สื่อการนำเสนอผลงาน PowerPoint
เรื่อง เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

(Synchronous Generator)

เครื่องจักรกลที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกล

ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ผลิตไฟฟ้ากระแสสลับ

โดยการเคลื่อนที่ตัดผ่านกันระหว่างขั้วแม่เหล็ก

กับขดลวดตัวนำ

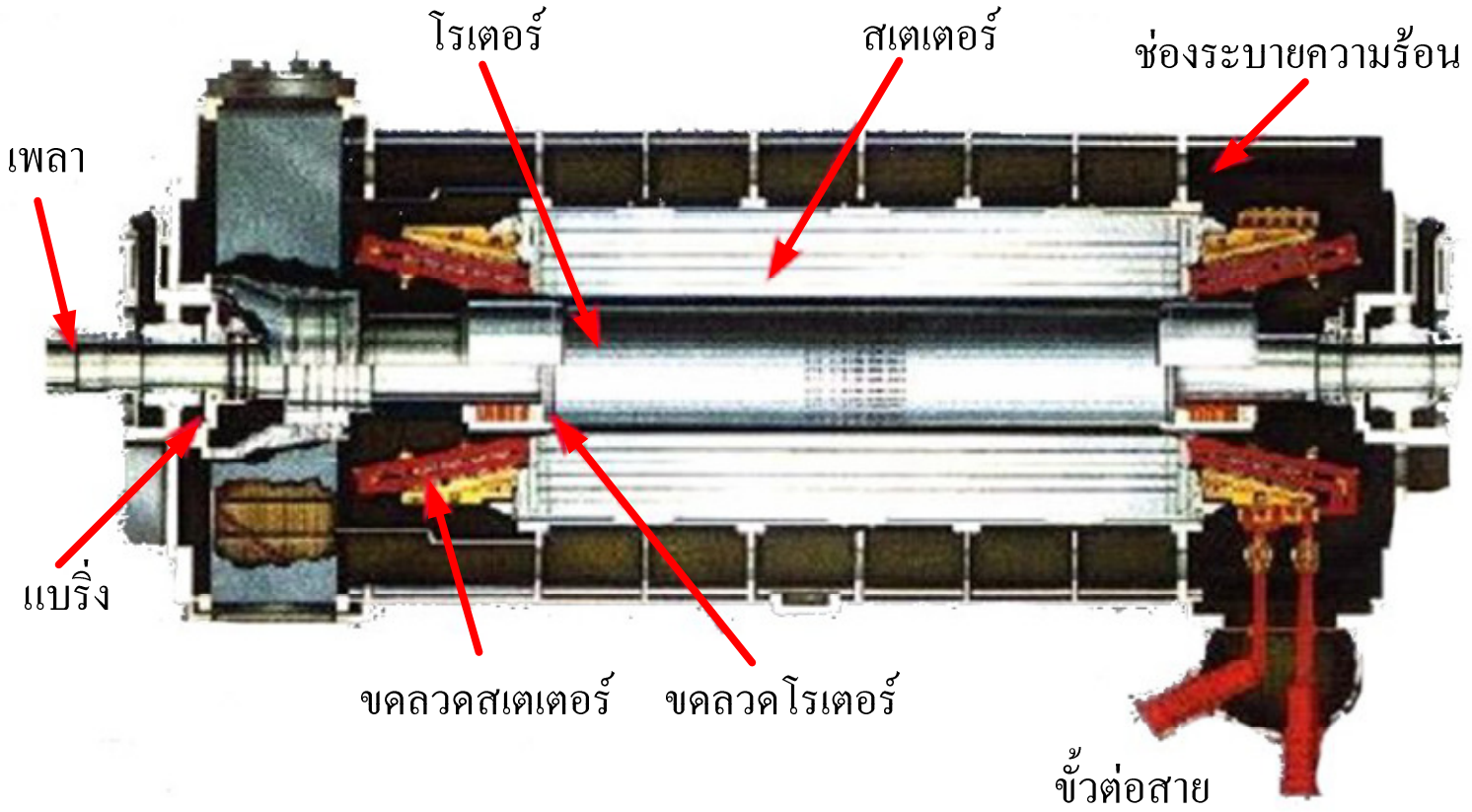
ส่วนประกอบ

โครงสเตเตอร์ (Stator Frame)

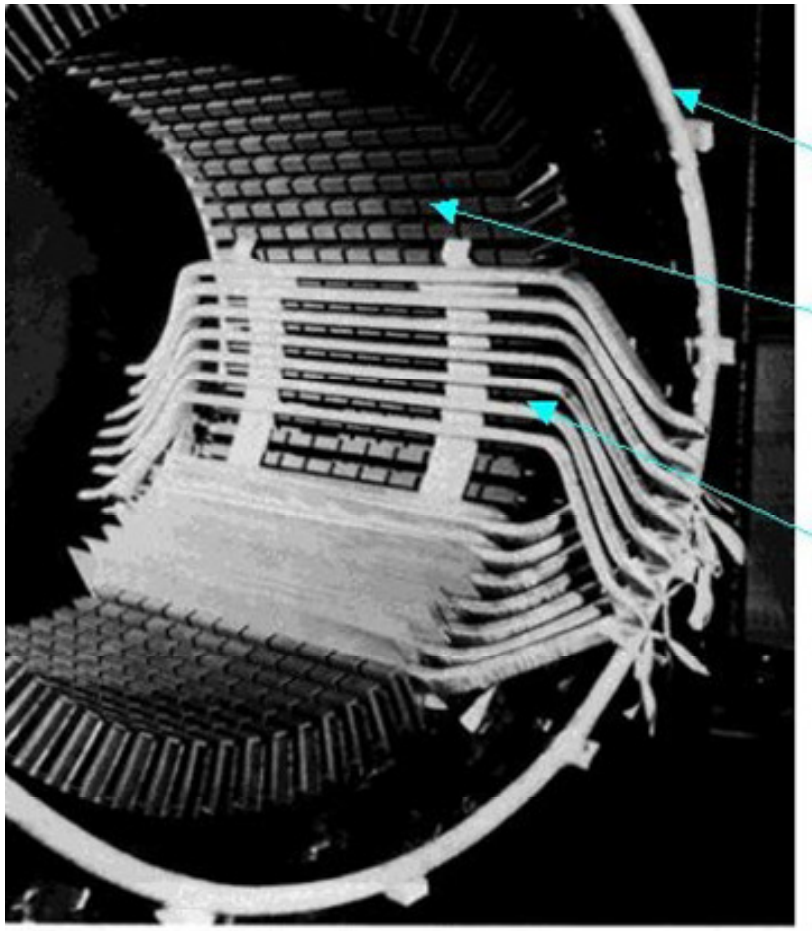
โรเตอร์ (Rotor)

- แบบขั้วแม่เหล็กยื่น (Salient Pole)
- แบบขั้วแม่เหล็กเรียบ (Smooth Cylindrical)
- ขดลวดแดมเปอร์ (Damper Winding)
- เอ็กไซเตอร์ (Exciter)

ส่วนประกอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



การพันขดลวดสเตเตอร์

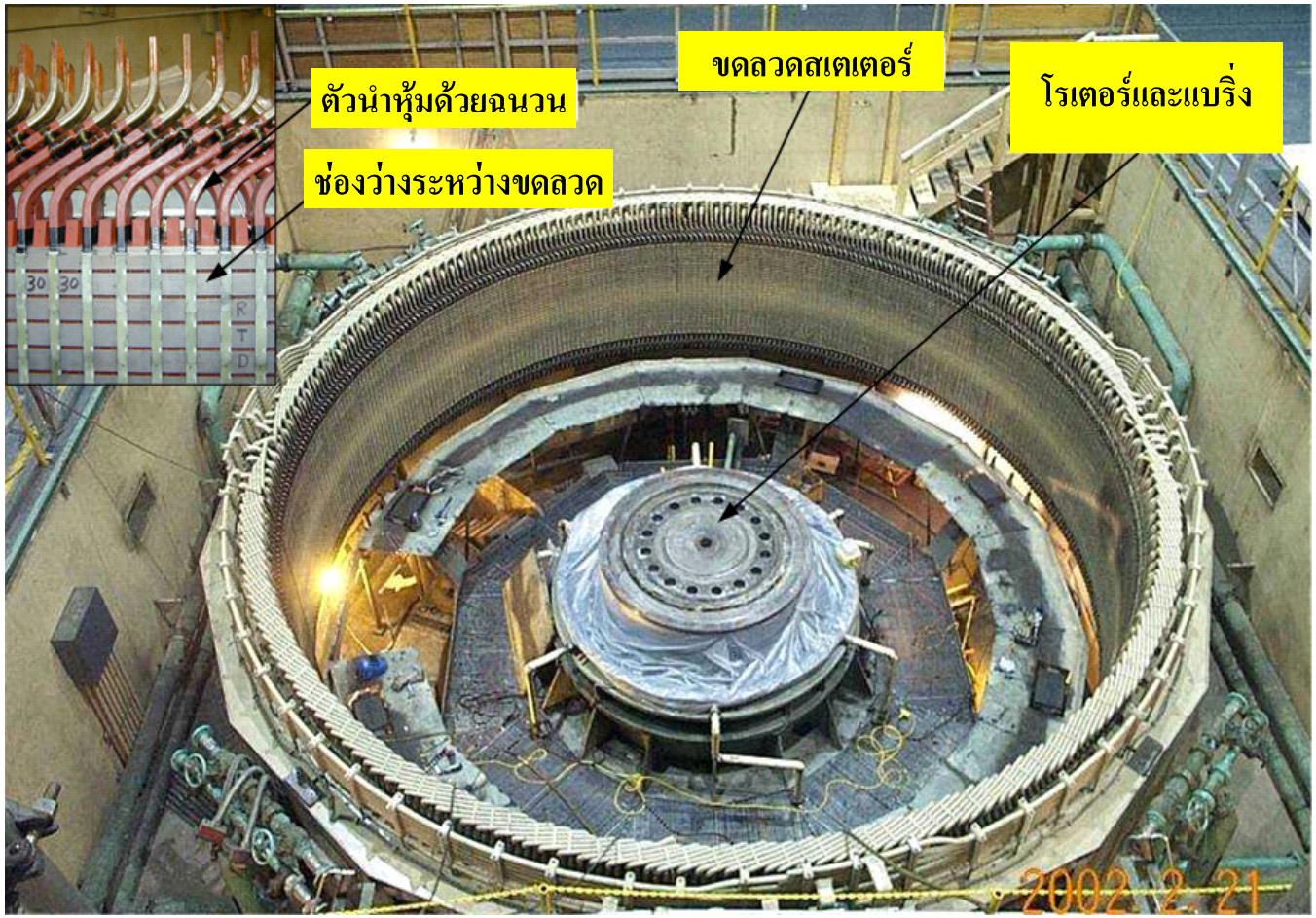


โครงเหล็ก

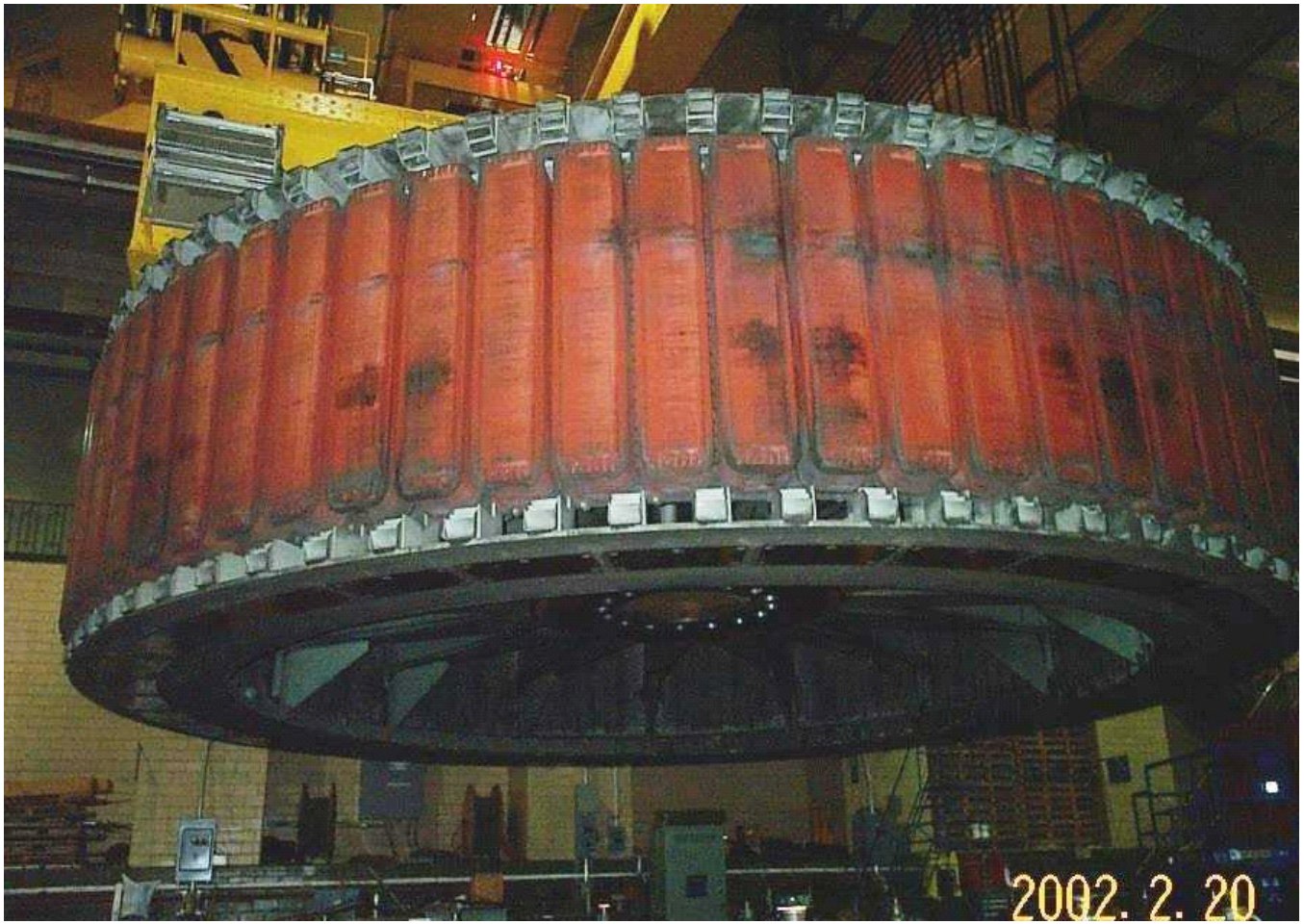
แกนเหล็กแผ่นบางๆ
ทำเป็นสลอต อัดซ้อนกัน

ฉนวนหุ้มแท่งทองแดง

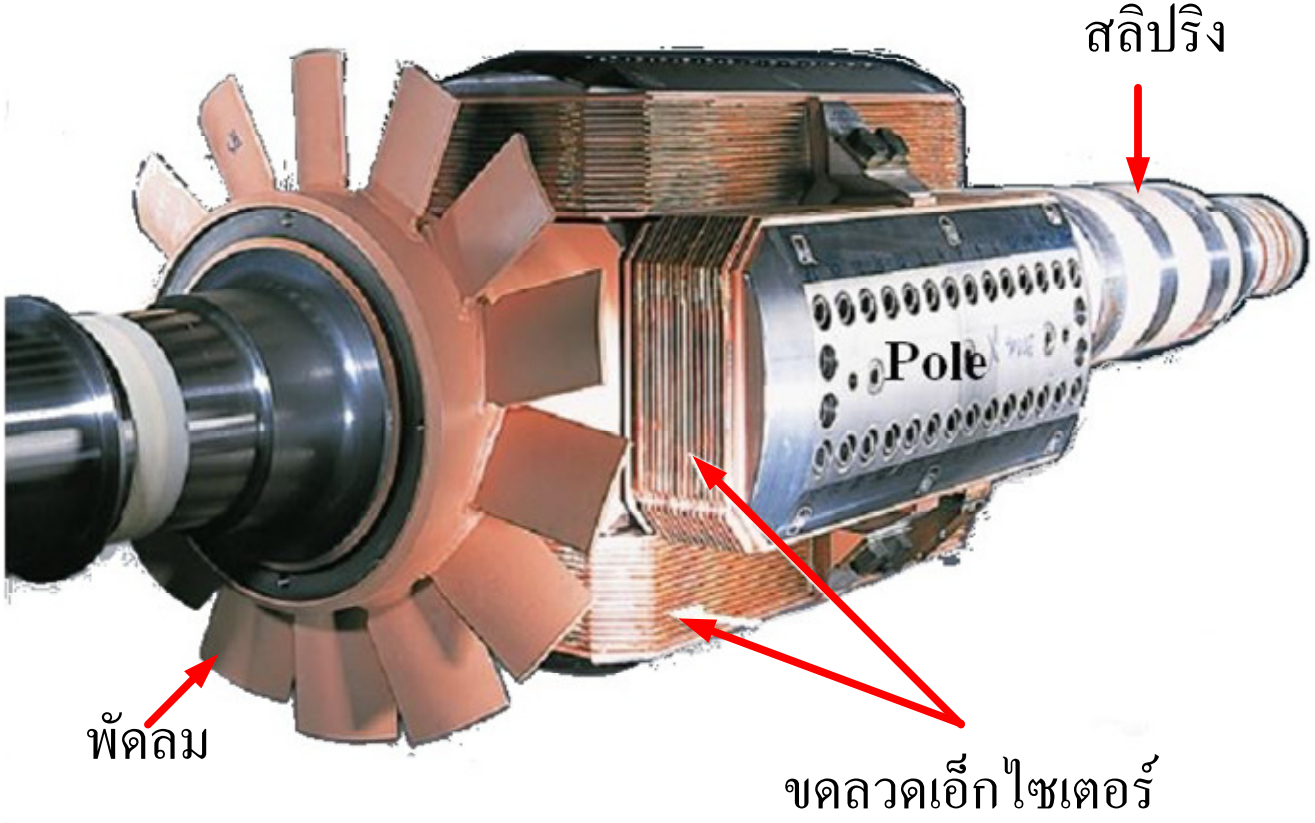
ขดลวดสเตเตอร์



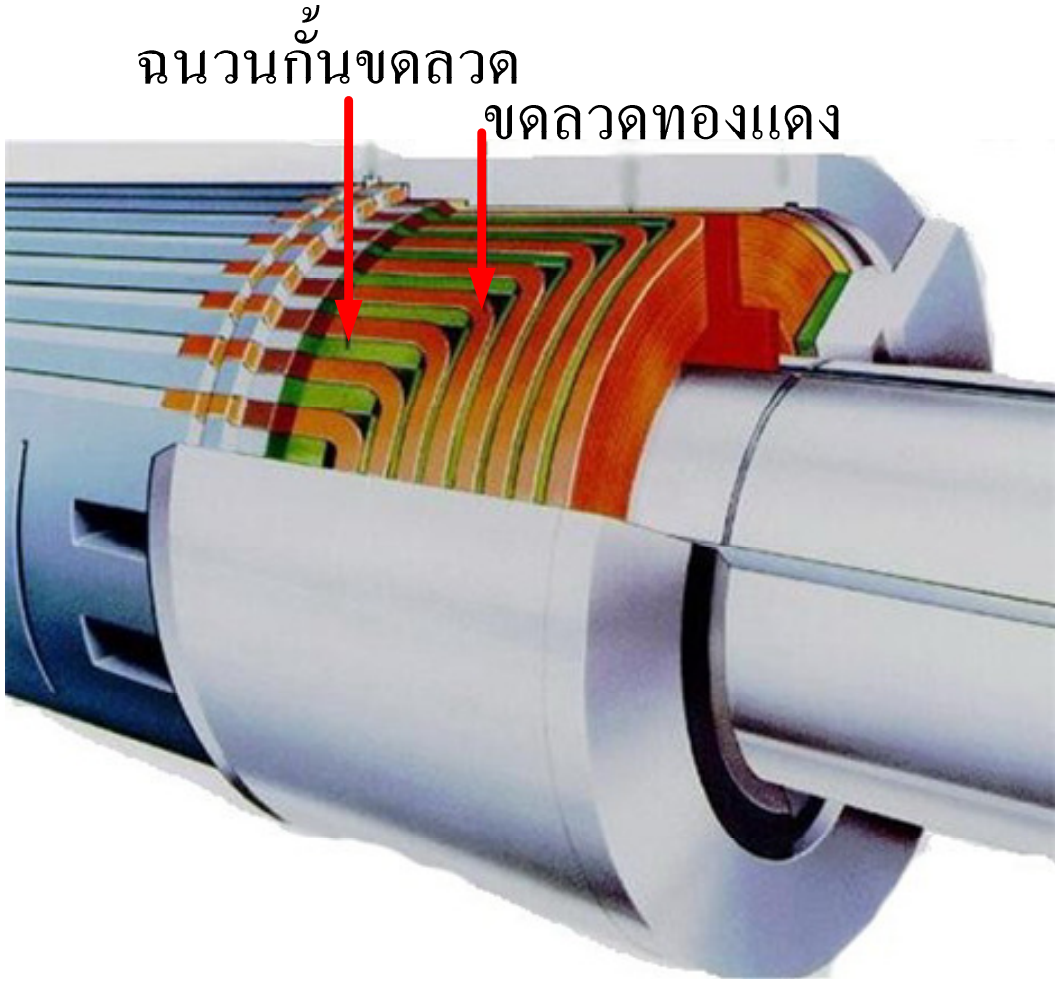
โรเตอร์แบบขั้วแม่เหล็กยื่น



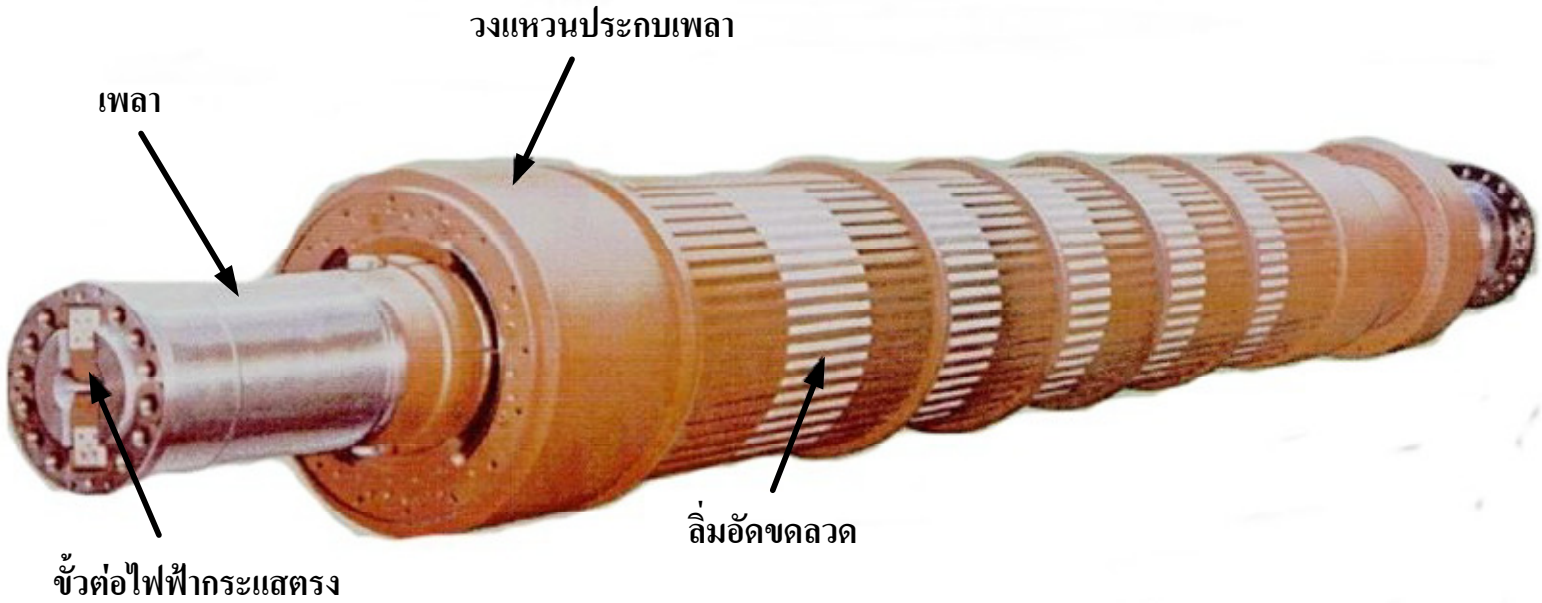
โรเตอร์แบบขั้วแม่เหล็กยื่น



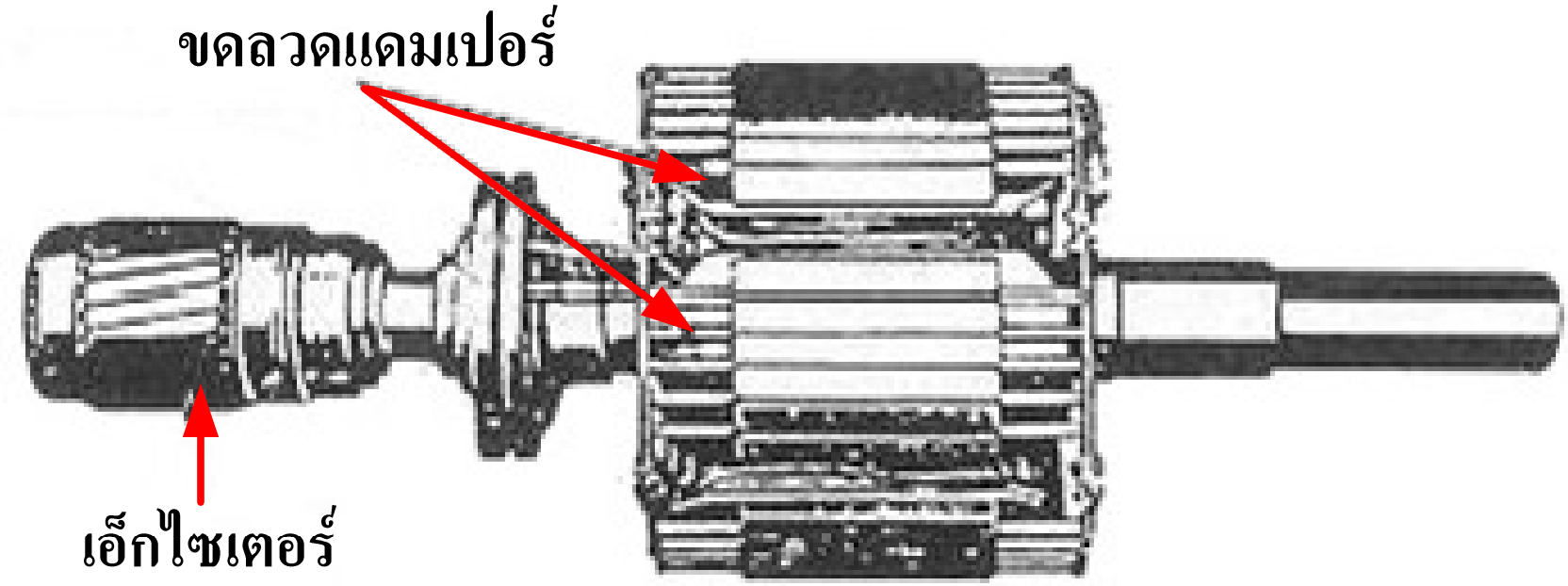
โรเตอร์แบบขั้วแม่เหล็กเรียบ



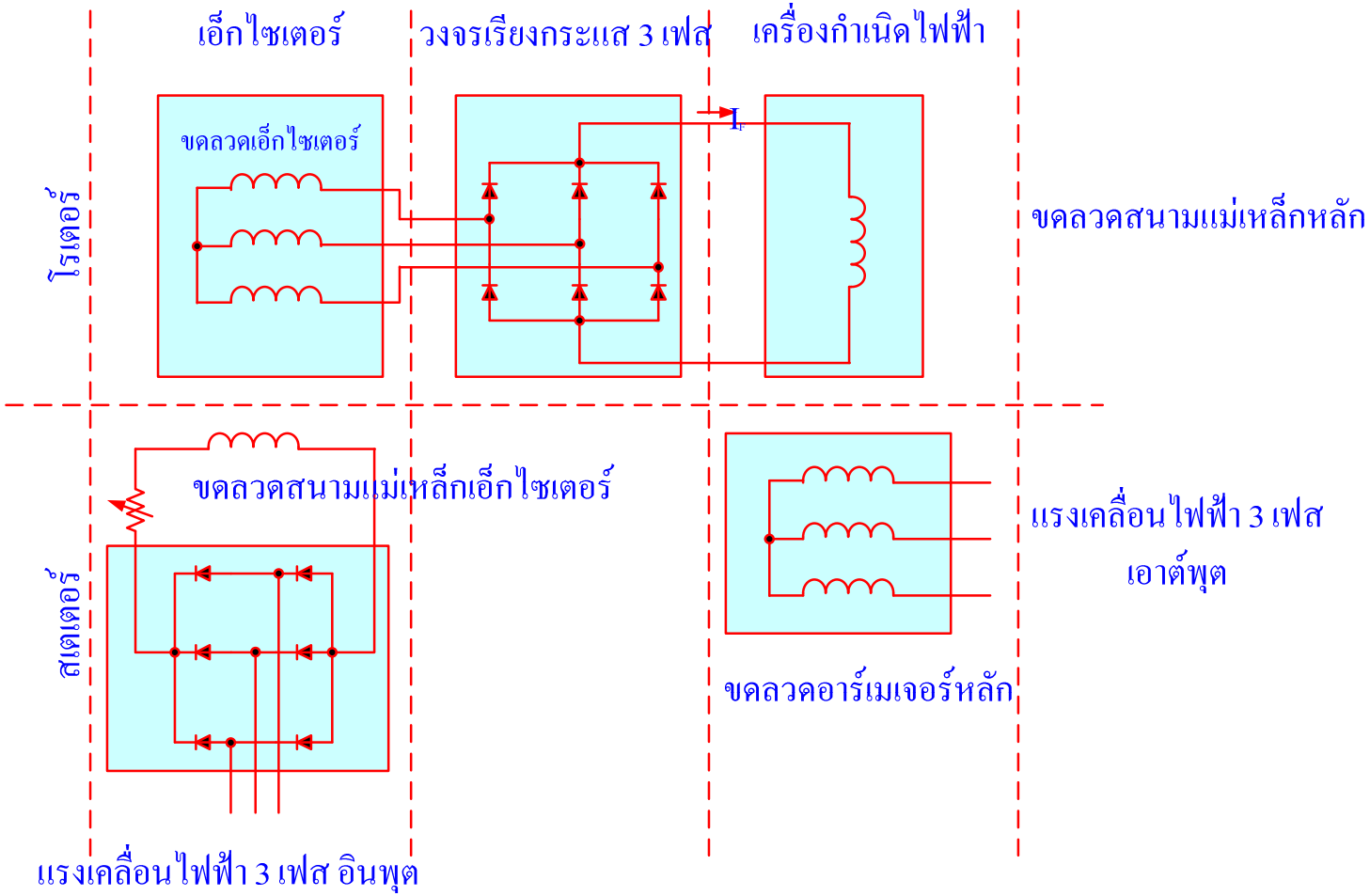
โรเตอร์แบบขั้วแม่เหล็กเรียบ



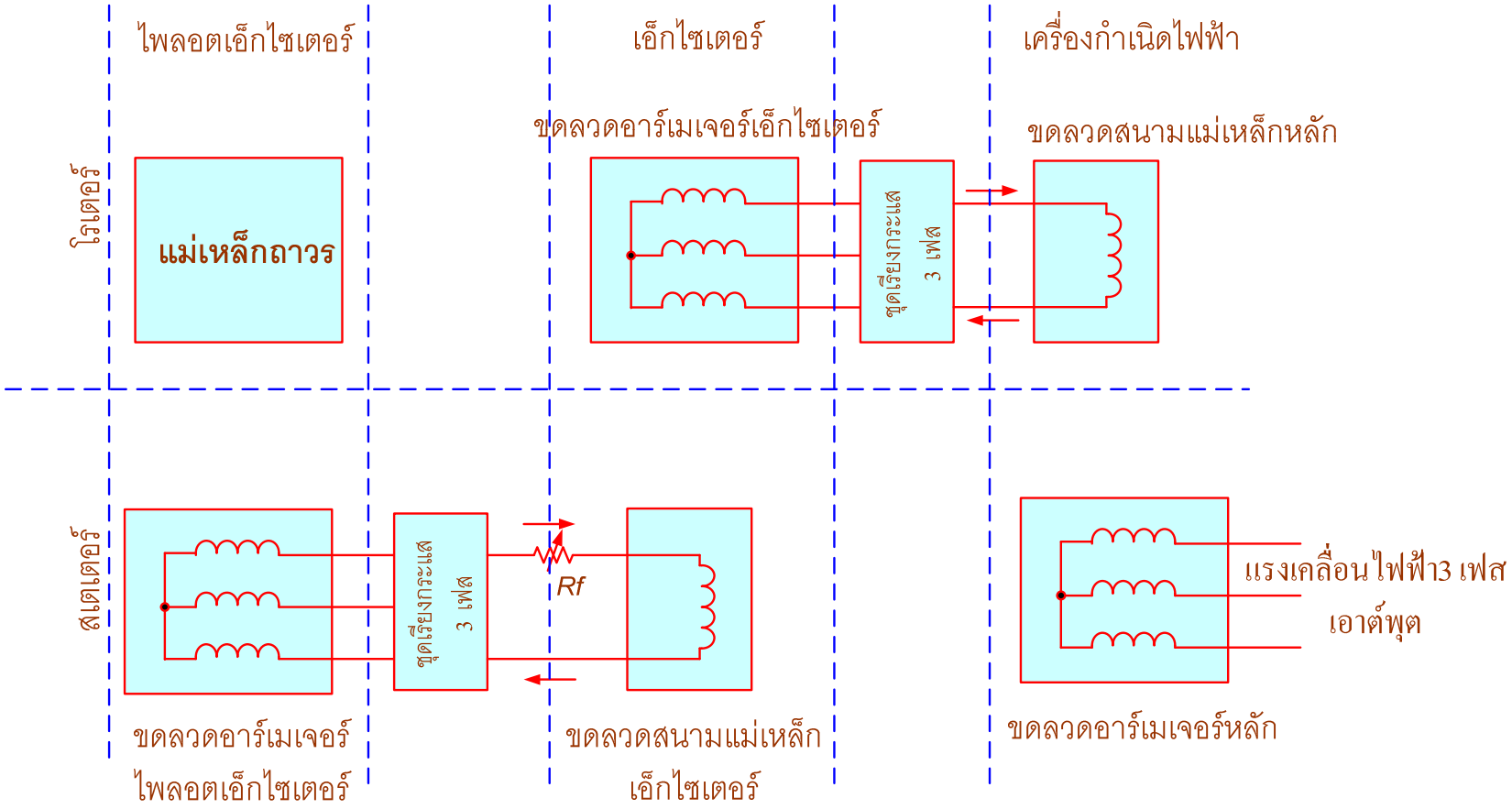
ขดลวดแดมเปอร์



เอ็กไซเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน

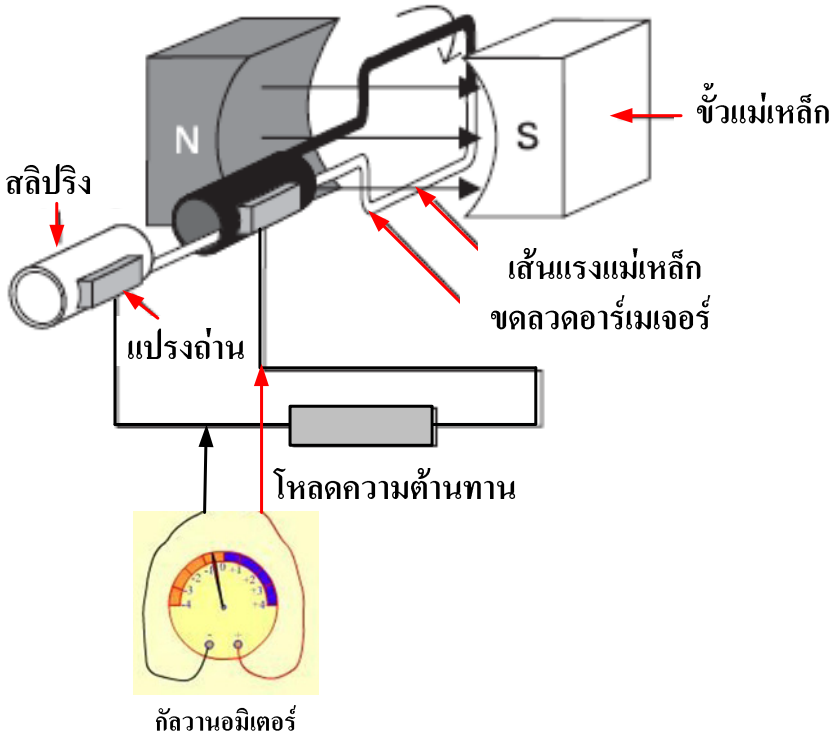


เอ็กไซเตอร์แบบไร้แปรงถ่านและมีไพลอต

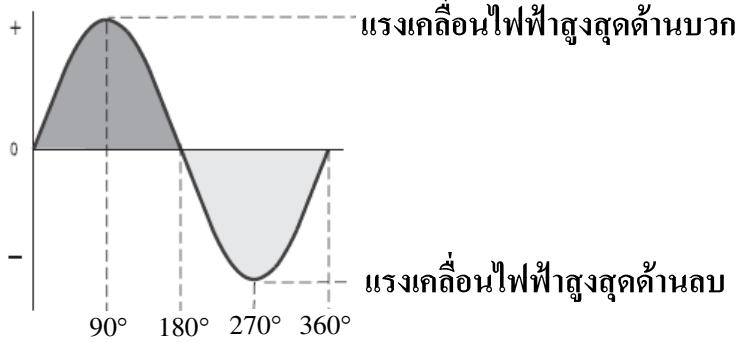


การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างง่าย

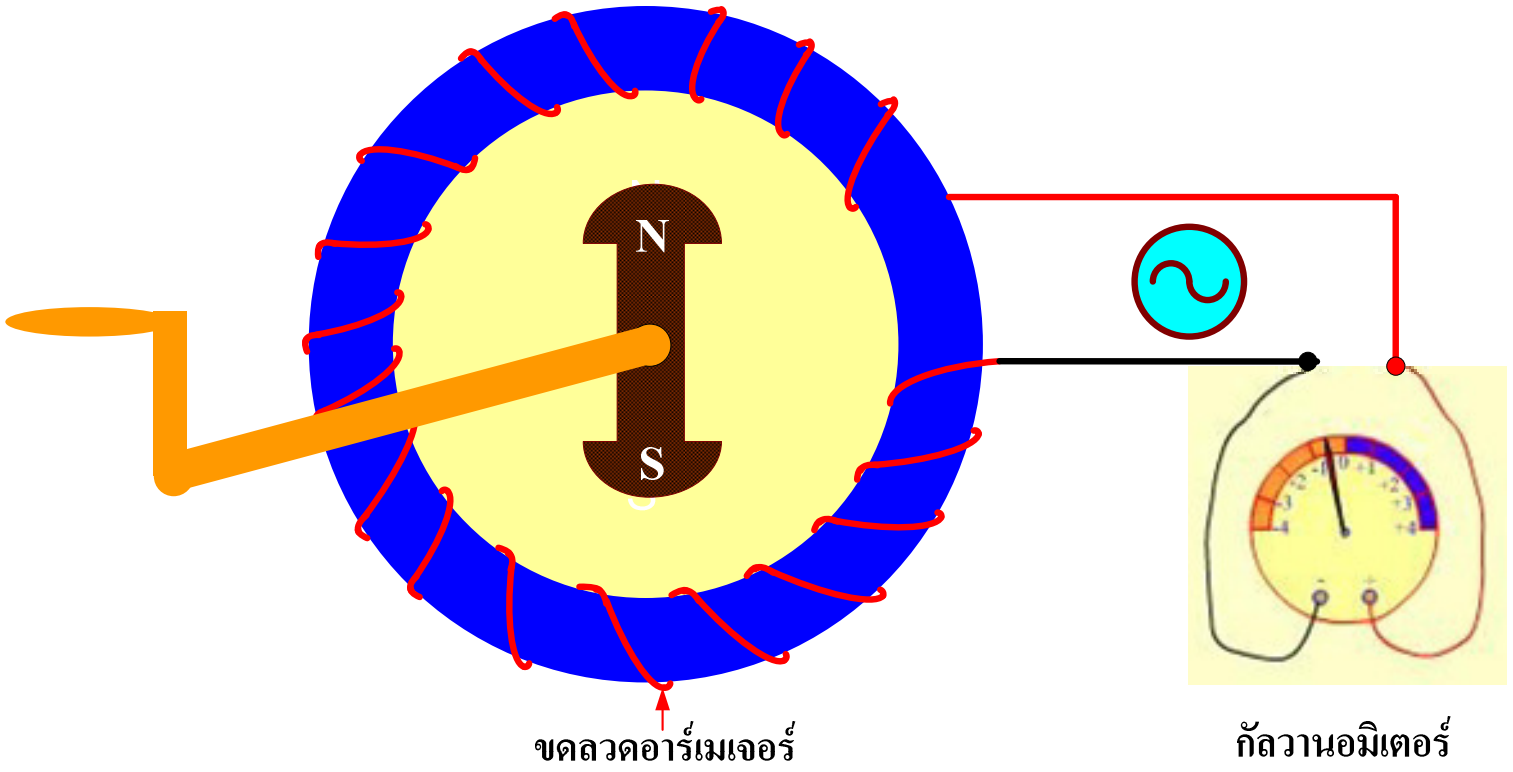


รูปคลื่นไซน์ของแรงดันไฟฟ้า



ตัวนำหมุนตัดสนามแม่เหล็ก

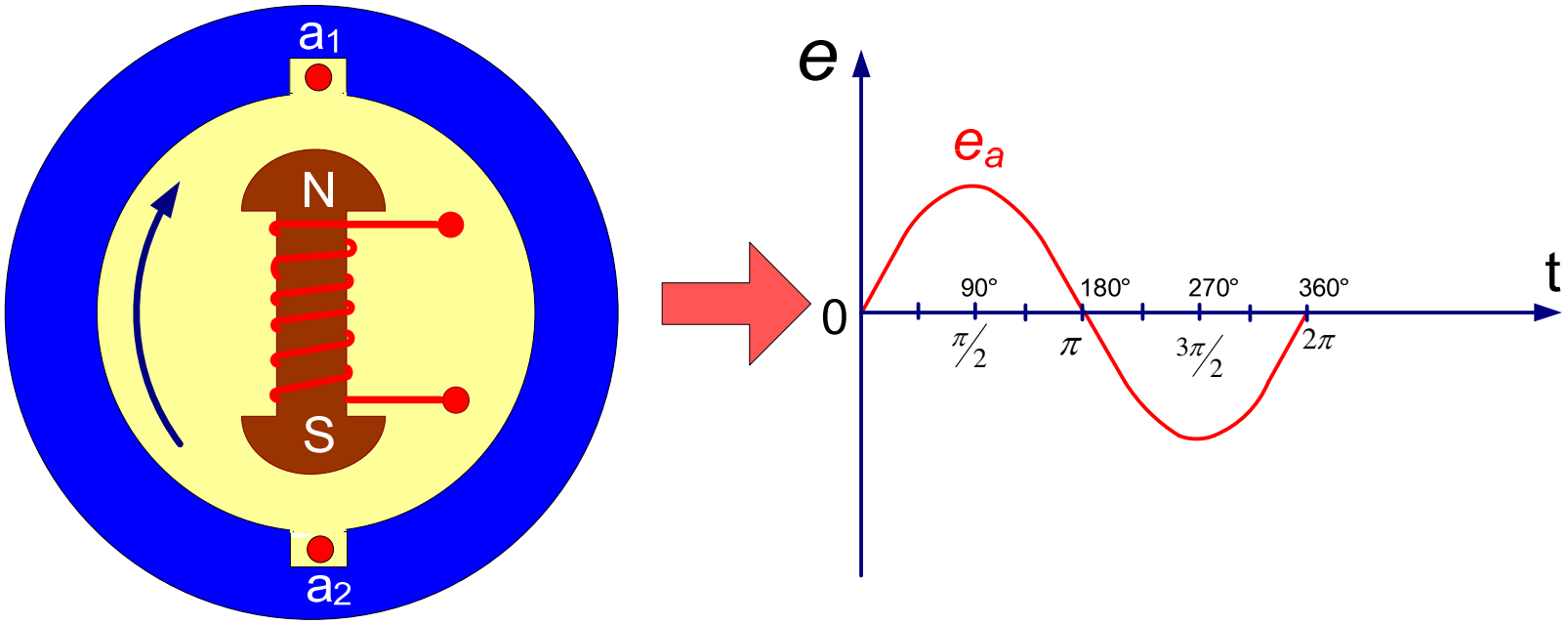
การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ



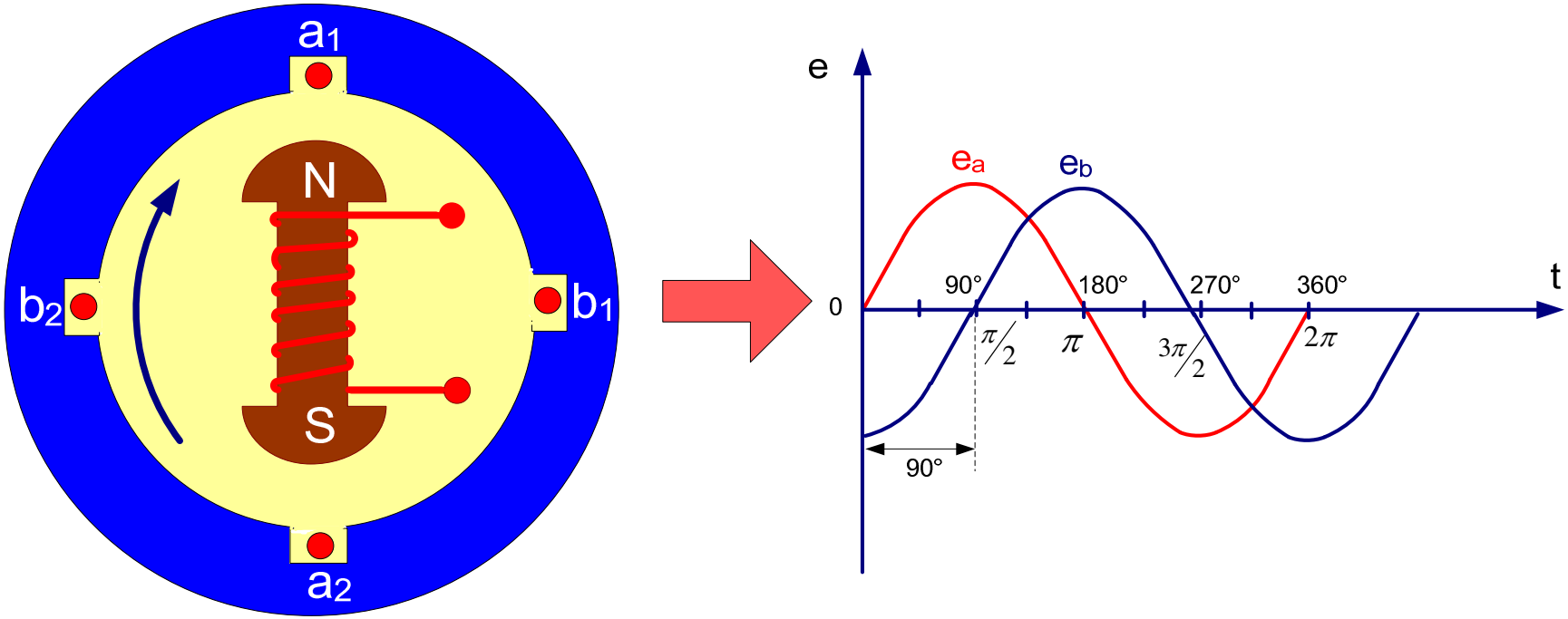
สนามแม่เหล็กหมุนตัดผ่านตัวนำ

รูปคลื่นไซน์

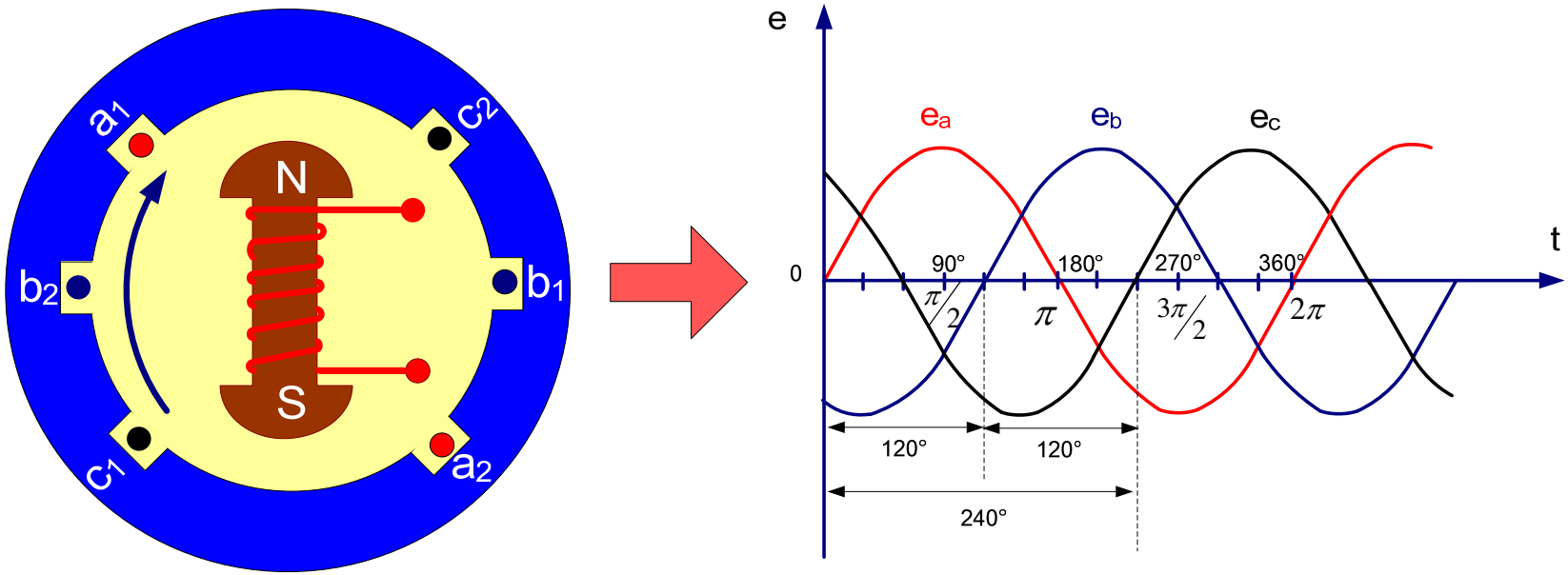
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 เฟส



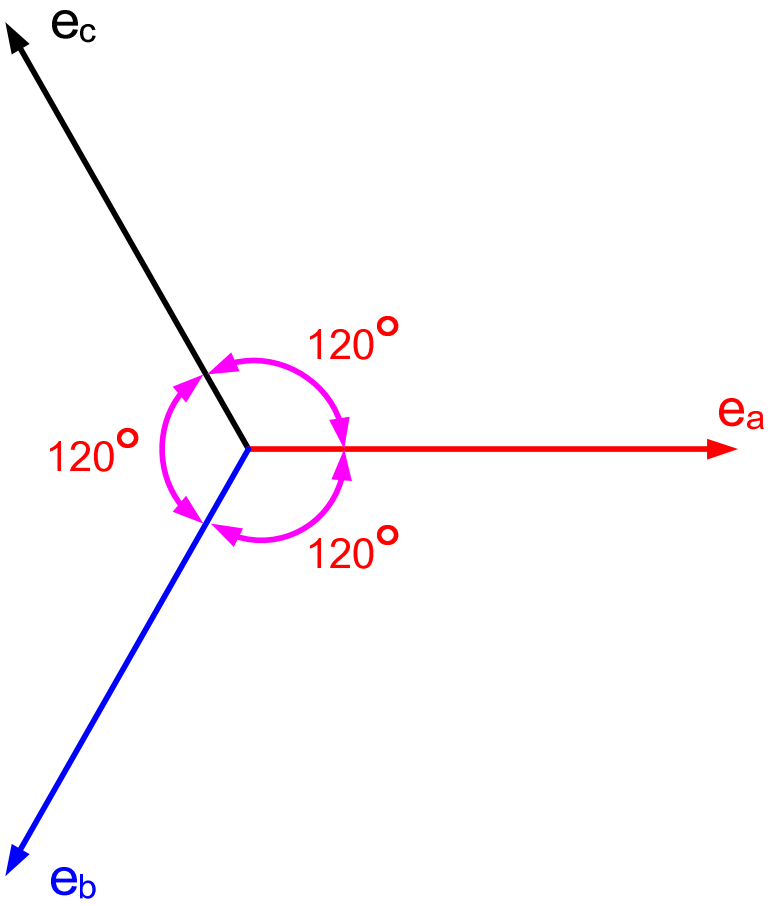
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 เฟส



เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส



เวกเตอร์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ



สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

หมุนตามเข็มนาฬิกา

$$e_a = E_m \sin \omega t$$

$$e_b = E_m \sin\left(\omega t - 120^o\right)$$

$$e_c = E_m \sin\left(\omega t - 240^o\right)$$

หมุนทวนเข็มนาฬิกา

$$e_a = E_m \sin \omega t$$

$$e_b = E_m \sin\left(\omega t + 240^o\right)$$

$$e_c = E_m \sin\left(\omega t + 120^o\right)$$

ความเร็วรอบและความถี่

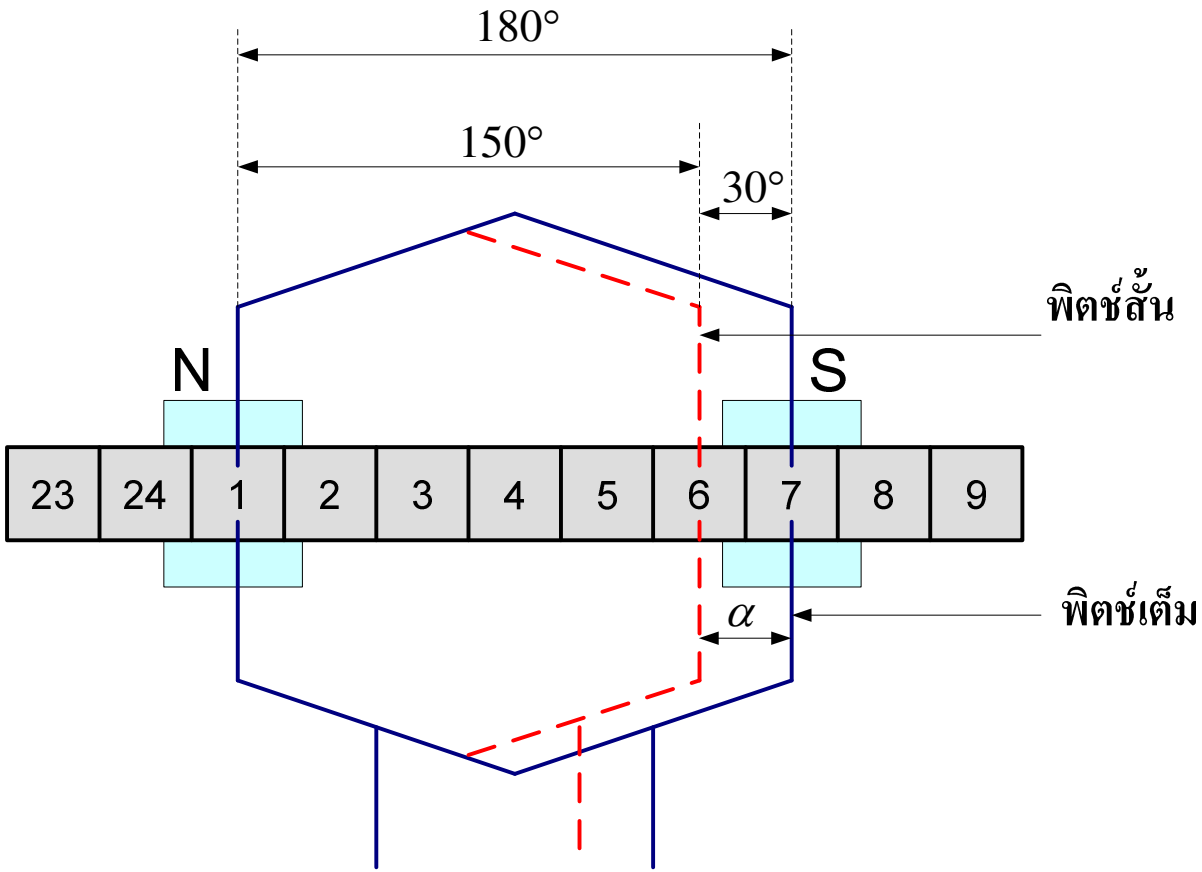
$$\theta_e = \theta_m \frac{P}{2}$$

$$f \propto \frac{P}{2}, \; f \propto n$$

$$N = \frac{120 f}{P}$$

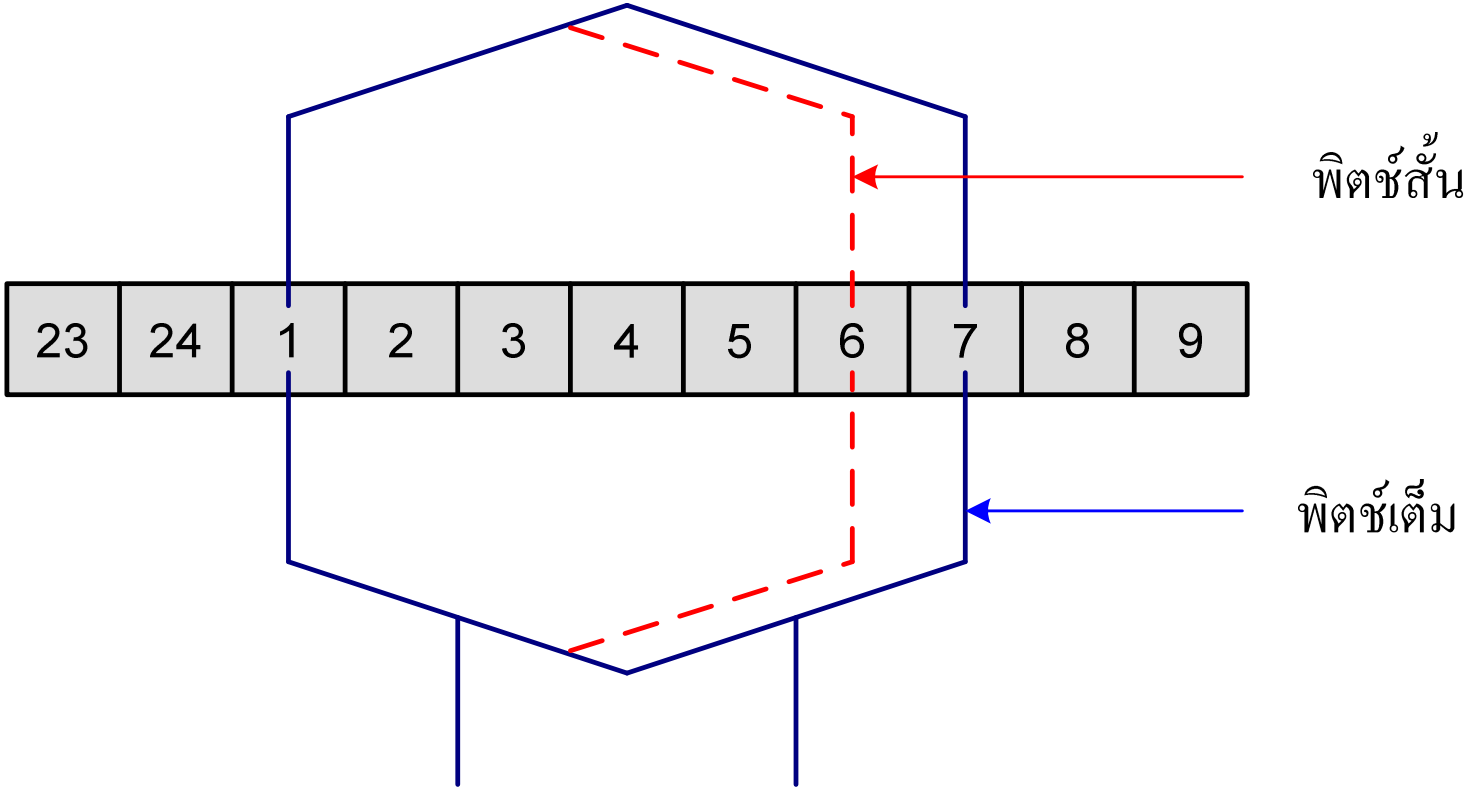
$$f = \frac{NP}{120}$$

สื่อการนำเสนอผลงาน PowerPoint
เรื่อง สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

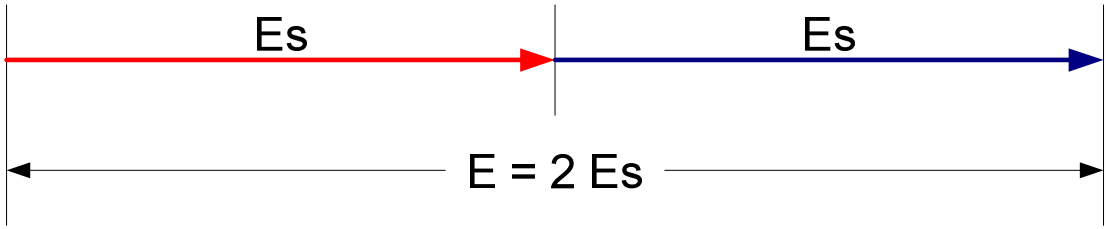


ตัวประกอบระยะขดลวด

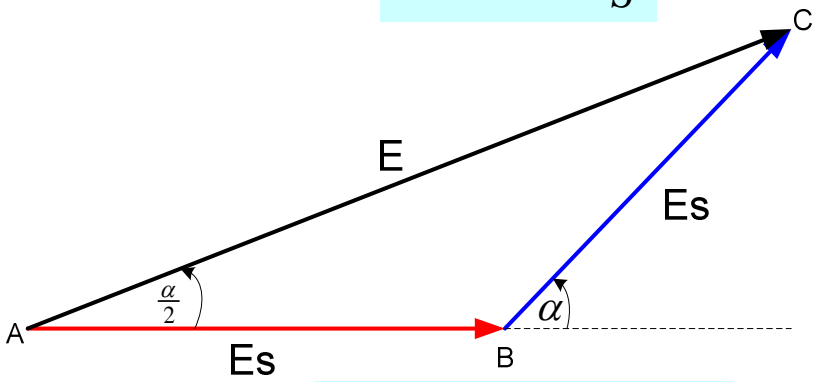
(Pitch factor ; K_P)



ผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าแบบ Full Pitch และแบบ Short Pitch



$$E = 2E_S$$



$$E = 2E_S \cos\frac{\alpha}{2}$$

พิตช์แฟกเตอร์(K_P) = ผลรวมทางเวกเตอร์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อขดลวด / ผลรวมทางเลขคณิตของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อขดลวด

$$K_P = \frac{2Es\cos\frac{\alpha}{2}}{2Es}$$

$$K_p = \cos\frac{\alpha}{2}$$

α = มุมระหว่างระยะพิตช์สั้นที่น้อยกว่าพิตช์เต็ม

ข้อดีของการพันแบบระยะพิตช์สั้น

☺ รูปคลื่นของแรงเคลื่อนไฟฟ้าใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์

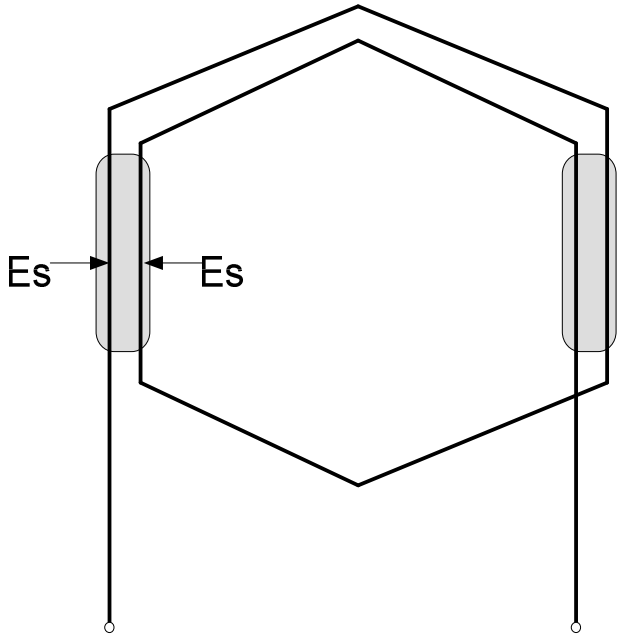
☺ ช่วยประหยัดลวดทองแดง

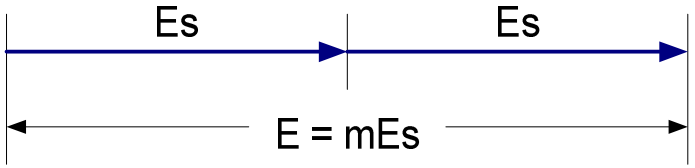
☺ กำจัดคลื่นรบกวนความถี่สูง

☺ ลดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนและฮีสเตอร์ริซีส

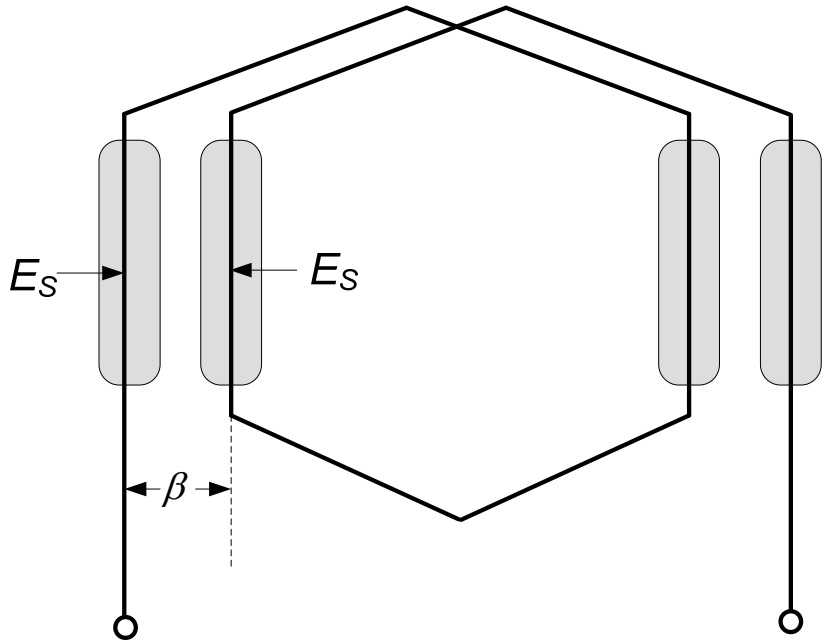
ตัวประกอบการกระจาย

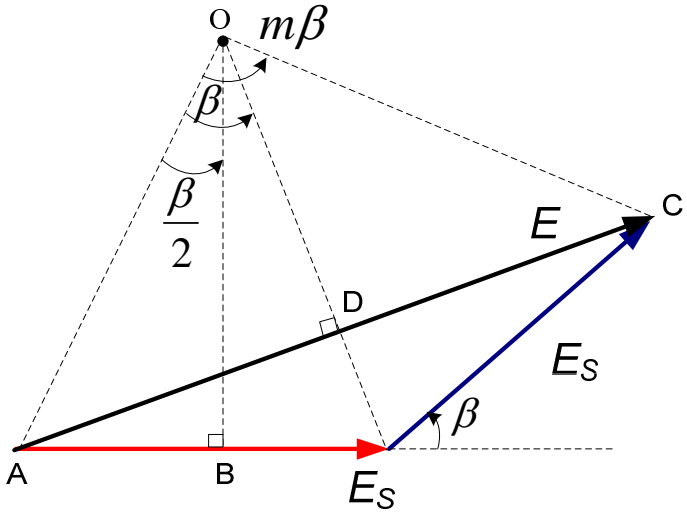
(Distribution Factor; K_d)





$$E = mE_S$$





$$E = \frac{E_S \sin(m\frac{\beta}{2})}{\sin(\frac{\beta}{2})}$$

$$K_d = \frac{\left(\frac{E_S \sin\left(m\frac{\beta}{2}\right)}{\sin\frac{\beta}{2}} \right)}{mEs}$$

$$K_d = \frac{\sin(m\frac{\beta}{2})}{m\sin(\frac{\beta}{2})}$$

ข้อดีของการพันแบบกระจาย

1. ได้รูปคลื่นไซน์ที่สมบูรณ์
2. ลดอุณหภูมิในสลอตของแกนเหล็ก

สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

$$E_{Ph} = 4.44 K_p K_d \phi f T$$

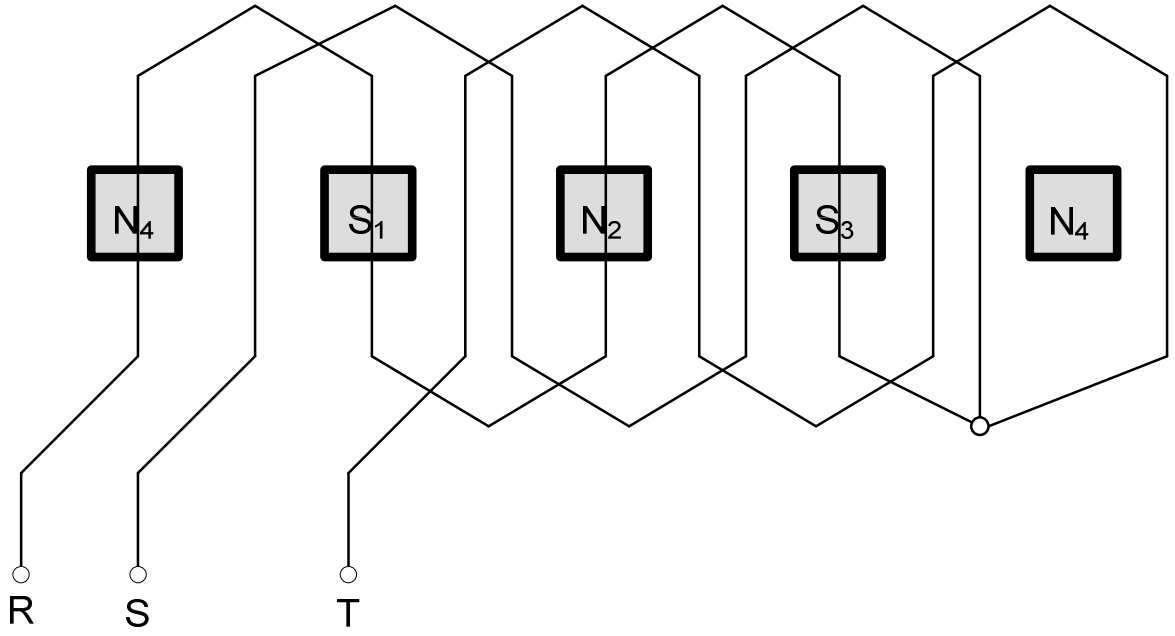
$$E_L = \sqrt{3} E_{ph}$$

E_{ph} = แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อเฟส

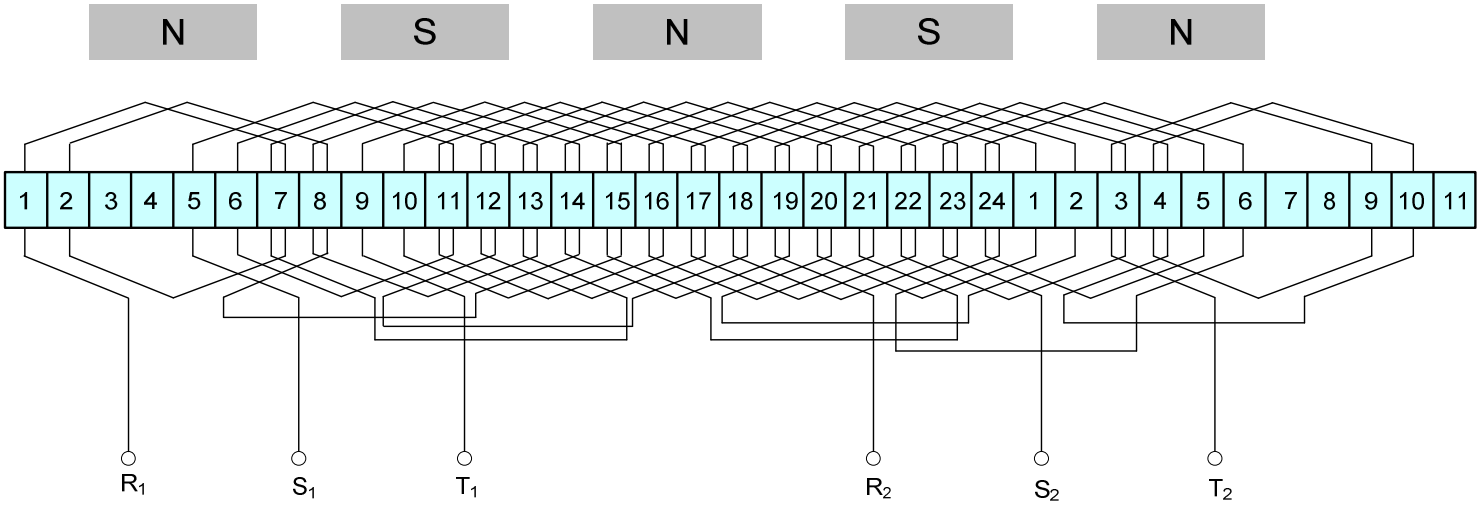
E_L = แรงเคลื่อนไฟฟ้าระหว่างสาย

การพันขดลวดแบบชั้นเดียว

(Single Layer winding)

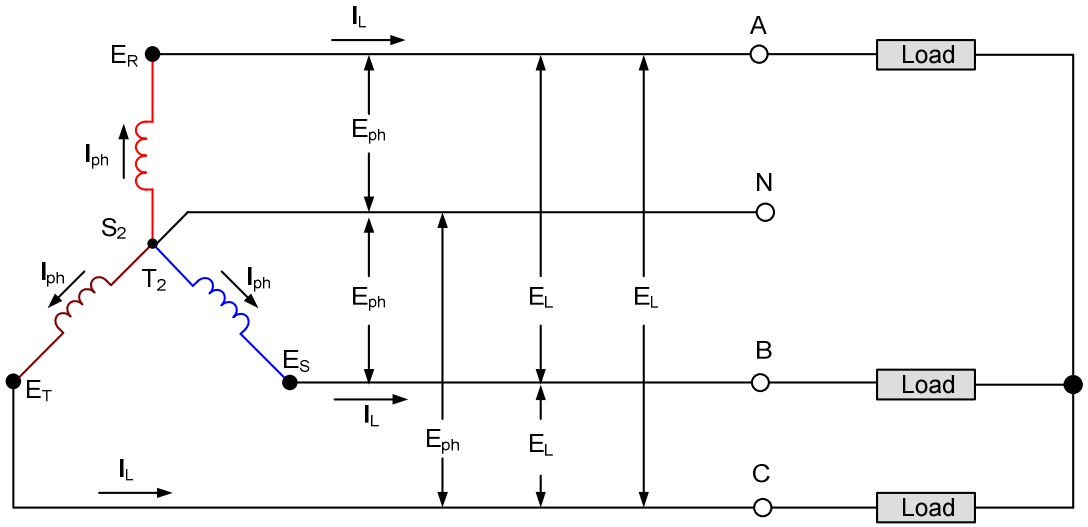


การพันขดลวดแบบสองชั้น
(Double Layer winding)



การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส

การต่อแบบสตาร์(star-Y)

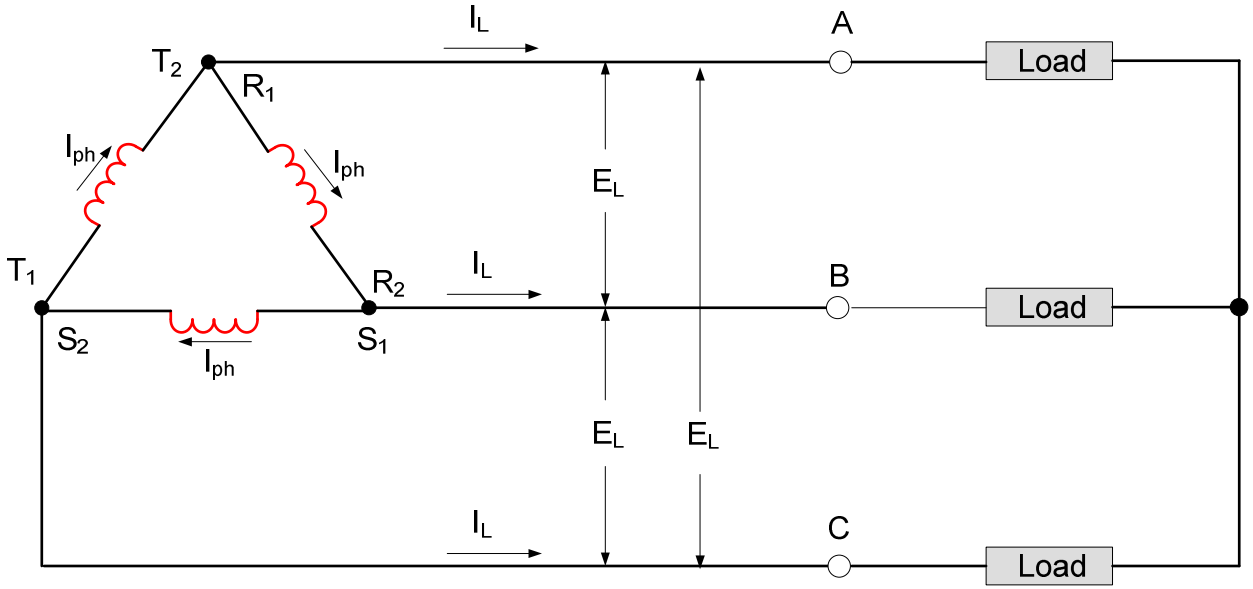


$$E_L = \sqrt{3} E_{ph}$$

$$I_L = I_{Ph}$$

$$P = \sqrt{3} E_L I_L \cos\theta$$

การต่อแบบเดลตา(Delta-Δ)



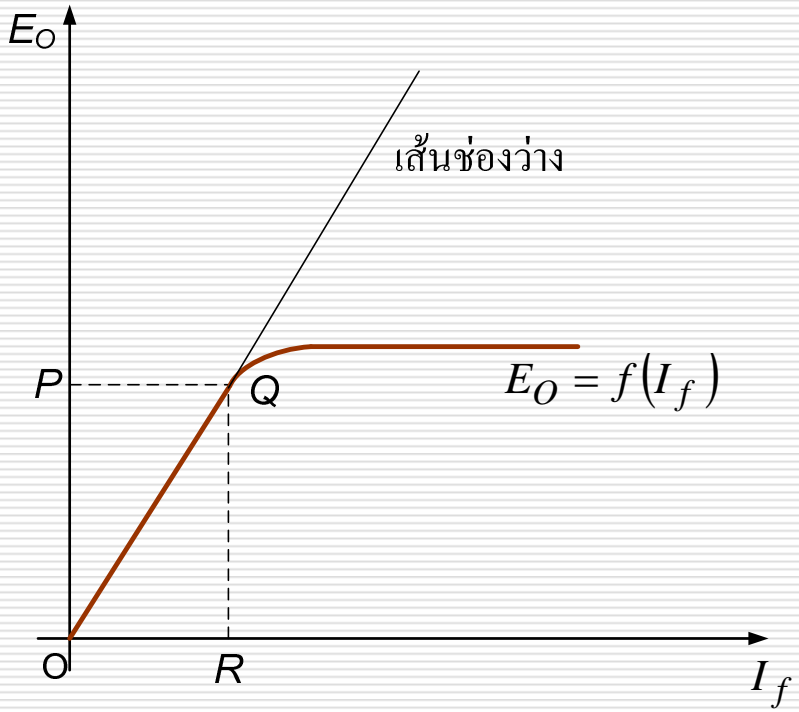
$$E_L = E_{ph}$$

$$I_L = \sqrt{3} I_{Ph}$$

$$P = \sqrt{3} E_L I_L \cos\theta$$

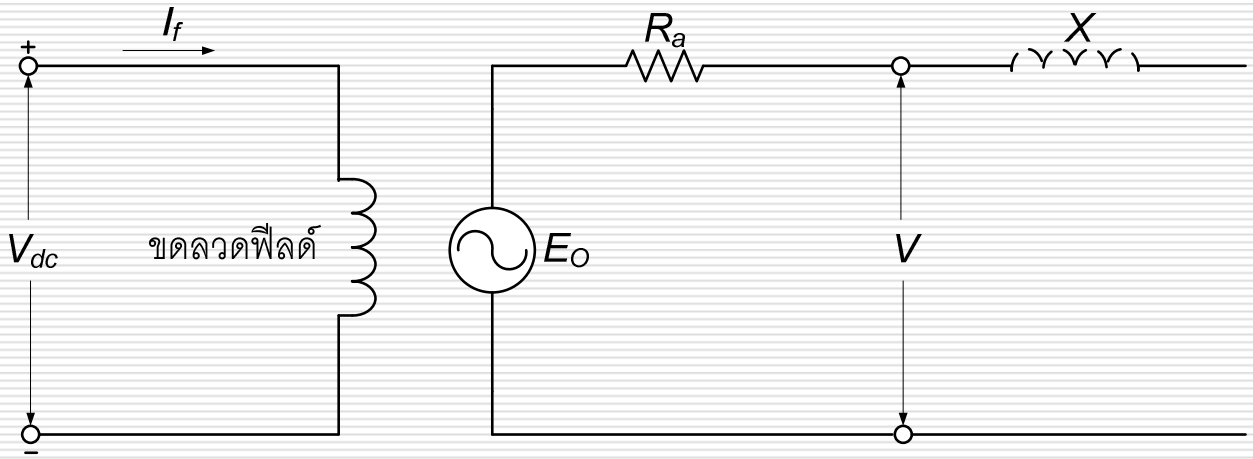
สื่อการนำเสนอผลงาน PowerPoint

เรื่อง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่มีโหลดและมีโหลด



กราฟแสดงขณะไม่มีโหลด

วงจรสมมูลขณะไม่มีโหลด



$$E_O \propto I_f$$

$$E_O = V$$

$$L = \frac{N\phi}{I} \quad \text{(เมื่อ } I = 0) \quad L = \infty$$

$$X = 2\pi f L = \infty$$

วงจรสมมูลขณะมีโหลด

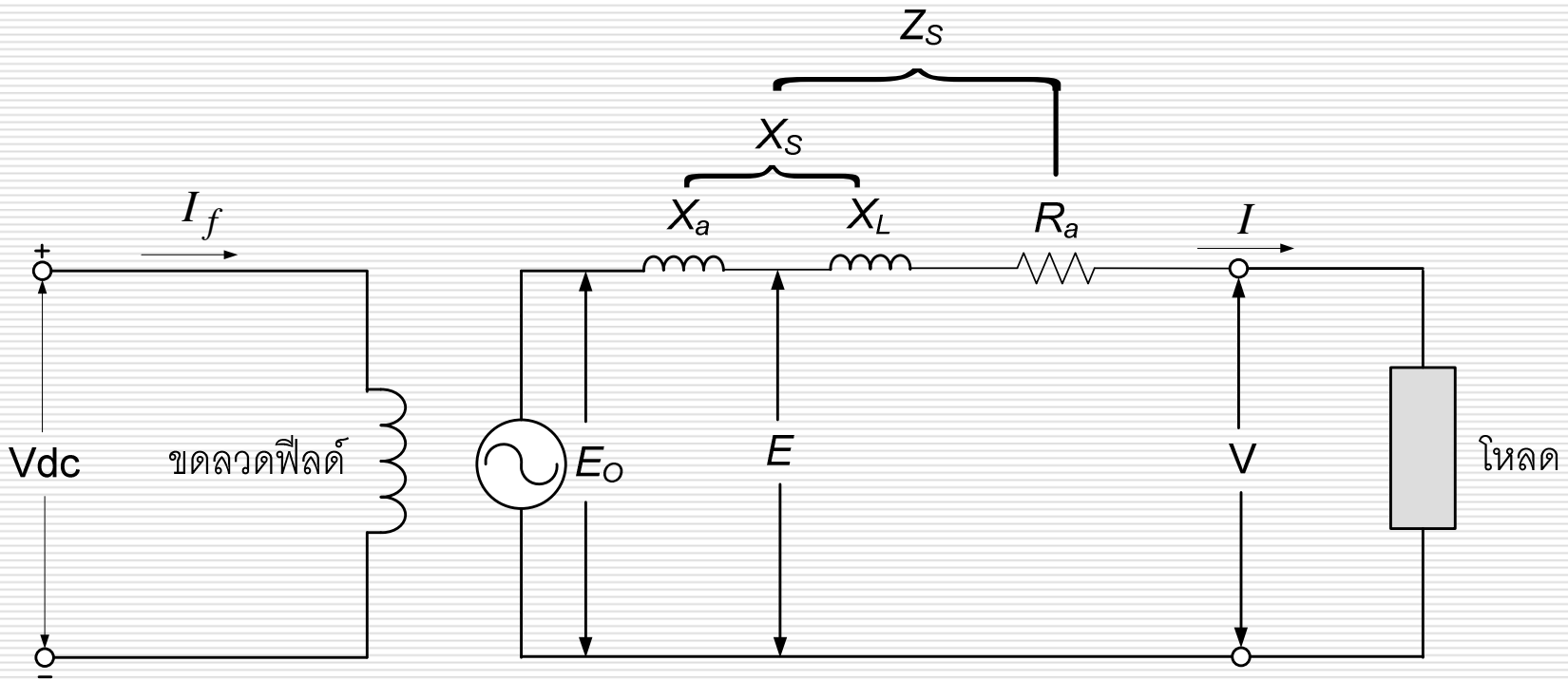
แรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อมในขดลวดอาร์เมเจอร์

☑ แรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อมเนื่องจากความต้านทานของขดลวดอาเมเจอร์ (R_a)

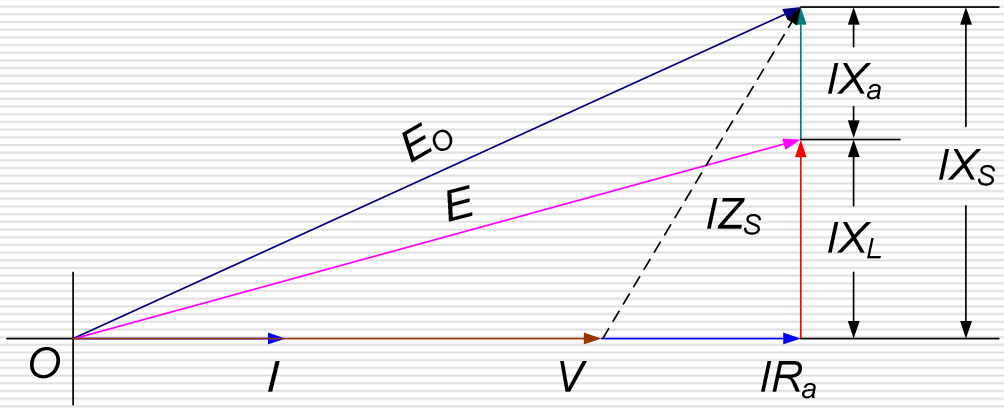
☑ แรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อมเนื่องจากอาร์เมเจอร์ลีคเกจรีแอกแตนซ์ (X_L)

☑ แรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อมเนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอกชั่น (X_a)

วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะมีโหลด



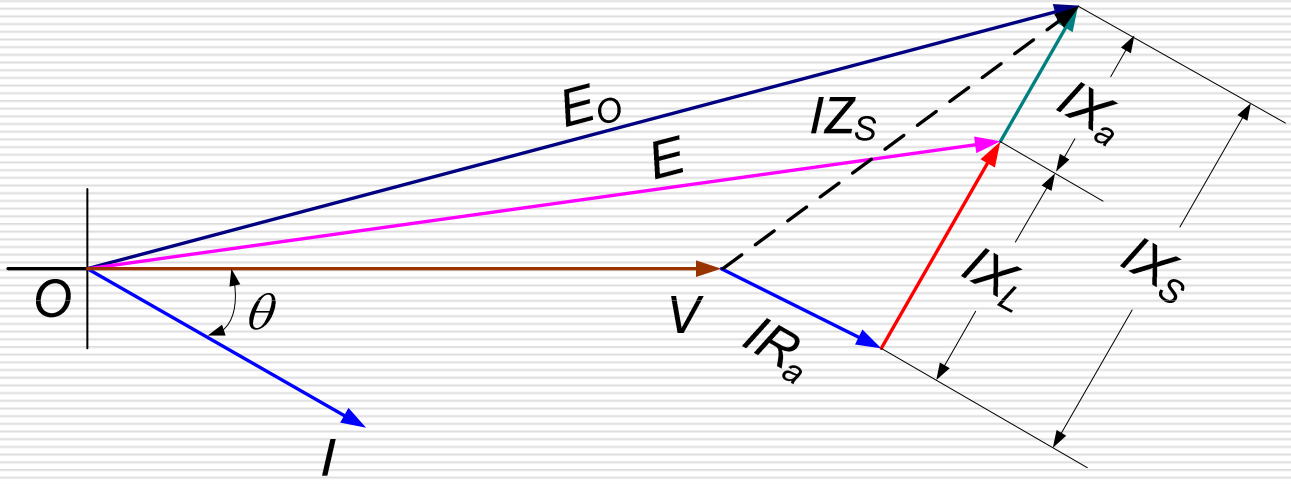
เวกเตอร์เมื่อโหลดมีเพาเวอร์แฟกเตอร์เป็น 1 (Unity)



$$E_O / Phase = (V + IR_a) + jIX_S$$

$$E_O / Phase = \sqrt{(V + IR_a)^2 + (IX_S)^2}$$

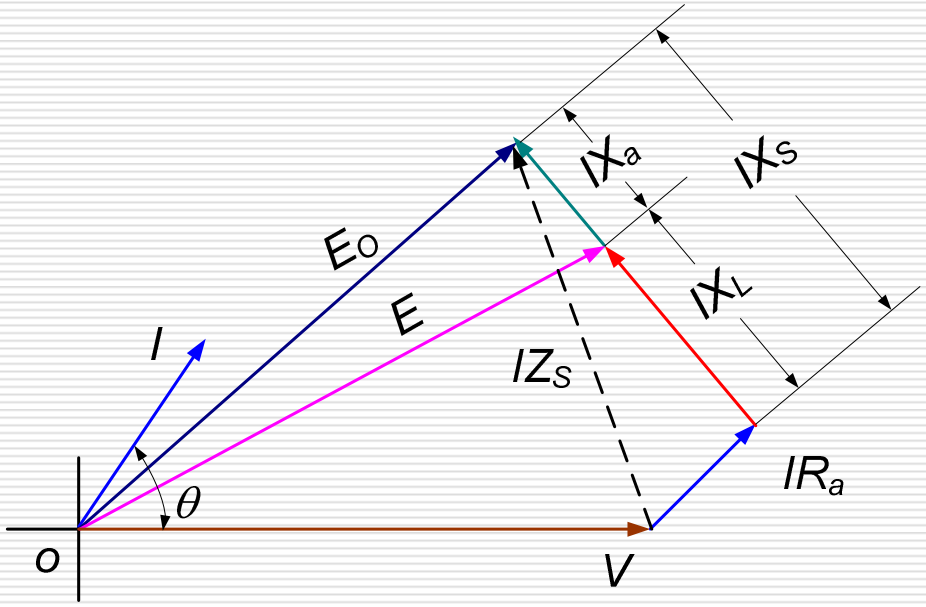
เวกเตอร์เมื่อโหลดมีเพาเวอร์แฟกเตอร์ล้าหลัง (Lagging)



$$E_O / Phase = (V\cos\theta + IR_a) + j(V\sin\theta + IX_S)$$

$$E_O / Phase = \sqrt{(V\cos\theta + IR_a)^2 + (V\sin\theta + IX_S)^2}$$

เวกเตอร์เมื่อโหลดมีเพาเวอร์แฟกเตอร์นำหน้า (Leading)



$$E_O / Phase = (V\cos\theta + IR_a) + j(V\sin\theta - IX_S)$$

$$E_O / Phase = \sqrt{(V\cos\theta + IR_a)^2 + (V\sin\theta - IX_S)^2}$$

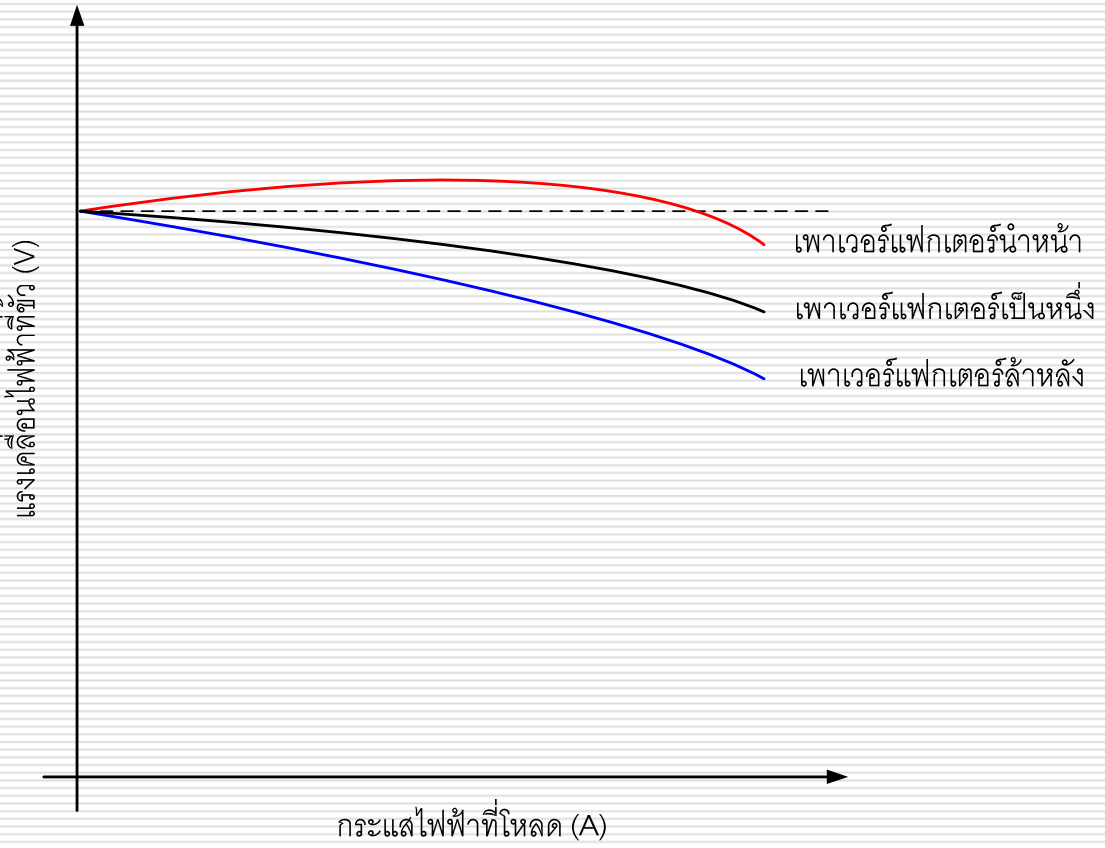
สื่อการนำเสนอผลงาน PowerPoint

เรื่อง โวลต์เตจเรกกูเลชั่นและประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

โวลต์เตจเรกกูเลชั่น (Voltage Regulation) คือ
ผลต่างของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขั้วขณะไม่มีโหลดกับขณะมีโหลดเต็มพิกัด
ต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขั้วขณะมีโหลดเต็มพิกัด

$$\%\text{โวลต์เตจเรกกูเลชั่น} = \frac{E_o - V}{V} \times 100$$

คุณลักษณะของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขั้วขณะมีโหลด



การหาโวลต์เตจเรกกูเลชั่น

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก มีวิธีการหาโดย

การต่อโหลดเต็มพิกัดและปลดโหลดออก

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ มีวิธีการหา 3 วิธี คือ

1. ซิงโครนัสอิมพีแดนซ์
2. แรงเคลื่อนแม่เหล็ก
3. ซีโรเพาเวอร์แฟกเตอร์ หรือพอเทียร์

ลำดับขั้นการหาโวลต์เตจเรกกูเลชั่นด้วยวิธีซิงโครนัสอิมพีแดนซ์

1. หาค่า R_a $$R_a = 1.5R_{dc}$$

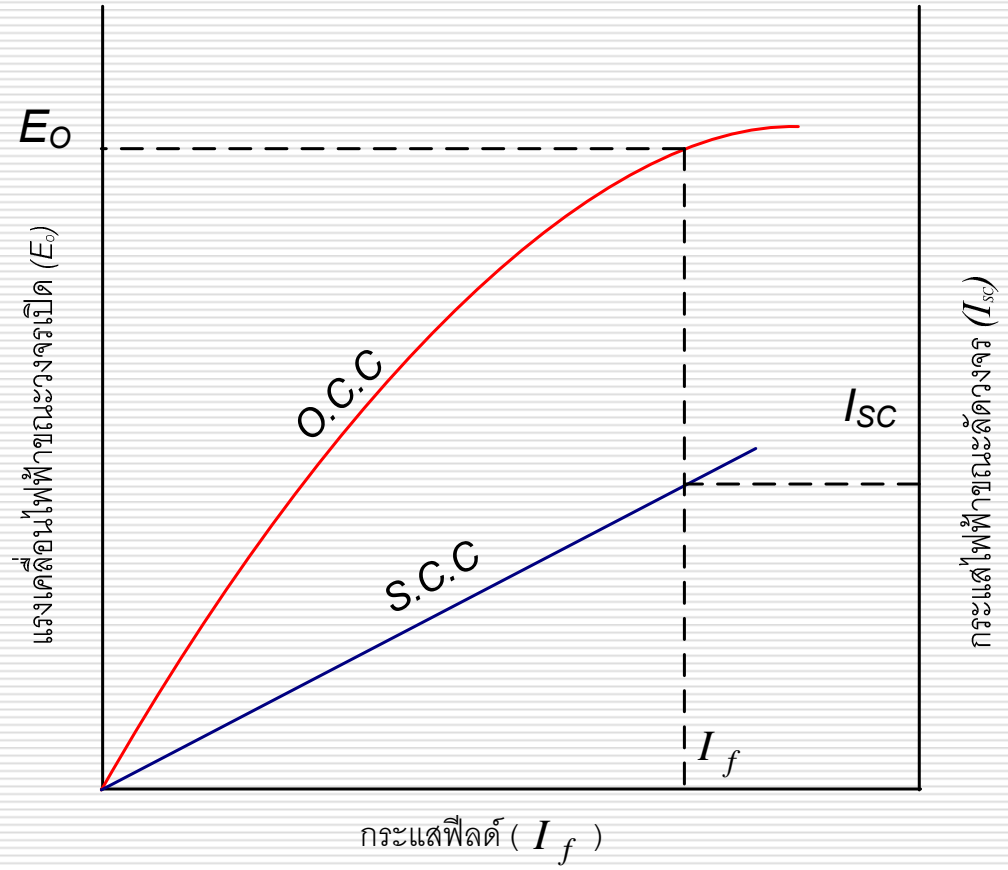
2. หาค่า Z_S $$Z_S = \frac{E_O}{I_{SC}}$$

3. หาค่า X_S $$X_S = \sqrt{Z_S{}^2 - R_a{}^2}$$

3. หาค่า E_{Ph}

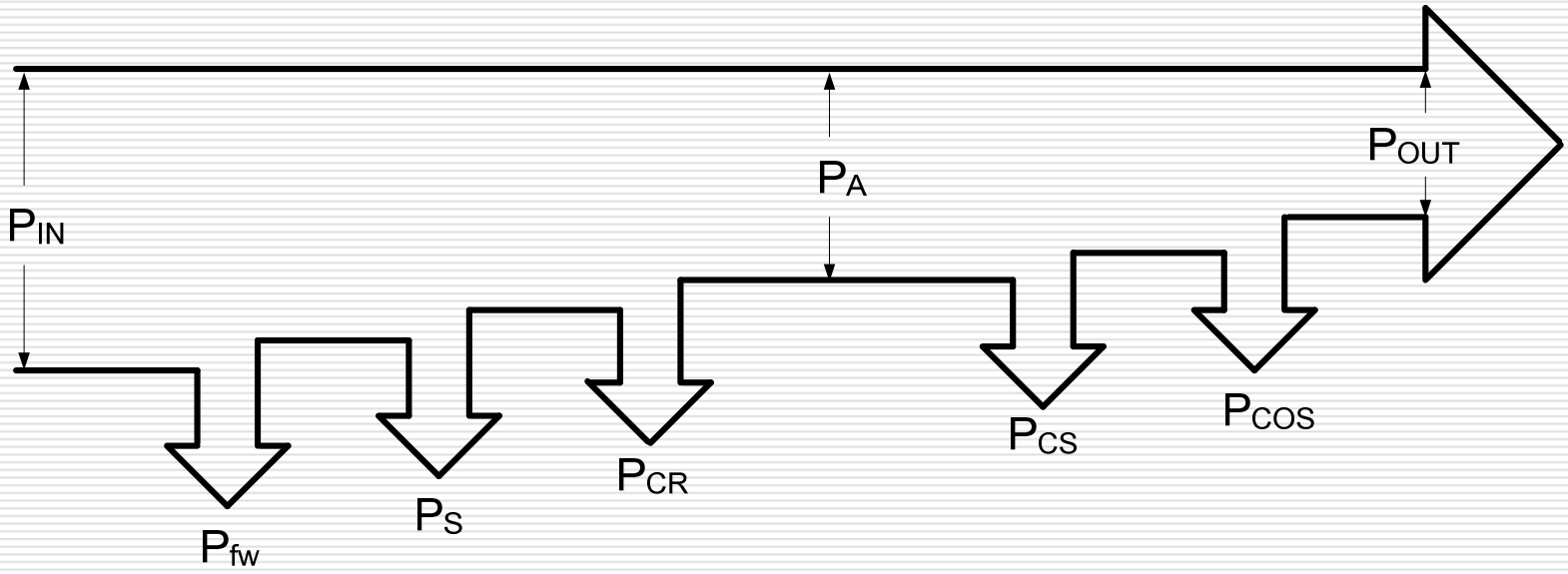
4. หาค่า % โวลต์เตจเรกกูเลชั่น $= \frac{E_O - V}{V} \times 100$

เส้นโค้งคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ไดอะแกรมการไหลของกำลังไฟฟ้า



กำลังไฟฟ้าในส่วนต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

P_{in} = กำลังกลทางด้านอินพุต

P_{fw} = กำลังการสูญเสียเนื่องจากความฝืดของแบริ่งและแรงต้านจากลม

P_S = กำลังสูญเสียขณะมีโหลด (Stray – Load)

P_{CR} = กำลังสูญเสียที่ขดลวดสนามแม่เหล็กของโรเตอร์

P_A = กำลังที่ส่งผ่านช่องว่างอากาศมายังสเตเตอร์

P_{CS} = กำลังสูญเสียในแกนเหล็กสเตเตอร์

P_{COS} = กำลังสูญเสียเนื่องจากขดลวดบนสเตเตอร์

P_{out} = กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

สมการของประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

$$\%\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$$

$$\%\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{Losses}} \times 100$$

$$\%\eta = \left(1 - \frac{P_{Losses}}{P_{out} + P_{Losses}}\right) \times 100$$

สื่อการนำเสนอผลงาน PowerPoint

เรื่อง การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ข้อดีของการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ มีดังนี้

1. สามารถซ่อมบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ง่าย
2. สามารถที่จะควบคุมการเดินเครื่องให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้
3. เพื่อรองรับความต้องการใช้กระแสไฟฟ้าที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น

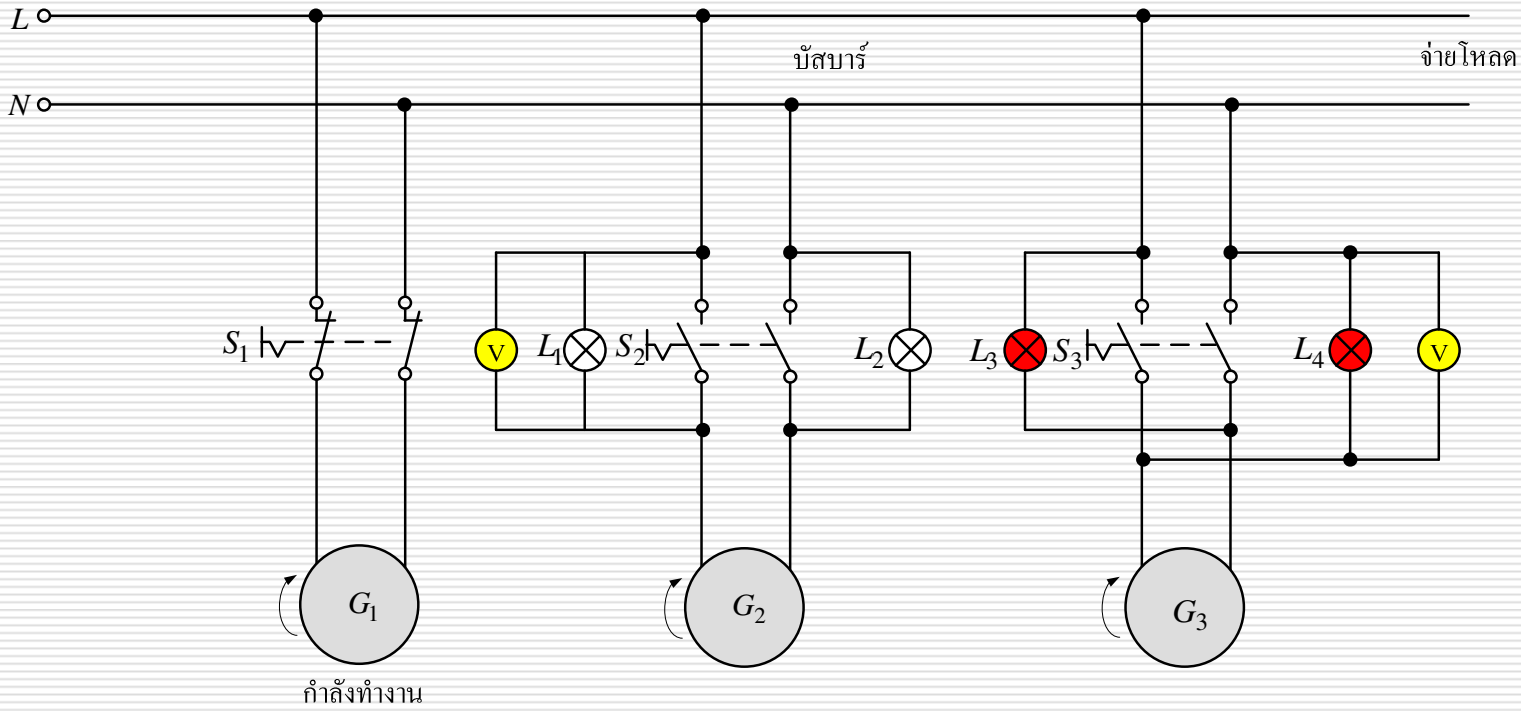
การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

หลักการสำคัญในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

1. แรงเคลื่อนไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองต้องเท่ากัน
2. ความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองต้องเท่ากัน
3. การเรียงลำดับเฟส (Phase sequence) ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้องเหมือนกัน และเกิดขึ้นพร้อมกัน (In phase)

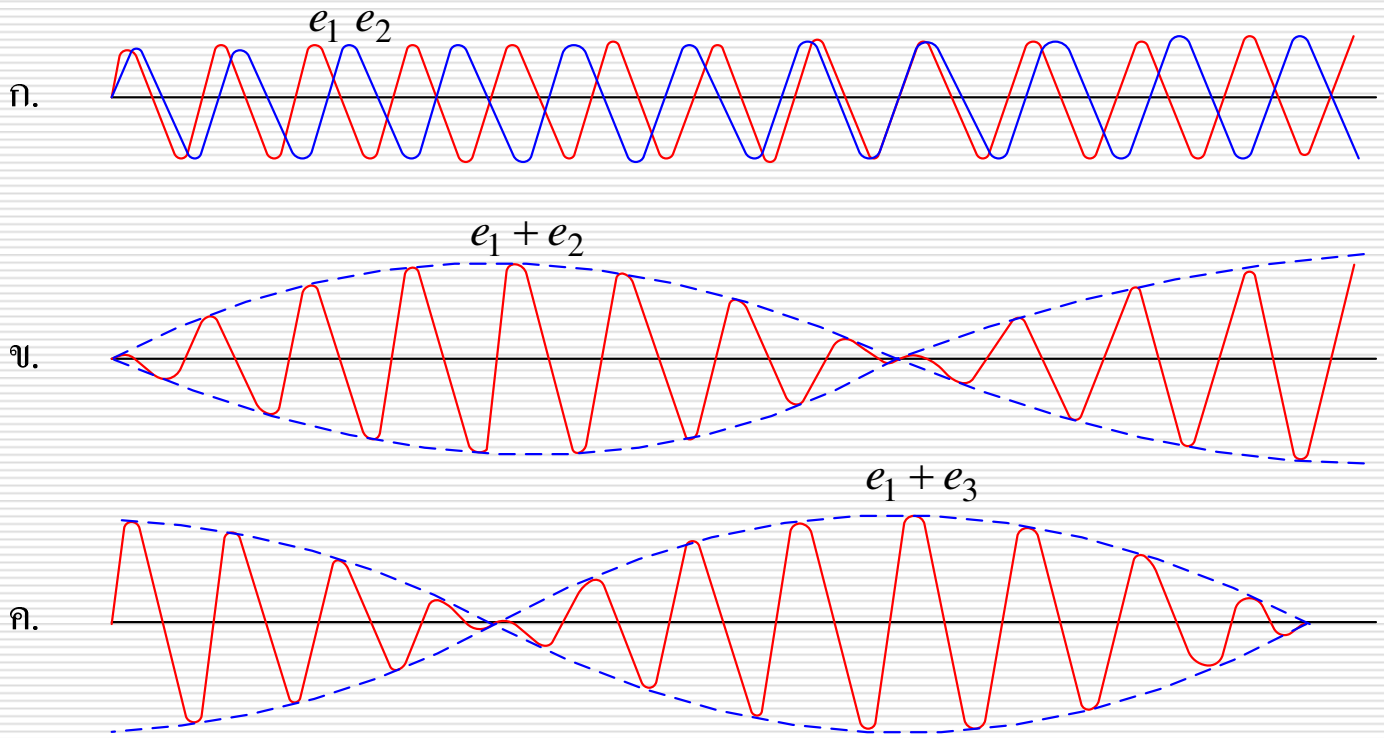
การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้หลอดไฟ

การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส

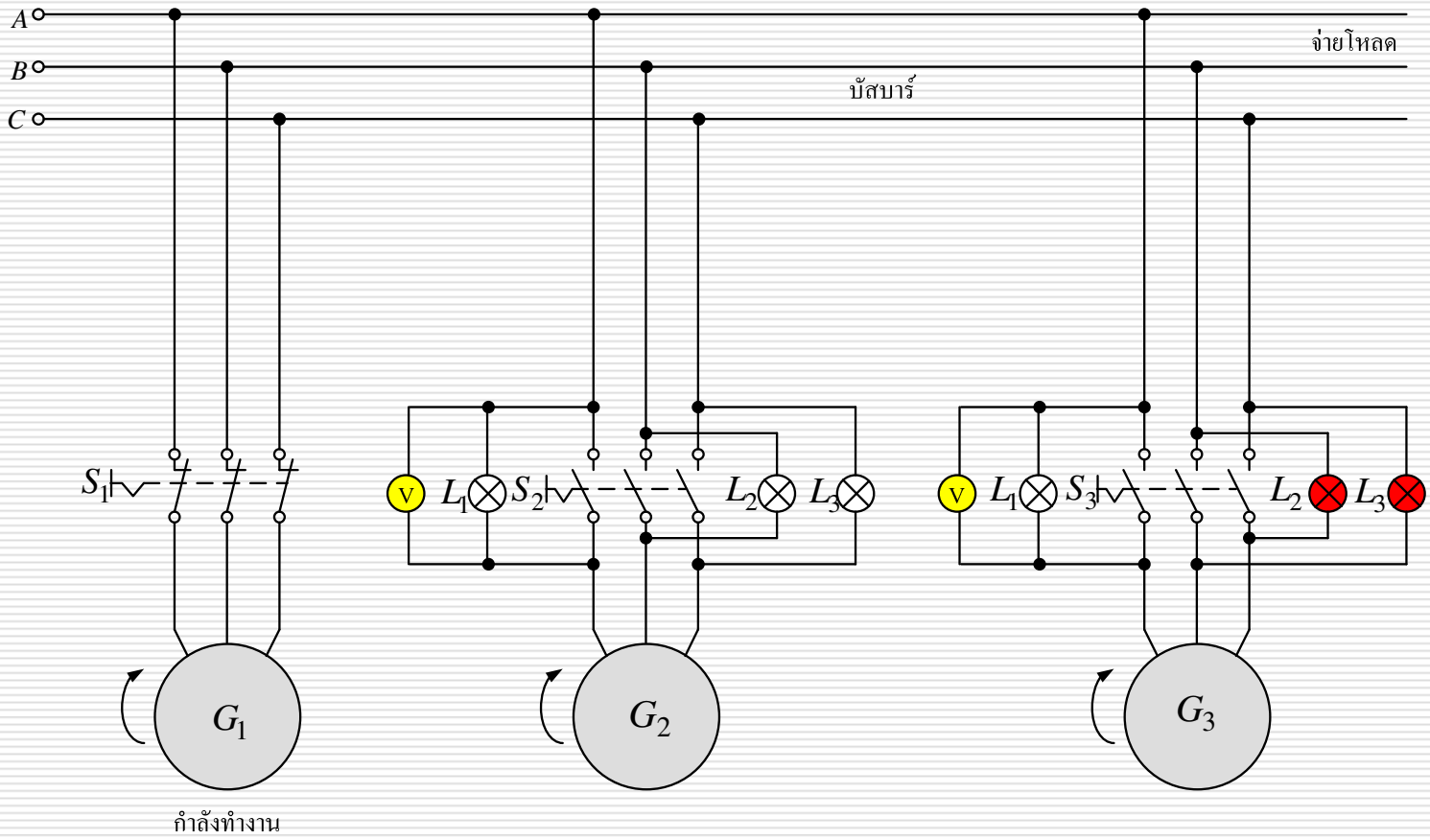


การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส

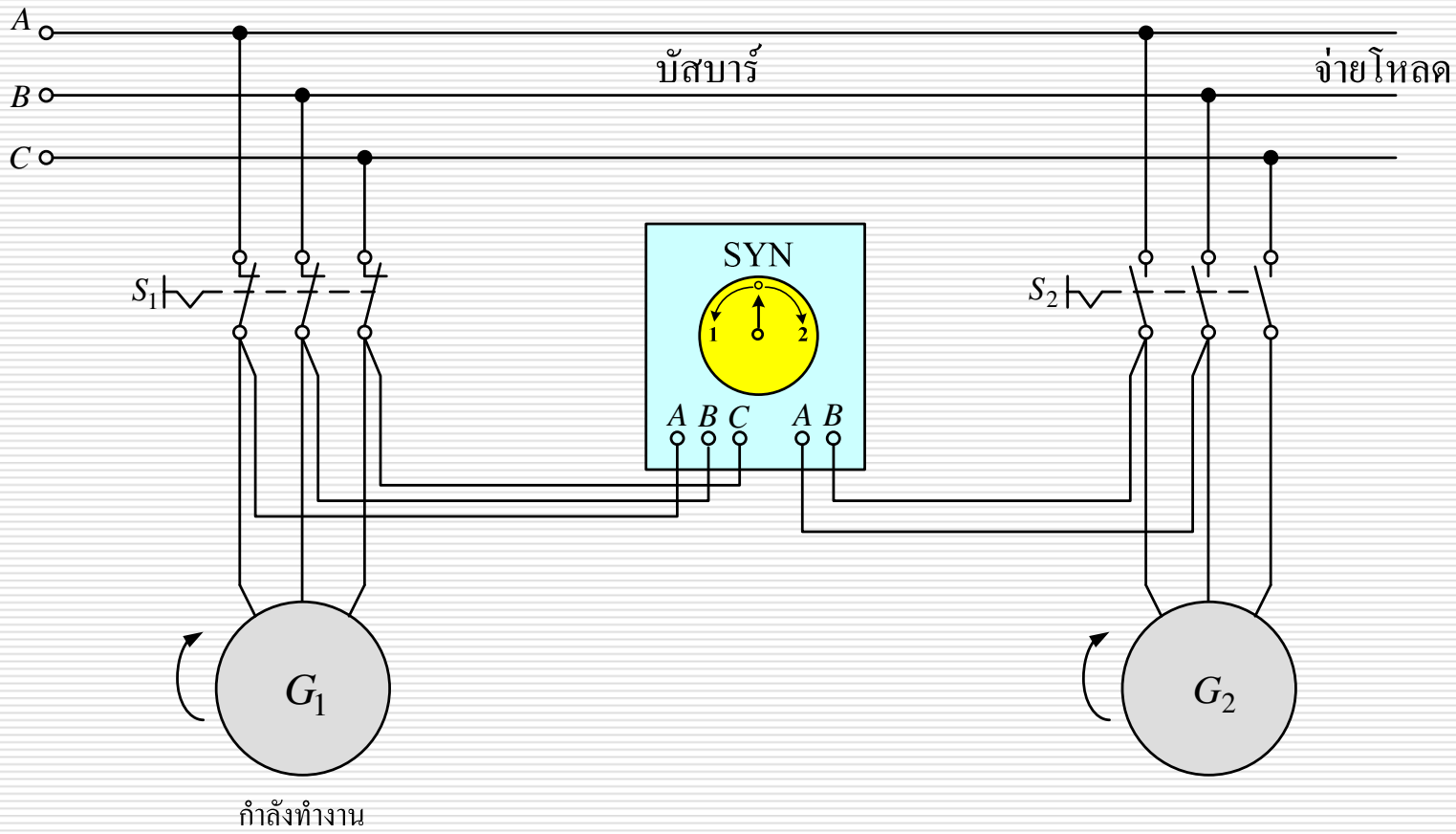
การเปลี่ยนแปลงของรูปคลื่นของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตกคร่อมหลอดไฟ



การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส



การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับโดยการใช้ซิงโครสโคป



กระแสซิงโครไนซ์ กำลังไฟฟ้าซิงโครไนซ์ และแรงบิดซิงโครไนซ์

กระแสซิงโครไนซ์

$$I_{SY} = \frac{E_R}{Z_S}$$

กำลังไฟฟ้าซิงโครไนซ์

$$P_{SY} / Phase = \alpha E I_{SC}$$

$$P_{SY} = 3\alpha E I_{SC}$$

กระแสซิงโครไนซ์ กำลังไฟฟ้าซิงโครไนซ์ และแรงบิดซิงโครไนซ์

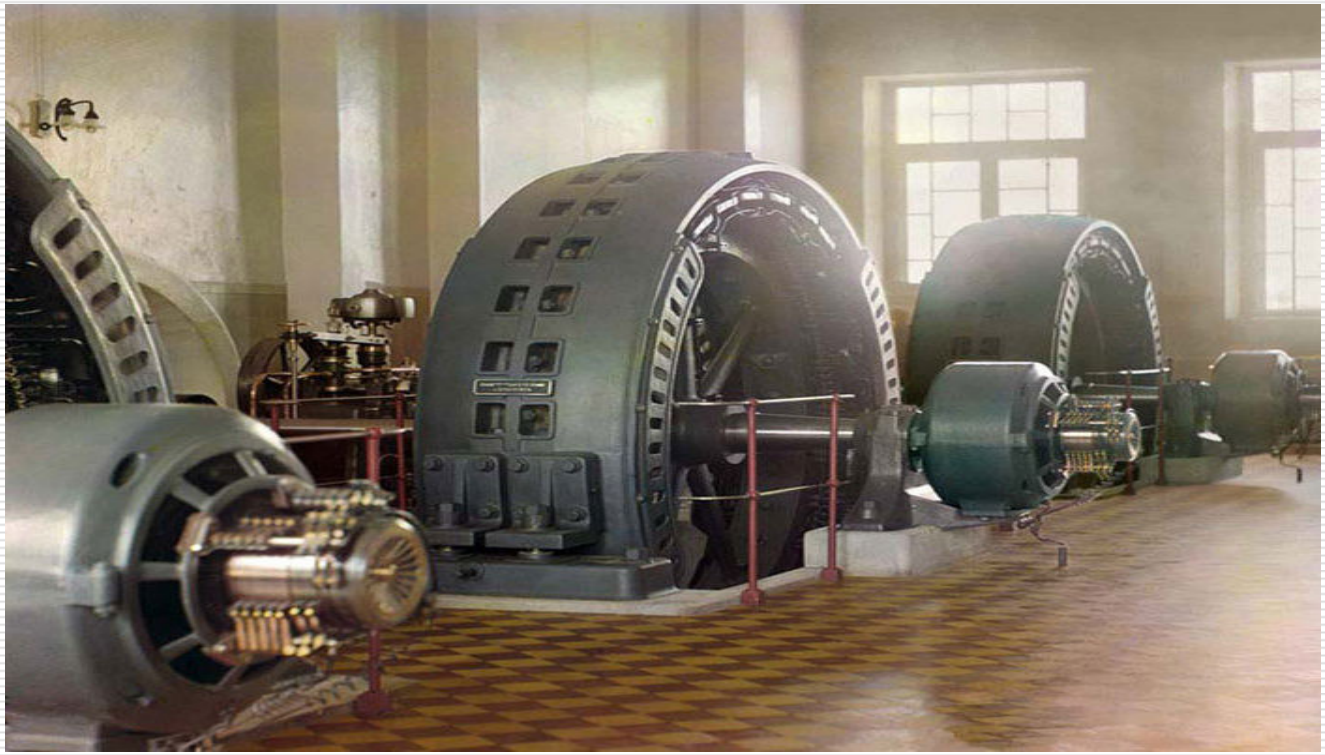
แรงบิดซิงโครไนซ์

$$T_{SY} = \frac{60 P_{SY}}{2\pi N_S}$$

$$T_{SY} = \frac{9.55 P_{SY}}{N_S}$$

สื่อการนำเสนอผลงาน PowerPoint

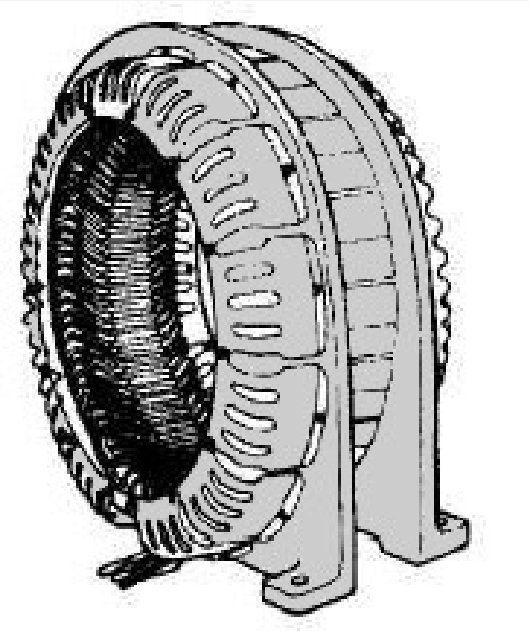
เรื่อง หลักการทำงานและการป้อนโหลดให้กับซิงโครนัสมอเตอร์



ส่วนประกอบของซิงโครนัสมอเตอร์

ซิงโครนัสมอเตอร์มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

1. สเตเตอร์ (Stator)



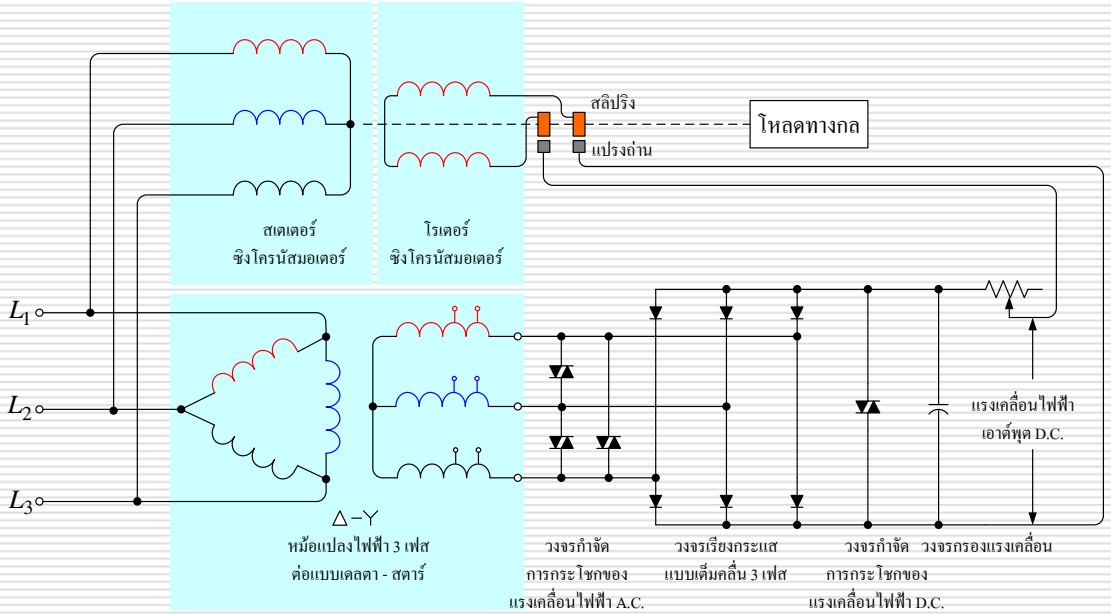
ส่วนประกอบของซิงโครนัสมอเตอร์

2. โรเตอร์ (Rotor)

ส่วนประกอบของซิงโครนัสมอเตอร์

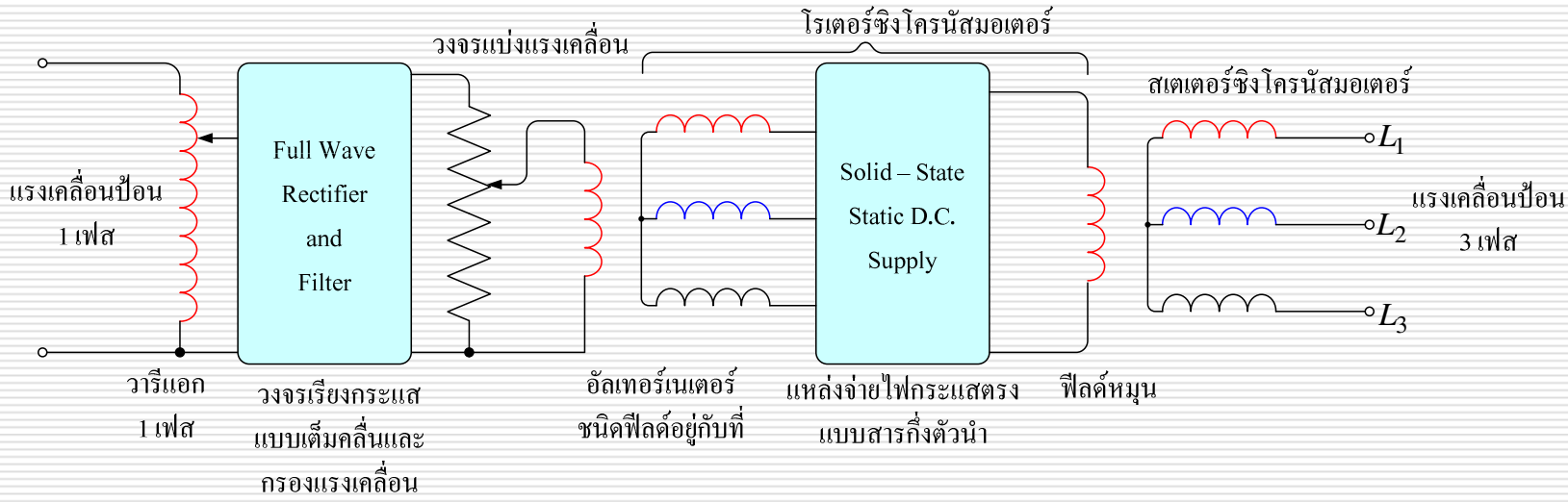
3. เอ็กไซเตอร์ (Exciter) แบ่งออกได้ 2 แบบ คือ

3.1 ระบบสเตติก (Static System)

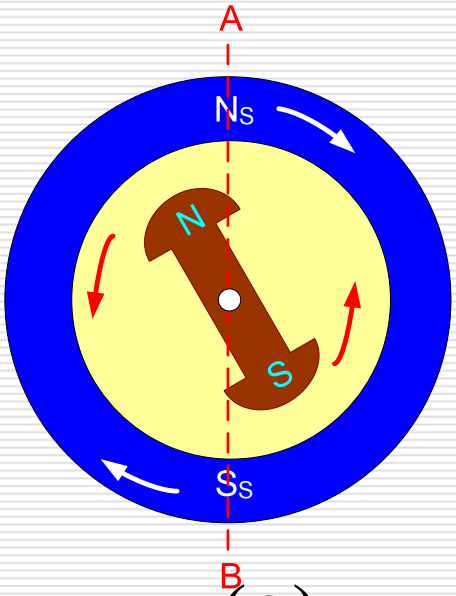


ส่วนประกอบของซิงโครนัสมอเตอร์

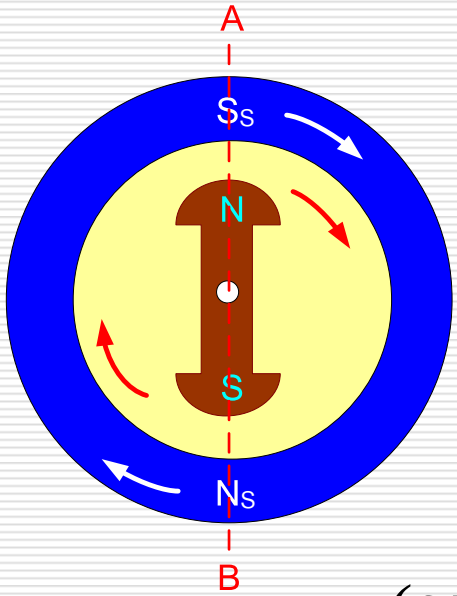
3.2 แบบไร้แปรงถ่าน (Brushless System)



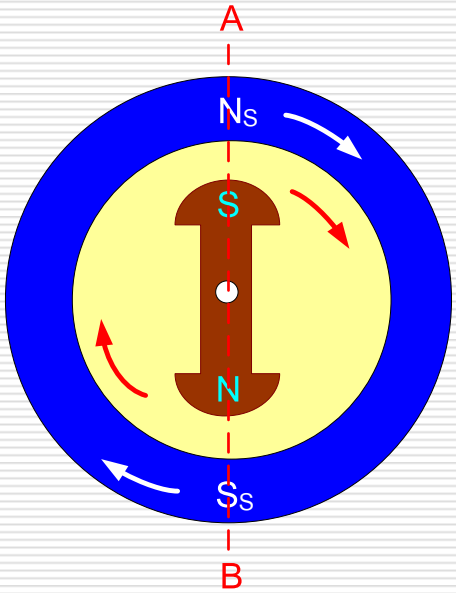
หลักการทำงานของซิงโครนัสมอเตอร์



(ก)



(ข)

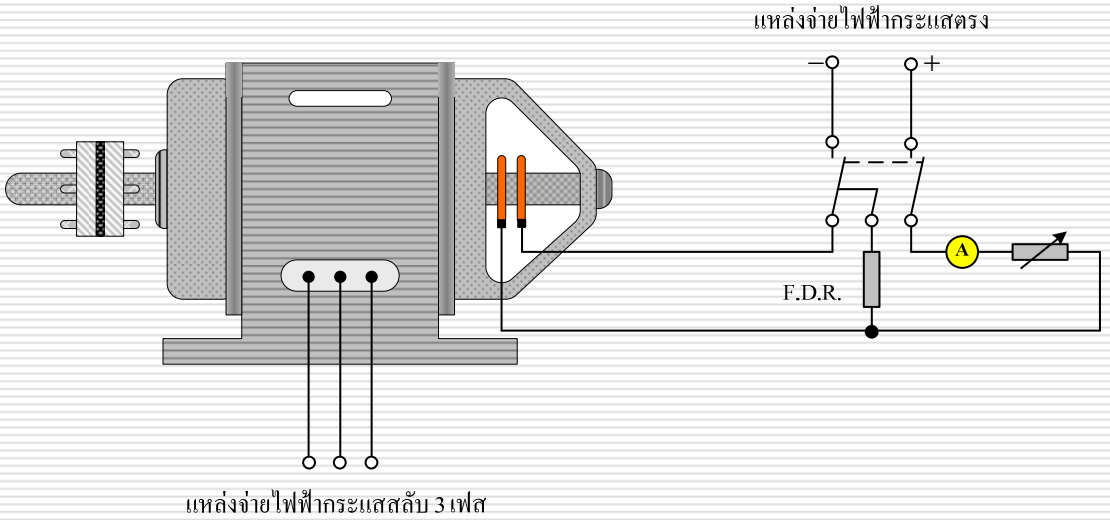


(ค)

การเริ่มเดินซิงโครนัสมอเตอร์

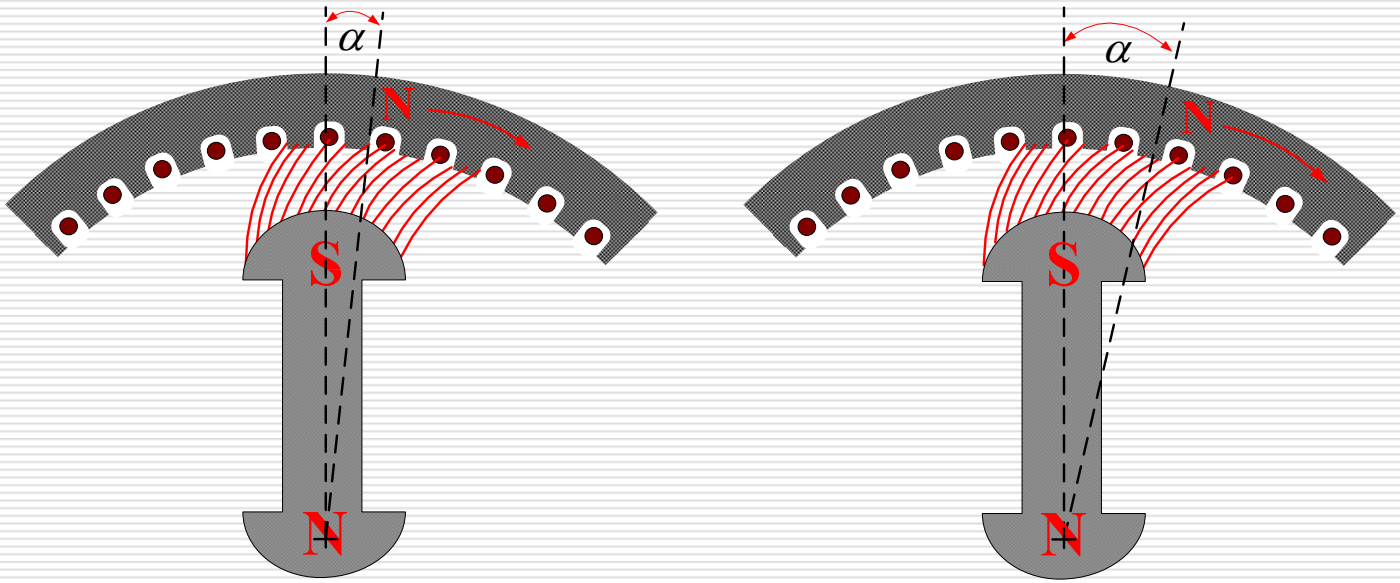
สามารถทำได้ 2 วิธี

1. ใช้หลักการเหนี่ยวนำให้เริ่มหมุน (Induction Start)



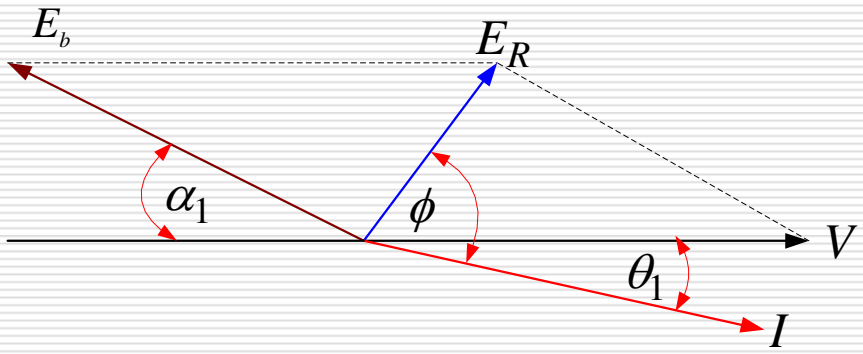
2. ใช้ต้นกำลังขับ (Prime mover)

การป้อนโหลดให้กับซิงโครนัสมอเตอร์

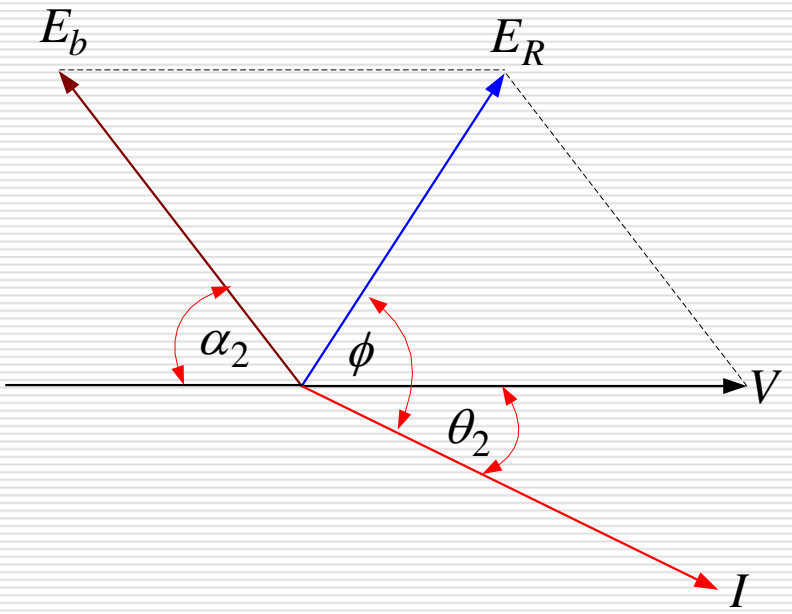


ก. ขณะไม่มีโหลด (No – Load) ข. ขณะมีโหลด (On – Load)

เวกเตอร์ไดอะแกรมของซิงโครนัสมอเตอร์



ก. ทำงานขณะไม่มีโหลด



ข. ทำงานขณะมีโหลด

กำลังในส่วนต่างๆ และแรงบิดของซิงโครนัสมอเตอร์

$$P_{in} = \sqrt{3} V_L I_L \cos\theta$$

$$P_m = 3 E_b I \cos(\alpha \pm \theta)$$

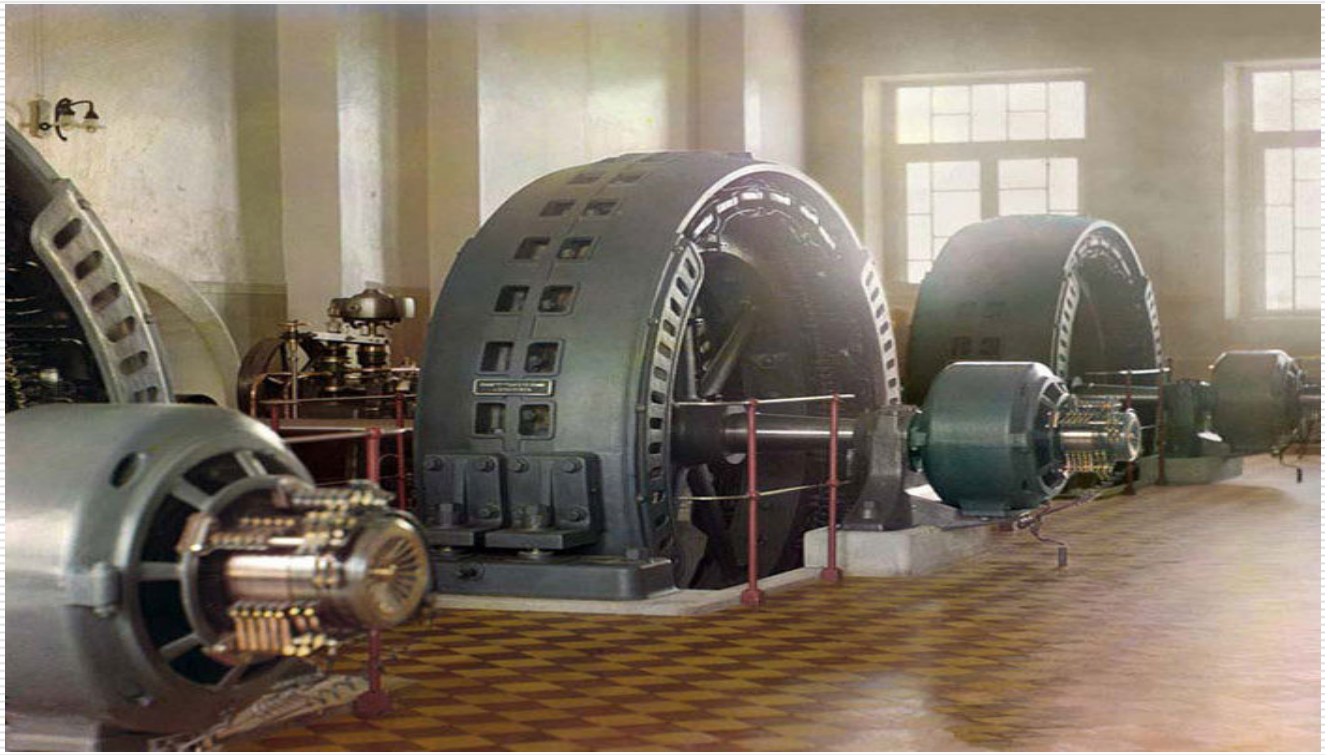
$$P_m = \frac{E_b V \cos(\phi - \alpha)}{Z_S} - \frac{E_b{}^2 \cos\phi}{Z_S}$$

$$P_{m(\max)} = \frac{E_b V}{Z_S} - \frac{E_b{}^2 \cos\phi}{Z_S}$$

$$T_{(\max)} = \frac{9.55 P_{m(\max)}}{N_S}$$

สื่อการนำเสนอผลงาน PowerPoint

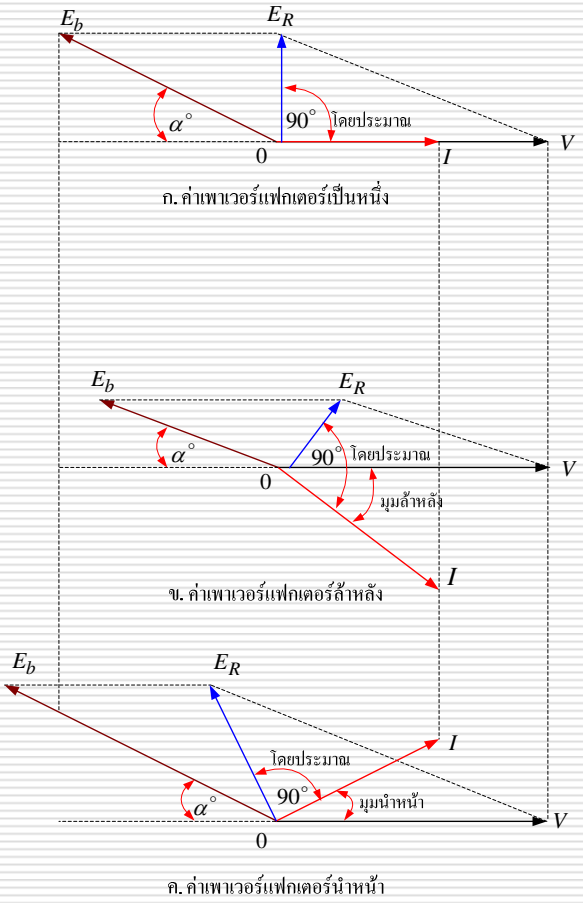
เรื่อง ซิงโครนัสมอเตอร์ทำงานที่เพาเวอร์แฟกเตอร์ต่างๆ และประสิทธิภาพ



การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์

- ซิงโครนัสมอเตอร์ทำงานได้ทั้งเมื่อมีเพาเวอร์แฟกเตอร์นำหน้าและล้าหลัง โดยที่ความเร็วรอบไม่เปลี่ยนแปลง
- การเปลี่ยนแปลงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์ทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสกระตุ้นฟิลด์ที่โรเตอร์

การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์

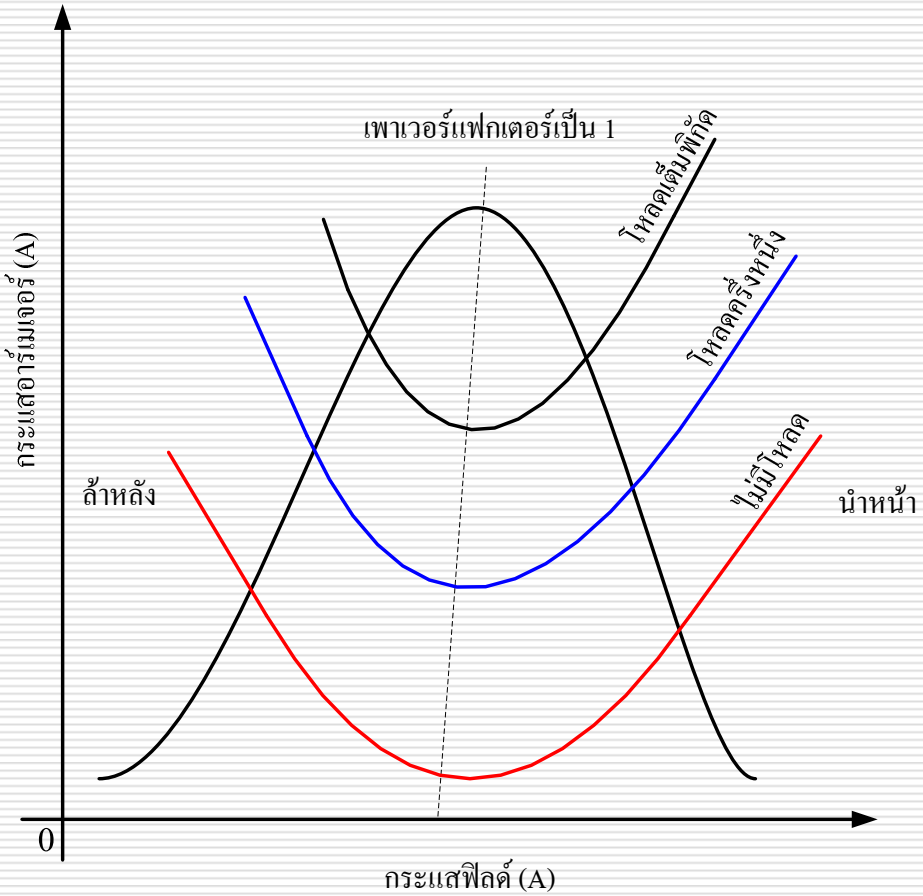


เวกเตอร์ไดอะแกรมของ
ซิงโครนัสมอเตอร์เมื่อมีโหลด

การกระตุ้นฟิลด์

1. กระแสอาร์เมเจอร์จะสูงเมื่อกระแสกระตุ้นขดลวดฟิลด์มีค่าต่ำ และกระแสอาร์เมเจอร์จะต่ำเมื่อกระแสกระตุ้นขดลวดฟิลด์มีค่าสูง
2. เมื่อกระตุ้นแบบมากกว่ากระแสปกติ (Over Excitation) ซิงโครนัสมอเตอร์จะหมุนในสภาวะเพาเวอร์แฟกเตอร์นำหน้า และเพาเวอร์แฟกเตอร์ของมอเตอร์จะล้าหลังเมื่อมีการกระตุ้นแบบกระแสลดลงต่ำกว่าปกติ (Under Excitation) และที่เพาเวอร์แฟกเตอร์เป็นหนึ่งกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์จะมีค่าต่ำสุด

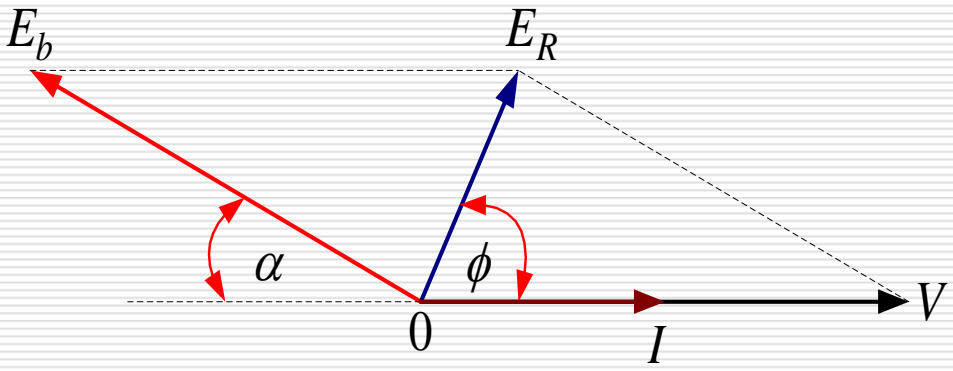
ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์กับกระแสฟิลด์ที่มีการกระตุ้นที่ตำแหน่งต่างๆ

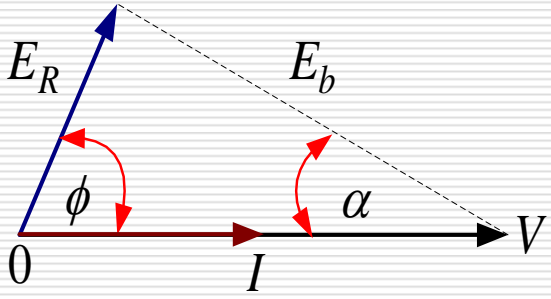


เวกเตอร์ไดอะแกรมของซิงโครนัสมอเตอร์

เพาเวอร์แฟกเตอร์เป็น 1 (Unity)

1. แรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นแกนอ้างอิง





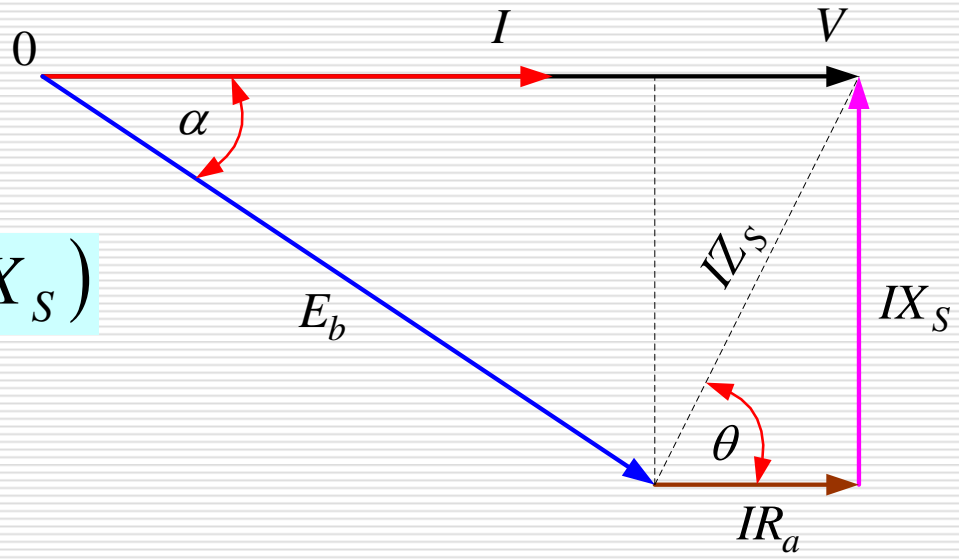
$$E_b = \sqrt{\left(V^2\right) + \left(E_R{}^2\right) - \left(2VE_R \cos\phi\right)}$$

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{E_R \sin\phi}{E_b}\right)$$

เวกเตอร์ไดอะแกรมของซิงโครนัสมอเตอร์

เพาเวอร์แฟกเตอร์เป็น 1 (Unity)

2. กระแสไฟฟ้าเป็นแกนอ้างอิง



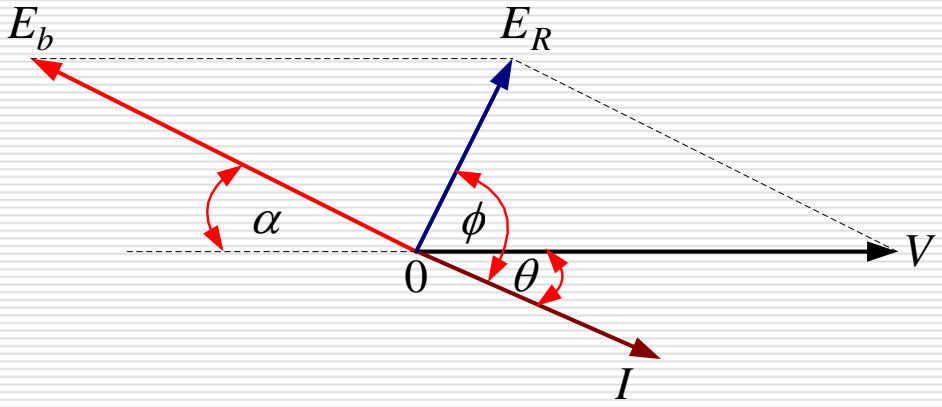
$$E_b = \left(V - IR_a\right) + j\left(IX_S\right)$$

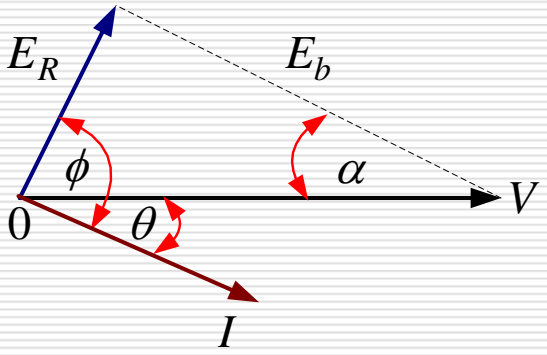
$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{IX_S}{V - IR_a}\right)$$

เวกเตอร์ไดอะแกรมของซิงโครนัสมอเตอร์

เมื่อเพาเวอร์แฟกเตอร์ล้าหลัง (Lagging)

1. แรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นแกนอ้างอิง





$$E_b = \sqrt{\left(V^2\right) + \left(E_R{}^2\right) - \left(2VE_R\cos\left(\phi - \theta\right)\right)}$$

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{E_R\sin\left(\phi - \theta\right)}{E_b}\right)$$

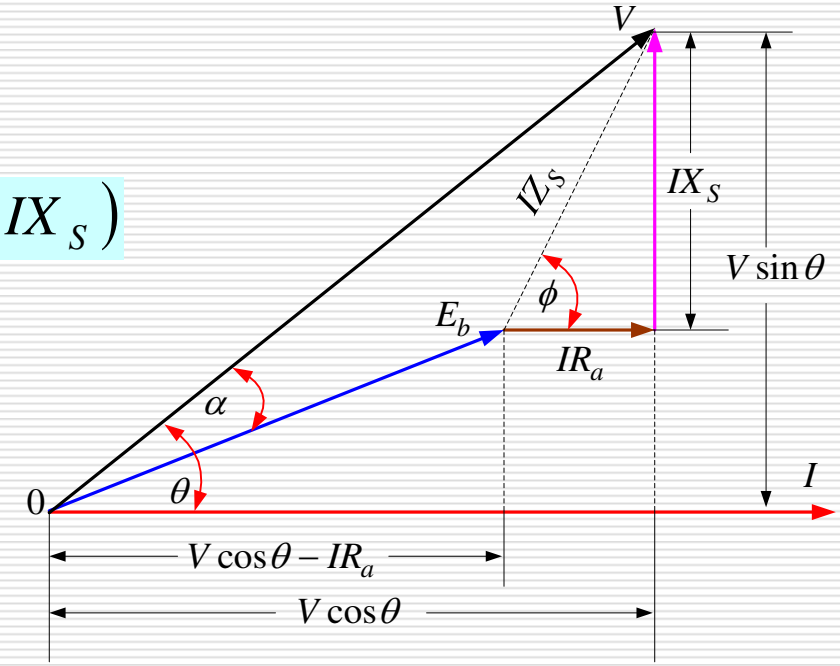
เวคเตอร์ไดอะแกรมของซิงโครนัสมอเตอร์

เมื่อเพาเวอร์แฟกเตอร์ล้าหลัง (Lagging)

2. กระแสไฟฟ้าเป็นแกนอ้างอิง

$$E_b = \left(V\cos\theta - IR_a\right) + j\left(V\sin\theta - IX_S\right)$$

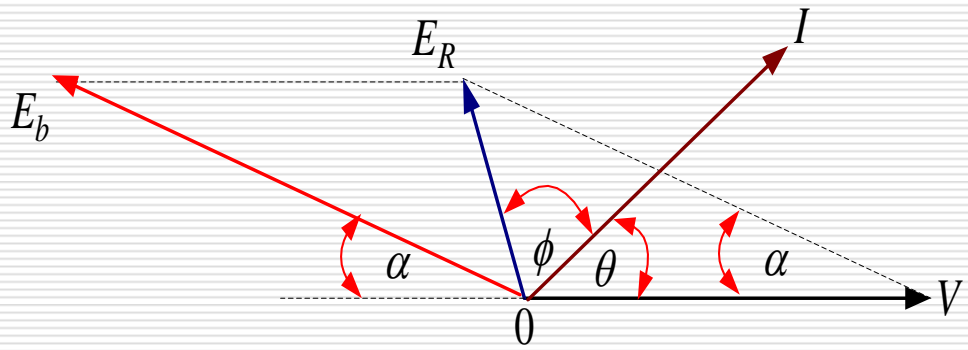
$$\alpha = \theta - \tan^{-1}\left(\frac{V\sin\theta - IX_S}{V\cos\theta - IR_a}\right)$$

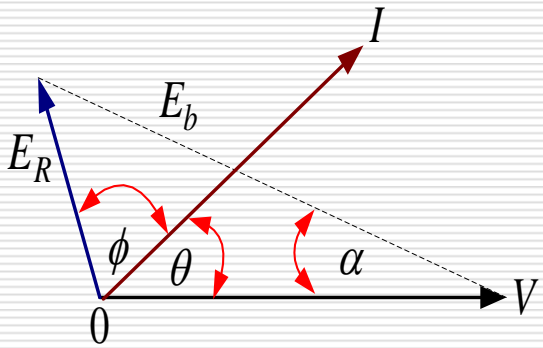


เวกเตอร์ไดอะแกรมของซิงโครนัสมอเตอร์

เมื่อเพาเวอร์แฟกเตอร์ นำหน้า(Leading)

1. แรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นแกนอ้างอิง





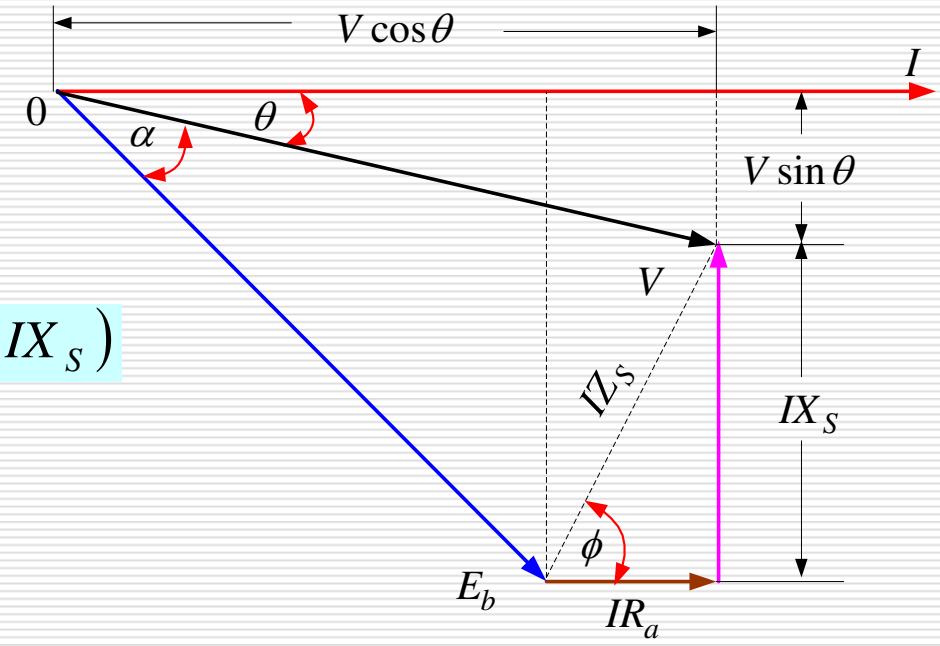
$$E_b = \sqrt{\left(V^2\right) + \left(E_R{}^2\right) - \left(2VE_R\cos\left(\phi+\theta\right)\right)}$$

