2 จะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดในทิศทางเดิม ขดลวดชุดที่ 2 มีกระแสไหลเข้าที่ 2 และไหลออกที่ 2A ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กจาก $N \rightarrow S$ (2 ไป 2A)
- ◆ ณ ตำแหน่งนี้สนามแม่เหล็กรวมอยู่ที่ตำแหน่ง 2 ไป 2A

ตำแหน่งที่ 4 (135°)

- ◆ กระแส Phase ที่ 1 จะเพิ่มขึ้นในทิศทางลบ ขดลวดชุดที่ 1 จะมีกระแสไหลเข้าที่ 1A และไหลออกที่ 1 ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กจาก $N \rightarrow S$ (1A ไป 1)
- ◆ กระแส Phase ที่ 2 มีค่าลดลงแต่ยังอยู่ในทิศทางเดิม กระแสไหลเข้าที่ 2 และไหลออกที่ 2a ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กจาก $N \rightarrow S$ (2 ไป 2A)
- ◆ ณ ตำแหน่งนี้สนามแม่เหล็กทั้งสองที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางการเคลื่อนที่เสริมกันทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรวมอยู่ในตำแหน่งเปลี่ยนจากตำแหน่งที่ 3 ในทิศตามทวนเข็มนาฬิกา 45°

ตำแหน่งที่ 5 (180°)

- ◆ กระแส Phase ที่ 1 จะเพิ่มขึ้นสูงสุดในทิศทางเดิม ขดลวดชุดที่ 1 จะมีกระแสไหลเข้าที่ 1A และไหลออกที่ 1 ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กจาก $N \rightarrow S$ (1A ไป 1)
- ◆ กระแส Phase ที่ 2 จะลดลงอยู่ที่ 0 ทำให้ไม่มีกระแสไหลในชุดที่ 2
- ◆ ณ ตำแหน่งนี้สนามแม่เหล็กรวมอยู่ในตำแหน่งที่ 1A ไป 1

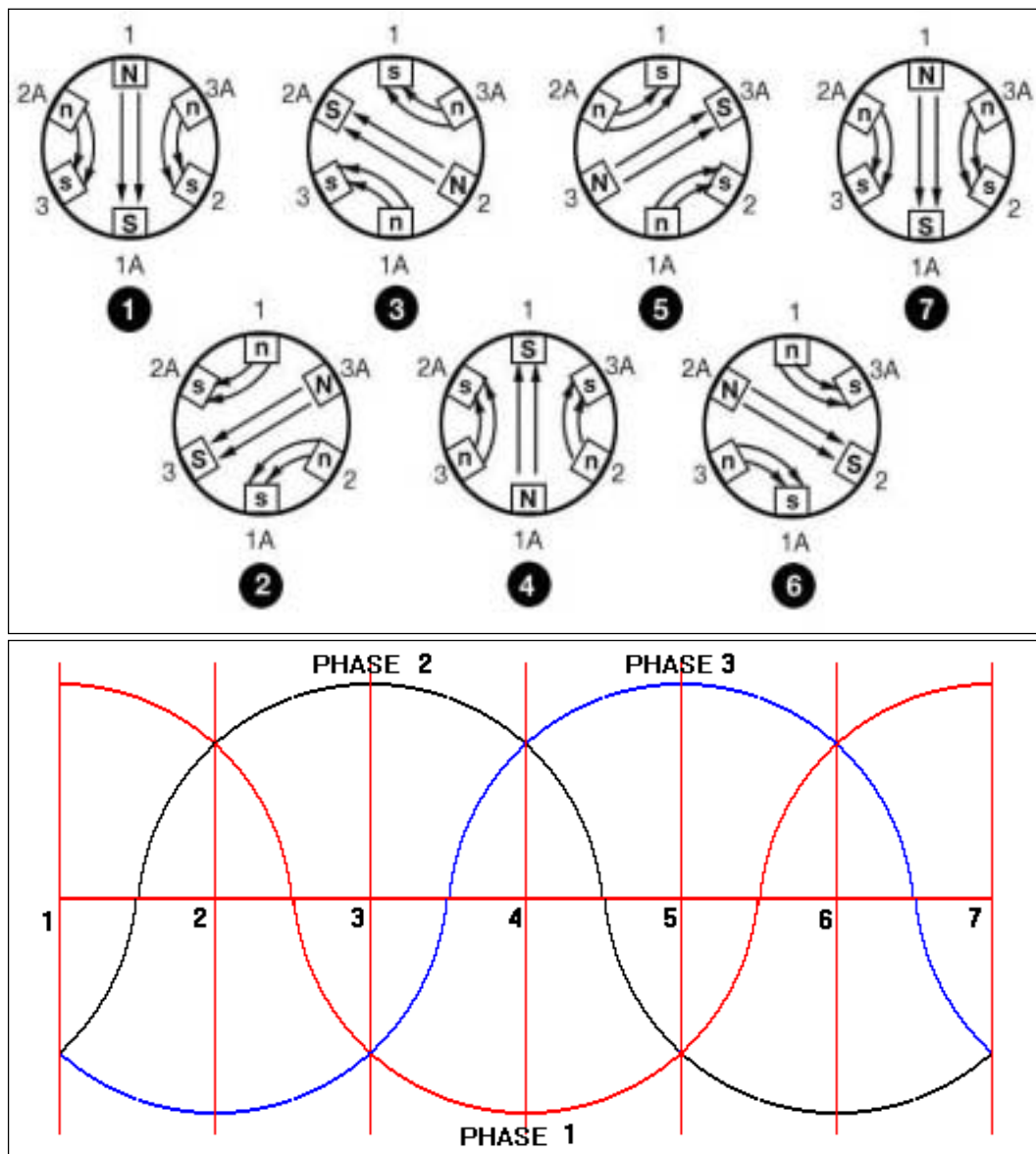
เราได้พิจารณาเห็นว่าสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดชุดที่ 1 และชุดที่ 2 จะเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกาไปรอบๆ Stator ซึ่งผลของสนามแม่เหล็กรวมนี้จะมีค่าอย่างเดียวกันสำหรับช่วงต่างๆ และสัมพันธ์กันไปตลอดเวลา

สำหรับตำแหน่งที่ 6, 7, 8 และ 9 การเคลื่อนของสนามแม่เหล็กรวมในครึ่ง Cycle หลังที่เหล็กก็จะเกิดในลักษณะเดียวกับครึ่ง Cycle แรก และจะกลับมาในตำแหน่งเดิมหรือตำแหน่งที่ เริ่มต้นใหม่

3.1.2. สนามแม่เหล็กหมุนแบบ **Three Phase** มี Phase ต่างกัน 120° ใช้ขดลวด Stator 3 ชุด เมื่อจ่ายไฟ 3 Phase เข้า Stator จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนได้ครบ 1 รอบ ต่อไฟสลับ 1 Cycle ดังรูป

- ◆ ขดลวดชุดที่ 1 มีต้น (1) ปลาย (1A) ให้กระแสที่เกิดในครึ่ง Cycle บวกไหลเข้าที่ 1 ไหลออกที่ 1A และกระแสที่เกิดในครึ่ง Cycle ลบไหลเข้าที่ 1A ไหลออกที่ 1
- ◆ ขดลวดชุดที่ 2 มีต้น (2) กับปลาย (2A) ให้กระแสที่เกิดในครึ่ง Cycle บวกไหลเข้าที่ 2 ไหลออกที่ 2A และกระแสที่เกิดในครึ่ง Cycle ลบไหลเข้าที่ 2A ไหลออกที่ 2
- ◆ ขดลวดชุดที่ 3 มีต้น (3) กับปลาย (3A) ให้กระแสที่เกิดในครึ่ง Cycle บวกไหลเข้าที่ 3 ไหลออกที่ 3A และกระแสในครึ่ง Cycle ลบไหลเข้าที่ 3A ไหลออกที่ 3
- ◆ ทั้งนี้กำหนดให้ด้านกระแสไหลเข้านั้นเป็นขั้ว N และกระแสไหลออกเป็นขั้ว S จากกฎมือซ้ายของเลนซ์ (การหาทิศทางเส้นแรงแม่เหล็ก)

◆ ผลที่เกิดจากการจ่ายไฟ Three Phase เข้าขดลวด Stator คือ



จากรูป

ตำแหน่งที่ 1 (0°)

- ◆ กระแส Phase ที่ 1 มีค่าสูงสุดในทิศทางบวก กระแสไหลเข้าขดลวดชุด 1 ที่ 1 ไหลออกที่ 1A ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก $N \rightarrow S$
- ◆ กระแสที่ Phase ที่ 2 มีค่าอยู่ในทิศทางลบ กระแสไหลเข้าขดลวดชุด 2 ที่ 2A ไหลออกที่ 2 ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก $N \rightarrow S$
- ◆ กระแส Phase ที่ 3 มีค่าอยู่ในทิศทางเดียวกับ Phase ที่ 2 กระแสไหลเข้าขดลวดชุด 3 ที่ 3A ไหลออกที่ 3 ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก $N \rightarrow S$
- ◆ ในตำแหน่งนี้จะเกิดสนามแม่เหล็กรวมที่ตำแหน่ง $1 \rightarrow 1A$

ตำแหน่งที่ 2 (60°)

- ◆ กระแส Phase ที่ 1 ค่าจะลดลงแต่มีทิศทางเดิม กระแสไหลเข้าขดลวดชุด 1 ที่ 1A ไหลออกที่ 1A ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก $N \rightarrow S$
- ◆ กระแส Phase ที่ 2 จะเปลี่ยนแปลงและมีค่าอยู่ในทิศทางบวก กระแสไหลเข้าขดลวดชุด 2 ที่ 2A ไหลออกที่ 2A ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก $N \rightarrow S$
- ◆ กระแส Phase ที่ 3 มีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดในทิศทางเดิม กระแสไหลเข้าขดลวดชุด 3 ที่ 3A ไหลออกที่ 3 ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก $N \rightarrow S$
- ◆ ตำแหน่งนี้ สนามแม่เหล็กรวมอยู่ที่ตำแหน่ง $3A \rightarrow 3$

ตำแหน่งที่ 3 (120°)

- ◆ กระแส Phase ที่ 1 จะเปลี่ยนแปลงและมีค่าอยู่ในทิศทางลบ กระแสไหลเข้าขดลวดชุด 1 ที่ 1A ไหลออกที่ 1 ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก $N \rightarrow S$
- ◆ กระแส Phase ที่ 2 จะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดในทิศทางเดิม กระแสไหลเข้าขดลวดชุด 2 ที่ 2A ไหลออกที่ 2A ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก $N \rightarrow S$
- ◆ กระแส Phase ที่ 3 จะมีค่าลดลงแต่มีทิศทางเดิม กระแสไหลเข้าขดลวดชุด 3 ที่ 3A ไหลออกที่ 3 ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก $N \rightarrow S$
- ◆ ตำแหน่งนี้สนามแม่เหล็กรวมอยู่ที่ตำแหน่ง $2 \rightarrow 2A$

ตำแหน่งที่ 4 (180°)

- ◆ กระแส Phase ที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดอยู่ในทิศทางเดิม กระแสไหลเข้าขดลวดชุด 1 ที่ 1A ไหลออกที่ 1 ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก $N \rightarrow S$
- ◆ กระแส Phase ที่ 2 จะมีค่าลดลงแต่มีทิศทางเดิม กระแสไหลเข้าขดลวดชุด 2 ที่ 2A ไหลออกที่ 2A ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก $N \rightarrow S$
- ◆ กระแส Phase ที่ 3 จะเปลี่ยนแปลงและมีค่าในทิศทางบวก กระแสไหลเข้าขดลวดชุด 3 ที่ 3A ไหลออกที่ 3A ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก $N \rightarrow S$
- ◆ ตำแหน่งนี้สนามแม่เหล็กรวมอยู่ที่ตำแหน่ง $1A \rightarrow 1$

ตำแหน่งที่ 5, 6, 7 การเกิดสนามแม่เหล็กรวมจะเปลี่ยนตำแหน่งไปครั้งละ 60° จนถึงตำแหน่งสุดท้ายและกลับมาเริ่มต้นใหม่ในตำแหน่งที่ 1

จากที่ได้กล่าวมาแล้ว การเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กจากขดลวดที่พันอยู่กับ Stator ของมอเตอร์ 3 Phase เรียกว่า **สนามแม่เหล็กหมุน (Rotating Field)**

3.1.3. Single Phase สำหรับ Motor ชนิดนี้อาศัยหลักการของมอเตอร์ Two - Phase

- ◆ มีขดลวดชุดเดียวจะไม่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนได้เหมือนกับชนิดอื่น แต่จะกลับขั้วจาก N ไป S และ S ไป N ซึ่งจะทำให้โรเตอร์สั่น
- ◆ เพื่อที่จะทำให้โรเตอร์หมุน จำเป็นต้องทำให้สนามแม่เหล็กหมุนก่อน โดยการพันขดลวดเพิ่มเข้าไปที่ Stator อีกชุดหนึ่งคือขดลวดช่วยหมุน เรียกว่า ขดสตาร์ท (Starting

Winding) ส่วนขดลวดชุดแรกที่ทำให้โรเตอร์หมุนอยู่ตลอดเวลา เรียกว่า ขดรัน (Running Winding)

- ◆ การออกแบบ ให้ขดสตาร์ทมีค่าความต้านทานสูงๆ ขดรันมีค่า Inductance สูง ทำให้กระแสที่ไหลเข้าขดลวดทั้งสองมีมุมต่าง Phase กันเกือบ 90° ไฟฟ้า
- ◆ กระแสที่เข้าขดลวดทั้งสองมีความต่าง Phase กัน 90° และกระแสที่ผ่านขดสตาร์ท จะมี Phase เดียวกับแรงดันที่ป้อน จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นได้ โดยอาศัยหลักการของ Two-Phase
- ◆ เมื่อโรเตอร์หมุนด้วยความเร็วเกือบเต็มพิกัดแล้ว ขดสตาร์ทจะถูกตัดออกด้วยสวิตช์อัตโนมัติ

Induction Motor

★ มอเตอร์เหนี่ยวนำหรือ Induction Motor เป็นเครื่องยนไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor) ที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากมีโครงสร้างง่าย ๆ ราคาถูกและการบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก

★ มอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อแบ่งตามชนิดของการใช้ไฟฟ้าสามารถแบ่งเป็น 2 ลักษณะ

1. Single Phase Motor

2. Three Phase Motor

1 Single Phase Motor

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ที่ใช้ในงานทั่ว ๆ ไปมีดังนี้ คือ

Single Phase Motor

- Split Phase Motor
- Capacitor Motor
 - Capacitor start Motor
 - Capacitor start Capacitor run Motor
 - Two Value Capacitor Motor
- Shaded Pole Motor
- Universal Motor
- Repulsion Motor
 - Repulsion Start-Induction Run
 - Repulsion-Induction

ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดของแต่ละชนิดพอสังเขปดังต่อไปนี้

Split Phase Motor

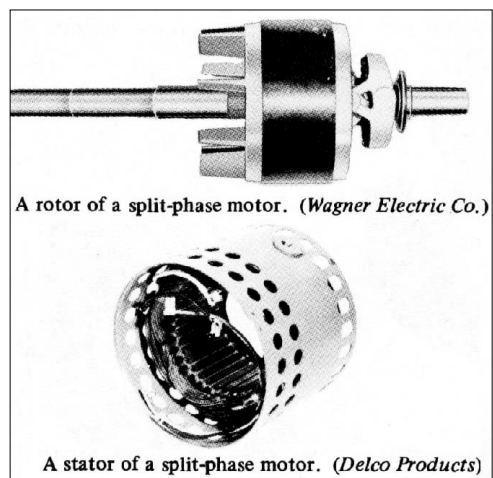
Split Phase Motor เป็น Induction Motor ชนิดหนึ่งที่ใช้กับไฟ Single Phase ขนาดที่นิยมใช้งาน ไม่เกิน 4 กิโลวัตต์ (1 Hp = 746 วัตต์) งานที่นำไปใช้ส่วนใหญ่จะเป็นงานขนาดกลางลงมา เช่น เครื่องซักผ้า บิมน้ำขนาดเล็ก เป็นต้น

1. โครงสร้างของ Split Phase Motor

ส่วนประกอบที่สำคัญของ Split Phase Motor ประกอบด้วย

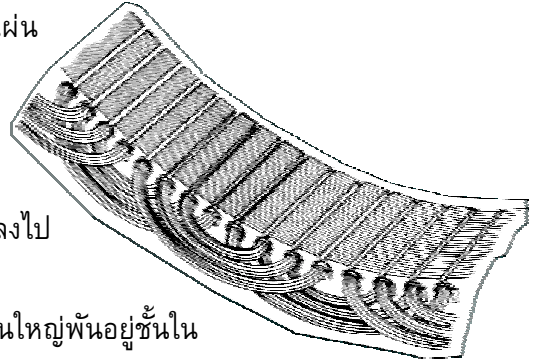
1. ส่วนที่หมุน หรือเรียกว่า Rotor
2. ส่วนที่อยู่กับที่ เรียกว่า Stator
3. ฝาครอบหัวท้ายของมอเตอร์ (End Plate)
4. Centrifugal Switch

1.1. **Rotor** จะประกอบด้วยเหล็กแผ่นบาง (Laminated Iron Core) นำมาอัดซ้อนกัน ตรงกลางจะเจาะเป็นร่องไว้สำหรับใส่แกนหมุน หรือเพลา (Shaft) โดยจะร้อยทะลุเหล็กแผ่นเหล่านี้ รอบๆ ผิวของ Rotor จะเซาะเป็นร่องตามแนวยาว และจะมีทองแดงหรืออลูมิเนียม เรียกว่า End Ring ซึ่งเรียก Rotor ชนิดนี้ว่า Rotor แบบ Squirrel Cage Rotor



1.2. Stator จะเป็นส่วนที่อยู่กับที่จะประกอบด้วยเหล็กแผ่น

บางๆ เช่นเดียวกับตัว Rotor จะเซาะเป็นร่องและอัด
อยู่ภายในโครงของเปลือกนอก (Frame) ของมอเตอร์
ที่ทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กเหนียวดังรูปขวา โดยมี
ร่อง (Slot) ที่เซาะเอาไว้สำหรับพันขดลวด (Winding) ลงไป
ในร่องนั้น ขดลวดที่พันจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ชุด คือ

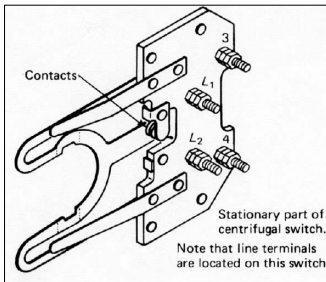


1. ขด Running Winding จะพันด้วยขดลวดเส้นใหญ่พันอยู่ชั้นใน

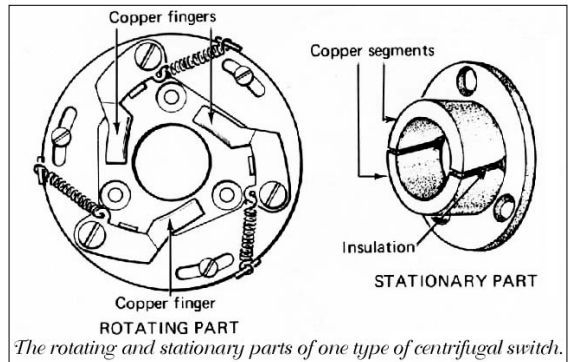
2. ขด Starting Winding จะพันด้วยขดลวดเส้นเล็กพันทับขด Run

1.3. ฝาดรอบหัวท้าย (End Plate) ส่วนมากจะสร้างด้วยเหล็กหล่อหรืออลูมิเนียมหล่อ และจะมีรูสำหรับใส่ สลักเกลียวเพื่อยึดฝาดรอบให้ติดกับตัว Stator โดยมีปลอกทองเหลือง (Bush) หรือ Ball Bearing สำหรับรองรับเพลลา (Shaft) เพื่อที่จะให้ตัว Rotor หมุนอยู่ในแนวศูนย์กลาง และป้องกันไม่ให้เกิดการ เสียดสีระหว่าง Rotor กับ Stator อีกด้วย

1.4. Centrifugal Switch ทำงานโดยอาศัยแรงเหวี่ยง



หนีศูนย์กลางดึงหน้า
Contact ให้จากออก
เมื่อ Rotor หมุนมี
ควา ม เร็ว ร อบ
ประมาณ 75% ของ
ความเร็วพิกัด (Rated



Speed) โดยปกติขณะมอเตอร์หยุดอยู่กับที่ หน้า Contact จะติดกันอยู่

ตลอดเวลา

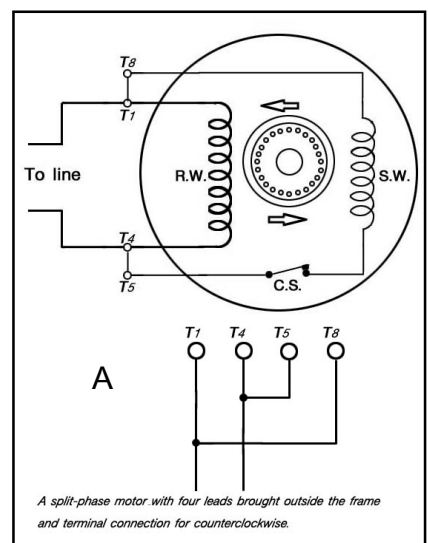
- การทำงานของ Centrifugal Switch คือ ต่อขด Start ไว้ในวงจร ขณะที่มอเตอร์ยังไม่หมุน และจะตัดขด Start ออกจากวงจร เมื่อมอเตอร์มีความเร็วรอบประมาณ 75% ของความเร็วพิกัดสูงสุด โดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของ Copper Finger ที่เกิดจากการหมุนของเพลลามอเตอร์

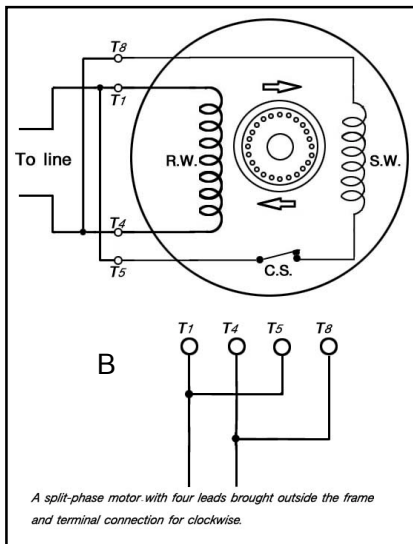
2. การทำงานของ Split Phase Motor

2.1. เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าที่ตัว Stator จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้น
รอบๆ ขดลวด Stator และจะตัดกับตัวนำ คือขีทองแดงที่ฝังอยู่
บริเวณรอบๆ ผิวของ Rotor ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำและมี
กระแสไหลที่ขีทองแดงของ Rotor และจะเกิดสนามแม่เหล็ก
ขึ้นรอบๆ ตัว Rotor ด้วย

2.2. สนามแม่เหล็กของ Stator และ Rotor จะผลักกัน เพราะเกิดแรง
บิด (Torque) เกิดขึ้น แต่เนื่องจากตัว Stator ถูกยึดอยู่กับที่
ดังนั้นตัวที่จะหมุนเนื่องจากการผลักกันของสนามแม่เหล็กนี้
คือ ตัว Rotor

หมายเหตุ การเริ่มหมุนครั้งแรก กระแสไหลผ่านขดลวดทั้ง 2 ชุด แต่
เนื่องจากค่าของความต้านทานและ Reactance ต่างกัน ดังนั้นกระแสที่





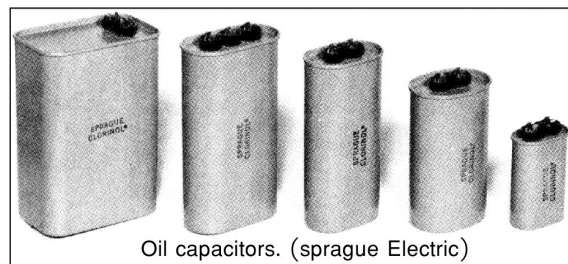
ไหลผ่านขดลวดในแต่ละชุดจะต่าง Phase กัน โดยที่กระแสในชุด Run ล้าหลังแรงดันที่จ่าย แต่กระแสในชุด Start เกือบ In-Phase กับแรงดันที่จ่าย จากการต่าง Phase กัน ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้น เป็นผลให้ Rotor สามารถหมุนไปได้ เมื่อ Rotor หมุนไปได้ประมาณ 75% ของความเร็วสูงสุด Centrifugal Sw. จะตัดชุด Start ออกจากแรงดันที่จ่าย เหลือแต่ชุด Run ชุดเดียว

2.3. การกลับทางหมุนของ Split Phase Motor ถ้าต้องการกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ชนิดนี้ สามารถทำได้โดยกลับขั้วสายที่ชุด Start หรือกลับขั้วสายที่ชุด Run ชุดใดชุดหนึ่ง มอเตอร์ก็จะสามารถหมุนกลับทิศทางได้ ดังรูป A และ B

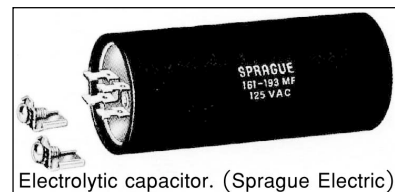
CAPACITOR MOTOR

มอเตอร์ชนิดนี้ จะมีส่วนประกอบที่สำคัญเหมือนกับ Split Phase Motor แต่จะมีส่วนประกอบที่แตกต่างกันคือจะมี Capacitor ต่อเพิ่มเข้าไปในวงจร Capacitor ที่ใช้ในมอเตอร์ชนิดนี้ ส่วนมากมักนิยมใช้อยู่ 2 ชนิด คือ

1. Oil Filled Capacitor โครงสร้างของ Capacitor ชนิดนี้ก็เหมือนกับ Paper Capacitor แต่ฉนวนที่คั่นจะเป็นกระดาษและจะบรรจุอยู่ในกระป๋องที่ใส่น้ำมันที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulating Oil) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของฉนวนให้ดียิ่งขึ้น



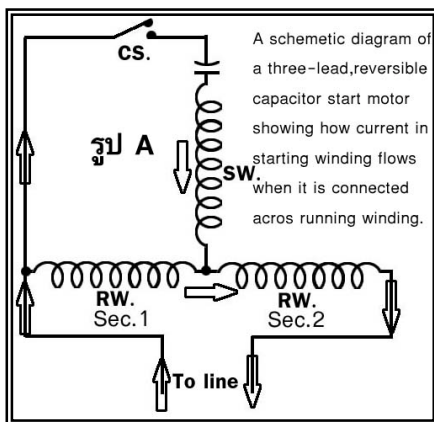
2. Electrolytic Capacitor ชนิดนี้มักจะใช้อลูมิเนียมรีดเป็นแผ่นบางๆ สำหรับทำแผ่นตัวนำ (Plate) ส่วนฉนวนจะใช้ผ้าบางโปร่งอากาศด้วย Electrolyte ที่มีคุณสมบัติความเป็นฉนวนที่ดีขึ้น คั่นตรงกลางระหว่างแผ่นตัวนำ จากนั้นจะม้วนหรือพับแล้วบรรจุลงในกระป๋อง ซึ่ง Capacitor ชนิดนี้จะถูกสร้างมาให้กับ Capacitor มอเตอร์ และจะใช้งานได้ดีในช่วงระยะเวลาสั้นๆ เช่น ในตอนเริ่มเดินมอเตอร์เท่านั้น



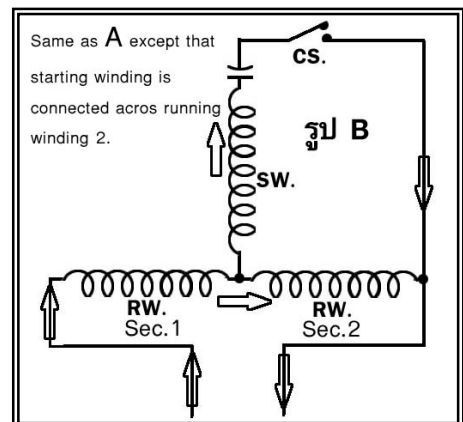
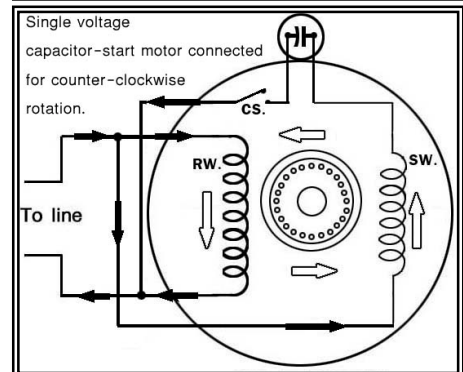
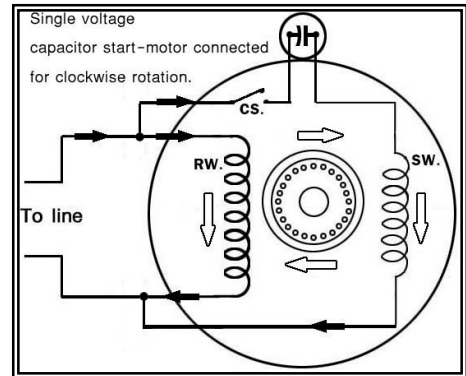
- การต่อ Capacitor เข้ากับวงจรชุด Start จะทำให้กระแสที่ไหลผ่านชุด Start นำหน้าแรงดัน และทำให้กระแสชุด Start กับกระแสชุด Run มีมุมต่าง Phase มากขึ้นเกือบ 90 องศาไฟฟ้า เป็นเหตุที่ทำให้แรงบิดขณะ Start สูงขึ้น
- การที่กระแสไหลผ่าน ชุด Start และ ชุด Run มีมุมต่าง Phase กันเกือบ 90 องศาไฟฟ้านั้นก็จะสร้างสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นมาที่ Stator เหมือนกับมอเตอร์ Two Phase
- Capacitor Motor ออกได้เป็น 3 แบบ คือ
 1. ชนิด Capacitor Start Motor
 2. ชนิด Capacitor Start - Capacitor Run Motor
 3. ชนิด Two Value Capacitor Motor

1. ชนิด Capacitor Start Motor OR Capacitor Start Induction Run Motor (CSIR)

- มอเตอร์ชนิดนี้จะมีแรงบิดขณะเริ่มหมุนสูง ตัว Capacitor จะต่ออนุกรมอยู่กับขด Start
- Capacitor ที่ใช้กับมอเตอร์ชนิดนี้เป็นชนิด Electrolytic Capacitor เพราะต่ออยู่ในวงจรในช่วงเวลาเริ่มเดินเท่านั้น มักเป็นรูปทรงกระบอกติดอยู่ส่วนบนของมอเตอร์
- เมื่อมอเตอร์หมุนได้ความเร็วประมาณ 75% ของความเร็วเต็มพิกัด Centrifugal Switch จะตัดขด Start และ Capacitor ออกจากวงจร
- เนื่องจากมอเตอร์ชนิดนี้มีค่าแรงบิดเริ่มหมุนสูง จึงนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ขนาดที่ผลิตมีตั้งแต่ 1/8 แรงม้า ถึง 10 แรงม้า นำไปใช้กับงานที่ต้องการแรงบิดเริ่มหมุนสูง เช่น เครื่องสูบน้ำ เครื่องซักผ้า เครื่องทำความเย็น เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น
- การกลับทางหมุนของมอเตอร์ชนิดนี้ สามารถทำได้โดยกลับขั้วสายที่ขด Start หรือกลับขั้วสายที่ขด Run ชุดใดชุดหนึ่ง เช่นเดียวกับ Split Phase Motor
- Capacitor Start Motor บางตัว จะมีปลายสายต่อออกไป

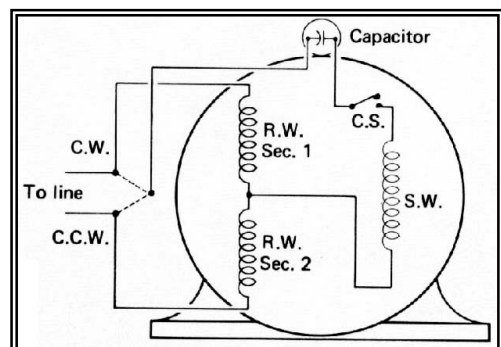


ยังกล่องต่อสายบนโครงของมอเตอร์เพียงสามปลายสายเท่านั้น ซึ่งมอเตอร์ดังกล่าวจะแบ่งขด Run ออกเป็นสองส่วน ดังรูป A จุดกึ่งกลางของขด Run ทั้งสองส่วนจะนำปลายสายข้างหนึ่งของขด Start ไปต่อไว้ การกลับ



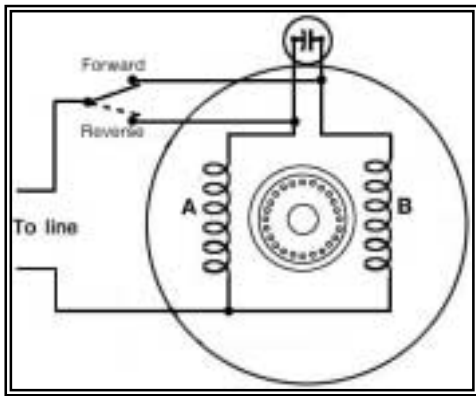
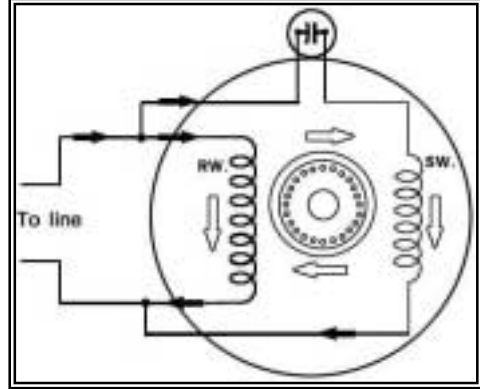
ทางหมุนสามารถทำได้โดยเปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแสในขด START ในรูป A เป็นการต่อปลายสายขด Start เข้ากับปลายสายขดรันส่วนที่หนึ่ง มอเตอร์จะหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา รูป B เป็นการต่อปลายสายขด Start เข้ากับปลายสายขดรันส่วนที่สอง มอเตอร์จะหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

- การกลับทางหมุนมอเตอร์ดังกล่าวโดยใช้สวิตช์โยกสองทางแสดงไว้ในรูปขวามือ เมื่อโยกสวิตช์ขึ้นด้านบน มอเตอร์จะหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ถ้าต้องการกลับทางหมุนมอเตอร์ดังกล่าว ต้องโยกสวิตช์ลงมาหยุดไว้ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางและรอจนสวิตช์แรงเหวี่ยงต่อวงจรขด Start เสียก่อน จึงโยกสวิตช์ลงด้านล่าง เพื่อให้มอเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาได้ หากไม่กระทำดังกล่าว มอเตอร์จะหมุนในทิศทางเดิม



2. ชนิด Capacitor Start -Capacitor Run Motor OR Permanent-Split Capacitor (PSC)

- มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Permanent-Split Capacitor (PSC)
- ขดลวดชุด Start และ ขดลวดชุด Run จะพันด้วยเส้นลวดขนาดใกล้เคียงกัน
- โครงสร้างของมอเตอร์ชนิดนี้เหมือนกับ Split Phase Motor แต่จะมี Capacitor ต่อแทนที่ Centrifugal Switch
- Capacitor ที่นำมาใช้จะเป็นชนิด Oil Filled Capacitor ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ช่วยขณะมอเตอร์เริ่มหมุนและขณะที่มอเตอร์หมุนไปแล้วด้วย ขณะทำงานจะไม่มีเสียงดังเหมือนมอเตอร์แบบอื่นๆ มอเตอร์ชนิดนี้จะมีค่าแรงบิดเริ่มหมุนต่ำกว่าชนิดแรกแต่หมุนได้เรียบและมีความเร็วคงที่ จึงนำไปใช้งานที่มี Load ไม่มากนัก เช่น พัดลม หรือมอเตอร์สูบน้ำที่มีขนาดเล็ก ๆ เป็นต้น

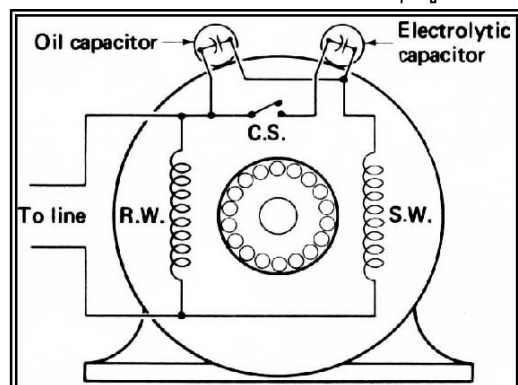


- การกลับทางหมุน มอเตอร์แบบ Capacitor Start -Capacitor Run Motor ที่มีปลายสายสี่สายต่อออกไปยังกล่องต่อสายบนโครงมอเตอร์ดังรูปด้านบน จะกลับทางหมุนได้โดยสลับปลายสายของขด Start.

