

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 5
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	หน่วยที่ 3

หน่วยที่ 3

คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

หัวข้อเรื่อง (Topics)

- 3.1 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยก
- 3.2 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขั้วตั่ว
- 3.3 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซีรี่ย์
- 3.4 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมพาวด์
- 3.5 การเกิดอาร์เมเจอร์รีแอกชัน
- 3.6 การเกิดคอมมิวเทชัน

สมรรถนะย่อย (Element of Competency)

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
2. ปฏิบัติหาคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral Objectives)

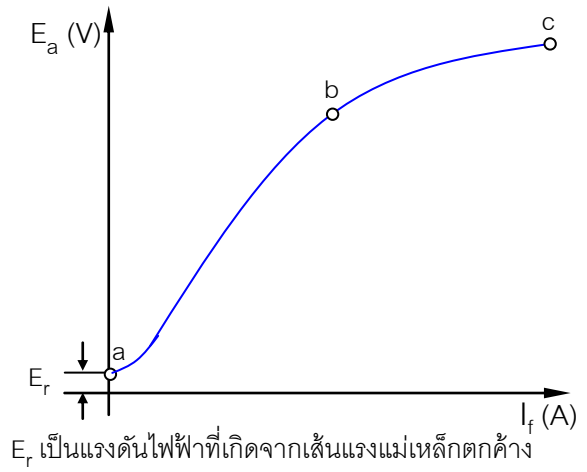
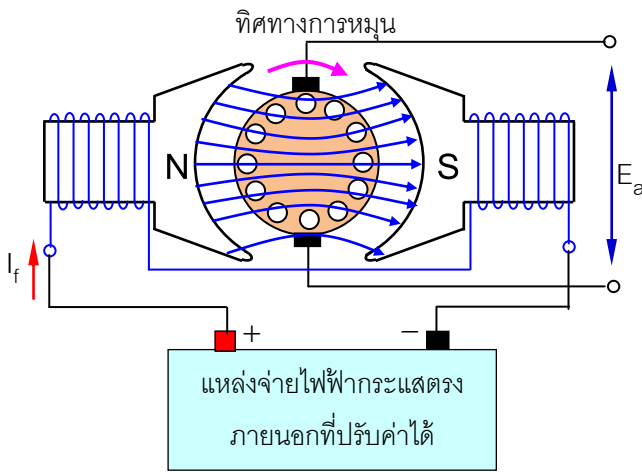
1. อธิบายคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยกได้
2. อธิบายคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขั้วตั่วได้
3. อธิบายคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซีรี่ย์ได้
4. อธิบายคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมพาวด์ได้
5. อธิบายการเกิดอาร์เมเจอร์รีแอกชันได้
6. อธิบายการเกิดคอมมิวเทชันได้

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 6
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	หน่วยที่ 3

3.1 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยก

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยก เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต้องนำแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกมากระตุ้นที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก โดยแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้จากขดลวดอาร์เมเจอร์ที่หมุนไปตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก

3.1.1 คุณลักษณะเมื่อไม่มีโหลด ดังรูปที่ 3.1 (ก) แสดงคุณลักษณะของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์ (E_a) โดยการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสของขดลวดสนามแม่เหล็ก (I_f) ที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกที่ปรับค่าได้ นั่นคือกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดสนามแม่เหล็กจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ การปรับค่าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอก



(ก) การเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

(ข) เส้นโค้งคุณลักษณะเมื่อไม่มีโหลด

รูปที่ 3.1 การเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำและเส้นโค้งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยก

จากสมการ
$$E_a = \frac{\Phi n}{60} \times \frac{Z}{a} = \frac{PZ}{60a} \times \Phi n = K_a \Phi n$$

โดย
$$K_a = \frac{PZ}{60a}$$
 กำหนดให้เป็นค่าคงที่ทางไฟฟ้า

แต่
$$\Phi \propto I_f$$
 (I_f = กระแสไฟฟ้าที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก)

ดังนั้น
$$\Phi = K_\Phi I_f$$
 (K_Φ = ค่าคงที่ทางเส้นแรงแม่เหล็ก)

แทนค่า
$$E_a = K_a K_\Phi I_f n$$

กำหนดให้ $K_f = K_a K_\Phi$ เป็นค่าคงที่ ซึ่งเป็นผลคูณของ K_a กับ K_Φ ดังนั้นจะได้

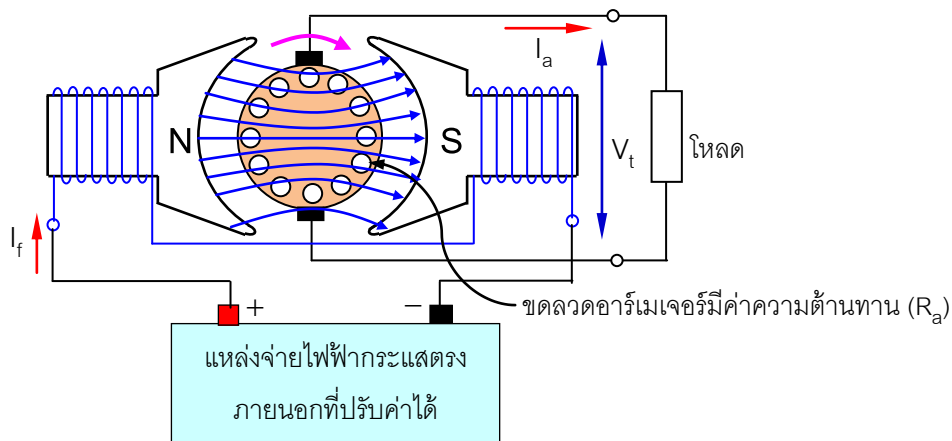
$$E_a = K_f I_f n \quad \dots (3.1)$$

จากสมการที่ 3.1 เห็นว่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะแปรตามกับกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก ($E_a \propto I_f$) เมื่อให้ความเร็วรอบคงที่ จากรูปที่ 3.1 (ข) ถ้ากำหนดให้เครื่องกำเนิดหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ เห็นว่าที่กระแส I_f เท่ากับศูนย์ จะมีแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นเล็กน้อยคือ E_r ซึ่งเกิดจากมีเส้นแรงแม่เหล็กตกค้างที่แกนขั้วแม่เหล็กและเมื่อเปลี่ยนแปลงกระแส I_f เพิ่มขึ้นก็ทำให้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นตามไป

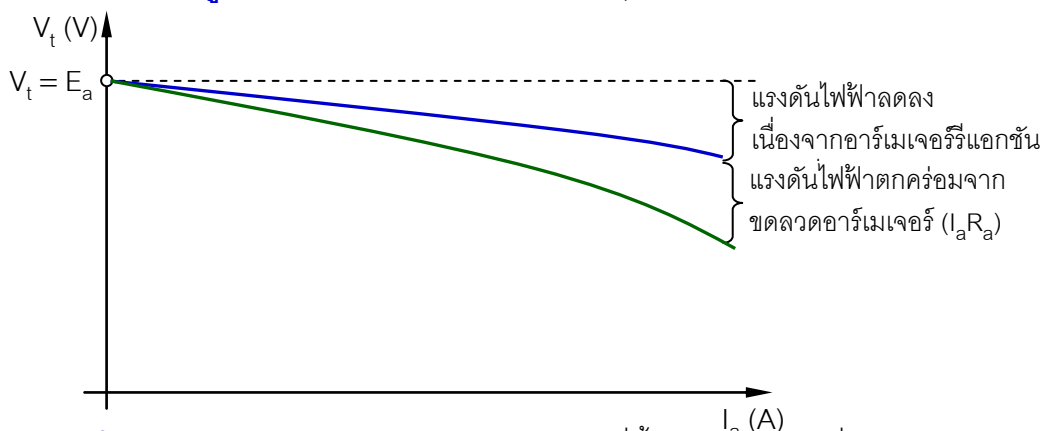
วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 7
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	หน่วยที่ 3

ด้วยในลักษณะเส้นตรง (ระยะ a ไป b) และเมื่อเพิ่มกระแส I_f ขึ้นอีกแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงในทางเพิ่มขึ้นไม่มากนักเนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กที่ขั้วแม่เหล็กเริ่มมีการอิ่มตัว (ระยะ b ไป c)

