บทที่ *6* มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
(D.C. Motors)

6.1 หลักการของมอเตอร์ *(Motor principle)*

มอเตอร์ไฟฟ้าคือเครื่องกลซึ่งเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกล โดยอาศัยหลักการดังนี้ คือ เมื่อกระแสไหลผ่านตัวนำซึ่งวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะมีแรงเกิดขึ้นที่ลวดตัวนำ ทำให้ลวดตัวนำเกิดการเคลื่อนที่ ดังแสดงในรูปที่ *6-1* ขนาดของแรงที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ

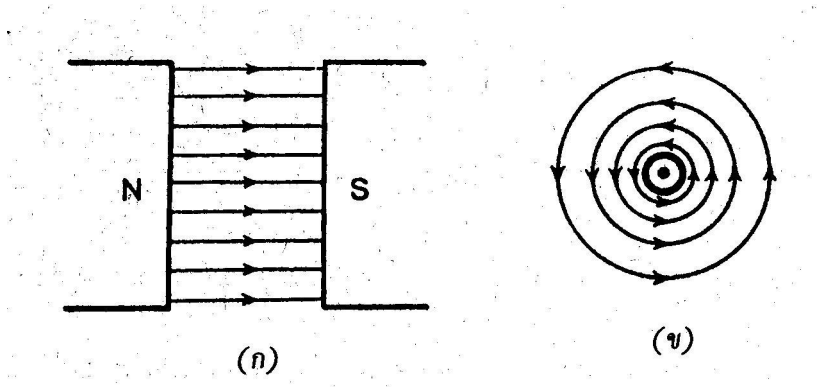
$$F = BI\ell$$ นิวตัน

เมื่อ F = แรงที่เกิดขึ้นที่ลวดตัวนำ นิวตัน

B = ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก เทสลา *(*เวเบอร์/ตร.เมตร*)*

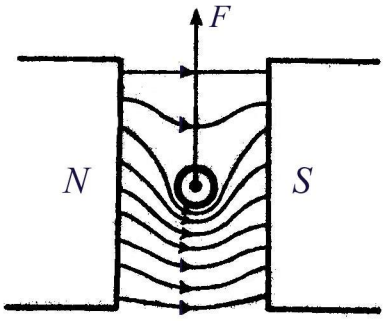
I = กระแสที่ไหลผ่านลวดตัวนำ แอมแปร์

ℓ = ความยาวของลวดตัวนำในสนามแม่เหล็ก เมตร

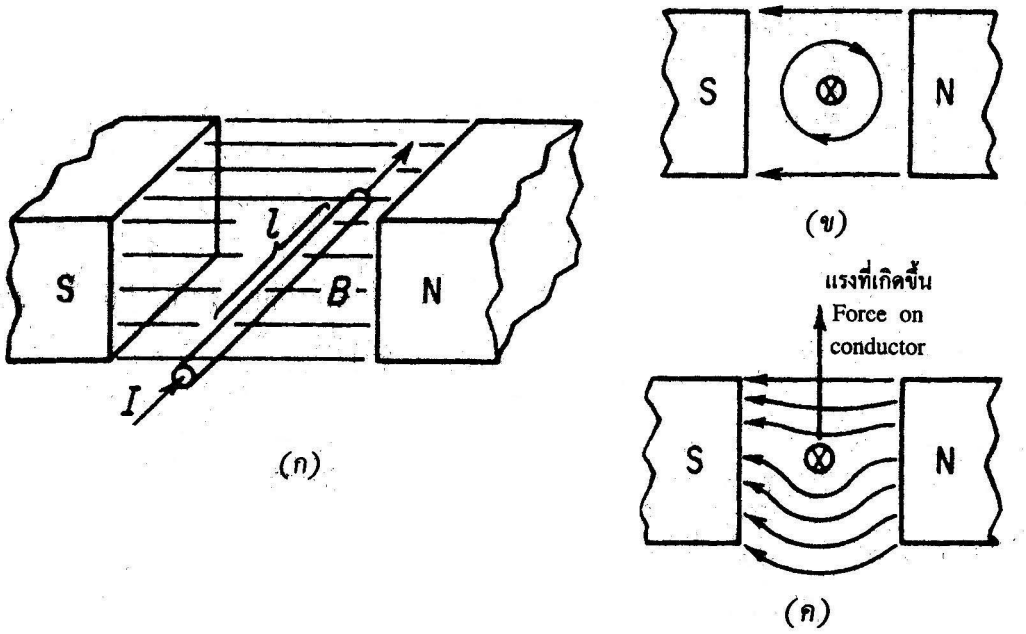


รูป (ก) สนามแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้ว

รูป (ข) พื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำซึ่งมีกระแสไหลออก เส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำจะมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

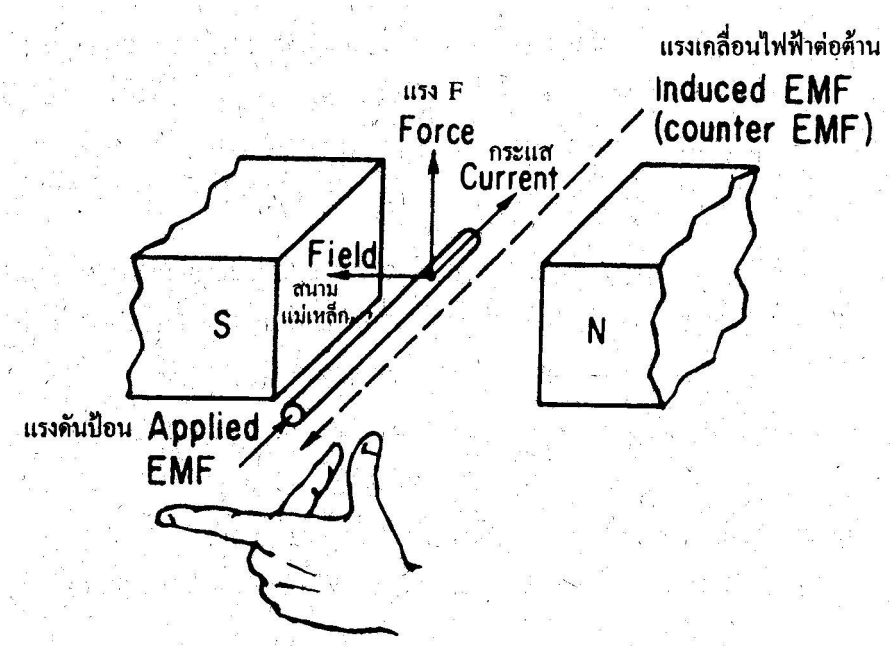


รูปแสดงผลรวมของสนามแม่เหล็กทั้งสองแห่งทำให้เกิดแรงบิดเบนของสนามแม่เหล็กอันเป็นสาเหตุให้เกิดแร งF ทำให้ลวดตัวนำเคลื่อนที่ขึ้นบน

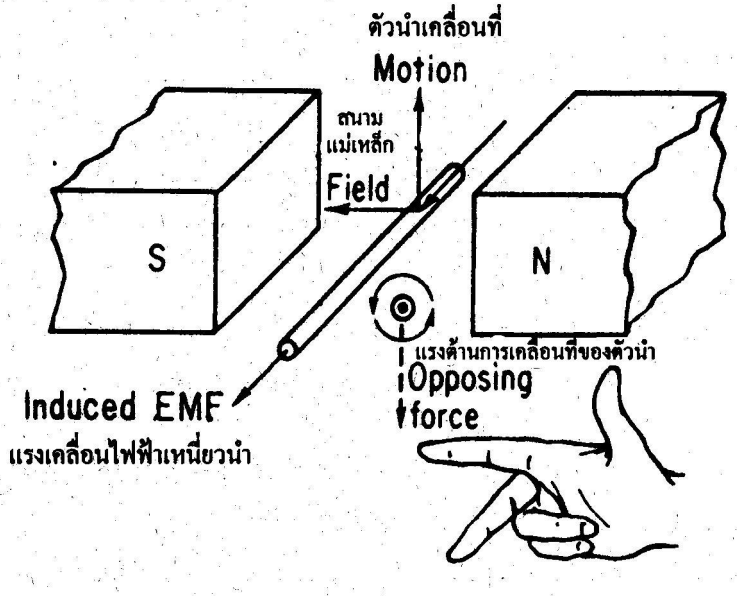


รูปที่ 6-1 ก. ลวดตัวนำที่มีความยาว *l* มีกระแสไหลผ่านและวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก
ข. แสดงทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบตัวนำเมื่อเทียบกับทิศทางของสนามแม่เหล็ก
ค. ผลรวมของสนามแม่เหล็กทั้งสองแห่งทำให้ตัวนำเคลื่อนที่ด้วยแรง *F*

เราสามารถหาทิศทางของแรง *F* ที่เกิดขึ้นได้โดยใช้กฎมือซ้ายของแฟรมมิ่ง *(Fleming's left hand rule)* ซึ่งใช้สำหรับหาทิศทางการหมุนของมอเตอร์นั่นเอง รูปที่ 6-2 ก. แสดงการใช้กฎมือซ้ายของแฟลมมิ่ง หรือกฎมือซ้ายของมอเตอร์ *(left hand motor rule)* เพื่อหาทิศทางของแรงที่เกิดขึ้นบนลวดตัวนำ เมื่อเปรียบเทียบกับรูป 6-2ข. แสดงการใช้กฎมือขวาของแฟลมมิ่ง หรือกฎมือขวาของเครื่องกำเนิด *(right hand generator rule)* เพื่อหาทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ *(induced e.m.f.)* ในเครื่องกำเนิดหรือใช้หาทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้าน *(back e.m.f. or counter e.m.f.)*



กฎมือซ้ายของมอเตอร์ไฟฟ้า



กฎมือขวาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

รูปที่ *6-2* การเปรียบเทียบพฤติการณ์ *(action)* ของมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีโครงสร้างและส่วนประกอบเหมือนกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงทุกประการ ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้งานแทนกันได้อย่างดี ดังนั้นการแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงคล้ายกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงคือ

- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกวงจรกระตุ้นสนามแม่เหล็ก *(Separately excited D.C. motor)*
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นในตัวเอง *(Self excited D.C. motor)*
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบซีรีย์ *(D.C. series motor)*
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชั้นท์ *(D.C. shunt motor)*
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบคอมเปานด์ *(D.C. compound motor)*

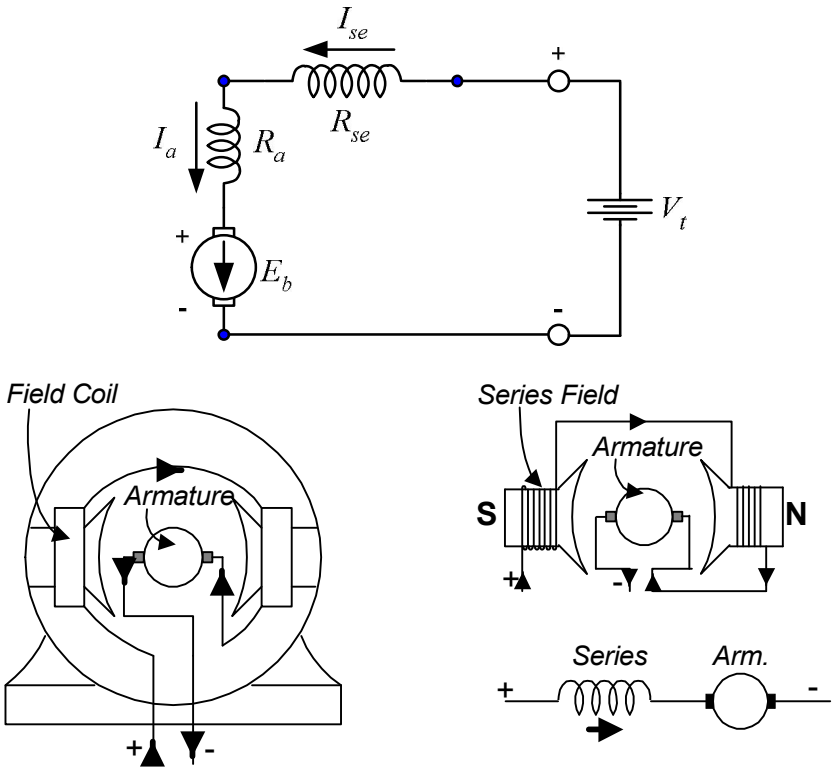
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกวงจรกระตุ้นสนามแม่เหล็กจะต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง *2* ชุด เพื่อจ่ายให้แก่ขดลวดฟิลด์ และขดลวดอาร์เมเจอร์ จึงไม่นิยมใช้กันทั่วไปจะใช้งานเฉพาะอย่างเป็นกรณีพิเศษเท่านั้น แต่มอเตอร์ไฟฟ้ากระสตรงแบบชั้นท์ ซีรีย์และคอมเปานด์นั้นเป็นมอเตอร์ที่ต้องการแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงเพียงชุดเดียว จึงนิยมใช้กันมากกว่าแบบแรก

1) ซีรีย์มอเตอร์ ***(Series Motor)***

มอเตอร์ชนิดนี้ประกอบด้วยขดลวดสนามแม่เหล็กเรียกว่าซีรีย์ฟิลด์ *(Series Field)* พันด้วยลวดเส้นใหญ่ มีจำนวนรอบเพียงเล็กและต่อเป็นอันดับอาร์เมเจอร์ คุณลักษณะ *(Charac-teristic)*คือ พยายามจะหมุนด้วยความเร็วไม่สิ้นสุดถ้าไม่มี *Load* ก็จะหมุนเร็วขึ้นจนกว่าจะพังดังนั้นจึงต้องมี *Load* ประจำเสมอจะหมุนตัวเปล่าไม่ได้ แบบนี้มีแรงเริ่มหมุนสูง *(High Starting Torque)* และนำไปใช้กับงานหนักเช่น มอเตอร์สตาร์ทของรถยนต์ปั้นจั่นยกของ *(Crane)* กว้านแม่แรง *(Winch)* รถราง *(Tram)* เป็นต้น ดูรูปที่ *6-2-1*

หมายเหตุ หมุนด้วยความเร็วไม่สิ้นสุดนั้น หมายความว่าหมุนไม่คงที่มีการเร่งความเร็วขึ้นทุก ๆ ขณะในภาษาอังกฤษเรียกว่า *"Run Away"*

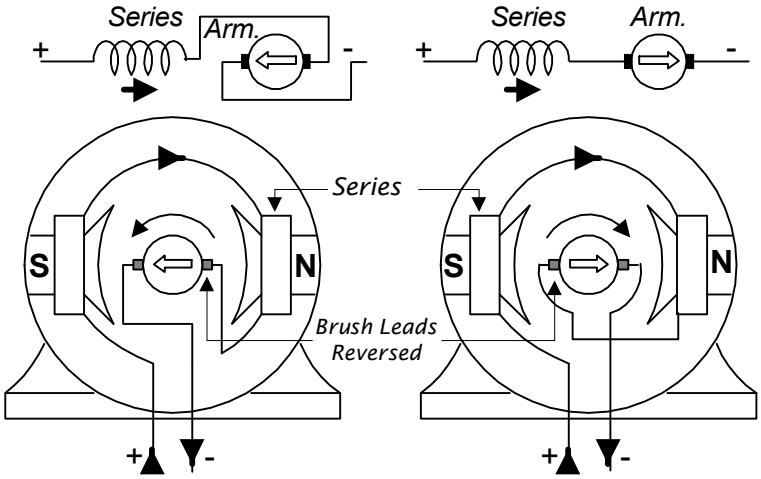
ตัวอย่าง ซีรีย์มอเตอร์ชนิดขั้วสนามแม่เหล็ก *2* ขั้ว



รูปที่ *6-2-1*

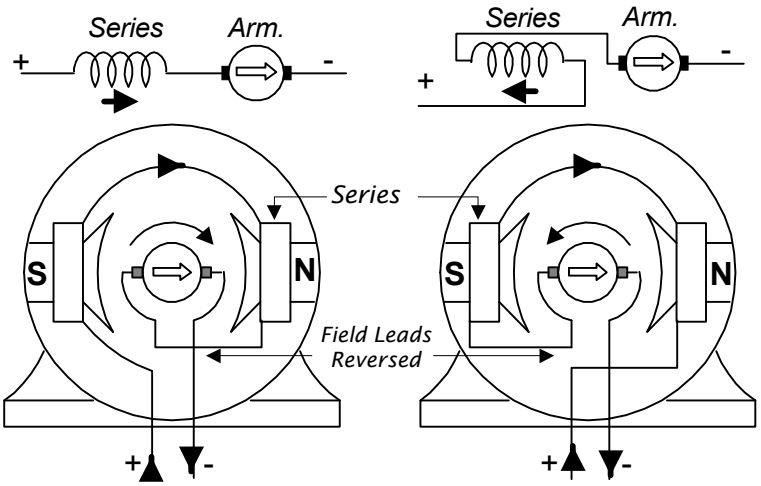
การกลับทางหมุน กลับได้ 2 วิธีดังนี้

ก. กลับโดยกลับทิศทางการไหลของกระแสใน *Armature* ดูรูปที่ *12-22*



รูปที่ *6-2-2*

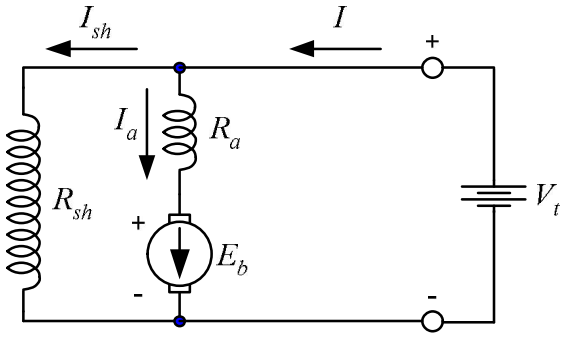
ข. กลับโดยกลับทิศทางการไหลของกระแสใน *Field Pole* ดูรูปที่ *6-2-3*



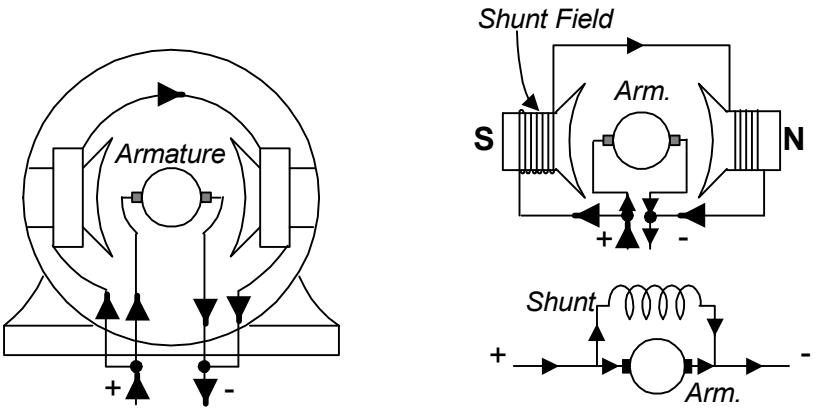
รูปที่ *6-2-3*

2) ชั้นท์มอเตอร์ ***(Shunt Motor)***

เป็นแบบที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปมากกว่าแบบอื่น ๆ ขดลวดสนามแม่เหล็กเรียกว่าชั้นท์ฟิลด์ *(Shunt Field)* พันด้วยลวดเส้นเล็กมีจำนวนรอบมากต่อขนานกับอาร์เมเจอร์คุณลักษณะ *(Characteristic)* คือมีแรงเริ่มหมุนต่ำแต่รอบการหมุนคงที่ *(Low Starting Torque Constant Speed)* ตั้งแต่ไม่มี *Load* จนกระทั่งถึง *Load* เต็มที่ แบบนี้บังคับรอบการหมุนของมอเตอร์ได้ และนำไปใช้กับงานเช่น เครื่องเจาะ *(Drilling)* เครื่องกลึง *(Lathe)* เป็นต้น ดูรูปที่ *6-2-4*