- การกลับทางหมุนมอเตอร์แบบ Capacitor Start - Capacitor Run Motor ขนาดเล็กที่มีปลายสายสามปลาย ทำได้โดยใช้สวิตช์โยกสองทางดังรูปซ้าย วิธีนี้นิยมใช้มาในพัดลมระบายอากาศแบบติดผนังที่มีสวิตช์สำหรับกลับทิศทางหมุนใบพัดเพื่อดูดอากาศเข้าหรือเป่าอากาศออก และมีเชือกสองเส้นทำหน้าที่เป็นสวิตช์ปิดเปิดมอเตอร์และปิดเปิดช่องถ่ายเทอากาศ ขด Start และขด Run ของมอเตอร์ดังกล่าวคือขดลวด A และ B จะพันด้วยลวดทองแดงที่มีขนาดและจำนวนรอบเท่ากันทุกประการ เมื่อสวิตช์อยู่ ณ ตำแหน่งที่ Forward ขดลวด B จะต่อคร่อมสายเมนจึงทำหน้าที่เป็นขด Run ขณะเดียวกันขดลวด A จะต่ออนุกรมกับ Capacitor จึงทำหน้าที่เป็นขด Start มอเตอร์จะหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา เมื่อสวิตช์ถูกโยกไปอยู่ตำแหน่งที่ Reverse ขดลวดทั้งสองจะสลับหน้าที่กัน คือขดลวด A จะต่อคร่อมสายเมน และทำหน้าที่เป็นขด Run และขดลวด B จะต่ออนุกรมกับ Capacitor จึงทำหน้าที่เป็นขด Start มอเตอร์จะหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

3. ชนิด Two Value Capacitor Motor

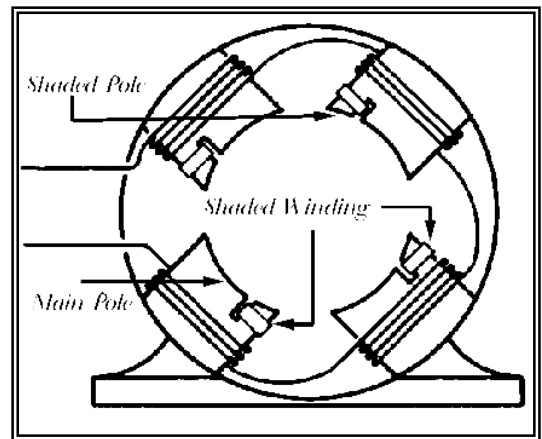
- มอเตอร์ชนิดนี้สร้างขึ้นเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ดีกว่ามอเตอร์ทั้ง 2 ชนิดแรก คือมีแรงบิดเริ่มหมุนสูงเหมือน Capacitor Start Motor เพื่อให้ใช้กับงานที่ Load หนักๆ ได้ นอกจากนั้นในขณะที่หมุนไปแล้วยังหมุนได้เรียบและมีค่าประสิทธิภาพสูง เหมือนกับ Capacitor Start -Capacitor Run Motor อีกด้วย
- Capacitor ที่ใช้กับมอเตอร์แบบนี้ มีทั้งชนิดบรรจุน้ำมันหรือ Oil-filled capacitor และชนิด Electrolytic โดยที่คาปาซิเตอร์ทั้งสองตัวนี้จะต่อขนานกันก่อนแล้วจึงนำไปต่ออันดับกับขด Start ของมอเตอร์



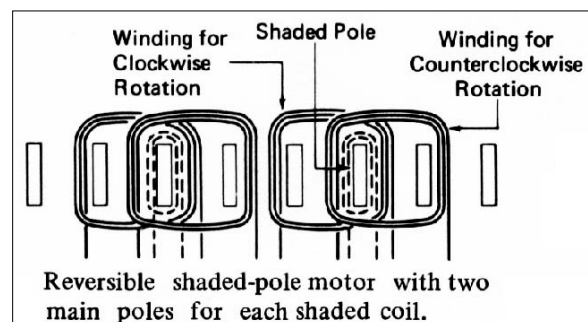
- Capacitor ชนิด Electrolytic จะต่ออันดับกับ สวิตช์เซนตริฟูกัลก่อนที่จะต่อขนานกับคาปาซิเตอร์ชนิดบรรจุน้ำมัน จะเห็นวิธีต่อดังรูปขวา
- Oil-filled capacitor จะต่ออันดับอยู่กับวงจรขด Start ตลอดเวลาที่มอเตอร์ทำงาน ส่วน Electrolytic capacitor จะต่ออันดับกับขด Start เฉพาะในช่วง Start เท่านั้น แต่พอความเร็วของมอเตอร์ได้ 75 % ของความเร็วเต็มพิกัดแล้ว Centrifugal Switch ก็จะปลด Electrolytic capacitor ออก และขนาดของเส้นลวดทองแดงที่ใช้พันขด Start จะมีขนาดใกล้เคียงกับเส้นลวดทองแดงที่ใช้พันขดรันเหมือน Capacitor Start - Capacitor Run Motor
- มอเตอร์ชนิดนี้เหมาะที่จะนำไปใช้งานที่ต้องการแรงขณะมอเตอร์เริ่มหมุนสูง นอกจากนั้นแรงที่มอเตอร์หมุนไปแล้วก็ต้องสูงด้วย เช่น มอเตอร์ คอมเพรสเซอร์ เป็นต้น
- สำหรับการต่อให้หมุนกลับทิศทางนั้น สามารถปฏิบัติได้เช่นเดียวกับ Capacitor motor ชนิดอื่น ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แรงบิด Start ดีมากและแรงบิดขณะทำงานก็ดีด้วย มอเตอร์ชนิดนี้นำไปใช้งานได้เช่นเดียวกับ Capacitor motor ชนิดอื่น ๆ ที่กล่าวมาแล้ว

Shaded Pole Motor

- มอเตอร์ชนิดนี้สร้างง่าย ราคาถูก และมีขนาดเล็ก คือมีขนาด $\frac{1}{100} - \frac{1}{20}$ Hp สามารถเริ่มหมุนได้ด้วยตัวมันเอง แต่มีข้อเสียคือมีแรงบิดเริ่มหมุนต่ำ (Low Starting Torque) การกลับทางหมุน ทำได้วิธีเดียวคือต้องถอดฝาปิดหัวท้ายออกมา และกลับทิศทางของตัวหมุน และประสิทธิภาพยังต่ำอีกด้วยเหมาะที่จะใช้กับงานประเภทเครื่องเล่นจานเสียง, พัดลมขนาดเล็ก, ไดร์เป่าผม ฯลฯ มอเตอร์ชนิดนี้แม้ว่าจะ จับให้หยุดหมุน ก็ไม่เป็นอันตรายกับตัวมอเตอร์แต่อย่างใด

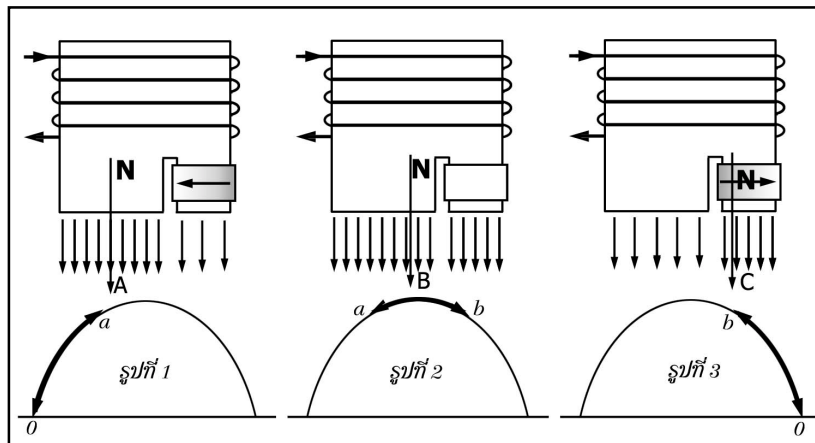


- โครงสร้างของมอเตอร์ชนิดนี้ จะมีส่วนประกอบที่ไม่เหมือนกับ Split Phase Motor ในส่วนที่เป็น Stator ซึ่งจะแตกต่างออกไป คือ แกนเหล็ก Stator จะไม่มี Slot มากเหมือนกับ Split Phase Motor และที่ริมของขั้วด้านหนึ่งจะเจาะเป็นร่องเข้าไป ทำให้ขั้วแม่เหล็กแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังรูปบน ส่วนที่มี พ.ท. มาก เรียกว่า Main Pole หรือ Unshaded Pole ส่วนที่ พ.ท. น้อยกว่าและมีวงแหวนล้อมรอบ เรียกว่า Shaded Pole
- Rotor เป็นแบบ Squirrel Cage
- การกลับการหมุน Shaded Pole Motor ทำได้ 2 วิธี คือสลับตำแหน่งของ Rotor และ Stator แต่ต้องถอดฝาปิดหัวท้ายของมอเตอร์ก่อน(ในทางปฏิบัติทำยาก) หรือใช้ขดลวดสนามแม่เหล็ก 2 ชุดร่วมกับขด Shaded ชุดเดียวตามรูป โดยขดลวดสนามอยู่ด้านข้าง ขดลวด Shaded อยู่กลาง และใช้หลักการหมุนของมอเตอร์ที่ว่า Rotor จะหมุนไปในทิศทางที่มีขด Shaded เสมอ



หลักการทำงาน

- จากรูป ตั้งแต่รูปที่ 1 เมื่อเริ่มป้อนไฟสลับ Single Phase เข้าขดลวดเมน (Main Winding) กระแสไฟที่ไหลเข้าจะเริ่มมีค่าสูงขึ้น ตามลักษณะรูปคลื่นไซน์ จากรูปจะเห็นว่าเมื่อใช้ กฎมือซ้ายหาทิศทางของขั้วแม่เหล็กและเส้น



- แรงแม่เหล็ก จะพบว่ามีเส้นแรงแม่เหล็กเคลื่อนที่พุ่งออกมาจากขั้ว N
- ที่ Shaded Pole จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็กมาหักล้างกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ผ่าน Shaded Pole ตามกฎของเลนซ์ แต่เส้นแรงแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ผ่าน Shaded Pole จะไม่หมดไป แต่กลับจะบิดเบนไปรวมตัวกับเส้นแรงแม่เหล็กของส่วนที่เคลื่อนที่ผ่าน Unshaded Pole อยู่แล้วให้เข้มข้นมากขึ้น ความหนาแน่นสูงสุดจะอยู่ที่ตำแหน่ง A
- ต่อไปพิจารณารูปที่ 2 กระแสไฟที่ป้อนให้มอเตอร์ จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนสูงสุด (ตามรูปคลื่นไซน์) เมื่อกระแสไฟสูงสุดจะไม่เกิดเส้นแรงแม่เหล็กเหนี่ยวนำขึ้นที่ Shaded Pole ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟที่ป้อนให้มอเตอร์จะพุ่งออกจากขั้วแม่เหล็กมากที่สุดประมาณกึ่งกลางขั้วดังตำแหน่ง B
- ต่อไปพิจารณารูปที่ 3 เมื่อกระแสไฟที่ป้อนให้มอเตอร์สูงสุดแล้วก็จะเริ่มลดลงเรื่อยๆ (ตามรูปคลื่นไซน์) เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟขณะนี้จะน้อยลงๆ เส้นแรงแม่เหล็กนี้ก็จะตัดกับขด Shaded Coils เกิดเส้นแรงแม่เหล็กเหนี่ยวนำขึ้นมาเสริมกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดเมน (Main Winding) ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เคลื่อนผ่าน Shaded Pole มีความเข้มข้นสูงสุดดังตำแหน่ง C
- จะสังเกตเห็นว่าสนามแม่เหล็กเริ่มเคลื่อนที่จาก Unshaded Pole ไปสู่ Shaded Pole ซึ่งลักษณะนี้เรียกว่าสนามแม่เหล็กหมุน จึงทำให้ Rotor หมุนตามไปด้วย ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในเรื่องสนามแม่เหล็กหมุน โดยมอเตอร์จะหมุนไปในทิศทางที่มี Shaded Pole เสมอ

การต่อ Shaded-pole motor ไปใช้งาน

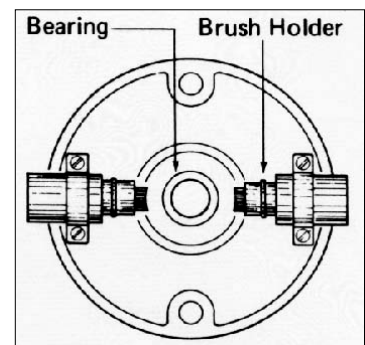
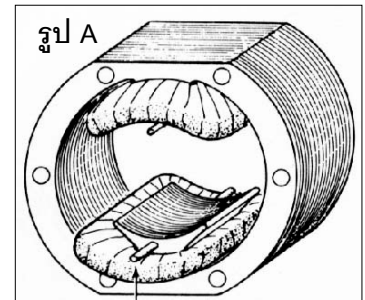
- ปฏิบัติได้เช่นเดียวกับ Split-phase motor หรือ Capacitor motor
- ถ้ามอเตอร์ตัวหนึ่งมีขด Shaded coils อยู่ข้างเดียวของขั้วแม่เหล็ก จะไม่สามารถกลับทิศทางการหมุนได้ แต่ถ้ามีขด Shaded coils อยู่ทั้งด้านข้างทั้งสองของขั้วแม่เหล็ก ก็จะสามารถกลับทิศทางการหมุนได้ คือถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนในทิศทางใด ก็ให้เปิดวงจรขด Shaded coils ด้านที่อยู่ตรงข้ามออก ถ้าต่อขด Shaded coils ให้ครบวงจรทั้งสองด้าน มอเตอร์จะไม่หมุน

UNIVERSAL MOTOR

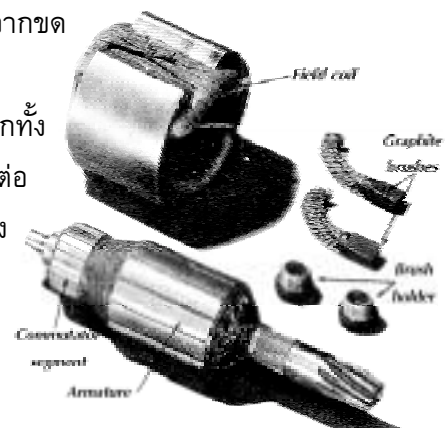
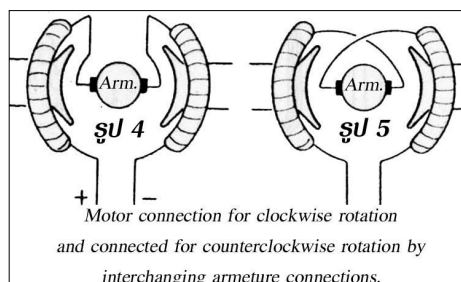
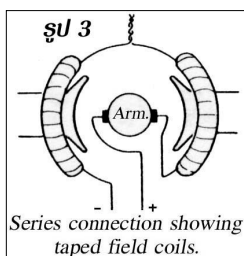
- อาจเรียกว่า Series Motor เพราะมอเตอร์ชนิดนี้สามารถใช้ได้ทั้งกับไฟ DC. และไฟ AC. Single Phase โดยมีความเร็วรอบใกล้เคียงกัน มอเตอร์ชนิดนี้ส่วนมากจะเป็นขนาดเล็กๆ ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านหลายชนิด เช่น เครื่องดูดฝุ่น, เครื่องผสมอาหาร เครื่องซักผ้า เลื่อย สว่าน และมอเตอร์จักร เป็นต้น
- Universal Motor จะมีแรงบิดเริ่มหมุนสูง มีแรงบิดเริ่มเดินสูง ถ้าทำงานโดยไม่มี Load จะหมุนด้วยความเร็วสูงมาก ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อมอเตอร์ได้ ดังนั้นจึงออกแบบให้หมุนขับอุปกรณ์ที่จะให้ทำงานเสมอ เช่น เครื่องบดอาหาร จะให้มอเตอร์หมุนขับไปมีดอยู่ตลอดเวลา
- มีความเร็วรอบตั้งแต่ 3,000 ถึง 8,000 รอบต่อนาที และมีขนาดตั้งแต่ 1/200 – 1/3 แรงม้า

1. ส่วนประกอบของ Universal Motor

- 1.1. โครง (Frame) คือเปลือกหุ้มมอเตอร์ และเป็นตัวยึดแกนเหล็กไว้ ทำด้วยเหล็กเหนียวหรือเหล็กหล่อ หรืออาจใช้อลูมิเนียม มีรูปร่างหลายแบบ ส่วนใหญ่จะมีลักษณะกลม
- 1.2. ขั้วสนามแม่เหล็ก (Field Core) ส่วนมากจะมี 2 ขั้ว โดยจะทำจากเหล็กแผ่นบางๆ (Laminated Sheet Steel) แล้วนำมาอัดติดกัน ดังรูป A
- 1.3. Armature คือส่วนที่หมุนเหมือนกัน คือ เป็นเหล็กแผ่นบางๆ ซ้อนกันและเจาะเป็นร่อง (Slots) สำหรับพันขดลวด (Winding) ปลายสายจะต่อที่ซี่ Commutator และจะมีแปรงถ่านสัมผัสอยู่บนซี่ Commutator นี้
- 1.4. ฝาครอบหัวท้าย (End Plate) จะมีรูปร่างเหมือนกับมอเตอร์ทั่วไป คือจะมีรูสำหรับยึดสกรูติดกับโครง ตรงกลางจะเจาะรูสำหรับใส่เพลา โดยมีลูกปืนรองรับอยู่เพื่อลดการเสียดสี ขณะมอเตอร์หมุน
- 1.5. แปรงถ่าน (Brushes) จะใส่ไว้ในช่องแปรงถ่าน โดยมีสปริงดันให้สัมผัสกับซี่ Commutator ทำหน้าที่นำกระแสเข้าและออกจากขดลวด Armature



2. การต่อมอเตอร์ต่อได้ 2 วิธี ดังรูป 3 คือต่อขดลวดสนามแม่เหล็กทั้งสองอันดับกันแล้วต่ออันดับกับขดลวด Armature อีกวิธีหนึ่งก็คือต่อขดลวดสนามแม่เหล็กข้างหนึ่งอันดับกับขดลวดอาร์มาเจอร์แล้วจึงนำไปต่ออันดับกับขดลวดสนามแม่เหล็กอีกข้างหนึ่ง ดังรูป 4



3. การทำงาน

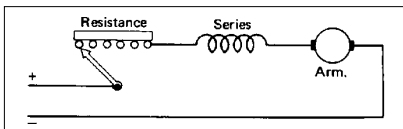
- จะเหมือนกับ Series Motor ทุกประการ ถึงแม้จะใช้กับไฟ AC. ซึ่งเปลี่ยนแปลงทั้งบวกและลบแต่ทิศทาง

การหมุนยังคงเดิม เพราะว่าทิศทางของกระแสจะเปลี่ยนทั้งที่ขั้วสนามแม่เหล็กและที่ Armature ด้วย ทิศทางการหมุนจึงไม่เปลี่ยนแปลง

- การต่อให้มอเตอร์กลับทางหมุนนั้น ก็สามารถปฏิบัติได้ง่ายๆ ดังนี้ จากรูป 4 สมมุติว่าเมื่อต่อเสร็จเรียบร้อยแล้วมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา เมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา ก็ให้สลับปลายสายไฟที่ต่อเข้าขดลวดสนามแม่เหล็ก หรือขดลวด Armature อย่างใดอย่างหนึ่ง จากรูป 5
- และในกรณีมอเตอร์ในรูป 3 ก็สามารถปฏิบัติได้เช่นเดียวกัน โดยให้สลับปลายสายไฟที่ต่อเข้าขดลวดสนามแม่เหล็กหรือขดลวดอาร์มาเจอร์อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น

4. การควบคุมความเร็ว

- เนื่องจาก Universal Motor จะมีความเร็วรอบในขณะทำงานสูงมาก จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมความเร็วให้พอเหมาะกับ Load ที่ใช้ การควบคุมความเร็วทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่ง่ายที่สุดสามารถทำได้โดยใช้ความต้านทานต่ออนุกรม ดังรูป

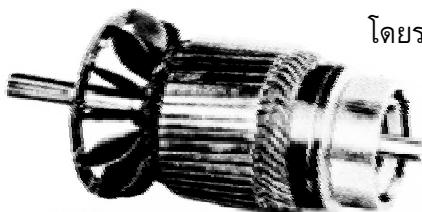
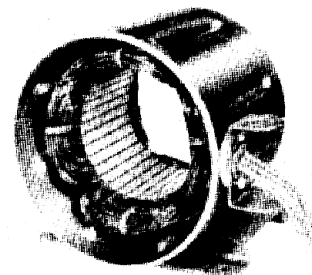


จากรูป ความต้านทานจะต่ออนุกรมกับขดลวด Series และอนุกรมกับ Armature ค่าความต้านทานนี้จะปรับค่าได้อาจจะใช้แปรปรวนเป็นตัวเลื่อนปรับค่าความต้านทาน หรือใช้แผ่นคาร์บอน ทำให้มีคั่นกด ถ้าแรงกดน้อย ค่าความต้านทานก็จะมาก ถ้าแรงกดมากค่าความต้านทานก็จะน้อย ทำให้ความเร็วเปลี่ยนแปลงได้

Repulsion motor

1. ส่วนประกอบ

- ◆ แกนสเตเตอร์ (stator core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบาง Laminated พันด้วยขดลวดเพียง 1 ชุด เหมือนกับขด Run ของ Split-phase motor ปกติแล้วจะพันเป็นชนิด 4 Pole หรือ 6 Pole หรือ 8 Pole ดังรูปขวา
- ◆ แกนโรเตอร์ (Rotor core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบาง Laminated ด้านนอก



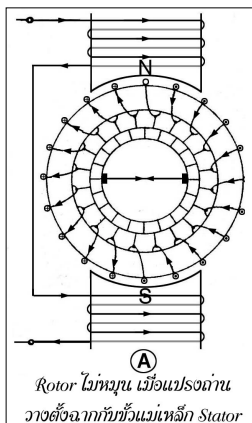
The rotor of a repulsion motor. The axial commutator has bars parallel to the shaft.

โดยรอบจะเจาะให้เป็นร่อง (slot) และมี Commutator แบบขนานเพลลา (axial type) Rotor ชนิดนี้เรียกว่า Armature ขดลวดที่พันลง Slot เรียกว่า Armature winding และปลายของขดลวดเหล่านี้จะต่อเข้ากับ Commutator ดังรูปซ้าย คล้ายกับ Armature ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนมากมักพัน Armature winding แบบ lap-wound

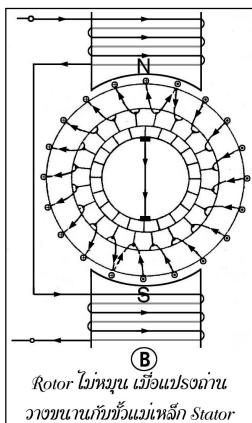
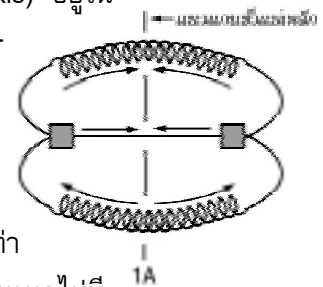
- ◆ ฝาปิด (end plate) ทำด้วยเหล็กหล่อเหนียว มีแบร้งสำหรับรองรับเพลลาของ Rotor
- ◆ แปรปรวน มีหนึ่งคู่หรือมากกว่า ขึ้นอยู่กับแบบของการพัน Armature winding แปรปรวนทุกอันจะลัดวงจรถึงกันทั้งหมดด้วยลวดทองแดงเส้นโต ตำแหน่งของแปรปรวนทุกอันถูกออกแบบให้สามารถเลื่อนไปมาได้บน Commutator เพื่อทำให้เกิดแรงบิด และให้ได้ทิศทางการหมุนที่ต้องการ การปรับแต่งความเร็วรอบและการกลับทิศทางการหมุนของ Repulsion motor สามารถทำได้โดยวิธีเลื่อนตำแหน่งแปรปรวน
- ◆ แบร้งที่อัดติดแน่นกับฝาปิด เพื่รองรับเพลลาของ Rotor ไม่ให้ไปสัมผัสกับ Stator แบร้งนี้อาจเป็นแบบปลอก (sleeve bearing) หรือแบบลูกปืน (ball bearing) ก็ได้
- ◆ โครงเหล็ก (frame) ทำด้วยเหล็กหล่อเหนียว เป็นที่จับยึดแกนเหล็ก Stator

2. หลักการทำงาน

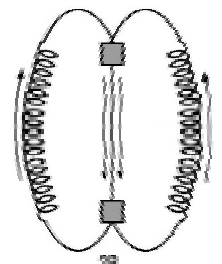
- ◆ เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟสให้กับขดลวดเมนที่ Stator จะมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้น สนามแม่เหล็กดังกล่าวจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนและกระแสที่ Rotor ถ้าหากแปรงถ่านถูกวางอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม Commutator กระแสที่ไหลในขดลวด Rotor จะสร้างขั้วแม่เหล็กขึ้นมาสอดคล้องกับขั้วแม่เหล็กที่ Stator ตามกฎของเลนซ์ โดยขั้วแม่เหล็กของ Rotor จะอยู่ในตำแหน่งทำมุมกับจุดกึ่งกลางของขั้วแม่เหล็กบน Stator ประมาณ 15 องศาไฟฟ้า และมีขั้วเหมือนกัน จึงมีแรงบิดซึ่งเกิดจากแรงผลักรัน (repulsion torque) ระหว่างขั้วแม่เหล็กทั้งสองแห่งทำให้ Rotor หมุนไปได้ ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงเรียกมอเตอร์แบบนี้ว่า Repulsion motor



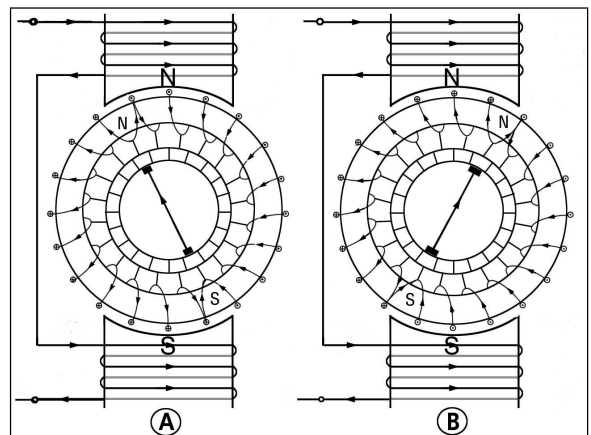
- ◆ เมื่อพิจารณารูป A แนวแกนแปรงถ่าน (brush axis) อยู่ในตำแหน่งตั้งฉากกับแนวแกนของขั้วแม่เหล็กที่ Stator เรียกตำแหน่งแปรงถ่านนี้ว่า soft neutral เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวด Stator สนามแม่เหล็กจากขั้ว N และ S ของ Stator จะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นในขดลวด Rotor ทั้งด้านซ้ายและด้านขวามีขนาดเท่ากันแต่มีทิศทางตรงข้ามกันดังรูป 1A ดังนั้นจึงหักล้างกันหมดไม่มีกระแสไหลในขดลวด Rotor ไม่เกิดแรงบิด Rotor จึงไม่หมุน



- ◆ ถ้าตำแหน่งแปรงถ่านถูกเลื่อนไปวางขนานกับแนวแกนของขั้วแม่เหล็ก ดังรูป B เรียกตำแหน่งแปรงถ่านนี้ว่า hard neutral จากกฎของเลนซ์ จะพบว่ากระแสที่ไหลในขดลวด Rotor จะสร้างขั้วแม่เหล็ก N อยู่ในแนวเดียวกับขั้ว N ของ Stator และในทำนองเดียวกัน จะสร้างขั้ว S ขึ้นมาอยู่ในแนวเดียวกับขั้ว S ของ Stator เนื่องจากขั้วแม่เหล็กของทั้งสองแห่งเกิดขึ้นในแนวเดียวกัน โดยมีขั้วแม่เหล็กเหมือนกันเกิดขึ้นใกล้กัน จึงเกิดแรงผลักรันในลักษณะตรงกันอยู่ทั้งด้านขั้ว N และ ขั้ว S จึงไม่มีแรงบิดเกิดขึ้น และ Rotor จะไม่หมุน แม้ว่า ณ ตำแหน่ง hard neutral นี้ จะมีกระแสสูงสุด (maximum current) ไหลในขดลวด Rotor ก็ตาม ดังรูป 2B แสดงทิศทางของกระแสขั้วขณะที่ไหลในขดลวด Rotor



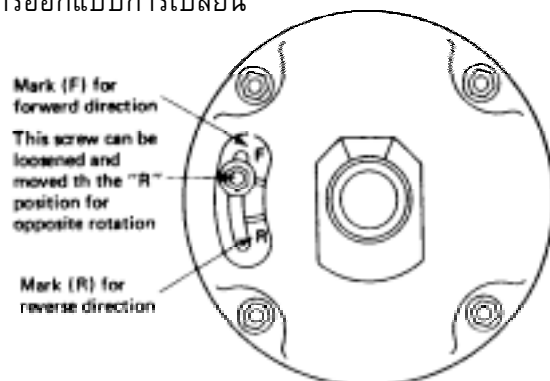
- ◆ กล่าวได้ว่า ถ้าแปรงถ่านวางขนานหรือตั้งฉากกับแนวแกนของขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ มอเตอร์จะไม่สามารถหมุนได้
- ◆ ถ้าตำแหน่งแปรงถ่านเลื่อนไปจากแนวแกนของขั้วแม่เหล็กเป็นมุมประมาณ 15 องศาไฟฟ้า ดังรูป A กระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวด Rotor จะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่มีขั้วเหมือนกันกับขั้วแม่เหล็กบน Stator ตามกฎของเลนซ์ แต่ขั้วแม่เหล็กของทั้งสองแห่งจะทำมุมเยื้องกันประมาณ 15 องศาไฟฟ้า ดังนั้นจึงมีแรงบิดซึ่งเกิดจากการผลักรันระหว่างขั้วแม่เหล็กทั้งสองแห่ง เป็นผลให้ Rotor หมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา



- ◆ ถ้าตำแหน่งแปรงถ่านเลื่อนออกจากแนวแกนของขั้วแม่เหล็ก ซึ่งถือว่าเป็นตำแหน่ง 0 องศาหรือตำแหน่ง hard neutral ไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาประมาณ 15 องศาไฟฟ้า ดังรูป B กระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวด Rotor จะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่มีขั้วเหมือนกันกับขั้วแม่เหล็กบน Stator โดยทำมุมเอียงกันประมาณ 15 องศาไฟฟ้า เป็นผลให้ Rotor หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา
- ◆ แรงบิดสูงสุดของ Repulsion motor จะเกิดเมื่อ แปรงถ่านถูกเลื่อนออกจากตำแหน่ง hard neutral ไปเป็นมุมประมาณ 25 องศาไฟฟ้า แรงบิดเริ่มหมุนของมอเตอร์แบบนี้ สามารถเปลี่ยนได้โดยการเลื่อนตำแหน่งแปรงถ่าน
- ◆ Repulsion motor แตกต่างจาก มอเตอร์เหนี่ยวนำ Single phase แบบอื่นๆ คือ สามารถหมุนด้วยความเร็วรอบสูงกว่าความเร็ว Synchronous เมื่อไร้โหลด หรือขับโหลดเบาๆ และความเร็วรอบต่ำกว่าความเร็ว Synchronous เมื่อขับโหลดหนักมาก จึงมีลักษณะคล้ายกับ Series motor
- ◆ Repulsion motor มีแรงบิดเริ่มหมุนประมาณ 4 เท่า ของแรงบิดเต็มพิกัด
- ◆ มีกระแสเริ่มหมุนประมาณ 1.5 – 2 เท่า ของกระแสเต็มพิกัด

3. การกลับทางหมุน

- ◆ วิธีกลับทางหมุน Repulsion motor สามารถกระทำได้โดยการเปลี่ยนตำแหน่งแปรงถ่านที่สัมผัสกับซี commutator ให้ทำมุมกับแนวแกนของขั้วแม่เหล็กไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกาก็ได้ ซึ่งจะทำให้ Armature หมุนไปในทิศทางนั้น
- ◆ วิธีกลับทางหมุน Repulsion motor ได้มีการออกแบบการเปลี่ยนตำแหน่งแปรงถ่านไว้หลากหลายรูปแบบดังรูป เป็นวิธีกลับทางหมุนแบบหนึ่ง ซึ่งเป็นการติดตั้งของแปรงถ่านไว้ที่ฝาครอบของมอเตอร์ด้านหนึ่ง ซึ่งตำแหน่งของแปรงถ่านสามารถเปลี่ยนตำแหน่งได้โดยปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสกรูจากตำแหน่ง F ไปไว้ยังตำแหน่ง R เพื่อให้มอเตอร์หมุนกลับทาง



An end plate showing how the brush holder is moved to reverse the motor.

