บทที่ 2 เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

(DIRECT CURRENT MACHINES)

จุดประสงค์การสอน

2. เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

- 21 เข้าใจโครงสร้าง
  - 211 บอกส่วนที่อยู่กับที่
  - 212 บอกส่วนที่เคลื่อนที่
  - 213 อธิบายการพันขดลวดอาร์เมเจอร์
- 22 เข้าใจหลักการทำงานพื้นฐาน
  - 221 อธิบายการแปรสภาพพลังงานกล – ไฟฟ้า
  - 222 อธิบายกฎต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกลไฟฟ้า
- 23 แก้ปัญหาอาร์เมเจอร์รีแอคชั่นและคอมมิวเตชั่น
  - 231 อธิบายการเกิดอาร์เมเจอร์รีแอคชั่น
  - 232 อธิบายการเกิดคอมมิวเตชั่น
  - 233 คำนวณการแก้อาร์เมเจอร์รีแอคชั่นและคอมมิวเตชั่น

3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

- 31 เข้าใจการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
  - 311 อธิบายหลักการเกิดและการหาทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
  - 312 อธิบายการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้คอมมิวเตเตอร์
  - 313 อธิบายขั้นตอนการหาสมการการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า
- 32 เข้าใจชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
  - 321 อธิบายสนามแม่เหล็กแบบแยกกระตุ้น
  - 322 อธิบายสนามแม่เหล็กแบบกระตุ้นตัวเอง
- 33 เข้าใจคุณสมบัติและการควบคุมแรงดันของเครื่องกำเนิด
  - 331 อธิบายคุณสมบัติของเครื่องกำเนิดในสภาวะไม่มีโหลด
  - 332 อธิบายคุณสมบัติของเครื่องกำเนิดในสภาวะมีโหลด
  - 333 อธิบายการควบคุมแรงดันที่ขั้ว

34 คำนวณกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพ

341 คำนวณหาค่าแรงเคลื่อน กระแส ความเร็วและกำลังไฟฟ้า

342 คำนวณหาค่ากำลังสูญเสียและประสิทธิภาพ

35 แก้ปัญหาการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

351 คำนวณหาค่าการขนานเครื่องกำเนิดแบบขนาน

352 อธิบายการขนานเครื่องกำเนิดแบบอนุกรม

353 อธิบายการขนานเครื่องกำเนิดแบบผสม

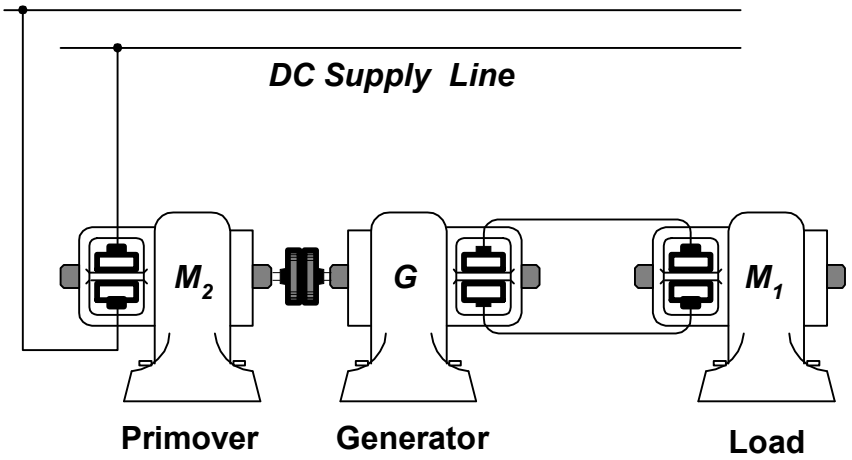
บทที่ 2 เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

(DIRECT CURRENT MACHINES)

2.1 ความหมายของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง (Meaning of DC Machines)

โดยทั่วไป เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง หมายถึง

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง *(DC Generator)*
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง *(DC Motor)*



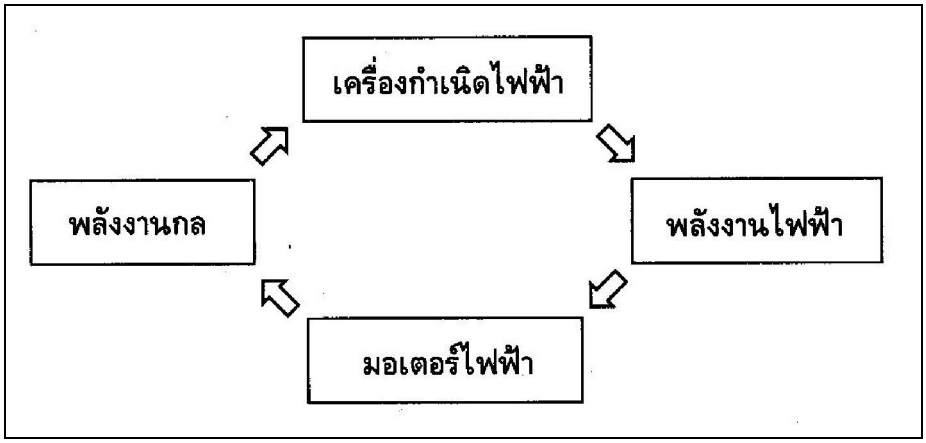
รูปที่ 2-1 เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

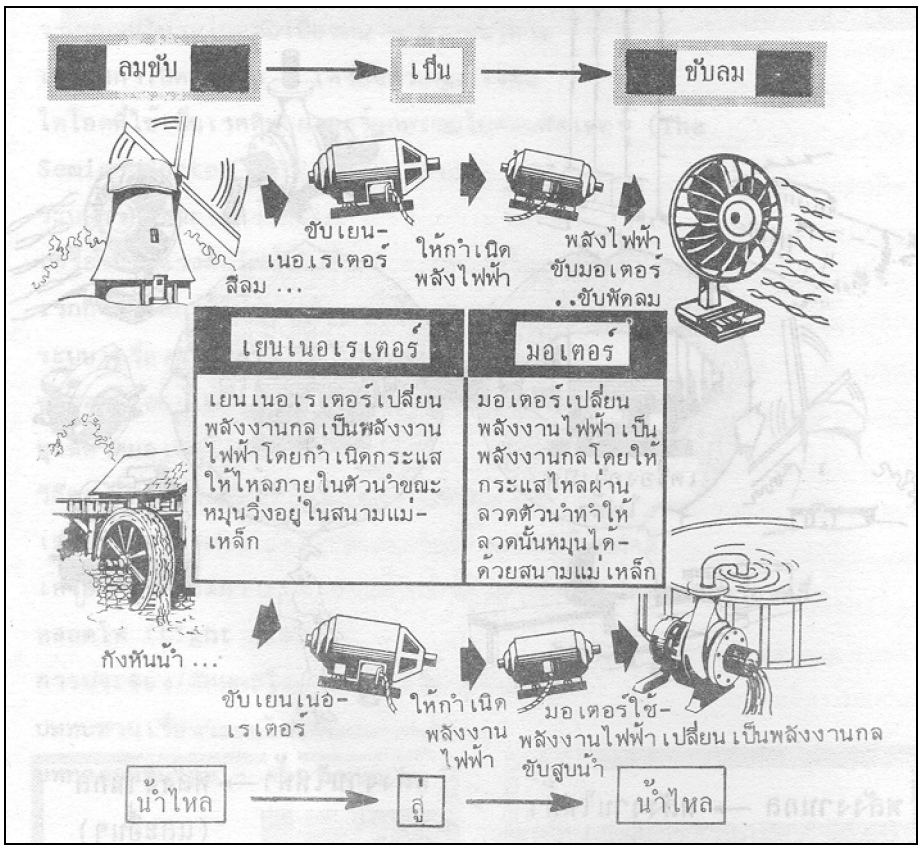
จากรูปที่ *2-1* เมื่อมอเตอร์ M_2 ได้รับแรงดันไฟฟ้าจากสายจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง *(DC Supply Line)* มอเตอร์ M_2 จะหมุนขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า G ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าจ่ายไปยังโหลดมอเตอร์ M_1 ได้

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล

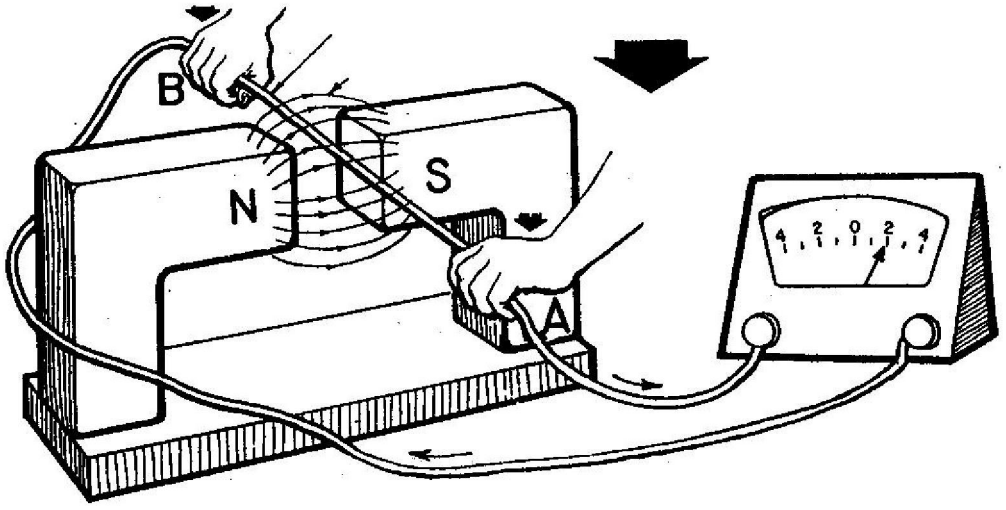


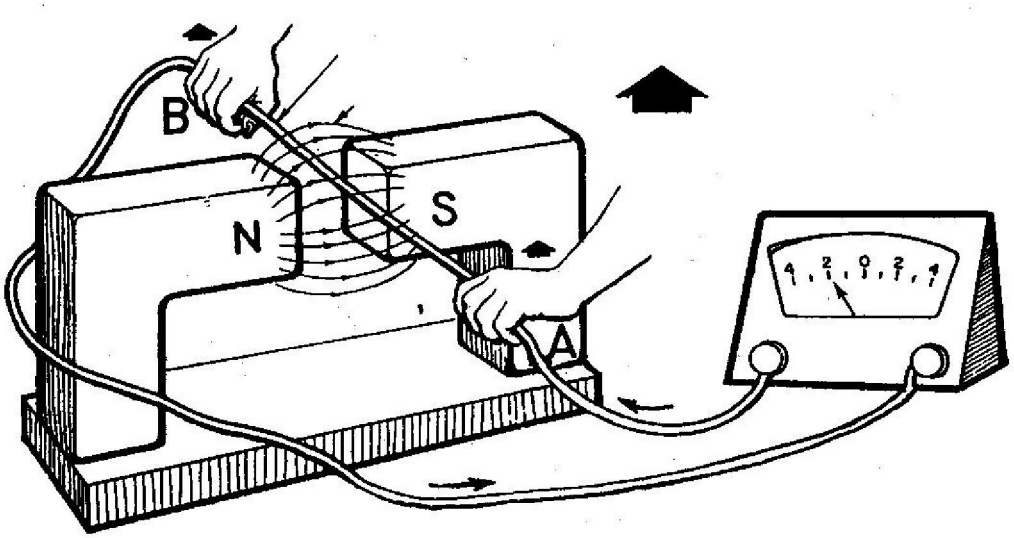


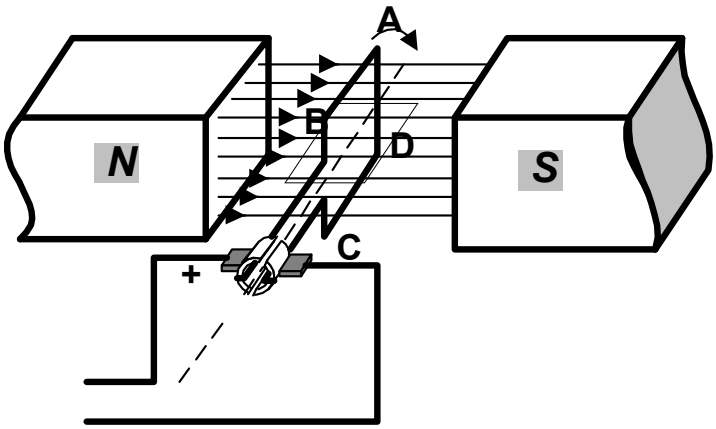
2.2 แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดในขดลวดตัวนำ (Voltage Induced by a Coil)

การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จะกล่าวถึงในที่นี้ ไม่ได้ใช้เฉพาะกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น แต่ยังสามารถนำไปใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับได้อีกด้วย

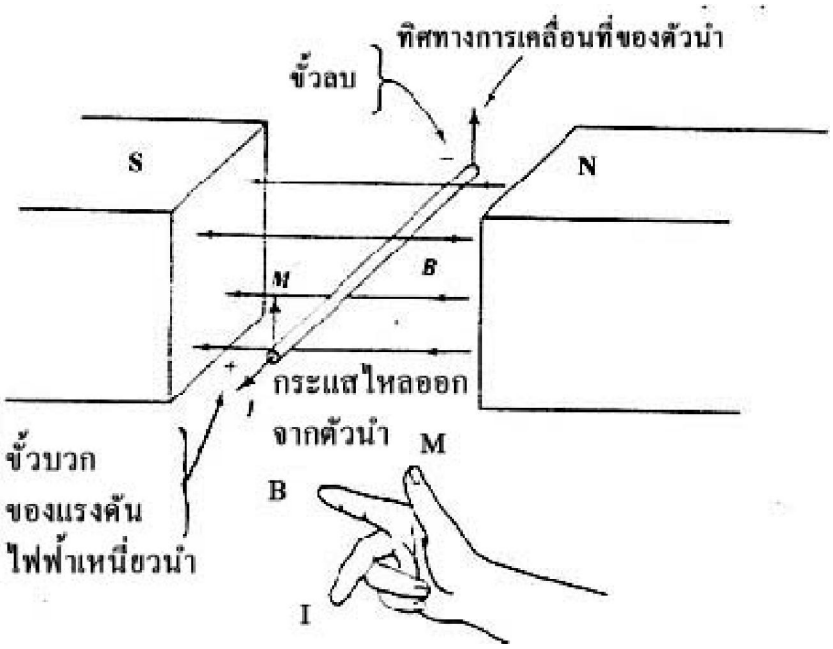
เมื่อใดก็ตามที่มีการเคลื่อนที่สัมพันธ์ (Relative Motion) ระหว่างตัวนำและสนามแม่เหล็ก ในทิศทางที่ซึ่งตัวนำตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก หรือ ตัดกับสนามแม่เหล็ก แรงเคลื่อนไฟฟ้าก็จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นในตัวนำ ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น ค่าหรือขนาด ของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น จะขึ้นอยู่กับความเข้มของสนามแม่เหล็กโดยตรง และอัตราที่ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กตัด โดยที่สนามแม่เหล็กที่มีความเข้มมากกว่าหรือจำนวนของเส้นแรงแม่เหล็กที่ตัดในเวลาที่กำหนดให้มีค่ามากกว่าก็จะทำให้ได้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่า ทิศทางหรือขั้วของแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นสามารถหาได้โดยการใช้ **“กฎมือขวาหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า” (กฎมือขวาของเฟลมมิ่ง)** โดยความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับกฎนี้ ให้กางมือขวาออกโดยให้นิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลางต่างตั้งฉากซึ่งกันและกัน ดังนั้นถ้าให้นิ้วชี้ชี้ในทิศทางของสนามแม่เหล็ก (B) นิ้วหัวแม่มือชี้ในทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำ (M) นิ้วกลางก็จะชี้ในทิศทางที่ซึ่งกระแสไหล (I)

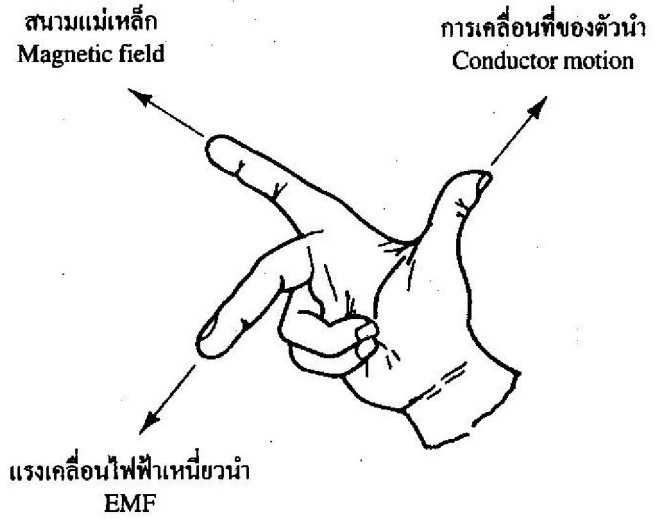






(ก)



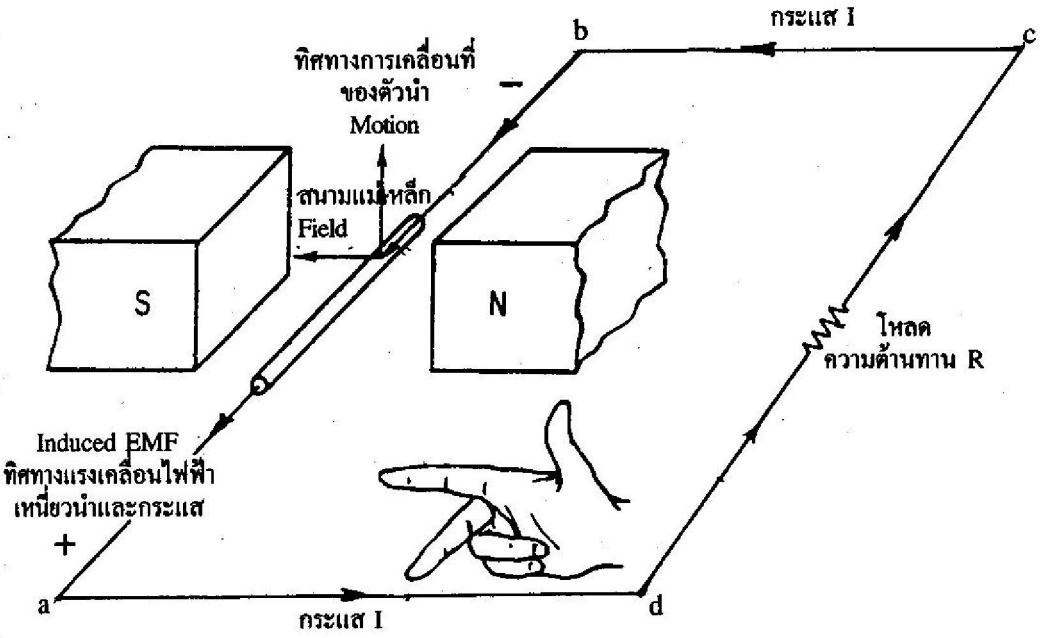


(ข)