3.1.2 คุณลักษณะเมื่อมีโหลด เมื่อนำโหลดมาต่อเข้ากับขั้วของอาร์เมเจอร์และหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ เมื่อกระแสไฟฟ้าที่โหลดเพิ่มขึ้นผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วลดลง ดังรูปที่ 3.2 และแสดงคุณลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว (V_t) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ (I_a) ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยกเมื่อมีโหลด



รูปที่ 3.3 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

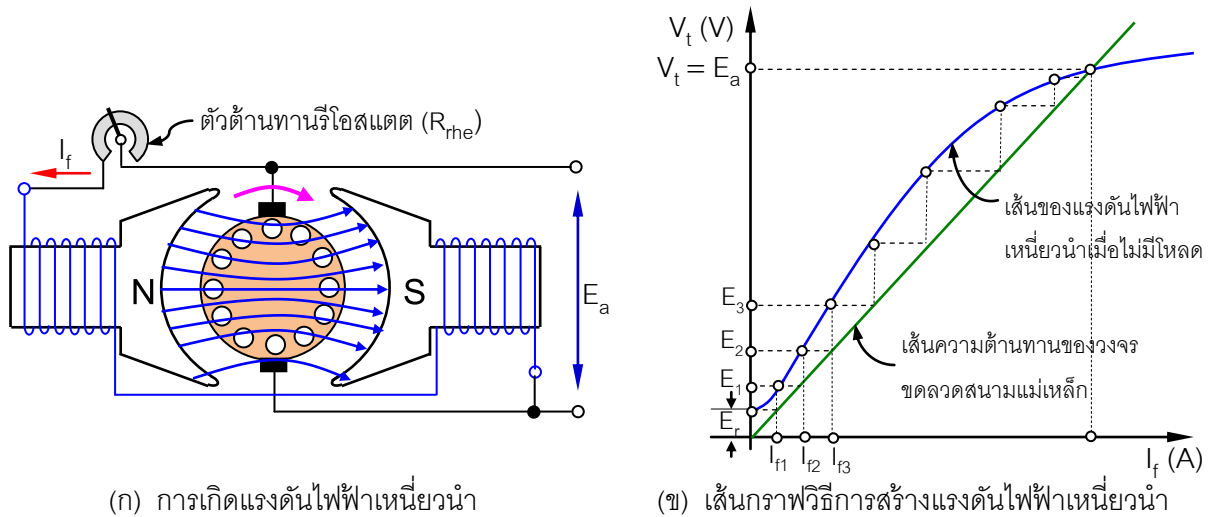
จากกราฟรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังไม่มีโหลด แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดเท่ากับแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์ เมื่อกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดเปลี่ยนแปลงลดลง อันเนื่องจาก 2 สาเหตุ คือ แรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากอาร์เมเจอร์รีเอกชันกับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมจากขดลวดอาร์เมเจอร์ ($I_a R_a$)

3.2 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบชัณฑ์

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบชัณฑ์ เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากตัวมันเองมากระตุ้นที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก โดยแรงดันไฟฟ้าได้จากขดลวดอาร์เมเจอร์ที่หมุนไปตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 8
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	หน่วยที่ 3

3.2.1 คุณลักษณะเมื่อไม่มีโหลด ดังรูปที่ 3.4 แสดงคุณลักษณะของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์ (E_a) โดยการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไฟฟ้าของขดลวดสนามแม่เหล็ก (I_f) ที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากตัวมันเอง โดยการปรับค่าความต้านทานรีโอสแตตที่ต่ออนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็ก นั่นคือกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดสนามแม่เหล็กจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการปรับค่าความต้านทานของรีโอสแตต



รูปที่ 3.4 การเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำและเส้นกราฟวิธีการสร้างแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

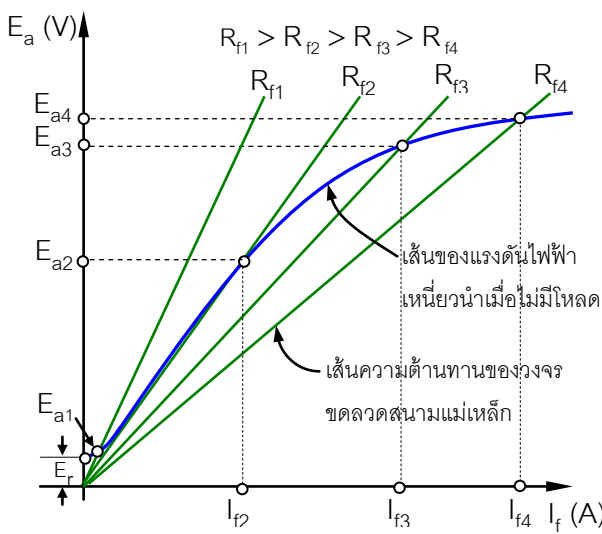
วิธีการสร้างแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

จากรูปที่ 3.4 (ก) เมื่อหมุนเครื่องกำเนิดให้มีความเร็วรอบคงที่ (เท่ากับความเร็วพิกัด) ก็ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นมาค่าหนึ่ง (E_r) อันเกิดจากเส้นแรงแม่เหล็กตกค้าง และแรงดันไฟฟ้า E_r นี้ก็จะไปตกคร่อมความต้านทานของขดลวดสนามแม่เหล็ก ($R_f + R_{rhe}$) ทำให้เกิดมีกระแสไหลในขดลวดสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นเป็น I_{f1} โดยกระแส I_{f1} ก็ไปสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เพิ่มขึ้นเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นเป็น E_1 และแรงดัน E_1 ก็ไปตกคร่อมความต้านทานของขดลวดสนามแม่เหล็กทำให้เกิดมีกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นเป็น I_{f2} โดยกระแส I_{f2} ก็ไปสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เพิ่มขึ้นเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นเป็น E_2 และแรงดัน E_2 ก็ไปตกคร่อมความต้านทานของขดลวดสนามแม่เหล็กทำให้เกิดมีกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นเป็น I_{f3} โดยกระแส I_{f3} ก็ไปสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เพิ่มขึ้นเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นเป็น E_3 ในลักษณะแบบนี้ไปเรื่อย ๆ ดังรูปที่ 3.4 (ข) จากการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าของขดลวดสนามแม่เหล็ก จะไปสิ้นสุดที่จุดตัดกันระหว่างเส้นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อไม่มีโหลดกับเส้นความต้านทานของวงจรถดลวดสนามแม่เหล็ก ซึ่งจุดตัดนี้เป็นจุดกำหนดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขั้วของเครื่องกำเนิดนั่นเอง

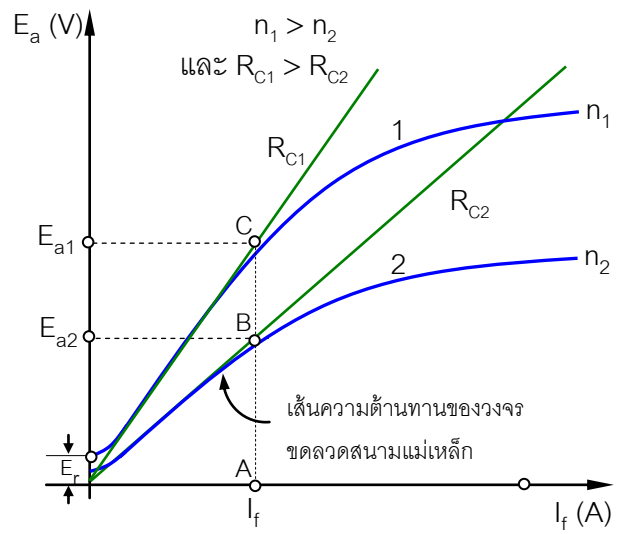
1. ความต้านทานวิกฤต (Critical field resistance) ดังรูปที่ 3.5 (ก) ที่ค่าความต้านทานของวงจรถดลวดสนามแม่เหล็ก R_{f4} และมีกระแสเป็น I_{f4} โดยมีค่าแรงดันไฟฟ้าเป็น E_{a4} ถ้าปรับค่าความต้านทาน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 9
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	หน่วยที่ 3