2. Three Phase Motor

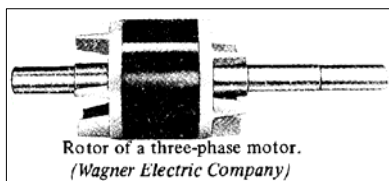
- Three Phase Motor มีหลายขนาดตั้งแต่ไม่ถึง 1 แรงม้า จนกระทั่งถึงหลายพันแรงม้า มอเตอร์แบบนี้มีความเร็วคงที่ แต่แรงบิดในตอนเริ่มหมุนมากหรือน้อยแล้วแต่การสกรู เพราะบางแบบต้องการกระแสสูงในตอนเริ่มหมุน บางแบบต้องการกระแสต่ำ ขึ้นอยู่กับงานที่ใช้ ค่าเหล่านี้อาจจะไม่เหมือนกันแล้วแต่แรงเคลื่อนไฟฟ้าและความถี่ของระบบไฟฟ้า
- โดยทั่วไปแล้ว Three Phase Motor ใช้กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า 2 ระดับ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 Phase นี้ ส่วนมากนำไปใช้กับงานในด้านกำลัง เช่นงานกลึง, งานเจาะโลหะ, บั้มขนาดใหญ่, ลิฟต์, พัดลมขนาดใหญ่, เครื่องมือยกของ, ปั๊มน้ำ และงานกลอื่น ๆ อีกมากมาย
- Three Phase Motor ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมี 3 แบบ
 1. Induction Motor 3 Phase แบบ Squirrel Cage Rotor
 2. Induction Motor 3 Phase แบบ Wound Rotor
 3. Motor 3 Phase แบบ Synchronous Motor

1. Induction Motor 3 Phase แบบ Squirrel Cage Rotor

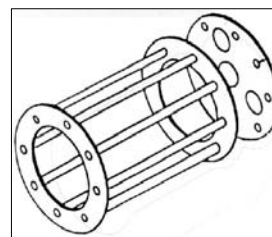
มอเตอร์แบบนี้ใช้กันแพร่หลายมากที่สุด

1. ส่วนประกอบ

1.1. Rotor Rotor แบบ Squirrel Cage หรือ ทั้งสองแบบจะต้องประกอบด้วยแผ่นเหล็กบางๆ ซ้อนเข้า

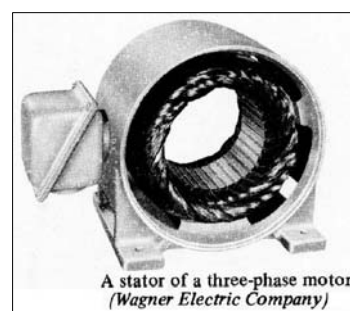


ด้วยกันยึดติดกับเพลลา ถ้าเป็นแบบ Squirrel Cage ตัวนำของมอเตอร์แบบนี้ที่บรรจุอยู่ใน Slot ของ Rotor ใช้วิธีหล่อเข้าไปเลย รวมทั้งหล่อ



แหวนตัวนำเชื่อมตัวนำใน Slot แต่ละด้านของ Rotor ด้วย พร้อมกันนี้ก็มีหล่อแผ่นครีปที่ช่วยระบายความร้อนให้เย็นออกไปทั้งสองข้างพร้อมกันและเป็นชิ้นเดียวกัน Slot จะมีลักษณะเฉียงกับแนวแกน เพื่อป้องกันการ Locking กัน ระหว่างฟัน (Teeth) ของ Rotor และ Stator

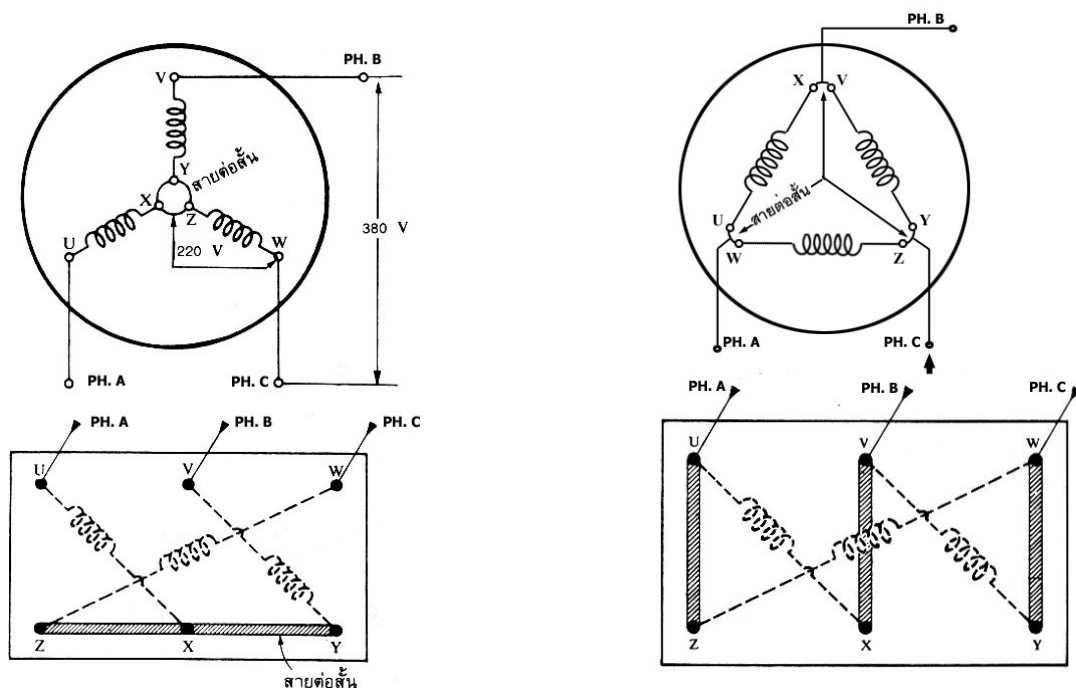
1.2. Stator ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ อัดซ้อนกันเป็นรูปทรงกระบอกกลม บริเวณผิวภายในจะเป็นช่องเรียกว่า Slot ขนานไปตามความยาวของแกนเหล็ก ติดตั้งอยู่ภายในโครงเหล็กเหนียว มีลักษณะเช่นเดียวกับ Stator ของ Split Phase Motor ภายใน Slot มีขดลวดพันอยู่ 3 ชุด แต่ละชุดวางห่างกัน 120 องศาไฟฟ้า ขดลวดทั้ง 3 ชุดนี้เป็นอิสระ แต่นำมาต่อใช้งานร่วมกันได้ 2 แบบ คือ แบบ Star และแบบ Delta



- 1.3. Yoke ผิวภายนอกจะมี 2 ลักษณะ คือผิวเรียบและเป็นครีป ที่โครงมีกล่องต่อสายด้านข้างหรืออาจจะมีด้านบนก็ได้ ถ้าเป็น Wound Rotor จะเจาะ Slot แบบครึ่งปิดหรือเปิดหมด ภายใน Slot มีขดลวดพันอยู่ ขดลวดเหล่านั้นจะต่อไปยัง Slip Ring 3 วง ซึ่งติดอยู่ปลายเพลลาข้างหนึ่ง
- 1.4. End Plate มีอยู่ 2 ข้าง ติดอยู่กับโครง ตรงกลางฝาครอบจะมีแปรง ซึ่งอาจจะเป็นแบบปลอกทองเหลืองหรือแบบลูกปิ่นมีหน้าที่รองรับเพลลา เพื่อรักษาเพลลาให้หมุนอยู่ในแนวศูนย์กลางของ Rotor และป้องกันไม่ให้ Rotor เสียดสีกับ Stator

2. หลักการทำงาน

- เมื่อป้อนไฟ 3 Phase เข้าขดลวด Stator แล้วจะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนไปเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่ Rotor และมีกระแสไหลใน Rotor ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่ Rotor สนามแม่เหล็กหมุนจาก Stator จะดูดให้สนามแม่เหล็กจาก Rotor หมุนตามไปด้วย คือทำให้ Rotor หมุนไปในทิศทางเดียวกันกับทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุน
- ความเร็วของ Rotor ที่หมุนไปนี้จะหมุนด้วยความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed) เสมอ (
$$\text{Syn.speed} = \frac{120 \times \text{frequency}}{\text{pole}}$$
)
- การกลับทิศทางหมุนของมอเตอร์ชนิดนี้ทำได้โดย สลับสายไฟที่ป้อนเข้าขดลวด Stator คู่ใดคู่หนึ่งเท่านั้น
- การต่อขดลวดมอเตอร์ 3 Phase แบบ Squirrel Cage ใช้งานมี 2 แบบ คือ ต่อแบบ Star และต่อแบบ Delta



- Induction Motor 3 Phase แรงดันต่ำที่มีใช้อยู่ทั่วไป มีพิกัดแรงดันไฟฟ้าที่ Name Plate อยู่ 2 ขนาด คือ

A. 220/380 V., Δ / Y

B. 380/660 V., Δ / Y
- Induction Motor 3 Phase ที่มีพิกัดแรงดันไฟฟ้างบ A มีความหมายว่า ถ้าต่อขดลวด Stator แบบ Δ ต้องต่อใช้กับระบบไฟฟ้า 3 Phase 220 Volt และเมื่อต่อขดลวด Stator แบบ Y ต้องต่อใช้กับระบบไฟฟ้า 3 Phase 380 Volt
- Induction Motor 3 Phase ที่มีพิกัดแรงดันไฟฟ้างบ B มีความหมายว่า ถ้าต่อขดลวด Stator แบบ Δ ต้องต่อใช้กับระบบไฟฟ้า 3 Phase 380 Volt และเมื่อต่อขดลวด Stator แบบ Y ต้องต่อใช้กับระบบไฟฟ้า 3 Phase 660 Volt

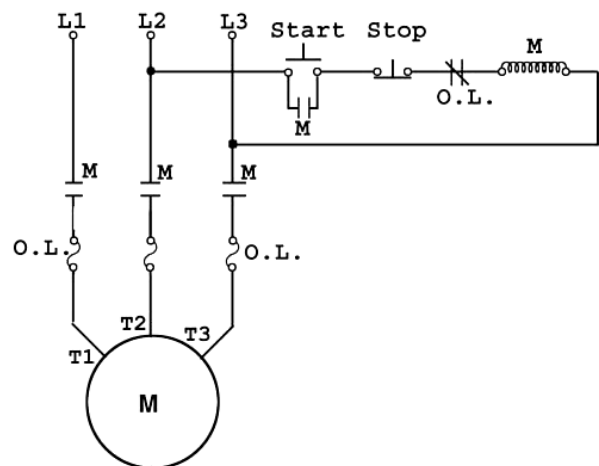
3. วิธีเริ่มเดิน Induction Motor แบบ Squirrel Cage Rotor

- ปัญหาการเริ่มเดินหรือ Start ของ Induction Motor ขนาดใหญ่ กับแรงดันเต็มพิกัด แบ่งออกได้ 3 ประการ คือ
 1. เกิดแรงดันตกในระบบ เป็นผลทำให้โหลดอื่นๆ ที่ต่ออยู่ในวงจรเดียวกัน เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า แสงสว่าง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และอื่น มีผลเสียหายได้
 2. ค่ากระแสขณะ Start สูง ทำให้เกิดค่าแรงบิดกระชากสูง อาจทำให้เกิดผลเสียแก่เครื่องจักร โหลด และมอเตอร์ได้
 3. มอเตอร์ขนาดใหญ่ มีโมเมนต์ของความเฉื่อยสูง ถ้าทำการ Start บ่อยครั้งใช้ช่วงเวลาในการ Start นาน ทำให้เกิดความร้อนสูงในขดลวด และทำให้อายุการใช้งานของมอเตอร์สั้นลง
- จากปัญหาดังกล่าว จึงต้องเริ่มเดินหรือ Start มอเตอร์ด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

3.1. วิธีเริ่มเดินโดยตรง (Direct Start หรือ

On Line Start)

- ◆ วิธีนี้มักจะใช้กับมอเตอร์ขนาดแรงม้าต่ำๆ คือ ไม่ควรเกิน 7.5 แรงม้า เพราะกระแสขณะ Start จะมีค่าสูงมาก ประมาณ 5-7 เท่าของกระแสเต็มพิกัด แต่แรงบิดต่ำมากคือเพียง 1.5 – 2.5 เท่า ของแรงบิดที่โหลดเต็มพิกัดเท่านั้น วงจร Direct Start ดังรูป

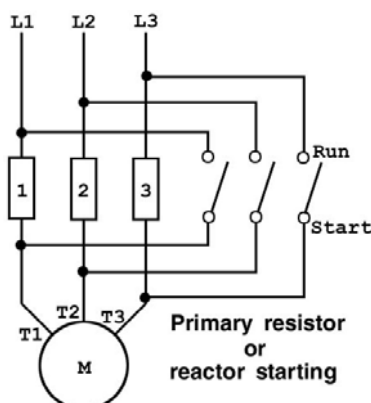


Direct Start OR On Line Start

3.2. วิธีเริ่มเดินโดยลดแรงดันป้อน (Reduce Voltage Starting) วิธีนี้มีหลายวิธีด้วยกัน เช่น

3.2.1. การเริ่มเดินโดยใช้ความต้านทานต่ออนุกรมกับมอเตอร์ (Primary Resistance Starting)

- ◆ วิธีนี้ใช้ความต้านทานต่อระหว่าง Line กับมอเตอร์ ก็จะทำให้กระแสและแรงบิดเริ่มหมุนหรือเริ่มเดินลดลงได้เช่นเดียวกัน ขณะที่ต่อความต้านทานเข้าไปในวงจรแล้วเริ่มเดินหรือ Start กระแสขณะนี้มีค่าสูงมากเมื่อไหลผ่านความต้านทาน จะเกิดแรงดันตกคร่อมความต้านทานมีค่าสูงมากด้วย ทำให้แรงดันที่ขั้วมอเตอร์ลดลงในทันทีทันใด ซึ่งแรงบิดเริ่มหมุนที่แปรค่าตามแรงดันยกกำลังสองก็จะมีค่าลดลงด้วย แต่ขณะที่มอเตอร์เร่งความเร็วขึ้น กระแสจะค่อยๆ ลดลงและมีค่าน้อยกว่ากระแสขณะเริ่มหมุนมาก จึงทำให้แรงดันตกคร่อมที่ความต้านทานค่อยๆ

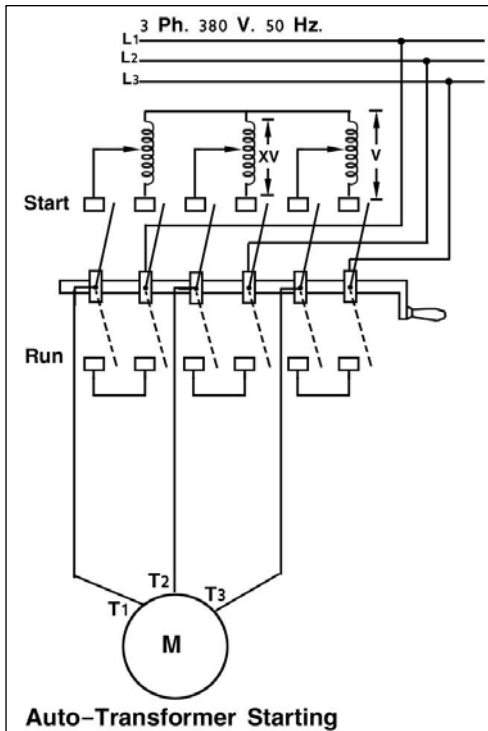


ลดลงด้วย ซึ่งหมายความว่าแรงดันตกคร่อมที่ Stator ในขณะที่มอเตอร์หมุนแล้วมีค่าสูงกว่าขณะเริ่มหมุน จึงทำให้แรงบิดที่แปรค่าตามแรงดันยกกำลังสองมีค่าสูงกว่าแรงบิดของมอเตอร์ขณะเริ่มหมุน ถ้าแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์ (แรงดันที่ตกคร่อมขั้วของมอเตอร์)

ลดลงเหลือ 50% กระแส Start จะลดลงเหลือ 50% ด้วย แต่แรงบิดเริ่มหมุนจะลดลงเหลือเพียง 25% ของแรงบิดเต็มพิกัดเท่านั้น

3.2.2. ต่อ Auto-Transformer อันดับกับมอเตอร์

- ◆ วิธี Start มอเตอร์แบบนี้บางทีก็เรียกว่า Auto-Starter หรือ Compensator ซึ่งจะ



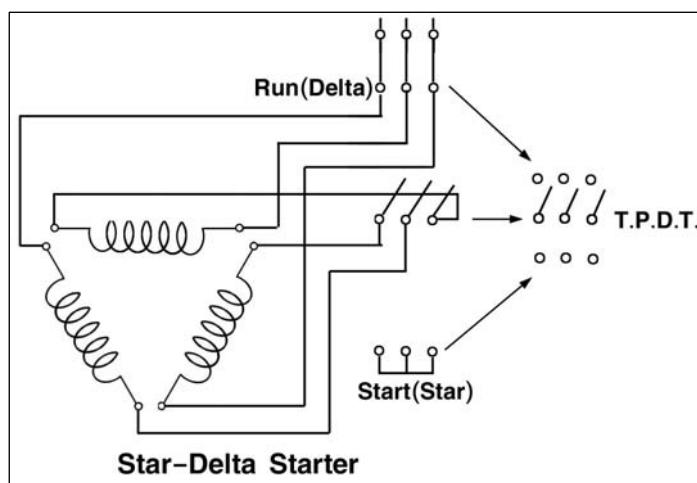
ประกอบด้วย Auto-Transformer และสวิตช์อัตโนมัติ ตามรูปใช้ Auto-Transformer หนึ่งเฟส 3 ตัว หรือ Auto-Transformer สามเฟสหนึ่งตัว เมื่อเริ่ม Start จะสับสวิตช์ไปยังตำแหน่ง Start จะสังเกตเห็นว่าแรงดันป้อนมอเตอร์จะมีค่าลดลงเหลือเพียง XV เท่านั้น เมื่อมอเตอร์มีความเร็วสูงขึ้นประมาณ 80 % ของความเร็วเต็มพิกัดแล้วจึงสับสวิตช์ไปยังตำแหน่ง Run ขณะนี้แรงดันป้อนมอเตอร์จะมีค่าตามพิกัดคือ V. สวิตช์ที่ใช้ ถ้าใช้กับมอเตอร์ขนาดแรงม้าต่ำจะใช้ชนิด Air Break แต่ถ้าเป็นมอเตอร์ขนาดแรงม้าสูงจะใช้สวิตช์ชนิด Oil-Immersed ทั้งนี้เพื่อลดการ Spark ที่หน้าสัมผัส

- ◆ วิธี Start แบบนี้สามารถจะออกแบบให้มีรอยต่อ (tap) ที่หม้อแปลงเป็น 3 ขนาดด้วยกัน คือ 80 , 65 และ 50 % ของแรงดันป้อนเต็มพิกัด เพื่อให้สามารถเลือกแรงดัน Start ได้อย่างเหมาะสม

3.2.3. วิธีเริ่มเดินแบบ Star – Delta Starter

- ◆ วิธีนี้จะใช้กับมอเตอร์ Three Phase ที่ขดลวด Stator ทำงานแบบ Delta เท่านั้น วงจร

Start จะประกอบด้วย สวิตช์ชนิด 2 ทาง แบบ TPDT โดยที่ สวิตช์นี้จะต่อขดลวด Stator แบบ Star ใน ตอน Start และต่อขดลวดแบบ Delta เมื่อมอเตอร์ทำงานปกติ



- ◆ ขณะ Start ขดลวดต่อ

แบบ Star นั้น แรงดันป้อนขดลวดแต่ละชุดจะมีค่าของแรงดันปกติ แต่แรงบิด Start จะมีค่าเพียง $\frac{1}{3}$ ของแรงบิดเมื่อโหลดเต็มพิกัด คือเมื่อมอเตอร์ต่อแบบ Delta และทำงานที่

แรงดันเต็มพิกัด และกระแส Start จะลดลงในสัดส่วนเดียวกับแรงดันป้อนขณะ Start คือ ลดลง $\frac{1}{\sqrt{3}}$ ของกระแสโหลดเต็มพิกัด วิธี Start มอเตอร์วิธีนี้มีราคาถูก และการควบคุมทำได้ง่ายและสะดวก วงจร Start ดังรูป

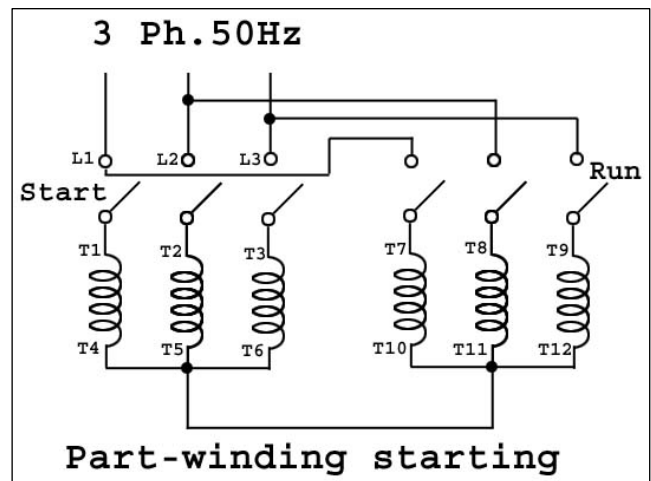
- ◆ การ Start แบบ Star - Delta วิธีนี้จะทำให้กระแสเริ่มหมุนต่ำกว่าการต่อเข้ากับสายโดยตรงประมาณ 3 เท่า และในขณะใช้งานมอเตอร์ต้องต่อเข้ากันเป็น แบบ Delta สำหรับมอเตอร์ที่ทำการ Start ด้วยวิธี Star-Delta ได้มีดังนี้

A ในระบบ 3 Ph. 380 Volt มอเตอร์ที่ทำการเริ่มหมุนแบบ Star-Delta ต้องเป็นแบบ 380/660 V. Δ / Y

A ในระบบ 3 Ph. 220 Volt มอเตอร์ที่ทำการเริ่มหมุนแบบ Star-Delta ต้องเป็นแบบ 220/380 V. Δ / Y

3.2.4. การสตาร์ทโดยต่อกับบางส่วนของขดลวด (Part-Winding Starting)

- ◆ วิธีนี้ใช้กับมอเตอร์ที่มีขดลวดสเตเตอร์ 2 ชุด โดยมีปลายสาย 6 หรือ 12 ปลายสาย มีจำนวนรอบและขนาดลวดเท่ากันและพันให้มีขั้วแม่เหล็กเท่ากันเพื่อให้เกิดความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนค่าเดียวกันดังรูป



- ◆ การต่อขดลวดแบบ Star 2 ชุดนี้ เปรียบเสมือนแบ่งมอเตอร์เป็น 2 ส่วน รับกำลังไฟฟ้าเท่ากัน เมื่อต่อขดลวดชุดแรกกับแหล่งจ่ายไฟ มอเตอร์จะ Start ที่แรงดันเต็มพิกัด กระแสขณะ Start จะลดลงเหลือประมาณ 50 % ของกระแสเริ่มหมุนเต็มพิกัด โดยเทียบกับเมื่อต่อขดลวด 2 ชุด แล้วป้อนแรงดันเต็มพิกัด เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนและเร่งความเร็วขึ้นจนเกือบถึงพิกัด จึงสับสวิตช์ให้ขดลวดชุดที่สองขานเข้าในวงจร เพื่อเพิ่มแรงบิดขับโหลดให้กับมอเตอร์ขณะหมุน
- ◆ การลดกระแส Start ด้วยวิธีนี้ จะทำให้แรงบิดเริ่มหมุนลดลงเหลือประมาณ 50 % ดังนั้นในขณะ Start จึงควรให้มอเตอร์ขับโหลดเบาๆ หรือ Start โดยไม่มีโหลด ใดๆก็ตาม แรงบิดเริ่มหมุนของมอเตอร์แบบนี้ จะสูงกว่ามอเตอร์แบบ Squirrel Cage ที่มีขดลวดชุดเดียว และ Start แบบ Star - Delta

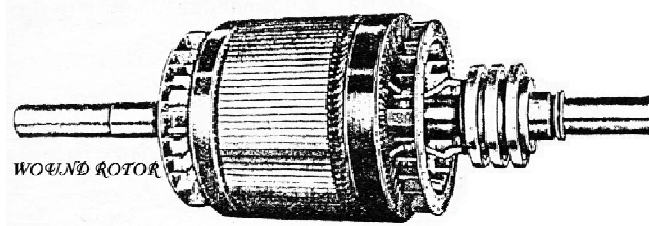
2. Induction Motor 3 Phase แบบ Wound Rotor

สามารถปรับความเร็วได้ง่ายและสะดวก และจะแตกต่างกับมอเตอร์แบบ Squirrel Cage ที่ Rotor มอเตอร์แบบนี้เรียกชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า Slip Ring Motor และสร้างขึ้นเพื่อที่จะลด Starting Current

1. ส่วนประกอบ

- ส่วนประกอบจะเหมือนกับมอเตอร์แบบ Squirrel Cage คือประกอบด้วย Rotor, Stator, ฝาครอบ

- Stator และฝาครอบเหมือนกับ Squirrel Cage ทุกประการ
- Rotor แตกต่างกันอย่างจริงจัง เฉพาะตัวนำ คือใช้ขดลวดพันลงใน Slot ของ Rotor
- ขดลวดที่พันลงใน Slot พันด้วยลวดทองแดงกลมหรือแบน แล้วแต่การออกแบบ พันให้แต่ละ Phase ห่างกัน 120° ทางไฟฟ้า และพันให้จำนวน Pole เท่ากันกับที่ Stator
- เมื่อพันขดลวดลงใน Slot แล้วจะต่อขดลวดเป็นแบบ γ เหลือปลายสายต่อเข้ากับ Slip Ring เพียง 3 ปลาย
- Slip Ring ยึดติดอยู่กับเพลลา Rotor และมีแปรงถ่านสัมผัสอยู่ จากแปรงถ่านนี้ ต่อกออกไปภายนอกเพื่อต่อเข้ากับความต้านทานเพื่อควบคุมความเร็ว

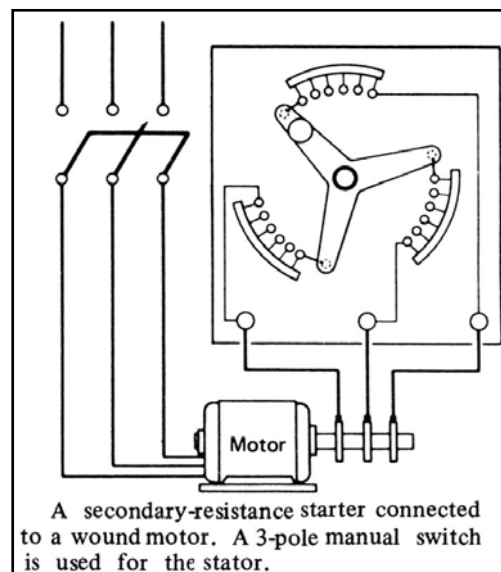


2. หลักการทำงาน

- เมื่อป้อนแรงดัน 3 Phase ให้ขดลวด Stator จะเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวด Rotor และมีกระแสไหลผ่าน Slip Ring ผ่านความต้านทานภายนอกที่ต่อร่วมกับขดลวด Rotor เพื่อช่วยในการเริ่มเดิน (Start) และปรับความเร็ว
- ขณะเริ่มเดิน (Start) ความต้านทานภายนอกจะต่อแบบ γ จะทำให้แรงบิดดีขึ้น และเป็นผลให้ Impedance ของ Rotor เพิ่มขึ้น กระแส Rotor จะลดลง
- เมื่อความเร็วมอเตอร์สูงขึ้นจึงค่อยๆ ลดความต้านทานภายนอกออกจากวงจรของขดลวด Rotor จนหมด Slip Ring จะต่อลัดวงจรที่จุด Star Point ของความต้านทานภายนอก ขณะนี้มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วเต็มพิกัด (Rate Speed)

3. การปรับความเร็ว

- การปรับความเร็วของ Motor แบบนี้ ให้ลดหรือเพิ่มความต้านทานภายนอกเข้ากับวงจรขดลวด Rotor ปกติแล้วจะปรับความเร็วต่ำกว่าพิกัด
- สามารถเริ่มเดินขับ Load สูงๆ ได้โดยการเพิ่มความต้านทานเข้าไปในวงจรขดลวด Rotor แต่จะทำให้เกิดการสูญเสีย I^2R เพิ่มขึ้นใน Rotor
- การต่อมอเตอร์ 3 Phase แบบ Wound Rotor ใช้งาน ทำได้เช่นเดียวกับ Squirrel Cage และการกลับทิศทางหมุนก็เช่นเดียวกัน แต่ถ้าต่อปลายสายที่ Rotor ให้สลับกัน จะไม่หมุนกลับทางแต่อย่างใด
- การเริ่มเดินของมอเตอร์แบบนี้ ใช้ความต้านทานปรับที่ Rotor



3. Motor 3 Phase แบบ Synchronous Motor

Synchronous Motor เป็น AC Motor 3 Phase ชนิดหนึ่ง ทำงานด้วยความเร็วคงที่ตลอดเวลา แม้ว่า Load จะเปลี่ยนแปลงอย่างไรก็ตาม ยกเว้นในกรณีที่ Load อยู่ในช่วงของการเปลี่ยนแปลง หมายความว่า Rotor จะหมุนด้วยความเร็วเท่ากับของ Synchronous Speed ที่ Stator เช่น ถ้าเป็นมอเตอร์ชนิด 4 Pole 50 ไซเคิล Synchronous Motor ก็จะมีรอบต่อวินาที 1500 รอบต่อวินาที ซึ่งถ้าเป็นในมอเตอร์ Induction Motor แล้ว Rotor จะหมุนด้วยความเร็วที่ต่ำกว่า 1500 รอบต่อวินาที

