หน่วยที่ 1

โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

หัวข้อเรื่อง (Topics)

1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

1.2 หน้าที่และส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

1.3 การพันขดลวดอาร์เมเจอร์

1.4 ผังการลงขดลวดอาร์เมเจอร์

1.5 จำนวนทางขนานของการพันขดลวดอาร์เมเจอร์

สมรรถนะย่อย (Element of Competency)

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
2. ปฏิบัติการถอด ประกอบและบอกส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral Objectives)

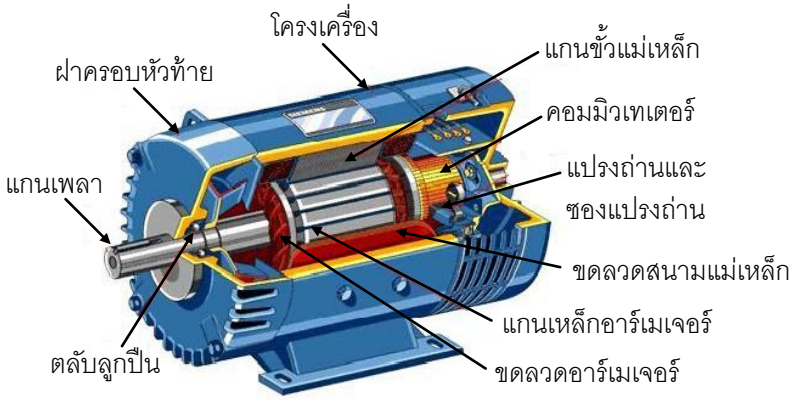
1. บอกโครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้
2. บอกหน้าที่และส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้
3. อธิบายการพันขดลวดอาร์เมเจอร์ได้
4. อธิบายผังการลงขดลวดอาร์เมเจอร์ได้
5. อธิบายจำนวนทางขนานของการพันขดลวดอาร์เมเจอร์ได้

1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง แบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ดังนี้

1.1.1 **ส่วนที่อยู่กับที่** เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 1.1 ซึ่งได้แก่ โครงเครื่องหรือกรอบโครง แกนขั้ว-แม่เหล็ก ขดลวดสนามแม่เหล็ก แปรงถ่านพร้อมชุดยึดแปรงถ่าน และฝาครอบหัวท้าย

1.1.2 **ส่วนที่เคลื่อนที่** เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 1.1 ซึ่งได้แก่ แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ ขดลวดอาร์-เมเจอร์ คอมมิวเทเตอร์ และแกนเพลา



รูปที่ 1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

1.2 หน้าที่และส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

ดังรูปที่ 1.2 เมื่อเปิดฝาครอบหัวท้ายออก จะเห็นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ดังนี้

รูปที่ 1.2 ส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

1.2.1 **โครงเครื่องหรือกรอบโครง** (Frame or Yoke) ทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นที่โค้งงอเป็นรูปทรงกระบอกแล้วเชื่อมยึดรอยต่อเข้าด้วยกัน หน้าที่ของโครงเครื่องคือห่อหุ้มส่วนต่าง ๆ และรับแรงทั้งหมดของเครื่องกำเนิด นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นส่วนทางเดินของวงจรแม่เหล็ก

1.2.2 **แกนขั้วแม่เหล็ก** (Pole core) ทำจากเหล็กแผ่นลามิเนต (Laminated sheet steel) ปั๊มเป็นแกนรูปขั้วแม่เหล็กแล้วนำมาอัดติดกันเป็นแกนขั้วแม่เหล็ก โดยส่วนที่ยื่นออกจากขอบทั้งสองบริเวณด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กเรียกว่าโปลชู (Pole shoe) (ธวัชชัย อัตถวิบูลย์กุล, 2546: 74) และมีลักษณะ

โค้งงอตามความโค้งของแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ โดยแกนของขั้วแม่เหล็กทุกขั้วนั้นยึดติดกับโครงเครื่องด้วยสกรู และหน้าที่ของแกนขั้วแม่เหล็กก็คือสร้างเส้นแรงแม่เหล็กร่วมกับขดลวดสนามแม่เหล็ก

(ก) ภาพลายเส้นของแกนขั้วและขดลวดสนามแม่เหล็ก (ข) ภาพจริงของแกนขั้วและขดลวดสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 1.3 ภาพลายเส้นและภาพจริงของแกนขั้วแม่เหล็กและขดลวดสนามแม่เหล็ก

1.2.3 **ขดลวดสนามแม่เหล็กหรือขดลวดฟิลด์** (Field winding) ทำจากขดลวดทองแดงหุ้มฉนวนพันรอบแกนของขั้วแม่เหล็กทุกขั้ว ส่วนมากชุดขดลวดสนามแม่เหล็กจะถูกที่พันไว้ล่วงหน้า แล้วหุ้มด้วยฉนวนหรือพันด้วยแถบผ้าฝ้ายอาบวานิชและอบแห้งเสร็จแล้วจึงนำไปสวมเข้ากับแกนขั้วแม่เหล็ก โดยขดลวดสนามแม่เหล็กที่พันอยู่บนแกนขั้วมี 2 ชนิด คือ ขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชันต์ (Shunt field winding) และขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์ (Series field winding) หน้าที่ของขดลวดสนามแม่เหล็กคือสร้างเส้นแรงแม่เหล็กร่วมกับแกนขั้วแม่เหล็กเมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับขดลวด โดยเส้นแรงแม่เหล็กพุ่งออกจากขั้วแม่เหล็กเหนือผ่านช่องอากาศไปยังขั้วแม่เหล็กใต้

