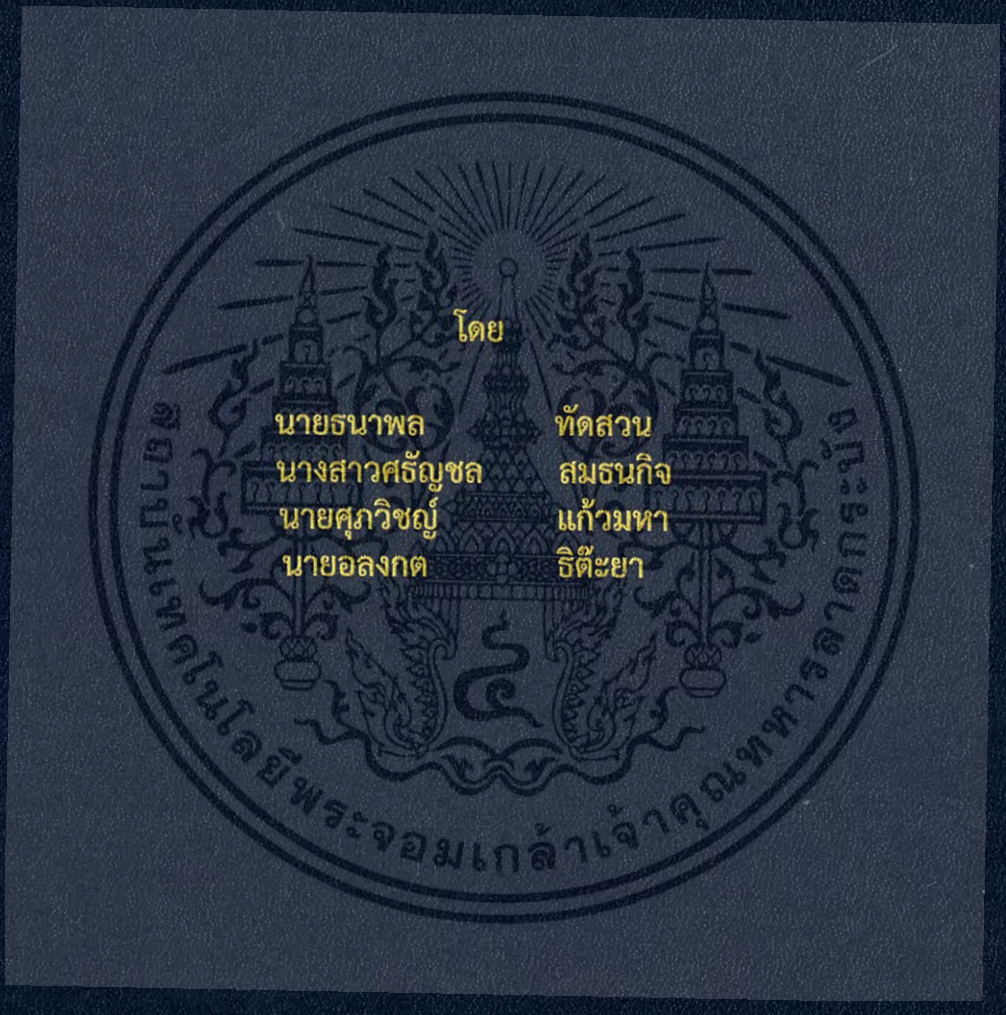
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าความเร็วรอบต่ำขนาดพิกัด 500 VA , 24 V
500 VA , 24 V LOW SPEED GENERATOR



โดย

นายธนาพล ทัดสวน
นางสาวศธัญชล สมธนกิจ
นายศุภวิชญ์ แก้วมหา
นายอลงกต ธิตะยา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าความเร็วรอบต่ำขนาดพิกัด 500 VA , 24 V

500 VA , 24 V LOW SPEED GENERATOR

โดย

นายธนาพล ทัดสวน

นางสาวศธัญชล สมธนกิจ

นายศุภวิชญ์ แก้วมหา

นายอลงกต ธิต๊ะยา

b00266039

TB00227

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

500 VA , 24 V LOW SPEED GENERATOR

THANAPON TUDSUAN

SATANCHON SOMTANAKIT

SUPAWICH KAEWMAHA

ALONGKOT THITAYA

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2560

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าความเร็วรอบต่ำขนาดพิกัด 500 VA , 24 V

500 VA , 24 V LOW SPEED GENERATOR

โดย

นายธนาพล ทัดสวน

นางสาวศธัญชล สมธนกิจ

นายศุภวิชญ์ แก้วมหา

นายอลงกต ธิต๊ะยา

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.ธีรพล โพธิ์พงศ์วิวัฒน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธปการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าความเร็วรอบต่ำขนาดพิกัด 500 VA , 24 V