ของวงจรถดลวดสนามแม่เหล็กให้มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น R_{f3} มีกระแสเป็น I_{f3} ผลทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลงเป็น E_{a3} ถ้าเพิ่มเป็น R_{f2} มีกระแสเป็น I_{f2} แรงดันไฟฟ้าลดลงเป็น E_{a2} โดยเส้น R_{f2} ยังตัดกับเส้นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อไม่มีโหลด ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังสามารถเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าได้ (เส้น R_{f2} สัมผัสกับเส้นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อไม่มีโหลด) เรียกความต้านทานที่ค่านี้ว่า **ความต้านทานวิกฤต** กำหนดให้เป็น R_c โดย $R_c = R_{f2} = \frac{E_{a2}}{I_{f2}}$ ถ้าเพิ่มความต้านทานเป็น R_{f1} แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วลดลงเป็น E_{a1} ซึ่งจุดตัดนี้มีค่าใกล้เคียงกับ E_f ถือว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่สร้างแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ



(ก) การปรับค่าความต้านทานให้เพิ่มขึ้น



(ข) การปรับค่าความเร็รรอบให้ลดลง

รูปที่ 3.5 การเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อปรับค่าความต้านทานและค่าความเร็รรอบ

2. ความเร็ววิกฤต (Critical speed) ความเร็ววิกฤตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซันต์ เป็นความเร็วที่ถูกกำหนดโดยค่าความต้านทานของวงจรถดลวดสนามแม่เหล็กแบบซันต์เท่ากับค่าความต้านทานวิกฤต จากรูปที่ 3.5 (ข) เส้นโค้ง 1 เป็นเส้นโค้งของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขณะไม่มีโหลดที่ความเร็รรอบ n_1 โดยมี R_{c1} เป็นเส้นความต้านทานวิกฤตของเส้นโค้ง 1 ส่วนเส้นโค้ง 2 เป็นเส้นโค้งของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขณะไม่มีโหลดที่ความเร็รรอบ n_2 หรือเส้นโค้งของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ความเร็ววิกฤต กำหนดให้เป็น n_c ($n_2 = n_c$) โดยมี R_{c2} เป็นเส้นความต้านทานวิกฤตของเส้นโค้ง 2 ที่แกนกระแส I_f เดียวกันที่จุด A ลากเส้นตั้งฉากขึ้นไปตัดกับเส้น R_{c1} คือจุด B และตัดกับเส้น R_{c2} คือจุด C โดยได้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขณะไม่มีโหลดเป็น E_{a2} และ E_{a1} ตามลำดับ ดังนั้นสามารถหาความเร็ววิกฤตได้ดังนี้

$$\frac{\text{ระยะ AC}}{\text{ระยะ AB}} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{E_{a1}}{E_{a2}} = \frac{n_1}{n_c}$$

$$n_c = \frac{E_{a2}}{E_{a1}} \times n_1 \quad \dots (3.2)$$

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 10
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	หน่วยที่ 3

จากที่กล่าวมาถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่สร้างแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำตามขนาดที่ต้องการ ซึ่งอาจมีสาเหตุขัดข้องต่าง ๆ และวิธีการไขดังนี้

1. **ไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กตกค้าง** เนื่องจากไม่ได้ใช้งานเป็นเวลานาน หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกสร้างขึ้นมาใหม่ซึ่งจะไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กตกค้าง วิธีการแก้ไข นำแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกมากระตุ้นที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก ในเวลาสั้น ๆ 3-5 วินาที

2. **ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กกลับขั้ว** ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กสร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกับเส้นแรงแม่เหล็กตกค้าง วิธีการแก้ไข กลับขั้วของขดลวดสนามแม่เหล็ก

3. **ปรับความต้านทานของวงจรถดลวดสนามแม่เหล็กสูงเกินไป** ซึ่งจุดตัดทั้งสองเส้นมีค่าใกล้เคียงกับ E_r ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำตกค้าง วิธีการแก้ไข ลดค่าความต้านทานของวงจรถดลวดสนามแม่เหล็กทำได้โดยการปรับที่ตัวต้านทานรีโอสแตต

4. **วงจรถดลวดอาร์เมเจอร์ขาด** อันได้แก่ขดลวดอาร์เมเจอร์ขาดวงจร การสัมผัสแปรงถ่านกับซีคอมมิวเตเตอร์ไม่แน่นพอหรือแปรงถ่านสึกหรอมาก วิธีการแก้ไข ตรวจสอบวงจรถดลวดอาร์เมเจอร์อันได้แก่ การเปิดวงจร สปริงกดแปรงถ่าน ตรวจสอบและทำความสะอาดแปรงถ่าน

5. **หมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากลับทิศทาง** จะทำให้แรงดัน ไฟฟ้าเหนี่ยวนำตกค้างมีขั้วตรงข้าม จึงทำให้กระแสที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกับเส้นแรงแม่เหล็กตกค้าง วิธีการแก้ไข หมุนเครื่องกำเนิดตามทิศทางที่กำหนด

6. **ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดต่ำกว่าความเร็ววิกฤติ** เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำแปรตามกับความเร็วรอบเมื่อความเร็วรอบต่ำ ๆ ทำให้แรงดันไฟฟ้าตกค้างน้อยมากเส้นแรงแม่เหล็กก็จะน้อยมากด้วย ทำให้ไม่เพียงพอที่จะสร้างแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นมา วิธีการแก้ไข หมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ได้ที่ความเร็วรอบตามพิกัด

ตัวอย่างที่ 3.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขั้วต มีค่าความต้านทานจากขดลวดสนามแม่เหล็ก 400Ω ถูกขับด้วยความเร็ว 1800 r/min มีข้อมูลจากการทดสอบเมื่อไม่มีโหลด ดังนี้

$I_f \text{ (V)}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
$E_g \text{ (V)}$	80	152	208	240	252	256

ก. เขียนเส้นโค้งแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขณะไม่มีโหลด

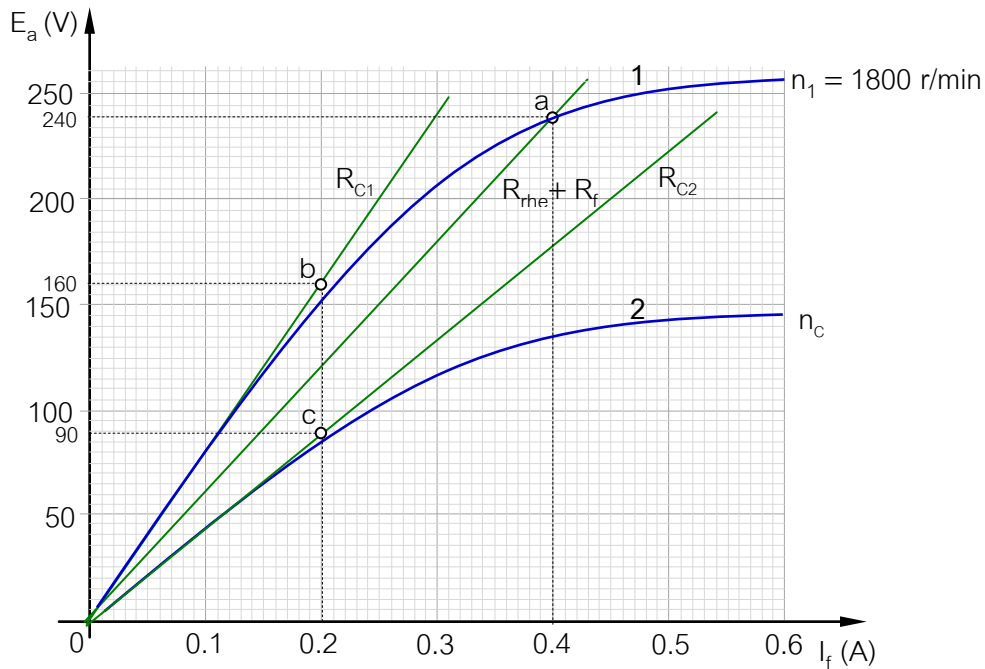
ข. ความต้านทานรีโอสแตตที่ต่ออนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็ก

ค. ความต้านทานวิกฤติที่ความเร็วรอบ $1,800 \text{ r/min}$ และค่าความต้านทานรีโอสแตตที่ปรับ

ง. ความเร็ววิกฤติของเส้นโค้ง 2 และความต้านทานวิกฤติที่ความเร็ววิกฤตินี้

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 11
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	หน่วยที่ 3

วิธีทำ ก. เขียนเส้นโค้งแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขณะไม่มีโหลด โดยนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาเขียนลงบนกราฟ ซึ่งได้เส้นโค้ง 1 ที่ความเร็วรอบ 1800 r/min ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เส้นกราฟของตัวอย่างที่ 3.1