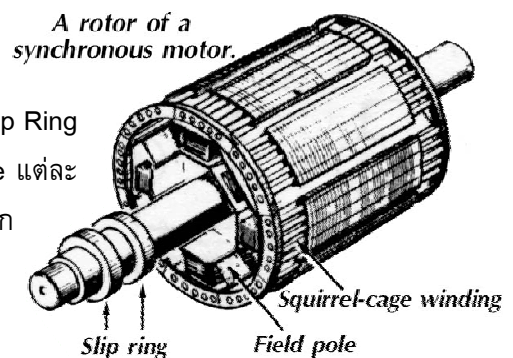
- ◇ ส่วนประกอบจะเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า AC 3 Phase ชนิด Salient Pole จะแตกต่างกันที่ขดลวด Armature ที่ Stator และขดลวดสนามแม่เหล็กที่ Rotor จะได้รับการป้อนแรงดันไฟ AC 3 Phase และไฟ DC ตามลำดับ เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาพร้อมๆ กัน
- ◇ Power Factor ของมอเตอร์สามารถปรับได้ตั้งแต่ล้าหลังจนถึงนำหน้า (Lagging And Leading Power Factor) ได้ สามารถนำไปใช้กับงานที่ต้องการความเร็วคงที่ได้อย่างแพร่หลาย
- ◇ สามารถนำเอา Synchronous Motor นี้ไปแก้ Power Factor ของระบบไฟฟ้า 3 Phase ได้อีกด้วย

1. ส่วนประกอบ

- ◇ เนื่องจาก Synchronous Motor มีส่วนประกอบเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า AC 3 Phase ชนิด Salient Pole ดังนั้นจึงมีส่วนประกอบดังนี้

1.1. **Stator** จะประกอบด้วยแกน Stator (Stator Core) ซึ่งทำด้วยแผ่นเหล็กบาง Laminate นำมาอัดติดกันแน่น แล้วเจาะด้านในให้เป็นร่องที่เรียกว่า Slot นำไปอัดติดกับโครงที่ทำด้วยเหล็กหล่อ เหนียว ที่ Slot จะพันขดลวดชนิด 3 Phase เหมือนกับเครื่องกำเนิด AC. เรียกขดลวดที่ Stator ว่า ขดลวด Armature

1.2. **Rotor** มีลักษณะเป็นแบบ Salient Pole ซึ่งทำด้วยแผ่นเหล็กบาง Laminate ที่นำมาอัดติดกันเป็นแกน Rotor ที่แกนของ Salient Pole จะพันขดลวดสนามแม่เหล็ก และต่อรวมกันให้เป็นขั้วเหนือ-ใต้ จะเหลื่อมปลายสายอยู่ 2 ปลาย โดยจะนำไปต่อเข้ากับ Slip Ring ที่ติดอยู่กับเพลลาของ Rotor ที่ปลายของ Salient Pole แต่ละ Pole จะมีขดลวด Squirrel Cage สอดอยู่ บางที่เรียกขดลวดชุดนี้ว่า Damping Windings (หรือ Amortisseur Windings) ขดลวดชุด Damping Windings นี้มีไว้สำหรับการเริ่มเดินมอเตอร์ ลักษณะของ Rotor ดังรูปขวา



1.3. **แปรงถ่านและช่องแปรงถ่าน** แปรงถ่านจะบรรจุอยู่ในช่องแปรงถ่าน และสัมผัสกับสลลิ่งโดยที่แปรงถ่านนี้จะมีสายไฟต่อไปยังวงจรภายนอกด้วย

1.4. **ฝาปิดหัวท้าย (End Plates)** จะทำด้วยเหล็กหล่อเหนียว มีแบร์ริงอัดติดแน่นอยู่ตรงกลาง เพื่อรองรับเพลลาของ Rotor

1.5. **Exciter** เป็นเครื่องกำเนิดไฟ DC. ขนาดเล็ก ติดตั้งอยู่กับเพลลาของ Rotor มีไว้สำหรับผลิตไฟตรงป้อนให้กับขดลวดสนามแม่เหล็กที่ Salient Pole ของ Rotor ถ้าไม่มี Exciter ก็อาจจะป้อนไฟตรงจากแหล่งกำเนิดไฟตรงอื่นใดก็ได้

2. หลักการทำงาน

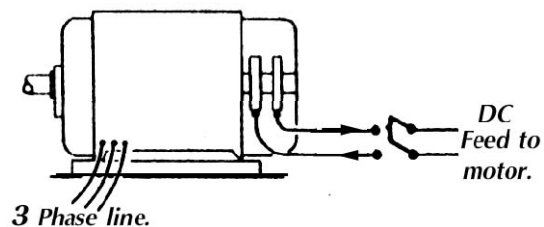
◆ ในการเริ่มเดินหรือที่เรียกว่า Start Synchronous Motor นั้นแยกออกเป็น 2 แบบด้วยกัน คือ

1. ในกรณีที่ Rotor มีขดลวด Damping Windings
2. ในกรณีที่ไม่มีขดลวด Damping Windings

1.) กรณีที่ Rotor มีขดลวด Damping Windings

◆ ลำดับแรกจะป้อนไฟ AC. 3 Phase ให้ขดลวด Stator ขดลวด Stator ก็จะผลิตสนามแม่เหล็กหมุน (Revolving Field) ขึ้นมา สนามแม่เหล็กหมุนนี้จะมีความเร็วเท่ากับ Synchronous Speed ตัดกับขดลวด Damping Windings ที่ปลาย Salient Pole ของ Rotor

◆ ที่ Rotor จะเกิดแรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นมา อำนาจแม่เหล็กจากสนามแม่เหล็กหมุนที่ Stator และอำนาจแม่เหล็กจากขดลวด Damping Windings ของ Rotor จะดึงดูดกันทำให้ Rotor หมุนไปได้ และ Rotor จะหมุนมีความเร็วสูงขึ้นเรื่อยๆ จนมีความเร็วได้ประมาณ 95-97 % ของ Synchronous Speed



Synchronous-motor power connections.

◆ ในขณะนี้จะป้อนไฟ DC. ให้กับขดลวดสนามแม่เหล็กของ Salient Pole ที่ Rotor เกิดขั้วแม่เหล็กเป็นเหนือ-ใต้ ขึ้นมา และดึงดูดกับขั้วแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กหมุนจาก Stator ทำให้ความเร็วของ Rotor เท่ากับความเร็วของ Synchronous Speed จาก Stator

◆ ลักษณะการดึงดูดกันระหว่างสนามแม่เหล็กจาก Rotor และ Stator นี้ ความเร็วของ Rotor จะยังช้ากว่าความเร็วของ Synchronous Speed เนื่องจากโหลด

ข้อควรระวัง ขณะ Start Synchronous Motor ก็คือจะต้องต่อความต้านทานค่าสูงคร่อมกับขดลวดสนามแม่เหล็กที่ Salient Pole ด้วย เพราะขณะ Start นั้นจะเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวดชุดนี้สูงมาก ซึ่งอาจเกิดอันตรายกับบุคคลที่เข้าไปทำงานกับมอเตอร์ หรือฉนวนของมอเตอร์ได้ ความต้านทานตัวนี้เรียกว่า Field Discharge Resistor

◆ ในขณะที่จะป้อนไฟ DC. ให้กับขดลวดสนามแม่เหล็กของ Rotor นั้น ต้องปลดความต้านทานที่ต่อขนานกับขดลวดสนามแม่เหล็กของ Rotor ที่เรียกว่า Field Discharge Resistor ออก

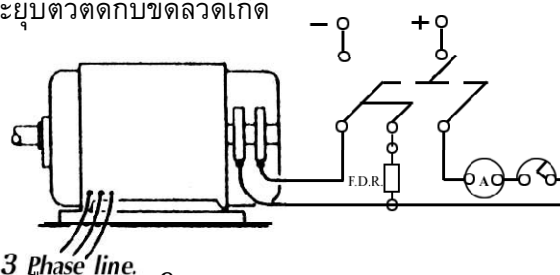
◆ เมื่อหยุดเดิน Synchronous Motor จำเป็นที่จะต้องปลดไฟ DC. ที่ป้อนให้ขดลวดสนามแม่เหล็กของ Rotor ออก

ข้อควรระวัง ขณะปลดไฟ DC. ออก สนามแม่เหล็กจะยุบตัวตัดกับขดลวดเกิด

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่มีขนาดสูงขึ้นมาอีก ดังนั้น

จึงต้องต่อความต้านทานค่าสูงที่เรียกว่า Field

Discharge Resistor คร่อมกับขดลวดสนามแม่เหล็ก



อีกเพื่อลดขนาดของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำให้ต่ำลง วิธีต่อ Field Discharge Resistor (F.D.R.) คร่อมกับขดลวดสนามแม่เหล็กของ Rotor ดังรูป วิธีเริ่มต้น Synchronous Motor วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

2.) กรณีที่ Rotor ไม่มีขดลวด Damping Windings วิธีการเริ่มต้นมอเตอร์จะต้องใช้วิธีใหม่ซึ่งไม่เหมือนกับวิธีที่ได้กล่าวมาแล้ว ในกรณีนี้สามารถเริ่มต้น Synchronous Motor ได้ 3 วิธีด้วยกันคือ

I. ใช้ DC. Motor ขับ Synchronous Motor

- ◆ ใช้ DC. Motor ขับ Synchronous Motor โดยการต่อเชื่อมเพลลา DC. Motor เข้ากับเพลลาของ Synchronous Motor (Coupling)
- ◆ ขณะเริ่มต้นมอเตอร์จะป้อนไฟ จากแหล่งจ่ายไฟ DC. ที่ปรับค่าได้ให้กับ DC. Motor ปกติแล้วจะเป็น แบบ Shunt Motor เร่งความเร็ว DC. Motor ขับ Synchronous Motor จนความเร็วของ Synchronous Motor เข้าใกล้ความเร็ว Synchronous Speed หรือเท่ากับความเร็ว Synchronous Speed แล้วป้อนไฟ AC. ให้กับขดลวด Stator และป้อนไฟตรงให้กับขดลวดสนามแม่เหล็กที่ Rotor ขณะนี้อำนาจแม่เหล็กของ Rotor จะดึงดูดกันกับอำนาจแม่เหล็กของ Stator ทำให้ Rotor หมุนด้วยความเร็ว Synchronous Speed
- ◆ ต่อไปเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็กของ DC. Motor ให้มากขึ้น จนกระทั่ง DC. Motor ผลิตกระแสไฟออกมากลายเป็น DC. Generator. ขณะนี้ DC. Motor ที่ทำหน้าที่เป็น DC. Generator และจะเป็น Load ให้กับ Synchronous Motor โดย Out-Put ของ Synchronous Motor จะเป็น In-put ของ DC. Generator

II. ใช้ Exciter

- ◆ ใช้ Exciter ที่ต่อเชื่อม (Coupling) อยู่กับเพลลาของ Synchronous Motor เป็นตัวขับ Synchronous Motor โดยที่ในขณะที่ Start นั้น จะป้อนไฟ DC. ปรับค่าได้ให้กับ Exciter เพื่อให้ Exciter ทำหน้าที่เป็น DC. Motor หมุนขับ Synchronous Motor เมื่อความเร็วของ Synchronous Motor เข้าใกล้ความเร็วหรือเท่ากับ แล้ว จึงป้อนไฟ AC. ให้กับขดลวด Stator และป้อนไฟ DC. ให้กับขดลวดสนามแม่เหล็กที่ Rotor แล้ว Rotor จะหมุนไปพร้อมๆ กันกับความเร็ว Synchronous Speed ของ Stator ตอนนี้อย่างนี้ทำให้ Exciter ทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดป้อนไฟ DC. ให้กับขดลวดสนามแม่เหล็กที่ Rotor ตามปกติ

III. ใช้ Induction Motor ต่อเชื่อมกับเพลลาของ Synchronous Motor

- ◆ Induction Motor ที่ใช้จะเป็นชนิดที่มีจำนวน Pole น้อยกว่า Synchronous Motor อยู่ 2 Pole เสมอ เพื่อที่จะให้ Induction Motor มีความเร็วสูงพอที่จะขับ Rotor ของ Synchronous Motor ให้สูงเท่าหรือเกือบเท่ากับความเร็ว Synchronous Speed จากนั้นจึงป้อนไฟ AC. 3 Phase ให้กับขดลวด Stator และป้อนไฟ DC. ให้กับขดลวดสนามแม่เหล็กที่ Rotor เมื่อ Synchronous Motor หมุนด้วยความเร็ว Synchronous Speed แล้ว จึงปลด Induction Motor ออก
- ◆ Induction Motor นี้อาจต่อเชื่อมกับเพลลาของ Synchronous Motor ด้วยสายพานก็ได้

วิธีอ่านคุณสมบัติของ Motor

ความรู้เบื้องต้นในการอ่านตารางคุณสมบัติของ Motor

1) Rated Output

- Rated Output หมายถึง Output ที่เกิดอย่างต่อเนื่องที่แกนของ Motor ภายใต้สภาวะ Rated Voltage และ Rated Frequency มีหน่วยเป็นวัตต์ (W) หรือกิโลวัตต์ (kW)
- การที่ค่ามาตรฐานของ Rated Output เป็นตัวเลขไม่ลงตัว เพราะแปลงจากแรงม้าเป็นกิโลวัตต์

2) Synchronous Speed

- ความเร็วในการหมุนของ Rotating Field เรียกว่า Synchronous Speed แสดงโดยสูตร ดังนี้

$$\text{Syn.speed} = \frac{120 \times \text{frequency}}{\text{pole}}$$

3) Power – Factor

- เนื่องจากใน Induction Motor มีขดลวดอยู่ กระแสที่ไหลจึงเป็นกระแส Phase ล้าหลัง ดังนั้น Power Factor จึงเป็น Lagging Power Factor

4) ประสิทธิภาพ

- ประสิทธิภาพ แสดงโดยอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ใส่เข้าไปให้ Motor (Input) กับ Output ที่ Motor แปลงออกมา
- ความสัมพันธ์ระหว่าง Input, Output, Loss และประสิทธิภาพของ Motor เป็นดังนี้
- ประสิทธิภาพ

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100 \% \\ &= \frac{\text{input} - \text{loss}}{\text{input}} \times 100 \% \end{aligned}$$

5) Starting Current

- เมื่อต่อ Induction Motor เข้ากับ Power Source กระแสที่ไหลเริ่มแรกจะมีมาก (Starting Current) แต่เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น กระแสจะลดลง

6) Slip

- Motor เหล่านี้นั้น เวลาใช้งานจริง ความเร็วที่หมุนจะช้ากว่า Synchronous Speed เล็กน้อย
- Slip หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความเร็วที่ช้าลงเมื่อใส่ Load เต็มที่ กับ Synchronous Speed แสดงได้โดยสูตร

$$\text{slip} = \frac{\text{synspeed} - \text{fullloadspeed}}{\text{synspeed}} \times 100\%$$

7) สัญลักษณ์ขั้วสายของ Motor

- ที่แต่ละขั้วสายของขดลวดของ Motor จะมีสัญลักษณ์เขียนกำกับอยู่ เพื่อให้รู้ว่าเป็นขั้วสายของขดลวดอะไร ในการติดตั้ง ตรวจสอบ และบำรุงรักษา Motor จำเป็นต้องรู้ความหมายของสัญลักษณ์เหล่านี้

- สัญลักษณ์ขั้วสายทางด้านปฐมภูมิ : ขดลวดทางด้านปฐมภูมิใช้เครื่องหมาย **U, V, W**, ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งของแต่ละ Phase ใช้เครื่องหมาย **X, Y, Z**

8) ชนิดฉนวนของลวดอาบหุ้ม

- Motor และเครื่องจักรไฟฟ้าทุกชนิด ขณะใช้งานจะเกิดความร้อน ทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ความร้อนนี้จะทำให้น้ำมันเสื่อม ดังนั้นเครื่องจักรแต่ละชนิดจะกำหนดค่าอุณหภูมิสูงสุดในการใช้งานไว้ จึงเลือกชนิดของฉนวนให้เหมาะกับค่าอุณหภูมินั้น
- ชนิดของฉนวน (Class) จะแสดงเป็นอักษรภาษาอังกฤษ แต่ละตัวจะมีความหมายแทนอุณหภูมิใช้งานสูงสุดที่ฉนวนเคลือบขดลวดจะทนอยู่ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับวัสดุต่างๆ ที่นำมาทำฉนวน
- อุณหภูมิใช้งานสูงสุดของฉนวนแต่ละชนิดของ Motor ไม่ได้หมายความว่าเมื่ออุณหภูมิสูงถึงค่านี้แล้ว Motor จะไหม้ทันที แต่หมายความว่า หากใช้งานในอุณหภูมิที่สูงเท่านี้หรือมากกว่านี้ต่อไปนานๆ แล้ว อายุของ Motor (ฉนวน) จะสั้นลงอย่างรวดเร็ว

Class ของฉนวน	อุณหภูมิใช้งานสูงสุด	วัสดุฉนวนต่าง ๆ ที่สามารถใช้ได้
ชนิด Y	90	ใช้วัสดุที่ทำจากฝ่ายชนิดไม่มีวัสดุอื่นเจือปน ไหมธรรมชาติ กระดาษเซลลูโลสอะซิเตรต ไบวัลคาไนซ์ ฯลฯ ไม่มีการชุบน้ำมันหรือของเหลวใดๆ เช่น แผ่นอัดและ ไฟเบอร์แข็ง ฯลฯ
ชนิด A	105	ใช้วัสดุคล้ายกับ Class Y แต่มีการชุบวานิชหรือน้ำมันด้วย เช่น ผ้าชุบวานิช กระดาษชุบวานิช และผ้าไหมชุบวานิช ฯลฯ
ชนิด E (นิยมใช้)	120	ใช้วัสดุ เช่น โพลีเอสเตอร์ โพลีเอสเตอร์ (ไมลาร์) อีพ็อกซี เมลาไมน์ และฟีนอลเรซิน ฯลฯ เช่น โพลีเอสเตอร์ฟิล์ม ที่ใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า ฯลฯ
ชนิด B	130	ใช้วัสดุที่ทำจาก ไมก้า โยหิน โยแก้วผสมกาว ฯลฯ เช่น โยแก้ว เอสเบสตอส และเมลาไมน์ชนิดมีสารอินทรีย์ ฯลฯ
ชนิด F	155	ใช้วัสดุที่ทำจาก ไมก้า โยหิน โยแก้วผสมกาวพวกซิลิโคน เรซิน เช่น วานิชโยแก้ว วานิชโยหิน และฟิล์มโพลีเอไมค์ (เคพตอน โนแมก)
ชนิด H	180	ใช้วัสดุที่ทำจาก ไมก้า โยหิน โยแก้วผสมกาวพวกซิลิโคนเรซิน หรือกาวอื่นที่มีคุณสมบัติเทียบเท่า เช่น ยางซิลิโคน ไมก้า แผ่นซิลิโคน (Flexible Silicone, Mica, Silicone Varnish Glass Cloth)
ชนิด C	สูงเกินกว่า 180	ไมก้าดิบ, โยหิน, กระเบื้อง อาจจะใช้โดยตรง หรือใช้กับกาว

9) ชนิดการป้องกัน **A.C.Motor** แบ่งตามระดับการป้องกัน (Ip Degree Of Protection) Din 4005/1980 และ Iec 529 ตัวอย่าง ระดับการป้องกัน Ip เช่น 55

5 ตัวเลขตัวที่ 1 = สามารถป้องกันการสัมผัสภายใน หรือส่วนที่มีไฟอยู่ได้อย่างสมบูรณ์ ป้องกันและต่อต้านการก่อตัวของฝุ่นได้

5 ตัวเลขตัวที่ 2 = สามารถป้องกันลำน้ำที่พุ่งจากหัวฉีดมาตกกระทบได้ในทุกทิศทาง และจะต้องไม่มี Harmful

Effect

เลขตัวที่ 1 จะใช้หมายเลข 0-6 แสดงถึงลักษณะของการป้องกันการสัมผัส ป้องกันสิ่งแปลกปลอมภายนอกเข้าไปทำอันตรายกับอุปกรณ์ภายใน

เลขตัวที่ 2 ใช้หมายเลข 0-8 แสดงถึงลักษณะของการป้องกันน้ำหรือของเหลวอื่นที่อาจเป็นอันตรายกับอุปกรณ์ภายใน

ตัวที่ 1	รายละเอียดการป้องกัน	ตัวที่ 2	รายละเอียดการป้องกัน
0	ไม่มีการป้องกันการสัมผัสจากบุคคล ไม่มีการป้องกันสิ่งแปลกปลอมภายนอกเข้าไปสัมผัสส่วนที่หมุนหรือส่วนที่มีไฟภายในตัว Motor	0	ไม่มีการป้องกัน
1	สามารถป้องกันการสัมผัสส่วนที่อยู่ภายในหรือส่วนที่มีไฟจากเหตุบังเอิญหรืออุบัติเหตุจากส่วนสัมผัสที่มีขนาดใหญ่ เช่น มือหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกาย แต่จะไม่สามารถป้องกันการกระทำที่จงใจจะสัมผัสหรือเข้าถึง (Access) ได้ สามารถป้องกันวัตถุแข็งเช่น เหล็กเส้นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 50 mm. ไม่ให้ผ่านหรือลอดเข้าไปภายใน	1	สามารถป้องกันหยดน้ำที่ตกลงมาในแนวตั้งได้ และหยดน้ำนั้นจะต้องไม่มีผลที่จะทำให้เกิดอันตราย (Harmful Effect) แก่เปลือกที่หุ้ม Motor อยู่
2	สามารถป้องกันการสัมผัสภายใน หรือส่วนที่มีไฟอยู่จากนิ้วมือ สามารถป้องกันวัตถุแข็งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 12 mm. ไม่ให้ผ่านหรือลอดเข้าไปภายในตัว Motor	2	สามารถป้องกันหยดน้ำหรือของเหลวอื่นที่ตกลงมาในแนวตั้ง และในแนวที่ทำมุมใดๆ จนถึง 15° กับแนวตั้ง และหยดน้ำนั้น จะต้องไม่มีผลที่จะทำให้เกิดอันตรายแก่เปลือกที่หุ้ม Motor
3	สามารถป้องกันการสัมผัสภายใน หรือส่วนที่มีไฟอยู่จากเครื่องมือ, เส้นลวดหรือสิ่งอื่น ที่มีขนาดความหนาของสิ่งนั้นมากกว่า 2.5 mm. หรือสิ่งของภายนอกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 2.5 mm. เข้าไป	3	สามารถป้องกันน้ำฝนที่ตกลงมาทำมุมเท่ากับหรือน้อยกว่า 60 องศาเมื่อเทียบกับแนวตั้ง และจะต้องไม่มีผลที่จะทำให้เกิดอันตรายแก่เปลือกที่หุ้ม Motor อยู่
4	สามารถป้องกันการสัมผัสภายใน หรือส่วนที่มีไฟอยู่จากเครื่องมือ เส้นลวดหรือสิ่งอื่นที่มีขนาดของความหนาหรือเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 1 mm. เข้าไป	4	สามารถป้องกันการสาดหรือกระจายของละอองน้ำที่เข้ามาในทุกทิศทาง โดยละอองน้ำนั้นจะต้องไม่มีผลที่จะทำให้เกิดอันตรายแก่เปลือกที่หุ้ม Motor
5	สามารถป้องกันการสัมผัสภายใน หรือส่วนที่มีไฟอยู่ ได้อย่างสมบูรณ์ ป้องกันและต่อต้านการก่อตัวของฝุ่นได้	5	สามารถป้องกันลำน้ำที่พุ่งจากหัวฉีดมาตกกระทบได้ในทุกทิศทาง และจะต้องไม่มีผลที่จะทำให้เกิดอันตรายแก่เปลือกหุ้ม Motor
6	ป้องกันการสัมผัสภายใน หรือส่วนที่มีไฟอยู่ ได้อย่างสมบูรณ์ ป้องกันและต่อต้านการก่อตัวของฝุ่นจากภายนอกเข้าไป ได้อย่างสมบูรณ์	6	สามารถป้องกันอันตรายที่เกิดจากคลื่นของน้ำทะเล (Deck Watertight Equipment) หรือป้องกันจากเหตุน้ำท่วมได้ชั่วคราว
		7	สามารถป้องกันการไหลเข้าของน้ำที่มีแรงดันหรือจากน้ำท่วม หรือจุ่มลงในน้ำได้ในช่วงเวลาและแรงดันที่จำกัด (ป้องกันได้ชั่วคราว)
		8	สามารถป้องกันการไหลเข้าของน้ำที่มีแรงดันหรือจากน้ำท่วม หรือจุ่มลงในน้ำได้ในช่วงเวลา

Name Plate ของ Motor

บน Motor จะมีแผ่น Name Plate ติดอยู่เมื่อจะติดตั้งใช้งาน หรือซ่อมทำ Motor จำเป็นจะต้องอ่านแผ่นป้ายนี้ ให้เข้าใจเสียก่อน ในแผ่นป้ายนี้ จะบอกถึงลักษณะคุณสมบัติทั้งหมดของ Motor เช่น ลักษณะเฉพาะ วิธีใช้ เป็นต้น ตัวเลข และตัวหนังสือที่เขียนติดอยู่นั้น ล้วนมีความหมายที่สำคัญทั้งสิ้น

ระบบแรงดันไฟฟ้า นั้น มีทั้งแบบ 3 Phase 4 สาย 380 Volt, แบบ 1 Phase 2 สาย 220 Volt และยังมีระบบ 3 Phase 3 สาย 220 Volt อีกด้วย ดังนั้น Motor 3 Phase แบบ Induction จึงมีความสำคัญมากทางด้านการต่อ Motor เพราะถ้าต่อระบบไฟฟ้าเข้ากับตัว Motor ผิด อาจทำให้ Motor ตัวนั้นเสียหาย (ขดลวดภายในไหม้) วิธีที่ปลอดภัยที่สุดคือ ต้องศึกษาการต่อ Motor และอ่าน Name Plate ของ Motor แต่ละตัวแล้วให้ทราบว่า เราต้องใช้ระบบไฟฟ้าแบบใด มีแรงดันไฟฟ้าเท่าไร

ตัวอย่าง Name Plate ของ Motor

1		
2		
3	4	5
6	7	8
9/10	11	12
13		14
15		16
17		18
20		19

WEIER		
TYPE DVX 16/2 MK		
3 ~	MOT	NO. 7163
Δ	440 V.	23 A.
13.5 KW.	S1	COS ϕ 0.9
3500 rpm.	60 Hz.	
Ins. class F	IP 55	0.8 t.

1. Manufacturer
2. Type/Model
3. Type Off Current (A.C,D.C<3A.C.)
4. Method Of Operation:Gen./Mot.
5. Serial-Number
6. Connection Of The Winding
7. Voltage
8. Current
9. Power Output In W Or kW
10. Apparent Power Inva Or kVA
- 11.Mode Of Operation
- 12.Power Factor
- 13.Speed Revolution
- 14.Frequency

- 15.Exiting Voltage/Rotor Voltage
- 16.Exiting Current/Rotor Current
- 17.Insulating-Class
- 18.Type Of Protection
- 19.Weight
- 20.Additionally Note

ข้อขัดข้องและการแก้ไข

AC. Motor

1. Split-phase Motor

ข้อขัดข้อง	สาเหตุ	การแก้ไข
1. มอเตอร์ไม่หมุน	1. ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่
	2. แรงดันป้อนต่ำ	เพิ่มแรงดันป้อนให้ได้ปกติ
	3. ขดลวด Stator ไม่ครบวงจร	เปลี่ยนขดลวด Stator ใหม่
	4. Centrifugal switch ทำงานไม่ถูกต้อง	ถอดประกอบทำความสะอาดตรวจสอบปรับแต่งซ่อมแซมหรือเปลี่ยน Centrifugal switch ใหม่
	5. ขดลวด Stator รัดลงดิน (Grounded)	ตรวจสอบและเปลี่ยนขดลวดที่รัดลงดินใหม่
	6. แบร้ง	ตรวจสอบว่าเพลางอหรือไม่ แบร้งชำรุดหรือแห้งหรือหลวม หรือมีน้ำมันหล่อลื่นมากเกินไปหรือไม่ ถ้าเพลางอก็ต้องดัดให้ตรง หรือปรับเพลานใหม่ ถ้าแบร้งชำรุด, แห้งหรือหลวมก็ต้องเปลี่ยนใหม่ ถ้าน้ำมันหล่อลื่นมากเกินไปก็เช็ดออก
	7. โหลดเกินปกติ	วัดกระแสแล้วเทียบกับกระแสที่ Name Plate ถ้ามากก็ต้องลดโหลดลงหรือเปลี่ยนมอเตอร์ให้เป็นขนาดใหญ่ขึ้น
2. มอเตอร์ ร้อนผิดปกติ	1. คอยล์ลัดวงจร	เปลี่ยนคอยล์ที่ลัดวงจรเสียใหม่
	2. Centrifugal switch ทำงานไม่ถูกต้อง	ถอดประกอบทำความสะอาดตรวจสอบปรับแต่งซ่อมแซมหรือเปลี่ยน Centrifugal switch
	3. แรงดันป้อนไม่ถูกต้อง	ปรับแรงดันให้ได้ตามปกติ
	4. โหลดเกินปกติ	วัดกระแสเทียบกับกระแสที่ Name Plate ถ้ากระแสมากต้องลดโหลด หรือเปลี่ยนมอเตอร์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น
	5. แบร้ง	ตรวจสอบว่าเพลางอหรือแบร้งชำรุดหรือหลวมหรือแห้ง หรือน้ำมันหล่อลื่นมากเกินไปหรือไม่ ถ้าเพลางอให้ดัดหรือปรับเพลานใหม่เปลี่ยนแบร้งที่ชำรุดหรือหลวมอัดจาระบีแบร้งแห้งหรือถ้าน้ำมันหล่อลื่นมากเกินไปก็เช็ดออก
3. ขณะทำงานมีเสียงดังผิดปกติ	1. แบร้งชำรุด	เปลี่ยนหรือปรับแต่งแบร้งใหม่
	2. เพลางอหรือคด	ดัดเพลานหรือปรับแต่งเพลานใหม่หรือเปลี่ยน Rotor ใหม่
	3. ระยะ Play ของเพลามากเกินไป	กวดสกรูฝาครอบให้แน่นหรือเพิ่มแหวนที่เพลาน
	4. ยึดมอเตอร์ให้แน่น	กวดสกรูทุกตัวที่หลวมให้แน่น

2. Motor Capacitor

ข้อขัดข้อง	สาเหตุ	การแก้ไข
1. มอเตอร์ไม่หมุน	1. ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่
	2. แรงดันป้อนต่ำ	เพิ่มแรงดันป้อนให้ได้ตามพิกัด
	3. ขดลวด Stator ไม่ครบวงจร (ขาด)	เปลี่ยนขดลวด Stator ใหม่
	4. Centrifugal switch ทำงานไม่ถูกต้อง	ถอดประกอบทำความสะอาดตรวจสอบปรับแต่ง ซ่อมแซมหรือเปลี่ยน Centrifugal switch ใหม่
	5. ขดลวด Stator รัดลงดิน	ตรวจสอบเปลี่ยนขดลวด ชุดที่รัดลงดินใหม่
	6. แบร้ง	ตรวจสอบว่าเพลางอหรือไม่ ขำรุดหรือหลวมหรือแห้งหรือมีน้ำมันหล่อลื่นมากเกินไปหรือไม่ ถ้าเพลางอตัดใหม่ให้ตรงหรือเปลี่ยนเพลานใหม่ ถ้าแบร้งขำรุดหรือหลวมต้องเปลี่ยนใหม่ ถ้าแห้งให้อัดอัดจาระบีหรือเปลี่ยนใหม่ ถ้าน้ำมันหล่อลื่นมากเกินไปให้เช็ดออก
	7. Capacitor บกพร่อง	เปลี่ยน Capacitor ใหม่
2. มอเตอร์ร้อนผิดปกติ	1. คอยล์ลัดวงจร	เปลี่ยนคอยล์ที่ลัดวงจรเสียใหม่
	2. Centrifugal switch ทำงานไม่ถูกต้อง	ถอดประกอบ ทำความสะอาดตรวจสอบปรับแต่ง ซ่อมแซม หรือเปลี่ยน Centrifugal switch ใหม่ ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น
	3. แรงดันป้อนไม่ถูกต้อง	ปรับแรงดันให้ได้ตามพิกัด
	4. โหลดเกินพิกัด	วัดกระแสเทียบกับกระแส Name Plate ถ้ากระแสมาก ต้องลดโหลดหรือเปลี่ยนมอเตอร์ให้ขนาดโตขึ้น
	5. แบร้ง	ตรวจสอบว่าเพลางอหรือไม่ แบร้งขำรุดหรือหลวมหรือแห้ง หรือมีน้ำมันหล่อลื่นมากเกินไปหรือไม่ ถ้าเพลางอต้องตัดให้ตรงหรือปรับแต่งใหม่ ถ้าแบร้งขำรุดหรือหลวมต้องเปลี่ยนใหม่ ถ้าแบร้งแห้งให้อัดอัดจาระบีหรือเปลี่ยนใหม่ ถ้าแบร้งมีน้ำมันมากเกินไปให้เช็ดออก
3. ขณะทำงานมีเสียงดังผิดปกติ	1. แบร้งขำรุด	เปลี่ยนหรือปรับแต่งแบร้งใหม่
	2. เพลางอหรือคด	ตัดเพลานหรือปรับแต่งเพลานใหม่หรือเปลี่ยน Rotor ใหม่
	3. ระยะ Play ของเพลามากเกินไป	กวดสกรูฝาครอบให้แน่นหรือเพิ่มแหวนที่เพลาน
	4. ยึดมอเตอร์ไม่แน่น	กวดสกรูทุกตัวที่หลวมให้แน่น

