เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา ขนาด 1 กิโลวัตต์ ประยุกต์ใช้กับพลังงานลมผลิตไฟฟ้า

Five Phases Axial Flux Permanent Magnet Generator at Rated Power 1 kW for a Wind Energy Application

พูนศรี วรรณการ

พนา ดุสิตากร

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา ขนาด 1 กิโลวัตต์ ประยุกต์ใช้กับพลังงานลมผลิตไฟฟ้า

Five Phases Axial Flux Permanent Magnet Generator at Rated Power 1 kW for a Wind Energy Application

พูนศรี วรรณการ

พนา ดุสิตากร

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้กล่าวเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส สำหรับสร้างเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสที่สร้างขึ้นมา มีองค์ประกอบที่สำคัญต่างๆ ที่ควรคำนึงถึงในขั้นตอนการออกแบบและสร้าง เช่น จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว จำนวนขั้วแม่เหล็ก จำนวนรอบตัวนำ ความเร็วรอบโรเตอร์ และสัมประสิทธิ์การพันขดลวด จากผลการทดสอบพบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลานี้สามารถผลิตแรงดันไฟตรงได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งสภาวะไม่มีโหลด และมีโหลด โดยเครื่องกำเนิดที่สร้างขึ้นนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานผลิตไฟฟ้ากับพลังงานทดแทนอื่นได้ เช่น การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมเป็นต้น

คำสำคัญ : เส้นแรงแม่เหล็ก, ขั้วแม่เหล็ก, พลังงานลม

ABSTRACT

This research project presents about the design and construction of a five-phase generator for producing magnetic force along the shaft axis that there are various important elements, which should be considered in the processes of the design and construction such as flux per pole, number of poles, number of turns, rotor speed and winding coefficient of coils. The experiment result is found that the five-phase axial flux permanent magnet generator along the shaft axis can produce DC voltage by the efficiency without load and with load. Furthermore, this contribution can be used to produce electricity with other renewable energy, such as electricity from wind energy.

Keywords: flux, pole, wind energy

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ชื่อโครงการ “เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาขนาด 1 กิโลวัตต์ ประยุกต์ใช้กับพลังงานลมผลิตไฟฟ้า” จัดทำขึ้นเพื่อให้เป็นไปตามสัญญาในการให้ทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 ตามสัญญาเลขที่ 62-3206-03/3

ที่ได้กำหนดให้ส่งรายงานการดำเนินงานโครงการฉบับสมบูรณ์ นับแต่วันสิ้นสุดระยะเวลาการดำเนินงานโครงการตามสัญญา โดยทางผู้วิจัยได้ส่งรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ จำนวน 2 เล่ม และซีดีบรรจุไฟล์รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ จำนวน 6 แผ่น ในชื่อโครงการ “เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาขนาด 1 กิโลวัตต์ ประยุกต์ใช้กับพลังงานลมผลิตไฟฟ้า” ไปยังผู้ให้ทุน เพื่อรับการประเมินจากผู้ให้ทุน

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย และอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ ทั้งด้านสถานที่ เครื่องมือต่างๆ เพื่อใช้ในการดำเนินโครงการดังกล่าวสำเร็จลุล่วง

ผู้วิจัย
2562

สารบัญเรื่อง

		หน้า
บทที่ 1	บทนำ	1
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3	ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4	วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.5	สมมุติฐานงานวิจัย	4
1.6	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1	บทนำ	5
2.2	โครงสร้างของ AFPM	5
2.3	วงจรแม่เหล็กสมมูลของเครื่องกลไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวร	9
2.4	เปรียบเทียบเครื่องกลไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา (AFPM) กับแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนรัศมี (RFPM)	10
2.5	บทสรุป	11
บทที่ 3	การออกแบบการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาขนาด 1 กิโลวัตต์	12
3.1	บทนำ	12
3.2	โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	12
3.3	การออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา	13
3.4	บทสรุป	16

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	17
4.1 บทนำ	17
4.2 การทดสอบในสภาวะไม่มีโหลด	18
4.3 การทดสอบในสภาวะมีโหลด	19
4.4 บทสรุป	21
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	22
5.1 บทนำ	22
5.2 สรุปผลการวิจัย	22
5.3 ข้อเสนอแนะ	22
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	
ประวัติย่อผู้วิจัย	

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	โรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกน	2
1.2	เส้นแรงแม่เหล็กพุ่งตัดผ่านช่องว่างอากาศสลับกันระหว่างจานโรเตอร์หมุนคู่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกน	2
2.1	โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา	7
2.2	โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาแบบจานแม่เหล็กหมุนคู่ซึ่งตัวสเตเตอร์เป็นแบบขั้วยื่นภายใน	7
2.3	โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาซึ่งเป็นแบบ 3 เฟส มีขดลวดสเตเตอร์ 9 ขดเป็นแบบขั้วยื่นอยู่ภายนอกและมีแผ่นจานแม่เหล็กหมุนอยู่ภายใน	8
2.4	โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาแบบจานแม่เหล็กหมุน4 จาน และมีตัวสเตเตอร์ไม่มีแกนเหล็ก	8
2.5	โรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกน	9
2.6	เส้นแรงแม่เหล็กพุ่งตัดผ่านช่องว่างอากาศสลับกันระหว่างจานโรเตอร์หมุนคู่ใน	9
2.7	โครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้าทั้ง 2 แบบ (ก) แบบ RFPM (ข) แบบ AFPM	10
2.8	เส้นกราฟการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของเครื่องกลไฟฟ้าทั้ง 2 แบบ	11
3.1	โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาแบบจานแม่เหล็กหมุนคู่	12
3.2	การติดตั้งแม่เหล็กถาวรลงบนจานโรเตอร์หมุน	13
3.3	เส้นแรงแม่เหล็กพุ่งตัดผ่านช่องว่างอากาศสลับกันระหว่างจานโรเตอร์หมุนคู่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา	13
3.4	การต่อชุดขดลวดสเตเตอร์	14
4.1	ต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา	17
4.2	การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาในสภาวะไม่มีโหลด	18
4.3	การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาในสภาวะมีโหลด	19

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

4.4 คุณลักษณะของความเร็วรอบเพลาโรเตอร์กับแรงดันไฟตรงเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส ขณะไม่มีโหลด 20

4.5 คุณลักษณะของความเร็วรอบเพลาโรเตอร์กับกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสขณะมีโหลดตัวต้านทาน 20

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ออกแบบในการสร้างเครื่องกำเนิดแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา 15
4.1 ผลการทดสอบเครื่องกำเนิด AFPM ในสภาวะไม่มีโหลด 18
4.2 ผลการทดสอบเครื่องกำเนิด AFPM ในสภาวะมีโหลด 19

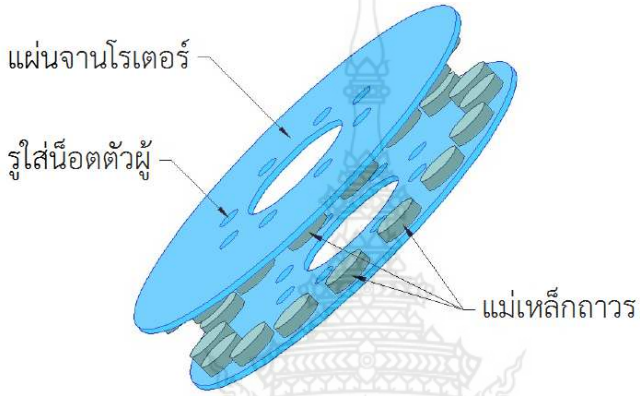
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

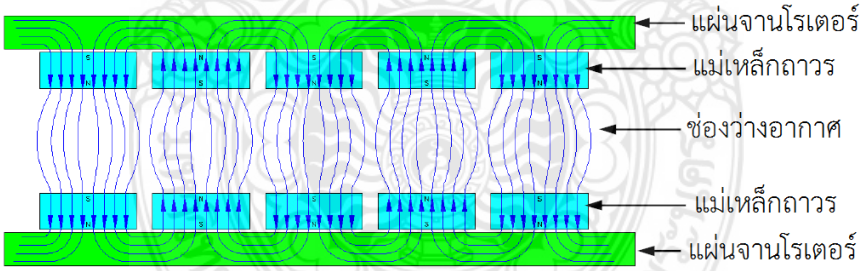
ปัจจุบันเราได้ใช้ทรัพยากรต่างๆ เพื่อสนองความต้องการของประชากรที่มีจำนวนเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะทรัพยากรที่เป็นพลังงานเชื้อเพลิง เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ยูเรเนียม เป็นต้น ซึ่งมีจำนวนจำกัดและสักวันหนึ่งจะต้องหมดไป อีกทั้งแหล่งน้ำมันเชื้อเพลิงก็กำลังจะถูกใช้หมดไป ทำให้ได้รับความกระทบกระเทือนจากการที่น้ำมันมีราคาแพงขึ้น ประเทศที่ได้รับความกระทบกระเทือนมากได้แก่ ประเทศที่ไม่มีแหล่งเชื้อเพลิงเป็นของตนเอง ดังนั้นพลังงานทดแทนในรูปอื่นๆ เช่น พลังงานแสงแดด พลังงานลม พลังงานกล ฯลฯ จึงได้รับความสนใจนำมาใช้มากขึ้น ซึ่งหากเรามีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาทำหน้าที่เป็นตัวผลิตไฟฟ้า[1-3] ก็จะทำให้เกิดการประยุกต์นำมาใช้งานกับพลังงานทดแทนดังกล่าวได้ ทำให้ประเทศชาติไม่ต้องเสียเงินนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิลต่างๆ ก่อให้เกิดการประหยัดเงินตราในการนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตไฟฟ้า

โดยทั่วๆ ไป เครื่องกลไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา จะมีความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าสูงกว่าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนรัศมี คือมีขนาดกะทัดรัดกว่าเมื่อเทียบกับขนาดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกมาเท่ากัน โดยคุณสมบัติของเครื่องกลไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา โดยทั่วไปเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องกลไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนรัศมี สามารถสรุป[4] ได้ดังนี้ คือ สามารถปรับช่องว่างอากาศได้ มีความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าสูงกว่า ทำให้ประหยัดวัสดุแกนเหล็กที่นำมาทำเครื่องกำเนิด และที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกใหญ่กว่าเครื่องกลไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนรัศมี ทำให้มีจำนวนขั้วแม่เหล็กมากกว่า นั่นคือเครื่องกลไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา จึงมีความเหมาะสมในการเลือกนำมาใช้งานในการผลิตไฟฟ้ามีความถี่ที่ต้องการโดยที่มีความเร็วรอบเพลาโรเตอร์ต่ำ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนมีลักษณะการติดตั้งแม่เหล็กถาวรลงบนจานโรเตอร์หมุนคู่แสดงดังรูปที่ 1.1 และลักษณะของเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งออกจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ตัดผ่านช่องว่างอากาศสลับกันไปมาแสดงดังรูปที่ 1.2 ส่วนวงจรแม่เหล็กสมมูลของเครื่องกลไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรจานหมุนคู่[5] แสดงดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.1 โรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกน



รูปที่ 1.2 เส้นแรงแม่เหล็กพุ่งตัดผ่านช่องว่างอากาศสลับกันระหว่างจานโรเตอร์หมุนคู่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา ขนาด 1 กิโลวัตต์

1.2.2 เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเสริมเข้ากับระบบไฟฟ้าเพื่อจ่ายไฟให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าในอนาคต

1.2.3 เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้งานกับพลังงานลมในการผลิตไฟฟ้า

1.2.4 เพื่อทำให้เกิดองค์ความรู้ในการผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา ขนาด 1 กิโลวัตต์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 สร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา ขนาด 1 kW จำนวน 1 เครื่อง

1.3.2 ทดสอบการทำงานการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาขนาด 1 kW ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด

1.3.3 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวรัศมี

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทบทวนวรรณกรรม

1.4.2 ศึกษาทฤษฎีเครื่องกำเนิดแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา

1.4.3 กำหนดรูปแบบปัญหา

1.4.4 ออกแบบพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้าง

1.4.5 สร้างฮาร์ดแวร์ต่างๆ

1.4.6 ประมวลผลทดสอบ และวิเคราะห์ผล

1.4.7 สรุปผลการทดสอบ

1.4.8 รวบรวมข้อมูล เรียบเรียง ตรวจสอบ

1.4.9 จัดทำเอกสารรายงานผลการวิจัยและเผยแพร่ผลงาน

1.5 สมมุติฐานงานวิจัย

โดยทั่วไปการใช้งานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกน (AFPM Generator) สามารถนำไปใช้งานร่วมกับกังหันลมและกังหันน้ำได้ โดยอาจมีโครงสร้างเป็นแบบแผ่นจานโรเตอร์ที่ยึดติดกับแม่เหล็กถาวรหมุนแบบจานหมุนเดี่ยว[5] จานหมุนคู่[6] และแบบหลายจาน[7] เป็นต้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนจะมีขนาดอย่างไรและค่าก่อสร้างมากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าที่ต้องการผลิตและแรงบิดอินพุทที่ฉุดเครื่องกำเนิด อีกทั้งการพิจารณาโครงสร้างของเครื่องกำเนิดและการเลือกใช้วัสดุต่างๆที่เหมาะสมในการสร้าง และการออกแบบที่ดีจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพื่อนำฐานข้อมูลที่ได้มาใช้ในการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาขนาด 1 กิโลวัตต์

1.5.2 เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟสลับป้อนเข้าสู่วงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงได้

1.5.3 เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนในรายวิชาเครื่องจักรกลไฟฟ้า 2 ได้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

โดยทั่วไปการใช้งานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกน (AFPM Generator) สามารถนำไปใช้งานร่วมกับกังหันลมและกังหันน้ำได้ โดยอาจมีโครงสร้างเป็นแบบแผ่นจานโรเตอร์ที่ยึดติดกับแม่เหล็กถาวรหมุนแบบจานหมุนเดี่ยว[5] จานหมุนคู่[6] และแบบหลายจาน[7] เป็นต้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนจะมีขนาดอย่างไรและค่าก่อสร้างมากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าที่ต้องการผลิตและแรงบิดอินพุทที่ฉุดเครื่องกำเนิด อีกทั้งการพิจารณาโครงสร้างของเครื่องกำเนิดและการเลือกใช้วัสดุต่างๆที่เหมาะสมในการสร้าง และการออกแบบที่ดีจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงชนิด โครงสร้าง[4] และวงจรแม่เหล็กสมมูลของเครื่องกลไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กพุ่งตามแนวแกนจากแม่เหล็กถาวรที่ยึดติดกับแผ่นจานโรเตอร์หมุนคู่

2.2 โครงสร้างของ AFPM

โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กผลิตจากแม่เหล็กถาวรพุ่งไหลตามแนวแกนเพลาแบบต่างๆ แบ่งได้ดังนี้

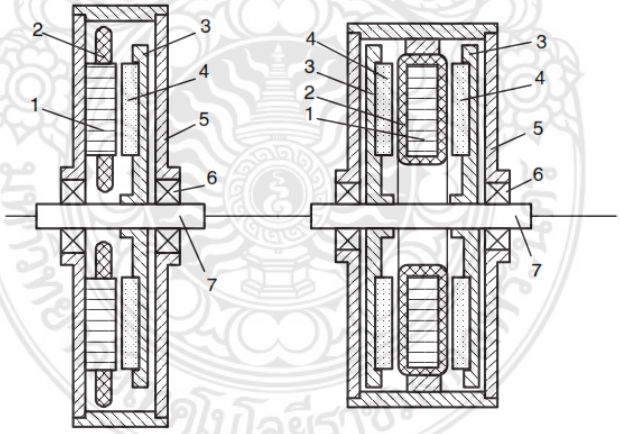
2.2.1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาแบบแผ่นจานแม่เหล็กหมุนเดี่ยว โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบนี้แบ่งออกได้ดังนี้

- แบบมีสล็อตสเตเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2.1 (ก)
- แบบไม่มีสล็อตสเตเตอร์
- แบบสเตเตอร์เป็นแบบขั้วยื่น

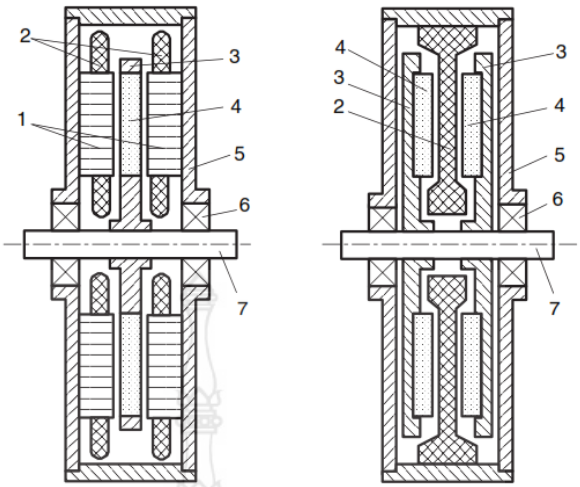
2.1.2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาแบบแผ่นจานแม่เหล็กหมุนคู่

- แบบมีขดลวดสเตเตอร์อยู่ภายใน แสดงดังรูปที่ 2.1 (ข)
  - แบบมีสล็อตสเตเตอร์
  - แบบไม่มีสล็อตสเตเตอร์
    - แบบมีแกนเหล็กสเตเตอร์
    - แบบไม่มีแกนเหล็กสเตเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2.1 (ง)
    - แบบไม่มีทั้งแกนเหล็กโรเตอร์และแกนเหล็กสเตเตอร์
  - แบบสเตเตอร์เป็นแบบขั้วยื่น แสดงดังรูปที่ 2.2
- แบบโรเตอร์อยู่ภายใน แสดงดังรูปที่ 2.1 (ค)
  - แบบมีสล็อตสเตเตอร์
  - แบบไม่มีสล็อตสเตเตอร์
  - แบบสเตเตอร์เป็นแบบขั้วยื่น แสดงดังรูปที่ 2.3

2.1.3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาแบบแผ่นจานแม่เหล็กหลายจานหมุน แสดงดังรูปที่ 2.4

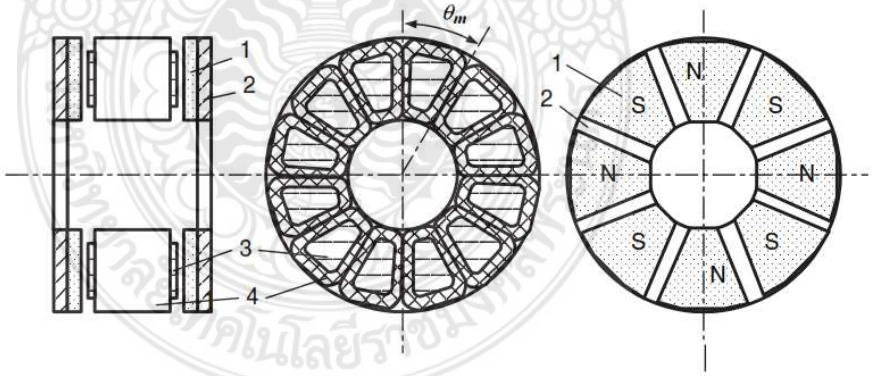


(ก) (ข)



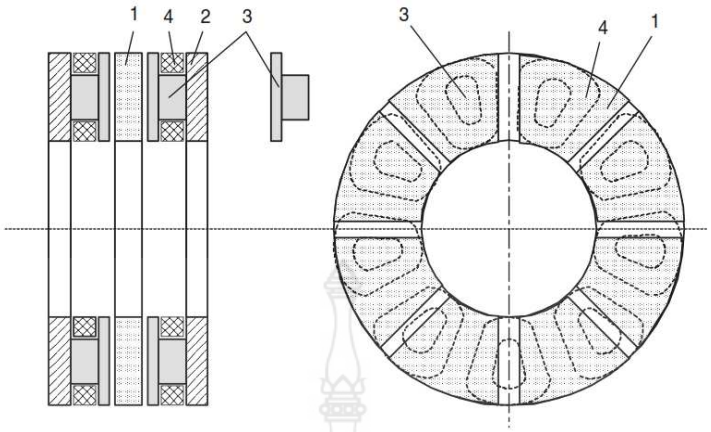
(ค) (ง)