ข. ความต้านทานรีโอสแตตที่ต่ออนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็ก จะเห็นว่าเส้นความต้านทานของวงจรขดลวดสนามแม่เหล็ก ($R_{rhe} + R_f$) ตัดกับเส้นโค้ง 1 ที่จุด a ซึ่งได้ $E_a = 240$ V และ $I_f = 0.4$ A ดังนั้น

$$R_{rhe} + R_f = \frac{E_a}{I_f} = \frac{240}{0.4} = 600 \Omega$$

ดังนั้น $R_{rhe} = 600 - 400 = 200 \Omega$

ความต้านทานรีโอสแตตที่ต่ออนุกรมมีค่าเท่ากับ **200 Ω** **ตอบ**

ค. ค่าความต้านทานวิกฤตที่ความเร็วรอบ 1800 r/min ทำการลากเส้นตรง R_{c1} ให้สัมผัสกับเส้นโค้ง 1 แล้วกำหนดจุดใดก็ได้บนเส้นตรงเส้นนี้ โดยเลือกเป็นจุด b ซึ่งที่จุด b ซึ่งได้เท่ากับ 160 V กำหนดให้เป็น E_{a1} และ $I_{f1} = 0.2$ A ดังนั้น

$$R_{c1} = \frac{E_{a1}}{I_{f1}} = \frac{160}{0.2} = 800 \Omega$$

$$R_{rhe} = R_{c1} - R_f = 800 - 400 = 400 \Omega$$

ค่าความต้านทานวิกฤตมีค่าเท่ากับ **800 Ω** **ตอบ**

ค่าความต้านทานรีโอสแตตที่ปรับมีค่าเท่ากับ **400 Ω** **ตอบ**

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 12
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	หน่วยที่ 3

ง. ความเร็ววิกฤตของเส้นโค้ง 2 และความต้านทานวิกฤตที่ความเร็ววิกฤตนี้ ที่กระแส I_f เดียวกัน ที่ $I_{f1} = 0.2 \text{ A}$ ลากเส้นตั้งฉากขึ้นไปตัดกับเส้น R_{c2} คือจุด c และตัดกับเส้น R_{c1} คือจุด b โดยได้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขณะไม่มีโหลดเป็น $E_{a2} = 90 \text{ V}$ และ $E_{a1} = 160 \text{ V}$ ตามลำดับ ดังนั้นสามารถหาความเร็ววิกฤตได้ดังนี้

$$n_c = \frac{E_{a2}}{E_{a1}} \times n_1$$

$$n_c = \frac{90}{160} \times 1800$$

$$n_c = 1012.5 \text{ r/min}$$

$$R_{c2} = \frac{E_{a2}}{I_{f1}} = \frac{90}{0.2}$$

$$= 450 \ \Omega$$

$$R_{rhe} = R_{c2} - R_f = 450 - 400$$

$$= 50 \ \Omega$$

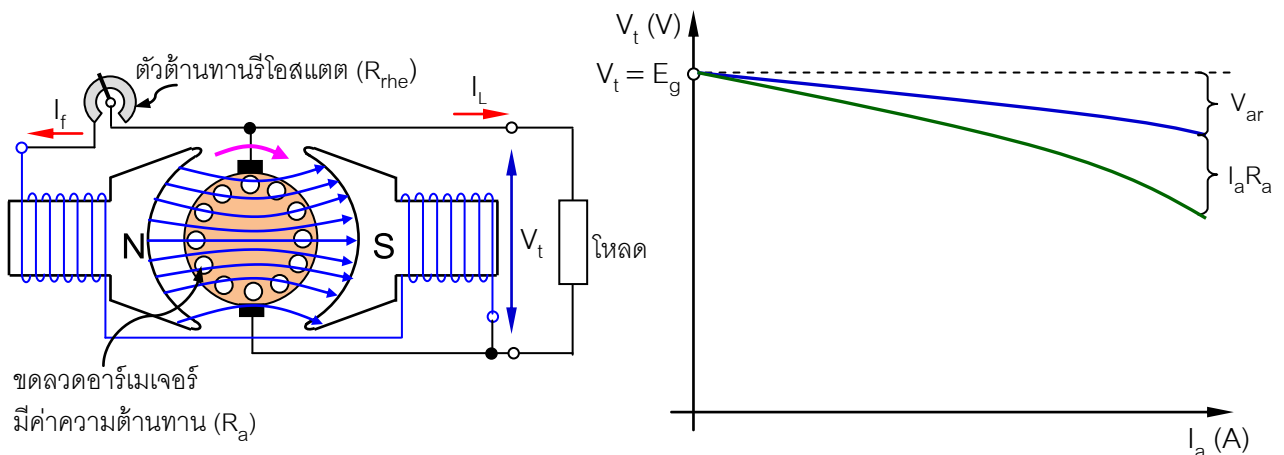
ค่าความเร็ววิกฤตมีค่าเท่ากับ

1012.5 r/min **ตอบ**

ค่าความต้านทานวิกฤตของเส้นโค้ง 2 มีค่าเท่ากับ

450 Ω **ตอบ**

3.2.2 คุณลักษณะเมื่อมีโหลด เมื่อนำโหลดมาต่อเข้ากับขั้วของอาร์เมเจอร์และหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ เมื่อกระแสไฟฟ้าที่โหลดเพิ่มขึ้นผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วลดลง ดังรูปที่ 3.7 (ก) และแสดงคุณลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว (V_t) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ (I_a) ดังรูปที่ 3.7 (ข)



(ก) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขั้วตื้นเมื่อมีโหลด (ข) เส้นคุณลักษณะแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

รูปที่ 3.7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขั้วตื้นเมื่อมีโหลดและเส้นคุณลักษณะ

จากกราฟรูปที่ 3.7 (ข) เห็นว่าเมื่อเครื่องกำเนิดยังไม่มีโหลด แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดเท่ากับแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์ เมื่อกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงลดลง อันเนื่องจาก 2 สาเหตุ คือ แรงดันไฟฟ้าลดลง

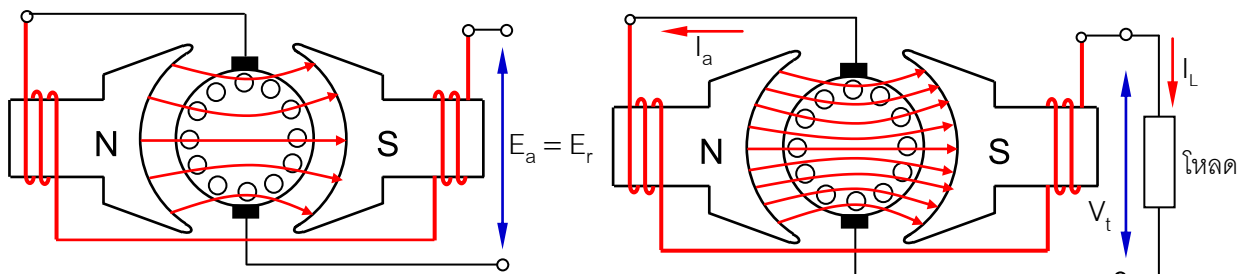
วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 13
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	หน่วยที่ 3

เนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอกชัน (V_{ar}) กับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมจากขดลวดอาร์เมเจอร์ ($I_a R_a$) แต่แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วจะตกมากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยกเพราะว่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วจะมากคร่อมที่ขดลวดสนามแม่เหล็กอีกครั้งหนึ่ง

3.3 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซีรีส์

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซีรีส์ เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากตัวมันเองมากระตุ้นที่ขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน โดยแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้จากขดลวดอาร์เมเจอร์

3.3.1 คุณลักษณะเมื่อไม่มีโหลด ดังรูปที่ 3.8 (ก) เมื่อยังไม่นำโหลดมาต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้วงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเปิดวงจร ดังนั้นถ้าหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มีความเร็วรอบคงที่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะสร้างแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นมาเพียงเล็กน้อยอันเกิดจากเส้นแรงแม่เหล็กตกค้าง

