

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น

2.1 บทนำ

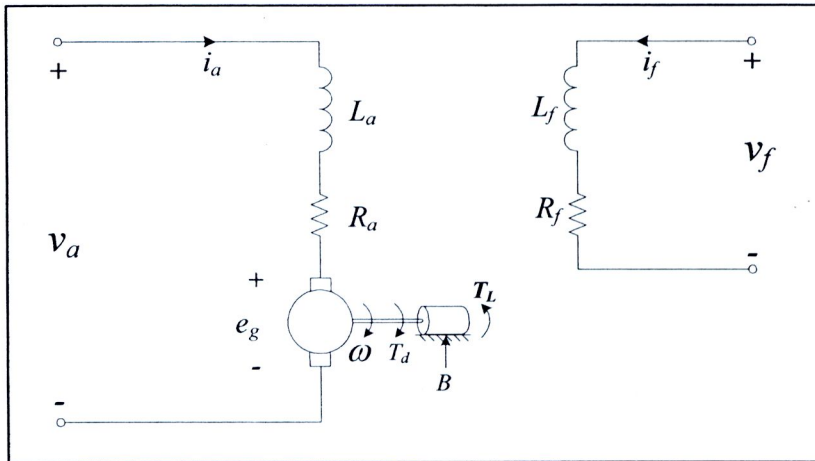
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการประหยัดพลังงานในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น ซึ่งมอเตอร์ดังกล่าวเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่นิยมใช้สำหรับอุตสาหกรรมทางด้านรถไฟฟ้า จากการค้นคว้าเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานในอดีตพบว่าต้องอาศัยวิธีการทางคณิตศาสตร์ และการคำนวณที่ยุ่งยากซับซ้อน ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องคิดค้นหาวิธีที่ง่ายและ ไม่ซับซ้อน โดยอาศัยการวิเคราะห์จากวงจรสมมูลอย่างง่ายของมอเตอร์ และจำเป็นต้องศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รวมถึงสมการคำนวณกำลังงานสูญเสียของมอเตอร์ดังกล่าว ด้วยเหตุนี้จึงนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สมการพื้นฐานของมอเตอร์ รวมถึงรายละเอียดเกี่ยวกับกำลังงานสูญเสียและการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้นไว้ในบทนี้

2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น สามารถพิจารณาได้จากวงจรสมมูลของมอเตอร์ โดยวงจรสมมูลดังกล่าวจะประกอบด้วยวงจรอาร์เมเจอร์ (armature circuit) และวงจรสนาม (field circuit) ซึ่งทั้ง 2 วงจรจะแยกจากกันอย่างอิสระ ดังนี้

2.2.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์

วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น แสดงได้ดังรูปที่ 2.1 (Lankarany and Rezazade, 2007) ดังนี้



รูปที่ 2.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น

เป็นดังนี้

จากวงจรสมมูลดังรูปที่ 2.1 ความหมายของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในวงจรสมมูล

v_a คือ แรงดันไฟฟ้าอาร์เมเจอร์ (V)

i_a คือ กระแสไฟฟ้าอาร์เมเจอร์ (A)

R_a คือ ความต้านทานอาร์เมเจอร์ (Ω)

L_a คือ ความเหนี่ยวนำอาร์เมเจอร์ (H)

e_g คือ แรงดันเหนี่ยวนำต้านกลับ (V)

ω คือ ความเร็วรอบมอเตอร์ (rad/s)

T_d คือ แรงบิดเหนี่ยวนำภายในมอเตอร์ ($N \cdot m$)

B คือ ค่าคงที่ความเสียดทานหนืด ($N \cdot m \cdot s/rad$)

T_L คือ แรงบิดโหลด ($N \cdot m$)

v_f คือ แรงดันไฟฟ้าสนาม (V)

i_f คือ กระแสไฟฟ้าสนาม (A)

R_f คือ ความต้านทานสนาม (Ω)

