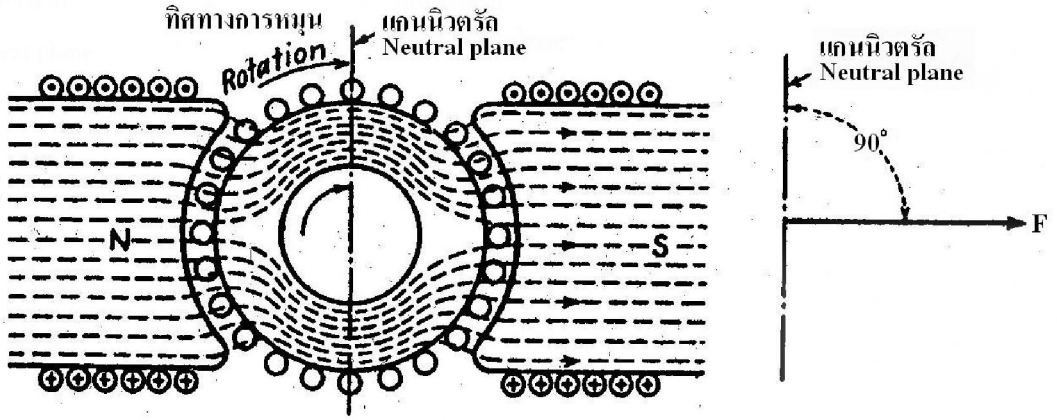
บทที่ 3 อาร์เมเจอร์รีแอคชั่นและคอมมิวเตชั่น
(ARMATURE REACTION AND COMMUTATION)

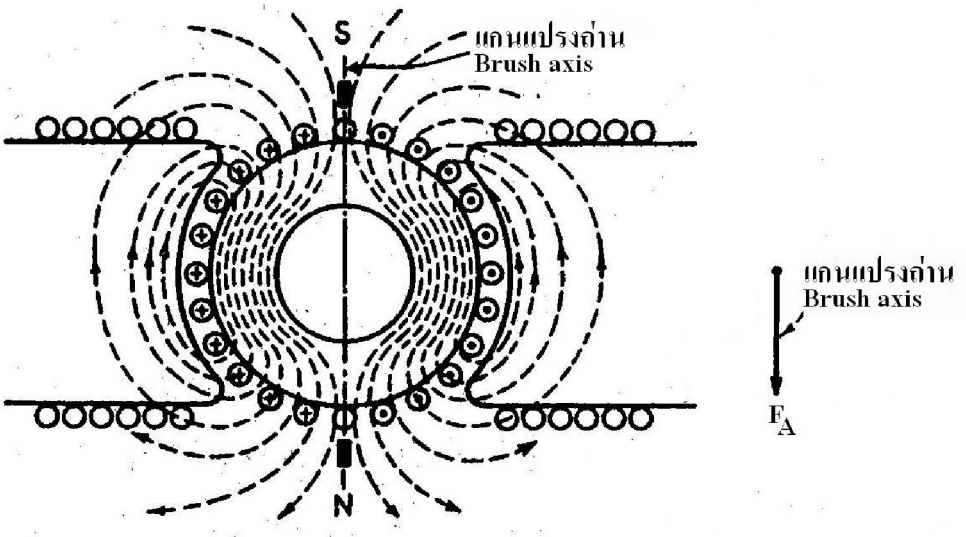
3.1 อาร์เมเจอร์รีแอคชั่น *(Armature reaction)*

คือเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสอาร์เมเจอร์ซึ่งมีผลกระทบต่อเส้นแรงแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็ก และเป็นสาเหตุทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดลดลง



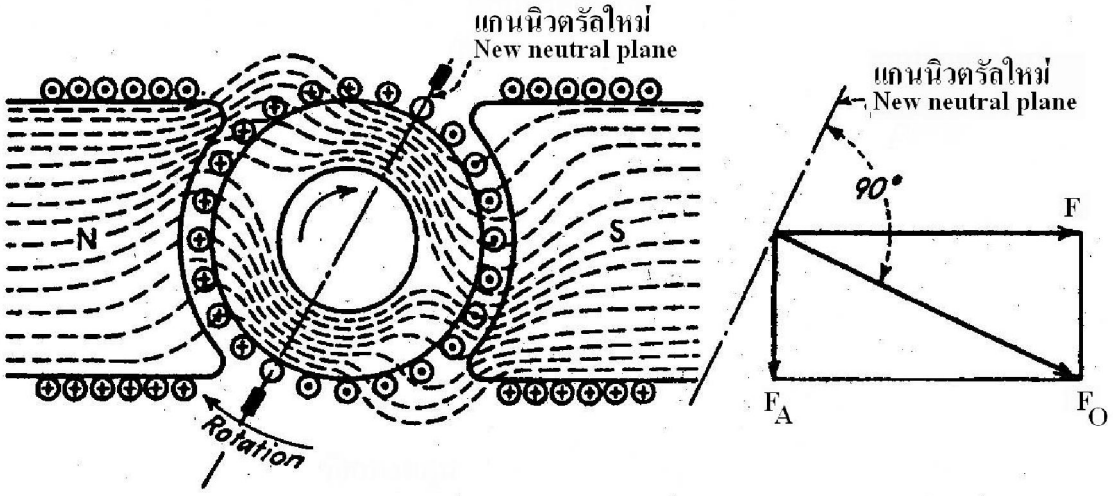
รูปที่ 3-1 เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็ก

รูปที่ *3-1* แสดงเส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่างอากาศระหว่างขั้วเหนือและขั้วใต้ซึ่งเกิดจากกระแสของขดลวดสนามแม่เหล็ก เส้นที่ตั้งฉากกับแนวของเส้นแรงแม่เหล็กเรียกว่า *"แกนนิวตรัล" (neutral plane)* ซึ่งเป็นแกนที่ไม่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในตัวนำ เวคเตอร์ *F* เขียนแทนขนาดและทิศทางของแรงเคลื่อนแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็ก



รูปที่ 3-2 เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบตัวนำในอาร์เมเจอร์

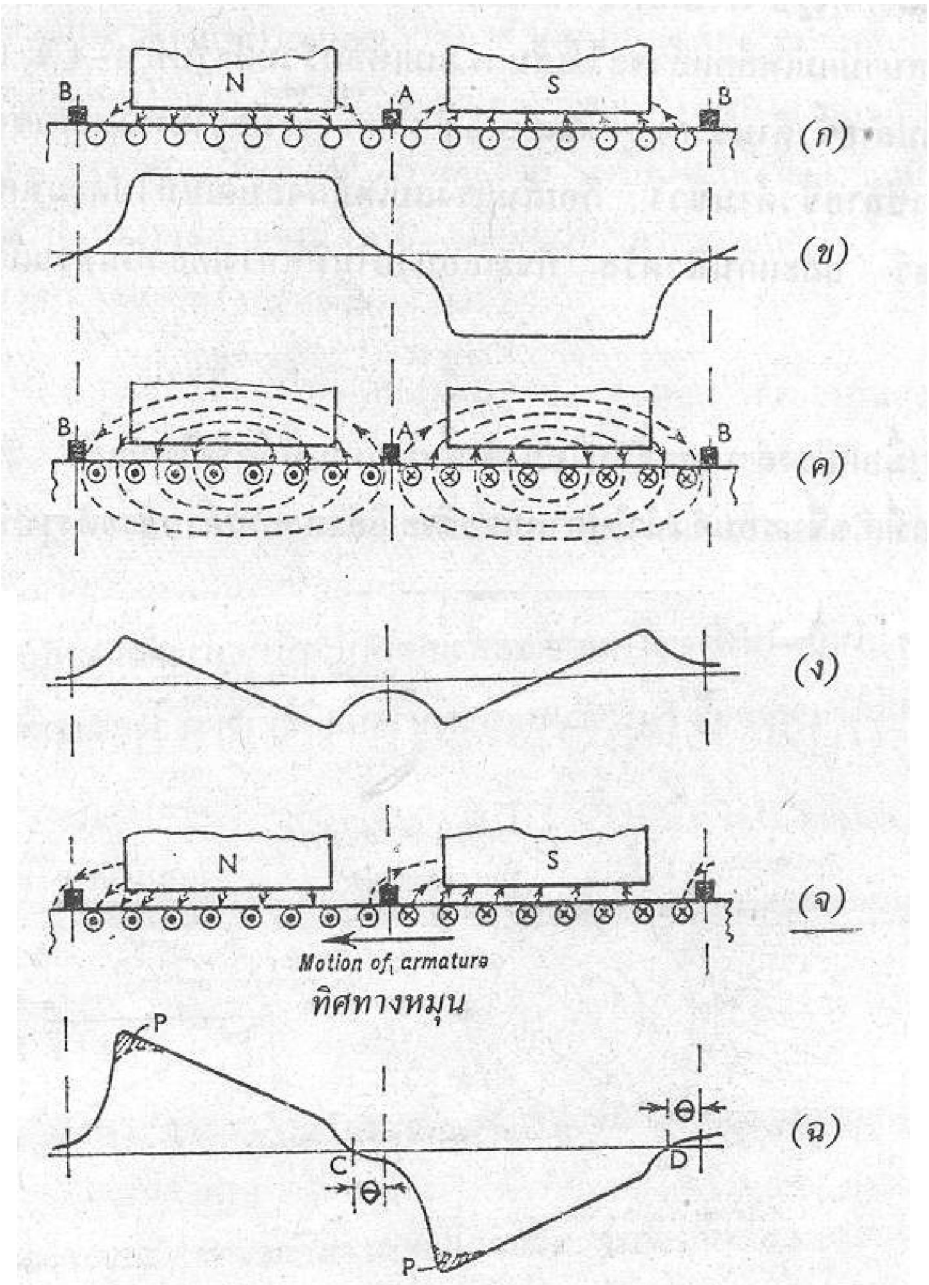
รูปที่ *3-2* แสดงเฉพาะเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบตัวนำในอาร์เมเจอร์ ซึ่งเกิดขึ้นในขณะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายโหลด จะสังเกตเห็นว่ามีทิศทางตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็ก เวคเตอร์ F_A เขียนแทนขนาดและทิศทางของแรงเคลื่อนแม่เหล็กของอาร์เมเจอร์



รูปที่ 3-3 ผลรวมระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กและอาร์เมเจอร์