รูปที่ 2-2 ก) ตัวนำหมุนตัดกับสนามแม่เหล็ก

ข) กฎมือขวาของเฟลมมิ่ง

เมื่อนำกฎมือขวามาใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเบื้องต้นที่มีขดลวดเพียงรอบเดียวตามที่แสดงให้เห็นในรูปที่ *2-2 (ก)* ก็จะพิจารณาเห็นได้ว่าจะมีแรงเคลื่อนสองปริมาณที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นในวงขดลวดในขณะที่มันหมุน แรงเคลื่อนเหล่านี้จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นบนด้านทั้งสอง ของวงขดลวดและมีขนาดเท่ากัน ทิศทางของมันจะอยู่ในลักษณะอนุกรมกันเมื่อนำไปเทียบกับปลายทั้งสองของวงขดลวดที่เปิด เพราะฉะนั้นในผลที่เกิดขึ้น ค่าหรือขนาดของแรงเคลื่อนที่คร่อมอยู่ระหว่างปลายทั้งสองของวงขดลวดจะมีค่าหรือขนาดเป็นสองเท่าของแรงเคลื่อนที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นในแต่ละด้านของวงขดลวด

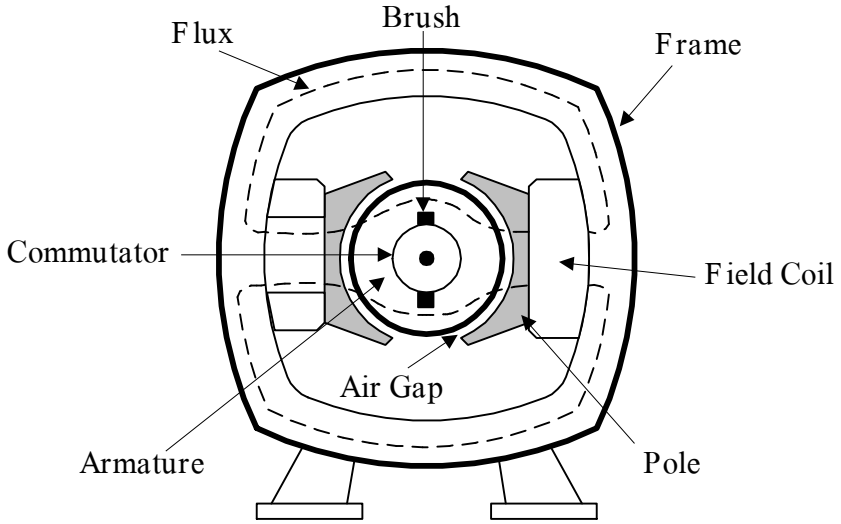


ข้อสังเกต การเหนี่ยวนำในตัวนำเกิดขึ้นได้ด้วย 2 วิธี นั่นคือ

1. ให้ตัวนำเคลื่อนที่ตัดกับฟลักซ์แม่เหล็ก ลักษณะนี้เปรียบได้กับปฏิกิริยาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า *(Generator Action)* คือ เมื่อมีมอเตอร์มาหมุนอาร์เมเจอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตัวนำที่บรรจุอยู่ในอาร์เมเจอร์จะเคลื่อนที่ตัดกับฟลักซ์แม่เหล็กซึ่งเกิดจากขั้วแม่เหล็ก ทำให้จ่ายแรงดันไฟฟ้าออกมาภายนอกได้
2. การจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้ขดลวด ลักษณะนี้เปรียบได้กับปฏิกิริยาของมอเตอร์ไฟฟ้า *(Motor Action)* คือ เมื่อมอเตอร์ได้รับแรงดันไฟฟ้าจากภายนอก จะทำให้เกิดแรง ***F*** และแรงบิด ***T*** ซึ่ง ทำให้มอเตอร์หมุนและจ่ายพลังงานกลออกสู่ภายนอกได้

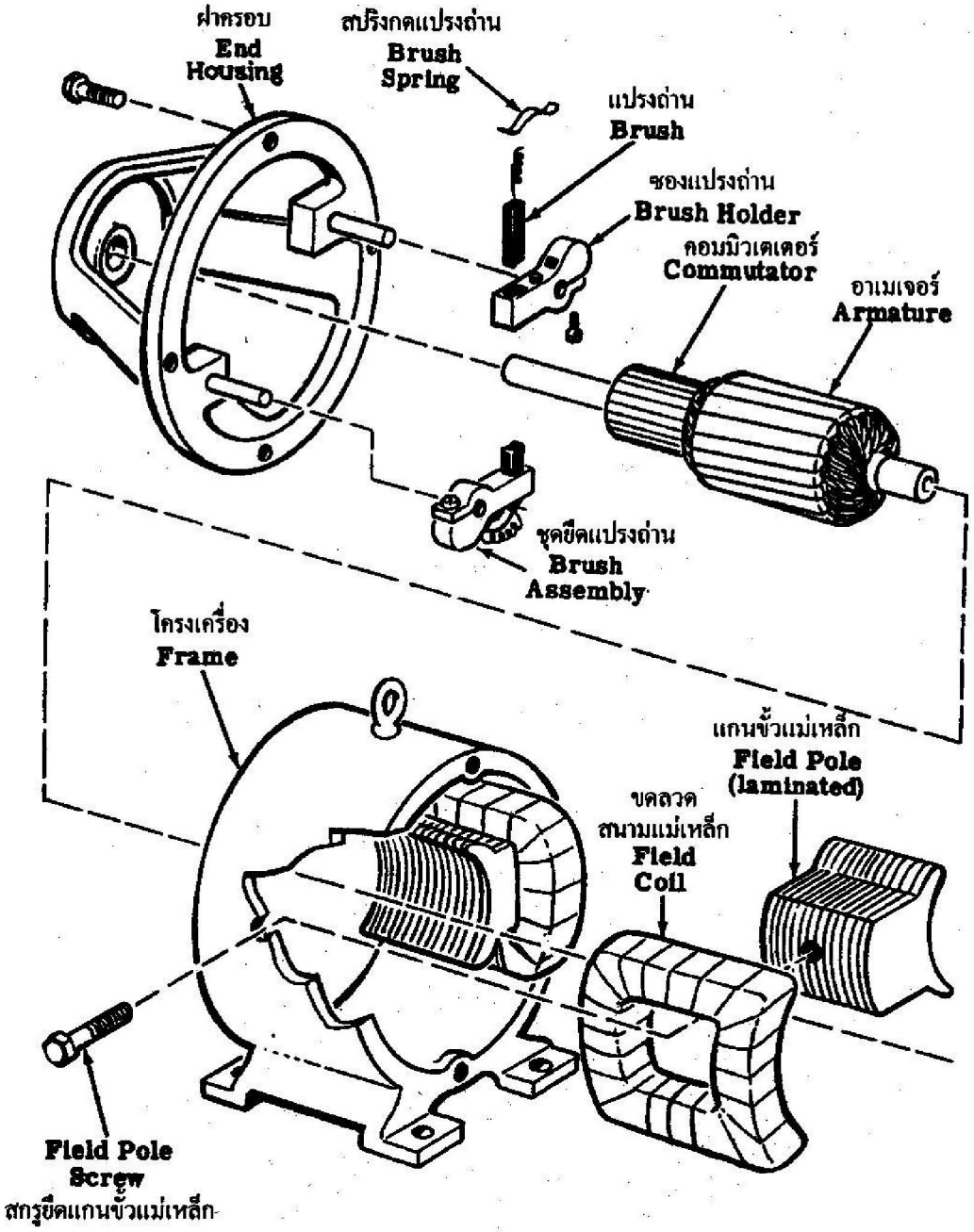
2.3 โครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง (DC Machine Construction)

ส่วนประกอบที่สำคัญ ปกติเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงเพียงเครื่องเดียวอาจเป็นได้ทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและมอเตอร์ไฟฟ้า



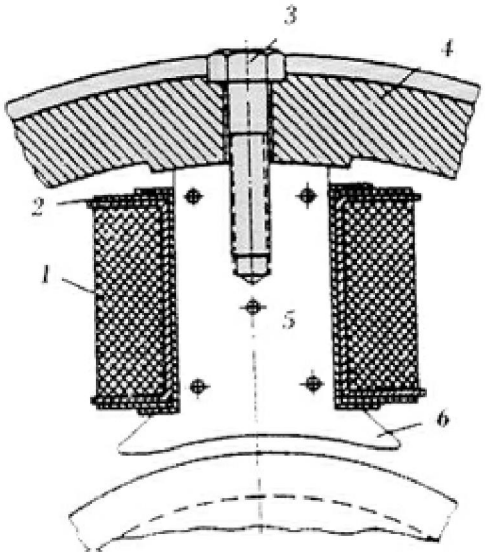
รูปที่ 2-3โครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

รูปที่ 2-3 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงทั้งหมด สำหรับรายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆ จะกล่าวถึงในลำดับต่อไปนี้


ฝาครอบ
End Housing
สปริงกดแปรงถ่าน
Brush Spring
แปรงถ่าน
Brush
ซองแปรงถ่าน
Brush Holder
คอมมิวเตเตอร์
Commutator
อาเมเจอร์
Armature
ชุดยึดแปรงถ่าน
Brush Assembly
โครงเครื่อง
Frame
แกนขั้วแม่เหล็ก
Field Pole (laminated)
ขดลวดสนามแม่เหล็ก
Field Coil
Field Pole Screw
สกรูยึดแกนขั้วแม่เหล็ก

2.3.1 ขั้วสนามแม่เหล็ก (Field Poles)

ขั้วสนามแม่เหล็กเป็นส่วนที่สร้างฟลักซ์แม่เหล็ก เมื่อตัวนำในอาร์เมเจอร์หมุนตัดสนามแม่เหล็กนี้ จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้าขึ้น ส่วนประกอบและโครงสร้างของขั้วสนามแม่เหล็กแสดงดังรูปที่ *2-4*



รูปที่ 2-4 ขั้วสนามแม่เหล็ก

1) ขดลวดสนามแม่เหล็ก

2) ฉนวนรองรับขดลวดสนามแม่เหล็ก

3) สกรูยึด

4) เปลือกหรือโครงเหล็ก

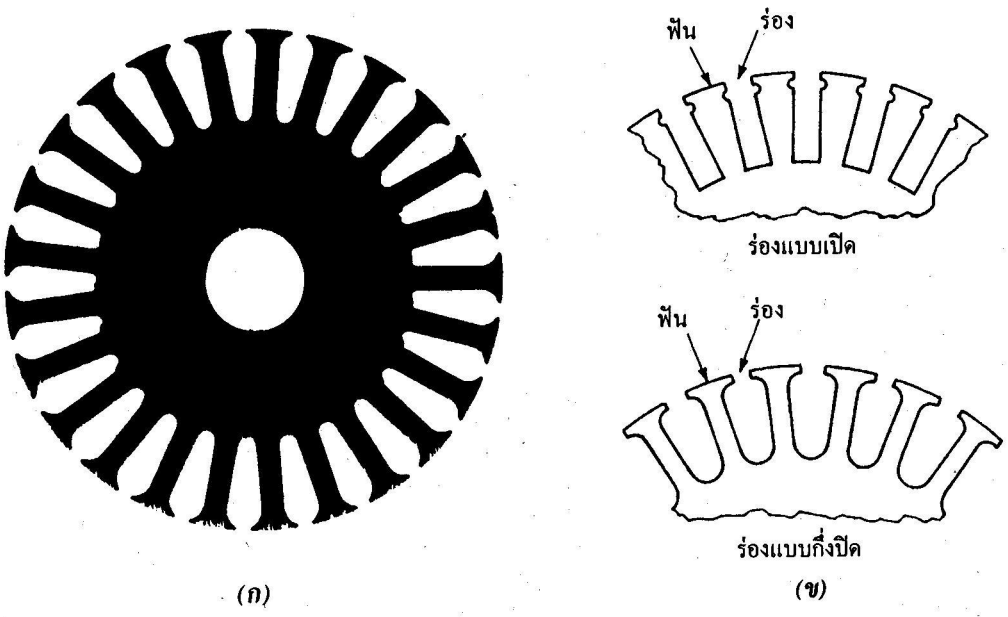
5) แกนขั้วแม่เหล็ก

6) ปลายขั้วแม่เหล็ก

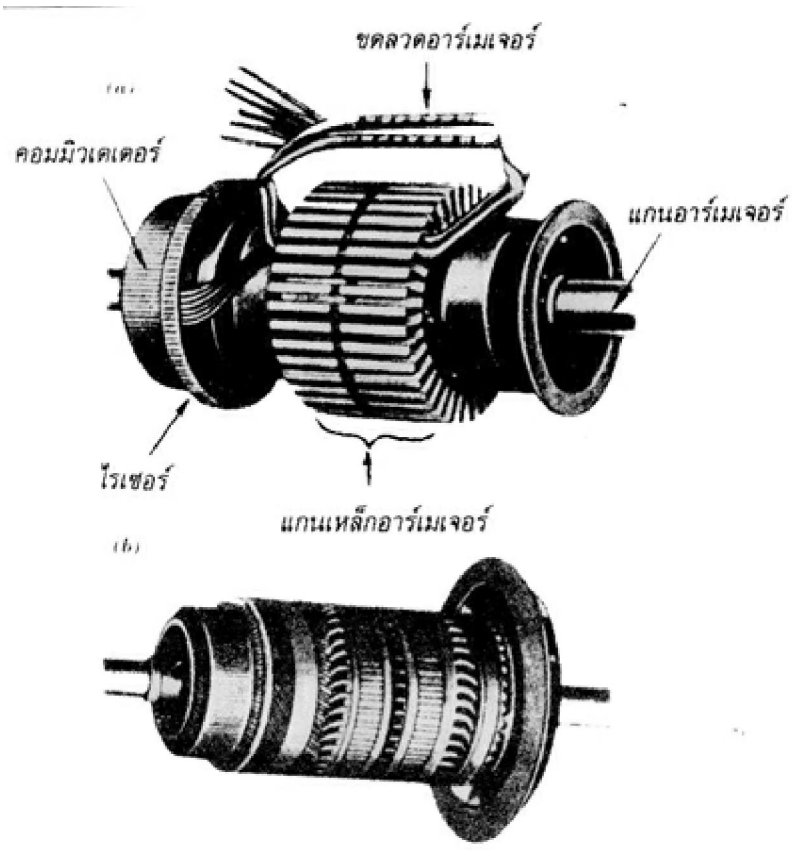
แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature Core)

แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ทำจากแผ่นเหล็กบางๆ แต่ละแผ่นอาบด้วยน้ำยาวานิชหรือกั้นด้วยกระดาษแล้วนำไปอัดเป็นรูปแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ ดังรูปที่ *12-5* สาเหตุที่นำเอาแผ่นลามิเนทมาทำเป็นแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ ก็เพื่อลดความสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวน *(Eddy Current Loss)* ที่เกิดขึ้นในตัวแกนเหล็กอาร์เมเจอร์เอง

แกนเหล็กอาร์เมเจอร์จะมีร่องสล๊อตมากมายสำหรับฝังขดลวดตัวนำลงในร่องสล๊อตนั้น



รูปที่ 2-5 แกนเหล็กอาร์เมเจอร์

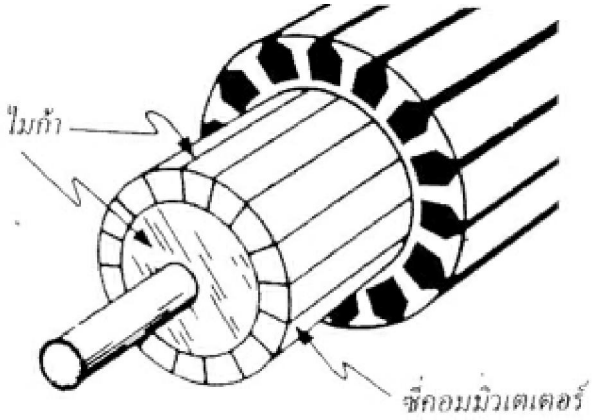


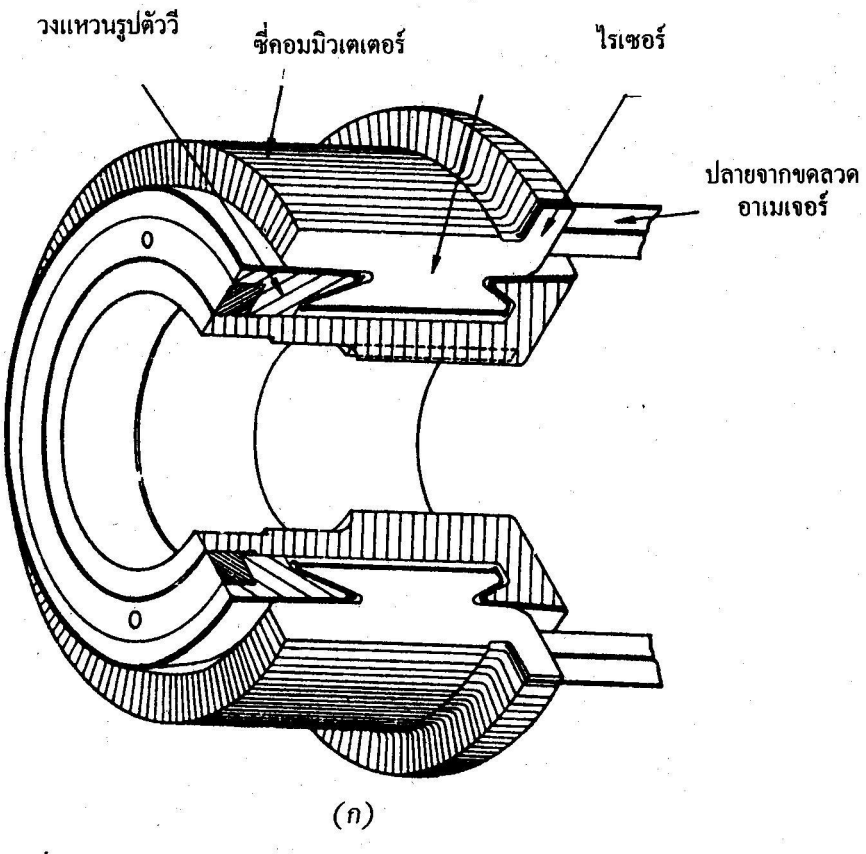
รูป *2-6 a)* รูปขณะพันขดลวดลงร่องสล๊อตของอาร์เมเจอร์

b) แสดงให้เห็นแกนเหล็กอาร์เมเจอร์เมื่อพันขดลวดและประกอบเสร็จแล้ว

2.3.3 คอมมิวเตเตอร์ (Commutater)