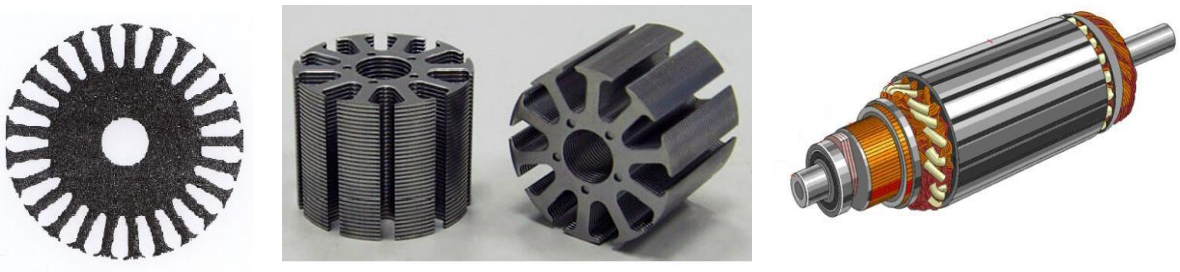
1.2.4 **แปรงถ่าน** ส่วนมากจะทำจากคาร์บอนและแกรไฟต์ แปรงถ่านคาร์บอนทำจากผงถ่านคาร์บอนบริสุทธิ์ใช้ในเครื่องกลไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีพิกัดกระแสต่ำ แปรงถ่านแกรไฟต์ทำจากผงถ่านคาร์บอนบริสุทธิ์โดยการเพิ่มปริมาณความร้อนจึงเปลี่ยนสภาพเป็นแกรไฟต์ แปรงถ่านชนิดนี้มีคุณสมบัติที่ดีและนิยมใช้กันแพร่หลาย นอกจากนั้นยังมีแปรงถ่านโลหะทำจากส่วนผสมของผงทองแดงกับผงแกรไฟต์และใช้งานที่มีพิกัดกระแสสูง โดยแปรงถ่านต่อกับสายทองแดงฝอยตีเกลียวพร้อมขั้วต่อสาย ดังรูปที่ 1.4 (ก)โดยหน้าที่ของแปรงถ่านก็คือเป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้าที่ออกจากซี่คอมมิวเทเตอร์ที่แปรงถ่านสัมผัสอยู่ไปยังโหลด โดยตำแหน่งแปรงถ่านจะบรรจุอยู่ที่ซองแปรงถ่าน ดังรูปที่ 1.4 (ข)

(ก) แปรงถ่านคาร์บอนและขั้วต่อสายทองแดง (ข) ชุดซองแปรงถ่าน

รูปที่ 1.4 ลักษณะของแปรงถ่านและตำแหน่งของแปรงถ่าน

1.2.5 **ฝาครอบหัวท้าย** ทำจากเหล็กหล่อเช่นเดียวกับโครงเครื่อง โดยที่ฝาปิดหัวท้ายมีตลับลูกปืนยึดฝังอยู่ หน้าที่ของฝาปิดหัวท้ายก็คือทำหน้าที่รับแรงร่วมกับโครงเครื่อง

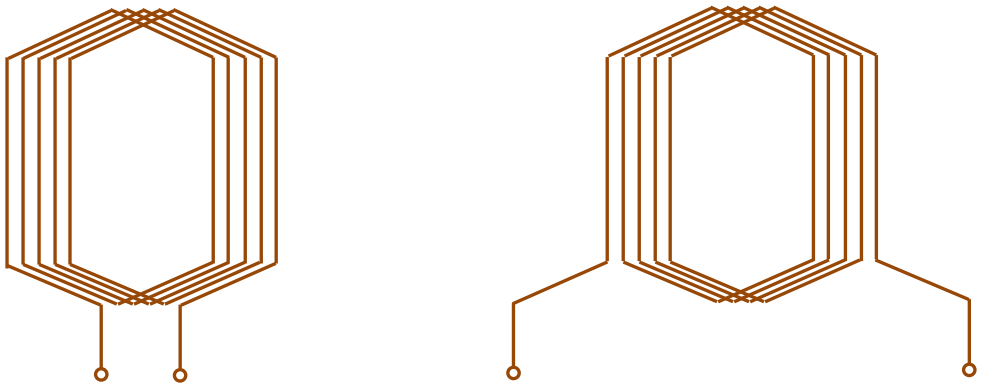
1.2.6 **แกนเหล็กอาร์เมเจอร์** ทำจากแผ่นเหล็กซิลิกอนแผ่นบางซึ่งแต่ละแผ่นทำเป็นร่อง และเจาะรูตรงกลางสำหรับสอดเพลา ดังรูปที่ 1.5 (ก) ผิวทั้งสองข้างฉาบด้วยฉนวนวานิชนำแล้วนำมาอัดซ้อนกันเป็นรูปทรงกระบอก ดังรูปที่ 1.5 (ข) เพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากฮีสเตอริซีสและกระแสไหลวนในแกนเหล็ก หน้าที่ของแกนอาร์เมเจอร์คือเป็นที่ใส่ชุดขดลวดอาร์เมเจอร์ และนำพาชุดขดลวดอาร์เมเจอร์หมุนตัดกับเส้นแม่เหล็ก (สุธน แก่นต้น, 2556: 47) ดังรูปที่ 1.5 (ค)