รูปที่ *3-3* ผลรวมระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็ก F และเส้นแรงแม่เหล็กของอาร์เมเจอร์ F_A เป็นเหตุให้เส้นแรงแม่เหล็กรวม *(resultant flux)* F_O บิดเบนไปในทิศทางเดียวกับการหมุนของอาร์เมเจอร์ ทำให้ตำแหน่งของแกนนิวตรัลบิดเบนไปด้วย จึงจำเป็นต้องเลื่อนแปรงถ่านตามไปด้วยไปอยู่ในตำแหน่ง *"*แกนนิวตรัลใหม่*"* *(new neutral plane)* ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีประกายไฟ *(arc)* เกิดขึ้นน้อยที่สุด

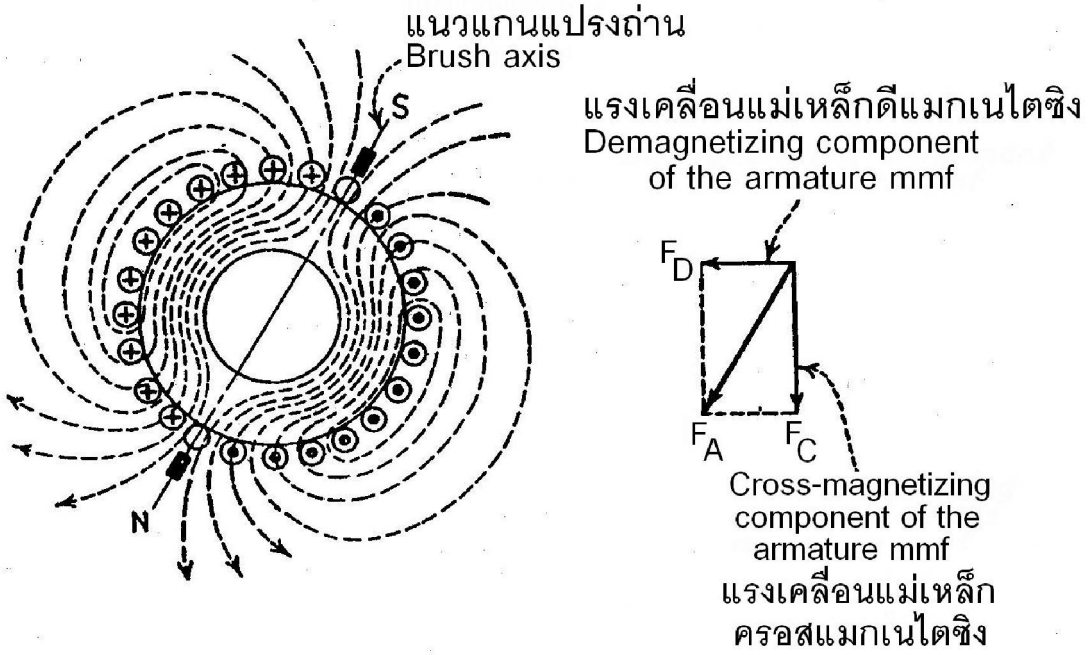
ระยะทางที่แนวแกนนิวตรัลและตำแหน่งที่แปรงถ่านเลื่อนไปจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เวคเตอร์ F_O คือ ผลรวมของแรงเคลื่อนแม่เหล็กระหว่างแรงเคลื่อนแม่เหล็ก F และ F_A



รูปที่ 3-4 แสดงการกระจายของเส้นแรงแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็ก เส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำในอาร์เมเจอร์ และผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองแห่ง

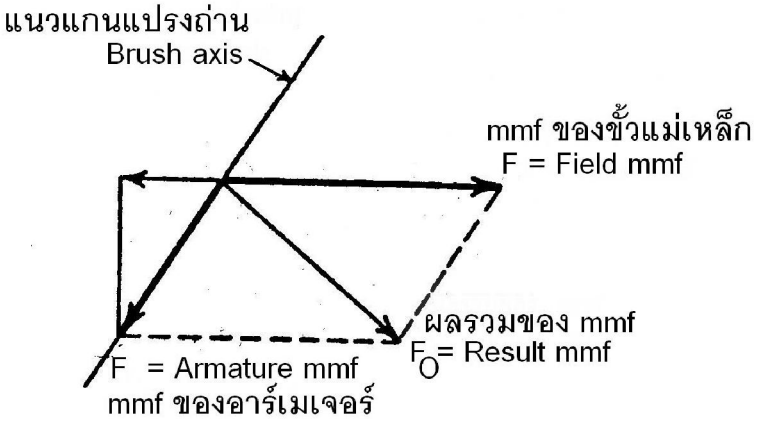
รูปที่ *3-4* ก. และ ข. แสดงการกระจายเส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่างอากาศของขั้วแม่เหล็กเมื่อไม่มีโหลด ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กจะเปลี่ยนแปลงเป็นรูปคลื่นดังรูป ข. รูปที่ *3-4* ค. และ ง. แสดงเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบตัวนำในอาร์เมเจอร์ในลักษณะ *"คลอสฟลักซ์" (cross flux)* ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากแรงเคลื่อนแม่เหล็กของอาร์เมเจอร์ เนื่องจากบริเวณกึ่งกลางระหว่างขั้วแม่เหล็กมีความต้านทานแม่เหล็ก *(reluctance)* สูงมาก จึงทำให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กในบริเวณดังกล่าวมีค่าลดลงมาก ดังรูป ง. เมื่อพิจารณาเส้นแรงแม่เหล็กรวมซึ่งเกิดจากขดลวดอาร์เมเจอร์และขดลวดสนามแม่เหล็กแล้วจะได้เส้นแรงแม่เหล็กรวมดังรูปที่ *3-4* จ. และ ฉ. จะสังเกตเห็นว่าที่ปลายขั้วด้านขวาของขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้วจะมีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กมากกว่าปลายขั้วด้านขวา คือเส้นแรงแม่เหล็กจะบิดเบนไปตามทิศทางการหมุนของอาร์เมเจอร์ และแกนนิวตรัล ก็จะเลื่อนไปในทิศทางเดียวกันด้วยเป็นระยะทางเท่ากับมุม θ

เมื่อแปรงถ่านถูกเลื่อนไปยังตำแหน่งแกนนิวตรัลใหม่แล้ว ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบตัวนำในอาร์เมเจอร์จะเอียงลงทางด้านซ้ายดังรูปที่ *3-5*



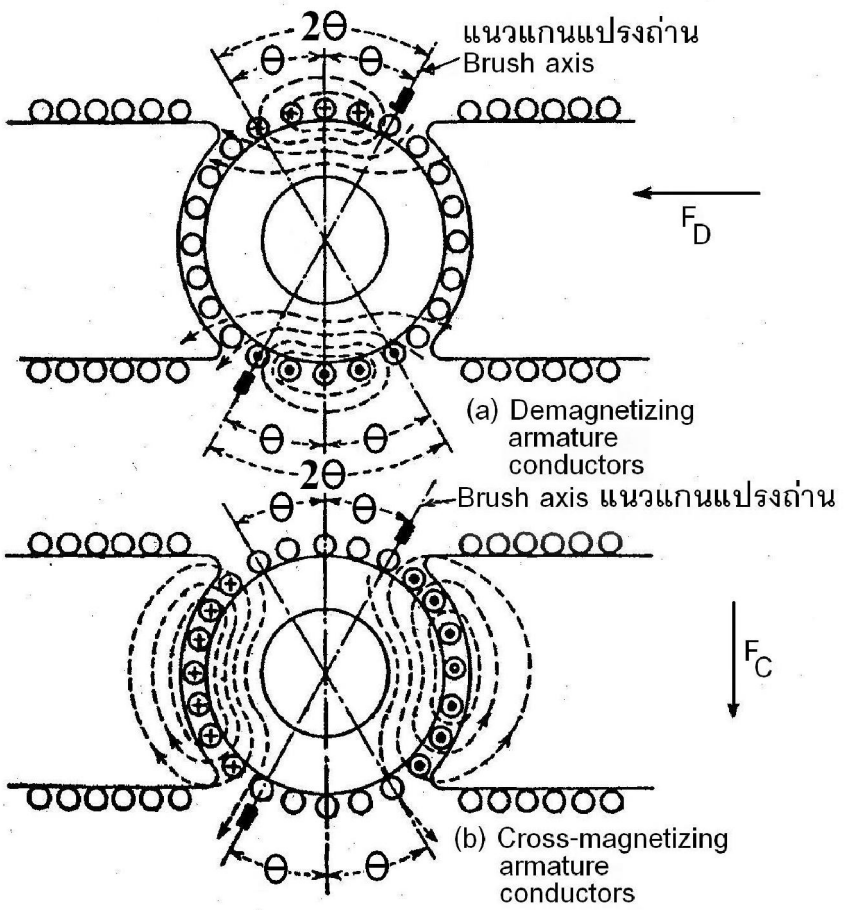
รูปที่ 3-5 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กในอาร์เมเจอร์และตำแหน่งแปรงถ่าน

แรงเคลื่อนแม่เหล็กของอาร์เมเจอร์ในขณะนี้เขียนแทนด้วยเวคเตอร์ F_A ในรูปที่ *3-5* ซึ่งสามารถแบ่งออกได้สองส่วน คือ เวคเตอร์ F_D ซึ่งมีทิศทางขนานกับแนวแกนของขั้วแม่เหล็ก *(brush axis)* และเวคเตอร์ F_C ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับแนวแกนของขั้วแม่เหล็ก



รูปที่ 3-6 เวคเตอร์ผลรวมระหว่างแรงเคลื่อนแม่เหล็กของอาร์เมเจอร์และของขั้วแม่เหล็ก

จะสังเกตเห็นว่าเวคเตอร์ F_D มีทิศทางตรงข้ามกับสนามแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กดังรูปที่ *3-6* ซึ่งจะเป็นผลให้เส้นแรงแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กลดลง แรงเคลื่อนแม่เหล็ก F_D นี้เรียกว่า *"ดีแมกเนไตซิ่ง" (Demagnetizing m.m.f.)* ของอาร์เมเจอร์รีแอคชั่นสำหรับเวคเตอร์ F_C ซึ่งทีทิศทางตั้งฉากกับเวคเตอร์ F จะเป็นผลให้เส้นแรงแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กบิดเบนไป แรงเคลื่อนแม่เหล็ก F_C นี้เรียกว่า *"ครอสแมกเนไตซิ่ง" (Cross magnetizing m.m.f.)* ของอาร์เมเจอร์รีแอคชั่น



รูปที่ 3-7 ก) แสดงตัวนำที่ทำให้เกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็กดีแมกเนไตซิ่ง (F_D)
ข) แสดงตัวนำที่ทำให้เกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็กครอสแมกเนไตซิ่ง (F_C)