ผู้จัดทำ

1. นายธนาพล ทัดสวน
2. นางสาวศธัญชล สมธนกิจ
3. นายศุภวิชญ์ แก้วมหา
4. นายอลงกต ธิตะยา

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.ธีรพล โพธิ์พงศ์วิวัฒน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าความเร็วรอบต่ำขนาดพิกัด 500 VA , 24 V

นายธนาพล ทัดสวน
นางสาวศธัญชล สมธนกิจ
นายศุภวิชญ์ แก้วมหา
นายอลงกต ธิต๊ะยา
ดร.ธีรพล โพธิ์พงศ์วิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกนขนาดพิกัด 500 VA , 24 V ความเร็วรอบต่ำ ซึ่งมีจุดเด่นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน คือ โครงสร้างที่ไม่ยุ่งยาก การออกแบบมี 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor) เป็นการใช้แม่เหล็กถาวรแทนขดลวด โดยใช้แม่เหล็กถาวร 24 ก้อน กับส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) จะใช้ขดลวดทั้งหมด 10 ขด มาทำการต่ออนุกรมและวางขดลวดเป็นวงกลมทำมุมห่างกัน 36 องศา โดยการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที และทำการเพิ่มภาระทางไฟฟ้า ตั้งแต่ 50 วัตต์ – 500 วัตต์ พบว่าเมื่อเพิ่มภาระทางไฟฟ้าจะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลงตามสัดส่วนของภาระทางไฟฟ้า ในขณะที่ภาระทางไฟฟ้าเท่ากับ 500 วัตต์ ที่ช่องว่างอากาศ 5, 6 และ 7 มิลลิเมตร แรงดันไฟฟ้าจะมีค่า 27.2, 26.4 และ 24.6 โวลต์ ตามลำดับ โดยที่พิกัดภาระทางไฟฟ้า 500 วัตต์ ระยะช่องว่างอากาศ 5 มิลลิเมตร ความเร็ว 300 รอบต่อนาที จะมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ 56.3% และสามารถประยุกต์ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้โดยการนำพลังงานที่ได้ไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

500 VA , 24 V Low Speed Generator

THANAPON TUDSUAN

SATANCHON SOMTANAKIT

SUPAWICH KAEWMAHA

ALONGKOT THITAYA

Dr. TEERAPHON PHOPHONGVIWAT Advisor

Year 2017

ABSTRACT

This project is about designing and constructing the generator rated 500 VA 24 V. The feature of axial flux generator is simple structures. The design is divided to 2 important parts which consist of rotor made up of magnets instead of coils that have 24 pieces and stator that uses 10 coils which connect in circle and have 36 degrees angle. In the testing at 300 rpm rotation speed, varying load from 50 W - 500 W It is found that if load increase, voltage will drop proportionally. When load is 500 W at 5, 6 and 7 mm air gap the voltage will be 27.2, 26.4 and 24.6 respectively. At 500 W rated load and 5 mm air gap and 300 rpm rotation speed the highest efficiency is 56.3%. It can charge to battery and use later.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามเป้าหมายเพราะได้รับคำแนะนำที่เป็นประโยชน์จากอาจารย์หลายท่านโดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบพระคุณ อาจารย์ธีรพล โพธิ์พงศ์วิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ได้แนะนำแนวทางในการจัดทำโครงงานนี้ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกคน ที่เป็นกำลังใจและคอยช่วยเหลือกันมาโดยตลอด โดยเฉพาะอย่างยิ่งนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ที่ได้ให้ข้อมูลในเชิงวิชาการต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดามารดาและสถาบันการศึกษาอันทรงเกียรติที่มอบโอกาสในการศึกษาหาความรู้แก่คณะผู้จัดทำ

คุณค่าและประโยชน์ต่าง ๆ ที่มีในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
รายการสัญลักษณ์และตัวย่อ	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของการทำโครงงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงงาน	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน	5
2.2 หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	6
2.3 โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	7
2.3.1 ส่วนที่เคลื่อนที่	8
2.3.2 ส่วนที่อยู่กับที่	9
2.4 การพันขดลวดและการต่อวงจรขดลวด	10
2.4.1 การพันขดลวดชั้นเดียว	11
2.4.2 การพันขดลวดสองชั้น	11
2.4.3 การต่อวงจรไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส	12
2.5 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	14
2.5.1 ตัวประกอบสมการของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	14
2.5.1.1 ตัวประกอบระยะขดลวด	14
2.5.1.2 ตัวประกอบกำลังกระจาย	15
2.6 สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	16
2.7 แม่เหล็กไฟฟ้า	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.8 ทฤษฎีสนามแม่เหล็ก 19