(ก) เหล็กซิลิคอนแผ่นบาง (ข) แผ่นเหล็กซิลิคอนนำมาอัดซ้อนกัน (ค) ชุดขดลวดบรรจุอยู่ในร่องอาร์เมเจอร์

รูปที่ 1.5 แผ่นเหล็กของแกนอาร์เมเจอร์และอาร์เมเจอร์เมื่อลงขดลวดแล้ว

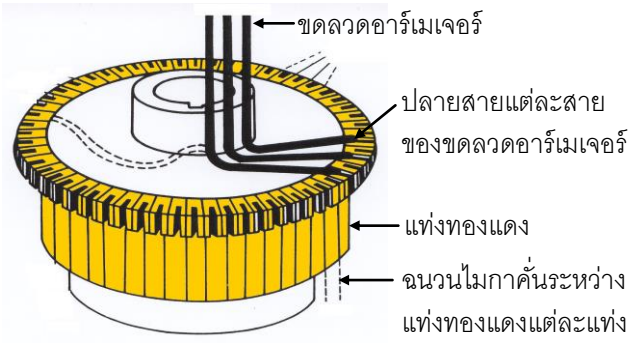
1.2.7 **ขดลวดอาร์เมเจอร์** ทำจากเส้นลวดทองแดงอาบน้ำยา ซึ่งในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีพิกัดกระแสไม่สูงมากนัก ก็จะใช้ลวดทองแดงที่มีพื้นที่หน้าตัดกลม ส่วนในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีพิกัดกระแสสูงก็จะใช้ตัวนำทองแดงที่มีพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบน โดยขดลวดอาร์เมเจอร์แต่ละขดที่พันไว้ล่วงหน้าแล้วนำมาต่อเชื่อมกันที่บนซี่คอมมิวเทเตอร์ ซึ่งในการพันขดลวดอาร์เมเจอร์ยังแบ่งได้อีก 2 แบบก็คือ ขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแลป ดังรูปที่ 1.6 (ก) และขดลวดอาร์เมเจอร์แบบเวฟ ดังรูปที่ 1.6 (ข) หน้าที่ของขดลวดอาร์เมเจอร์ คือผลิตแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อหมุนไปตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก



(ก) ขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแลป (ข) ขดลวดอาร์เมเจอร์แบบเวฟ

รูปที่ 1.6 การพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบต่าง ๆ

1.2.8 **คอมมิวเทเตอร์** ทำจากแท่งทองแดงหลาย ๆ แท่ง มีลักษณะคล้ายรูปลิ่ม เพื่อให้สามารถนำมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอกโดยมีแผ่นฉนวนไมกาคั่นกลางระหว่างซี่ของคอมมิวเทเตอร์ทุก ๆ ซี่ ความหนาของแต่ละซี่ของคอมมิวเทเตอร์ขึ้นอยู่กับขนาดพิกัดกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าระหว่างซี่คอมมิวเทเตอร์ที่อยู่ประชิดกัน การเชื่อมต่อปลายสายของขดลวดอาร์เมเจอร์เข้ากับซี่คอมมิวเทเตอร์ทำได้โดยต่อปลายสายของขดลวด หน้าที่ของคอมมิวเทเตอร์ คือใช้สำหรับรองรับปลายสายทั้งหมดของขดลวดอาร์เมเจอร์และยังทำหน้าที่เรียงกระแสหรือเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (ศุภชัย สุรินทร์วงศ์, 2534: 58) โครงสร้างภายในของคอมมิวเทเตอร์ดังรูปที่ 1.7 (ก) และภาพจริงของคอมมิวเทเตอร์ดังรูปที่ 1.7 (ข)



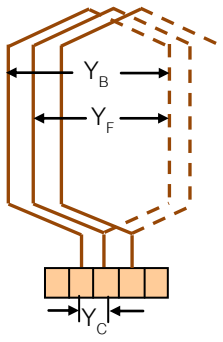
(ก) โครงสร้างของคอมมิวเทเตอร์

(ข) ภาพจริงของคอมมิวเทเตอร์

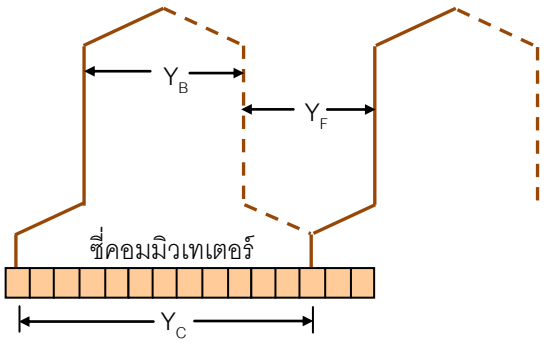
รูปที่ 1.7 โครงสร้างและภาพจริงของคอมมิวเทเตอร์