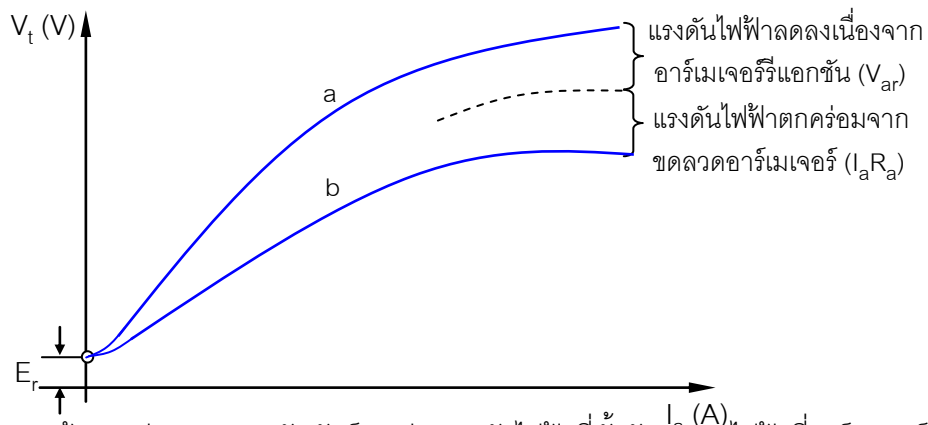


(ก) เมื่อยังไม่ต่อโหลด

(ข) เมื่อต่อโหลดเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

รูปที่ 3.8 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซีรีส์เมื่อไม่มีโหลดและมีโหลด

3.3.2 คุณลักษณะเมื่อมีโหลด ซึ่งจะแสดงคุณลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดเมื่อกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์เปลี่ยนไป จากรูปที่ 3.8 (ข) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่โหลดให้มีค่าเพิ่มขึ้น ก็ทำให้กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์เพิ่มขึ้นด้วยและไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์ ก็ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเพิ่มขึ้นด้วยและส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นและแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วก็เพิ่มขึ้นด้วย นั่นคือถ้ากระแสโหลดเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นก็ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นด้วยดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

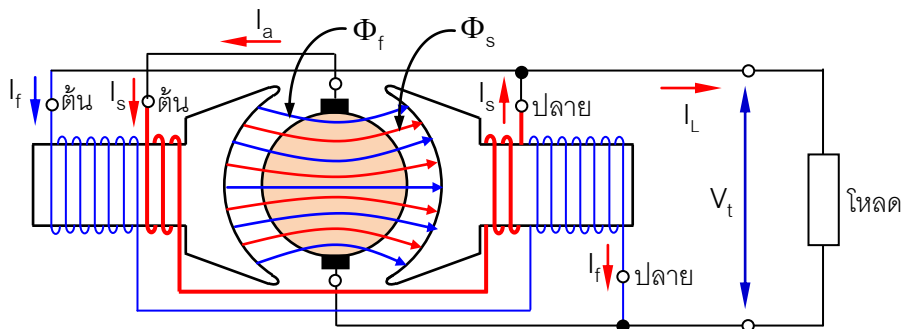
วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 14
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	หน่วยที่ 3

จากรูปที่ 3.9 เส้นกราฟ a เป็นคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซีรีส์เมื่อไม่มีโหลด ส่วนเส้นกราฟ b เป็นคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อมีโหลด จะเห็นว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์เพิ่มขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วจะมีค่าน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งเกิดจากแรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอกชันกับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมจากขดลวดอาร์เมเจอร์ร่วมกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์

3.4 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมพาวด์

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซีรีส์เมื่อมีกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์เพิ่มขึ้นแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วก็เพิ่มขึ้นตาม แต่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบชัณฑ์แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วจะลดลง ถ้านำขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์กับขดลวดแบบชัณฑ์มาต่อแบบผสม ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักหรืออาจเปลี่ยนแปลงอย่างมากทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการต่อในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดสนามแม่เหล็กทั้งสอง ดังนี้

3.4.1 สร้างเส้นแรงแม่เหล็กเสริมกัน แบบนี้เป็นการต่อโดยให้ขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์สร้างเส้นแรงแม่เหล็กเสริมกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์ เมื่อขดลวดทั้งสองมีกระแสไหลผ่านโดยไหลไปในทิศทางเดียวกัน (I_f ไหลเข้าต้นคอยล์ และ I_s ก็ไหลเข้าต้นคอยล์) จึงทำให้เส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองไปในทิศทางเดียวกันและเสริมกัน ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การต่อขดลวดสนามแม่เหล็กแบบลองชัณฑ์คอมพาวด์สร้างเส้นแม่เหล็กเสริมกัน

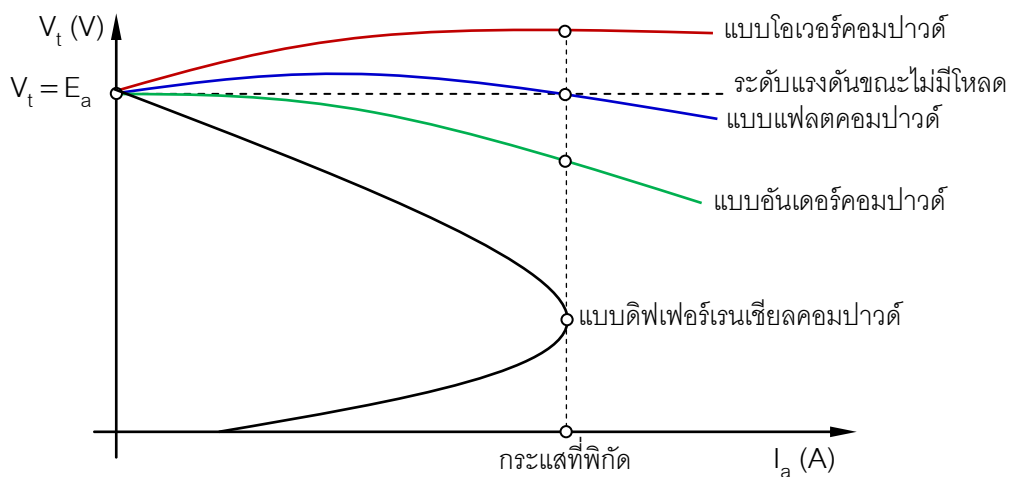
เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังไม่มีโหลดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเท่ากับแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เมื่อกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์พยายามเปลี่ยนแปลงลดลง แต่เนื่องจากมีกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์และไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์ด้วย จึงเกิดเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดซีรีส์โดยสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เพิ่มขึ้น และไปเสริมกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์ จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมพาวด์ที่สร้างเส้นแรงแม่เหล็กเสริมกัน โดยแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วจะเปลี่ยนแปลงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการออกแบบจำนวนรอบที่พันของขดลวดสนามแม่เหล็กซีรีส์ (ไชยชาญ หินเกิด, 2555: 192) แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 15
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	หน่วยที่ 3

1. จำนวนรอบของขดลวดสนามแม่เหล็กซีรีส์มีจำนวนรอบที่เหมาะสม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าลักษณะนี้จะให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเมื่อโหลดเต็มพิกัดมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีโหลด ทั้งนี้เพราะว่าเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดซีรีส์มีปริมาณเพียงพอที่จะไปเสริมกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดชัณฑ์ ดังนั้นเมื่อกระแสไฟฟ้าที่โหลดเพิ่มขึ้นจึงทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าลักษณะนี้มีแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย จึงเรียกว่า **เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแฟลตคอมปาวด์** (Flat compound generator) ดังรูปที่ 3.11

2. จำนวนรอบของขดลวดสนามแม่เหล็กซีรีส์มีจำนวนรอบที่น้อยกว่า (เทียบกับข้อ 1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าลักษณะนี้จะให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเมื่อโหลดเต็มพิกัดมีค่าน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีโหลด ทั้งนี้เพราะว่าเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดซีรีส์มีปริมาณน้อยกว่าที่จะไปเสริมกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดชัณฑ์ เมื่อกระแสไฟฟ้าที่โหลดเพิ่มขึ้นจึงทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าลักษณะนี้มีแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเปลี่ยนแปลงลดลงมากกว่าแบบแฟลตคอมปาวด์ จึงเรียกว่า **เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอันเดอร์คอมปาวด์** (Under compound generator) ดังรูปที่ 3.11