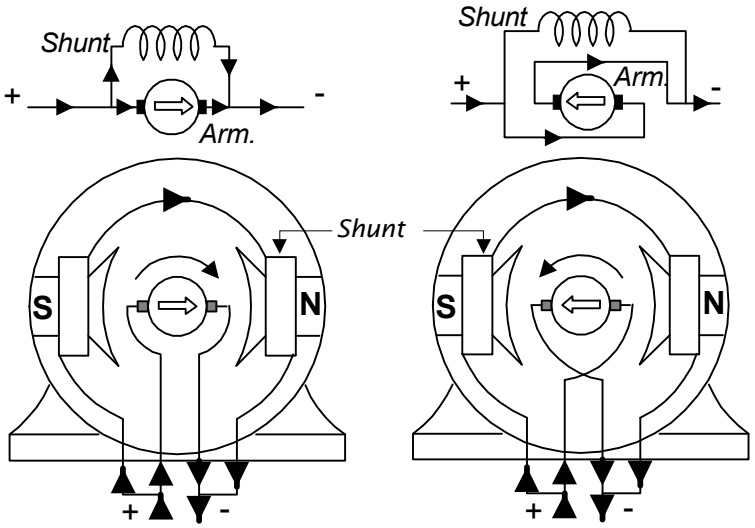


ตัวอย่าง ชั้นมอเตอร์ชนิดขั้วสนามแม่เหล็ก *2* ขั้ว ดูรูปที่ *6-2-4*



รูปที่ *6-2-4*

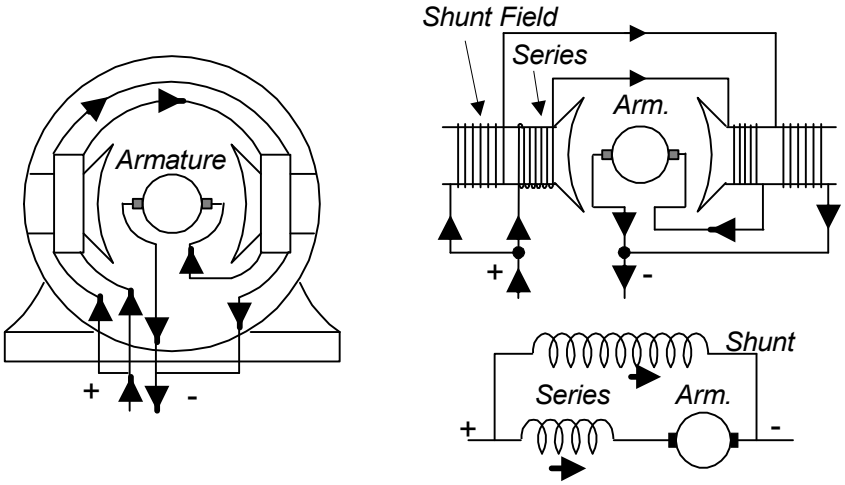
การกลับทางหมุน ดูรูปที่ *6-2-5*



รูปที่ *6-2-5*

3) คอมเปานด์มอเตอร์ ***(Compound Motor)***

เพื่อจะให้มอเตอร์มีความเร็วสม่ำเสมอทั่วกันทุก ๆ *Load* จะต้องมีขดลวดสนามแม่เหล็ก *(Field Coil) 2* ชุดรวมกันคือ เซียรี่ส์ฟิลด์ *(Series Field)* กับชั้นท์ฟิลด์ *(Shunt Field)* และรวมคุณลักษณะ *(Characteristic)* ของทั้ง *2* แบบไว้ด้วยกัน คือมีแรงเริ่มหมุนสูง แต่รอบการหมุนคงที่ *(High Starting Torque Constant Speed)* ตั้งแต่ไม่มี *Load* จนกระทั่งถึง *Load* เต็มที่ คอมเปานด์มอเตอร์ยังแบ่งออกได้เป็น *2* ชนิด คือแบ่งตามทิศทางการไหลของกระแสในขดลวดสนามแม่เหล็กดังนี้ ดูรูปที่ *6-2-6*



รูปที่ *6-2-6*

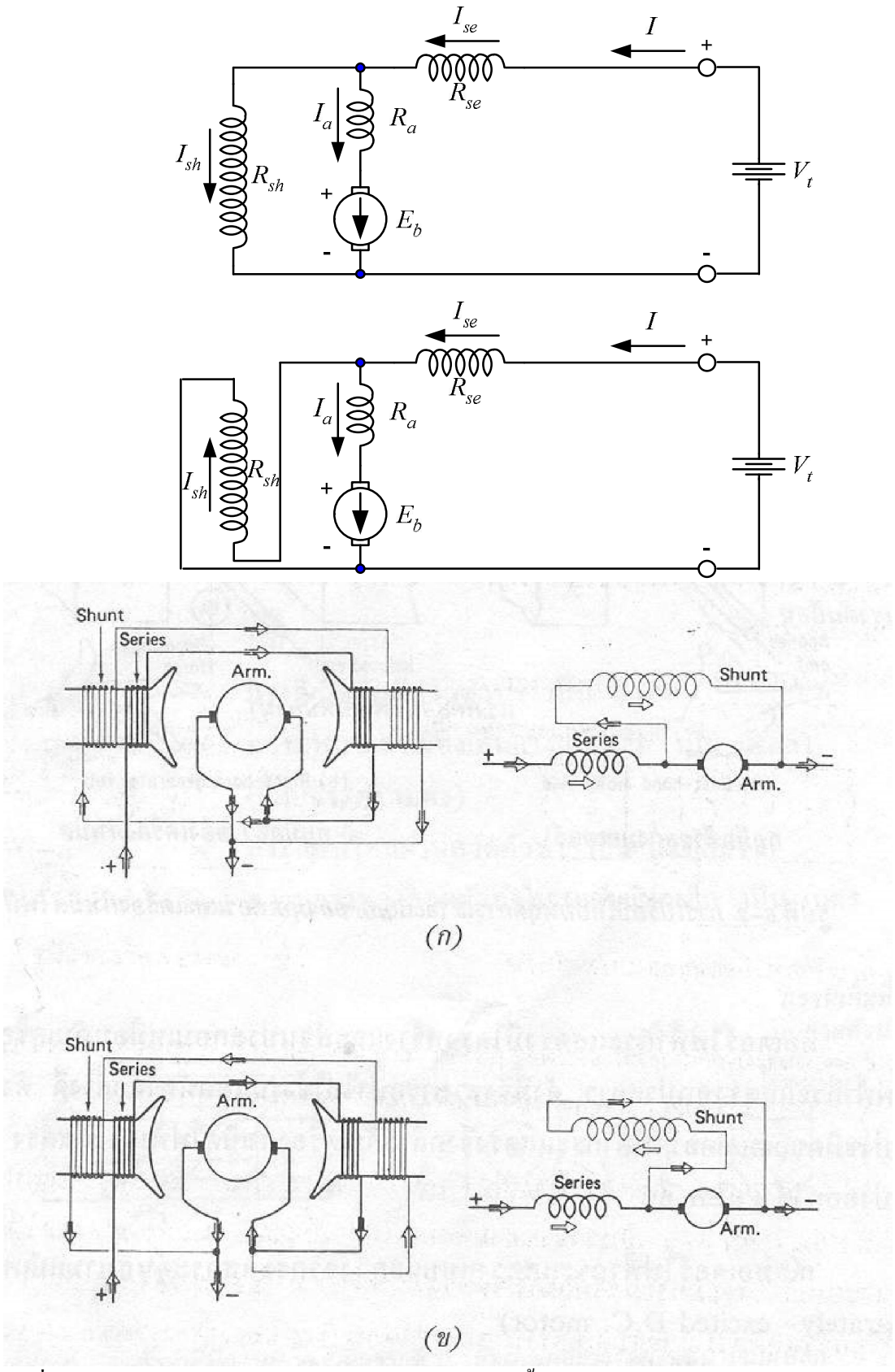
1. คิวมูเลตีฟ คอมเปานด์มอเตอร์ *(Cumulative Compound Motor)*

2. ดีฟเฟอเรนเชียลคอมเปานด์มอเตอร์ *(Differential Compound Motor)*

การต่อวงจรภายในของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบคอมเปานด์นั้นต่อได้ *2* แบบ คือ

- คิวมูเลตีฟ คอมเปานด์ = ต่อวงจรให้แอมแปร์เทินส์ของซีรีย์ฟิลด์เสริมกับแอมแปร์เทินส์ของชั้นท์ฟิลด์
- ดิฟเฟอเรนเชียล คอมเปานด์ = ต่อวงจรให้แอมแปร์เทินส์ของซีรีย์ฟิลด์ต่อต้านกับแอมแปร์เทินส์ของชั้นท์ฟิลด์

ดังแสดงไว้ในรูปที่ *6-3* ก. และ *6-3* ข.

