| | | |
|---|---|---|
| | **แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 7** | หน่วยที่ 7 |
| | ชื่อวิชา **เครื่องกลไฟฟ้า 1** รหัสวิชา 30104-2003 | สอนครั้งที่ 10-11 |
| | ชื่อหน่วย **การควบคุมความเร็วและการเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง** | ชั่วโมงรวม 10 ชม. |

## หัวข้อเรื่อง (Topics)

7.1 หลักการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
7.2 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้
7.3 การควบคุมค่าความต้านทานในวงจรอาร์เมเจอร์
7.4 การควบคุมจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก
7.5 การคำนวณหาค่าต่างๆ ในการควบคุมเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
7.6 การเริ่มเดินและความต้านทานเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
7.7 การคำนวณหาค่าความต้านทานเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

## สมรรถนะย่อย (Element of Competency)

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการควบคุมความเร็วและการเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2. ต่อวงจรทดสอบและสรุปผลจากการทดลองการควบคุมความเร็วและการเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง

## สมรรถนะที่พึงประสงค์

| ความรู้ | ทักษะ | คุณธรรม/จริยธรรม |
|---|---|---|
| 1. อธิบายหลักการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้<br>2. อธิบายการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ได้<br>3. อธิบายการควบคุมค่าความต้านทานในวงจรอาร์เมเจอร์ได้<br>4. อธิบายการควบคุมจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กได้<br>5. คำนวณหาค่าต่างๆ ในการควบคุมเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ | 1. ทดสอบการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้<br>2. ทดสอบการเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ | 1. ตรงต่อเวลา<br>2. มีความตระหนักในหน้าที่ของนักศึกษา<br>3. มีความรับผิดชอบต่อตนเองและสังคม<br>4. แต่งกายถูกต้องตามระเบียบ<br>5. แสดงความเคารพด้วยท่าทีที่ |

| | | |
|---|---|---|
| 6. อธิบายการเริ่มเดินและความต้านทานเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้<br>7. คำนวณหาค่าความต้านทานเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ | | สวยงาม<br>6. ทำงานด้วยความเต็มใจ |

## เนื้อหาสาระ

## 7.1 หลักการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้าได้เริ่มหมุนไปแล้วสามารถที่จะควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ให้ต่ำกว่าหรือสูงกว่าพิกัดได้ ซึ่งการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระทำได้หลายวิธี พิจารณาสมการได้ดังนี้

$$E_a = V_t - I_a R_a$$ แต่ $E_a = K_f I_f n$ หรือเท่ากับ $K_a \Phi n$

$$K_a \Phi n = V_t - I_a R_a$$

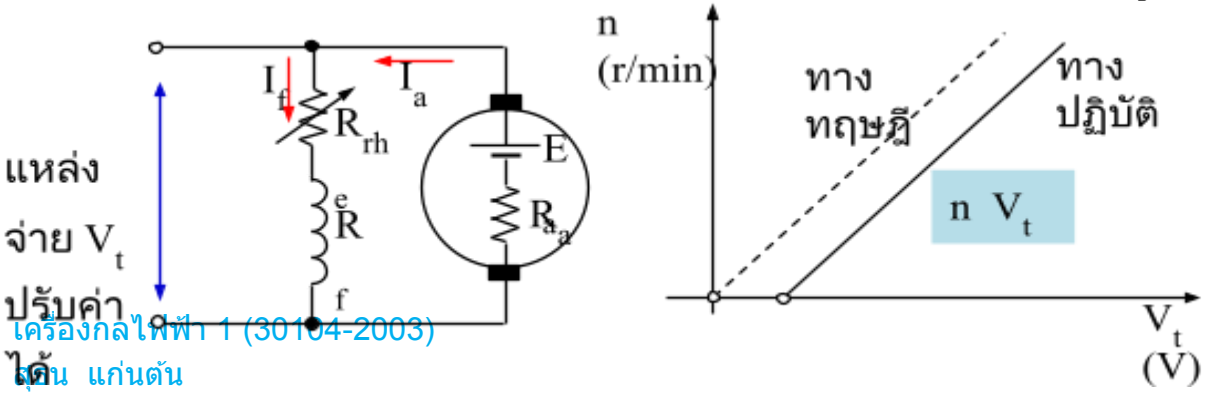
ดังนั้น

$$n = \frac{V_t}{K_a \Phi} - \frac{I_a R_a}{K_a \Phi}$$

จากสมการ เห็นว่าในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้านั้น มีด้วยกันอยู่ 3 ค่า คือ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ ($V_t$) ความต้านทานที่อาร์เมเจอร์ ($R_a$) และจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก ($\Phi$) ซึ่งทั้ง 3 ค่า

## 7.2 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้

ทำได้โดยนำแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับค่าได้มาจ่ายให้กับมอเตอร์เพื่อเพิ่มหรือลดขนาดแรงดันไฟฟ้าของวงจรอาร์เมเจอร์ ดังรูป



(ก) แหล่งจ่าย $V_t$ ปรับค่าได้เพื่อควบคุมความเร็วรอบ (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับ $V_t$