1.3 การพันขดลวดอาร์เมเจอร์

ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง จะแบ่งการพันขดลวดอาร์เมเจอร์เป็น 2 แบบ คือ การพันแบบแลปดังรูปที่ 1.8 (ก) และการพันแบบเวฟ ดังรูปที่ 1.8 (ข) ซึ่งลักษณะการพันของขดลวดทั้ง 2 แบบ ต่างกันตรงที่การนำปลายสายของขดลวดอาร์เมเจอร์ไปต่อเข้ากับซี่คอมมิวเทเตอร์



(ก) ขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแลป



(ข) ขดลวดอาร์เมเจอร์แบบเวฟ

รูปที่ 1.8 การพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบต่าง ๆ

จากรูปที่ 1.8 ระยะต่าง ๆ อธิบายได้ดังนี้

1.3.1 **ระยะของขดลวดด้านหลัง** (Back pitch) คือ ระยะห่างของขดลวดด้านหน้ากับขดลวดด้านหลังของขดลวดชุดเดียวกัน กำหนดค่าให้เป็น Y_B นิยมนับเป็นจำนวนคอยล์ไซด์ โดยระยะห่างของขดลวดด้านหลังหาค่าได้ดังนี้

$$Y_B = C_{LS}Y_S + 1 \qquad \text{.... (1.1)}$$

เมื่อ C_{LS} คือ จำนวนคอยล์ไซด์ใน 1 ร่อง

1.3.2 **ระยะของขดลวดด้านหน้า** (Front pitch) คือ ระยะห่างของขดลวดด้านหลังของขดลวดขดหนึ่งกับขดลวดด้านหน้าของขดลวดอีกขดหนึ่ง โดยที่ปลายและต้นของขดลวดทั้งสองอยู่บนซี่คอมมิวเทเตอร์เดียวกัน กำหนดค่าให้เป็น Y_F นิยมนับเป็นจำนวนคอยล์ไซด์ โดยระยะห่างของขดลวดด้านหลังหาค่าได้ดังนี้

$$Y_F = Y_B - 2n_C \qquad \text{.... (1.2)}$$

เมื่อ n_C คือ จำนวนชุดของขดลวดอาร์เมเจอร์

โดยค่าของ n_C เท่ากับ 1 เมื่อพันแบบซิมเพล็กซ์แลปหรือซิมเพล็กซ์เวฟ n_C เท่ากับ 2 เมื่อพันแบบดูเพล็กซ์แลปหรือดูเพล็กซ์เวฟ และ n_C เท่ากับ 3 เมื่อพันแบบทริพเพล็กซ์แลปหรือทริพเพล็กซ์เวฟ

1.3.3 **ระยะคอมมิวเทเตอร์** (Commutator pitch) คือ ระยะห่างบนซี่คอมมิวเทเตอร์ที่วัดจากต้นของขดลวดขดหนึ่งไปยังต้นของขดลวดอีกขดหนึ่ง กำหนดค่าให้เป็น Y_C นิยมนับเป็นจำนวนซี่ทองแดง โดยระยะซี่คอมมิวเทเตอร์ หาค่าได้ดังนี้

1. เมื่อพันแบบแลป

$$Y_C = \frac{Y_B - Y_F}{2} \qquad \text{.... (1.3)}$$

2. เมื่อพันแบบเวฟ

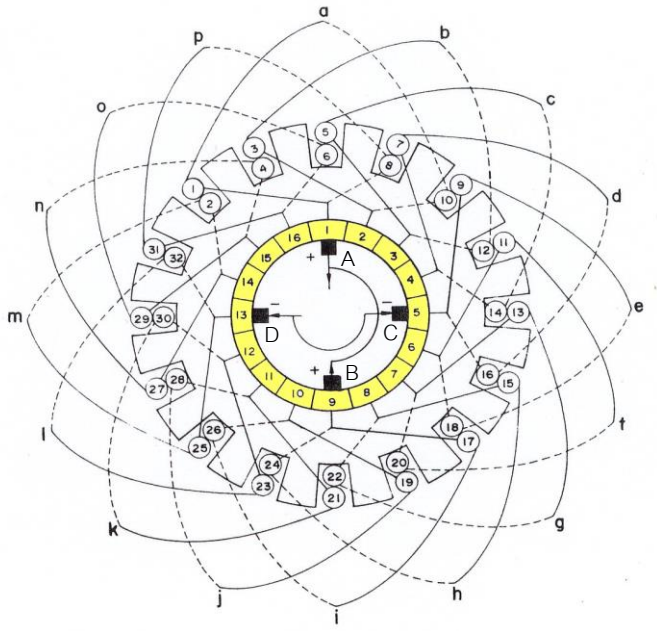
$$Y_C = \frac{Y_B + Y_F}{2} \qquad \text{.... (1.4)}$$