รูปที่ 2.1 โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา **(ก)** แบบจานแม่เหล็กหมุนเดี่ยวซึ่งมีขดลวดและแกนเหล็กเสเตเตอร์อยู่กับที่ **(ข)** แบบจานแม่เหล็กหมุนคู่ซึ่งมีขดลวดและแกนเหล็กสเตเตอร์อยู่ภายใน **(ค)** แบบจานแม่เหล็กหมุนเดี่ยวอยู่ภายในและมีขดลวดสเตเตอร์และแกนเหล็กสเตเตอร์อยู่ภายนอก **(ง)** แบบจานแม่เหล็กหมุนคู่ซึ่งมีขดลวดสเตเตอร์ไร้แกนเหล็กอยู่ภายในโดยหมายเลข 1 คือ แกนเหล็กสเตเตอร์ , หมายเลข 2 คือ ขดลวดสเตเตอร์ , หมายเลข 3 คือ ตัวโรเตอร์ที่เคลื่อนที่ , หมายเลข 4 คือ แม่เหล็กถาวร , หมายเลข 5 คือ โครงเครื่อง , หมายเลข 6 คือ แบริ่ง , หมายเลข 7 คือ เพลาของเครื่องกำเนิด

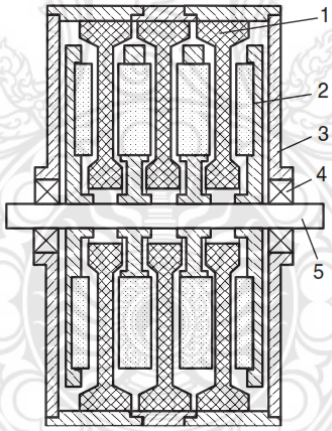


(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2.2 โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาแบบจานแม่เหล็กหมุนคู่ซึ่งตัวสเตเตอร์เป็นแบบขั้วยื่นภายใน [6] รูป (ก) แสดงโครงสร้าง รูป (ข) แสดงตัวสเตเตอร์ รูป (ค) แสดง โรเตอร์ หมายเลข 1 คือ แม่เหล็กถาวร , หมายเลข 2 คือ แผ่นจานเหล็กเหนียวยึดแม่เหล็กถาวร , หมายเลข 3 คือ ขั้วสเตเตอร์ , หมายเลข 4 คือ ขดลวดสเตเตอร์



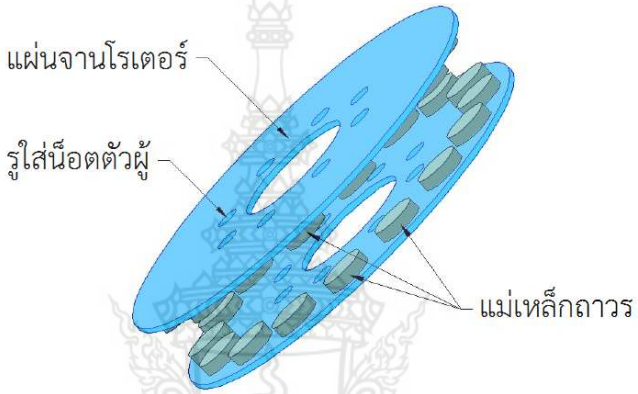
รูปที่ 2.3 โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาซึ่งเป็นแบบ 3 เฟส มีขดลวดสเตเตอร์ 9 ขดเป็นแบบขั้วยื่นอยู่ภายนอกและมีแผ่นจานแม่เหล็กหมุนอยู่ภายใน โดยหมายเลข 1 คือ แม่เหล็กถาวร , หมายเลข 2 คือ แผ่นจานแม่เหล็กชนิดเฟอร์โรแมกนีติก , หมายเลข 3 คือ ขั้วสเตเตอร์ , หมายเลข 4 คือ ขดลวดสเตเตอร์



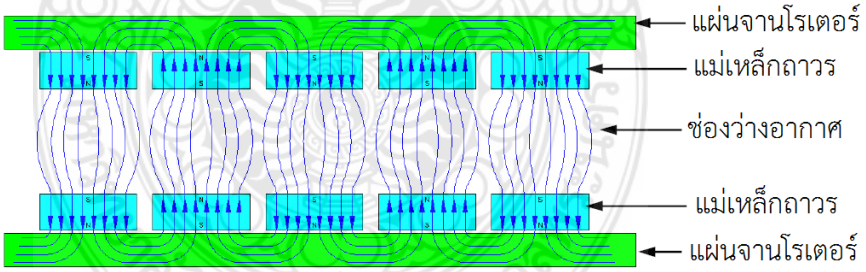
รูปที่ 2.4 โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาแบบจานแม่เหล็กหมุน4 จาน และมีตัวสเตเตอร์ไม่มีแกนเหล็ก โดยหมายเลข 1 คือ ขดลวดสเตเตอร์ , หมายเลข 2 คือ แม่เหล็กถาวร , หมายเลข 3 คือ โครงเครื่อง , หมายเลข 4 คือ แบริ่ง , หมายเลข 5 คือ เพลาของเครื่องกำเนิด

2.3 วงจรแม่เหล็กสมมูลของเครื่องกลไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวร

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนมีลักษณะการติดตั้งแม่เหล็กถาวรลงบนจานโรเตอร์หมุนคู่แสดงดังรูปที่ 2.5 และลักษณะของเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งออกจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ตัดผ่านช่องว่างอากาศสลับกันไปมาแสดงดังรูปที่ 2.6 ส่วนวงจรแม่เหล็กสมมูลของเครื่องกลไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรจานหมุนคู่[8] แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.5 โรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกน



รูปที่ 2.6 เส้นแรงแม่เหล็กพุ่งตัดผ่านช่องว่างอากาศสลับกันระหว่างจานโรเตอร์หมุนคู่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกน

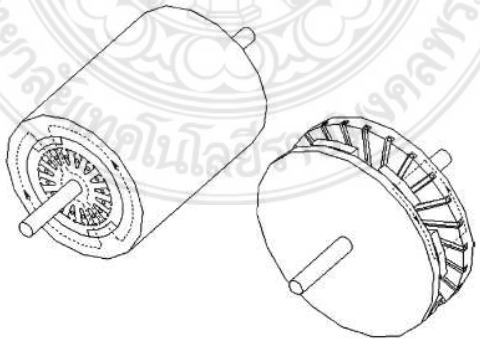
2.4 เปรียบเทียบเครื่องกลไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา (AFPM) กับแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนรัศมี (RFPM)

โดยทั่วๆ ไป เครื่องกลไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา (AFPM) จะมีความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าสูงกว่าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนรัศมี (RFPM) คือมีขนาดกระทัดรัดกว่าเมื่อเทียบกับขนาดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกมาเท่ากัน[9, 10, 11, 12] โดยคุณสมบัติของเครื่องกลไฟฟ้าแบบ AFPM โดยทั่วๆ ไป เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องกลไฟฟ้าแบบ RFPM สามารถสรุป [11, 13] ได้ดังนี้

- สามารถทำให้ปรับช่องว่างอากาศได้
- มีความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าสูงกว่าทำให้ประหยัดวัสดุแกนเหล็กที่นำมาทำเครื่องกำเนิด
- โครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้าแบบ AFPM ในอุดมคติทำให้สามารถปรับกำลังไฟฟ้าหรือแรงบิด

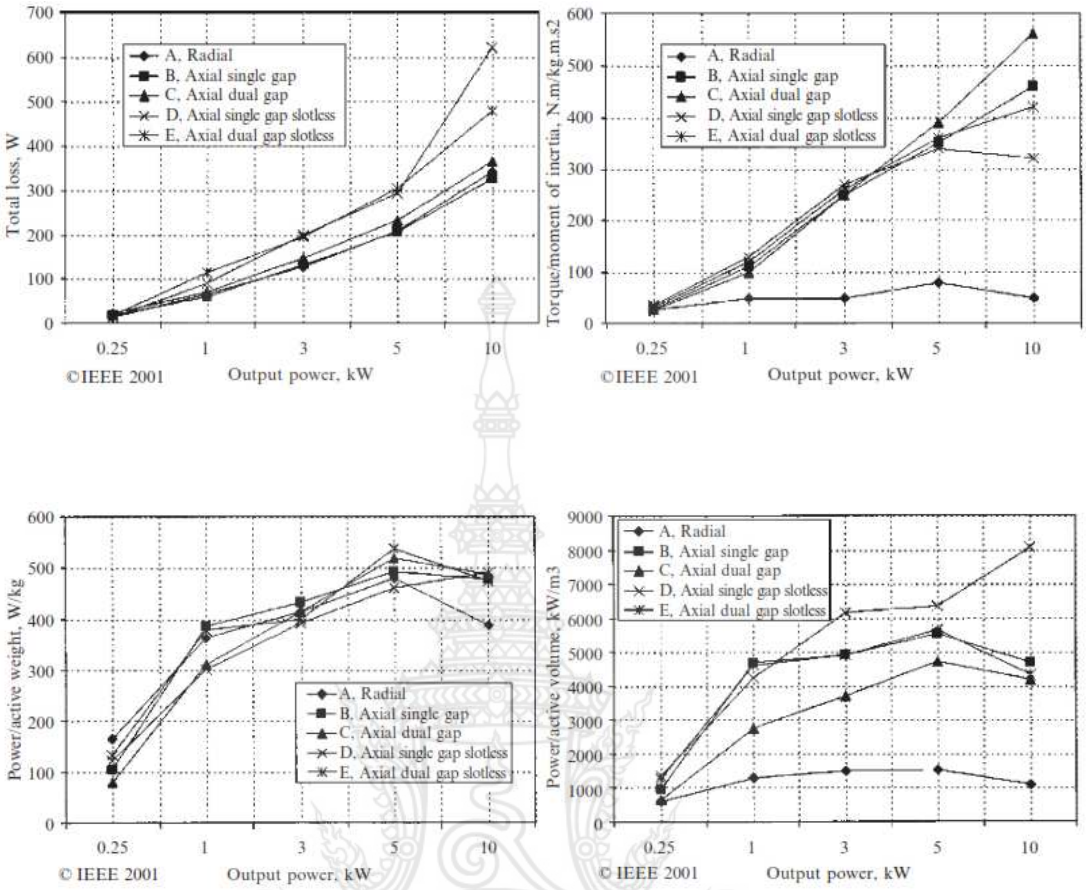
  ได้ตามต้องการ
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกใหญ่กว่าเครื่องกลไฟฟ้าแบบ RFPM ทำให้มีจำนวนขั้วมากกว่านั่นคือเครื่องกลไฟฟ้าแบบ AFPM จึงมีความเหมาะสมในการเลือกนำมาใช้ในงานที่ต้องการความถี่สูง หรือการใช้งานที่มีต้องการความเร็วต่ำ