3. Repulsion Motor

ข้อขัดข้อง	สาเหตุ	การแก้ไข
1. มอเตอร์หมุนช้า	1. โหลดเกินพิกัด	วัดกระแส เทียบกระแส Name Plate ถ้าโหลดมากเกินไปให้ลดโหลด หรือเปลี่ยนมอเตอร์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น
	2. Centrifugal switch ทำงานไม่ถูกต้อง	ถอดประกอบ ทำความสะอาด ตรวจสอบปรับตั้ง ช่อมแซมหรือเปลี่ยน Centrifugal switch ใหม่
	3. แปรงสกรปรก	ทำความสะอาดอัดจาระบีใหม่
2. มอเตอร์ไม่หมุน	1. ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่
	2. โหลดเกินพิกัด	วัดกระแส เทียบกระแส Name Plate ถ้าโหลดเกินให้ลดโหลดหรือเปลี่ยนมอเตอร์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น
	3. แรงดันป้อนต่ำ สายต่อมีขนาดเล็ก	ป้อนแรงดันให้ได้ตามพิกัดถ้าสายต่อเล็ก เปลี่ยนสายใหม่ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น
	4. ขดลวด Stator ไม่ครบวงจร (ขาด)	ตรวจสอบและเปลี่ยนขดลวดที่ขาดใหม่
	5. ขดลวด Stator ลัดวงจร	ตรวจสอบและเปลี่ยนขดลวดที่ลัดวงจรใหม่
	6. ขดลวด Stator รั่วลงดิน	ตรวจสอบและเปลี่ยนขดลวดที่รั่วลงดินใหม่
	7. Centrifugal switch ทำงานไม่ถูกต้อง	ถอดประกอบทำความสะอาดตรวจสอบปรับตั้ง ช่อมแซมหรือเปลี่ยนใหม่
	8. แปรง	ตรวจสอบว่าเพลางอหรือไม่ แปรงชำรุดหรือหลวมหรือแห้ง หรือน้ำมันหล่อมากเกินไปหรือไม่ถ้าเพลางอต้องดัดให้ตรงหรือปรับตั้งเพลานใหม่ถ้าแปรงชำรุดหรือหลวมให้เปลี่ยนใหม่ ถ้าแปรงแห้งให้อัดจาระบีหรือเปลี่ยนใหม่ ถ้าน้ำมันหล่อลื่นมากเกินไปก็ให้เช็ดออก
	9. ตำแหน่งแปรงถ่านไม่ถูกต้อง	หาตำแหน่ง Neutral Plane โดยการเลื่อนแปรงถ่านไป จนกระทั่งมอเตอร์ไม่หมุนในขณะที่ป้อนไฟอยู่ ต่อจากนั้นให้เลื่อนแปรงถ่านไปในทิศทางที่ต้องการให้มอเตอร์หมุน ถ้าเป็นมอเตอร์ชนิด 4 โพล $\frac{1}{2}$ แรงม้าและเล็กกว่าให้เลื่อนแปรงถ่านไป $1\frac{1}{3}$ Bars จาก Neutral Plane แต่ถ้าเป็นมอเตอร์ 4 โพล ขนาดใหญ่กว่า ให้เลื่อนแปรงถ่านไป $1\frac{1}{4}$ Bars จาก Neutral Plane เป็นมอเตอร์ชนิด 2 โพล ให้เลื่อนแปรงถ่านออกไปจากที่กล่าวแล้วในกรณีมอเตอร์ 4 โพล อีก $\frac{1}{3}$ Bars

ข้อขัดข้อง	สาเหตุ	การแก้ไข
3. มอเตอร์ร้อนผิดปกติ	1. โหลดเกินพิกัด	วัดกระแสเทียบกระแส Name Plate ถ้าโหลดเกินให้ลดโหลดหรือเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น
	2. แรงดันป้อนไม่ถูกต้อง	ป้อนแรงดันให้ได้ตามพิกัด
	3. Centrifugal switch ทำงานไม่ถูกต้อง	ถอดประกอบ ทำความสะอาด ตรวจสอบ ปรับแต่ง หรือเปลี่ยนใหม่
	4. แบร์ริง	ตรวจสอบว่าเพลางอหรือไม่ แบร์ริงชำรุดหรือหลวมหรือแห้งหรือน้ำมันหล่อลื่นมากเกินไปหรือไม่ ถ้าเพลางอต้องดัดให้ตรงหรือปรับแต่งใหม่ ถ้าแบร์ริงชำรุดหรือหลวมต้องเปลี่ยนใหม่ ถ้าแบร์ริงแห้งอัดจาระบีหรือเปลี่ยนใหม่ ถ้าแบร์ริงมีน้ำมันมากเกินไปให้เช็ดออก
4. ขณะงานมีเสียงดังผิดปกติ	1. แบร์ริง	ตรวจสอบว่าเพลางอหรือไม่ แบร์ริงชำรุดหรือหลวมหรือแห้งหรือน้ำมันหล่อลื่นมากเกินไปหรือไม่ถ้าเพลางอต้องดัดให้ตรงหรือปรับแต่งใหม่ ถ้าแบร์ริงชำรุดหรือหลวมต้องเปลี่ยนใหม่ ถ้าแบร์ริงแห้งอัดจาระบีหรือเปลี่ยนใหม่ ถ้าแบร์ริงมีน้ำมันมากเกินไปให้เช็ดออก
	2. ระยะ Play ของเพลามากเกินไป	กวดสกรูฝาครอบให้แน่นหรือเพิ่มแหวนที่เพล
	3. เพลที่ขบโหลดไม่ได้ศูนย์	ปรับเพลที่ขบโหลดให้ได้ศูนย์
	4. ยึดมอเตอร์ไม่แน่น	กวดสกรูทุกตัวที่หลวมให้แน่น
5. ไฟรั่วเมื่อเอามือสัมผัสมอเตอร์	1. ขดลวด Stator รั่วลงดิน	เปลี่ยนขดลวดที่รั่วลงดินใหม่ ตรวจสอบข้อต่อสายที่กล่องต่อสาย หรือตรวจสอบข้อต่อสายดิน ทำความสะอาดและต่อสายให้แน่นถ้ายังไม่มีสายดินให้ต่อสายดินใหม่
	2. ไฟฟ้าสถิตย์	ตรวจสอบข้อต่อสายที่กล่องต่อสายหรือตรวจสอบข้อต่อสายดิน ทำความสะอาดและต่อสายให้แน่นถ้ายังไม่มีสายดินให้ต่อสายดินใหม่

4 Universal Motor

ข้อขัดข้อง	สาเหตุ	การแก้ไข
1. มอเตอร์สปาร์ค	1. ต่อสายจาก Armature ลงคอมมิวเตเตอร์ผิด	ตรวจสอบและต่อสายลงคอมมิวเตเตอร์ใหม่
	2. ขดลวดฟิลด์ลัดวงจร	เปลี่ยนขดลวดฟิลด์ที่ลัดวงจรใหม่

ข้อขัดข้อง	สาเหตุ	การแก้ไข
	3. ขดลวด Armature ลัดวงจร	เปลี่ยนขดลวด Armature ชุดที่ลัดวงจรใหม่
	4. ต่อปลายขดลวดผิด	ตรวจสอบและสลับปลายสายใหม่
	5. แบร้งชำรุด	เปลี่ยนแบร้งใหม่
	6. ไมก้ากันช็อคคอมมิวเตเตอร์หนาเกินไป	เปลี่ยนไมก้าใหม่ให้บางลง
	7. หมุนกลับทิศทาง	ต่อมอเตอร์ให้หมุนถูกต้องทิศทาง
2. มอเตอร์ร้อนผิดปกติ	1. แบร้งชำรุด หรือ แห้ง	เปลี่ยนแบร้งใหม่
	2. ขดลวด Armature ลัดวงจร	ตรวจสอบและเปลี่ยนขดลวดที่ลัดวงจรใหม่
	3. โหลดเกินปกติ	วัดกระแสเทียบกระแส Name Plate ถ้าโหลดเกินให้ลด หรือเปลี่ยนมอเตอร์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น
	4. ขดลวดฟیلต์ลัดวงจร	เปลี่ยนขดลวดฟیلต์ใหม่
	5. แปร่งถ่านไม่อยู่ในตำแหน่ง Neutral	เลื่อนแปร่งถ่านให้อยู่ตำแหน่งให้ถูกต้อง
3. มอเตอร์มีควัน	1. ขดลวด Armature ลัดวงจร	ตรวจสอบและเปลี่ยนขดลวดที่ลัดวงจรใหม่
	2. ขดลวดฟیلต์ลัดวงจร	เปลี่ยนขดลวดฟیلต์ที่ลัดวงจรใหม่
	3. แบร้งชำรุด	เปลี่ยนแบร้งใหม่
	4. แรงดันป้อนไม่ตรงตามปกติ	ป้อนแรงดันให้ตรงตามปกติ
	5. โหลดเกินปกติ	วัดกระแสเทียบกระแส Name Plate ถ้าโหลดเกินให้ลดโหลดหรือเปลี่ยนมอเตอร์ ใหม่ขนาดใหญ่ขึ้น
4. มอเตอร์มีแรงบิดต่ำ	1. ขดลวด Armature ลัดวงจร	เปลี่ยนขดลวด Armature ชุดที่ลัดวงจรใหม่
	2. ตำแหน่งแปร่งถ่านไม่ถูกต้อง	เลื่อนแปร่งถ่านให้อยู่ตำแหน่งถูกต้อง
	3. ขดลวดฟیلต์ลัดวงจร	เปลี่ยนขดลวดฟیلต์ลัดวงจรใหม่
	4. แบร้งชำรุด	เปลี่ยนแบร้งใหม่

5.มอเตอร์ ๓ เฟส สี่โวลต์และมอเตอร์ ๓ เฟสสี่ขั้ว

ข้อขัดข้อง	สาเหตุ	การแก้ไข
1. มอเตอร์ไม่หมุน	1. เซอร์คิตเบรกเกอร์เปิดหรือฟิวส์ขาด	ตรวจสอบว่ามอเตอร์รั่วลงดินหรือไม่ สับเซอร์คิตเบรกเกอร์ หรือเปลี่ยนฟิวส์ใหม่
	2. โอเวอร์โวลต์รีเลย์เปิด	รอจนกระทั่งมอเตอร์เย็นแล้วกรีดยให้ต่อวงจร
	3. แรงดันป้อนต่ำกว่าปกติ	ป้อนแรงดันให้ได้ตามปกติ
	4. ขดลวด Stator หรือขดลวด Rotor ขาดหรือลัดวงจร	เปลี่ยนขดลวดชุดที่ขาดหรือลัดวงจรใหม่
	5. ขดลวดรั่วลงดิน	ตรวจสอบและเปลี่ยนขดลวดชุดที่รั่วลงดินใหม่
	6. โหลดเกินปกติ	วัดกระแสเทียบกระแส Name Plate ถ้าเกินปกติให้ลดโหลดหรือเพิ่มขนาดของมอเตอร์ให้ใหญ่ขึ้น

ข้อขัดข้อง	สาเหตุ	การแก้ไข
2. ขณะทำงานมีเสียงดัง	1. โหลดไม่สมดุลย์หรือคัปปลิ้งไม่ได้ศูนย์	จัดโหลดให้สมดุลย์หรือจัดการปรับคัปปลิ้งให้ได้ศูนย์
	2. ช่องว่างระหว่าง โรเตอร์และ สเตเตอร์ไม่เสมอ	เปลี่ยนแปรงและปรับโรเตอร์ให้ได้ศูนย์
	3. แผ่นเหล็กบางลึมนิดไม่แน่น	กดนิตให้แน่น อาบวานิชและอบให้แห้ง อาจทำหลายครั้ง
	4. การคัปปลิ้งไม่แน่น	ปรับคัปปลิ้งให้แน่น
3. มอเตอร์ร้อนผิดปกติ	1. โหลดเกินพิกัด	วัดกระแสเทียบกระแส Name Plate ถ้าโหลดเกินให้ลดโหลดหรือเปลี่ยนขนาดมอเตอร์ให้ใหญ่ขึ้น
	2. แรงดันป้อนไม่สมดุลย์	ปรับแรงดันป้อนให้สมดุลย์
	3. ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่
	4. การระบายความร้อนไม่ดี	ทำความสะอาดเอาสิ่งกีดขวางทางระบายความร้อนออก
	5. ขดลวด Rotor ขาดหรือลัดวงจรหรือรั่วลงดิน	ตรวจสอบและเปลี่ยนขดลวดชุดที่ขาดหรือลัดวงจรหรือรั่วลงดินใหม่
	6. ขดลวด Stator ขาดหรือลัดวงจรหรือรั่วลงดิน	ตรวจสอบและเปลี่ยนขดลวดชุดที่ขาดหรือลัดวงจรหรือรั่วลงดินใหม่
	7. แปรง	ตรวจสอบว่าแปรงชำรุด หรือหลวม หรือแห้ง หรือมีน้ำมันหล่อลื่นมากเกินไปหรือไม่ ถ้าแปรงชำรุดหรือหลวมให้เปลี่ยนใหม่ ถ้าแปรงแห้งให้อัดจาระบีหรือเปลี่ยนใหม่ ถ้าแปรงมีน้ำมันหล่อลื่นมากเกินไปให้เช็ดออก
4. มอเตอร์ Slip-ring หมุนช้า เมื่อความต้านทานภายนอกที่นำมาต่อกับ Rotor ถูกตัดออกแล้ว	1. สายต่อไปยังความต้านทานภายนอกมีขนาดเล็ก	เปลี่ยนสายไฟให้โตขึ้น
	2. Rotor วงจรเปิด ที่สายไฟหรือตัวควบคุม	ทำความสะอาดต่อสายใหม่และซ่อมแซม
	3. สปาร์คที่แปรงถ่านอย่างแรง	ทำความสะอาด Slip-ring และวางแปรงถ่านใหม่

6. Synchronous motor

ข้อขัดข้อง	สาเหตุ	การแก้ไข
1. มอเตอร์ไม่หมุน	1. ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่
	2. อุปกรณ์สตาร์ทเสีย	ตรวจสอบ ซ่อม หรือเปลี่ยนคอนแทคที่เสียหรือเปลี่ยนคอยล์แม่เหล็กใหม่

ข้อขัดข้อง	สาเหตุ	การแก้ไข
	3. แรงดันป้อนต่ำกว่าพิกัด	ป้อนแรงดันให้ได้ตามพิกัด
	4. แบร้ง	ตรวจดูว่าเพลงอหรือแบร้งชำรุดหรือหลวมหรือแห้ง หรือมีน้ำมันหล่อลื่นมากเกินไปหรือไม่ ถ้าเพลงอต้องดัดให้ตรง หรือปรับแต่งเพลงใหม่หรือเปลี่ยนเพลงใหม่ ถ้าแบร้งชำรุด หรือหลวมให้เปลี่ยนใหม่ ถ้าแบร้งแห้งให้อัดจาระบีหรือเปลี่ยนใหม่ถ้าแบร้งมีน้ำมันหล่อลื่นมากเกินไปให้เช็ดออก
	5. โหลดเกินพิกัด	วัดกระแสเทียบกระแส Name Plate ถ้าโหลดเกินให้ลดโหลดหรือเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ขนาดใหญ่ขึ้น
	6. ขดลวด Stator ขาดหรือลัดวงจร	เปลี่ยนขดลวดชุดที่ขาดหรือลัดวงจรใหม่
	7. มีกระแสจาก Exciter กำลังป้อนให้ฟิลต์อยู่	ต้องแน่ใจว่าคอนแทกเตอร์ของฟิลต์เปิดและ Field Discharge Resistor ต่ออยู่
2. มอเตอร์หมุนช้า	1. โหลดเกินพิกัด	วัดกระแสเทียบกระแส Name Plate ถ้าโหลดเกินให้ลดโหลดหรือเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ขนาดใหญ่ขึ้น
	2. แรงดันป้อนต่ำกว่าพิกัด	ป้อนแรงดันให้ได้ตามพิกัด
	3. ป้อนกระแสฟิลต์ทันทีทันใด	ปรับ Time-Delay Relay เพื่อไม่ให้กระแสจาก Exciter ป้อนฟิลต์ จนกว่าจะหมุนด้วยความเร็วเกือบเท่าความเร็วซิงโครนัส
3. ไม่มีกระแสป้อนฟิลต์	1. ขดลวด Rotor ขาดหรือรั่วลงดิน	ซ่อมหรือเปลี่ยนขดลวดชุดที่ขาดหรือรั่วลงดินใหม่
	2. Slip-ring ลัดวงจรหรือรั่วลงดิน	ตรวจหรือเปลี่ยนฉนวนใหม่
	3. ไม่มี Out-put จาก Exciter	ตรวจสอบสายต่อคอนแทกเตอร์ ว่าทำงานปกติหรือไม่ ถ้าชำรุดให้เปลี่ยนใหม่
4. Rotor ไม่สามารถหมุนด้วยความเร็วของซิงโครนัส	1. ไม่มีกระแสป้อนฟิลต์ ขดลวด Rotor ขาด Exciter ไม่ทำงาน คอนแทกเตอร์ของฟิลต์ชำรุด	ตรวจและต่อข้อต่อทุกแห่งให้แน่น ซ่อมหรือเปลี่ยนขดลวด Rotor เสียใหม่ถ้าคอนแทกเตอร์ฟิลต์ชำรุดต้องซ่อมหรือเปลี่ยนใหม่
	2. โหลดเกินพิกัด	วัดกระแสเทียบกระแส Name Plate ถ้าโหลดเกินให้ลดโหลดหรือเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ขนาดใหญ่ขึ้น
5. มอเตอร์หยุดหมุนหรือเซอร์กิตเบรกเกอร์เปิดวงจร (Trip)	1. แรงดันจาก Exciter ต่ำ	ปรับเรกกูเลเตอร์แรงดันที่ Exciter เพื่อเพิ่มแรงดัน

ข้อขัดข้อง	สาเหตุ	การแก้ไข
	2. สายต่อขาดหรือลัดวงจรทันทีทันใด	ตรวจและเปลี่ยนสายที่ขาดหรือลัดวงจร
	3. แรงดันป้อนต่ำกว่าพิกัด	ป้อนแรงดันให้ได้ตามพิกัด ถ้าไม่ได้ให้เพิ่มแรงดันป้อนฟิลต์
6. Rotor แก้ว (Hunting)	1. โหลดเปลี่ยนแปลงบ่อย ๆ	เพิ่มหรือลดขนาดของ Fly Wheel ที่โหลด เพิ่มหรือลดกระแสป้อนฟิลต์
	2. คอมมิวเตเตอร์ไม่เรียบ	ปรับคอมมิวเตเตอร์ให้เรียบ
7. มอเตอร์ร้อนเป็นจุด ๆ	1. ขดลวดบางเฟสขาด	ตรวจ ซ่อม หรือเปลี่ยนขดลวดชุดที่ขาดใหม่
	2. Rotor ไม่ได้ศูนย์	ตรวจดูว่าเพลงอหรือไม่ แบริงชำรุด หลวมหรือไม่ ถ้าเพลงอต้องดัดให้ตรง หรือปรับแต่งเพลงใหม่ ถ้าแบริงชำรุดหรือหลวมให้เปลี่ยนใหม่
	3. วงจรภายในไม่สมดุลย์	ซ่อมข้อต่อสายที่หลวม หรือต่อภายในให้ถูกต้อง
	4. ขดลวดลัดวงจร	ตรวจและเปลี่ยนขดลวดชุดที่ลัดวงจรใหม่
8. ฟิลต์ร้อนผิดปกติ	1. โหลดเกินพิกัด	วัดกระแสเทียบกระแส Name Plate ถ้าโหลดเกินพิกัดหรือเปลี่ยนมอเตอร์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น
	2. ป้อนกระแส Rotor ต่ำ	ปรับกระแส Rotor ให้ได้ตามพิกัด
	3. การระบายความร้อนไม่ถูกต้อง	เอาสิ่งกีดขวางทางลมออก ทำความสะอาดช่องทางระบายความร้อน
	4. ป้อนแรงดันไม่ถูกต้อง	ปรับแรงดันป้อนให้ได้ตามพิกัด
	5. ต่อสายฟิลต์คอยล์สลับกัน	ตรวจลำดับขั้วฟิลต์ สลับสายต่อฟิลต์คอยล์ใหม่

การควบคุมมอเตอร์

ในเรือปัจจุบันนี้ ส่วนใหญ่จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นต้นกำลังงานในการทำงานเกือบทั้งสิ้น เพราะมีความสะดวกในการใช้งานและราคาถูกกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (ปัจจุบันมีน้อยมาก)

การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าในส่วนนี้ จะกล่าวถึงเฉพาะ Three Phase Motor เท่านั้น ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่ใช้เป็นต้นกำลังหลักภายในเรือ

1. จุดมุ่งหมายของการควบคุมมอเตอร์

- ◆ การเริ่มเดิน และการควบคุมทิศทางตามต้องการ
- ◆ การป้องกันมอเตอร์ทำงานเกินกำลัง
- ◆ การพิชิตกระแสไฟฟ้าขณะเริ่มเดิน
- ◆ การหยุดได้ตามที่ต้องการ
- ◆ การควบคุมความเร็วตามต้องการ

1.1. การเริ่มเดินมอเตอร์ (Starting Motor)

การเริ่มเดินมอเตอร์นั้น สามารถกระทำได้ 2 วิธีการใหญ่ ๆ คือ

- 1) การเริ่มเดินโดยการต่อตรงเข้ากับสายเมน (Direct on Line) การเริ่มเดินแบบนี้โดยทั่ว ๆ ไป ใช้กับมอเตอร์ที่มีขนาดไม่เกิน 7.5 HP.
- 2) การเริ่มเดินโดยการพิชิตกระแสเริ่มเดิน วิธีการนี้โดยทั่ว ๆ ไป ใช้กับมอเตอร์ที่มีขนาดเกินกว่า 7.5 HP. ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น
 - การเริ่มเดินโดยการต่อแบบ γ และเดินแบบ Δ (Start Star Run Delta)
 - การเริ่มเดินโดยใช้ตัวต้านทาน (Resistance Starter)
 - การเริ่มเดินโดยการพิชิตแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Auto Transformer Starter)
 - การเริ่มเดินโดยต่อกับบางส่วนของขดลวด (Part-Winding Starting)

1.2. การกลับทิศทางการหมุน (Reversing)

มอเตอร์ที่ใช้งานบางอย่างต้องการทิศทางการหมุนทั้งแบบตามเข็มนาฬิกา และทวนเข็มนาฬิกา เช่น รอกไฟฟ้า ดังนั้นการออกแบบเครื่องควบคุมมอเตอร์จำเป็นที่จะต้องออกแบบเพื่อให้มอเตอร์หมุนกลับทิศทางได้ และสามารถควบคุมทิศทางตามต้องการได้นั่นเอง

1.3. การป้องกันมอเตอร์ขณะทำงาน (Motor Protection)

ในขณะที่มอเตอร์กำลังทำงานอยู่นั้น (ขณะหมุน) ปกติอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์นั้นจะต้องมีอุปกรณ์สำหรับป้องกันกระแสเกิน (มอเตอร์บางตัวอาจมีอุปกรณ์ป้องกันตัวเองอยู่ในขดลวดสเตเตอร์ด้วย) เพื่อป้องกันการทำงานของมอเตอร์ไม่ให้เกินพิกัด นอกจากนั้นแล้วยังมีอุปกรณ์บางอย่างที่ติดตั้งอยู่ในชุดควบคุมมอเตอร์เพื่อความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงานด้วย

1.4. การควบคุมความเร็วตามต้องการ (Speed Control)

งานบางอย่างจำเป็นที่จะต้องใช้ความเร็วหลายระดับ ดังนั้นบางแบบจึงออกแบบมาให้มีหลายระดับความเร็ว โดยการสร้างขดลวดที่ Stator ให้มีขดลวด 1 ชุด หรือหลายชุดก็ได้ แยกออกเป็น 3 แบบคือ

- 1) แรงม้าคงที่แต่แรงบิดเปลี่ยนแปลง (Constant Horse Power but Variable Torque)
- 2) แรงบิดคงที่แต่แรงม้าเปลี่ยนแปลง (Constant Torque but Variable Horse Power)
- 3) แรงม้าและแรงบิดเปลี่ยนแปลง (Variable Horse Power and Variable Torque)

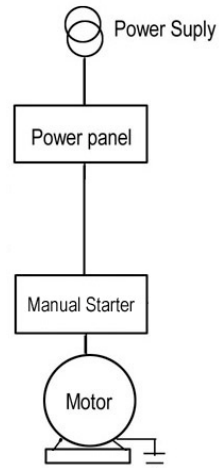
มอเตอร์ทั้ง 3 แบบ เราสามารถสังเกตได้จาก Name Plate ของมอเตอร์แล้วนำไปใช้งานได้ตามต้องการ ดังนั้นการใช้งานจึงจำเป็นต้องออกแบบวงจรการควบคุมให้ทำตามต้องการของมอเตอร์ และงานที่ใช้

2. ชนิดของการควบคุมมอเตอร์ (Type of Motor Control)

การควบคุมมอเตอร์เราสามารถแบ่งออกเป็นชนิดใหญ่ๆ ได้ 2 วิธีด้วยกัน คือ

- 1) การควบคุมแบบ Manual Control
- 2) การควบคุมแบบ Automatic Control

1.1. การควบคุมแบบ Manual Control นี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมมีการทำงานด้วยมือ เช่น Toggle Switch, Safety Switch, Drum Switch มอเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมด้วยมือจะเป็นมอเตอร์ที่มี HP. น้อยๆ ไม่ควรเกินกว่า 5 HP ซึ่งนิยมใช้มากตามบ้านพักอาศัย เครื่องเจาะโลหะขนาดเล็ก เครื่องทำเกลียวท่อน้ำ เป็นต้น ดังนั้นมอเตอร์ที่ใช้การควบคุมด้วยมือจะเป็นมอเตอร์ประเภทสตาร์ทโดยตรงจากสายเมนดังรูป



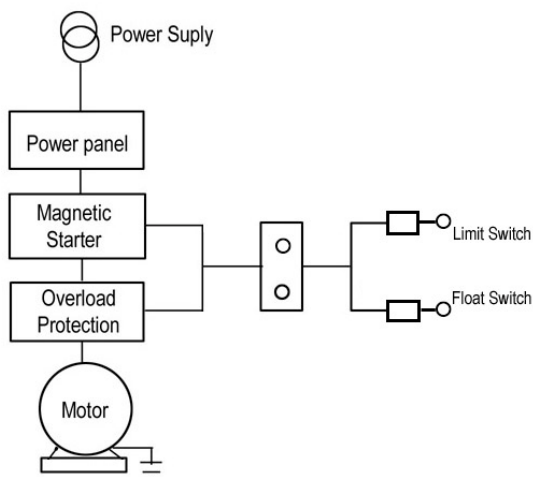
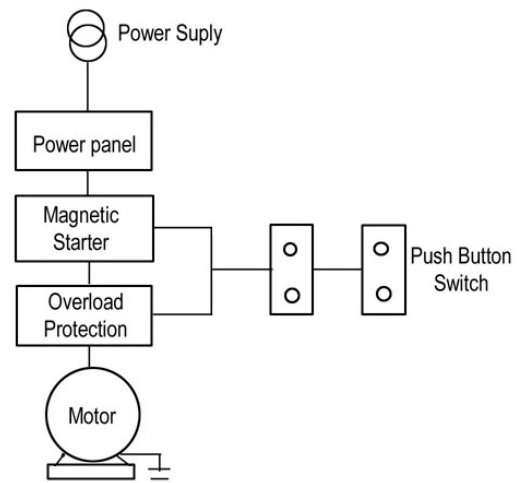
1.2. การควบคุมแบบ Automatic Control

การควบคุมแบบอัตโนมัติ ยังแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีด้วยกัน คือ

- 1) การควบคุมแบบ Semiautomatic Control
- 2) การควบคุมแบบ Automatic Control

1.2.1. การควบคุมแบบ Semiautomatic Control

การควบคุมแบบนี้จะต้องใช้ Magnetic Contactor Relay หรือสวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า พร้อมกับสวิตช์ปุ่มกด Push Button Switch ตั้งแต่ 2 ชุดขึ้นไป เพื่อทำการ Start และ Stop นั้นเอง การควบคุมแบบนี้เราอาจจะใช้ Drum Switch เข้ามาร่วมกับการทำงานก็ได้

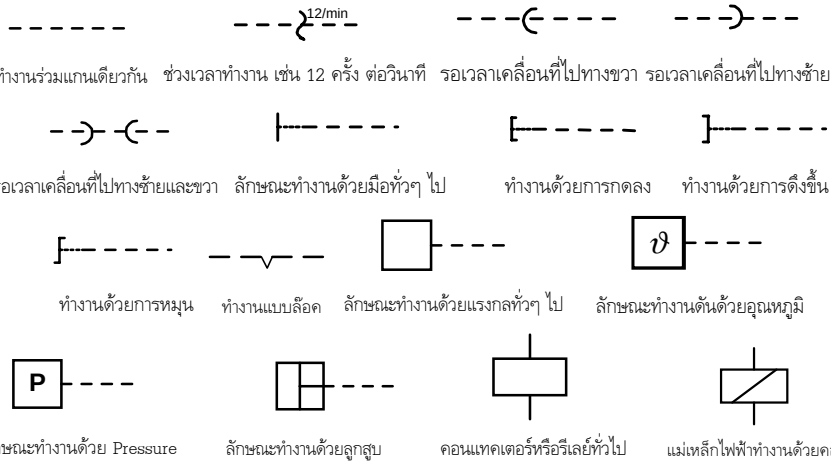


1.2.2. การควบคุมแบบ Automatic Control การควบคุมแบบนี้ มีลักษณะที่คล้ายๆ กับแบบ Semiautomatic Control แต่เพิ่มเติมอุปกรณ์อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างดังต่อไปนี้ Limit Switch, Float Switch, Floatless Relay, Pressure Switch, Temperature Switch, Flow Switch, Time Delay Relay เป็นต้น เข้าร่วมกับวงจร แล้วส่งผลให้วงจรสามารถทำงานได้แบบซ้ำซากวนเวียนต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา

2. การเขียนแบบควบคุมมอเตอร์

การเขียนแบบเพื่อการควบคุมมอเตอร์ จะต้องเขียนสัญลักษณ์ลงในแบบแทนของจริง ซึ่งสัญลักษณ์ต่าง ๆ นั้นแล้วแต่ที่เราจะนำเอาระบบสัญลักษณ์ตามมาตรฐานแบบใดมาใช้ เช่น Din 40713, Din 40703 ฯลฯ

ตัวอย่างสัญลักษณ์ไฟฟ้า และชนิดอุปกรณ์



สัญลักษณ์	ชนิดอุปกรณ์	สัญลักษณ์	ชนิดอุปกรณ์
	-Disconnecting Switch -Fuse Disconnecting Switch		-Load Breaker Switch -Disconnecting Load Breaker Switch
	-Circuit Break Switch -Disconnecting Circuit Break Switch		Contactor 3 ขั้ว
	Overload Relay แบบธรรมดา		Pressure Switch
	Push Button NC Push Button NO		สวิตช์ปุ่มกด หน้าสัมผัสต่าง
	สวิตช์ลูลอย		Flow Switch
	Overload Relay contact วงจรควบคุม		Fuse
	Push Button (1 NC, 1 NO)		Limit Switch
	Relay (1 NC, 1 NO)		Timer Relay
	Change Over Contact		Select switch
	Transformer		Signal Lamp

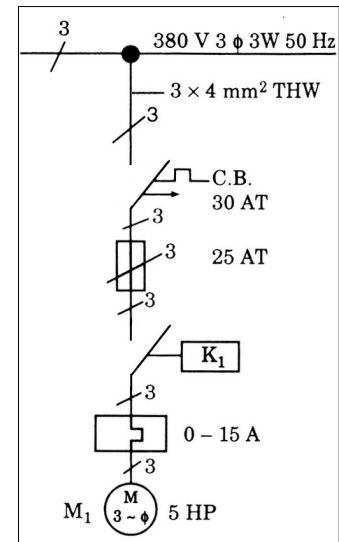
3. การเขียนแบบวงจรควบคุมมอเตอร์ด้วย Magnetic Contactor

การเขียนแบบวงจรไฟฟ้าแบบวงจรควบคุมแบ่งออกได้เป็น 4 แบบด้วยกัน ดังนี้คือ

3.1. วงจรสายเดี่ยว (One Line Diagram)

วงจรสายเดี่ยวเป็นแบบวงจรที่แสดงวงจรชนิดหนึ่งทีเขียนด้วยเส้นสายเดี่ยวเท่านั้น จากวงจรในรูป จะแสดงให้เห็นเพียงแต่

- Power Supply จำนวน Phase Wire ระดับแรงเคลื่อนและความถี่
- จำนวนสายไฟฟ้า
- ขนาดและชนิดของสายไฟฟ้า
- ขนาดและจำนวนของอุปกรณ์ เช่น Contactor Relay (K_1) Overload Relay (F_2) Motor (M_1)