คอมมิวเตเตอร์ประกอบด้วยซี่ทองแดงจำนวนหลายๆ ซี่ และมีลักษณะรูปร่างตามที่แสดงให้เห็นดังในรูปที่ 2-7 ซี่ย่อยๆ แต่ละซี่จะถูกประกอบเข้าด้วยกันให้อยู่ในรูปของทรงกระ-บอก ระหว่างซี่คอมมิวเตเตอร์แต่ละซี่จะมีแผ่นไมก้าบาง ๆ คั่นอยู่เพื่อไม่ให้ต่อถึงกันทางไฟฟ้า





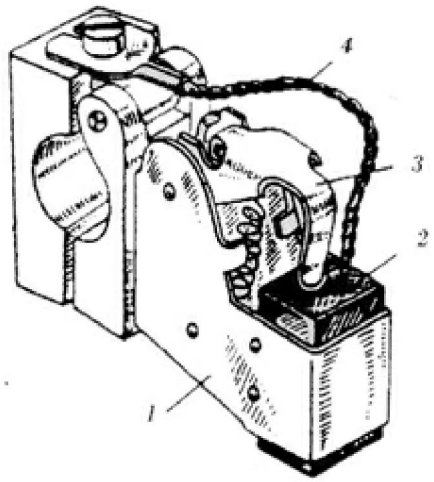
รูปที่ 2-7 คอมมิวเตเตอร์

คอมมิวเตเตอร์มีหน้าที่ 2 อย่างคือ

- ทำหน้าที่รับและเรียงแรงดันไฟฟ้าจากขดลวดอาร์เมเจอร์ เพื่อส่งไปยังแปรงถ่านขณะที่เครื่องกลไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- ทำหน้าที่รับแรงดันไฟฟ้าจากแปรงถ่านเพื่อส่งไปยังขดลวดอาร์เมเจอร์ ขณะที่เครื่องกลไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า

2.3.4 แปรงถ่านและที่ยึดแปรงถ่าน (Brush and Brush Holder)

แท่งแปรงถ่านอาจทำมาจากส่วนผสมของคาร์บอนกับกราไฟท์ หรือ คาร์บอนกับทองแดง ชุดของแปรงถ่านประกอบด้วย



รูปที่ 2-8 ชุดของแปรงถ่าน

1. กล่องใส่แปรงถ่าน *(Brush-Holder Box)*
2. แท่งแปรงถ่าน *(Brush)*
3. สปริงอัดแรง *(Pressure Spring)*
4. หางเปียแปรงถ่าน *(Brush Pigtail)*

เมื่อเครื่องกลไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แปรงถ่านจะทำหน้าที่รวบรวมกระแสไฟฟ้าจากซี่คอมมิวเตเตอร์ส่งไปสู่วงจรภายนอก และเมื่อเครื่องกลไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นมอเตอร์ แปรงถ่านจะทำหน้าที่รับกระแสไฟฟ้าจากภายนอกส่งไปยังคอมมิวเตเตอร์

เราจะติดตั้งแปรงถ่านไว้ระหว่างกึ่งกลางขั้วแม่เหล็กเหนือหรือใต้ เพราะที่จุดกึ่งกลางนี้จะมีความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดจากขั้วแม่เหล็กน้อยมาก บริเวณนี้เรียกว่า แนวเส้นสะเทินสนามแม่เหล็ก *(Magnetic Neutral Line ; MNL)*

2.4 การพันขดลวดอาร์เมเจอร์ **(Armature Winding)**

การพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

- การพันแบบแลป *(Lap Winding)*
- การพันแบบเวฟ *(Wave Winding)*

การพันแบบแลปและแบบเวฟอาจมีลักษณะเป็น *1* ชั้น *(Simplex)* หรือ *2* ชั้น *(Duplex)*หรือ *3* ชั้น *(Triplex)* ก็ได้ การพันแบบแลปและแบบเวฟต่างกันที่วิธีการนำเอาปลายของขดลวดมาต่อกับซี่คอมมิวเตเตอร์

ส่วนประกอบของเครื่องกลไฟฟ้าอย่างง่ายดังรูปที่ *12- 9* ได้แก่ขั้วแม่เหล็ก *4* ขั้ว ซี่คอมมิวเตเตอร์ *8* ซี่ *(S_1-S_4)* แปรงถ่าน *4* แปรง *(B_1-B_4)* ขดลวดอาร์เมเจอร์ *8* ขด *(A,B,C,D,E,F,G* และ *H)* แต่ละขดมีจำนวน *N* รอบ

อักษร a เป็นต้นขดลวด A และ a' เป็นปลายขดลวด A

อักษร b เป็นต้นขดลวด B และ b' เป็นปลายขดลวด B

อักษร c เป็นต้นขดลวด C และ c' เป็นปลายขดลวด C

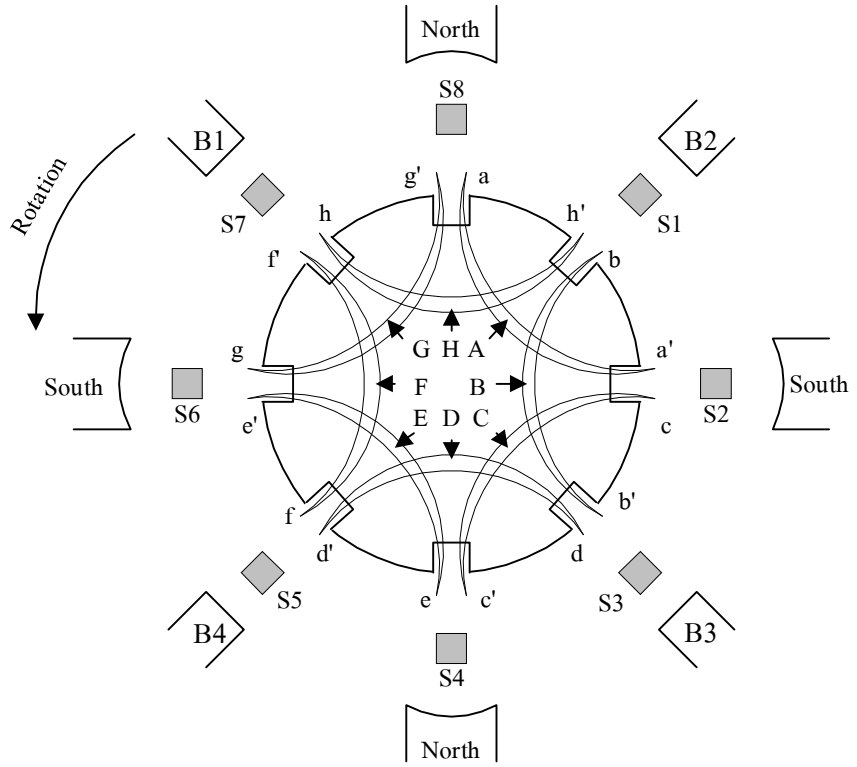
อักษร d เป็นต้นขดลวด D และ d' เป็นปลายขดลวด D

อักษร e เป็นต้นขดลวด E และ e' เป็นปลายขดลวด E

อักษร f เป็นต้นขดลวด F และ f' เป็นปลายขดลวด F

อักษร g เป็นต้นขดลวด G และ g' เป็นปลายขดลวด G

อักษร h เป็นต้นขดลวด H และ h' เป็นปลายขดลวด H

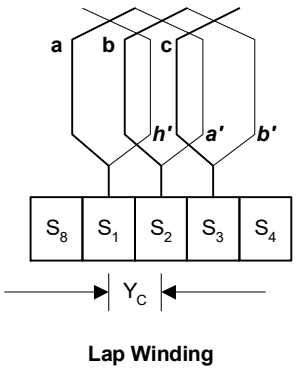


รูปที่ 2-10 ส่วนประกอบของเครื่องกลไฟฟ้าอย่างง่าย

2.4.1 การพันขดลวดแบบซิมเพล็กซ์แลป (Simplex Lap Winding)

การพันขดลวดแบบซิมเพล็กซ์แลปมีหลักการคือ นำด้านปลายขดลวดตัวแรกไปต่อกับต้นของขดลวดตัวต่อไปจนครบจำนวนตามต้องการ การพันแบบแลปแสดงดังรูปที่ *2-11*

a' เชื่อมกับ b ที่ S_2
b' เชื่อมกับ c ที่ S_3
c' เชื่อมกับ d ที่ S_4
d' เชื่อมกับ e ที่ S_5
e' เชื่อมกับ f ที่ S_6
f' เชื่อมกับ g ที่ S_7
g' เชื่อมกับ h ที่ S_8
h' เชื่อมกับ a ที่ S_1

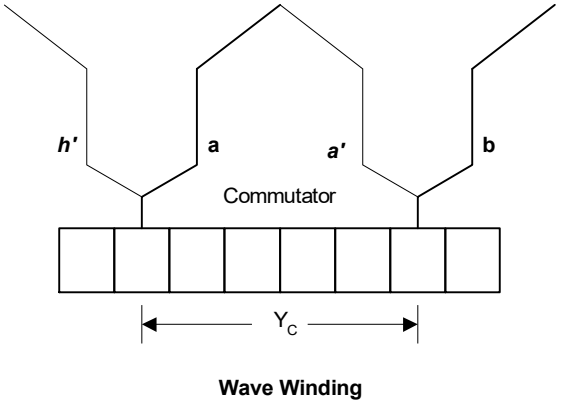


รูปที่ 2-11 การพันขดลวดแบบซิมเพล็กซ์แลป

Y_C คือ ระห่างระหว่างซี่คอมมิวเตเตอร์ระหว่างต้นขดลวดตัวหนึ่งไปยังต้นขดลวดอีกตัวหนึ่งซึ่งการพันขดลวดแบบซิมเพล็กซ์นี้ $Y_C = 1$ เสมอ

2.4.2 การพันขดลวดแบบซิมเพล็กซ์เวฟ (Simplex Wave Winding)

การพันขดลวดแบบซิมเพล็กซ์เวฟมีความแตกต่างกับการพันแบบแลปแสดงดังรูปที่ *2-12* โดยความห่างช่วงต้นและปลายขดลวดจะมีช่วงกว้างกว่าแบบแลป



รูปที่ 2-12 การพันขดลวดแบบซิมเพล็กซ์เวฟ

ตารางที่ 2-1 ความแตกต่างระหว่างการพันอาร์เมเจอร์แบบแลปและแบบเวฟ

การพันแบบแลป	การพันแบบเวฟ
1. มีกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์สูงแต่แรงดันไฟฟ้าต่ำ	1. มีกระแสไฟฟ้าต่ำแต่แรงดันไฟฟ้าสูงโดยกำลังไฟฟ้าที่ได้เท่ากับแบบแลป
2. ทางขนานในการพันแบบ	2. ทางขนานในการพันแบบ
Simplex Lap มี a = p	Simplex Wave มี a = 2
Duplex Lap มี a = 2p	Duplex Wave มี a = 4
Triplex Lap มี a = 3p	Triplex Wave มี a = 6
3. $Y_C = 1$ เสมอ	3. $Y_C > 1$ เสมอ
	4. มีแปรงถ่านเพียง 2 อันเท่านั้น

2.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC GENERATOR)

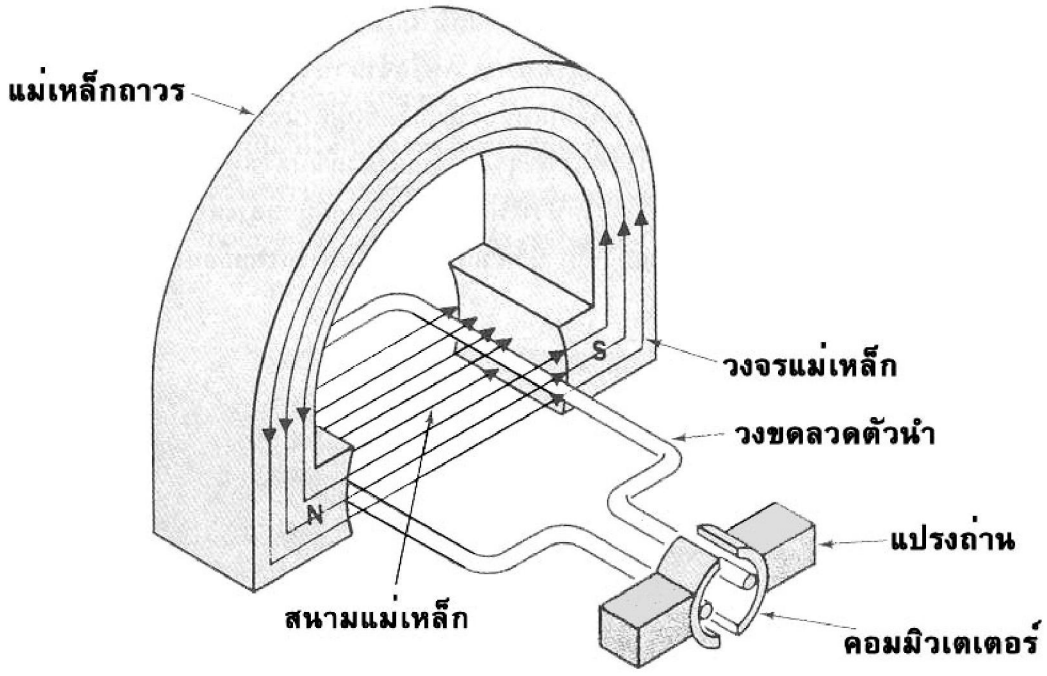
2.5.1 หลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

2.5.1.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น

พื้นฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจะผลิตไฟฟ้าออกมาโดยการหมุนของกลุ่มขดลวดตัวนำที่เคลื่อนที่ผ่านไปในสนามแม่เหล็ก ดังนั้นพลังงานที่ต้องจ่ายให้กับเครื่องกำเนิดจึงเป็นพลังงานกลที่ต้องการเพื่อที่จะนำไปใช้ในการหมุนขดลวดตัวนำ พลังงานกลนี้สามารถได้มาจากหลายทางด้วยกัน เช่น เครื่องยนต์แก๊สโซลีน เครื่องยนต์ดีเซล เครื่องกังหันไอน้ำ มอเตอร์ไฟฟ้า การไหลของน้ำ หรือแม้แต่เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ฯลฯ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น *(the basic dc generator)* ประกอบด้วยส่วนสำคัญ *4* ส่วน คือ

(1) สนามแม่เหล็ก
(2) ขดลวดตัวนำ
(3) คอมมิวเตเตอร์
(4) แปรงถ่าน



รูป *2-13* เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น

สนามแม่เหล็กสามารถที่จะหาได้จากแม่เหล็กถาวรหรือแม่เหล็กไฟฟ้าก็ได้ แต่ในที่นี้เราจะสมมุติให้สนามแม่เหล็กที่ได้มาจากแม่เหล็กถาวรก่อน ตามที่แสดงในรูป *2-13* สนามแม่เหล็กจะประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็กที่อยู่ในลักษณะครบวงจร เส้นแรงแม่เหล็กจะพุ่งออกจากขั้วเหนือของแม่เหล็กผ่านช่องว่างระหว่างขั้วของแม่เหล็กเข้าสู่ขั้วใต้แล้วเคลื่อนที่ผ่านในเนื้อแม่เหล็กกลับไปยังขั้วเหนือ

ขดลวดตัวนำรอบเดียวตั้งอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก เพราะฉะนั้นขดลวดดังกล่าวนี้จึงอยู่ในสนามแม่เหล็ก ตราบนานเท่านานที่วงขดลวดไม่ได้เคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กก็จะไม่ส่งผลใดๆ ต่อขดลวด แต่ถ้าวงขดลวดเคลื่อนที่หมุนตัดสนามแม่เหล็กมันก็จะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นภายในขดลวด

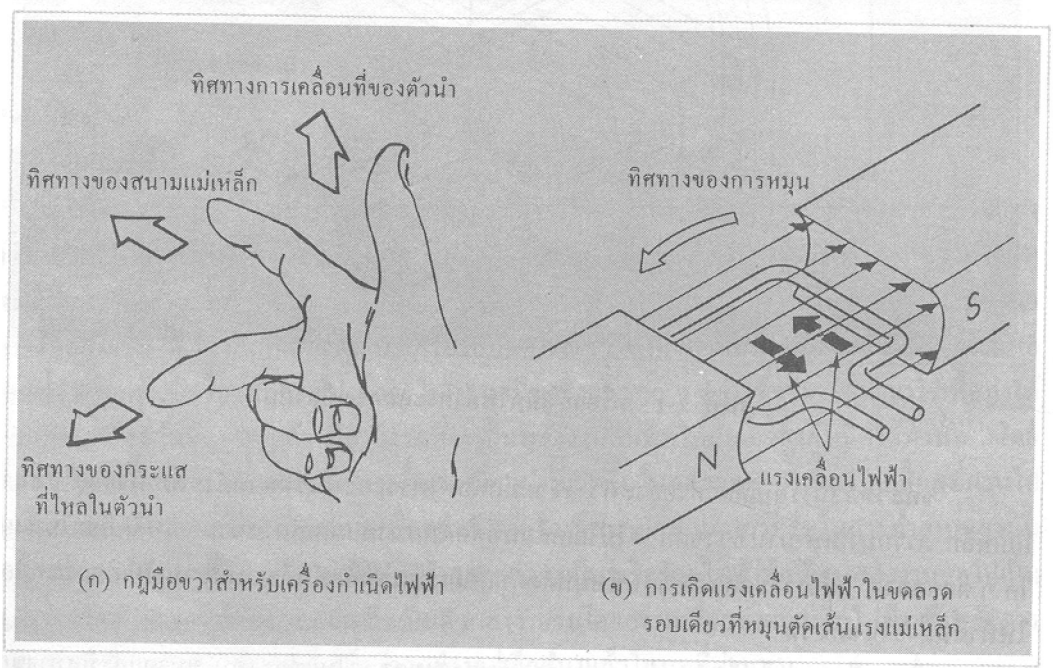
ารเคลื่อนที่ของวงขดลวดในแต่ละรอบ ขนาดและทิศทางของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นซายน์หนึ่งไซเกิลพอดี เพราะฉะนั้นในขณะที่วงขดลวดเคลื่อนที่ แรงเคลื่อนรูปซายน์หรือแรงเคลื่อนไฟสลับจะปรากฏขึ้นที่ปลายทั้งสองของขดลวด แต่เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงมันจะต้องมีเอาท์พุทเป็นไฟตรง เพราะฉะนั้นแรงเคลื่อนไฟสลับจะต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นแรงเคลื่อนไฟตรง ซึ่งส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟสลับให้เป็นแรงเคลื่อนไฟตรงก็คือ คอมมิวเตเตอร์ และแรงเคลื่อนไฟตรงจากคอมมิวเตเตอร์จะถูกส่งต่อไปยังวงจรภายนอกโดยผ่านแปรงถ่าน

2.5.1.2 การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า

การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้ไม่ได้เฉพาะเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น แต่ยังสามารถนำไปใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับได้อีกด้วย