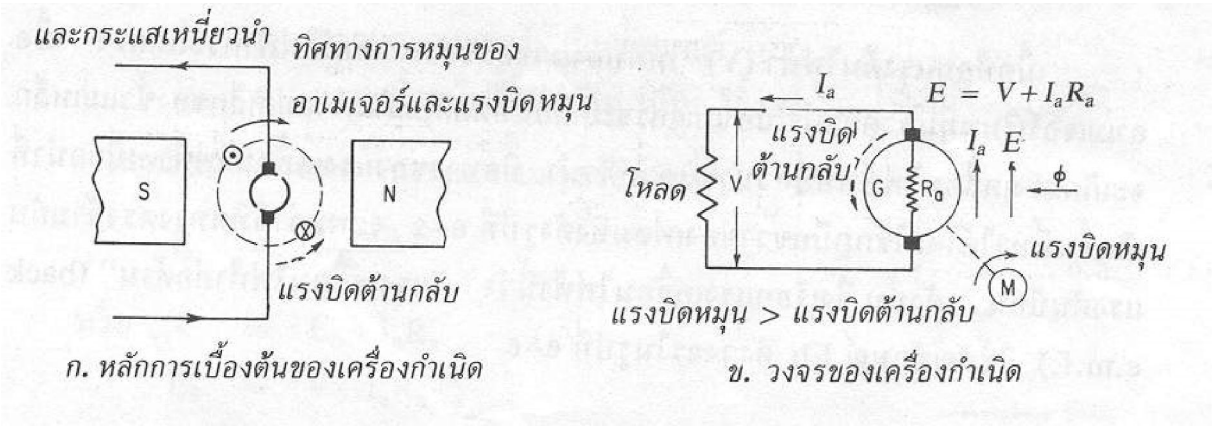


รูปที่ 6-3 ก. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชอร์ทชั้นท์ คิวมูเลตีฟ คอมเปานด์

ข. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชอร์ทชั้นท์ ดิฟเฟอเรนเชียล คอมเปานด์

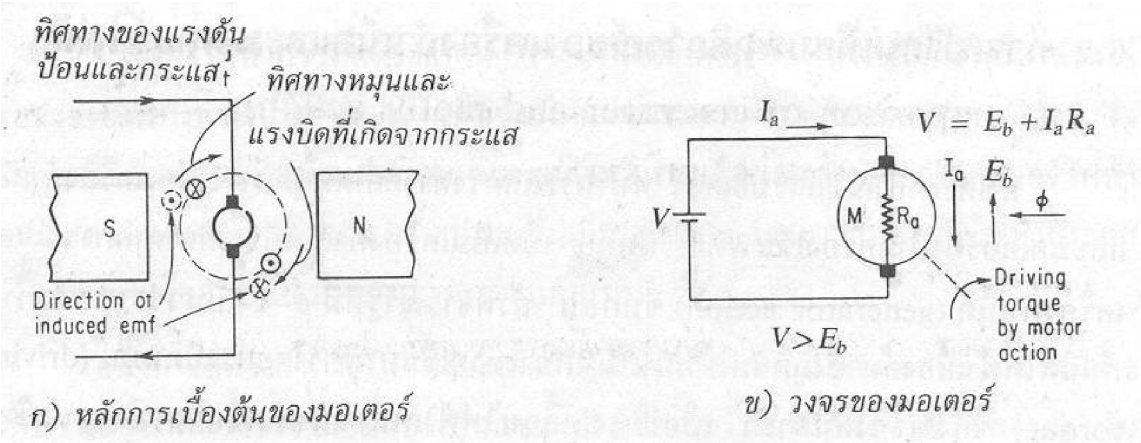
6.2 การเปรียบเทียบพฤติการณ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและมอเตอร์ไฟฟ้า *(Comparison of generator and motor action)*

ทั้งเครื่องกำเนิดและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงต่างก็เกิดพฤติการณ์ของเครื่องกำเนิดและมอเตอร์ในเครื่องเดียวกัน นั่นคือ เมื่อเป็นเครื่องกำเนิดก็จะเกิดพฤติการณ์ของเครื่องกำเนิดขึ้นก่อน ถ้าพิจารณารูปที่ *6-4* เป็นวงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเบื้องต้น ซึ่งถูกขับให้หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาโดยแรงบิดหมุน *(driving torque)* ของเครื่องต้นกำลัง เมื่อมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นและมีกระแสไหลออกจากอาร์เมเจอร์จะมีแรงต้านเกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ทำให้ความเร็วของเครื่องกำเนิดลดลงเรียกแรงต้านที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ว่า *"*แรงบิดต้านกลับ*"* *(retarding torque)* หรือ พฤติการณ์ของมอเตอร์ ทำให้ความเร็วลดลงมาก มีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วลดลง จึงจำเป็นต้องเพิ่มพลังงานกลขึ้นที่เครื่องต้นกำลังเพื่อเร่งรอบให้สูงขึ้น



รูปที่ *6-4* แสดงพฤติการณ์ของมอเตอร์ *(motor action)* ซึ่งเกิดขึ้นในรูปของ *"*แรงบิดต้านกลับ*"* *(retarding torque)* เป็นผลทำให้ความเร็วของเครื่องกำเนิดลดลง

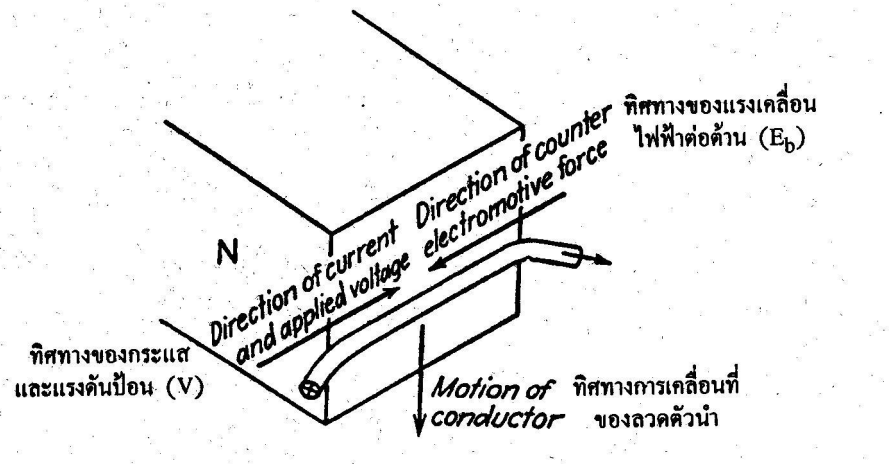
ในกรณีของมอเตอร์ ก็จะเกิดพฤติการณ์ของมอเตอร์ขึ้นก่อนถ้าพิจารณารูปที่ *6-5* เป็นวงจรของมอเตอร์ไฟฟ้าเบื้องต้น เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรอาร์เมเจอร์จะมีกระแสไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์เริ่มหมุน *(*เรียกว่าพฤติการณ์ของมอเตอร์*)* เมื่อลวดตัวนำในอาร์เมเจอร์หมุนตัดสนามแม่เหล็กจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นในลวดตัวนำมีทิศทางสวนทางหรือตรงข้ามกับแรงดันป้อน เรียกแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ว่า *"*แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้าน*"* *(back e.m.f. or counter e.m.f.)* หรือ พฤติการณ์ของเครื่องกำเนิด

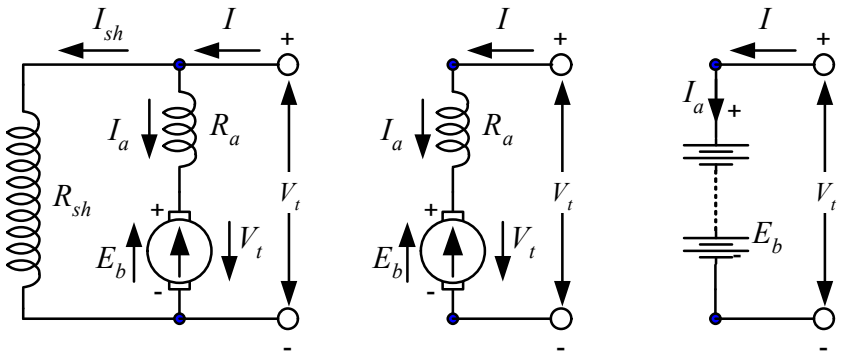


รูปที่ *6-5* แสดงพฤติการณ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นในรูปของ *"*แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้าน*"* มีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงดันป้อนเป็นผลให้กระแสอาร์เมเจอร์ของมอเตอรไฟฟ้าลดลง

6.3 แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้าน ***(back e.m.f. or counter e.m.f.)***

เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า *(V_t)* ให้กับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เมื่ออาร์เมเจอร์หมุนลวดตัวนำในอาร์เมเอจร์จะเคลื่อนที่ตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กจะกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นลวดตัวนำ ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นนี้หาได้โดยใช้กฎมือขวาของแฟลมมิ่งดังรูปที่ *6-2* จะพบว่ามีทิศทางตรงข้ามกับแรงดันป้อน ดังนั้นจึงเรียกแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้ว่า *"*แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้าน*" (back e.m.f.)* ใช้สัญลักษณ์ E_b ดังวงจรในรูปที่ *6-6*





รูปที่ 6-6 ก. วงจรของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชั้นท์

ข. วงจรของอาร์เมเจอร์

ค. วงจรสมมูลย์ของอาร์เมเจอร์ เขียนแทนแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้านด้วยแบตเตอรี่ E_b

เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้านเกิดจากการที่ลวดตัวนำหมุนตัดเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กเช่นเดียวกับกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นจึงมีสมการเช่นเดียวกับการหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า คือ

$$\boxed{E_b = \frac{\varnothing ZPN}{60a}} \quad \text{โวลท์} \qquad \ldots 6.1$$

และเนื่องจาก $\frac{ZP}{60a}$ เป็นค่าคงที่ของมอเตอร์แต่ละตัว ดังนั้นจึงได้

$$E_b = K_1 \varnothing N \qquad \ldots 6.2$$

เมื่อ K_1 = ค่าคงที่ของมอเตอร์ $= \frac{ZP}{60a}$

N = ความเร็วรอบของมอเตอร์ รอบต่อนาที

$\varnothing$ = จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งขั้ว เวเบอร์

จากวงจรในรูปที่ 6-6 เมื่อกำหนดให้

V_t = แรงดันป้อน *(applied voltage)* โวลท์

R_a = ความต้านทานในวงจรของอาร์เมเจอร์ โอห์ม

I_a = กระแสอาร์เมเจอร์ แอมแปร์

E_b = แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้าน โวลท์

เราสามารถเขียนสมการกระแสอาร์เมเจอร์ได้ดังนี้

$$I_a = \frac{V_t - E_b}{R_a} \qquad \ldots 6.3$$

หรือ $V_t = E_b + I_aR_a$

$\therefore E_b = Vt - I_aR_a$

จากสมการ *6.2* และ *6.3* จะสังเกตเห็นว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้าน E_b จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ $\varnothing$ และ N ดังนั้นถ้า $\varnothing$ คงที่จะได้ $E_b \alpha N$ นั่นคือ