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{E_R\sin\left(\phi+\theta\right)}{E_b}\right)$$

เวกเตอร์ไดอะแกรมของซิงโครนัสมอเตอร์

เมื่อเพาเวอร์แฟกเตอร์นำหน้า(Leading)

2. กระแสไฟฟ้าเป็นแกนอ้างอิง

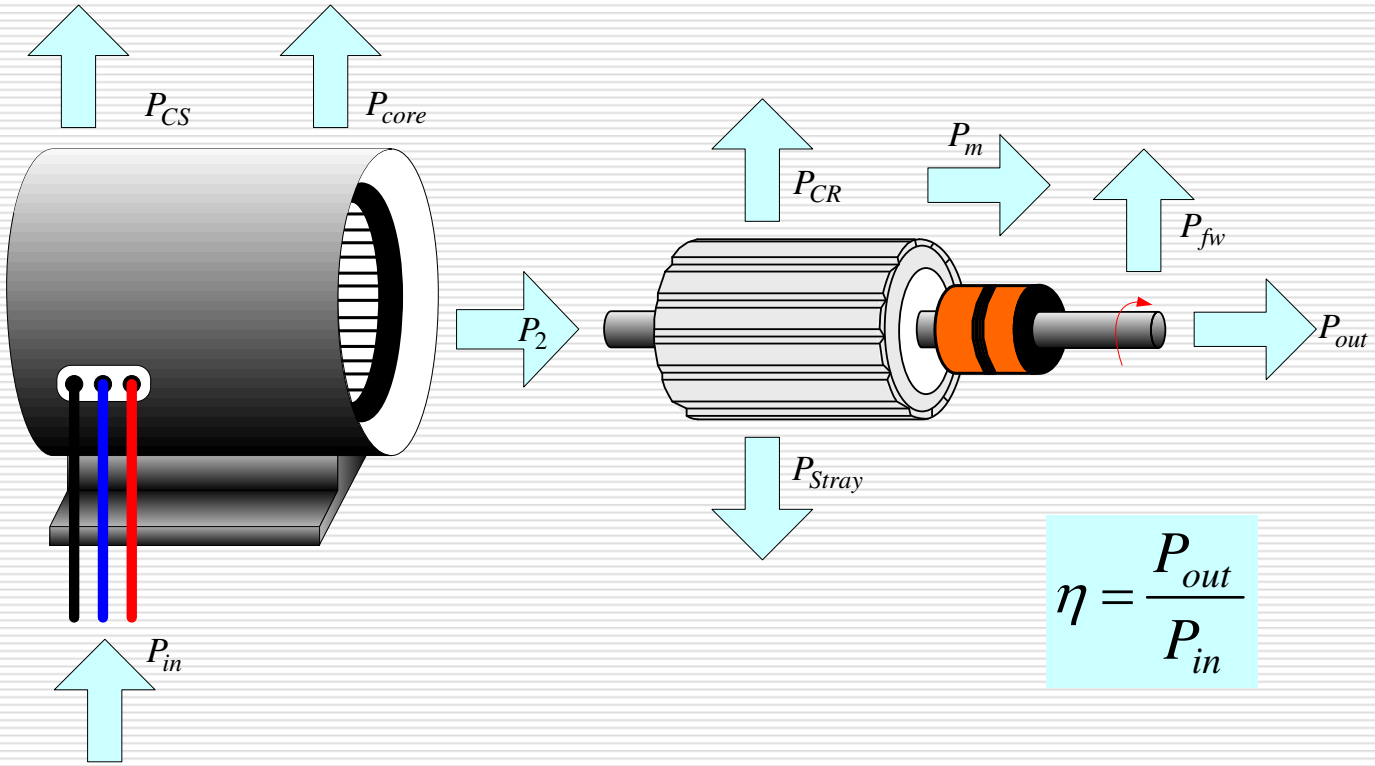


$$E_b = \left(V\cos\theta - IR_a\right) + j\left(V\sin\theta + IX_S\right)$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{V\sin\theta + IX_S}{V\cos\theta - IR_a}\right) - \theta$$

ประสิทธิภาพของซิงโครนัสมอเตอร์

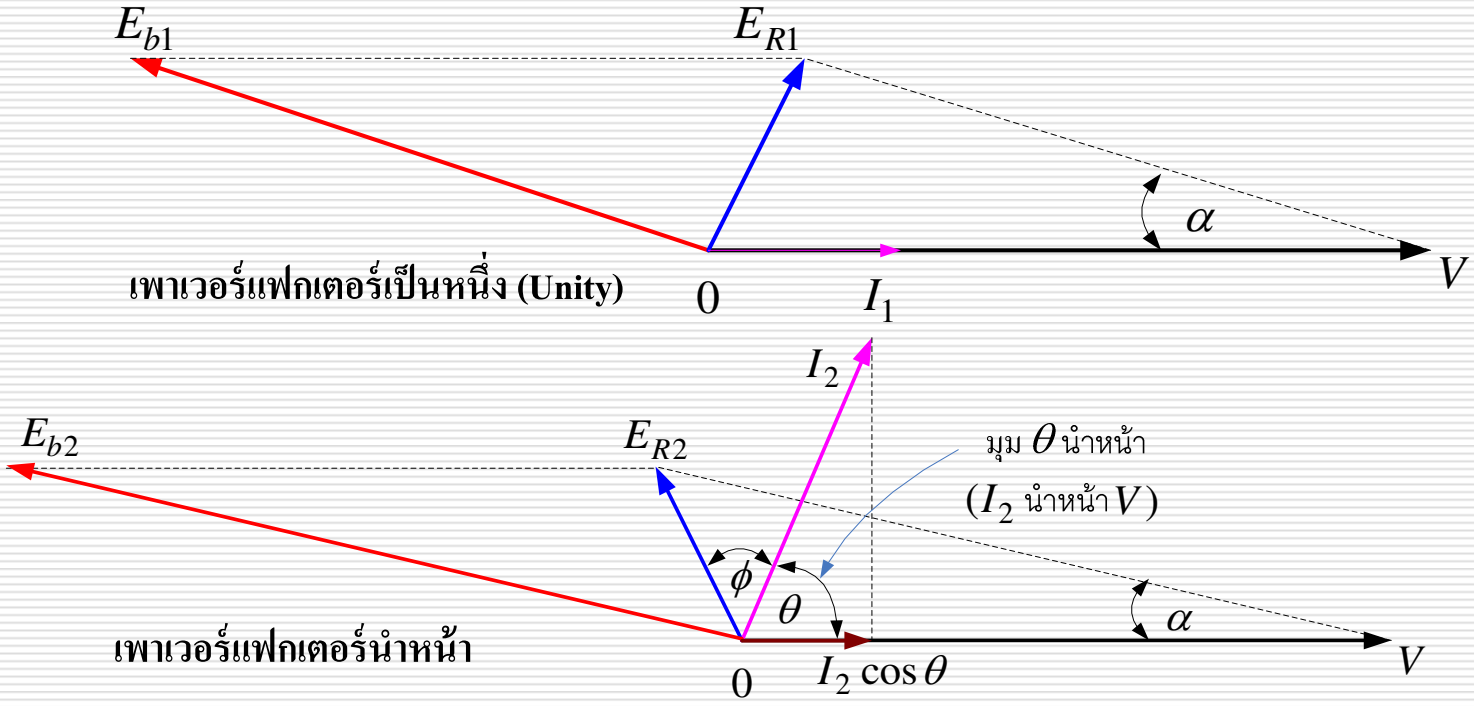
ประสิทธิภาพของซิงโครนัสมอเตอร์ คือ อัตราส่วนของกำลังเอาต์พุตต่อกำลังอินพุต



$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

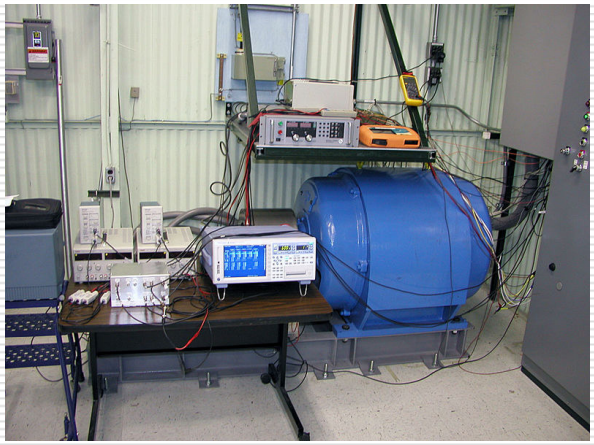
ซิงโครนัสคอนเดนเซอร์

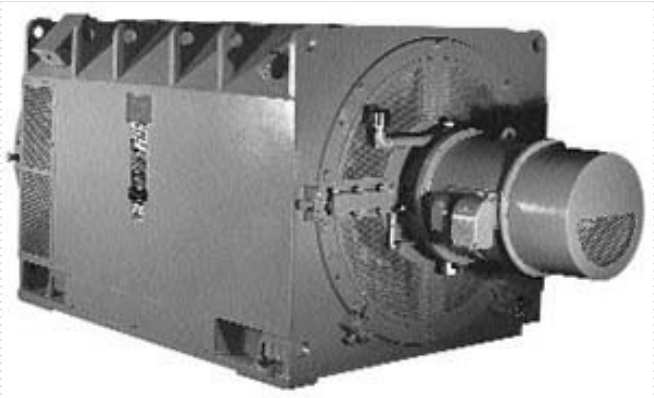
ซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ คือ ซิงโครนัสมอเตอร์ที่นำไปใช้สำหรับปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ทำงานอยู่ในสภาวะนำหน้า



เวกเตอร์ไดอะแกรมของซิงโครนัสมอเตอร์ขณะไม่มีโหลดที่ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่างๆ

การนำซิงโครนัสมอเตอร์ไปใช้งานเพื่อปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์





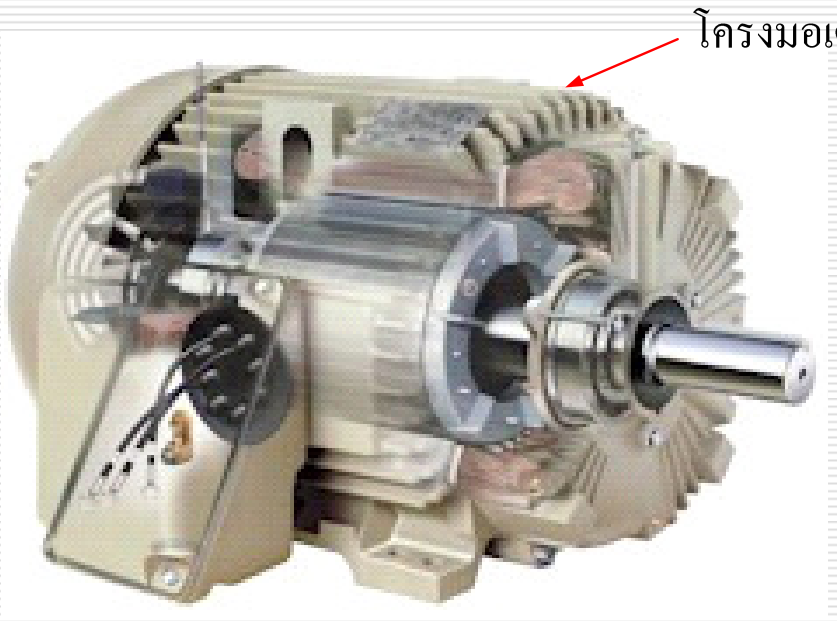
สื่อการนำเสนอผลงาน PowerPoint

เรื่อง หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

ส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

ส่วนที่อยู่กับที่

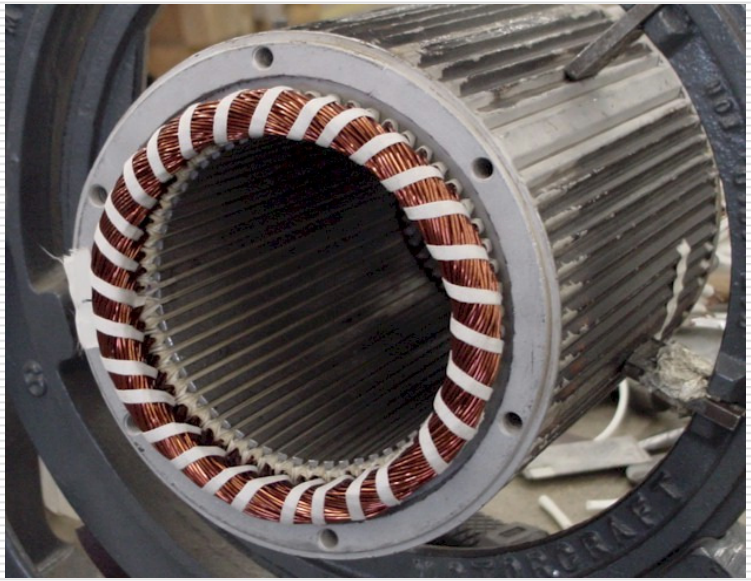
1. โครงมอเตอร์ (Frame)



ส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

ส่วนที่อยู่กับที่

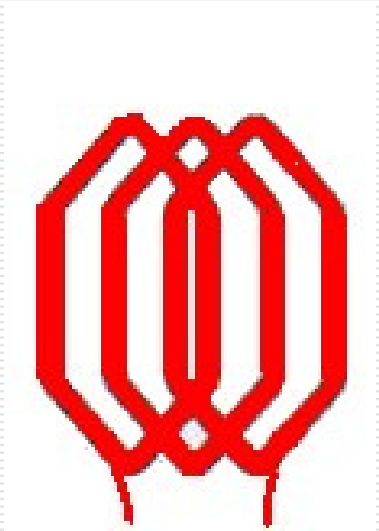
2. แกนเหล็กสเตเตอร์ (Stator core)



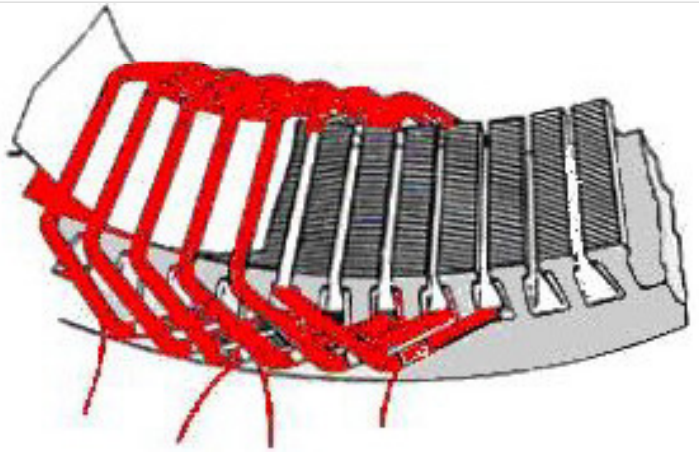
ส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

ส่วนที่อยู่กับที่

3. ขดลวดสเตเตอร์ (Stator winding)



ก. กลุ่มของขดลวดต่อเฟส



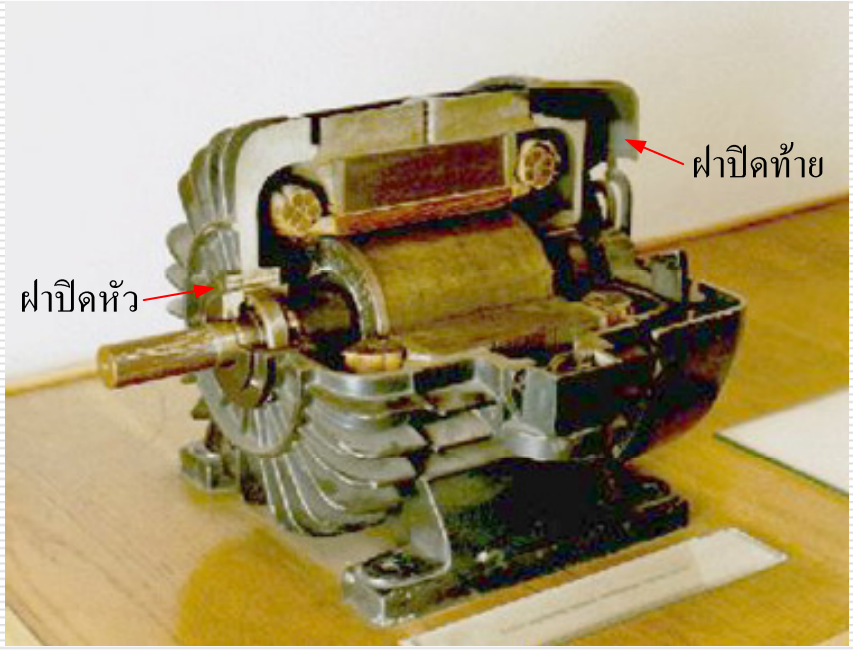
ข. กลุ่มของขดลวด 3 เฟสต่อหนึ่งขั้ว

การพันขดลวดมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบแลป (Lap Winding)

ส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

ส่วนที่อยู่กับที่

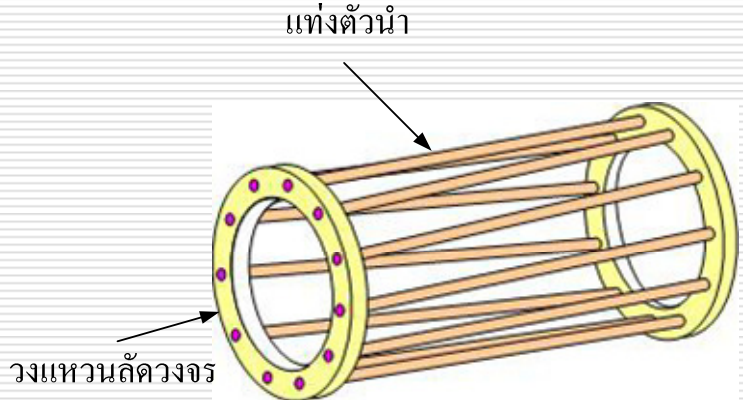
4. ฝาปิดหัวท้าย (End Plate)

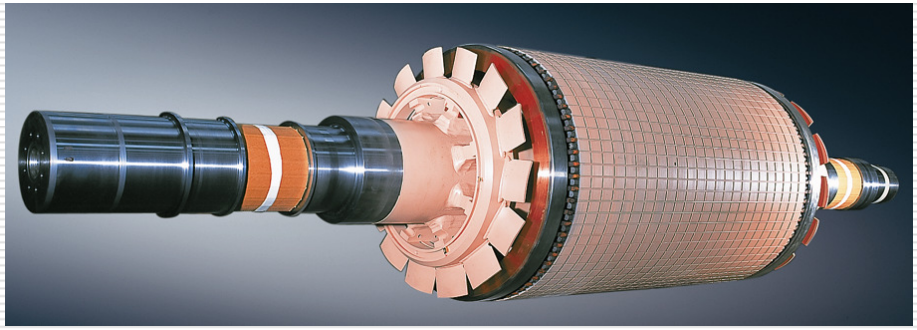


ส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

ส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor)

1. โรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel cage Rotor)

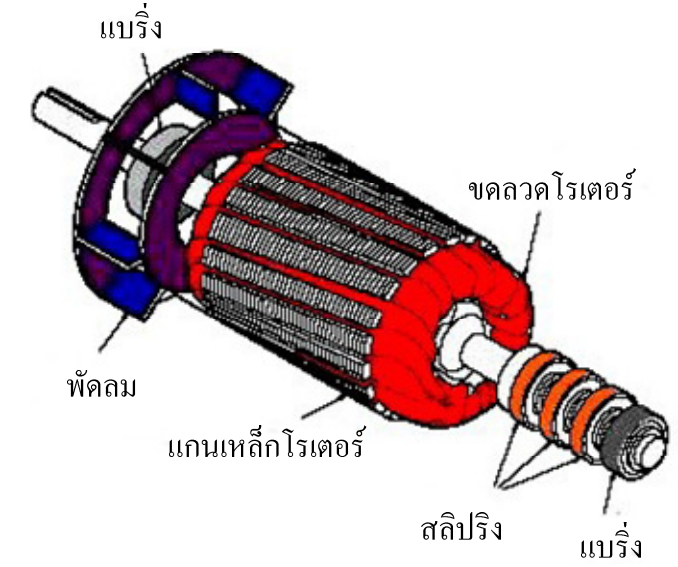




ส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

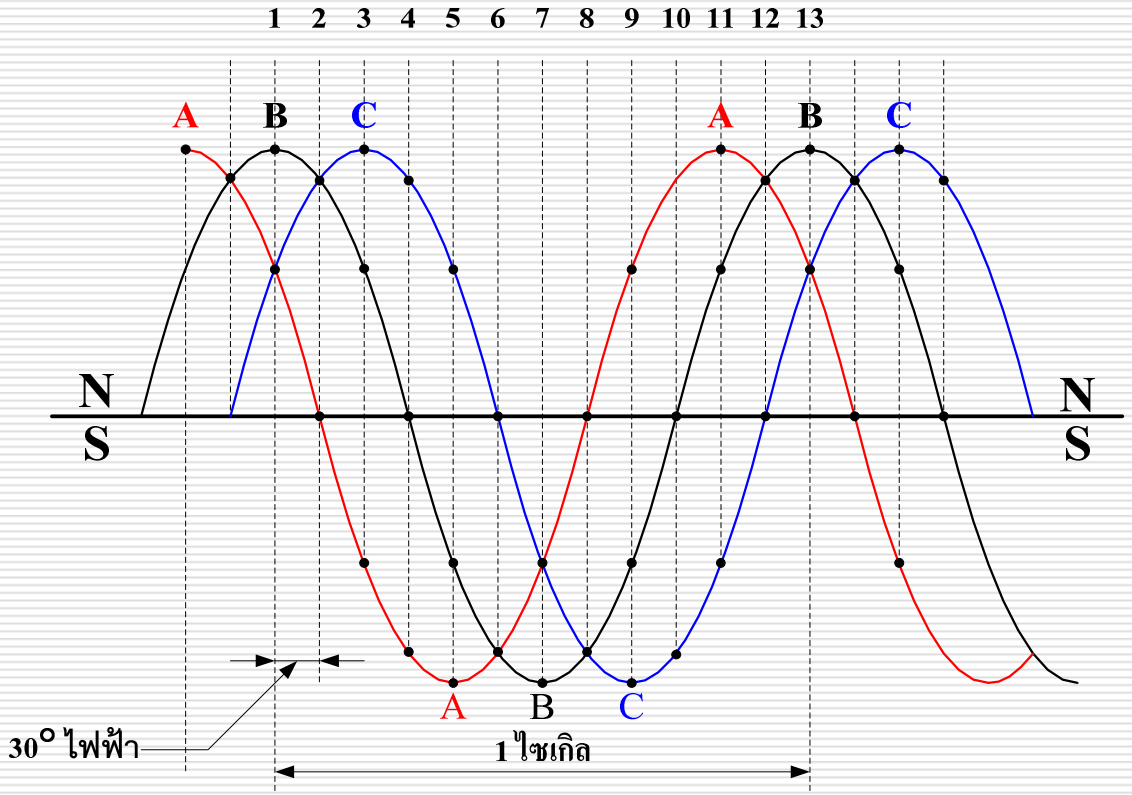
ส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor)

2. โรเตอร์พันขดลวด (Wound Rotor)

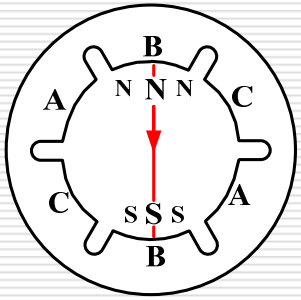


หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นโดยกระแสไฟฟ้า 3 เฟส

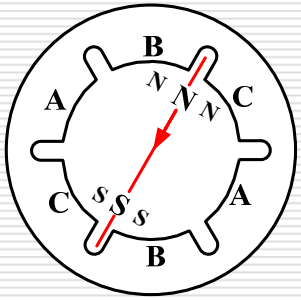


การเกิดสนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส



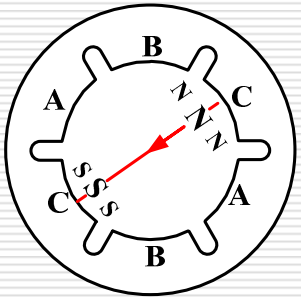
1

ก.



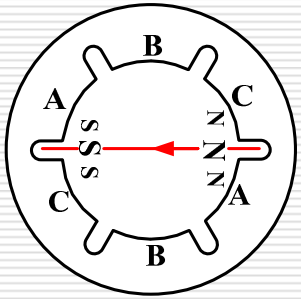
2

ข.



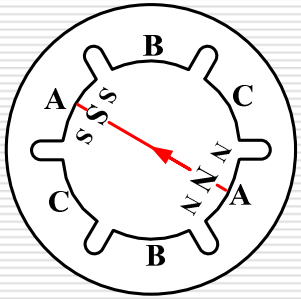
3

ค.



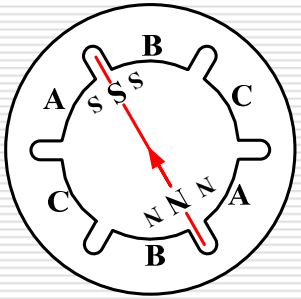
4

ง.



5

จ.

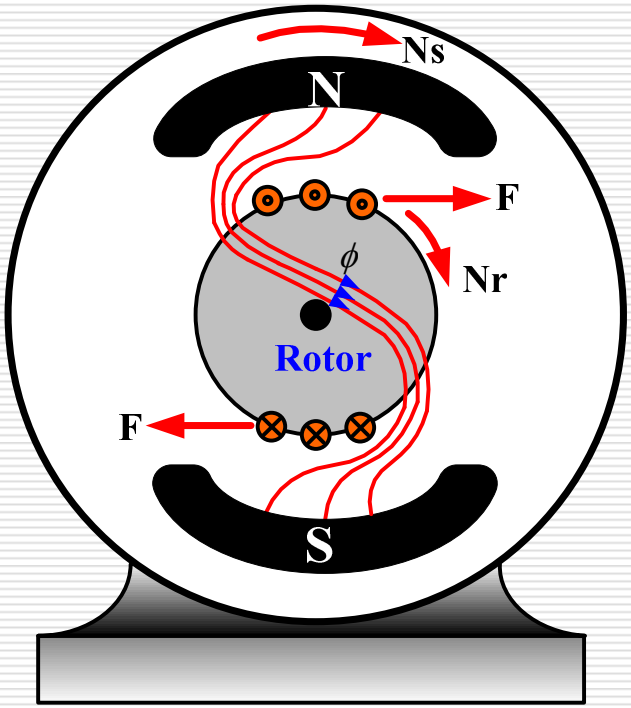


6

ฉ.

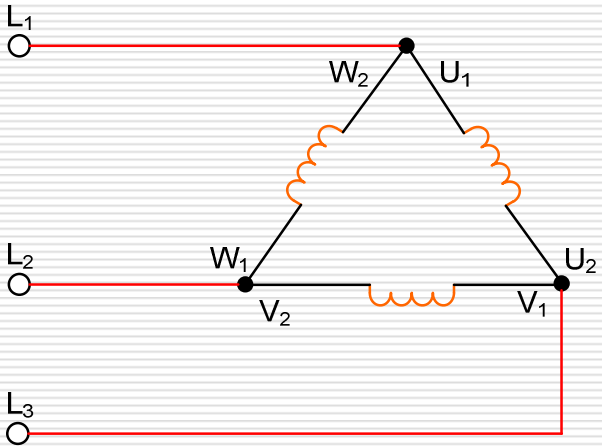
การทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โรเตอร์แบบกรงกระรอก

การเกิดแรงบิดที่ตัวนำของโรเตอร์

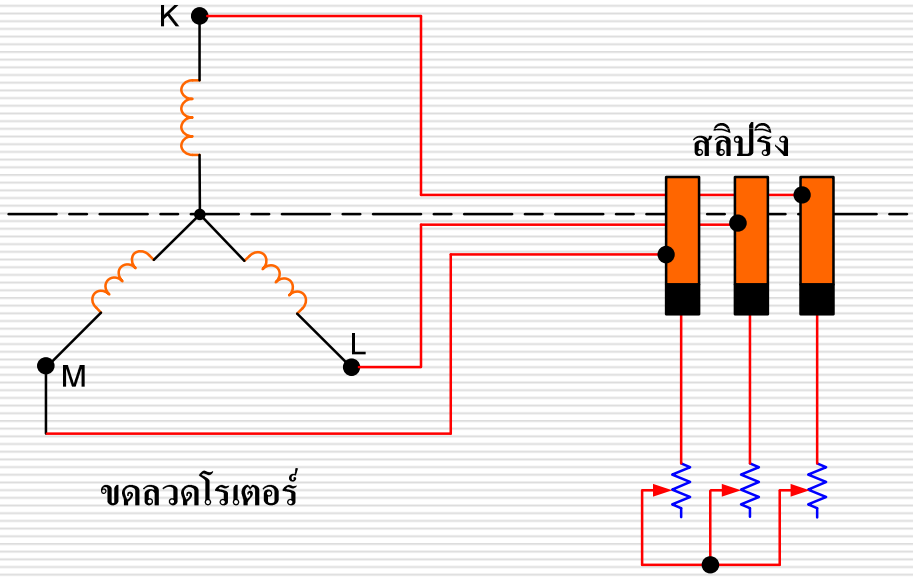


การทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โรเตอร์แบบพันขดลวด

การเริ่มหมุนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โรเตอร์แบบพันขดลวด



ขดลวดสเตเตอร์



ขดลวดโรเตอร์

ความต้านทานภายนอก

สลิป (Slip, S)

$$S = \frac{N_S - N_r}{N_S}$$

$$\%\, S = \frac{N_S - N_r}{N_S} \times 100$$

$$N_r = (1 - S) N_S$$

$$N_r = (1 - S) \frac{120 f}{P}$$

ความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่โรเตอร์ (Frequency of Rotor Current)

จากสมการ $$N_S - N_r = \frac{120 f_r}{P} \quad (1)$$

และ $$N_S = \frac{120 f}{P} \quad (2)$$

สมการ (1) ÷ (2) $$\frac{N_S - N_r}{N_S} = \frac{f_r}{f}$$

$$S = \frac{f_r}{f}$$

$$f_r = S\, f$$

สื่อการนำเสนอผลงาน PowerPoint

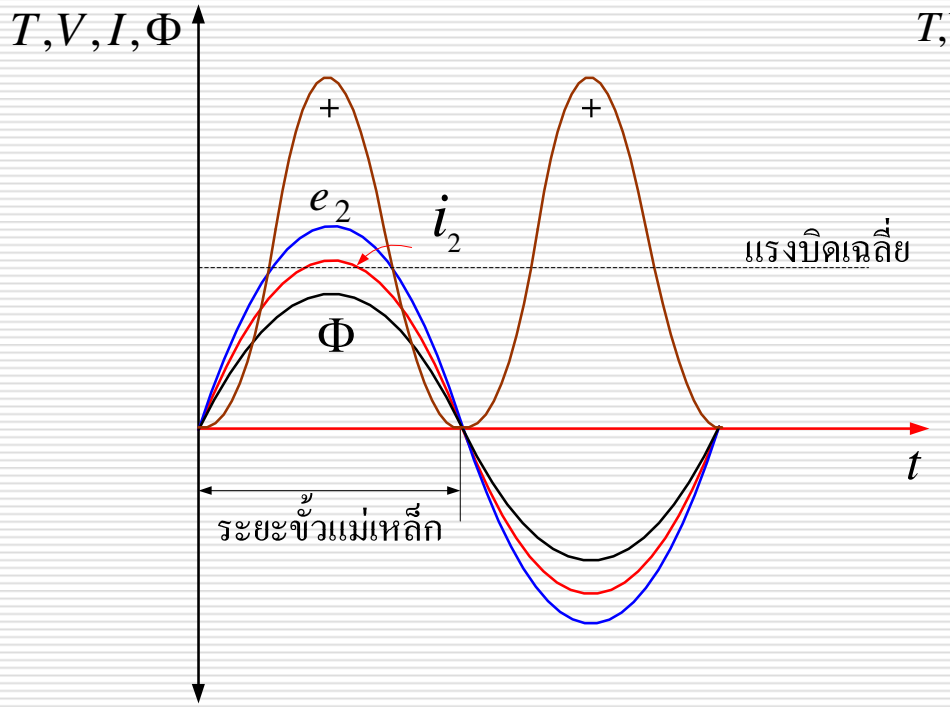
เรื่อง คุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

แรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

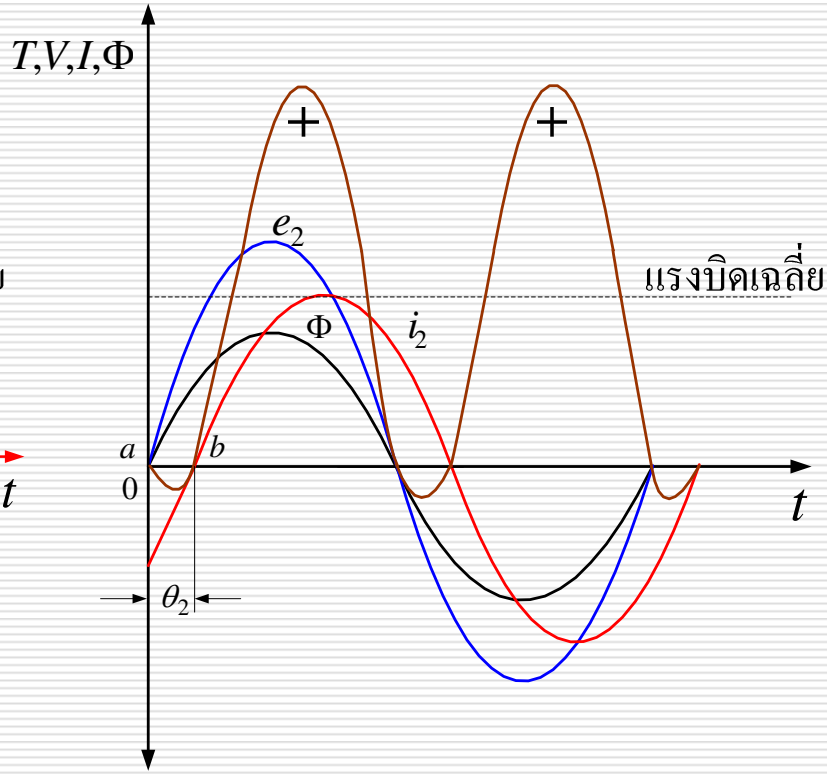
แรงบิดเกิดขึ้นจากผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็กที่สเตเตอร์ต่อขั้วกับกระแสไฟฟ้าและเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่โรเตอร์

$$T = k_1 E_2 I_2 \cos\theta_2$$

แรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส



แรงบิดเมื่อโรเตอร์ไม่เป็นอินดักทีฟ



แรงบิดเมื่อโรเตอร์เป็นอินดักทีฟ

แรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

แรงบิดขณะเริ่มเดิน (Starting Torque)

$$T_S = k_1 E_2 I_2 \cos\theta_2$$

$$T_S = \frac{k_1 {E_2}^2 R_2}{{R_2}^2 + {X_2}^2}$$

$$T_S = \frac{k_2 R_2}{{R_2}^2 + {X_2}^2} = \frac{k_2 R_2}{{Z_2}^2}$$

(V, ϕ, E_2 มีค่าคงที่)

แรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

แรงบิดขณะเริ่มเดินสูงสุด

$$\frac{dT_S}{dR_2} = \frac{d}{dR_2}\left(\frac{k_2 R_2}{R_2^{\,2} + X_2^{\,2}}\right) = k_2 \frac{d}{dR_2}\left(\frac{R_2}{R_2^{\,2} + X_2^{\,2}}\right) = 0$$

แรงบิดขณะเริ่มเดินสูงสุด เมื่อ $X_2 = R_2$

แรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

แรงบิดในสภาวะมอเตอร์กำลังเดิน (Torque Under Running Condition)

$$T \propto \frac{S \phi E_2 R_2}{R_2^{\,2} + (SX_2)^2} \quad \rightarrow \quad T = \frac{k_1 S \phi E_2 R_2}{R_2^{\,2} + (S X_2)^2}$$

$$T = \frac{k_1 S E_2^{\,2} R_2}{R_2^{\,2} + (S X_2)^2} \qquad \text{เมื่อ} \qquad (E_r \propto \phi)$$

$$T = \left(\frac{3 \times 60}{2\pi N_S}\right) \times \frac{S E_2^{\,2} R_2}{R_2^{\,2} + (SX_2)^2} \qquad \text{เมื่อ} \qquad \left(k_1 = \frac{3 \times 60}{2\pi N_S}\right)$$

แรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

แรงบิดสูงสุดในสภาวะที่มอเตอร์กำลังเดิน

$$Y = \frac{1}{T} = \frac{R_2^{\,2} + (S X_2)^2}{k S \phi E_2 R_2} = \left(\frac{R_2}{k S \phi E_2} \right) + \left(\frac{(S X_2)^2}{k S \phi E_2 R_2} \right)$$

$$\frac{dY}{dS} = \frac{d}{dS} \left\{ \left(\frac{R_2}{k S \phi E_2} \right) + \left(\frac{(S X_2)^2}{k S \phi E_2 R_2} \right) \right\} = 0$$

แรงบิดสูงสุดในขณะกำลังเดิน เมื่อ $R_2 = S X_2$

$$T_{\max} = \left(\frac{3 \times 60}{2\pi N_S} \right) \times \frac{E_2^{\,2}}{2X_2}$$

แรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

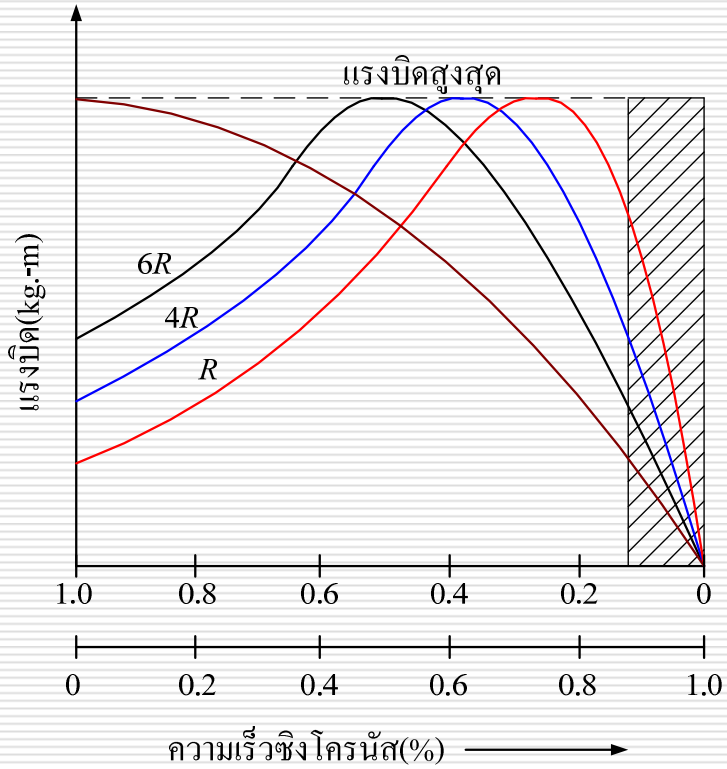
แรงบิดที่โรเตอร์และแรงบิดสุดกำลัง

$$T = T_b \frac{2}{\left(\frac{S_b}{S} + \frac{S}{S_b} \right)}$$

แรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและสลิป

$$T = \frac{k\,S\,\phi\,E_2\,R_2}{{R_2}^2 + (S\,X_2)^2}$$



แรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

แรงบิดเมื่อมอเตอร์มีโหลดเต็มพิกัดและแรงบิดสูงสุด

$$\frac{T_f}{T_{\max}} = \frac{2 S_f R_2 X_2}{R_2^{\,2} + \left(S_f X_2\right)^2}$$

$$\frac{T_f}{T_{\max}} = \frac{2 a S_f}{a^2 + S_f^{\,2}} \qquad \text{เมื่อ} \qquad a = \frac{R_2}{X_2}$$

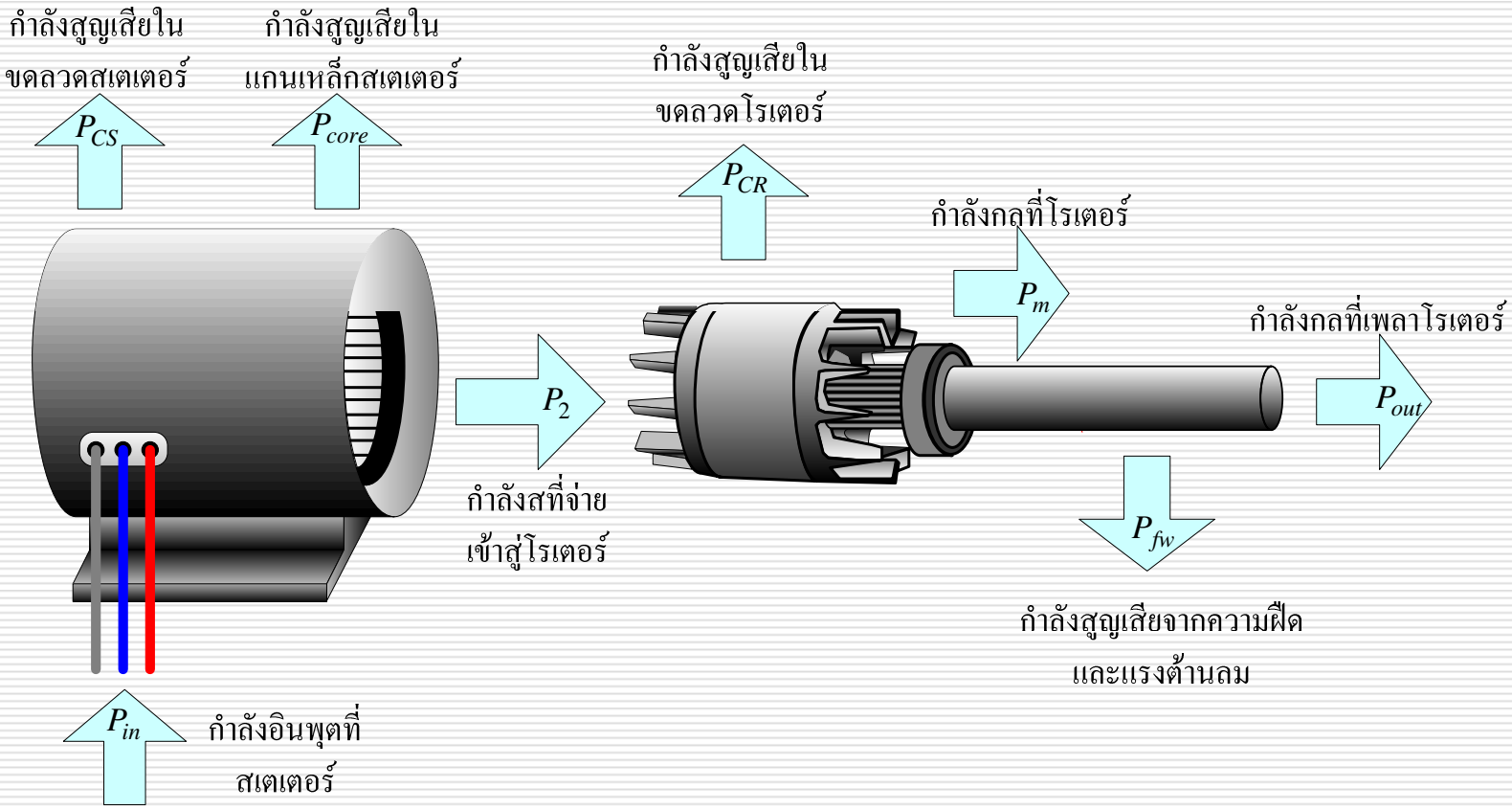
แรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

แรงบิดเมื่อเริ่มเดินและแรงบิดสูงสุด

$$\frac{T_S}{T_{\max}} = \frac{2X_2R_2}{R_2^{\,2} + X_2^{\,2}}$$

$$\frac{T_S}{T_{\max}} = \frac{2a}{a^2 + 1} \qquad \text{เมื่อ} \qquad a = \frac{R_2}{X_2}$$

กำลังในส่วนต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส



กำลังในส่วนต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

ประสิทธิภาพที่โรเตอร์

$$\eta_r = \frac{P_{out}}{P_2} = \frac{N_r}{N_S}$$

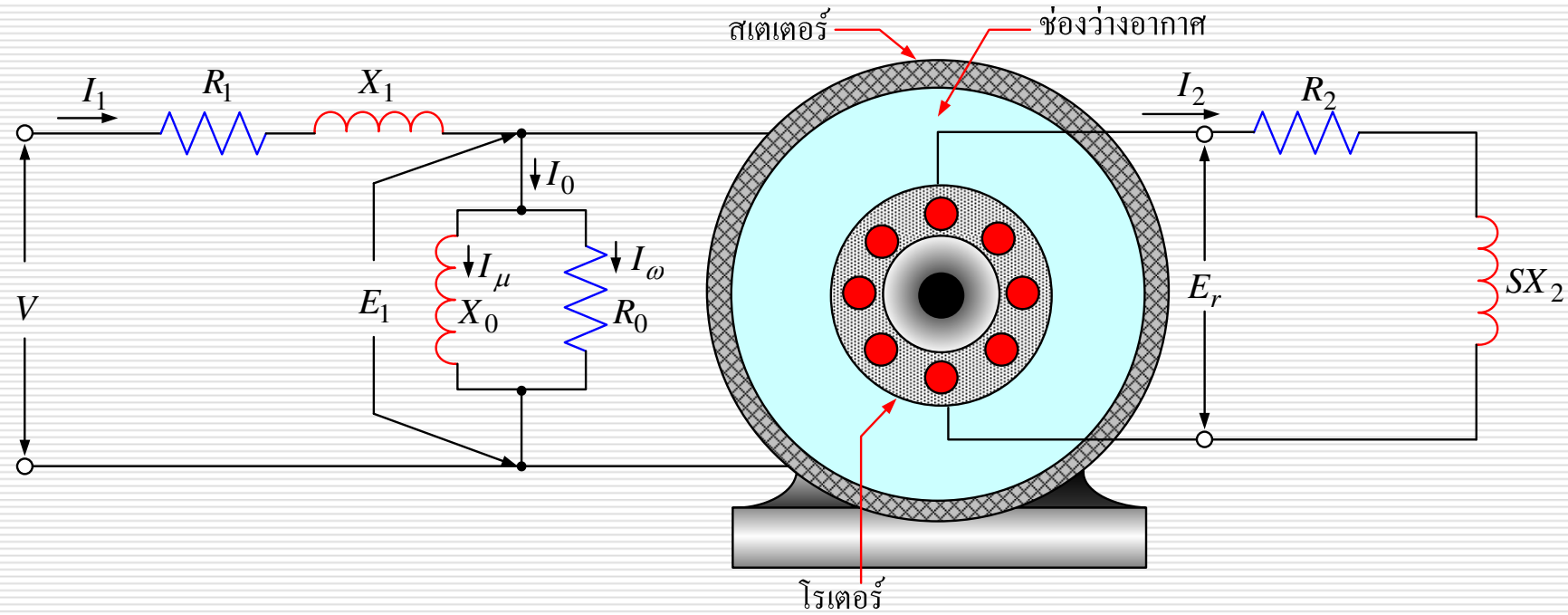
แรงบิดที่เกิดขึ้นในโรเตอร์

$$T_g = \frac{S E_2^{\,2} R_2}{R_2^{\,2} + (S X_2)^2} \left(\frac{3 \times 60}{2\pi N_S} \right) \quad \Rightarrow \quad T_g = \frac{9.55 P_2}{N_S}$$

สื่อการนำเสนอผลงาน PowerPoint

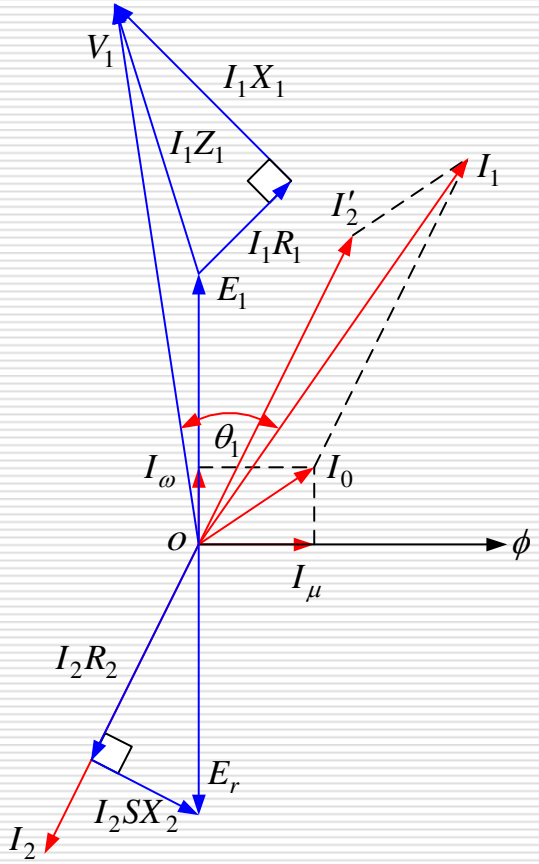
เรื่อง วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส



วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เวกเตอร์ไดอะแกรมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



$$V_1 = E_1 + I_1R_1 + jI_1X_1$$

$$E_r = I_r\left(R_2 + jS\,X_2\right)$$

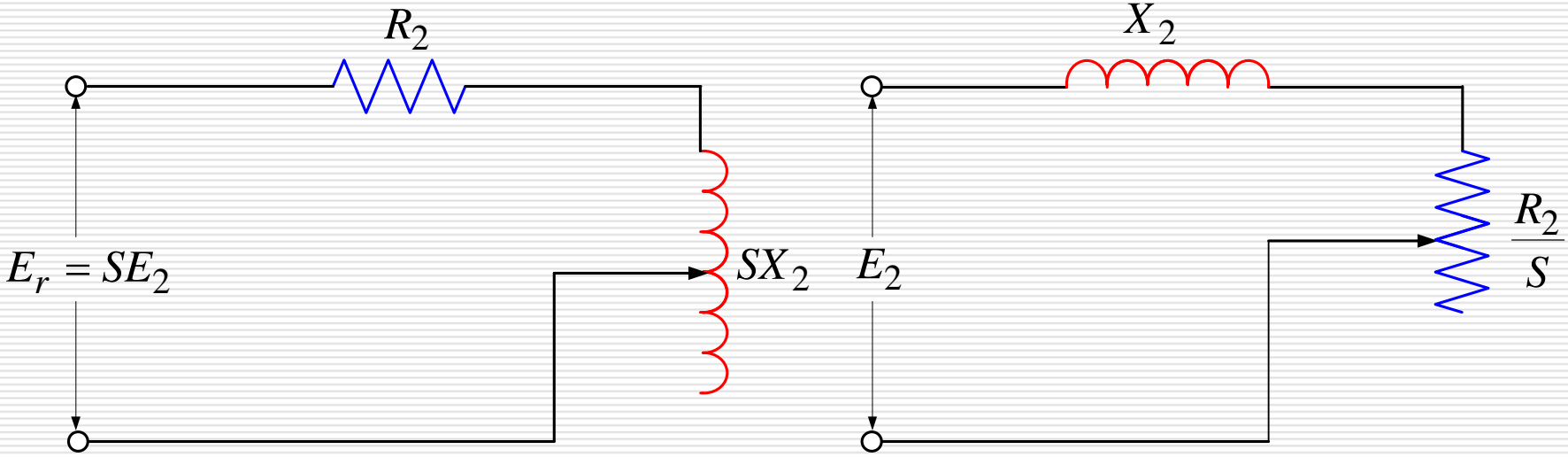
$$I_O = \sqrt{I_\omega{}^2 + I_\mu{}^2}$$

$$X_O = \frac{E_1}{I_\mu}$$

$$R_O = \frac{E_1}{I_\omega}$$

วงจรสมมูลของโรเตอร์

(Equivalent Circuit of Rotor)



เมื่อมอเตอร์มีโหลดกระแสไฟฟ้าที่ไหลในโรเตอร์ คือ

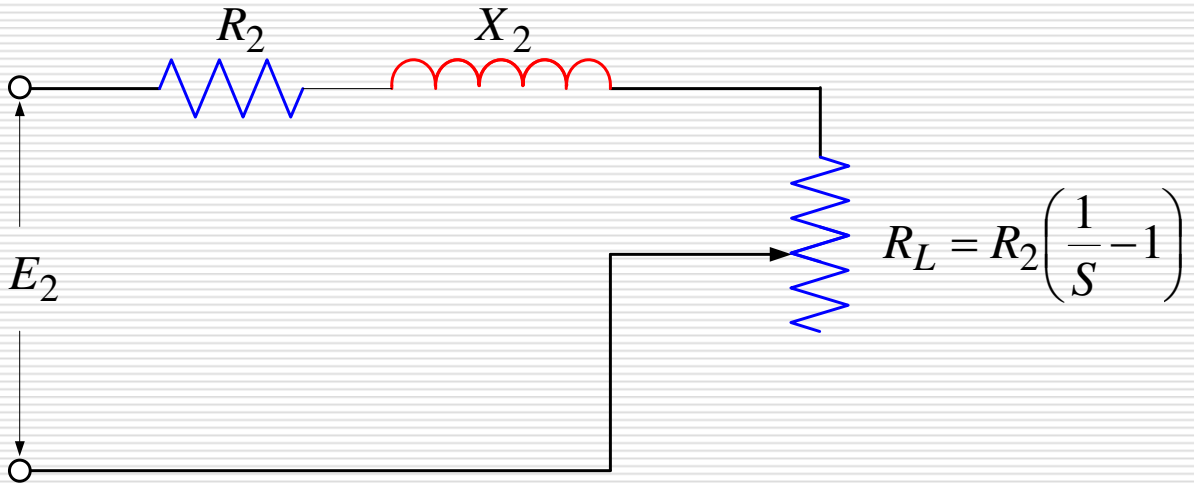
$$I_2 = \frac{S\,E_2}{\sqrt{R_2{}^2 + (S\,X_2)^2}}$$