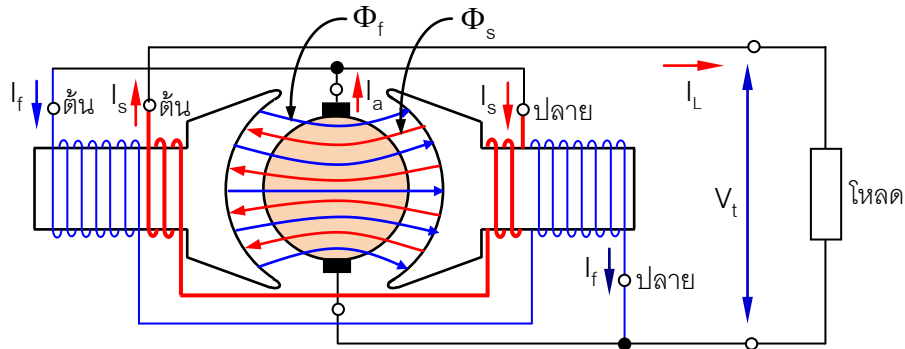
3. จำนวนรอบของขดลวดสนามแม่เหล็กซีรีส์มีจำนวนรอบที่มากกว่า (เทียบกับข้อ 1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าลักษณะนี้จะให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเมื่อโหลดเต็มพิกัดมีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีโหลด เพราะเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดซีรีส์มีปริมาณมากกว่าที่จะไปเสริมกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดชัณฑ์ เมื่อกระแสไฟฟ้าที่โหลดเพิ่มขึ้นจึงทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าลักษณะนี้มีแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากกว่าแบบแฟลตคอมปาวด์ จึงเรียกว่า **เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบโอเวอร์คอมปาวด์** (Over compound generator) ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

3.4.2 สร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกัน แบบนี้เป็นการต่อโดยให้ขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์สร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์ เมื่อขดลวดทั้งสองมีกระแสไหลผ่านโดยไหลไปในทิศทางตรงข้ามกัน (I_f ไหลเข้าต้นคอยล์ แต่ I_s ไหลเข้าปลายคอยล์) จึงทำให้เส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองมีทิศทางตรงข้ามกันและหักล้างกัน ดังรูปที่ 3.12

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 16
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	หน่วยที่ 3



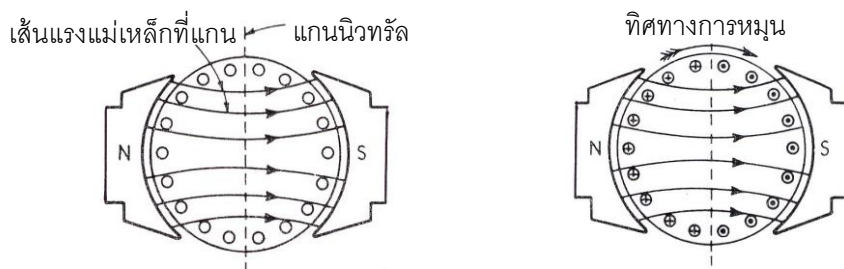
รูปที่ 3.12 การต่อขดลวดสนามแม่เหล็กแบบช้อนชั้นตัดคอมปาวด์สร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกัน

จากรูปที่ 3.12 เมื่อกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์จะเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างมาก อันเกิดจากแรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอกชันและแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมจากขดลวดอาร์เมเจอร์ร่วมกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์ เนื่องจากมีกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ไหลผ่านขดลวดแบบซีรีส์จึงเกิดเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดซีรีส์สร้างเส้นแรงแม่เหล็กเพิ่มขึ้นและไปหักล้างกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบช้อน จึงทำให้ผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กลดลงและลดลงอย่างมากเมื่อกระแสไฟฟ้าที่โหลดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างมาก จึงเรียกว่า **เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดิฟเฟอเรนเชียลคอมปาวด์** (Differential compound generator) (สุธน แก่นตัน, 2556: 173) ดังรูปที่ 3.11

3.5 การเกิดอาร์เมเจอร์รีแอกชัน

อาร์เมเจอร์รีแอกชัน หมายถึง การเกิดเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดอาร์เมเจอร์เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีโหลด โดยเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดอาร์เมเจอร์ไปกระทำกับเส้นแรงแม่เหล็กที่แกนขั้ว ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเกิดการบิดเบี้ยว (Distortion) ไป โดยการเกิดอาร์เมเจอร์รีแอกชันอธิบายได้ดังนี้

3.5.1 เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังไม่มีโหลด จะมีกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์น้อยมาก ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กที่แกนขั้วที่เกิดจากขั้วแม่เหล็กจะพุ่งออกจากขั้ว N ไปขั้ว S ในแนวเส้นตรงอย่างสม่ำเสมอทั้งส่วนบนและส่วนล่างของขั้วทั้งสอง (ไชยชาญ หินเกิด, 2552: 134) ดังรูปที่ 3.13 (ก) และเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดลวดอาร์เมเจอร์โดยมีกระแสไหลเข้าและออกตามทิศทางการหมุน ดังรูปที่ 3.13 (ข) ถ้าทำการลากเส้นตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็กที่แกนขั้ว เรียกเส้นนี้ว่า **แกนนิวทรัล** (Neutral plane) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ไม่มีแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยการวางตำแหน่งแปรงถ่านต้องวางที่ตำแหน่งนี้



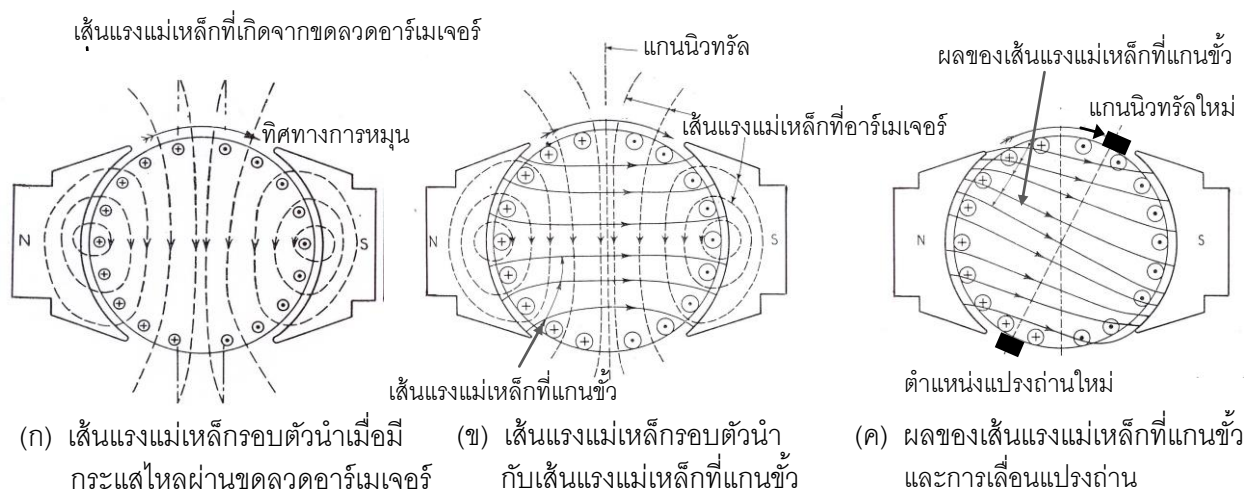
(ก) เส้นแรงแม่เหล็กจากแกนขั้ว

(ข) ทิศทางของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

รูปที่ 3.13 เส้นแรงแม่เหล็กจากแกนขั้วและทิศทางของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 17
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	หน่วยที่ 3

3.5.2 เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีโพลด์ ทำให้มีกระแสที่ขดลวดอาร์เมเจอร์โดยมีทิศทางการหมุน ดังรูปที่ 3.14 (ก) ในกลุ่มตัวนำที่อาร์เมเจอร์ทางด้านซ้ายมือ (ที่ตัดกับขั้ว N) เป็นกระแสไหลเข้าและเกิดเส้นแรงแม่เหล็กที่รอบถ้านำในทิศทางตามเข็มนาฬิกาและกลุ่มตัวนำที่อาร์เมเจอร์ทางด้านขวามือ (ที่ตัดกับขั้ว S) เป็นกระแสไหลออกและเกิดเส้นแรงแม่เหล็กที่รอบตัวนำในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่อาร์เมเจอร์ขึ้น โดยตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็กที่แกนขั้ว ดังรูปที่ 3.14 (ข) โดยสนามแม่เหล็กที่อาร์เมเจอร์นี้ไปทำกับเส้นแรงแม่เหล็กที่แกนขั้วที่เกิดจากขั้วและเกิดการบิดเบนไปในแนวเฉียงลงตามทิศทางการหมุนอาร์เมเจอร์ (ไชยชาญ หินเกิด, 2555: 134) ดังรูปที่ 3.14 (ค) ผลจากเส้นแรงแม่เหล็กบิดเบนไปทำให้แรงดัน ไฟฟ้าเหนี่ยวนำลดลงและมีเส้นแม่เหล็กที่เกิดจากการบิดเบนบางส่วนไปตัดกับตัวนำที่แปร่งถ่านวางอยู่ ส่งผลให้เกิดการประกายไฟที่หน้าแปร่งถ่านกับซีคอมมิวเตเตอร์ ดังนั้นเพื่อลดประกายไฟที่แปร่งถ่านกับซีคอมมิวเตเตอร์ จึงต้องเลื่อนตำแหน่งแปร่งถ่านตามไปด้วยให้อยู่ในตำแหน่งแกนนิวทรัลใหม่ (New neutral plane) ดังรูปที่ 3.14 (ค) โดยการเลื่อนแปร่งถ่านต้องเลื่อนไปตามทิศทางการหมุนของอาร์เมเจอร์เสมอและการเลื่อนแปร่งถ่านจะเลื่อนไปมากหรือน้อยเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในอาร์เมเจอร์