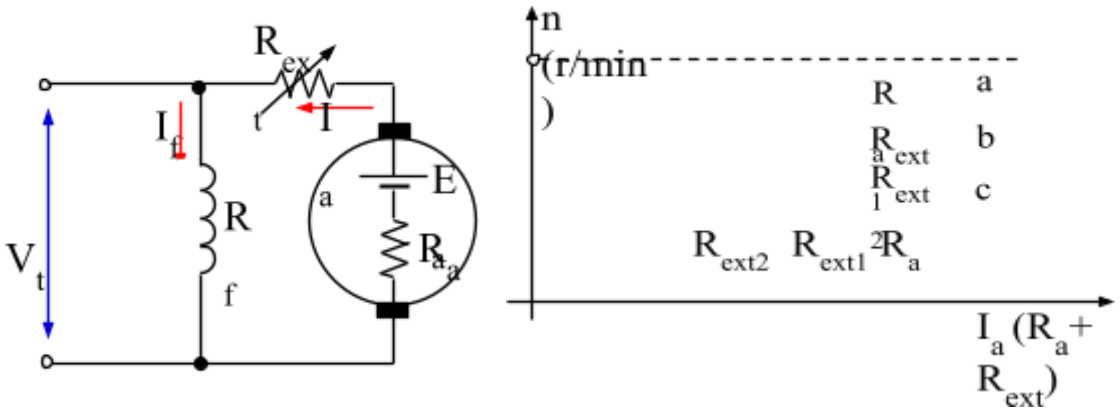
**รูปที่ 7.1** การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบชันต์โดยควบคุมแรงดันที่แหล่งจ่าย

เมื่อปรับขนาดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มีค่าเท่ากับศูนย์โดยตัวแปรอื่นมีค่าคงที่ จะเห็นว่าความเร็วรอบมีค่าเป็นศูนย์ (มอเตอร์ยังไม่หมุน) และเมื่อปรับขนาดแรงดัน $V_t$ ให้เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นผลทำให้ความเร็วรอบเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จากรูปที่ 7.1 (ข) เส้นกราฟเส้นประซึ่งเป็นในทางทฤษฎี นั่นคือเมื่อแรงดัน ไฟฟ้าที่จ่ายให้มีค่าเท่ากับศูนย์ ความเร็วรอบก็มีค่าเป็นศูนย์ด้วยและเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นความเร็วรอบก็จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามด้วยในลักษณะของเส้นตรง แต่ในทางปฏิบัติจะต้องมีแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ค่าหนึ่งเพื่อให้มีกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดอาร์เมเจอร์เพื่อให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กที่อาร์เมเจอร์กับเส้นแรงแม่เหล็กที่แกนขั้วเกิดการผลักตัวนำให้หมุนไปได้ และเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นความเร็วรอบก็จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในลักษณะของเส้นตรง

## 7.3 การควบคุมค่าความต้านทานในวงจรอาร์เมเจอร์

ทำได้โดยนำตัวต้านทานภายนอกมาต่ออนุกรมกับขดลวดอาร์เมเจอร์ทั้งนี้เพื่อเพิ่มหรือลดค่าความ-ต้านทานของวงจรอาร์เมเจอร์ดังรูป ในการเลือกค่าความต้านทานนี้ต้องเลือกให้ใกล้เคียงกับค่าความ

ต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์และต้องทนกระแสไฟฟ้าได้เท่ากับหรือมากกว่ากระแสไฟฟ้าอาร์เมเจอร์

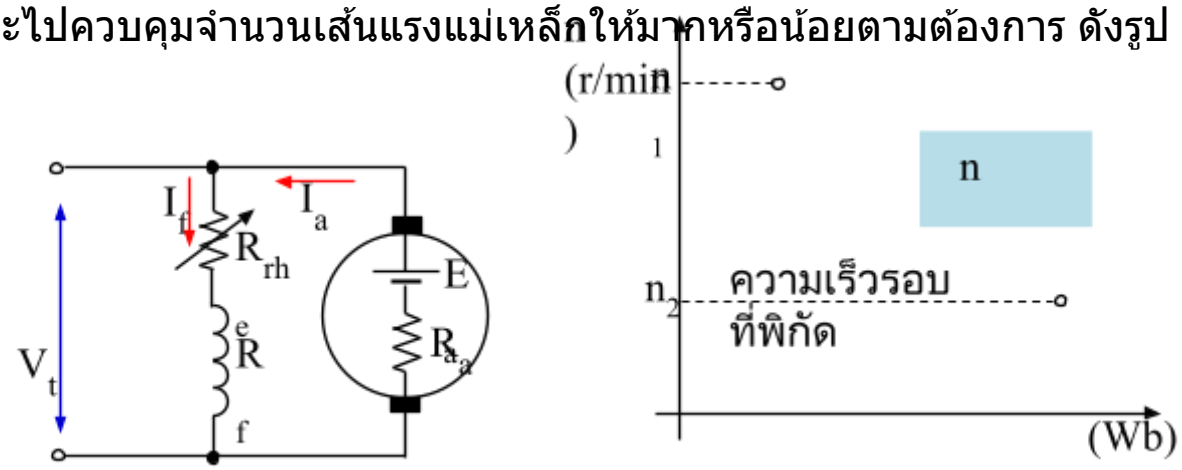



(ก) ความต้านทานภายนอกต่ออนุกรมกับที่อาร์เมเจอร์ (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้า

