หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพา เครื่องต้นแบบที่ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อศึกษาวิจัย

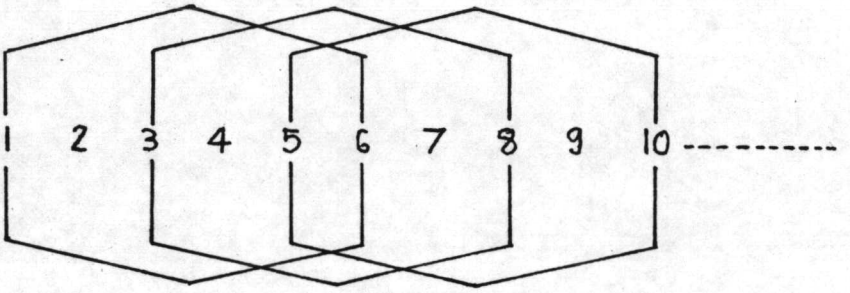
3.1 การเริ่มต้นงานประดิษฐ์เครื่องต้นแบบ

ด้วยเหตุที่ได้กำหนดเป้าหมายที่จะศึกษาวิจัย ถึงความเป็นไปได้ในการควบคุมและปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยว โดยใช้ความรู้จากทฤษฎีสายส่งไฟฟ้า และคลื่นเดินทาง ดังนั้นจึงเริ่มต้นประดิษฐ์มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพา โดยดัดแปลงใช้โครงนอก และโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบสปริทเฟส ซึ่งมีโรเตอร์เป็นแบบกรงกระรอก ขนาด 1/2 แรงม้า แรงดันไฟฟ้า 220 โวลท์ 50 เฮิทซ์

แต่ก่อนที่จะประดิษฐ์เครื่องต้นแบบที่ใช้ทดสอบหาข้อมูลทางวิศวกรรมนี้ ได้ประดิษฐ์เครื่องอื่นๆเพื่อทดสอบมาก่อนแล้ว โดยที่มีการพันขดลวดบนสเตเตอร์ในลักษณะต่างๆกัน 3 แบบ และทุกๆแบบประกอบด้วยขดลวดจำนวน 18 ชุดต่ออนุกรมกัน และขดลวดแต่

ละชุดต่อขนานกับตัวเก็บประจุไฟฟ้า ตามที่แสดงในรูปที่ 1-1 บทที่ 1

โดยที่การพันขดลวดแบบแรกนั้น ได้ออกแบบการพันและวางเรียงซ้อนทับกัน ดังรูปที่ 3-1



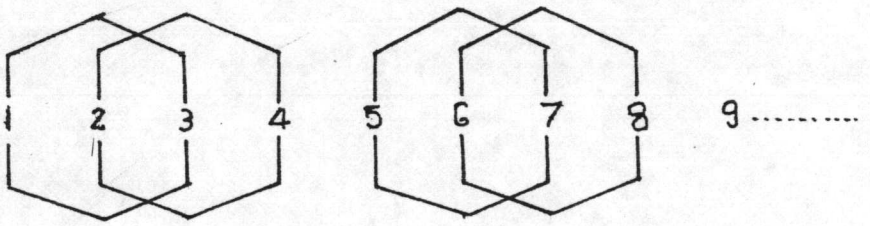
รูปที่ 3-1 แสดงการพันขดลวดเรียงซ้อนทับกันบนสเตเตอร์ของมอเตอร์ฯ

ทดสอบแบบที่ 1

มีขดลวดทั้งหมดจำนวน 18 ชุด และขดลวดแต่ละชุดมีจำนวนรอบ 53 รอบ ส่วนโรเตอร์เป็นแบบกรงกระรอก เช่นเดียวกับโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบสปริทเฟส และจากการทดลองป้อนไฟเฟสเดี่ยวให้กับวงจรปฐมภูมิของมอเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้น พบว่าในขณะเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ฯนั้น แรงบิดที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำ จนกระทั่งโรเตอร์ไม่สามารถเริ่มหมุนได้เอง แต่เมื่อมีแรงบิดจากภายนอกมากระทำต่อโรเตอร์ ก็จะช่วยทำให้หมุนต่อไปได้เอง แต่โรเตอร์ก็มีความเร็วรอบต่ำ และเมื่อลดค่าความจุไฟฟ้าลง ก็ทำให้แรงบิดของมอเตอร์ฯต่ำลง และความเร็วรอบเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าถึง 90 โวลท์ ก็จะทำให้กระแสมากถึง 4 แอมแปร์ไหล

เข้าสู่วงจรปฐมภูมิของมอเตอร์ฯ ซึ่งก็ช่วยทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ฯเพิ่มสูงขึ้น แต่ก็เกิดการสูญเสียในรูปความร้อนในความต้านทานของขดลวดมาก และได้พลังงานกลจากมอเตอร์ต่ำ

