เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามแนวแกนหมุนของกังหันน้ำผลิตกระแสไฟฟ้า

Axial Flux Generator Turbine

นาย สุนทร ชูกรณ์
นาย ณัฐพล กะกุลนิด

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ปีการศึกษา 2558
57EE108

หัวข้อโครงงาน	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามแนวแกนหมุนของกังหันน้ำผลิตกระแสไฟฟ้า
โดย	นาย สุนทร ชูกรณ์
	นาย ณัฐพล กะกุลนิด
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ปรากฤต เหลี่ยงประดิษฐ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุมอนุมัติให้นับโครงงานวิศวกรรมฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

…….....หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภรชัย จูอนุวัฒนกุล) และอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์

…….อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ปรากฤต เหลี่ยงประดิษฐ์)

(วันที่.....เดือน..... พ.ศ. …….....)

รหัสโครงงาน 57EE108

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามแนวแกนหมุนของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า

Axial Flux Generator Turbine

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อทำการศึกษา ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามแนวแกนหมุนโดยทำการปรับช่องว่างอากาศระหว่าง โรเตอร์ กับ สเตเตอร์ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพ ว่าที่ระยะช่องว่างอากาศ เท่าใดที่ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีประสิทธิภาพดีที่สุด เพื่อนำไปติดตั้งในรูปแบบกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า โดยได้ออกแบบไว้ที่ Vout (dc) 24V-36V กำลังไฟฟ้า Pout 200W ความเร็วรอบเครื่องกำเนิด 300rpm

ผลการทดสอบพบว่า ถ้าเราสามารถปรับระยะห่างของช่องว่างอากาศ (Air Gab) ระหว่างโรเตอร์ กับ สเตเตอร์ได้ และถ้ามีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการใช้งาน การปรับช่องว่างอากาศ (Air Gab) ให้ชิดกัน ก็ควรปรับให้ห่างกัน เพื่อที่ว่านำไปติดตั้งในรูปแบบกังหันน้ำ เพื่อการออกตัวของกังหันน้ำจะออกตัวได้ง่ายกว่า และไม่หนืด ซึ่งจะทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ พบว่าที่ระยะช่องว่างอากาศ (Air Gab) ที่ดีที่สุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องนี้คือที่ระยะ 2.6mm. ได้แรงดันไฟฟ้า Vout (dc) 18.89V กรแสไฟฟ้า I_{dc} 9.90A กำลังงานไฟฟ้า Pout 187.01W

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานนี้สำเร็จผลลุล่วงด้วยดีโดยได้รับความร่วมมือจากบุคคลหลายฝ่ายในการให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ สนับสนุน และการให้กำลังใจจาก ดร.นิมิต บุญภิรมย์ อาจารย์ ปรากฤต เหลี่ยงประดิษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขโครงงานเล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์ อาจารย์ดร.วิชชากร เฮงศรีธวัช ที่ให้การช่วยเหลืออุปกรณ์การทดลองและ อาจารย์ ธณกร รักประเสริฐ ที่ให้ใช้ห้องเพื่อทำการทดลอง สิ่งใดที่โครงงานนี้มีความผิดพลาด ผู้จัดทำขอรับไว้แต่เพียงผู้เดียวสำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากโครงงานนี้ ผู้จัดทำขอมอบให้กับอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้จัดทำตลอดมา จนทำให้ประสบความสำเร็จ

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	**ก**
กิตติกรรมประกาศ	**ข**
สารบัญ	**ค**
สารบัญตาราง	**จ**
สารบัญภาพ	**ฉ**
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 ประโยชน์ของโครงงาน	2
1.5 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 กังหันน้ำ (Turbine)	4
2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	9
2.3 โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	12
2.4 การพันขดลวดอาร์เมเจอร์และการต่อวงจรขดลวดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Axial Flux	15
2.5 สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนา	21
2.6 แม่เหล็กและคุณสมบัติ	23
2.7 ผลที่เกิดกับระยะห่างของ Air Gap ระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์	27
บทที่ 3 การออกแบบโครงงาน	
3.1 การออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	28
3.2 การออกแบบล้อกังหันน้ำ	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง	
4.1 การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่ต่อโหลด	37
4.2 การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะต่อโหลด	40
4.3 การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อติดตั้งในรูปแบบกังหันน้ำ	45
บทที่ 5 สรุปผล	49
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก	51

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลจำเพาะของกังหันแต่ละประเภทต่างๆ ประเภท 8
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 33
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขณะไม่ต่อโหลด 38
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองขณะต่อโหลดที่ระยะ Air Gab 2.6 mm. 42
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองขณะต่อโหลดที่ระยะ Air Gab 6.6 mm. 42
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองขณะต่อโหลดที่ระยะ Air Gab 10.6 mm. 42
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองขณะต่อโหลดที่ระยะ Air Gab 14.6 mm. 43
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูปแบบกังหันน้ำขณะไม่ต่อโหลด 47
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูปแบบกังหันน้ำขณะต่อโหลด 48

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างของกังหันน้ำเพลตัน 5
ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างกังหันน้ำเทอร์โก 6
ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างกังหันน้ำฟรานซิส 7
ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างกังหันน้ำคาปลาน 7
ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างกังหันน้ำเดเรียซ 8
ภาพที่ 2.6 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนาที่เกิดจากการเคลื่อนที่ 10
ภาพที่ 2.7 กฎมือขวาของเฟลมมิ่งหรือกฎไดนาโม 11
ภาพที่ 2.8 โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Axial Flux 12
ภาพที่ 2.9 โรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Axial Flux Permanent Magnet Brushless 14
ภาพที่ 2.10 สเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Axial Flux 14
ภาพที่ 2.11 การต่อขดลวดแบบสตาร์และเดลต้า 16
ภาพที่ 2.12 การพันขดลวดแบบชั้นเดียว และแบบสองชั้น 16
ภาพที่ 2.13 เป็นการพันแบบชั้นเดียว (Single-Layer) 17
ภาพที่ 2.14 แสดงการพันขดลวดแบบพิชเศษส่วนและพิชเต็ม 18
ภาพที่ 2.15 แสดงการวางขดลวดแบบพิชเต็มและพิชเศษส่วน 18
ภาพที่ 2.16 เวคเตอร์ของขดลวดแบบพิชเต็ม (Full-Pitch) และแบบพิชเศษส่วน (Short-Pitch) 19
ภาพที่ 2.17 แสดงการเสริมกันของเส้นแรงแม่เหล็ก 21
ภาพที่ 2.18 ผลของการโรยผงเหล็กที่รอบๆ แท่งแม่เหล็ก 25
ภาพที่ 2.19 เส้นแรงแม่เหล็กรอบๆ แท่งแม่เหล็ก 26
ภาพที่ 2.20 จุดที่ความหนาแน่นฟลั๊กซ์แม่เหล็กเป็นศูนย์ 26
ภาพที่ 3.1 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 29
ภาพที่ 3.2 ขนาดของจานชุดแม่เหล็กและการวางแม่เหล็กที่18องศา 34
ภาพที่ 3.3 ขนาดของชุดจานขดลวดและการวางขดลวดที่24องศา 34
ภาพที่ 3.4 การต่อวงจรขดลวด 35
ภาพที่ 3.5 ขนาดล้อกังหันน้ำ 36
ภาพที่ 3.6 ขนาดหน้าตัดของใบกังหันน้ำ 36
ภาพที่ 4.1 แสดงการต่อวงจรขณะไม่ต่อโหลด 37
ภาพที่ 4.2 แสดงการต่ออุปกรณ์ขณะไม่ต่อโหลด 37

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.3 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าที่ Generator Speed 100 rpm ในระยะ Gab ต่างๆ 39
ภาพที่ 4.4 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าที่ Generator Speed 200 rpm ในระยะ Gab ต่างๆ 39
ภาพที่ 4.5 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าที่ Generator Speed 300 rpm ในระยะ Gab ต่างๆ 40
ภาพที่ 4.6 แสดงการต่อวงจรขณะต่อโหลด 41
ภาพที่ 4.7 แสดงการต่ออุปกรณ์ขณะต่อโหลด 41
ภาพที่ 4.8 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าที่ความเร็ว Generator 300 rpm ในระยะ Gab ต่างๆ 43
ภาพที่ 4.9 แสดงกราฟกระแสไฟฟ้าที่ความเร็ว Generator 300 rpm ในระยะ Gab ต่างๆ 44
ภาพที่ 4.10 แสดงกราฟกาลังไฟฟ้าที่ความเร็ว Generator 300 rpm ในระยะ Gab ต่างๆ 44
ภาพที่ 4.11 แสดงสัญญาณแรงดัน 3 เฟสที่ความเร็ว Generator 300 rpm 45
ภาพที่ 4.12 แสดงการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูปแบบกังหันน้ำ 46
ภาพที่ 4.13 แสดงการต่อเครื่องกำนิดไฟฟ้าในรูปแบบกังหันน้ำขณะไม่ต่อโหลด 46
ภาพที่ 4.14 แสดงการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูปแบบกังหันน้ำขณะต่อโหลด 47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันได้มีผู้สร้างกังหันน้ำผลิตกระแสไฟฟ้าขึ้นมาเป็นจำนวนมากแต่ไม่ได้ศึกษาเกี่ยวกับตัวแปร เช่น ช่องว่างอากาศ (Air Gab) ระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์ ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิด ว่ามีผลอย่างไร

คณะผู้จัดทำจึงได้ทำการสร้าง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกนหมุน (Axial Flux) ขึ้นเพื่อศึกษาและทดสอบประสิทธิเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อที่นำไปติดตั้งเป็นกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.เพื่อศึกษาตัวแปรสำคัญ ที่จะทำให้มีประสิทธิภาพดีที่สุดเพื่อนำไปติดตั้งเป็นกังหันน้ำผลิตกระแสไฟฟ้า

2.เพื่อเก็บข้อมูลอย่างมีรูปแบบ

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.สร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกนหมุน โดยเป็นแบบหลายเฟสพิกัดกำลังไฟฟ้า 200W และแรงดันไฟฟ้าด้านออก 24V

2.ทดสอบประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.4 ประโยชน์ของโครงงาน

1.ทราบความสัมพันธ์ของตัวแปรสำคัญในการออกแบบของเครื่องกำเนิดให้ประสิทธิภาพดีที่สุด เพื่อนำไปติดตั้งในรูปแบบกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า

1.5 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

นายนายชูเกียรติ ผดุงโภชน์ และคณะจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี,พ.ศ. 2556: ได้สร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามแกนแนวหมุน (Axial Flux Generator) โดยเป็นแบบ 3 เฟส ความเร็วรอบสูงสุด 500 rpm พิกัดกำลังไฟฟ้า 600W และแรงดันไฟฟ้าด้านออก 24 Vโดยทำการปรับช่องว่างอากาศระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์เพื่อทดลองประสิทธิภาพว่าที่ระยะห่างใดจะเหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้เป็นกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า

ผลวิจัยพบว่า ถ้าเราสามารถปรับระยะห่างของช่องว่างอากาศระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์ได้ และถ้ามีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการใช้งาน การปรับ Gab ให้ชิดกันก็ควรปรับให้ห่างเพื่อที่ว่านำไปติดตั้งเป็นกังหันน้ำ เพื่อการออกตัวของกังหันน้ำจะออกตัวได้ง่ายกว่าและไม่หนืด ซึงจะทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ พบว่าที่ระยะ Air Gap ที่ดีที่สุดคือ 2.6 mm. ได้ Vout(dc) 43.1 V ,Pout 600W , ประสิทธิภาพ 69.85 %

นายวีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล, พ.ศ. 2554: ได้ทำการศึกษา ออกแบบและสร้างต้นแบบกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีเฮดน้ำต่ำ โดยเน้นคำนวณหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบโครงสร้างและรูปทรงต่างๆของตัวกังหันน้ำระบบการออกแบบ เริ่มต้นจากการคำนวณหารูปทรงเบื้องต้น และชิ้นส่วนต่างๆ ของกังหันน้ำ ได้แก่ ช่องทางน้ำเข้า โวลูตน้ำ และล้อกังหันน้ำเมื่อได้รูปทรงครบถ้วน จึงนำไปทำการสร้างเมชสำหรับการคำนวณผลทางด้านพลศาสตร์ของไหล เพื่อทำการประเมินศักยภาพการทำงานของกังหันน้ำ โดยใช้วิธีการจำลองเชิงตัวเลข การไหลของน้ำผ่านล้อกังหันน้ำ ซึ่งกังหันน้ำที่จำลองเป็นกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงล้อเท่ากับ 310 มิลลิเมตร การจำลองเชิงตัวเลขนั้นกระทำโดยการใช้กรรมวิธีจำกัดปริมาตรในสามมิติ โดยทำการสร้างปริมาตรควบคุมให้กับล้อกังหันน้ำเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ ในการหาผลเฉลยการทำงาน จะใช้แบบจำลองความปั่นป่วนผลจากการคำนวณที่ได้จากโปรแกรมคำนวณผลทางพลศาสตร์ของไหล มีความสอดคล้องกับภาคทฤษฎี โดยค่าแรงบิดมีการเปลี่ยนไปตลอดเวลา ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความเร็วสัมพัทธ์และมุม ประทะที่เข้าสู่หน้าตัดล้อกังหันน้ำ ผลเฉลยจากการคำนวณนี้สามารถนำค่าตัวแปรต่างๆที่คำนวณได้จากโปรแกรมมาทำการปรับใช้กับการออกแบบล้อกังหัน

น้ำและโวลูตน้ำให้มีประสิทธิภาพเหมาะสมต่อการทำงาน จากผลการคำนวณทางด้านพลศาสตร์ของไหลพบว่า การไหลของน้ำผ่านล้อกังหันน้ำขนาดเล็กโดยใช้โปรแกรมคำนวณผลทางด้านพลศาสตร์การไหล สรุปได้ว่าที่มุม 60 องศาของโวลูตน้ำ จะได้แรงบิดสูงสุด 15 นิวตันเมตร ที่ความเร็วรอบล้อกังหันน้ำ 310 รอบต่อนาที นั่นคือพลังงานที่ความสูงของเฮดน้ำ 4 เมตรน้ำ จะได้พลังงานทางไฟฟ้าได้ประมาณ 490 วัตต์ ผลจากการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ของไหล ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างต้นแบบกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก

จากกังหันน้ำต้นแบบที่ได้สร้างขึ้นมา เพื่อทำการทดสอบจริง ได้ผลการทดสอบโดยการติดตั้งเครื่องมือวัดแรงบิดและรอบการหมุน ได้แรงบิดจริงประมาณ 12.89 นิวตันเมตร ที่ความเร็วรอบการหมุน 296 รอบต่อนาที และได้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด 400 วัตต์ เมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ทางพลศาสตร์ของไหล และการทดสอบต้นแบบ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ จากผลการศึกษาในครั้งนี้ สรุปได้ว่า สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลได้สำหรับการออกแบบ และการพัฒนาระบบการทำงานต่างๆ ของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กได้ต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการจัดทำกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้านี้จะต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับเนื้อหาและทฤษฎีต่าง ๆ ทั้งที่ได้เล่าเรียนมาและค้นคว้าเพิ่มเติมจากหนังสืออินเตอร์เน็ต และองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง

2.1 กังหันน้ำ (Turbine) [6][7]

กังหันน้ำ เป็นอุปกรณ์ที่ถูกพัฒนาจากวงล้อน้ำซึ่งเดิมใช้สำหรับการทดน้ำและโม่แป้ง ในปี ค.ศ. 1832 วิศวกรชาวฝรั่งเศสชื่อเบนอย์ต ฟูเนรองซ์ (Benoit Fourneyron) ประสบความสำเร็จในการพัฒนากังหันน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงในการเปลี่ยนพลังงานน้ำไปเป็นพลังงานกล โดยเรียกชื่อว่ากังหันน้ำของฟูเนรองซ์ (Fourneyron's Turbine)หลังจากที่วงล้อน้ำไม่เคยมีการพัฒนาหรือเปลี่ยน แปลงมากว่า 2,000 ปีก่อนหน้านี้ จุดนี้นับเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนากังหันน้ำ ในปัจจุบันกังหันน้ำได้ถูกพัฒนาให้มีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกันมากมายและมีประสิทธิภาพสูง กังหันน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำเพราะจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานจลน์ของน้ำไปเป็นพลังงานกล โดยการทำให้ใบพัดของกังหันน้ำเกิดการหมุนส่งผลให้แกนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่หมุนตาม และสามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ โดยทั่วไปกันหันน้ำแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภทคือ

2.1.1 กังหันน้ำประเภทหัวฉีด

- **กังหันน้ำประเภทหัวฉีด (Impulse Turbine)** หรือกังหันน้ำแบบแรงกระแทก กังหันน้ำแบบนี้มักใช้กับเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำที่มีหัวน้ำสูง เพราะต้องอาศัยแรงฉีดหรือแรงกระแทกของน้ำที่ไหลมาจากท่อส่งน้ำที่รับน้ำมาจากเขื่อน น้ำที่ไหลลงมาตามท่อส่งน้ำจะถูกลดขนาดมายังหัวฉีดก่อนจะถูกฉีดเข้าไปที่ตัวของกังหันน้ำ ลำน้ำที่พุ่งผ่านหัวฉีดจะมีแรงและความเร็วสูง ดังนั้นเมื่อกระแทกเข้าใบพัดหรือวงล้อของกังหันน้ำจะทำให้กังหันน้ำเกิดการหมุนได้ การควบคุมการหมุนของกังหันน้ำสามารถทำได้โดยการปรับขนาดของหัวฉีด ซึ่งเสมือนเป็นการปรับปริมาณน้ำให้มากหรือน้อยได้ตามต้องการ กังหันน้ำประเภทนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

- **กังหันน้ำแบงกี (Banki Turbine)** กังหันน้ำประเภทนี้เหมาะสำหรับแหล่งน้ำที่มีหัวน้ำต่ำ (low head) และต้องการกำลังการผลิตค่อนข้างน้อย ซึ่งปัจจุบันไม่ค่อยนิยมใช้แล้ว

- **กังหันน้ำเพลตัน (Pelton Turbine)** กังหันน้ำชนิดนี้ได้รับการพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1880 โดยเลสเตอร์ เพลตัน (Lester Pelton) รูปแบบของกังหันน้ำนี้ ถูกออกแบบโดยใช้ถ้วยรับน้ำซึ่งติดอยู่ในวงล้อภายในตัวกังหันเป็นแบบถ้วยคู่ ดังแสดงในภาพที่ 2.1 และสามารถใช้กับลำน้ำที่ผ่านหัวฉีดมากกว่า 1 ช่อง โดยอาจมีจำนวนถึง 4 ช่องก็ได้ ซึ่งจะทำให้ได้รับกำลังเพิ่มขึ้นในขณะที่ขนาดของกังหันน้ำเท่าเดิม โดยทั่วไปกังหันน้ำนี้เหมาะสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งน้ำที่มีระดับของหัวน้ำสูง (High Head) ซึ่งสูงกว่า 250 เมตร หรืออาจน้อยกว่าก็ได้ในกรณีที่เป็นระบบเล็ก การทำให้กังหันน้ำชนิดนี้หมุนอาจใช้ความเร็วของลำน้ำที่ผ่านหัวฉีดที่ไม่ต้องมีความเร็วสูงนัก โดยประสิทธิภาพของกังหันน้ำชนิดนี้จะดีที่สุด เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการหมุนของวงล้อถ้วยเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วของลำน้ำที่ฉีดเข้าไป

ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างของกังหันน้ำเพลตัน [7]

- **กังหันน้ำเทอร์โก (Turgo Turbine)** เป็นกังหันน้ำที่ถูกพัฒนาขึ้นจากกังหันน้ำแบบเพลตัน เมื่อประมาณปี ค.ศ. 1920 โดยภายในตัวกังหันน้ำนี้จะใช้ถ้วยรับน้ำแบบเดี่ยวและค่อนข้างตื้นแทนถ้วยรับน้ำแบบคู่ในกังหันน้ำแบบเพลตัน ดังแสดงในภาพที่ 2.2 กังหันน้ำประเภทนี้เหมาะสำหรับแหล่งน้ำที่มีหัวน้ำที่มีระดับความสูงปานกลาง (Medium Head) เพราะสามารถใช้กับลำน้ำที่ผ่านหัวฉีดซึ่งมีความเร็วไม่มากนัก และมีความสามารถในการรับปริมาณน้ำได้มากกว่ากังหันน้ำเพลตัน โดยประ สิทธิภาพของกังหันน้ำจะดีที่สุดเมื่อความเร็วของการหมุนของวงล้อถ้วยเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วของลำน้ำที่ฉีดเข้าไปเหมือนกับกรณีของกังหันน้ำแบบเพลตัน

ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างกังหันน้ำเทอร์โก [7]

2.1.2 กังหันน้ำประเภทแรงปฏิกิริยา

กังหันน้ำประเภทแรงปฏิกิริยา (Reaction Turbine) เป็นกังหันน้ำที่ต้องอาศัยแรงดันของน้ำ ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของระดับน้ำที่อยู่ด้านหน้าและด้านท้ายของกังหันน้ำมาทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุน น้ำที่เข้าไปในตัวกังหันจะแทรกเข้าไปในช่องระหว่างใบพัดเต็มทุกช่องพร้อมกันทำให้ตัวกังหันน้ำทั้งหมดจะจมอยู่ในน้ำ กังหันน้ำประเภทนี้เหมาะสำหรับการใช้กับแหล่งน้ำที่มีหัวน้ำต่ำถึงปานกลาง โดยทั่วไปที่นิยมใช้อยู่จะแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

- **กังหันน้ำฟรานซิส (Francis Turbine)** กังหันน้ำชนิดนี้เป็นกังหันน้ำที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะสามารถใช้กับแหล่งน้ำที่มีระดับความสูงของหัวน้ำตั้งแต่ 2 ถึงกว่า 300 เมตร หลักการทำงานของกังหันน้ำแบบฟรานซิสคือ น้ำที่ถูกส่งเข้ามาจากท่อส่งน้ำจะไหลเข้าสู่ท่อก้นหอยที่ประกอบอยู่รอบๆ ตัวกังหัน ท่อก้นหอยจะมีขนาดของพื้นที่หน้าตัดเล็กลงตามความยาวของท่อเพื่อต้องการทำให้น้ำมีแรงดันและความเร็วในการไหลมากขึ้น ภายในท่อก้นหอยจะมีน้ำเต็มอยู่ตลอดเวลา น้ำที่ไหลในท่อก้นหอยจะแทรกตัวผ่านลิ้นนำน้ำเข้า (Guide Vane) เพื่อเข้าสู่ตัวกังหันน้ำทำให้วงล้อของกังหันน้ำเกิดการหมุนได้ ลิ้นนำน้ำเข้าสามารถปรับแต่งมุมให้ปิดหรือเปิดได้มากน้อยตามความต้องการ ทำหน้าที่คล้ายหัวฉีดของกังหันน้ำแบบเพลตัน น้ำซึ่งถ่ายพลังงานจลน์ให้กับใบพัดกังหันน้ำแล้วจะไหลลงสู่ท่อรับน้ำที่อยู่ด้านล่างต่อไป กังหันน้ำแบบฟรานซิสมีทั้งแบบแกนตั้งและแกนนอน ซึ่งการเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบและขนาดของโรงไฟฟ้าแต่โดยทั่วไปจะนิยมใช้แบบแกนตั้งมากกว่า ลักษณะของกังหันน้ำฟรานซิสดังแสดงในภาพที่ 2.3

ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างกังหันน้ำฟรานซิส [7]

- **กังหันน้ำคาปลาน (Kaplan Turbine)** เป็นกังหันน้ำที่มีลักษณะเหมือนใบพัดดังแสดงในภาพที่ 2.4 เหมาะกับแหล่งน้ำที่มีระดับความสูงของหัวน้ำต่ำตั้งแต่ 1 ถึง 70 เมตร และมีหลักการทำงานโดย ให้น้ำจะไหลผ่านใบพัดในทิศขนานกับแกนของกังหันน้ำ โดยใบพัดของกังหันน้ำคาปลานสามารถปรับมุมเพื่อรับแรงอัดหรือแรงฉีดของน้ำโดยอัตโนมัติซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมความเร็วในการหมุนของกังหันน้ำได้

ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างกังหันน้ำคาปลาน [7]

- **กังหันน้ำเดเรียซ (Deriaz Turbine)** เป็นกังหันน้ำที่มีลักษณะทั่วไปคล้ายกับกังหันน้ำคาปลานแต่ต่างกันในส่วนของรูปแบบของใบพัด ซึ่งคล้ายกับใบพัดของกังหันน้ำฟรานซิส กังหันน้ำชนิดนี้จะใช้แรงดันน้ำที่เกิดจากการไหลของน้ำในทิศทางทแยงมุมกับแกนของกังหันน้ำ และการประยุกต์ใช้จะเหมาะกับแหล่งน้ำที่มีระดับความสูงของหัวน้ำสูงๆ เพราะต้องใช้แรงดันน้ำที่มีแรงดันสูง ลักษณะของกังหันน้ำแบบเดเรียซแสดงไว้ในภาพที่ 2.5

ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างกังหันน้ำเดเรียซ [7]

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลจำเพาะของกังหันแต่ละประเภทต่างๆ ประเภท

เทอร์ไบน์	ความสูงน้ำ (m)	กำลังผลิตติดตั้ง(MW)	ขนาด(Φ) เทอร์ไบน์ (m)	การรับแรงน้ำ
1. Pelton	300	250	5.5	แนวสัมผัส
2. Francis	30.500	720	10	แนวสะท้อน
3. Kaplan	2.70	225	10	แนวทแยง (ปรับแกนได้)

ในโครงงานนี้เราใช้กังหันแบบ Pelton Turbine เป็นตัวต้นกำลังในการขับ ซึ่งกังหันประเภท Pelton Turbine นี้เป็นกังหันประเภทการรับน้ำแบบ Impulse ซึ่งเปลี่ยนพลังงานทั้งหมดจากการไหลของน้ำที่หัวฉีด (Nozzle) หรือปลายท่อ เข้าปะทะกับใบพัด ซึ่งติดตั้งอยู่บนวงล้อจึงจะได้กำลังเชิงกล (P_m) เกิดขึ้นที่แกนหมุนหรือเพลาของกังหัน

2.1.3 กำลังเชิงกลของกังหัน

- กำลังขับของกังหันมีค่าตามสมการ (2.1)

$$P_m = \eta_t \times g \times Q \times ht \quad (2.1)$$

กำลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตออกมาได้

$$P_e = \eta_g \times P_m \quad (2.2)$$

ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (η_g) หาได้จากสมการ

$$\eta_g = \frac{P_{e(out)}}{P_{m(in)}} \times 100\% \quad (2.3)$$

พลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตออกมาในช่วงเวลาดังกล่าว (W)

$$W = P_e \times T \quad (2.4)$$

โดย η_t = ประสิทธิภาพของเทอร์ไบน์ เท่ากับ 70%
η_g = ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เท่ากับ 50%

2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า [2]

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า คือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับแปลงพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการทำงานว่าเมื่อสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดผ่านขดลวดหรือเคลื่อนที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็กก็จะได้ไฟฟ้าออกมา

เครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น จะประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญหลักๆ อยู่ด้วยกัน 2 ส่วนคือ ส่วนที่สร้างสนามแม่เหล็ก เรียกว่า ฟิลด์ และส่วนที่สร้างแรงดันไฟฟ้าเรียกว่าอาเมเจอร์ ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ฟิลด์จะเป็นส่วนที่อยู่กับที่ อาเมเจอร์จะเป็นส่วนที่เคลื่อนที่ แต่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ฟิลด์และอาเมเจอร์ สามารถเป็นได้ทั้งส่วนที่อยู่กับที่และส่วนที่เคลื่อนที่หมุน

โดยในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กจะสามารถสร้างได้ทั้งแบบฟิลด์และอาเมเจอร์หมุนแต่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ จะสร้างได้แต่แบบอาเมเจอร์อยู่กับที่เท่านั้น เพราะจะมีปัญหาน้อยกว่า แรงดันที่เกิดขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญสองตัวคือความเร็วรอบและเส้นแรงแม่เหล็ก

ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเราสามารถเพิ่มแรงดันไฟฟ้าได้โดยการที่จะปรับความเข้มของสนามแม่เหล็ก และเพิ่มความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับการเพิ่มแรงดันโดยการเพิ่มความเร็วไม่สามารถที่จะทำได้เพราะจะทำให้ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ได้เปลี่ยนแปลงไปสามารถทำได้เพียงการปรับความเข้มของสนามแม่เหล็กเท่านั้น

2.2.1 หลักการเบื้องต้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่ง แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ ที่เกิดขึ้นเป็นไปตามกฎของเฟลมมิ่ง (Flaming's law) ถ้าเกิดการ เปลี่ยนแปลงฟลั๊กซ์แม่เหล็ก จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณ ฟลั๊กซ์แม่เหล็กเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ (Faraday's law) ดังสมการที่ 2.5

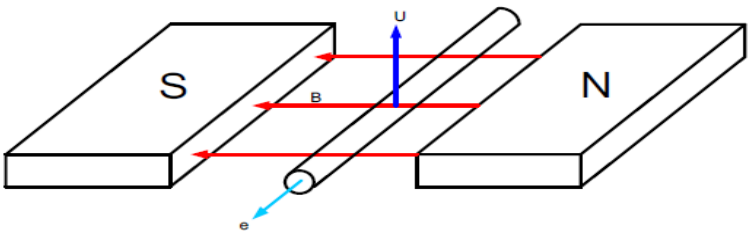
$$e = N\frac{d\phi}{dt} \tag{2.5}$$

เมื่อ e คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (V)

N คือ จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)