**รูปที่ 7.2** การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบชันต์โดยการควบคุมค่าความต้านทานที่อาร์เมเจอร์

## 7.4 การควบคุมจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก

ทำได้โดยนำตัวต้านทานรีโอสแตต ($R_{rhe}$) มาต่ออนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชันต์ เพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดสนามแม่เหล็กให้มากหรือน้อยตามต้องการ ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดสนามแม่เหล็กนี้ก็จะไปควบคุมจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กให้มากหรือน้อยตามต้องการ ดังรูป




(ก) ความต้านทาน $R_{rhe}$ ต่ออนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็ก (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก

**รูปที่ 7.3** การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบชันต์โดยการควบคุมจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก

## 7.5 การคำนวณหาค่าต่างๆ ในการควบคุมเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

**ตัวอย่างที่ 7.1** มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชันต์ มีค่าความต้านทานจากขดลวดอาร์เมเจอร์ 5 Ω เมื่อมีโหลดมีกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ 10 A แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ 130 V ที่ความเร็วรอบ 800 r/min โดยให้กระแสไฟฟ้าอาร์เมเจอร์และที่ขดลวดสนามแม่เหล็กมีค่าคงที่ ไม่คิดผลของอาร์เมเจอร์รีแอกชัน จงคำนวณ- หาแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ ที่ความเร็วรอบ 1000 r/min, 1200r/min และ 1400 r/min

**วิธีทำ** จากสมการ $E_a = V_t - I_a R_a$

หรือ $K_f I_f n = V_t - I_a R_a$

ดังนั้น $K_f I_f = \frac{V_t - I_a R_a}{n} = \frac{130 - (10)(5)}{800} = 0.1$

จาก $K_f I_f n = V_t - I_a R_a$

ดังนั้น $V_t = K_f I_f n_1 + I_a R_a$

**ที่ $n_1$ = 1000 r/min** $V_t = K_f I_f n_1 + I_a R_a$

$= (0.1)(1000) + (10)(5)$

$V_t = 150 V$

แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ที่ความเร็วรอบ $n_1$ มีค่าเท่ากับ 150 V

**ตอบ**

**ที่ $n_2$ = 1200 r/min** $V_t = K_f I_f n_2 + I_a R_a$

$= (0.1)(1200) + (10)(5)$

$V_t = 170 V$

แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ที่ความเร็วรอบ $n_2$ มีค่าเท่ากับ 170 V

**ตอบ**

**ที่** $n_3$ = 1400 r/min $V_t = K_f I_f n_3 + I_a R_a$

$= (0.1 \times 1400) + (10 \times 5)$

$V_t = 190 V$

แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ที่ความเร็วรอบ $n_3$ มีค่าเท่ากับ 190 V

**ตอบ**

## 7.6 การเริ่มเดินและความต้านทานเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

**7.6.1 การเริ่มเดิน** ในการเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ทำให้กระแสไฟฟ้าขณะเริ่มเดินนั้นมีค่าสูงทั้งนี้เพราะว่าค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์มีค่าต่ำมาก ขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้าเริ่มเดินยังไม่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับที่อาร์เมเจอร์ ทำให้แรงดันไฟฟ้าเต็มพิกัดจ่ายให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์โดยตรง ผลทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ขณะเริ่มเดินมีค่าสูง ซึ่งจะเป็นผลเสียให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์และเมื่ออาร์เมเจอร์หมุนไปแล้วก็มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับและทำให้กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ก็จะลดลง ซึ่งสามารถพิจารณาหากระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์ ได้ดังนี้

จากสมการ $E_a = V_t - I_a R_a$

ดังนั้น $I_a = \dfrac{V_t - E_a}{R_a}$

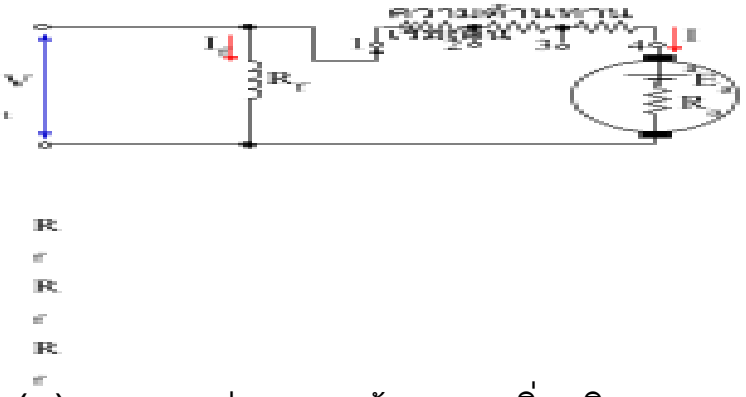
แต่ $E_a = \dfrac{\Phi P n Z}{60 a}$ โดยขณะเริ่มเดินความเร็วรอบ n = 0 ส่งผลให้ $E_a$ = 0 ด้วย