2.9 วงจรเรียงกระแส 20

2.10 อินเวอร์เตอร์ 21

บทที่ 3 การออกแบบ

3.1 การศึกษารายละเอียดเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 22

3.2 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 22

3.3 ส่วนที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์ 23

3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสเตเตอร์ 23

3.3.2 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ 24

3.3.2.1 การคำนวณหาขนาดพื้นที่หน้าตัดของทองแดง 24

3.3.2.2 การคำนวณหาจำนวนรอบการพันของขดลวด 25

3.3.2.3 การคำนวณหาความต้านทานของขดลวด 26

3.3.2.4 การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด 28

3.3.3 การวางตำแหน่งของขดลวด 29

3.3.4 การต่อวงจรของขดลวด 30

3.4 ส่วนเคลื่อนที่หรือโรเตอร์ 31

บทที่ 4 การทดสอบและการวิเคราะห์

4.1 การทดสอบเพื่อวัดพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 32

4.1.1 การทดสอบหาแรงดันขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า 32

4.1.2 การทดสอบหาพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะมีภาระทางไฟฟ้า 34

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 39

4.2.1 การทดสอบหากำลังขาเข้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 39

บทที่ 5 สรุป

5.1 สรุป 41

5.2 ข้อเสนอแนะ 42

บรรณานุกรม 43

ภาคผนวก 44

ประวัติผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็ก	5
2.2	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากการเคลื่อนที่	6
2.3	กฎมือขวาของเฟรมมิ่งหรือกฎไดนาโม	7
2.4	โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเส้นแม่เหล็กตามแนวแกน	7
2.5	ส่วนที่เคลื่อนที่หรือโรเตอร์	8
2.6	สเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน	9
2.7	การแบ่งชนิดการพันขดลวดตัวนำ	10
2.8	การพันขดลวดแบบชั้นเดียว	11
2.9	การพันขดลวดแบบสองชั้น	11
2.10	การต่อวงจรขดลวดแบบสตาร์	12
2.11	การต่อวงจรขดลวดแบบเดลต้า	12
2.12	การพันขดลวดแบบพิชเต็มและพิชเศษส่วน	13
2.13	เวคเตอร์ของขดลวดแบบพิชเต็มและพิชเศษส่วน	14
2.14	การเสริมกันของเส้นแรงแม่เหล็ก	16
2.15	ผลของการโรยผงเหล็กที่รอบ ๆ แท่งแม่เหล็ก	19
2.16	วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น และสัญญาณแรงดันขาออก	20
2.17	วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น และแรงดันขาออก	20
3.1	โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	23
3.2	อุปกรณ์ในการใช้พันขดลวด	24
3.3	อุปกรณ์ที่ใช้ทำสเตเตอร์	24
3.4	การพันขดลวด	26
3.5	การวัดค่า R และ Lของขดลวดที่พันเสร็จแล้ว	29
3.6	การวางขดลวดในแบบหล่อเรซิ่น	29
3.7	ไดอะแกรมการต่อวงจร	30
3.8	การต่อวงจรของขดลวด	30
3.9	ตำแหน่งการวางแม่เหล็ก	31
3.10	การวางแม่เหล็ก	31
4.1	การต่อวงจรเพื่อวัดหาพิกัดแรงดันขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า	33
4.2	การต่อวงจรเพื่อวัดหาพิกัดแรงดันขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกำลังไฟฟ้าที่ระยะช่องว่าอากาศ 5 มิลลิเมตร	36
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกำลังไฟฟ้าที่ระยะช่องว่าอากาศ 6 มิลลิเมตร	36
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกำลังไฟฟ้าที่ระยะช่องว่าอากาศ 7 มิลลิเมตร	37
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกำลังไฟฟ้าที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที	37
4.7	ปรากฏการณ์สนามแม่เหล็กเบี่ยงเบน	38
4.8	ประสิทธิภาพที่ช่องว่างอากาศ 5 , 6 และ 7 มิลลิเมตร	40
ข.1	Digital Oscilloscope RIGOL รุ่น DS1052D	48
ข.2	Digital Multimeter SUNWA รุ่น CD772	48
ข.3	Variable frequency drive LG รุ่น SV0081G-2U	49
ข.4	มอเตอร์ขนาด 0.75 kW Mitsubishi รุ่น SCL-KR 4P	49
ค.1	สัญญาณแรงดันไฟฟ้า DC ที่ระยะช่องว่างอากาศ 5 มิลลิเมตร ขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า	53