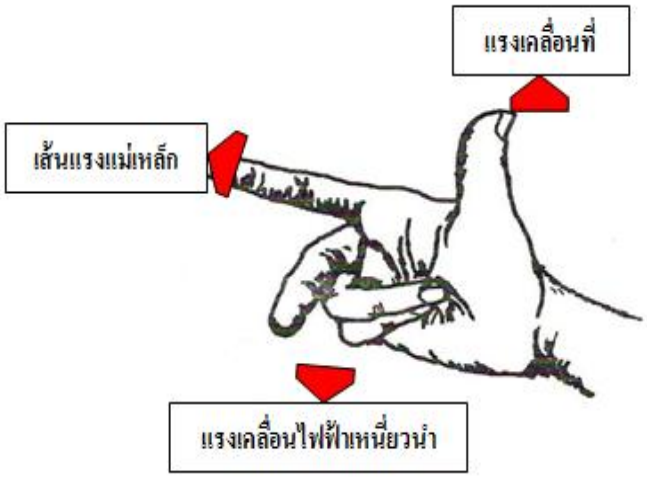
ϕ คือ เส้นแรงแม่เหล็ก (Wb)

t คือ เวลา (S)



ภาพที่ 2.6 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากการเคลื่อนที่ [2]

จากรูปที่ 2.6 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากการเคลื่อนที่ เมื่อเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ระหว่าง ขั้วเหนือ (N) กับขั้วใต้ (S) อยู่ใกล้กันแล้วมีตัวนำ ไฟฟ้าตัดผ่านระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กในทิศทางที่ตั้งฉาก (u) จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (e) ขึ้นเมื่อตัวนำนั้นครบวงจรจะทำให้เกิดกระแส (i) ไหลในวงจร เมื่อ (B) คือ ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก $\left(\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}=\text{Tesla}\right)$ ซึ่งทิศทางของกระ แสไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะสามารถหาได้โดยกฎมือขวาของเฟลมมิ่ง ดังรูปที่ 2.7 กฎมือขวาของเฟลมมิ่งหรือกฎไดนาโม



ภาพที่ 2.7 กฎมือขวาของเฟลมมิ่งหรือกฎไดนาโม [2]

สมมุติ ขดลวดมี N รอบ และแต่ละรอบมีพื้นที่ A ให้ขดลวดหมุนด้วยอัตราเร็วเชิงมุม ω รอบ แกนที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก โดยที่ θ คือมุมระหว่างสนามแม่เหล็กและเวกเตอร์พื้นที่ของขดลวด ฟลักซ์แม่เหล็กคือ

$$\phi_B = BA\cos\theta = BA\cos\omega t \qquad (2.6)$$

แทนค่าฟลักซ์แม่เหล็ก เพื่อหาค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้

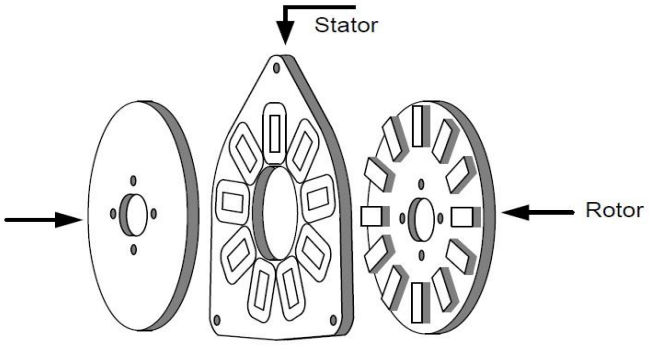
$$\varepsilon = -N\left(\frac{d\phi_B}{dt}\right) = -NAB\frac{d}{dt}(\cos\omega t) = NAB\omega\sin\omega t \quad (2.7)$$

เมื่อ $\sin\omega t = 1$ แรงเคลื่อนฟ้าสูงสุดจะมีค่า

$$\varepsilon_{\max} = NAB\omega \quad (2.8)$$

2.3 โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ [2]

ในโครงงานวิศวกรรมนี้ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแส สลับอาจจะแตกต่างจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั่วไปเนื่องจากชิ้นส่วนต่างๆได้ถูกออกแบบเพื่อให้มีน้ำหนักไม่มากและเหมาะสมกับการใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำจะเป็นแบบ Axial Flux ดังรูปที่ 2.8

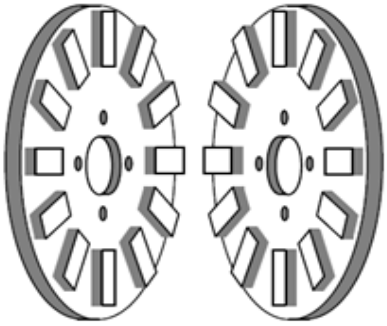


ภาพที่ 2.8 โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Axial Flux [2]

โดยจะมีลักษณะแบนทั้งส่วนของโรเตอร์และสเตเตอร์ ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนได้แก่

2.3.1 โรเตอร์ (Rotor)

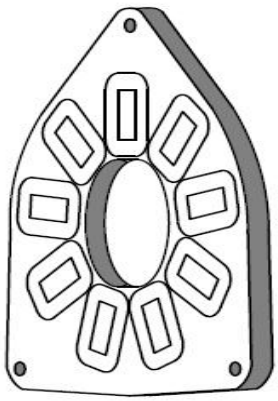
โรเตอร์ คือ ส่วนที่เคลื่อนที่โดยทั่วไปจะมีขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กพักอยู่บนตัวของโรเตอร์ แต่ในโครงงานวิศวกรรมนี้ส่วนของโรเตอร์นั้นได้จากจากโรเตอร์ทั่วไปโดยโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบนี้จะมีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กวงกลมทั้งสองแผ่นที่มีรูตรงกลางมีรูยึดน็อตระหว่างแผ่นเหล็กวงกลมทั้งสองแผ่นเข้าด้วยกัน โดยช่องว่างระหว่างแผ่นเหล็กวงกลมทั้งสองแผ่นนั้นจะใช้แม่เหล็กถาวรแทนขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก เนื่องจากการใช้แม่เหล็กถาวรแทนขดลวดเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในสถานที่ ที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ได้ลักษณะโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดแบบนี้จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.9 โรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Axial Flux Permanent-Magnet Brushless ลักษณะการวางขั้วแม่เหล็กถาวรทั้งสองแผ่นจะต้องวางสลับขั้วกันดังรูปที่2.9 โรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Axial Flux ใช้เรซิ่นหล่อทับแม่เหล็กเพื่อความแข็งแรง ลักษณะทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็กจะพุ่งผ่านจากแผ่นเหล็กแผ่นแรก (ขั้วเหนือ) ข้ามช่องว่างอากาศ (Air Gap) ไปยังอีกแผ่นหนึ่ง (ขั้วใต้) ผ่านแม่เหล็กจนครบวงจรแม่เหล็ก เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบนี้จะมีลักษณะการกระจายของเส้นแรงแม่เหล็กเป็นวงรอบปิดโดยทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กจะมีลักษณะเสริมกันจึงทำให้ได้ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กมากขึ้นเป็น 2 เท่า แต่อย่างไรก็ดีเมื่อค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) ยิ่งมากขึ้นเท่าใดก็อาจยิ่งทาให้เกิดแรงบิดต้านมากขึ้นตามไปด้วย จึงทำให้ต้องใช้แรงดันน้ำเฉลี่ยค่อนข้างสูงในการสตาร์ท แต่ผลดีของมันก็คือ สามารถออกแบบให้ใช้ขั้วแม่เหล็กถาวรจำนวนมากพอสำหรับแรงดันน้ำเฉลี่ยต่ำๆได้ดังสมการที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 โรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Axial Flux Permanent Magnet Brushless [2]

2.3.2 สเตเตอร์ (Stator)

สเตเตอร์ คือ ส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่งซึ่งลักษณะของสเตเตอร์นั้นจะเป็นส่วนที่อยู่กับที่ซึ่งมีหน้าที่ยึดกับขดลวดอาร์เมเจอร์(Armature-Winding)หรือชุดขดลวดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำออกมาใช้งาน โดยทั้งสองด้านของสเตเตอร์จะถูกประกบด้วยโรเตอร์ทั้งสองด้านเพื่อให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำออกมาเป็น 2 เท่า ในการที่นาขดลวดอาร์เมเจอร์มาติดกับชุดของ สเตเตอร์นั้นเพื่อลดปัญหาในเรื่องการฉนวนไฟฟ้า และยึดขดลวดให้แข็งแรงได้ง่าย เนื่องจากไม่ถูกแรงเหวี่ยง หรือการสั่นสะเทือนเนื่องจากการหมุนได้ สเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำที่ใช้ลักษณะจะเป็นดังรูปที่ 2.10 สเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Axial Flux



ภาพที่ 2.10 สเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Axial Flux [2]

จากความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ ความถี่ และขั้วแม่เหล็ก จึงสามารถคำนวณหาความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับได้ดังสมการที่ 2.9

$$N = \frac{120f}{P} \tag{2.9}$$

เมื่อ N คือ ความเร็วรอบของโรเตอร์ รอบ/นาที (rpm)

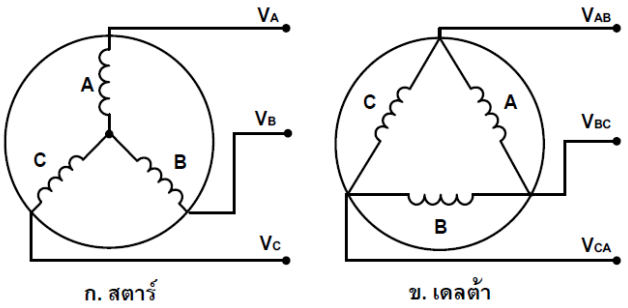
f คือ ความถี่ (H_z)

P คือ จำนวนขั้วแม่เหล็ก (*Pole*)

จากสมการที่ 2.9 จะเห็นได้ว่าเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีโครงสร้างแบบ Axial Flux นั้น จำนวนคู่ของขั้วแม่เหล็กจะเท่ากับ 1 Pole Even เนื่องจากขดลวดตัวนำในหนึ่ง Coil Side จะตัดผ่านขั้วแม่เหล็กจำนวน 1 คู่ของขั้วแม่เหล็ก (เหนือ-ใต้) ดังนั้นจึงกำหนดในหนึ่งคู่ของขั้วแม่เหล็ก เท่ากับ 1 Pole Even

2.4 การพันขดลวดอาร์เมเจอร์และการต่อวงจรขดลวดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Axial Flux [2]

ในการพันขดลวดสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุดคือแรงดันเอาต์พุต (Output-Voltage) ต้องใกล้เคียง รูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) มากที่สุด ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส ขดลวดแต่ละชุดจะพันเรียงห่าง กัน 120 องศาไฟฟ้า การต่อขดลวดมีทั้งแบบวงจรเปิด (เมื่อต่อแบบสตาร์) และวงจรปิด (เมื่อต่อแบบเดลต้า) ดังรูปที่ 2.11



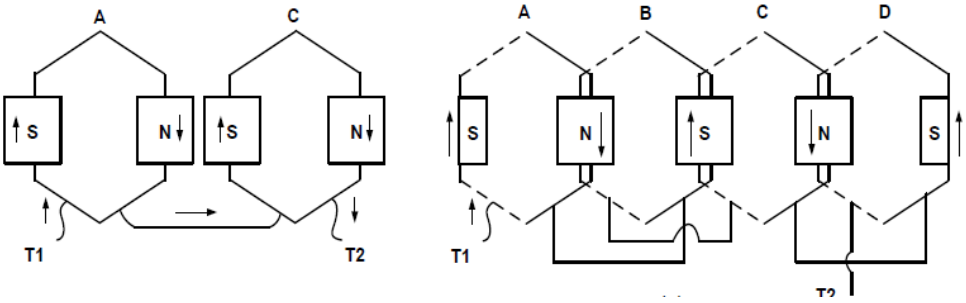
ภาพที่ 2.11 การต่อขดลวดแบบสตาร์และเดลต้า [2]

2.4.1 การพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบชั้นเดียว (Single-Layer)

การพันแบบนี้ใน 1 ร่อง (Slot) มี 1 คอยล์ไซด์ (Coil-Side) เรียกว่า Half Coil Winding จำนวน Coil-Group ต่อเฟสเท่ากับครึ่งหนึ่งของจำนวนขั้วแม่เหล็ก การต่อขดลวดแต่ละ Coil-Group เข้าด้วย กับต่อแบบปลายต่อต้น ดังรูปที่ 2.12 (ก)

2.4.2 การพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบสองชั้น (Double-Layer)

การพันแบบนี้ใน 1 ร่อง (Slot) มี 2 คอยล์ไซด์ (Coil-Side) เรียกว่า Whole-Coil- Winding จำนวน Coil-Group ต่อเฟสเท่ากับจำนวนขั้วแม่เหล็ก การต่อขดลวดของแต่ละ Coil-Group ต่อแบบปลายต่อปลาย ดังรูปที่ 2.12 (ข)

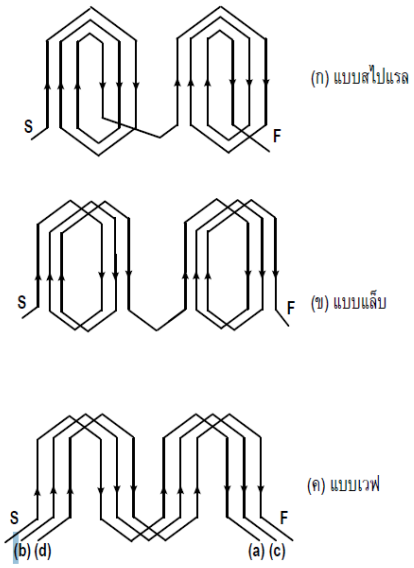


(ก) ชั้นเดียว (ข) สองชั้น

ภาพที่ 2.12 การพันขดลวดแบบชั้นเดียว และแบบสองชั้น [2]

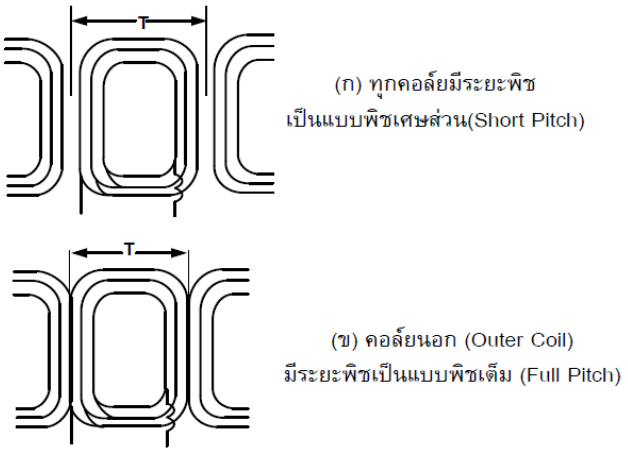
2.4.3 การพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแล็บแบบเวฟและแบบสไปแรล

การพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแล็บและแบบเวฟส่วนใหญ่จะพัน 2 ชั้น (Double- Layer) มี 2 ร่องต่อหนึ่งขั้วแม่เหล็ก (2 Slot/Pole) หรือมีจำนวน 2 coil/group และมีจำนวน Coil-Group ทั้งหมด 4 Coil-Group ซึ่งเท่ากับจำนวนขั้วแม่เหล็ก

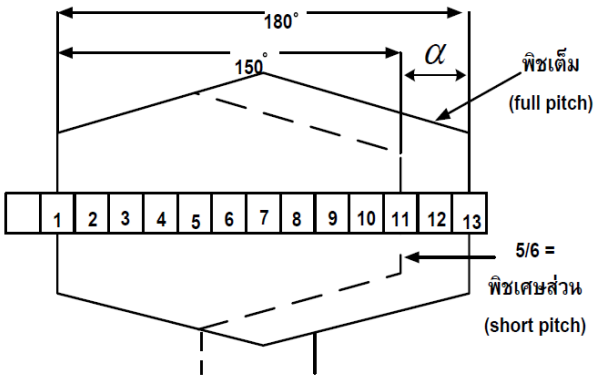


ภาพที่ 2.13 เป็นการพันแบบชั้นเดียว (Single-Layer) [2]

เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำที่มีโครงสร้างแบบ Axial Flux นั้นจะไม่มีร่อง Slot จึงนิยมพันขดลวดแบบชั้นเดียว (Single-Layer) โดยประกอบไปด้วยขดลวดแบบหนึ่งเฟสแต่มีหลายชุด การต่อขดลวดในแต่ล่ะ Coil-Group เข้าด้วยกันนั้นจะต่อแบบปลายต่อต้นหรือว่าอนุกรม (Series) ดังรูปที่ 2.13 (ข) ซึ่งการต่อแบบนี้จะทำให้ได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น การพันขดลวด สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบพิชเต็ม (Full-Pitch) และแบบพิชเศษส่วน (Short-Pitch) โดยปกติระยะห่างระหว่างกึ่งกลางขั้ว N วัดไปยังกึ่งกลางขั้ว S ที่อยู่ประชิดกันจะมีค่าเท่ากับ 180 องศาไฟฟ้า เรียกว่า 1 โปลพิช (Pole-Pitch) การพันขดลวดแบบนี้เรียกว่า แบบพิชเต็ม (Full- Pitch) การพันขดลวดแบบพิชเศษส่วน (Short-Pitch) หรือน้อยกว่า 180 องศาไฟฟ้า แต่ไม่เกิน 150 องศาทางไฟฟ้า



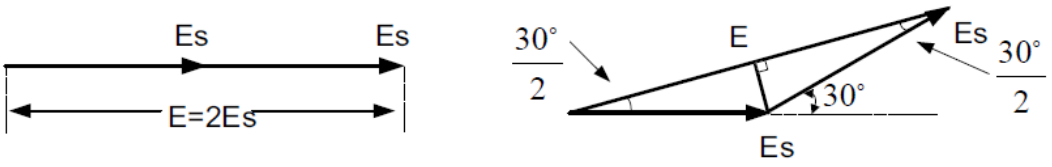
ภาพที่ 2.14 แสดงการพันขดลวดแบบพิชเศษส่วนและพิชเต็ม [2]



ภาพที่ 2.15 แสดงการวางขดลวดแบบพิชเต็มและพิชเศษส่วน [2]

การพันขดลวดแบบพิชเศษส่วนนั้นจะต้องออกแบบ From ในการพันขดลวดให้มีขนาดเล็กลงกว่าปกติทำให้ใช้ความยาวของขดลวดสั้นลงกว่าเดิมและเกิดช่องว่างขึ้นระหว่างขดลวดทำให้สามารถเพิ่มจำนวนรอบมากขึ้นเมื่อเทียบกับการพันแบบพิชเต็ม จากรูปที่ 2.15 ปกติระยะห่างระหว่าง กึ่งกลางขั้ว N วัดไปยังกึ่งกลางขั้ว S ที่อยู่ประชิดกันจะมีค่า 180 องศาไฟฟ้า จึงแบ่งออกเป็น 6 ช่อง ช่องละ 30 องศาไฟฟ้า จากเดิมพันขดลวดเริ่มจากคอล์ยไซด์ (ด้านซ้ายมือ) ของขดลวดสมมุติให้พัน ลงที่ 1 องศาไฟฟ้าซึ่งอยู่กึ่งกลางขั้ว N คอยล์ไซด์ (ด้านขวามือ) ของขดลวดเดียวกันจะพันลงที่ 180 องศาไฟฟ้า เรียกว่าระยะห่างและระยะพิชแบบนี้ว่าพิชเต็ม (Full-Pitch) และ

การพันขดลวดแบบพิช เศษส่วน (Short-Pitch) คือ ต้นและปลายของขดลวดเดียวกันจะพันคลุม 150 องศาไฟฟ้า เมื่อ α คือ ช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างการพันขดลวดทั้ง 2 แบบ



(ก) แบบพีชเต็ม (ข) แบบพีชเศษส่วน

ภาพที่ 2.16 เวคเตอร์ของขดลวดแบบพิชเต็ม (Full-Pitch) และแบบพิชเศษส่วน (Short-Pitch) [2]

จากภาพที่ 2.16 (ก) แสดง e.m.f (Electromotive Fore) ที่เกิดขึ้นในแต่ละข้าง(Coil- Side) ของ ขดลวดจะเกิดขึ้นพร้อมกันและมีทิศทางตามกันจึงสามารถนำมารวมกันได้โดยวิธีเลขคณิตได้

$$E = 2E_S \tag{2.10}$$

เมื่อ E_S คือ e.m.f (Electromotive-Fore) ที่เกิดขึ้นในแต่ละข้างของขดลวด

2.4.4 การวางขดลวดแบบพิชเศษส่วน (Short-Pitch or Fractional-Pitch)

จากภาพที่ 2.16 (ข) แสดง e.m.f ที่เกิดขึ้นในแต่ละข้าง (Coil-Side) ของขดลวดจะพันห่างกัน 150 องศาไฟฟ้า ดังนั้น e.m.f เกิดขึ้นไม่พร้อมกัน e.m.f รวมจะมีค่าน้อยกว่าจำนวนขดลวดทางด้าน Stator มีค่าเท่ากับ จำนวน Slot ทางด้าน Stator ดังสมการ

$$Q_C = S_1 = n_c m1 \tag{2.11}$$

เมื่อ Q_C คือ จำนวนขดลวดทางด้าน Stator

S_1 คือ จำนวน slot ทาง Stator

n_c คือ จำนวนขดต่อเฟส

m_1 คือ จำนวนเฟส

$$E = 2E_S \cos\left(\frac{30°}{2}\right) \tag{2.12}$$

ถ้าผลบวกทางเวคเตอร์ของ e.m.f ของพิชเศษส่วน (Short-Pitch) หารด้วยผลบวกทางเลขคณิต พิชเต็ม ผลลัพธ์ที่ได้เรียกว่า พิชแฟคเตอร์ (Pitch-Factor)

เมื่อ K_P คือ Pitch-Factor

$$\begin{aligned} K_P &= \frac{2E_S \cos\left(\frac{30°}{2}\right)}{2E_S} \\ &= \cos\left(\frac{30°}{2}\right) \\ &= 0.996 \end{aligned} \tag{2.13}$$

ดังนั้นสมการทั่วไปที่ใช้คำนวณหาค่า พิชแฟคเตอร์ (Pitch-Factor)คือ

$$K_P = \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \tag{2.14}$$

เมื่อ เป็น มุมระหว่างระยะของพิชเศษส่วน (Short-Pitch) ที่น้อยกว่าระยะพิชเต็ม (Full-Pitch)

ข้อดีของการพันแบบพิชเศษส่วน (Short-Pitch)

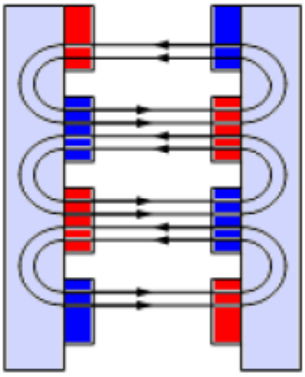
ประหยัดลวดทองแดงที่ใช้พัน

รูปคลื่น (Wave From) ของแรเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนาใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) มากที่สุด ลดการรบกวนจากฮาโมนิคส์ลงได้เกือบหมดในทางปฏิบัติ

ข้อเสียของการพันแบบพิชเศษส่วน (Short-Pitch)

แรงเคลื่อนไฟฟ้ารวมที่ขดลวดนั้นค่อนข้างลดลงเพราะว่าแรงคลื่นไฟฟ้าจะเหนี่ยวนาใน2 ด้านของขดลวดที่การพันแบบระยะไม่เต็มนั้นจะต่างเฟสกันเล็กน้อยทำให้ผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าทางเวกเตอร์มีค่าน้อยกว่าแบบพิชเต็ม

2.5 สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Equation of induced e.m.f) [2]



ภาพที่ 2.17 แสดงการเสริมกันของเส้นแรงแม่เหล็ก [2]

เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำใช้โครงสร้างแบบ Axial Flux และใช้แม่เหล็กถาวรเป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็กทำให้ค่าเส้นแรงเป็นสองเท่าต่อคู่ของขั้วแม่เหล็กและไม่ยอมเปลี่ยนแปลง ตามเวลา ดังนั้น 1 รอบของการหมุนจะหมุนจะใช้เวลา 60 วินาทีต่อหนึ่งรอบจะสามารถอธิบาย สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Equation of induced e.m.f) ได้ดังนี้

เมื่อ Z คือ จำนวนตัวนำ หรือ จำนวนเส้นลวดทองแดงที่คอยล์ไซด์ทั้งสองต่อหนึ่งเฟส

T คือ จำนวนรอบของขดลวดต่อหนึ่งเฟส

ϕ คือ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดต่อขั้ว (Wb)

K_P คือ พิชแฟคเตอร์ เมื่อวางขดลวดแบบพิชเศษส่วน

K_F คือ From Factor มีค่า 1.11 (เมื่อ e.m.f เป็นรูปคลื่นไซน์)

ใน 1 รอบของการหมุนจะใช้เวลา 60 วินาทีต่อหนึ่งรอบ ตัวนำจะถูกตัดด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก จำนวนเวเบอร์

$$d\phi = \phi P \tag{2.15}$$

เวลาที่ใช้ในการหมุนครบหนึ่งรอบ

$$dt = \frac{60}{N} \tag{2.16}$$

ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย (Average) ที่เกิดขึ้นในตัวนำหนึ่งตัว

$$e = \frac{d\phi}{dt} \tag{2.17}$$

สมการที่ (2.14) และ (2.16) แทนลงใน (2.17)

$$\therefore \qquad e = \frac{\phi PN}{60} \tag{2.18}$$

จากสมการที่ (2.9) แทนลงในค่า จะได้ N จะได้

$$e = \frac{\phi P}{60} \times \frac{120 f}{P} \tag{2.19}$$

$$e = 2\phi f \tag{2.20}$$

ถ้ามีจำนวนตัวนำทั้งหมด Z ตัวต่ออนุกรมกันในหนึ่งเฟส ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเฟส

$$e = 2\phi fZ \tag{2.21}$$

เมื่อ $Z = 2T$

$$e = 4\phi fT \tag{2.22}$$

ค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่วัดได้หารเฟส

$$E = 1.11 \times 4\emptyset fT \tag{2.23}$$

$$E/ph = 4.44\emptyset fT \quad \text{V} \tag{2.24}$$

E/ph คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดหนึ่งเฟส

เมื่อค่าของ E/ph สมการที่ 2.24 ใช้ในกรณีที่ขดลวดอาร์เมเจอร์พันแบบพแบบพิชเต็ม (Full- Pitch) แต่เมื่อมีการพันขดลวดแบบพิชเศษส่วน (Short-Pitch) จึงต้องคูณค่า K_P ในสมการที่ 2.25 จะได้สมการของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ดังนี้

$$E/ph = 4.44K_P\emptyset fT \quad \text{V} \tag{2.25}$$

2.6 แม่เหล็กและคุณสมบัติ

แม่เหล็ก (Magnet) คือ สารที่มีโมเลกุลเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ ที่สามารถดูดสารแม่เหล็กบางชนิดได้ ซึ่งแม่เหล็กแบ่งตามลักษณะการเกิด ได้ 2 ประเภท

2.6.1 แม่เหล็กธรรมชาติ

แม่เหล็กธรรมชาติ (Natural Magnet) หมายถึง แม่เหล็กที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะเป็นออกไซด์ของเหล็ก (Fe_3O_4) มีลักษณะสีดำ โดยแม่เหล็กธรรมชาติจะมีรูปร่างไม่แน่นอน

2.6.2 แม่เหล็กประดิษฐ์

แม่เหล็กประดิษฐ์ (Artificial Magnet) ทำจากเหล็ก นิกเกิล โคบอลต์ หรือโลหะผสมบางอย่างที่มีสมบัติทางแม่เหล็ก ซึ่งจะมีรูปร่างแตกต่างกันไปตามลักษณะของงานที่ใช้ ซึ่งแม่เหล็กที่มนุษย์ได้สร้างขึ้นสามารถจำแนกออกเป็น 2 ชนิด คือ แม่เหล็กถาวร และแม่เหล็กชั่วคราว

- แม่เหล็กถาวรหมายถึง แม่เหล็กที่ไม่เสียอำนาจแม่เหล็กง่าย หลังถูกทำให้เป็นแม่เหล็กแล้ว รูปร่างลักษณะแล้วแต่ลักษณะการใช้งาน เช่น แท่งสี่เหลี่ยม แท่งทรงกระบอก หรือรูปเกือกม้า เป็นต้น

- แม่เหล็กชั่วคราวหมายถึง แม่เหล็กที่ไม่สามารถรักษาอำนาจแม่เหล็กได้นานหลังจากทำให้เป็นแม่เหล็กแล้ว เช่น แม่เหล็กที่เกิดจากการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้า ตัวอย่างแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น หลอดไฟฟ้า ไมโครโฟน มอเตอร์ เป็นต้น โดยแม่เหล็กที่หลงเหลืออยู่ในสารแม่เหล็กชั่วคราวเรียกว่า แม่เหล็กตกค้าง

2.6.3 คุณสมบัติของแม่เหล็ก

ขั้วแม่เหล็กคือ บริเวณของปลายแท่งแม่เหล็กที่เมื่อนำไปดูดผงตะไบเหล็กจะมีผงตะไบเหล็กติดมากที่สุด นั่นคือ ที่ปลาย ทั้งสองของแท่งแม่เหล็กจะมีอำนาจแม่เหล็กมากที่สุด

- ชนิดของขั้วแม่เหล็ก ถ้าแขวนแท่งแม่เหล็กให้หมุนได้อิสระ แท่งแม่เหล็กจะวางตัวในแนวเหนือใต้เสมอ โดยปลายที่ชี้ไป ทางทิศเหนือ คือ ขั้วเหนือ (ขั้ว N) ปลายที่ใช้ไปทางทิศใต้ คือ ขั้วใต้ (ขั้ว S)

- แรงกระทำระหว่างขั้วแม่เหล็ก มี 2 แบบ คือ แรงดูดกัน เกิดจากการนำขั้วแม่เหล็กต่างชนิดกันมาวางใกล้กัน และแรงผลักกัน เกิดจากการนำขั้วแม่เหล็กชนิดเดียวกันมาวางใกล้กัน

2.6.4 สมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุ (Properties Magnet Of Materials)

สมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุขึ้นอยู่กับโครงสร้างของอะตอม และลักษณะการจับตัวของอะตอมของธาตุที่ประกอบกันขึ้นเป็นวัสดุ และวัตต์กันที่ผลการตอบสนองของวัสดุต่อสนามแม่เหล็กที่มาเหนี่ยวนำวัสดุ วัสดุอาจถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามค่าเพอร์มีบิลิตี้สัมพันธ์

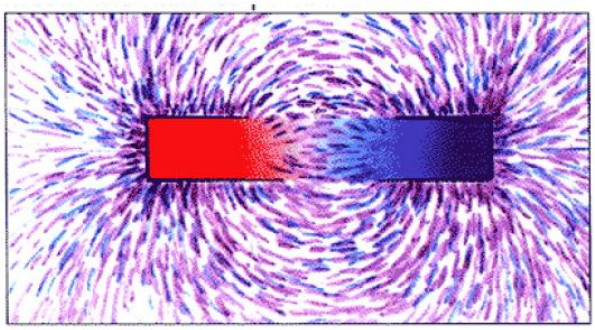
- กลุ่มไดอาแมกเนติก (Diamagnetic) ได้แก่ วัสดุที่มีเพอร์มีบิลิตี้สัมพัทธ์น้อยกว่า 1
- กลุ่มพาราแมกเนติก (Paramagnetic) ได้แก่ วัสดุที่มีเพอร์มีบิลิตี้สัมพัทธ์มากกว่า 1 เล็กน้อย
- กลุ่มเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic) ได้แก่ วัสดุที่มีเพอร์มีบิลิตี้สัมพัทธ์มากกว่า 1 มาก ๆ

- เมื่อถูกเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็ก เฟอร์โรแมกเนติกก็จะแสดงอำนาจแม่เหล็กขึ้นมา ทั้งนี้ธาตุที่เป็นเฟอร์โรแมกเนติกได้แก่ เหล็ก นิกเกิล โคบอลต์ แม่เหล็กถาวร (Permanent Magnets) แม่เหล็กถาวรคือ เฟอร์โรแมกเนติกที่สามารถรักษาสภาพความเป็นแม่เหล็กไว้ได้ภายหลักจากที่สนามแม่เหล็กที่มาเหนี่ยวนำได้หมดไปแล้ว แม่เหล็กถาวรมีทั้งพวกที่เป็นโลหะผสมและพวกที่เป็นเซรามิก พวกหลังนี้มีชื่อว่า (Ceramic Magnets) แม่เหล็กอ่อน (Soft Magnets) แม่เหล็กอ่อนได้แก่ เฟอร์โรแมกเนติที่ไม่สามารถรักษาสภาพความเป็นแม่เหล็กไว้ได้ภายหลังที่สนามแม่เหล็กที่มาเหนี่ยวนำหมดไป ตัวอย่างแม่เหล็กที่สำคัญได้แก่ เหล็กกล้าผสมวิลิคอน เหล็กกล้าผสมนิคเกิลหรือที่เรียก เป็นชื่อทางการค้าว่า เพอร์มาล์ลอย (Permalloy) แม่เหล็กทุกชนิดมีสนามแม่เหล็กรอบ ๆ แท่ง และมีแรงแม่เหล็กกระทำกันระหว่างแม่เหล็ก 2 แท่งเนื่องจากแรงปฏิกิริยาภายในสนามแม่เหล็กวัตถุใด ๆ ที่ถูกทำให้เป็นแม่เหล็กได้ก็จะกลายเป็นแม่เหล็ก และจะกลายเป็นแม่เหล็กเมื่อวางไว้ในสนามแม่เหล็ก การเคลื่อนที่ของประจุ (ปกติคืออิเล็กตรอน) ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเช่นเดียวกัน

2.6.5 ทฤษฎีสนามแม่เหล็ก [2]

- เส้นแรงแม่เหล็ก หรือ ฟลั๊กซ์แม่เหล็ก (Magnetic field lines or flux lines)

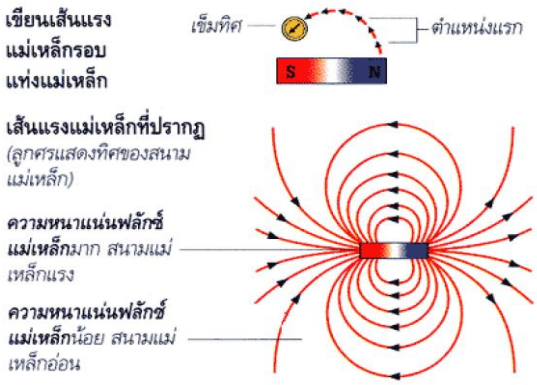
เป็นเส้นแรงที่แสดงทิศทางสนามแม่เหล็กรอบๆ แท่งแม่เหล็ก นอกจากนั้นยังแสดงความเข้มของสนามแม่เหล็กด้วย ทิศของแรงนี้กระทำกับขั้วเหนือ ในสนามแม่เหล็กเส้นแรงแม่เหล็กแสดงให้เห็นได้โดยใช้ผงเหล็กโรยรอบๆ แท่งแม่เหล็ก หรือการระบุตำแหน่องของเข็มทิศ-เล็กๆ ณ จุดต่างๆ รอบๆ แท่งแม่เหล็ก



ภาพที่ 2.18 ผลของการโรยผงเหล็กที่รอบๆ แท่งแม่เหล็ก [2]

- ความหนาแน่นฟลั๊กซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux density)

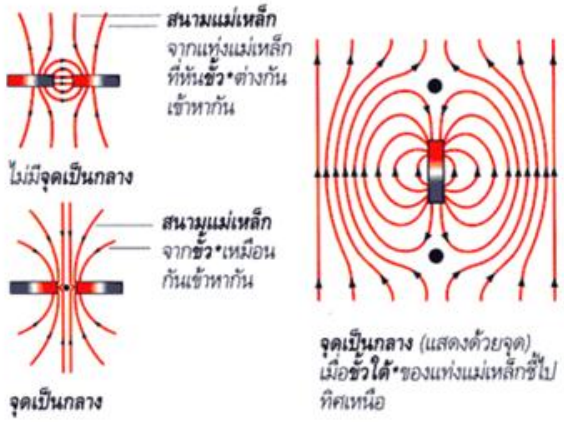
ข้อเป็นการวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กที่จุดๆ หนึ่ง แสดงได้โดย เส้นแรงแม่เหล็กที่อยู่ชิดกัน โดยปกติความหนาแน่นฟลั๊กซ์แม่เหล็กมีค่ามากรอบๆ ขั้ว



ภาพที่ 2.19 เส้นแรงแม่เหล็กรอบๆ แท่งแม่เหล็ก [2]

- จุดเป็นกลาง (Neutral point)

เป็นจุดที่ความหนาแน่นฟลั๊กซ์แม่เหล็กเป็นศูนย์ เกิดจากมีสนามแม่เหล็ก 2 สนามหรือมากกว่า มีปฏิกิริยาต่อกันด้วยอำนาจที่เท่ากัน แต่ทิศทางตรงกันข้าม แท่งแม่เหล็กที่แขวนตามเมริเดียนแม่เหล็ก โดยขั้วใต้ชี้ทิศเหนือจะมีจุดสะเทิน 2 จุด ในแนวแกนแม่เหล็ก



ภาพที่ 2.20 จุดที่ความหนาแน่นฟลั๊กซ์แม่เหล็กเป็นศูนย์ [2]

2.7 ผลที่เกิดกับระยะห่างของ Air Gap ระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์ [2]

ผลกระทบจากการรั่วไหลของช่องว่างของ Air Gab เนื่องจากปกติระยะห่าง (Air Gab) ของโรเตอร์กับสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยปกติแล้วมีความห่างประมาณ 0.2-0.4มม. ยิ่งชิดมากเท่าไรจะทำให้สนามแม่เหล็กมีความเข้มมากแค่นั้น แต่ถ้าห่างมากความเข้มของสนามแม่เหล็กก็จะน้อยลงไป เนื่องจากเส้นแรงแม่ที่ผ่านทางเดินอากาศเกิดการรั่วไหลขึ้น ที่ช่องว่างอากาศ ของโรเตอร์กับสเตเตอร์ ช่องว่างอากาศ (Air Gab) มีผลทำให้เส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลออกจากแนวหรือทางเดินของวงจรแม่เหล็กแพร่กระจายออกไปในอากาศเรียกว่าลิคเกจฟลักซ์ หรือ ฟลักรั่ว เนื่องจากมันไม่ได้เดินผ่านช่องว่างอากาศอาจจะมีการโป่งพองออก ซึ่งจะทำให้พื้นที่หน้าตัดของวงจรแม่เหล็กตรงบริเวณช่องว่างอากาศใหญ่ขึ้น เป็นผลให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่างอากาศมีค่าลดลง

บทที่ 3

การออกแบบโครงงาน

3.1 การออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3.1.1 การออกแบบโครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวหมุน

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีด้วยกัน2ชนิดคือเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งมีข้อแตกต่างที่สำคัญอย่างหนึ่งคือเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นส่วนที่หมุนและขดลวดสนามแม่เหล็กอยู่กับที่แต่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับนั้นอาจจะใช้ขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นส่วนที่หมุนหรืออยู่กับที่ก็ได้

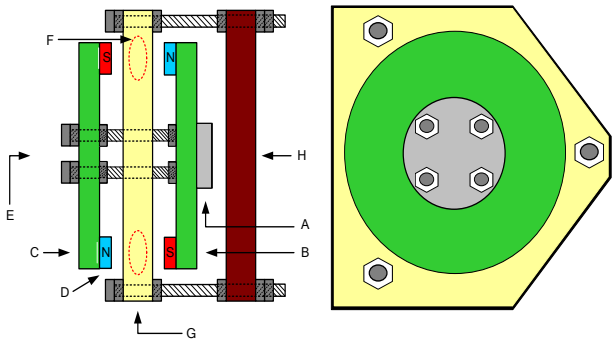
การออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้งานร่วมกับกังหันน้ำนั้นเนื่องจากกังหันน้ำที่ใช้เป็นกังหันที่มีความเร็วรอบต่ำดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกแบบสร้างจึงเป็นแบบขั้วแม่เหล็กหมุนโดยมีชุดขดลวดไฟฟ้าอยู่กับที่ขั้วแม่เหล็กที่ใช้คือ20ขั้วแม่เหล็กชุดขดลวด15คอยล์

- ส่วนประกอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ออกแบบมีส่วนประกอบหลัก2ส่วนคือส่วนที่อยู่กับที่(stator)และส่วนที่เคลื่อนที่(rotor)ส่วนที่อยู่กับที่ในที่นี้หมายถึงชุดขดลวดไฟฟ้าและส่วนที่เคลื่อนที่หมายถึงชุดขั้วแม่เหล็กโดยมีหลักการทางานดังนี้เมื่อขั้วแม่เหล็กหมุนสนามแม่เหล็กก็จะหมุนตามโดยมีเส้นแรงแม่เหล็กจะพุ่งตัดผ่านการตัดผ่านขดลวดที่อยู่ตรงกลางระหว่างขั้วแม่เหล็กขั้วเหนือกับขั้วใต้ในแนวตั้งฉากเป็นผลทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นบริเวณขดลวดส่วนที่อยู่กับที่ (stator) มีส่วนประกอบแสดงดังรูปที่3.1

ก. ส่วนที่อยู่กับที่ประกอบด้วยชุดขดลวดไฟฟ้า (F) ดังรูปที่ 3.1 รายละเอียดดูในเรื่องการออกแบบชุดขดลวดไฟฟ้าโดยยึดติดกับแผ่นฐานที่ใช้ติดตั้งกับฐาน (G) และมีดุมล้อรถยนต์ (A) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวยึดลูกปืนหล่อลื่นให้กับส่วนที่เคลื่อนที่

ข. ส่วนที่เคลื่อนที่ (rotor) มีส่วนประกอบแสดงดังรูปที่ 3.1 ส่วนที่เคลื่อนที่ประกอบด้วยแผ่นขั้วแม่เหล็กจานวน 2 แผ่น (B) กับ (C) รายละเอียดดูในเรื่องการการออกแบบขั้วแม่เหล็กแผ่นแม่เหล็ก2แผ่นโดยมีแกนเพลาโรเตอร์ (E) เป็นตัวยึดระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์



(ก) ด้านข้าง (ข) ด้านหน้า

ภาพที่ 3.1 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [2]

ส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor) ประกอบด้วย

A คือดุมล้อตามของรถยนต์ทำหน้าที่เป็นจุดหมุนของ Rotor

B คือแผ่นเหล็กที่ยึดติดแม่เหล็กถาวรชุดที่ 1

C คือแผ่นเหล็กที่ยึดติดแม่เหล็กถาวรซึ่งขั้วตรงข้ามกับชุดที่ 1

D คือแม่เหล็กถาวร

E คือชุดต่อต้นกำลัง

ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) ประกอบด้วย

F คือขดลวดที่ผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้า

G คือ Stator ทาหน้าที่ยึดขดลวดทำมาจากเรซิ่น

H คือโครงจับยึด Stator

3.1.2 การคำนวณและการออกแบบขดลวดตัวนำและขั้วแม่เหล็ก

การออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนว แกนหมุน(Axial Flux Generator) ชนิด 3 เฟสแบบ 15คอล์ย 20โพล แรงดันประมาณ 24V – 36V ต่อเฟสที่พิกัดสูงสุด 200W

- การคำนวณหากระแส

$$I = \frac{W}{V} = \frac{200}{36} = 5.56A$$

ดั้งนั้นใช้ลวดทองแดงเบอร์ 18 ทนกระแสได้ 16 A

- การคำนวณหาจำนวนขั้วแม่เหล็กและช่วงของขั้วแม่เหล็ก

$$P = \frac{120f}{N} \tag{3.1}$$

เมื่อ f คือ ความถี่ของระบบไฟฟ้าที่ต้องการ (Hz)

P คือ จำนวนขั้วแม่เหล็ก

N คือ ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (RPM)

จากนั้นกำหนดความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่พิกัดเท่ากับ 300 RPM ที่ความถี่ 50 HZ

$$P = \frac{120f}{N}$$

$$P = \frac{120f}{300} \text{ 20 ขั้ว}$$

ดังนั้นจะได้ช่วงของขั้วแม่เหล็ก (Pole Pitch) คือ

Pole Pitch $$= \frac{360^\circ}{P} \tag{3.2}$$

จากสูตรมุมทางกล $$m = \frac{360^\circ}{P} \tag{3.3}$$

มุมทางไฟฟ้า $$e^\circ = m \times \frac{P}{2} \tag{3.4}$$

Pole Pitch $= \frac{360^\circ}{20} = 18$ องศาทางกล

$$e^\circ = m \times \frac{P}{2}$$

$$= 18 \times \frac{20}{2} = 180 \text{ องศาทางไฟฟ้า}$$

ดังนั้นจะต้องวางแม่เหล็กบนโรเตอร์ด้านละ 20 อันและวางห่างกัน 18 องศาทางกล

- การคำนวณหาหามุมของขดลวด

$$m = \frac{360^{\circ}}{P}$$

$$= \frac{360^{\circ}}{15} = 24 \text{ องศาทางกล}$$

$$e^{\circ} = m \times \frac{P}{2}$$

$$= 24 \times \frac{20}{2} = 240 \text{ องศาทางไฟฟ้า}$$

มุมทางกล = มุมทางกลของโรเตอร์-มุมทางกลของสเตเตอร์

= 24 - 18

= 6 องศาทางกล

มุมทางไฟฟ้า = มุมทางไฟฟ้าของโรเตอร์-มุมทางไฟฟ้าของสเตเตอร์

= 240 - 180

= 60 องศาทางไฟฟ้า

- การคำนวณหาจำนวนรอบตัวนำ

- แรงดันที่ต้องการประมาณ 24 V – 36V

- ลวดตัวนำ A.W.G. เบอร์ 18 ทนกระแสได้ 16A

- พันขดลวดแบบพิชเศษส่วน (Short Pitch) ซึ่งมีระยะคอยล์เท่ากับ 60 องศาไฟฟ้า

- แม่เหล็กถาวร 20คู่ของขั้วแม่เหล็กขนาด กว้าง 3.9cm. ยาว 2. 5cm. สูง 1cm.

- ความหนาแน่น (B_{max}) ของเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด 3500 เกาต์ (1 เกาต์ (G) = 0.0001 เทสลา (T)) เพราะฉะนั้น 3500x 0.0001 = 03.5 T

วิธีการคำนวณ

Pith Factor

$$K_P = \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \tag{3.5}$$

$$= \cos\left(\frac{60}{2}\right)$$

$$= 0.866$$

Magnetic flux

$$\phi = B_{\max} A \tag{3.6}$$

$$= 0.35 \times 3.9 \times 2.5 \times 10^{-4}$$

$$= 0.00034 \ Wb$$

หาจำนวนขดต่อเฟส

$$Q_c = n_c ml$$

$$n_c = \frac{Q_c}{ml} = \text{ขดต่อเฟส}$$

$$n_c = \frac{15}{3} = 5 \text{ ขดต่อเฟส}$$

Equation of induced e.m.f

$$E/ph = 4.44 \emptyset f T K_P$$

หาจำนวนรอบตัวนำ (T)

$$T = \frac{E/ph}{4.44 \emptyset f K_P}$$

$$= \frac{36}{4.44 \times 0.00034 \times 50 \times 0.866}$$

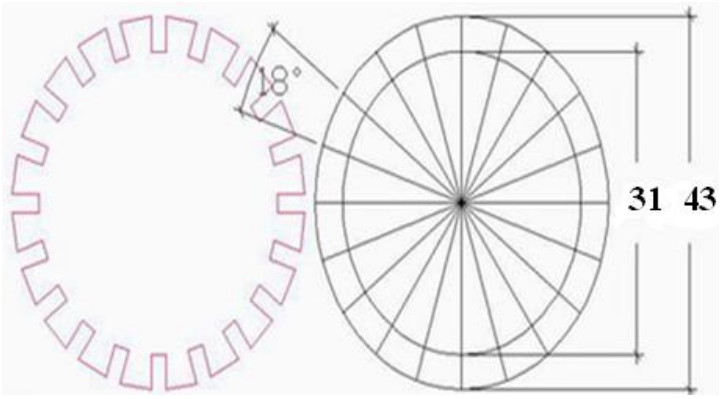
$$\approx 550 \text{ รอบต่อเฟส}$$

เครื่องกำเนิดมีจำนวน 15 คอยล์ 3เฟสดังนั้น 1เฟสจะมี 5คอยล์แต่ที่คำนวณได้เท่ากับ 550 รอบต่อเฟส นำ 550 หาร 5 จะเท่ากับ 110รอบต่อ 1คอยล์

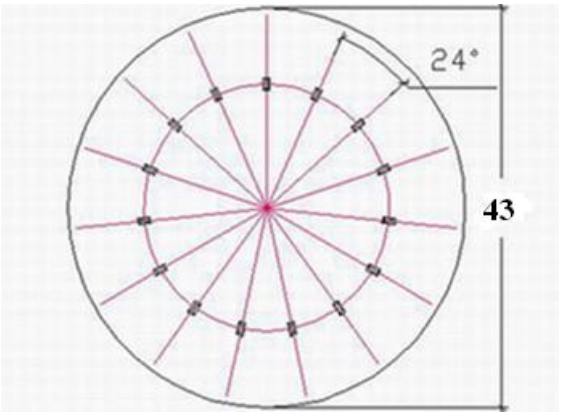
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

AXIAL FLUX GENERATOR (three-phase) 200W , 24V			
กระแสไฟฟ้าที่พิกัด	5.56 A	ขดลวด	A.W.G 18
จำนวนขดลวด	15	ขั้วแม่เหล็ก	20 คู่ขั้ว
Kp, ϕ	0.866,0.34mWb	ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก	0.35 T
จำนวนขดลวดต่อเฟส	5	จำนวนรอบของขดลวดต่อขด	110

3.1.3 แบบแปลนขนาดจานแม่เหล็กและจานขดลวด



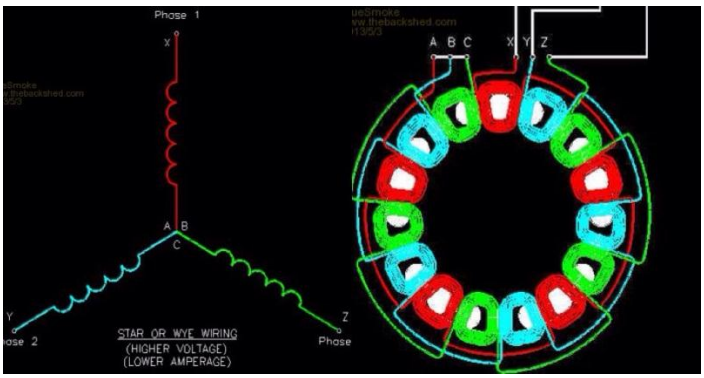
ภาพที่ 3.2 ขนาดของจานชุดแม่เหล็กและการวางแม่เหล็กที่18องศา [5]



ภาพที่ 3.3 ขนาดของชุดจานขดลวดและการวางขดลวดที่24องศา [5]

3.1.4 การต่อขดลวด

ต้น-ปลายไว้บนลวดด้านต้นและปลายของทุกขด เพื่อป้องกันการต่อขดลวดกลับขั้วกัน เนื่องจากขดลวดที่ทำการต่อมี15ขดแบ่งเป็น3ชุดโดยแต่ละชุดนั้นจะมีชุดละ5คอยล์ ดังรูปที่3.4



ภาพที่ 3.4 การต่อวงจรขดลวด [3]

3.2 การออกแบบล้อกังหันน้ำ [1]

ล้อกังหันน้ำทำจากวัสดุที่มีความแข็งแรง และ ยืดหยุ่นสูงในตัว เพราะล้อกังหันน้ำต้องมีน้ำหนักเบาซึ่ง จะทำให้ช่วยในการเริ่มหมุนได้ง่าย ดังนั้น ล้อกังหันน้ำจึงเป็นหัวใจหลักของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก วัสดุที่ใช้ทำล้อกังหันน้ำผลิตกระแสไฟฟ้า จึงเป็นหัวใจหลัก และ สำคัญอย่างยิ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาด

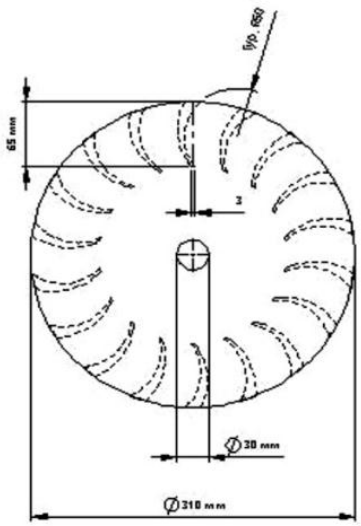
3.2.1 แบบแปลนโครงกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก

เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อกังหัน 310มิลลิเมตร

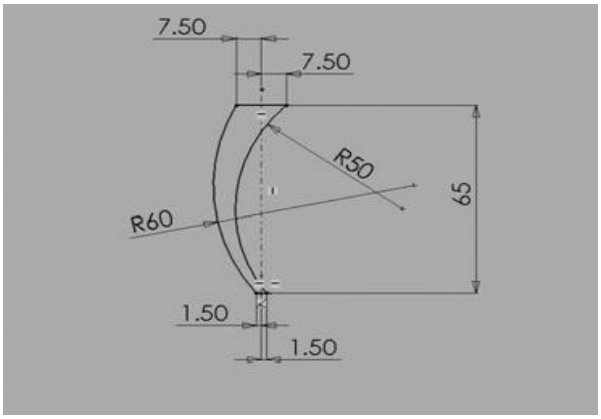
ความสูงใบกังหัน 65มิลลิเมตร

ความกว้างใบกังหัน 15มิลลิเมตร

ใบกังหันมีจำนวน 18ใบ



ภาพที่ 3.5 ขนาดล้อกังหันน้ำ [1]



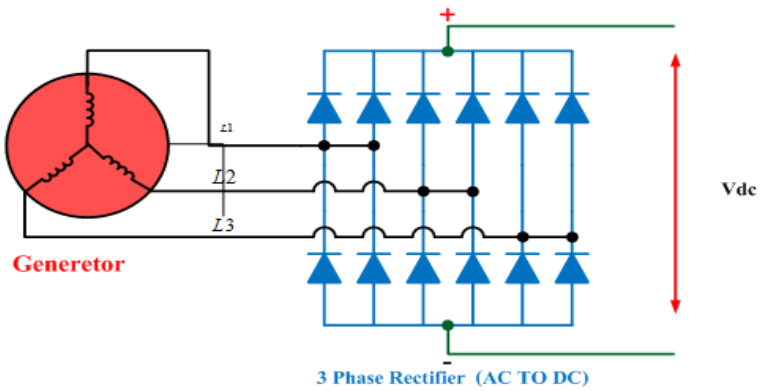
ภาพที่ 3.6 ขนาดหน้าตัดของใบกังหันน้ำ [1]

บทที่ 4

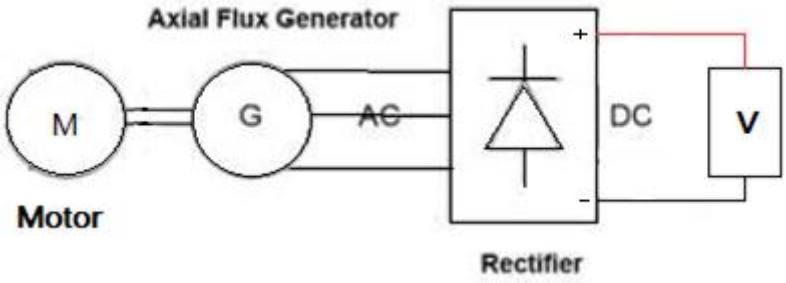
การทดลอง และผลการทดลอง

4.1 การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่ต่อโหลด

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาระยะ Air Gab ที่ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีประสิทธิภาพดีที่สุดโดยเร่งความเร็วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตั้งแต่ 100-300 รอบต่อนาทีและปรับ Air Gab ที่ระยะต่างๆ โดยกำหนดระยะ Air Gab ที่ 2.6mm.,6.6mm.,10.6mm.,14.6mm. พร้อมบันทึกผลการทดลอง



ภาพที่ 4.1 แสดงการต่อวงจรขณะไม่ต่อโหลด



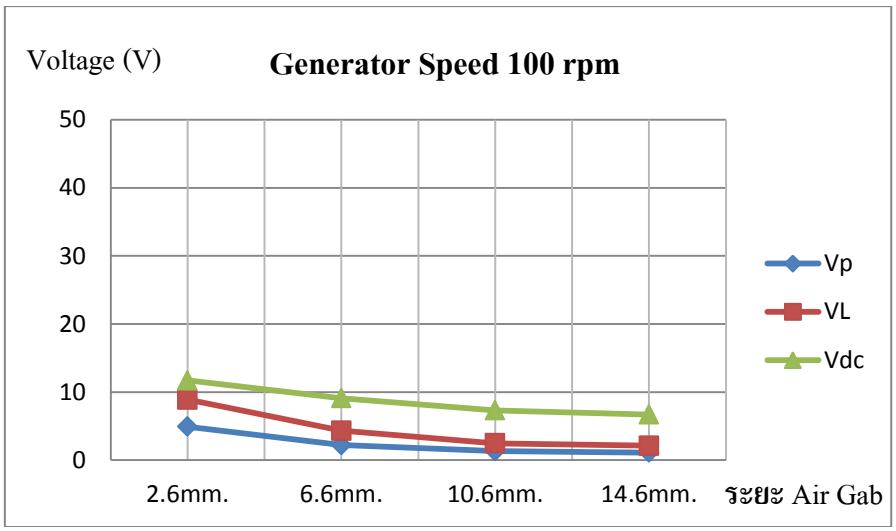
ภาพที่ 4.2 แสดงการต่ออุปกรณ์ขณะไม่ต่อโหลด

ขั้นตอนการทดลอง

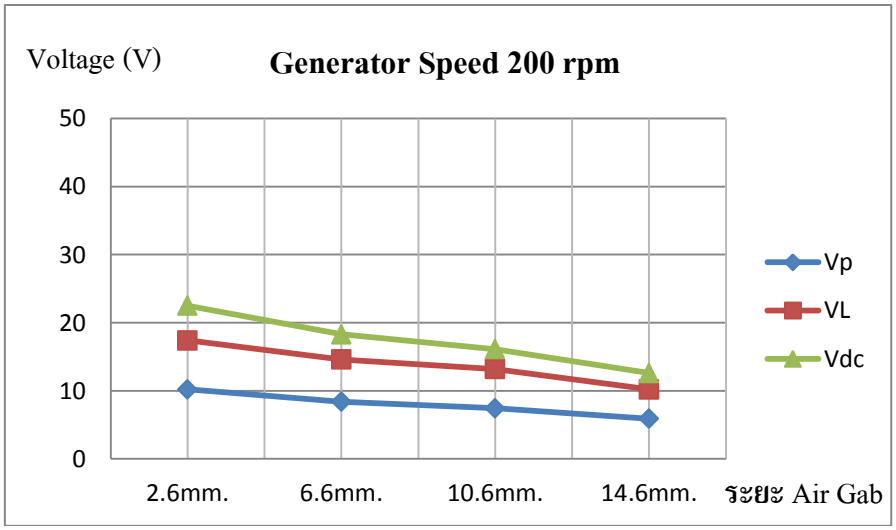
1. ต่อวงจรภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3เฟสเป็นแบบสตาร์ ตามรูปที่ 4.1
2. ต่อวงจรการทดลองตามรูปที่ 4.2 พร้อมทั้งต่อมอเตอร์เป็นตัวต้นกำลัง
3. ปรับระยะ Air Gab แล้วเริ่มเดินมอเตอร์ค่อยๆเพิ่มความเร็วรอบตามตารางที่ 4.1 และบันทึกผลการทดลอง
4. นำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.1 มาเขียนให้อยู่ในรูปของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กับ ความเร็วรอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ระยะ Air Gab ต่างๆ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขณะไม่ต่อโหลด

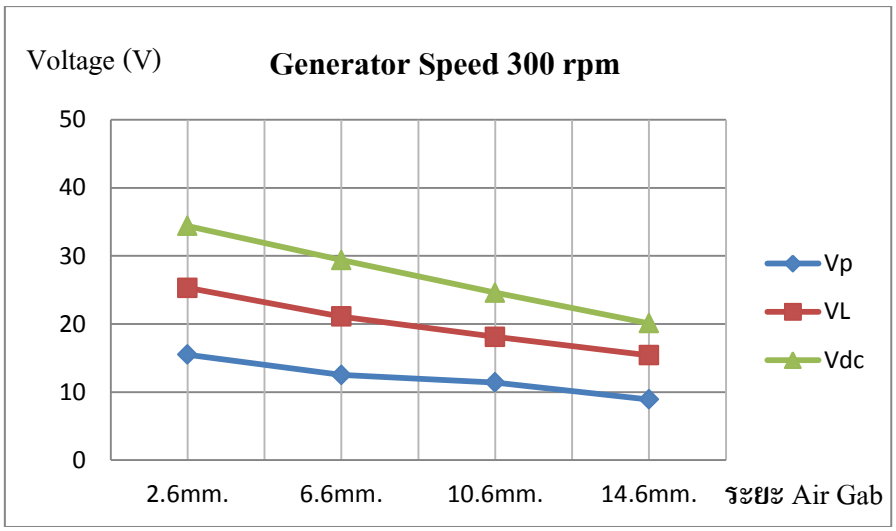
Generator Speed (rpm)	Voltage Generator											
	Air Gab 2.6mm.			Air Gab 6.6mm.			Air Gab 10.6mm.			Air Gab 14.6mm.		
	Vp	V_{L-L}	V_{DC}	Vp	V_{L-L}	V_{DC}	Vp	V_{L-L}	V_{DC}	Vp	V_{L-L}	V_{DC}
100	4.9	8.88	11.7	2.2	4.32	9.1	1.31	2.46	7.3	1.1	2.11	6.7
200	10.2	17.4	22.5	8.4	14.6	18.3	7.42	13.2	16.1	5.9	10.2	12.6
300	15.5	25.3	34.4	12.5	21.1	29.4	11.4	18.1	24.6	8.9	15.4	20.1



ภาพที่ 4.3 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าที่ Generator Speed 100 rpm ในระยะ Gab ต่างๆ



ภาพที่ 4.4 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าที่ Generator Speed 200 rpm ในระยะ Gab ต่างๆ



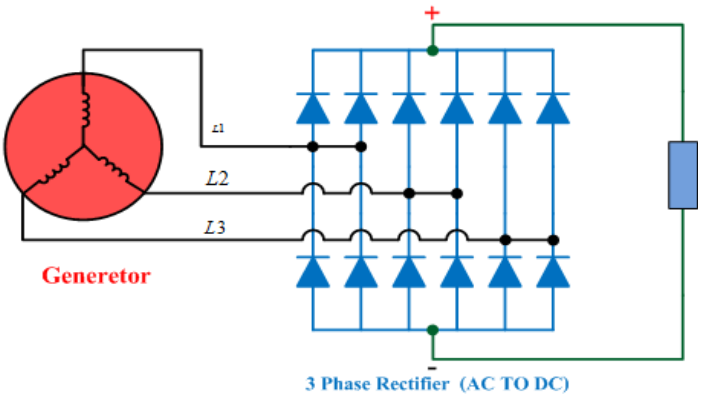
ภาพที่ 4.5 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าที่ Generator Speed 300 rpm ในระยะ Gab ต่างๆ

สรุปผลการทดลอง

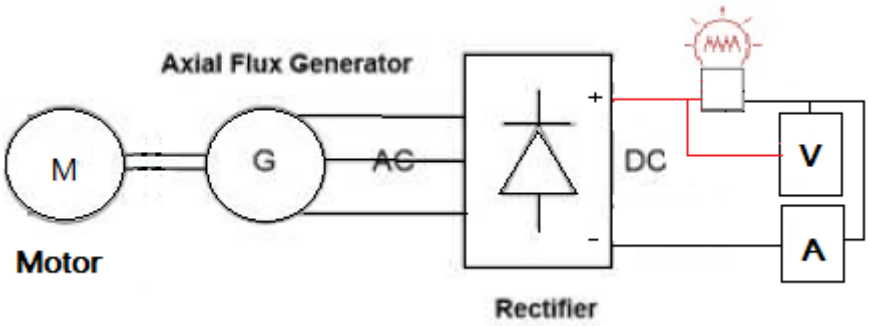
จากการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการปรับระยะของAir Gab ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเพิ่มความเร็วรอบขึ้นขณะไม่ต่อโหลด ปรากฏว่าที่ระยะAir Gab 2.6mm. ความเร็วรอบ 300rpm เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพดีที่สุดได้ แรงดันไฟฟ้า Vout (dc) 34.4V และถ้าปรับAir Gab ที่ระยะ 6.6mm. 10.6mm. 14.6mm. ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดก็จะลดลงตามระยะห่างของAir Gab และค่าแรงดันไฟฟ้าก็จะขึ้นอยู่กับระยะAir Gab ด้วยเช่นกันซึ่งถ้ายิ่งระยะAir Gab ชิดมากเท่าไหร่ก็จะยิ่งทำให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กมากเท่านั้นและสามารถผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าออกมาได้มากเช่นกัน

4.2 การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะต่อโหลด

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาระยะ Air Gab ที่ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีประสิทธิภาพดีที่สุด ขณะต่อโหลด โหลดที่ใช้คือหลอดไฟฟ้า 24V 60W จำนวน4หลอดต่อแบบอนุกรม โดยเร่งความเร็วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตั้งแต่ 100-300 รอบต่อนาทีและปรับ Air Gab ที่ระยะต่างๆโดยกำหนดระยะ Air Gab ที่ 2.6mm.,6.6mm.,10.6mm.,14.6mm. พร้อมบันทึกผลการทดลอง



ภาพที่ 4.6 แสดงการต่อวงจรขณะต่อโหลด



ภาพที่ 4.7 แสดงการต่ออุปกรณ์ขณะต่อโหลด

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3เฟสเป็นแบบสตาร์ ตามรูปที่ 4.6
2. ต่อวงจรการทดลองตามรูปที่ 4.7 พร้อมทั้งต่อมอเตอร์เป็นตัวต้นกำลัง
3. ต่อโหลดหลอดไฟฟ้า 24V 60W ต่อแบบอนุกรม
4. ปรับระยะ Air Gab แล้วเริ่มเดินมอเตอร์ค่อยๆเพิ่มความเร็วรอบตามตารางที่ 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 และบันทึกผลการทดลอง
5. นำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 มาเขียนให้อยู่ในรูปของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และ ความเร็วรอบ ที่ระยะ Air Gab ต่างๆ

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองขณะต่อโหลดที่ระยะ Air Gab 2.6 mm.

Air Gab 2.6 mm.						
Generator Speed (rpm)	Voltage (V)			Current (A)		Pout (W)
	Vp	V_{L-L}	V_{DC}	Ip	Idc	
100	4.6	8.4	9.8	2.8	3.9	38.2
200	9.7	16.8	21.3	3.3	5.2	110.7
300	14.3	25.2	32.2	4.3	6.1	196.4

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองขณะต่อโหลดที่ระยะ Air Gab 6.6 mm.

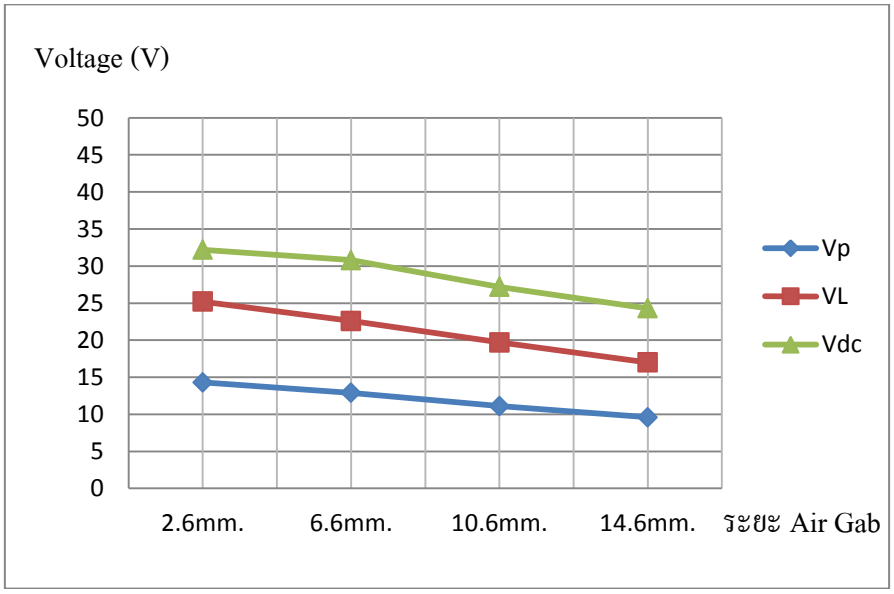
Air Gab 6.6 mm						
Generator Speed (rpm)	Voltage (V)			Current (A)		Pout (W)
	Vp	V_{L-L}	V_{DC}	Ip	Idc	
100	3.8	6.8	8.6	2.2	3.3	28.4
200	8.5	14.8	18.7	2.7	4.4	82.3
300	12.9	22.6	30.8	3.8	5.3	163.2

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองขณะต่อโหลดที่ระยะ Air Gab 10.6 mm.

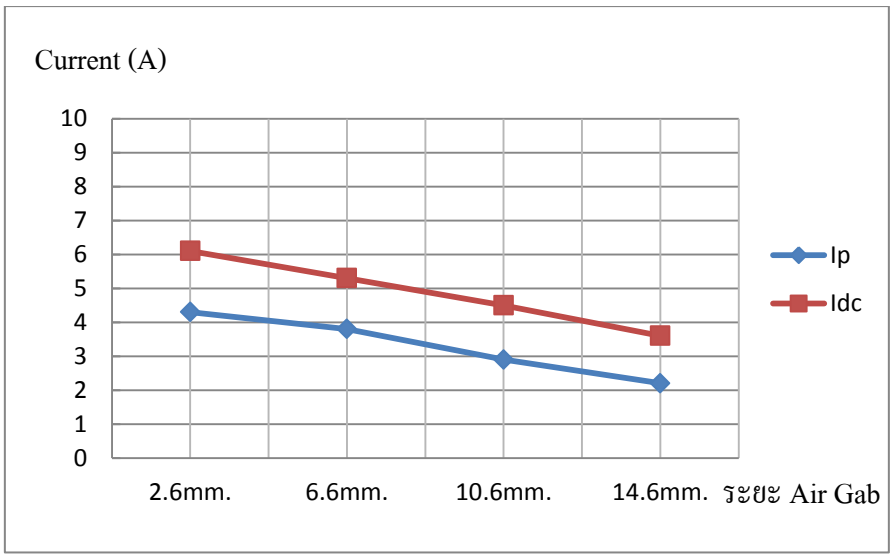
Air Gab 10.6 mm.						
Generator Speed (rpm)	Voltage (V)			Current (A)		Pout (w)
	Vp	V_{L-L}	V_{DC}	Ip	Idc	
100	3.6	6.5	7.8	2	2.4	18.7
200	7.3	12.8	15.3	2.1	3.7	56.6
300	11.1	19.7	27.2	2.9	4.5	122.4

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองขณะต่อโหลดที่ระยะ Air Gab 14.6 mm.

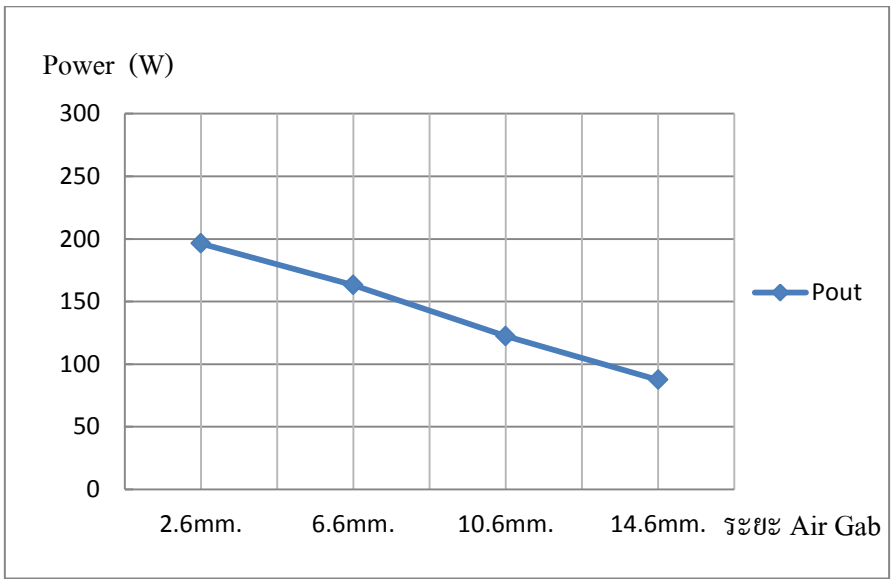
Air Gab 14.6mm.						
Generator Speed (rpm)	Voltage (V)			Current (A)		Pout (W)
	Vp	V_{L-L}	V_{DC}	Ip	Idc	
100	3.1	5.6	7.1	1.1	1.8	12.9
200	6.2	11.3	13.2	1.9	2.7	35.6
300	9.6	17	24.3	2.2	3.6	87.5



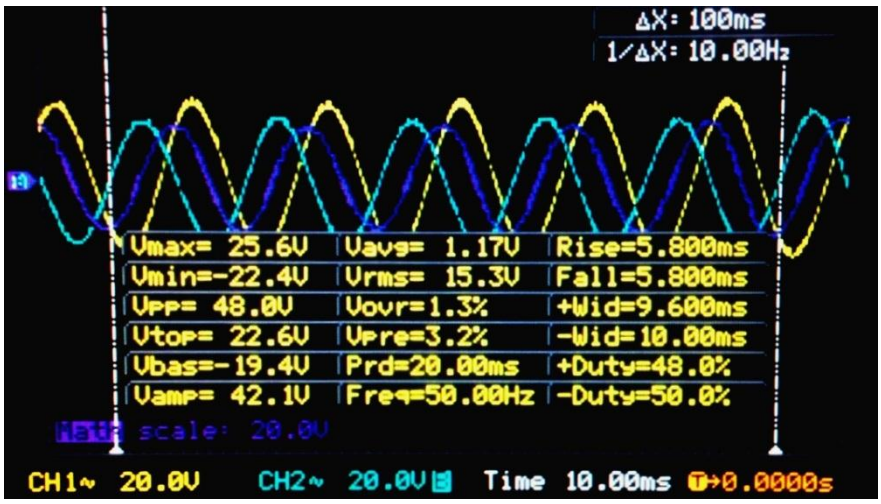
ภาพที่ 4.8 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าที่ความเร็ว Generator 300 rpm ในระยะ Gab ต่างๆ



ภาพที่ 4.9 แสดงกราฟกระแสไฟฟ้าที่ความเร็ว Generator 300 rpm ในระยะ Gab ต่างๆ



ภาพที่ 4.10 แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าที่ความเร็ว Generator 300 rpm ในระยะ Gab ต่างๆ



ภาพที่ 4.11 แสดงสัญญาณแรงดัน 3 เฟสที่ความเร็ว Generator 300 rpm

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการปรับระยะของAir Gab ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเพิ่มความเร็วรอบขึ้นขณะต่อโหลด โดยโหลดที่ใช้เป็นหลอดไฟ 24V 60W จำนวน 4หลอด ต่อแบบอนุกรม ปรากฏว่าที่ระยะAir Gab 2.6mm. ความเร็วรอบ 300rpm เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด วัดแรงดันไฟฟ้าได้ Vout (dc) 32.2V กระแสไฟฟ้า I (dc) 6.1A กำลังงานไฟฟ้า Pout 196.4W ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับที่ได้คำนวณและออกแบบไว้ และถ้าปรับที่ระยะ 6.6mm. 10.6mm. 14.6mm. ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็จะลดลงตามระยะห่างของAir Gab และแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ได้ ก็จะขึ้นอยู่กับระยะAir Gab ด้วยเช่นกัน ซึ่งถ้ายิ่งระยะAir Gab ชิดมากเท่าไหร่ก็จะยิ่งทำให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กมากเท่านั้นและสามารถผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าออกมาได้มากเช่นกัน

4.3 การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อติดตั้งในรูปแบบกังหันน้ำ

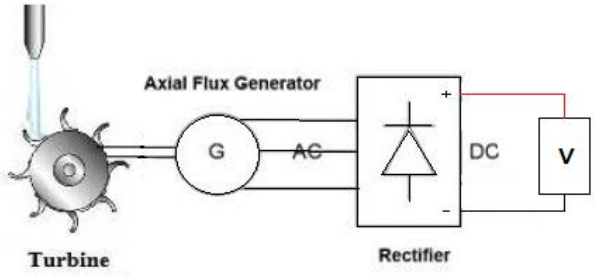
การทดลองนี้เป็นการลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูปแบบกังหันน้ำที่ระดับความสูงของหัวน้ำ 4 เมตร การทดลองกังหันน้ำ ทำได้โดยการปล่อยน้ำในถังเก็บน้ำลงมาโดยอาศัยวาล์วเปิด-ปิดน้ำเป็นตัวปรับระดับอัตราการไหล ปล่อยน้ำผ่านท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3นิ้ว ลงมายังหน้าตัดใบกังหันเพื่อให้ล้อกังหันน้ำเกิดการหมุนทำการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยอาศัยเพลาเป็นตัวส่งกำลังมา

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า การทดลองจะทดลองสองสภาวะคือขณะไม่ต่อโหลดและขณะต่อโหลดโดยโหลดที่ใช้เป็นหลอดไฟฟ้า 24V 25W จำนวน4หลอดต่อแบบขนาน และบันทึกผลการทดลองความเร็วรอบ แรงดันไฟฟ้า กำลังงานไฟฟ้า และกระไฟฟ้า

ภาพที่ 4.12 แสดงการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูปแบบกังหันน้ำ

ขั้นตอนการทดลองขณะไม่ต่อโหลด

1. ต่อวงจรการทดลองตามรูปที่ 4.12
2. เริ่มเปิดวาล์วน้ำ
3. บันทึกการทดลองที่ได้ในตารางที่ 4.6



ภาพที่ 4.13 แสดงการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูปแบบกังหันน้ำขณะไม่ต่อโหลด

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูปแบบกังหันน้ำขณะไม่ต่อโหลด

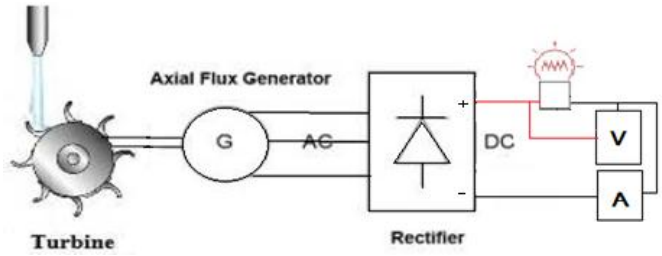
Generator Speed (rpm)	Voltage Axial Flux Generator Turbine No Load						
	V_{1-2}	V_{1-3}	V_{2-3}	V_{P1}	V_{P2}	V_{P3}	V_{DC}
300	24.4	23.6	23.9	13.8	12.9	13.5	30

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูปแบบกังหันน้ำขณะไม่ต่อโหลด ปรากฏว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนที่ความเร็วรอบ 300rpm วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ Vphase (ac) 13.8V Vline (ac) 24.4V วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ Vout (dc) 30V เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพดีที่สุดได้ ซึ่งแรงดันที่ออกมานั้นจะได้มากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับความเร็วในการหมุนของกังหันน้ำและประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดนั้นๆ

ขั้นตอนการทดลองขณะต่อโหลด

1. ต่อวงจรการทดลองตามรูปที่ 4.13
2. ต่อโหลดหลอดไฟฟ้า 24V 25W ต่อแบบขนาน
3. เริ่มเปิดวาล์วน้ำ
4. บันทึกการทดลองที่ได้ในตารางที่ 4.7



ภาพที่ 4.14 แสดงการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูปแบบกังหันน้ำขณะต่อโหลด

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูปแบบกังหันน้ำขณะต่อโหลด

Load หลอดไฟ (หลอด)	Generator Speed (rpm)	Voltage Axial Flux Generator Turbine On Load		
		V_{DC} (V)	I_{DC} (A)	Pout (W)
4	299	23.45	3.25	76.21
5	288	22.88	3.97	90.83
6	286	22.33	4.67	104.28
7	280	21.99	5.39	118.52
8	275	21.26	6.07	129.04
โหลดรวม	270	18.89	9.90	187.01

หมายเหตุ โหลดรวมคือโหลดหลอดไฟ 12V 18W 2หลอด และหลอดไฟ 12V 25W 1หลอด

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูปแบบกังหันน้ำขณะต่อโหลด ปรากฏว่าเมื่อเริ่มเปิดวาล์วน้ำเครื่องกำเนิดออกตัวช้าลงเนื่องจากแรงดันกระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนารอบๆ ที่ความเร็วเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 270rpm วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ Vout (dc) 18.89V กระแสไฟฟ้า I (dc) 9.90A กำลังงานไฟฟ้า Pout 187.01W

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการทำโครงงานในครั้งนี้พบว่าถ้าระยะของช่องว่างอากาศ (Air Gab) ระหว่างโรเตอร์กับ สเตอร์ของเครื่องกำเนิดเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกนหมุนนี้ ถ้าช่องว่างอากาศมีมากก็จะมีผลทำให้เส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลออกจากทางเดินของสนามแม่เหล็กแพร่กระจายออกไปในอากาศเรียกว่าลิคเกจฟลักซ์ หรือ ฟลักซ์รั่วซึ่งจะทำให้พื้นที่หน้าตัดของวงจรแม่เหล็กตรงบริเวณช่องว่างอากาศใหญ่ขึ้น เป็นผลให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่างอากาศมีค่าลดลง ซึ่งจะมีผลต่อความเข้มสนามแม่เหล็ก และแรงเคลื่อนไฟฟ้าลดลง เช่นกัน และเมื่อนำมาติดตั้งในรูปแบบกังหันน้ำแล้วไม่จำเป็นต้องติดตั้งที่ระยะ 2.6mm. เสมอไปเพราะถ้าความเข้มสนามแม่เหล็กที่มากก็จะทำให้การออกตัวของกังหันน้ำยากขึ้น แต่ถ้าเราตั้งระยะห่างของ Gab ในระยะอื่นๆ(ขยับออกมา) จะทำให้กังหันน้ำออกตัวได้ดีขึ้นที่น้ำอ่อนๆ ซึ่งจะได้พลังงานที่สูงและได้พลังงานมากกว่าตอนตั้ง Gab ในระยะ 2.6mm. และความสูงของหัวน้ำ สามารถกำหนดให้สูงขึ้นได้ เพื่อเพิ่มความเร็วของน้ำก่อนเข้าสู่หน้าตัดล้อกังหันน้ำ ให้ได้แรงกระทำต่อล้อกังหันน้ำสูงขึ้นเพื่อให้ได้ความเร็วรอบการหมุนของล้อกังหันน้ำเร็วขึ้น สำหรับการสร้างแรงบิดใช้งานในการผลิตกระแสไฟฟ้า

เอกสารอ้างอิง

[1] หนังสือวิทยานิพนธ์ การศึกษาตัวแปรที่เหมาะสำหรับกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีเฮดต่ำด้วยวิธีวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[2] หนังสือปริญญานิพนธ์ การทดสอบประสิทธิภาพช่องว่างอากาศของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกนหมุนของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี

[3] http://www.thebackshed.com/forum/forum_posts.asp?TID=5723

[4] http://www.fieldlines.com/index.php?topic=139487.0

[5] http://www.kaolom.com/index.php?option=com_content&view=article&id=60:2010-06-22-16-35-31&catid=122:01&Itemid=136

[6] Boyle, G. (*1996*). Renewable Energy Power for a Sustainable Future. New York : Oxford University Press.

[7] Hydro Energy. (*2003*a). Pelton Turbines. *เข้าถึงได้จาก*: http://www.hydro-energy.com/_bilder/produkte/turbinen/pelton_turbine.jpg

ภาคผนวก

การสร้างตัวกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า

ในการสร้างกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้านี้จะแบ่งออกเป็น2ส่วนคือ

1.เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.โครงสร้างของกังหันน้ำ โดยการสร้างกังหันน้ำนั้นจะอ้างอิงจากหนังสือวิทยานิพนธ์การศึกษาตัวแปรที่เหมาะสำหรับกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีเฮดต่ำด้วยวิธีวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราช มงคลธัญบุรี

การสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขั้นตอนดังนี้

1.พันขดลวดตามที่ออกแบบไว้คือขดลวดพัน 110รอบต่อขด จำนวน15ขด โดยใช้ลวด AWG18

2.นำขดลวดที่พันเสร็จแล้วมาต่อเป็นวงจรตามที่ออกแบบไว้คือ ต่อแบบสตาร์

3.ทำแบบเพื่อเตรียมหล่อเรซิ่นชุดขดลวด

4.ทำชุด Rotor โดยตัดแผ่นเหล็กให้เป็นวงกลมแล้วตีเส้นแบ่งแผ่นเหล็กเป็นส่วนๆจากนั้นนำแม่เหล็กมาติดตามช่องที่แบ่งไว้

5.ทำแบบของ Rotor เพื่อเตรียมหล่อเรซิ่นเพื่อไม่ให้แม่เหล็กเคลื่อนที่ได้

6.ผสมเรซิ่นแล้วนำไปหล่อ ชุดขดลวดและชุดแม่เหล็กที่เตรียมไว้เมื่อเรซิ่นแข็งตัวแล้วก็แกะออกจากแบบแล้วนำไปตากแดดอีก1วัน

แสดงการพันขดลวด

แสดงการต่อขดลวด

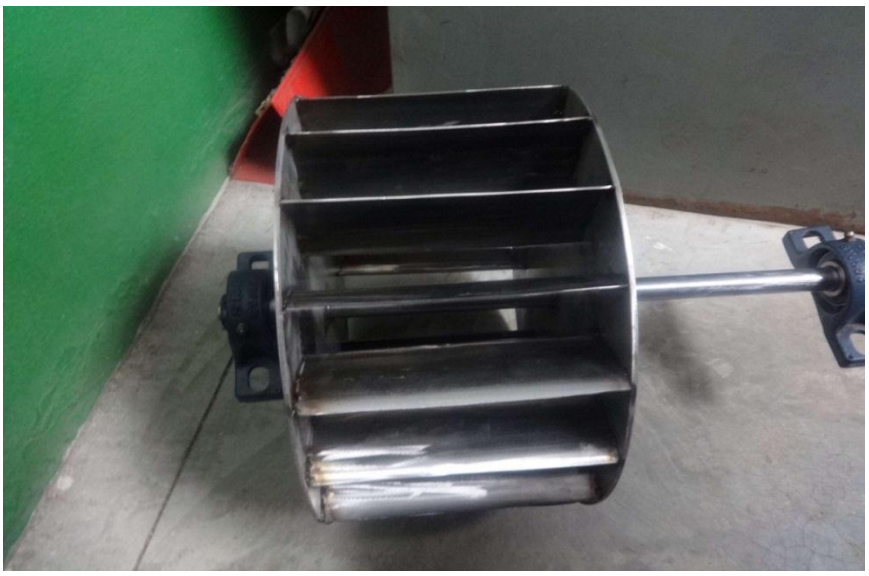
แสดงการเตรียมแบบเพื่อเตรียมหล่อเรซิ่นชุดขดลวด

แสดงการหล่อเรซิ่นชุดขดลวด

แสดงการติดตั้งชุดขดลวดเข้ากับฐาน

แสดงการติดแม่เหล็กลงบนแผ่นเหล็กเพื่อสร้างโรเตอร์

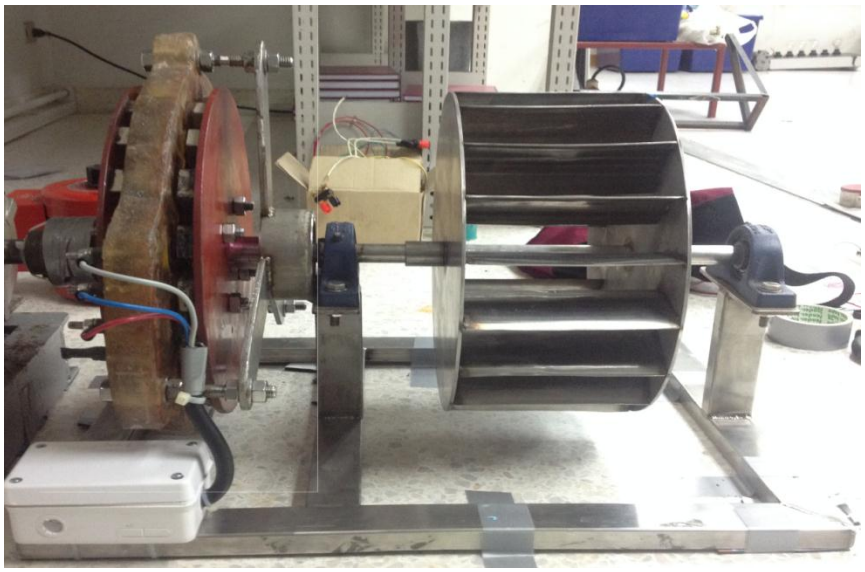
แสดงการหล่อเรซิ่นชุดแม่เหล็ก



แสดงชุดล้อกังหันน้ำ

แสดงการติดตั้งล้อกังหันน้ำเข้ากับโครงสร้าง

แสดงการติดตั้งเครื่องกำเนิดกับโครงสร้าง



แสดงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูปแบบกังหันน้ำเมื่อติดตั้งเสร็จแล้ว

แสดงการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลัง

แสดงการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้น้ำเป็นต้นกำลัง