เมื่อใดก็ตามที่มีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ *(relative motion)* ระหว่างตัวนำและสนามแม่เหล็ก ในทิศทางที่ซึ่งตัวนำตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กหรือตัดสนามแม่เหล็ก แรงเคลื่อนไฟฟ้าก็จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นในตัวนำ ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น ค่าหรือขนาด *(magnitude)* ของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น จะขึ้นอยู่กับความเข้มของสนามแม่เหล็กโดยตรง และอัตราที่ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กตัด โดยที่สนามแม่เหล็กที่มีความเข้มมากกว่าหรือจำนวนของเส้นแรงแม่เหล็กที่ตัดในเวลาที่กำหนดที่ค่ามากกว่าก็จะทำให้ได้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่า ทิศทางหรือขั้วของแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นสามารถหาได้โดยการใช้กฎมือขวาสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า *"กฎมือขวาของเฟลมมิ่ง"* โดยความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับกฎนี้ ให้กางมือขาวออกโดยให้นิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลางต่างตั้งฉากซึ่งกันโดยกำหนดความหมายดังนี้

นิ้วชี้ = ทิศทางสนามแม่เหล็ก
นิ้วหัวแม่มือ = ทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำ
นิ้วกลาง = ทิศทางของกระแสที่ไหลในตัวนำ



รูป *2-14*

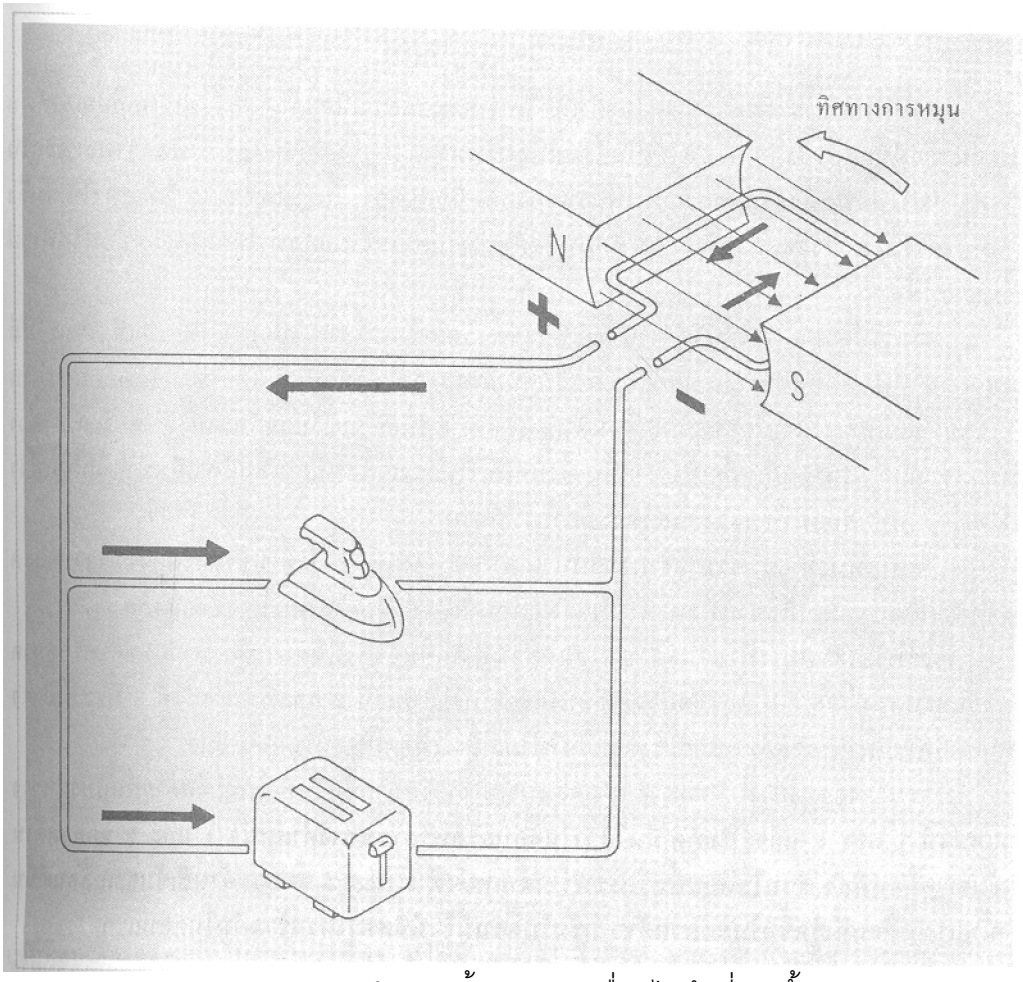
เมื่อนำกฎมือขวามาใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเบื้องต้นที่มีขดลวดเพียงรอบเดียวตามที่แสดงให้เห็นในรูปที่ *2-14* ก็จะพิจารณาเห็นได้ว่าจะมีแรงเคลื่อนสองปริมาณที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นบนด้านทั้งสองของวงขดลวดและมีขนาดเท่ากัน ทิศทางของมันจะอยู่ในลักษณะอนุกรมกันเมื่อนำไปเทียบกับปลายทั้งสองของวงขดลวดที่เปิดเพราะฉะนั้นในผลที่เกิดขึ้น ค่าหรือขนาดของแรงเคลื่อนที่คร่อมอยู่ที่ปลายระหว่างทั้งสองของวงขดลวดจะมีค่าหรือขนาดเป็นสองเท่าของแรงเคลื่อนที่ถูกเหนี่ยวนำในแต่ละด้านของวงขดลวด

ข้อสังเกต การเคลื่อนที่ที่สัมพัทธ์หมายถึงความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุสองอันไม่เท่ากันมีความแตกต่างของความเร็วระหว่างวัตถุทั้งสองอัน วัตถุอันหนึ่งอันใดจะหยุดนิ่งอยู่กับที่ในขณะที่อีกอันหนึ่งกำลังเคลื่อนที่อยู่

2.5.1.3 การกำหนดขั้วของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

จากการศึกษาเราพบว่ากระแสอิเล็คตรอนจะไหลจากขั้วลบไปยังขั้วบวก อย่างไรก็ตามในตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเองนั้นมันไม่ได้เป็นวงจรไฟฟ้าแต่มันเป็นแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นองค์ประกอบตัวหนึ่งในวงจรไฟฟ้า เพราะฉะนั้นถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกต่อให้ครบวงจร เราก็จะพบว่ากระอิเล็คตรอนที่ไหลอยู่

ภายในตัวแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าจะไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ *(*ในขณะที่กระแสไฟฟ้าจะไหลจากขั้วลบไปยังขั้วบวก*)*



รูป *2-15* การกำหนดขั้วของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องกำหนดขั้วให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะแสดงให้เห็นว่ากระแสอิเล็คตรอนที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นทำให้เกิดประจุไฟฟ้าที่ขั้วเอาท์พุทได้อย่างไร ทั้งนี้เพราะกระแสเหนี่ยวนำเป็นตัวทำให้อิเล็คตรอนไหลไปในทิศทางที่เกิดการสะสม ดังนั้นขั้วทั้งสองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจึงถูกกำหนดให้มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเพราะฉนั้นเมื่อต่อโหลดเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสอิเล็คตรอนที่ไหลผ่านโหลดจะไหลจากขั้วลบไปยังขั้วบวกในขณะที่กระแสไฟฟ้าจะไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ ทั้งนี้เพราะเราได้กำหนดให้กระแสไฟฟ้ามีทิศทางการไหลที่ตรงกันข้ามกับอิเล็คตรอนนั่นเอง

สรุปได้ว่า ขั้วเอาท์พุทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ถูกตั้งหรือกำหนดขึ้นนี้ก็เพื่อให้เราทราบว่า เมื่อมีโหลดต่อเข้ากับขั้วทั้งสองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้ว กระแสอิเล็คตรอนที่ไหลผ่านโหลดจะไหลจากขั้วลบไปยังขั้วบวก หรือกระแสไฟฟ้าที่ไหลจะไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ ตามที่แสดงให้เห็นในรูปที่ *2-15*

2.5.1.4 การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ารูปคลื่นซายน์

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจะสร้างแรงเคลื่อนเอาท์พุทรูปคลื่นซายน์ขึ้นแล้วจึงถูกเปลี่ยนให้เป็นแรงเคลื่อนไฟตรงด้วยคอมมิวเตเตอร์ เพื่อความสะดวกในการพิจารณาในขณะนี้จะไม่ขอกล่าวถึงหน้าที่ของคอมมิวเตเตอร์ ในรูปที่ *2-16* ได้แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งต่างๆ ของวงขดลวดที่เคลื่อนที่หมุนตัดกับสนามแม่เหล็ก แล้วทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ารูปคลื่อนซายน์ขึ้น

จากรูปที่ *2-16* จะเห็นว่าขดลวดเคลื่อนที่หมุนไปอยู่ในตำแหน่งที่ *1* จะไม่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้นหรือแรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นศูนย์ เพราะว่าในตำแหน่งนี้ขดลวดกำลังเคลื่อนที่ขนานกับเส้นแรงแม่เหล็ก แต่เมื่อขดลวดเคลื่อนที่หมุนจากตำแหน่งที่ *1* ไปยังตำแหน่งที่ *2* จะเห็นได้ว่าขดลวดจะตัดกับสนามแม่เหล็กเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้แรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีค่าเพิ่มมากขึ้นถึงแม้ว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของวงขดลวดจะมีค่าคงที่ก็ตาม

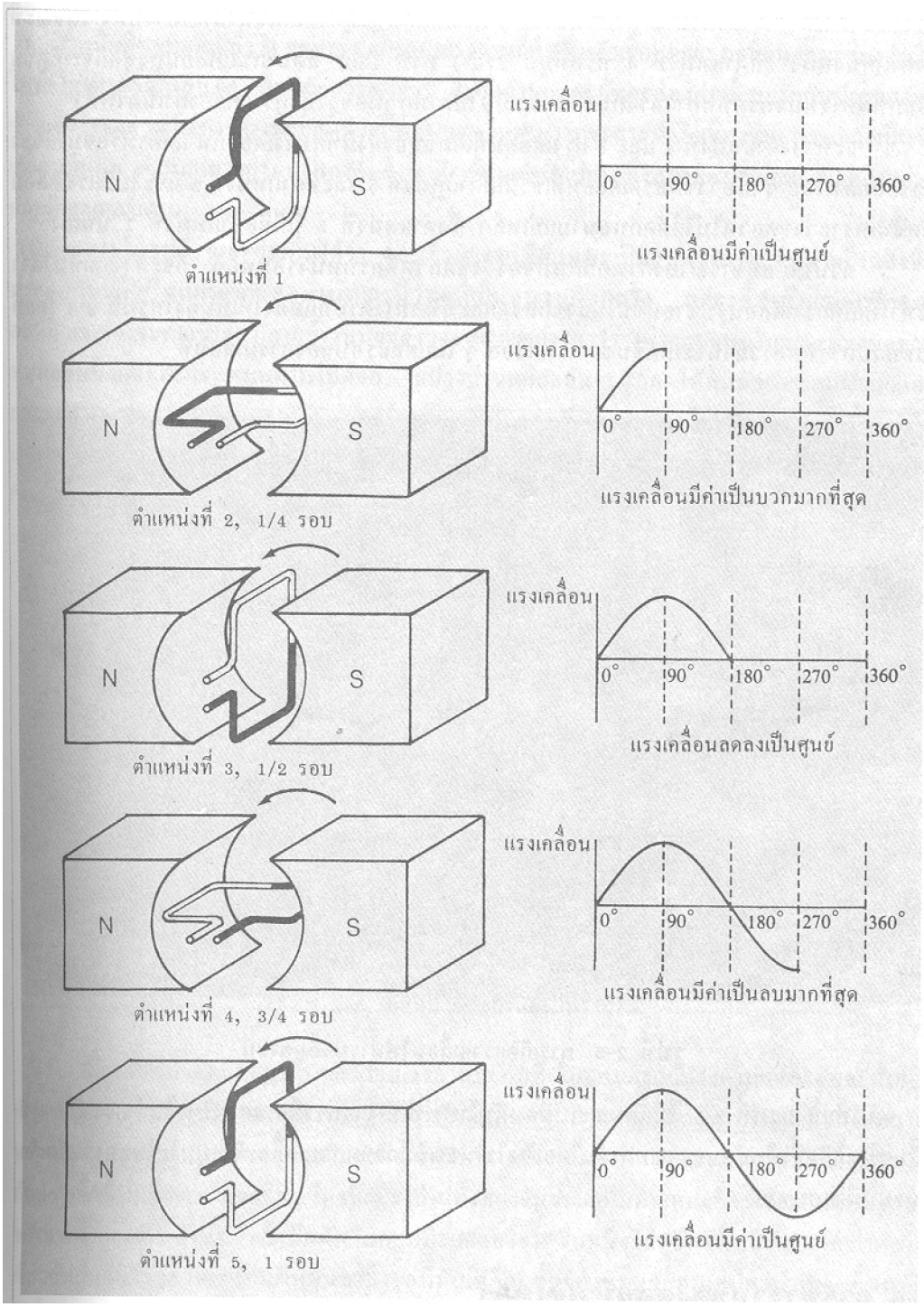
ตำแหน่งที่ *2* ซึ่งห่างจากตำแหน่งเดิม *90°* จะเห็นได้ว่าด้านข้างทั้งสองของวงขดลวดจะตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กมากที่สุด ดังนั้นแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นในตำแหน่งนี้จึงมีค่าสูงสุด

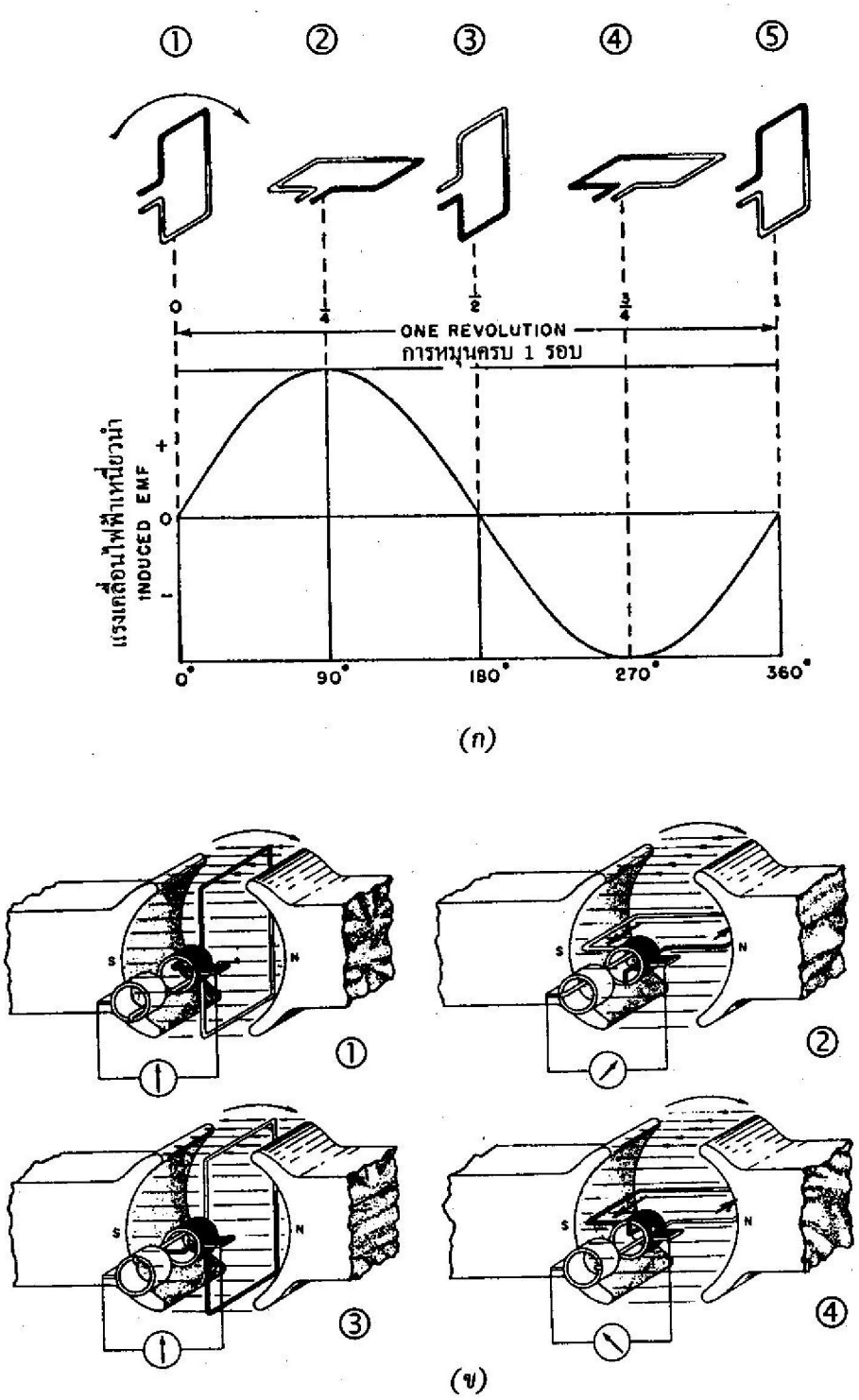
ตำแหน่งที่ *3* ระหว่างตำแหน่งที่ *2* และ *3* แรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นยังคงมีทิศทางเดียวกัน แต่ค่าหรือขนาดของมันจะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ เมื่อวงขดลวดเคลื่อนที่เข้าใกล้ตำแหน่งที่ *3* และที่ตำแหน่งที่ *3* นี้จะไม่มีแรงเคลื่อนเกิดขึ้นเพราะว่าที่ตำแหน่งนี้วงขดลวดไม่ได้เคลื่อนที่ตัดกับสนามแม่เหล็ก

ระหว่างตำแหน่งที่ *3* และ *4* แรงเคลื่อนจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นในลักษณะที่คล้ายกันกับระหว่างตำแหน่งที่ *1* และ *2* แต่จะสังเกตเห็นได้ว่าในตอนแรกหรือระหว่างตำแหน่งที่ *3* และ *4* ขดลวดด้านสีเข้มจะเคลื่อนที่ขึ้นดังนั้นแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นในขดลวดด้านสีเข้มในตอนนี้จึงมีทิศทางตรงกันข้ามกับในตอนแรก