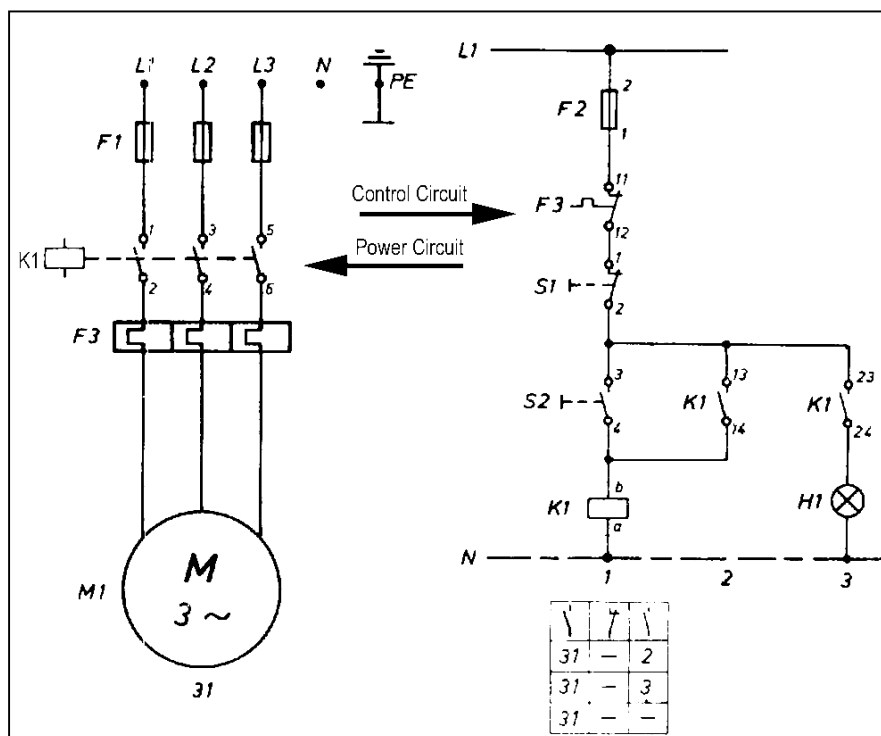


3.2. วงจรแสดงการทำงาน (Schematic Diagram)

วงจรแสดงการทำงาน สามารถแบ่งตามลักษณะของวงจรออกได้เป็น 2 แบบด้วยกัน

3.2.1. วงจรกำลัง (Power Circuit) แบบวงจรนี้จะเขียนแสดงรายละเอียดของวงจรกำลังเท่านั้น โดยเริ่มจากวงจรย่อย ผ่าน Main Fuse (F_1) Main Contactor (K_1) Overload Relay (F_2) และต่อเข้ามายังมอเตอร์

3.2.2. วงจรควบคุม (Control Circuit) แบบวงจรควบคุมนี้จะแสดงรายละเอียดการทำงานของ



Magnetic Contactor และอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของ Magnetic Contactor เช่น Push Button Switch. Limit Switch. Pressure Switch. Temperature Switch เป็นต้น การเขียนแบบวงจรชนิดนี้สายแยกต่างๆ จะเขียนในแนวตั้งและแนวนอนเท่านั้น สายในแนวตั้งและแนวนอนจะพาดผ่าน

หรือข้ามสายเมนไม่ได้ จะต้องเป็นไปตามลำดับแถวในแนวดิ่ง คือ แถวที่ 1, 2, 3.....จนถึงแถวสุดท้าย

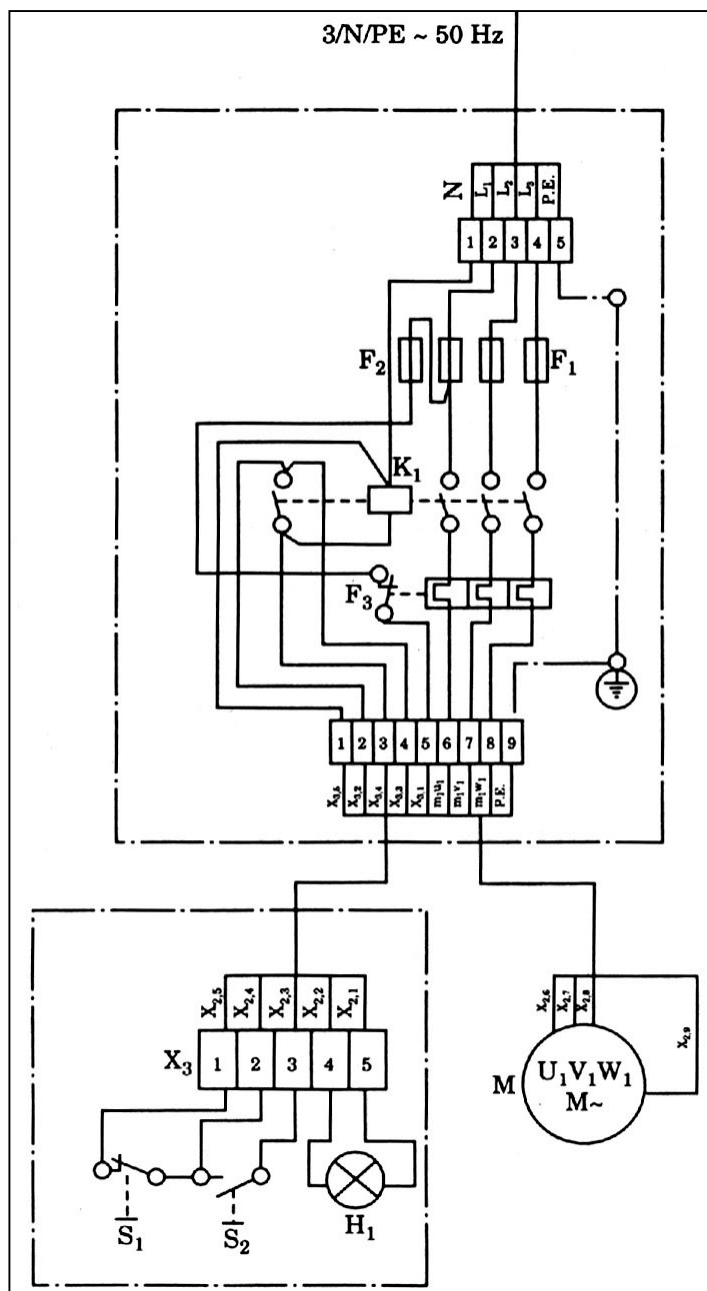
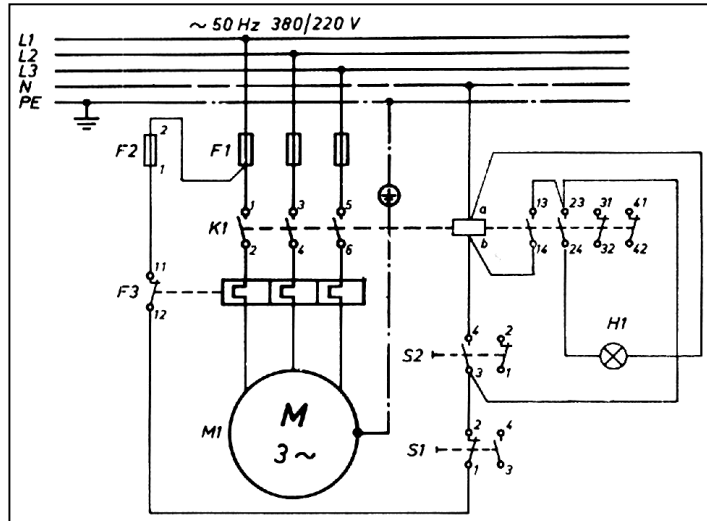
วงจรแสดงการทำงานดังกล่าวเบื้องต้น เราจะใช้สัญลักษณ์ของอุปกรณ์ต่างๆ เขียน ส่วน Contactor ของ Magnetic Contactor หรือสวิตช์ต่างๆ เราสามารถเขียนแยกกันอยู่ตามส่วนต่างๆ ของวงจรได้ โดยเขียนตัวอักษรและตัวเลขกำกับกับ Contactor นั้น ๆ

3.3. แบบงานจริง (Working Diagram)

แบบวงจรงานจริง เป็นการรวมเอา วงจร Schematic Diagram ของวงจร Power และ Control เข้าด้วยกัน ดังนั้นการเขียนจึงมีลักษณะคล้ายงานจริง แต่เขียนอยู่ในรูปของสัญลักษณ์ ตามรูป

3.4. วงจรประกอบการติดตั้ง (Constructional Diagram)

ระบบการควบคุมมอเตอร์มักจะแยกกันอยู่กับมอเตอร์ โดยเฉพาะตู้ควบคุม ยังประกอบด้วยแผงติดตั้ง Contactor ต่างๆ และฝาตู้ ซึ่งที่ฝาตู้มักจะประกอบด้วยสวิตช์ต่างๆ หลอดสัญญาณ เครื่องวัดเป็นต้น ดังนั้นการที่จะนำสายไฟจากแผงควบคุมในตู้มายังฝาตู้มักจะประกอบเข้าด้วยกันที่แผงต่อสาย (Terminal Box) โดยใช้ Wire Marker เป็นตัวกำกับและชี้บอก เรามักจะเขียนวงจรจากชุดหนึ่งมายังอีกชุดหนึ่งโดยเส้นวงจรเดียว แต่แสดงรายละเอียดที่ Terminal Box ตามรูป

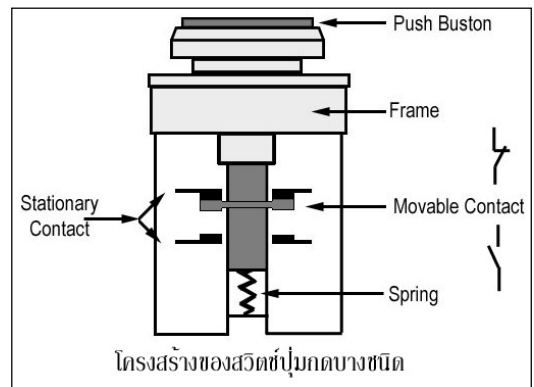


4. สวิตช์และอุปกรณ์ควบคุม

สวิตช์และอุปกรณ์ควบคุมในส่วนที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นเพียงอุปกรณ์บางอย่างเท่านั้น ที่ใช้และพบเห็นภายในเรือส่วนใหญ่ และจะต้องใช้เป็นประจำ ซึ่งยังไม่ครอบคลุมไปทั้งหมดในเรื่องของสวิตช์และอุปกรณ์ควบคุม

4.1. สวิตช์ปุ่มกด (Push Button Switch)

- ◆ สวิตช์ปุ่มกด เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมวงจรควบคุมแบบใช้มือกดเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม เช่น กดให้วงจรทำงาน (Start) หรือหยุดการทำงานของวงจรควบคุม (Stop) รูปร่างสวิตช์ปุ่มกดจะมีหลายแบบ เช่น
 - สวิตช์ปุ่มกดแบบธรรมดาที่ใช้กับงาน **Start** หรือ **Stop** มีทั้งแบบตัวเดี่ยว แบบติดฝาตู้ และเป็นกล่อง
 - สวิตช์ปุ่มกดหัวเห็ด (**Giant Head Push Button**) เป็นสวิตช์ปุ่มกดหัวใหญ่กว่าธรรมดาแบบหัวเห็ด เพื่อให้มีพื้นที่ในการกดสัมผัสมากเหมาะสำหรับใช้เป็น **Emergency Switch** เช่น ต้องการให้วงจรหยุดทำงานเมื่อเกิดอุบัติเหตุหรือเกิดการผิดปกติของวงจร
 - สวิตช์ปุ่มกดพร้อมหลอดไฟสัญญาณ (**Illuminated Push Button**) เป็นสวิตช์ปุ่มกดที่มีหลอดไฟสัญญาณติดอยู่ เมื่อกดสวิตช์ปุ่มกดให้ทำงานหลอดไฟสัญญาณจะสว่าง
 - สวิตช์ปุ่มกดแบบเท้าเหยียบ (**Foot Push Button Switch**) เป็นสวิตช์ปุ่มกดที่ใช้เท้าเหยียบเหมาะสำหรับใช้งานกับเครื่องจักรกล บางที่เราอาจใช้เป็น **Emergency Switch** ก็ได้



4.2. Pressure Switch

- ◆ จะใช้ในงานที่ต้องการควบคุมความดันตามต้องการ เช่น อุปกรณ์ที่ทำงานด้วยลมหรือน้ำมัน ได้แก่ เครื่องมืองานช่างเชื่อม เครื่องมืองานกล ระบบการหล่อลื่นที่ใช้ความดันสูงและมอเตอร์ขับเคลื่อน การทำงานของสวิตช์ความดันจะใช้หลักการของไดอะเฟรมควบคุมการทำงานของสวิตช์ เช่น ถ้ามีความดันสูงเกินกว่าที่ตั้งไว้ สวิตช์จะตัดวงจร หรือถ้าความดันต่ำสวิตช์ก็จะต่อวงจร

4.3. Flow Switch

- ◆ เป็นอุปกรณ์สวิตช์ที่ติดตั้งไว้กับท่อ เมื่อมีของเหลวหรืออากาศไหลผ่านอุปกรณ์สวิตช์ ก็จะทำให้หน้าสัมผัสทำงาน ปกติหน้าสัมผัสที่ใช้ในสวิตช์ควบคุมการไหลมีอยู่ 2 แบบคือ แบบปกติปิดและแบบปกติเปิด ในทางปฏิบัตินิยมต่อสวิตช์ควบคุมการไหลอนุกรมกับ **Coil Magnetic Contactor** หรือหลอดไฟสัญญาณ

4.4. Limit Switch

- ◆ มีใช้กันมากในงานที่ต้องการให้เครื่องจักรทำงานเองโดยอัตโนมัติ สวิตช์จำกัดระยะจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีแรงมากที่ก้านหรือแขนของสวิตช์จำกัดระยะ ปกติจะใช้ร่วมกับหลอดไฟสัญญาณในวงจรควบคุม **Magnetic Contactor** และใช้เป็นตัวต่อวงจรมอเตอร์

4.5. Solenoid Valve

- ◆ เป็นอุปกรณ์สวิตช์ที่อาศัยหลักการทำงานของแม่เหล็กไฟฟ้าทำงานร่วมกับกลไก โดยการใช้การป้อนไฟเป็นตัวกำหนดเงื่อนไขในการทำงานควบคุมให้ลิ้นกลไกปิดหรือเปิดได้ อุปกรณ์ที่ใช้ Solenoid Valve ควบคุม ได้แก่ วาล์วน้ำ เบรก และ Clutch เป็นต้น

4.6. Selector Switch

- ◆ มีใช้มากในงานที่ต้องควบคุมการทำงานด้วยมือ สวิตช์เลือกมี 3 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งหยุด (Off) ตำแหน่งมือ (Hand) และตำแหน่งอัตโนมัติ (Automatic)

4.7. Drum Switch

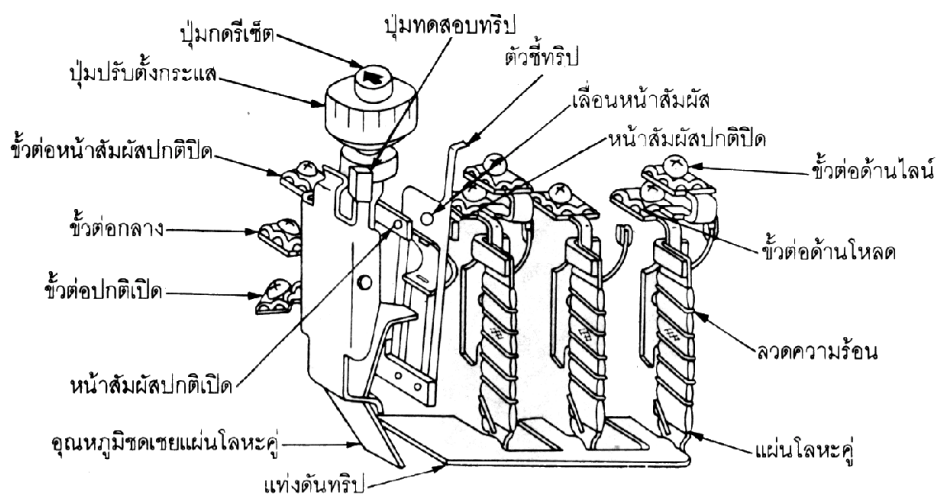
- ◆ ประกอบด้วยชุดหน้าสัมผัสที่ติดตั้งบนแกนหมุนที่สามารถเคลื่อนที่ได้ โดยเมื่อหมุนแกนไปก็จะทำให้หน้าสัมผัสเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นหน้าสัมผัสปิดหรือหน้าสัมผัสเปิดได้

4.8. หลอดสัญญาณ (Signal Lamp, Pilot Lamp)

- ◆ เป็นหลอดไฟที่ใช้แสดงสถานะในการทำงานมีหลายสีหลายแบบ บางชนิดเป็นแบบรวมอยู่กับสวิตช์ปุ่มกดหรือมีหม้อแปลงเล็ก สำหรับจ่ายไฟให้หลอดที่ใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำ รายละเอียดและเทคนิคเวลาเลือกใช้ก็คือ แรงดันใช้งาน รูปแบบและสีของเลนส์

4.9. อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (Overload Protection) หรือ Over Load Relay

- ◆ เป็นอุปกรณ์สำหรับป้องกันมอเตอร์จากการใช้กระแสไฟฟ้าเกินปกติ เนื่องมาจากมอเตอร์มี Load



มากเกินไป หรือมีการลัดวงจรที่ Phase ใด Phase หนึ่ง หรือทั้งสาม Phase

- ◆ Over Load Relay โดยมากจะต่อหลัง Magnetic Contactor ก่อนต่อสายเข้าตัวมอเตอร์ ภายใน

Over Load Relay ประกอบด้วยลวดความร้อนพันอยู่บนแผ่นโลหะคู่เกิดการโก่งตัวไปดันกระเดื่อง ซึ่งปลายด้านหนึ่งของกระเดื่องจะต่อยังกับอุปกรณ์ทางกลที่ใช้สำหรับเปิดวงจรไฟเข้า Coil ของ Magnetic Contactor ทำให้ Magnetic Contactor ไม่ทำงาน เท่ากับหยุดการทำงานของมอเตอร์

- ◆ ทั่วๆ ไปแล้ว Over Load Relay นิยมทำเป็นแบบ Bimetal โดยใช้กระแสที่ไหลผ่าน Load เป็นตัวควบคุมอีกทีหนึ่ง การดัดวงจรอาศัยการงอของ Bimetal ขณะร้อนเนื่องจากกระแสไหลมาก และจะกลับมามีรูปร่างอีกครั้งเมื่อ Bimetal เย็นตัวลง

- ◆ Overload Relay แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้ คือ

1. แบบไม่มี Reset แบบนี้เวลาไบเมทัลเย็นตัวลงคอนแทกจะกลับมามีรูปร่างเดิม
2. แบบมี Reset แบบนี้ถ้าต้องการให้คอนแทกกลับที่เดิมต้องกดปุ่ม Reset ก่อน

สัญลักษณ์ Overload Relay

แบบไม่มี Reset



แบบมี Reset



4.10. Magnetic Contactor

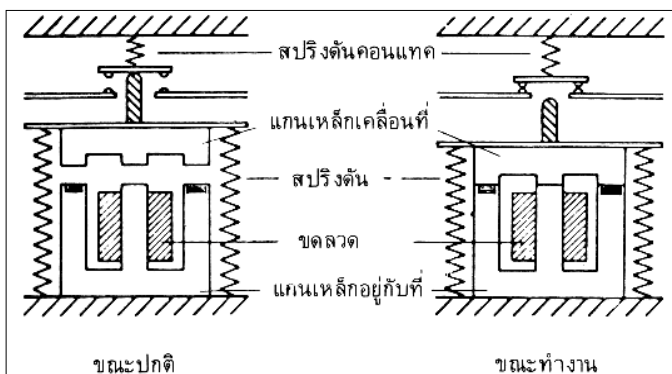
◆ Magnetic Contactor เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิด

หนึ่ง ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวตัดหรือต่อวงจรเหมือนกับสวิตช์ธรรมดาทั่วๆ ไป แต่ Magnetic Contactor ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กแทนการสับสวิตช์ด้วยมือโดยตรง มีข้อดีดังต่อไปนี้

- 1) สามารถตัดต่อวงจรที่มีกระแสไฟฟ้าไหลได้สูง ประมาณ 30 – 400 แอมแปร์
- 2) ให้ความปลอดภัยต่อผู้ควบคุม
- 3) สามารถใช้ร่วมกับอุปกรณ์ Switch เช่น Temperature , Pressure และปรับแต่งการควบคุมให้เป็นแบบ **Semi-automatic Control**

4.10.1. หลักการทำงาน

- จะมีแกนเหล็กรูปตัว E อัดซ้อนกันเป็นแท่งอยู่ 2 ชุด ชุดหนึ่งถูกยึดอยู่กับที่ ที่ขากลาง

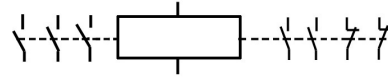


ของแกนเหล็กชุดนี้จะมีขดลวดซึ่งพันอยู่บนบอบบิ้นสวมอยู่ ขดลวดชุดนี้เป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมา ส่วนที่ขาตัว E อีก 2 ข้าง จะมีลวดทองแดงเส้นใหญ่ต่อลัดวงจรไว้เป็นรูปวงแหวน และฝังอยู่ที่ผิวหน้าของแกนเพื่อช่วยลดการสั่นของแกนอันเนื่องมาจากกระแสลัดเรียกว่าวงแหวนนี้ว่า Shaded Ring

- แกนเหล็กอีกชุดหนึ่งเป็นส่วนที่เคลื่อนที่ได้ โดยมีตัว Contact ยึดติดอยู่กับแกนเหล็กทั้ง 2 ชุดนี้ ทำมาจากเหล็กแผ่นบางๆ ที่เคลือบด้วยฉนวน (Laminated Sheet Steel)

- ในสภาวะปกติ (Off) แกนเหล็กทั้ง 2 ชุดนี้ จะถูกดันให้ห่างออกจากกันด้วยสปริงที่ขาทั้ง 2 ข้างของแกน ทำให้ตัว Contact บางตัวต่อวงจรของจุดสัมผัสให้ถึงกัน เราเรียก Contact ชุดนี้ว่า “Normally Close” ในขณะเดียวกัน ก็จะมี Contact บางตัวที่ไม่ได้ต่ออยู่กับจุดสัมผัส เราเรียก Contact ชุดนี้ว่า “Normally Open”
- ขดลวดที่ขากลางของแกนเหล็กจะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมา เมื่อมันได้รับพลังงานไฟฟ้าแรงจากอำนาจแม่เหล็กจะชนะแรงสปริงดึงให้แกนเหล็กชุดที่เคลื่อนที่ เคลื่อนที่ลงมา ในสภาวะนี้ (On) Contact ทั้ง 2 ชุดจะเปลี่ยนสภาวะการทำงาน คือ Normally Close จะเปิดวงจรของจุดสัมผัสออก และ Normally Open จะต่อวงจรของจุดสัมผัส Contact ทั้ง 2 ชุดนี้จะกลับไปอยู่ในสภาวะเดิมอีกครั้งเมื่อหยุดการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับขดลวด
- แรงดันไฟฟ้าที่ใช้กับขดลวด Magnetic Contactor ส่วนใหญ่จะเขียนบอกไว้ที่โครงด้านข้างของ Magnetic Contactor ไม่ควรใช้สูงกว่ากำหนดเพราะจะทำให้ขดลวดไหม้ แต่ถ้าใช้แรงดันต่ำไป Magnetic Contactor อาจไม่ทำงานหรือทำงานแต่ Contact สั่น เกิดการอาร์คที่หน้าสัมผัสของ Contact ซึ่งอาจทำให้เกิดการเสียหายได้

- Magnetic Contactor จะมี Contact 2 ชุด คือ **Main Contactor** ซึ่งเป็น Contactor สำหรับการปิด – เปิด วงจร Load และ **Auxilliary Contactor** เป็น Contactor สำหรับการปิด – เปิดวงจรควบคุม เพราะมีขนาดเล็กและทนกระแสได้ต่ำ



สัญลักษณ์ของ Contactor ดังรูปนี้

Main Contactor ปกติจะเป็นคอนแทกเตอร์
ปกติเปิด (Normally Open)

Aux. Contactor คอนแทกเตอร์ช่วย ปกติจะ
เป็นคอนแทกเตอร์ที่มีขนาดเล็กทนพัดกระแสต่ำ
จะมี 2 ลักษณะด้วยกัน คือ
- ปกติเปิด Normally Open (N.O.)
- ปกติปิด Normally Closed (N.C.)

4.10.2. ชนิดและขนาดของ Contactor ไฟสลับ

- แบ่งตามลักษณะการใช้งานและตามลักษณะของ Load ได้เป็น 4 ชนิด คือ AC1, AC2, AC3 , AC4
 - 1) **AC1** คือ Contactor ที่เหมาะสำหรับใช้กับ Load ที่มีความต้านทาน หมายถึงใน วงจรที่มีค่าขดลวดหรือ Inductive น้อยมาก
 - 2) **AC2** คือ Contactor ที่เหมาะสำหรับใช้กับ Load ที่เป็น Slipring Motor
 - 3) **AC3** คือ Contactor ที่เหมาะสำหรับใช้กับ การ Start และการ Stop Load ที่เป็น Squirrel Cage Motor
 - 4) **AC4** คือ Contactor ที่เหมาะสำหรับใช้กับ Load ที่ Start หรือหยุดวงจร Jogging การกลับทางหมุนของมอเตอร์ที่มี Rotor แบบ Squirrel Cage

4.10.3. ขนาดของ Contactor

- จะเรียกเป็น **Size 0 ,Size 1, Size3** .ตัวเลขที่มีค่ามากกว่าจะแสดงถึงขนาดของ Contactor ที่ใหญ่กว่า คือใช้กับ Load ที่ใช้กับกระแสที่มากกว่าตัวเลขที่มีค่าน้อยกว่า
- การนำไปใช้งาน ให้พิจารณาเลือกขนาดของ Contactor ให้เหมาะสมกับงานหรือ มอเตอร์โดยพิจารณาอัตรากระแส แรงดันของมอเตอร์กับอัตราการทำงานของกระแส และแรงดันของ Contactor ส่วนของมอเตอร์จะต้องต่ำกว่าอัตราทำงานของกระแสของ Contactor ที่แรงดันเท่ากัน Contactor ขนาดหนึ่งใช้ได้กับมอเตอร์ที่มีกิโลวัตต์ต่างกัน เช่น Contactor Size 1 ที่มีอัตรากระแส (Rated current) 16 A. ที่ 380 V. สามารถใช้ได้กับมอเตอร์ขนาด 4 kW 220 V ซึ่งมีอัตรากระแส 15 A. และใช้กับมอเตอร์ขนาด 7.5 kW. 380 Volt อัตรากระแส 15 A. การเลือก Contactor ให้เหมาะสมกับงานควร พิจารณาข้อมูลทางเทคนิคของ Contactor จากบริษัทผู้ผลิตเป็นการประกอบด้วย สิ่งที่ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานได้แก่ สถานที่ใช้งานว่ามีการใช้งานบ่อยครั้งมากหรือไม่ ลักษณะของ Load และการใช้งาน แรงดันและความถี่ที่ใช้ การป้องกันน้ำและการป้องกันจากการสัมผัส รวมทั้งความคงทนทางกลและทางไฟฟ้า

4.11. รีเลย์ตั้งเวลา (Timer Relay)

- ◆ รีเลย์ตั้งเวลา (Timer Relay) เป็น Relay ที่สามารถตั้งเวลาการทำงานของ Contact ได้มีหลายชนิด เช่น

- หน่วงเวลาหลังจากไฟเข้า เมื่อจ่ายไฟให้กับรีเลย์ตั้งเวลา Contact จะอยู่ในตำแหน่งเดิมก่อน เมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้แล้ว Contact จึงจะเปลี่ยนไปที่สภาวะตรงข้ามและจะค้างอยู่ในตำแหน่งนั้นจนกว่าจะหยุดการจ่ายไฟให้กับรีเลย์
- หน่วงเวลาหลังจากไฟออก เมื่อจ่ายไฟให้กับรีเลย์ตั้งเวลา Contact จะเปลี่ยนสภาวะทันทีหลังจากที่เอาไฟออกจากขดลวดแล้วและถึงเวลาที่ตั้งไว้ Contact จึงจะกลับมาอยู่สภาวะเดิม รีเลย์ตั้งเวลาแบบอิเล็กทรอนิกส์ และแบบใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนไม่สามารถทำงานแบบนี้ได้
- รีเลย์หน่วงเวลาแบบอิเล็กทรอนิกส์ กำลังเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม เพราะสามารถตั้งเวลาได้นานนับเป็นชั่วโมงๆ หลักการทำงานก็อาศัยไอซีทำงานแบบการนับลูกคลื่นโดยมีวงจรสร้างสัญญาณขึ้นบันได โดยให้มีความถี่ตามต้องการและมีวงจรตรวจนับสัญญาณความถี่ เมื่อได้นับสัญญาณความถี่ที่ได้ตามต้องการแล้ว รีเลย์ยูนิตก็จะทำงานให้ Contact ทำงานตามไปด้วย

5.12. ปลั๊กฟิวส์ (Plug Fuse) ฟิวส์ที่ใช้ในวงจรควบคุมและวงจรกำลัง จะเป็นฟิวส์แรงดันต่ำเรียกว่าปลั๊กฟิวส์ ซึ่งมีขนาดและรูปร่างหลายแบบ ฟิวส์ดังกล่าวเป็น เอช อาร์ ซี ฟิวส์ (High Rupture Capacity Fuse) ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษคือสามารถตัดกระแสลัดวงจรจำนวนมาก ๆ ได้อย่างปลอดภัย แม้ตัวฟิวส์จะมีพิกัดกระแสต่ำๆ ก็ตาม

5.12.1. ฟิวส์สำหรับป้องกันสายจ่ายไฟย่อยของมอเตอร์

- F1 เป็นฟิวส์ที่ต่อไว้ในวงจรกำลังเพื่อทำหน้าที่ป้องกันสาย หากเกิดลัดวงจรกำลัง (ในกรณีที่มอเตอร์มีการป้องกันด้วย OverLoad Relay อยู่แล้ว) ขนาดของ F1 ขึ้นอยู่กับชนิด, ขนาด และวิธีการ Start มอเตอร์ ซึ่งกินกระแส Start ไม่เท่ากัน ขนาดของฟิวส์ F1 นี้จะต้องใหญ่ (มี Time current characteristic) พอที่จะทนกระแสในช่วง Start ได้ ค่ากระแสสูงสุดของ F1 เมื่อเป็นฟิวส์ชนิดขาดเร็วมีดังนี้

- 1) มีค่าอัตรากระแสสูงเป็น 3 เท่าของกระแสของมอเตอร์ขณะรับโหลดเต็มที่ เมื่อมอเตอร์เป็นแบบ Squirrel Cage (แบบทั่วๆ ไปไม่มีโค้ดอักษรกำกับ) หรือเป็น Synchronous Motor และมอเตอร์ดังกล่าวใช้วิธีการ Start แบบ Direct Start หรือ Start โดยการใส่ตัวต้านทาน (Resistance Starter)
- 2) มีค่าอัตรากระแสสูง เป็น 1.5 เท่าของกระแสของมอเตอร์ขณะ Full Load เมื่อมอเตอร์นั้นเป็น Wound หรือมอเตอร์กระแสตรง (แบบทั่วๆ ไปไม่มีโค้ดอักษรกำกับ)

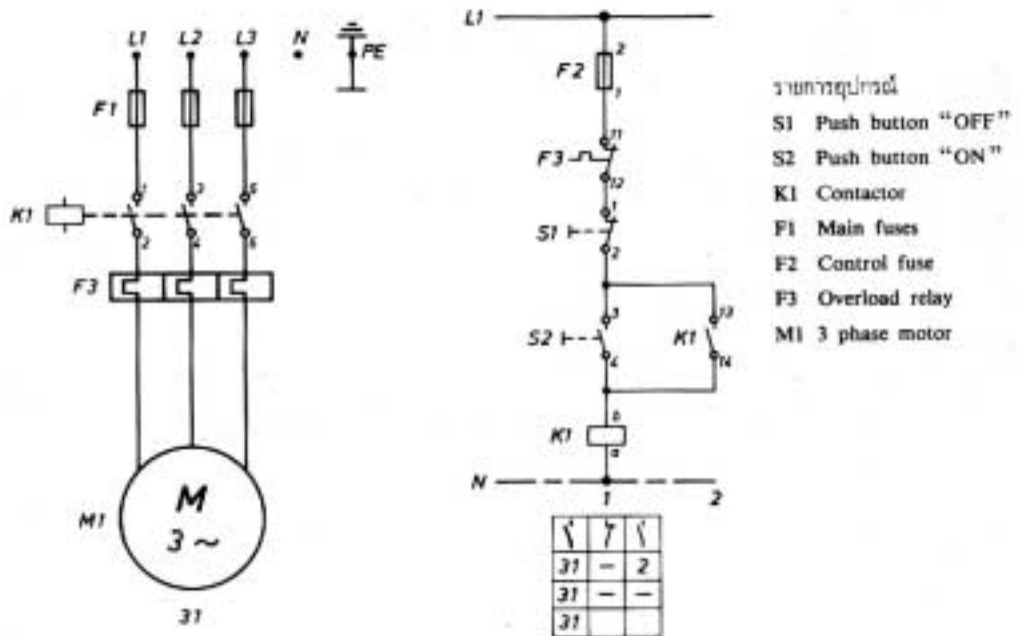
5.12.2. ฟิวส์ในวงจรควบคุม

- F2 เป็นฟิวส์ซึ่งมีไว้สำหรับป้องกันสายของวงจรควบคุม ขนาดของฟิวส์ขึ้นอยู่กับขนาดของสายที่ใช้ในวงจรควบคุม โดยจะต้องมีค่ากระแสต่ำกว่ากระแสสูงสุดที่สายทนได้ เพื่อที่จะให้วงจรควบคุมมีโอกาสหยุดทำงานโดยอัตโนมัติ
- วงจรฟิวส์ของวงจรควบคุมจะต่ออยู่หลัง F1