เมื่อ N มีค่ามาก เช่น มอเตอร์หมุนตัวเปล่า *(no-load)* จะทำให้ E_b มีค่ามาก และกระแส I_a จะมีค่าลดลง ในทางตรงกันข้ามถ้า N มีค่าน้อย เช่นขณะมอเตอร์หมุนขับโหลดเต็มพิกัด *(full load)* จะทำให้ E_b มีค่าน้อยลง กระแส I_a จะมีค่าเพิ่มขึ้น เพื่อทำให้เกิดแรงบิด *(torque)* เหมาะสมกับขนาดของโหลดที่เพิ่มขึ้น และกระแส I_a จะมีค่ามากที่สุดเมื่อ N เท่ากับศูนย์ ซึ่งจะได้ E_b เท่ากับศูนย์ด้วยสภาพเช่นนี้จะเกดขึ้นในขณะเริ่มหมุน *(start)* หมายถึง สับสวิทช์จ่ายแรงดันป้อนให้มอเตอร์แล้วมอเตอร์กำลังจะเริ่มหมุน

6.4 สมการแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ ***(Voltage equation of a motor)***

จากสมการที่ *6.4* เขียนสมการของแรงดันป้อน *(applied voltage)* V_t ที่ขั้วอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ได้ดังนี้คือ

$$V_t = E_b + I_a.R_a$$

เรียกสมการข้างบนนี้ว่า สมการแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์

ใช้กระสอาร์เมเอจร์ *Ia* คูณเข้าไปทั้งสองข้างของสมการ

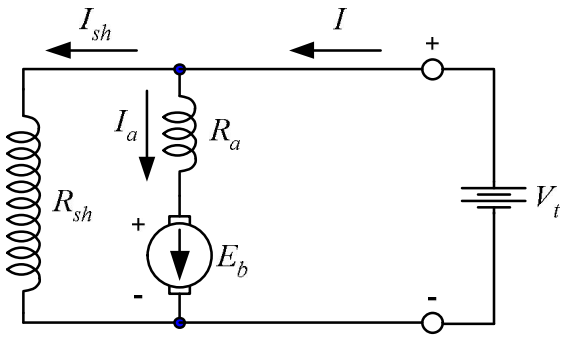
$$V_t.I_a = E_b.I_a + I_a^2.R_a \qquad ...6.5$$

จากรูปที่ *6-7* จะได้

$V_t.I_a$ = กำลังอินพุทที่จ่ายให้กับอาร์เมเจอร์ *(electrical input to the armature)* เป็น วัตต์

$E_b.I_a$ = กำลังไฟฟ้าส่วนที่เปลี่ยนรูปเป็นกำลังกลในอาร์เมเจอร์ *(electrical equivalent of mechanical power developed in the armature)* เป็น วัตต์

$I_a^2.R_a$ = การสูญเสียในขดลวดอาร์เมเจอร์ *(Cu loss in the armature)* เป็นวัตต์

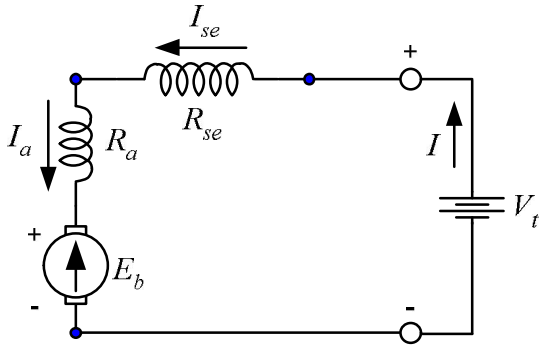


รูปที่ 6-7 วงจรของชั้นท์มอเตอร์

จากสมการที่ 6-4 จะสังเกตเห็นว่า กำลังไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ได้รับ *(armature input)* ส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปในขดลวดอาร์เมเจอร์ คือ การสูญเสีย $I^2.R$ และอีกส่วนหนึ่งจะใช้สำหรับเปลี่ยนรูปเป็นกำลังกล *(mechanical power)* ภายในอาร์เมเจอร์ ดังนั้นการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์จึงอาจหาได้จากอัตราส่วนของกำลังกลที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ต่อกำลังอินพุทของมัน คือ

$$\frac{E_b I_a}{V_t I_a} = \frac{E_b}{V_t}$$

สมการของมอเตอร์ไฟฟ้า ***Self Excited*** แบบอนุกรม ***(Series Motor)***



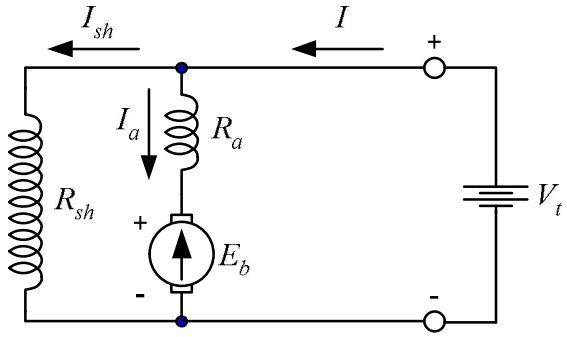
$$\boxed{V_t = E_b + I_a R_a + I_{se} R_{se}}$$

$$\boxed{I_a = I_{se} = I}$$

$$\boxed{V_t = E_b + I_a (R_a + R_{se})}$$

I = กระแสไฟฟ้าที่ออกมาจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า

สมการของมอเตอร์ไฟฟ้า ***Self Excited*** แบบขนาน ***(Shunt Motor)***

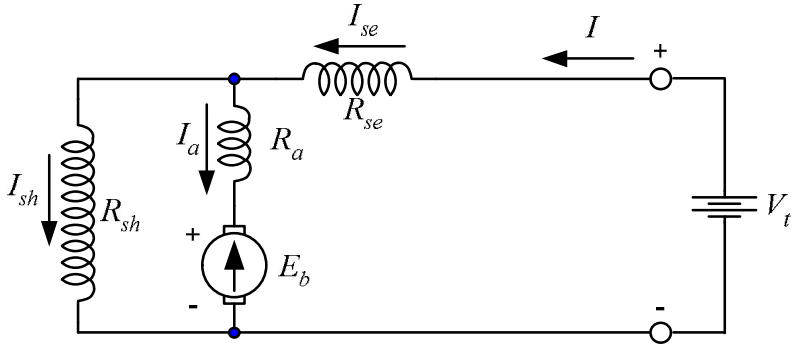


$$V_t = E_b + I_a R_a$$

$$I = I_a + I_{sh}$$

$$I_{sh} = \frac{V_t}{R_{sh}}$$

สมการของมอเตอร์ไฟฟ้า ***Self Excited*** แบบผสม ***(Short Shunt Compoundt Motor)***



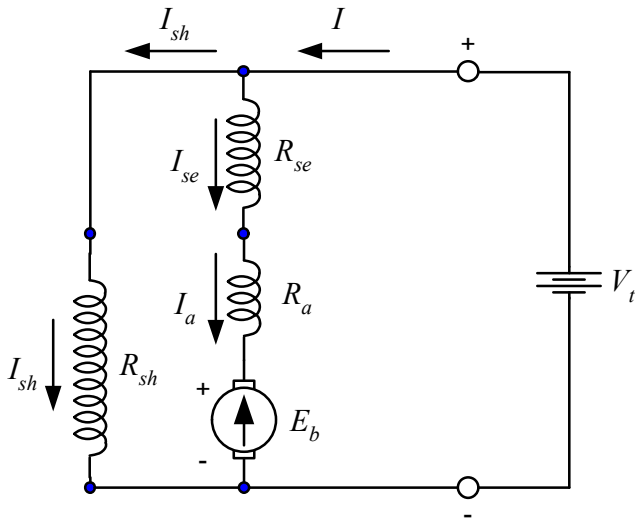
$$V_t = E_b + I_a R_a + I_{se} R_{se}$$

$$I = I_{se}$$

$$I = I_{sh} + I_a$$

$$I_{sh} = \frac{V_t}{R_{sh}}$$

สมการของมอเตอร์ไฟฟ้า ***Self Excited*** แบบผสม ***(Long Shunt Compoundt Motor)***



$$V_t = E_b + I_a R_a + I_{se} R_{se}$$

$$I_a = I_{se}$$

$$V_t = E_b + I_a (R_a + R_{se})$$

$$I = I_{sh} + I_a$$

$$I_{sh} = \frac{V_t}{R_{sh}}$$

ตัวอย่างที่ ***6.1*** มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชั้นท์ $440\ V$ ตัวหนึ่ง อาร์เมเจอร์และขดลวดฟิลด์มีความต้านทาน 0.8Ω และ 200Ω ตามลำดับ จงหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้านเมื่อมันจ่ายกำลังเอาท์พุท $7.46\ kW$ ที่ประสิทธิภาพ 85%

วิธีทำ

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

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

แทนค่า $$P_{in} = \frac{7.46}{85} \times 100$$

กระแสอินพุทของมอเตอร์ $$I = \frac{P_{in}}{V_t} = \frac{8.776 \times 10^3 W}{440V} = 19.95A.$$

กระแสชั้นท์ฟิลด์ $$I_{sh} = \frac{V_t}{R_{sh}} = \frac{440V}{220\Omega} = 2A.$$

กระแสอาร์เมเจอร์ $$I_a = I - I_{sh} = 19.95 - 2 = 17.95A.$$

แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้าน $$E_b = V_t - I_a R_a = 440 - (1.75 \times 0.8) = 425.64V.$$ ตอบ

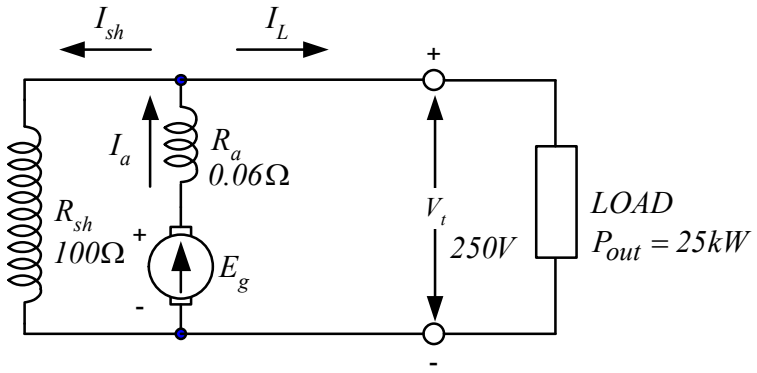
<u>ตัวอย่างที่ **6.2**</u> เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบชั้นท์ขนาด $25\ kW$, $250V$ ตัวหนึ่ง อาร์เมเจอร์และฟิลด์มีความต้านทาน 0.06Ω และ 100Ω ตามลำดับ จงหากำลังทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์เมื่อ

