หน่วยที่ 2

ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

หัวข้อเรื่อง (Topics)

2.1 ความหมายของการกระตุ้น

2.2 ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

2.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยก

2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นตัวเอง

2.5 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์

2.6 การคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์

สมรรถนะย่อย (Element of Competency)

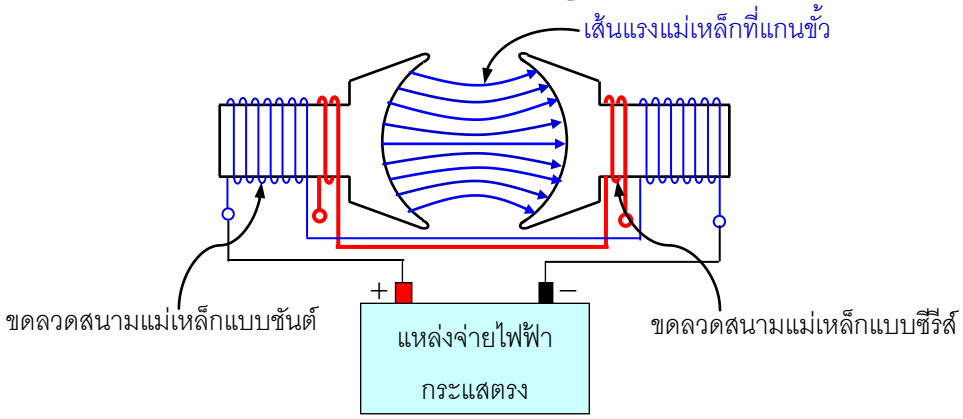
1. แสดงความรู้เกี่ยวกับชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
2. ปฏิบัติการต่อวงจรชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral Objectives)

1. บอกความหมายของการกระตุ้นได้
2. บอกชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้
3. อธิบายเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยกได้
4. อธิบายเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นตัวเองได้
5. อธิบายแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์ได้
6. คำนวณหาแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์ได้

2.1 ความหมายของการกระตุ้น

การกระตุ้น หมายถึง การนำแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงมาจ่ายให้กับขดลวดที่พันอยู่บนแกนขั้วแม่เหล็กเพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งขดลวดที่พันอยู่บนแกนขั้วแม่เหล็กจะมี 2 แบบ คือ ขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชันต์กับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์ ดังรูปที่ 2.1



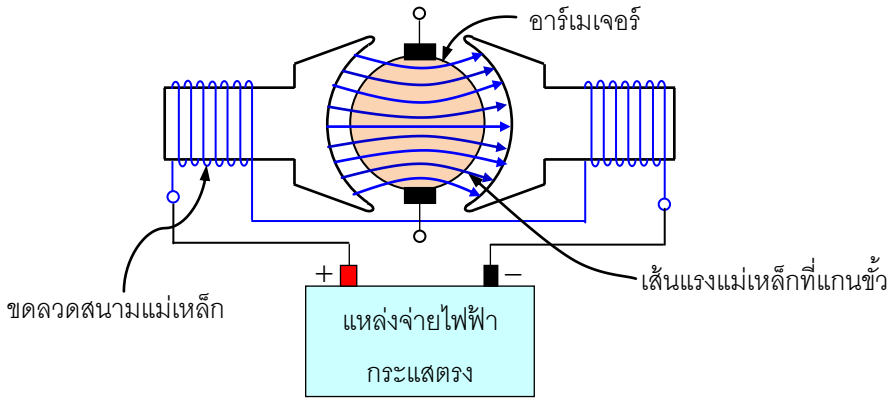
รูปที่ 2.1 การนำแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงมากระตุ้นขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชันต์

2.2 ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

การแบ่งชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง จะแบ่งตามลักษณะของการกระตุ้น ซึ่งแบ่งได้ 2 แบบ คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยกและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นตัวเอง

2.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยก

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยกเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต้องนำแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอก เช่น แหล่งจ่ายไฟตรงจากวงจรเรียงกระแส (Rectifier) จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กหรือจากแบตเตอรี่มากระตุ้นให้กับขดลวดสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 2.2