ค.2	สัญญาณแรงดันไฟฟ้า DC ที่ระยะช่องว่างอากาศ 5 มิลลิเมตร ที่พิกัด 500 VA	53
ค.3	สัญญาณแรงดันไฟฟ้า AC ที่ระยะช่องว่างอากาศ 5 มิลลิเมตร ที่พิกัด 500 VA	53
ค.4	สัญญาณแรงดันไฟฟ้า DC ที่ระยะช่องว่างอากาศ 6 มิลลิเมตร ขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า	54
ค.5	สัญญาณแรงดันไฟฟ้า DC ที่ระยะช่องว่างอากาศ 6 มิลลิเมตร ที่พิกัด 500 VA	54
ค.6	สัญญาณแรงดันไฟฟ้า AC ที่ระยะช่องว่างอากาศ 6 มิลลิเมตร ที่พิกัด 500 VA	54
ค.7	สัญญาณแรงดันไฟฟ้า DC ที่ระยะช่องว่างอากาศ 7 มิลลิเมตร ขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า	55
ค.8	สัญญาณแรงดันไฟฟ้า DC ที่ระยะช่องว่างอากาศ 7 มิลลิเมตร ที่พิกัด 500 VA	55
ค.9	สัญญาณแรงดันไฟฟ้า AC ที่ระยะช่องว่างอากาศ 7 มิลลิเมตร ที่พิกัด 500 VA	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนดำเนินงานของโครงงานวิศวกรรม 1	3
1.2	แผนดำเนินงานของโครงงานวิศวกรรม 2	4
3.1	มวลของขดลวด	26
3.2	ค่าความเหนี่ยวนำ (L) ของขดลวด	29
4.1	พิกัดแรงดัน AC ขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้าที่ระยะช่องว่างอากาศ 5 มิลลิเมตร	33
4.2	พิกัดแรงดัน AC ขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้าที่ระยะช่องว่างอากาศ 6 มิลลิเมตร	33
4.3	พิกัดแรงดัน AC ขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้าที่ระยะช่องว่างอากาศ 7 มิลลิเมตร	34
ค.1	ค่าแรงดันและกระแสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ช่องว่างอากาศ 5 มิลลิเมตร	51
ค.2	ค่าแรงดันและกระแสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ช่องว่างอากาศ 6 มิลลิเมตร	51
ค.3	ค่าแรงดันและกระแสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ช่องว่างอากาศ 7 มิลลิเมตร	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์และตัวย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
a	ความเร่ง ในการทดสอบนี้คือแรงโน้มถ่วงมีค่า 9.81	เมตรต่อวินาทีกำลังสอง
d	ความยาวของแกนที่พันขดลวด	เมตร
e	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	โวลต์
f	ความถี่	เฮิร์ต
l	ความยาวของขดลวดตัวนำ	เมตร
m	จำนวนขดลวดต่อเฟส	-
n	จำนวนขดลวด	-
r	รัศมีของลูกรอก	เมตร
u	เส้นแรงแม่เหล็กในทิศทางตั้งฉาก	-
w_2	มวลที่ใช้ถ่วงขณะมอเตอร์ทำงาน	กิโลกรัม
A	พื้นที่ที่ตกตั้งฉาก	ตารางเมตร
B	ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก	เวเบอร์ต่อตารางเมตร , เทสลา
I	กระแสไฟฟ้าขาออกของขดลวดทองแดง	แอมแปร์
J	ค่าความหนาแน่นของกระแส	แอมแปร์ต่อตาราง มิลลิเมตร
K_d	ตัวประกอบการกระจาย	-
K_p	ตัวประกอบของระยะขดลวด	-
K_w	ค่าคงที่ในการพันขดลวดในแบบต่าง ๆ หรือ Pitch Factor	-
L	ค่าความเหนี่ยวนำ	เฮนรี่
N	ความเร็วรอบของโรเตอร์	รอบต่อนาที
N_{ph}	จำนวนรอบของขดลวดต่อหนึ่งเฟส	รอบ
P	จำนวนคู่ขั้วแม่เหล็ก	โพล
R	ความต้านทานของขดลวด	โอห์ม
T	จำนวนรอบของการพันขดลวด	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_{FL}	แรงดันขาออกขณะที่มีโหลด	โวลต์
V_{NL}	แรงดันขาออกขณะที่ไม่มีโหลด	โวลต์
Z	จำนวนตัวนำหรือจำนวนเส้นลวดทองแดงที่คอยล์ไซด์ทั้งสอง	-
α	ช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างการพันขดลวด	-
ϕ	จำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก	เวเบอร์
μ	ค่าความซึมซาบของวัสดุ	-
ω	ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์	เรเดียนต่อวินาที
τ	แรงบิด	นิวตันเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบัน โลกของเราได้มีเทคโนโลยีที่ทันสมัยและพัฒนาจากเดิมเป็นอย่างมาก จึงจำเป็นต้องปรับการใช้ชีวิตประจำวันตามไปด้วย โดยเฉพาะเรื่องของไฟฟ้าที่จำเป็นต่อทุกชีวิตและเป็นที่ต้องการอย่างมากจนเป็นความต้องการอย่างไม่มีที่สิ้นสุด เหตุนี้เองไฟฟ้าจึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง เพราะว่าถ้าทุกคนใช้ไฟฟ้าแบบไม่เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

หลักการในการผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่จะต้องอาศัยเชื้อเพลิงหรือแรงในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุน และได้ไฟฟ้าออกมาใช้ตามต้องการ ในประเทศไทยโดยส่วนใหญ่แล้วจะมีสถานที่ไว้สำหรับผลิตไฟฟ้าให้ประชาชนใช้โดยเฉพาะ ไม่ว่าจะเป็นภาครัฐหรือเอกชนก็ตาม เช่น เขื่อนกักเก็บน้ำ โรงไฟฟ้าต่าง ๆ เป็นต้น แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นได้มีการคาดคะเนว่าในอนาคตไฟฟ้าจะหมดลง จึงอาจทำให้มีการเพิ่มสถานที่ผลิตไฟฟ้าหรือผลิตไฟฟ้าในรูปแบบอื่น ๆ ที่พัฒนาไปจากเดิมก็เป็นได้

กลุ่มนักศึกษาจึงมีความสนใจที่จะช่วยในการแก้ไขปัญหาว่าในอนาคตไฟฟ้าจะหมดลง และเลือกที่จะศึกษาเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อให้เข้าใจถึงทฤษฎีและระบบทางไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการผลิตไฟฟ้า รวมถึงการประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน และการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในประสิทธิภาพที่สูงสุด ซึ่งสิ่งที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นแค่วิธีเพิ่มการผลิตไฟฟ้าให้มากขึ้นเท่านั้น แต่สำหรับปัจจัยหลักที่สำคัญ คือ ผู้ใช้จะต้องประหยัดและใช้ไฟฟ้าให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงงาน

- สร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกนที่พิกัด 500 VA , 24 V
- เพื่อศึกษาส่วนประกอบและหน้าที่ต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในเชิงลึก
- เพื่อศึกษาหลักการออกแบบชิ้นส่วนและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการทำโครงงาน

- ออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกนหนึ่งเฟส พิกัด 500 VA แรงดัน 24 V (line-to-line) และจำนวนขั้วแม่เหล็ก 24 คู่ขั้วแม่เหล็ก
- ศึกษาส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละชิ้น
- ศึกษาทฤษฎีระบบไฟฟ้าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงงาน

- ทำให้ทราบถึงหลักการออกแบบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน
- ทำให้ทราบถึงหลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน
- เป็นแนวทางเพื่อนำไปใช้ประโยชน์จากพลังงานไฟฟ้า
- บูรณาการความรู้ในสาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้าเพื่อประยุกต์ใช้ในโครงงาน

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงงานนี้แบ่งการดำเนินงานและการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกจะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับหลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกนเพื่อให้ได้พิกัดตามต้องการ ในขั้นตอนที่สอง ออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กที่ไม่มีแปรงถ่าน พร้อมทั้งทดสอบเปรียบเทียบผลการทดสอบคุณลักษณะที่ภาระต่าง ๆ ในส่วนของขั้นตอนที่สามนั้นจะเป็นการค้นคว้าข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งหาแนวทางการแก้ไขปัญหาของระบบได้จากทางอินเตอร์เน็ตหรือขอคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานทุก ๆ สัปดาห์ ดังตารางที่ 1.1 และ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรม 1

แผนดำเนินงาน	สิงหาคม				กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. เลือกหัวข้อและส่งหัวข้อโครงงาน																
2. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน																
3. ทำการออกแบบชิ้นงานโดยโปรแกรม AutoCAD 3D และโปรแกรม Sketch up																
4. จัดซื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงงาน																
5. ทำส่วนสเตเตอร์ตามที่ได้ออกแบบไว้																
6. จัดทำรายงานความคืบหน้าของโครงงาน																

แสดงระยะเวลาที่วางแผนจะปฏิบัติ

แสดงระยะเวลาจริงที่ทำการปฏิบัติ

ตารางที่ 1.2 แผนการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรม 2

แผนดำเนินงาน	มกราคม				กุมพาพันธ์				มีนาคม				เมษายน				พฤษภาคม			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1. ทำส่วนโรเตอร์ตามที่ได้ออกแบบไว้																				
2. ทำตัวโครงและเพลาสำหรับยึดส่วนของสเตอเตอร์และโรเตอร์เข้าด้วยกัน																				
3. ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า																				
4. ปรับปรุงและแก้ไขเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพตามที่ต้องการ																				
5. ตรวจสอบชิ้นงานก่อนนำเสนอ																				
6. จัดทำรูปเล่มพร้อมส่ง																				