ในตำแหน่งที่ *4* หรือที่มุม *270°* จะเห็นได้ว่าด้านข้างทั้งสองของวงขดลวดจะตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กมากที่สุดอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นในตำแหน่งนี้จึงมีค่าสูงสุดอีกครั้งหนึ่งเช่นกันแต่มีทิศทางตรงกันข้ามกับในตำแหน่งที่ *2* หรือที่มุม *90°* ซึ่งในลักษณะเช่นนี้จะพิจารณาเห็นได้ว่าจะเกิดขึ้นสองครั้งเช่นกันในระหว่างการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบของวงขดลวด กล่าวคือที่ตำแหน่งหนึ่งของวงขดลวด *(*ที่ตำแหน่งที่ *2* หือที่มุม *90°)* แรงเคลื่อนสูงสุดจะเกิดขึ้นในทิศทางหนึ่ง ในขณะที่อีกตำแหน่งหนึ่ง *(*ที่ตำแหน่ง *4* หรือที่มุม *270°)* หรือ *180°* ถัดมาแรงเคลื่อนสูงสุดก็จะเกิดขึ้นในอีกทิศทางหนึ่งหรือทิศทางตรงกันข้ามซึ่งเป็นไปตามกฎมือขวาสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

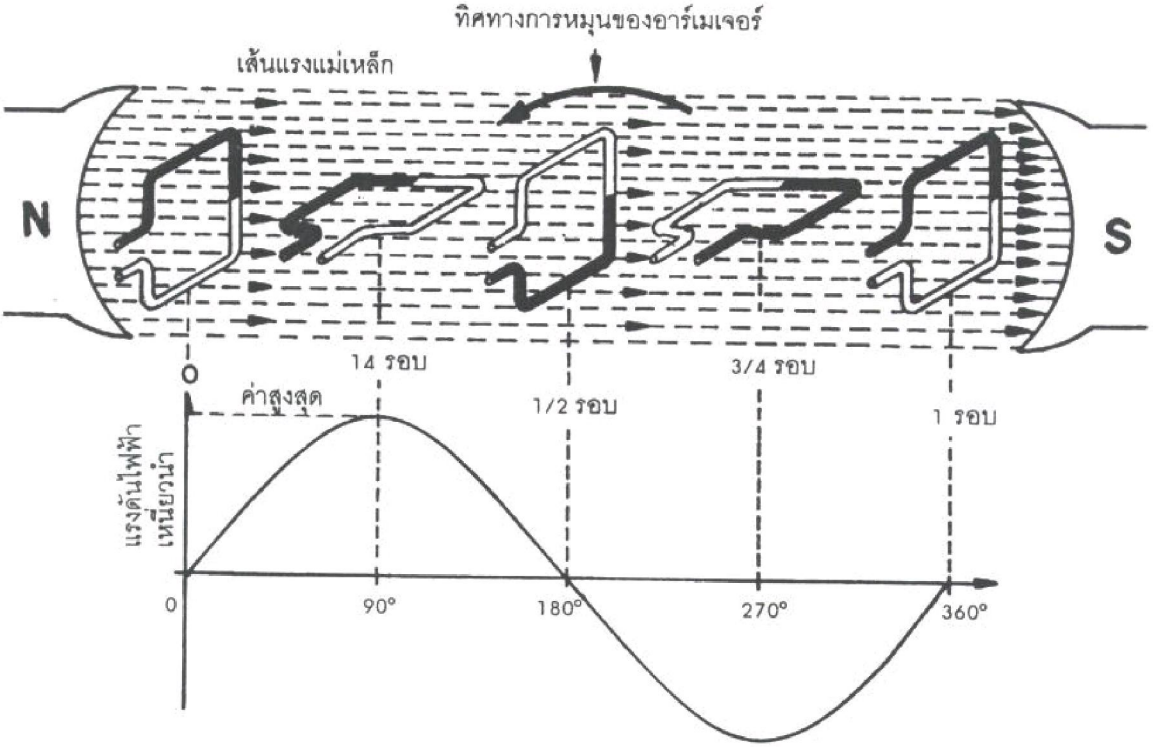
ระหว่างตำแหน่งที่ *4* และ *5* แรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นยังคงมีทิศทางเดียวกัน แต่ค่าหรือขนาดของมันจะลดลงเรื่อยๆ เมื่องวงขดลวดเคลื่อนที่เข้าใกล้ตำแหน่งที่ *5* และที่ตำแหน่งที่ *5* นี้จะไม่มีแรงเคลื่อนเกิดขึ้นเพราะว่าขดลวดไม่ได้ตัดกับสนามแม่เหล็ก ซึ่งตำแหน่งที่ *5* นี้คือตำแหน่งที่ *1* นั่นเอง


N
S
ตำแหน่งที่ 1
แรงเคลื่อน
0° 90° 180° 270° 360°
แรงเคลื่อนมีค่าเป็นศูนย์
N
S
ตำแหน่งที่ 2, 1/4 รอบ
แรงเคลื่อน
0° 90° 180° 270° 360°
แรงเคลื่อนมีค่าเป็นบวกมากที่สุด
N
S
ตำแหน่งที่ 3, 1/2 รอบ
แรงเคลื่อน
0° 90° 180° 270° 360°
แรงเคลื่อนลดลงเป็นศูนย์
N
S
ตำแหน่งที่ 4, 3/4 รอบ
แรงเคลื่อน
0° 90° 180° 270° 360°
แรงเคลื่อนมีค่าเป็นลบมากที่สุด
N
S
ตำแหน่งที่ 5, 1 รอบ
แรงเคลื่อน
0° 90° 180° 270° 360°
แรงเคลื่อนมีค่าเป็นศูนย์



รูปที่ *2-16* การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ารูปคลื่นซายน์

ดังนั้นเมื่อพิจารณาเมื่อการเคลื่อนที่ครบ *1* รอบจะได้รูปคลื่นซายน์หนึ่งรูปคลื่นพอดี ก็จะสังเกตเห็นได้ว่าจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนรูปซายน์ขึ้นในวงขดลวดและมีทิศทางตามที่แสดงให้เห็นดังในรูปที่ *2-16* โดยที่ขบวนการที่กล่าวมานี้จะเกิดขึ้นซ้ำกันไปเรื่อยๆ ในแต่ละรอบของการเคลื่อนที่



รูปที่ *2-17* การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ารูปคลื่นซายน์

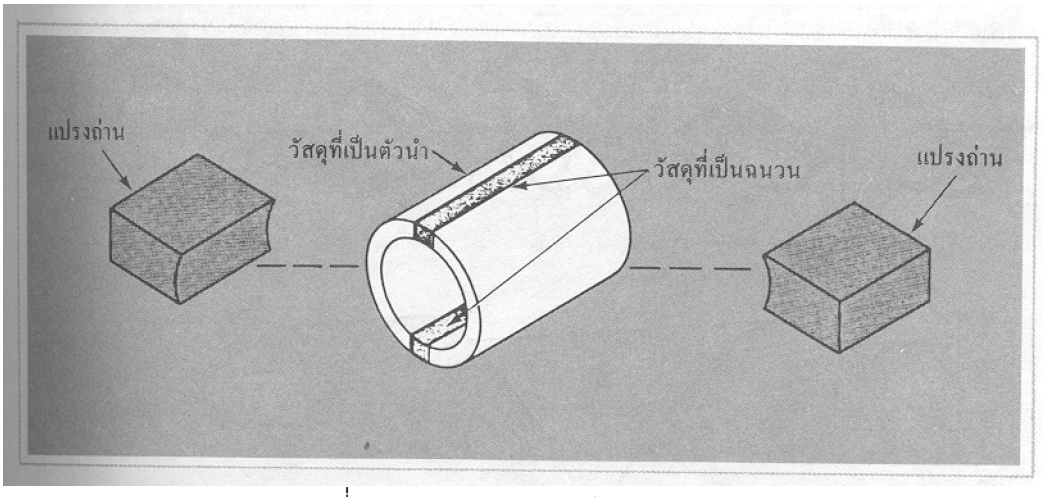
ส่วนในรูปที่ *2-16* ก็มีลักษณะเหมือนกับในรูปที่ *2-15* กล่าวคือ แสดงให้เห็นว่าแรงเคลื่อนรูปคลื่นซายน์เกิดขึ้นในลักษณะตามลำดับได้อย่างไรในขณะที่วงขดลวดเคลื่อนที่หมุนไปในสนามแม่เหล็กที่ครบหนึ่งรอบพอดี

2.5.1.5 การทำงานของคอมมิวเตเตอร์

เราได้ทราบว่า คอมมิวเตเตอร์เป็นตัวเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟสลับที่เกิดขึ้นภายในวงขดลวดให้เป็นแรงเคลื่อนไฟตรง อย่างไรก็ตามมันเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างแปรงถ่านไปยังขดลวดหมุนด้วยวิธีในที่ซึ่งมันเปลี่ยนไฟสลับไปเป็นไฟตรงจะมีความเกี่ยวพันโดยตรงกับบทบาทหน้าที่ของมัน ในขณะที่มันเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างแปรงถ่านและวงขดลวด

จุดประสงค์ของแปรงถ่านก็คือเป็นตัวเชื่อมต่อแรงเคลื่อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปยังวงจรภายนอก เพื่อที่จะกระทำสิ่งนี้ แปรงถ่านแต่ละอันจะต้องต่อเชื่อมเข้ากับปลายแต่ละข้างของวงขดลวด แต่การเชื่อมเข้าด้วยกันโดยตรงไม่สามารถจะกระทะได้เนื่องจากวงขดลวดเป็นตัวเคลื่อนที่หมุน ดังนั้นแปรงถ่านทั้งสองอันจึงถูกต่อเชื่อมเข้ากับปลายทั้งสองของวงขดลวดโดยการผ่านคอมมิวเตเตอร์แทน

ตามรูปที่ *2-17* จะเห็นได้ว่า คอมมิวเตเตอร์มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกผ่าครึ่งสองชิ้นประกบกัน มีผิวเรียบทำจากวัสดุตัวนำและมีวัสดุที่เป็นฉนวนคั่นกลาง แต่ละชิ้นหรือแต่ละซีกของคอมมิวเตเตอร์จะต่อเข้ากับปลายข้างหนึ่งของวงขดลวดอย่างถาวร เพราะฉะนั้นในขณะที่ขดลวดหมุนคอมมิวเตเตอร์ก็จะหมุนตามไปด้วย แปรงถ่านแต่ละอันจะถูกกดให้สัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์แต่ละซีก และมันจะสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลาในขณะที่วงขดลวดเคลื่อนที่หมุน ในวิธีนี้จะทำให้แปรงถ่านแต่ละอันถูกต่อเข้ากับปลายทั้งสองของวงขดลวดโดยผ่านคอมมิวเตเตอร์แต่ละซีกที่แปรงถ่านกดอยู่

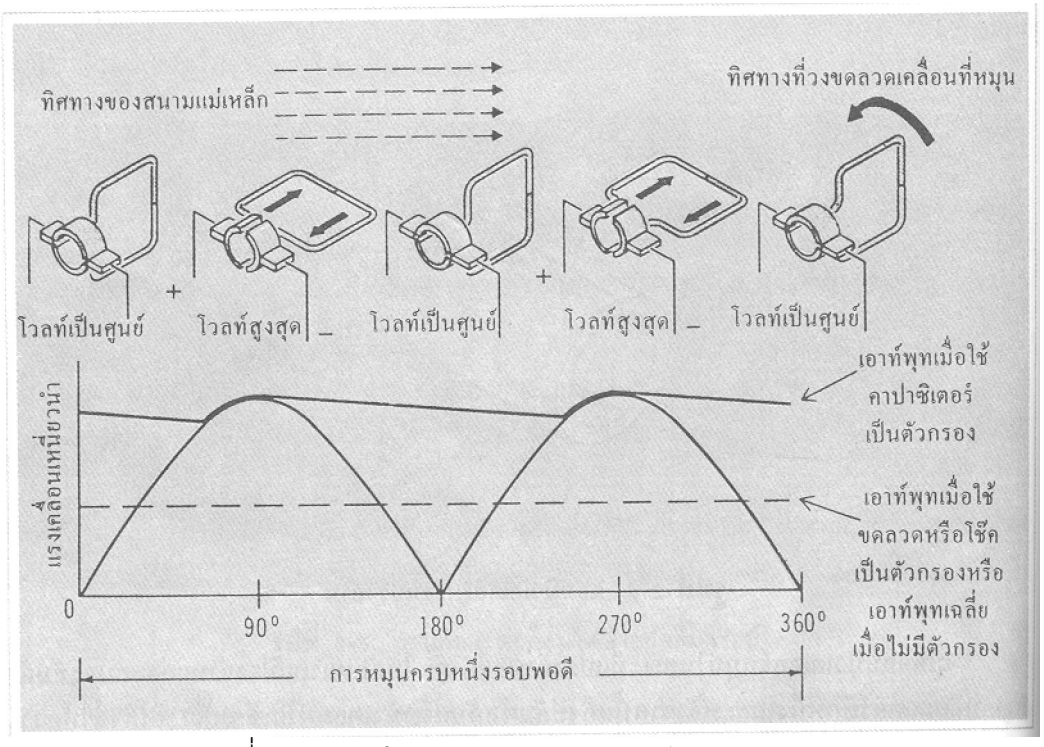


รูปที่ *2-18* คอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่าน

เมื่อคอมมิวเตเตอร์หมุนในขณะที่แปรงถ่านอยู่กับที่ ในตอนแรกแปรงถ่านแต่ละอันจะสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ซีกหนึ่ง และหลังจากนั้นก็จะสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์อีกซีกหนึ่ง ซึ่งสิ่งให้ความหมายว่า ในตอนแรกแปรงถ่านแต่ละอันจะต่อเข้ากับปลายข้างหนึ่งของวงขดลวด และต่อมาก็จะต่อเข้ากับปลายอีกข้างหนึ่งของวงขดลวด โดยที่แปรงถ่านทั้งสองอันวางอยู่ในตำแหน่งที่ตรงกันข้ามกับซีกทั้งสองของคอมมิวเตเตอร์ ดังนั้นมันจึงสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์จากซีกหนึ่งไปสู่อีกซีกหนึ่ง ณ เวลาในขณะเดียวกันกับที่วงขดลวดเคลื่อนที่หมุนมาถึงจุดที่มันเปลี่ยนขั้วของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นพอดี ดังนั้นที่ทุกๆ ขณะเวลาที่ปลายทั้งสองของวงขดลวดเปลี่ยนขั้ว แปรงถ่านทั้งสองอันจะเปลี่ยนจุดสัมผัส *(สวิทช์)* จากซีกหนึ่งของคอมมิวเตเตอร์ไปสู่อีกซีกหนึ่ง ซึ่งในวิธีนี้จะทำให้แปรงถ่านอันหนึ่งเป็นบวกเสมอเมื่อเทียบกับอีกอันหนึ่ง เพราะฉะนั้นค่าหรือขนาดของแรงเคลื่อนระหว่างทั้งสองอันจึงขึ้นลงหรือแกว่างไปแกว่างมาระหว่างค่าศูนย์และค่าสูงสุด แต่มันมีขั้วเดียวเสมอดังนั้นแรงเคลื่อนไฟตรงขึ้นลงหรือแกว่างไปแกว่งมาจึงเป็นเอาท์พุทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

การทำงานของคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านที่ทำให้ได้แรงเคลื่อนเอาท์พุทไฟตรงขึ้นลงที่เกิดขึ้นในลักษณะตามลำดับจากตำแหน่งที่ *1* ไปยังตำแหน่งที่ *5* ได้แสดงให้เห็นในรูปที่ *2-18* จุดสำคัญที่จะต้องสังเกตคือ ในขณะที่แปรงถ่านแต่ละอันผ่านจากซีกคอมมิวเตเตอร์หนึ่งไปสู่อีกซีกหนึ่ง จะมีเวลาชั่วขณะหนึ่ง

ซึ่งมันจะสัมผัสกับซีกทั้งสองของคอมมิวเตเตอร์พร้อมกัน แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจำนวนมากไหลในวงขดลวด เนื่องจากแปรงถ่านทั้งสองอันจะลัดวงจรปลายทั้งสองของวงขดลวดเข้าด้วยกันโดยตรง เพราะฉะนั้นตำแหน่งของแปรงถ่านที่มันสัมผัสกับซีกทั้งสองของคอมมิวเตเตอร์พร้อมกันจะต้องอยู่ในตำแหน่งที่เมื่อแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งเรียกว่า ระนาบเป็นกลางหรือนิวตรอนเพลน *(neutral plane)*



รูปที่ *2-19* การทำงานของคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่าน

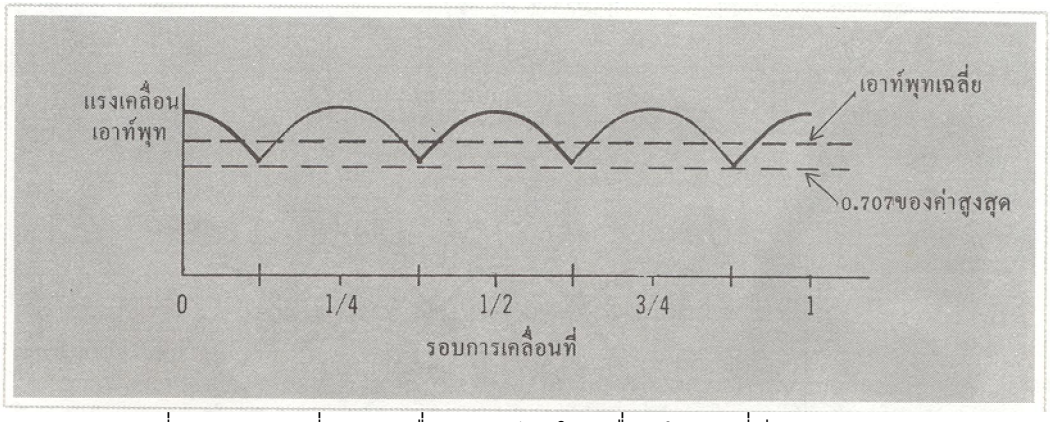
จากรูปที่ *2-19* จะเห็นว่า แปรงถ่านทางด้านซ้ายจะต่อกับด้านข้างของวงขดลวดที่กำลังเคลื่อนที่ลงเสมอ ในลักษณะนี้จะทำให้แปรงถ่านทางด้านซ้ายเป็นบวกเสมอซึ่งเราสามารถพิสูจน์ให้เห็นได้จริงโดยการใช้กฎมือขวา ในลักษณะทำนองเดียวกันแปรงถ่านทางด้านขวาก็จะต่อเข้ากับด้านข้างของขดลวดที่กำลังเคลื่อนที่ขึ้นเสมอ ในลักษณะเช่นนี้จะทำให้แปรงถ่านทางด้านขวาเป็นลบเสมอเช่นกัน ดังนั้นหลังจากการเคลื่อนที่ของวงขดลวดไปครึ่งรอบ แรงเคลื่อนเอาท์พุทที่ถูกกลับขั้วก็จะเข้ามาแทนที่ จึงทำให้ได้แรงเคลื่อนเอาท์พุทสำหรับการเคลื่อนที่ในครึ่งรอบหลังมีลักษณะเหมือนกับแรงเคลื่อนเอาท์พุทในครึ่งรอบแรกทุกประการ ดังนั้นคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านจึงเป็นตัวเปลี่ยนแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำไฟสลับให้เป็นแรงเคลื่อนไฟตรงขึ้นลง ถ้าใช้คาปาซิเตอร์เป็นตัวกรองแรงเคลื่อนโดยการต่อคร่อมเข้ากับแปรงถ่าน แรงเคลื่อนไฟตรงที่ได้จัเรียบมากยิ่งขึ้นโดยที่ค่าหรือขนาดของมันจะใกล้เคียงกับค่าสูงสุด แต่ถ้าใช้ขดลวด *(choke)* เป็นตัวกรอง แรงเคลื่อนเอาท์พุทที่ได้จะมีค่าหรือขนาดเท่ากับค่าเฉลี่ยของแรงเคลื่อนไฟตรงขึ้นลง ถ้าไม่ใช่ตัวกรองค่าเฉลี่ยของแรงเคลื่อนจะถูกพิจารณาให้เป็นเอาท์พุท