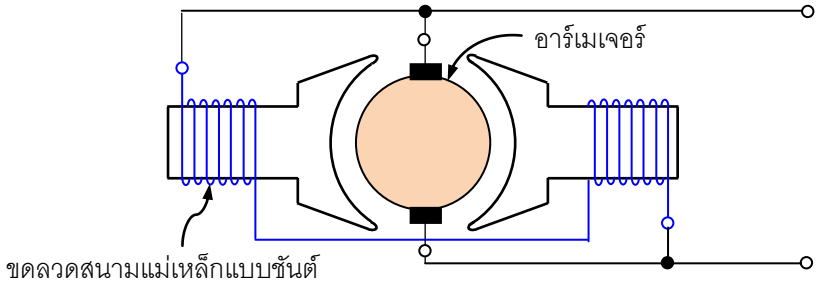


รูปที่ 2.2 การนำแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงมากระตุ้นขดลวดสนามแม่เหล็ก

2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นตัวเอง

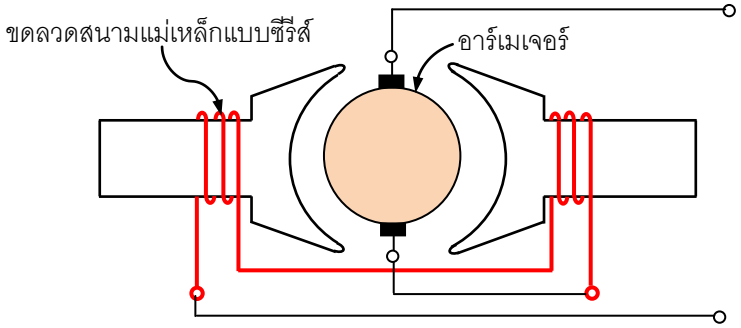
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นตัวเองเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่นำแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากตัวเองในขดลวดอาร์เมเจอร์ที่ได้สร้างแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นมา แล้วนำมาจ่ายให้กับขดลวดสนามแม่เหล็กเพื่อให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กบนแกนขั้วแม่เหล็ก ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นตัวเองยังแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ดังนี้

2.4.1 **เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบชันต์** (Shunt generator) เป็นการนำขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชันต์มาต่อขนานกับอาร์เมเจอร์ ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชันต์พันด้วยลวดทองแดงเส้นเล็กจำนวนรอบมาก ค่าความต้านทานจะมากกว่าเมื่อเทียบกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์



รูปที่ 2.3 ขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชันต์ต่อขนานกับอาร์เมเจอร์

2.4.2 **เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซีรีส์** (Series generator) เป็นการนำขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์มาต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์นี้จะพันด้วยลวดทองแดงเส้นโตจำนวนรอบน้อย ค่าความต้านทานจะน้อยกว่าเมื่อเทียบกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชันต์

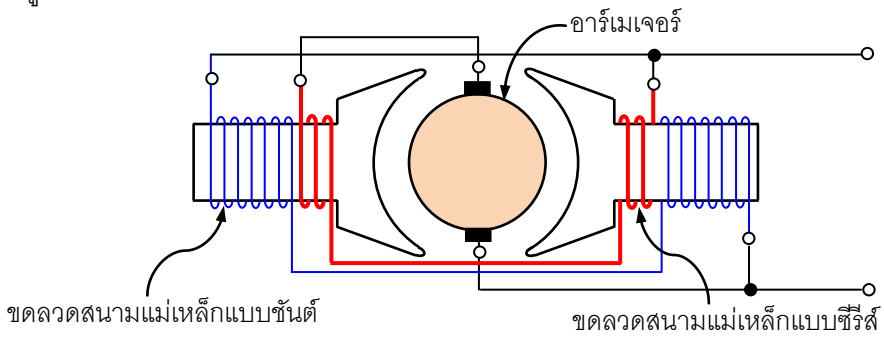


รูปที่ 2.4 ขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์ต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์

