

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 7
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และประสิทธิภาพ	หน่วยที่ 6

หน่วยที่ 6

คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และประสิทธิภาพ

หัวข้อเรื่อง (Topics)

- 6.1 กำลังแม่เหล็กไฟฟ้าและกำลังกลที่อาร์เมเจอร์
- 6.2 คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซันด์
- 6.3 คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีวีส์
- 6.4 คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมปาเวต์
- 6.5 การสูญเสียในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
- 6.6 กำลังส่วนต่าง ๆ ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
- 6.7 ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
- 6.8 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
- 6.9 ภาวะที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

สมรรถนะย่อย (Element of Competency)

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ
2. ปฏิบัติการทดลองเกี่ยวกับคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral Objectives)

1. อธิบายกำลังแม่เหล็กไฟฟ้าและกำลังกลที่อาร์เมเจอร์ได้
2. อธิบายคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซันด์ได้
3. อธิบายคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีวีส์ได้
4. อธิบายคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมปาเวต์ได้
5. อธิบายการสูญเสียในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้
6. อธิบายกำลังส่วนต่าง ๆ ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้
7. อธิบายประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้
8. คำนวณหาค่าต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้
9. อธิบายภาวะที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 8
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และประสิทธิภาพ	หน่วยที่ 6

6.1 กำลังแม่เหล็กไฟฟ้าและกำลังกลที่อาร์เมเจอร์

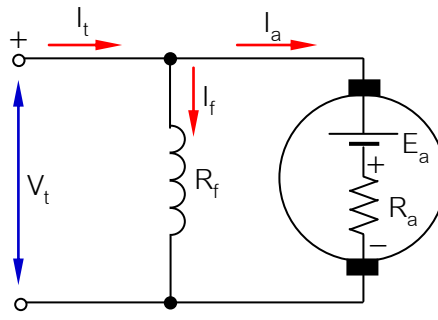
ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้ามา ทำให้เกิดกำลังแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นที่อาร์เมเจอร์และแปรสภาพไปเป็นกำลังกล (Mechanical power) ที่อาร์เมเจอร์ นั่นคือ

กำลังกลที่เกิดขึ้นบนอาร์เมเจอร์ = กำลังแม่เหล็กไฟฟ้าในอาร์เมเจอร์

$$\begin{aligned}
 P_m &= P_{em} \\
 \frac{2\pi Tn}{60} &= E_a I_a \\
 \frac{2\pi Tn}{60} &= \frac{\Phi PnZ}{60a} \times I_a \\
 T &= \frac{\Phi PZ}{2\pi a} \times I_a \quad \dots (6.1)
 \end{aligned}$$

6.2 คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบขั้วตัด

6.2.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบขั้วตัด จากแผนภาพวงจรของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขั้วตัดที่กล่าวมาในหน่วยที่ 5 เขียนเป็นวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบขั้วตัด

จากวงจรสมมูลรูปที่ 6.1 จะได้สมการว่า

$$V_t = E_a + I_a R_a \quad \dots (6.2)$$

เมื่อคิดผลของแรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอกชัน ดังนั้น

$$V_t = E_a + I_a R_a + V_{ar} \quad \dots (6.3)$$

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กได้จากสมการ

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} \quad \dots (6.4)$$

กระแสไฟฟ้ารวมของวงจรได้จากสมการ

$$I_t = I_f + I_a \quad \dots (6.5)$$

เมื่อ V_t = แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

E_a = แรงดันไฟฟ้าต้านกลับที่อาร์เมเจอร์

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 9
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และประสิทธิภาพ	หน่วยที่ 6

6.2.2 คุณลักษณะแรงบิดกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าผลจากที่มีกระแสไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ ผลทำให้เกิดแรงและแรงบิดหมุนขึ้นที่อาร์เมเจอร์ จากสมการที่ 6.1

$$T = \frac{\Phi P Z}{2\pi a} \times I_a$$

$$T = \frac{PZ}{2\pi a} \times \Phi I_a \quad \text{กำหนดให้} \quad K_m = \frac{PZ}{2\pi a}$$

$$= K_m \Phi I_a \quad \text{โดย } K_m \text{ เป็นค่าคงที่ทางกล}$$

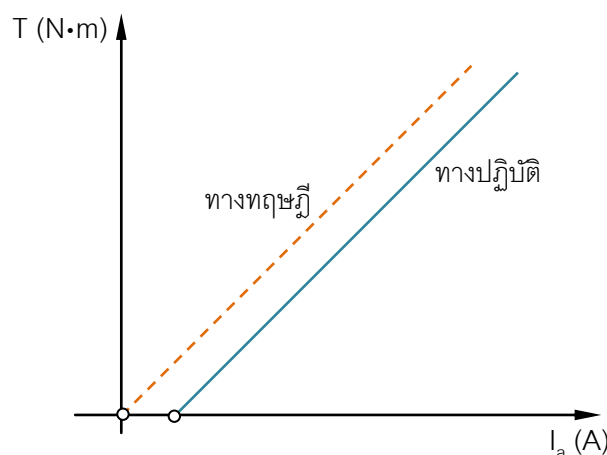
และ $\Phi = K_\Phi I_f$ โดย ($K_\Phi =$ ค่าคงที่ทางเส้นแรงแม่เหล็ก)

แทนค่า $T = K_m K_\Phi I_f I_a$

กำหนดให้ $K_t = K_m K_\Phi$ เป็นค่าคงที่ ซึ่งเป็นผลคูณของ K_m กับ K_Φ ดังนั้นจะได้

$$T = K_t I_f I_a \quad \dots (6.6)$$

จากสมการที่ 6.6 เห็นได้ว่าแรงบิดที่อาร์เมเจอร์แปรตามกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ ($T \propto I_a$) เมื่อให้กระแสไฟฟ้าที่ขดลวดสนามแม่เหล็กคงที่ ดังนั้นคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซันต์แสดงดังรูปที่ 6.2 ในทางทฤษฎีถ้า I_a มีค่าเท่ากับศูนย์ แรงบิดก็เท่ากับศูนย์ด้วยและมีค่าเพิ่มขึ้นในลักษณะเส้นตรง แต่ในทางปฏิบัติจะมีกระแส I_a อยู่ค่าหนึ่งเพื่อเอาชนะแรงจากการหมุนและค่าการสูญเสียต่าง ๆ ในมอเตอร์ไฟฟ้า ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงมีกระแส I_a ค่าหนึ่ง เพื่อให้มีค่าแรงบิดที่อาร์เมเจอร์เกิดขึ้น และเมื่อกระแส I_a มีค่าเพิ่มขึ้นจึงทำให้แรงบิดมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 6.2 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

6.2.3 คุณลักษณะความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ เมื่อมอเตอร์หมุนไปให้เกิดแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ และยังทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมจากขดลวดอาร์เมเจอร์ ($I_a R_a$) จากสมการที่ 6.3 ถ้าไม่คำนึงถึงแรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอกชัน จะได้

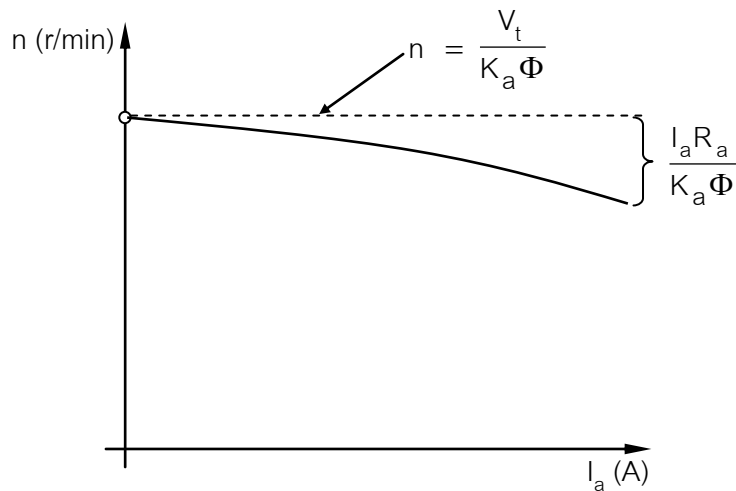
$$V_t = E_a + I_a R_a$$

$$E_a = V_t - I_a R_a$$

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 10
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และประสิทธิภาพ	หน่วยที่ 6

$$\begin{aligned} \frac{PZ\Phi n}{60a} &= V_t - I_a R_a \\ K_a \Phi n &= V_t - I_a R_a \\ n &= \frac{V_t}{K_a \Phi} - \frac{I_a R_a}{K_a \Phi} \end{aligned} \quad \dots (6.7)$$

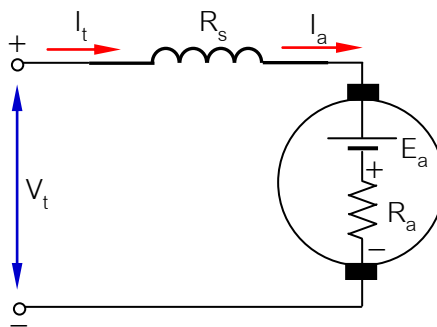
จากสมการที่ 6.7 เห็นว่าที่ค่ากระแส I_a น้อย ๆ (หมุนขณะไม่มีโหลดที่เพลลา) มีค่าความเร็วรอบคงที่ อยู่ค่าหนึ่ง ($\frac{V_t}{K_a \Phi}$) และเมื่อมอเตอร์มีโหลดเพิ่มขึ้นกระแส I_a ก็จะเพิ่มขึ้น $\frac{I_a R_a}{K_a \Phi}$ และไปลบออกจากค่าคงที่ ผลทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ลดลงเมื่อกระแส I_a เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

6.3 คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรಿಸ์

6.3.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรียส์ จากแผนภาพวงจรของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบซีรียส์ที่ได้กล่าวมาแล้วในหน่วยที่ 5 เขียนเป็นวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรียส์

จากวงจรสมมูลรูปที่ 6.4 จะได้สมการว่า

$$V_t = E_a + I_a R_a + I_a R_s \quad \dots (6.8)$$

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 11
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และประสิทธิภาพ	หน่วยที่ 6

เมื่อคิดผลของแรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอกชัน ดังนั้น

$$V_t = E_a + I_a(R_a + R_s) + V_{ar} \quad \dots (6.9)$$

กระแสที่ไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์ (I_s) ได้จากสมการ

$$I_s = I_a = I_t \quad \dots (6.10)$$

6.3.2 คุณลักษณะแรงบิดกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ ผลจากที่มีกระแสไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ทำให้เกิดแรงและแรงบิดหมุนขึ้นที่อาร์เมเจอร์ จากสมการที่ 6.1

$$T = \frac{\Phi P Z}{2\pi a} \times I_a$$

$$T = \frac{P Z}{2\pi a} \times \Phi I_a \quad \text{กำหนดให้} \quad K_m = \frac{P Z}{2\pi a}$$

$$= K_m \Phi I_a \quad \text{โดย } K_m \text{ เป็นค่าคงที่ทางกล}$$

แต่ $\Phi \propto I_a$ เมื่อ I_a มีค่าที่เปลี่ยนแปลงดังนั้น Φ จึงมีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้น

$$\Phi = K_\phi I_a$$

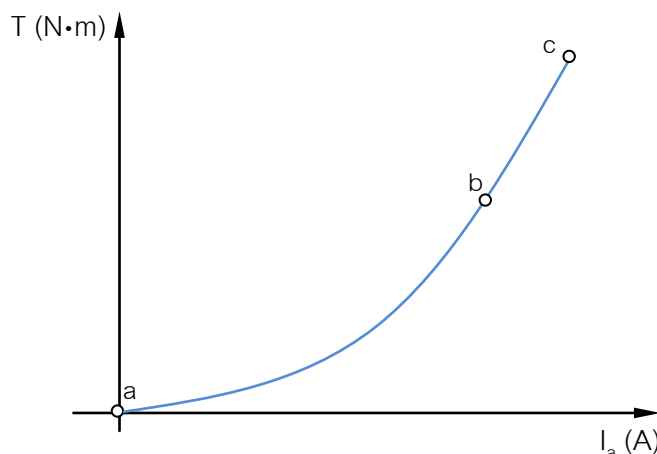
แทนค่า

$$T = K_m K_\phi I_a^2$$

กำหนดให้ $K_t = K_m K_\phi$ เป็นค่าคงที่ ซึ่งเป็นผลคูณของ K_m กับ K_ϕ ดังนั้นจะได้

$$T = K_t I_a^2 \quad \dots (6.11)$$

จากสมการที่ 6.11 เห็นได้ว่าแรงบิดที่อาร์เมเจอร์แปรตามกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ ($T \propto I_a^2$) ที่ I_a มีค่าเท่ากับศูนย์แรงบิดก็เท่ากับศูนย์ด้วยและเมื่อกระแสไฟฟ้าที่มีค่าเพิ่มขึ้นได้แรงบิดเพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วนกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ยกกำลังสอง ทำให้ได้เส้นกราฟมีลักษณะเป็นพาราโบลา (Parabola) ในช่วงจากจุด a ถึงจุด b แต่เมื่อโหลดเพิ่มขึ้นอีกจะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเกิดการอิ่มตัวแล้วพบว่าแรงบิดเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ($T \propto I_a$) ในช่วงจากจุด b ถึงจุด c ดังนั้นคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรีส์แสดงดังรูปที่ 6.5



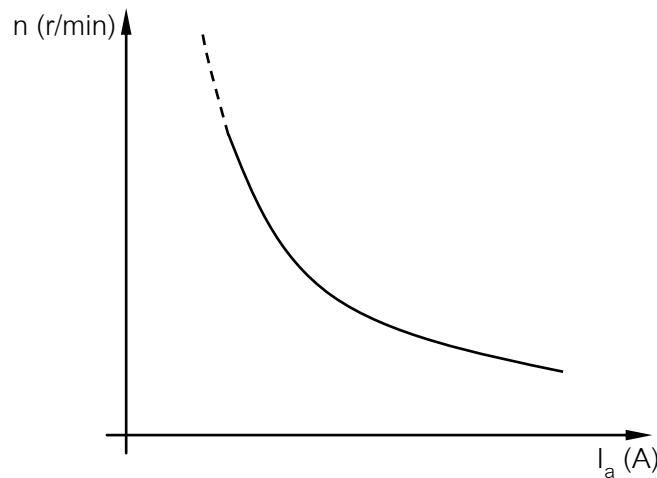
รูปที่ 6.5 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 12
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และประสิทธิภาพ	หน่วยที่ 6

6.3.3 คุณลักษณะความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ จากสมการที่ 6.9 ถ้าไม่คำนึงถึงแรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอกชัน จะได้

$$\begin{aligned}
 V_t &= E_a + I_a R_a \\
 E_a &= V_t - I_a R_a \\
 \frac{PZ\Phi_n}{60a} &= V_t - I_a R_a \\
 K_a \Phi_n &= V_t - I_a R_a \\
 n &= \frac{V_t}{K_a K_\Phi I_a} - \frac{R_a}{K_a K_\Phi} \quad \dots (6.12)
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ 6.12 เห็นว่าที่ค่ากระแส I_a น้อย ๆ (มอเตอร์ไฟฟ้าหมุนขณะไม่มีโหลดที่เพลลา) จะมีค่าความเร็วรอบสูงมาก ดังนั้นมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรี่ย์นี้ขณะเริ่มเดินต้องมีโหลดเชื่อมต่ออยู่ที่เพลลา ก่อนและเมื่อมอเตอร์มีโหลดที่เพลลาเพิ่มขึ้นกระแส I_a ก็เพิ่มขึ้นจึงทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ลดลงค่อนข้างมาก ทำให้ได้เส้นกราฟมีลักษณะเป็นไฮเพอร์โบลา (Hyperbola) ดังรูปที่ 6.6

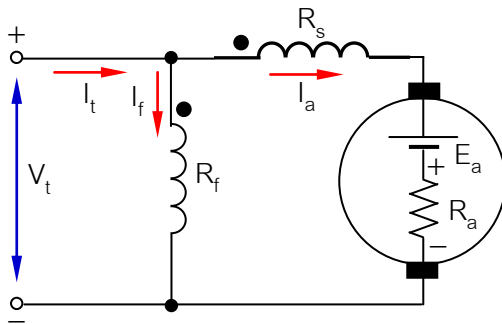


รูปที่ 6.6 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

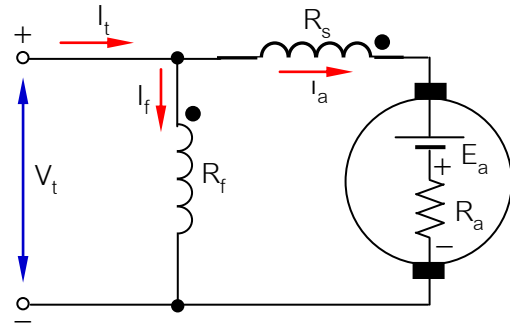
6.4 คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมปาวด์

6.4.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมปาวด์ จากแผนภาพวงจรของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบคอมปาวด์ที่กล่าวมาในหน่วยที่ 5 เขียนเป็นวงจรสมมูลแบบลองชันต์คอมปาวด์สร้างเส้นแรงแม่เหล็กเสริมกัน ได้ดังรูปที่ 6.7 (ก) และเขียนเป็นวงจรสมมูลไฟฟ้าแบบลองชันต์คอมปาวด์และสร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกัน ได้ดังรูปที่ 6.7 (ข) โดยกำหนดให้ • (dot) เป็นต้นคอยล์ของขดลวดที่พันไปในทิศทางเดียวกันบนแกนขั้วแม่เหล็ก

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 13
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และประสิทธิภาพ	หน่วยที่ 6



(ก) สร้างเส้นแรงแม่เหล็กเสริมกัน



(ข) สร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกัน

รูปที่ 6.7 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าต่อแบบลองชันต์คอมปาวด์

จากวงจรสมมูลรูปที่ 6.7 จะได้สมการว่า

$$V_t = E_a + I_a R_a + I_a R_s \quad \dots (6.13)$$

เมื่อคิดผลของแรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอกชัน ดังนั้น

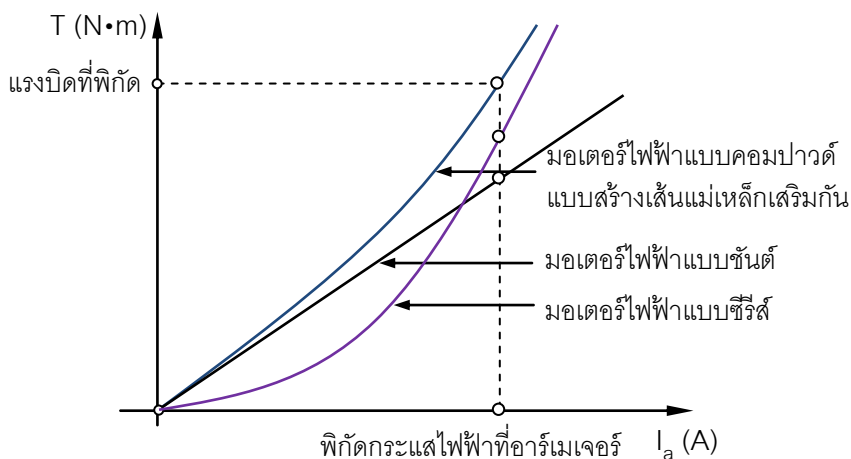
$$V_t = E_a + I_a (R_a + R_s) + V_{ar} \quad \dots (6.14)$$

กระแสไฟฟ้ารวมของวงจรได้จากสมการ

$$I_t = I_f + I_a \quad \dots (6.15)$$

6.4.2 คุณลักษณะแรงบิดกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

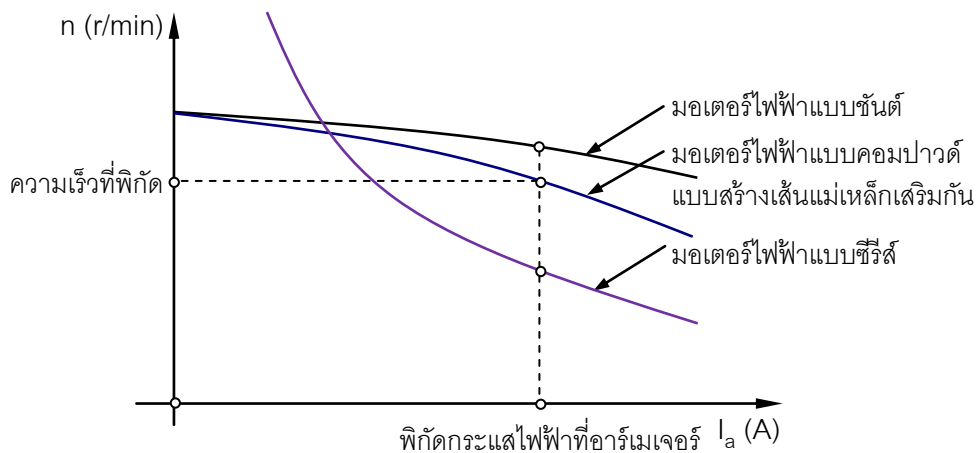
คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมปาวด์นี้ เป็นการนำเอาคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบชันต์กับแบบซีรีส์มารวมเข้าด้วยกัน ดังนั้นเส้นกราฟคุณลักษณะจึงอยู่ระหว่างเส้นกราฟของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบชันต์กับแบบซีรีส์ จากเส้นคุณลักษณะรูปที่ 6.8 เมื่อโหลดที่เพลลาของมอเตอร์เพิ่มขึ้นก็ทำให้กระแส I_a เพิ่มขึ้นทำให้เส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดแบบซีรีส์เพิ่มขึ้นด้วยและเสริมกับเส้นแรงแม่เหล็กแบบชันต์ จึงทำให้ขึ้น ส่งผลให้แรงบิดหมุนที่ใช้ในการขับโหลดเพิ่มขึ้น และที่พิกัดกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์เดียวกันแรงบิดหมุนที่ใช้ในการขับโหลดของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมปาวด์สูงกว่ามอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรีส์และมอเตอร์ไฟฟ้าแบบชันต์ ดังนั้นมอเตอร์ไฟฟ้าแบบนี้เหมาะสมกับงาน ประเภทที่ต้องการแรงบิดเริ่มหมุนสูงและมีความเร็วรอบคงที่อยู่ที่ค่า ๆ หนึ่งเมื่อยังไม่มีโหลด



รูปที่ 6.8 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ทั้ง 3 แบบ

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 14
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และประสิทธิภาพ	หน่วยที่ 6

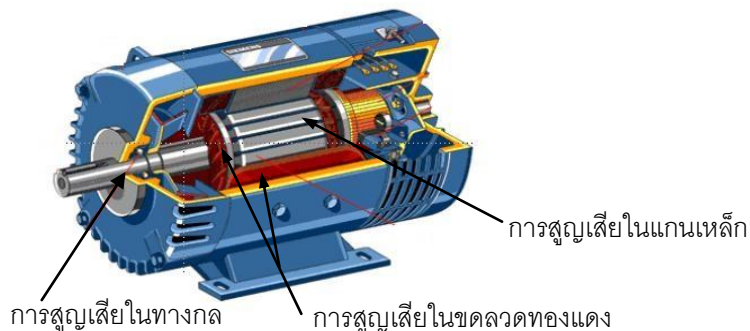
6.4.3 คุณลักษณะความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ จากเส้นคุณลักษณะรูปที่ 6.9 เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้าทำงานยังไม่มีโหลดที่เพลลา (ที่ I_a ค่าน้อย ๆ) ความเร็วรอบของมอเตอร์ใกล้เคียงกับมอเตอร์แบบซันด์ เมื่อโหลดที่เพลลาของมอเตอร์เพิ่มขึ้นก็จะทำให้กระแส I_a เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดแบบซีรีส์เพิ่มขึ้นและเสริมกับเส้นแรงแม่เหล็กแบบซันด์ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่ขั้วเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟาลดลงและที่พิกัดกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์พิกัดเดียวกัน ความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมปาวด์จะต่ำกว่ามอเตอร์ไฟฟ้าแบบซันด์เล็กน้อยแต่สูงกว่ามอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรีส์



รูปที่ 6.9 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ทั้ง 3 แบบ (ฉวีชัย อัดถวิบูลย์กุล, 2546: 264)

6.5 การสูญเสียในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้ายังไม่มีโหลดที่เพลลาหรือมีโหลดก็ตาม จะมีการสูญเสียในมอเตอร์ไฟฟ้าเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งได้แก่ การสูญเสียในขดลวดทองแดง การสูญเสียในแกนเหล็กและการสูญเสียในทางกล ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูปที่ 6.10



รูปที่ 6.10 การสูญเสียของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 15
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และประสิทธิภาพ	หน่วยที่ 6

6.5.1 การสูญเสียในขดลวดทองแดง การสูญเสียในขดลวดทองแดง แบ่งออกเป็น

1. การสูญเสียจากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซันด์ หาได้จากสมการ

$$P_f = I_f^2 R_f$$

2. การสูญเสียจากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีวีส์ หาได้จากสมการ

$$P_s = I_s^2 R_s$$

3. การสูญเสียจากขดลวดอาร์เมเจอร์รวมกับการสัมผัสหน้าแปรงถ่าน หาได้จากสมการ

$$P_a = I_a^2 R_a$$

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมดกำหนดให้เป็น P_{Co} หาได้จากสมการ

$$P_{Co} = P_f + P_s + P_a$$

6.5.2 การสูญเสียในแกนเหล็ก การสูญเสียในแกนเหล็กแบ่งออกเป็น

1. การสูญเสียจากฮิสเทอรีซิส กำลังไฟฟ้าสูญเสียส่วนนี้บอกมาเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ของกำลังเอาต์พุต กำหนดให้เป็น P_h หน่วยเป็นวัตต์

2. การสูญเสียจากกระแสไหลวน กำลังไฟฟ้าสูญเสียส่วนนี้บอกมาเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ของกำลังเอาต์พุต กำหนดให้เป็น P_e หน่วยเป็นวัตต์

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในแกนเหล็กกำหนดให้เป็น P_c หาได้จากสมการ

$$P_c = P_h + P_e$$

- ### 6.5.3 การสูญเสียในทางกล บางครั้งเรียกว่าการสูญเสียในการหมุนกำหนดให้เป็น P_{rot} ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปเช่นกัน แบ่งออกเป็น
1. การสูญเสียจากความฝืด
 2. การสูญเสียจากแรงลมต้าน

ผลรวมของการสูญเสียจากความฝืดและแรงลมต้านกำหนดให้เป็นการสูญเสียในการหมุน โดยกำลังไฟฟ้าสูญเสียส่วนนี้บอกมาเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ของกำลังเอาต์พุต มีหน่วยเป็นวัตต์

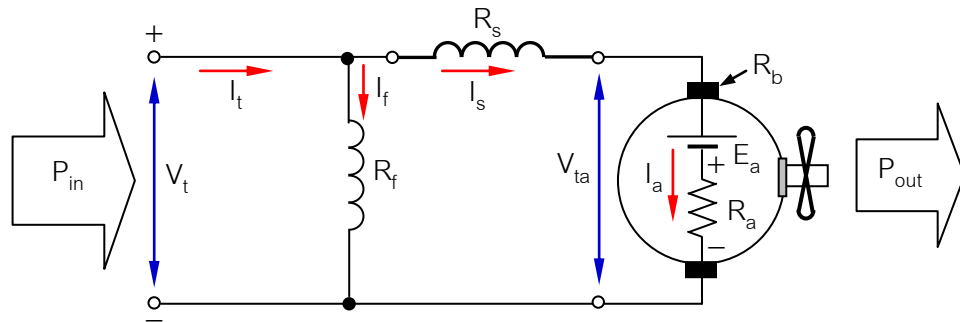
ดังนั้นกำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดของมอเตอร์ไฟฟ้า กำหนดให้เป็น P_{loss} หาได้จากสมการ

$$P_{loss} = P_{Co} + P_c + P_{rot}$$

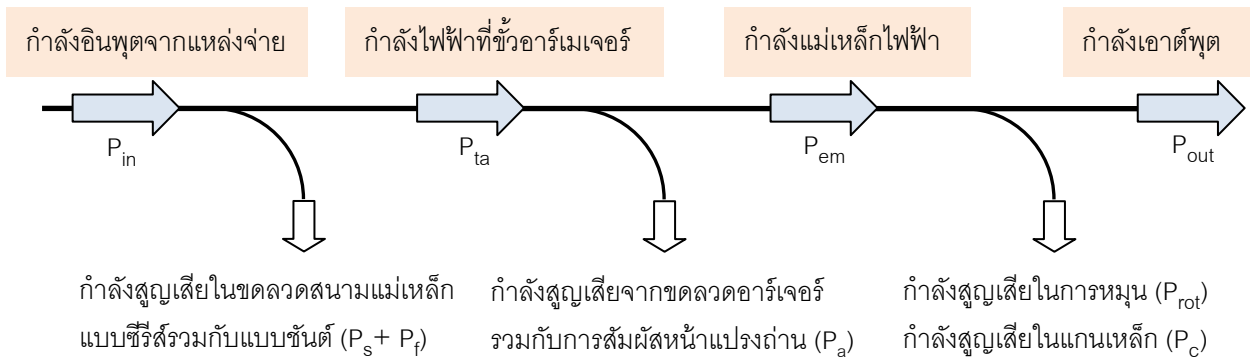
6.6 กำลังส่วนต่าง ๆ ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ดังรูปที่ 6.11 (ก) เป็นวงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมปาวด์โดยมีกำลังอินพุตจ่ายเข้ามา มีกำลังเอาต์พุตออกไปที่โหลดที่เพลาและแสดงกำลังไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นพร้อมกำลังสูญเสียที่แยกออกไป (Stephen J. Chapman, 1999: 499-500) ดังรูปที่ 6.11 (ข)

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 16
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และประสิทธิภาพ	หน่วยที่ 6



(ก) วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมปาวด์โดยมีกำลังอินพุตและกำลังเอาต์พุต



(ข) แสดงกำลังไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมปาวด์

(Stephen J. Chapman, 1999: 499-500)

รูปที่ 6.11 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมปาวด์และกำลังไฟฟ้าส่วนต่าง ๆ

6.6.1 **กำลังอินพุตจากแหล่งจ่าย** เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์และมีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไป ดังนั้นกำลังอินพุตของมอเตอร์ไฟฟ้าหาได้จาก

$$P_{in} = V_t I_t \quad \dots (6.16)$$

6.6.2 **กำลังไฟฟ้าที่ขั้วอาร์เมเจอร์** เป็นกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขั้วของอาร์เมเจอร์ที่แปรถ่านทั้งสองสัมผัสอยู่ โดยกำลังไฟฟ้าที่ขั้วอาร์เมเจอร์หาได้จาก

$$P_{ta} = V_{ta} I_a \quad \dots (6.17)$$

หรือ

$$P_{ta} = P_{em} + P_a$$

6.6.3 **กำลังแม่เหล็กไฟฟ้า** เป็นกำลังไฟฟ้าที่ได้ผลิตขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ ซึ่งเป็นกำลังที่มอเตอร์ไฟฟ้าแปรสภาพพลังงานจากกำลังไฟฟ้าไปเป็นกำลังกล โดยกำลังแม่เหล็กไฟฟ้าหาได้จาก

$$P_{em} = E_a I_a \quad \dots (6.18)$$

หรือ

$$P_{em} = P_{out} + P_{rot} + P_c$$

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 17
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และประสิทธิภาพ	หน่วยที่ 6

6.6.4 กำลังเอาต์พุต เป็นกำลังกลที่เพลลาของมอเตอร์เพื่อไปขับเคลื่อนโหลด โดยกำลังกลทางเอาต์พุตหาได้จาก

$$P_{out} = \frac{2\pi T_{sh} n}{60} \quad \dots (6.19)$$

เมื่อ T_{sh} = แรงบิดที่เพลลาของมอเตอร์ไฟฟ้า

6.7 ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

กำลังอินพุตที่จ่ายเข้ามาเพื่อให้มอเตอร์ทำงานซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าและมีกำลังบางส่วนได้สูญเสียไปโดยกำลังที่เหลือเป็นกำลังกลทางเอาต์พุตหรือกำลังกลที่โหลด ถ้ากำหนดให้อัตราส่วนระหว่างกำลังกลเอาต์พุตต่อกำลังไฟฟ้าอินพุต ก็คือประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้านั่นเอง

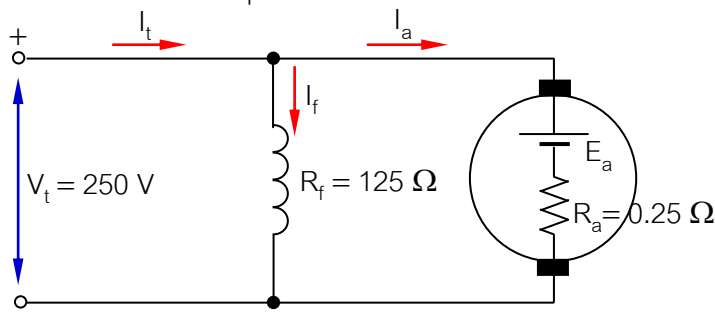
$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพ} &= \frac{\text{กำลังเอาต์พุต}}{\text{กำลังอินพุต}} \times 100 \\ &= \frac{\text{กำลังเอาต์พุต}}{\text{กำลังเอาต์พุต} + \text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด}} \times 100 \\ \eta &= \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \times 100 \quad \dots (6.20) \end{aligned}$$

6.8 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ตัวอย่างที่ 6.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชัณฑ์ มีค่าความต้านทานจากขดลวดอาร์เมเจอร์และจากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์เป็น 0.25Ω และ 125Ω ตามลำดับ มีแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ 250 V ขณะไม่มีโหลดมีกระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์รับเข้าไป 10 A ที่ความเร็วรอบ 1800 r/min เมื่อทำงานเต็มพิกัดมีกระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์รับเข้าไป 82 A ไม่คิดผลของอาร์เมเจอร์รีแอกชันและเส้นแรงแม่เหล็กไม่อิ่มตัว จงคำนวณหา

- กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ขณะไม่มีโหลดและเมื่อทำงานเต็มพิกัด
- แรงดันไฟฟ้าต้านกลับขณะไม่มีโหลดและเมื่อทำงานเต็มพิกัด
- ความเร็วรอบเมื่อทำงานเต็มพิกัด

วิธีทำ เขียนวงจรสมมูลและกำหนดค่าต่าง ๆ ให้กับวงจร



วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 18
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และประสิทธิภาพ	หน่วยที่ 6

จากวงจรสมมูลกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์หาได้ดังนี้

$$I_f = \frac{V_t}{R_f} = \frac{250}{125} = 2 \text{ A}$$

ก. กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ขณะไม่มีโหลดและเมื่อทำงานเต็มพิกัด

กำหนดให้ I_{ao} เป็นกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ขณะไม่มีโหลด และ I_a เป็นกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์เมื่อทำงานเต็มพิกัด ดังนี้

ขณะไม่มีโหลด $I_{ao} = I_{to} - I_f = 10 - 2 = 8 \text{ A}$

เมื่อทำงานเต็มพิกัด $I_a = I_t - I_f = 82 - 2 = 80 \text{ A}$

กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ขณะไม่มีโหลดมีค่าเท่ากับ **8 A** **ตอบ**

กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์เมื่อทำงานเต็มพิกัดมีค่าเท่ากับ **80 A** **ตอบ**

ข. แรงดันไฟฟ้าต้านกลับที่อาร์เมเจอร์ขณะไม่มีโหลดและเมื่อทำงานเต็มพิกัด

ขณะไม่มีโหลด $E_{ao} = V_t - I_{ao}R_a$
 $= 250 - (8 \times 0.25)$

$$E_{ao} = 248 \text{ V}$$

เมื่อทำงานเต็มพิกัด $E_a = V_t - I_aR_a = 250 - (80 \times 0.25)$

$$E_a = 230 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าต้านกลับขณะไม่มีโหลดมีค่าเท่ากับ **248 V** **ตอบ**

แรงดันไฟฟ้าต้านกลับเมื่อทำงานเต็มพิกัดมีค่าเท่ากับ **230 V** **ตอบ**

ค. ความเร็วรอบเมื่อทำงานเต็มพิกัด

จากสมการ $E_a = K_a \Phi n$

ขณะไม่มีโหลด $E_{ao} = K_a \Phi n_o$ และเมื่อทำงานเต็มพิกัด $E_a = K_a \Phi n$

ดังนั้น $\frac{E_{ao}}{E_a} = \frac{K_a \Phi n_o}{K_a \Phi n} = \frac{n_o}{n}$

$$n = \frac{E_a n_o}{E_{ao}} = \frac{230 \times 1800}{248} = 1669.35$$

$$n \cong 1670 \text{ r/min}$$

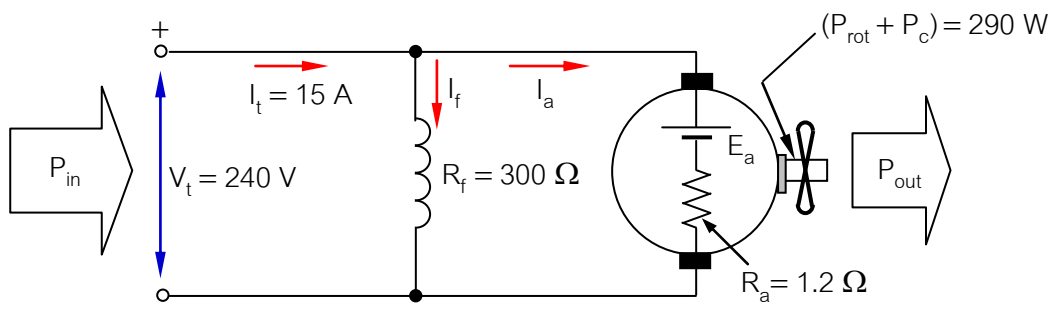
ความเร็วรอบเมื่อทำงานเต็มพิกัดมีค่าเท่ากับ **1670 r/min** **ตอบ**

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 19
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และประสิทธิภาพ	หน่วยที่ 6

ตัวอย่างที่ 6.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชั้นต์ มีค่าความต้านทานจากขดลวดอาร์เมเจอร์และจากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชั้นต์เป็น 1.2Ω และ 300Ω ตามลำดับ เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้าทำงานเต็มพิกัดรับกระแสไฟฟ้าเข้าไป 15 A ที่แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว 240 V ที่ความเร็วรอบ 1500 r/min มีการสูญเสียในการหมุนรวมกับในแกนเหล็ก 290 W โดยแรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอกชันไม่นำมาคิด จงคำนวณหา

- กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทั้งหมด
- กำลังแม่เหล็กไฟฟ้า
- กำลังเอาต์พุตที่เพลลาและแรงบิดที่เพลลาของมอเตอร์ไฟฟ้า
- ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า

วิธีทำ เขียนวงจรสมมูลทางไฟฟ้าและกำหนดค่าต่าง ๆ ให้กับวงจร



จากวงจรสมมูลกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดสนามแม่เหล็กและกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์มีค่าดังนี้

$$I_f = \frac{V_t}{R_f} = \frac{240}{300} = 0.8 \text{ A}$$

$$I_a = I_t - I_f = 15 - 0.8 = 14.2 \text{ A}$$

ก. กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทั้งหมด

$$\begin{aligned} P_{co} &= P_f + P_a \\ &= I_f^2 R_f + I_a^2 (R_a) \\ &= (0.8^2 \times 300) + (14.2^2 \times 1.2) \\ P_{co} &= 433.968 \text{ W} \end{aligned}$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทั้งหมดมีค่าเท่ากับ **433.968 W** **ตอบ**

ข. กำลังแม่เหล็กไฟฟ้า

$$P_{em} = E_a I_a$$

แต่

$$E_a = V_t - I_a R_a = 240 - (14.2 \times 1.2) = 222.96$$

$$P_{em} = 222.96 \times 14.2 = 3166.032 \text{ W}$$

กำลังแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ

3166.032 W **ตอบ**

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 20
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และประสิทธิภาพ	หน่วยที่ 6

ค. กำลังเอาต์พุตที่เพลลาของมอเตอร์ไฟฟ้าและแรงบิดที่เพลลาของมอเตอร์ไฟฟ้า จากส่วนต่าง ๆ ของกำลังไฟฟ้าจะได้

$$P_{out} + (P_{rot} + P_c) = P_{em}$$

ดังนั้น

$$P_{out} = P_{em} - (P_{rot} + P_c)$$

$$P_{out} = 3166.032 - 290 = 2876.032 \text{ W}$$

กำลังเอาต์พุตที่เพลลาของมอเตอร์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ **2876.032 W** **ตอบ**

จากสมการ

$$P_{out} = \frac{2\pi T_{sh} n}{60}$$

ดังนั้น

$$T_{sh} = \frac{60 P_{out}}{2\pi n}$$

$$= \frac{60 \times 2876.032}{2 \times 3.1426 \times 1200}$$

$$T_{sh} = 22.88 \text{ N}\cdot\text{m}$$

แรงบิดที่เพลลาของมอเตอร์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ **22.88 N·m** **ตอบ**

ง. ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า

$$P_{in} = V_t I_t = 240 \times 15 = 3600 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = \frac{2876.032}{3600} \times 100 = 79.88 \%$$

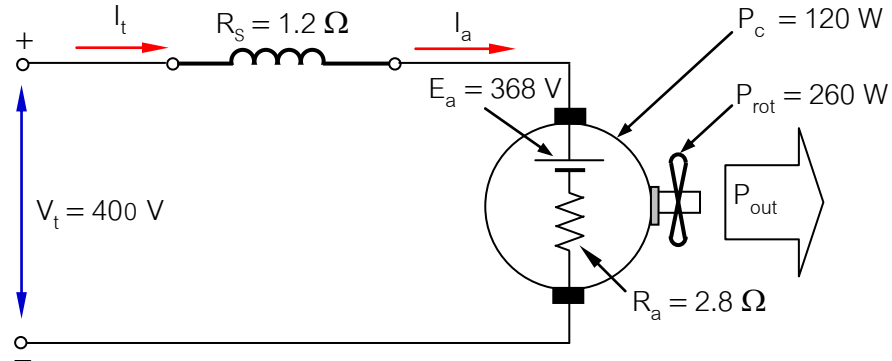
ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ **79.88 %** **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 6.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบซีรี่ย์ มีค่าความต้านทานจากขดลวดอาร์เมเจอร์และจากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรี่ย์เป็น 2.8Ω และ 1.2Ω ตามลำดับ โดยมีแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ 400 V เมื่อทำงานเต็มพิกัดเกิดแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ 368 V ที่ความเร็วรอบ 1500 r/min มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในหมุน 260 W กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก 120 W ถ้าไม่คิดแรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอกชัน จงคำนวณหา

- กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์
- กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทั้งหมด
- ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า
- แรงบิดที่เพลลาของมอเตอร์ไฟฟ้า
- เขียนกำลังไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรี่ย์

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 21
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และประสิทธิภาพ	หน่วยที่ 6

วิธีทำ เขียนวงจรสมมูลทางไฟฟ้าและกำหนดค่าต่าง ๆ ให้กับวงจร



ก. กระแสไฟฟ้าที่อาร์มเจอร์

จากสมการ

$$V_t = E_a + I_a (R_a + R_s)$$

ดังนั้น

$$I_a = \frac{V_t - E_a}{R_a + R_s}$$

$$I_a = \frac{400 - 368}{2.8 + 1.2} = 8 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่อาร์มเจอร์มีค่าเท่ากับ

8 A

ตอบ

ข. กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทั้งหมด

$$\begin{aligned} P_{co} &= P_s + P_a \\ &= I_s^2 R_s + I_a^2 (R_a) \\ &= (8^2 \times 1.2) + (8^2 \times 2.8) \quad (\text{มอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรี่ย์ } I_a = I_s) \end{aligned}$$

$$P_{co} = 256 \text{ W}$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทั้งหมดมีค่าเท่ากับ

256 W

ตอบ

ค. ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า

$$P_{in} = V_t I_t = 400 \times 8 = 3200 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{co} + P_{rot} + P_c$$

$$\begin{aligned} P_{out} &= P_{in} - P_{co} - P_{rot} - P_c \\ &= 3200 - 256 - 260 - 120 \end{aligned}$$

$$P_{out} = 2564 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = \frac{2564}{3200} \times 100$$

$$\eta = 80.12 \%$$

ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ

80.12 %

ตอบ

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 22
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และประสิทธิภาพ	หน่วยที่ 6

ง. แรงบิดที่เพลลาของมอเตอร์ไฟฟ้า

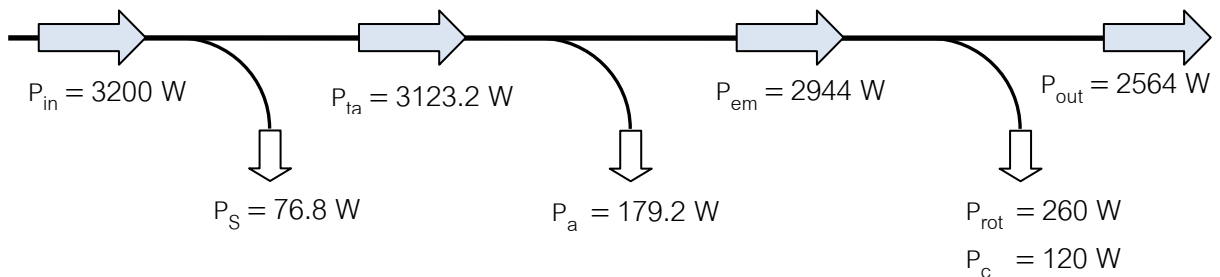
$$T_{sh} = \frac{60P_{out}}{2\pi n}$$

$$= \frac{60 \times 2564}{2 \times 3.1426 \times 1500}$$

$$T_{sh} = 16.32 \text{ N}\cdot\text{m}$$

แรงบิดที่เพลลาของมอเตอร์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ **16.32 N·m** **ตอบ**

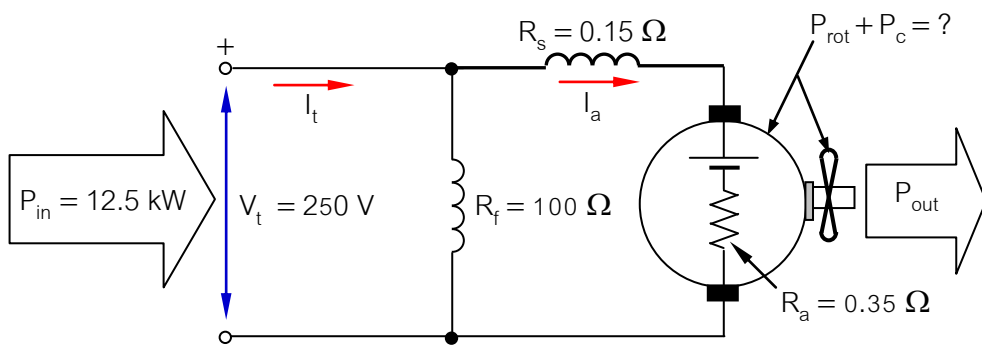
จ. เขียนกำลังไฟฟ้าในส่วนต่างๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรีส์



ตัวอย่างที่ 6.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลونغชัฟต์คอมปาक्टสร้างเส้นแรงแม่เหล็กเสริมกัน มีค่าความต้านทานจากขดลวดอาร์เมเจอร์ จากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์ และจากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัฟต์ เป็น 0.35Ω , 0.15Ω และ 100Ω ตามลำดับ เมื่อทำงานเต็มพิกัดมีกำลังไฟฟ้าอินพุต 12.5 kW แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ 250 V ให้ประสิทธิภาพ 75% และมีแรงบิดที่เพลลา $50 \text{ N}\cdot\text{m}$ ไม่คิดผลของแรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอกชัน จงคำนวณหา

- กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์
- กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทั้งหมด
- กำลังสูญเสียในการหมุนรวมการสูญเสียในแกนเหล็ก
- ความเร็วรอบที่พิกัด
- เขียนกำลังไฟฟ้าในส่วนต่างๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมปาक्ट

วิธีทำ เขียนวงจรสมมูลทางไฟฟ้าและกำหนดค่าต่างๆ ให้กับวงจร



วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 23
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และประสิทธิภาพ	หน่วยที่ 6

จากวงจรสมมูลกระแสไฟฟ้ารวมของมอเตอร์และกระแสไฟฟ้าที่อาร์มเจอร์มีค่าดังนี้

$$I_t = \frac{P_{in}}{V_t} = \frac{12.5 \times 10^3}{250} = 50 \text{ A}$$

$$I_f = \frac{V_t}{R_f} = \frac{250}{100} = 2.5 \text{ A}$$

ก. กระแสไฟฟ้าที่อาร์มเจอร์

$$I_a = I_t - I_f = 50 - 2.5 = 47.5 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่อาร์มเจอร์มีค่าเท่ากับ **47.5 A** **ตอบ**

ข. กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทั้งหมด

$$\begin{aligned} P_{co} &= P_f + P_a + P_s \\ &= I_f^2 R_f + I_a^2 R_a + I_a^2 R_s \\ &= (2.5^2 \times 100) + (47.5^2 \times 0.35) + (47.5^2 \times 0.15) \\ P_{co} &= (625) + (789.687) + (338.438) \\ P_{co} &= 1753.12 \text{ W} \end{aligned}$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทั้งหมดมีค่าเท่ากับ **1753.12 W** **ตอบ**

ค. กำลังสูญเสียในการหมุนรวมการสูญเสียในแกนเหล็ก

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \\ P_{out} &= \frac{\eta}{100} \times P_{in} = \frac{75}{100} \times 12500 = 9375 \text{ W} \end{aligned}$$

จากสมการ $P_{in} = P_{out} + P_{co} + P_{rot} + P_c$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad P_{rot} + P_c &= P_{in} - P_{out} - P_{co} \\ &= 12500 - 9375 - 1753.12 \end{aligned}$$

$$P_{rot} + P_c = 1371.88 \text{ W}$$

กำลังสูญเสียในการหมุนรวมการสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าเท่ากับ **1371.88 W** **ตอบ**

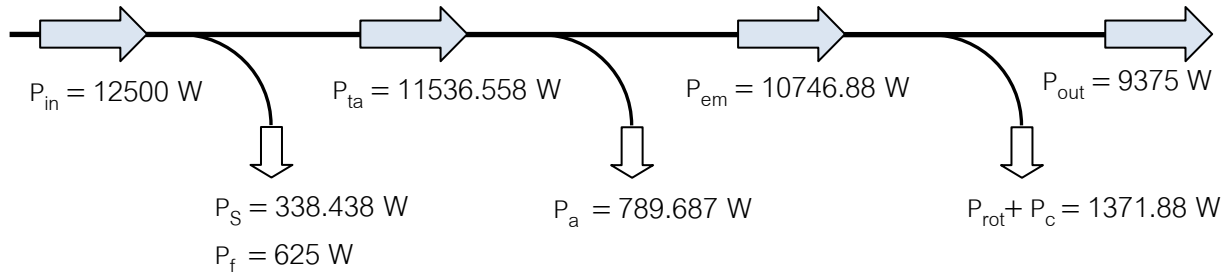
ง. ความเร็วรอบที่พิกัด

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad P_{out} &= \frac{2\pi T_{sh} n}{60} \\ n &= \frac{60 P_{out}}{2\pi T_{sh}} = \frac{60 \times 9375}{2 \times 3.1416 \times 70} \\ n &= 1278.92 \cong 1280 \text{ r/min} \end{aligned}$$

ความเร็วรอบที่พิกัดมีค่าเท่ากับ **1280 r/min** **ตอบ**

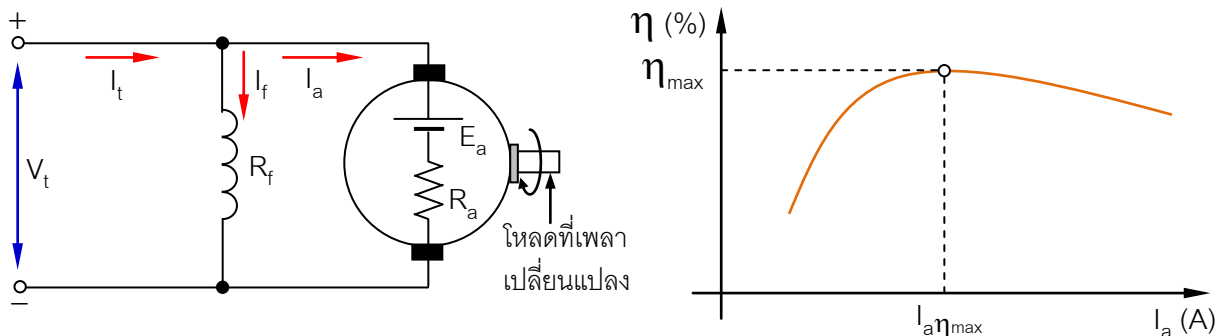
วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 24
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และประสิทธิภาพ	หน่วยที่ 6

จ. เขียนกำลังไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมพาวด์



6.9 ภาวะที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อโหลดที่เพลลาของมอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงผลทำให้กระแส I_a เปลี่ยนแปลงด้วยดังรูปที่ 6.12 (ก) ซึ่งทำให้กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตและกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดอาร์เมเจอร์และในขดลวดซีรีย์เกิดการเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน แต่กำลังสูญเสียในการหมุนรวมแกนเหล็กและจากขดลวดแบบชั้นตีมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามกระแส I_a เมื่อ I_a ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพค่อย ๆ เพิ่มขึ้นและมีกระแส I_a ค่าหนึ่งที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จากนั้นจะค่อย ๆ มีค่าลดลง ดังรูปที่ 6.12 (ข)



(ก) มอเตอร์ไฟฟ้าแบบชั้นตีเมื่อโหลดที่เพลลาเปลี่ยนแปลง (ข) เส้นกราฟประสิทธิภาพเมื่อกระแส I_a เพิ่มขึ้น

รูปที่ 6.12 มอเตอร์ไฟฟ้าแบบชั้นตีเมื่อมีโหลดเปลี่ยนแปลงและประสิทธิภาพ

จากหน่วยที่ 4 หัวข้อที่ 4.9 เนื่องจากโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้าเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกประการนั้นคือจะเกิดประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อ

กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่แปรค่าตามกระแสที่อาร์เมเจอร์ = กำลังไฟฟ้าสูญเสียคงที่

โดยกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์จะมีค่าหนึ่งที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด กำหนดให้เป็น $I_{a\eta_{max}}$ หา
ค่าได้ดังนี้

เมื่อพิจารณามอเตอร์ไฟฟ้าแบบชั้นตี จะได้

$$I_{a\eta_{max}} = \sqrt{\frac{P_{rot} + P_c + P_f}{R_a}}$$

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 25
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และประสิทธิภาพ	หน่วยที่ 6

เมื่อพิจารณามอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรืส์ จะได้

$$I_{a\eta_{\max}} = \sqrt{\frac{P_{\text{rot}} + P_c}{R_a + R_s}}$$

เมื่อพิจารณามอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมปาวด์ซึ่งมีทั้งขดลวดซีรืส์และขดลวดชัณฑ์ จะได้

$$I_{a\eta_{\max}} = \sqrt{\frac{P_{\text{rot}} + P_c + P_f}{R_a + R_s}}$$

ตัวอย่างที่ 6.5 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชัณฑ์ มีค่าความต้านทานจากขดลวดอาร์เมเจอร์และจากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์เป็น 0.25Ω และ 230Ω ตามลำดับ เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้าทำงานเต็มพิกัดรับกระแสไฟฟ้าเข้าไป 40 A ที่แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว 230 V มีแรงดันตกคร่อมจากแปรงถ่านรวม 2 V มีการสูญเสียในการหมุนรวมกับในแกนเหล็ก 455 W โดยแรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอกชันไม่นำมาคิดจกคำนวณหา

- กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด
- กำลังเอาต์พุตที่เพลลา
- กระแสอาร์เมเจอร์ที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

วิธีทำ

$$P_{\text{in}} = V_t I_t = 230 \times 40 = 9200 \text{ W}$$

$$I_f = \frac{V_t}{R_f} = \frac{230}{230} = 1 \text{ A}$$

$$I_a = I_t - I_f = 40 - 1 = 39 \text{ A}$$

$$P_f = I_f^2 R_f = 1^2 \times 230 = 230 \text{ W}$$

$$\text{ความต้านทานแปรงถ่าน} \quad R_b = \frac{V_B}{I_a} = \frac{2}{39} = 0.0513 \Omega$$

$$P_a + P_b = I_a^2 R_a + I_a^2 (R_b) = (39^2 \times 0.25) + (39^2 \times 0.0513)$$

$$P_{R_a} + P_{R_b} = 458.25 \text{ W}$$

- กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด

$$P_{\text{loss}} = (P_{\text{rot}} + P_c) + P_f + (P_a + P_b)$$

$$P_{\text{loss}} = (455) + 230 + (458.25) = 1143.25 \text{ W}$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดมีค่าเท่ากับ

1143.25 W

ตอบ

- กำลังเอาต์พุตที่เพลลา

$$P_{\text{out}} = P_{\text{in}} - P_{\text{loss}}$$

$$P_{\text{out}} = P_{\text{in}} - P_{\text{loss}} = 9200 - 1143.25 = 8056.75 \text{ W}$$

กำลังเอาต์พุตที่เพลลามีค่าเท่ากับ

8056.75 W

ตอบ

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 26
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และประสิทธิภาพ	หน่วยที่ 6

ค. กระแสอาร์เมเจอร์ที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

$$\begin{aligned}
 I_{a\eta_{\max}} &= \sqrt{\frac{(P_{\text{rot}} + P_c) + P_f}{R_a + R_b}} \\
 &= \sqrt{\frac{(455) + 230}{0.25 + 0.0513}} \\
 &= 47.68 \text{ A}
 \end{aligned}$$

กระแสอาร์เมเจอร์ที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดมีค่าเท่ากับ 47.68 A **ตอบ**