ลวดตัวนำในอาร์เมเจอร์ซึ่งทำให้เกิดผลทั้งสองประการดังกล่าวข้างต้นแสดงไว้ในรูปที่ *3-7* ก. และ ข. ในรูปที่ *3-7* ก. แสดงตำแหน่งแปรงถ่านเลื่อนไปจากแนวแกนนิวตรัลไปเป็นมุม θ ลวดตัวนำทั้งหมดที่อยู่ภายในมุม 2θ ทั้งด้านบนและด้านล่างของอาร์เมเจอร์จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็ก F_D มีทิศทางตรงข้ามกับแรงเคลื่อนแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็ก F เรียกแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเนื่องจากตัวนำภายในมุม 2θ ว่า *"ดีแมกเนไตซิ่ง" (demagnetizing)* หรือ *"แบคแอมป์แปร์-เทินส์" (back ampere turns)* สำหรับลวดตัวนำที่อยู่ด้านซ้ายและด้านขวาของอาร์เมเจอร์คือตัวนำที่อยู่ภายนอกมุม 2θ ดังรูปที่ *3-7* ข. จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็ก F_C มีทิศทางเคลื่อนที่ลงตั้งฉากกับแรงเคลื่อนแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็ก F เรียกแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเนื่องจากตัวนำที่อยู่ภายนอกมุม 2θ ว่า *"ครอสแมกเนไตซิ่ง" (Cross magnetizing)* หรือ *"ครอสแอมป์แปร์เทินส์" (Cross ampere turns)* ซึ่งแรงเคลื่อนแม่เหล็ก F_C นี้จะเป็นผลให้เส้นแรงแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กบิดเบนไปในทิศทางเดียวกับทิศทางการหมุนของอาร์เมเจอร์

ผลที่เกิดจากแรงเคลื่อนแม่เหล็กของอาร์เมเจอร์ทั้งสองประการดังกล่าวข้างต้นคือ

กรณีครอสแมกเนไตซิ่ง หรือ ครอสแอมแปร์เทินส์ ทำให้ต้องเลื่อนตำแหน่งแปรงถ่านไปจากตำแหน่งเดิมเป็นมุม θ ในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการหมุนของอาร์เมเจอร์และเมื่อกระแสโหลดเปลี่ยนแปลงไป มุม θ ก็ต้องเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย เพื่อลดประกายไฟที่เกิดขึ้นที่แปรงถ่าน

กรณีดีแมกเนไตซิ่ง หรือ แบคแอมแปร์เทินส์ จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามกระแสโหลด และเนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กของดีแมกเนไตซิ่ง มีทิศทางตรงข้ามกับเส้นแรงแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็ก ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กลดลง ทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ได้มีค่าลดลง

3.2 การหาค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กดีแมกเนไตซิ่งต่อหนึ่งขั้ว

(Demagnetizing AT per pole)

เราสามารถทำให้แรงเคลื่อนแม่เหล็กพิเศษ หรือ แอมแปร์-เทินส์พิเศษ *(extra ampere turns)* เข้าไปในขดลวดสนามแม่เหล็ก

ให้ Z = จำนวนลวดตัวนำทั้งหมดบนอาร์เมเจอร์ *(Z=2T หรือ T = Z /2)*

I = กระแสไฟฟ้าที่ไหลในแต่ละตัวนำบนอาร์เมเจอร์

= $I_a / 2$ เมื่อพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบเวฟ

= I_a / P เมื่อพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแลพ

I_a = กระแสทั้งหมดที่ไหลในอาร์เมเจอร์

θ_m = มุมที่แกนนิวตรัลใหม่ บิดเบนไปจากเดิมเป็นองศาทางกล

จำนวนลวดตัวนำทั้งหมดบนอาร์เมเจอร์ที่อยู่ภายในมุม 2θ ทั้งด้านบนและด้านล่างของอาร์เมเจอร์ ดังรูปที่ *3-7* ก. $= \frac{4\theta}{360} xZ$

เนื่องจากลวดตัวนำสองตัวคือขดลวดหนึ่งรอบ *(Z=2T)*

$\therefore$ จำนวนรอบทั้งหมดที่อยู่ภายในมุมดังกล่าว = $\frac{2\theta m}{360} xZ$

$\therefore$ ดีแมกเนไตซิ่ง แอมแปร์-เทินส์ต่อหนึ่งคู่ของขั้วแม่เหล็ก = $\frac{2\theta m}{360} xZI$

$\therefore$ ดีแมกเนไตซิ่ง แอมแปร์-เทินส์ต่อหนึ่งขั้ว = $\frac{\theta m}{360} xZI$

$\therefore$ $\boxed{AT_d / pole = ZIx\frac{\theta m}{360}}$ ...3.1

3.3 การหาค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กครอสแมกเนไตซิ่งต่อหนึ่งขั้ว

(Cross magnetizing AT per pole)

ลวดตัวนำที่ทำให้เกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็กครอสแมกเนไตซิ่ง คือตัวนำที่อยู่นอกมุม 2θ ดังรูปที่ *3-7* ข. เรียกลวดตัวนำแถบนี้ว่า ดิสทอร์ทติ้ง หรือ ครอสคอนดัคเตอร์ *(distoring or conductors)*

จำนวนลวดตัวนำทั้งหมดบนอาร์เมเจอร์ต่อหนึ่งขั้ว = $\frac{Z}{P}$

แรงเคลื่อนแม่เหล็กหรือแอมแปร์-เทินส์ทั้งหมดบนอาร์เมเจอร์ต่อหนึ่งขั้ว = $\frac{ZI}{2P}$

$\therefore$ คลอสแมกเนไตซิ่ง แอมแปร์-เทินส์ต่อหนึ่งขั้ว = $\frac{ZI}{2P} - ZIx\frac{\theta m}{360}$

= $ZI\left[\frac{1}{2P} - \frac{\theta m}{360}\right]$

$\therefore$ $$\boxed{AT_c / pole = ZI\left[\frac{1}{2P} - \frac{\theta m}{360}\right]} \quad ...3.2$$

ข้อสังเกต

1. การลดผลของดีแมกเนไตซิ่ง แอมแปร์-เทินส์เกิดจากอาร์เมเจอร์รีแอคชั่น ทำได้โดยพันขดลวดเสริมเข้าไปในแต่ละขั้วแม่เหล็ก

   จำนวนรอบที่พันเสริมเข้าไปต่อหนึ่งขั้ว $= \frac{AT_d}{I_{sh}}$ สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบชั้นท์

   $= \frac{AT_d}{I_a}$ สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซีรีย์

   ถ้ากำหนดค่าลีคเกจแฟคเตอร์ λ มาให้ ให้นำไปคูณกับค่า AT_d

2. ถ้ามุม θ กำหนดให้เป็นองศาทางไฟฟ้า ก็ต้องเปลี่ยนเป็นองศาทางกลโดยใช้สูตรความสัมพันธ์ดังนี้

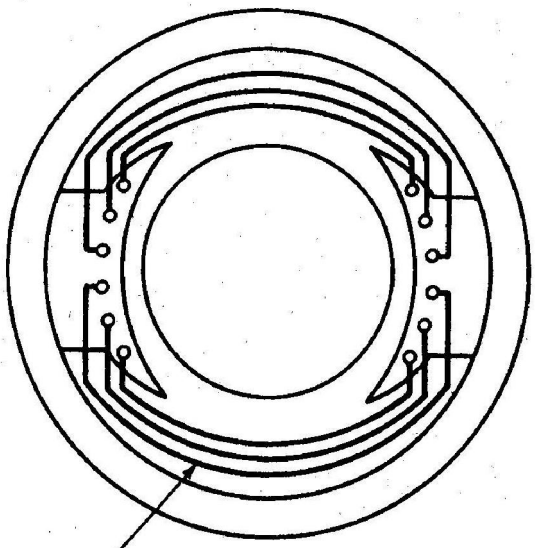
$$\boxed{\theta_m = \theta_m = \frac{2}{P}\theta_C}$$