ดังนั้นเครื่องกลไฟฟ้าแบบAFPM จึงมีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นตัวผลิตไฟฟ้า หรือการใช้งานพิเศษ เมื่อคุณสมบัติของมันมีการนำไปใช้งานได้ประโยชน์กว่าเครื่องกลไฟฟ้าแบบ RFPM เมื่อเทียบที่ขนาดเท่ากัน โดยโครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้าทั้ง 2 แบบ แสดงดังรูปที่ 2.7 และเส้นกราฟการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของเครื่องกลไฟฟ้าทั้ง 2 แบบ แสดงดังรูปที่ 2.8



(ก) (ข)

รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้าทั้ง 2 แบบ (ก) แบบ RFPM (ข) แบบ AFPM



รูปที่ 2.8 เส้นกราฟการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของเครื่องกลไฟฟ้าทั้ง 2 แบบ

2.5 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กผลิตจากแม่เหล็กถาวรพุ่งไหลตามแนวแกนเพลาแบบต่างๆ คือ แบบแผ่นจานแม่เหล็กหมุนเดี่ยว แบบแผ่นจานแม่เหล็กหมุนคู่ และแบบแผ่นจานแม่เหล็กหลายจานหมุน และเมื่อพิจารณาคุณสมบัติต่างๆ ของเครื่องกลไฟฟ้าทั้ง 2 แบบ คือ แบบเส้นแรงแม่เหล็กพุ่งตามแนวแกนเพลากับแบบเส้นแรงแม่เหล็กพุ่งตามแนวรัศมีได้ผลดังรูปที่ 2.8

บทที่ 3

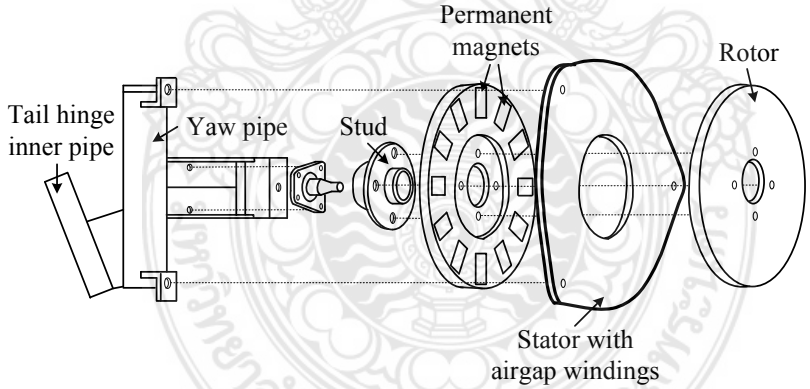
การออกแบบการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาขนาด 1 กิโลวัตต์

3.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงการออกแบบการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาขนาด 1 กิโลวัตต์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.2 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาที่นำเสนอเป็นแบบจานแม่เหล็กหมุนคู่เป็นส่วนเคลื่อนที่ และมีชุดขดลวดสเตเตอร์ไร้แกนเหล็กเป็นส่วนอยู่กับที่ แสดงดังรูปที่ 3.1

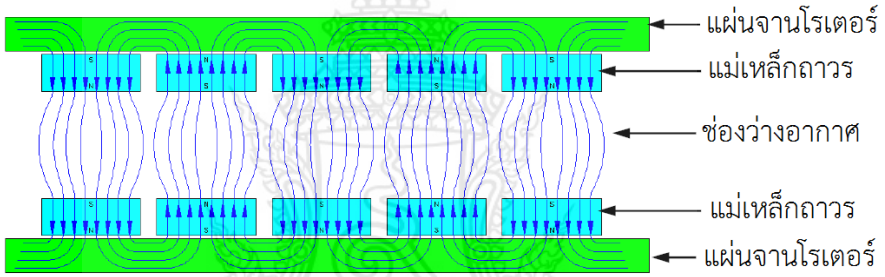


รูปที่ 3.1 โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาแบบจานแม่เหล็กหมุนคู่

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลามีลักษณะการติดตั้งแม่เหล็กถาวรลงบนจานโรเตอร์หมุนคู่ มีตำแหน่งการวางแท่งแม่เหล็กถาวร โดยวางห่างกันทำมุม 30 องศา แสดงดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 การติดตั้งแม่เหล็กถาวรลงบนจานโรเตอร์หมุน

ลักษณะของเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งออกจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ตัดผ่านช่องว่างอากาศสลับกันไปมาแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เส้นแรงแม่เหล็กพุ่งตัดผ่านช่องว่างอากาศสลับกันระหว่างจานโรเตอร์หมุนคู่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา

3.3 การออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา

3.3.1 สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดต่อเฟส

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดต่อเฟส[5] หาได้จากสมการที่ (3.1)

$$E_{g/ph} = 4.44 k_w N_{ph} \phi_p \left(N_r P / 120\right) \qquad (3.1)$$

เมื่อ

$E_{g/ph}$ คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อเฟส (โวลต์)

k_w คือ สัมประสิทธิ์ของการพันขดลวด

N_{ph} คือ จำนวนรอบการพันของขดลวดสเตเตอร์ต่อเฟส (รอบ)

ϕ_p คือ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว (เวเบอร์)

N_r คือ ความเร็วรอบเพลาโรเตอร์ (รอบต่อนาที)

P คือ จำนวนขั้วแม่เหล็กของเครื่องกำเนิด (ขั้ว)

ส่วนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้วหาได้จากสมการที่ (3.2 (

$$\phi_p = A.B \qquad (3.2)$$

เมื่อ

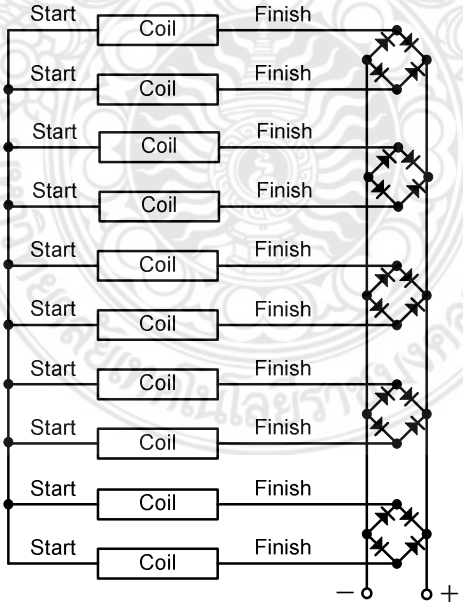
ϕ_p คือ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว (เวเบอร์)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของขั้วแม่เหล็ก (ตารางเมตร)

B คือ ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (เทสล่า)

3.3.2 วงจรการต่อชุดขดลวดสเตเตอร์

วงจรการต่อชุดขดลวดสเตเตอร์(Coil) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาแบบจานแม่เหล็กหมุนคู่แสดงดังรูปที่ 4 โดยมีชุดวงจรบริดจ์เรกติไฟร์ทำหน้าที่แปลงไฟสลับเป็นไฟตรงจำนวน 5 ชุด แล้วต่อขนานกันในแต่ละเฟสออกมาเป็นไฟตรง



รูปที่ 3.4 การต่อชุดขดลวดสเตเตอร์

ลักษณะการต่อชุดขดลวดสเตเตอร์ดังรูปที่ 3.4 จะต่ออนุกรมกัน 2 ชุดต่อเฟส โดยมีจำนวนชุดขดลวดทั้งหมด 10 ชุด ซึ่งจะได้ไฟฟ้าออกมาเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 5 เฟส 10 สาย

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการออกแบบใช้สร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ออกแบบในการสร้างเครื่องกำเนิดแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา	
พารามิเตอร์	**ค่า**
ความหนาแน่นกระแสในตัวนำ	4 A/mm^2
กระแสเอาต์พุตสูงสุดต่อเฟส	5 A
เบอร์ลวดตัวนำทองแดง	S.W.G. 16
จำนวนของชุดขดลวดสเตเตอร์	10 ชุด
จำนวนรอบตัวนำต่อเฟส	360 รอบ
จำนวนขั้วแม่เหล็ก	12 ขั้ว
พื้นที่หน้าตัดของขั้วแม่เหล็ก	0.0012 m^2
ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดที่พุ่งตัดผ่านชุดขดลวด (Coil)แต่ละชุด	0.5 T

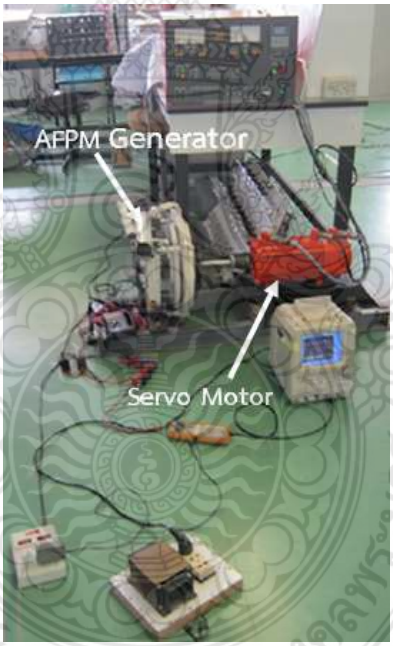
3.4 บทสรุป

ในบทนี้นำเสนอการเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาที่นำเสนอเป็นแบบจานแม่เหล็กหมุนคู่เป็นส่วนเคลื่อนที่ และมีชุดขดลวดสเตเตอร์ไร้แกนเหล็กเป็นส่วนอยู่กับที่ แสดงดังรูปที่ 4.1 โดยอาศัยสมการที่ (3.1) และ (3.2) ในการออกแบบสร้าง ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ออกแบบในการสร้างเครื่องกำเนิดแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาแสดงในตารางที่ 3.1

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 บทนำ

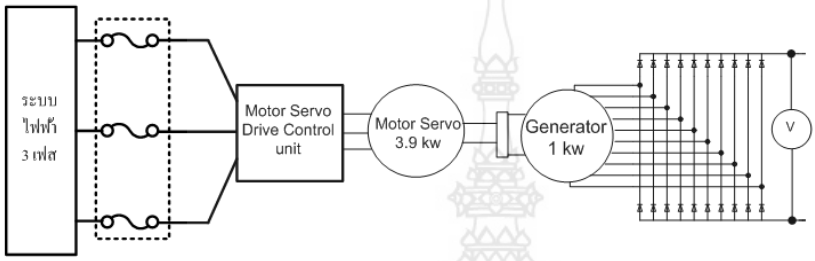
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาต้นแบบแสดงดังรูปที่ 4.1 โดยการใช้มอเตอร์เซอร์โวเป็นต้นกำลังในการปรับความเร็วรอบเพลาโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส ที่นำเสนอ โดยในบทนี้นำเสนอผลการทดสอบในสภาวะไม่มีโหลดและในสภาวะมีโหลดต่อทางด้านเอาต์พุตของเครื่องกำเนิด