ก. ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกำลังเอาท์พุท $25\ kW$ และ

ข. ทำงานเป็นมอเตอร์รับกำลังอินพุท $25kW$

วิธีทำ

ก. เมื่อทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กำลังทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ = E_gI_a



$$E_g = V_t + I_aR_a$$

หาค่า I_a และ E_g

กระแสอาร์เมเจอร์ $I_a = I_L + I_{sh}$

$$I_L = \frac{P_{out}}{V_t} = \frac{25\times10^3 W}{250V} = 100A.$$

กระแสชั้นท์ฟิลด์ $$I_{sh} = \frac{V_t}{R_{sh}} = \frac{250V}{100\Omega} = 2.5A.$$

กระแสอาร์เมเจอร์ $$I_a = I_L + I_{sh} = 100 + 2.5 = 102.5A.$$

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ $E_g = V_t + I_a R_a$

$= 250 + (102.5 \times 0.06)$

$= 256.15V.$

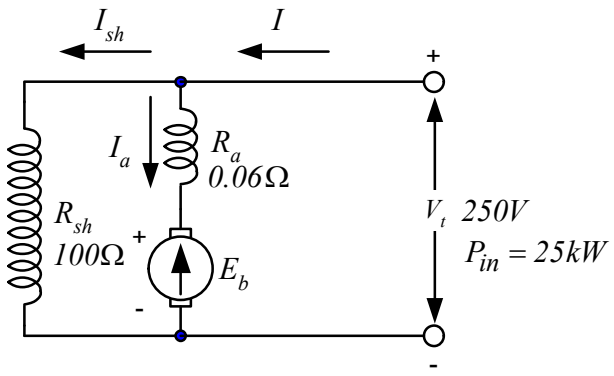
$\therefore$ กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ $= E_g I_a$

$= 256.15 \times 102.5$

$= 26{,}255W.$

$= 26.255kW.$ ตอบ

ข. เมื่อทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า กำลังทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ = $E_b I_a$



$$E_b = V_t - I_a R_a$$

หาค่า I_a และ E_b

กระแสอาร์เมเจอร์ $I_a = I - I_{sh}$

$$I = \frac{P_{in}}{V_t}$$

$$= \frac{25 \times 10^3 W}{250V}$$

$= 100A.$

กระแสชั้นท์ฟิลด์ $I_{sh} = 2.5A.$

กระแสอาร์เมเจอร์ $I_a = I - I_{sh}$

$= 100 - 2.5$

$= 97.5\ A.$

แรงเคลื่อนต่อต้าน $E_b = V_t - I_a R_a$

$= 250 - (97.5 \times 0.06)$

$= 244.15\ V.$

$\therefore$ กำลังที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ $= EbIa$

$= 244.15 \times 97.5$

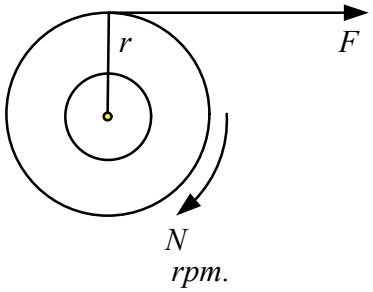
$= 23{,}804\ W$

$= 23.804\ kW.$ ตอบ

6.5 แรงบิดที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ ***(Armature torque of a motor) T***

แรงบิด *(torque)* หมายถึง โมเมนต์ของแรงที่ทำให้เกิดการหมุนหรือการบิดรอบแกนอันหนึ่ง ซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้ผลคูณของแรงกับรัศมี ณ จุดที่แรงกระทำ

พิจารณามู่เล่ อันหนึ่งที่มีรัศมี r เมตร ดังรูปที่ *6-9* มีแรง F นิวตันมากระทำกับมู่เล่ ทำให้มู่เล่หมุนไปด้วยความเร็ว n รอบต่อวินาที



รูปที่ *6-9*

ดังนั้น แรงบิด $T = F \times r$ นิวตัน-เมตร

งานที่ทำได้ *1* รอบจากแรง F = แรง x ระยะทาง

$= F \times 2\pi r$ จูลส์

งานที่ทำได้ต่อวินาที หรือกำลังกลที่เกิดขึ้น

$= F \times 2\pi r \times n$ จูลส์/วินาที หรือ วัตต์

$= (F \times r) \times 2\pi n$ วัตต์

$= T \times 2\pi n$ วัตต์

เมื่อ $n = N / 60$ และ N = ความเร็วรอบ เป็น รอบต่อนาที

$$= \frac{2\pi TN}{60} \text{ วัตต์} \quad ..(1)$$

จากสมการที่ 6.5 $V_t.I_a = E_b.I_a + I_a^2.R_a$

กำลังกลที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ $= E_b.I_a$ วัตต์ ..(2)

$\therefore (1) = (2)$ $\frac{2\pi TN}{60} = E_b.I_a$

$\therefore T = \frac{60.E_b.I_a}{2\pi N}$ นิวตัน-เมตร..6.6

หรือ $\boxed{T = \frac{9.55.E_b.I_a}{N}}$ นิวตัน-เมตร..6.7

จาก $E_b = \frac{\varnothing ZNP}{60a}$ โวลท์ ..6.1

แทนค่า E_b จากสมการ 6.1 ลงในสมการ 6.7 จะได้

$T = \frac{9.55\frac{\varnothing ZNP}{60a}.I_a}{N}$ ...6.8

$= 0.159\frac{\varnothing ZP}{a}.I_a$ นิวตัน-เมตร

$$\boxed{T = \left[\frac{0.159ZP}{a}\right].\varnothing.I_a}$$

ค่าที่อยู่ภายในวงเล็บเป็นค่าคงที่ของแรงบิด

$\therefore T = K_2.\ \varnothing.\ I_a$ ...6.9

เมื่อ K_2 = ค่าคงที่ของแรงบิด $= \left[\frac{0.159ZP}{a}\right]$

ข้อสังเกต จากสมการที่ 6.9 จะได้แรงบิด $T\alpha\ \varnothing.\ I_a$

ในกรณีซีรีย์มอเตอร์ $\varnothing$ จะแปรผันโดยตรงกับ I_a (ก่อนแกนเหล็กถึงจุดอิ่มตัว) ดังนั้น จะได้ $T\ \alpha\ I_a^2$

ในกรณีชั้นท์มอเตอร์ ถ้า V_t คงที่จะได้ $\varnothing$ คงที่ด้วย ดังนั้น $T\ \alpha\ I_a$

6.6 แรงบิดที่ปลายเพลา ***(Shaft torqu) , T_{sh}***

แรงบิดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ *(armature torque)* ในสมการที่ *6.6 , 6.7* และ *6.8* นั้น ไม่ใช่แรงบิดที่นำไปใช้งาน ทั้งนี้เพราะว่าแรงบิดบางส่วนจะต้องจ่ายให้กับการสูญเสียในแกนเหล็กและความฝืด *(iron and friction losses)* ของมอเตอร์

ดังนั้น แรงบิดที่นำไปใช้งานก็คือ แรงบิดที่ปลายเพลา *(shaft torque)* หรือ T_{sh} สำหรับกำลังกลเอาท์พุทของมอเตอร์นั้นหาได้จาก

$$\boxed{P_{out} = \frac{T_{sh} x 2\pi N}{60}} \quad \text{วัตต์}$$

เมื่อ T_{sh} = แรงบิดที่ปลายเพลา นิวตัน-เมตร

N = ความเร็ว รอบต่อนาที

และ P_{out} = กำลังเอาท์พุทของมอเตอร์ วัตต์

หรือ $T_{sh} = \frac{P_{out} x 60}{2\pi N}$ นิวตัน-เมตร

$$\boxed{T_{sh} = \frac{9.55 P_{out}}{N}} \quad \text{นิวตัน-เมตร} \qquad ..6.10$$

ความแตกต่างระหว่างแรงบิดทั้งสองแห่ง *(T-T_{sh})* เรียกว่า *"*แรงบิดสูญเสีย*" (lost torque)* เนื่องจากการสูญเสียในแกนเหล็กและความฝืดของมอเตอร์ ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\boxed{T - T_{sh} = \text{แรงบิดสูญเสีย} = \frac{9.55 \times Iron\ \&\ friction\ losses}{N}}$$

ตัวอย่าง 6.3 ชั้นท์มอเตอร์ *4* ขั้ว อาร์เมเจอร์พันแบบเวฟมี *252* ตัวนำ มีเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว *0.04 Wb.* เมื่อหมุนขับโหลดกินกระแส *100A.* ที่แรงดัน *250V.* มีความเร็วรอบ *1000rpm.* มีกระแสฟิลด์ของมอเตอร์ *5A.* ถ้าการสูญเสียในแกนเหล็กและความฝืดเป็น *2kW.* จงหา

ก. แรงบิดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์

ข. แรงบิดที่ปลายเพลา

วิธีทำ

ก. แรงบิดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ $= \boxed{\frac{9.55.E_b.I_a}{N}}$

$$E_b = \frac{\varnothing ZPN}{60a}$$

แทนค่า $$= \frac{0.04 \times 252 \times 4 \times 1000}{60 \times 2}$$

$$= 336V.$$

$$I_{sh} = 5\ A.$$

$$I_a = I - Ish$$

$$= 100 - 5$$

$$= 95\ A.$$

$$T = \boxed{\frac{9.55.E_b.I_a}{N}}$$

$$= \frac{9.55 \times 336 \times 95}{1000}$$

$$= 304.836\ N\text{-}m$$

แรงบิดสูญเสีย $$= \frac{9.55 \times Iron\ \&\ friction\ losses}{N}$$

$$= \frac{9.55 \times 2000}{1000}$$

$$= 19.1\ N\text{-}m$$

ข. แรงบิดที่ปลายเพลา , T_{sh}

$$T_{sh} = T \text{ - แรงบิดสูญเสีย}$$

$$= 304.836 - 19.1$$

$$= 285.736\ N\text{-}m$$

ตัวอย่าง 6.4 ชั้นท์มอเตอร์ 4 ขั้ว พันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแลพมี 54 ร่อง มี 20 ตัวนำ / ร่อง มีเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว 0.06 Wb. หมุนด้วยความเร็ว 750 rpm. กินกระแส 250A. ถ้าการสูญเสียในแกนเหล็กและความฝืดเป็น 6kW. จงหา