นอกจากนี้การพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแลปยังแบ่งออกได้อีก 3 แบบ คือ ซิมเพล็กซ์แลป (Simplex lap winding) ดูเพล็กซ์แลป (Duplex lap winding) และทริพเพล็กซ์แลป (Triplex lap winding) ส่วนการพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบเวฟยังแบ่งออกได้อีก 3 แบบเช่นกัน คือ ซิมเพล็กซ์เวฟ (Simplex wave winding) ดูเพล็กซ์เวฟ (Duplex wave winding) และทริพเพล็กซ์เวฟ (Triplex wave winding)

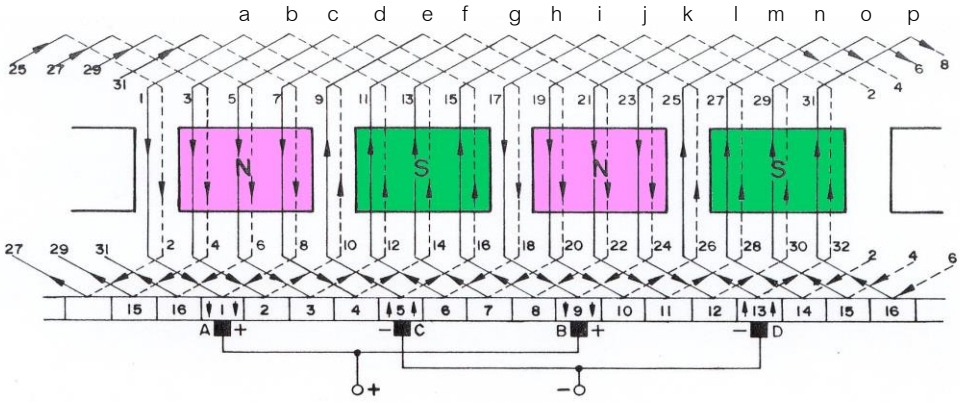
1.4 ผังการลงขดลวดอาร์เมเจอร์

จากการพันขดลวดเป็น 2 แบบ คือการพันแบบแลปและการพันแบบเวฟ เพื่อให้เห็นลักษณะการลงขดลวดทั้ง 2 แบบ ความแตกต่างของการพันขดลวดทั้งสองสามารถพิจารณาได้จากการลงขดลวดในลักษณะแผนภาพแบบวงกลม (Circular diagram) และแผนภาพแบบคลี่ (Unfolded diagram)

1.4.1 **แบบแลป** ดังรูปที่ 1.9 เป็นการลงขดลวดอาร์เมเจอร์แบบซิมเพล็กซ์แลป



(ก) การลงขดลวดแผนภาพแบบวงกลม



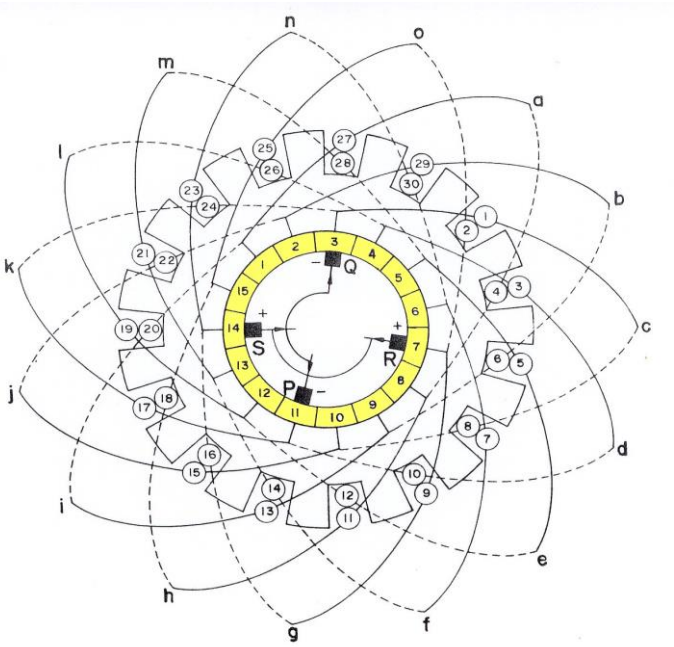
(ข) ผังการลงขดลวดแผนภาพแบบคลี่

รูปที่ 1.9 ผังการลงขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแลป

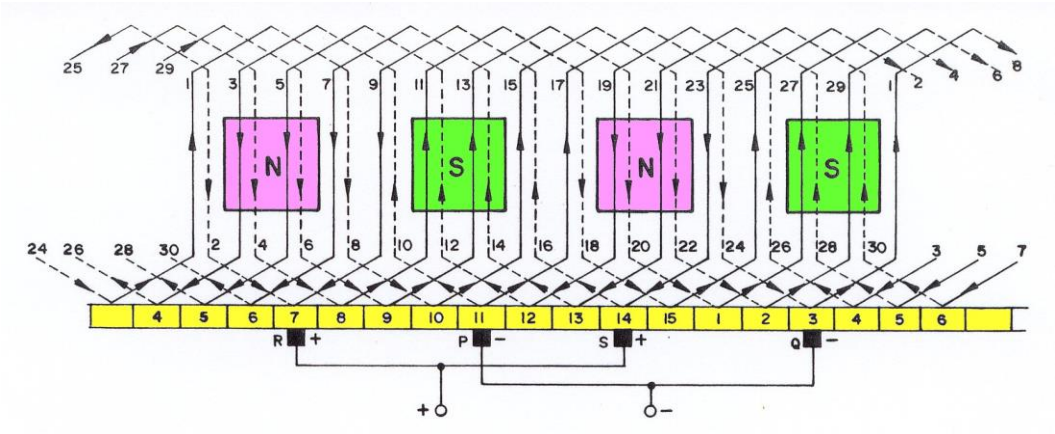
(ไชยชาญ หินเกิด, 2555: 98-99)