แสดงระยะเวลาที่วางแผนจะปฏิบัติ

แสดงระยะเวลาจริงที่ทำการปฏิบัติ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เพื่อให้ชัดเจนและสอดคล้องกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะสร้างขึ้นนี้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการรวบรวมเนื้อหาและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องไว้อ้างอิงเพื่อทำความเข้าใจในการดำเนินงานการสร้างผลงาน โดยทฤษฎีที่กล่าวในบทนี้ จะกล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และการคำนวณการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแม่เหล็กตามแนวแกน

2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน [1]

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน (Axial Flux Permanent Magnet ; AFPM) จะมีโครงสร้างที่มีความกะทัดรัดไม่ได้ซับซ้อนมากเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวรัศมี (Radial Flux Permanent Magnet ; RFPM) และการเคลื่อนที่หรือการกระจายตัวของเส้นแรงแม่เหล็กนั้นจะวิ่งจากแม่เหล็กไปที่ขั้วของมันซึ่งเป็นไปตามแนวแกน ที่มาจากลักษณะการวางของโรเตอร์

(ก) (ข)

รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็ก
(ก) การเคลื่อนที่เส้นแรงแม่เหล็กตามแนวรัศมี (ข) การเคลื่อนที่เส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน

จากรูปที่ 2.1 เป็นการแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของการเคลื่อนที่เส้นแรงแม่เหล็กซึ่งดังรูป (ก) จะเป็นการเคลื่อนที่ลักษณะคล้ายวงกลม ส่วนรูป (ข) นั้นเส้นแรงแม่เหล็กจะวิ่งไปตามแนวแกน โดยส่วนใหญ่จะมีการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกนไปใช้กับงานดึง งานยก หรืออาจจะเห็นได้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันลม เนื่องจากโรเตอร์ที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นมานั้นมีขนาดค่อนข้างใหญ่อีกทั้งจำนวนคู่ขั้วแม่เหล็กเยอะ ส่งผลให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นทำให้เกิดโมเมนต์ความเฉื่อยและความเร็วรอบในการหมุนต่ำ

2.2 หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [2]

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ในการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการทำงานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีอยู่ว่า เมื่อสนามแม่เหล็กที่ตัวโรเตอร์เคลื่อนที่ตัดกับขดลวดที่ตัวสเตเตอร์ทำให้ได้ไฟฟ้าออกมา โดยทั่วไปเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไฟฟ้ากระแสสลับ แต่ในที่นี่จะกล่าวถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับนั้นไม่ได้มีเพียงตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่านั้นจะต้องมีเครื่องต้นกำลังเพื่อผลิตพลังงานกลออกมาหมุนเพลาของตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยพลังงานกลนี้อาจจะใช้ได้หลายทางไม่ว่าจะเป็น เขื่อน น้ำตก หรือกำลังแรงจากมนุษย์ และทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น ซึ่งก็เป็นไปตามกฎของเฟลมมิ่ง (Flaming's law) ดังรูปที่ 2.3 ทว่าหากมีการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กก็จะทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเปลี่ยนแปลงไปด้วยตามกฎของฟาราเดย์ (Faraday's law) ดังสมการที่ 2.1

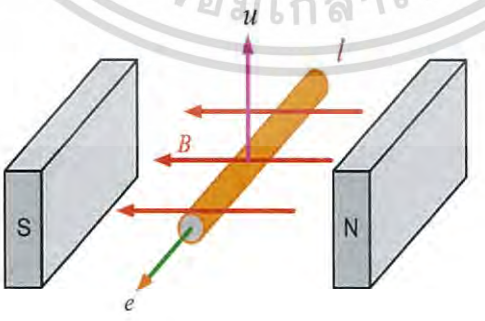
$$e = (B \times u) \times l \tag{2.1}$$

เมื่อ e คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)

B คือ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (เทสลา)

u คือ เส้นแรงแม่เหล็กในทิศทางที่ตั้งฉาก

l คือ ความยาวของขดลวด (เมตร)



รูปที่ 2.2 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากการเคลื่อนที่

จากรูปที่ 2.2 เมื่อให้ขดลวดตัวนำนั้นเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก (B) ในทิศตั้งฉาก (u) ทำให้มีแรงแม่เหล็กไฟฟ้ามากระทำกับประจุในขดลวดตัวนำ จากนั้นประจุจึงเกิดการเคลื่อนที่