2.4.3 **เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมปาวด์** (Compound generator) เป็นการนำขดลวดสนาม-แม่เหล็กแบบซีรีส์และขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชันต์มาต่อร่วมกันกับขดลวดอาร์เมเจอร์ (ธวัชชัย อัตถ-วิบูลย์กุล, 2547: 16) ซึ่งแบ่งได้อีก 2 แบบ คือ

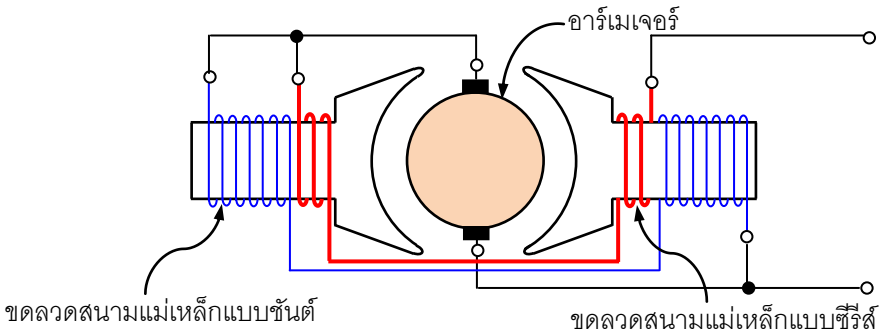
1. แบ่งตามลักษณะการต่อ ซึ่งยังแบ่งได้ออกเป็น 2 แบบ คือ

(1) แบบลองชันต์คอมปาวด์ (Long shunt compound) แบบนี้เป็นการต่อโดยนำขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์มาต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ก่อน จากนั้นจึงนำมาต่อขนานกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชันต์ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การต่อขดลวดสนามแม่เหล็กแบบลองชันต์คอมปาวด์

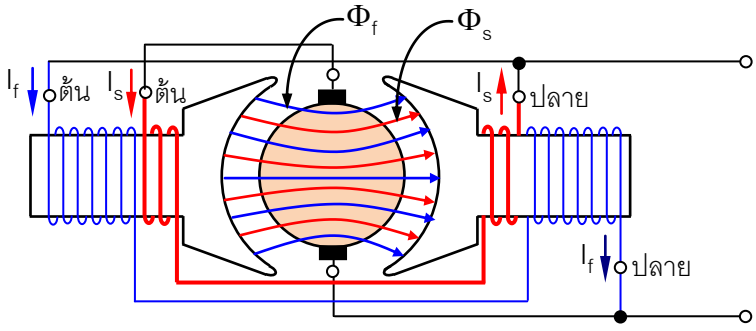
(2) แบบช๊อตชันต์คอมปาวด์ (Short shunt compound) แบบนี้เป็นการต่อโดยนำขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชันต์มาต่อขนานกับอาร์เมเจอร์ก่อน จากนั้นจึงนำมาต่ออนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การต่อขดลวดสนามแม่เหล็กแบบช๊อตชันต์คอมปาวด์

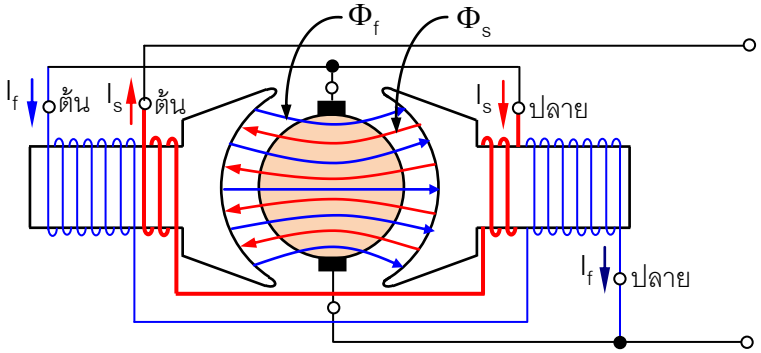
2. แบ่งตามลักษณะการสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งยังแบ่งได้ออกเป็น 2 แบบ คือ