จากรูปที่ 1.9 (ก) แสดงการพันขดลวดแบบซิมเพล็กซ์แลป 4 ขั้วแม่เหล็ก 16 ร่อง ลงขดลวด 2 ชั้นโดยมีความกว้างของขดลวดเท่ากับ 4 จำนวนคอยล์ไซด์ 16 คอยล์ ซึ่งเป็น a, b, c, d....ตามลำดับโดยคอยล์ a ด้าน 1 ซึ่งอยู่ส่วนบนต้นคอยล์ลงที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 1 ส่วนด้าน 10 ซึ่งอยู่ส่วนล่างปลายคอยล์ลงที่ซี่คอมมิวเตเตอร์ที่ 2 คอยล์ b ด้าน 3 ซึ่งอยู่ส่วนบนต้นคอยล์ลงที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 2 ส่วนด้าน 12 ซึ่งอยู่ส่วนล่างปลายคอยล์ลงที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 3 คอยล์ c ด้าน 5 ซึ่งอยู่ส่วนบนต้นคอยล์ลงที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 3 ส่วนด้าน 14 ซึ่งอยู่ส่วนล่างปลายคอยล์ลงที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 4 คอยล์ d ด้าน 7 ซึ่งอยู่ส่วนบนต้นคอยล์ลงที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 4 ส่วนด้าน 16 ซึ่งอยู่ส่วนล่างปลายคอยล์ลงที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 5 ส่วนคอยล์ไซด์อื่น ๆ ก็ลงลักษณะวนไปเรื่อย ๆ จนครบ 16 คอยล์ ส่วนรูปที่ 1.9 (ข) เป็นผังการลงขดลวดแผนภาพแบบคลี่

1.4.2 **แบบเวฟ** ดังรูปที่ 1.10 เป็นการลงขดลวดอาร์เมเจอร์แบบซิมเพล็กซ์เวฟ



(ก) การลงขดลวดแผนภาพแบบวงกลม



(ข) ผังการลงขดลวดแผนภาพแบบคลี่

รูปที่ 1.10 ผังการลงขดลวดอาร์เมเจอร์แบบเวฟ

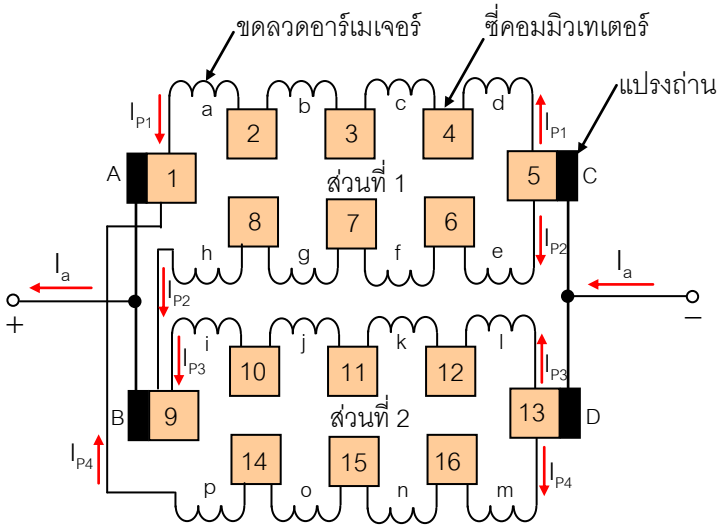
(ไชยชาญ หินเกิด, 2555: 104-105)

จากรูปที่ 1.10 (ก) แสดงการพันขดลวดแบบซิมเพล็กซ์เวฟ ขั้วแม่เหล็ก 4 ขั้ว 15 ร่อง ลงขดลวด 2 ชั้นโดยมีความกว้างของขดลวดเท่ากับ 3 จำนวนคอยล์ไซด์ 15 คอยล์ ซึ่งเป็น a, b, c, d....ตามลำดับโดยคอยล์ a ด้าน 27 ซึ่งอยู่ส่วนบน ต้นคอยล์ลงที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 1 ส่วนด้าน 4 ซึ่งอยู่ส่วนล่างปลายคอยล์ลงที่ซี่คอมมิวเตเตอร์ที่ 8 คอยล์ b ด้าน 29 ซึ่งอยู่ส่วนบนต้นคอยล์ลงที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 2 ส่วนด้าน 6 ซึ่งอยู่ส่วนล่างปลายคอยล์ลงที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 9 คอยล์ c ด้าน 1 ซึ่งอยู่ส่วนบนต้นคอยล์ลงที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 3 ส่วนด้าน 8 ซึ่งอยู่ส่วนล่างปลายคอยล์ลงที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 10 คอยล์ d ด้าน 3 ซึ่งอยู่ส่วนบนต้นคอยล์ลงที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 4 ส่วนด้าน 10 ซึ่งอยู่ส่วนล่างปลายคอยล์ลงที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 11 ส่วนคอยล์ไซด์อื่น ๆ ก็ลงลักษณะวนไปเรื่อย ๆ จนครบ 15 คอยล์ ส่วนรูปที่ 1.10 (ข) เป็นผังการลงขดลวดแบบภาพคลี่