6. การสตาร์ทมอเตอร์โดยตรงโดยใช้ Magnetic Contactor (Direct Start)

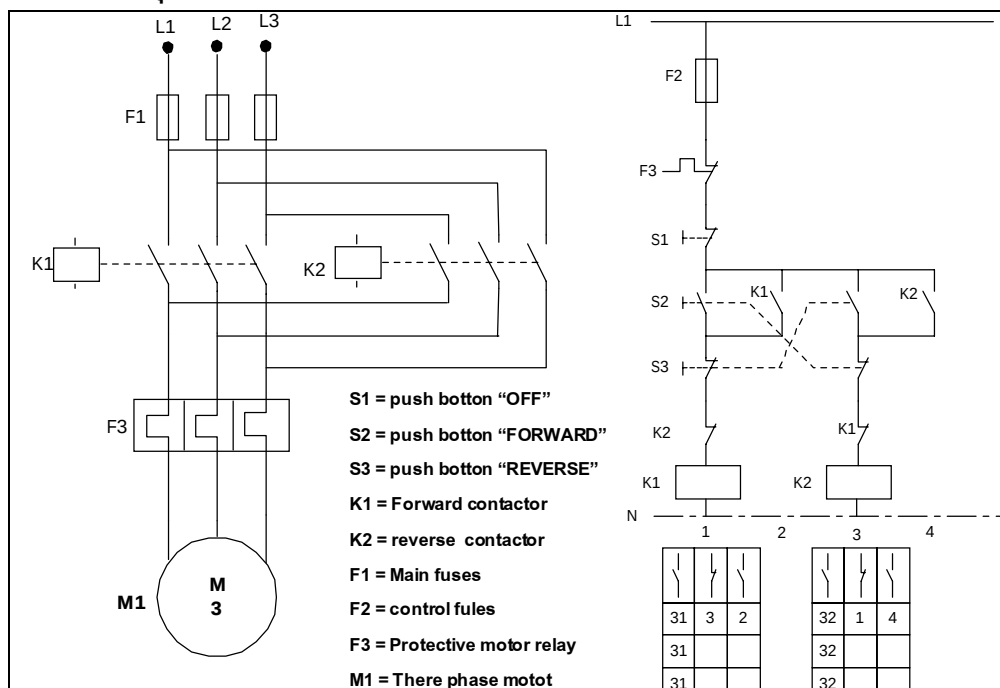
- ◆ Magnetic Contactor เรียกอีกอย่างหนึ่งได้เป็น สวิตช์แม่เหล็ก ซึ่งเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทสวิตช์ไฟฟ้าที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าในปัจจุบัน ก่อนที่จะนำ Magnetic Contactor มาใช้ Start Motor ต้องพิจารณาการใช้งานและการควบคุมให้ Magnetic Contactor ทำงาน

- ◆ การใช้งาน Magnetic Contactor เป็นสวิตช์ที่ทำงานได้โดยอาศัยอำนาจของแม่เหล็กส่งผลให้เกิดการตัดหรือต่อวงจรไฟฟ้า อำนาจของแม่เหล็กจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด ดังนั้นเราจึงกล่าวได้ว่า Magnetic Contactor จะทำงานก็ต่อเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด และครบวงจร และจะหยุดทำงานทันทีเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่ขดลวด



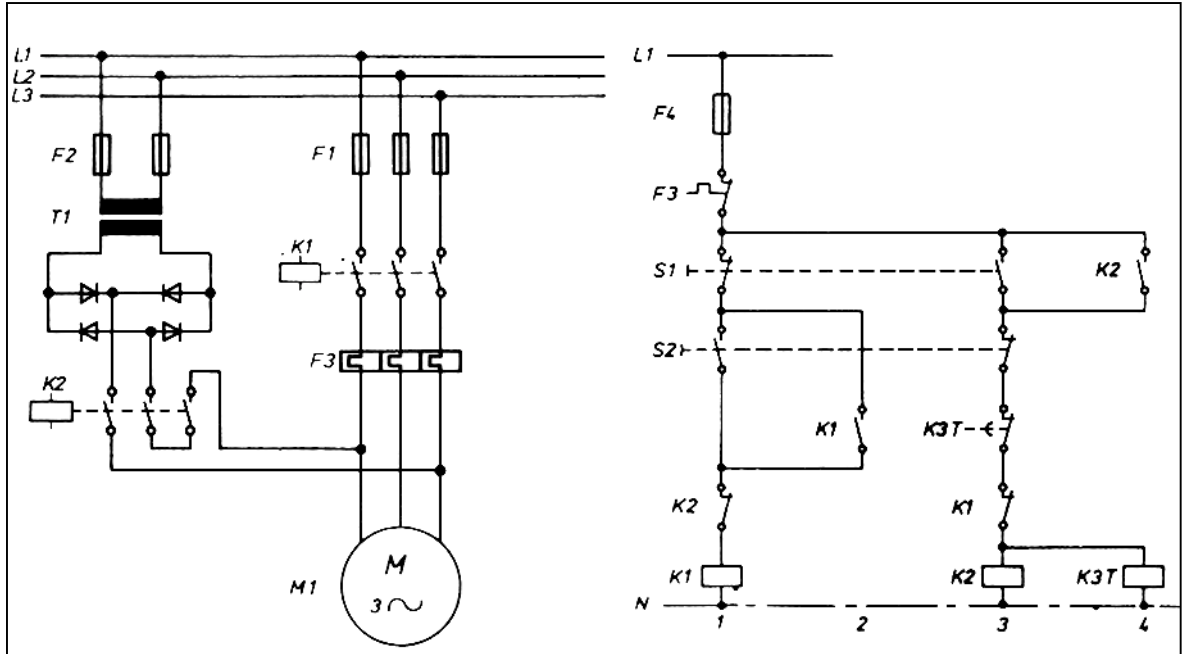
- ◆ จากรูป เมื่อยังไม่มีกระแสไหลผ่านขดลวด Magnetic Contactor เมนคอนแทกของ Magnetic Contactor ยังไม่ต่อสายให้กับมอเตอร์ ถ้าหากเรากดสวิตช์ S2 ให้ปิดวงจร จะมีกระแสไหลผ่านขดลวด Contactor ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆ ขดลวดมีผลทำให้เมนคอนแทกปิดวงจรและต่อวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์ให้ครบวงจร คือมีกระแสไหลเข้าสู่มอเตอร์

7. วงจรกลับทางหมุนแบบ PLUGGING (DIRECT REVERSING)



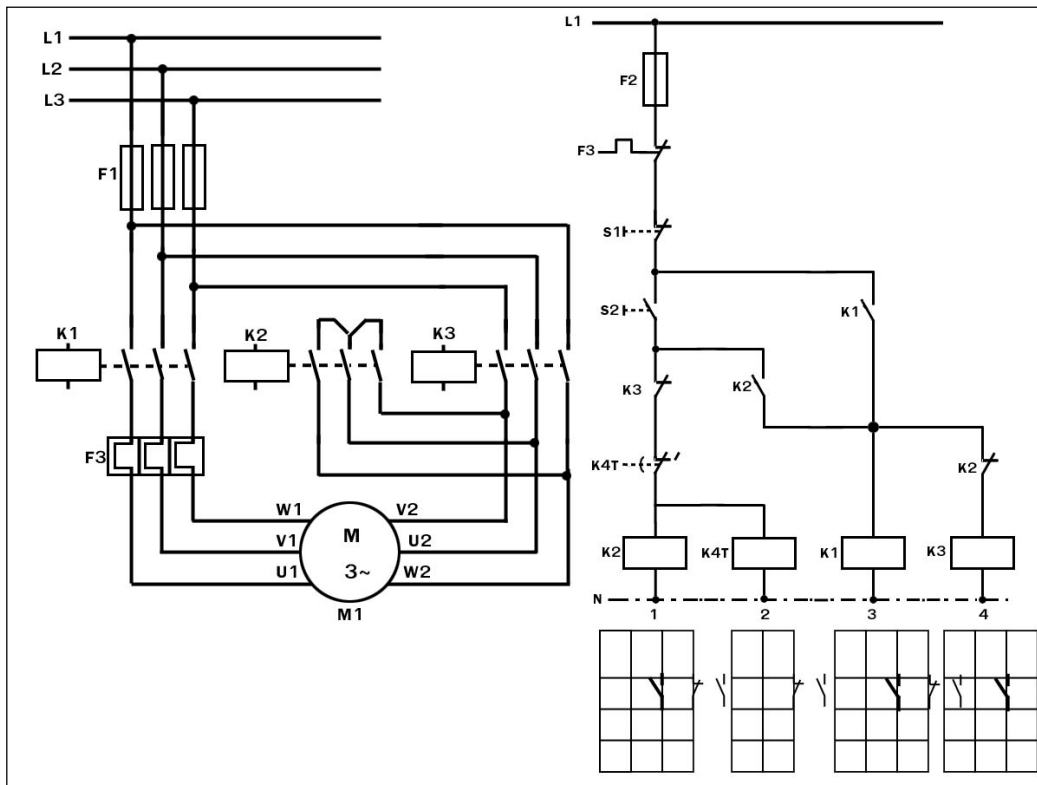
- ◆ ถ้าหาก interlock (N.C.) contact ของ push button ต่ออนุกรม กับ maintaining contact ของ Contactor สมมุติให้ K1 ทำงานอยู่ และ push button S3 ถูกกด K1 ก็จะหยุดทำงาน ขณะเดียวกัน interlock contact ของ K1 ในแถว 3 จะต้องวงจรให้ K2 ทำงานทันที
- ◆ ถ้า push button ทั้งสองถูกกดให้ทำงานพร้อมกัน ไม่มี Contact ตัวไหนทำงาน maintaining contact หมายถึง Contact ที่ต้องวงจรให้ตัวเองทำงานตลอดเวลา(หรือเรียกว่า lock itself contact)

8. วงจรเบรกมอเตอร์ด้วยไฟฟ้ากระแสดรง



การทำงานของวงจรควบคุม

- ◆ เมื่อกด S2 Contactor K1 จะทำงานและล๊อคตัวเองให้ทำงานตลอดเวลาด้วย Contact NC ของ K1 แถวที่ 2 เป็นการสตาร์ทให้มอเตอร์เริ่มทำงาน
- ◆ เมื่อต้องการหยุดมอเตอร์ทำได้โดยการกด S1 เป็นผลให้คอนแทกปกติปิดของ S1 ในแถวที่ 1 ตัดวงจร Contactor K1 ออก และคอนแทกปกติเปิดของ S1 ในแถวที่ 3 ไปต่อวงจรให้ Contactor K2 และรีเลย์ตั้งเวลา K3T ทำงาน และล๊อคให้ทำงานต่อไปด้วยคอนแทกปกติของ K2 ในแถวที่ 4 ขณะนี้ไฟฟ้ากระแสตรงจะถูกจ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์แทนไฟสลัปที่ถูกตัดออกไปจึงทำให้เกิดการเบรกขึ้น รีเลย์ตั้งเวลา K3T จะเป็นตัวกำหนดเวลาในการจ่ายไฟกระแสตรงที่ใช้ในการเบรกซึ่งจะต่อนานพอที่จะให้โรเตอร์หยุดนิ่ง แล้ว Contact ของ K3T ในแถวที่ 3 จะตัดวงจรของ K2 และ K3T ออกเป็นการหยุดการทำงานทั้งหมด
- ◆ สำหรับตัวป้องกันไม่ให้ K1 และ K2 ทำงานพร้อมกันได้แก่ Contact ปกติของ K2 ในแถวที่ 1 กับ K1 ในแถวที่ 3 และ Contact ปกติของ S1 ในแถวที่ 1 กับ Contact ปกติของ S2 ในแถวที่ 3
- ◆ การตั้งเวลาที่ K3T ขึ้นอยู่กับงานที่มอเตอร์ต้องกระทำ เวลาที่ตั้ง จึงไม่เท่ากันทุกตัว



9. การ Start มอเตอร์แบบ Star - Delta

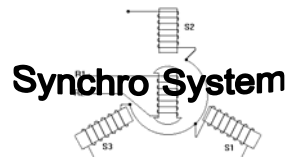
- ◆ วงจรกำลังของการ Start มอเตอร์แบบ Star-Delta การ Start จะต้องเรียงกันไปจาก Star ไป Delta และ Contactor Star กับ Contactor Delta จะต้องมีการ Inter Lock ซึ่งกันและกัน การควบคุมมี 2 อย่าง คือ เปลี่ยนจาก Star ไป Delta โดยกดด้วย Push button กับเปลี่ยนโดยอัตโนมัติด้วยการใช้รีเลย์ตั้งเวลาการควบคุมแบบอัตโนมัติ
- ◆ วงจรควบคุม Start มอเตอร์ Delta ในวงจรดังรูป เป็นแบบอัตโนมัติโดยใช้รีเลย์ตั้งเวลาแบบมี Contact ปกติปิดอันเดียว

รายการอุปกรณ์

S1	Push button "OFF"	K4T	Time delay relay	S2	Push button "ON"
F1	Main fuses	K1	Line contactor	F2	Control fuse
K2	Star contactor	F3	Overload relay	K3	Delta contactor
M1	3 phase motor				

ลำดับขั้นตอนการทำงาน

1. กด S2 ทำให้ Star contactor K2 และ K4T ทำงาน Contact ปกติปิด ของ K2 ในแถว 4 ตัดวงจร K3 และ Contact ปกติปิด ในแถว 2 ต่ วงจรให้ Main contactor K1
2. ทำงานสตาร์ท หลังจากที่ K1 ทำงาน และปล่อย S2 ไปแล้ว K2, K4T และ K1 จะทำงานตลอดเวลา ด้วย maintaining contact ของ K1 ในแถว 3 ขณะนี้มอเตอร์หมุนแบบสตาร์ท
3. รีเลย์ตั้งเวลา K4T ทำงานหลังจากเวลาที่ตั้งไว้ K2 และ K4T จะถูกตัดวงจรด้วย Contact ของรีเลย์ตั้งเวลา K4T และ Contact ปกติปิดของ K2 ในแถว 4 กำลังกลับตำแหน่งเดิม
4. ทำงาน เดลต้า เมื่อ Contact ของ K2 กลับมาที่เดิมเรียบร้อยแล้ว K3 จะทำงานคู่กับ K1 ขณะนี้มอเตอร์หมุนแบบเดลต้า และ K2 จะถูก Interlock ด้วย Contact ของ K3



1. ความจำเป็นที่ต้องใช้ระบบซิงโคร (Synchro System)

- 1.1 ใช้ส่งอาการหมุน มุมหัน มุมแสดงทิศทางจากที่แห่งหนึ่ง ไปยังที่อีกแห่งหนึ่ง
- 1.2 ในสมัยเก่าต่อโยงด้วยลวดหรือโซ่ บางระบบเปลี่ยนมาเป็นกำลังน้ำมัน (Hydraulic) แต่ในปัจจุบันใช้กำลังไฟฟ้าทำงาน เรียกว่า Synchro System
- 1.3 ระบบซิงโคร (Synchro System) มีข้อดีเหนือกว่าอย่างอื่น คือ
 - 1 เพลาส่งอาการและเพลารับอาการสามารถอยู่ห่างกันได้มาก ๆ
 - 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางที่จำเป็น เลี่ยงได้สะดวก เพราะสายไฟสามารถงอโค้งได้ง่าย
 - 3 กินกำลังไฟน้อย ไม่มีข้อยุ่งยากในเรื่องการส่งต่อกำลัง
 - 4 เมื่อเพิ่มองค์ประกอบบางอย่าง ก็สามารถใช้กับงานหนัก เช่น หมุนป้อนปืน
- 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากระบบซิงโคร (Synchro System) คือ งานอิเล็กทรอนิกส์ ไฟฟ้าการบิน การสื่อสารภายใน เครื่องส่งโทรพิมพ์ ระบบทิศทางของลม ความเร็วลม เครื่องวัดรอบเพล่า ใบจักร ระบบเครื่องสั่งจักร และระบบของเข็มทิศโยโร ฯลฯ

2. ชนิดและการใช้ซิงโครแบบต่าง ๆ ซิงโครแบ่งออกเป็นชนิดใหญ่ ๆ ได้ดังนี้คือ

- 2.1 ซิงโครเจนเนอเรเตอร์ (Synchro Generator) ย่อว่า G. ทำหน้าที่รับสัญญาณทางการกล มาเปลี่ยนเป็นกำลังงานทางไฟฟ้าโดยตรง
- 2.2 ซิงโครมอเตอร์ (Synchro Motor) ย่อว่า F หรือ M ทำหน้าที่รับสัญญาณทางไฟฟ้าจากซิงโครเจนเนอเรเตอร์ มาเปลี่ยนกำลังงานเป็นกำลังงานทางการกลโดยตรง
- 2.3 ซิงโครดิฟเฟอเรนเชียล (Synchro Differential Generator) ตัวย่อ DG. เป็นตัวที่สามารถส่งผลบวกหรือผลต่างของสัญญาณ 2 ค่าซึ่งค่าหนึ่งถูกป้อนเข้าโดยทางกล (Mechanical) ส่วนอีกค่าหนึ่งถูกป้อนเข้าโดยทางไฟฟ้า จากซิงโครเจนเนอเรเตอร์ตัวอื่น
- 2.4 ซิงโครดิฟเฟอเรนเชียลมอเตอร์ (Synchro Differential Motor) ตัวย่อ D. เป็นตัวที่สามารถส่งผลบวกหรือผลต่างของสัญญาณทางไฟฟ้า, จากซิงโครเจนเนอเรเตอร์ 2 ตัวได้แล้วส่งค่านั้นไปยังซิงโครมอเตอร์ตัวอื่น ๆ
- 2.5 ซิงโครคอนโทรลทรานส์ฟอร์เมอร์ (Synchro Control Transformer) ตัวย่อ CT. สัญญาณจาก ซิงโครเจนเนอเรเตอร์ หรือ ซิงโครดิฟเฟอเรนเชียล ซึ่งเป็นกำลังงานทางไฟฟ้านำไปเข้าเครื่องทวีกำลัง (Amplifier) เพื่อสามารถควบคุมการทำงานของระบบขับเคลื่อนกำลัง (Power Drive System) ซึ่งสามารถเคลื่อนเครื่องกลไกหนัก ๆ ได้

3. ลักษณะและส่วนประกอบอย่างง่ายของซิงโคร

- 3.1 ประกอบด้วย
 - 1 ซิงโครทรานสมิตเตอร์ คือ ซิงโครเจนเนอเรเตอร์ตัวส่ง (Synchro Transmitter)
 - 2 ซิงโครรีซีฟเวอร์ คือ ซิงโครมอเตอร์เป็นตัวรับ (Synchro Receiver)
- 3.2 ทั้งสองตัวใช้หลักการมาจากหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดเคลื่อนที่ได้
- 3.3 ตัวซิงโครมีรูปร่างเหมือนกับมอเตอร์ไฟลัขนชนิด 3 เฟส

- 1 Rotor เป็นขดลวดไฟโรมารี 2 ขด พันแบบเซเลียนโปล ต่ออันดับกันทั้งสองขดใช้กับไฟ 115 Volt 60 Cycle
- 2 Stator เป็นขดลวดเซกันดารีมี 3 ชุดต่อแบบดาววางเป็นมุม 120° กำลังดัน 52 Volt
- 3 เวกะระหว่าง Rotor กับ Stator เป็น 2 ต่อ 1

3.4 Synchro Receiver ต้องมีอุปกรณ์หน่วง (Damping Device) เพื่อกันมิให้เกิดอาการส่ายขึ้น เมื่อเพลาหมุนด้วยความเร็ว

3.5 ซิงโครตัวส่งมีตัวเดียว แต่อาจมีตัวรับหลายๆ ตัว และอยู่ในที่ต่างๆ กันได้

4. หลักการของซิงโคร

- 4.1 โดยที่มีอาการอย่างเดียวกับหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขดลวดไฟโรมารี หมุนได้ครบ 360°
- 4.2 จำนวนของกำลังดันเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในขด Stator จะเปลี่ยนแปลง เมื่อ Rotor หมุนไปหยุดอยู่ตามตำแหน่งต่าง ๆ
- 4.3 กำลังดันนี้จะถูกเหนี่ยวนำขึ้น เมื่อขดไฟโรมารีของ Rotor ทำมุมกับขดของ Stator แต่ละขด
- 4.4 ผลรวมของกำลังดันไฟเข้าใน Stator ทั้ง 3 ขด จะมีค่าเท่ากับผลรวมของกำลังดันไฟออก
- 4.5 จำนวนกำลังดันที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกากับค่าโคไซน์ของ Rotor ที่ทำมุมกับ Stator
- 4.6 โดยการใส่สูตรต่อไปนี้

$$e = E \cos \theta$$

e คือ กำลังดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นชั่วขณะหนึ่ง

E คือ กำลังดันสูงสุดในขดลวด Stator (เป็น 52 Volt)

$\cos \theta$ คือ มุมที่เกิดระหว่าง Rotor กับ Stator

- 4.7 ทิศทางของกำลังดันที่เกิดในขด Stator จะตรงข้ามกับกำลังดันของ Rotor เสมอ
- 4.8 อาการหมุนตามของซิงโครตัวรับ จะหมุนตามตัวส่งเสมอ ทุกๆ ครั้งที่เราส่งค่าของมุมของตัวส่ง
- 4.9 อาการตอบรับระหว่างตัวรับและตัวส่ง เกิดขึ้นโดยคุณสมบัติของหม้อแปลงไฟ ในเรื่องการชักนำและเกิดมีชั่วเหนือ - ใต้ เวลาที่มีกระแสไหล
- 4.10 ตัวอย่างค่า Cosine ของมุมบางมุม

$$\cos 0^\circ = 1 \quad \cos 30^\circ = .866$$

$$\cos 60^\circ = .5 \quad \cos 90^\circ = 0$$

4.11 ตัวอย่างการหาค่าแรงเคลื่อนชักนำ และทิศทางที่ทำให้เกิดชั่วแม่เหล็ก

- 1 Rotor ทำมุม 0 องศา

⇒ ค่าของมุมระหว่างขดต่าง ๆ จะเป็นดังนี้

ขด S2 ทำมุม 0 องศา กับ Rotor

ขด S3 ทำมุม 60 องศา กับ Rotor

ขด S1 ทำมุม 60 องศา กับ Rotor

⇒ ค่าของแรงเคลื่อนของขดต่าง ๆ

$$\text{สูตร } e = E_{\max} \cos \theta$$

$$\begin{aligned}
 e_{S2} &= E_{\max} \cos \theta \\
 &= 52 \times 1 = 52 \text{ Volts.}
 \end{aligned}$$

(Cos ของ 0 องศา เท่ากับ 1 ดังนั้น กำลังดันเหนี่ยวนำในขด S2 จะมีค่าสูงสุด)

$$\begin{aligned}
 e_{S3} &= E \cos 60 \\
 &= 52 \times .5 = 26 \text{ Volts.}
 \end{aligned}$$

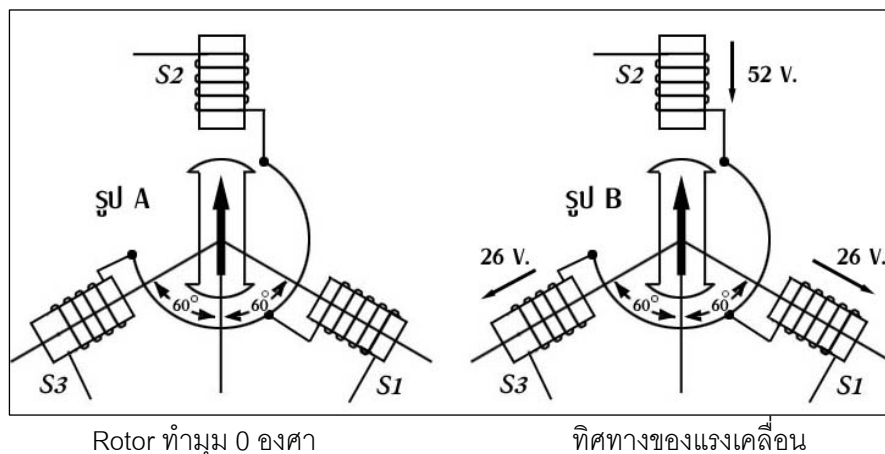
(Cos ของ 60 องศา เท่ากับ 0.5)

$$\begin{aligned}
 e_{S1} &= E \cos 60 \\
 &= 52 \times .5 = 26 \text{ Volts.}
 \end{aligned}$$

⇒ ทิศทางของกระแสแต่ละขด จะเกิดเมื่อกระแสใน Rotor เป็นไปตามทิศทางของลูกศร (รูป B)

ขด	S2	กระแสไหลเข้ามีค่า	52	Volt
ขด	S3	กระแสไหลออกมีค่า	26	Volt
ขด	S1	กระแสไหลออกมีค่า	26	Volt

⇒ ขั้วแม่เหล็กใน Stator ปกติจะเปลี่ยนแปลงตามจำนวนวัฏภาค แต่ในที่นี้ขั้วแม่เหล็ก จะเกิดขณะที่หัวลูกศรชี้ทิศทางกระแสเป็นขั้วเหนือ และหางลูกศรเป็นขั้วใต้ (รูป B)



2 Rotor ชี้ออกมุม 30 องศา

⇒ ค่าของมุมจะเป็นดังนี้

S2	ทำมุม	30 องศา
S1	ทำมุม	90 องศา
S3	ทำมุม	30 องศา

⇒ ค่าของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ

$$\begin{aligned}
 e_{S2}, e_{S3} &= E \cos 30 \\
 &= 52 \times .866 = 45 \text{ Volts.} \\
 e_{S1} &= E \cos 90 \\
 &= 52 \times 0 = 0 \text{ Volts.}
 \end{aligned}$$

⇒ ทิศทางของกระแส

S2 กระแสเข้า 45 Volt

S3 กระแสไหลออก 45 Volt

S1 ไม่มีกระแสไหล

⇒ ขั้วแม่เหล็กที่เกิดในขดดังนี้

S2 เป็นขั้วเหนือ

S3 เป็นขั้วใต้

S1 ไม่มี

3 Rotor ขั้วออกมุม 60 องศา

⇒ ค่าของมุมจะเป็นดังนี้

S2 ทำมุม 60 องศา

S1 ทำมุม 60 องศา

S3 ทำมุม 0 องศา

⇒ ค่าของแรงเคลื่อน

$$\begin{aligned} e_{S2}, e_{S1} &= E \cos 60 \\ &= 52 \times .5 = 26 \text{ Volts,} \\ e_{S3} &= E \cos 0 = 52 \text{ Volts.} \end{aligned}$$

⇒ ทิศทางของกระแส

S2 กระแสไหลเข้า 26 Volt

S1 กระแสไหลเข้า 26 Volt

S3 กระแสไหลออก 52 Volt

⇒ ขั้วแม่เหล็กที่เกิดในขด ดังนี้

S2 เป็นขั้วเหนือ

S1 เป็นขั้วเหนือ

S3 เป็นขั้วใต้

4 Rotor ขั้วออกมุม 90 องศา

⇒ ค่าของมุมจะเป็นดังนี้

S2 ทำมุม 90 องศา

S3 ทำมุม 30 องศา

S1 ทำมุม 30 องศา

⇒ ค่าของแรงเคลื่อน

$$e_{S1}, e_{S3} = E \cos 30$$

$$\begin{aligned}
 &= 52 \times .866 &= 45 \text{ Volts.} \\
 E_{S2} &= E \cos 90 \\
 &= 52 \times 0 &= 0 \text{ Volts.}
 \end{aligned}$$

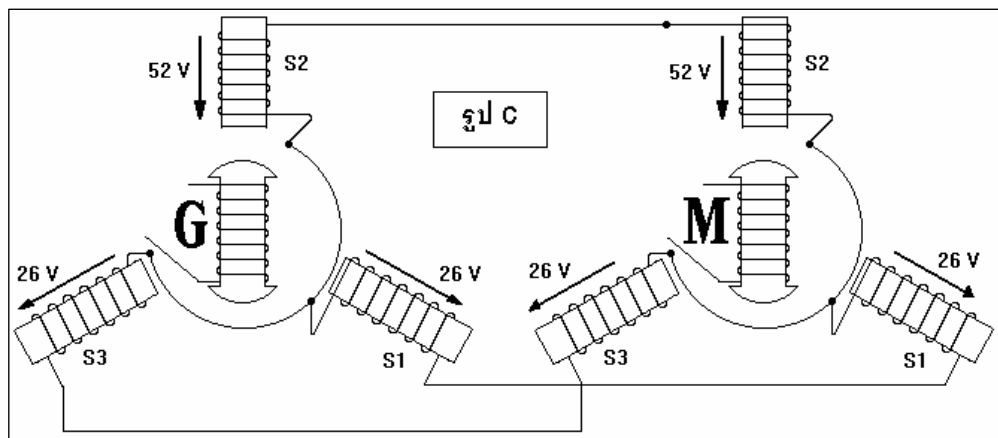
⇒ ทิศทางของกระแส

S2 ไม่มีกระแสไหล
 S1 กระแสไหลเข้า 45 Volt
 S3 กระแสไหลออก 45 Volt

⇒ ขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้น

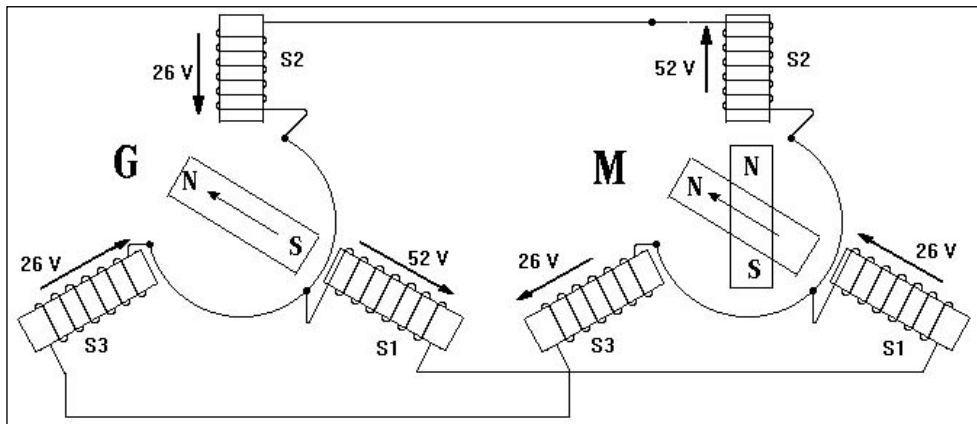
S1 เป็นขั้วเหนือ
 S3 เป็นขั้วใต้

ผลการตอบรับในระบบชิงโคร



- 1) ตามรูปที่ C แสดงว่าขณะที่สับไฟเข้าขด Rotor ของชิงโครทั้งสอง
- 2) จะเกิดกระแสไฟในขด Stator ทุก ๆ ขดของแต่ละคู่เท่า ๆ กัน
- 3) โดยที่ G เป็นตัวส่ง และ M เป็นตัวรับ มีค่าของมุมอันเดียวกัน
- 4) ค่าของกระแสไฟแต่ละขดที่เกิดใน Stator จึงลบล้างกันหมด คือมีค่าเท่ากับศูนย์ (ขอให้สังเกตทิศทางของลูกศร)
- 5) โดยปกติก่อนที่เราจะสับไฟนั้น เราได้ตั้งให้ Rotor อยู่ในตำแหน่ง (มุม) เดียวกัน ต่อมาเมื่อส่งค่ามุมเท่าใด ก็จะส่งได้โดยชิงโครตัว G ส่วนชิงโครตัว M นั้นเป็นตัวตอบรับ
- 6) การตอบรับที่กระทำโดยชิงโครมอเตอร์ ก็คืออำนาจของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดระหว่างชิงโครทั้งสอง จะลบล้าง หรือเพิ่มพูนซึ่งกันและกัน เป็นผลให้ขด Stator เกิดอำนาจแม่เหล็กทำการผลักหรือดูดแกน Rotor ให้อยู่ในตำแหน่งเดียวกันกับ Rotor ของชิงโครเอนเนอร์เรเตอร์
- 7) โดยเหตุที่ตัว Rotor ของชิงโครเอนเนอร์เรเตอร์มีปลายเพลลาติดต่อกับทางการกลไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ และตัว Rotor ของมอเตอร์จึงต้องเป็นตัวตอบรับอาการของชิงโครเอนเนอร์เรเตอร์เสมอ ไม่ว่าจะหมุนไปอยู่ในตำแหน่งใด ๆ ก็ตาม

- 8) ตามรูปข้างล่างเมื่อชิงโครเจนเนอเรเตอร์ส่งค่ามุม 60 องศา ชิงโครมอเตอรืก็จะตอบรับเป็นมุม 60 องศา เช่นเดียวกัน
- 9) การพิจารณาการตอบรับให้ทำได้ดังนี้



- หาค่ากระแสและทิศทางแต่ละชุดที่เกิดใน Stator ของ G. และ M.
- ถ้าทิศทางของกระแสต่างกัน ให้เอาแรงเคลื่อนที่ได้ลบกัน
- ถ้าทิศทางของกระแสทางเดียวกัน ให้เอาค่าแรงเคลื่อนที่ได้บวกกัน
- กระแสที่เกิดขึ้นด้านใดมีค่าสูง ให้ถือค่านั้นเป็นหลักในการให้ทิศทางของกระแสใน M.
- เมื่อได้ทิศทางของกระแสใน M แล้ว หาค่าของขั้วแม่เหล็กต่อไป (หัวลูกศรจะเป็นขั้วเหนือเสมอ)
- จากคุณสมบัติของอำนาจแม่เหล็ก จะผลักและดูดให้ Rotor ของ M เคลื่อนที่เป็นมุมเท่ากับ G.