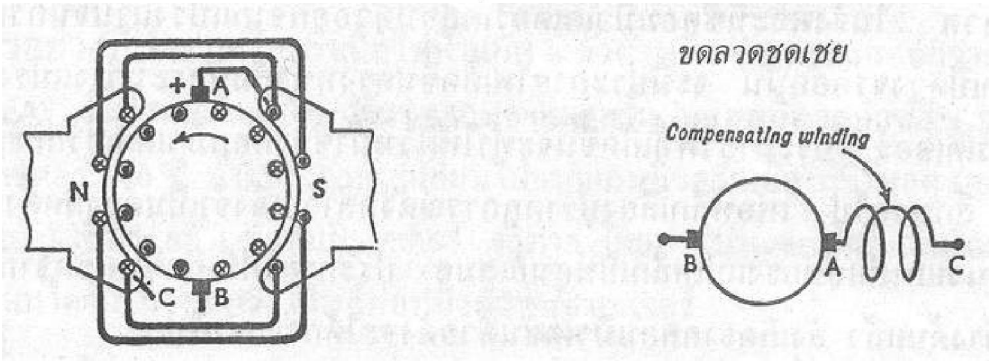
เมื่อ θ_m = องศาทางกล

θ_C = องศาทางไฟฟ้า

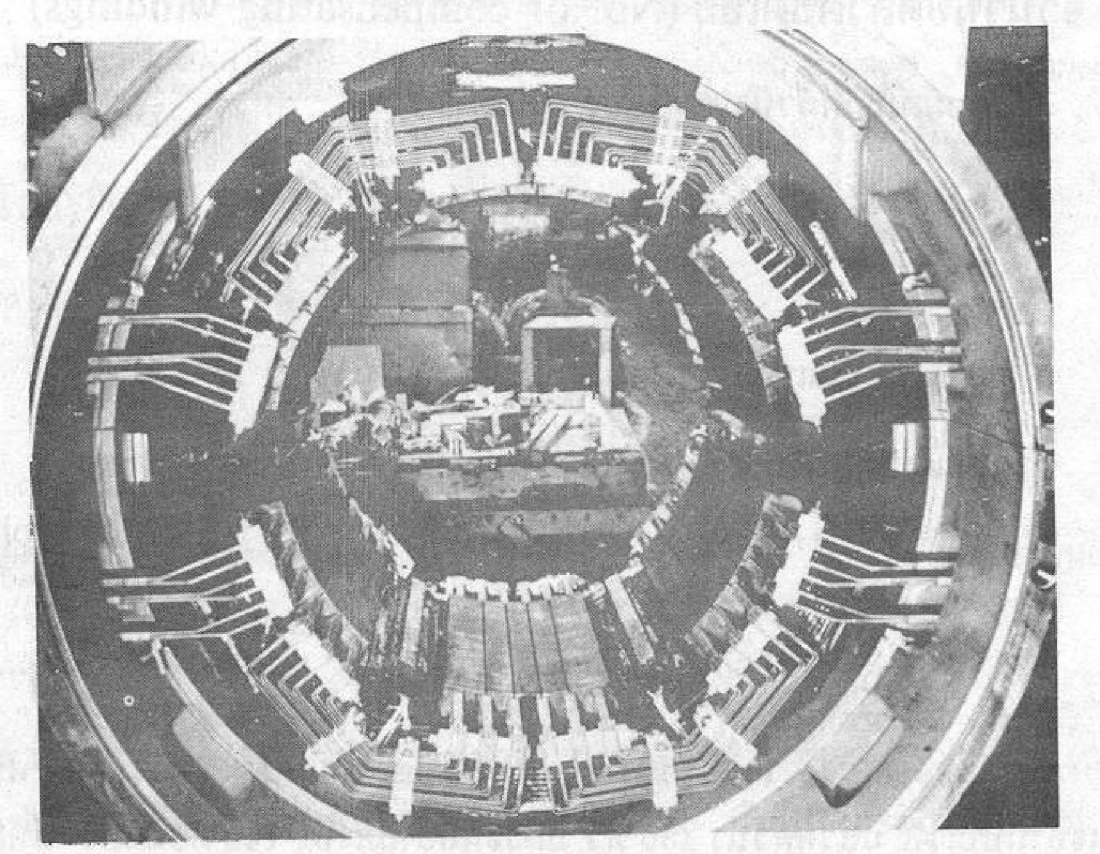
3.4 ขดลวดชดเชยหรือขดลวดคอมเพนเซทติ้ง *(Compensating winding)*

ขดลวดชุดนี้จะพันอยู่ในร่องบริเวณผิวด้านหน้าของขั้วแม่เหล็ก ดังนั้นจึงพันอยู่ในลักษณะที่ตัวนำของขดลวดชดเชยวางขนานกับขดลวดอาร์เมเจอร์ และต่ออนุกรมกับขดลวดอาร์เมเจอร์ การพันขดลวดชดเชยจะพันไว้ในทิศทางที่ทำให้เกิดแอมแปร์-เทินส์เท่ากับ และมีทิศทางตรงข้ามกับแอมแปร์-เทินส์ของอาร์เมเจอร์ โดยวิธีการดังกล่าว เมื่อกระแสโหลดเปลี่ยนแปลง แอมแปร์-เทินส์ของขดลวดทั้งสองแห่งนี้จะมีขนาดเปลี่ยนแปลงไปพร้อมๆ กัน และจะหักล้างกันได้หมดพอดีจึงไม่จำเป็นต้องเลื่อนตำแหน่งแปรงถ่านไปจากแกนนิวตรัลเดิม ซึ่งเป็นตำแหน่งเมื่อไม่มีโหลด

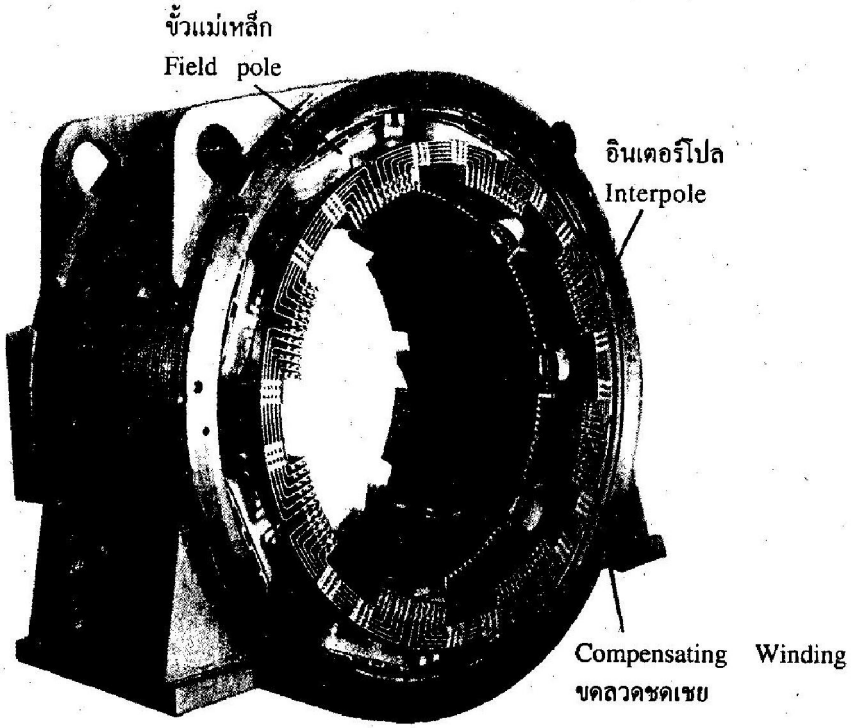




รูปที่ 3-8 การจัดวางตำแหน่งและการต่อวงจรของขดลวดชดเชย



รูปที่ 3-9 ขดลวดชดเชย (Compensating winding) ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 6 ขั้ว



เนื่องจากมีความยุ่งยากในการผลิตและทำให้ราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูงขึ้น จึงไม่นิยมใช้ขดลวดชดเชยในเครื่องธรรมดาทั่วๆ ไป แต่จะใช้กับเครื่องที่ใช้กับงานพิเศษ เช่น ในเครื่องที่มีขนาดใหญ่ เครื่องที่ใช้งานในลักษณะที่มีโหลดเปลี่ยนแปลงบ่อยๆ ในทันทีทันใด

ในเครื่องกำเนิดที่ไม่มีขดลวดชดเชย เมื่อจ่ายโหลดแกนนิวตรัลจะเลื่อนไปในทิศทางเดียวกับการหมุนของอาร์เมเจอร์ ถ้าแปรงถ่านยังอยู่ที่ตำแหน่งเดิมโดยไม่เลื่อนตามไปด้วย ลวดตัวนำของขดลวดที่ต่อกับซี่คอมมิวเตเตอร์ที่สัมผัสกับแปรงถ่านจะตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดนั้น และมีกระแสไหลวนอยู่ในขดลวด ในจังหวะที่ซี่คอมมิวเตเตอร์เคลื่อนตัวออกจากแปรงถ่านจนกระทั่งทำให้ขดลดวเปิดวงจรออกนั้น จะมีประกายไฟเกิดขึ้นตรงหน้าสัมผัสระหว่างแปรงถ่านค่อยๆ สึกหรอไป เพื่อหลีกเลี่ยงปรากฏการณ์ดังกล่าว จึงจำเป็นต้องติดตั้งแปรงถ่านไว้ในแนวแกนที่เส้นแรงแม่เหล็กเป็นศูนย์เสมอ ประกายไฟที่เกิดขึ้นนอกจากสาเหตุดังกล่าวข้างต้น ยังเกิดจากคอมมิวเตชั่นด้วยดังจะได้กล่าวต่อไป

3.5 จำนวนขดลวดชดเชย *(No. of compensating winding)*

จำนวนลวดตัวนำบนอาร์เมเจอร์ต่อหนึ่งขั้ว $= \frac{Z}{P}$

จำนวนรอบของขดลวดอาร์เมเจอร์ต่อหนึ่งขั้ว $= \frac{Z}{2P}$

$\therefore$ จำนวนแอมแปร์-เทินส์บนอาร์เมเจอร์ต่อหนึ่งขั้ว $= \frac{ZI}{2P}$

จำนวนแอมแปร์-เทินส์บนอาร์เมเจอร์ต่อหนึ่งขั้วของขดลวดชดเชย

$$= \frac{ZI}{2P} x \frac{Pole\ arc}{Pole\ pitch}$$

$$\boxed{No.\ of\ compensating\ winding = 0.7x\frac{ZI}{2P}} \quad ...3.3$$

ตัวอย่างที่ ***3.1*** เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบ *4* ขั้วตัวหนึ่ง พันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบเวฟ มีลวดตัวนำ *480* ตัว มีกระแสอาร์เมเจอร์ *144* แอมแปร์ ถ้าแปรงถ่านถูกเลื่อนไป 10° จงคำนวณหาค่าดีแมกเนไตซิ่ง และครอสแมกเนไตซิ่ง แอมแปร์-เทินส์ ต่อหนึ่งขั้ว

วิธีทำ กระแสไฟฟ้าในแต่ละตัวนำบนอาร์เมเจอร์

$$I = \frac{I_a}{2}$$

$$Z = 480\ ,\ \theta_m = 10^\circ$$

$$AT_d / pole = ZIx\frac{\theta_m}{360} = 480x72x\frac{10}{360} = 960\ AT$$

$$AT_C / pole = ZI\left[\frac{1}{2P} - \frac{\theta_m}{360}\right]$$

$$= 480x72\left[\frac{1}{2x4} - \frac{10}{360}\right] = 3{,}360\ AT$$

ตัวอย่างที่ ***3.2*** เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ *8* ขั้วตัวหนึ่ง จ่ายกระแสออกจากอาร์เมเจอร์ *200A* ที่แรงดัน *500V* พันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแลพมีลวดตัวนำ *1,280* ตัว มีคอมมิวเตเตอร์ *160* ซี่ ถ้าแปรงถ่านถูกเลื่อนไปจากแกนนิวตรัลเมื่อไม่มีโหลด *(no-load neutral axis)* เป็นระยะ *4* ซี่คอมมิวเตเตอร์ จงหาค่าโดยประมาณของดีแมกเนไตซิ่งและคลอสแมกเนไตซิ่ง แอมแปร์-เทินส์ต่อหนึ่งขั้วบนอาร์เมเจอร์

วิธีทำ กระแสในแต่ละตัวนำบนอาร์เมเจอร์

$$I = \frac{I_a}{P} = \frac{200}{8} = 25\ A$$

$$Z = 1{,}280\ ,\quad \theta_m = \frac{4}{160}x360^\circ = 9^\circ$$

$$AT_d / pole = ZIx\frac{\theta_m}{360} = 1{,}280x25x\frac{9}{360} = 800\ AT$$

$$AT_c / pole = ZI\left[\frac{1}{2P} - \frac{\theta_m}{360}\right]$$

$$= 1{,}280x25x\left[\frac{1}{2x8} - \frac{9}{360}\right]$$

$$= 1{,}200\ AT$$

ข้อสังเกต จำนวนขดลวด = *160* จำนวนตัวนำ = *1,280* ดังนั้น ในแต่ละคอยล์ไซต์จึงประกอบด้วยจำนวนตัวนำ = *1,280 / 160 = 8* ตัว