1.5 จำนวนทางขนานของการพันขดลวดอาร์เมเจอร์

จำนวนทางขนาน หมายถึง จำนวนทางที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรของขดลวดอาร์เมเจอร์ โดยการพันขดลวดอาร์เมเจอร์จะถูกแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ดังนั้นจำนวนทางขนานจึงขึ้นอยู่กับการพันขดลวดอาร์เมเจอร์ ซึ่งมีวิธีการหาดังต่อไปนี้

1.5.1 **เมื่อขดลวดอาร์เมเจอร์พันแบบแลป** การพันขดลวดแบบนี้จำนวนทางขนานจะเท่ากับจำนวนขั้วแม่เหล็ก ถ้าพิจารณาจากรูปที่ 1.9 (ก) และ 1.9 (ข) ซึ่งมีจำนวนขั้วแม่เหล็ก 4 ขั้วเห็นว่าแปรงถ่าน A สัมผัสที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 1 โดยแปรงถ่าน C สัมผัสที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 5 และแปรงถ่าน B สัมผัสที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 9 โดยแปรงถ่าน D สัมผัสที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 13 และนำมาเขียนใหม่ได้ดังรูปที่ 1.11



รูปที่ 1.11 ผังขดลวดจำนวนทางขนาน 4 ทางขนาน

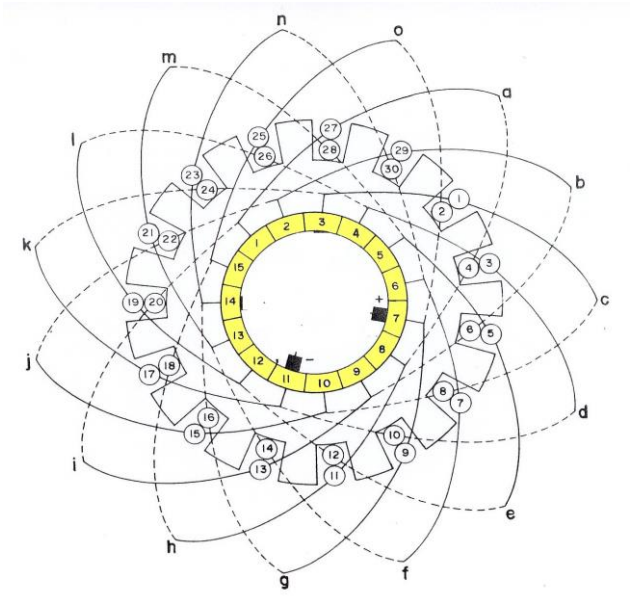
จากรูปที่ 1.11 ที่ขั้วลบกระแส I_a แยกไหลไปที่แปรงถ่าน C กับแปรงถ่าน D โดยส่วนที่ 1 มีแปรงถ่าน C สัมผัสซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 5 มีกระแสไฟฟ้าแยกไหลอีก 2 สาขาคือ I_{P1} กับ I_{P2} โดย I_{P1} ไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ d, c, b, a มาซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 1 ที่แปรงถ่าน A สัมผัสอยู่ ส่วน I_{P2} ไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ e, f, g, h มาที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 9 ที่แปรงถ่าน B สัมผัสอยู่ ส่วนที่แปรงถ่าน D สัมผัสที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 13 มีกระแสไฟฟ้าแยกไหลอีก 2 สาขาคือ I_{P3} กับ I_{P4} โดย I_{P3} ไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ l, k, j, i มาซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 9 ที่แปรงถ่าน B สัมผัสอยู่ ส่วน I_{P4} ไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ m, n, o, p มาที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 1 ที่แปรงถ่าน A สัมผัสอยู่ โดยแปรงถ่าน A เป็นผลรวมของ I_{P1} กับ I_{P4} โดยแปรงถ่าน B เป็นผลรวมของ I_{P2} กับ I_{P3} ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์จึงเป็นผลรวมของกระแสที่แปรงถ่าน A ($I_A = I_{P1} + I_{P4}$) กับแปรงถ่าน B ($I_B = I_{P2} + I_{P3}$) ถ้ากำหนดให้ I_P เป็นกระแสไฟฟ้าในแต่ละทางขนานดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