รูปที่ 3.14 การเกิดอาร์เมเจอร์รีแอกชัน

(Joe Kaiser, 1982: 267)

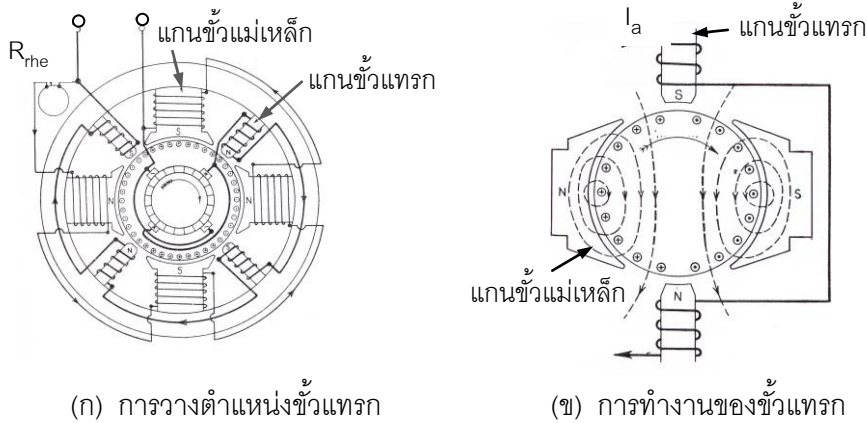
จากผลการเกิดอาร์เมเจอร์รีแอกชัน ทำให้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำลดลงและยังทำให้เกิดประกายไฟที่หน้าแปร่งถ่านกับซีคอมมิวเตเตอร์ ดังนั้นการแก้อาร์เมเจอร์รีแอกชันทำได้ดังนี้

1. เลื่อนตำแหน่งแปร่งถ่าน โดยการเลื่อนแปร่งถ่านไปยังตำแหน่งแกนนิวทรัลใหม่ดังรูปที่ 3.14 ข้อดีก็คือไม่ต้องมีอุปกรณ์ใดมาต่อเข้าเพิ่มเติมเพียงแต่เลื่อนแปร่งถ่าน โดยเลื่อนไปตามทิศทางการหมุนส่วนข้อเสียต้องเลื่อนแปร่งถ่านทุกครั้งเมื่อกระแสที่อาร์เมเจอร์เปลี่ยนแปลงจึงไม่เป็นที่ยอมรับ

2. ใส่ขั้วแทรกหรืออินเตอร์โพล (Com-poles or Inter-pole) เป็นขั้วแม่เหล็กเล็ก ๆ ที่แทรกไว้กึ่งกลางขั้วแม่เหล็กหลัก ดังรูปที่ 3.15 (ก) โดยที่ขั้วแทรกพันด้วยลวดทองแดงเส้นโตและต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีโพลด์ทำให้มีกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์และไหลผ่านขดลวดขั้วแทรก

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 18
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	หน่วยที่ 3

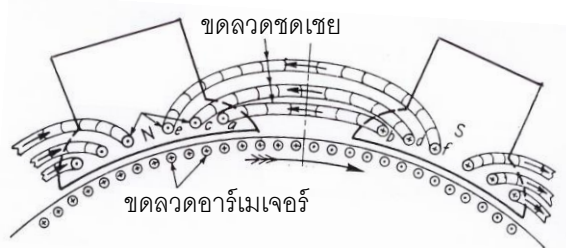
และมีเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขั้วแทรกตามทิศทางของกระแสไฟฟ้า โดยทิศทางของขั้วแทรกจะต้องมีขั้วที่เหมือนกับขั้วแม่เหล็กหลักที่อยู่ข้างหน้าตามทิศทางการหมุน



รูปที่ 3.15 การวางตำแหน่งขั้วแทรกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.15 (ข) เมื่อตัวนำที่อาร์เมเจอร์อยู่ที่ตำแหน่งแกนนิวทรัล จะทำให้มีเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากอาร์เมเจอร์รีแอกชันไปตัดกับตัวนำโดยมีทิศทางของกระแสไหลเข้า และในขณะเดียวกันตัวนำเดิมจะตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กของขั้วแทรก โดยมีทิศทางของกระแสไหลออก (ทิศทางตรงข้ามกัน) ดังนั้นจึงทำให้เกิดแรงดันในการเหนี่ยวนำที่ตำแหน่งนี้น้อยมาก จึงทำให้ช่วยลดการเกิดประกายไฟที่แปรงถ่านลงได้

3. พันขดลวดชดเชย (Compensating winding) ขดลวดชดเชยจะพันจากทองแดงเส้นโตและวางอยู่ในร่องบริเวณผิวด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กหลักโดยมีต้นและปลายของขดลวดแต่ละขดวางอยู่ผิวหน้าอย่างละครึ่งของแกนขั้วแม่เหล็กดังรูปที่ 3.16 ซึ่งจะเห็นว่าต้นตัวนำ b,d และ f จะอยู่ครึ่งหนึ่งของหน้าแกนขั้วแม่เหล็กใต้และปลายตัวนำ a, c และ e จะอยู่อีกครึ่งหนึ่งของแกนขั้วหน้าขั้วแม่เหล็กเหนือ



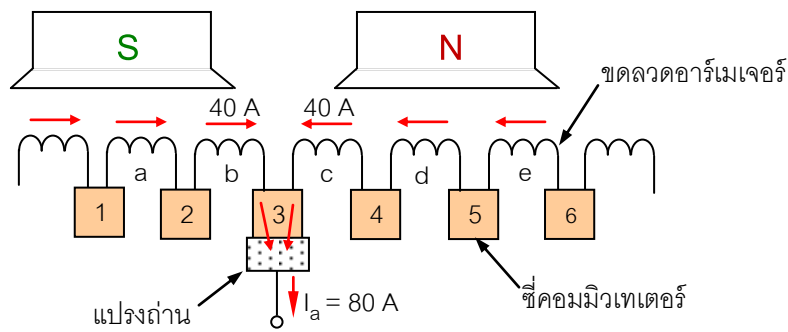
รูปที่ 3.16 การพันขดลวดชดเชยที่หน้าขั้ว

ในการต่อขดลวดชดเชยนี้จะต่ออนุกรมกับขดลวดอาร์เมเจอร์เช่นเดียวกับขดลวดขั้วแทรกโดยให้ทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่สร้างเส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดชดเชย มีทิศทางตรงข้ามกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดอาร์เมเจอร์ซึ่งก็จะหักล้างกันให้เหลือน้อยที่สุด ดังนั้นก็ส่งผลให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากอาร์เมเจอร์ไปกระทำกับเส้นแรงแม่เหล็กที่แกนขั้วน้อยเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงเท่ากับว่าเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากแกนขั้วบิดเบือนน้อยที่สุดเช่นเดียวกัน

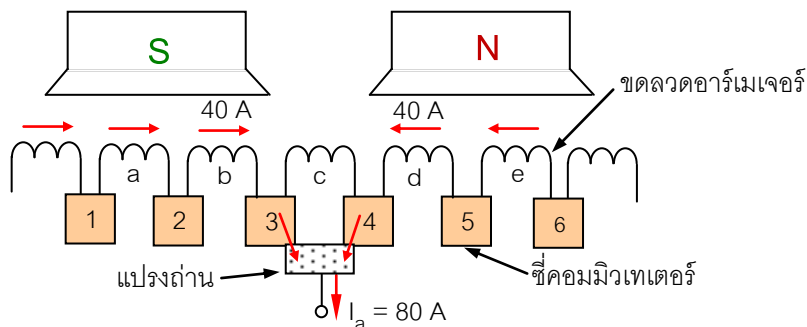
วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 19
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	หน่วยที่ 3