(1) แบบสร้างเส้นแรงแม่เหล็กเสริมกัน (Cumulative compound) โดยเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์ (Φ_s) จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็กเสริมกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชันต์ (Φ_f) ซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าและทิศทางการพันของขดลวดสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 2.7 สมมติให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดสนามแม่เหล็กทั้งสองมีทิศทางเดียวกัน โดย I_f ไหลเข้าต้นขดลวดออกปลายขดลวดและ I_s ก็ไหลเข้าต้นขดลวดออกปลายขดลวดเช่นกัน ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดสนามแม่เหล็กทั้งสองไปในทิศทางเดียวกันและเสริมกัน



รูปที่ 2.7 การต่อขดลวดสนามแม่เหล็กแบบลองชันต์คอมปาวด์และสร้างเส้นแรงแม่เหล็กเสริมกัน

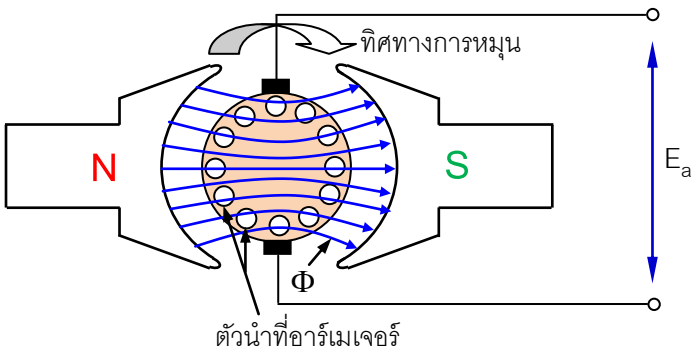
(2) แบบสร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกัน (Differential compound) โดยเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์ จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชันต์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าและทิศทางการพันของขดลวดสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 2.8 สมมติให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดสนามแม่เหล็กทั้งสองมีทิศทางตรงข้ามกัน โดย I_f ไหลเข้าต้นของขดลวดและออกที่ปลายขดลวด ส่วน I_s ไหลเข้าที่ปลายขดลวดและออกที่ต้นขดลวด ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดสนามแม่เหล็กทั้งสองก็มีทิศทางตรงข้ามกันและหักล้างกัน



รูปที่ 2.8 การต่อขดลวดสนามแม่เหล็กแบบช็อตชันต์คอมปาวด์และสร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกัน

2.5 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์

ตัวนำทั้งหมดที่พันอยู่บนอาร์เมเจอร์เมื่อทำให้เคลื่อนที่ตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็ก ผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่อาร์เมเจอร์ ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์



รูปที่ 2.9 การเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อตัวนำเคลื่อนที่ตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็ก

จากรูปที่ 2.9 เมื่อพิจารณาตัวนำเพียงตัวนำเดียว และใน 1 ทางขนาน ดังนั้นเมื่อตัวนำเคลื่อนที่ตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็กแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิด จะได้

$$e = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่ตัวนำตัดผ่านใน 1 รอบ จะมีค่าเท่ากับ ΦP

นั่นคือ $\Delta\Phi = \Phi P$

ตัวนำหมุน n รอบต่อนาที ใช้เวลา 60 วินาที

ตัวนำหมุน 1 รอบต่อนาที ใช้เวลา $\frac{60}{n}$ วินาที

นั่นคือ $\Delta t = \frac{60}{n}$

$$e = \frac{\Phi P}{60/n}$$

$$= \frac{\Phi P n}{60}$$

เนื่องจากการพันขดลวดที่อาร์เมเจอร์ มี 2 แบบ คือแบบเวฟกับแบบแลปซึ่งจะหาแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในการพันแต่ละแบบดังนี้