<u>ตัวอย่างที่ **3.3**</u> เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบชั้นท์ขนาด *100KW , 500V 6 Pole* พันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแลพมีตัวนำ *600*ตัว ถ้าแปรงถ่านถูกเลื่อนไป 10° จงหาดีแมกเนไตคลอสแมกเนไตซิ่ง แอมแปร์-เทินส์ต่อขั้ว ขดลวดชั้นท์ฟิลด์มีความต้านทาน *50* โอห์ม

<u>วิธีทำ</u>

กระแสเอาท์พุทหรือกระแสโหลด $= \frac{100,000}{500} = 200A$

$I_{sh} = \frac{500}{50} = 10A$

$I_a = 200+10 = 210A$

กระแสในแต่ละตัวนำบนอาร์เมเจอร์

$I = \frac{I_a}{P} = \frac{210}{6} = 35A$

$Z = 600 \quad , \quad \theta m = 10^\circ$

$AT_d / pole = ZIx\frac{\theta_m}{360}$

$= 600x35x\frac{10}{360}$

$= 583\ AT$

$AT_c / pole = ZI\left[\frac{1}{2P} - \frac{\theta_m}{360}\right]$

$= 600x35\left[\frac{1}{2x6} - \frac{10}{360}\right]$

$= 1,167\ AT$

<u>ตัวอย่างที่ **3.4**</u> เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบ *4* ขั้ว จ่ายกระแส *143A* มีลวดตัวนำบนอาร์เมเจอร์ *492* ตัว และพันขดลวดอาร์เมเจอร์ ก.แบบเวฟ ข. แบบเลพ เมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัดแปรงถ่านไป 10° จงคำนวณหาค่าดีแมกเนไตซิ่ง แอมแปร์-เทินส์ต่อขั้ว ถ้าขดลวดชั้นท์ฟิลด์มีกระแสไหลผ่าน *10A* จงหาจำนวนรอบพิเศษของชั้นท์ฟิลด์เพื่อหักล้างกับค่าดีแมกเนไตซิ่ง แอมแปร์-เทินส์

<u>วิธีทำ</u>

$Z = 492 \quad , \quad \theta = 10^\circ$

$AT_d / pole = ZIx\frac{\theta_m}{360}$

$I_a = 143+10 = 153A$

$I = \frac{I_a}{2} = \frac{153}{2}$ เมื่อพันแบบเวฟ

$I = \frac{I_a}{P} = \frac{153}{4}$ เมื่อพันแบบแลพ

ก) $\therefore \quad AT_d / pole = 492x\frac{153}{2}x\frac{10}{360} = 1046\ AT$

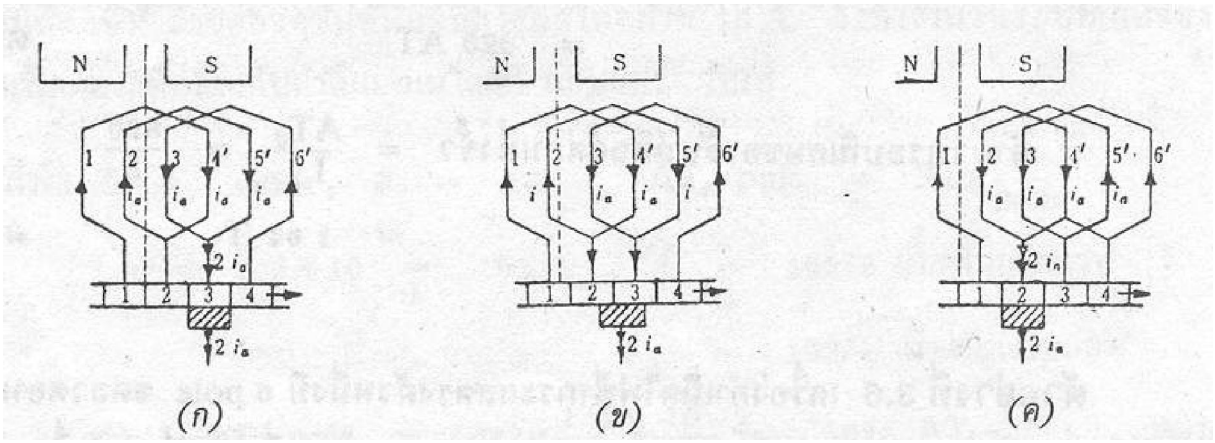
จำนวนรอบพิเศษของชั้นท์ฟิลด์ $= \frac{1046}{10} \approx 105T$

ข) $\therefore \quad AT_d / pole = 492x\frac{153}{4}x\frac{10}{360} = 523\ AT$

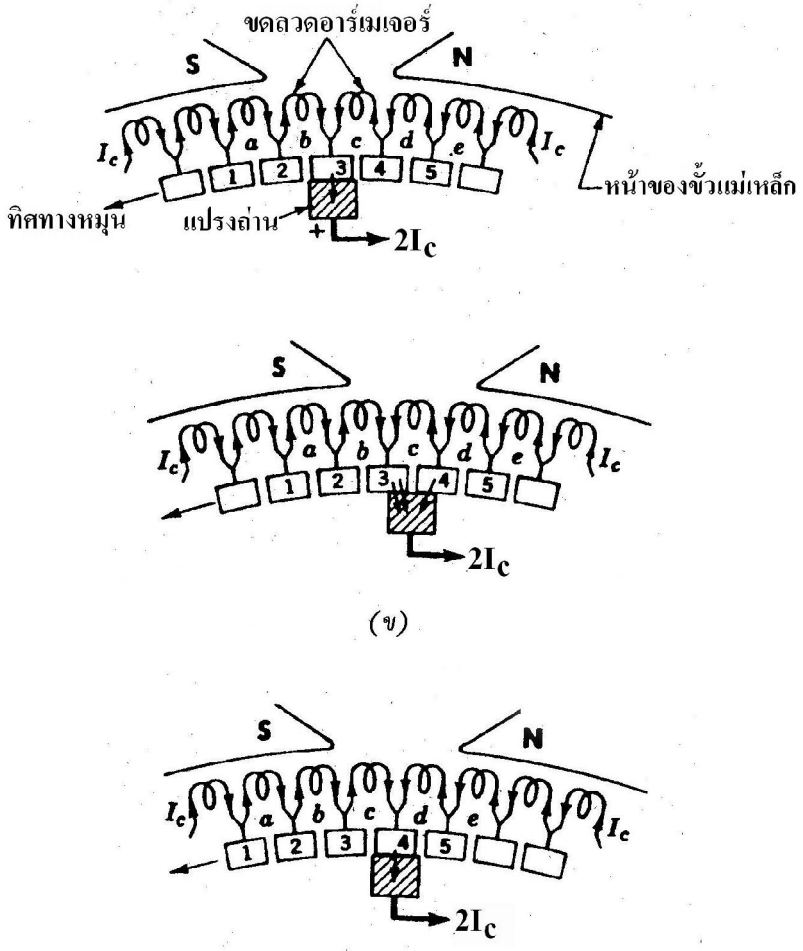
จำนวนรอบพิเศษของชั้นท์ฟิลด์ $= \frac{523}{10} \approx 52T$

3.5 คอมมิวเตชั่น ***(Commutation)***

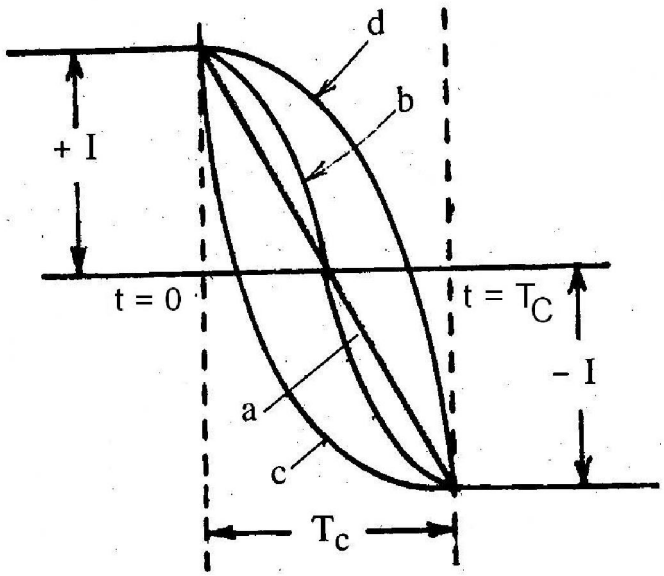
แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในลวดตัวนำของขดลวดอาร์เมเจอร์ที่อยู่ใต้ขั้วเหนือและขั้วใต้จะต้องมีทิศทางตรงข้ามกัน และในตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างขั้วเหนือและขั้วใต้ซึ่งเป็นตำแหน่งแนวแกนของแปรงถ่าน *(Brush axis)* จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นศูนย์ นั่นคือ เมื่อขดลวดอาร์เมเจอร์หมุนไปกระแสในลวดตัวนำดังกล่าวจะมีทิศทางเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา แต่เมื่อไหลผ่านคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านจะได้ไฟฟ้ากระแสตรงไหลในทิศทางเดียวเท่านั้น ถ้าพิจารณาเฉพาะขดลวด *2-5'* ในรูปที่ *3-10* ก. ซึ่งเป็นตำแหน่งที่แปรงถ่านสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ซี่ที่ *3* เพียงซี่เดียวกระแสในขดลวด *2-5'* ขณะนี้จะไหลอยู่ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา กระแสที่ไหลคือ i_a เมื่ออาร์เมเจอร์หมุนต่อไปอีกทำให้แปรงถ่านสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ซี่ที่ *2* และ *3* พร้อมกัน ดังรูปที่ *3-10* ข. ขดลวด *2-5'* จะอยู่ในสภาพลัดวงจร โดยมี *i* คือกระแสลัดวงจร เมื่ออาร์เมเจอร์หมุนต่อไปถึงตำแหน่งที่แปรงถ่านสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ซี่ที่ *2* เพียงซี่เดียว กระแสในขดลวด *2-5'* ขณะนี้จะไหลในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา กระแสที่ไหลคือ *ia* การที่กระแสในขดลวด *2-5'* มีทิศทางเปลี่ยนแปลงจาก $+i_a$ ไปเป็น $-i_a$ ในช่วงเวลาที่ขดลวดเคลื่อนที่ผ่านแปรงถ่านนี้ เรียกว่า *"คอมมิวเตชั่น" (commutation)* การกลับทิศทางการไหลของกระแสในขณะที่ขดลวดอาร์เมเจอร์เคลื่อนที่ผ่านแปรงถ่าน *(brush axis)* ซึ่งทำให้เกิดการลัดวงจรในขดลวด *2-5'* ดังรูปที่ *3-10* ข. เรียกว่าช่วงเวลาของการคอมมิวเตชั่น (T_c)