L_f คือ ความเหนี่ยวนำสนาม (H)

เมื่อพิจารณาฝั่งวงจรอาร์เมเจอร์ตามกฎของเคอร์ชอฟฟ์ จะได้ดังสมการที่ (2.1)

$$v_a = i_a R_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_g \quad (2.1)$$

จากสมการที่ (2.1) ถ้าพิจารณาเฉพาะในสภาวะคงตัวจะได้สมการที่ (2.2)

$$v_a = i_a R_a + e_g \quad (2.2)$$

เมื่อพิจารณาฝั่งวงจรสนามตามกฎของเคอร์ชอฟฟ์ จะได้สมการที่ (2.3)

$$v_f = i_f R_f + L_f \frac{di_f}{dt} \quad (2.3)$$

จากสมการที่ (2.3) พิจารณาในสภาวะคงตัวจะได้สมการที่ (2.4)

$$v_f = i_f R_f \quad (2.4)$$

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงรับกำลังงานอินพุตเป็นกำลังงานไฟฟ้าและจ่ายกำลังงานเอาต์พุตเป็นกำลังงานกล กำลังงานเอาต์พุตของมอเตอร์ที่นำไปใช้งาน คือ แรงบิดที่เพลาและความเร็ว ดังนั้นเมื่อกล่าวถึงลักษณะสมบัติการจ่ายกำลังงานเอาต์พุตของมอเตอร์จะหมายถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิดหรือเรียกอีกอย่างว่า ลักษณะสมบัติความเร็วแรงบิดของมอเตอร์ ซึ่งหาได้โดยตรงจากสมการแรงดันเหนี่ยวนำด้านกลับและแรงบิดเหนี่ยวนำภายในมอเตอร์ ทั้งสองสมการคำนวณได้สมการที่ (2.5) และ (2.6) ตามลำดับ

$$e_g = K_v i_f \omega \quad (2.5)$$

เมื่อ K_v คือ ค่าคงที่ของแรงดัน ($V \cdot s/rad$)

$$T_d = K_t i_f i_a \quad (2.6)$$

เมื่อ K_t คือ ค่าคงที่ของแรงบิด ($N \cdot m/A$) โดยส่วนใหญ่แล้วจะกำหนดให้ $K_v = K_t = K$

เมื่อพิจารณาจากการหมุนในสภาวะคงตัว จะได้สมการที่ (2.7)

$$T_d = B\omega + T_L \quad (2.7)$$

การหาสมการความเร็วแรงบิดของมอเตอร์ เริ่มจากการพิจารณาตามกฎของเคอร์ชอฟฟ์ฝั่งวงจรอาร์เมเจอร์ คือ สมการที่ (2.2) และสมมติให้กระแสสนามคงที่ ต่อมาแทนค่าสมการที่ (2.5) ลงในสมการที่ (2.2) จะได้สมการที่ (2.8) ดังนี้

$$v_a = i_a R_a + K i_f \omega \quad (2.8)$$

จากสมการที่ (2.6) ทำการย้ายข้างสมการเพื่อหาค่า i_a เป็นไปดังสมการที่ (2.9) คือ

$$i_a = \frac{T_d}{K i_f} \quad (2.9)$$

นำสมการที่ (2.9) แทนลงในสมการที่ (2.8) จะได้สมการที่ (2.10) คือ

$$v_a = \frac{T_d}{K i_f} R_a + K i_f \omega \quad (2.10)$$

ดังนั้นเมื่อทำการย้ายข้างสมการที่ (2.10) เพื่อหาค่า ω จะได้สมการความเร็วแรงบิดของมอเตอร์ ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.11) ดังนี้

$$\omega = \frac{v_a}{K i_f} - \frac{R_a}{(K i_f)^2} T_d \quad (2.11)$$

สมการคำนวณกำลังงานอินพุตและกำลังงานเอาต์พุตของมอเตอร์ เป็นดังสมการที่ (2.12) และ (2.13) ตามลำดับ