สำหรับการพันแบบเวฟ

จำนวนทางขนาน $a = 2$

ดังนั้นจำนวนตัวนำทั้งหมด (Z) ที่ต่ออนุกรมกันใน 1 ทางขนาน จะเท่ากับ $\frac{Z}{a}$ ซึ่งตัวนำที่ต่ออนุกรมกันทั้งหมดนี้ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (E_{av}) ที่เกิดขึ้นบนตัวนำ

$$E_{av/\text{ทางขนาน}} = \frac{\Phi P n}{60} \times \frac{Z}{a}$$

สำหรับการพันแบบแลป

จำนวนทางขนาน $a = P$

ดังนั้นจำนวนตัวนำทั้งหมด (Z) ที่ต่ออนุกรมกันใน 1 ทางขนาน จะเท่ากับ $\frac{Z}{a}$ ซึ่งตัวนำที่ต่ออนุกรมกันทั้งหมดนี้ จะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (E_{av}) ที่เกิดขึ้นบนตัวนำ

$$E_{av/\text{ทางขนาน}} = \frac{\Phi P n}{60} \times \frac{Z}{a}$$

ดังนั้นในการพันทั้งแบบเวฟและแบบแลปเขียนเป็นสมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในรูปแบบทั่วไปได้ดังนี้

$$E_a = \frac{\Phi P n}{60} \times \frac{Z}{a} \qquad \text{..... (2.1)}$$

เมื่อ E_a = แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้นที่อาร์เมเจอร์ (V)

P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก หน่วยเป็น ขั้ว

n = ความเร็วรอบในการหมุน หน่วยเป็น รอบต่อนาที (r/min)

Z = จำนวนตัวนำทั้งหมด หน่วยเป็น ตัวนำ

a = จำนวนทางขนาน

☞ **โปรดจำ**

การพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบเวฟจะได้

$$a = 2m \qquad \text{..... (2.2)}$$

การพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแลปจะได้

$$a = mP \qquad \text{..... (2.3)}$$

โดย m = 1 เมื่อพันขดลวดแบบซิมเพล็กซ์เวฟหรือซิมเพล็กซ์แลป

m = 2 เมื่อพันขดลวดแบบดูเพล็กซ์เวฟหรือดูเพล็กซ์แลป

m = 3 เมื่อพันขดลวดแบบทริพเพล็กซ์เวฟหรือทริพเพล็กซ์แลป

2.6 การคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์

ตัวอย่างที่ 2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มี 6 ขั้วแม่เหล็ก จำนวนตัวนำทั้งหมด 192 ตัวนำ มีจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก 62.5 mWb ถูกขับด้วยความเร็ว 1200 r/min จงคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์ เมื่ออาร์เมเจอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ก. พันแบบซิมเพล็กซ์แลป

ข. พันแบบซิมเพล็กซ์เวฟ

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$P = 6$ ขั้ว $\qquad Z = 192$ ตัวนำ

$n = 1200$ r/min $\qquad \Phi = 62.5 \times 10^{-3}$ Wb

$a = mP = 1\times6 = 6$ เมื่อพันแบบซิมเพล็กซ์แลป $m = 1$

$a = 2m = 2\times1 = 2$ เมื่อพันแบบซิมเพล็กซ์เวฟ $m = 1$

ก. พันแบบซิมเพล็กซ์แลป

$$E_a = \frac{\Phi PnZ}{60a}$$

$$= \frac{62.5 \times 10^{-3} \times 6 \times 1200 \times 192}{60 \times 6}$$

$$E_a = 240 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์มีค่าเท่ากับ 240 V **ตอบ**

ข. พันแบบซิมเพล็กซ์เวฟ

$$E_a = \frac{\Phi PnZ}{60a}$$

$$= \frac{62.5 \times 10^{-3} \times 6 \times 1200 \times 192}{60 \times 2}$$

$$E_a = 720 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์มีค่าเท่ากับ 720 V **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มี 4 ขั้วแม่เหล็ก ที่แกนอาร์เมเจอร์มี 36 ร่อง แต่ละร่องมี 4 ตัวนำ มีจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก 0.1 Wb ถูกขับด้วยความเร็ว 750 r/min ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้พันแบบซิมเพล็กซ์แลป จงคำนวณหา

ก. แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์

ข. กระแสไฟฟ้าในแต่ละทางขนานเมื่อมีกระแสไฟฟ้าที่โหลด 120 A

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$P = 4$ ขั้ว จำนวนร่อง $= 36$ ร่อง