การระวังรักษาชิงโคร

- 1) ชิงโครเป็นอุปกรณ์ที่ต้องการความแน่นอน การติดตั้ง หรือถอดออกจากระบบ ต้องทำโดยระมัดระวัง
- 2) ถ้าชิงโครทำงานเรียบร้อยอยู่แล้ว อย่าได้ไปข้งแวะด้วย
- 3) ถ้าชิงโครเสีย, ชัดข้อง ให้เปลี่ยนใหม่
- 4) อย่าใช้ค้อนเคาะหรือใช้กำลังเพื่อให้ส่วนประกอบหรือตัวชิงโครเข้าที่ ระวังเพลลาอย่าให้คุดและอย่าทำตก
- 5) ชิงโครปกติถูกผนึกไว้ ห้ามถอด นอกจากเจ้าหน้าที่เท่านั้น
- 6) อย่าพยายามหยอดน้ำมัน การได้หล่อลื่นที่ไม่ถูกต้อง อาจก่อให้เกิดการขัดข้องขึ้นได้
- 7) การไล่ลื่นเป็นประจำเป็นผลเสีย จะกระทำได้อีกต่อเมื่อชิงโครเกิดติดเท่านั้น

การระวังรักษาเครื่องไฟฟ้าในเรือ

1. มูลเหตุที่ก่อให้เกิดการเสียหายแก่เครื่องไฟฟ้า

1.1 การสั้นสะเทือน

- 1 สาเหตุเกิดจากเครื่องจักรใหญ่และเครื่องจักรช่วยอื่นเดินพร้อมกันหรือเกิดจากการยิงปืน ทำให้
 - ส่วนต่างๆ ของเครื่องจะพยายามแยกตัวออกจากกัน
 - ส่วนที่เป็นรอยต่อที่ปลายสายบัดกรีขาด
 - น็อตหรือสลักยึดเครื่องจะพยายามคลายออกตลอดเวลา
- 2 การแก้ไข
 - หลีกเลี่ยงการเดินเครื่องที่มีความเร็วเท่าๆ กัน
 - ก่อนเดินเครื่องควรตรวจดูตามข้อต่อต่างๆ ปกติจะมีที่สำหรับล็อกให้จัดการล็อกให้เรียบร้อย
 - น็อตสลักต่างๆ ต้องกวัดให้แน่นเสมอ

1.2 ความชื้น

- 1 เกิดจากน้ำมัน น้ำ น้ำทอเรือ หรือไอน้ำที่รั่วสะสมอยู่ ทำให้
 - เกิดไฟรั่วลงเนื้อเครื่อง
 - ฉนวนเปื่อยยุ่ยเพราะไอน้ำจับอยู่
 - ตัวนำไฟฟ้าผุกร่อนชำรุด
- 2 การแก้ไข
 - ทำความสะอาดท้องเรืออย่าให้มีน้ำขังอยู่
 - ตรวจหาที่ชำรุดของท่อทางน้ำ น้ำมันและไอน้ำ แล้วแก้ไขเสีย
 - มีการระบายอากาศเป็นประจำ
 - จัดการอบ Armature และขามแม่เหล็กด้วย
 - 1) ขดลวดร้อน (Heater)
 - 2) พัดลมร้อน (Hot Blower)
 - 3) หลอดไฟอบที่ให้อุณหภูมิแก่ขดลวดอยู่ประมาณ 150°F
 - ถ้าความชื้นมีมาก ให้ใช้กระแสไฟ 1/4 ของอัตราปกติปล่อยเข้าไปจนกว่าจะหาย

1.3 ผงฝุ่นหรือเศษโลหะ

- 1 เกิดจากการสึกกร่อนของชิ้นส่วนของเครื่องที่เป็นสนิม หรือมาจากพัดลมระบายอากาศทำให้เกิด
 - ความสกปรก
 - ความผิดในส่วนที่เคลื่อนไหว
 - ฉนวนเสื่อม เป็นทางให้เกิดไฟรั่ว
- 2 การแก้ไข
 - หมั่นทำความสะอาด
 - ใช้ลมแห้งเป่าหรือเครื่องดูดฝุ่น
 - เคาะสนิมขูดสีและทาสี

2. การระวังรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและมอเตอร์

- 2.1 ตรวจสอบการเดินของเครื่องไฟฟ้าความสะอาด การสั้น สะเทือน มีเสียงดังมากเกินไปหรือดังผิดปกติ ความร้อน
- 2.2 ตรวจสอบสภาพของแปรง Commutator วงแหวน แปรงและสลักยึดต่างๆ
- 2.3 อย่าให้มีน้ำ น้ำมัน หรือไอน้ำไหลบนเครื่องไฟฟ้ารวมทั้งสิ่งที่อันอาจจะทำให้เครื่องเกิดติดขัดได้
- 2.4 เมื่อเกิดไฟรั่ว วงจรเปิดและไฟลัดวงจรในมอเตอร์หรือคอนโทรลเลอร์ ให้รีบตรวจสอบหาสาเหตุทันที
- 2.5 ทำความสะอาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยลมแห้งเป่าหรือเครื่องดูดฝุ่น และใช้เช็ดด้วยผ้าสำลี
- 2.6 หมั่นตรวจสอบการรั่วไหลของน้ำมันหล่อที่แปรงของเครื่องไฟฟ้า
- 2.7 ให้การหล่อลื่นด้วยวิธีที่ถูกต้อง อย่าให้กำลังอัดจาระบีมากเกินไปจะทะลักออกทางซี่คอม ทำให้ไฟลัดวงจร
- 2.8 ตรวจสอบค่าความต้านของฉนวนของเครื่องไฟฟ้าทั้งหมดในเรือ
- 2.9 ตรวจสอบและทดลองอุปกรณ์อัตโนมัติ การกลับทางหมุนของเครื่องให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ดี

3. การตรวจอื่น ๆ

3.1 แปรง

- 1 แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แปรงแบบคล่องตัว และแปรงแบบเสียดสี
 - แบบคล่องตัว เป็นแบบลูกป็นหรือลูกกลิ้ง มีถั่วหรือกระดูกอัดจาระบี เมื่อเกิดความร้อนจะไหลเข้าไปหล่อลื่น อย่าใช้กำลังอัดมากเกินไป ต้องบรรจุให้เต็มเสมอ และกวาดฝาเดือนละครึ่งรอบ
 - แบบเสียดสี ต้องมีระปุกน้ำมันประกอบติดอยู่ด้วยภายในมีสั๊กหลอด รองอยู่ใช้หล่อลื่นด้วยน้ำมันหล่อลื่นอย่างใส หยดครั้งละไม่เกิน 5 หยด และควรหยดเดือนละครึ่ง
- 2 ข้อควรระวังในการหล่อลื่น
 - การขาดการหล่อลื่นจะทำให้ แปรงร้อนจัด, Armature ไม่ได้ศูนย์, เกิดการสั้น สะเทือน เครื่องดับ และเพลลาติดหมุนไม่ได้
 - ควรตรวจดูว่ามีจาระบีหรือน้ำมันหล่อลื่นหรือไม่ โดยการฟังเสียง และโดยการสัมผัส
 - เลือกใช้จาระบีให้ถูกต้องตามเกรด
 - แปรงร้อนแต่การหล่อลื่นยังดีอยู่อาจเป็นเพราะเกิดการตันในรูน้ำมัน
 - การอัดจาระบีมากเกินไป
 - จะทะลักออกมาทางซี่ Commutator ทำให้ไฟลัดวงจร
 - ถ้าถูกสายไฟทำให้ฉนวนเปื่อยยุ่ย
 - เกิดความสกปรก
 - น้ำมันหรือจาระบีที่เประเปื้อนตามส่วนต่างๆ ของเครื่องไฟฟ้า ให้ใช้ผ้าขนสัตว์ชุบน้ำยา Carbon Tetrachloride เช็ดออก

3.2 Commutator และแปรงถ่าน

- 1 แปรงที่ดี จะต้องเรียบไม่มีรอยบิ่นกระเทาะ ซี่ Commutator จะต้องไม่เป็นรอยขรุขระ เป็นหลุม บ่อและเบี้ยว
- 2 แปรงสามารถคล่องตัวอยู่ในช่องแปรงเสมอ และจะต้องมีกำลังกดของสปริงต่อหน้า Commutator $1\frac{1}{2}$ ถึง 2 ปอนด์/ตารางนิ้ว
- 3 อาการแสดงของซี่ Commutator

- สีทองแดงหรือมีรอยเป็นร่องลึกมาก แสดงว่าสปริงกดแปรงมากไปหรือใช้แปรงที่แข็งมากไป
- สีค่อนข้างดำ แสดงว่าใช้แปรงอ่อนเกินไป หรือชนิดแปรงเลว
- ถ้ามีรอยขรุขระเล็กน้อย แสดงว่าสปริงกดแปรงอ่อน ทำให้เกิดประกายไฟ ใช้กระดาษทรายอย่าใช้ผ้าทรายขัด
- ถ้ามีรอยขรุขระมาก แสดงว่าตั้งแปรงไม่ถูกต้องหรือเกิดไฟลัดวงจร
- Commutator ที่ดี จะต้องไม่มีสีช็อกโกแลตเข้ม

4 อาการแสดงของแปรง

- แปรงสีไม่เท่ากัน แสดงว่าเปลี่ยนแปรงไม่พร้อมกัน หรือสปริงบางอันที่กดแปรง มีกำลังไม่เท่ากัน
- แปรงมีรอยบินหรือกระแทกแสดงว่าซี่คอมไม่เรียบมีบางซี่โผล่ขึ้นมา
- แปรงมีรอยขรุขระ แสดงว่าเกิดประกายไฟ อาจเนื่องจากผิวหน้าแปรงไม่สัมผัสกับผิวหน้า Commutator
- ซี่ Commutator ที่ใช้กับแปรงชนิดอ่อนนั้น ระยะ Undercut ประมาณ $1/32$ ถึง $1/16$ แปรงชนิดนี้ทำด้วยส่วนผสมของถ่านและแกรไฟท์
- ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่มีอัตราแรงเคลื่อนสูงๆ มักจะใช้กับแปรงชนิดแข็ง ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีอัตราแรงเคลื่อนไม่เกิน 30 โวลท์ ใช้แปรงชนิดอ่อน
- เมื่อเกิดประกายไฟมากผิดปกติ ควรหยุดเครื่องตรวจดู
 - ◇ สายที่แปรงไม่หลุด หรือตะกั่วกับส่วนที่เป็นโลหะ
 - ◇ สภาพของแปรง ปรับแต่งให้เรียบร้อยด้วยกระดาษทรายเบอร์ 00 ขัดแนบกับซี่ Commutator
 - ◇ ตรวจสอบยึดของแปรงว่าไม่หลวม อันเป็นเหตุให้แปรงเลื่อนไปได้
 - ◇ ถ้าเกิดประกายไฟชั่วคราว อาจเป็นเพราะการใช้กระแสไฟมากเกินไป
- ถ้าซี่ Commutator ขรุขระเล็กน้อย ให้ใช้กระดาษทรายทาบไม้เนื้ออ่อนขัดซี่ Commutator โดยหมุนหรือเดินเครื่องเบาๆ ถ้าเป็นมากๆ ให้ใช้เครื่องกลึงปาด หรือใช้หินขัด
- ถ้าซี่ Commutator บางซี่ สูงขึ้นมาก ให้ใช้ฆ้อนเคาะให้เรียบ แต่ถ้าบางซี่ต่ำหรือหลอม ให้คลายนัตบังคับ จัดการขยับให้เข้าที่แล้วกวาดเข้าอย่างเดิม
- การทำความสะอาดซี่ Commutator ควรใช้ผ้าใบชนิดบาง ห้ามใช้ผ้าทราย
- การล้างทำความสะอาดคราบน้ำมัน หรือเศษผงถ่านให้ใช้น้ำยา Carbon Tetrachloride

3.3 Circuit Breaker Controller

- 1 การทำความสะอาดผงฝุ่นต้องใช้แปรง Painter's Duster ทำจากขนสัตว์ อย่างอ่อน ยาวประมาณ 4 นิ้ว
- 2 การเช็ดถูสิ่งอื่นๆ ให้ใช้ผ้าสักหลาด หรือหนังสือขาว อย่างอ่อน
- 3 การทำความสะอาดทุกครั้ง ต้องปลดสวิตช์ทางไฟออกก่อนเสมอ
- 4 ตรวจและรักษากำลังดันสปริง ที่คั่นแต่งความต้านทานเริ่มเดิน ให้มีกำลังปลดได้ทันทีเมื่อแรงเคลื่อนบกพร่อง
- 5 แกนหมุนของอัตโนมัติต่างๆ ควรหาโอกาสถอดทำความสะอาดขัดด้วยกระดาษทราย และอย่าให้ติดแน่น

- 6 ห้ามใช้น้ำมันชนิดใดเสียเลย จะทำให้ผงฝุ่นมาจับเป็นเหตุให้เกิดไฟรั่วและค่าความต้านทานฉนวนต่ำ
- 7 สวิตช์ และ ขาสวิตช์ เวลาสับไฟต้องให้แน่น
- 8 ชิ้นส่วนทางกลไก ที่ไม่เกี่ยวกับทางเดินของไฟฟ้าให้ใช้น้ำมันชนิดปานกลาง หยอด 6 เดือน ต่อ 1 หรือ 2 หยอด เป็นอย่างมาก

3.4 การบันทึกงานประจำ

1 ประจำวัน

- หมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้งานเลย

2 ประจำสัปดาห์

- เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และมอเตอร์ที่ไม่ได้ใช้งานเลย อย่างน้อย 30 นาที
- ตรวจรั่วเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และอุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างอื่น ๆ ด้วยเมกเกอร์
- ตรวจวัดสภาพของแบตเตอรี่ที่มีอยู่

3 ประจำเดือน

- ตรวจดูแปรงถ่านและซีคอมมิวเตอรืของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและมอเตอร์ว่าอยู่ในสภาพที่ดี
- หยอดน้ำมันตามแบร้งต่างๆ ของมอเตอร์ที่กำลังใช้งานอยู่ประจำ
- อัดจารบีตามแบร้งต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่ประจำ

4 ประจำทุกๆ 3 เดือน

- ตรวจค่าความต้านทานฉนวน ตัวนำ ทางติดต่อต่างๆ และวงจรควบคุมการยิง
- ตรวจค่าความต้านทาน อุปกรณ์อะไหล่
- หมุนให้ Armature ขยับจากที่เดิม $\frac{3}{4}$ รอบ

5 ประจำปี

- ตรวจดูความมั่นคงของ Bus Bar ที่แผงสวิตช์บอร์ดและส่วนต่างๆ ของเครื่องที่เคลื่อนไหว หรือผืนึกแน่นให้อยู่ในสภาพที่เรียบร้อย
- ตรวจหาค่าความต้านทานของฉนวนตลอดลำ ปกติต้องมีค่า $100 \text{ M}\Omega$ ขึ้นไป
- ตรวจดู และทดลองเดินเครื่องไฟฟ้าอะไหล่ต่างๆ ที่มีอยู่

4. การระวังรักษาเพื่อความปลอดภัยสำหรับเครื่องกำเนิด มอเตอร์ และแผงควบคุม

- 4.1 บริภัณฑ์ไฟฟ้าทั่วไปเมื่อได้ทำการปรับซ่อมใหญ่แล้ว จะต้องไม่เดินเครื่องก่อน จนกว่าจะได้ทำการตรวจสอบอย่างถี่ถ้วน ตรวจระยะห่างให้ได้ตามเกณฑ์ ตรวจการลัดวงจรฉนวนหรือน้ำยาเคลือบที่ชำรุด ตรวจเก็บเครื่องมือที่วางเกะกะ ฯลฯ จำนวนรอบของเครื่องหลังจากการเดินเครื่องแล้วจะต้องตรวจสอบให้ได้ตามคำแนะนำและสมุดบันทึก สำหรับขดลวดแม่เหล็กและ Armature จะต้องตรวจด้วยแอมป์มิเตอร์เช่นเดียวกัน
- 4.2 หลังจากเดินเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าแล้ว ถ้าอุณหภูมิในขณะที่เดินสูงเกินไป จะต้องตรวจและแก้ไข ก่อนที่จะเดินใช้ต่อไป
- 4.3 บริภัณฑ์ไฟฟ้าไม่ควรเดินให้เกินกำลัง นอกจากในเวลาฉุกเฉิน จะเดินเกินกำลังได้ไม่เกิน 25 %
- 4.4 จำนวนรอบต่อนาที ของบริภัณฑ์ไฟฟ้าในขณะที่เดิน ต้องไม่สูงเกินกว่าที่ได้กำหนดไว้

- 4.5 ถ้าแปรงที่ใช้ในบริษัทไฟฟ้าเคลื่อนไปในขณะที่เดินเครื่อง จะต้องระวังอย่างยิ่งที่จะไม่ให้ยัด
ทั้งหมดของแปรงหลุดออกจากที่บังคับ ซึ่งจะทำให้ส่วนล่างของแปรงถูกับซี่ Commutator เป็นผล
ให้เกิดการเสียหายอย่างหนักแก่บริษัทไฟฟ้า
- 4.6 ตรวจสอบและแก้ไขทันทีเมื่อเกิดประกายไฟ ถ้าไม่แก้ไขจะเกิดการเสียหายมากขึ้น
- 4.7 ต้องรักษาอย่าให้น้ำจืด น้ำทะเล เศษขี้ด ผง และโดยเฉพาะน้ำมัน สัมผัสกับส่วนภายในและภายนอก
ของบริษัทไฟฟ้า
- 4.8 อย่าให้น้ำมันเบนซิน หรือของเหลวที่ติดไฟง่าย กับส่วนของบริษัทไฟฟ้าที่มีประกายไฟ ซึ่งอาจจะ
ทำให้เกิดไฟขึ้นได้
- 4.9 ไม่ควรใช้ผ้าทรายกับบริษัทไฟฟ้า ควรใช้กระดาษทรายแทน
- 4.10 ถ้าเครื่องควบคุมความเร็วไม่ปลดเมื่อมีภาระเกินกว่าปกติ 1 % ไม่ควรเดินเครื่องบริษัทไฟฟ้านั้น
จนกว่าจะได้ปรับแต่งเครื่องควบคุมนั้นแล้ว
- 4.11 อุปกรณ์ป้องกันสำหรับบริษัทไฟฟ้า เช่น ฟิวส์ ฯลฯ ควรต้องรักษาให้อยู่ในสภาพที่ทำงานได้
ถูกต้อง และตั้งไว้ให้ถูกต้องตลอดเวลา
- 4.12 ฝาครอบตัวฟิวส์และตู้จ่ายไฟ ที่ใช้อัตด้วยเกลียว จะต้องกวดเกลียวให้แน่นเสมอ สำหรับตู้ ปิด - เปิด
ด้วยคันกระเดื่องจะต้องปิดอยู่เสมอ ส่วนยางสำหรับอัดกันรั่วที่มีอยู่ทุกตู้ ควรรักษาให้อยู่ในสภาพดี
ปราศจากสี
- 4.13 ควรตรวจทดลองรั่วลงเนื้อเรือของสายไฟทั้งหมดในบริเวณที่มีโอระเหยชนิดที่ติดไฟได้ และแก้ไขสิ่ง
ที่ชำรุดเมื่อตรวจพบก่อนที่จะส่งคนเข้าไปทำงานในบริเวณใกล้เคียงที่ตั้งกล่าว
- 4.14 การตรวจหาการรั่วลงเนื้อเรือนี้ ควรจะได้ทำจากแผงสวิตช์บอร์ด ที่อยู่ภายนอกบริเวณดังกล่าว และ
การซ่อมทำควรทำในวงจรที่ไม่มีกระแสไฟ
5. การระวังเพื่อความปลอดภัยสำหรับการทำงานต่าง ๆ กับระบบไฟฟ้าในเรือ
- 5.1 อย่ารีบร้อนเกินไปในการซ่อมทำวงจรไฟฟ้า ความรีบร้อนเป็นเหตุให้สูญเสียชีวิตได้เมื่อใช้กับ
บริษัทไฟฟ้า
- 5.2 ปฏิบัติต่อวงจรทุกวงจรด้วยความระมัดระวัง โดยไม่คำนึงถึงว่ากำลังดันไฟฟ้าในวงจรนั้นจะมากน้อย
เพียงใด
- 5.3 นอกจากกรณีฉุกเฉินแล้วอย่าทำงานกับวงจรที่มีไฟเลี้ยงอยู่ จะต้องพิจารณาว่าวงจร ทุกวงจรมี
ไฟเลี้ยงอยู่ จนกว่าจะตรวจสอบด้วยตนเองแล้ว และต้องปลดสวิตช์ และผูกป้ายไว้
- 5.4 เมื่ออยู่ในสภาวะทางทหารที่ต้องการซ่อมทำ หรือระวังรักษาเกี่ยวกับไฟฟ้า แต่ห้ามการปลด
กำลังไฟฟ้าออกจากวงจร ให้ใช้ข้อควรระวังเป็นพิเศษ งานควรจะทำให้ลุล่วงไปได้โดยการตรวจ
อันตรายที่เกี่ยวข้องอย่างพอเพียง ใช้ความระวังทุกอย่างที่ป้องกันบุคคลที่ทำงานอยู่ให้พ้นจากการ
ต่ออยู่กับดินและใช้วิธีการระวังเพื่อความปลอดภัยทุกประการ ควรใช้ข้อควรระวังดังต่อไปนี้
- 1) จัดให้แสงสว่างเพียงพอ
 - 2) ผู้ทำงานไม่ควรสวมแว่น สร้อย นาฬิกา
 - 3) เสื้อผ้าและรองเท้าต้องแห้งมากที่สุด เท้าที่จะทำได้
 - 4) พันเครื่องมือเป็นโลหะด้วยยางพันสาย (ไม่ใช่ผ้าพัน) เท้าที่จะทำได้
 - 5) ใช้ผ้าฉนวนหรือวัตถุอื่นๆ ที่เหมาะสมเป็นฉนวนกันขึ้นส่วนที่เป็นโลหะอื่นๆ ที่มีไฟเลี้ยง ซึ่ง
ติดอยู่กับผู้ที่กำลังปฏิบัติงาน เท้าที่จะทำได้
 - 6) ถ้าเป็นไปได้ให้ใช้มือแต่เพียงข้างเดียว

- 7) สวมถุงมือข้างที่มีได้อิทธิฤทธิ์มือ ถ้าได้ให้สวมทั้งสองข้าง
- 8) จัดหาคนคอยยืนคุมอยู่ใกล้ๆ เครื่องตัดวงจร หรือสวิตช์เพื่อตัดวงจร หรือแผงสวิตช์นั้นออก เมื่อมีเหตุฉุกเฉิน
- 5.5 ให้ถือเสมอว่าสายไฟทุกสายมีไฟเสมอ จนกว่าจะได้ตรวจแน่นอนแล้วว่าไม่มีไฟ ในการตรวจสอบวงจรให้ตรวจด้วยมาตรวัดโวลท์ เครื่องมือทดสอบกำลังดันหรือไฟตรวจทางด้านที่มีไฟเสียก่อน เพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์เหล่านั้นยังทำงานได้ดีอยู่ แล้วจึงทดสอบทางด้านไม่มีไฟด้วยอุปกรณ์เดียวกัน แล้วย้อนกลับมาทดสอบทางด้านมีไฟอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์ที่ทดสอบยังอยู่ในภาวะปกติ
- 5.6 เนื่องจากอันตรายที่เกี่ยวข้องมืออยู่มาก ดังนั้นอย่าทำให้เกิดข้อขัดข้องโดยตั้งใจ เมื่อใดก็ตามถ้าจำเป็นต้องตรวจดูว่ามีไฟอยู่ในวงจรหรือไม่ ให้ใช้มาตรวัดโวลท์ เครื่องทดสอบกำลังดันไฟตรวจหรืออุปกรณ์ชื่อบอกอย่างอื่นๆ ที่เหมาะสม
- 5.7 อย่าไว้วางใจว่าฉนวนในวงจรที่มีไฟฟ้าใดๆ ฉนวนที่ดูว่ามีสภาพดีอาจป้องกันการช็อตถึงตายไม่ได้
- 5.8 สำหรับสายเคเบิลที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ ให้เลือกใช้และระวังรักษาอย่างระมัดระวัง ควรใช้สายไฟฟ้าที่ยาวและหนาตัดที่ถูกต้อง สายเคเบิลที่เคลื่อนย้ายไม่ได้ ที่ต่อกันอยู่เป็นอันตรายอย่างยิ่ง และไม่ควรรื้อถอนแต่เป็นการฉีกที่คุ้มค่ากับการเสี่ยงนั้น
- 5.9 ใช้เครื่องดึงฟิวส์ที่ทำด้วยฉนวน เพื่อถอดเปลี่ยนฟิวส์ขนาด 10 แอมป์ หรือต่ำกว่านั้น ฟิวส์ที่มีขนาดสูงกว่า 10 แอมป์ ควรจะถอดออกหรือเปลี่ยน หลังจากที่ได้ตัดวงจรไฟเรียบร้อยแล้ว เปลี่ยนฟิวส์ที่ขาดด้วยฟิวส์ขนาดเดียวกัน
- 5.10 ในการใช้เครื่องตัดต่อวงจรและสวิตช์ ให้ใช้ข้อควรระวังเพื่อความปลอดภัยดังนี้.-
- ไม่มีใครทำงานอยู่ในวงจรนั้น
 - วงจรนั้นๆ พร้อมแล้วด้วยปริมาณทั้งหมด ที่ต่ออยู่ในภาวะที่จะรับกำลังไฟฟ้าได้
 - อุปกรณ์ป้องกันทั้งหมดของวงจรจะอยู่ในสภาพที่ทำงานได้ดี
 - เมื่อใช้เครื่องตัดต่อวงจรหรือสวิตช์ ให้ทำด้วยมือเดียวเท่านั้น มืออีกข้างหนึ่งควรให้อยู่ห่างๆ
 - สำหรับสวิตช์ไบเมทัลที่ดำเนินการด้วยมือ และปริมาณที่คล้ายกัน เมื่อต่อหรือปลด ให้ทำอย่างเด็ดขาดและรวดเร็ว
- 5.11 ฝาปิดเครื่องเริ่มเดินมอเตอร์ แผงจ่ายไฟ และชิ้นส่วนที่คล้ายกันทั้งหมด จะต้องปิดไว้เสมอ เว้นแต่จะต้องการเปิดเท่านั้น
- 5.12 ต้องแน่ใจว่าเครื่องกลไฟฟ้าได้คลายประจุลงดินแล้วเมื่อเลิกใช้ ประจุไฟฟ้าที่ยังคงมีอยู่ในเครื่องกลหรือในชิ้นส่วนที่ไม่ได้ต่อลงดินของเครื่องกล บางครั้งก็มากพอที่จะทำให้ช็อตอย่างรุนแรงได้
- 5.13 ก่อนที่จะจับต้องคอนเดนเซอร์ใดๆ ซึ่งต่อกับวงจรที่ปลดกำลังดันไฟฟ้าออกอยู่แล้วจะต้องคายประจุคอนเดนเซอร์เหล่านั้นเสียก่อน โดยให้ปลายขั้วของคอนเดนเซอร์นั้นลัดวงจร
- 5.14 อย่าใช้สายวัดที่เป็นโลหะ หรือบันทึกที่มีขอบโลหะใกล้กับปริมาณไฟฟ้า
- 5.15 อย่าจับท่อ เหล็กกนกฉาก หรือโลหะอื่นๆ ที่ไม่มั่นคงเมื่อทำงานหลังแผงสวิตช์ หรือในบริเวณใกล้เคียงกับอุปกรณ์ที่มีกำลังไฟฟ้า ซึ่งมีส่วนที่มีกระแสไฟมิได้ปกปิดไว้
- 5.16 เมื่อใช้ลมเป่าปริมาณไฟฟ้าให้ใช้เฉพาะท่ออย่าง หรือฉนวนที่เป็นท่อลม ต้องแน่ใจว่าลมที่เป่ามีกำลังดันต่ำ และปราศจากน้ำ
- 5.17 เครื่องกลทั้งหมด และเครื่องที่ติดตั้งประจำต้องต่อลงดินไว้กับตัวเรือ

- 5.18 ถ้านวนของวงจรชำรุด และไฟรั่วถึงเครื่องกล หรือเครื่องที่ติดตั้งประจำที่มีได้ต่อลงดินไว้ การทดสอบการรั่วลงดินที่ทำเป็นประจำจะไม่แสดงให้เห็น
- 5.19 เมื่อเรือเข้าอยู่แห่ง ต้องดูว่าได้ต่อตัวเรือลงดินไว้หลายแห่ง จนตลอดความยาวของตัวเรือ
- 5.20 จัดหาแผ่นยางไว้ที่สวิตช์ แผงทดสอบ และในหีบเครื่องป้องกันความเสียหาย สำหรับทำงานกับวงจรในเมื่อหลีกเลี่ยงไม่ได้

6. การระวังเพื่อความปลอดภัยสำหรับแบตเตอรี่

- 6.1 ยื่อนำเปลวไฟ และประกายไฟทุกชนิดเข้าไปใกล้แบตเตอรี่
- 6.2 จงแน่ใจว่าห้องแบตเตอรี่ที่ปิดไว้ จะต้องมีการระบายอากาศก่อนที่จะเข้าไปปฏิบัติงานต่างๆ ในห้องนั้น
- 6.3 ต้องแน่ใจว่าเครื่องระบายอากาศในห้องแบตเตอรี่เดินให้เรียบร้อยก่อนเริ่มทำการประจุไฟ ถ้าระบบการระบายอากาศไม่เรียบร้อย ควรหยุดทำการประจุไฟนอกจากเวลาฉุกเฉินเท่านั้น
- 6.4 การประจุไฟต้องกระทำตามอัตราที่กำหนดไว้ในคู่มือของแบตเตอรี่ หรืออัตราความจุของแบตเตอรี่เอง
- 6.5 จะต้องลดอัตราการประจุลงทันที เมื่อแบตเตอรี่เกิดแก๊สซึ่ง หรืออุณหภูมิสูงถึง 110°F
- 6.6 รักษาอุณหภูมิของห้องเก็บแบตเตอรี่ให้ต่ำกว่า 95°F
- 6.7 อย่าเก็บกรดกำมะถันในที่ๆ มีอุณหภูมิแข็งตัว
- 6.8 รักษาระดับของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ ให้เหนือกว่าแผ่นกั้นประมาณ $\frac{1}{4}$ นิ้ว
- 6.9 จงเติมเฉพาะน้ำกลั่นบริสุทธิ์ลงในแบตเตอรี่เท่านั้น
- 6.10 อย่าคายประจุของแบตเตอรี่ต่ำกว่าเขตจำกัดกำลังขั้นต่ำสุดที่กำหนด 1.75 โวลต์ต่อเซลล์ นอกจากเวลาฉุกเฉิน
- 6.11 อย่าให้แบตเตอรี่ที่มีสภาพคายประจุหมดแล้ว อยู่นานเกินกว่า 24 ชั่วโมง
- 6.12 อย่าให้แบตเตอรี่ทำงานที่อุณหภูมิเกินกว่า 125°F
- 6.13 อย่าให้มีประกายไฟทุกชนิดเมื่อถอดแบตเตอรี่หรือประกอบเข้าที่ เพราะอาจจะมีไอระเหยของน้ำมันในที่ซึ่งใช้แบตเตอรี่ที่มีขั้วลงดินสายหนึ่ง เวลาถอดแบตเตอรี่ออก จะต้องปลดขั้วลงดินก่อนเสมอ และเวลาประกอบเข้าที่จะต้องต่อขั้วลงดินหลังสุด
- 6.14 อย่าตรวจแบตเตอรี่ว่ามีไฟหรือไม่ โดยการต่อสายที่ขั้วทั้งสองแตะกัน
- 6.15 ถ้าน้ำยาเข้าตา ให้ล้างตาด้วยน้ำยาคาร์บอเลต 10 % แล้วหยอดด้วยน้ำมันมะกอก
- 6.16 ถ้าน้ำยากระเด็นถูกเสื้อผ้า หรือผิวหนัง ให้รีบล้างด้วยแอมโมเนียผสมน้ำ