นั่นคือ $I_a = \dfrac{V_t - 0}{R_a}$

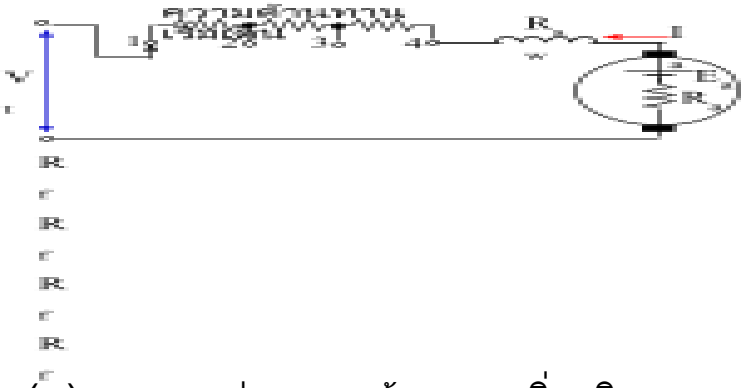
ถ้ากำหนดให้ $I_{st}$ เป็นกระแสไฟฟ้าขณะเริ่มเดินที่ค่าแรงดันไฟฟ้าต้านกลับมีค่าเท่ากับศูนย์ จะได้

$$I_{st} = \frac{V_t}{R_a}$$

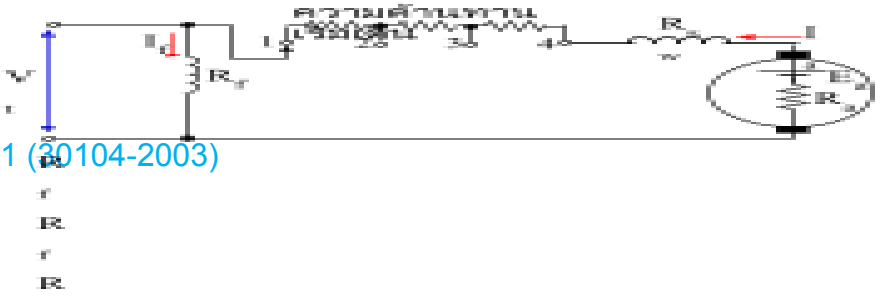
**7.6.2 ความต้านทานเริ่มเดิน** เพื่อลดกระแสไฟฟ้าขณะเริ่มเดินจึงจำเป็นต้องใช้ตัวต้านทานจากภายนอกซึ่งเป็นอุปกรณ์เริ่มเดินมาต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ เมื่อมอเตอร์เริ่มเดินไปแล้วก็จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับทำให้กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ลดลง โดยตัวต้านทานภายนอกนี้ก็จะถูกปรับให้มีค่าลดลงและถูกตัดออกจากวงจรอาร์เมเจอร์ เรียกตัวต้านทานภายนอกนี้ว่า **ความต้านทานเริ่มเดิน** (Starting resistance) โดยต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ เป็นการเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชันต์ โดยที่ตำแหน่งที่ 1 เป็นค่าที่มีความต้านทานของวงจรอาร์เมเจอร์มากเพื่อลดกระแสเริ่มเดิน จากนั้นก็ลดค่าความต้านทานลงมาที่ตำแหน่งที่ 2 ตำแหน่งที่ 3 และตำแหน่งที่ 4 ตามลำดับ ซึ่งตำแหน่งที่ 4 ความต้านทาน เริ่มเดินถูกตัดออกทั้งหมดโดยมีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าที่อาร์เมเจอร์โดยตรง



(ก) การต่อความต้านทานเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบชันต์



(ข) การต่อความต้านทานเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรีย์

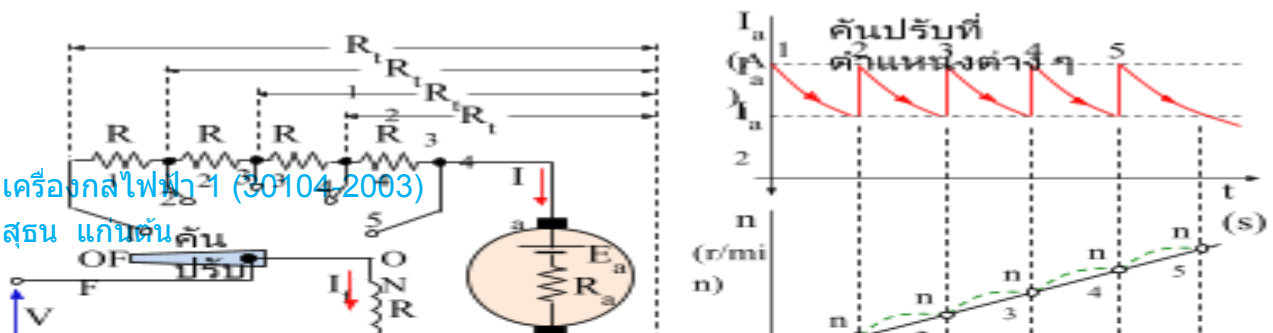


(ค) การต่อความต้านทานเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมปาวด์