เมื่อเป็นเช่นนี้ จึงมุ่งที่จะออกแบบการพันขดลวดใหม่ เพื่อที่จะให้สามารถป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าวงจรปฐมภูมิ ให้มีค่าสูงกว่าเดิม โดยที่กระแสจะไม่สูงขึ้นมาก เช่นแบบแรก ทั้งนี้เพราะแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพามีค่าแปรตามแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้า[1] จึงได้ออกแบบพันขดลวดใหม่ ตามที่แสดงในรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 แสดงการพันขดลวดบนสเตเตอร์ของมอเตอร์ทดสอบแบบที่ 2

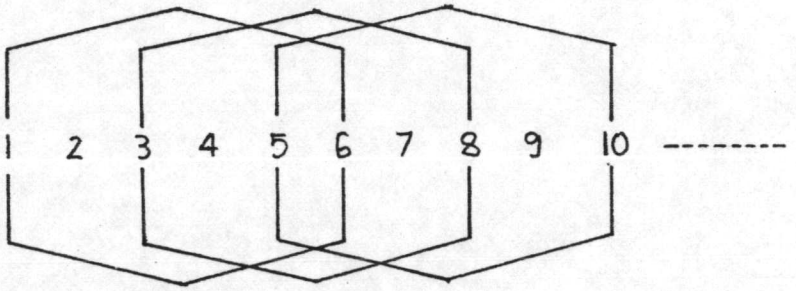
โดยมีขดลวดทั้งหมดจำนวน 18 ชุด ต่ออนุกรมกัน และแต่ละชุดมีจำนวน 80 รอบ เมื่อทำการทดลองโดยป้อนไฟเฟสเดี่ยวให้กับวงจรปฐมภูมิ พบว่าได้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับครั้งแรก และได้พลังงานกลของมอเตอร์ฯต่ำ

ต่อมา จึงได้ออกแบบพันขดลวดบนสเตเตอร์เป็นแบบที่ 3 , วางเรียงซ้อนทับ

---

[1] ภาคผนวก ค.

กัน ตามที่แสดงในรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 แสดงการพันขดลวดเรียงซ้อนกันบนสเตเตอร์

ของมอเตอร์ทดสอบแบบที่ 3

โดยมีขดลวดทั้งหมด จำนวน 18 ชุด ต่ออนุกรมกัน แต่ละชุดมีจำนวนรอบ 110 รอบ และได้ดัดแปลงโรเตอร์ใหม่ โดยใช้แผ่นตัวนำหุ้มรอบโรเตอร์กรงกระรอกของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวแบบสปริทเฟส และตัดส่วนวงแหวนลัดวงจรของกรงกระรอกออกทั้ง 2 ข้าง ทำให้โรเตอร์ใหม่มีลักษณะเป็นโรเตอร์แบบแผ่นตัวนำ

และเมื่อทำการทดลองในลักษณะเดิม ก็พบว่า สามารถเพิ่มแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าได้สูงถึง 180 โวลท์ โดยที่กระแสไหลเข้าสู่วงจรปฐมภูมิมีค่า 3.5 แอมแปร์ และพบว่าความเร็วรอบของมอเตอร์ทดสอบมีค่าสูงขึ้น และเกิดแรงบิดเริ่มแรกมากพอที่ทำให้โรเตอร์เริ่มหมุนได้เอง และเมื่อลดค่าตัวเก็บประจุไฟฟ้าขนานลง ก็ได้ผลความเร็วรอบของมอเตอร์ฯทดสอบเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า มอเตอร์ฯทดสอบมีแรงบิดเพิ่มขึ้น

และได้พลังงานกลเพิ่มขึ้นกว่าเดิม

จากการทดลองทั้ง 3 แบบที่ผ่านมานั้น จึงสรุปผลและตั้งข้อสังเกตุได้ดังนี้

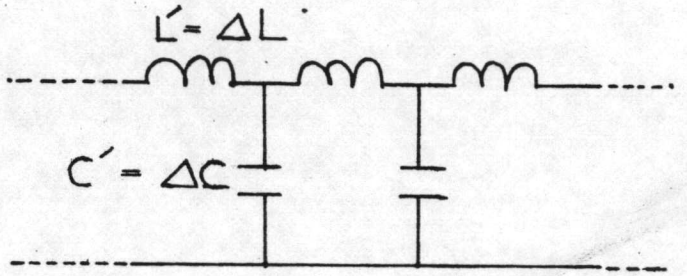
1. ถ้าเพิ่มจำนวนรอบของการพันขดลวดให้มากขึ้น และวางขดลวดเรียงซ้อนทับกันให้มากขึ้น ก็จะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าประสิทธิผลเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้สามารถป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่วงจรปฐมภูมิของมอเตอร์ฯได้สูงขึ้น โดยที่กระแสไหลเข้าสู่วงจรปฐมภูมิจะไม่มากเกินไป และจะมีผลทำให้เกิดแรงบิดเพิ่มสูงขึ้น

2. เนื่องจากวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพา ประกอบด้วยค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า และความจุไฟฟ้า ดังนั้นในการออกแบบจะต้องคำนึงถึง ความถี่ตัดขาด ของวงจรปฐมภูมิด้วย (12) ซึ่งหากมอเตอร์ฯทำงานในช่วงความถี่ตัดขาดแล้ว ก็จะทำให้กำลังงานรีแอกตีฟไหลเข้าสู่วงจรปฐมภูมิของมอเตอร์ฯ ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในรูปความร้อนที่เพิ่มขึ้นในความต้านทานของขดลวดและวงจรแม่เหล็ก แต่เราก็แก้ปัญหาเกี่ยวกับความถี่ตัดขาดของวงจรปฐมภูมิได้ โดยเลือกใช้ค่าความจุไฟฟ้าที่เหมาะสมได้

เมื่อพิจารณาวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพาก็พบว่ามีวงจรสมมูลย์เป็นลักษณะ วงจรกรองผ่านต่ำ ซึ่งเป็นลักษณะเดิมของวงจรสายส่งไฟฟ้า ดังนั้น การออกแบบมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพาจึงจำเป็นต้องออกแบบให้ความ

ถี่ตัดขาดของวงจรปฐมภูมิมีค่าสูงห่างจากความถี่ของไฟป้อนเข้า[12]

ค่าความถี่ตัดขาดของวงจรจะขึ้นอยู่กับค่า ความถี่ตัดขาดของช่วงวงจรหน่วยย่อยของวงจรปฐมภูมินั่นเองซึ่งมีค่าความถี่ตัดขาดเรเดียน, ω_c ของวงจรย่อย ตามที่แสดงในรูปที่ 3-4 (ขณะที่มอเตอร์ฯไร้โหลด) จะเท่ากับ, ω_c [12]



รูปที่ 3-4 แสดงการต่อวงจรของขดลวดและตัวเก็บประจุไฟฟ้าด้านวงจรปฐมภูมิ

$$\omega_c = \frac{2}{\sqrt{L'C'}}$$

หรือ

$$\omega_c = \frac{2}{\Delta\sqrt{LC}} \qquad (3\text{-}1)$$

ดังนั้นความถี่ตัดขาด, F_c ของมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพา ขณะไร้โหลดจะเท่ากับ,[12]

$$F_c = \frac{1}{\Delta\pi}\sqrt{\frac{9}{W T^2 U_o C}} \qquad (3\text{-}2)$$

ซึ่งเขียนในรูปของความเร็วซิงโครนัส, U_s, ขณะไร้โหลดได้เป็น[12]

$$g_c = U_s/\Delta\pi \qquad (3\text{-}3)$$

โดยที่ g : ความห่างประสิทธิผล ของ ช่องอากาศ, เมตร

w : ความกว้าง ของ สเตเตอร์ (คิดเท่ากับความยาว โรเตอร์),เมตร

T : จำนวนรอบ ของ ขดลวด, รอบ

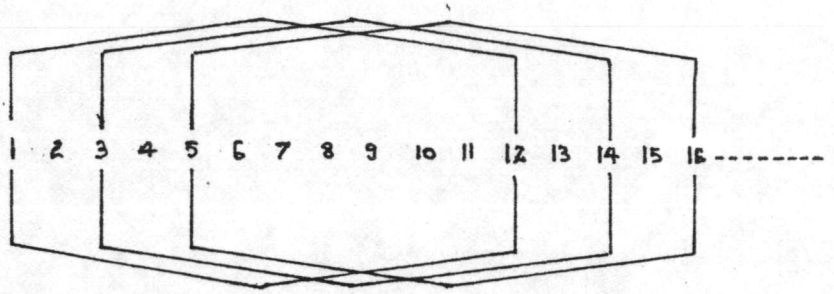
U_s : ความเร็วซิงโครนัสของ มอเตอร์ฯชนิดคลื่นพา, เมตรต่อวินาที

Δ : ช่วงระหว่างขดลวด, เมตร

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ซึ่ง สมการที่ได้นี้ จะมีประโยชน์ในการออกแบบเบื้องต้นของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพา เพราะเป็นสมการที่ชี้แสดงขีดจำกัดในการออกแบบกำหนดค่าต่างๆ เพื่อให้มอเตอร์ฯชนิดคลื่นพามีความเร็วซิงโครนัสที่ต้องการ อนึ่ง ความเร็วซิงโครนัสจะถูกจำกัดโดยจำนวนรอบของขดลวด และมิติของวงจรแม่เหล็ก และจะถูกจำกัดโดยค่าสูงสุดของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ต่อขนานในวงจรปฐมภูมิด้วย (12)

ดังนั้น จึงได้ตัดสินใจออกแบบการพันขดลวดวางเรียงซ้อนทับกันบนสเตเตอร์ใหม่ ตามที่แสดงในรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 รูปแสดงการพันขดลวดเรียงซ้อนทับกันบนสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพาเครื่องต้นแบบที่ใช้ในการวิจัยและทดสอบ

ในการออกแบบประดิษฐ์มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพาเครื่องต้นแบบสำหรับการศึกษาวิจัย และทดสอบนี้ ได้พันขดลวด 18 ชุด ลงในร่องสเตเตอร์ 36 ร่อง โดยต่อขดลวดแต่ละชุดอนุกรมกันทั้งหมด และแต่ละชุด ต่อขนานกับ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า ตามที่แสดงในรูปที่ 1-1 บทที่ 1

รายละเอียดการออกแบบขดลวด และขนาดของวงจรปฐมภูมิ มีดังนี้

ช่วงคอยล์ = 11

จำนวนรอบ/1 ขดลวด = 200

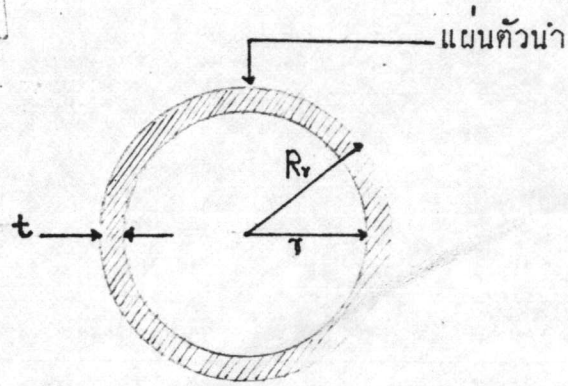
ความกว้างของสเตเตอร์ = 8.6 เซ็นติเมตร

ความยาวเส้นรอบวงสเตเตอร์ = 30.0 เซ็นติเมตร

ระยะห่างระหว่างร่องสเตเตอร์ = 0.89 เซ็นติเมตร

และรายละเอียดของการออกแบบโรเตอร์ มีดังนี้

ใช้แผ่นอลูมิเนียมหุ้มรอบโรเตอร์แบบกรงกระรอก โดยที่ตัดส่วนวงแหวนลัดวงจร ของกรงกระรอกออกทั้ง 2 ข้าง ทั้งนี้เพื่อให้วงจรทุติยภูมิมีความต่อเนื่องไม่เกิดช่วงค่า และสามารถใช้การวิเคราะห์แบบแผ่นแผ่กระแสชนิดมิติเดียวได้ ตามที่แสดงในรูปที่ 3-6



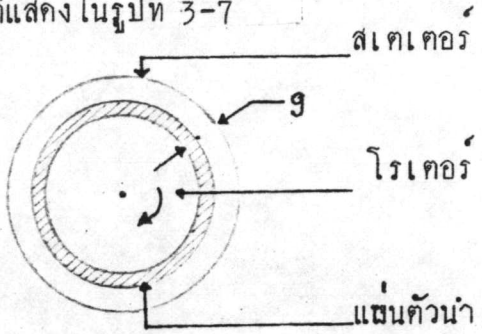
รูปที่ 3-6 รูปแสดงโรเตอร์หุ้มแผ่นตัวนำ ของ มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพา เครื่องต้นแบบ

ทางด้านวงจรทุติยภูมิ มีขนาดต่างๆ ดังนี้

แผ่นตัวนำหนา	t	=	0.31 เซ็นติเมตร
รัศมีผิวในของโรเตอร์	r	=	4.37 เซ็นติเมตร
รัศมีผิวนอกของโรเตอร์	R_r	=	4.68 เซ็นติเมตร
ความยาวของโรเตอร์	w	=	8.6 เซ็นติเมตร

ความห่างประสิทธิผลของช่องอากาศ $g = 0.40$ เซ็นติ เมตร

และจากการใช้แผ่นตัวนำหุ้มรอบโรเตอร์ จะทำให้ความห่างประสิทธิผลของช่องอากาศเปลี่ยนแปลงไป ตามที่แสดงในรูปที่ 3-7



g : ความห่างประสิทธิผลของช่องอากาศ

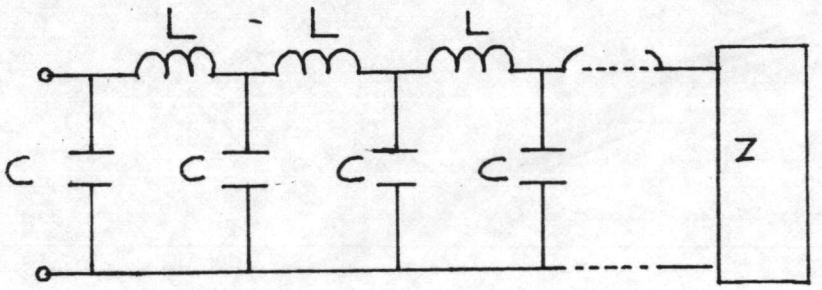
รูปที่ 3-7 รูปแสดงการวัดค่าความห่างประสิทธิผลของช่องอากาศของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพา

3.2 การพิจารณามอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพาที่ประดิษฐ์ขึ้นในทางทฤษฎี

เนื่องจากมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพาที่ประดิษฐ์ขึ้น ได้ถูกออกแบบให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในช่องอากาศมีการเคลื่อนที่ของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับคลื่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าในสายส่งไฟฟ้า จึงวิเคราะห์ได้โดยใช้ทฤษฎีสายส่งไฟฟ้า ร่วมกับทฤษฎีเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และโรเตอร์ก็ได้ดัดแปลงให้เป็นแบบแผ่นตัวนำหุ้มรอบ ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 3.1 ดังนั้นในการวิเคราะห์ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพานี้ จึงมีลักษณะผสมกัน ระหว่าง ทฤษฎีทั้ง 2 ดังกล่าว

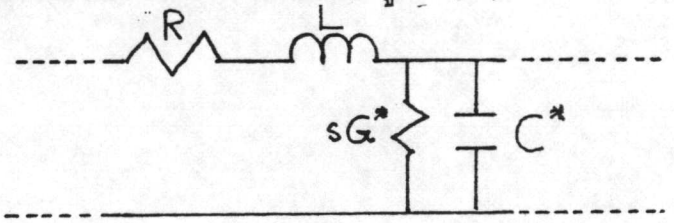
ข้างต้น กับ การวิเคราะห์แบบแผ่นแผ่กระแสชนิดมิติเดียว[12]

จากหัวข้อ 3-1 ได้อธิบายถึงการประดิษฐ์มอเตอร์ฯชนิดคลื่นพา และลักษณะการพันขดลวดเรียงซ้อนทับกันบนสเตเตอร์ โดยมีตัวเก็บประจุไฟฟ้าต่อขนานอยู่กับขดลวดแต่ละชุดซึ่งเป็นการเทียบลักษณะมาจากสายส่งไฟฟ้า ดังนั้นวงจรปฐมภูมิของมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพา จึงมีลักษณะเดียวกับวงจรสายส่งไฟฟ้า ตามที่แสดงในรูปที่ 3-8



รูปที่ 3-8 รูปวงจรปฐมภูมิ ของ มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพา

และวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพา[1] ดังรูปที่ 3-9



รูปที่ 3-9 รูปวงจรวิเคราะห์ ของ มอเตอร์ฯชนิดคลื่นพาต่อเมตร[12]

---

[1] ดูภาคผนวก ค.

ในการพิจารณามอเตอร์ฯชนิดคลื่นพาที่ประดิษฐ์ขึ้น ในทางทฤษฎี จะแบ่งออกเป็น 2 กรณี, คือ ก) ในกรณีที่กระแสในโรเตอร์ เท่ากับ ศูนย์ , และ ข) กรณีที่กระแสในโรเตอร์ ไม่เท่ากับ ศูนย์, จะแยกพิจารณาได้ดังนี้

ก) กรณีที่กระแสในโรเตอร์ เท่ากับ ศูนย์

เมื่อป้อนไฟเฟสเดี่ยว ให้แก่วงจรปฐมภูมิ ของมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพา ดังรูปที่ 3-8 ก็จะเกิดกระแสไหลในวงจรปฐมภูมิผ่านขดลวดและตัวเก็บประจุไฟฟ้า แต่กระแสที่ไหลเข้าวงจรปฐมภูมิมีค่าแปรตามเวลา ดังนั้นจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าในขดลวด และเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แต่เนื่องจากวงจรปฐมภูมิของมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพามีลักษณะเดียวกับวงจรสายส่งไฟฟ้า ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านขดลวดจะมีลักษณะการเคลื่อนที่แบบคลื่นเดินทางเช่นเดียวกับคลื่นเดินทางของกระแสในสายส่งไฟฟ้า[10] โดยมีค่าแปรตามระยะทางของวงจรปฐมภูมิบนสเตเตอร์[1] ซึ่งพิจารณาได้ว่ามีลักษณะการเคลื่อนที่แบบคลื่นเดินทาง และสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

---

[1] ในภาคผนวก ค. หัวข้อ 3 ได้เขียนอธิบายการแปรค่าความหนาแน่นของกระแสตามระยะทางวงจรปฐมภูมิบนสเตเตอร์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

ในภาคผนวก ค. หัวข้อ 2 ได้เขียนอธิบาย ถึงผลของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อสมการแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าในขดลวดบนสเตเตอร์

ภายนอกช่องอากาศ จะมีค่าน้อย จนเกือบเป็นศูนย์ ซึ่งในที่นี้จะสมมุติให้มีค่าเป็นศูนย์ และที่จุดต้นและจุดปลายของวงจรปฐมภูมิจะมีค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เป็น ศูนย์ ทั้งนี้ เพราะผลรวมของการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อเทียบกับ ระยะทางบนสเตเตอร์โดยรอบมีค่า เป็น ศูนย์

ในกรณีสายส่งไฟฟ้านั้น จะมีคลื่นเดินทางของกระแส และ แรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้น 2 ชุด คือ คลื่นเดินหน้า และคลื่นสะท้อนกลับ แต่ถ้าต่ออิมพีแดนซ์ลักษณะ Z_o ไว้ที่จุดปลายส่งไฟฟ้า ก็จะทำให้ความยาวประสิทธิผลของสายส่งไฟฟ้ามีค่า เป็น อนันต์ และเมื่อเป็นเช่นนี้ ก็จะไม่เกิดคลื่นสะท้อนกลับ[10] ดังนั้นมีเฉพาะคลื่นเดินหน้าเท่านั้น

แต่ในกรณีของมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพานี้ ได้ออกแบบให้ขดลวดบนสเตเตอร์วางเรียงซ้อนทับกัน ดังนั้น เมื่อมีคลื่นเดินทางของกระแสเคลื่อนที่ผ่านขดลวด ก็จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำร่วมขึ้นระหว่างขดลวดแต่ละชุด ที่ เรียงซ้อนทับกัน ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นเดินทางของกระแสและแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีก 2 ชุด[7] ดังนั้นจะเห็นได้ว่า เกิดมีคลื่นเดินทางของกระแสและแรงดันไฟฟ้า รวมทั้งสิ้น 4 ชุด[3,7,8] แต่เนื่องจากคลื่นเดินทางของกระแสจะเหนี่ยวนำให้เกิดคลื่นเดินทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อเป็นเช่นนี้ จึงเทียบได้ว่าคลื่นเดินทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า มีจำนวน 4 ชุด คือ คลื่นเดินหน้า จำนวน 2 ชุด และคลื่นสะท้อนกลับ จำนวน 2 ชุด

โดยที่ความเร็วของคลื่นสะท้อนกลับมีค่า เท่ากับ ความเร็วของคลื่นเดินหน้า (8)

ในกรณีของมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพาที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ ได้พยายามออกแบบให้วงจรปฐมภูมิ (สเตเตอร์) ถ่ายทอดพลังงานให้กับวงจรทุติยภูมิ (โรเตอร์) ให้มากที่สุด แต่เมื่อวิเคราะห์เทียบกับสายส่งไฟฟ้าแล้ว จะเห็นว่าเมื่อใช้ค่าอิมพีแดนซ์ลักษณะ Z_0 มาต่อจุดปลายสายส่งไฟฟ้า ก็จะทำให้พลังงานถูกถ่ายทอดจากสายส่งไฟฟ้าให้แก่อิมพีแดนซ์จนหมดได้ (10) เมื่อเป็นเช่นนี้ ก็จะไม่เกิดคลื่นสะท้อนกลับ ดังนั้นจะมีเฉพาะคลื่นเดินหน้าเท่านั้น (10)

สำหรับมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพา จะมีวงจรทุติยภูมิ หรือ โรเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ดูดกลืนพลังงานจากคลื่นเดินหน้า ซึ่งถ้าหากโรเตอร์สามารถรับพลังงานจากคลื่นเดินหน้าได้ทั้งหมดแล้ว ก็จะไม่เกิดคลื่นสะท้อนกลับเช่นกัน แต่ในกรณีที่โรเตอร์ไม่สามารถดูดกลืนพลังงานจากคลื่นเดินหน้าได้ทั้งหมด จึงต้องใช้อิมพีแดนซ์ที่เหมาะสม ต่อไว้ที่จุดปลายของวงจรปฐมภูมิ เพื่อเป็นอุปกรณ์ช่วยดูดกลืนพลังงานจากคลื่นเดินหน้าให้หมด เพื่อที่จะไม่ให้เกิดคลื่นสะท้อนกลับ ที่จุดปลายของวงจรปฐมภูมิ

การที่ต้องพยายามกำจัดคลื่นสะท้อนกลับที่จุดปลายของวงจรปฐมภูมิ ก็เนื่องจากเหตุที่วงจรปฐมภูมิของมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพา มีจุดเริ่มต้น และจุดปลายเป็นจุดเดียวกัน ซึ่งแตกต่างจากวงจรสายส่งไฟฟ้าอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นถ้าหากเกิดคลื่นสะท้อนกลับขึ้นที่จุดปลายวงจรปฐมภูมิ ก็อาจจะ

มีผลหักล้างกับคลื่นเดินหน้าที่จุดเริ่มต้นได้ หากเป็นเช่นนี้แล้ว ก็จะทำให้พลังงานของคลื่นเดินหน้าลดลง และมีค่าต่ำ ไม่สามารถถ่ายทอดให้วงจรทุติยภูมิ หรือ โรเตอร์มากพอที่จะหมุนได้[1]

ข) กรณีที่กระแสในโรเตอร์ ไม่เท่ากับ ศูนย์

เนื่องจากกระแสที่ไหลในโรเตอร์ เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำของกระแสที่สเตเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งมีการเคลื่อนที่ของกระแสในลักษณะคลื่นเดินทาง และกระแสในโรเตอร์อีกส่วนหนึ่งเกิดจากการหมุนของโรเตอร์[2] นอกจากนี้กระแสในโรเตอร์ก็มิได้ไหลอยู่ในแท่งตัวนำ หรือ ขดลวดเช่นในโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเก่า จึงทำให้เกิดความยุ่งยากในการวิเคราะห์มากขึ้น ดังนั้นเพื่อความง่ายในการวิเคราะห์จึงกำหนดให้ กระแสในโรเตอร์ทั้งหมดไหลในทิศทางตามแนวแกนของโรเตอร์เท่านั้น ยกเว้นที่ปลายทั้ง 2 ข้างของโรเตอร์ และกระแสนี้ก็ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นในช่องอากาศด้วยเช่นกัน และกำหนดให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่จุดปลายขอบทั้งสองข้างของโรเตอร์มีค่า เป็น ศูนย์

1 เพราะเหตุที่พลังงานบางส่วนของคลื่นเดินหน้า จะต้องสูญเสียไปในความต้านทานของวงจรปฐมภูมิ ในรูปของความร้อน

2 เมื่อโรเตอร์หมุนเคลื่อนที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในช่องอากาศ ก็จะเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่โรเตอร์ จึงทำให้มีกระแสไหลในโรเตอร์

ดังนั้น เมื่อมีกระแสไหลในสเตเตอร์ และโรเตอร์ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคลื่นพา ก็จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในช่องอากาศ ซึ่งเป็นผลรวมของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแสในสเตเตอร์ และโรเตอร์ โดยที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้านี้ ก็มีลักษณะเป็นคลื่นเดินทาง ดังเช่นที่ได้พิจารณามาแล้วในกรณี ก) [1]

จากที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า ในช่องอากาศมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่อยู่ 2 สนาม คือสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากสเตเตอร์ และโรเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 สนามนี้ ต่างก็มีลักษณะเป็นคลื่นเดินทางแต่มีมุมต่างกัน จึงมีผลทำให้เกิดแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้าที่โรเตอร์ ทำให้โรเตอร์เริ่มหมุนได้เอง และหมุนต่อไปด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เป็นผลรวม ของ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากสเตเตอร์ และโรเตอร์

3.3 ลักษณะการลดขนาดลงของคลื่นเดินทาง

ลักษณะการลดขนาดลงของคลื่นเดินทาง เมื่อเคลื่อนที่ไปตามระยะทางบน วงจรปฐมภูมินี้ เป็นคุณสมบัติเฉพาะของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพา แต่ละเครื่อง

---

[1] ลักษณะของคลื่นเดินทางและการถ่ายทอดพลังงานจากวงจรปฐมภูมิ ไปยังวงจรทุติยภูมิของกรณี ข) ที่ได้อธิบายแล้วนั้นมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับกรณี ก)

ที่ออกแบบประดิษฐ์ขึ้นมา ทั้งนี้เพราะลักษณะการลดขนาดลงของคลื่นเดินทาง ได้แสดงให้เห็นถึง คุณสมบัติของฟังก์ชันการแผ่กระจายคลื่นที่มีผลโดยตรงต่อความเร็วซิงโครนัสของมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพา[1,2] และแสดงให้เห็นถึงการถ่ายทอดพลังงานจากวงจรปฐมภูมิไปยังวงจรทุติยภูมิอีกด้วย ซึ่งในกรณีที่มีการถ่ายทอดพลังงานได้มาก ก็จะทำให้คลื่นเดินทางลดขนาดลงอย่างรวดเร็ว[5,12]

เนื่องจากมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคลื่นพาเครื่องต้นแบบ ได้ออกแบบประดิษฐ์ โดยเลียนแบบวงจรสายส่งไฟฟ้า ดังนั้น วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพาจึงมีลักษณะคล้ายกับวงจรสมมูลย์ของสายส่งไฟฟ้า ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3-2

ในหัวข้อ 3.3 นี้ จะศึกษาถึงลักษณะการลดขนาดลงของคลื่นเดินทางในช่องอากาศของมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพา โดยศึกษาเปรียบเทียบกับทฤษฎีสายส่งไฟฟ้า ซึ่งในกรณีของสายส่งไฟฟ้าที่สม่ำเสมอ และไม่ต่ออิมพีแดนซ์ลักษณะ ไว้ที่จุดปลายสายส่งแล้ว ก็จะพบว่าคลื่นเดินหน้าของกระแส และแรงดันไฟฟ้าจะลดขนาดลงเรื่อยๆ แปรตามระยะทางที่เคลื่อนไป และแปรตามฟังก์ชั่นการแผ่กระจายคลื่น โดยจะเกิดมีคลื่นสะท้อนกลับที่จุดปลายสายส่งด้วย[10] แต่เมื่อต่ออิมพีแดนซ์ลักษณะ Z_o ไว้ที่จุดปลายสายส่ง ก็จะสามารถกำจัดคลื่นสะท้อนกลับไม่ให้เกิดขึ้นที่ปลายสายส่งได้

ในกรณีของมอเตอร์ฯชนิดคลื่นพา ที่ประดิษฐ์ขึ้น ได้ต่ออิมพีแดนซ์ที่เหมาะสม Z

ไว้ที่จุดปลายของวงจรปฐมภูมิ ดังนั้นจึงมีเหตุผลเพียงพอที่จะพิจารณาได้ว่า มีเฉพาะคลื่นเดินหน้าเท่านั้นในวงจรปฐมภูมิ ฉนั้นในช่องอากาศก็จะมีเฉพาะคลื่นเดินทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินหน้าเท่านั้น แต่เนื่องจากวงจรปฐมภูมิ มีค่า อิมพีแดนซ์อยู่ด้วย จึงมีผลต่อการลดขนาดลงของคลื่นเดินหน้าด้วยประการหนึ่ง ซึ่งการลดขนาดลงนี้ แปรตามระยะทางบนวงจรปฐมภูมิ และแปรตามฟังก์ชันการแผ่กระจายคลื่นด้วย

แต่ในการศึกษาวิจัยนี้ จะพิจารณาคลื่นเดินทางที่เป็นคลื่นเดินหน้า และลดขนาดลงเรื่อยๆ ในรูปของคลื่นเดินหน้าของแรงดันไฟฟ้าในวงจรปฐมภูมิ ซึ่งสามารถวัดค่าได้อย่างง่ายด้วยเครื่องมือที่มีอยู่แล้ว เพื่อเป็นข้อยืนยันต่อทฤษฎี และสมการแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆในวงจรปฐมภูมิ $V_{(x)}^{(3)}$ โดยที่ไฟเฟสเดี่ยวป้อนเข้ามีการเปลี่ยนแปลงแบบไซน์ เมื่อเทียบกับเวลา t

จะได้ $$V_{(x)} = j\frac{\omega W T B}{dA^2}\left(e^{aA} - e^{-aA}\right)e^{j\omega t}\ e^{AX} \qquad (3\text{-}4)$$

โดยที่ $V_{(x)}$: แรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่ง x ใดๆบนวงจรปฐมภูมิของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพา , โวลท์

W : ความกว้างของสเตเตอร์ (คิดเท่ากับความยาวของโรเตอร์), เมตร

T : จำนวนรอบ ของ ขดลวดแต่ละชุดที่ต่ออนุกรมกันในวงจรปฐมภูมิ, รอบ

B : ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กไฟฟ้าที่มากที่สุด, เทสลา

$2a$: ช่วงคอยล์, เมตร

t : เวลา, วินาที

d : ระยะพิทช์ ของ ร่องสเตเตอร์, เมตร

และในบทที่ 4 จะเป็นผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดี่ยวชนิดคลื่นพาเครื่องต้นแบบ ในภาวะต่างๆ ซึ่งจะได้แสดงผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า ที่ ตำแหน่งต่างๆของวงจรปฐมภูมิไว้ด้วย โดยทำการทดสอบ ที่ แรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า 200 โวลท์,ความถี่ 50 เฮิทซ์ คงที่