รูปที่ 3-10 ก.ขดลวด 2-5' เริ่มเข้าสู่สภาพคอมมิวเตชั่น ข. ขดลวด 2-5' อยู่ในสภาพลัดวงจร เรียกว่าช่วงเวลาของการคอมมิวเตชั่น ค. ขดลวด 2-5' เสร็จสิ้นการคอมมิวเตชั่น



ถ้าพิจารณารูปที่ *3-10* ซึ่งเป็นช่วงเวลาของการคอมมิวเตชั่น ค่าอินดัคแตนซ์ *(inductance) L* ในขดลวดจะพยายามต่อต้าน *(*ขัดขวาง*)* การเปลี่ยนแปลงของกระแสในขดลวด *2-5'* กระแสในขดลวดดังกล่าวจึงไม่สามารถกลับทิศทางการไหลได้ทั้งหมดในช่วงเวลา T_c ในตำแหน่งที่คอมมิวเตเตอร์ซี่ที่ *3* เคลื่อนตัวพ้นจากแปรงถ่าน ดังรูปที่ *3-10* ค. กรณีที่กระแสในขดลวดยังมีค่าไม่ถึง $-i_a$ นั้น เนื่องจากกระแสที่ตำแหน่งนี้ต้องมีค่า $-i_a$ เสมอ นั่นคือในตำแหน่งดังกล่าวจะเกิด *self induced e.m.f.* หรือรีแอคแตนซ์โวลท์เตจ *(reactance voltage)* $= -L\frac{di}{dt}$ ขึ้นในจังหวะที่ขดลวดเปิดวงจรด้วยค่าที่สูงมาก จึงเกิดประกายไฟ *(spark)* ขึ้นระหว่างแปรงถ่านกับคอมมิวเตเตอร์ซี่ที่ *3* ที่เริ่มแยกตัวออกจากกัน การเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรซึ่งเกิดขึ้นในขดลวดในช่วงเวลาของการคอมมิวเตชั่นแสดงด้วยเส้นกราฟในรูปที่ *3-11*



รูปที่ 3-11 เส้นกราฟในช่วงเวลาของการคอมมิวเตชั่น

ในรูปที่ *3-11* เส้นกราฟ *a* แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรเป็นเส้นตรงเรียกว่า คอมมิวเตชั่นในอุดมคติ *(Ideal commutation)* ซึ่งถือว่าไม่มีประกายไฟเกิดขึ้นเส้นกราฟ *b* ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของกระแสในช่วงแรกและช่วงสุดท้ายของการคอมมิวเตชั่น ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าการคอมมิวเตชั่นที่ไร้ประกายไฟ *(Sinusoidal commutation)* เส้นกราฟ *c* เป็นกรณีที่กระแสเปลี่ยนแปลงเร็วเกินไป เรียกว่า *"*โอเวอร์ คอมมิวเตชั่น*" Over commutation)* ส่วนเส้นกราฟ *d* นั้นจะกลับกันคือกระแสเปลี่ยนแปลงช้าเกินไปเรียกว่า *"*อันเดอร์ คอมมิวเตชั่น*" (Under commutation)* เนื่องจากกระแสเปลี่ยนแปลงมากในช่วงแรกของโอเวอร์ คอมมิวเตชั่น และช่วงท้ายของอันเดอร์ คอมมิวเตชั่น ประกายไฟจึงเกิดได้ง่ายที่ด้านแปรงถ่านเลื่อนเข้ากรณีโอเวอร์คอมมิวเตชั่น และที่ด้านแปรงถ่านเลื่อนออกกรณีอันเดอร์คอมมิวเตชั่น

3.5.1 ช่วงเวลาของคอมมิวเตชั่น (Time of commutation)

ให้ Wb = ความกว้างของแปรงถ่าน เป็น ซม.

Wm = ความหนาของฉนวนไมก้า เป็น ซม.

v = ความเร็วตามเส้นรอบวงของคอมมิวเตเตอร์ เป็น ซม./วินาที

T_c = ช่วงเวลาของคอมมิวเตชั่นหรือลัดวงจร เป็น วินาที

$$T_c = \frac{Wb - Wm}{v}$$

ข้อสังเกต ถ้ากำหนดความกว้างของแปรงถ่านในรูปของซี่คอมมิวเตเตอร์ ต้องเปลี่ยนความเร็วตามเส้นรอบวงของคอมมิวเตเตอร์ให้อยู่ในรูปของซี่คอมมิวเตเตอร์ต่อวินาทีด้วย

ช่วงเวลาของคอมมิวเตชั่น คือช่วงเวลาซึ่งนับตั้งแต่แปรงถ่านทำให้ขดลวดในอาร์เมเจอร์เริ่มลัดวงจรจนกระทั่งขดลวดนั้นเริ่มเปิดวงจรออก ปกติจะใช้เวลาน้อยมากประมาณ *0.5-2* มิลลิวินาที

3.5.2 ค่าของรีแอคแตนซ์โวลท์เตจ (Value of reactance voltage)

ถ้า I = กระแสที่ไหลผ่านลวดตัวนำ ดังนั้นกระแสที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างช่วงเวลาของการคอมมิวเตชั่น คือ $= I-(-I) = 2I$

∴Self induced e.m.f. หรือรีแอคแตนซ์โวลท์เตจ *(reactance voltage) (E)*

รีแอคแตนซ์โวลท์เตจ	$= Lx\frac{2I}{T_c}$	ถ้าคอมมิเตชั่นเป็นเชิงเส้น *(linear commutation)*
รีแอคแตนซ์โวลท์เตจ	$= 1.11Lx\frac{2I}{T_c}$	ถ้าคอมมิวเตชั่นเป็นรูปคลื่นไซน์*(sinusoidal commutation)*

<u>ตัวอย่างที่ ***3.7***</u> อาร์เมเจอร์ของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงตัวหนึ่ง หมุนด้วยความเร็ว *800* รอบต่อนาที มีคอมมิวเตเตอร์ *123* ซี่ แปรงถ่านแต่ละอันหนาเท่ากับ *3* ซี่คอมมิวเตเตอร์ จงหาช่วงเวลาที่อาร์เมเจอร์ถูกลัดวงจร

<u>วิธีทำ</u> โจทย์ไม่ได้กำหนดความหนาของฉนวนไมก้า ดังนั้นจึงไม่นำมาคิด

จากสูตร $T_c = \frac{Wb - Wm}{v}$

$Wb = 3$ ซี่คอมมิวเตเตอร์ , $Wm = 0$

v = ความเร็วตามเส้นรอบวงของคอมมิวเตเตอร์ เป็น ซม./วินาที

$= \left(\frac{800}{60}\right) x123$ ซี่ / วินาที

∴ช่วงเวลาที่ขดลวดถูกลัดวงจร

$$T_c = \frac{3-0}{\frac{800x123}{60}} = \frac{3x60}{800x123}$$

$$= 0.00183 \text{ วินาที}$$

$$= 1.83 \text{ มิลิวินาที } (mS)$$

<u>ตัวอย่างที่ **3.8**</u> เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงตัวหนึ่งมี 3 ขั้วอาร์เมเจอร์พันแวฟหมุนด้วนความเร็ว 1,500 รอบต่อนาที คอมมิวเตเตอร์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 ซม. ถ้ากระแสอาร์เมเจอร์เป็น 150 แอมแปร์ แปรงถ่าน 1.25 ซม. ขดลวดแต่ละขดบนอาร์เมเจอร์มีค่า *self inductance* 0.07 มิลลิเฮนรี่ จงหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในขดลวดแต่ละขดระหว่างเกิดคอมมิวเตชั่น สมมติให้เป็นคอมมิวเตชั่นแบบเชิงเส้น *(linear commutation)*

<u>วิธีทำ</u> จากสูตร $E = Lx\frac{2I}{T_c}$

เมื่อ $L = 0.07x10^{-3}$ เฮนรี่

I = กระแสในแต่ละตัวนำ

$$= \frac{I_a}{2} = \frac{150}{2} = 75 \text{ แอมแปร์}$$

$Wb = 1.25$ ซม.

$Wm = 0$

$$v = \frac{\pi xdx1500}{60} = \frac{\pi x30x1500}{60} \text{ ซม./วินาที}$$

$$\therefore T_c = \frac{Wb-Wm}{v}$$

$$= \frac{(1.25-0)}{\frac{\pi x30x1500}{60}} = \frac{1.25x60}{\pi x30x1500} \text{ วินาที}$$

$$E = Lx\frac{2I}{T_c}$$

$$= 0.07x10^{-3}x\frac{2x75}{\frac{1.25x60}{\pi x30x1500}}$$

$$= 0.07x10^{-3}x\frac{2x75x\pi x30x1500}{1.25x60}$$

$$= 19.8 \text{ โวลท์}$$

<u>ตัวอย่างที่ **3.9**</u> อาร์เมเจอร์ของเครื่องกลไฟฟ้าแบบ *4* ขั้ว พันขดลวดแบบแลพหมุนด้วยความเร็ว *1,500* รอบต่อนาที จ่ายกระแส *150* แอมแปร์ มีคอมมิวเตเตอร์ *64* ซี่ แรงถ่านมีความหนา *1.2* ซี่คอมมิวเตเตอร์ ขดลวดแต่ละขดมีค่าอินดัคแตนซ์ *0.05* มิลลิเฮนรี่ จงคำนวณหาค่ารีแอคแตนซ์โวลท์เตจ ถ้า ก) เป็นคอมมิวเตชั่นแบบเชิงเส้น *(linear commutation)* ข) เป็นคอมมิวเตชั่นแบบรูปคลื่นไซน์ *(sinusoidal commutation)*

<u>วิธีทำ</u> จากสูตร $E = Lx\frac{2I}{T_c}$

เมื่อ $L = 0.05x10^{-3}$ เฮนรี่

$Wb = 1.2$ ซี่คอมมิวเตเตอร์

$v = \frac{1500}{60}x64$ ซี่./วินาที

$\therefore T_c = \frac{Wb-Wm}{v}$

$= \frac{(1.25-0)}{\frac{1500x64}{60}} = \frac{1.25x60}{1500x64}$ วินาที

$I = \frac{I_a}{P} = \frac{150}{4}$ แอมแปร์

จาก $E = Lx\frac{2I}{T_c}$ *(linear commutation)*

$= 0.05x10^{-3}x\frac{2x\frac{150}{4}}{\frac{1.2x60}{1500x64}}$

$= 5$ โวลท์

$E = 1.11Lx\frac{2I}{T_c}$ *(sinusoidal commutation)*

$= 1.11x0.05x10^{-3}x\frac{2x\frac{150}{4}}{\frac{1.2x60}{1500x64}}$

$= 5.55$ โวลท์

3.5.3 การลดประกายไฟที่เกิดจากคอมมิวเตชั่น (Methods of improving commutation)

เมื่อโหลดเพิ่มขึ้น กระแสอาร์เมเจอร์จะเพิ่มขึ้นตาม ทำให้ค่าของรีแอคแตนซ์โวลท์เตจ *(reactance voltage)* เพิ่มขึ้นด้วย เป็นสาเหตุให้เกิดประกายไฟมากขึ้น แปรงถ่านและซี่คอมมิวเตเตอร์จะมีความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นจนกระทั่งชำรุดเสียหายได้ จึงจำเป็นจะต้องลดประกายไฟให้น้อยลงโดยวิธีดังต่อไปนี้

ก. การคอมมิวเตชั่นด้วยความต้านทาน (Resistance commutation)

โดยการเพิ่มความต้านทานในวงจรของขดลวดที่ลัดวงจร เพื่อลดกระแสลัดวงจรให้น้อยลง วิธีนี้ทำได้โดยใช้แปรงถ่านที่หน้าสัมผัสมาก เช่น แปรงถ่านคาร์บอนและแปรงถ่านแกรไฟท์ เป็นต้น และถ้ามีแรงดันตกคร่อมที่หน้าสัมผัสระหว่างแปรงถ่านกับคอมมิวเตเตอร์มากพอจะทำให้เส้นกราฟในช่วงมากกับเครื่องกลไฟฟ้าขนาดเล็กทั่วๆ ไป

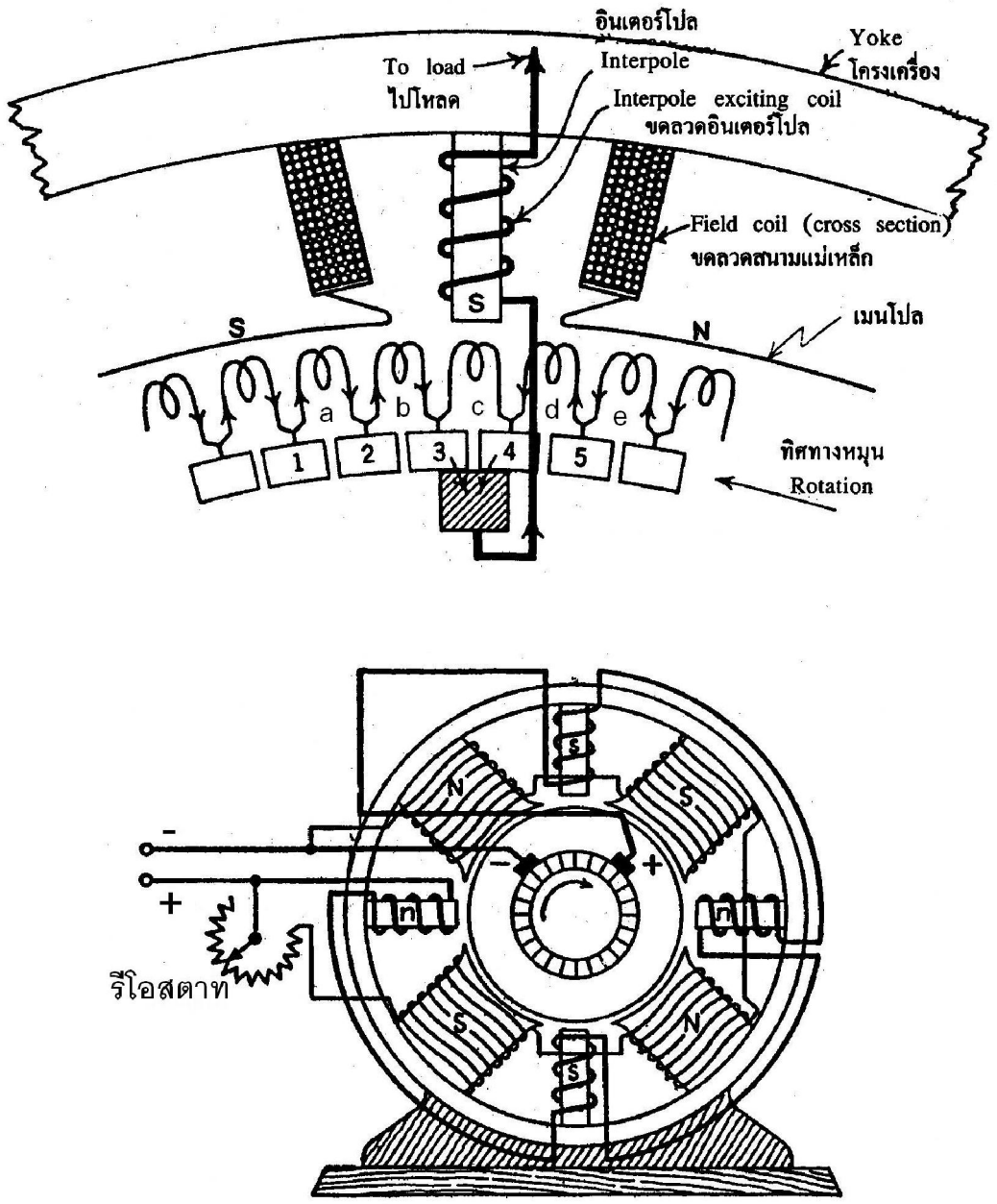
ข. การคอมมิวเตชั่นด้วยแรงเคลื่อนไฟฟ้า (E.M.F. commutation)

โดยการทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าจำนวนหนึ่งขึ้นในขดลวด ในช่วงเวลาของการคอมมิวเตชั่น ซึ่งแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้จะต้องมีขนาดเท่ากับ และมีทิศทางตรงข้ามกับรีแอคแตนซ์โวลท์เตจที่เกิดจากคอมมิวเตชั่น ซึ่งทำได้โดยการเลื่อนตำแหน่งแปรงถ่านไปในทิศทางการหมุนของอาร์เมเจอร์ *(ถ้าเป็นมอเตอร์ให้เลื่อนไปทิศทางตรงกันข้ามกับการหมุนของอาร์เมเจอร์)* หรือโดยการใช้อินเตอร์โปล

ถ้าเลื่อนแปรงถ่านไปในทิศทางการหมุน จนกระทั่งขดลวดที่ลัดวงจรซึ่งอยู่ภายใต้การคอมมิวเตชั่นนั้น ตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กได้บ้างเล็กน้อย ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นและมีค่าเพียงพอที่จะทำให้ผลของรีแอคแตนซ์โวลท์เตจหมดไปและกระแสลัดวงจรในขดลวดลดลงเป็นศูนย์ เส้นแรงแม่เหล็กที่ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพื่อทำให้รีแอคแตนซีโวลท์เตจหมดไปนั้น เรียกว่า *"คอมมิวเตติง ฟลักซ์" (commutating flux)* การลดประกายไฟด้วยวิธีนี้ใช้ได้เฉพาะโหลดคงที่เท่านั้น ถ้าโหลดเปลี่ยนแปลงจะทำให้มุมที่แปรงถ่านเลื่อนไปเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

3.5.4 อินเตอร์โปลหรือคอมโปล (Interpoles or compoles)

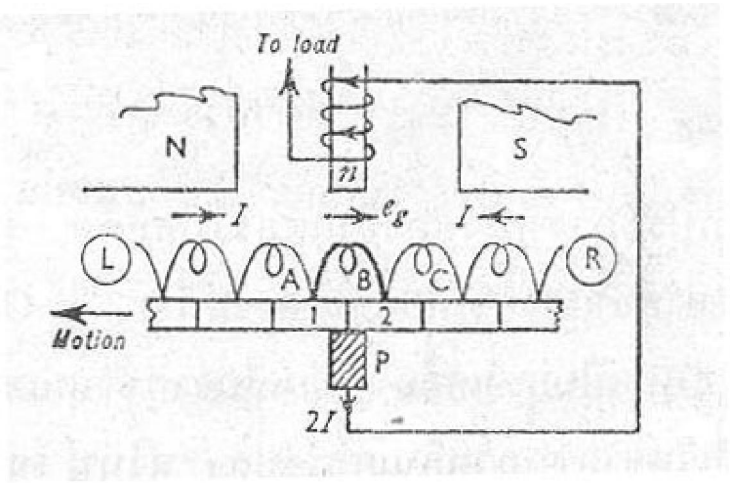
อินเตอร์โปลเป็นขั้วแม่เหล็กๆ ที่อยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กหลัก *(main poles)* ขดลวดที่พันรอบขั้วอินเตอร์โปลเป็นลวดทองแดงเส้นใหญ่ และต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ดังรูปที่ *3-12*



รูปที่ 3-12 การต่อวงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบชั้นท์กับขดลวดอินเตอร์โปล

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า เมื่อเกิดอาร์เมเจอร์รีแอคชั่น แนวแกนนิวตรัล *(neutral plane)* จะเลื่อนไปในทิศทางการหมุนของอาร์เมเจอร์ ขนาดของมุมที่แปรงถ่านเลื่อนไปขึ้นอยู่กับกระแสโหลด ดังนั้นเมื่อโหลดเปลี่ยนแปลงจึงต้องเลื่อนตำแหน่งแปรงถ่านทุกครั้ง ซึ่งไม่สะดวกในทางปฏิบัติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อ

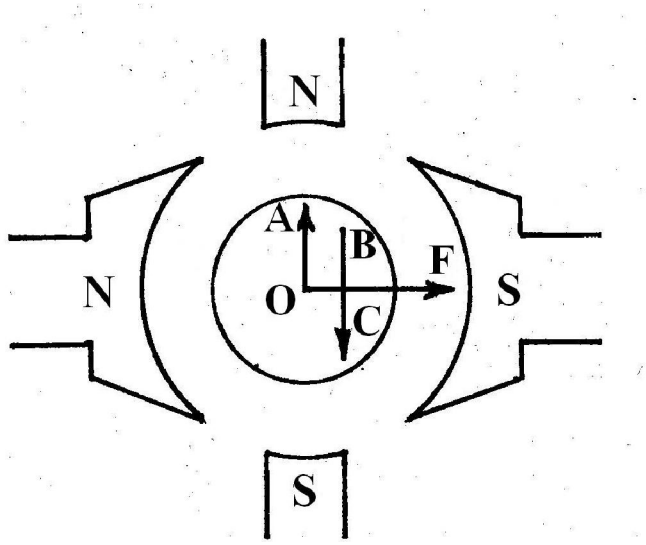
มุมที่แปรงถ่านเลื่อนไปมีขนาดเพิ่มขึ้น ค่าของดีแมกเนไตซิ่ง แอมแปร์-เทินส์ *(demagnetizing ampere-turns)* ซึ่งสร้างเส้นแรงแม่เหล็กต่อต้านกับเส้นแรงแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กหลัก จะมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้เส้นแรงแม่เหล็กลดลงเป็นผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วลดลง จากข้อเสียดังกล่าวจึงนิยมใช้อินเตอร์โปลแทนการเลื่อนตำแหน่งแปรงถ่าน โดยติดตั้งไว้กึ่งกลางระหว่างขั้วแม่เหล็กหลัก และอยู่เหนือขดลวดอาร์เมเจอร์ที่ถูกลัดวงจรพอดี ดังรูปที่ *3-13* กระแสที่ไหลผ่านขดลวดอินเตอร์โปลจะเป็นกระแสจากขดลวดอาร์เมเจอร์ ขั้วแม่เหล็กของอินเตอร์โปลจะต้องมีขั้วเหมือนกับขั้วแม่เหล็กหลัก *(main pole)* ตามทิศทางการหมุน



รูปที่ 3-13 ขดลวดอินเตอร์โปลและกระแสกระตุ้น (excitation)

หน้าที่หลักของอินเตอร์โปล มี *2* ประการ คือ

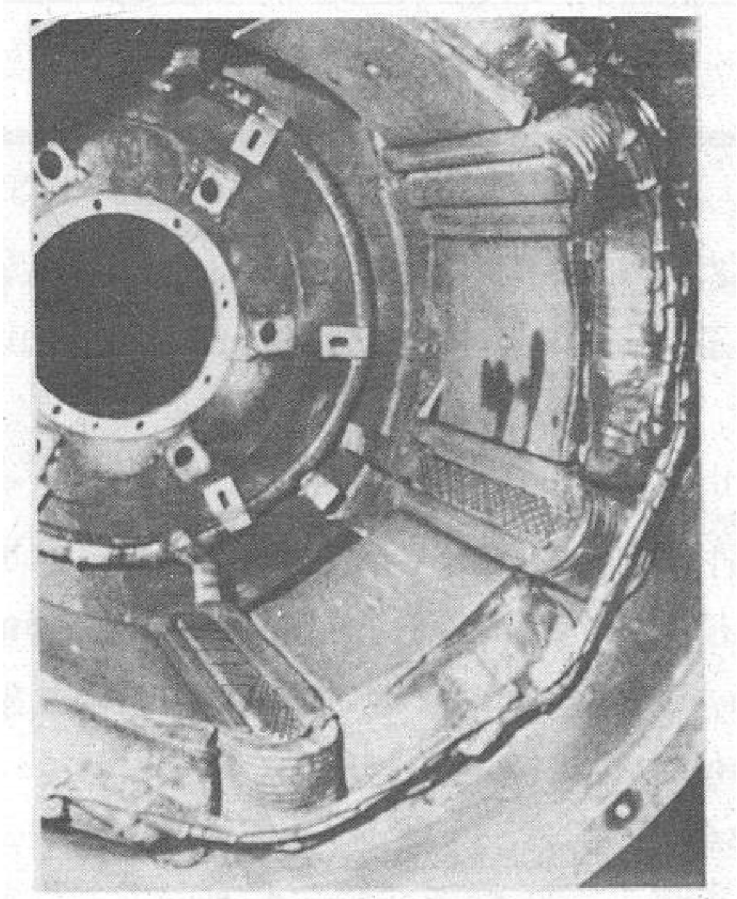
ก*)* ลดประกายไฟที่เกิดจากคอมมิวเตชั่น โดยขดลวดที่ถูกลัดวงจรเมื่อเคลื่อนที่ตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กของอินเตอร์โปลจะสร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้น เรียกว่า *“*คอมมิวเตติ้ง อี.เอ็ม.เอฟ. *“ (commutating e.m.f.)* มีขนาดและทิศทางตรงข้ามกับ *“*รีแอคแตนซ์ อี.เอ็ม.เอฟ.*” (reactance e.m.f.)* ทำให้ประกายไฟหมดไป การใส่อินเตอร์โปลในเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง ทำให้เครื่องสามารถจ่ายโหลดได้สูงกว่าพิกัด *(over load)* ขึ้นไปอีก *20-30%* โดยไม่ต้องเลื่อนตำแหน่งแปรงถ่าน ในอดีตเทคนิคการออกแบบอินเตอร์โปลยังไม่ก้าวหน้า จึงต้องอาศัยการเลื่อนตำแหน่งแปรงถ่าน แต่ในปัจจุบันเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงทุกเครื่อง *(*ยกเว้นเครื่องขนาดเล็กมาก*)* ต้องมีอินเตอร์โปลติดตั้งไว้เสมอการนำกระแสจากอาร์เมเจอร์มากระตุ้นขดลวดอินเตอร์โปลเพื่อต้องการให้ได้คอมมิวเตติ้ง อี.เอ็ม.เอฟ. เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสอาร์เมเจอร์ ทำให้มั่นใจว่าการทำให้ค่ารีแอคแตนซ์โวลท์เตจหมดไปเป็นไปโดยอัตโนมัติ



รูปที่ *3-14* ทิศทางของแรงเคลื่อนแม่เหล็ก *BC* ที่เกิดจากขดลวดอินเตอร์โปล

ข) การลดคลอสแมกไนเตซิ่งแอมแปร์-เทินส์ที่เกิดจากอาร์เมเจอร์แอคชั่น ดังรูปที่ *3-14 OA* เป็นแรงเคลื่อนแม่เหล็กคลอสแมกเนไตซิ่ง *OF* เป็นแรงเคลื่อนแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กหลัก ส่วน *BC* เป็นแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดอินเตอร์โปล ดังนั้นจึงทำให้เส้นแรงแม่เหล็กของคลอสแมกเนไตซิ่งแอมแปร์-เทินส์หมดไปโดยอัตโนมัติ ไม่ว่าโหลดจะเปลี่ยนแปลงไปเท่าใดก็ตาม

เพื่อเน้นให้เห็นความแตกต่างระหว่างขดลวดอินเตอร์โปลกับขดลวดชดเชย *(compensatiog winding)* ซึ่งทั้งสองขดต่างก็ต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ โดยที่แรงเคลื่อนแม่เหล็กของทั้งสองขดต่างก็ช่วยขจัดหรือลบล้างอาร์เมเจอร์รีแอคชั่น แต่อินเตอร์โปลยังช่วยขจัดรีแอคแตนซ์โวลท์เตจที่เกิดจากคอมมิวเตชั่น ส่วนขดลวดชดเชยนั้นจะช่วยขจัดเส้นแรงแม่เหล็กของคลอสแมกเนไตซิ่ง แอมแปร์-เทินส์ที่เกิดจากอาร์เมเจอร์ รีแอคชั่น ที่เปลี่ยนแปลงตามกระแสโหลด สรุปแล้วทั้งสองขดต่างก็ช่วยลดประกายไฟที่เกิดขึ้นระหว่างหน้าสัมผัสของคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านให้หมดไป



รูปที่ *3-15* แสดงขดลวดที่พันรอบอินเตอร์โปลหรือคอมมิวเตติ้งโปล *(commutating poles)* ซึ่งติดตั้งไว้ระหว่างขั้วแม่เหล็กหลัก *(main poles) 6* ขั้วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

แบบฝึกหัดบทที่ 3

1. จงคำนวณหาดีแมกเนไตซิ่ง แอมแปร์-เทินส์ของเครื่องกำเนิด *4* ขั้วขดลวดอาร์เมเจอร์พันแบบแลพ มี *720* รอบ จ่ายกระแส *50* แอมป์ ถ้าแปรงถ่านถูกเลื่อนไป *10* องศาทางกล
   (250 แอมแปร์-เทินส์*)*
2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง *4* ขั้ว ขนาดพิกัด *25kW , 250V* พันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแวพมี *328* ตัวนำ เมื่อเครื่องกำเนิดจ่ายโหลดเต็มพิกัด จงคำนวณหาคลอสแมกเนไตซิ่ง แอมแปร์-เทินส์ต่อขั้ว และดีแมกเนไตซิ่ง แอมแปร์-เทินส์ต่อขั้ว ถ้าแปรงถ่านถูกเลื่อนไป *7.2* องศาทางไฟฟ้า
   (1,886 ม *164)*
3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบชั้นท์ *8* ขั้วเครื่องหนึ่งพันขดลวดอร์เมเจอร์แบบแลพ จ่ายกระแส *240* แอมแปร์ที่แรงดันไฟฟ้า *500* โวลท์อาร์เมเจอร์มีลวดตัวนำ *1,408* ตัว และคอมมิวเตเตอร์ *160* ซี่ ถ้าแปรงถ่านถูกเลื่อนไป *4* ซี่คอมมิวเตเตอร์จากแกนนิวตรัล *(no-load neutral axis)* จงหาค่าโดยประมาณของดีแมกเนไตซิ่ง และคลอสแมกเนไตซิ่ง แอมแปร์-เทินส์ต่อขั้ว
   (1,056 , 1,584)
4. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบชั้นท์ *500V* เครื่องหนึ่ง พันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบเวฟ หมุนด้วยความเร็ว *750 rpm* จ่ายกระแสให้โหลด *195A* มีตัวนำบนอาร์เมเจอร์ *720* ตัว และมีความต้านทานของชั้นท์ฟิลด์ *100Ω* จงหาดีแมกเนไตซิ่ง แอมแปร์-เทินส์ต่อขั้ว ถ้าแปรงถ่านถูกเลื่อนไป *3* ซี่คอมมิวเตเตอร์ และคำนวณหาจำนวนรอบพิเศษของชั้นท์ฟิลด์เพื่อหักล้างกับดีแมกเนไตเซชั่น
   (600 , 4,800 , 120)