3.6 การเกิดคอมมิวเทชัน

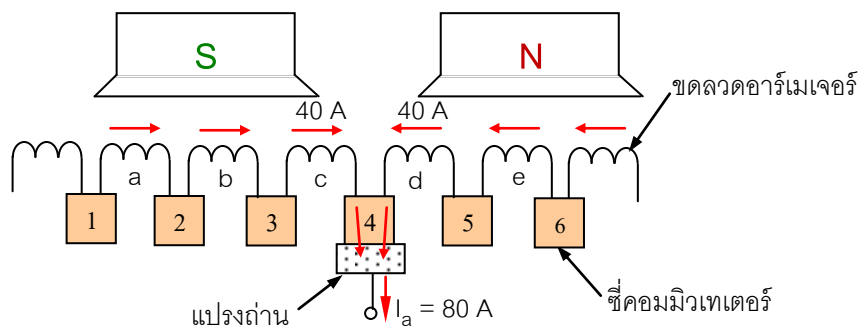
คอมมิวเทชัน หมายถึง กระบวนการเปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในขดลวดอาร์เมเจอร์เมื่อขดลวดอาร์เมเจอร์ชุดนั้นเคลื่อนที่ผ่านพื้นแกนนิวทรัล ซึ่งอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางขั้วแม่เหล็กเหนือและขั้วแม่เหล็กใต้ที่อยู่ประชิดกัน ดังรูปที่ 3.17 ในการพิจารณาการทำงานของคอมมิวเทเตอร์ โดยกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดที่ติดอยู่กับซี่คอมมิวเทเตอร์มีการกลับทิศทางตามเวลา และแปรงถ่านก็จะเริ่มสัมผัสซี่คอมมิวเทเตอร์ซี่ต่อไป ซึ่งพิจารณาได้ดังนี้



(ก) เมื่อแปรงถ่านสัมผัสซี่คอมมิวเทเตอร์ 3 อย่างเดียว



(ข) เมื่อแปรงถ่านสัมผัสซี่คอมมิวเทเตอร์ 3 และ 4



(ค) เมื่อแปรงถ่านสัมผัสซี่คอมมิวเทเตอร์ 4 อย่างเดียว

รูปที่ 3.17 การเกิดคอมมิวเทชัน

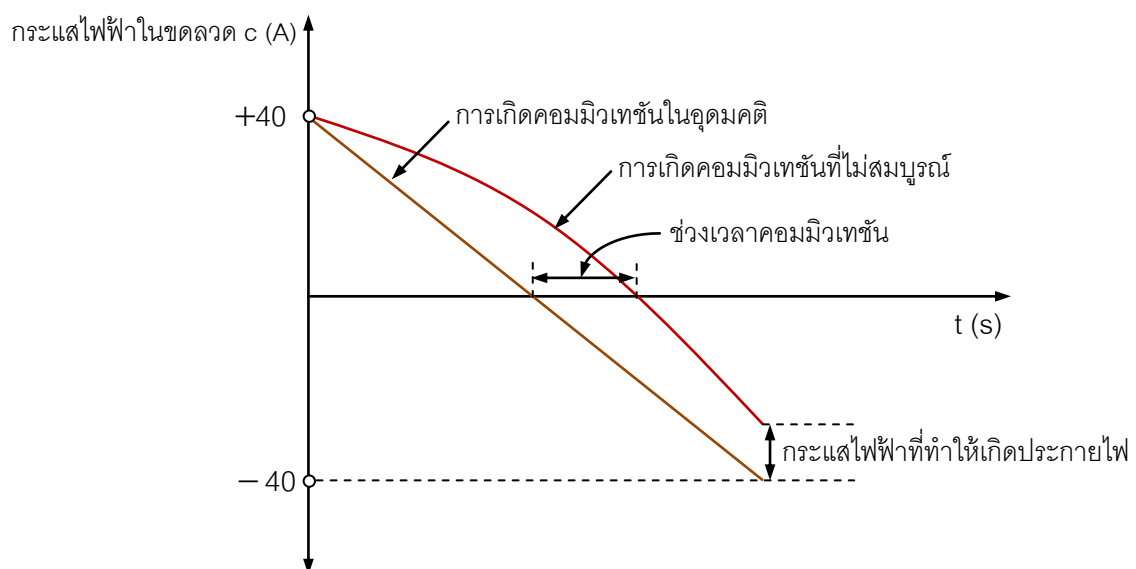
จากรูปที่ 3.17 (ก) เป็นตำแหน่งที่แปรงถ่านสัมผัสกับซี่คอมมิวเทเตอร์ซี่ที่ 3 เพียงซี่เดียว ดังนั้นกระแส I_a จำนวน 80 A ได้จากกระแสไฟฟ้าในขดลวด b (จากซ้ายไปขวาตามทิศทางลูกศร) จำนวน 40 A และกระแสไฟฟ้าได้จากขดลวด c (จากขวาไปซ้ายตามทิศทางหัวลูกศร) อีกจำนวน 40 A

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	ใบเนื้อหา	หน้า 20
รหัส 3104-2003	คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	หน่วยที่ 3

จากรูปที่ 3.17 (ข) เมื่ออาร์เมเจอร์เคลื่อนที่ออกไปอีกทำให้แปรงถ่านเริ่มสัมผัสที่ซี่คอมมิวเตเตอร์ซี่ที่ 4 ทำให้กระแสในขดลวด c เริ่มลดลงอย่างรวดเร็วมีค่าเข้าใกล้ศูนย์และเท่ากับศูนย์ตามลำดับเพราะว่าขดลวด c อยู่ในสถานะลัดวงจรด้วยแปรงถ่าน โดยผลของกระแสไฟฟ้าขณะนี้ได้จากขดลวด b และขดลวด d เส้นทางการไหล 40 A ซึ่งยังมีค่าเท่ากับ 80 A เช่นเดิม

จากรูปที่ 3.17 (ค) เมื่ออาร์เมเจอร์เคลื่อนที่ออกไปอีกทำให้แปรงถ่านเริ่มสัมผัสที่ซี่คอมมิวเตเตอร์ซี่ที่ 4 เพียงซี่คอมมิวเตเตอร์เดียวทำให้กระแสไฟฟ้าในขดลวด c เริ่มไหลกลับทิศทาง การที่กระแสไฟฟ้าในขดลวด c เริ่มมีทิศทางเปลี่ยนแปลงจาก +40 A ไปเป็น -40 A (ที่เป็นลบเพราะทิศทางตรงข้าม) ในช่วงที่ขดลวด c เคลื่อนที่ผ่านแปรงถ่านนี้เรียกว่า **คอมมิวเทชัน**

การเกิดคอมมิวเทชันในขดลวด c ในสภาวะอุดมคตินั้นแสดงด้วยเส้นตรง ดังรูปที่ 3.18 เนื่องจากขดลวด c มีค่าอินдукแตนซ์ (L) ซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในช่วงเวลาทำให้เกิดมีแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดเรียกว่า แรงดันรีแอกแตนซ์ (Reactance voltage) โดยมีทิศทางตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงนี้ จึงทำให้กระแสไฟฟ้าในขดลวด c ไม่กลับทิศทางได้อย่างสมบูรณ์ที่แปรงถ่านเคลื่อนที่จากคอมมิวเตเตอร์ซี่หนึ่งไปยังอีกซี่หนึ่ง ซึ่งทำให้เกิดคอมมิวเทชันที่ไม่สมบูรณ์เมื่อเทียบกับการคอมมิวเทชันในอุดมคติ และเรียกช่วงเวลานี้ว่า **ช่วงเวลาคอมมิวเทชัน** (ถณรงค์ อัจฉฤทธิ์, 2529: 188) นอกจากนี้ช่วงเวลาดังกล่าวทำให้การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในขดลวด c เป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์เช่นกัน ดังนั้นจึงทำให้เกิดประกายไฟขึ้นที่คอมมิวเตเตอร์กับแปรงถ่านซึ่งเป็นผลทำให้ซี่คอมมิวเตเตอร์กับแปรงถ่านสึกหรอ



รูปที่ 3.18 การเกิดคอมมิวเทชันในขดลวด c
(ถณรงค์ อัจฉฤทธิ์, 2529: 189)