$$P_{in} = v_a i_a + v_f i_f \quad (2.12)$$

$$P_{out} = T_L \omega \quad (2.13)$$

2.2.2 พารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้นที่ใช้ในงานวิจัย

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้นที่ใช้งานมีพิกัด ดังนี้

วงจรอาร์เมเจอร์ : ค่าแรงดันอาร์เมเจอร์ 220 V กระแสอาร์เมเจอร์ 2.2 A กำลังงาน 0.37 kW และความเร็วรอบ 2360 rpm

วงจรสนาม : ค่าแรงดันสนาม 220 V และกระแสสนาม 0.3 A

จากการวัดค่าความต้านทานของมอเตอร์แล้วหาค่าเฉลี่ยจะได้ว่า R_a เท่ากับ 15.99 Ω และ R_f เท่ากับ 735.43 Ω

จากค่าพิกัดของมอเตอร์ที่ได้นำเสนอข้างต้นสามารถนำไปคำนวณหาพารามิเตอร์ที่จำเป็นของมอเตอร์ได้ดังนี้

- ค่า K

นำสมการที่ (2.5) แทนในสมการที่ (2.2) จะได้ดังสมการที่ (2.14) คือ

$$v_a = i_a R_a + K i_f \omega \quad (2.14)$$

ทำการย้ายข้างสมการเพื่อหาค่า K และแทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการ จะได้

$$K = \frac{220 - (2.2 \times 15.99)}{(0.3 \times 247.14)} = 2.49$$

- ค่า T_d

จากสมการที่ (2.6) เมื่อแทนค่าสมการ จะได้

$$T_d = 2.49 \times 2.2 \times 0.3 = 1.6434 \text{ N} \cdot \text{m}$$

- ค่า B

จากสมการที่ (2.7) ย้ายข้างสมการหาค่า B และแทนค่าพารามิเตอร์ที่ทราบค่า จะ

ได้

$$B = \frac{1.6434 - 1.497}{247.14} = 5.924 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s/rad}$$

ดังนั้นจากการคำนวณพารามิเตอร์ต่าง ๆ ข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ค่า K เท่ากับ 2.49 ค่า T_d เท่ากับ $1.6434 \text{ N} \cdot \text{m}$ และค่า B เท่ากับ $5.924 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s/rad}$

2.3 กำลังงานสูญเสียของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น

กำลังงานสูญเสียของมอเตอร์มี 5 ชนิด ซึ่งกำลังงานสูญเสียแต่ละชนิดเกิดจากปัจจัยที่แตกต่างกัน ดังต่อไปนี้

2.3.1 กำลังงานสูญเสียเนื่องจากขดลวด (copper losses)

กำลังงานสูญเสียชนิดนี้เกิดเนื่องจากกระแสที่ไหลผ่านขดลวด ทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียในความต้านทานของขดลวด (ohmic loss) (Ryff, 1994) ซึ่งเกิดทั้งในขดลวดอาร์เมเจอร์และขดลวดสนาม แสดงได้ดังสมการที่ (2.15) และ (2.16) ตามลำดับ

$$P_a = i_a^2 R_a \quad (2.15)$$

$$P_f = i_f^2 R_f \quad (2.16)$$

โดยที่ P_a คือ กำลังงานสูญเสียอาร์เมเจอร์ (W)

P_f คือ กำลังงานสูญเสียสนาม (W)

2.3.2 กำลังงานสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานและแรงต้านอากาศ (friction and windage losses)