2.5.1.6 การทำให้แรงเคลื่อนเอาท์พุทรายเรียบยิ่งขึ้น

จากรูปที่ *2-18* เมื่อไม่ได้ใช้ตัวกรองแรงเคลื่อน เอาท์พุทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขดลวดราบเดียวจะมีลักษณะเป็นแรงเคลื่อนไฟตรงขึ้นลง โดยที่ขนาดมันจะเพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าสูงสุดแล้วลดลงมาเป็นศูนย์ซึ่งเกิดขึ้นสองครั้งในระหว่างการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบของวงขดลวดการเปลี่ยนแปลงที่แรงเคลื่อนเอาท์พุทนี้เรียกว่า การกระเพื่อม *(ripple)* และทำให้เอาท์พุทที่ได้ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในหลายๆ ประเภท การเปลี่ยนแปลงหรือการกระเพื่อมที่แรงเคลื่อนเอาท์พุทสามารถทำให้ลดน้อยลงได้โดยการใช้ขดลวดสองขดหรือสองวงซึ่งวางให้ห่างกันและกันเป็นมุม *90°* ตามที่แสดงให้เห็นในรูปที่ *2-19 (ก)* โดยที่ปลายแต่ละข้างของวงขดลวดทั้งสองจะต่อเข้ากับซี่ของคอมมิวเตเตอร์ที่แยกจากกัน ดังนั้นจึงมีจำนวนซี่ของคอมมิวเตเตอร์ทั้งหมดเท่ากับ *4* ซี่ แต่แปรงถ่านยังคงมี *2* อันเท่าเดิม และมันถูกวางให้อยู่ในตำแหน่งในที่ซึ่งขณะที่วงขดลวดและคอมมิวเตเตอร์หมุน แปรงถ่านทั้งสองอันจะถูกทำให้สัมผัสกับซี่คอมมิวเตเตอร์สำหรับขดลวดแรกก่อน และหลังจากนั้นจึงจะสัมผัสกับขดลวดวงที่สอง

แปรงถ่านและซี่คอมมิวเตเตอร์สำหรับของขดลวดแต่ละวงมันจะทำหน้าที่เหมือนกับที่กระทำในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขดลวดเดียว นั่นคือ แปรงถ่านอันหนึ่งจะสัมผัสกับปลายของวงขดลวดที่เป็นลบเสมอในขณะที่แปรงถ่านอีกอันหนึ่งจะสัมผัสกับปลายของวงขดลวดที่เป็นบวกเสมอ ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟสลับที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นภายในวงขดลวดจะถูกเปลี่ยนให้เป็นแรงเคลื่อนไฟตรงขึ้นมา

อย่างไรก็ตามมันจะมีความแตกต่างที่สำคัญอย่างหนึ่งในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขดลวดสองวงคือขดลวดวงหนึ่งจะหมุนตามหลังขดลวดอีกวงหนึ่งเป็นมุม *90°* เสมอ ดังนั้นเมื่อแรงเคลื่อนในขดลวดวงหนึ่งกำลังลดลงแรงเคลื่อนในขดลวดอีกวงหนึ่งก็กำลังเกิดเพิ่มขึ้น และจะเป็นในลักษณะนี้ในทางกลับกัน และตำแหน่งของแปรงถ่านที่อยู่ในลักษณะเช่นนั้น ก็จะพิจารณาเห็นได้ว่าในขณะที่วงขดลวดและคอมมิวเตเตอร์หมุน แปรงถ่านจะสัมผัสกับซี่คอมมิวเตเตอร์ของวงขดลวดที่มีแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำเกือบสูงสุดตลอดเวลา และในขณะที่แรงเคลื่อนในขดลวดวงหนึ่งของวงขดลวดลดลงกว่าแรงเคลื่อนในขดลวดอีกวงหนึ่ง จะเห็นได้ว่า แปรงถ่านจะผ่านจากซี่คอมมิวเตเตอร์ของวงขดลวดที่มีแรงเคลื่อนลดลงไปยังซี่คอมมิวเตเตอร์ของวงขดลวดที่มีแรงเคลื่อนเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนตำแหน่งสัมผัสหรือสวิทช์ชิ่ง *(switching)* นี้เกิดขึ้น *4* ครั้ง ในระหว่างการเคลื่อนที่ครบรอบแต่ละรอบของวงขดลวดทั้งสอง และเนื่องจากเหตุนี้จึงทำให้แรงเคลื่อนเอาท์พุทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ปรากฏขึ้นระหว่างแปรงถ่านทั้งสองอันมีค่าไม่ต่ำกว่า *0.707* เท่าของค่าสูงสุดของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดแต่ละวง ดังนั้นเอาท์พุทไฟตรงที่ได้นี้จึงต้องการการกรองที่น้อยกว่าเอาท์พุทที่ได้จากเครื่องกำเนิดขดลวดรอยเดียวหรือขดลวดวงเดียว

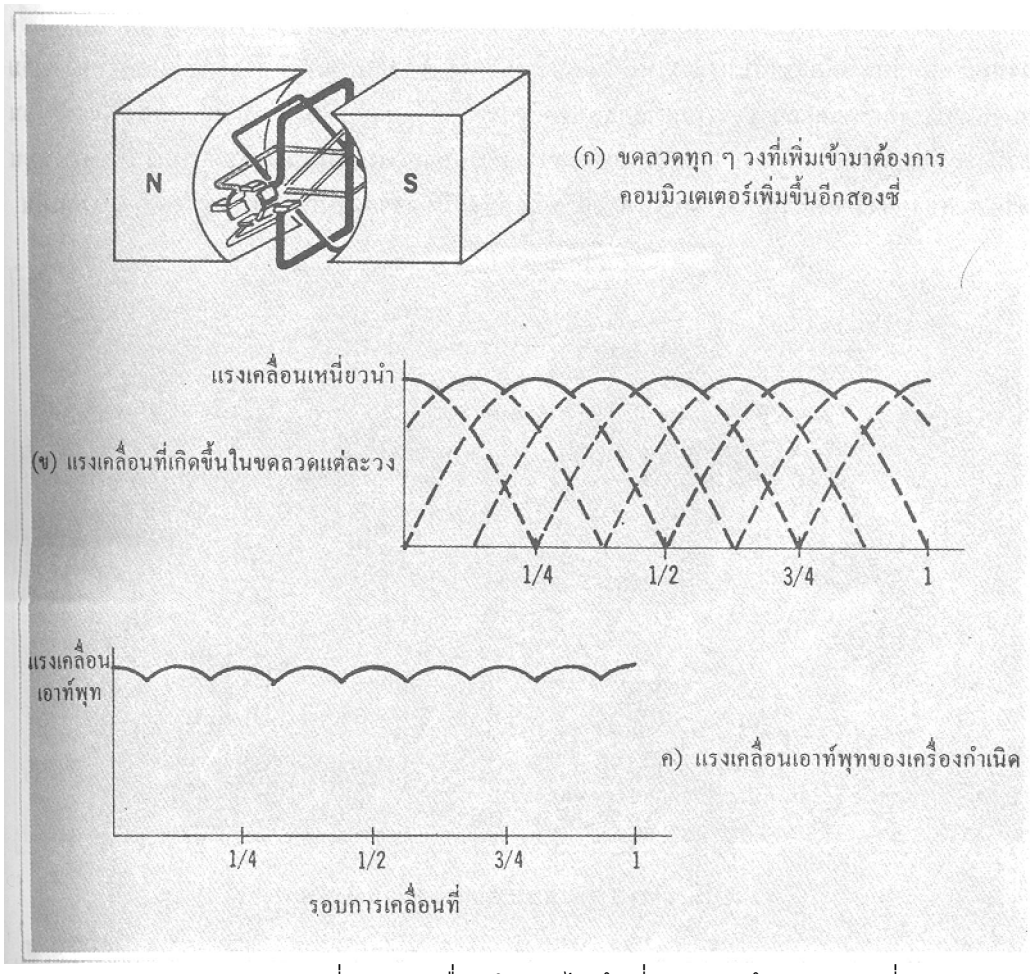


รูปที่ *2-20* ค่าเฉลี่ยแรงเคลื่อนเอาท์พุทในเครื่องกำเนิดที่มีขดลวดสองวง

จากรูปที่ *2-20* จะเห็นว่า การใช้ขดลวดสองวงจะช่วยลดการขึ้นลงหรือการแกว่งไปแกว่งมาของแรงเคลื่อนเอาท์พุท แต่ค่าสูงสุดของแรงเคลื่อนเอาท์พุทยังคงมีค่าเท่าเดิม นอกจากนี้ยังทำให้ค่าเฉลี่ยของแรงเคลื่อนเอาท์พุทที่ได้มีค่าสูงขึ้นกว่าเดิมอีกด้วย

จากรายละเอียดที่ผ่านมา ทำให้เราพิจารณาเห็นได้ว่า เมื่อใช้ขดลวดสองวงแทนที่ขดลวดวงเดียวจะทำให้การกระเพื่อมที่แรงเคลื่อนเอาท์พุทของเครื่องกำเนิดสามารถลดลงได้อย่างไร เพราะฉะนั้นถ้าใช้วงขดลวดให้มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย และถ้าเอาท์พุทของเครื่องกำเนิดมีค่าใกล้เคียงกับค่าไฟตรงมากที่สุด การกรองแรงเคลื่อนก็ไม่จำเป็นที่จะต้องกระทำอีกหรือกรองเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และเอาท์พุทเฉลี่ยที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดมากที่สุด

สำหรับทุกๆ วงขดลวดที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ซี่ของคอมมิวเตเตอร์เพิ่มขึ้นอีกสองซี่ตามไปด้วยโดยที่ซี่คอมมิวเตเตอร์หนึ่งจะต่อเข้ากับปลายข้างหนึ่งของวงขดลวด ดังนั้นจึงมีอัตราส่วนระหว่างจำนวนซี่ของคอมมิวเตเตอร์และจำนวนของวงขดลวดเป็นสองต่อหนึ่งเสมอ ยกตัวอย่างเช่น คอมมิวเตเตอร์สี่ซี่จะชั้บขดลวดสองวงหรือคอมมิวเตเตอร์หกซี่จะใช้กับขดลวดสามวง เป็นต้น ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จริงที่ใช้งานในทางปฏิบัติจะประกอบด้วยวงขดลวดจำนวนหลายๆ วงและมีจำนวนซี่ของคอมมิวเตเตอร์มากเป็นสองเท่า เพราะฉะนั้นถ้าเรานับจำนวนซี่ของคอมมิวเตเตอร์ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใดๆ ก็ตาม ก็จะทราบว่ามันมีจำนวนของวงขดลวดเป็นครึ่งหนึ่งของจำนวนซี่ของคอมมิวเตเตอร์



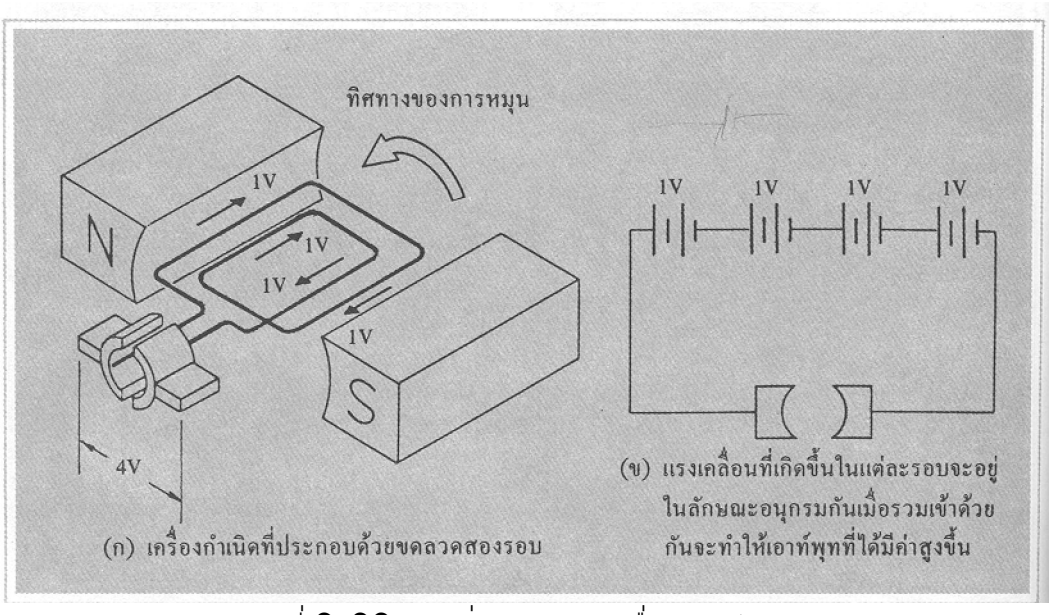
รูปที่ *2-21* เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ประกอบด้วยขดลวดสี่วง

ในรูปที่ 2-21 แสดงให้เห็นถึงรูปคลื่นเอาท์พุทของเครื่องกำเนิดที่ประกอบไปด้วยขดลวดสี่วง ซึ่งเราจะสังเกตเห็นได้อีกครั้งหนึ่งว่า ถึงแม้ว่าจำนวนของวงขดลวดที่เพิ่มขึ้นจะไปลดการเปลี่ยนแปลงหรือการกระเพื่อมระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแรงเคลื่อนเอาท์พุท แต่ค่าสูงสุดของแรงเคลื่อนเอาท์พุทก็จะไม่เพิ่มขึ้น ยกเว้นค่าเฉลี่ยเท่านั้น นั่นคือค่าเฉลี่ยของแรงเคลื่อนเอาท์พุทที่ได้จะสูงขึ้นหรือทำให้แรงเคลื่อนเอาท์พุทที่ได้ราบเรียบยิ่งขึ้น

2.5.1.7 การเพิ่มระดับแรงเคลื่อนเอาท์พุท

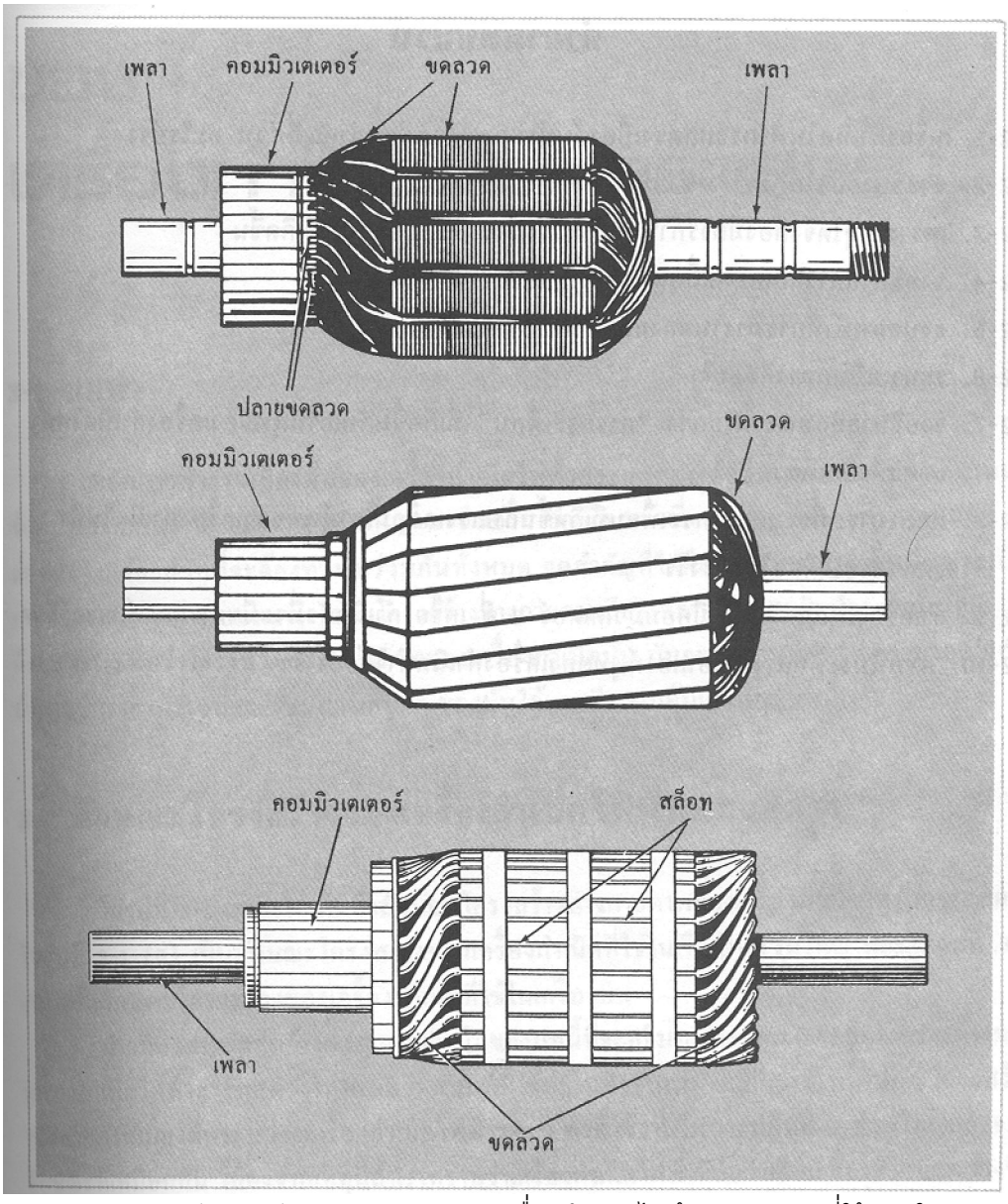
ในการอธิบายเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น ค่าหรือขนาดของแรงเคลื่อนเอาท์พุทเป็นค่าเดียวกันกับที่มันถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นในวงขดลวดหมุน และเป็นค่าที่มีขนาดเพียงเล็กน้อยมากตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ขนาดของแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นในขดลวดแต่ละวงสามารถหาได้จากอัตราในที่ซึ่งวงขดลวดเคลื่อนที่ตัดกับสนามแม่เหล็ก โดยที่ขนาดของแรงเคลื่อนดังกล่าวนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มของสนามแม่เหล็กและความเร็วในการเคลื่อนที่หมุนของขดลวด ดังนั้นจึงทำให้เราคิดว่าแรงเคลื่อนสามารถที่จะทำให้เกิด

เพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็กหรือความเร็วของการหมุนหรือทั้งสองอย่าง แต่ทั้งสองกรณีนี้ในทางปฏิบัติแล้วจะมีขีดจำกัดในการเพิ่มอยู่ที่จุดๆ หนึ่งเท่านั้น



รูปที่ 2-22 การเพิ่มระดับแรงเคลื่อนเอาท์พุท

แรงเคลื่อนเอาท์พุทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงสามารถที่จะทำให้เพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่สามารถนำไปใช้งานได้โดยการเพิ่มจำนวนรอบของขดลวดแต่ละวงหรือแต่ละขดให้มีหลายๆ รอบแทนที่จะใช้ขดลวดเพียงรอบเดียว ดังเช่นขดลวด *2* รอบตามที่แสดงให้เห็นในรูปที่ *2-22* จะมีแรงเคลื่อนเกิดขึ้นเป็นสองเท่าของขดลวดรอบเดียว ณ ที่ความเข้มสนามแม่เหล็กและความเร็วรอบค่าเดียวกัน หรือในลักษณะทำนองเดียวกัน ขดลวด *100* รอบ ก็จะมีแรงเคลื่อนเกิดขึ้นถึง *100* เท่าของขดลวดรอบเดียว ละวงขดลวดหลายๆ รอบที่กล่าวมานี้เรียกว่า ขดลวดอาร์เมเจอร์ *(armature coil)* โดยที่ขดลวดแต่ละวงหรือแต่ละขดจะมีสองปลาย และต้องการคอมมิวเตเตอร์สองซี่เช่นเดียวกับวงขดลวดรอบเดียวตามที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นแรงเคลื่อนที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นในขดลวด *(coil)* ทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงเคลื่อนย่อยที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นในแต่ละรอบ



รูปที่ *2-23* ขดลวดอาร์เมเจอร์ลักษณะต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้งานในทางปฏิบัติ

ขดลวดอาร์เมเจอร์ที่แสดงให้เห็นในรูปที่ *2-23* เป็นขดลวดอาร์เมเจอร์ที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่แท้จริงในทางปฏิบัติ ซึ่งจะประกอบด้วยขดลวดหลายๆ ขด และในแต่ละขดจะมีหลายๆ รอบ ซึ่งจะทำให้แรงเคลื่อนเอาท์พุทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้มีค่าสูงและคงที่ ดังนั้นจึงทำให้เราพิจารณาเห็นได้ว่า ในขณะที่ความเข้มของสนามแม่เหล็กและความเร็วรอบของการหมุนที่กำหนดให้มีค่าคงที่จำนวนรอบในขดลวดแต่ละขดจะเป็นตัวบอกขนาดของแรงเคลื่อนเอาท์พุทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในขณะที่จำนวนขดของขดลวดจะเป็นตัวบอกจำนวนของการกระเพื่อมในแรงเคลื่อนเอาท์พุทที่เกิดขึ้น

2.5.1 สมการพื้นฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

แรงดันไฟฟ้าที่เกิดที่อาร์เมเจอร์หาได้จากสมการ

$$\boxed{E_g = \frac{Z \varnothing PN}{60a}}$$

เมื่อ

E_g = แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเฉลี่ยของอาร์เมเจอร์ [V]

Z = จำนวนตัวนำ [ตัว]

N = ความเร็วรอบ [รอบต่อนาที , rpm]

P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก [Pole]

a = จำนวนทางขนาน

ϕ = ความเข้มสนามแม่เหล็ก [Wb]

<u>ตัวอย่างที่ ***2-1***</u> ในการพันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ *Lap* นั้น จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้นเท่าไร ถ้าเครื่องนั้นหมุนด้วยความเร็ว *200* รอบต่อนาที โดยมีความเข้มสนามแม่เหล็กต่อหน่วยขั้ว *0.05 Wb. 8 Pole* และมีจำนวนตัวนำในอาร์เมเจอร์เป็น *960* ตัว

<u>วิธีทำ</u>

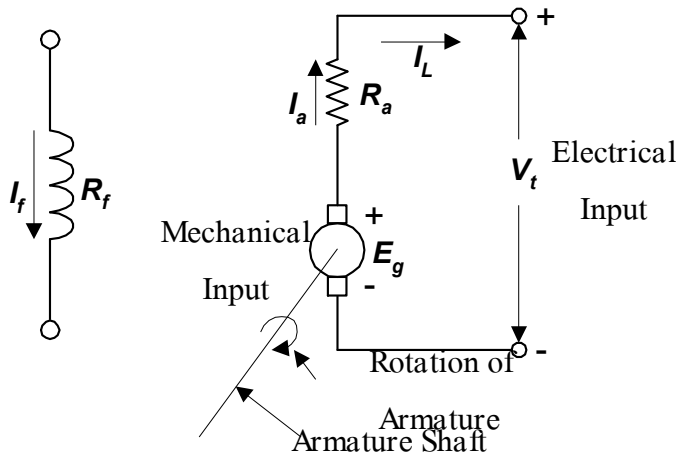
จากสมการ $$E_g = \frac{Z \varnothing PN}{60a}$$

$$E_g = \frac{0.05 \times 960 \times 200 \times 8}{60 \times 8}$$

$$E_g = 160 \quad Volts$$ <u>ตอบ</u>

2.5.2 วงจรเทียบเคียงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

วงจรเทียบเคียง คือ วงจรที่ใช้สัญลักษณ์แทนส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การเขียนวงจรเทียบเคียงจะช่วยให้พิจารณาและการคำนวณค่าต่างๆ ได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 2-24 วงจรเทียบเคียง

ส่วนประกอบที่เรานำมาเขียนวงจรเทียบเคียงมี 2 ส่วน คือ

1. ส่วนที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหรือฟิลด์ (Field) ซึ่งเป็นตัวเดียวกับขดลวดฟิลด์ของขั้วแม่เหล็ก วงจรเทียบเคียงของส่วนนี้คือ รูปที่ 2-24 a กำหนดให้ขั้วของฟิลด์เป็น F_1 และ F_2 โดยให้ I_f เป็นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านฟิลด์ และ R_f เป็นความต้านทานของฟิลด์ ถ้าให้ V_f เป็นแรงดันที่เกิดจากฟิลด์

$$V_f = I_f R_f$$

2. ส่วนที่ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าในอาร์เมเจอร์ (E_g) วงจรเทียบเคียงของส่วนนี้คือ รูปที่ 2-24 b กำหนดให้ A_1 และ A_2 เป็นขั้วของอาร์เมเจอร์ ถ้าเราหมุนแกนของอาร์เมเจอร์ ด้วยพลังงานกล ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่อาร์เมเจอร์ (E_g) ซึ่งจะสร้างกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ (I_a) ในขณะเดียวกันที่ขดลวดอาร์เมเจอร์มีความต้านทานอยู่จำนวนหนึ่งคือความต้านทานอาร์เมเจอร์ (R_a) เมื่อกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ไหลออกจากวงจรภายในอาร์เมเจอร์จะกลายเป็นกระแสไฟฟ้าไปจ่ายโหลด (I_L) ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายโหลด บางครั้งเราเรียกว่า แรงดันที่ขั้ว (Terminal Voltage ; V_t)

2.5.3 ประเภทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง แบ่งออกเป็น *2* ประเภท คือ

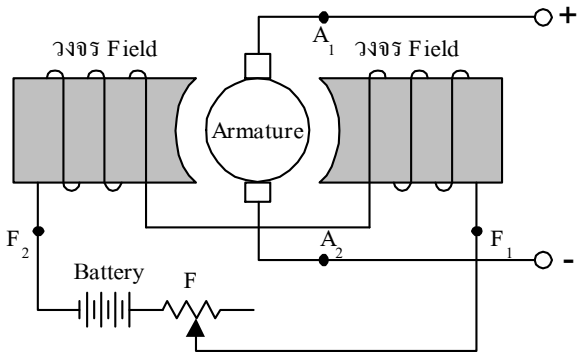
2.5.3.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภท *Separately Excited*

2.5.3.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภท *Self Excited*

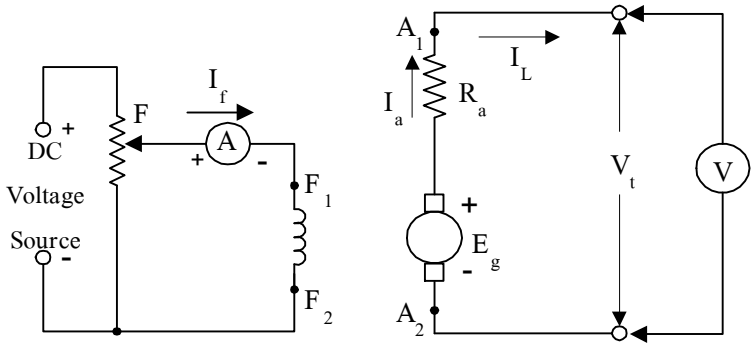
- เครื่องกำเนิดแบบอนุกรม *(Series Wound Generator)*
- เครื่องกำเนิดแบบขนาน *(Shunt Wound Generator)*
- เครื่องกำเนิดแบบผสม *(Compound Wound Generator)*
  - *Long Shunt Compound Wound Generator*
  - *Short Shunt Compound Wound Generator*

2.5.3.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภท Separately Excited

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภท *Separately Excited* เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้รับการกระตุ้นให้เกิดสนามแม่เหล็กจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าภายนอก แสดงดังรูปที่ *2-25*



(a)



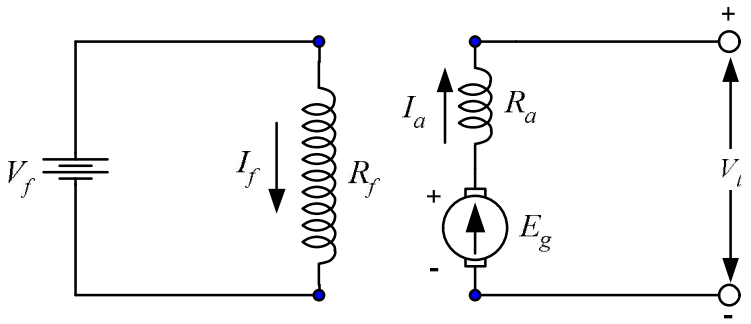
(b)

รูปที่ 2-25 a)วงจรภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภท Separately Excited

b)วงจรเทียบเคียงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภท Separately Excited

จากรูปจะเห็นได้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภท *Separately Excited* จะประกอบด้วยวงจรฟิลด์และวงจรอาร์เมเจอร์จะแยกกัน และสามารถเขียนวงจรเทียบเคียงได้ดังรูปที่ *2-25 b)* สำหรับ *F* ที่ปรากฏอยู่ในรูปที่ *2-25* นั้น หมายถึง *Field Rheostat* เป็นความต้านทานที่ปรับค่าได้เพื่อจำกัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดฟิลด์ ส่วนแบตเตอรี่ หรือ *DC Voltage Source* เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากภายนอกที่ใช้สำหรับกระตุ้นสนามแม่เหล็กที่ขดลวดฟิลด์

สมการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยก



$$I_f = \frac{V_f}{R_f}$$

$$E_g = V_t + I_a R_a$$

$$I_a = I_L$$

I_f = กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรขดลวดสนามแม่เหล็ก

V_f = แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก

R_f = ค่าความต้านทานของขอดลวดสนามแม่เหล็ก

E_g = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์

V_t = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขั้ว

I_a = กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์

R_a = ค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์

I_L = กระแสไฟฟ้าที่ไหลไปยังโหลด *(LOAD)*

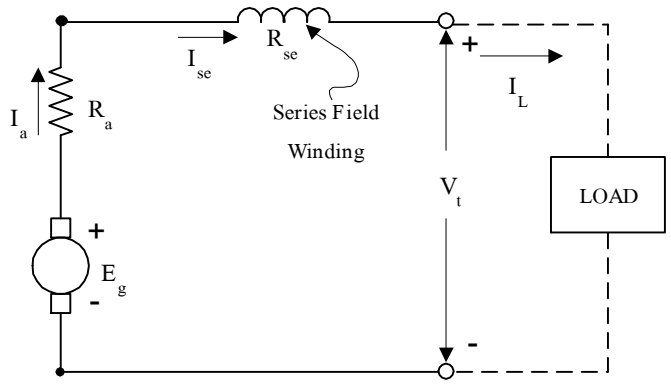
2.5.3.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภท Self Excited

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภท *Self Excited* แบบนี้ได้รับกระแสมาจากอาร์เมเจอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจกาตัวของมันเอง การเกิดแรงเคลื่อนไฟที่จุดแรกนั้นเกิดจากเส้นแรงแม่เหล็กที่ยังเหลือค้างอยู่ *(Residual magnetism)* ที่สนามแม่เหล็กกระตุ้นนั้น ฉะนั้นเมื่ออาร์เมเจอร์หมุนก็เริ่มเกิดแรงเคลื่อนไฟขึ้นที่อาร์เมเจอร์ก่อน และแรงเคลื่อนไฟนี้ก็จ่ายไปยังสนามกระตุ้นที่ต่อคร่อมกันอยู่กับอาร์เมเจอร์นั่นเอง ฉะนั้นจึงทำให้มีกระแสไฟในขดลวดของสนามแม่เหล็กเพิ่มมากขึ้น นั่นคือทำให้มีเส้นแรงแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟสูงขึ้นจากเดิมอีก แรงเคลื่อนนี้ก็จะส่งต่อไปยังสนามแม่เหล็กกระตุ้นเพิ่มขึ้นอีก จึงทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟที่อาร์เมเจอร์เพิ่มขึ้นอีก เป็นเช่นนี้เรื่อยไปดังรูปที่ *2-26*
เครื่องกำเนิดไฟที่มีการต่อแบบ *Self-excited* นี้แบ่งออกตามลักษณะการต่อ *field* ได้เป็นสามอย่างคือ

- เครื่องกำเนิดแบบอนุกรม *(Series Wound Generator)*
- เครื่องกำเนิดแบบขนาน *(Shunt Wound Generator)*
- เครื่องกำเนิดแบบผสม *(Compound Wound Generator)*

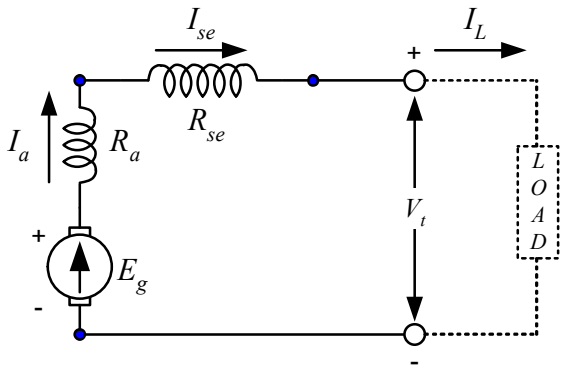
1) การต่อแบบอนุกรม *(Series wound)* การต่อแบบนี้มีขดลวดที่พันรอบแกนขั้วแม่เหล็กต่ออนุกรมกับตัวนำของอาร์เมเจอร์ รูปที่ *2-26*

ขดลวดที่ใช้พันรอบแกนขั้วแม่เหล็กมี ค.ต.ท. ต่ำและมีขนาดใหญ่ แต่มีจำนวนรอบเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะต้องทนกระแสไฟได้เต็มที่ ขณะที่เครื่องกำเนิดไฟจ่ายกระแสนั่นคือต้องทนกระแสไฟได้พอ ๆ กับกระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์ทั้งหมด เครื่องกำเนิดไฟชนิดนี้มักไม่ค่อยใช้ ยกเว้นในกรณีพิเศษเท่านั้น เช่นเป็นตัวเสริมแรงเคลื่อนไฟ *(Booster)* เป็นต้น



รูปที่ 2-26 Series Generator

สมการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ***Self Excited*** แบบอนุกรม ***(Series Generator)***



$$E_g = V_t + I_a R_a + I_{se} R_{se}$$

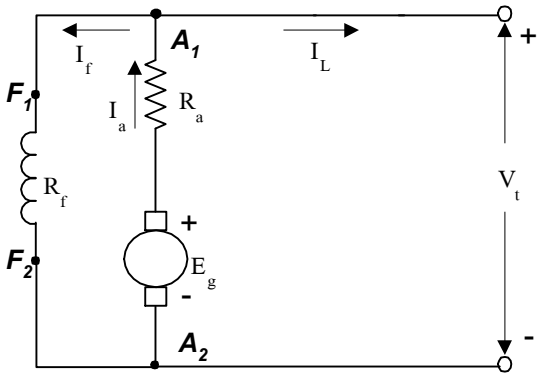
$$I_a = I_{se} = I_L$$

$$E_g = V_t + I_a (R_a + R_{se})$$

R_{se} = ค่าความต้านทานของขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรม *(Series field)*

I_{se} = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรม

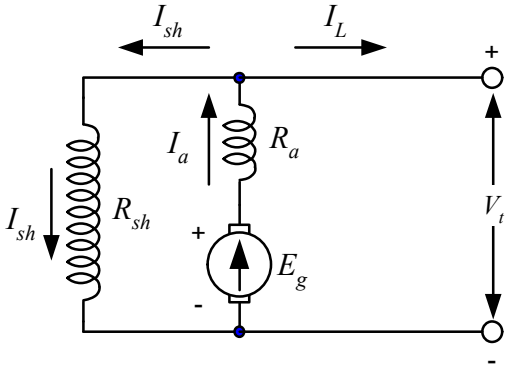
2) การต่อแบบขนาน *(Shunt wound)* การต่อแบบนี้มีขดลวดของสนามแม่เหล็กต่อคร่อมหรือขนานกันกับตัวนำของอาร์เมเจอร์ โดยที่มีแรงเคลื่อนไฟจากเครื่องกำเนิดตกคร่อมขดลวดสนามแม่เหล็กเต็มที่ รูปที่ *2-27*



รูปที่ 2-27 Shunt Generator

ขดลวดที่ใช้พันแกนของขั้วแม่เหล็กนี้เป็นเส้นเล็ก ๆ ที่มีจำนวนรอบมาก และมี ค.ต.ท. สูงกว่า ค.ต.ท. ที่อาร์เมเจอร์มาก เครื่องกำเนิดไฟแบบนี้เป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป

สมการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ***Self Excited*** แบบขนาน ***(Shunt Generator)***



$$E_g = V_t + I_a R_a$$

$$I_a = I_{sh} + I_L$$

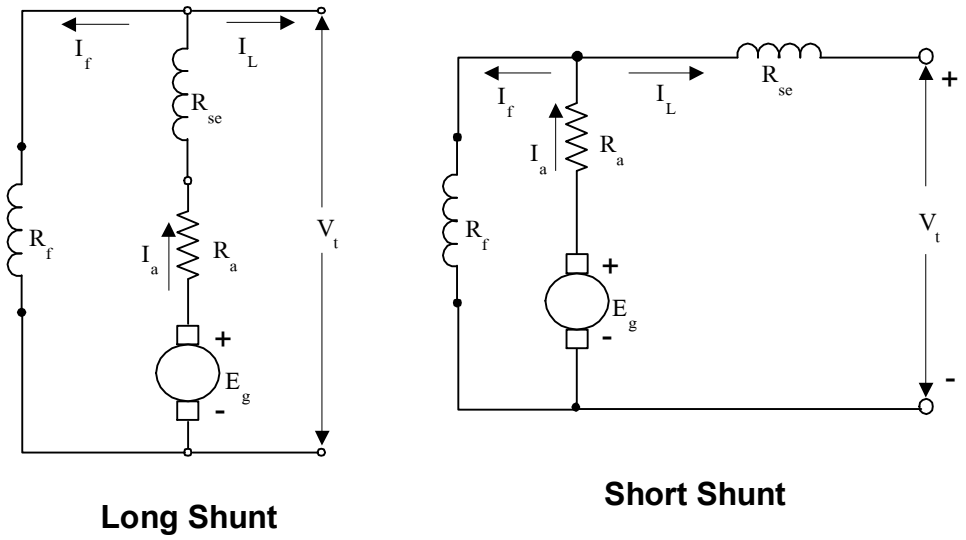
$$I_{sh} = \frac{V_t}{R_{sh}}$$

R_{sh} = ค่าความต้านทานของขดลวดสนามแม่เหล็กขนาน *(Shunt field)*

I_{sh} = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กขนาน

3) การต่อแบบผสม *(Compound wound)* ก็คือ การต่อขดลวดที่ใช้พันแกนขั้วแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กโดยต่อขดลวดสนามแม่เหล็กนั้นขนานและอนุกรมกับอาร์เมเจอร์นั่นเอง การต่อแบบนี้ยังแบ่งการต่อได้เป็นอีก *2* แบบ คือ แบบ *Short shunt* และ *Long shunt* ดังรูปที่ *2-28 (a)* และ *(b)* ตามลำดับ สำหรับเครื่องกำเนิดกระแสไฟตรงแบบต่าง ๆ นั้นได้แสดงไว้ในรูปที่ *2-29* แล้ว

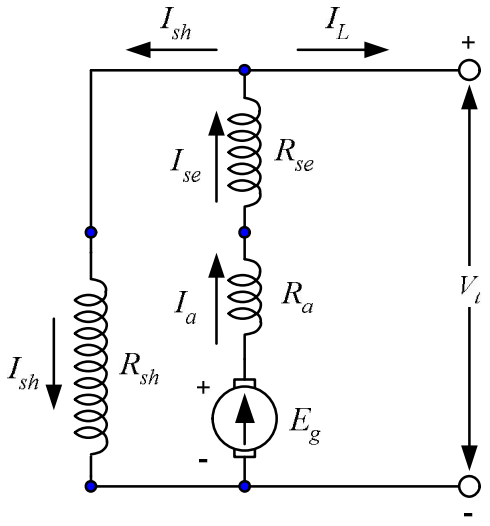
- *Long Shunt Compound Wound Generator*
- *Short Shunt Compound Wound Generator*



รูปที่ 2-28 Compound Generator

สมการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ***Self Excited*** แบบผสม ***(Compound Wound Generator)***

Long Shunt Compound Wound Generator



$$E_g = V_t + I_a R_a + I_{se} R_{se}$$

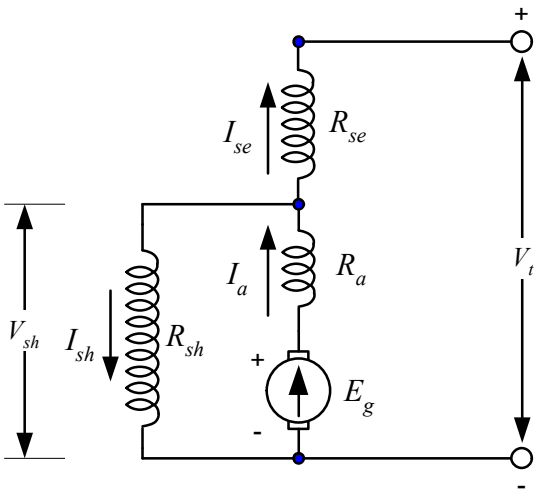
$$I_a = I_{se}$$

$$I_a = I_{sh} + I_L$$

$$I_{sh} = \frac{V_t}{R_{sh}}$$

สมการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ***Self Excited*** แบบผสม ***(Compound Wound Generator)***

Short Shunt Compound Wound Generator



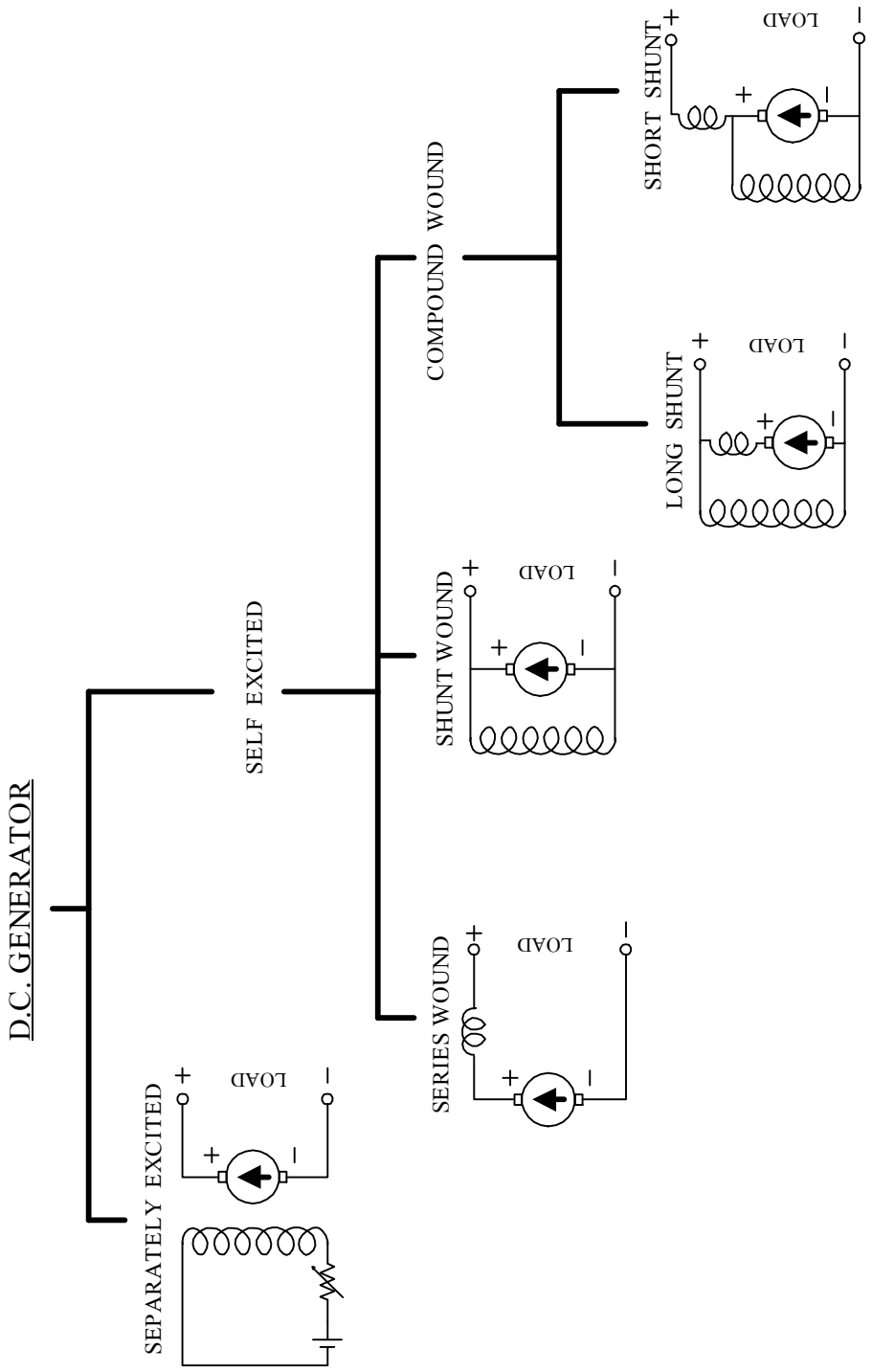
$$E_g = V_t + I_a R_a + I_{se} R_{se}$$

$$I_{se} = I_L$$

$$I_a = I_{sh} + I_{se}$$

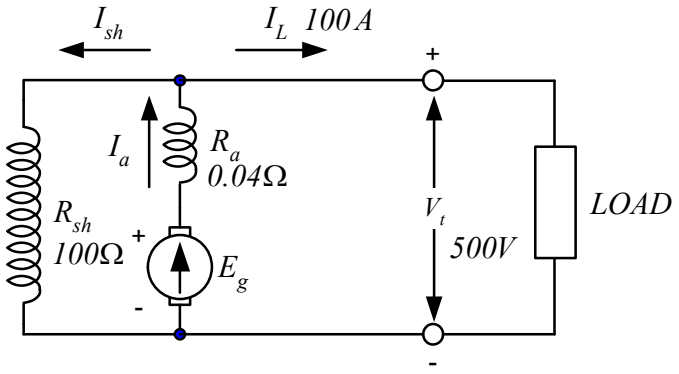
$$I_{sh} = \frac{V_{sh}}{R_{sh}}$$

$$V_{sh} = V_t + I_{se} R_{se}$$



รูปที่ 2-29 แผนผังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดต่างๆ

ตัวอย่างที่ 2-2 เครื่องกำเนิดไฟแบบผสมชนิดที่เป็น Long shunt ตัวหนึ่งต้องจ่ายกระแส 100 แอมป์ออกไป โดยมีแรงเคลื่อนไฟที่ขั้วเป็น 500 โวลท์ ถ้าความต้านทานของอาร์เมเจอร์ปืน 0.02 โอห์ม ของ Series field เป็น 0.04 โอห์มและของ shunt field เป็น 100 โอห์มแล้ว จงหาแรงเคลื่อนไฟที่เกิดขึ้นภายในที่อาร์เมเจอร์ โดยให้แรงเคลื่อนที่ตกหายไปแต่ละแปรงถ่านเท่ากับ 1 โวลท์ โดยไม่คิดปฏิกริยาจากอาร์เมเจอร์ (Armature reaction)



วิธีทำ

วงจรของเครื่องกำเนิดไฟได้แสดงไว้ในรูป

$$I_{sh} = \frac{500}{100} = 5 \text{ A.}$$

กระแสที่ไหลผ่านอาร์เมเจอร์และ series field winding = 100+5 = 105 A.

แรงเคลื่อนไฟที่ตกหายไปที่ series field winding = 105 x 0.04 = 4.2 V.

แรงเคลื่อนไฟที่ตกหายไปที่อาร์เมเจอร์ = 105 x 0.02 = 2.1 V.

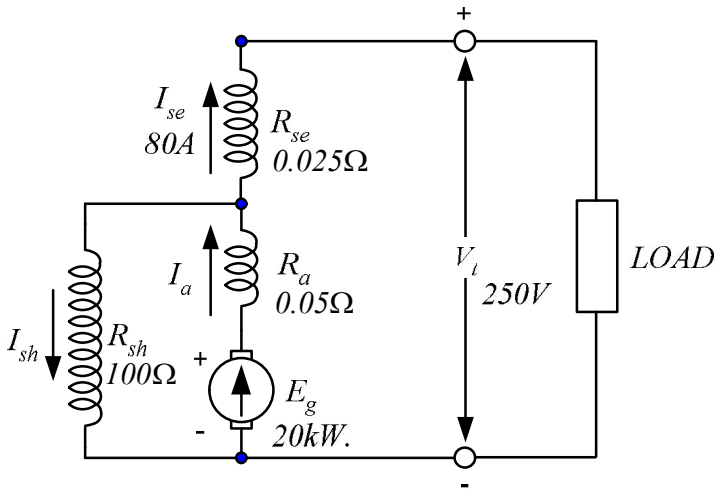
แรงเคลื่อนไฟที่ตกหายไปที่แปรงถ่าน = 2 x 1 = 2 V.

$$E = V + I_a R_a + I_a R_{se} + \text{brush drod}$$

$$= 500 + 2.1 + 4.2 + 2$$

$$= 508.3 \text{ V.}$$ ตอบ

ตัวอย่างที่ 2-3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 20 kW. ต้องจ่ายกระแสไฟเต็มที่เมื่อแรงเคลื่อนที่ขั้วเป็น 250 V. ความต้านทานของอาร์เมเจอร์ Series และ Shunt Field Winding เป็น 0.05 , 0.025 และ 100 Ω ตามลำดับ จงหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดในเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้เมื่อต่อเป็นแบบ Short Shunt



วิธีทำ

วงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังรูป

$\therefore$ Load Current $(I_L) = I_{se}$ $= \dfrac{20 \times 1000}{250}$ $= 80$ A.

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตกหายที่ series field winding $I_{se}R_{se}$ = 80 x 0.025 = 2 V.

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตกคร่อม Shunt winding $V_{sh} = V_t + I_{se}R_{se}$

= 250 + 2

= 252 V.

$\therefore$ I_{sh} $= \dfrac{252}{100}$ = 2.52 A.

$\therefore$ I_a = 2.523 + 80 = 82.52 A.

$\therefore$ I_aR_a = 82.52 x 0.05 = 4.126 V.

$\therefore$ แรงเคลื่อนไฟที่เกิดภายใน $E_g = V_t + I_aR_a + I_{se}R_{se}$

E_g = 250 + 4.126 + 2

= 256.126 V. ตอบ

2.5.4 โวลท์เทจ เรกกูเลชั่น (VOLTAGE REGULATION)

Voltage regulation (V.R.) เป็นตัวชี้ให้เห็นความแตกต่างของค่าแรงดันไฟฟ้าขณะที่ไม่ มีโหลดกับขณะจ่ายโหลด กล่าวคือ ถ้าแรงดันไฟฟ้าขณะที่จ่ายโหลดลดลงมาจากสภาพไม่มีโหลดมาก แสดงว่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมในขดลวดอาร์เมเจอร์มากทำให้จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้โหลดได้น้อย แต่ถ้าแรงดันไฟฟ้าขณะที่จ่ายโหลดลดลงจากสภาพไม่มีโหลดน้อย แสดงว่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมในขดลวดอาร์เมเจอร์น้อย ทำให้จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้แก่โหลดได้มาก

ค่า Voltage regulation คิดเป็นเปอร์เซนต์ได้ดังนี้

$$\% \, Voltage \, regulation = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100$$

เมื่อ

V_{NL} = แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วขณะไม่มีโหลด (No Load)

V_{FL} = แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วขณะจ่ายโหลดเต็มที่ (No Load) หรือ แรงดันไฟฟ้าที่พิกัด

ตัวอย่างที่ 2-4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวหนึ่งขนาด 5 kW 120 V ขณะไม่มีโหลด วัดแรงดันที่ขั้วได้ 138 V จงหาเปอร์เซนต์ Voltage regulation (% V.R.)

วิธีทำ

$$\%V.R. = \frac{138 - 120}{120} \times 100$$

$$= \quad 15 \quad \%$$ ตอบ

แบบฝึกหัดบทที่ 2

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบคอมเปานด์ขนาดพิกัดกำลัง 20kW. จ่ายโหลดเต็มพิกัดด้วยแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว 230V. อาร์เมเจอร์ ซีรีย์ฟิลด์และชั้นท์ฟิลด์มีความต้านทาน 0.1Ω , 0.05Ω และ 115Ω ตามลำดับ จงคำนวณหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อเครื่องกำเนิดต่อวงจรแบบ Short-Shunt Compound

   (243.25V)

2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงตัวหนึ่ง มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 520V. ถ้ามีตัวนำใน อาร์เมเจอร์ 2000 ตัว มีเส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งขั้ว 0.013Wb. หมุนด้วยความเร็ว 1200r.p.m. มีจำนวนทางขนานของขดลวดอาร์เมเจอร์ 4 ทาง จงหาจำนวนขั้วแม่เหล็ก

   (4)

3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงตัวหนึ่งมีจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งขั้ว 0.02Wb. เมื่อถูกขับด้วยความเร็ว 1000 r.p.m. มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้น 200V. ถ้าความเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 1100 r.p.m. และในเวลาเดียวกันเส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งขั้วลดลงเหลือเพียง 0.0149Wb. จงหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

   (0.162Wb.)

4. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบชันท์ขนาดพิกัด 50kW. , 400V. , 8 Pole , 600 r.p.m. พันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแลพมี 256 ตัวนำ ขดลวดอาร์เมเจอร์และชั้นท์ฟิลด์มีความต้านทาน 0.1Ω และ 200Ω ตามลำดับ มีแรงดันไฟฟ้าตกที่แปรงถ่านข้างละ 1 โวลท์เมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัด จงหาเส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งขั้ว

   (0.162Wb.)

5. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 4 ขั้วต่อหนึ่ง หมุนด้วยความเร็ว 1500 r.p.m. อาร์เมเจอร์มี 90 ร่อง แต่ละร่องมีตัวนำ 6 ตัว ถ้าจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งขั้วเป็น 10mWb. จงหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขั้ว เมื่อทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ถ้าขดลวดอาร์เมเจอร์พันแบบ Lap และมีกระแสต่อหนึ่งตัวนำ 100A. จงหากำลังไฟฟ้า

   (810V. , 324kW.)

6. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 8 ขั้วตัวหนึ่งพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบ Lap มี 120 ร่อง มีตัวนำ 4 ตัวต่อหนึ่งร่อง ถ้าแต่ละตัวนำรับกระแสได้ 250A. และมีจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว 0.05Wb. จงหาความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดเมื่อผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าขณะวงจรเปิดได้ 240V. เมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัดแรงดันไฟฟ้าลดลงเหลือ 220V. จงหาขนาดพิกัดกำลังเอาท์พุทของเครื่อง
(600V. , 440kW.)

7. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมเปานด์ 110V. ตัวหนึ่ง อาร์เมเจอร์ ซีรีย์ฟิลด์ และ ชันท์ฟิลด์ มีความต้านทาน 0.06Ω , 25Ω และ 0.04Ω ตามลำดับ โหลดของเครื่องกำเนิดประกอบด้วยหลอดไฟฟ้า 200 ดวง แต่ละดวงมีพิกัด 55W. 110V. จงหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสอาร์เมเจอร์เมื่อต่อวงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ
   - Long Shunt Compound
   - Short Shunt Compound

   ไม่คำนึงถึงอาร์เมเจอร์รีแอคชั่นและแรงดันไฟฟ้าตกที่แปรงถ่าน
   (ก) 120.4V. , 104.4A. ข) 120.3V. 104.6A.)