$n = 750$ r/min $\Phi = 0.1$ Wb

$a = mP = 1 \times 4 = 4$

$Z_{/ร่อง} = 4$ ตัวนำ ดังนั้น $Z_{ทั้งหมด} = 36 \times 4 = 144$ ตัวนำ

ก. แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์

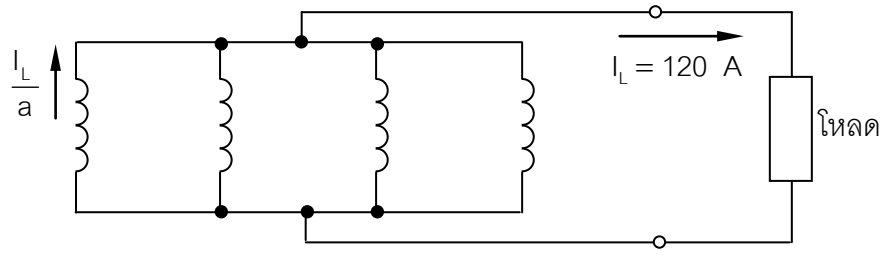
$$E_a = \frac{\Phi PnZ}{60a}$$

$$= \frac{0.1 \times 4 \times 750 \times 144}{60 \times 4}$$

$$E_a = 180 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์มีค่าเท่ากับ 180 V **ตอบ**

ข. กระแสไฟฟ้าในแต่ละทางขนานเมื่อมีกระแสไฟฟ้าที่โหลด 120 A



ดังนั้นกระแสไฟฟ้าในแต่ละทางขนาน

$$I_P = \frac{I_L}{a} = \frac{120}{4}$$

$$I_P = 30 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าในแต่ละทางขนานมีค่าเท่ากับ 30 A **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 2.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มี 8 ขั้วแม่เหล็ก ที่แกนอาร์เมเจอร์มี 24 ร่องแต่ละร่องมี 4 ตัวนำ มีจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก 50 mWb และพันแบบซิมเพล็กซ์เวฟ อยากทราบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องถูกขับด้วยความเร็วรอบเท่าใด จึงจะเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์ 400 V

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$P = 8$ ขั้ว จำนวนร่อง $= 24$ ร่อง

$n = 750$ r/min $\Phi = 50$ mWb $= 50 \times 10^{-3}$ Wb

$a = 2$ $Z_{/ร่อง} = 4$ ตัวนำ

ดังนั้น $Z_{ทั้งหมด} = 24 \times 4 = 96$ ตัวนำ

จากสมการ $E_a = \dfrac{\Phi PnZ}{60a}$

ดังนั้น $n = \dfrac{60aE_a}{\Phi PZ}$

$$= \frac{60 \times 2 \times 400}{50 \times 10^{-3} \times 8 \times 96}$$

$n = 1250$ r/min

ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1250 r/min **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มี 12 ขั้ว ที่แกนอาร์เมเจอร์มี 72 ร่องแต่ละร่องมี 6 ตัวนำ พันแบบดูเพล็กซ์แลปและถูกขับด้วยความเร็วรอบ 1000 r/min เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์ 220 V จงคำนวณหาจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่แกนขั้ว

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$P = 12$ ขั้ว จำนวนร่อง $= 72$ ร่อง

$n = 1000$ r/min $m = 2$ และ $Z_{/ร่อง} = 6$ ตัวนำ

ดังนั้น $a = mP = 2 \times 12 = 24$

และ $Z_{ทั้งหมด} = 72 \times 6 = 432$ ตัวนำ

จากสมการ $E_a = \dfrac{\Phi PnZ}{60a}$

ดังนั้น $\Phi = \dfrac{60aE_a}{PnZ}$

$$= \frac{60 \times 24 \times 220}{12 \times 1000 \times 432}$$

$\Phi = 0.06111$ Wb $= 61.11$ mWb

จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่แกนขั้วมีค่าเท่ากับ 61.11 mWb **ตอบ**