รูปที่ 4.1 ต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา

4.2 การทดสอบในสภาวะไม่มีโหลด

การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาในสภาวะไม่มีโหลดต่อทางด้านเอาต์พุตของเครื่องกำเนิด ทำได้โดยต่อวงจรการทดสอบดังรูปที่ 4.2 จากนั้นทำการฉุดเพลาโรเตอร์เครื่องกำเนิดให้มีความเร็วรอบตามตารางที่ 4.1 และบันทึกค่าแรงดันเอาต์พุตของเครื่องเนิดที่ผ่านวงจรเรียงกระแสไฟสลับเป็นไฟตรงแล้วลงในตารางที่ 4.1



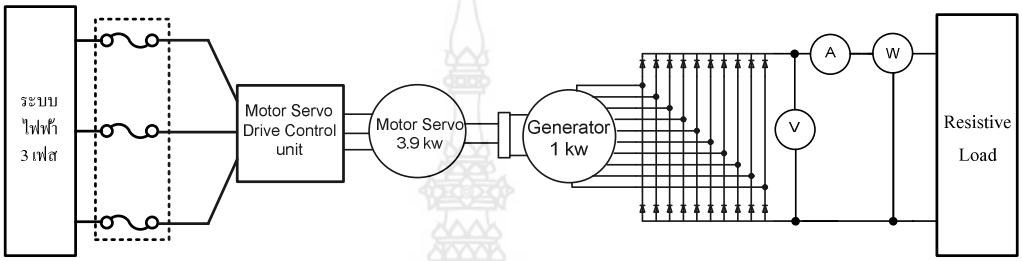
รูปที่ 4.2 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาในสภาวะไม่มีโหลด

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบเครื่องกำเนิด AFPM ในสภาวะไม่มีโหลด

ความเร็วเพลาโรเตอร์ ; N_r (rpm)	สภาวะไม่มีโหลด
	V_{out}(V)
0	0
200	37
300	59
400	72
500	87
600	105
700	117
800	140
900	151
1000	164

4.3 การทดสอบในสภาวะมีโหลด

การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาในสภาวะมีโหลดต่อทางด้านเอาต์พุตของเครื่องกำเนิด ทำได้โดยต่อวงจรการทดสอบดังรูปที่ 4.3 จากนั้นทำการฉุดเพลาโรเตอร์เครื่องกำเนิดให้มีความเร็วรอบตามตารางที่ 4.2 และบันทึกค่าแรงดันเอาต์พุตของเครื่องเนิดที่ผ่านวงจรเรียงกระแสไฟสลับเป็นไฟตรงแล้วลงในตารางที่ 4.2

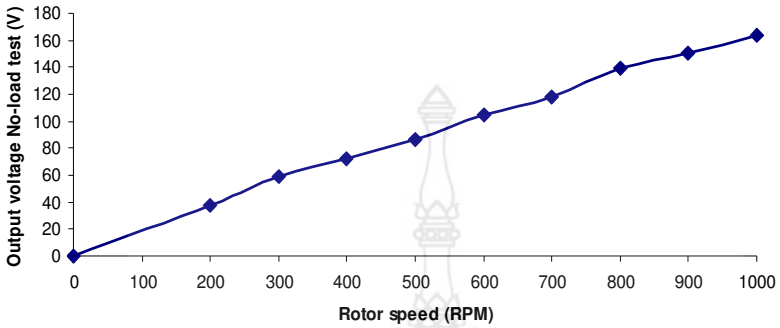


รูปที่ 4.3 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาในสภาวะมีโหลด

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบเครื่องกำเนิด AFPM ในสภาวะมีโหลด

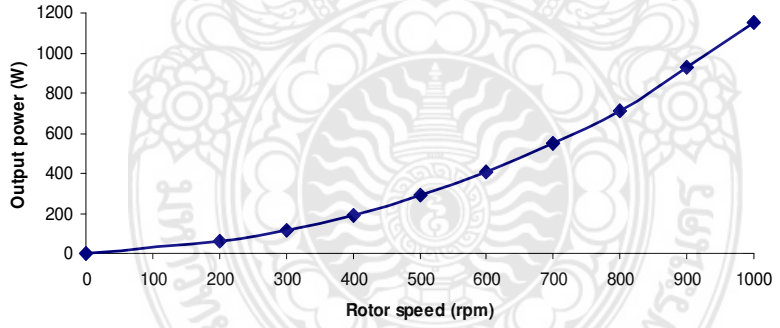
ความเร็วเพลาโรเตอร์ ; N_r (rpm)	สภาวะมีโหลด		
	V_{out}(V)	I_{out}(A)	P_{out}(W)
0	0	0	0
200	36	1.7	60
300	53	2.2	115
400	69	2.8	190
500	85	3.4	290
600	101	4.1	410
700	116	4.8	550
800	131	5.4	710
900	145	6.4	930
1000	159	7.2	1150

ผลการทดสอบหาคุณลักษณะของความเร็วรอบเพลาโรเตอร์กับแรงดันไฟตรงเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดขณะไม่มีโหลด แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 คุณลักษณะของความเร็วรอบเพลาโรเตอร์กับแรงดันไฟตรงเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส ขณะไม่มีโหลด

ผลการทดสอบหาคุณลักษณะของความเร็วรอบเพลาโรเตอร์กับกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดขณะมีโหลดตัวต้านทาน แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 คุณลักษณะของความเร็วรอบเพลาโรเตอร์กับกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสขณะมีโหลดตัวต้านทาน

4.4 บทสรุป

จากการทดสอบในสภาวะไม่มีโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา เมื่อเพิ่มความเร็วรอบเพลาโรเตอร์ให้มีความเร็วรอบสูงขึ้น เครื่องกำเนิดก็จะผลิตแรงดันไฟตรงสูงขึ้นดังรูปที่ 4.4 ส่วนผลการทดสอบหาคุณลักษณะของความเร็วรอบเพลาโรเตอร์กับกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดขณะมีโหลดตัวต้านทานจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบสูงขึ้นกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสผ่านวงจรเรียงกระแสไฟสลับเป็นไฟตรงไปยังโหลดตัวต้านทานก็จะมีค่าสูงขึ้น

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ โดยพิจารณาจากข้อมูลในบทที่ 1 ถึง 4 นำมาเขียนอธิบาย ซึ่งนำมาเสนอไว้ในบทนี้ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.2 สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบในสภาวะไม่มีโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา เมื่อเพิ่มความเร็วรอบเพลาโรเตอร์ให้มีความเร็วรอบสูงขึ้น เครื่องกำเนิดก็จะผลิตแรงดันไฟตรงสูงขึ้น ส่วนผลการทดสอบหาคุณลักษณะของความเร็วรอบเพลาโรเตอร์กับกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดขณะมีโหลดตัวต้านทานจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบสูงขึ้นกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสผ่านวงจรเรียงกระแสไฟสลับเป็นไฟตรงไปยังโหลดตัวต้านทานก็จะมีค่าสูงขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพล้าต้นแบบที่สร้างขึ้นหากต่อยอดนำไปประยุกต์ใช้กับพลังงานลมก็จะทำให้ลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้าได้เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตไฟฟ้า

เอกสารอ้างอิง

[1] Chen. Y, Pillay. P, "Axial-flux PM wind generator with a soft magnetic composite core", IEEE Industry Applications, Vol.1, 2005, pp. 231-237.

[2] J. R. Bumby and R. Martin, "Axial Flux, Permanent Magnet, Generators for Engine Integration," The 12th International Stirling Engine Conference, Durham, Sept 2005.

[3] Garrison F. Price, Todd D. Batzel, Mihai Comanescu and Bruce A. Muller,"Design and Testing of a Permanent Magnet Axial Flux Wind Power Generator", The 2008 IAJC-IJME International Conference.

[4] Jacek F. Gieras, Rong-Jie Wang and Maarten J. Kamper, "Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines", Second Edition, Springer, 2008.

[5] Patterson, D., and R. Spee, "The design and development of an axial flux permanent magnet brushless DC motor for a wheel drive in a solar powerd vehicle," Proc. IEEE Ind. Apps. Society Conf., Denver, 1994, vol. 1, pp. 188-195.

[6] Brown, N., L. Haydock, and J.R. Bumby, "Foresight vehicle: A toroidal, axial flux generator for hybrid IC engine/battery electric vehicle applications," Proc. SAE Conf. paper 2002-01-089, Detroit, March 2002.

[7] Huang, S., M. Aydin, and T.A. Lipo, "TORUS concept machines: pre-prototyping design assessment for two major topologies," 2001 IEEE Industry Applications Conference, vol. 3, no. 30, Sept. 2001, pp. 1619-1625.

[8] Yicheng Chen and Pragasen Pillay,FIEEE, "Axial-Flux PM Wind Generator with A Soft Magnetic Composite Core", IEEE, 2005.

[9] Campbell P, "Principle of a PM axial field DC machine", Proceedings of IEE, vol. 121, no. 1, pp. 1489-1494, 1974.

[10] Chan C.C., "Axial-field electrical machines: design and application", IEEE Trans. EC-2(2): pp. 294-300, 1987.

เอกสารอ้างอิง

[11] Gieras J.F., and Wing M., “Permanent magnet motor technology: design and applications”, 2nd ed., Marcel Dekker, New York, 2002.

[12] Leung W.S., and Chan C.C, “A new design approach for axial-field electrical machine, IEEE Trans., PAS-99(4): pp. 1679-1685, 1980.