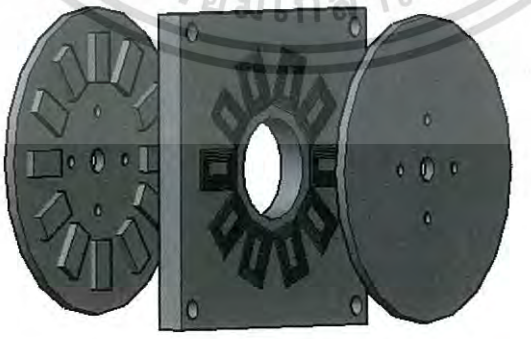
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมีความต่างศักย์เกิดขึ้นที่ปลายของขดลวดตัวนำ หากทำการต่อให้ครบวงจรจะมีกระแสเกิดขึ้น เรียกว่า กระแสเหนี่ยวนำ (I) และนั้นหมายความว่าขดลวดตัวนำนี้ทำหน้าที่เป็นเหมือนแหล่งกำเนิดไฟฟ้าหรือแหล่งกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ที่เรียกกันว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (e) ซึ่งทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้นสามารถหาได้โดยกฎมือขวาเฟรมมิ่ง ดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 กฎมือขวาของเฟรมมิ่งหรือกฎไดนาโม

2.3 โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ [4]

ในโครงงานวิศวกรรมนี้ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจะขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังในการผลิตเท่าไหร่ดังนั้นส่วนประกอบต่าง ๆ จึงแปรผันตามพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็น เบอร์ของขดลวด ลักษณะโครงสร้างที่ต้องการ ขนาดแม่เหล็กถาวร เป็นต้น อย่างไรก็ตามชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้ถูกออกแบบมาเพื่อให้มีขนาดที่เหมาะสมกับการใช้งานตามสภาพแวดล้อมเพื่อนำพลังงานจลน์มาเป็นต้นกำลังทางกลเพื่อนำไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อไป



รูปที่ 2.4 โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน มีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนได้แก่ ส่วนที่เคลื่อนที่หรือโรเตอร์กับส่วนที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์

2.3.1 ส่วนที่เคลื่อนที่ (Making the Rotor)

ส่วนที่เคลื่อนที่หรือโรเตอร์ (Rotor) ในโครงงานวิศวกรรมนี้ได้ใช้เป็นแม่เหล็กถาวร ซึ่งจะต่างจากปกติที่จะใช้ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก ซึ่งก็มีหน้าที่เป็นตัวนำเส้นแรงแม่เหล็กถาวรมาหมุนตัดกับขดลวดอาเมเจอร์ที่สเตเตอร์ เกิดเป็นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นมา เพื่อให้เมาะสมกับการใช้งานในสถานที่ที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ ในที่นี้จะมีโรเตอร์ประกอบด้วยแผ่นเหล็ก 2 แผ่น ที่วางด้วยแม่เหล็กถาวรที่สลับขั้วเหนือขั้วใต้กันไป และแผ่นโรเตอร์นั้นต้องยึดติดกับแกนเพลา (shaft) เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับแรงทางกลที่ช่วยฉุดให้มันหมุนไปได้ อีกทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกนจะไม่มีแปรงถ่าน

(ก) (ข)

รูปที่ 2.5 ส่วนเคลื่อนที่หรือโรเตอร์

(ก) แผ่นโรเตอร์ (ข) ทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็ก

จากรูปที่ 2.5 เป็นการแสดงลักษณะการวางขั้วแม่เหล็กถาวรในโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน ซึ่งทั้งสองแผ่นนั้นจะต้องวางสลับขั้วกัน เนื่องจาก เส้นแรงแม่เหล็กจะวิ่งจากขั้วเหนือไปขั้วใต้เสมอ ทำให้มีลักษณะการกระจายของเส้นแรงแม่เหล็กเป็นวงรอบปิดและมีลักษณะที่เสริมกัน จากนั้นจะเกิดค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) ที่เกิดขึ้นเป็น 2 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ส่วนที่อยู่กับที่ (Making the Stator)

ส่วนที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์ (Stator) คือ ส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งซึ่งจะอยู่ระหว่างตัวโรเตอร์โดยลักษณะของสเตเตอร์นั้นจะประกอบด้วยขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature-Winding) ที่ต่ออนุกรมกันภายในสเตเตอร์และเป็นตัวผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำออกมาใช้งาน โดยกระแสไฟฟ้าที่ได้นั้นเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งเมื่อทำการต่อขดลวดเข้าด้วยกันแล้วจะมีสายไฟฟ้าออกมา 2 เส้นหรือ 3 เส้นแล้วแต่การออกแบบ โดยปลายของสายไฟฟ้านั้นจะนำไปต่อกับตัวแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อให้ได้ไฟฟ้ากระแสตรงออกมาเพื่อให้เหมาะกับการนำไปใช้งานต่อไป

รูปที่ 2.6 สเตเตอร์ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน

จากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ ความถี่ และขั้วแม่เหล็ก สามารถคำนวณหาความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ดังสมการที่ 2.2

$$N = \frac{120f}{P} \tag{2.2}$$

เมื่อ N คือ ความเร็วรอบของโรเตอร์ (รอบต่อนาที)

f คือ ความถี่ (เฮิร์ท)