กำลังงานสูญเสียดังกล่าวเกิดจากหลายปัจจัย คือ จากการเสียดสีในตลับลูกปืน การเสียดสีระหว่างแปรงถ่านกับผิวคอมมิวเตเตอร์ และจากการหมุนปะทะลมของตัวโรเตอร์ ค่ากำลังงานสูญเสียนี้อาจเพิ่มขึ้นตามความเร็วในการหมุน ซึ่งถ้ามอเตอร์ทำงานที่ความเร็วคงที่ ค่ากำลังงานสูญเสียจะมีค่าคงที่ด้วยโดยไม่คำนึงถึงปริมาณโหลด (วีริยะ, 2521) กำลังงานสูญเสียดังกล่าวข้างต้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (2.17)

$$P_m = K_m N^3 \quad (2.17)$$

โดยที่ P_m คือ กำลังงานสูญเสียจากแรงเสียดทานและแรงต้านอากาศ (W)

K_m คือ ค่าคงที่ของกำลังงานสูญเสียจากแรงเสียดทานและแรงต้านอากาศ

N คือ ความเร็วรอบมอเตอร์ (rpm)

งานวิจัยนี้ไม่นำกำลังงานงานสูญเสียดังกล่าวไปพิจารณาในการคำนวณ เนื่องจากกำลังงานสูญเสียนี้ปกติจะมีค่าน้อย (Ryff, 1994) อีกทั้งสมการของกำลังงานสูญเสียดังกล่าวไม่ปรากฏพารามิเตอร์ที่พิจารณาอยู่ในสมการ ซึ่งพารามิเตอร์ที่พิจารณาในงานวิจัยนี้จะเกี่ยวข้องกับการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ คือ i_a, i_f, v_a และ v_f

2.3.3 กำลังงานสูญเสียจากแกนเหล็ก (core losses)

กำลังงานสูญเสียชนิดนี้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในแกนเหล็กของอาร์เมเจอร์ เมื่ออาร์เมเจอร์หมุนแกนเหล็กจะเคลื่อนผ่านขั้วเหนือและใต้ของขั้วแม่เหล็ก ทำให้สนามที่ผ่านแกนเหล็กมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ซึ่งทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียดังต่อไปนี้

- กำลังงานสูญเสียฮิสเตอร์ซิส (hysteresis loss)

กำลังงานสูญเสียฮิสเตอร์ซิสเกิดจากการเปลี่ยนทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็ก กำลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนทิศทาง สามารถแทนด้วยพื้นที่วงปิดฮิสเตอร์ซิส ซึ่งกำลังงานสูญเสียฮิสเตอร์ซิสเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของวงปิดฮิสเตอร์ซิส หมายความว่า ถ้าป้อนแรงเคลื่อนแม่เหล็กเล็กน้อย วงปิดฮิสเตอร์ซิสที่ได้จะมีขนาดเล็ก และกำลังงานสูญเสียฮิสเตอร์ซิสจะมีค่าน้อย (Chapman, 1999) และกำลังงานสูญเสียนี้ขึ้นอยู่กับปริมาตรของแกนเหล็ก ความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ และความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุด (Toro, 1990) ดังนั้นจึงได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.18)

$$P_h = k_h \omega B_m^n V \quad (2.18)$$

โดยที่ P_h คือ กำลังงานสูญเสียฮิสเตอร์ซิส (W)

k_h คือ ค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กัวัสดุ

n คือ ค่ายกกำลัง เท่ากับ 2 (Zaki, El-Sattar, Wahsh, Mashaly and Amer, 1998)

B_m คือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุด (T)

V คือ ปริมาตรของแกนเหล็ก (m^3)

- กำลังงานสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (eddy current loss)

ลักษณะการทำงานของมอเตอร์ เมื่ออาร์เมเจอร์หมุน แกนเหล็กของอาร์เมเจอร์จะตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก ทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นในตัวอาร์เมเจอร์ และเกิดกระแสไหลในแกนเหล็ก เรียกว่า กระแสไหลวน และกำลังงานสูญเสียเนื่องจากการไหลของกระแสนี้ เรียกว่า กำลังงานสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (Nasar, 1995) กำลังงานสูญเสียดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับปริมาตรของแกนเหล็ก ความหนาแน่นของแผ่นเหล็กบาง ความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ และความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุด ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.19)

$$P_e = k_e \omega^2 \delta^2 B_m^2 V \quad (2.19)$$

โดยที่ P_e คือ กำลังงานสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (W)

k_e คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับความเหนี่ยวนำของวัสดุ

δ คือ ความหนาของแผ่นเหล็กบาง (m)

สมการรวมของกำลังงานสูญเสียฮิสเตอร์ซิสและกำลังงานสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนแสดงได้ดังสมการที่ (2.20)

$$P_h + P_e = K_1 \omega B_m^2 + K_2 \omega^2 B_m^2 \quad (2.20)$$

โดยที่ $K_1 = k_h V$

$K_2 = k_e \delta^2 V$

จากการศึกษาพบว่ากระแสที่ไหลในขดลวดสนามเป็นตัวสร้างแรงเคลื่อนแม่เหล็ก ซึ่งแรงเคลื่อนแม่เหล็กดังกล่าวจะสร้างฟลักซ์แม่เหล็ก และเนื่องจากแรงเคลื่อนแม่เหล็กเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสสนาม ดังนั้นฟลักซ์แม่เหล็กจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสสนามด้วยเช่นกัน (Fitzgerald, Kingsley and Umans, 1983) จากการอธิบายข้างต้นความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์แม่เหล็กและกระแสสนามดูได้จากสมการที่ (2.21)

$$B_m = f(i_f) = K i_f \quad (2.21)$$

โดยที่ K คือ ค่าคงที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์แม่เหล็กกับกระแสสนาม



ดังนั้นสมการสำหรับคำนวณกำลังงานสูญเสียจากแกนเหล็กจะเป็นดังสมการที่ (2.22)

$$P_i = K_h \omega i_f^2 + K_e \omega^2 i_f^2 \quad (2.22)$$

โดยที่ P_i คือ กำลังงานสูญเสียจากแกนเหล็ก (W)

$$K_h = K_1 K$$

$$K_e = K_2 K^2$$

จากการศึกษาของ Zaki, El-Sattar, Wahsh, Mashaly and Amer (1998) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังงานสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนมีค่าน้อยมาก จึงไม่พิจารณาค่ากำลังงานสูญเสียดังกล่าวในงานวิจัย

2.3.4 กำลังงานสูญเสียจากแปรงถ่าน (brush losses)

กำลังงานสูญเสียจากแปรงถ่านเกิดจากค่าความต้านทานของแปรงถ่าน เมื่อกระแสไหลผ่านแปรงถ่านจะเกิดแรงดันตกที่แปรงถ่าน เมื่อแรงดันตกนี้คูณกับกระแสที่ไหลผ่าน จะเกิดกำลังงานสูญเสียที่ตัวแปรงถ่าน ค่าแรงดันตกของแปรงถ่านจะขึ้นอยู่กับชนิดของแปรงถ่านที่ใช้ โดยทั่วไปจะใช้แปรงถ่านคาร์บอนและแกรไฟต์ ซึ่งวัสดุเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นตัวนำสูง จึงกำหนดให้ค่าแรงดันตกคร่อมเท่ากับ 1 V ต่อแปรงถ่าน 1 ชุด ในกรณีที่มีแปรงถ่านบวกและลบจำนวนทั้งหมด 2 ชุดจะได้แรงดันตกคร่อมแปรงถ่านรวมทั้งหมด 2 V (Chapman, 1999) ดังนั้นกำลังงานสูญเสียนี้จึงมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ (2.23)

$$P_{BD} = V_e i_a \quad (2.23)$$

โดยที่ P_{BD} คือ กำลังงานสูญเสียจากแปรงถ่าน (W)

V_e คือ แรงดันตกคร่อมแปรงถ่าน มีค่าเท่ากับ 2 V

2.3.5 กำลังงานสูญเสียจากการใช้งาน (stray losses)

กำลังงานสูญเสียชนิดนี้เป็นผลมาจากการบิดเบี้ยวของฟลักซ์แม่เหล็กอันเนื่องจากปฏิกิริยาอาร์เมเจอร์ และกระแสลัดวงจรในกระบวนการคอมมิวเตชัน (Guru and Hiziroglu, 2001) กำลังงานสูญเสียนี้มีค่าแปรผันโดยตรงกับขนาดของกระแสไหลและความเร็วรอบของมอเตอร์

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	
ห้องสมุดงานวิจัย	
วันที่.....	31 ต.ค. 2555
เลขทะเบียน.....	250345
เลขเรียกหนังสือ.....	

โดยปกติกำลังงานสูญเสียดังกล่าวมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับกำลังงานสูญเสียชนิดอื่น ซึ่งกำลังงานสูญเสียจากการะการใช้งานสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.24) ดังนี้

$$P_s = K_{st} i_a^2 N^2 \quad (2.24)$$

โดยที่ P_s คือ กำลังงานสูญเสียจากการะการใช้งาน (W)

K_{st} คือ ค่าคงที่ของกำลังงานสูญเสียจากการะการใช้งาน

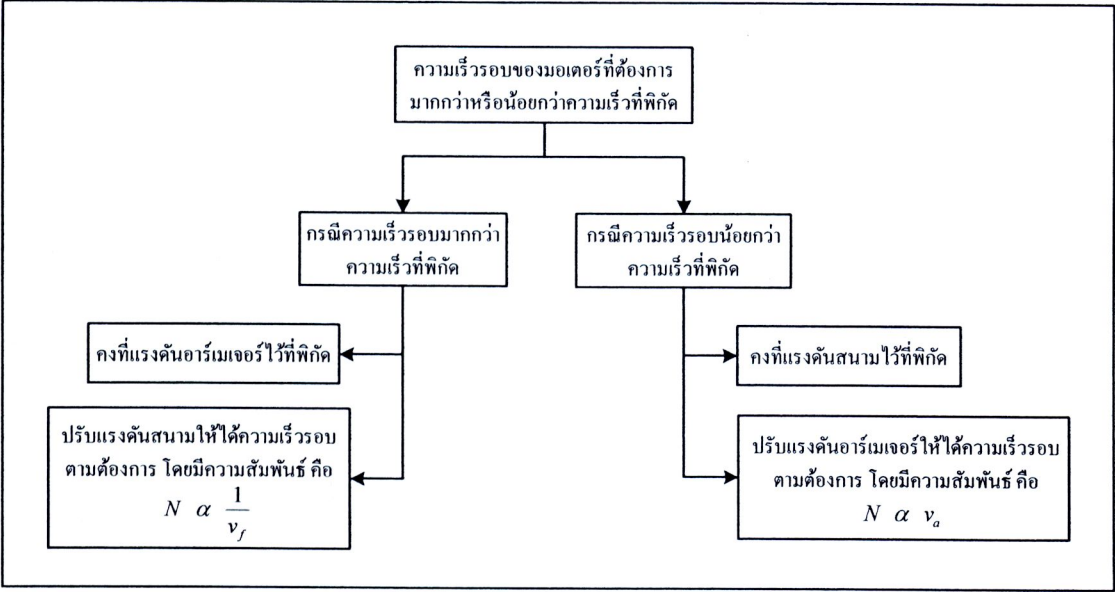
จากการอธิบายทั้งหมดข้างต้นสมการกำลังงานสูญเสียรวมในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น จะเป็นดังสมการที่ (2.25)

$$P_{loss} = i_a^2 R_a + i_f^2 R_f + 2i_a + K_a i_a^2 \omega^2 + K_h i_f^2 \omega \quad (2.25)$$

โดยที่ $K_a = \frac{60^2}{4\pi^2} K_{st}$

2.4 การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น

การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น จะใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 2 ชุด เพื่อป้อนให้กับวงจรอาร์เมเจอร์และวงจรรสนาม ซึ่งมอเตอร์จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ระบบขับเคลื่อนที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนี้มีข้อดี คือ ช่วงของความเร็วที่ปรับใช้งานกว้าง ดังนั้นจึงสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้โดยง่าย การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น มีหลักการควบคุม 2 ส่วน (Chapman, 2005) ต่อไปนี้จะเรียกรวมทั้ง 2 ส่วนว่า วิธีดั้งเดิม ซึ่งแต่ละส่วนจะควบคุมความเร็วรอบในช่วงที่แตกต่างกัน แสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนภาพหลักการควบคุมความเร็วด้วยวิธีดั้งเดิม

จากรูปที่ 2.2 การควบคุมความเร็วรอบด้วยวิธีดั้งเดิมดังกล่าว คือ การควบคุมกระแสสนาม และการควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

2.4.1 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์โดยการควบคุมกระแสสนาม

การควบคุมความเร็วรอบด้วยวิธีนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสสนาม ซึ่งทำได้โดยการปรับค่าแรงดันสนาม โดยที่แรงดันอาร์เมเจอร์มีค่าคงที่ จากสมการที่ (2.11) จะอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกระแสสนามและความเร็วของมอเตอร์ได้ว่า เมื่อค่ากระแสสนามมีค่าลดลง ความเร็วรอบของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้น ถ้าค่ากระแสสนามมีค่ามากขึ้น ความเร็วรอบของมอเตอร์จะลดลง แต่การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยวิธีนี้ สามารถควบคุมความเร็วรอบได้ตั้งแต่ความเร็วพิกัดขึ้นไปเท่านั้น ไม่สามารถควบคุมความเร็วให้ต่ำกว่าความเร็วพิกัดได้ เนื่องจากการควบคุมความเร็วรอบที่ต่ำกว่าความเร็วพิกัด ต้องการกระแสสนามจำนวนมาก ซึ่งถ้ากระแสสนามมีค่ามากเกินไปค่าพิกัดของขดลวดสนาม จะทำให้ขดลวดสนามเสียหายได้

2.4.2 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์โดยการควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์

การควบคุมความเร็วด้วยวิธีนี้ คือ การปรับแรงดันที่จ่ายให้วงจรอาร์เมเจอร์ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่จ่ายให้วงจรถ่าน ซึ่งหมายถึงให้กระแสสนามคงที่นั่นเอง เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์จากสมการที่ (2.11) สังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มแรงดันอาร์เมเจอร์ ความเร็วรอบของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้น และถ้าลดแรงดันอาร์เมเจอร์ ความเร็วรอบของมอเตอร์จะลดลง การควบคุมความเร็วรอบ

ด้วยวิธีนี้สามารถควบคุมความเร็วได้ไม่เกินความเร็วพิกัดเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากการควบคุมความเร็วรอบสูงกว่าความเร็วพิกัด จะต้องการแรงดันอาร์เมเจอร์ที่สูงมาก ซึ่งถ้าขดลวดอาร์เมเจอร์ได้รับแรงดันเกิน จะทำให้ฉนวนของมอเตอร์เสียหายได้

จากการควบคุมความเร็วรอบด้วยวิธีดั้งเดิมที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ได้ทำการกำหนดความเร็วรอบค่าต่าง ๆ ขึ้นมาเพื่อคำนวณหาค่ากำลังงานอินพุตที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ด้วยวิธีดั้งเดิม โดยการคำนวณอาศัยสมการพื้นฐานและพารามิเตอร์ของมอเตอร์ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.2 ผลการคำนวณแสดงได้ดังตารางที่ 2.1 ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ผลการคำนวณกำลังงานอินพุตที่ควบคุมความเร็วรอบด้วยวิธีดั้งเดิม