**รูปที่ 7.3** การต่อความต้านทานเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบต่าง ๆ

## 7.7 การคำนวณหาค่าความต้านทานเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ตัวต้านทานเริ่มเดินนั้นถูกต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์เพื่อจำกัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ในขณะเริ่มเดิน ซึ่งในทางปฏิบัติตัวต้านทานเริ่มเดินนี้จะถูกแบ่งให้เป็นตัวต้านทานหลาย ๆ ค่ามาต่ออนุกรมกัน ($R_1$, $R_2$, $R_3$ และ $R_4$) เป็นการเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบชันต์ เมื่อเลื่อนคันปรับมาเริ่มสัมผัสที่ตำแหน่งที่ 1 ทำให้กระแสขณะเริ่มเดินเป็น $I_{a1}$ โดยความเร็วรอบเป็นศูนย์ ($n_0$) จากนั้นกระแสที่อาร์เมเจอร์เริ่มเปลี่ยนแปลงลดลงเป็น $I_{a2}$ และความเร็วรอบเริ่มเปลี่ยนแปลงจาก $n_0$ ไปเป็น $n_1$ เมื่อเลื่อนคันปรับเริ่มสัมผัสที่ตำแหน่งที่ 2 ทำให้กระแสขณะเริ่มเดินเพิ่มขึ้นเป็น $I_{a1}$ อีกครั้งหนึ่งจากนั้นกระแสที่อาร์เมเจอร์เริ่มเปลี่ยนแปลงลดลงเป็น $I_{a2}$ โดยความเร็วรอบเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก $n_1$ ไปเป็น $n_2$ เมื่อเลื่อนคันปรับเริ่มสัมผัสที่ตำแหน่งที่ 3 ทำให้กระแสขณะเริ่มเดินเพิ่มขึ้นเป็น $I_{a1}$ อีกครั้งหนึ่งจากนั้นกระแสที่อาร์เมเจอร์เริ่มเปลี่ยนแปลงลดลงเป็น $I_{a2}$ โดยความเร็วรอบเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก $n_2$ ไปเป็น $n_3$ เมื่อเลื่อนคันปรับเริ่มสัมผัสที่ตำแหน่งที่ 4 ทำให้กระแสขณะเริ่มเดินเพิ่มขึ้นเป็น $I_{a1}$ อีกครั้งหนึ่งจากนั้นกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์เริ่มเปลี่ยนแปลงลดลงเป็น $I_{a2}$ โดยความเร็วรอบเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก $n_3$ ไปเป็น $n_4$ และเป็นลักษณะนี้เรื่อยไปจนกระทั่งคันปรับเริ่มสัมผัสที่ตำแหน่งที่ 5 ซึ่งเป็นตำแหน่งสุดท้ายของความต้านทานเริ่มเดิน




เครื่องกลไฟฟ้า 1 (30104-2003)
สุธน แก้นต้น

(ก) ค่าความต้านทานในแต่ละตำแหน่ง (ข) การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าอาร์เมเจอร์

และความเร็วรอบ

**รูปที่ 7.4** การหาค่าความต้านทานเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบชันต์

จากวงจรสามารถคำนวณหาค่าความต้านทานเริ่มเดินได้ดังนี้

$$R_{t1} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_a$$

$$R_{t2} = R_2 + R_3 + R_4 + R_a$$

$$R_{t3} = R_3 + R_4 + R_a$$

$$R_{t4} = R_4 + R_a$$

และ $$R_{t5} = R_a$$

**เมื่อคันปรับเริ่มมาสัมผัสตำแหน่งที่ 1** จะได้

$$I_{a1} = \frac{V_t}{R_{t1}}$$

เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนแล้วทำให้เกิด $E_a$ ขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ $E_{a1}$ ดังนั้น กระแสที่อาร์เมเจอร์เป็น $I_{a2}$

$$I_{a2} = \frac{V_t - E_{a1}}{R_{t1}} \quad \text{..... (7.4)}$$

**เมื่อคันปรับถูกเลื่อนจากตำแหน่งที่ 1 เริ่มมาสัมผัสตำแหน่งที่ 2** จะได้

$$I_{a1} = \frac{V_t - E_{a1}}{R_{t2}} \quad \text{..... (7.5)}$$

นำสมการที่ 7.5 หารด้วยสมการที่ 7.4 จะได้

$$\frac{I_{a1}}{I_{a2}} = \frac{V_t - E_{a1}}{R_{t2}} \times \frac{R_{t1}}{V_t - E_{a1}}$$

$$\frac{I_{a1}}{I_{a2}} = \frac{R_{t1}}{R_{t2}} \quad \text{..... (7.6)}$$

โดยมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ $E_{a2}$ ดังนั้น กระแสที่อาร์เมเจอร์เป็น $I_{a2}$ $I_{a2} = \frac{V_t - E_{a2}}{R_{t2}}$ ..... (7.7)