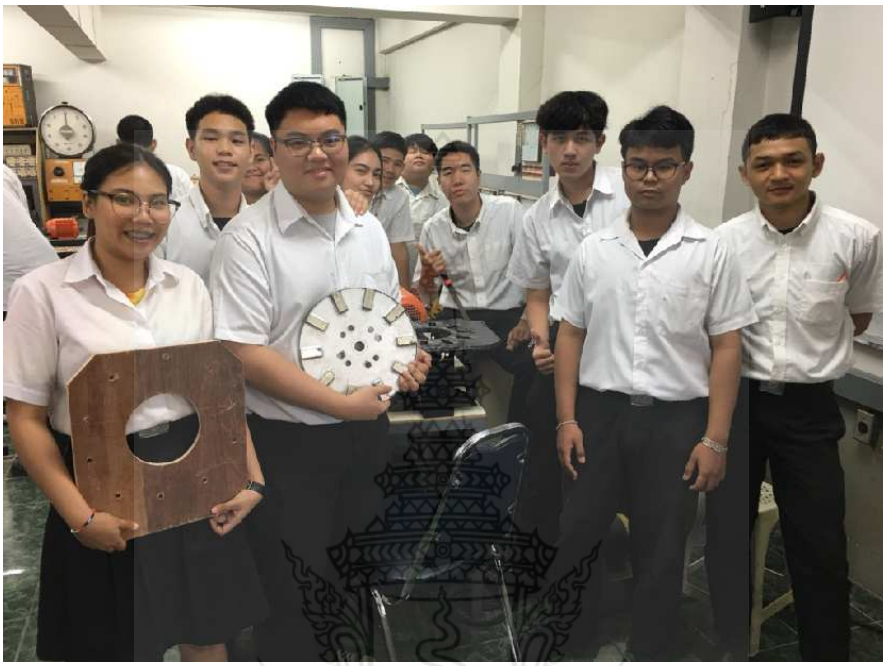
[13] Chan C.C, “Axial-field electrical machines with yokeless armature core”, PhD Thesis, University of Hong Kong.

ภาคผนวก ก.

หลักฐานการถ่ายทอดเทคโนโลยีเกี่ยวกับ
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหล
ตามแนวแกนเพลาขนาด 1 กิโลวัตต์

การถ่ายทอดเทคโนโลยีและการถ่ายทอดองค์ความรู้เกี่ยวกับ
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาขนาด 1 กิโลวัตต์
เป้าหมายนักศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพช่างไฟฟ้า ปวช. ช่างไฟฟ้า ชั้นปี 3
เมื่อวันที่ 13 กันยายน 2562 เวลา 8.00 - 12.00 น. และ เวลา 13.00 - 17.00 น.

การถ่ายทอดเทคโนโลยีและการถ่ายทอดองค์ความรู้เกี่ยวกับ
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาขนาด 1 กิโลวัตต์
เป้าหมายนักศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพช่างไฟฟ้า ปวช. ช่างไฟฟ้า ชั้นปี 3
เมื่อวันที่ 13 กันยายน 2562 เวลา 8.00 - 12.00 น. และ เวลา 13.00 - 17.00 น.



รายชื่อนักศึกษาที่เข้ารับการถ่ายทอดองค์ความรู้เกี่ยวกับการสร้าง
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา
ขนาด 1 กิโลวัตต์ ประยุกต์ใช้กับพลังงานลมผลิตไฟฟ้า

สาขาวิชาช่างไฟฟ้า

ลำดับที่	รหัสนักศึกษา	ชื่อ-สกุล	ลายเซ็นต์	ห้อง
1	056010104001-5	นายธราดล มีทรัพย์มั่น		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
2	056010104008-0	นายสราวุฒิ รัตนเดโชชัย		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
3	056010104009-8	นายวัทฒวรรษ์ มาอ่อน		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
4	056010104010-6	นายนคเรศ ยวงบุญเยี่ยม		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
5	056010104011-4	นายกนกพล จันทร์เพื่อน		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
6	056010104012-2	นายณภัทร ภู่จันทร์		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
7	056010104013-0	นายทรงวุฒิ อยู่ชา		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
8	056010104014-8	นายโชติวัฒน์ โพธิ์สิน		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
9	056010104016-3	นายกรพนา เรืองพันธ์		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
10	056010104017-1	นายพีรวิชญ์ วัชรกาฬ		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
11	056010104018-9	นายธนดล จันทร์แต่งผล		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
12	056010104019-7	นางสาวพรธีรา ปัญญาสิทธิ์		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
13	056010104021-3	นายกฤษฎ์ สุทธิเสริม		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
14	056010104022-1	นายศิวัช แตงโสภา		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
15	056010104024-7	นายธารนที เฟื่องฟุ้ง		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
16	056010104025-4	นายนิคม นาคทอง		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
17	056010104026-2	นายปิติพัฒน์ สุกแสง		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
18	056010104027-0	นายไทวกฤต ใจกล้า		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
19	056010104029-6	นางสาวรัฐวรรณ วรรณวงษ์		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
20	056010104030-4	นายปรัชญา โสมาบุตร		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
21	056010104031-2	นายศุภวิชญ์ ต้นแทน		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
22	056010104032-0	นายธีร์วรา เล็กเกาะทวด		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
23	056010104033-8	นางสาวพิมมาดา อัคคศิริสกุล		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
24	056010104034-6	นายบวรศักดิ์ เสียมภพพิริะ		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
25	056010104035-3	นายณภัทร เตียวเจริญ		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1

รายชื่อนักศึกษาที่เข้ารับการถ่ายทอดองค์ความรู้เกี่ยวกับการสร้าง เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา ขนาด 1 กิโลวัตต์ ประยุกต์ใช้กับพลังงานลมผลิตไฟฟ้า

สาขาวิชาช่างไฟฟ้า (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสนักศึกษา	ชื่อ-สกุล	ลายเซ็นต์	ห้อง
26	056010104036-1	นายภูริต วุฒิธรรมทวี		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
27	056010104037-9	นายณรงค์ นิลการะเกษ		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
28	056010104038-7	นายวริศ วรรณสถิตย์		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
29	056010104039-5	นายทอง ม่วงใหม่		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
30	056010104040-3	นายอติกันต์ อิ่มแจ้ง		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
31	056010104041-1	นางสาวพิมพิรา เพ็ชรรักษ์		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
32	056010104042-9	นายธราดล บัวศรี		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
33	056010104043-7	นายคณิศร หอมกลิ่น		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
34	056010104044-5	นายนพพล ไกรฤกษ์		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
35	056010104045-2	นายศรายุธ ศรีพงษ์		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
36	056010104046-0	นายณธพล รัตนะ		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
37	056010104047-8	นายพงศธร บุญเจริญกิจกุล		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
38	056010104048-6	นายธรรมปพน วสุธนะเลิศ		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
39	056010104049-4	นางสาวกัลยกร มีแสงเงิน		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 1
40	056010104101-3	นายกิตติกานต์ กลิ่นสอน		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
41	056010104102-1	นายณฑกร รัตนะ		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
42	056010104103-9	นายณภัทร ทองอ่อน		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
43	056010104104-7	นางสาวกฤติกา เนียมหะ		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
44	056010104105-4	นายชลชัย คำเงิน		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
45	056010104106-2	นายธีรนัย วิทยาธรชัย		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
46	056010104107-0	นายสาธิต ฤทธิจันทร์		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
47	056010104108-8	นายกรกฤต พัฒนาไพบูลย์กุล		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
48	056010104109-6	นายรัชชานนท์ เหลืองสนิท		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
49	056010104110-4	นายเสวก เศวตดิษฐ์		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
50	056010104111-2	นายกฤตยชญ์ ทองมนต์		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
51	056010104112-0	นายนฤเบศ จันทร์อำไพ		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
52	056010104115-3	นายปัณณธร แสงเงิน		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2

รายชื่อนักศึกษาที่เข้ารับการถ่ายทอดองค์ความรู้เกี่ยวกับการสร้าง
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา
ขนาด 1 กิโลวัตต์ ประยุกต์ใช้กับพลังงานลมผลิตไฟฟ้า

สาขาวิชาช่างไฟฟ้า (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสนักศึกษา	ชื่อ-สกุล	ลายเซ็นต์	ห้อง
53	056010104117-9	นายภาคภูมิ สุทธิรักษ์		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
54	056010104119-5	นายวีรภัทร สุขสะอาด		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
55	056010104120-3	นายธนัท แซ่ขอ		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
56	056010104121-1	นายกฤตบุญ นิลสุ		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
57	056010104122-9	นายนคร ภัทรเผ่า		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
58	056010104125-2	นางสาวภัทริกา มัธยมมาก		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
59	056010104126-0	นายทิวัชระ สุชลจิต		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
60	056010104127-8	นายตรีกวิณท์ หิวานันท์		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
61	056010104129-4	นายธนวัฒน์ ชิณวงค์		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
62	056010104131-0	นางสาวลัญจกร สุริยจันทร์		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
63	056010104133-6	นายปุณณ บุญปั้น		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
64	056010104135-1	นายนัฐ ปานเพชร		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
65	056010104136-9	นายพงศ์วิทย์ พฤกษารัตนวุฒิ		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
66	056010104137-7	นายปัณณธร บุญอินทร์		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2
67	056010104138-5	นางสาวสิมิรัน ปิ่นนิล		ปวช ไฟฟ้า ปี 3 ห้อง 2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ภาคผนวก ข.

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

ELECTRICAL ENGINEERING NETWORK 2019

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 11

The 11th Conference of Electrical Engineering Network 2019

วันที่ 15-17 พฤษภาคม พ.ศ. 2562

ณ โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ อำเภอ พระนครศรีอยุธยา

จังหวัด พระนครศรีอยุธยา

Conference Topics

1.ไฟฟ้ากำลัง (Electrical Power : PW)

2.อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics : PE)

3.พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน (Energy and Energy Saving : ES)

4.ระบบควบคุมและการวัด (Control Systems and Instrumentation : CT)

Training AD Didactic Systems Teachware

5.คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (Computer and Information Technology : CP)

6.วงจรอิเล็กทรอนิกส์และการสื่อสาร (Electronics Circuit and Communication : EC)

7.นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ (Innovation and Invention : IN)

8.งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (General Electrical Engineering : GN)

9.หัวข้อพิเศษในด้านวิศวกรรมไฟฟ้า (Special Session on Electrical Engineering : SS)

UTILITY PLUS Company Limited www.utp.co.th
MITSUBISHI ELECTRIC Changes for the Better
MEIDEN
Kumwell
GUNKUL not only the energy, we care
STC MEDIA & MARKETING