T_L (N · m)	N (rpm)	i_f (A)	v_f (V)	i_a (A)	v_a (V)	P_m (W)
0.2	1000	0.30	220.00	0.27	82.51	88.09
	2000	0.30	220.00	0.27	160.73	109.03
	2750	0.30	220.00	0.27	220.00	125.09
0.4	1000	0.30	220.00	0.54	86.79	112.47
	2000	0.30	220.00	0.54	165.01	154.36
	2750	0.29	216.66	0.55	220.00	183.79
0.6	1000	0.30	220.00	0.80	91.07	139.15
	2000	0.30	220.00	0.80	169.29	201.98
	2750	0.29	211.80	0.84	220.00	245.07
0.8	1000	0.30	220.00	1.07	95.35	168.12
	2000	0.30	220.00	1.07	173.58	251.89
	2750	0.28	206.88	1.14	220.00	309.47
1	1000	0.30	220.00	1.34	99.63	199.38
	2000	0.30	220.00	1.34	177.86	304.09
	2750	0.27	201.51	1.47	220.00	377.67
1.2	1000	0.30	220.00	1.61	103.91	232.93
	2000	0.30	220.00	1.61	182.14	358.59
	2750	0.27	195.99	1.81	220.00	450.07

ตารางที่ 2.1 ผลการคำนวณกำลังงานอินพุตที่ควบคุมความเร็วรอบด้วยวิธีดั้งเดิม (ต่อ)

T_L (N · m)	N (rpm)	i_f (A)	v_f (V)	i_a (A)	v_a (V)	P_{in} (W)
1.4	1000	0.30	220.00	1.87	108.19	268.77
	2000	0.30	220.00	1.87	186.42	415.38
	2750	0.26	189.89	2.18	220.00	528.09
1.5	1000	0.30	220.00	2.01	110.33	287.55
	2000	0.30	220.00	2.01	188.56	444.63
	2750	0.26	189.52	2.20	220.00	532.84

ผลจากตารางที่ 2.1 การคำนวณกำลังงานอินพุตที่ควบคุมความเร็วรอบด้วยวิธีดั้งเดิม จะใช้สำหรับเปรียบเทียบกับกำลังงานอินพุตที่ได้จากการควบคุมความเร็วรอบด้วยวิธีอื่น ๆ โดยในบทที่ 4 จะอธิบายเกี่ยวกับผลการเปรียบเทียบระหว่างวิธีดั้งเดิมกับวิธีทางคณิตศาสตร์ และในบทที่ 5 จะเปรียบเทียบกับอีก 3 วิธี คือ วิธีดั้งเดิม วิธีทางคณิตศาสตร์และวิธีฐานแบบจำลอง ซึ่งวิธีฐานแบบจำลองเป็นวิธีที่ผู้ทำวิจัยคิดค้นขึ้นเอง

2.5 สรุป

การอธิบายเนื้อหาในบทนี้ เป็นการนำเสนอเกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น ซึ่งการทำความเข้าใจในเรื่องดังกล่าวมีความสำคัญมากสำหรับการหาแนวทางในการประหยัดพลังงานของมอเตอร์ เนื่องจากสมการและค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ จำเป็นต้องนำไปใช้ในการทำวิจัย เช่นนำไปคำนวณค่ากำลังงานตามวิธีดั้งเดิมและวิธีที่คิดค้นขึ้นใหม่ เพื่อนำผลการคำนวณมาเปรียบเทียบกับกัน เป็นต้น และในส่วนของสมการกำลังงานสูญเสีย ที่มีพารามิเตอร์บางตัวที่ไม่ทราบค่า ในงานวิจัยนี้ได้นำวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์เข้ามาช่วยในการหาค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว ซึ่งจะอธิบายอย่างละเอียดไว้ในบทที่ 3 ต่อไป