**เมื่อคันปรับถูกเลื่อนจากตำแหน่งที่ 2 เริ่มมาสัมผัสตำแหน่งที่ 3** จะได้

$$I_{a1} = \frac{V_t - E_{a2}}{R_{t3}} \quad \text{..... (7.8)}$$

นำสมการที่ 7.8 หารด้วยสมการที่ 7.7 จะได้

$$\frac{I_{a1}}{I_{a2}} = \frac{V_t - E_{a2}}{R_{t3}} \times \frac{R_{t2}}{V_t - E_{a2}}$$

$$\frac{I_{a1}}{I_{a2}} = \frac{R_{t2}}{R_{t3}} \quad \text{..... (7.9)}$$

โดยมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ $E_{a3}$ ดังนั้น กระแสที่อาร์เมเจอร์เป็น $I_{a2}$ $I_{a2} = \frac{V_t - E_{a3}}{R_{t3}}$ ..... (7.10)

**เมื่อคันปรับถูกเลื่อนจากตำแหน่งที่ 3 เริ่มมาสัมผัสตำแหน่งที่ 4** จะได้

$$I_{a1} = \frac{V_t - E_{a3}}{R_{t4}} \quad \text{..... (7.11)}$$

นำสมการที่ 7.11 หารด้วยสมการที่ 7.10 จะได้

$$\frac{I_{a1}}{I_{a2}} = \frac{V_t - E_{a3}}{R_{t4}} \times \frac{R_{t3}}{V_t - E_{a3}}$$

$$\frac{I_{a1}}{I_{a2}} = \frac{R_{t3}}{R_{t4}} \qquad \text{..... (7.12)}$$

โดยมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ $E_{a4}$ ดังนั้น กระแสที่อาร์เมเจอร์เป็น $I_{a2}$ $I_{a2} = \frac{V_t - E_{a4}}{R_{t4}}$ ..... (7.13)

**เมื่อคันปรับถูกเลื่อนจากตำแหน่งที่ 4 เริ่มมาสัมผัสตำแหน่งที่ 5** จะได้

$$I_{a1} = \frac{V_t - E_{a4}}{R_{t5}} = \frac{V_t - E_{a4}}{R_a} \qquad \text{..... (7.14)}$$

นำสมการที่ 7.14 หารด้วยสมการ 7.13 จะได้

$$\frac{I_{a1}}{I_{a2}} = \frac{V_t - E_{a4}}{R_a} \times \frac{R_{t4}}{V_t - E_{a4}}$$

$$\frac{I_{a1}}{I_{a2}} = \frac{R_{t4}}{R_a} \qquad \text{..... (7.15)}$$

จากสมการที่ 7.6, 7.9, 7.12 และสมการที่ 7.15 จะได้

$$\frac{I_{a1}}{I_{a2}} = \frac{R_{t1}}{R_{t2}} = \frac{R_{t2}}{R_{t3}} = \frac{R_{t3}}{R_{t4}} = \frac{R_{t4}}{R_a} = K \qquad \text{.....}$$

**(7.16)**

จากสมการ 7.16 จะได้ $R_{t4} = KR_a$

$$R_{t3} = KR_{t4} = KKR_a = K^2R_a$$

$$R_{t2} = KR_{t3} = KK^2R_a = K^3R_a$$

$$R_{t1} = KR_{t2} = KK^3R_a = K^4R_a$$

ถ้ากำหนดให้ n = จำนวนตำแหน่ง หรือจำนวนปุ่มที่คันปรับสัมผัส

n – 1 = จำนวนของส่วนที่แบ่ง หรือจำนวนตัวต้านทาน

ซึ่งจากรูปที่ 7.6 (ก) จำนวนตำแหน่งหรือจำนวนปุ่มเท่ากับ 5 และจำนวนตัวต้านทานเท่ากับ 4 ก็คือ (5 – 1)

$$R_{t1} = K^{(n-1)}R_a$$

เมื่อทราบค่า K ก็สามารถหาค่าความตัวต้านทานของแต่ละส่วนได้ ดังนั้น

$$\left(\frac{R_{t1}}{R_a}\right)^{\frac{1}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{R_{t1}}{R_a}} \quad K^{(n-1)} = \frac{R_{t1}}{R_a}$$

$$K = \qquad \text{..... (7.17)}$$

ค่าความต้านทานในแต่ละส่วนหาค่าได้ตามลำดับดังนี้

$$R_1 = R_{t1} - R_{t2}$$

$$R_2 = R_{t2} - R_{t3}$$

$$R_3 = R_{t3} - R_{t4}$$

$$R_4 = R_{t4} - R_a$$

**ตัวอย่างที่ 7.2** มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชันต์ มีค่าความต้านทานจากขดลวดอาร์เมเจอร์ 0.5 Ω มีแรงดัน ไฟฟ้าที่จ่ายให้ 500 V มีกระแสขณะเริ่มเดิน 100 A โดยความต้านทานเริ่มเดินแบ่งออกเป็น 5 ส่วน จงคำนวณหาค่าความต้านทานในแต่ละส่วน