$$I_a = I_{p1} + I_{P2} + I_{p3} + I_{P4} = 4I_p$$

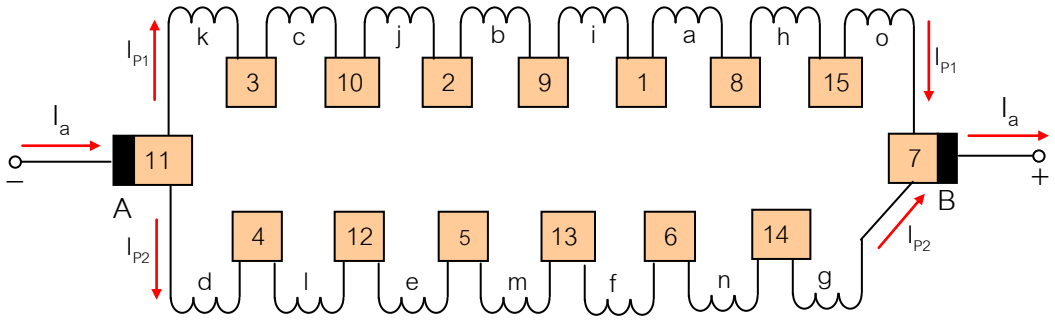
ดังนั้น

$$I_P = \frac{I_a}{4} \qquad (a = 4 = P)$$

1.5.2 **เมื่อขดลวดอาร์เมเจอร์พันแบบเวฟ** ถ้าพิจารณาการพันขดลวดแบบซิมเพล็กซ์เวฟจำนวนทางขนานจะเท่ากับสอง ถ้าพิจารณาดังรูปที่ 1.12 (ก) เห็นว่าแปรงถ่าน A สัมผัสที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 7 โดยแปรงถ่าน B สัมผัสที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 11 และนำมาเขียนใหม่ได้ดังรูปที่ 1.12 (ข)



(ก) ผังวงกลมของการลงขดลวดพันแบบเวฟ



(ข) ผังขดลวดจำนวนทางขนาน 4 ทางขนาน

รูปที่ 1.12 ผังขดลวดและจำนวนทางขนาน 2 ทางขนาน

(สุธน แก่นต้น, 2556: 67-68)

จากรูปที่ 1.12 (ข) ที่ขั้วลบกระแส I_a แยกไหลไปที่แปรงถ่าน A ที่สัมผัสกับซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 11 มีกระแสไฟฟ้าแยกไหล 2 สาขาคือ I_{P1} กับ I_{P2} โดย I_{P1} ไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ k, c, j, b, i, a, h และ o มาที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 7 ที่แปรงถ่าน B สัมผัสอยู่ ส่วน I_{P2} ไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ d, l, e, m, f, n และ g มาที่ซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ 7 ที่แปรงถ่าน B สัมผัสอยู่ โดยแปรงถ่าน A เป็นผลรวมของ I_{P1} กับ I_{P2} และที่แปรงถ่าน B เป็นผลรวมของ I_{P1} กับ I_{P2} เช่นกัน ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์จึงเป็นผลรวมของกระแสที่แปรงถ่าน A ($I_A = I_{P1} + I_{P2}$) หรือที่แปรงถ่าน B ($I_B = I_{P1} + I_{P2}$) ถ้ากำหนดให้ I_P เป็นกระแสไฟฟ้าในแต่ละทางขนานดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

$$I_a = I_{p1} + I_{P2} = 2I_p$$

ดังนั้น $$I_P = \frac{I_a}{2} \qquad (a = 2)$$

กำหนดให้ a เท่ากับจำนวนทางขนาน และ m เท่ากับจำนวนเพล็กซ์ของการพันขดลวด ดังนั้นจำนวนทางขนานจึงขึ้นอยู่กับจำนวนเพล็กซ์ของการพันขดลวดด้วย จึงทำให้จำนวนทางขนานแตกต่างกันออกไป ดังนี้

พันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบเวฟ จะได้

$$a = 2m$$

พันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแลป จะได้

$$a = mP$$

โดย m = 1 เมื่อพันขดลวดแบบซิมเพล็กซ์เวฟหรือซิมเพล็กซ์แลป

m = 2 เมื่อพันขดลวดแบบดูเพล็กซ์เวฟหรือดูเพล็กซ์แลป

m = 3 เมื่อพันขดลวดแบบทริพเพล็กซ์เวฟหรือทริพเพล็กซ์แลป

ตัวอย่างที่ 1.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 6 ขั้วแม่เหล็ก มีกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ 120 A จงคำนวณหากระแสไฟฟ้าในแต่ละทางขนานเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพันแบบต่าง ๆ ดังนี้

ก. แบบดูเพล็กซ์แลป

ข. แบบทริปเพล็กซ์เวฟ

วิธีทำ จากโจทย์ที่กำหนดให้ $P = 6$ และ $I_a = 120\,A$

ก. แบบดูเพล็กซ์แลป นั่นคือ $m = 2$

จากสูตร $a = mP$

แทนค่า $a = 2 \times 6 = 12$

และ $$I_P = \frac{I_a}{a} = \frac{120}{12} = 10\ A$$

กระแสไฟฟ้าในแต่ละทางขนานเมื่อพันแบบดูเพล็กซ์แลป 10 A **ตอบ**

ข. แบบทริปเพล็กซ์เวฟ นั่นคือ $m = 3$

จากสูตร $a = 2m$

แทนค่า $a = 2 \times 3 = 6$

และ $$I_P = \frac{I_a}{a} = \frac{120}{6} = 20\ A$$

กระแสไฟฟ้าในแต่ละทางขนานเมื่อพันแบบทริปเพล็กซ์เวฟ 20 A **ตอบ**