		หน้า
GN-05	**การตรวจจับแบบนิรภัยสำหรับช่วงความเร็วรอบที่ปลอดภัยของมอเตอร์ในระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า** *ประสงค์ เพ็งตะโก โชติ มณีโชติ ไชยา เลิศอัศวิน และ แสนศักดิ์ ดีอ่อน* *สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน*	499
GN-06	**การบันทึกค่าและแสดงผลกำลังงานไฟฟ้าด้วยอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง** *ศิริพงษ์ ฉายสินธ์* *มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*	503
GN-07	**การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายความร้อนเพื่อระบุตำแหน่ง และวิเคราะห์อาการบาดเจ็บที่เข่า** *สุทธินันท์ ตั้นโพธิ์ ยุทธณา คงจีน รุ่งเพชร ก่องนอก กฤษติเดช บัวใหญ่ และ กาญท์ เกิดชื่น* *มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน*	507
GN-08	**การประมวลผลสัญญาณอนาล็อกสำหรับเทคนิคการวัดสนามแม่เหล็กโดยไม่ขึ้นกับทิศทาง** *อธิโรจน์ มะโน รุ่งลาวัลย์ ชูสวัสดิ์ ภราดร เรืองกูล และ ชวนนท์ มะโน* *มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*	511
GN-09	**เครื่องตรวจวัดความดันโลหิตและควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าไร้สายผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับการช่วยดูแลคนพิการและผู้สูงอายุ** *กฤษณะพงศ์ พันธ์ศรี เอกพล ขันสาลี ธนาธิป บับภาวัน กิตติทัต ชมภูวิเศษ พลศิริ ฝ้ายขาว และ ศราวุฒิ จุนจริง* *มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น*	515
GN-10	**การออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการอุณหภูมิด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม** *พิษณุ ศรีธงชัย ทศพร พรหมสิทธ์ กรณภว์ กนกลภัสกุล และ สุรัตติกาล สุวรรณพรหม* *สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน*	519
GN-11	**การศึกษารถไฟแม่เหล็กลอยตัว** *รัก สกุลพงศ์* *มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร*	523
GN-12	**ลักษณะทางไฟฟ้าของโคโรนาพลาสมาที่ความดันบรรยากาศโดยใช้อิเล็กโทรดแบบหลายเข็ม** ชิษณุพงศ์ ปฤกษา ภาณุวัฒน์ ทับอินทร์ ศุภณฐ์ นิ่มบัว ธีระวัฒน์ เต็มผลทรัพย์ และคณิศร์ มาตรา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	527
GN-13	**การศึกษาการหาค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดที่มีเงื่อนไขบังคับของการประมาณเส้นโค้งการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส** *พรเทพ ปัญญาแก้ว* *มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร*	531
GN-14	**เครื่องมือตรวจวัดความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ด้วยวิธีการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์สล็อตโรเตอร์** *ฐาปนิค ตีระพันธ์ วิชาญ เพชรมณี และ ธีรพงษ์ ฉิมเพชร* *มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*	535
GN-15	**การวิเคราะห์เปรียบเทียบด้านเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา และ แบบติดตั้งบนพื้นดิน ขนาด 1 เมกะวัตต์** *ธราธิป แสงกล้า ฤทธิชัย ราชแป้น นิรุตติ นิลแก้ว และ บุญยัง ปลั่งกลาง* *มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี*	539
GN-16	**เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาขนาด 1 กิโลวัตต์ ประยุกต์ใช้กับพลังงานลมผลิตไฟฟ้า** *พูนศรี วรรณการ พนา ดุสิตากร นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ และ ธนารัตน์ ตันมณีประเสริฐ* *มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร*	543

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาขนาด 1 กิโลวัตต์ ประยุกต์ใช้กับพลังงานลมผลิตไฟฟ้า

A Five-Phase Axial Flux Permanent Magnet Generator at Rated Power 1 kW on Application for Wind Energy to Producing Electricity

พูนศรี วรรณการ พนา ดุสิตากร นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ และ ธนารัตน์ ตันมณีประเสริฐ
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ โทรศัพท์ 02-836-3000 E-mail : poonsri.w@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส สำหรับสร้างเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสที่สร้างขึ้นมา มีองค์ประกอบที่สำคัญต่างๆ ที่ควรคำนึงถึงในขั้นตอนการออกแบบและสร้าง เช่น จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว จำนวนขั้วแม่เหล็ก จำนวนรอบตัวนำ ความเร็วรอบโรเตอร์ และสัมประสิทธิ์การพันขดลวด จากผลการทดสอบพบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลานี้สามารถผลิตแรงดันไฟตรงได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งสภาวะไม่มีโหลด และมีโหลด โดยเครื่องกำเนิดที่สร้างขึ้นนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานผลิตไฟฟ้ากับพลังงานทดแทนอื่นได้ เช่น การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม

คำสำคัญ: เส้นแรงแม่เหล็ก, ขั้วแม่เหล็ก, พลังงานลม

Abstract

This paper presents the design and construction of a five-phase generator for producing magnetic force along the shaft axis that there are various important elements, which should be considered in the processes of the design and construction such as flux per pole, number of poles, number of turns, rotor speed and winding coefficient of coils. The experiment result is found thatthe five-phase axial flux permanent magnet generator along the shaft axis can produce DC voltage by the efficiency without load and with load. Furthermore, this contribution can be used to produce electricity with other renewable energy, such as electricity from wind energy.

Keywords: flux, pole, wind energy

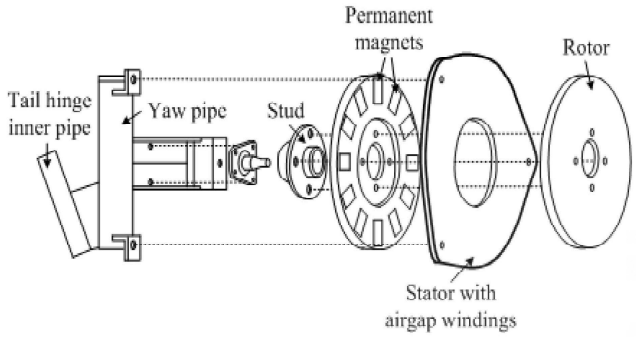
1. บทนำ

ปัจจุบันเราได้ใช้ทรัพยากรต่างๆ เพื่อสนองความต้องการของประชากรที่มีจำนวนเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะทรัพยากรที่เป็นพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ยูเรเนียม เป็นต้น ซึ่งมีจำนวนจำกัดและสักวันหนึ่งจะต้องหมดไป อีกทั้งแหล่งน้ำมันเชื้อเพลิงก็กำลังจะถูกใช้หมดไปทำให้ได้รับความกระทบกระเทือนจากการที่น้ำมันมีราคาแพงขึ้น ประเทศที่ได้รับผลกระทบมากได้แก่ ประเทศที่ไม่มีแหล่งเชื้อเพลิงเป็นของตนเอง ดังนั้นพลังงานทดแทนในรูปอื่นๆ เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงแดด พลังงานกล ฯลฯ จึงได้รับความสนใจนำมาใช้มากขึ้นซึ่งหากเรามีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาทำหน้าที่เป็นตัวผลิตไฟฟ้า[1-3] ก็จะทำให้เกิดการประยุกต์นำมาใช้งานกับพลังงานทดแทนดังกล่าวได้ทำให้ประเทศชาติไม่ต้องเสียเงินนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิลต่างๆก่อให้เกิดการประหยัดเงินตราในการนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตไฟฟ้า

โดยทั่วๆ ไป เครื่องกลไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาจะมีความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าสูงกว่าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนรัศมีคือมีขนาดกะทัดรัดกว่าเมื่อเทียบกับขนาดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกมาเท่ากันโดยคุณสมบัติของเครื่องกลไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาโดยทั่วไปเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องกลไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนรัศมีสามารถสรุป[4] ได้ดังนี้คือสามารถปรับช่องว่างอากาศได้มีความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าสูงกว่าทำให้ประหยัดวัสดุแกนเหล็กที่นำมาทำเครื่องกำเนิดและที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกใหญ่กว่าเครื่องกลไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนรัศมีทำให้มีจำนวนขั้วแม่เหล็กมากกว่านั่นคือเครื่องกลไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา จึงมีความเหมาะสมในการเลือกนำมาใช้งานในการผลิตไฟฟ้ามีความถี่ที่ต้องการโดยที่มีความเร็วรอบเพลาโรเตอร์ต่ำ

2. โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาที่นำเสนอเป็นแบบจานแม่เหล็กหมุนคู่เป็นส่วนเคลื่อนที่และมีชุดขดลวดสเตเตอร์ไร้แกนเหล็กเป็นส่วนอยู่กับที่ แสดงดังรูปที่ 1

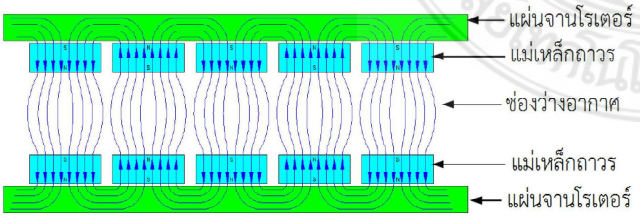


รูปที่ 1โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาแบบจานแม่เหล็กหมุนคู่

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลามีลักษณะการติดตั้งแม่เหล็กถาวรลงบนจานโรเตอร์หมุนคู่มีตำแหน่งการวางแท่งแม่เหล็กถาวร โดยวางห่างกันทำมุม 30 องศา แสดงดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 การติดตั้งแม่เหล็กถาวรลงบนจานโรเตอร์หมุน

ลักษณะของเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งออกจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ตัดผ่านช่องว่างอากาศสลับกันไปมาแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 เส้นแรงแม่เหล็กพุ่งตัดผ่านช่องว่างอากาศสลับกันระหว่างจานโรเตอร์หมุนคู่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา

3. การออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา

3.1 สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดต่อเฟส

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดต่อเฟส[5] หาได้จากสมการที่ (1) ส่วนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้วหาได้จากสมการที่ (2)

$$E_{g/ph} = 4.44 k_w N_{ph} \phi_p \left(N_r P / 120\right) \quad (1)$$

เมื่อ

$E_{g/ph}$ คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อเฟส(โวลต์)
k_w คือ สัมประสิทธิ์ของการพันขดลวด
N_{ph} คือ จำนวนรอบการพันของขดลวดสเตเตอร์ต่อเฟส(รอบ)
ϕ_p คือ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว(เวเบอร์)
N_r คือ ความเร็วรอบเพลาโรเตอร์(รอบต่อนาที)
P คือ จำนวนขั้วแม่เหล็กของเครื่องกำเนิด(ขั้ว)