**วิธีทำ** โจทย์กำหนดให้ $V_t$= 500 V $R_a$ = 0.5 Ω $I_{st}$ = 100 A และ n−1 = 5

$$R_{t1} = \frac{V_t}{I_{st}} = \frac{500}{100} = 5\,\Omega$$

$$K = \sqrt[5]{\frac{R_{t1}}{R_a}} = \sqrt{\frac{5}{0.5}} =$$

$\sqrt{10}$

$K = 1.5849$

ดังนั้น $R_{t2} = \frac{R_{t1}}{K} = \frac{5}{1.584} = 3.1547\ \Omega$

$R_{t3} = \frac{R_{t2}}{K} = \frac{3154}{1.584} = 1.9904\ \Omega$

$R_{t4} = \frac{R_{t3}}{K} = \frac{1.990}{1.584} = 1.2558\ \Omega$

และ $R_{t5} = \frac{R_{t4}}{K} = \frac{1.255}{1.584} = 0.7923\ \Omega$

ค่าความต้านทานในแต่ละส่วน $R_1 = R_{t1} - R_{t2} =$ 5- 3154 $= 1.8453\ \Omega$

$R_2 = R_{t2} - R_{t3} =$ 3154-1.990 $= 1.1643\ \Omega$

$R_3 = R_{t3} - R_{t4} =$ 1.990-1.255 $= 0.7346\ \Omega$

$R_4 = R_{t4} - R_{t5} =$ 1.255-0.792 $= 0.4635\ \Omega$

$R_5 = R_{t5} - R_a =$ 0.792-0.5 $=$ 0.2923 $\Omega$

ค่าความต้านทานในส่วนของ $R_1$ มีค่าเท่ากับ 1.8453 $\Omega$

ค่าความต้านทานในส่วนของ $R_2$ มีค่าเท่ากับ 1.1643 $\Omega$

ค่าความต้านทานในส่วนของ $R_3$ มีค่าเท่ากับ 0.7346 $\Omega$

**ตอบ**

ค่าความต้านทานในส่วนของ $R_4$ มีค่าเท่ากับ 0.4635 $\Omega$

ค่าความต้านทานในส่วนของ $R_5$ มีค่าเท่ากับ 0.2923 $\Omega$

## กิจกรรมการเรียนการสอน

| ขั้นตอนการสอน (กิจกรรมของครู) | ขั้นตอนการเรียน (กิจกรรมผู้เรียน) | เครื่องมือ/การวัดผลประเมินผล |
|---|---|---|
| **1.ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน**<br>1.1 ครูบอกจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้<br>1.2 ครูสอบถามความสำคัญของความรู้การควบคุมความเร็วและการเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง<br>1.3 ครูแจกแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 7 | 1.1 นักเรียนรับฟังจุดประสงค์ของการเรียนใน หน่วยเรียนนี้<br>1.2 นักเรียนบอกความสำคัญของการควบคุมความเร็วและการเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง<br>1.3 นักเรียนทำทดสอบก่อนเรียน หน่วยที่ 7 | 1. คำถามประจำหน่วย<br>2. แบบทดสอบก่อน เรียนหน่วยที่ 7 |
| **2. ขั้นสอนทฤษฎี**<br>2.1 ครูอธิบายเรื่อง การควบคุมความเร็วและการเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้สื่อ<br>2.2 ซักถามปัญหาเกี่ยวกับคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ | 2.1 รับฟังคำบรรยายและตอบคำถามจากครู<br>2.2 ตอบคำถามและแสดงความคิดเห็น | 1. power point หน่วยที่ 7<br>2. คำถามหน่วยที่ 7 |
| **3. ขั้นสรุป** | | |

| | | |
|---|---|---|
| 3.1 ครูและนักเรียนช่วยกันสรุปและครูซักถาม ปัญหาข้อสงสัย | 3.1 นักเรียนช่วยครูสรุปและตอบคำถาม<br>3.2 จดบททึกย่อ | 1. ใบสรุปหน่วยที่ 6 |
| **4. ขั้นสอนปฏิบัติ** | | |
| 4.1 แบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่มๆ ละ 2 คน<br>4.2 ให้นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 7<br>4.3 ควบคุมการปฏิบัติงาน<br>4.4 ตรวจผลงานของนักศึกษา | 4.1 แบ่งกลุ่มเป็นกลุ่มๆละ 2 คน<br>4.2 นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 7<br>4.3 ปฏิบัติงานตามใบงาน<br>4.4 ส่งผลงานการปฏิบัติ | 1.ใบตรวจการปฏิบัติงาน ตามใบงานที่ 7 |
| **5. ขั้นการประเมินผล** | | |
| 5.1 ครูแจกใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 7<br>5.2 ดูแลนักเรียนไม่ให้ทุจริต<br>5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดรับแบบทดสอบคืน | 5.1 รับใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 7<br>5.2 ทำแบบทดสอบหลังเรียน<br>5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดส่งแบบทดสอบคืน | 1. แบบทดสอบหลังเรียน หน่วยที่ 7 จำนวน 18 ข้อ |
| **6. ขั้นมอบหมายงาน** | | |
| 6.1 มอบหมายให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพแล้วทำรายงานส่งสัปดาห์ต่อไป | 6.1 รับมอบหมายงาน | 1. ใบมอบงานหน่วยที่ 7 |
| **7. ขั้นตรวจสอบความเรียบร้อย** | | |
| 7.1 ตรวจความเรียบร้อยของชุดฝึกและความเรียบร้อยของห้องเรียนห้องปฏิบัติงาน | 7.1 ช่วยกันจัดเก็บชุดฝึกและทำความสะอาดห้องเรียนห้องปฏิบัติงานให้เรียบร้อย | 1.ใบตรวจสอบความเรียบร้อย |

## งานที่มอบหมายหรือกิจกรรม

### ก่อนเรียน

- นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 7

### ขณะเรียน

- ให้นักศึกษาอภิปรายเกี่ยวกับการควบคุมความเร็วและการเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

**หลังเรียน**

- ให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับการควบคุมความเร็วและการเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ที่ใช้งานจริงแล้วทำรายงานส่งในสัปดาห์ต่อไป

## สื่อการเรียนการสอน

1. หนังสือเรียน **เครื่องกลไฟฟ้า 1** ผู้แต่ง **สุธน แก่นต้น** ผู้จำหน่าย บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด
2. Power point เรื่อง การควบคุมความเร็วและการเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
3. ของจริง ตามรายละเอียดในใบงานที่ 7
4. ใบมอบหมายงานที่ 7

## การวัดผลการเรียน

**ก่อนเรียน**

ทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 7 จำนวน 18 ข้อ

**ขณะเรียน**

ถาม – ตอบปัญหา ความสนใจ ความตั้งใจ และการอภิปราย

**หลังเรียน**

ทดสอบหลังเรียน (Post-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 7 จำนวน 18 ข้อ

## การประเมินผล

1. การประเมินผลโดยใช้แบบประเมินผลหลังการเรียนหน่วยที่ 7 จำนวน 18 ข้อ (แบบเลือกตอบ)
2. สังเกตการมีส่วนร่วมในการเรียน
3. สังเกตจากการตอบคำถาม / การอภิปราย

## เอกสารอ้างอิง

1. สุธน แก่นต้น. (2563). **เครื่องกลไฟฟ้า 1** นนทบุรี : โรงพิมพ์บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด.

# บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้ของครู

รหัสวิชา 30104-2003 ชื่อรายวิชา **เครื่องกลไฟฟ้า 1**
วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....
หน่วยที่ 7 หัวข้อเนื้อหาที่สอน **การควบคุมความเร็วและการเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง**
จำนวนนักศึกษาเข้าเรียน ..... คน

## ผลการใช้แผนการสอน

1. ดำเนินการตามแผนการสอน [ ] ครบถ้วน [ ] ไม่ครบถ้วน เพราะ.....
2. ความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการเรียนการสอน [ ] น่าพอใจ [ ] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
3. ความเหมาะสมของการเรียนการสอน [ ] น่าพอใจ [ ] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
4. ความเหมาะสมการใช้สื่อการสอน [ ] น่าพอใจ [ ] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
5. ความเหมาะสมในการวัดและการประเมิน [ ] น่าพอใจ [ ] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
6. บรรยากาศในการเรียนการสอน [ ] น่าพอใจ [ ] ต้องปรับปรุงเพราะ .....

## ผลการเรียนของนักเรียน

7. ด้านพุธพิสัย [ ] น่าพอใจ [ ] ต้องปรับปรุงเพราะ .....
8. ด้านทักษะพิสัย [ ] น่าพอใจ [ ] ต้องปรับปรุงเพราะ .....

9. ด้านจิตพิสัย [ ] น่าพอใจ [ ] ต้องปรับปรุงเพราะ .....

**ผลการสอนของครู**

10. [ ] น่าพอใจ [ ] ต้องปรับปรุง เพราะ.....

11. ปัญหา แนวทางแก้ไข และข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ครูผู้สอน

(นาย ..... ..... )

## แบบให้คะแนนการปฏิบัติงาน

**วิชา** เครื่องกลไฟฟ้า 1 **รหัสวิชา** 30104-2003

**ชื่อหน่วย** คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ

| ที่ | รายการประเมิน | คะแนนเต็ม | คะแนนที่ได้ | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | การต่อวงจรถูกต้อง **(7 คะแนน)** | | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1.1 ต่ออุปกรณ์การทดลอง<br>1.2 ต่อเครื่องวัดไฟฟ้า เช่น โวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์ | 4<br>3 | | |
| 2 | ผลของการทดลองโดยค่าต่าง ๆ ที่บันทึกลงในทุกตารางมีค่าถูกต้อง | 2 | | |
| 3 | การสรุปผลการทดลอง | 4 | | |
| 4 | คำตอบและการวิเคราะห์ท้ายการทดลอง | 3 | | |
| 5 | การเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์การทดลอง และความสะอาดเรียบร้อยหลังการปฏิบัติงาน | 2 | | |
| 6 | ผลงานสำเร็จและส่งงานภายในชั่วโมงของการเรียน | 2 | | |
| **คะแนนเต็ม** | | **20** | | |

## ผลการประเมิน

- 16–20 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดีมาก
- 14–15 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดี
- 12–13 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง
- 10–11 คะแนน อยู่ในเกณฑ์พอใช้
- ต่ำกว่า 10 คะแนน ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน

ลงชื่อ_____ผู้ประเมิน
(_____)
_____/_____/_____