ก. แรงบิดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์

ข. แรงบิดสูญเสีย

ค. แรงบิดที่ปลายเพลา

วิธีทำ โจทย์กำหนด $\varnothing = 0.06\ Wb.$

$Z = 54$ ร่อง $\times 20$ ตัวนำ/ร่อง

$= 1,080$ ตัวนำ

$I_a = 250A.$

$P = 4$

$a = 4$ (พันแบบแลพ)

$N = 750\ rpm.$

ก. แรงบิดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ $= \boxed{\frac{9.55.E_b.I_a}{N}}$

$$E_b = \frac{\varnothing ZPN}{60a}$$

$$= \frac{0.06 \times 1080 \times 4 \times 750}{60 \times 4}$$

$$= 810\ V.$$

$$T = \boxed{\frac{9.55.E_b.I_a}{N}}$$

$$= \frac{9.55 \times 810 \times 250}{750}$$

$$= 2,578.5\ N\text{-}m \quad \text{ตอบ}$$

ข. แรงบิดสูญเสีย $= \frac{9.55 \times Iron\ \&\ friction\ losses}{N}$

$$= \frac{9.55 \times 6 \times 10^3}{750}$$

$$= 76.4\ N\text{-}m \quad \text{ตอบ}$$

ค. แรงบิดที่ปลายเพลา $T_{sh} = T$ – แรงบิดสูญเสีย

$= 2{,}578.5 - 76.4$

$= 2{,}502.1$ N-m ตอบ

6.7 ความเร็วของมอเตอร์ *(Speed of D.C. motor)*

จากสมการของแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้านในหัวข้อที่ 6.3

$$E_b = V_t - I_a R_a$$

หรือ $$E_b = \frac{\varnothing ZPN}{60a}$$

ดังนั้น $$\frac{\varnothing ZPN}{60a} = V_t - I_a R_a$$

$$\therefore \quad \boxed{N = \frac{(V_t - I_a R_a)}{\varnothing} \times \frac{60a}{ZP}} \ rpm \qquad ...6.11$$

หรือ $$N = \frac{E_b}{\varnothing} \times \frac{60a}{ZP}$$

$$\therefore \quad N = K_3 \frac{E_b}{\varnothing} \qquad ...6.12$$

K_3 = ค่าคงที่ $\frac{60a}{ZP}$

จากสมการ 6.12 จะพบว่าความเร็วของมอเตอร์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้าน E_b และเป็นสัดส่วนผกผันกับเส้นแรงแม่เหล็ก $\varnothing$

$$\therefore \quad \boxed{N \ \alpha \ \frac{E_b}{\varnothing}}$$

ก.กรณีซีรีย์มอเตอร์

ให้ N_1 = ความเร็วของมอเตอร์เมื่อขับโหลดค่าๆ หนึ่ง

I_{a1} = กระแสอาร์เมเจอร์

$\varnothing_1$ = เส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว

และ N_2 , I_{a2} และ $\varnothing_2$ เป็นค่าที่สอดคล้องกัน แต่โหลดของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงเป็นอีกค่าหนึ่ง ดังนั้นเราจะได้

$$N_1 \ \alpha \ \frac{E_{b1}}{\varnothing_1} \text{ เมื่อ } E_{b1} = V_t - I_{a1} R_a$$

$$N_2 \ \alpha \ \frac{E_{b2}}{\varnothing_2} \text{ เมื่อ } E_{b2} = V_t - I_{a2} R_a$$

$$\therefore \quad \boxed{\frac{N_2}{N_1} = \frac{E_{b1}}{E_{b2}} \times \frac{\varnothing_1}{\varnothing_2}} \qquad ...6.13$$

ก่อนที่ขั้วแม่เหล็กจะถึงจุดอิ่มตัว *(saturation)* ; $\varnothing \alpha I_a$

$$\therefore \quad \boxed{\frac{N_2}{N_1} = \frac{E_{b2}}{E_{b1}} \times \frac{I_{a1}}{I_{a2}}} \qquad ...6.14$$

ข. กรณีชั้นท์มอเตอร์

มีสมการของความเร็วเช่นเดียวกับซีรีย์มอเตอร์ ดังนั้นจากสมการที่ *6.13* ถ้าแรงดันป้อน V_t ของชั้นท์มอเตอร์คงที่ จะได้ $\varnothing$ คงที่ด้วย ดังนั้น $\varnothing_1 = \varnothing_2$

$$\therefore \quad \boxed{\frac{N_2}{N_1} = \frac{E_{b2}}{E_{b1}}} \qquad ...6.15$$

6.8 สปีดเรกกูเลชั่น ***(Speed regulation)***

หมายถึง การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบจากสภาวะโหลดเต็มพิกัดมาเป็นสภาวะไร้โหลด ภายใต้เงื่อนไขกำหนด อัตราการเปลี่ยนแปลงนี้จะอยู่ในรูปเปอร์เซนต์ของความเร็วรอบในสภาวะโหลดเต็มพิกัด เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\boxed{\%\text{สปีดเรกกูเลชั่น} = \frac{N_{NL} - N_{FL}}{N_{FL}} x100} \qquad ...6.16$$

เมื่อ N_{NL} = ความเร็วรอบเมื่อไร้โหลด *(no-load)*

N_{FL} = ความเร็วรอบเมื่อโหลดเต็มพิกัด *(full-load or rated load)*

6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็ว ***(Relation between torque and speed)***

ในการสตาร์ทมอเตอร์จากสภาวะหยุดนิ่งจนกระทั่งหมุนอยู่ที่ความเร็วค่าใดค่าหนึ่งนั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้านจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจาก $E_b = 0$ ในช่วงแรกซึ่งขณะนั้นกระแส I_a จะสูงมาก เนื่องจาก $I_a = \frac{V_t - E_b}{R_a}$ จึงทำให้แรงบิดของมอเตอร์มีค่าสูงกว่าแรงบิดที่โหลดต้องการมาก จึงทำให้เกิดอัตราเร่งสูงมาก ความเร็วรอบของมอเตอร์จะสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งแรงบิดที่โหลดต้องการเท่ากับแรงบิดของมอเตอร์ ความเร็วรอบจะคงที่ ถ้าโหลดของมอเตอร์เพิ่มขึ้นแรงบิดที่โหลดต้องการ *(load torque)* จะมีค่าสูงขึ้น แรงเบรคที่กระทำกับเพลาของมอเตอร์มีค่ามากขึ้น จะทำให้เกิดแรงหน่วงทำให้ความเร็วรอบลดลง ในกรณีของชั้นท์มอเตอร์ ถ้าแรงดันป้อนคงที่ถือว่า $\varnothing$ จะมีค่าคงที่ด้วย *(*ในทางปฏิบัติ $\varnothing$ จะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเนื่องจากผลของอาร์เมเจอร์รีแอคชั่น*)* ดังนั้น เมื่อความเร็วรอบ N ลดลง E_b จึงลดลงด้วย แต่เนื่องจาก $I_a = \frac{V_t - E_b}{R_a}$ จึงทำให้ I_a เพิ่มขึ้น และแรงบิดของมอเตอร์ $T = K\varnothing I_a$ จะมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นความเร็วรอบจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งแรงบิดของมอเตอร์เท่ากับแรงบิดที่โหลดต้องการ ความเร็วรอบจึงจะเริ่มคงที่

ในทางตรงกันข้าม ถ้าโหลดของมอเตอร์ลดลง แรงบิดที่โหลดต้องการจะน้อยกว่าแรงบิดของมอเตอร์ แรงเบรคหรือแรงหน่วงที่เพลาจะมีค่าลดลง ทำให้เกิดอัตราเร่งและความเร็วรอบเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วรอบ N เพิ่มขึ้น E_b จะเพิ่มขึ้นด้วย กระแส I_a จะลดลง ทำให้แรงบิดของมอเตอร์ลดลง อัตราเร่งจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งเท่ากับแรงบิดที่โหลดต้องการ

ตัวอย่างที่ **6.5** มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชั้นท์ $220V$ ตัวหนึ่ง หมุนด้วยความเร็ว $500\ rpm$ เมื่อกระแสอาร์เมเจอร์เป็น $50A$ ถ้าแรงบิดของมอเตอร์เพิ่มขึ้นสองเท่า จงหาความเร็วรอบของมอเตอร์ กำหนดค่า $R_a = 0.2\Omega$

วิธีทำ จากสมการ $T = K.\varnothing.I_a$

หรือ $T \alpha \varnothing.I_a$

กรณีของชั้นท์มอเตอร์ ถ้าป้อนแรงดันแหล่งจ่าย V_t คงที่จะได้ $\varnothing$ คงที่ด้วย นั่นคือ

$$T \alpha I_a$$

ดังนั้น $T_1 \alpha I_{a1}$ (1)

และ $T_2 \alpha I_{a2}$ (2)

หากระแสอาร์เมเจอร์ เมื่อแรงบิดเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า

$$T_2 = 2T_1$$

$$\frac{T_2}{T_1} = 2$$

เอา $(2)/(1)$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{I_{a2}}{I_{a1}}$$

$$2 = \frac{I_{a2}}{50}$$

$$\therefore \quad I_{a2} = 50 \times 2$$

$$= 100A.$$ ตอบ

จากสมการความเร็วของมอเตอร์

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{E_{b2}}{E_{b1}}$$

$$E_{b1} = V_t - I_{a1}.R_a$$

$$= 220 - (50 \times 0.2)$$

$$= 210V.$$

$$E_{b2} = V_t - I_{a2}.R_a$$

$$= 220 - (100 \times 0.2)$$

$$= 200V.$$

$$\therefore \quad \frac{N_2}{500} = \frac{200}{210}$$

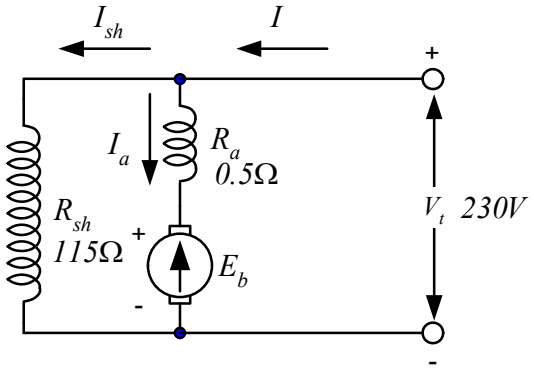
$$N_2 = \frac{200}{210} \times 500$$
$$= 476 \text{ rpm.}$$ ตอบ

ตัวอย่างที่ ***6.6*** ชั้นท์มอเตอร์ $230V$ ตัวหนึ่ง อาร์เมเจอร์และฟิลด์มีความต้านทาน 0.5Ω และ 115Ω ตามลำดับ เมื่อไร้โหลดมีความเร็ว 1200 rpm และมีกระแสอาร์เมเจอร์ $2.5A$ เมื่อทำงาน ณ โหลดเต็มพิกัด ความเร็วลดลงเหลือ 1120 rpm จงหากระแสในสาย และกำลังอินพุทเมื่อมอเตอร์ทำงาน ณ โหลดเต็มพิกัด

วิธีทำ

กระแสในสาย $I = I_{sh} + I_a$

กำลังอินพุท $P_{in} = V_t.I$



จากสมการความเร็วของมอเตอร์

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{E_{b2}}{E_{b1}}$$

$N_1 = 1200$ rpm. , $N_2 = 1120$ rpm.

$$E_{b1} = V_t - I_{a1}.R_a$$
$$= 230 - (2.5 \times 0.5)$$
$$= 228.75 \text{ V.}$$

$\therefore$
$$\frac{1120}{1200} = \frac{E_{b2}}{228.75}$$
$$E_{b2} = \frac{1120}{1200} \times 228.75$$
$$= 213.5 \text{ V.}$$

$$E_{b2} = V_t - I_{a2}.R_a$$

$$I_{a2} = \frac{V_t - E_b}{R_a}$$
$$= \frac{230 - 213.5}{0.5}$$
$$= 33\ A.$$

กระแสชั้นท์ฟิลด์ $I_{sh} = \frac{V_t}{R_{sh}}$
$$= \frac{230V}{115\Omega}$$
$$= 2\ A.$$

กระแสในสายเมื่อโหลดเต็มพิกัด
$$I = I_{sh} + I_{a2}$$
$$= 2 + 33$$
$$= 35\ A.$$

กำลังอินพุท $P_{in} = V_t.I$
$$= 230 \times 35$$
$$= 8{,}050\ W.$$
$$= 8.05\ kW.$$

แบบฝึกหัดบทที่ 6

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชั้นท์ขนาด *37.3 kW , 500V , 1000 rpm* ตัวหนึ่ง มีประสิทธิภาพโหลดเต็มพิกัด *90%* วงจรอาร์เมเจอร์มีความต้านทาน *0.24Ω* และมีแรงดันไฟฟ้าตกที่แปรงถ่านรวม *2V* ถ้ากระแสฟิลด์เป็น *1.8A* จงหา

- กระแสในสายเมื่อโหลดเต็มพิกัด
- แรงบิดที่ปลายเพลาเป็น *N-m* เมื่อโหลดเต็มพิกัด
- ความต้านทานทั้งหมดในมอเตอร์สตาร์ทเตอร์ *(motor starter)* เพื่อจำกัดกระแสขณะสตาร์ทให้เหลือเพียง *1.5* เท่าของกระแสเต็มพิกัด

2. ชั้นท์มอเตอร์ *4* ขั้ว , *220V* ตัวหนึ่ง พันขดลวดแบบแลพมี *540* ตัวนำ กินกระแส *32A* จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ามีกำลังเอาท์พุท *5.595kW* ขดลวดฟิลด์กินกระแส *1A* อาร์เมเจอร์มีความต้านทาน *0.09Ω* และมีเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว *30mWb* จงคำนวณหา

- ความเร็วรอบ
- แรงบิดที่เกิดขึ้นเป็น *N-m*

3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบซีรีย์ตัวหนึ่ง กินกระแส *40A* เมื่อแรงดันป้อนเป็น *220V* หมุนด้วยความเร็ว *800 rpm* ถ้าอาร์เมเจอร์และฟิลด์มีความต้านทาน *0.2Ω* และ *0.1Ω* ตามลำดับ มีการสูญเสียในแกนเหล็กและความฝืด *0.5kW* จงหาแรงบิดที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ และกำลังกลเอาท์พุทของมอเตอร์

4. ซีรีย์มอเตอร์ *4* ขั้ว *200V* ตัวหนึ่ง พันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแลพ มี *280* ร่อง แต่ละร่องมี *4* ตัวนำ กระแสอาร์เมเจอร์ *45A* และเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว *18mWb* ขดลวดฟิลด์และอาร์เมเจอร์มีความต้านทาน *0.3Ω* และ *0.5Ω* ตามลำดับ มีการสูญเสียในแกนเหล็กและความฝืดรวม *800W* มู่เล่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง *0.406m* จงหาแรงดึงเป็นนิวตันเมตรที่ขอบมู่เล่

5. ชั้นท์มอเตอร์ *4* ขั้ว , *240V* ตัวหนึ่ง พันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบเวฟ เมื่อหมุนด้วยความเร็ว *1000 rpm* มีกำลังเอาท์พุท *11.19 kW* อาร์เมเจอร์และฟิลด์กินกระแส *50A* และ *1 A* ตามลำดับ มีลวดตัวนำ *540* ตัว อาร์เมเจอร์มีความต้านทาน *0.1Ω* สมมติว่ามีแรงดันไฟฟ้าตกที่แปรงถ่านข้างละ *1* โวลท์ จงหา

- แรงบิดทั้งหมด *(total torque)*
- แรงบิดใช้งาน *(usefull torque)*
- เส้นแรงแม่เหล็กใช้งานต่อขั้ว *(useful flux/pole)*
- การสูญเสียเนื่องจากการหมุน *(rotational losses)*
- ประสิทธิภาพ

6. ซีรีย์มอเตอร์ *460V* ตัวหนึ่งกินกระแส *40A* มีความเร็วรอบ *500 rpm* จงหาความเร็วและเปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงของแรงบิด ถ้าโหลดลดลงและมอเตอร์กินกระแส *30A* ความต้านทานของอาร์เมเจอร์และวงจรฟิลด์ *0.8Ω* สมมติว่าเส้นแรงแม่เหล็กเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสฟิลด์

7. จงหาแรงบิดเป็นนิวตัน-เมตร ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง *440V* ตัวหนึ่ง อาร์เมเจอร์มีความต้านทาน *0.25Ω* หมุนด้วยความเร็ว *750* รอบต่อนาทีกินกระแส *60A*
[325 Nm]

8. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงตัวหนึ่งมี *4* ขั้ว พันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแลพมี *576* ตัวนำ อาร์เมเจอร์กินกระแส *10A* ถ้าจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้วเป็น *0.2* เวเบอร์ จงหาแรงบิดที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์
[18.3 Nm]

9. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชั้นท์ตัวหนึ่ง อาร์เมเจอร์และฟิลด์มีความต้านทาน *0.025Ω* และ *80Ω* ตามลำดับ เมื่อต่อกับบัสบาร์ที่มีแรงดันไฟฟ้าคงที่ *400V* และถูกขับเป็นเครื่องกำเนิดด้วยความเร็ว *450 rpm* จ่ายกำลังไฟฟ้า *120kW* จงหาความเร็วเมื่อมันทำงานเป็นมอเตอร์ และรับกำลังไฟฟ้า *120kW* จากบัสบาร์เดิม
[435 rpm]

10. ซีรีย์มอเตอร์ตัวหนึ่งเมื่อโหลดเต็มพิกัดมีกระแสอาร์เมเจอร์ *60A* ถ้าโหลดถูกปรับจนกระทั่งกระแสลดลงเป็น *40A* จงหาแรงบิดเป็นเปอร์เซนต์ของแรงบิดเมื่อโหลดเต็มพิกัด ถ้าจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อกระแส *40A* เป็น *70%* ของกระแส *60A*
[46%]

11. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชั้นท์ *4* ขั้วตัวหนึ่ง มีจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว *0.04* เวเบอร์ พันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแลพด้วยลวดตัวนำ *720* เส้น ความต้านทานของชั้นท์ฟิลด์และอาร์เมเจอร์เป็น *240Ω* และ *0.2Ω* ตามลำดับ มีแรงดันที่แปรงถ่านข้างละ *1* โวลท์ จงหาความเร็วรอบของเครื่องกลเมื่อ

- ทำงานเป็นมอเตอร์กินกระแส *60A* และ
- ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดจ่ายกระแส *120A* ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแต่ละกรณีเป็น *480V*

[972 rpm , 1055 rpm]

12. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชั้นท์ *200V* ตัวหนึ่งมีกำลังอินพุท *11kW* จงคำนวณหา

- แรงบิด
- ประสิทธิภาพ
- ความเร็วรอบเมื่อมีโหลด

โดยมีข้อมูลของมอเตอร์ดังนี้ กระแสเมื่อไร้โหลด = *5A* , ความเร็วรอบเมื่อไร้โหลด = *1150 rpm* ความต้านทานของอาร์เมเจอร์ = *0.5Ω* ความต้านทานของชั้นท์ฟิลด์ = *110Ω*

13. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชั้นท์ *200V* ตัวหนึ่ง เมื่อไร้โหลดกินกระแส *4A* มีความเร็ว *700 rpm* มีความต้านทานของฟิลด์ *100Ω* ค่าความต้านทานของอาร์เมเจอร์ในขณะหยุดนิ่ง ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมอาร์เมเจอร์ *6V* เมื่อมีกระแสไหลผ่าน *10A* จงหา

- ความเร็วเมื่อโหลดเต็มพิกัด
- แรงบิดเป็น *Nm* และ
- ประสิทธิภาพ กำลังอินพุทของมอเตอร์เมื่อโหลดเต็มพิกัด เป็น *8kW*