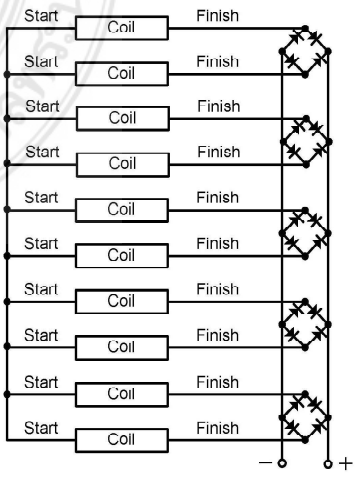
$$\phi_p = A.B \quad (2)$$

เมื่อ

ϕ_p คือ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว(เวเบอร์)
A คือ พื้นที่หน้าตัดของขั้วแม่เหล็ก(ตารางเมตร)
B คือ ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก(เทสล่า)

3.2 วงจรการต่อชุดขดลวดสเตเตอร์

วงจรการต่อชุดขดลวดสเตเตอร์(Coil) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาแบบจานแม่เหล็กหมุนคู่แสดงดังรูปที่ 4 โดยมีชุดวงจรบริดจ์เรกติไฟร์ทำหน้าที่แปลงไฟสลับเป็นไฟตรงจำนวน 5 ชุด แล้วต่อขนานกันในแต่ละเฟสออกมาเป็นไฟตรง



รูปที่ 4 การต่อชุดขดลวดสเตเตอร์

ลักษณะการต่อชุดขดลวดสเตเตอร์ดังรูปที่ 4 จะต่ออนุกรมกัน 2 ชุดต่อเฟส โดยมีจำนวนชุดขดลวดทั้งหมด 10 ชุด ซึ่งจะได้ไฟฟ้าออกมาเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 5 เฟส ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการออกแบบใช้สร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา แสดงดังตารางที่ 1

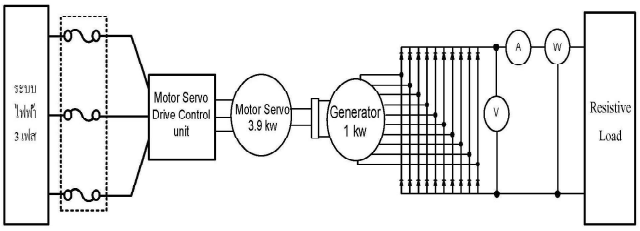
ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ออกแบบในการสร้างเครื่องกำเนิดแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา	
พารามิเตอร์	**ค่า**
ความหนาแน่นกระแสในตัวนำ	4 A/mm^2
กระแสเอาต์พุตสูงสุดต่อเฟส	2 A
เบอร์ลวดตัวนำทองแดง	S.W.G. 16
ไดโอดบริดจ์เรกติไฟร์	35A-700V per phase
จำนวนของชุดขดลวดสเตเตอร์	10 ชุด
จำนวนรอบตัวนำต่อเฟส	360 รอบ
จำนวนขั้วแม่เหล็ก	12 ขั้ว
พื้นที่หน้าตัดของขั้วแม่เหล็ก	0.001 m^2
ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดที่พุ่งตัดผ่านชุดขดลวด(Coil)แต่ละชุด	1.27 T

4. ผลการทดสอบ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาต้นแบบแสดงดังรูปที่ 5 และวงจรการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส ต้นแบบแสดงดังรูปที่ 6 โดยการใช้มอเตอร์เซอร์โวเป็นต้นกำลังในการปรับความเร็วรอบเพลาโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5เฟส ที่นำเสนอ โดยผลการทดสอบในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลดตัวต้านทานแสดงดังตารางที่ 2

รูปที่ 5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาต้นแบบ

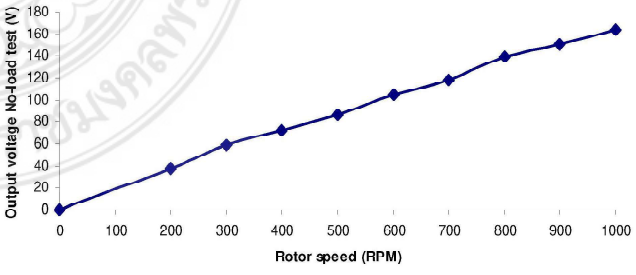


รูปที่ 6 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา

ตารางที่ 2 การทดสอบในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลดตัวต้านทาน

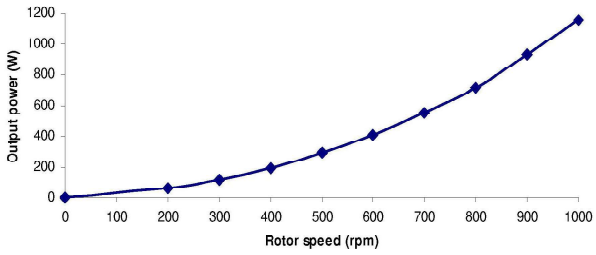
ความเร็วเพลาโรเตอร์ ; N_r (rpm)	สภาวะไม่มีโหลด	สภาวะมีโหลดตัวต้านทาน		
	V_{out}(V)	V_{out}(V)	I_{out}(A)	P_{out}(W)
0	0	0	0	0
200	37	36	1.7	60
300	59	53	2.2	115
400	72	69	2.8	190
500	87	85	3.4	290
600	105	101	4.1	410
700	117	116	4.8	550
800	140	131	5.4	710
900	151	145	6.4	930
1000	164	159	7.2	1150

ผลการทดสอบหาคุณลักษณะของความเร็วรอบเพลาโรเตอร์กับแรงดันไฟตรงเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดขณะไม่มีโหลด แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 คุณลักษณะของความเร็วรอบเพลาโรเตอร์กับแรงดันไฟตรงเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส ขณะไม่มีโหลด

ผลการทดสอบหาคุณลักษณะของความเร็วรอบเพลาโรเตอร์กับกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดขณะมีโหลดตัวต้านทาน แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 คุณลักษณะของความเร็วรอบเพลาโรเตอร์กับกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสขณะมีโหลดตัวต้านทาน

5. บทสรุป

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟส แบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลา โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ออกแบบในการสร้างเครื่องกำเนิด 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาแสดงดังตารางที่ 1 ในการทดสอบเครื่องกำเนิดขณะไม่มีโหลดจะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วโรเตอร์เพิ่มสูงขึ้นแรงดันไฟตรงเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดจะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนการทดสอบเครื่องกำเนิดขณะมีโหลดตัวต้านทานจะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วโรเตอร์เพิ่มสูงขึ้นกำลังไฟตรงเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดจะมีค่าเพิ่มขึ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้นดังรูปที่ 8 ซึ่งหากเรานำไปประยุกต์ใช้งานต่อเชื่อมเพลาของเครื่องกำเนิดเข้ากับเพลาของกังหันลมก็จะทำให้สามารถผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ให้ทุนอุดหนุนวิจัยประจำปี 2562 ตามสัญญาเลขที่ 62-3206-03/3 ในการดำเนินงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Chen. Y, Pillay. P, "Axial-flux PM wind generator with a soft magneticcomposite core", IEEEIndustry Applications, Vol.1, 2005, pp. 231-237.

[2] J. R. Bumby and R. Martin, "Axial Flux, Permanent Magnet, Generators for Engine Integration," The 12th International Stirling Engine Conference, Durham, Sept 2005.

[3] Garrison F. Price, Todd D. Batzel, Mihai Comanescu and Bruce A. Muller, "Design and Testing of a Permanent Magnet Axial Flux Wind Power Generator", The 2008 IAJC-IJME International Conference.

[4] Jacek F. Gieras, Rong-Jie Wang and Maarten J. Kamper, "Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines", Second Edition, Springer, 2008.

พูนศรี วรรณการ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท(วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า และปริญญาเอก(วศ.ด.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทำงานวิจัยด้านเครื่องกลไฟฟ้าและพลังงานทดแทน

พนา ดุสิตากร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท(คอ.ม.) และดับปริญญาเอก(Ph.D) สาขาวิชาเทคโนโลยีเทคนิคศึกษาจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ทำงานวิจัยด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ และพลังงานทดแทน

นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท(วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และปริญญาเอก(Ph.D) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ทำงานวิจัยด้านระบบไฟฟ้ากำลัง และพลังงานทดแทน

ธนารัตน์ ตันมณีประเสริฐ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท(วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และปริญญาเอก(Ph.D) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ณ University of Southampton, UK สนใจงานวิจัยด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง และพลังงานทดแทน

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 11

The 11th Conference of Electrical Engineering Network 2019 (EENET2019)

ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้เพื่อแสดงว่า

ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.พูนศรี วรรณการ

ได้เข้าร่วมนำเสนอบทความเรื่อง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 เฟสแบบเส้นแรงแม่เหล็กไหลตามแนวแกนเพลาขนาด 1 กิโลวัตต์

ประยุกต์ใช้กับพลังงานลมผลิตไฟฟ้า

ระหว่างวันที่ 15-17 พฤษภาคม พ.ศ. 2562

ณ โรงแรม กรุงศรี ริเวอร์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อุณหเลขกะ
ประธานคณะกรรมการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

จ่าอากาศโท ดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล
ประธานดำเนินงานจัดการประชุมครั้งที่ 11

ประวัติย่อผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ชื่อ-นามสกุล นายพูนศรี วรรณการ

วัน เดือน ปีเกิด 2 สิงหาคม 2515 ที่กรุงเทพมหานคร

ที่อยู่ 336 หมู่ 7 ตำบลบ้านเป็ด อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000
เบอร์โทรมือถือ 086-004-9952

ประวัติการศึกษา 2537 อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
วิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
2553 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
2549 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2561 วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ความชำนาญเฉพาะด้าน 1) เครื่องกลไฟฟ้า
2) อิเล็กทรอนิกส์กำลัง
3) การขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ.2537-2540 ตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

พ.ศ.2540-2558 ตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

พ.ศ.2558-ปัจจุบัน ตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประวัติย่อผู้วิจัย

ผู้ร่วมวิจัยในโครงการ

ชื่อ-นามสกุล นายพนา ดุสิตากร

วัน เดือน ปีเกิด 9 มกราคม 2513

ที่อยู่ 38/62 หมู่ที่ 14 ตำบลบางแม่นาง อำเภอบางใหญ่ จังหวัดนนทบุรี

ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท(คอ.ม.) สาขาวิชาเทคโนโลยีเทคนิคศึกษา
จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม เกล้าพระนครเหนือ
สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก(Ph.D) สาขาวิชาเทคโนโลยีเทคนิคศึกษา
จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ความชำนาญเฉพาะด้าน 1) พลังงานทดแทน
2) อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

ปัจจุบัน ตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร