หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การเปรียบเทียบหลักการของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบเก่า กับ มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพา

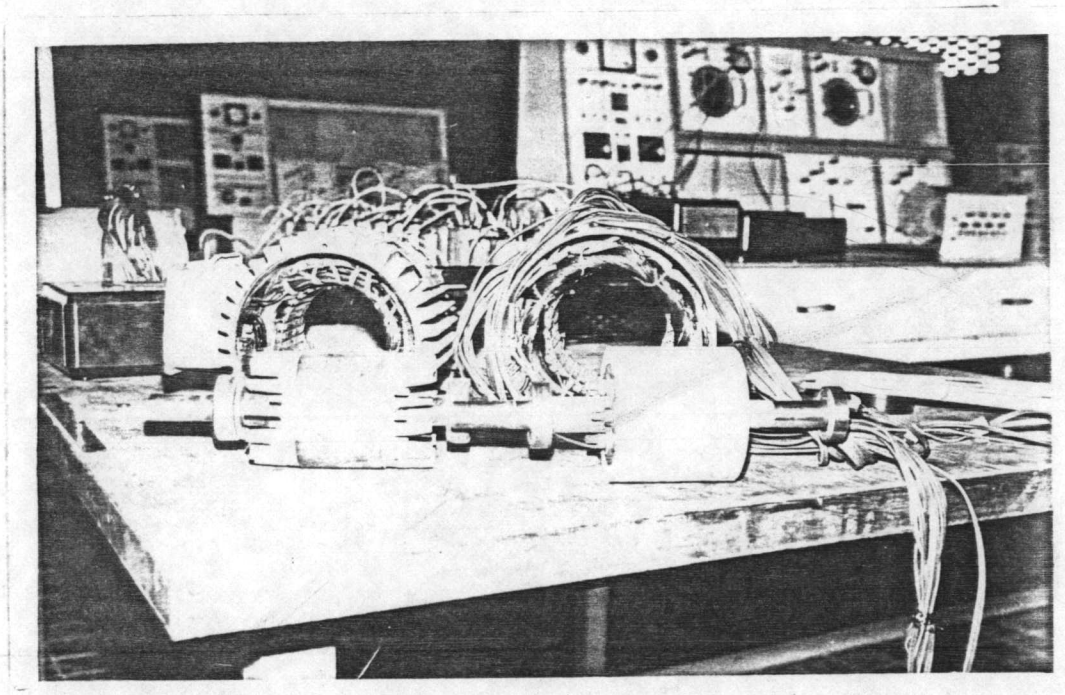
2.1 บทนำ

เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่าง ระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบเก่า กับ มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพา จึงจะพิจารณาเปรียบเทียบถึง โครงสร้าง, การเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในช่องอากาศ, วงจรสมมูลย์ของเครื่อง, การเกิดแรงบิด และการควบคุมความเร็วรอบ โดยจะพิจารณาจากมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบสปริทเฟส ซึ่งมีโรเตอร์เป็นแบบกรงกระรอก เทียบกับ มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพา ในหัวข้อ 2.2 และหัวข้อ 2.3 ดังต่อไปนี้

2.2 การเกิดแรงบิด และวิธีควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบเก่า

โครงสร้างอย่างง่าย ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบเก่านี้ ประกอบ

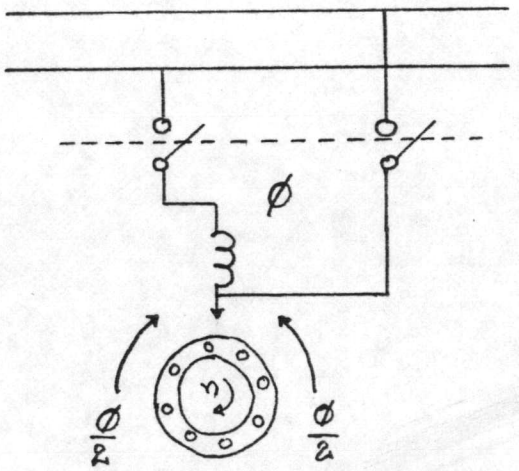
ด้วย สเตเตอร์ ที่มีขดลวดพันอยู่ 2 ชุด คือ ขดลวดสตาร์ท และ ขดลวดหลัก โดยที่ ขดลวดสตาร์ท จะต่อขนานอยู่กับ ขดลวดหลัก เฉพาะขณะเริ่มหมุนเท่านั้น ส่วนโรเตอร์เป็นแบบกรงกระรอก ดังแสดงในภาพประกอบ



ภาพแสดงโรเตอร์แบบกรงกระรอกของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบเก่า (ด้านซ้ายของภาพ)

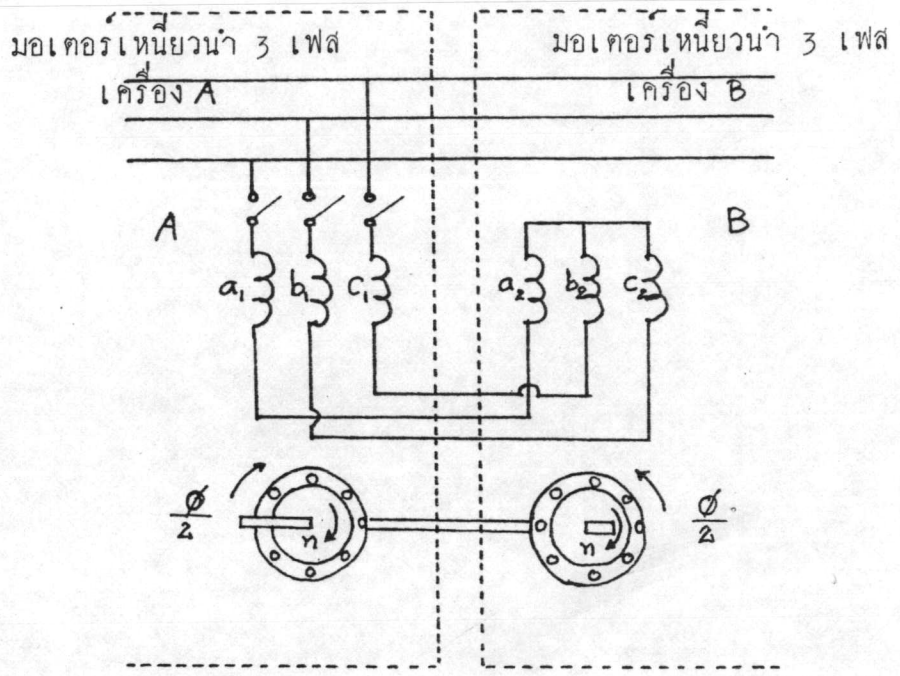
แยกพิจารณาการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบเก่า ได้ 2 ขณะ คือ ในขณะที่มอเตอร์เริ่มหมุน และ ขณะที่หมุนด้วยความเร็วรอบค่าหนึ่ง แต่ก่อนอื่น

จะพิจารณามอเตอร์ฯในขณะเริ่มหมุน โดยที่ขดลวดสตาร์ท ไม่ได้ต่อกับ ขดลวดหลัก แต่ขดลวดหลัก ต่ออยู่กับไฟป้อนเข้าเฟสเดี่ยว ดังรูปที่ 2-1



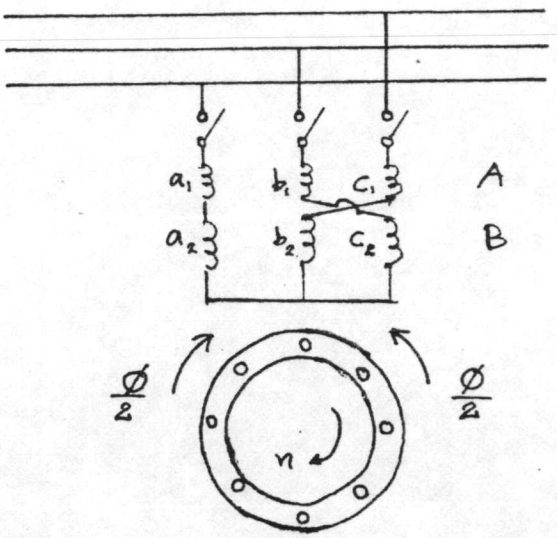
รูปที่ 2-1 แสดงการต่อขดลวดหลักของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบเก่ากับไฟป้อนเข้าเฟสเดี่ยว

กระแสไหลผ่านขดลวดหลัก จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุน 2 สนาม มีความเร็วและขนาดเท่ากัน คือ เท่ากับครึ่งหนึ่งของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้น แต่มีทิศทางการหมุนตรงข้ามกัน[9,11] ดังนั้น จะเห็นได้ว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบเก่า มีลักษณะเทียบเท่าได้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส จำนวน 2 เครื่องที่ต่อแกนหมุนเข้าด้วยกัน และขดลวดในสเตเตอร์ต่ออนุกรมกัน[11] ดังแสดงในรูปที่ 2-2



รูปที่2-2 แสดงการต่อขดลวดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส จำนวน 2 เครื่อง ที่เทียบเท่ากับมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบเก่า จำนวน 1 เครื่อง

สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากขดลวดในสเตเตอร์ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแต่ละเครื่อง จะหมุนในทิศทางตรงกันข้ามกัน และมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่ต่อกันนี้ก็มีลักษณะเทียบเท่าได้กับ มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส จำนวน 1 เครื่อง ที่มีขดลวดในสเตเตอร์ทั้ง 3 เฟสต่ออนุกรมกัน 2 ชุด (11) ดังแสดงในรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 แสดงการต่อขดลวดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส จำนวน 2 ชุด อนุกรมกัน

สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากขดลวดทั้ง 2 ชุด จะมีทิศทางการหมุนตรงข้ามกัน[11] สรุปได้คือ มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยว 1 เครื่อง หรือมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส จำนวน 2เครื่องที่ต่อกัน ตามที่แสดงในรูปที่ 2-2 และรูปที่ 2-3ซึ่งมีลักษณะเทียบเท่ากันก็ตาม สนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนที่เกิดขึ้นทั้ง 2 สนาม จะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลในโรเตอร์ และกระแสในโรเตอร์นี้จะสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนที่มีขนาดเท่ากับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนจากสเตเตอร์ แต่มีทิศทางหมุนตรงข้ามกัน ทำให้แรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้าเป็น ศูนย์ ดังนั้นโรเตอร์จึงหยุดนิ่ง และไม่สามารถเริ่มหมุนได้เอง[11]

ต่อไปจะพิจารณา ในกรณีที่มีแ รงบิดจากภายนอกมากระทำต่อโรเตอร์ จนกระทั่งโรเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบ n ในทิศทางเดินหน้า ซึ่งเป็นทิศทางเดียวกับที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากขดลวด A (ขดลวดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสเครื่อง A) หมุนเดินหน้า ตามที่แสดงในรูปที่ 2-3 และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากขดลวด A จะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลในโรเตอร์ ด้วยความถี่ f_{2A} (11)

$$f_{2A} = p(n_1 - n) = \frac{n_1 - n}{n_1} p n_1 = s f_1 \quad (2\text{-}1)$$

โดยที่ f_{2A} : ความถี่ของกระแสไหลในโรเตอร์ที่สัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนเดินหน้า จากขดลวด A

p : จำนวนขั้วของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบเก่า

n_1 : ความเร็วรอบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนเดินหน้าที่เกิดจากขดลวด A ที่สเตเตอร์

n : ความเร็วรอบของโรเตอร์

s : ค่าสลิพที่สัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนเดินหน้าจากขดลวด A

f_1 : ความถี่ของไฟป้อนเข้า

ขณะเดียวกัน ขดลวดจะสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนถอยหลัง และจะเหนี่ยว

นำให้เกิดกระแสไหลในโรเตอร์ ด้วยความถี่ f_{2B} (11)

$$f_{2B} - p(n_1+n) = p[2n_1-(n_1-n)] = (2-s)f_1 \quad (2-2)$$

โดยที่ f_{2B} : ความถี่ของกระแสไหลในโรเตอร์ ที่ สัมพันธ์กับสนาม

แม่เหล็กไฟฟ้าหมุนถอยหลัง จากขดลวด B

$(2-s)$: ค่าสลิพ ที่ สัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนถอยหลัง

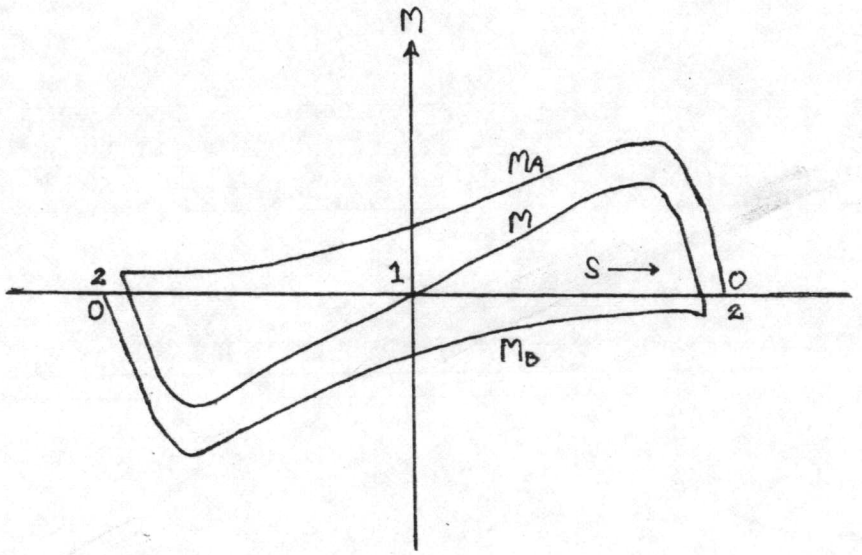
จากขดลวด B

ต่อไป เมื่อกำหนดให้ M_A คือแรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนเดินหน้าจากขดลวด A และมีทิศทางเป็น บวก , ดังนั้น M_B คือแรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนถอยหลังจากขดลวด B และมีทิศทางเป็น ลบ , หรืออาจจะกำหนดให้ M_B เป็นแรงบิดที่จะทำให้โรเตอร์หยุดหมุนก็ได้

เมื่อหาความสัมพันธ์ ระหว่างแรงบิดกับค่าสลิพ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบเก่า ก็จะพบว่ามีลักษณะเหมือนกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ซึ่งเมื่อโรเตอร์หมุนเร็วขึ้น ก็จะทำให้แรงบิดที่มีทิศทางบวก เพิ่มค่าสูงขึ้น และขณะที่โรเตอร์หมุนทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนเดินหน้าจากขดลวด A (กำหนดให้เครื่องจักรทำงานในลักษณะมอเตอร์) นั่นคือ $0<s<1$ จะได้ $1<(2-s)<2$ ซึ่งเมื่อพิจารณาเทียบกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนถอยหลังจากขดลวด B ก็จะเห็นได้ว่า

โรเตอร์อยู่ในสภาวะของการหยุดหมุนด้วยเช่นกัน (11)

ถ้าเราสมมุติให้ แรงบิด m_A (m_B) ซึ่งมีทิศทางเดียวกับทิศทางการหมุนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนหน้า(ถอยหลัง) เป็นค่า บวก(ลบ) , ก็จะสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ของแรงบิด m_A , m_B กับค่าสลิพได้ ตามที่แสดงในรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง แรงบิด กับ ค่าสลิพ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวแบบเก่า

ซึ่งผลรวมแรงบิด $M = M_A + M_B$

และที่ $S - 1$ จะได้ แรงบิดรวม M เป็น ศูนย์

จากที่ศึกษาผ่านมา จะสรุปได้ คือ ถ้าสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำมีขดลวดเฟสเดียว

เพียง 1 ชุดแล้ว โรเตอร์ก็จะไม่สามารถเริ่มหมุนได้เอง ดังนั้น การที่กำหนดให้โรเตอร์มีความเร็วรอบ n ในขณะแรกนั้น จึงเป็นแต่เพียงข้อสมมุติเท่านั้น(11)

ดังนั้น ในการเริ่มเดินเครื่องสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบเก่า จึงต้องใช้อุปกรณ์ช่วยให้เริ่มหมุนก่อน เช่น ใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าช่วยในการเริ่มหมุน หรือ ใช้ขดลวดอีกชุดหนึ่ง วางทำมุม 90 องศาทางไฟฟ้า กับ ขดลวดหลัก ซึ่งเป็นแบบที่เรียกว่า มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยว แบบ สปริทเฟส และใช้วิธีอื่นๆ ฯลฯ

เมื่อโรเตอร์หมุนได้แล้ว จะพบว่า แรงบิด และความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบเก่า มีค่าดังนี้ (11)

006795

$$\text{แรงบิด} = \frac{1}{2\pi n} \cdot \frac{(1-s)}{s(2-s)} \cdot 2I_2''^2 r_2' \qquad (2\text{-}3)$$

$$\text{ความเร็วรอบของโรเตอร์ } n = n_1(1-s) = \frac{120f_1}{P}(1-s) \qquad (2\text{-}4)$$

โดยที่ n_1 : ความเร็วซิงโครนัสของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยว แบบเก่า , รอบ ต่อ นาที

s : ค่าสลิพ

I_2' : กระแสไหลในโรเตอร์ , แอมแปร์

r_2' : ความต้านทานประสิทธิผล ของ โรเตอร์ , โอห์ม

f_1 : ความถี่ของไฟป้อนเข้า , เฮิทซ์

P : จำนวนขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบเก่า

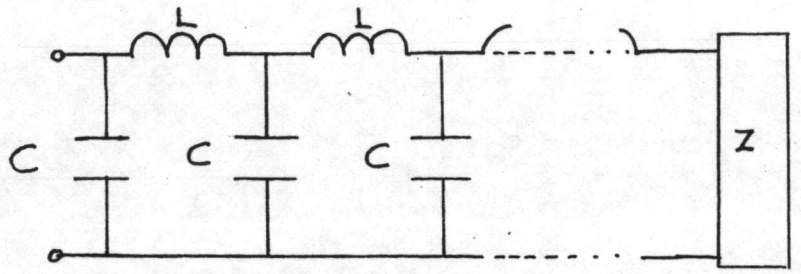
ดังนั้นวิธีควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบเก่า จึงทำได้ โดยการควบคุมเปลี่ยนค่าความถี่ของไฟป้อนเข้า และจำนวนขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าของมอเตอร์ฯ

2.3 <u>การเกิดแรงบิด และวิธีควบคุมความเร็วรอบ ของ มอเตอร์เหนี่ยวนำ เฟสเดี่ยว ชนิดคลื่นพา</u>

โครงสร้างอย่างง่าย ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพานี้ ประกอบด้วย สเตเตอร์ ที่พันไว้ด้วยขดลวดเป็นจำนวนหลายชุด แต่ละชุดต่ออนุกรมกันโดยตลอด และขดลวดแต่ละชุดต่อขนานไว้ด้วย ตัวเก็บประจุไฟฟ้า โดยที่ขดลวดชุดสุดท้าย ต่ออยู่กับ อิพีแดนซ์ที่เหมาะสม Z ทั้งนี้เพื่อให้วงจรปฐมภูมิของมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพา มีลักษณะเดียวกับ วงจรสายส่งไฟฟ้าที่มีการสูญเสียอย่างต่ำ[1] (1,5,7) ตามที่แสดงในรูปที่ 2-5

---

[1] มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพา มีลักษณะวงจรสมมูลย์ของเครื่องประกอบด้วย วงจรปฐมภูมิ (ส่วนของสเตเตอร์)และวงจรทุติยภูมิ (ส่วนของโรเตอร์) ต่อร่วมกัน (ภาคผนวก ค.)

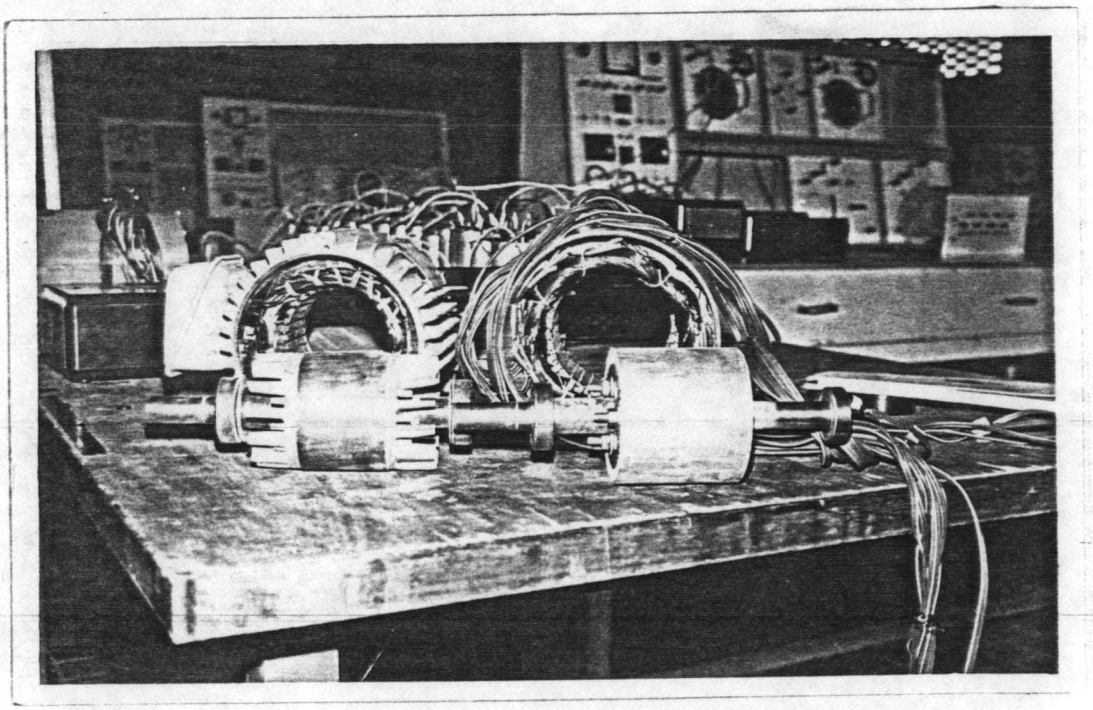


รูปที่ 2-5 แสดงวงจรปฐมภูมิ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยว ชนิดคลื่นพา

จะเห็นได้ว่า วงจรทางไฟฟ้าของมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพา ประกอบด้วย ตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า , ตัวเก็บประจุไฟฟ้า, และ ค่าความต้านทานไฟฟ้าเนื่องจากขดลวดทองแดง ดังนั้น เมื่อป้อนไฟเฟสเดี่ยวให้กับวงจรไฟฟ้านี้ ก็จะทำให้เกิดคลื่นกระแสและแรงดันไฟฟ้า มีลักษณะเป็นคลื่นเคลื่อนที่ไปตามระยะทางบนวงจร ใน 2 ทิศทาง คือ คลื่นเดินหน้า และคลื่นสะท้อนกลับ[10] และเมื่อนำเอาวงจรไฟฟ้าดังกล่าวนี้ มาประกอบเข้ากับ แผ่นตัวนำของสเตเตอร์ ซึ่งเป็นวงจรแม่เหล็กไฟฟ้า ก็จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีลักษณะเป็นคลื่นเคลื่อนที่ไปตามระยะทางของวงจรไฟฟ้าและวงจรแม่เหล็ก (หรือในช่องอากาศ) ใน 2 ทิศทาง คือ คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเดินหน้า และ คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสะท้อนกลับ[1]

ในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพานี้ ได้กำหนดให้วงจรไฟฟ้า

และวงจรแม่เหล็ก ดังกล่าวข้างต้นนี้ คือ วงจรปฐมภูมิของเครื่อง ส่วนโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพา มีลักษณะเดียวกับโรเตอร์แบบแผ่นตัวนำของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบเลื่อนชนิดคลื่นพา [3] ซึ่งทำได้โดยการนำเอาแผ่นตัวนำหุ้มรอบโรเตอร์กรงกระรอกของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบสปริทเฟส และได้ตัดส่วนวงแหวนลัดวงจร ของกรงกระรอก ออกทั้ง 2 ข้าง



ภาพถ่ายแสดงลักษณะเปรียบเทียบ ระหว่าง โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบเก่า กับ โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพาที่ใช้ในการทดสอบ

ซึ่งโรเตอร์ที่มีลักษณะแบบแผ่นตัวนำของมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพานี้ จะช่วยลดการเกิดช่วงค่าของวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพาได้ และช่วยลดการสะท้อนกลับของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าลงด้วย ทำให้วงจรสมมูลย์ของเครื่องมีลักษณะใกล้เคียงกับวงจรสายส่งไฟฟ้ามากขึ้น[1], ต่อไปจะพิจารณาการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคลื่นพา ซึ่งจะเริ่มพิจารณาจากขณะที่โรเตอร์ยังคงอยู่นิ่ง ดังต่อไปนี้

เมื่อป้อนไฟเฟสเดียว ให้กับวงจรปฐมภูมิของมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพา บนสเตเตอร์ ก็จะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ในช่องอากาศ ในลักษณะของคลื่นเดินทาง ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับคลื่นเดินทางของกระแส และแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในสายส่งไฟฟ้า(1) และคลื่นเดินทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้านี้ จะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่โรเตอร์ โดยที่ความหนาแน่นของกระแสในโรเตอร์จะไม่สม่ำเสมอโดยตลอด แต่จะมีค่าแปรตามระยะทางห่างจากจุดที่ป้อนไฟเข้าบนวงจรปฐมภูมิ[2] และกระแสนี้จะสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในลักษณะคลื่นเดินทางขึ้นเช่นกัน แต่เนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากส่วน

---

[1] ในการวิเคราะห์มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคลื่นพา ได้ใช้ทฤษฎีสายส่งไฟฟ้าร่วมกับ การวิเคราะห์แบบแผ่นแผ่กระแสชนิดมิติเดียว และได้แสดงการวิเคราะห์ในภาคผนวก ค.

[2] ดูภาคผนวก ค.

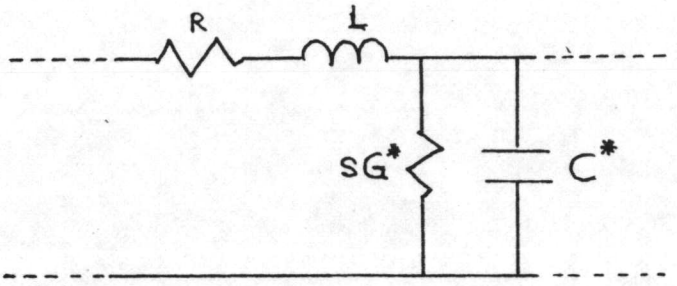
วงจรปฐมภูมิมีลักษณะเป็นคลื่นเดินทางด้วย ดังนั้นในช่องอากาศ จึงเกิดมีคลื่นเดินทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า 2 สนาม แต่มีขนาด และมุมต่างกัน ดังนั้นจึงเกิดผลรวมของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสอง และเกิดแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ทำให้โรเตอร์เริ่มหมุนได้เอง

และในกรณีที่ เริ่มจากการมีแรงบิดจากภายนอกมากระทำต่อโรเตอร์ จนกระทั่งโรเตอร์หมุนไปด้วยความเร็วรอบค่าหนึ่งเมื่อเทียบกับสเตเตอร์เช่นนี้จะทำให้ความหนาแน่นของกระแสที่เกิดในโรเตอร์มีค่าแตกต่างไปจากกรณีที่โรเตอร์เริ่มหมุนได้เอง[1] แต่กระแสที่เกิดนี้ ก็จะสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในลักษณะคลื่นเดินทางขึ้นในทำนองเดียวกัน

เนื่องจากมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพามีวงจรสมมูลย์ของเครื่องลักษณะเดียวกับวงจรสมมูลย์ของสายส่งไฟฟ้า ทำให้สามารถเขียนวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพา ได้ดังรูปที่ 2-6 (12)

---

[1] ความหนาแน่นของกระแสในโรเตอร์ ขณะที่โรเตอร์หยุดนิ่งนั้น เป็นผลเนื่องมาจากถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นเพราะการเปลี่ยนแปลงของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ประการเดียว แต่ความหนาแน่นของกระแสในโรเตอร์ขณะที่โรเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบค่าหนึ่งแล้วนั้น จะเป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าร่วมกับการที่แผ่นตัวนำบนโรเตอร์เคลื่อนที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย



รูปที่ 2-6 แสดงวงจรสมมูลย์ใช้วิเคราะห์มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยว

ชนิดคลื่นพา

เมื่อใช้การเทียบสมการกับทฤษฎีสายส่งไฟฟ้า ร่วมกับ การวิเคราะห์แบบแผ่น แผ่กระแสชนิดมิติเดี่ยว ก็จะได้สมการการเคลื่อนที่ของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าดังนี้ (12)

$$A^2 = (R+j\omega L)(sG^* + j\omega C^*) \qquad (2-5)$$

โดยที่ A : ฟังก์ชั่นการแผ่กระจายคลื่น ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิด

คลื่นพา

R : ค่าความต้านทานของวงจรอนุกรม ต่อ เมตร

L :ความเหนี่ยวนำประสิทธิผลของวงจรอนุกรม ต่อ เมตร

S : สลิพ (นิยามได้เช่นเดียวกับมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยว

แบบเก่า)

G^* : ความนำประสิทธิผล ของ วงจรทุติยภูมิ เมื่อมองจากวงจรปฐมภูมิ ต่อ เมตร

C^* : ความจุไฟฟ้าประสิทธิผล ของวงจรชนาน ต่อ เมตร

จากสมการ (2-5) แสดงฟังก์ชั่นการแผ่กระจายคลื่น A จะเห็นว่า ความเร็วซิงโครนัสของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในช่องอากาศ จะมีค่าไม่คงที่ แต่จะเปลี่ยนแปลงตามค่าสลิพ S ซึ่งเมื่อค่าสลิพเพิ่มขึ้น จะทำให้ความเร็วซิงโครนัสลดลงในระยะต้น (5,12)

เนื่องจากคลื่นเดินทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นเนื่องจากขดลวดบนสเตเตอร์ และ โรเตอร์ มีขนาดและมุมต่างกัน ซึ่งทำให้เกิดแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้าดังที่กล่าวมาแล้ว

จะได้แรงบิด $\tau = R_r w \int_0^l \frac{Real[j_1 b^*]}{2} . dx$

โดยที่ τ : แรงบิด , นิวตัน-เมตร

R_r : รัศมีของโรเตอร์ , เมตร

w : ความกว้างของสเตเตอร์ (คิดเท่ากับความยาวของโรเตอร์) , เมตร

b^* : ค่าสังยุคเชิงซ้อน ของความหนาแน่นของฟลักซ์, เทสลา

j_i : ความหนาแน่นของกระแสในสเตเตอร์, แอมแปร์ ต่อรอบ

l ; ความยาวเส้นรอบวงของสเตเตอร์ , เมตร

และวิธีควบคุมความเร็วรอบของโรเตอร์ ทำได้โดยการควบคุมความสัมพันธ์เฟสของกระแสระหว่างขดลวดแต่ละชุดที่สร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แต่ขดลวดทุกชุดต่ออนุกรมกัน โดยมีตัวเก็บประจุไฟฟ้าต่อขนานตามที่แสดงในรูปที่ 2-5และเมื่อต่อปลายขดลวดชุดสุดท้ายด้วยอิมพีแดนซ์ลักษณะ $Z_o \approx \sqrt{\frac{L}{C}}$ จึงมีลักษณะเป็นสายส่งไฟฟ้าที่มีการสูญเสียอย่างต่ำ ซึ่งพบว่า กระแสที่ไหลในขดลวดแต่ละชุดมีขนาดต่างกัน และมีเฟสแตกต่างกัน โดยที่เฟส $\beta \approx \omega\sqrt{LC}$ [10] ดังนั้นชุดขดลวดที่ต่ออนุกรมกัน จึงเป็นเสมือนกับขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าที่อนุกรมกันด้วย โดยที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าของแต่ละขั้วมีขนาดต่างกันและมีเฟสต่างกัน จึงทำให้เกิดเป็นลักษณะของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความยาวช่วงคลื่น $\frac{2\pi}{\beta}$ หน่วย และมีความเร็ว $U_s \approx 1/\sqrt{LC}$ หน่วยต่อวินาที โดยที่ "หน่วย" คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของขดลวดแต่ละชุด ความเร็วของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ของไฟที่ป้อนเข้ามากนัก [12] และสามารถเปลี่ยนความเร็วได้โดยการเปลี่ยนค่าความเหนี่ยวนำหรือความจุไฟฟ้า [1,3] แต่ในการศึกษาวิจัยนี้ ได้เลือก

วิธีควบคุมความเร็วรอบ โดยการเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้า ในบทที่ 4 ได้แสดงให้ถึงผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าที่ทำให้ความเร็วรอบของโรเตอร์เปลี่ยนแปลง