หรือ

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{S}\right)^2 + X_2{}^2}}$$

วงจรสมมูลของโรเตอร์

(Equivalent Circuit of Rotor)



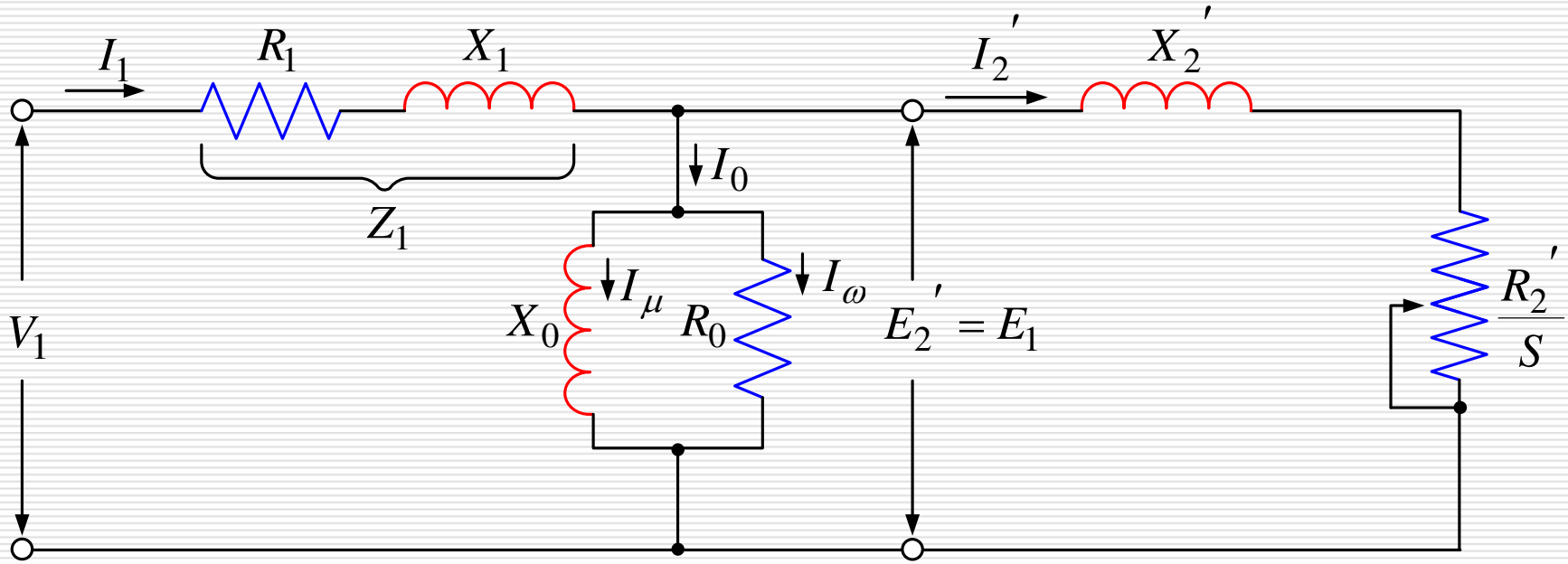
$$\frac{R_2}{S} = R_2 + R_2\left(\frac{1}{S}-1\right)$$

วงจรสมมูลของโรเตอร์ที่ประกอบด้วยความต้านทานของโหลด R_L

วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

(Equivalent Circuit of Induction Motor)

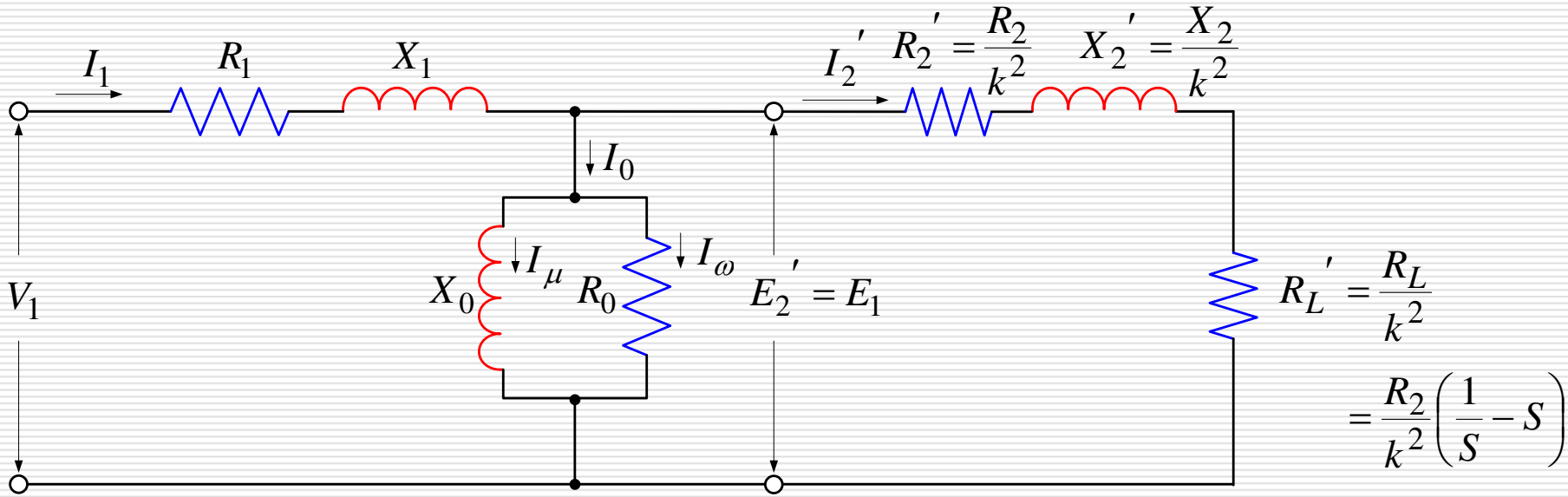
วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ย้ายไปทางด้านปฐมภูมิ (สเตเตอร์)



วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

(Equivalent Circuit of Induction Motor)

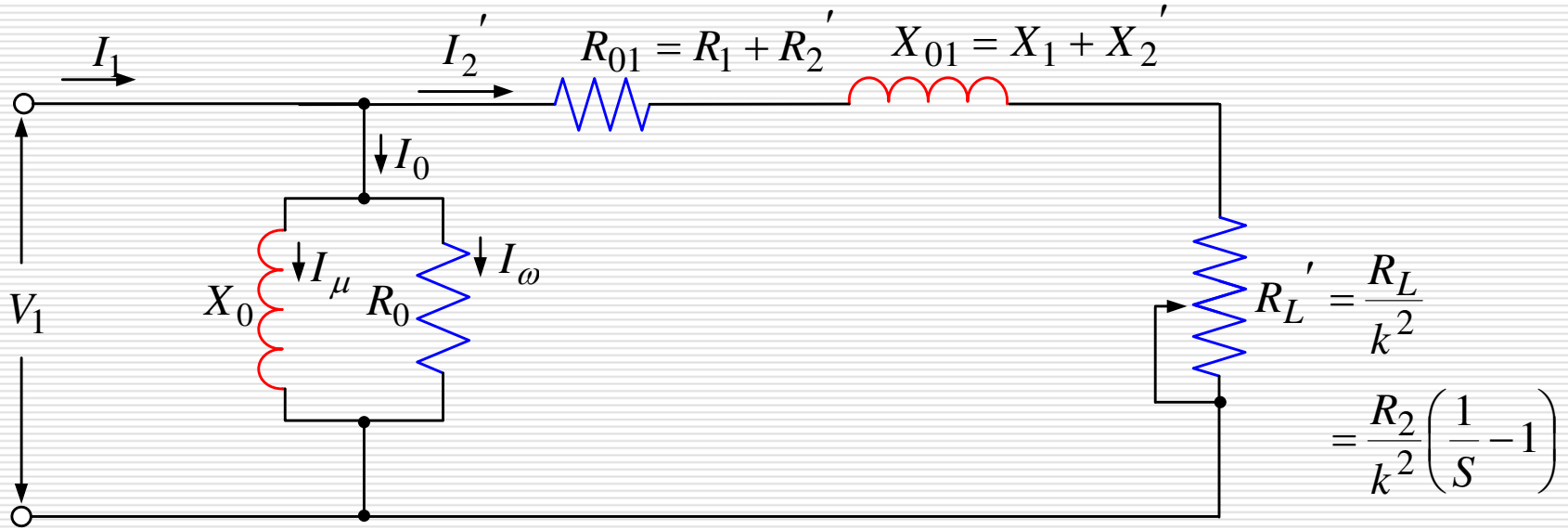
วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

(Equivalent Circuit of Induction Motor)

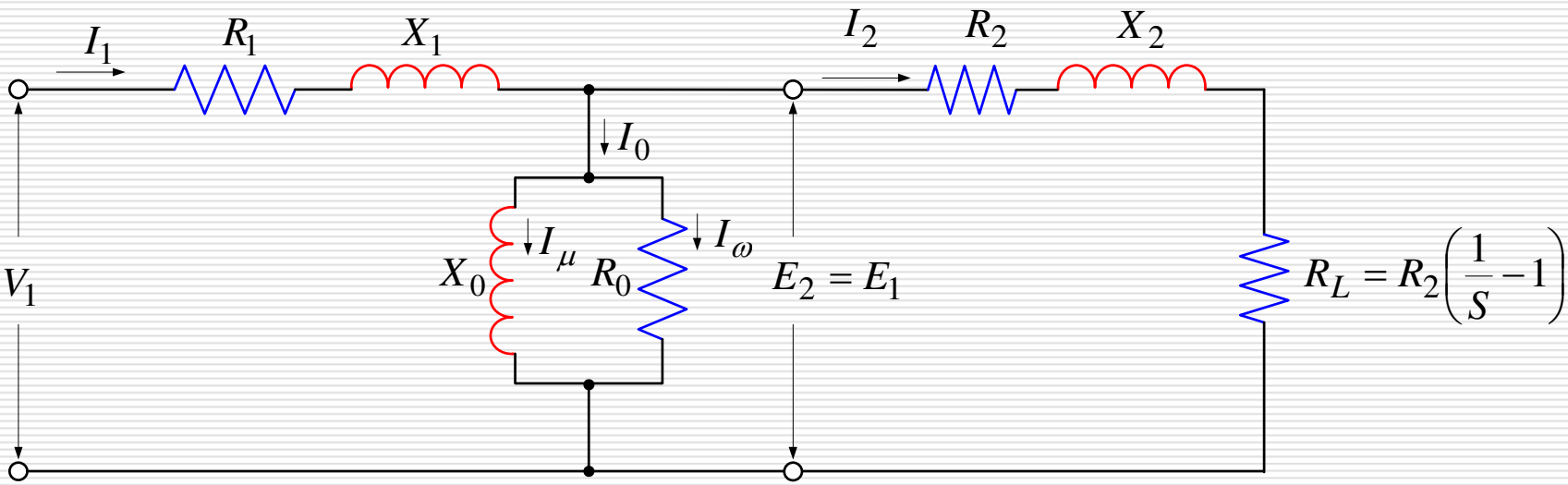
วงจรสมมูลโดยประมาณของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

(Equivalent Circuit of Induction Motor)

วงจรสมมูลโดยประมาณของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่ออัตราส่วน $\frac{E_2}{E_1}=1$



สมการของกำลังในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

กำลังอินพุต $P_{in} = 3V_1 I_1 \cos\theta_1$

กำลังสูญเสียในแกนเหล็กสเตเตอร์ $P_{core} = I_{\omega}{}^2 R_o$

กำลังสูญเสียในขดลวดทองแดงที่สเตเตอร์ $P_{CS} = 3I_1{}^2 R_1$

กำลังที่ย้ายไปโรเตอร์ $3I_2'^2\left(\frac{R_2'}{S}\right)$

กำลังสูญเสียในขดลวดทองแดงทีโรเตอร์ $P_{CR} = 3I_2'^2 R_2'$

กำลังกลที่เกิดขึ้นที่โรเตอร์หรือกำลังที่เกิดขึ้นทั้งหมดที่โรเตอร์ $P_g = 3I_2'^2 R_2'\left(\frac{1}{S} - 1\right)$

แรงบิดที่เกิดขึ้นทั้งหมดที่โรเตอร์

$$T_g = \frac{3I_2'^2 R_2' \left(\frac{1}{S}\right)}{\frac{2\pi N_S}{60}}$$

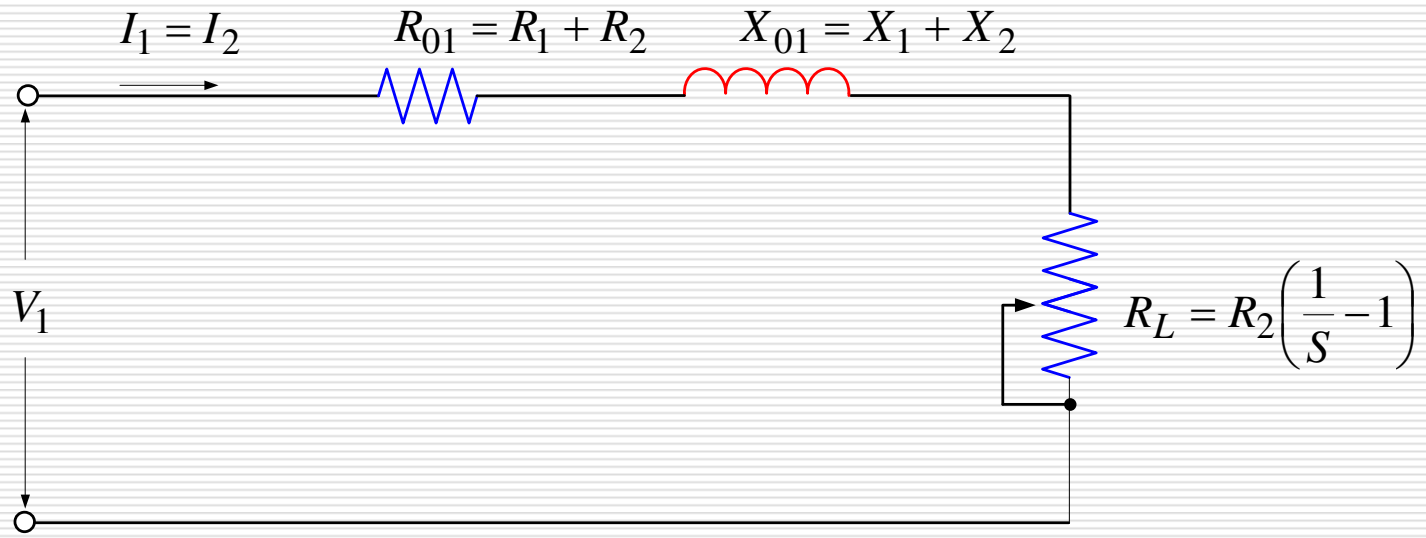
เมื่อ $I_2' = \frac{V_1}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right) + j\left(X_1 + X_2'\right)}$

$$T_g = \frac{3\left(\frac{V_1^2}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + \left(X_1 + X_2'\right)^2}\right)\frac{R_2'}{S}}{\frac{2\pi N_S}{60}}$$

กำลังเอาต์พุตสูงสุด

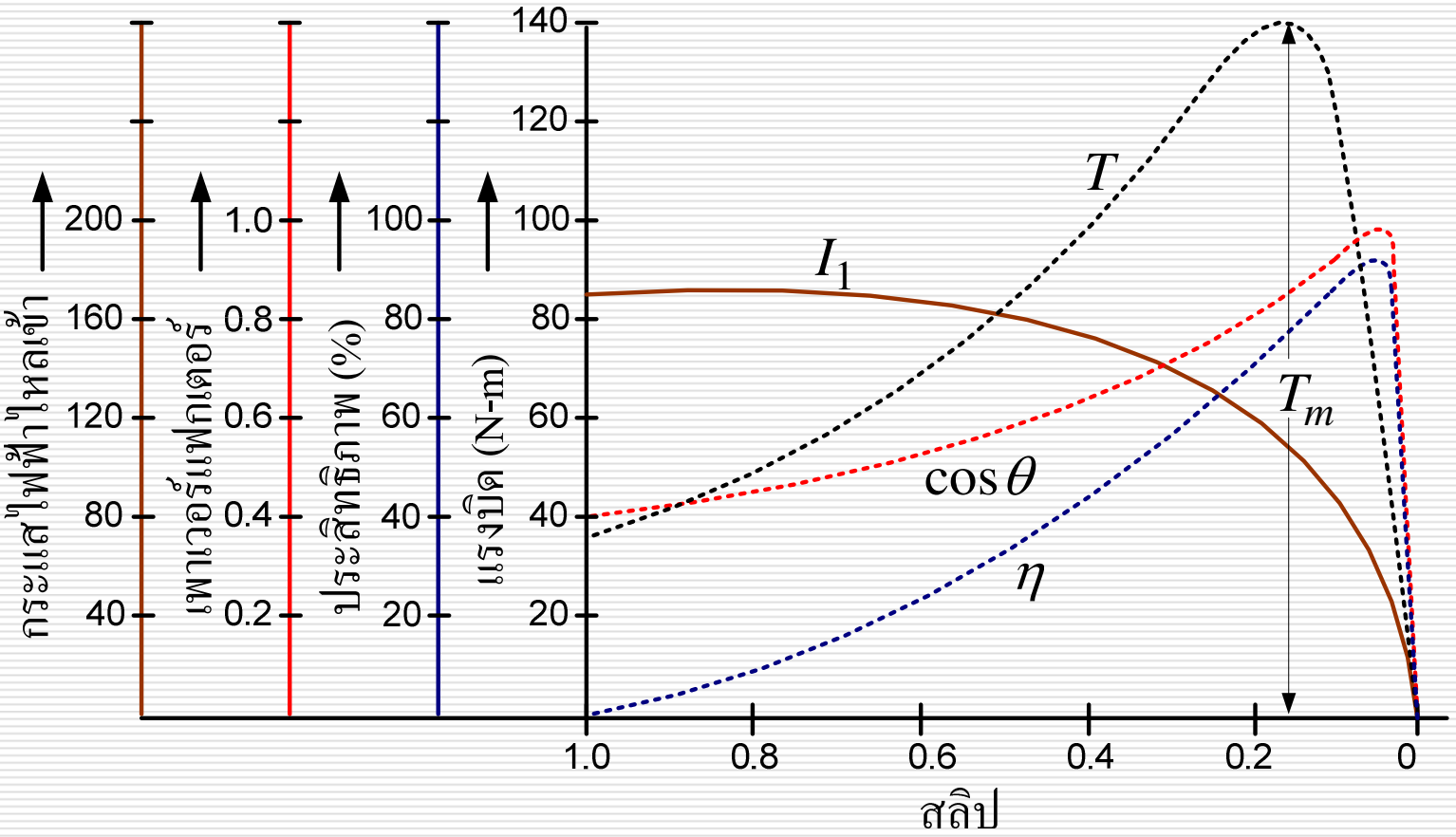
(Maximum Power Output)

วงจรสมมูลโดยประมาณของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



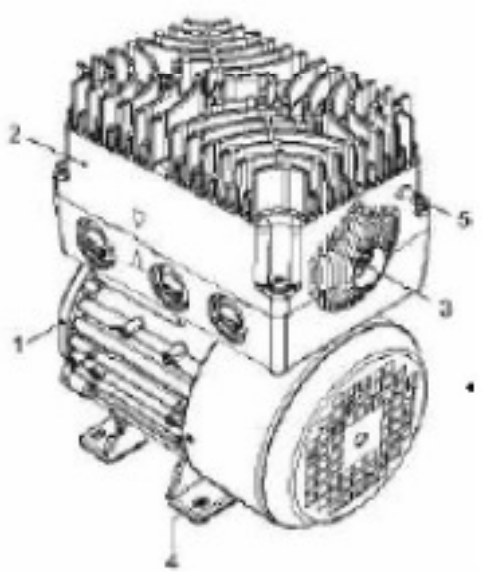
$$P_{g(\max)} = \frac{3V_1^{\,2}}{2(Z_{01} + R_{01})}$$

คุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



สื่อการนำเสนอผลงาน PowerPoint

เรื่อง เซอร์เคิลไดอะแกรมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส



เซอร์เคิลไดอะแกรมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

- หาคุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอกชั้นเดียวหรือโรเตอร์แบบพันขดลวดที่มีค่าความต้านทานคงที่
- ข้อมูลที่ใช้เขียนเซอร์เคิลไดอะแกรมได้มาจากการทดสอบมอเตอร์ในขณะไม่มีโหลด ขณะจับยึดโรเตอร์ให้หยุดนิ่ง และการทดสอบวัดค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์

การทดสอบมอเตอร์ทำงานขณะไม่มีโหลด

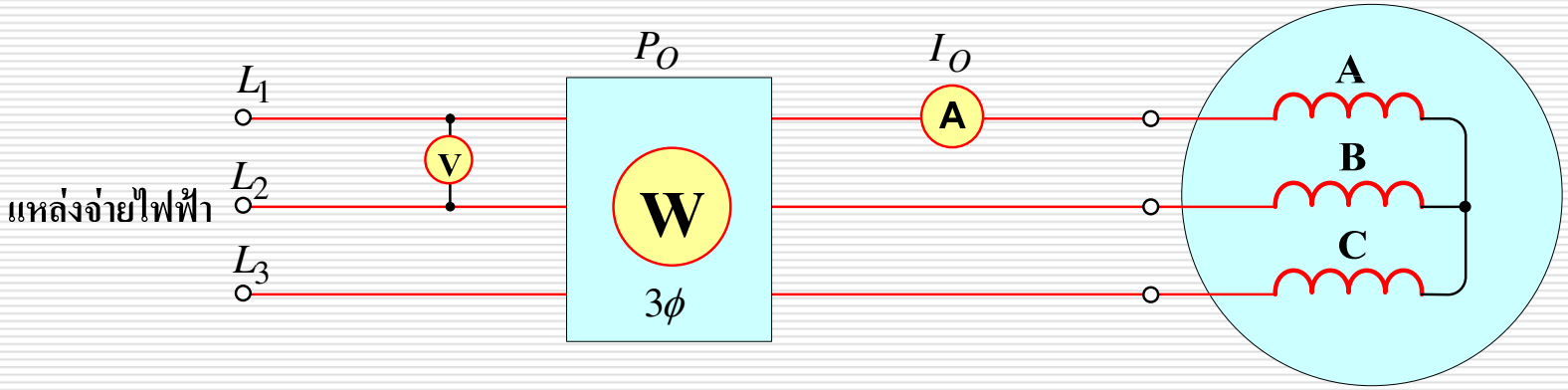
(No Load Test)

- การควบคุมให้มอเตอร์เหนี่ยวนำหมุนที่ความเร็วพิกัดตามขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าตามพิกัดโดยไม่มีโหลดต่ออยู่ที่เพลาของมอเตอร์ และใช้เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า วัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าระหว่างสาย และวัดกระแสไฟฟ้าในสาย
- เพื่อหาค่ากำลังสูญเสียในขดลวดทองแดงของสเตเตอร์ กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นจากความฝืดและแรงตานลม และกำลังสูญเสียในแกนเหล็ก

การทดสอบมอเตอร์ทำงานขณะไม่มีโหลด

(No Load Test)

วงจรทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าในขณะไม่มีโหลด



มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส
ขณะไม่มีโหลด

การคำนวณหาค่าปริมาณไฟฟ้า

$$S_O = \sqrt{3}\, V\, I_O$$

$$Q_O = \sqrt{S_O{}^2 - P_O{}^2}$$

$$P_{CS} = 3\, I_O{}^2 R_1$$

$$P_{core} + P_{fw} = P_O - P_{CS}$$

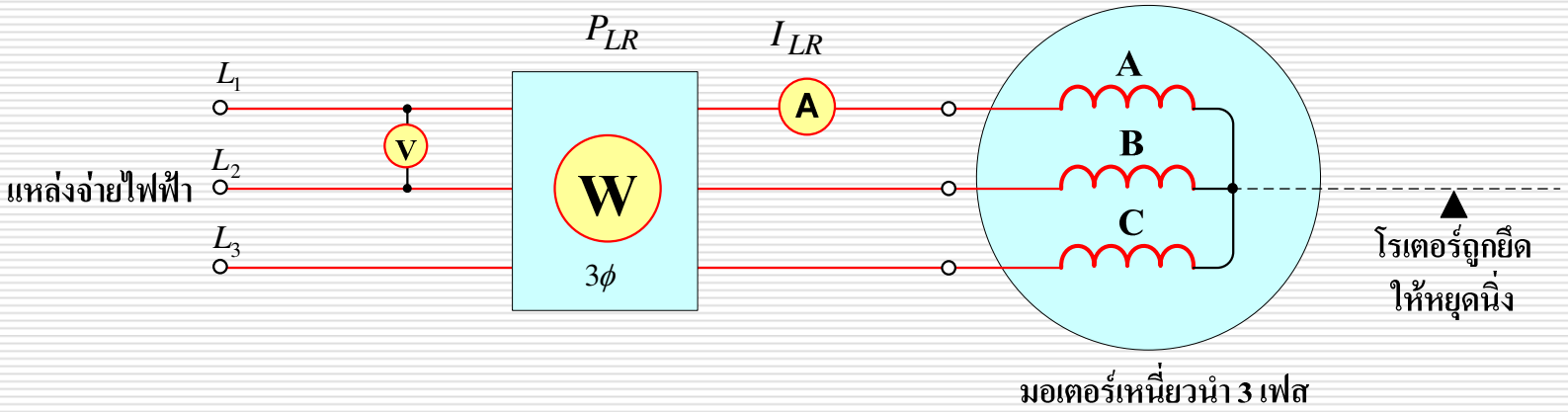
$$R_O = \frac{3V^2}{P_{core} + P_{fw}}$$

$$X_O = \frac{3V^2}{Q_O}$$

การทดสอบมอเตอร์ทำงานขณะจับยึดโรเตอร์ให้หยุดนิ่ง

(Locked Rotor Test)

- เพื่อหาค่าของรีแอกแตนซ์รวมในวงจรสมมูลและค่าความตานทานรวมในวงจรสมมูล



การคำนวณหาค่าปริมาณไฟฟ้า

$$S_{LR} = \sqrt{3}\, V\, I_{LR}$$

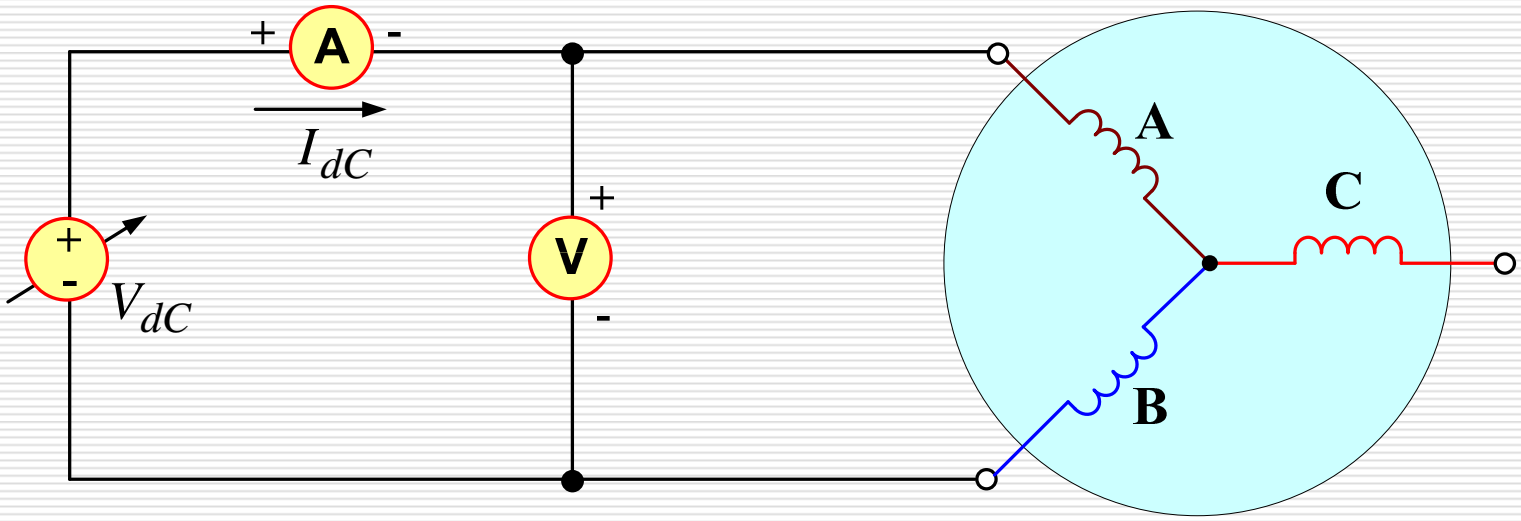
$$Q_{LR} = \sqrt{S_{LR}^{\,2} - P_{LR}^{\,2}}$$

$$P_{LR} = 3 I_{LR}^{\,2} \left(R_1 + R_2' \right)$$

$$R_2' = \left(\frac{P_{LR}}{3 I_{LR}^{\,2}} \right) - R_1$$

$$X_{01} = \frac{Q_{LR}}{3 I_{LR}^{\,2}}$$

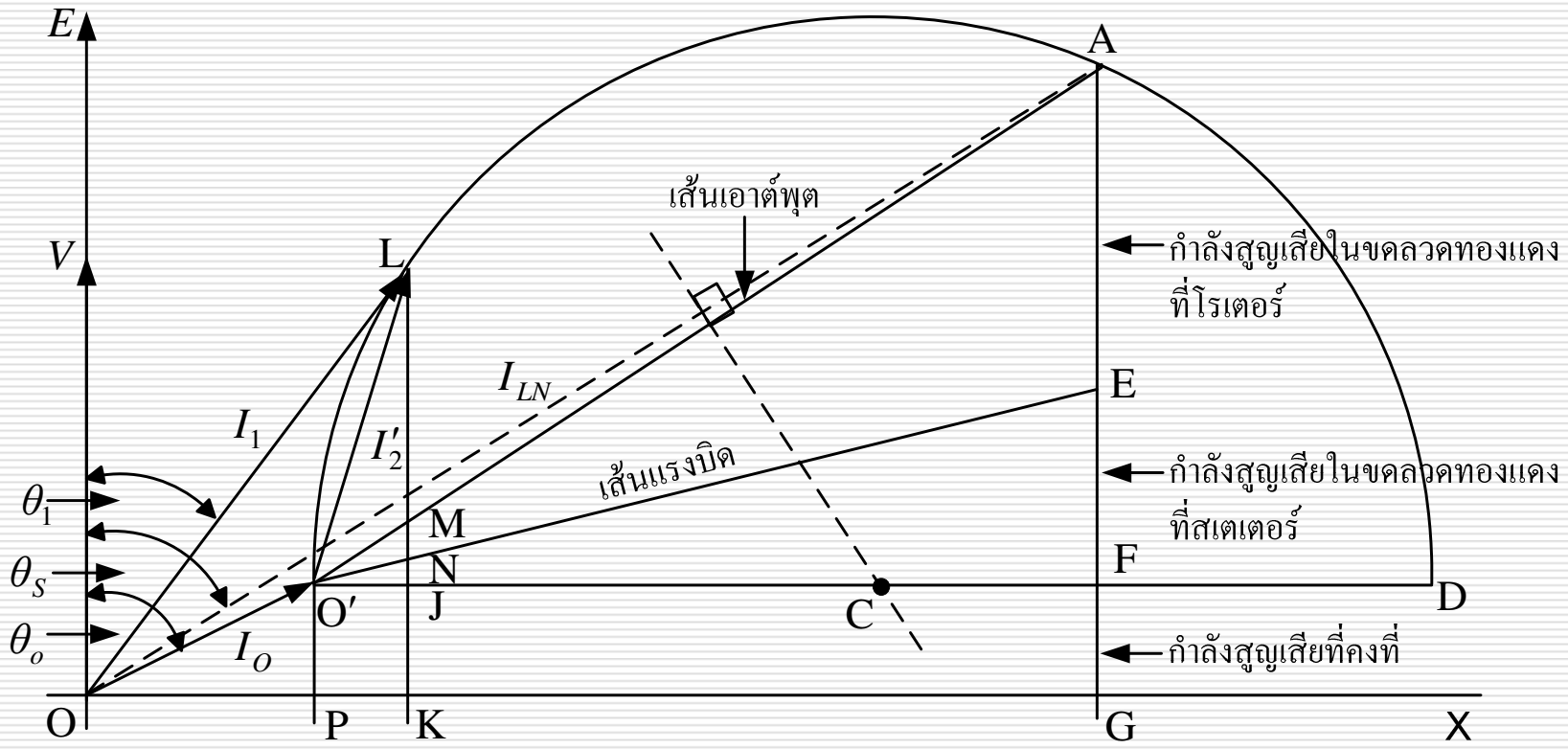
การทดสอบหาค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์



$$R_{AB} = \frac{V_{dc}}{I_{dc}}$$

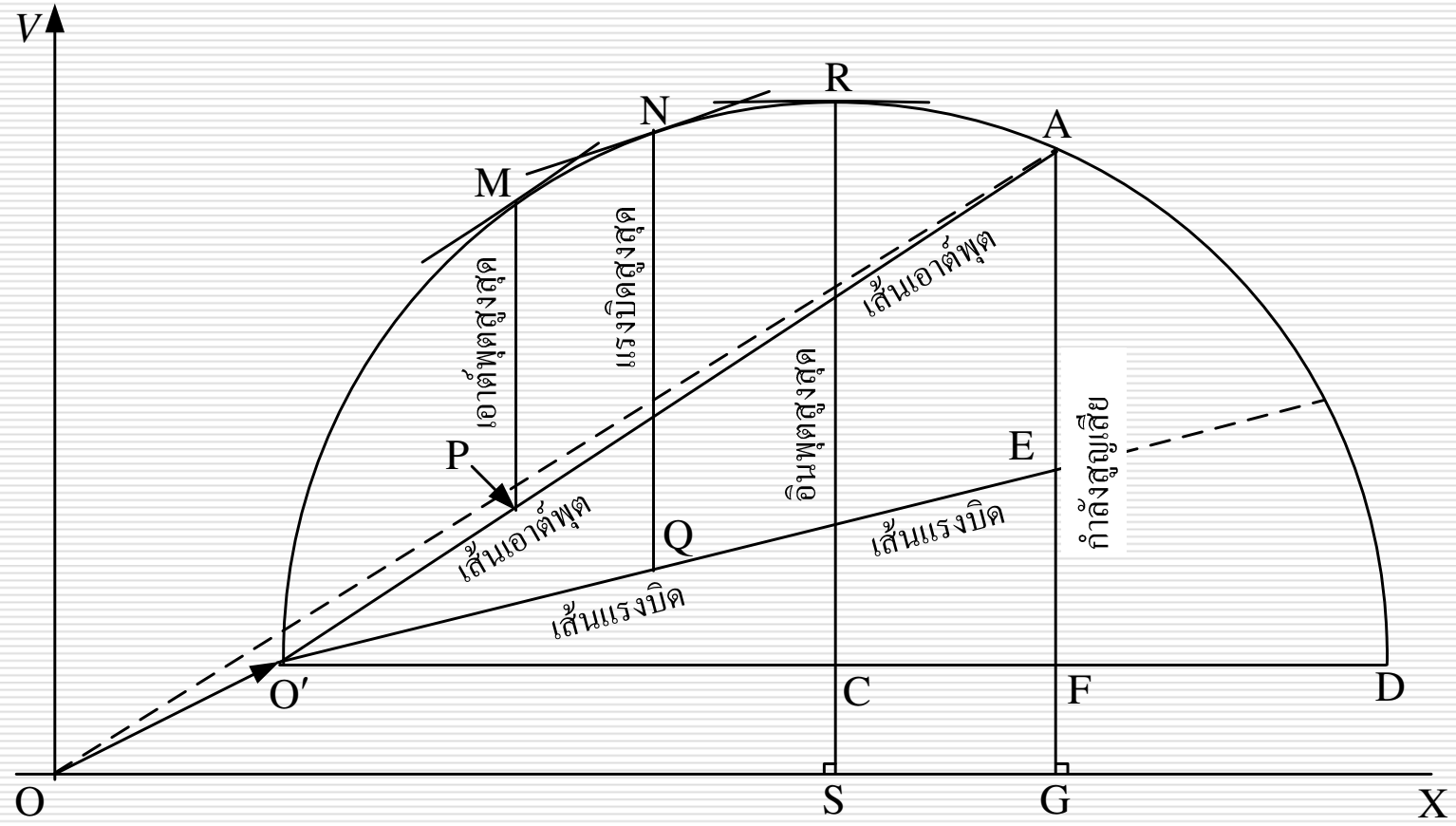
$$R_1 = \frac{R_{AB}}{2} = \frac{V_{dc}}{2I_{dc}}$$

การเขียนเซอร์เคิลไดอะแกรม



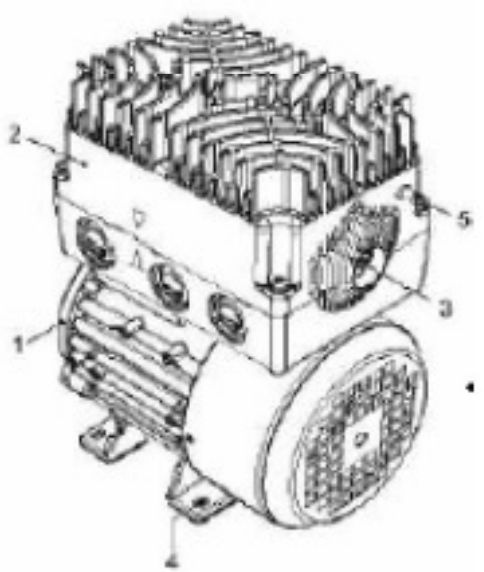
การหาค่าปริมาณสูงสุดจากเซอร์เคิลไดอะแกรม

(Maximum Quantities)



สื่อการนำเสนอผลงาน PowerPoint

เรื่อง การเริ่มเดินมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส



การเริ่มเดินโดยตรงที่ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเต็มพิกัด

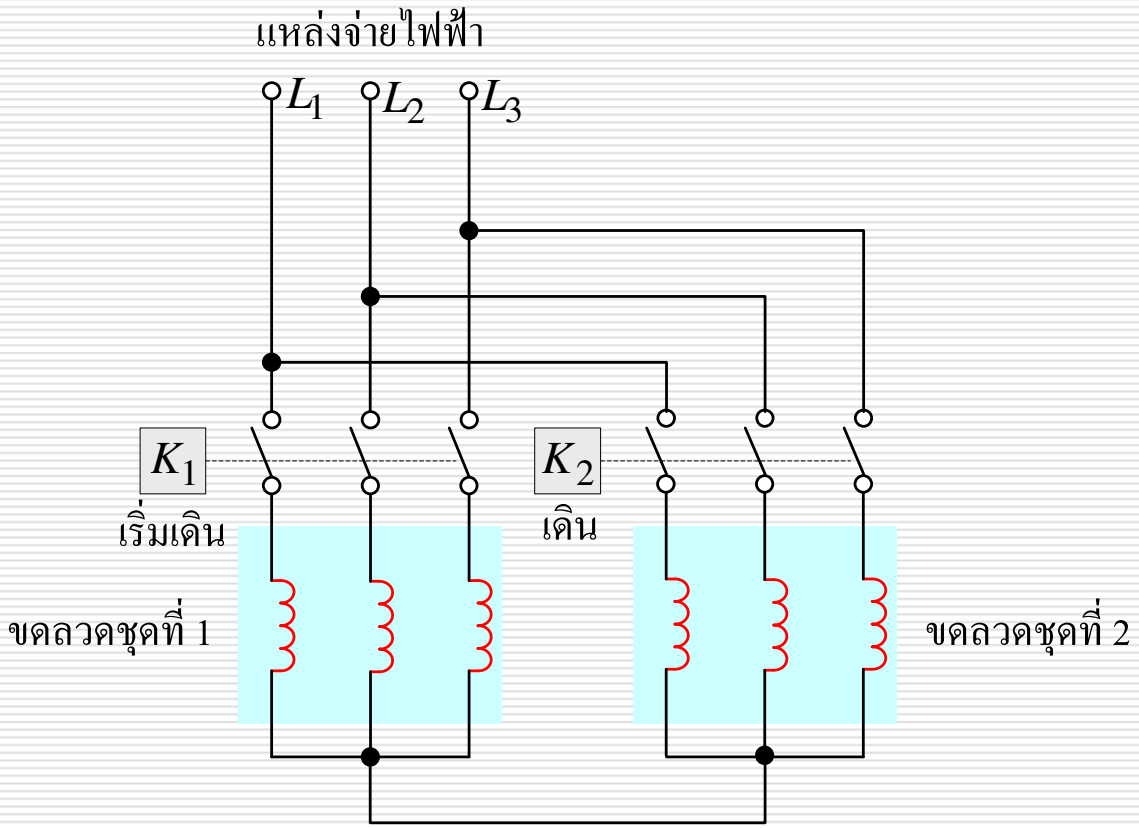
- ใช้กับมอเตอร์ที่มีขนาดเล็กไม่เกิน 5.5 kW เมื่อเป็นโรเตอร์แบบกรงกระรอกธรรมดา
- ใช้กับมอเตอร์ขนาดไม่เกิน 11 kW เมื่อเป็นโรเตอร์แบบกรงกระรอกสองชั้น
- กระแสไฟฟ้าไหล 5 – 7 เท่าของกระแสไฟฟ้าที่โหลดเต็มพิกัด
- แรงบิด 1.5 – 2.5 เท่าของแรงบิดเมื่อโหลดเต็มพิกัด
- ข้อดีของการเริ่มเดินด้วยวิธีนี้ คือ การออกแบบชุดควบคุมมอเตอร์ทำได้ง่าย สามารถเร่งความเร็วรอบให้ได้ตามพิกัดได้เร็วกว่า และสามารถขับโหลดหนักๆ ขณะเริ่มเดินได้

การเริ่มเดินด้วยวิธีลดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่สเตเตอร์

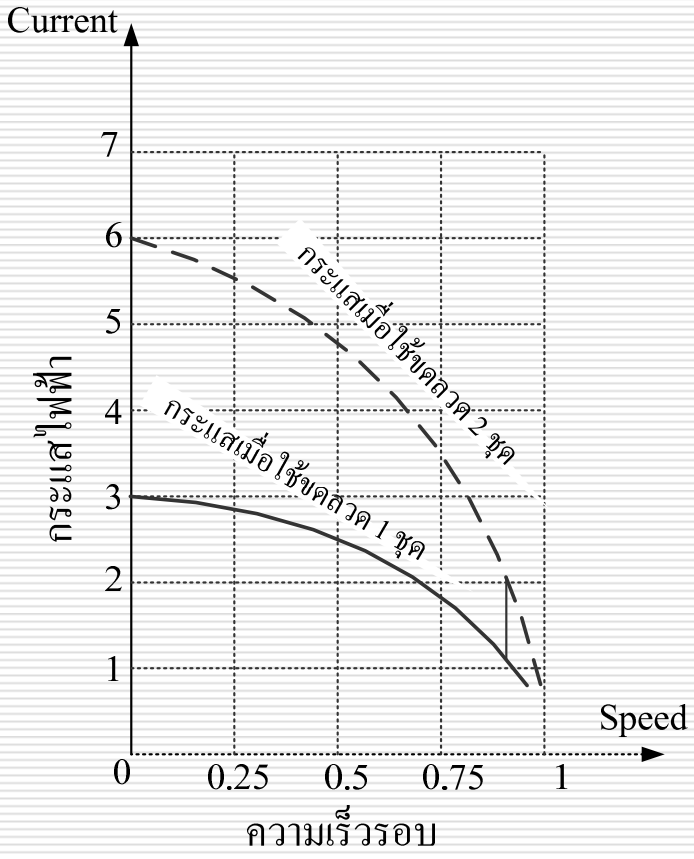
การเริ่มเดินด้วยวิธีนี้มี 4 วิธี คือ

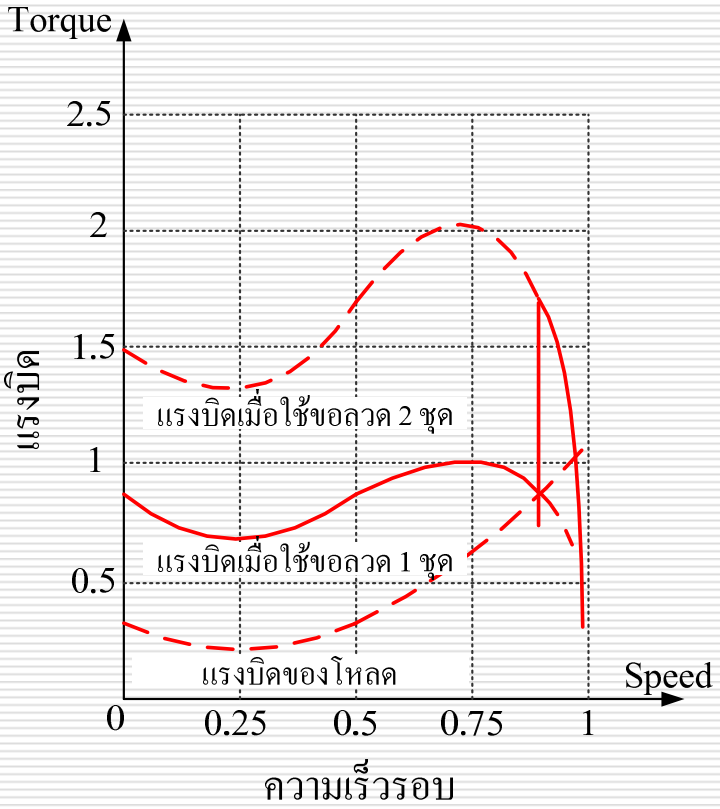
1. การเริ่มเดินโดยต่อกับบางส่วนของขดลวด
2. การเริ่มเดินโดยใช้ความต้านทานต่ออนุกรมกับมอเตอร์
3. การเริ่มเดินโดยใช้หม้อแปลงแบบออโต
4. การเริ่มเดินแบบสตาร์ – เดลตา

การเริ่มเดินโดยต่อกับบางส่วนของขดลวด

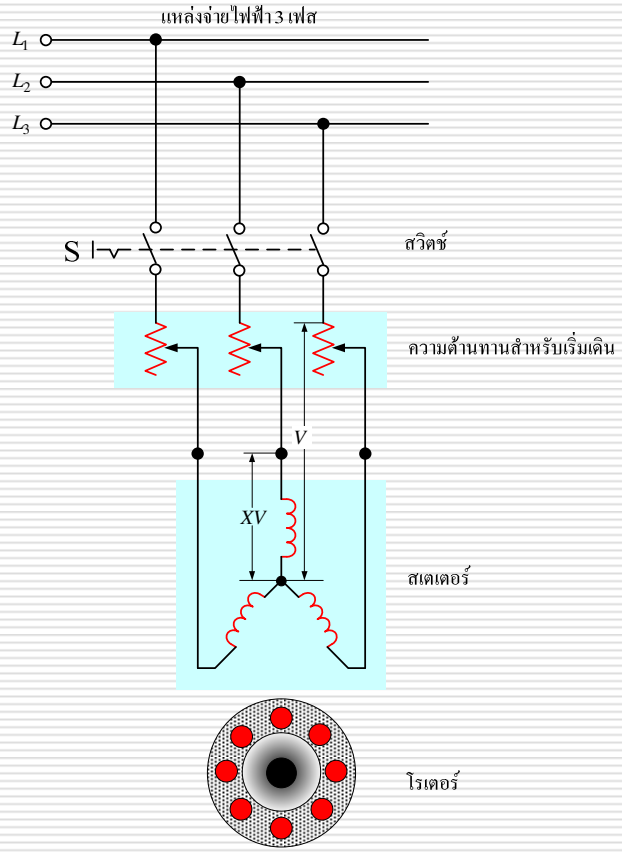


กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความเร็วรอบ และแรงบิดกับความเร็วรอบ

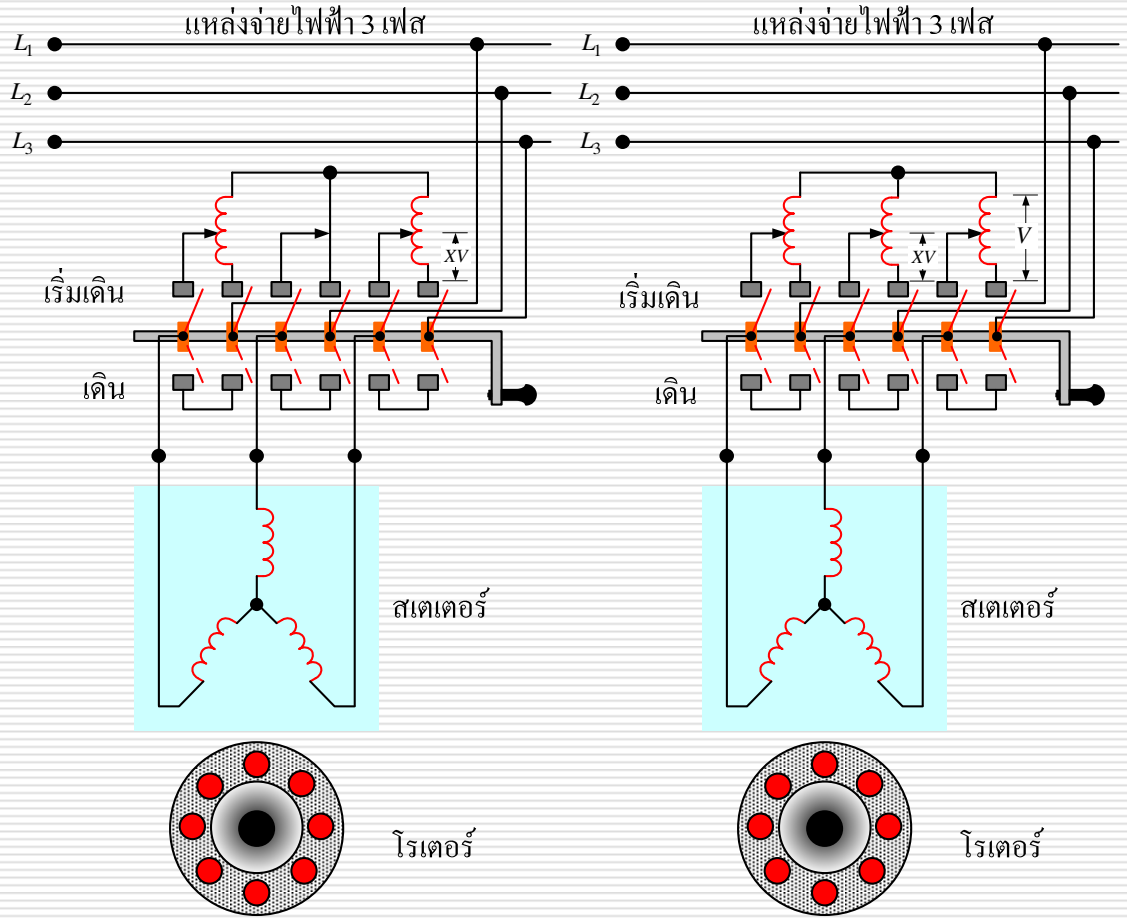




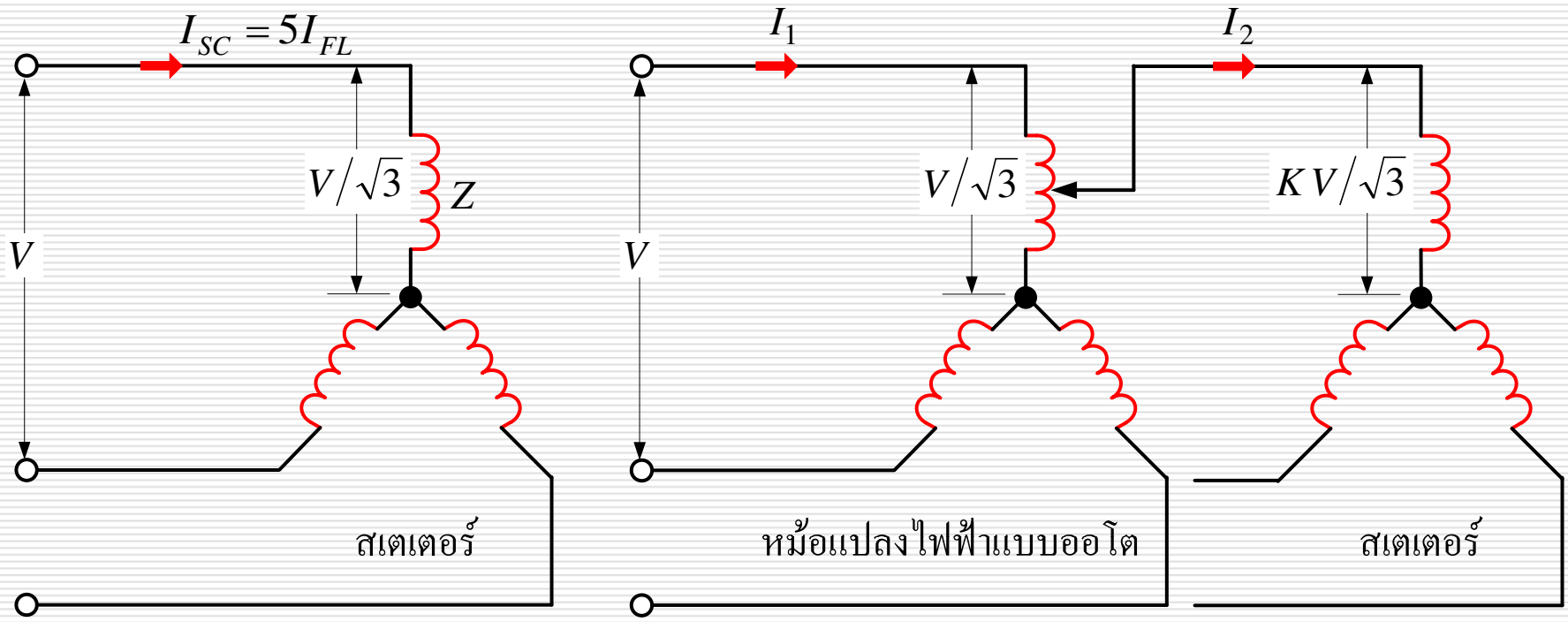
การเริ่มเดินโดยใช้ความต้านทานต่ออนุกรมกับมอเตอร์



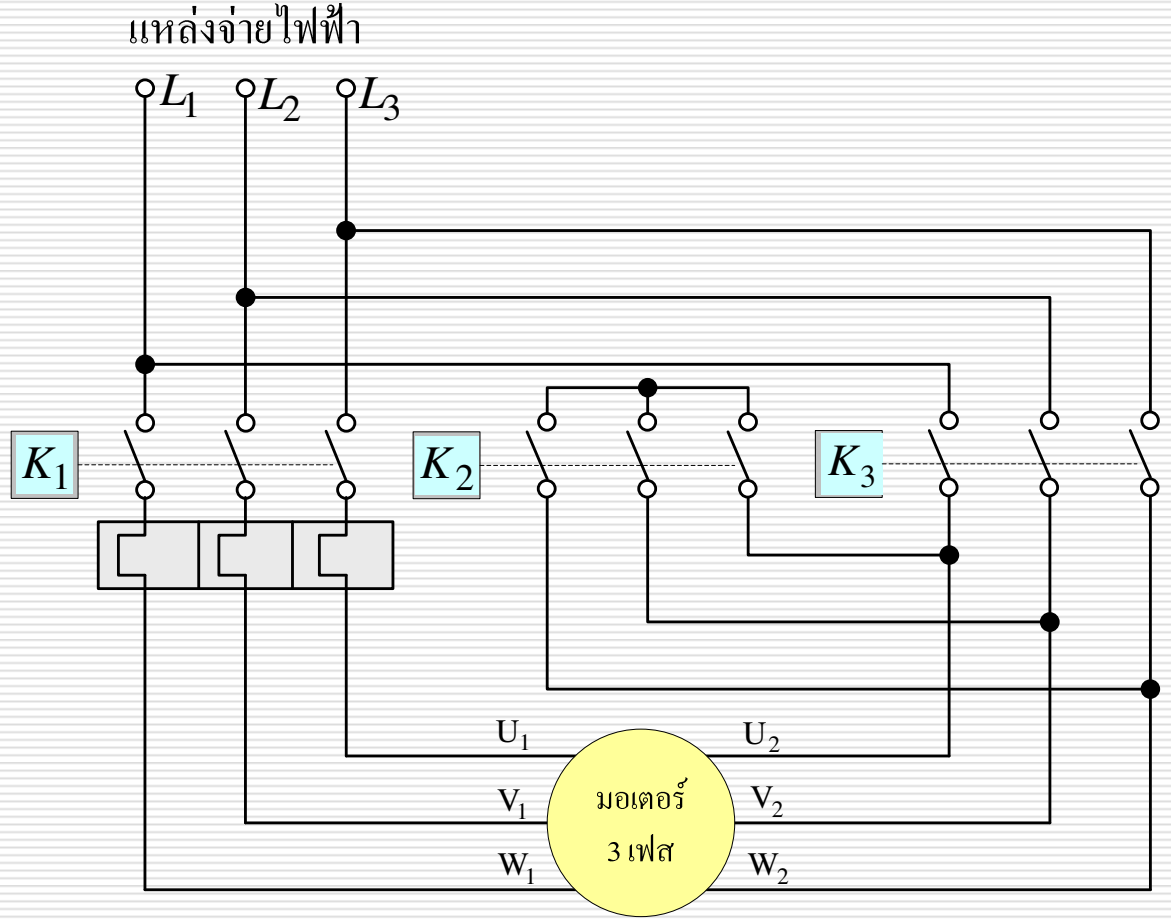
การเริ่มเดินโดยใช้หม้อแปลงแบบออโต



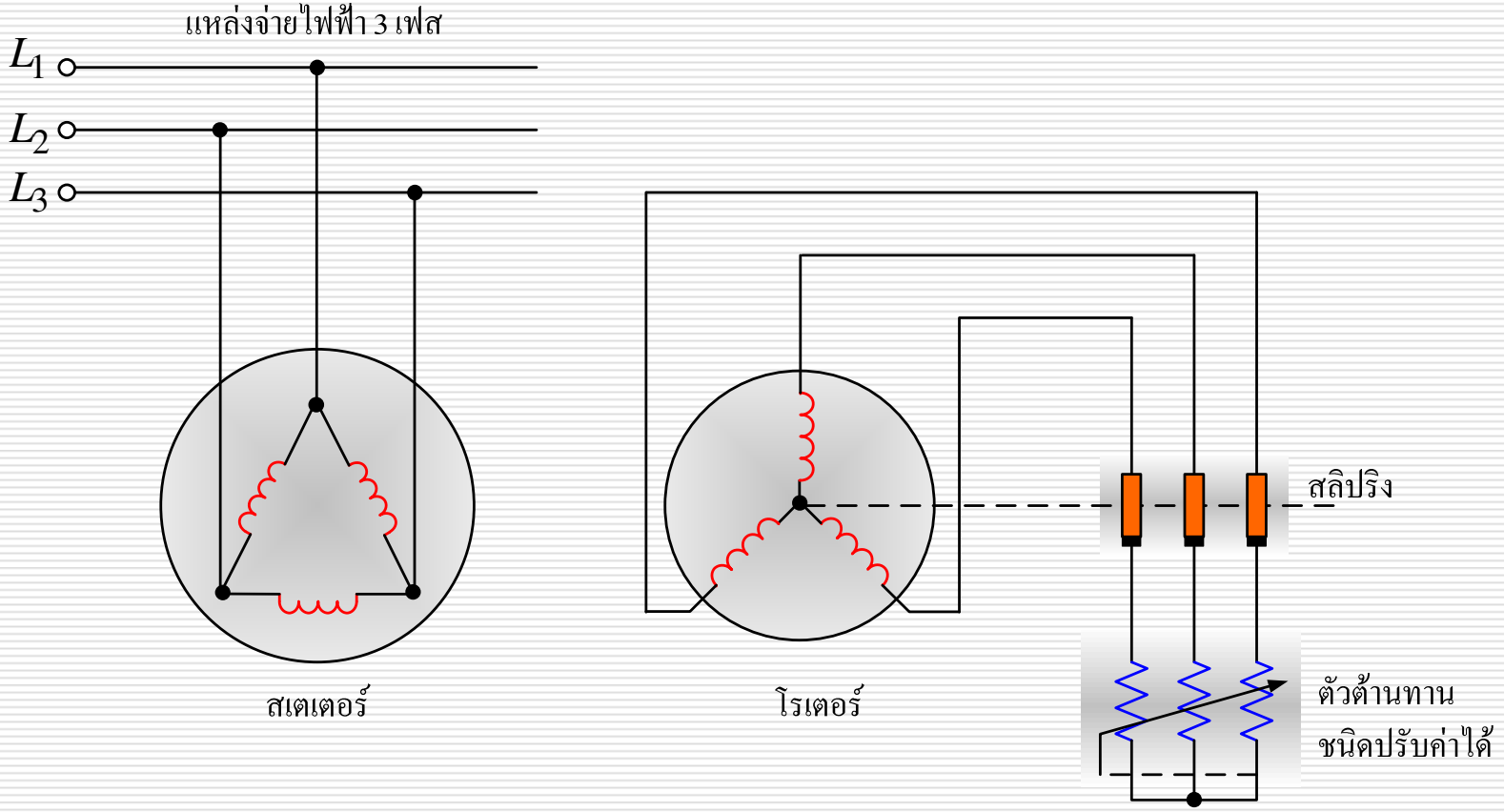
เปรียบเทียบการเริ่มเดินมอเตอร์โดยต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยตรง กับการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต



การเริ่มเดินแบบสตาร์ – เดลตา

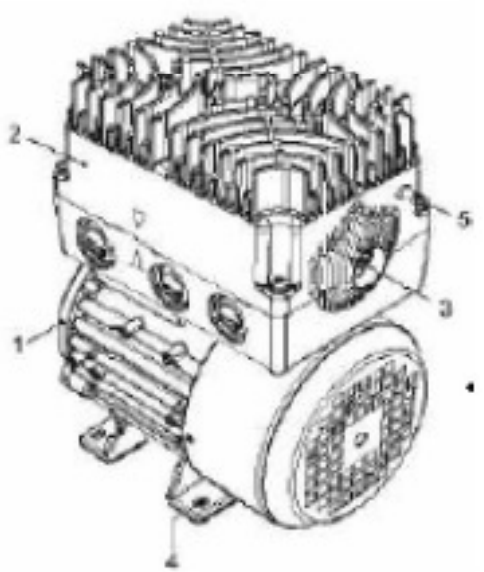


การเริ่มเดินมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส
โรเตอร์แบบพันขดลวด



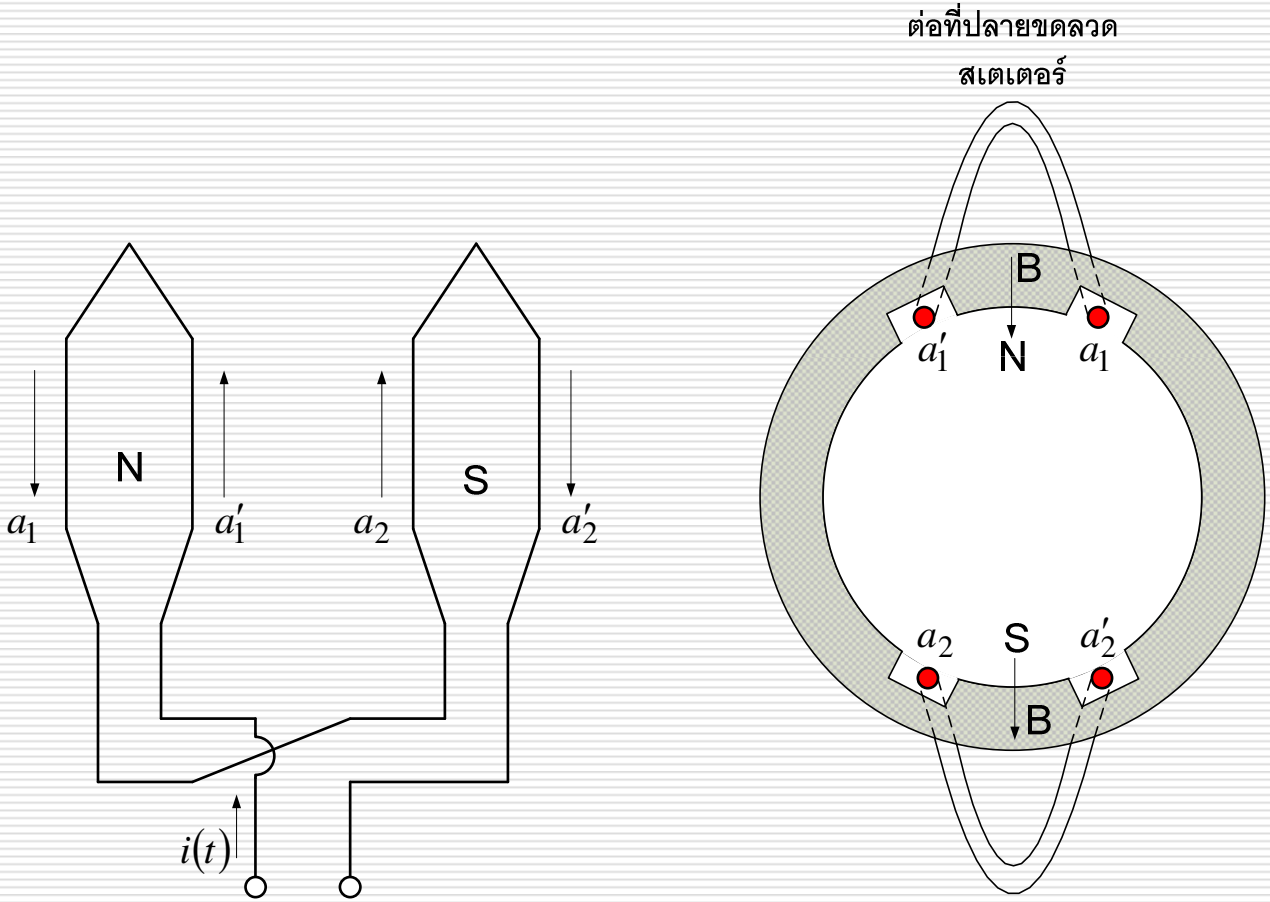
สื่อการนำเสนอผลงาน PowerPoint

เรื่อง การควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โรเตอร์แบบกรงกระรอก



การควบคุมความเร็วโดยการเปลี่ยนแปลงจำนวนขั้วแม่เหล็กที่สเตเตอร์

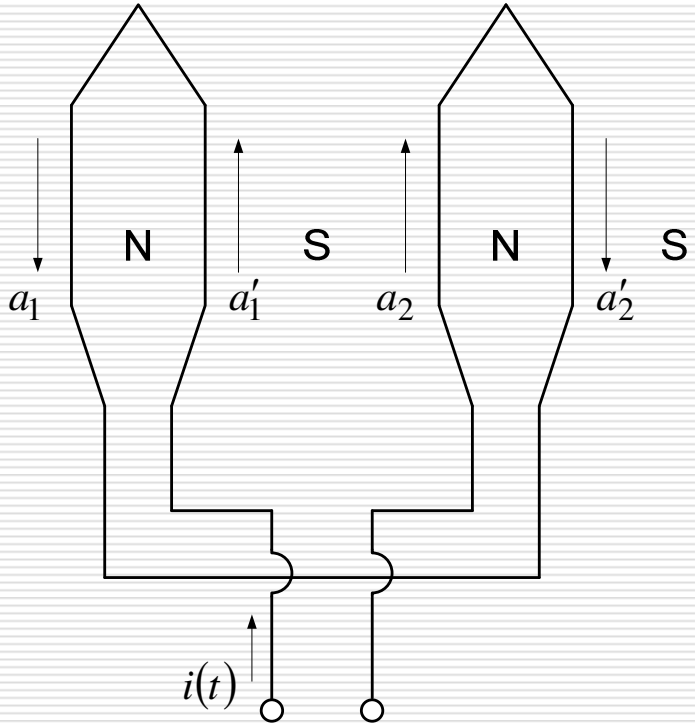
การใช้ขดลวดสเตเตอร์ชุดเดียว โดยอาศัยหลักการของคอนซีเควนโปล

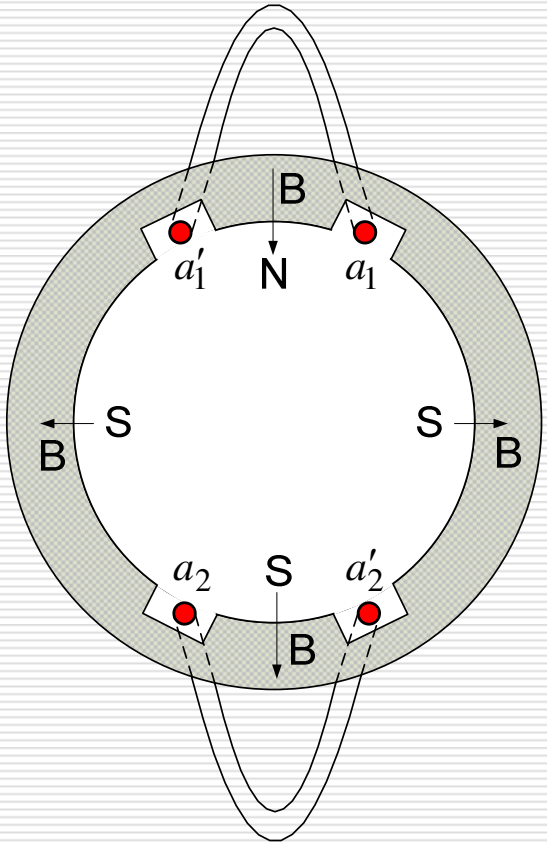


ต่อปลายขดลวดสเตเตอร์เป็น 2 ขั้วแม่เหล็กต่อเฟส

การควบคุมความเร็วโดยการเปลี่ยนแปลงจำนวนขั้วแม่เหล็กที่สเตเตอร์

การใช้ขดลวดสเตเตอร์ชุดเดียว โดยอาศัยหลักการของคอนซีเควนโปล

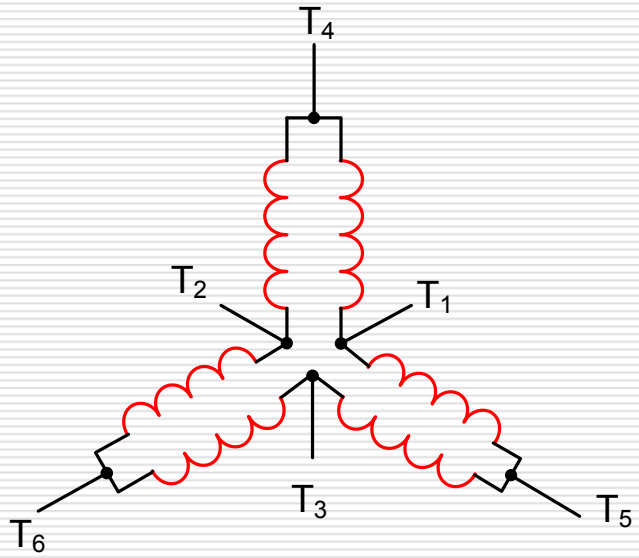




ต่อปลายขดลวดสเตเตอร์เป็น 4 ขั้วแม่เหล็กต่อเฟส

การต่อขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ 2 ความเร็ว

การใช้ขดลวดสเตเตอร์ชุดเดียว โดยอาศัยหลักการของคอนซีเควนโปล

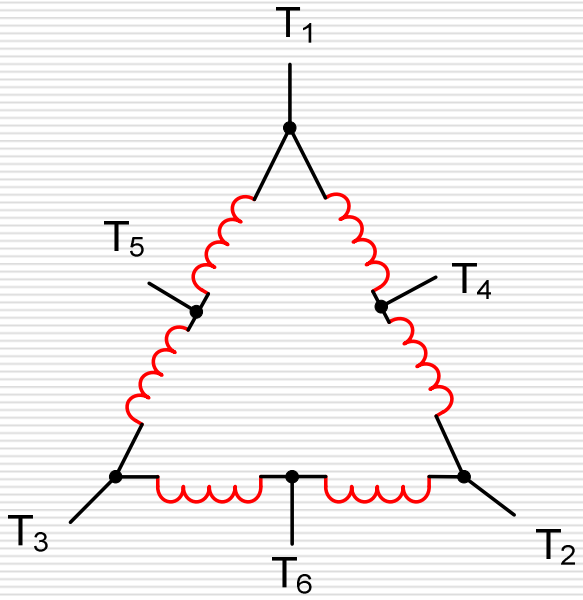


ความเร็วรอบ	สายอินพุต 3 เฟส			
	L_1	L_2	L_3	
ต่ำ	T_1	T_2	T_3	T_4, T_5, T_6 เปิดวงจร
สูง	T_4	T_5	T_6	T_1, T_2, T_3 ต่อเข้าด้วยกัน

การต่อแบบแรงบิดคงที่

การต่อขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ 2 ความเร็ว

การใช้ขดลวดสเตเตอร์ชุดเดียว โดยอาศัยหลักการของคอนซีเควนโปล

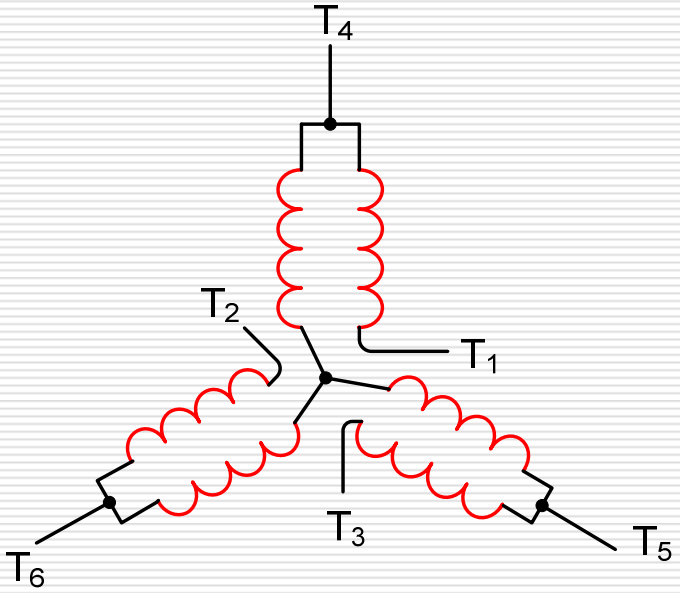


ความเร็วรอบ	สายอินพุต 3 เฟส			
	L_1	L_2	L_3	
ต่ำ	T_4	T_5	T_6	T_1, T_2, T_3 ต่อเข้าด้วยกัน T_4, T_5, T_6
สูง	T_1	T_2	T_3	เปิดวงจร

การต่อแบบกำลังเอาต์พุตคงที่

การต่อขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ 2 ความเร็ว

การใช้ขดลวดสเตเตอร์ชุดเดียว โดยอาศัยหลักการของคอนซีเควนโปล



ความเร็วรอบ	สายอินพุต 3 เฟส			
	L_1	L_2	L_3	
ต่ำ	T_1	T_2	T_3	T_4, T_5, T_6 เปิดวงจร
สูง	T_4	T_5	T_6	T_1, T_2, T_3 ต่อเข้าด้วยกัน

การต่อแบบแรงบิดแปรค่า

การควบคุมความเร็วโดยการเปลี่ยนแปลงจำนวนขั้วแม่เหล็กที่สเตเตอร์ โดยใช้ขดลวดสเตเตอร์หลายชุด

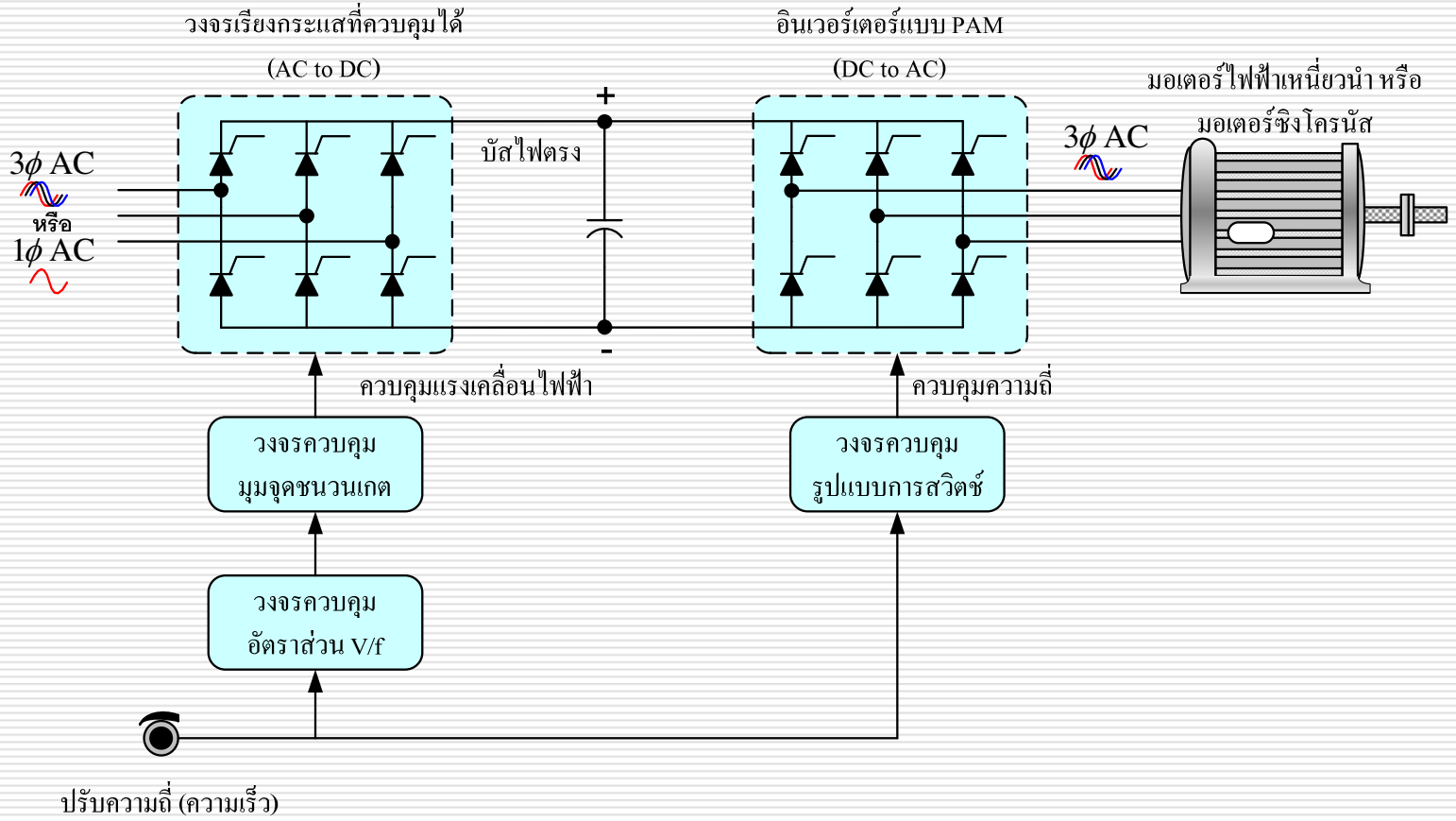
- เป็นการใช้ขดลวดสเตเตอร์ 2 ชุดแยกจากกัน
- แต่ละชุดมีขั้วแม่เหล็กไม่เท่ากัน
- เพื่อผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของความเร็วที่แตกต่างจากมอเตอร์แบบดาลานเดอร์
- มอเตอร์ชนิดนี้มีราคาแพงมาก และปรับความเร็วได้เป็นขั้นๆ ไม่ต่อเนื่อง จึงไม่เป็นที่นิยมใช้

การควบคุมความเร็วโดยการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่จ่ายเข้ามอเตอร์

แบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

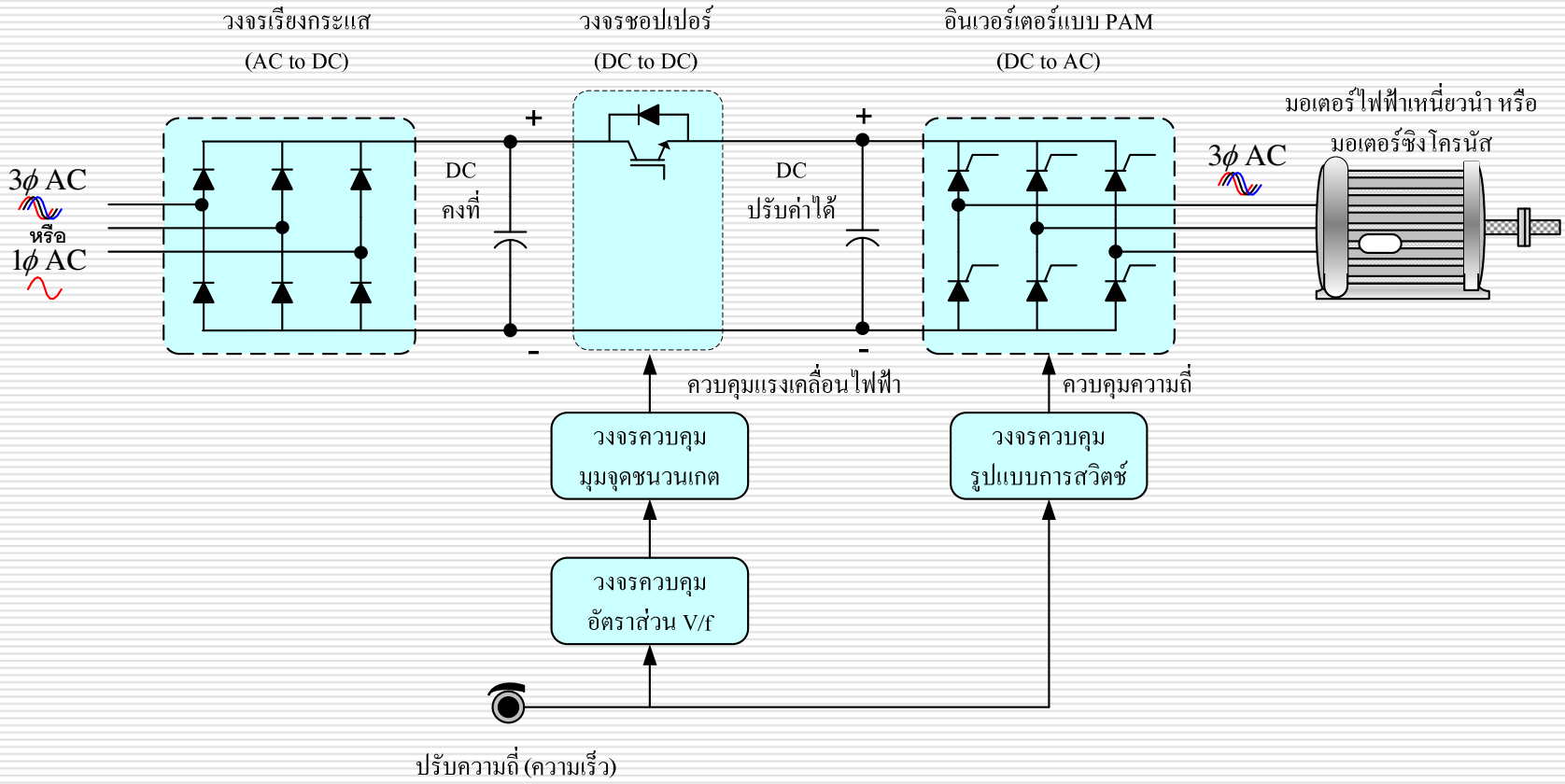
1. อินเวอร์เตอร์แบบ PAM (Pulse Amplitude Modulation)
2. อินเวอร์เตอร์แบบ PWM (Pulse Width Modulation)
3. อินเวอร์เตอร์แบบ CSI (Current Source Inverter)

อินเวอร์เตอร์แบบ PAM



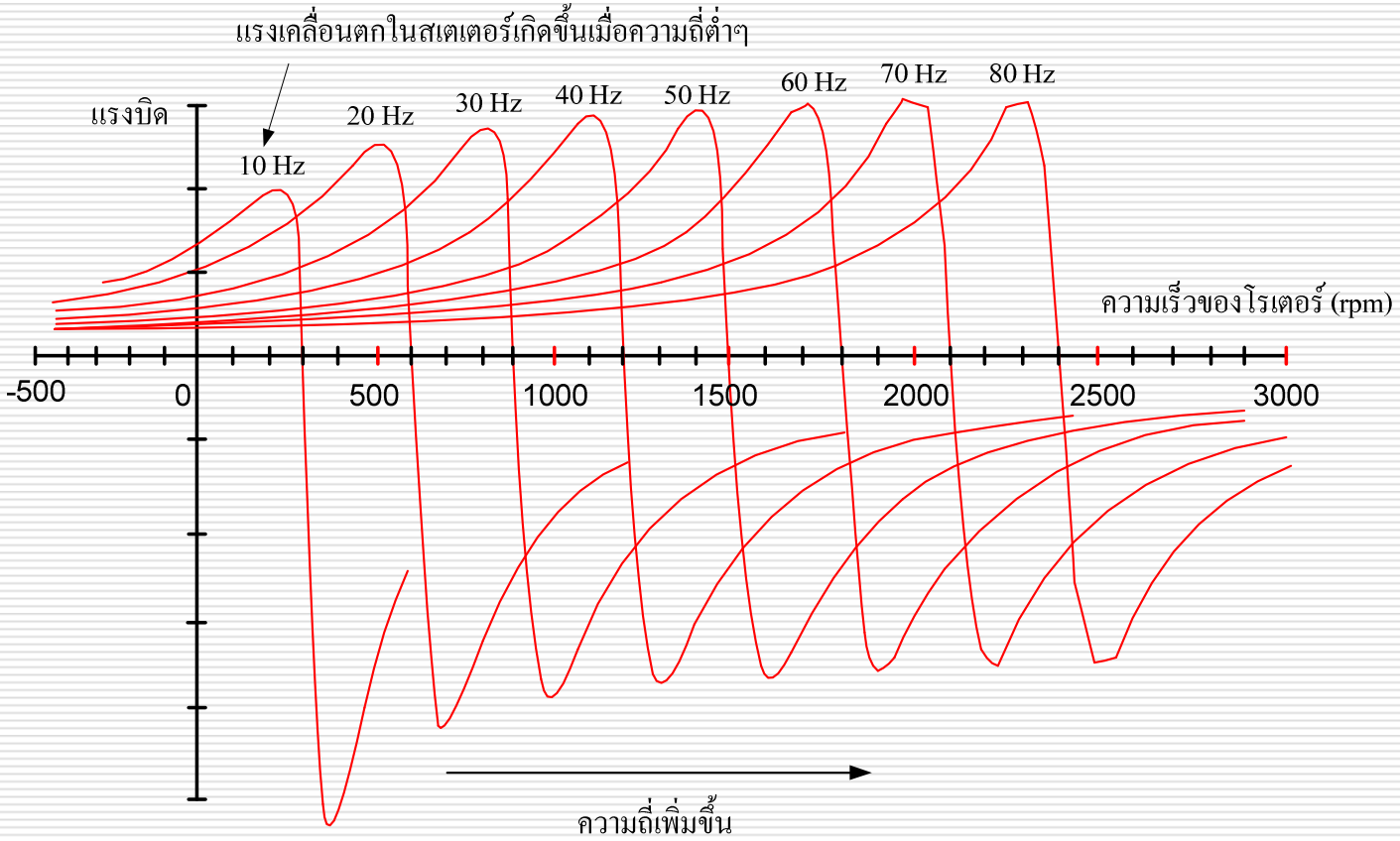
การเชื่อมโยงด้วยแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับค่าได้ ด้วยวงจรเรียงกระแสที่ควบคุมได้

อินเวอร์เตอร์แบบ PAM

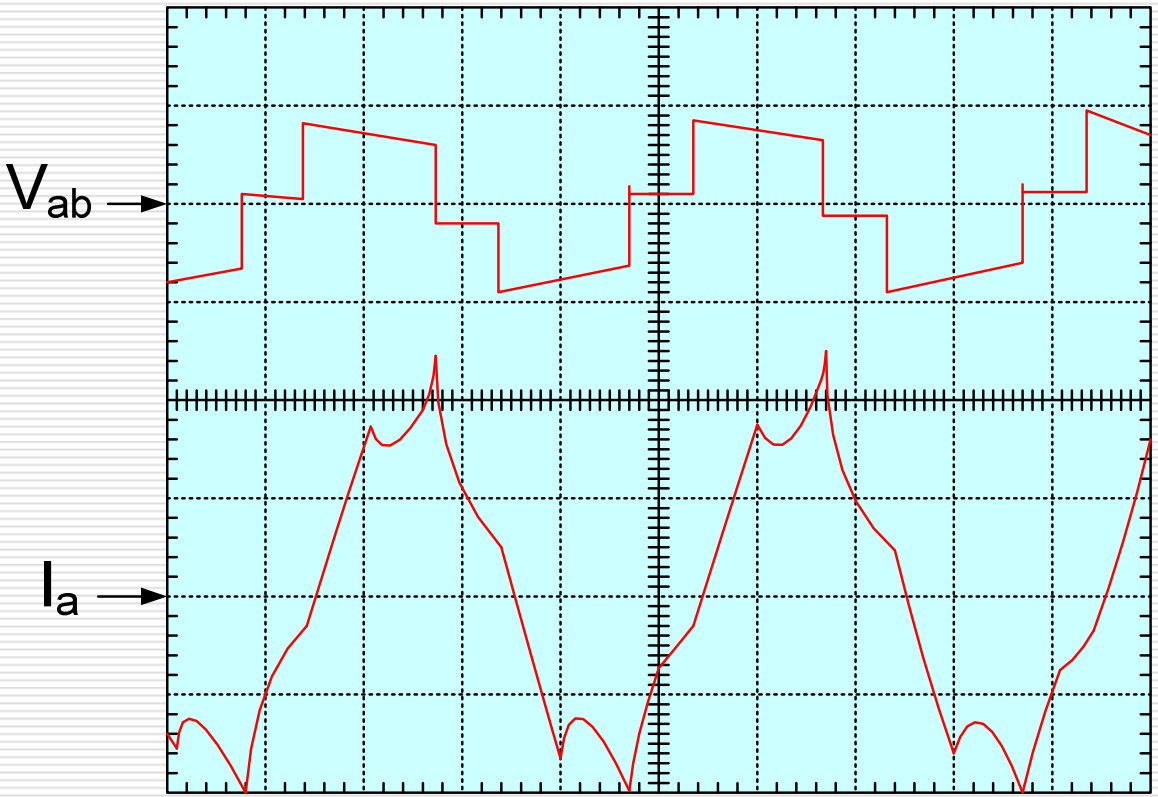


การเชื่อมโยงด้วยแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับค่าได้ มีวงจรเรียงกระแสและวงจรชอปเปอร์

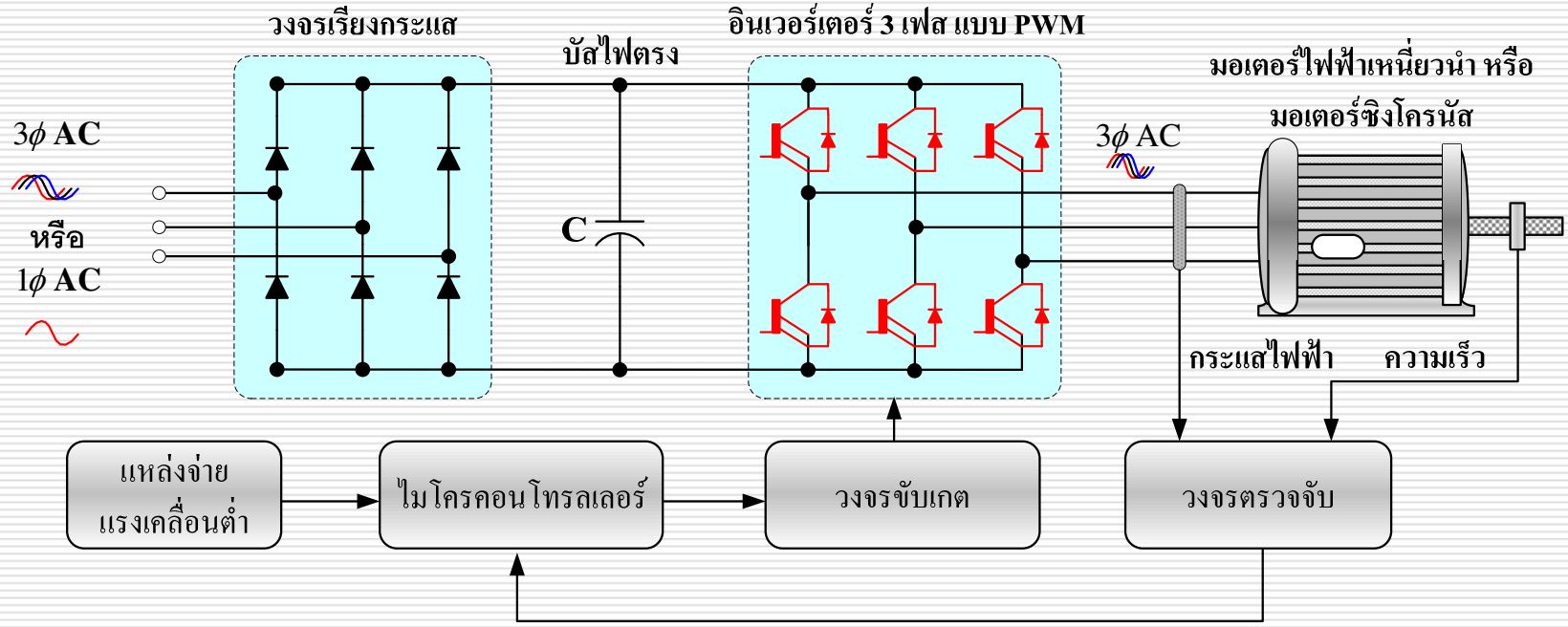
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วของโรเตอร์ เมื่อควบคุมความเร็วโดยใช้อินเวอร์เตอร์แบบ PAM ที่ความถี่ต่างๆ กัน



แรงเคลื่อนไฟฟ้าเอาต์พุตและกระแสของอินเวอร์เตอร์แบบ PAM



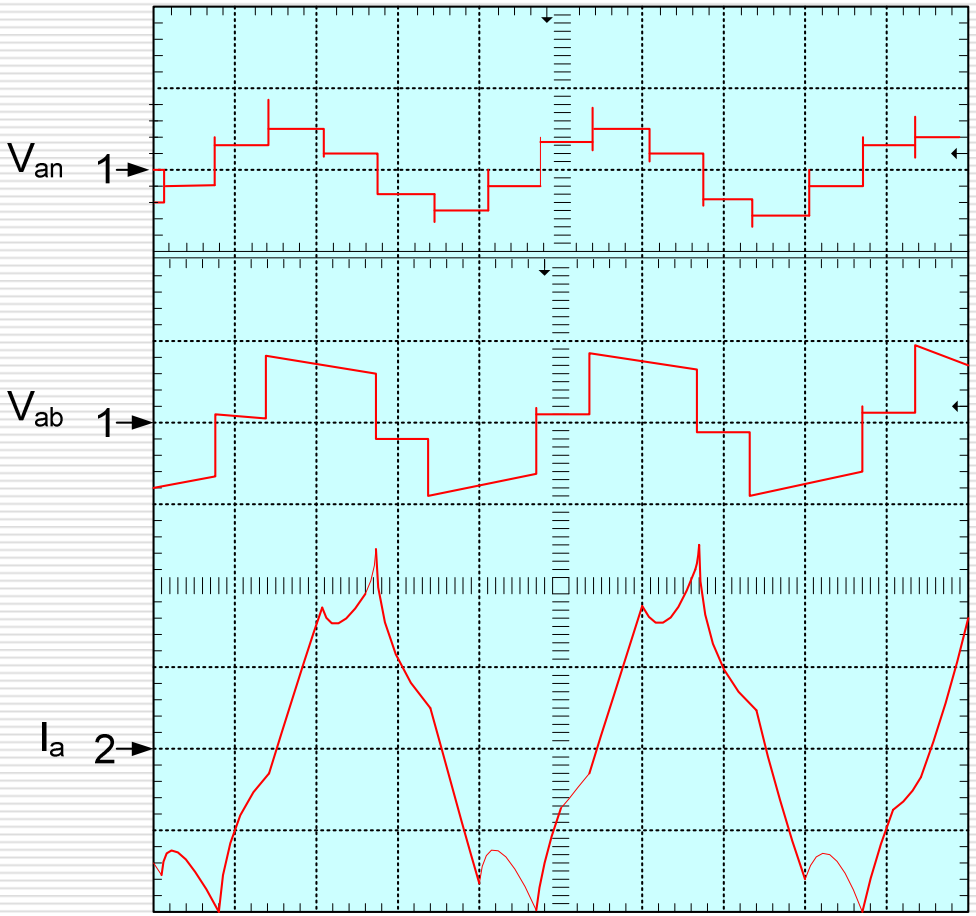
อินเวอร์เตอร์แบบ PWM



ควบคุมการมอดูเลตความกว้างพัลส์ ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ขับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

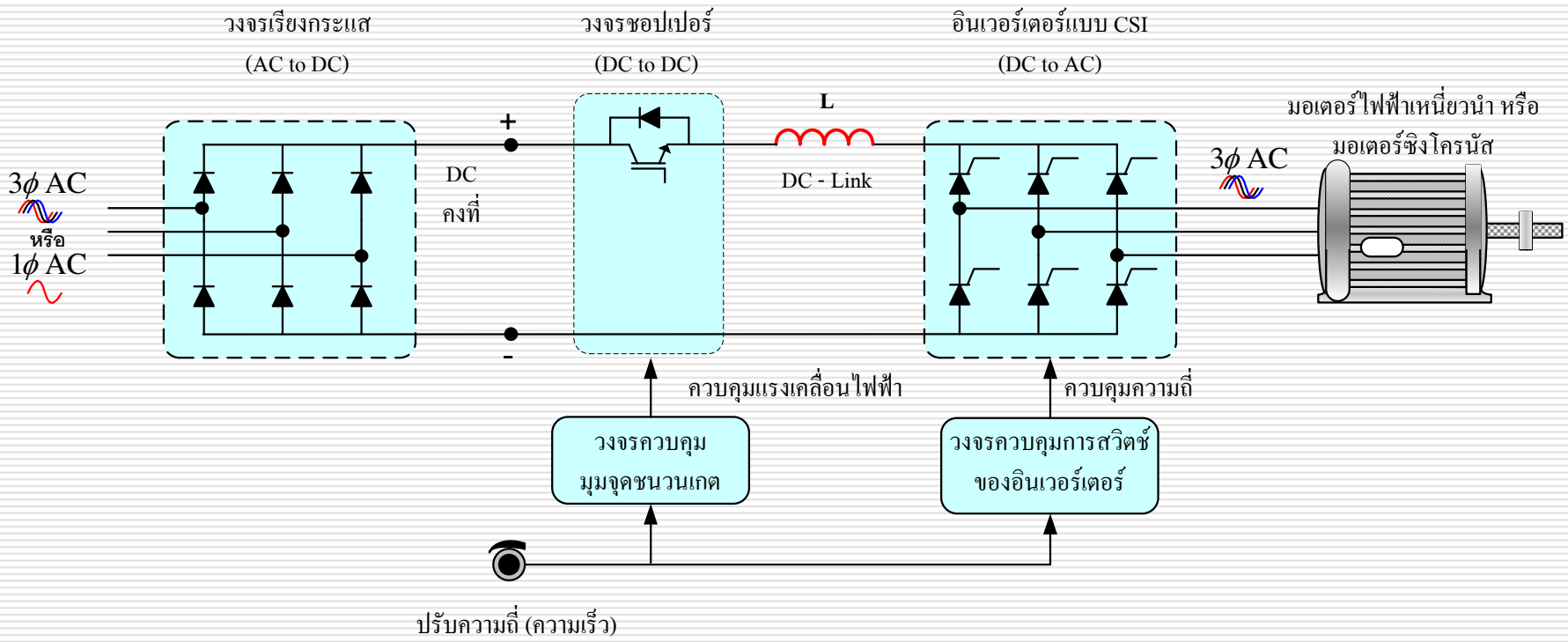
อินเวอร์เตอร์แบบ PWM

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเอาต์พุตและกระแสของอินเวอร์เตอร์



อินเวอร์เตอร์แบบ PWM ที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรม

อินเวอร์เตอร์แบบ CSI

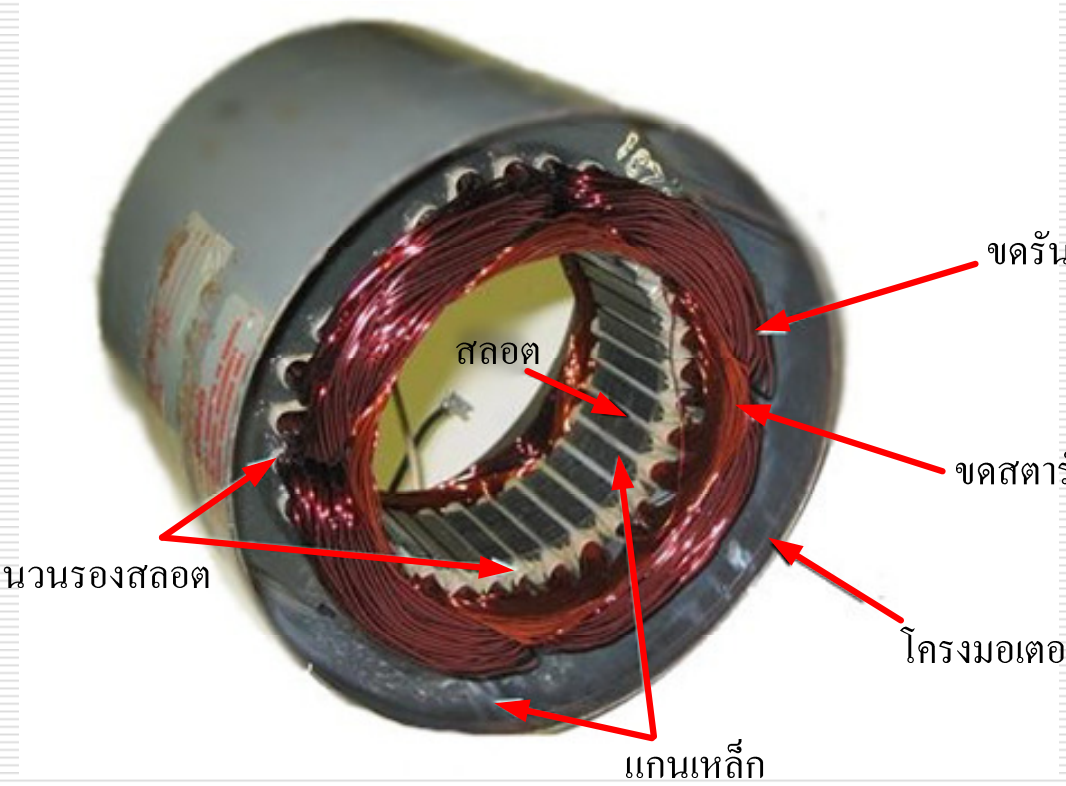


ใช้วงจรเรียงกระแสและวงจรชอปเปอร์ ควบคุมกระแสไฟฟ้าตรงและควบคุมความถี่ที่อินเวอร์เตอร์

สื่อการนำเสนอผลงาน PowerPoint

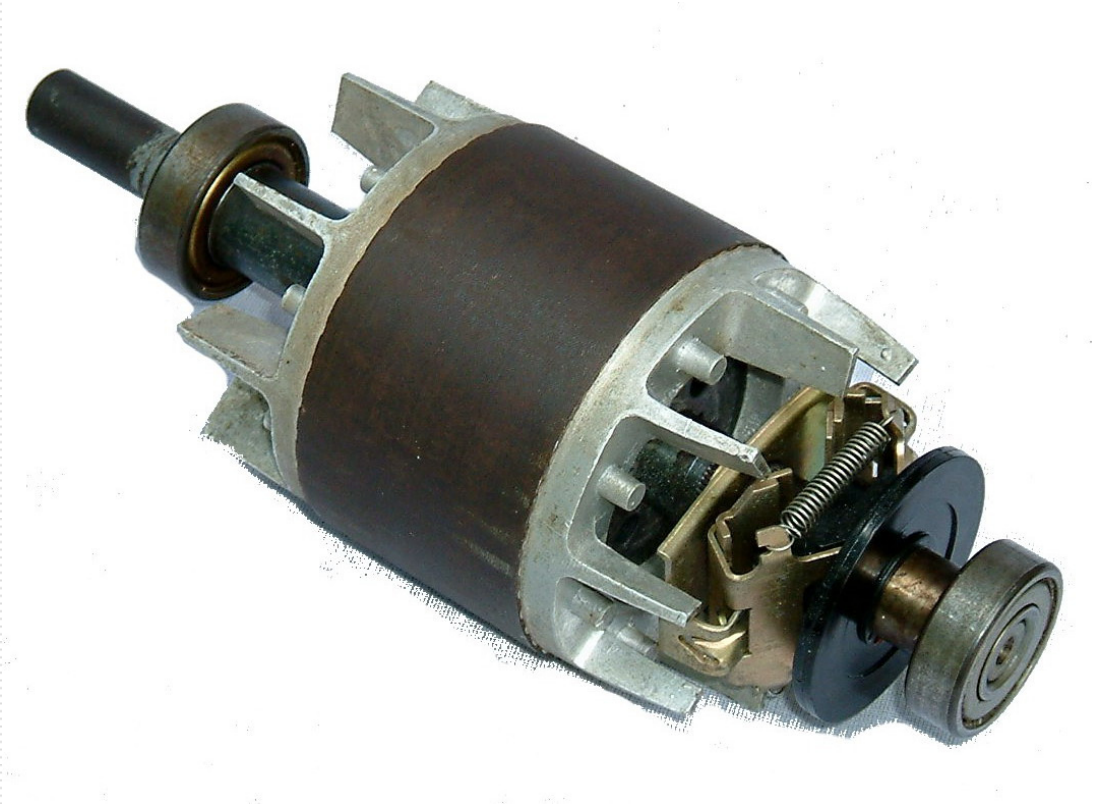
เรื่อง สปลิตเฟสมอเตอร์ (Split Phase Motor)

ส่วนประกอบของสปลิตเฟสมอเตอร์



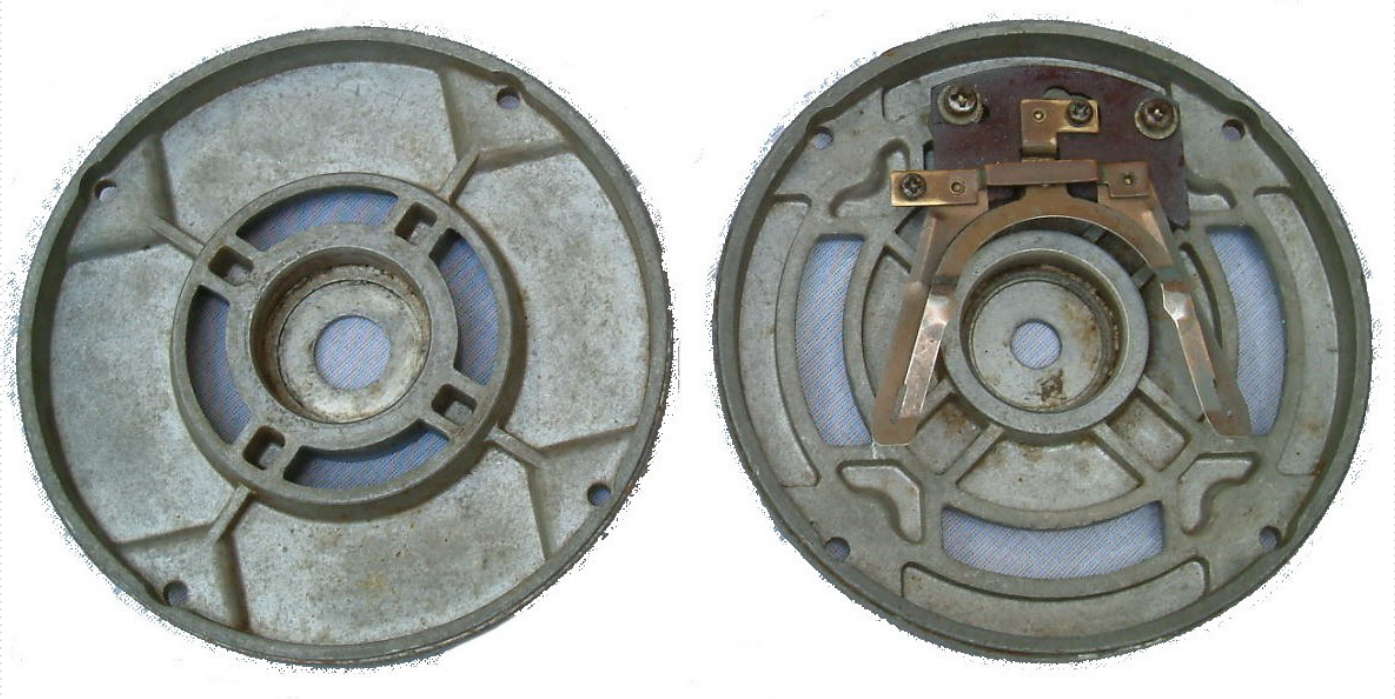
สเตเตอร์ของสปลิตเฟสมอเตอร์

ส่วนประกอบของสปลิตเฟสมอเตอร์



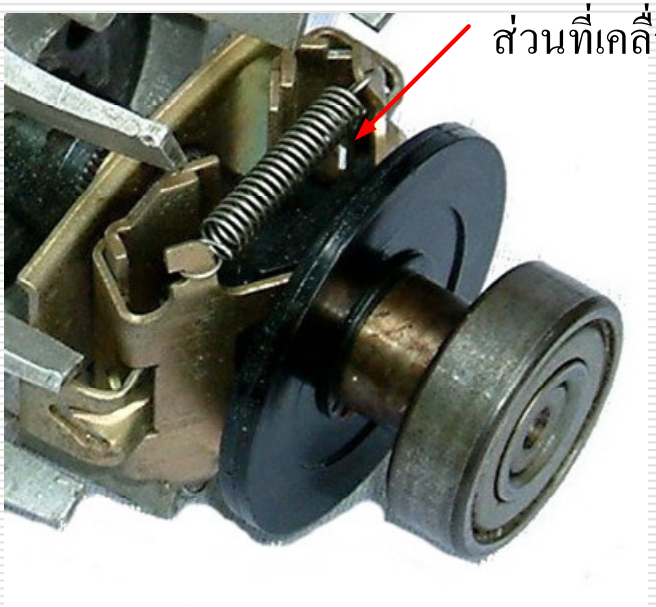
โรเตอร์กรงกระรอก

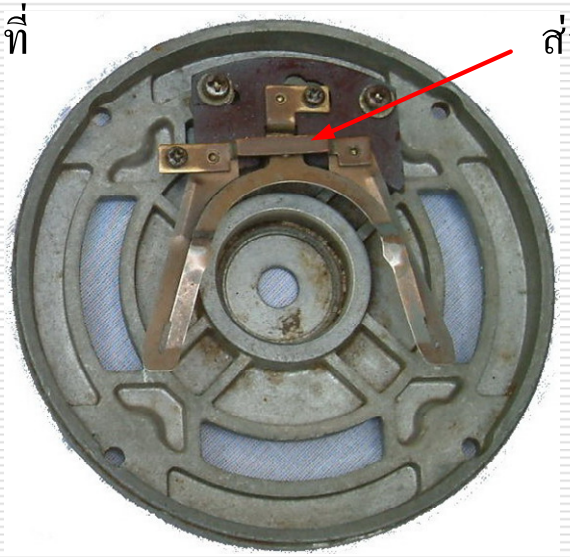
ส่วนประกอบของสปลิตเฟสมอเตอร์



ฝาปิดหัวท้าย

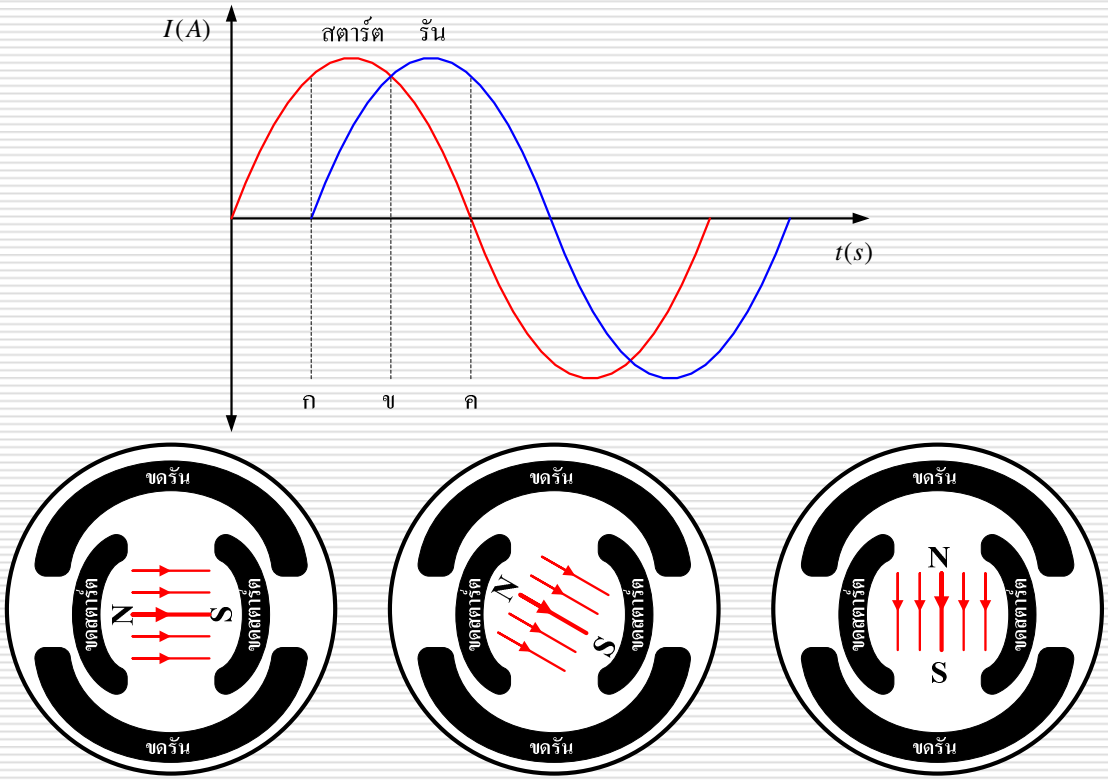
ส่วนประกอบของสปลิตเฟสมอเตอร์





สวิตช์แรงเหวี่ยง

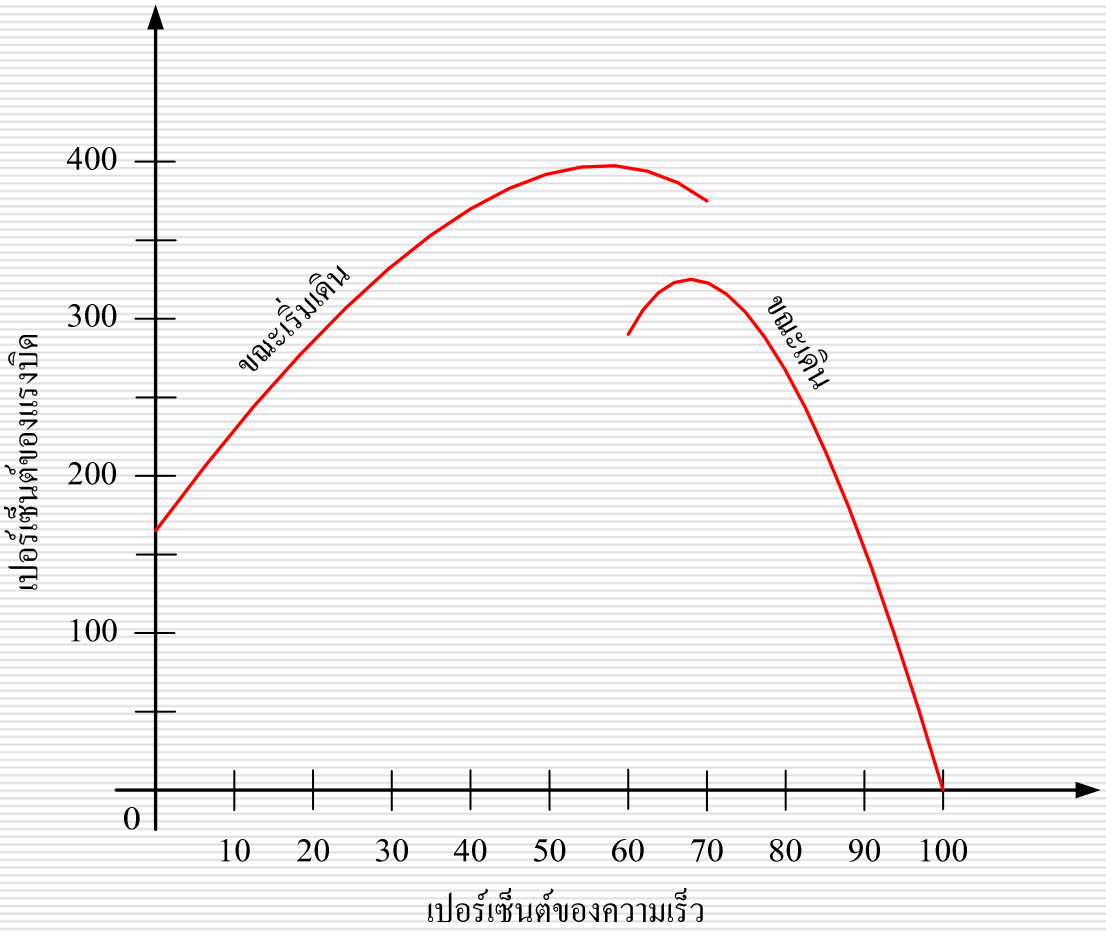
หลักการทำงานของสปลิตเฟสมอเตอร์



ก. ข. ค.

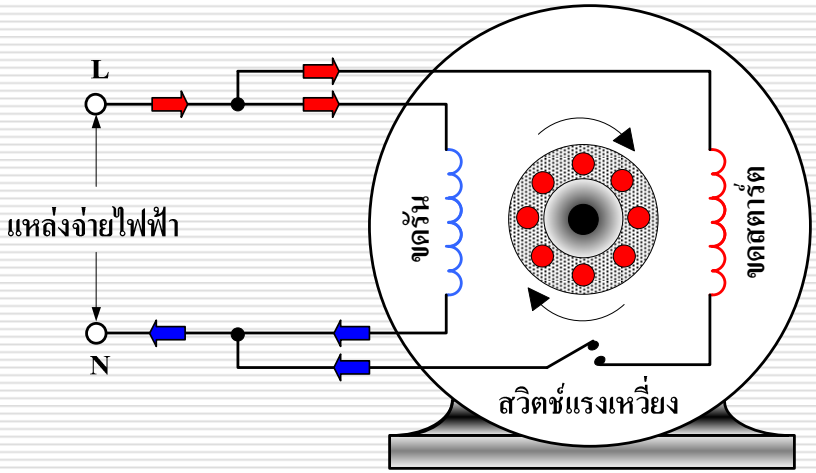
การเกิดสนามแม่เหล็กหมุนเนื่องจากขดสตาร์ตและขดรันของสปลิตเฟสมอเตอร์

คุณลักษณะและการนำไปใช้งาน

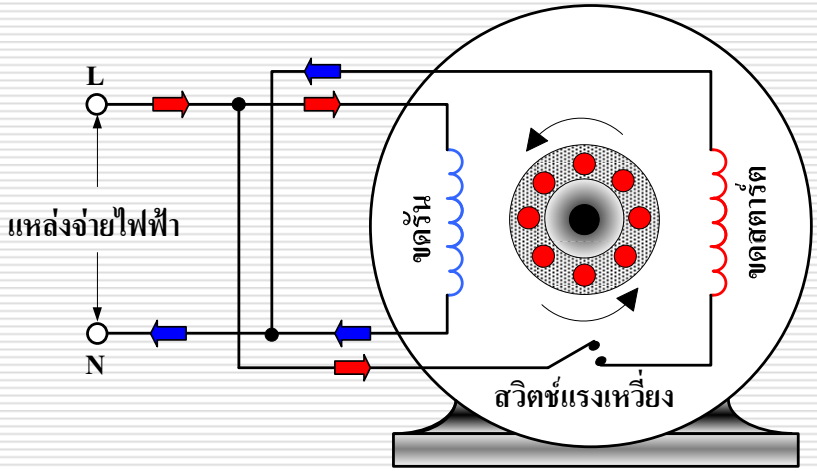


คุณลักษณะแรงบิดและความเร็วรอบ

การกลับทางหมุนสปลิตเฟสมอเตอร์



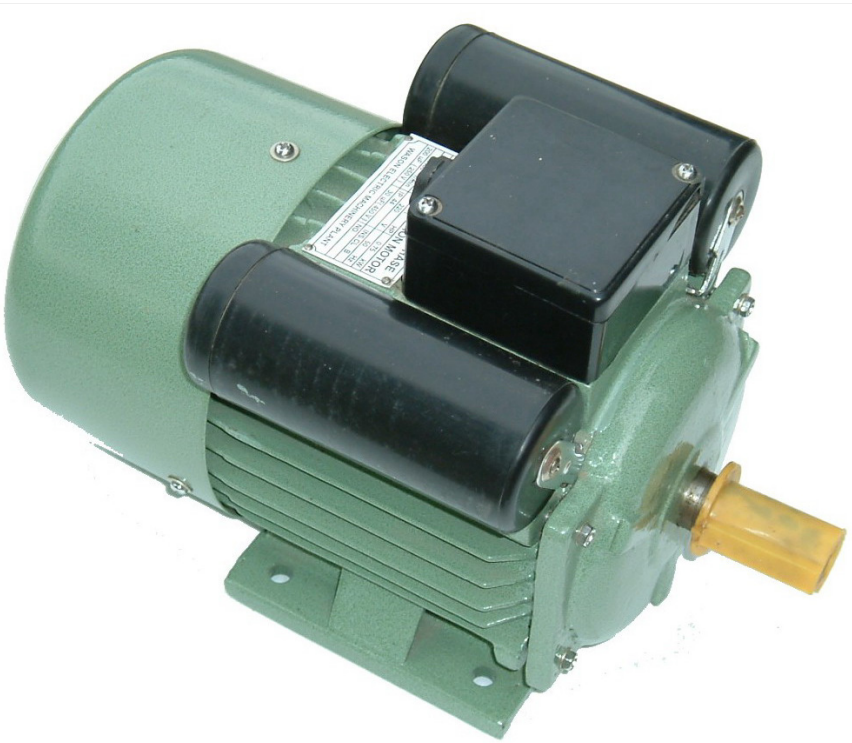
ทิศทางตามเข็มนาฬิกา

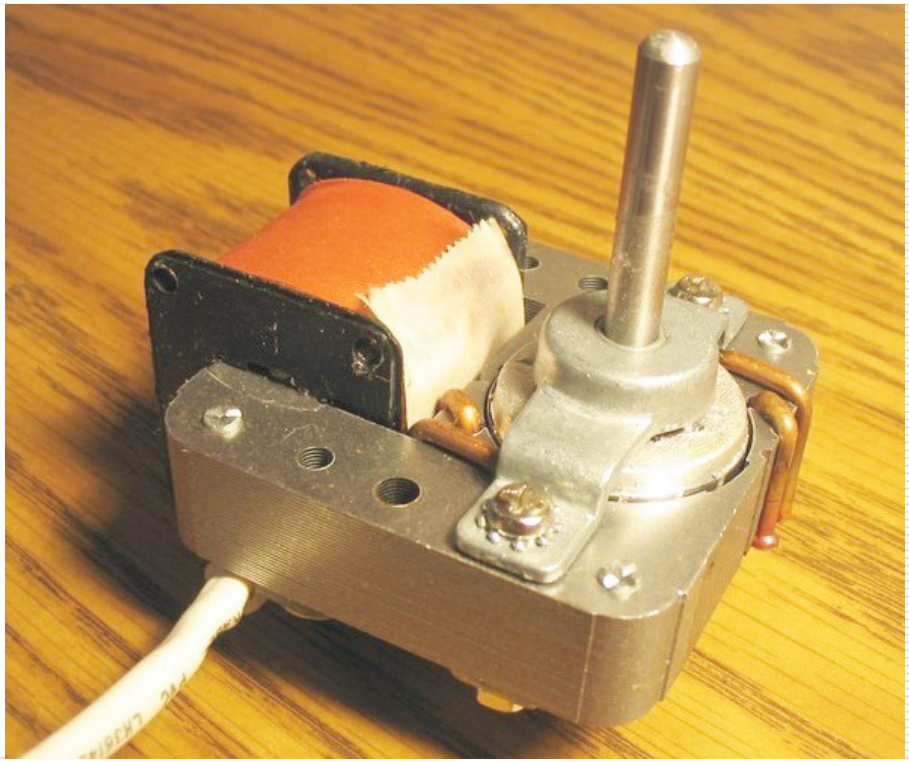


ทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

สื่อการนำเสนอผลงาน PowerPoint

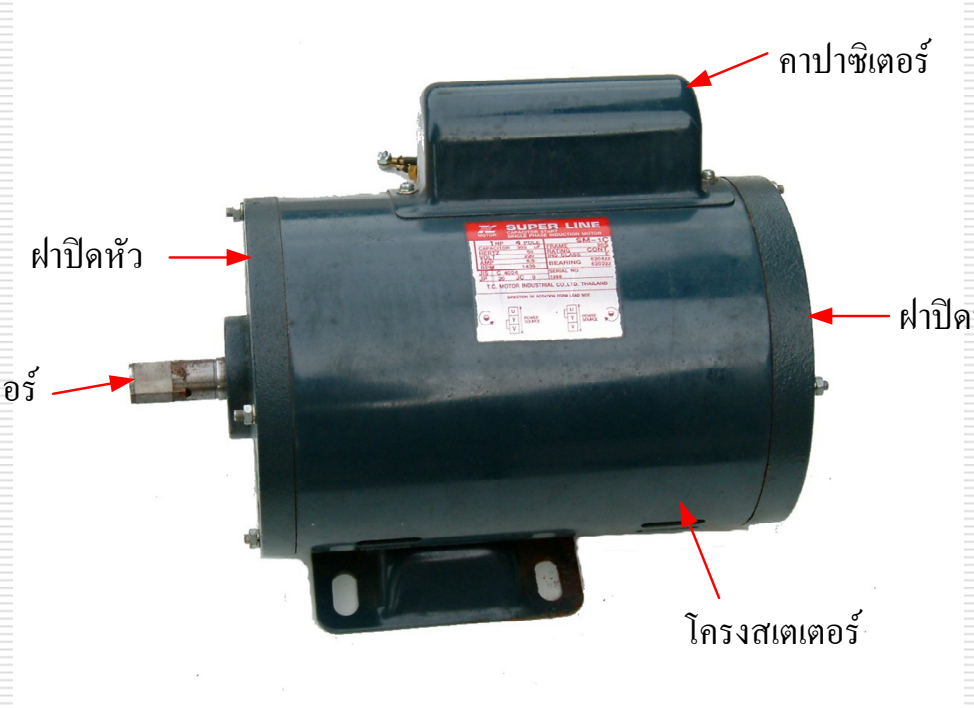
เรื่อง คาปาซิเตอร์มอเตอร์และเช็ดเดดโพลมอเตอร์



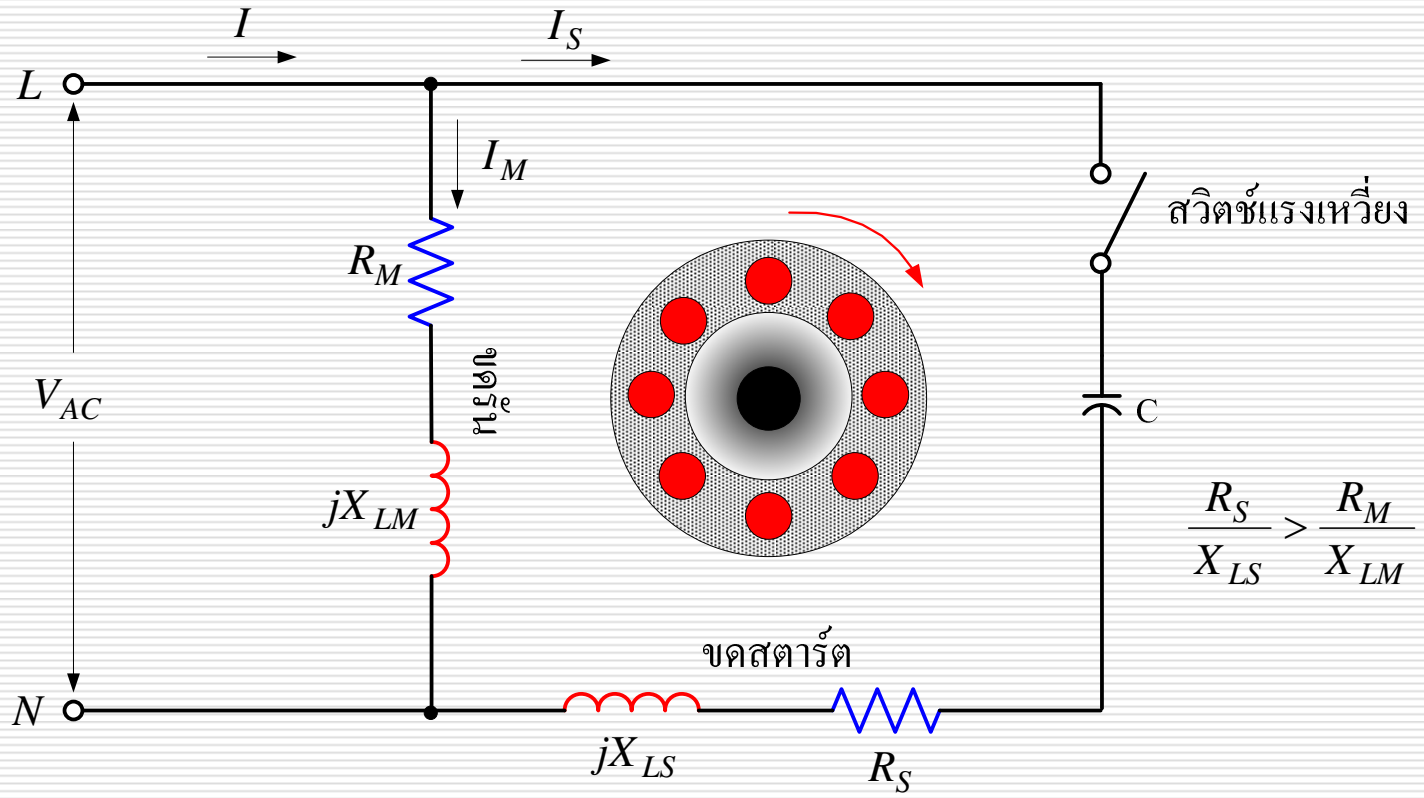


คาปาซิเตอร์มอเตอร์

คาปาซิเตอร์สตาร์ตมอเตอร์ (Capacitor Start Motor)

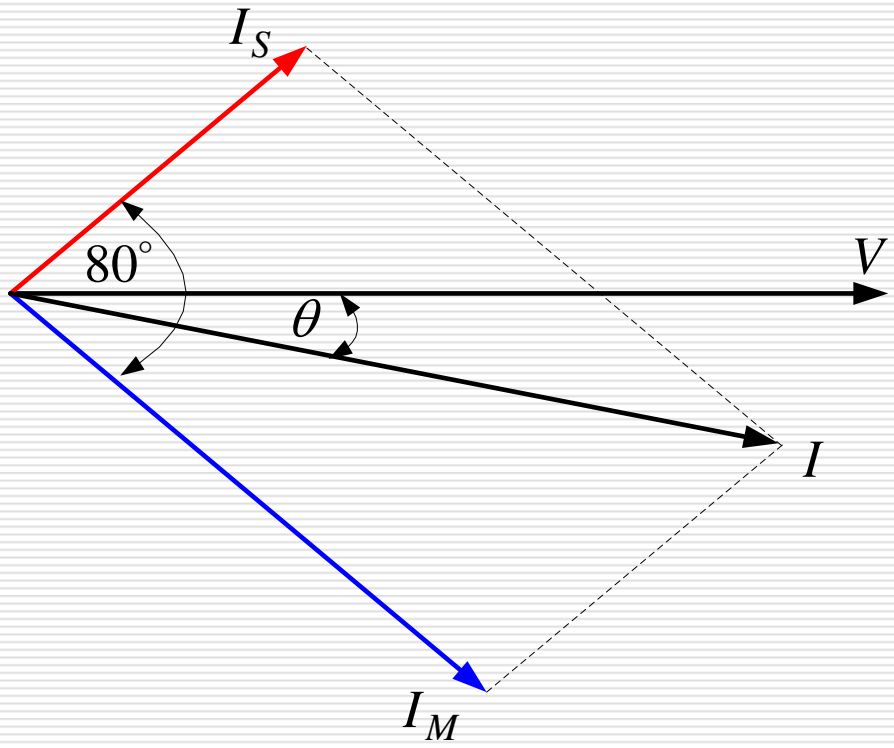


คาปาซิเตอร์สตาร์ตมอเตอร์



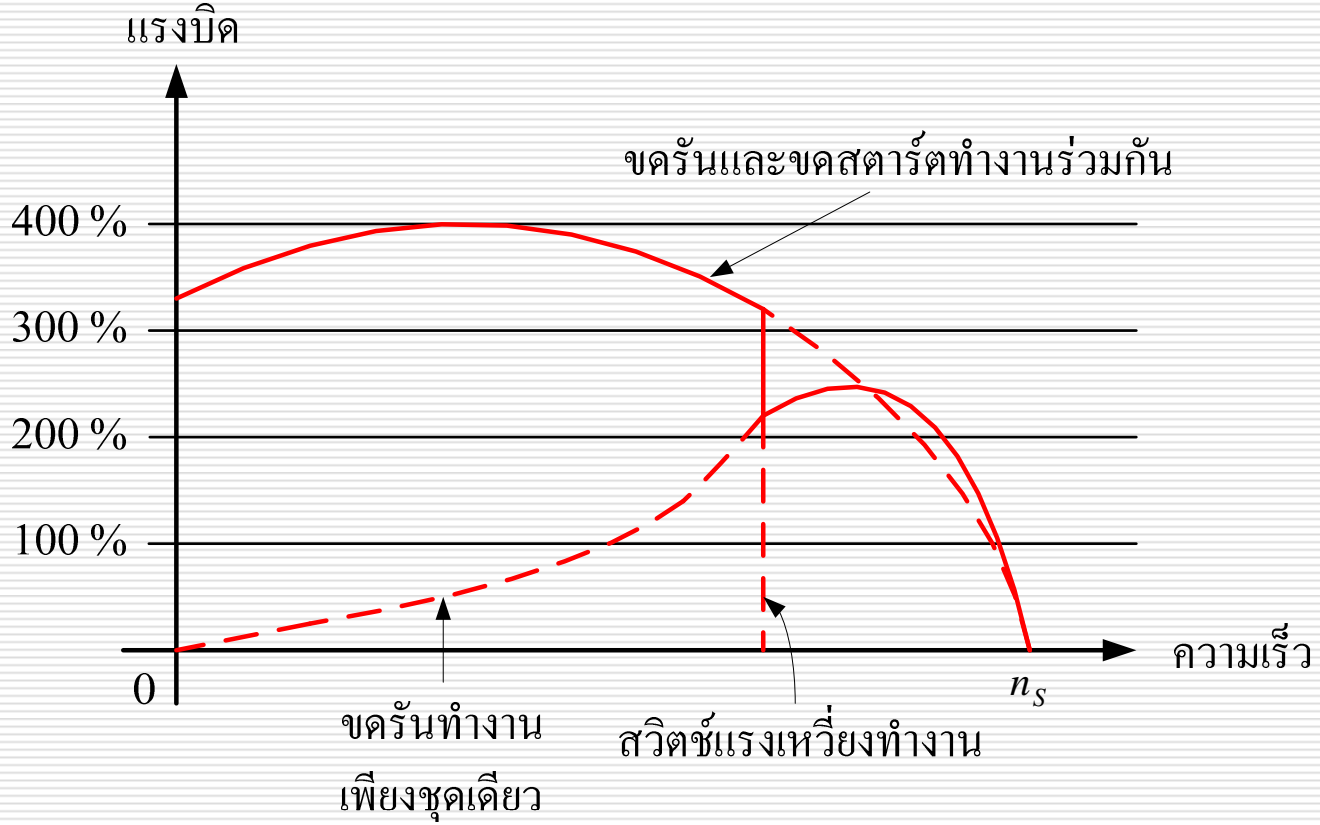
การต่อวงจรของคาปาซิเตอร์สตาร์ตมอเตอร์

คาปาซิเตอร์สตาร์ตมอเตอร์



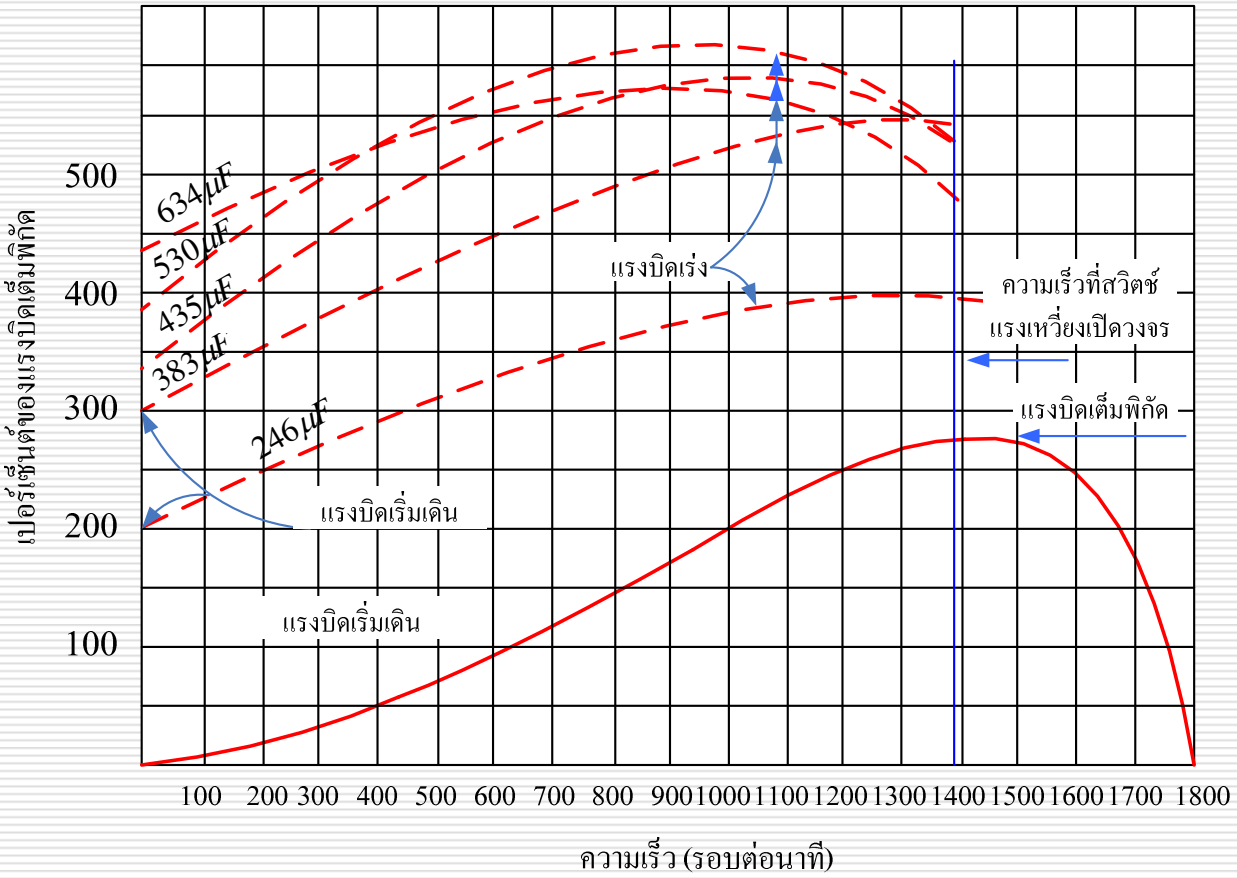
เวกเตอร์ไดอะแกรมกระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อนไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์มอเตอร์

คาปาซิเตอร์สตาร์ตมอเตอร์



ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบ

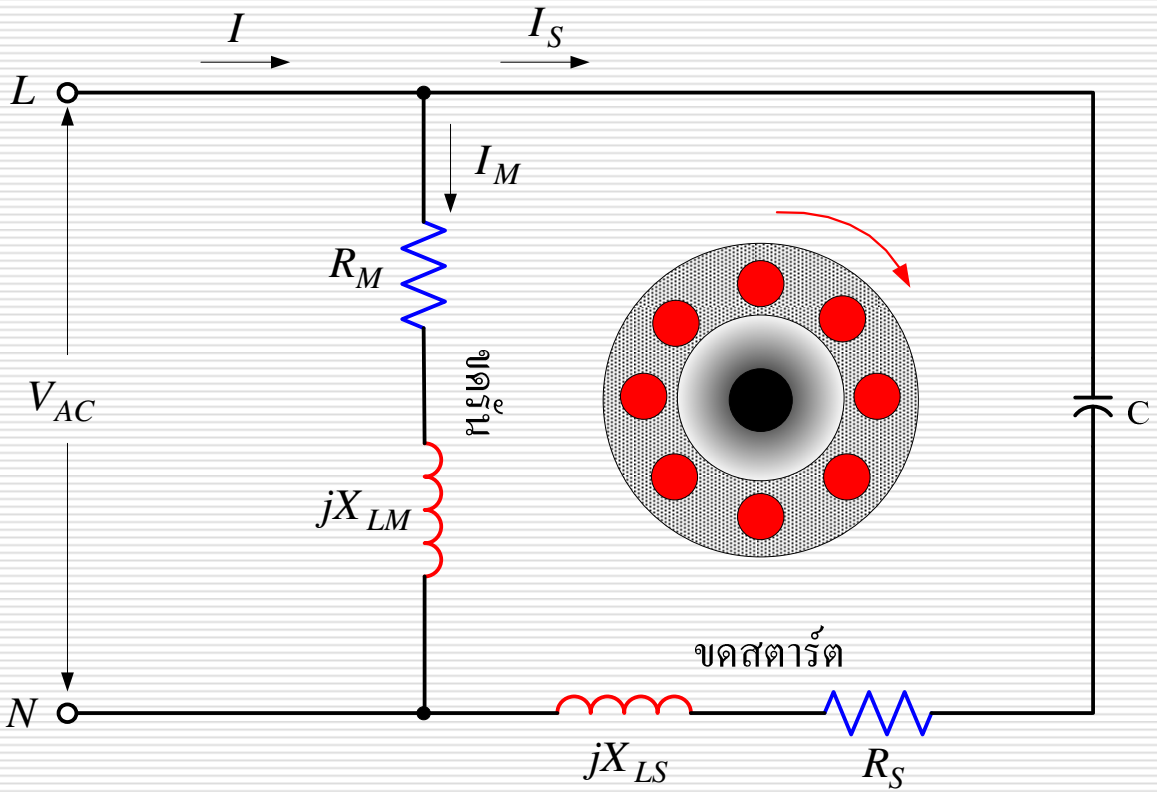
คาปาซิเตอร์สตาร์ตมอเตอร์



ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบ ที่ค่าความจุคาปาซิเตอร์ต่างๆ กัน

คาปาซิเตอร์รันมอเตอร์

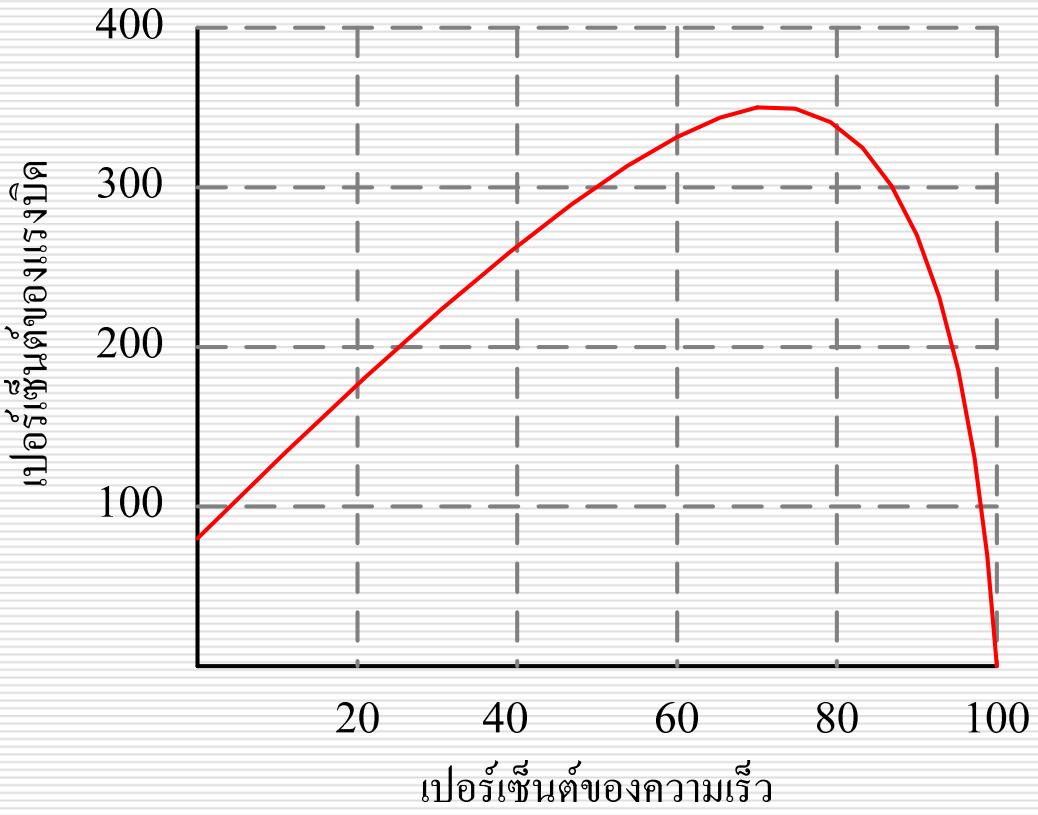
(Capacitor Run Motor)



การต่อวงจรขดลวดคาปาซิเตอร์รันมอเตอร์

คาปาซิเตอร์รันมอเตอร์

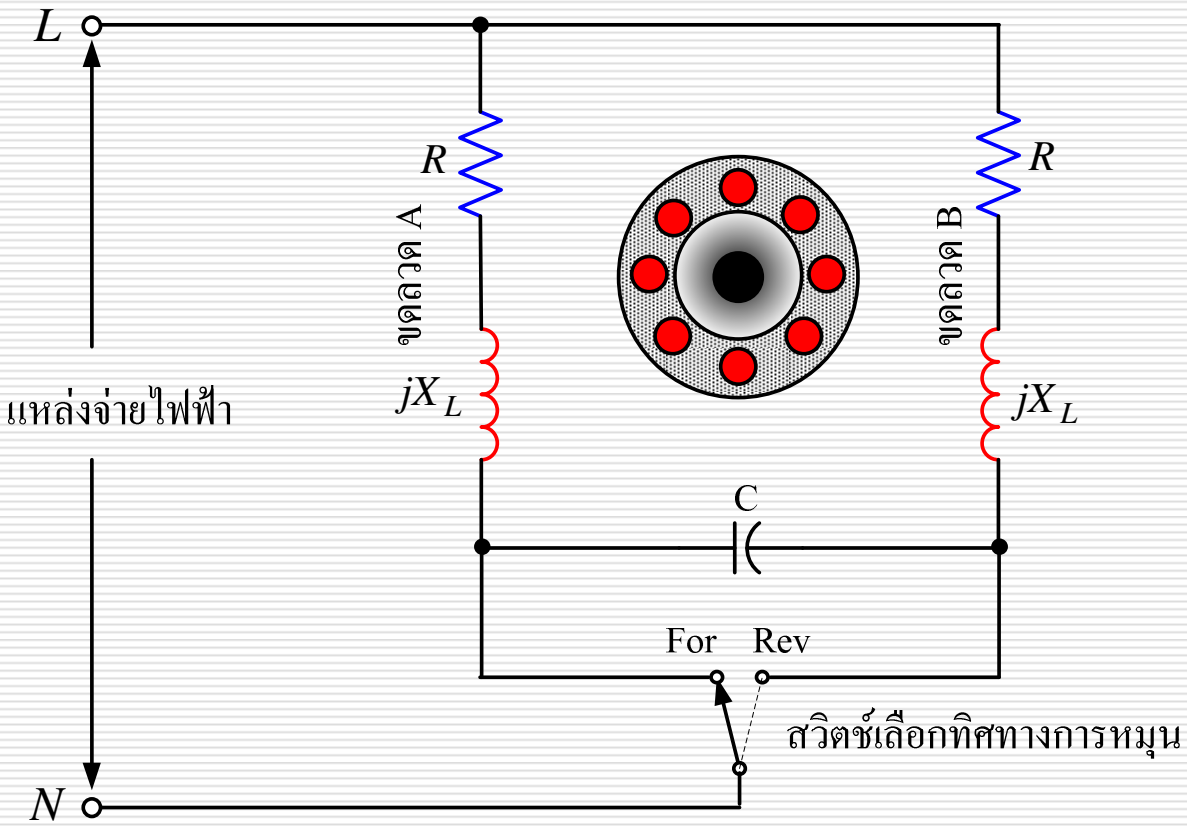
(Capacitor Run Motor)



ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบ

คาปาซิเตอร์รันมอเตอร์

(Capacitor Run Motor)



การกลับทางหมุน

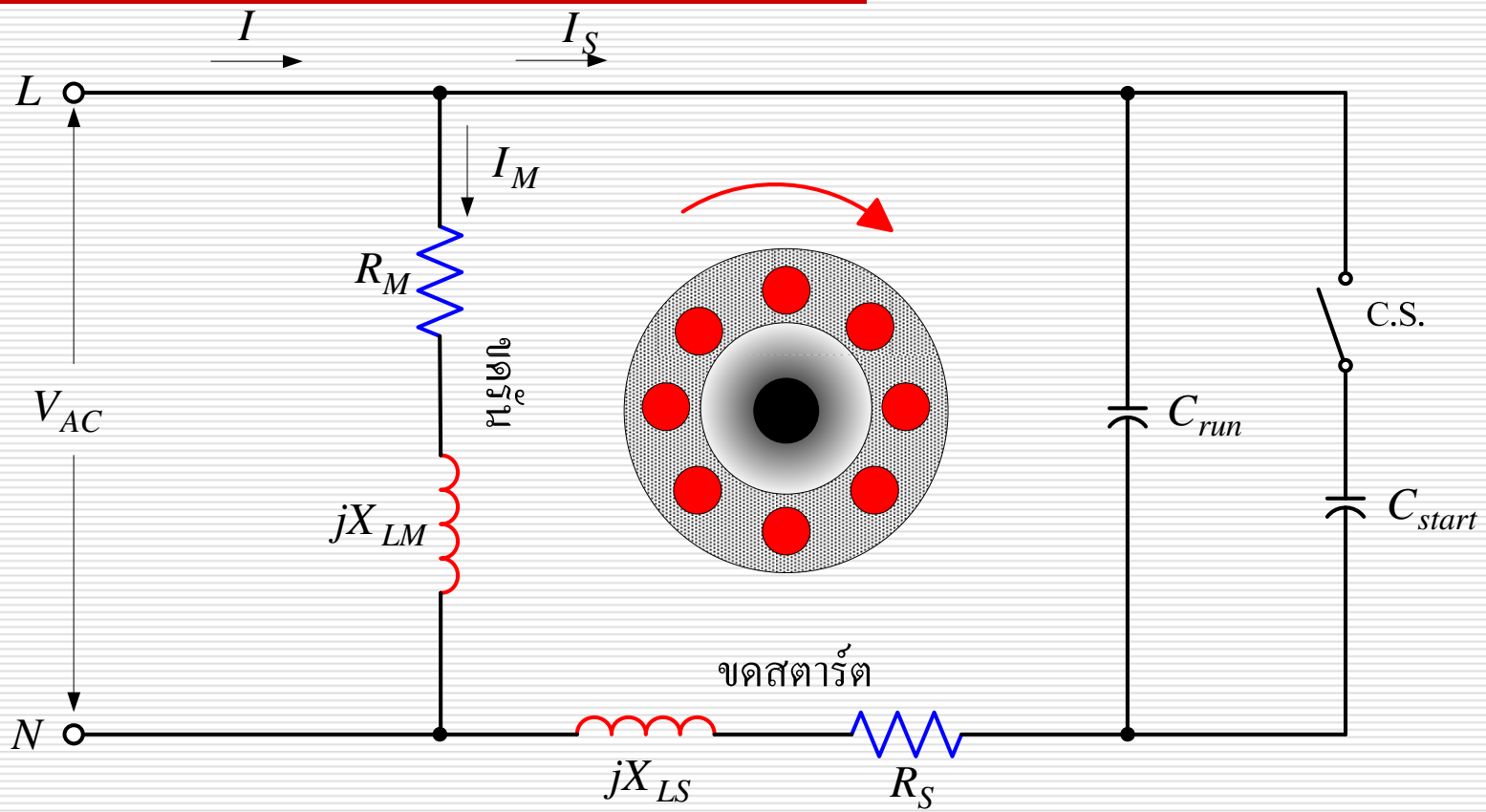
คาปาซิเตอร์รันมอเตอร์

(Capacitor Run Motor)

การนำคาปาซิเตอร์รันมอเตอร์ไปใช้งาน

คาปาซิเตอร์สตาร์ตและรันมอเตอร์

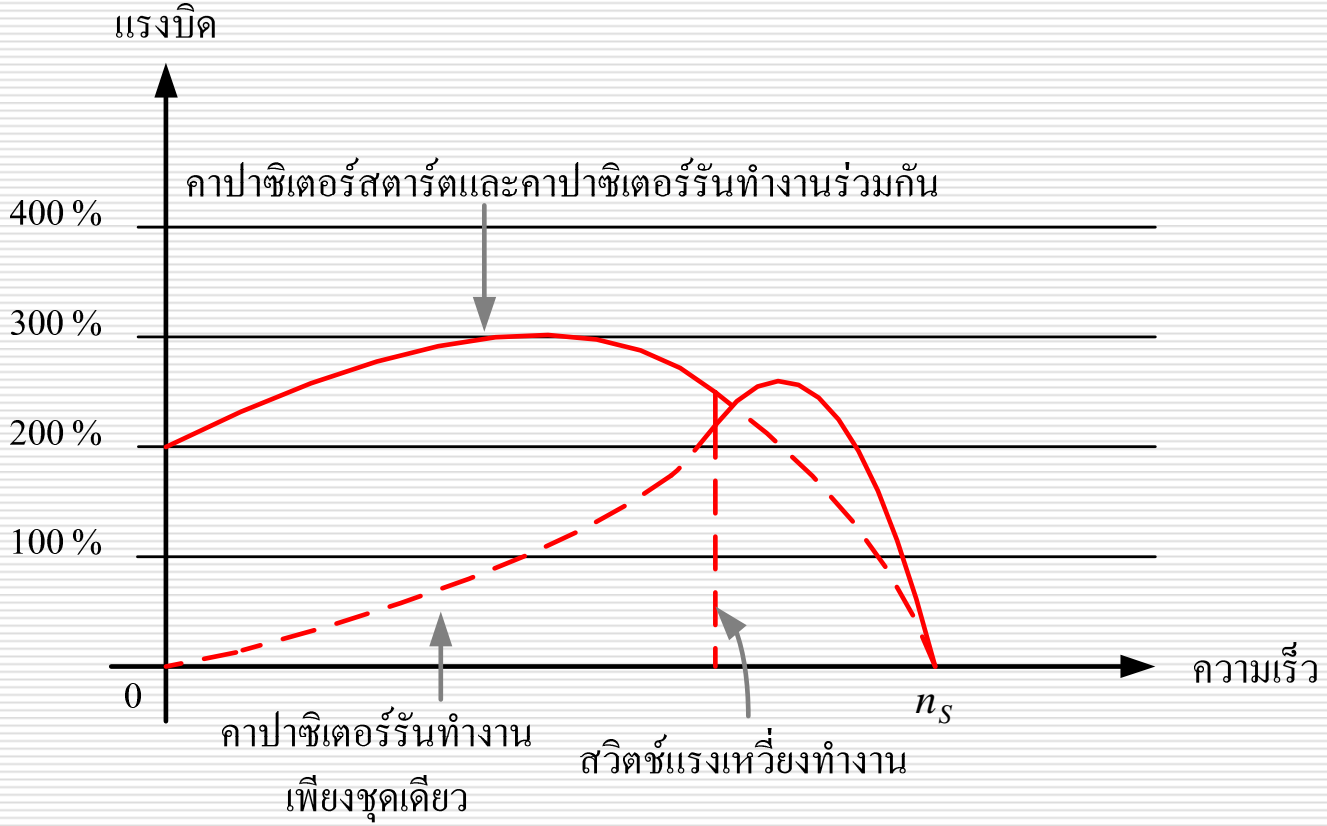
(Capacitor Start and Run Motor)



การต่อวงจรขดลวดคาปาซิเตอร์สตาร์ตและรันมอเตอร์

คาปาซิเตอร์สตาร์ตและรันมอเตอร์

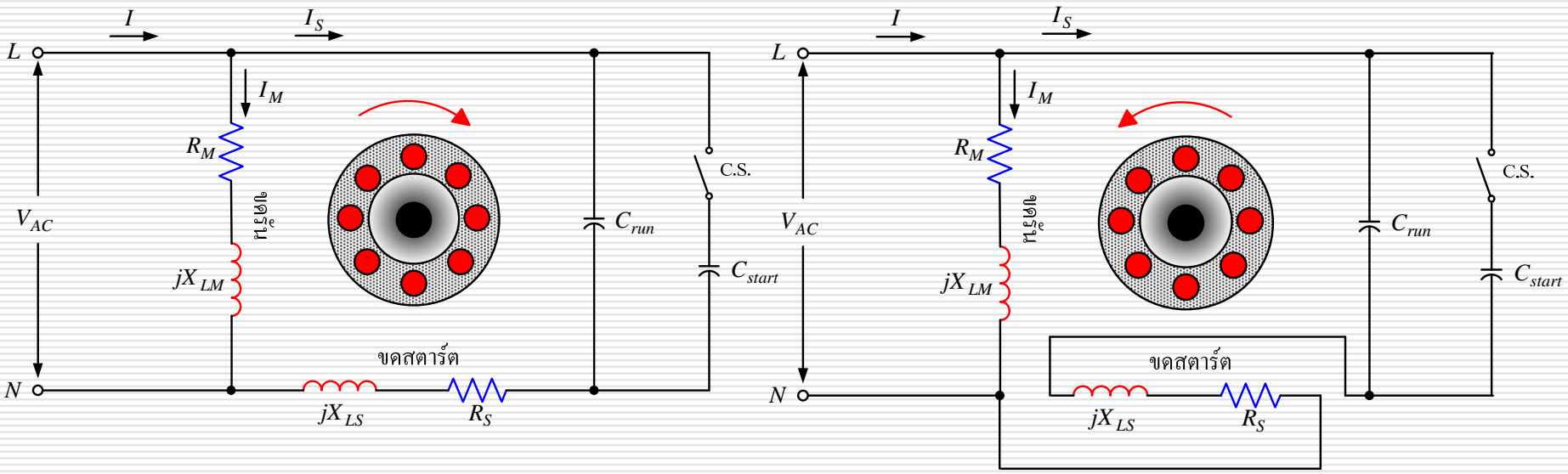
(Capacitor Start and Run Motor)



ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ

คาปาซิเตอร์สตาร์ตและรันมอเตอร์

(Capacitor Start and Run Motor)



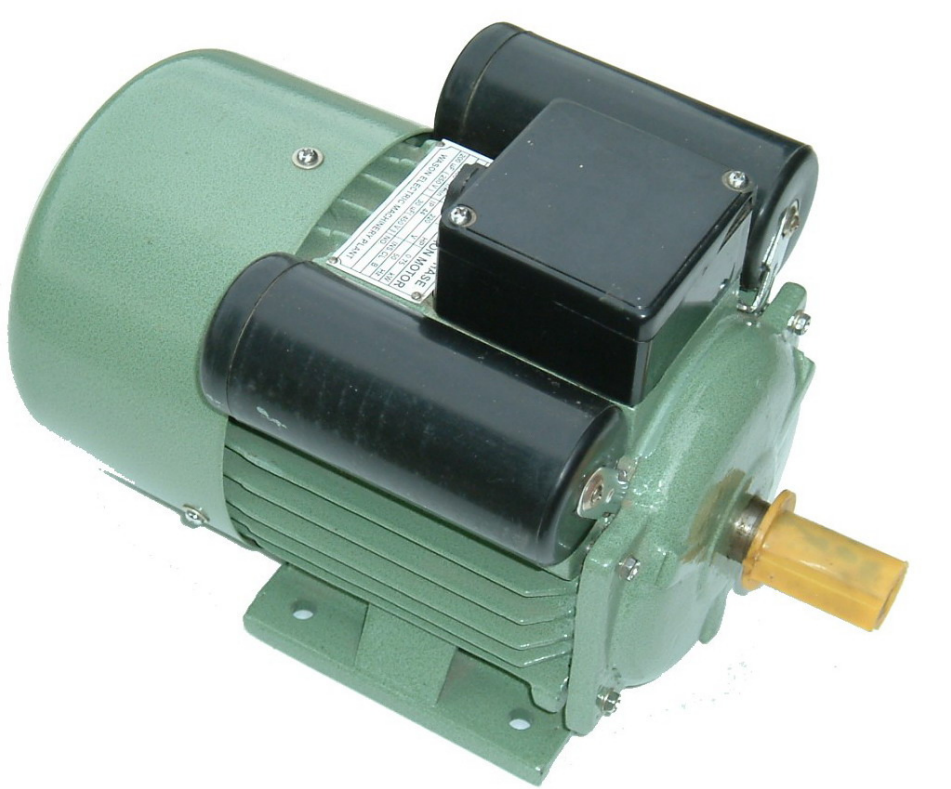
หมุนตามเข็มนาฬิกา

หมุนทวนเข็มนาฬิกา

การกลับทิศทางการหมุนคาปาซิเตอร์สตาร์ตและรันมอเตอร์

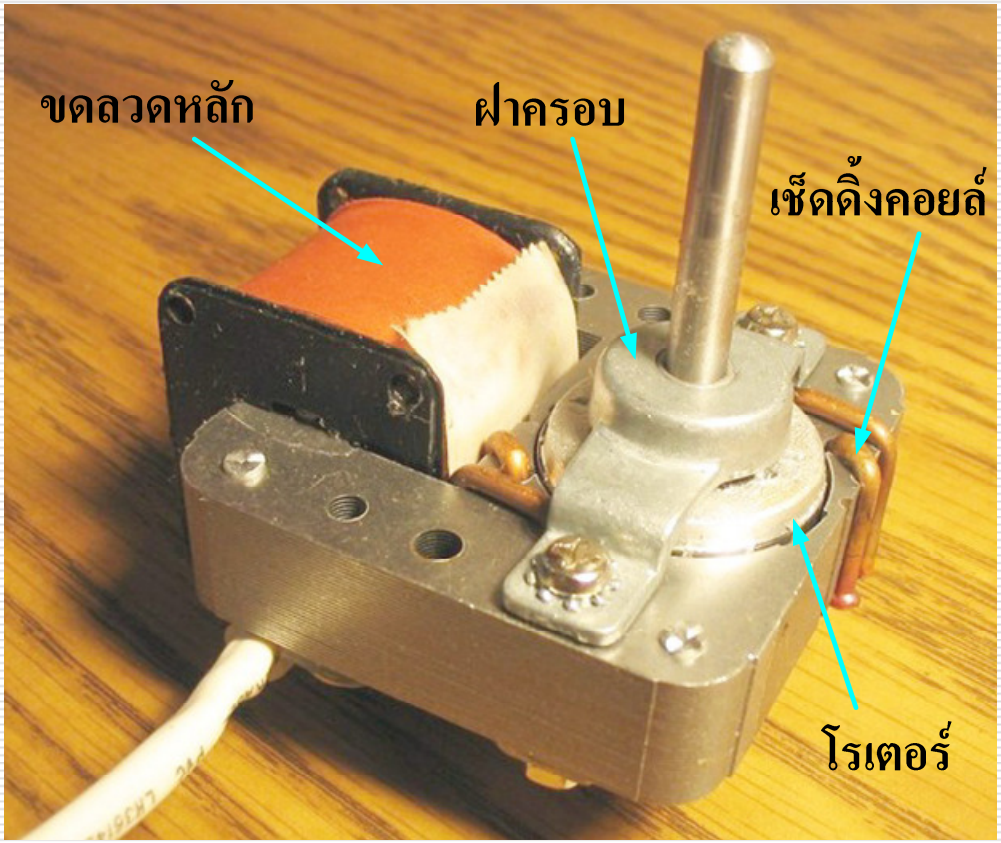
คาปาซิเตอร์สตาร์ตและรันมอเตอร์

(Capacitor Start and Run Motor)



เช็ดเดดโพลมอเตอร์

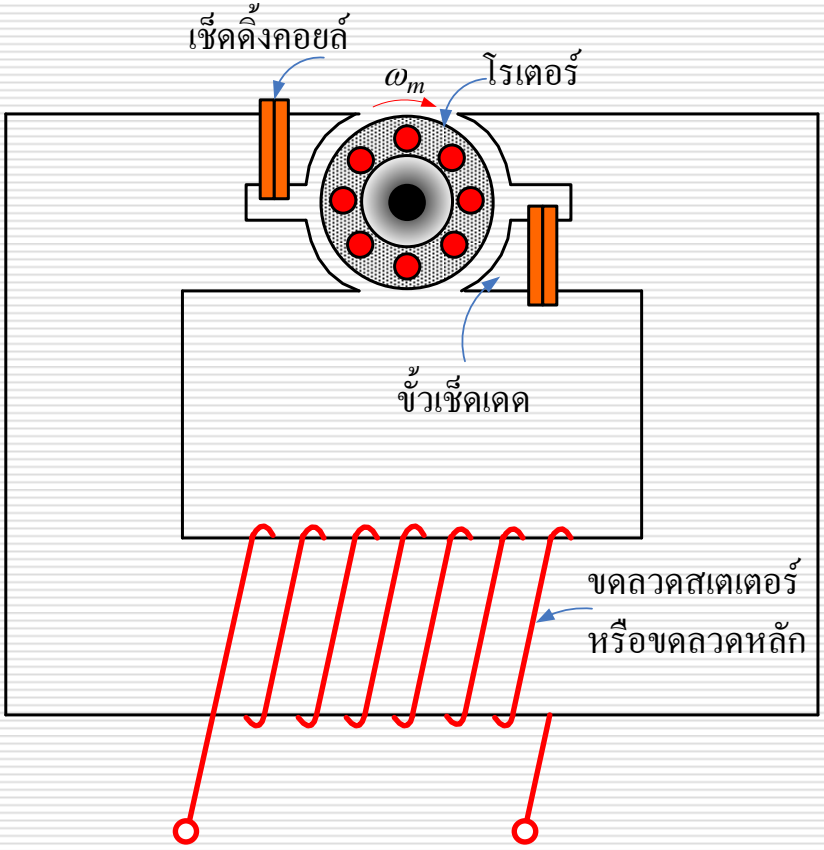
(Shaded Pole Motor)



ส่วนประกอบของเช็ดเดดโพลมอเตอร์

เช็ดเดดโพลมอเตอร์

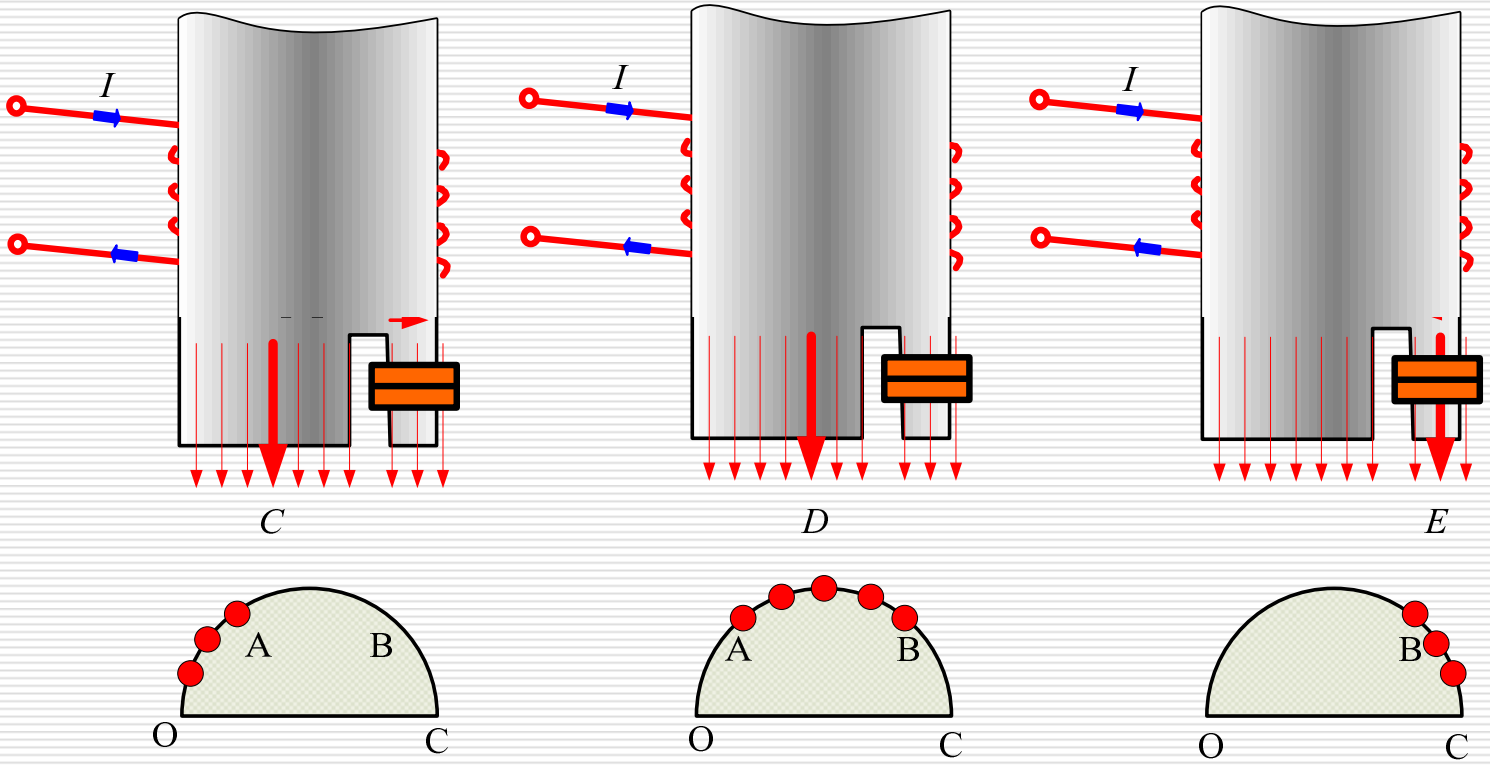
(Shaded Pole Motor)



ลักษณะของเช็ดเดดโพลมอเตอร์

เช็ดเดดโพลมอเตอร์

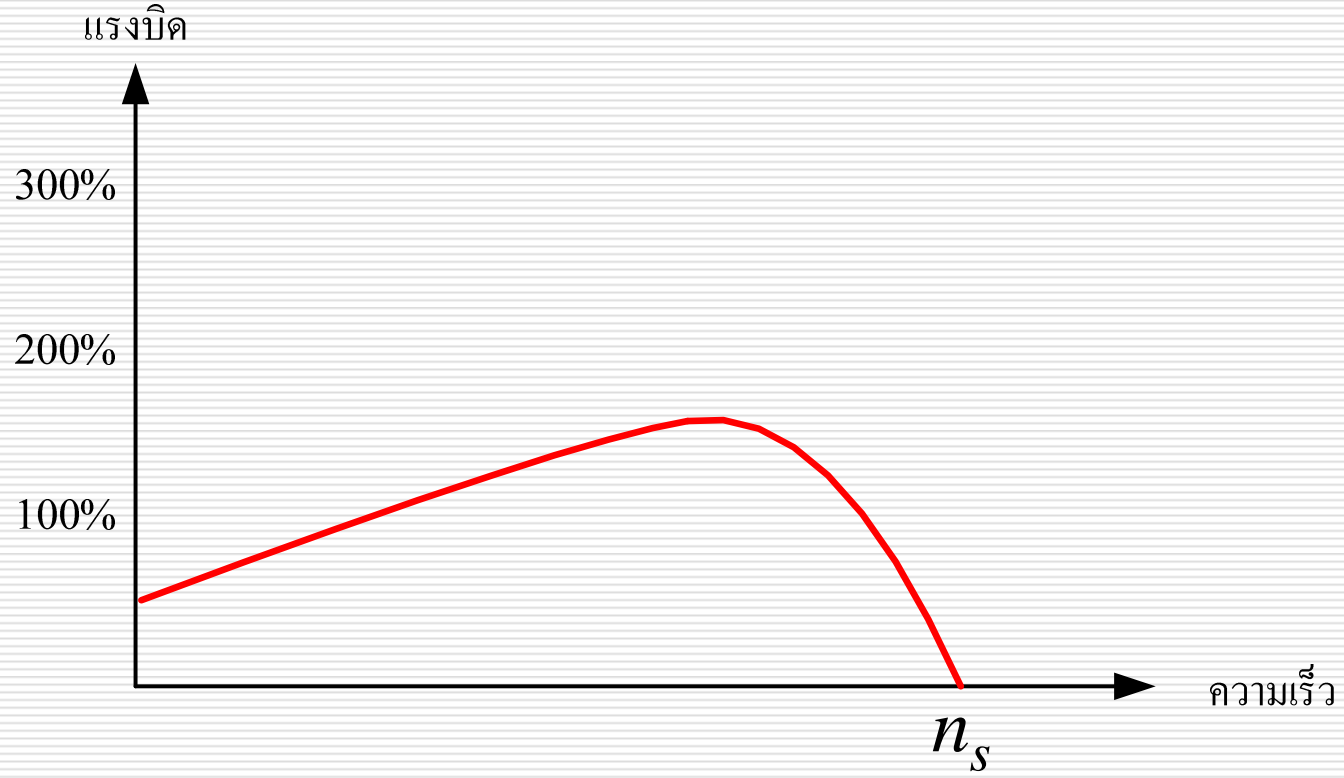
(Shaded Pole Motor)



การเคลื่อนที่ของแนวแกนขั้วแม่เหล็ก

เช็ดเดดโพลมอเตอร์

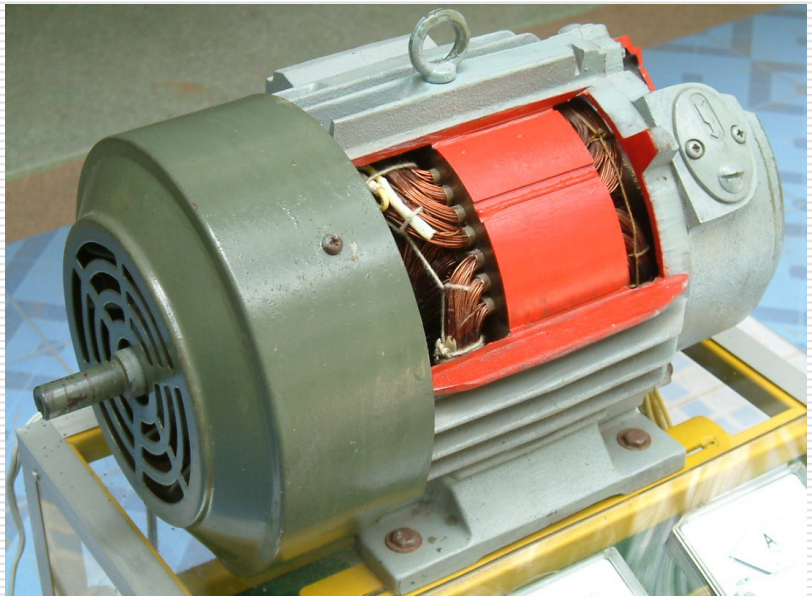
(Shaded Pole Motor)

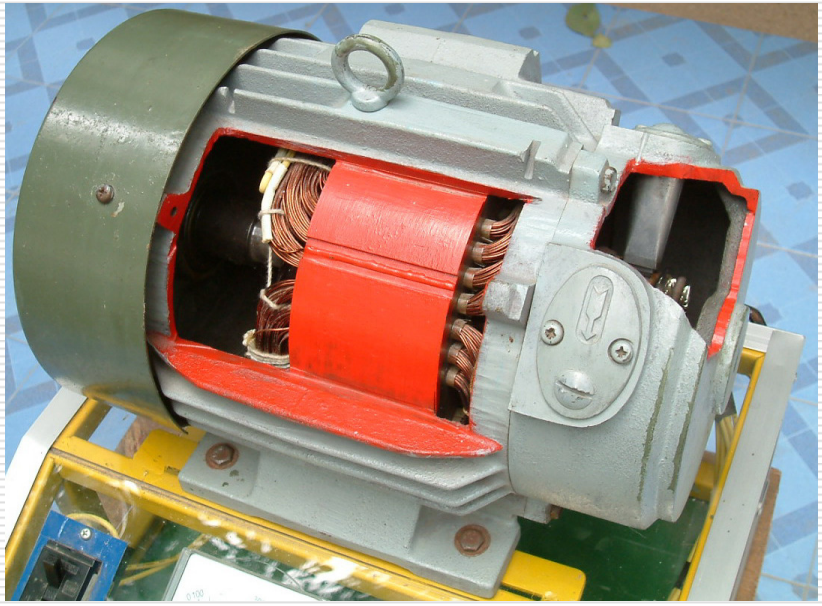


คุณลักษณะของแรงบิดและความเร็วรอบ

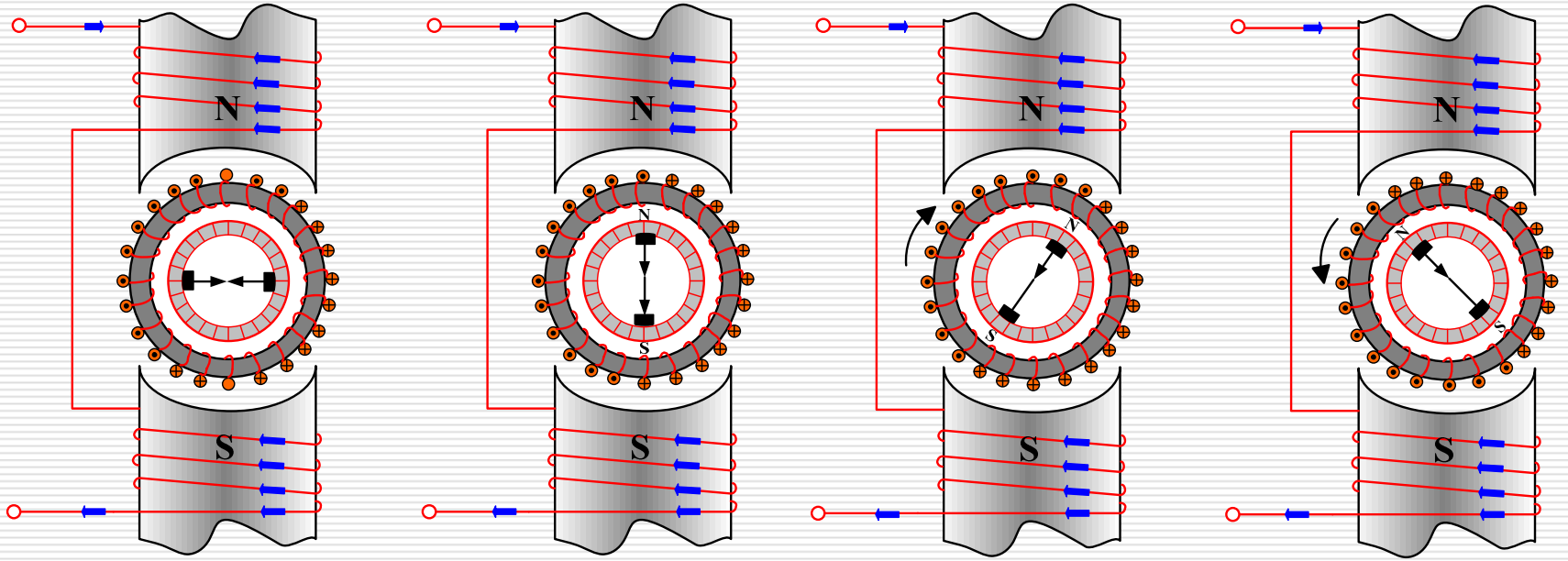
สื่อการนำเสนอผลงาน PowerPoint

เรื่อง รีพัลชั่นมอเตอร์





หลักการทำงานรีพัลชั่นมอเตอร์

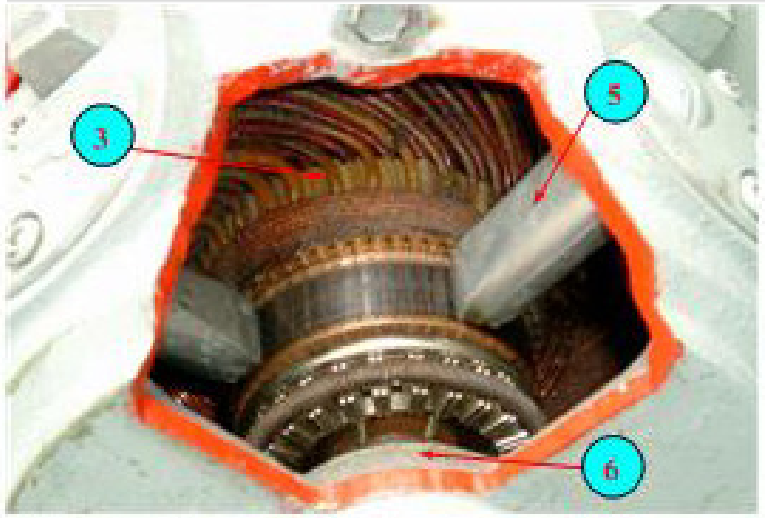


ก. ข. ค. ง.

ตำแหน่งของแปรงถ่านในรีพัลชั่นมอเตอร์

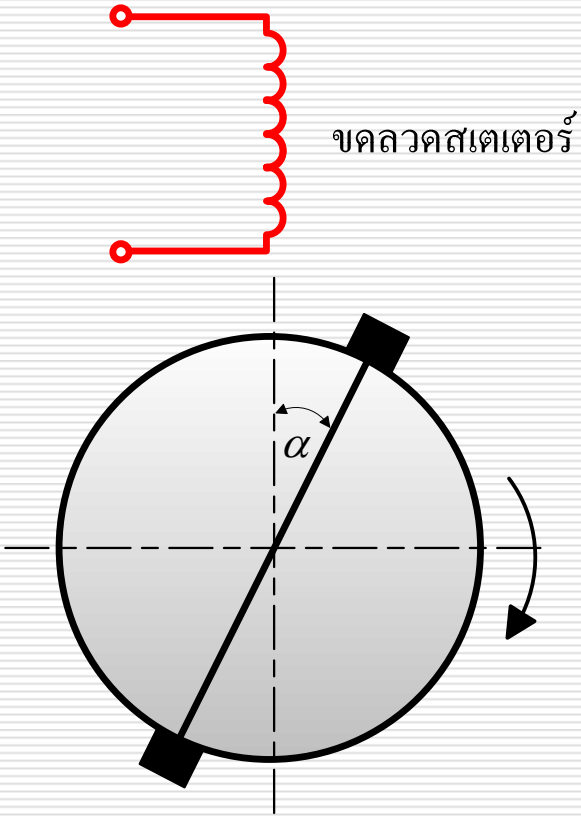
ประเภทของรีพัลชั่นมอเตอร์

รีพัลชั่นมอเตอร์ (Repulsion Motor)

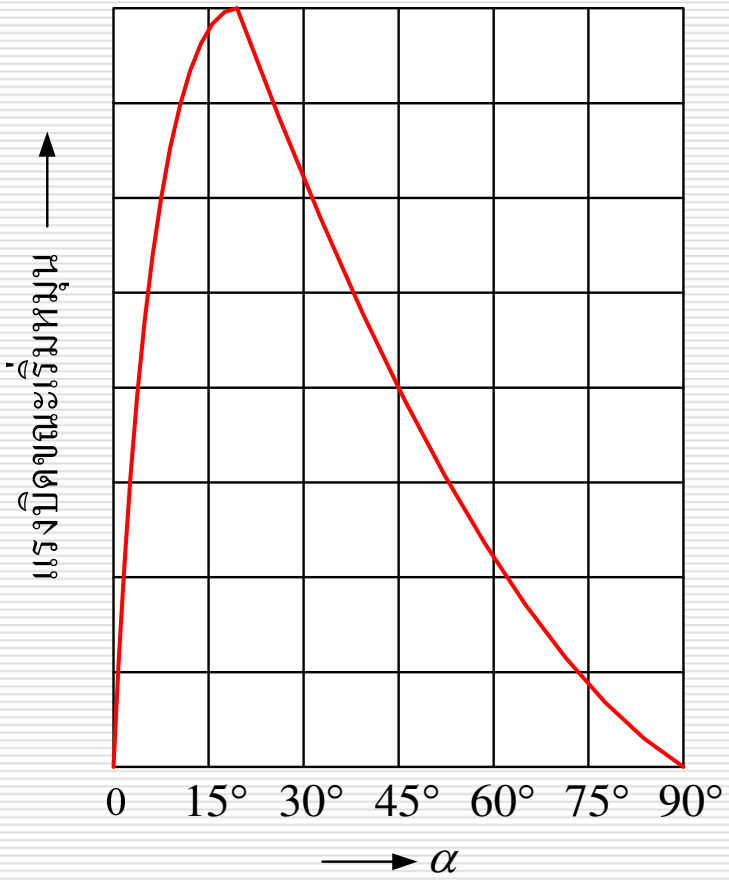


ส่วนประกอบของรีพัลชั่นมอเตอร์

ทิศทางการเลื่อนตำแหน่งของแปรงถ่าน

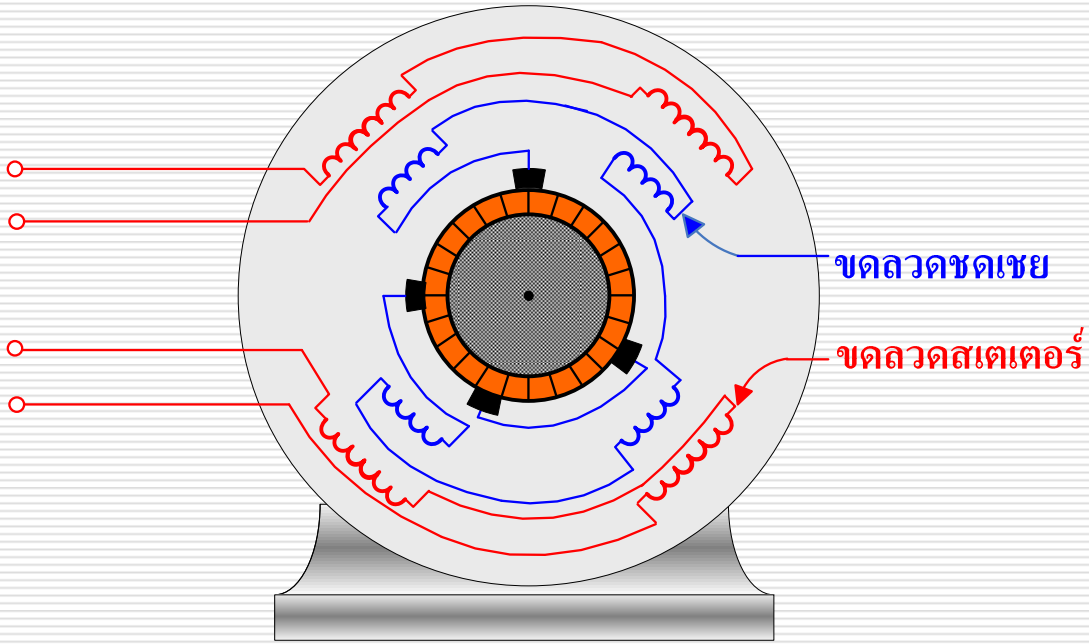


ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับมุมที่แปรงถ่านเลื่อนไป



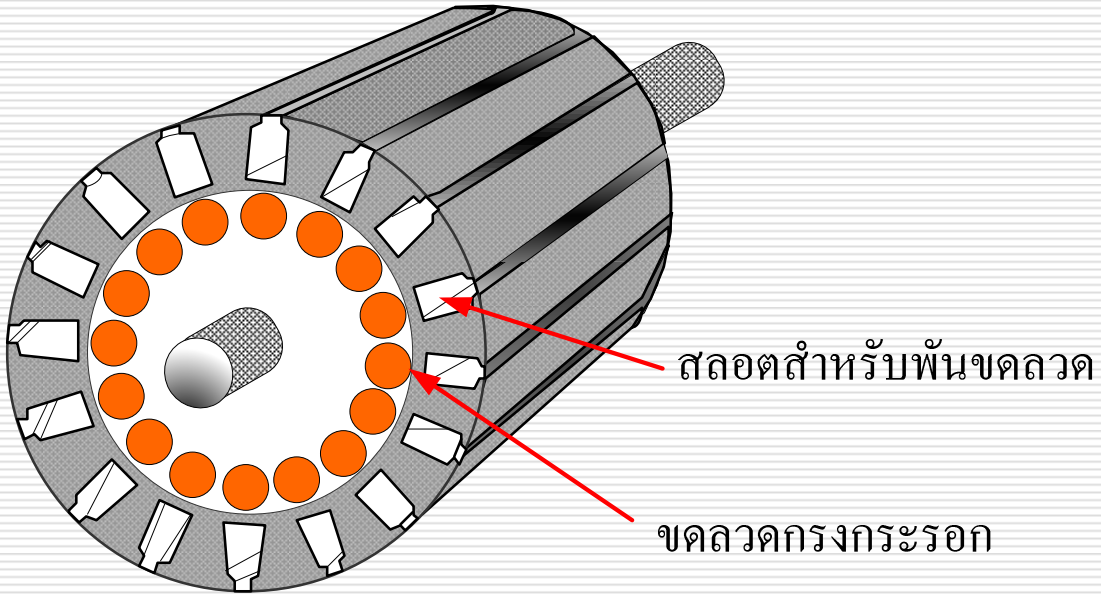
ประเภทของรีพัลชั่นมอเตอร์

รีพัลชั่นมอเตอร์แบบชดเชย



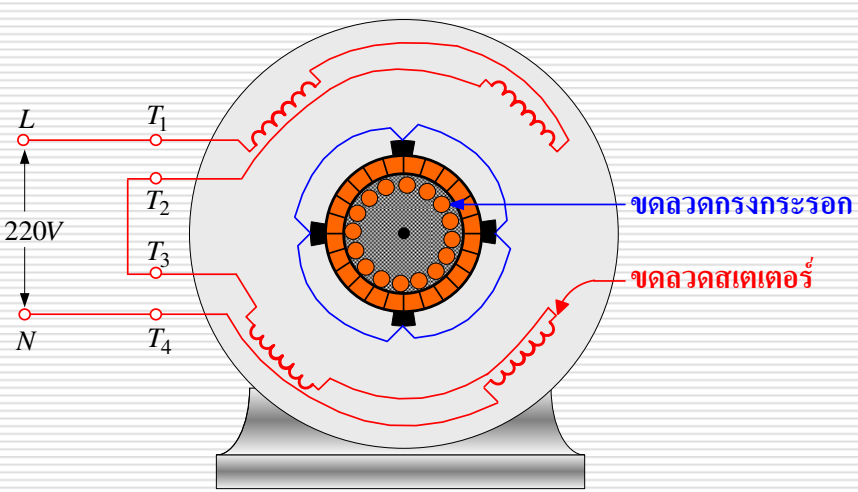
การต่อขดลวดชดเชยของรีพัลชั่นมอเตอร์แบบชดเชย

ประเภทของรีพัลชั่นมอเตอร์
มอเตอร์เหนี่ยวนำเริ่มเดินแบบรีพัลชั่น

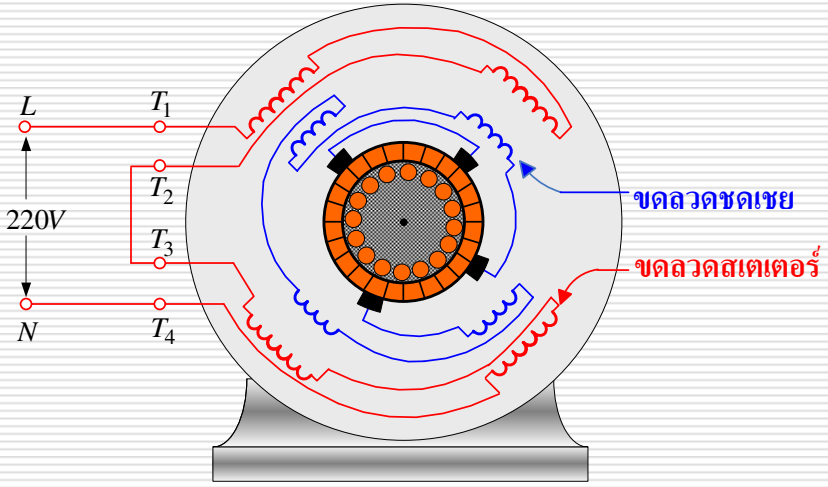


โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำรีพัลชั่น

ประเภทของรีพัลชั่นมอเตอร์
มอเตอร์เหนี่ยวนำเริ่มเดินแบบรีพัลชั่น



ก. แบบไม่มีขดลวดชดเชย

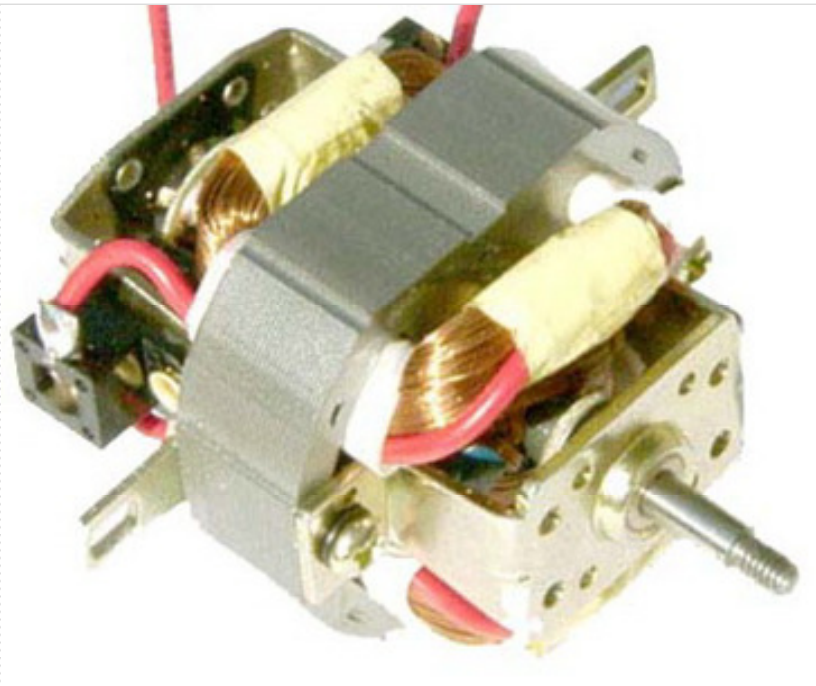


ข. แบบมีขดลวดชดเชย

การต่อขดลวดชดเชยในมอเตอร์เหนี่ยวนำรีพัลชั่น

สื่อการนำเสนอผลงาน PowerPoint

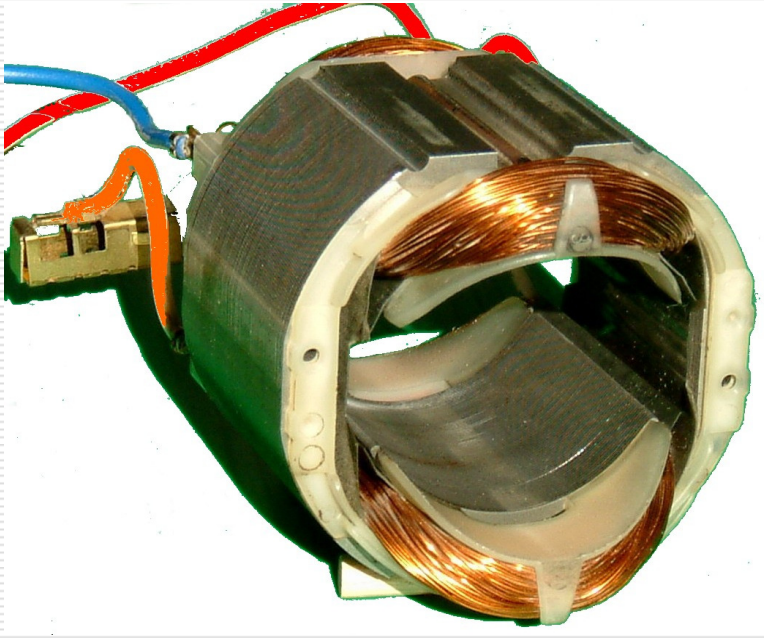
เรื่อง ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ (Universal Motor)



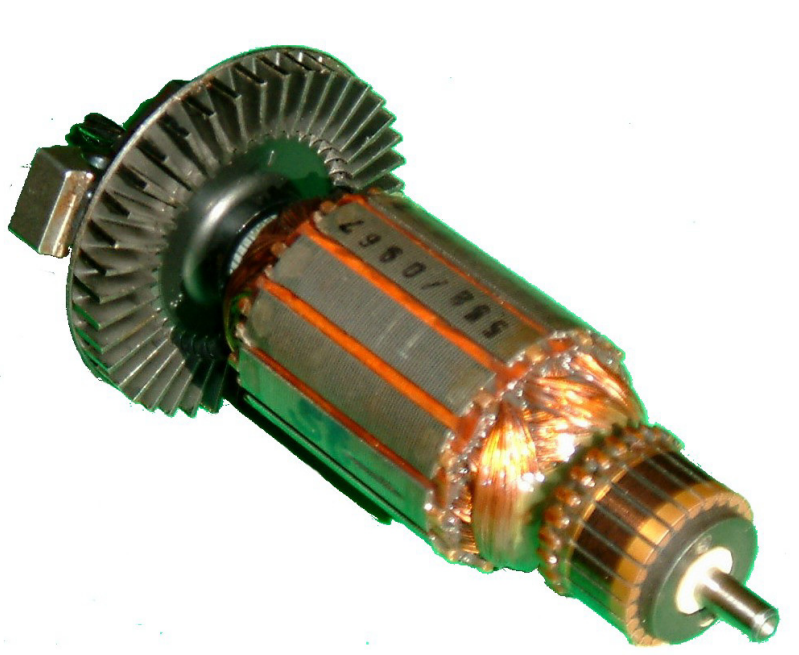
ส่วนประกอบของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์

1. ขั้วแม่เหล็กสเตเตอร์ (Stator Pole)
2. อาร์เมเจอร์ (Armature)
3. คอมมิวเตเตอร์ (Commutator)
4. ฝาปิดหัวท้าย (End Plate)
5. แปรงถ่าน (Brush)

ส่วนประกอบของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์

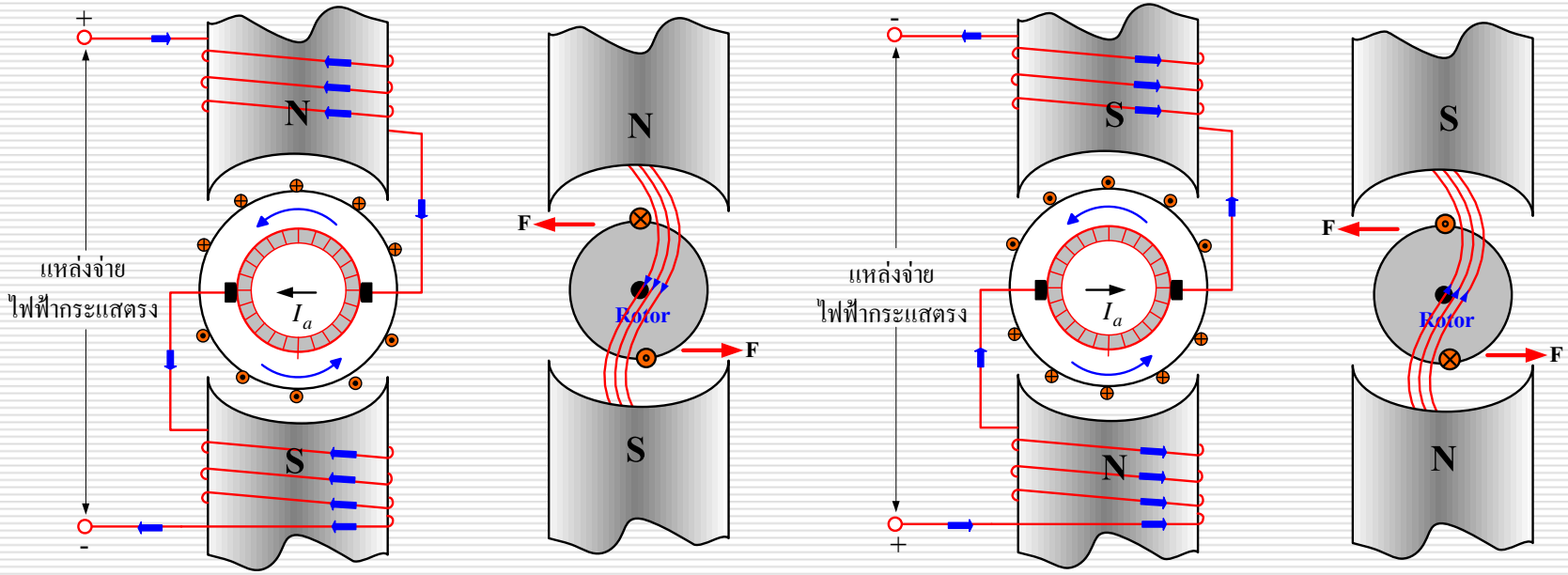


แกนเหล็กสเตเตอร์

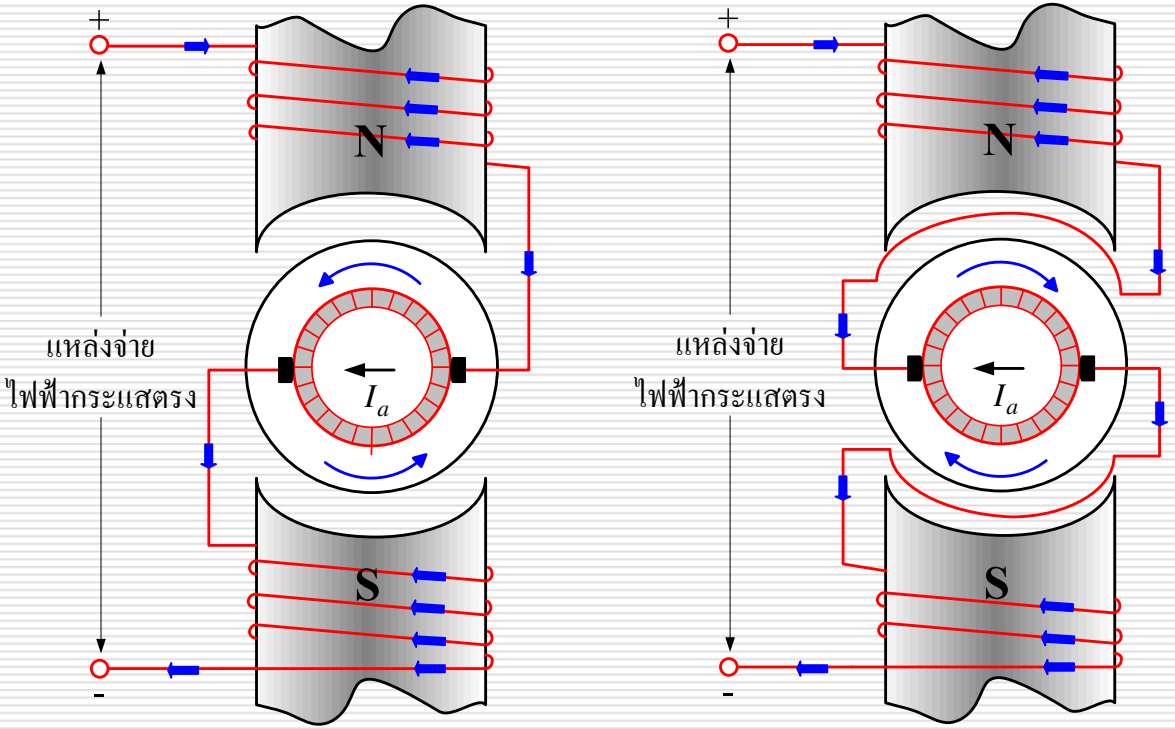


แกนเหล็กอาร์เมเจอร์

หลักการทำงานของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์

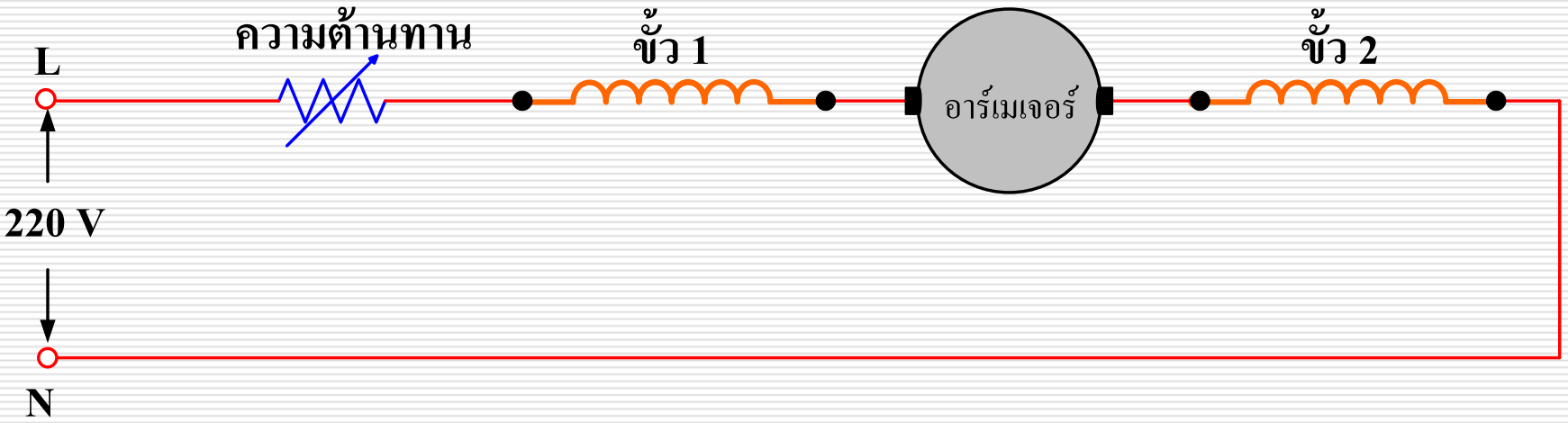


การกลับทิศทางการหมุนของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์



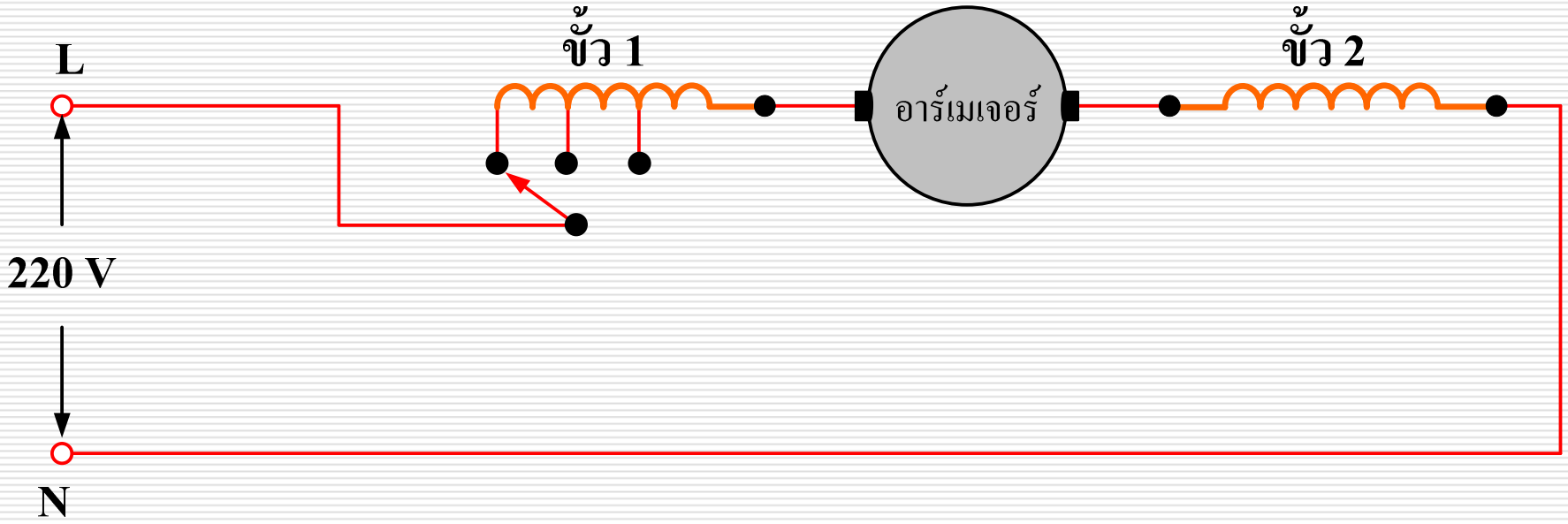
การควบคุมความเร็วรอบของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์

1. การใช้ความต้านทาน



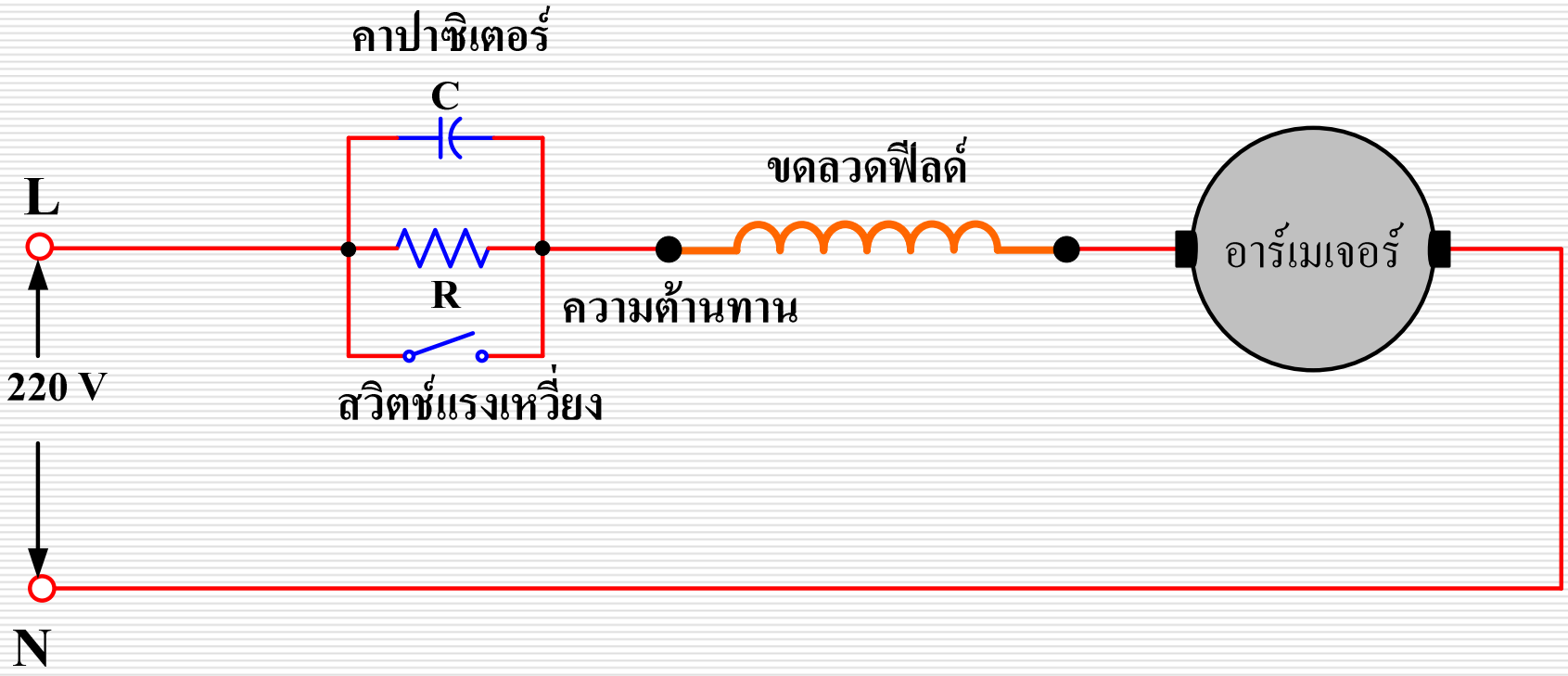
การควบคุมความเร็วรอบของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์

2. การลด–เพิ่มขดลวดสนามแม่เหล็ก



การควบคุมความเร็วรอบของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์

3. การใช้สวิตช์แรงเหวี่ยง



การใช้งานยูนิเวอร์แซลมอเตอร์