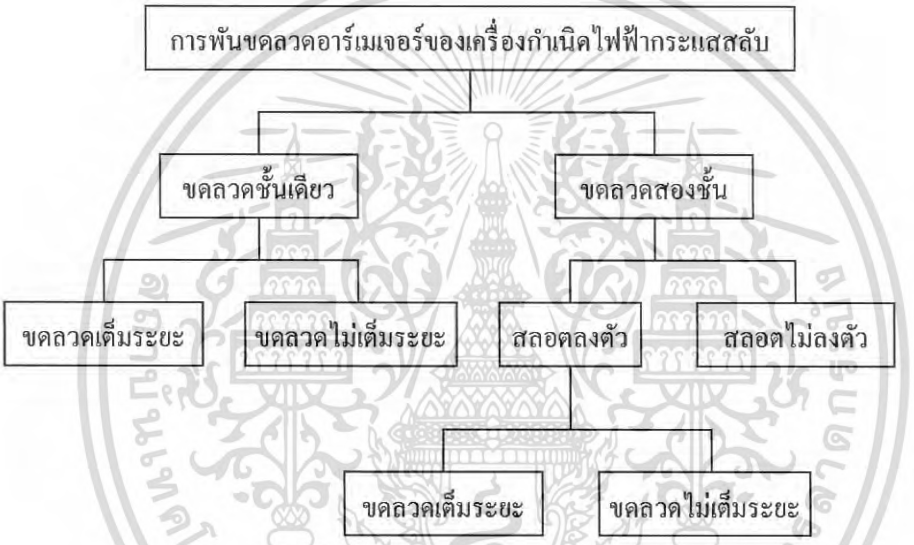
P คือ จำนวนคู่ขั้วแม่เหล็ก (โพล)

จากสมการที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าจำนวนคู่ขั้วแม่เหล็กจะแปรผันตามความถี่ไฟฟ้า ถ้าจำนวนคู่ขั้วแม่เหล็กมีค่ามากแล้วความถี่ไฟฟ้าก็จะมีค่ามากขึ้นตามด้วย ซึ่งความเร็วรอบก็เช่นกัน ยิ่งหมุนรอบมาก ความถี่ไฟฟ้าก็จะยิ่งสูงขึ้นตามไปด้วย กล่าวได้ว่าเมื่อขั้วแม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่านขดลวดตัวนำ 1 คู่ขั้วจะได้เป็นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดใน 1 ไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การพันขดลวดและการต่อวงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน [1,3]

ในการพันขดลวดอาเมเจอร์สิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงคือแรงดันเอาต์พุต (Output - voltage) ต้องมีความใกล้เคียงกับรูปคลื่นไซน์ (Sine wave) ให้มากที่สุด โดยวิธีการพันขดลวดอาร์มาเจอร์นั้นก็แบ่งได้เป็น 2 แบบ ซึ่งแบบแรกจะเป็นการพันแบบรวม (Concentrated Winding) คือการพันให้ด้านของคอยล์ตรงกับขั้วแม่เหล็กพอดี ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นพร้อมกัน เป็นผลรวมทางเรขาคณิต ส่วนแบบที่สองคือการพันแบบกระจาย (Distribution Winding) เป็นการพันให้ด้านของคอยล์ไม่ตรงหรืออยู่ระหว่างคู่ขั้วแม่เหล็ก ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำไม่พร้อมกัน เป็นผลรวมทางเวกเตอร์ของแรงดัน



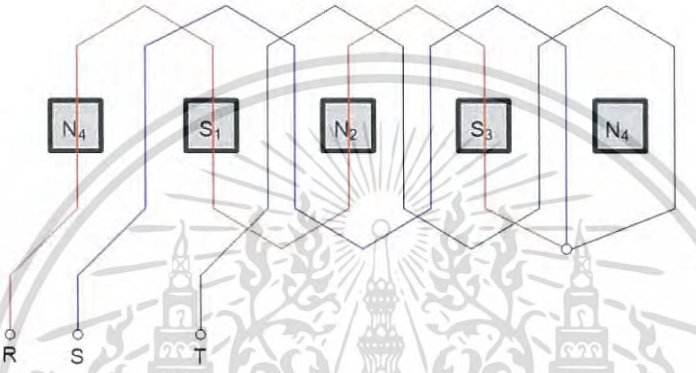
รูปที่ 2.7 การแบ่งชนิดการพันขดลวดตัวนำ

จากรูปที่ 2.7 เป็นการแบ่งชิดการพันขดลวดอาร์มาเจอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งก็แบ่งได้เป็น 2 แบบคือการพันขดลวดชั้นเดียว กับ การพันขดลวดสองชั้น โดยทั้งสองแบบก็จะแบ่งไปอีกตามวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 การพันขดลวดชั้นเดียว (Single Layer Wingding)

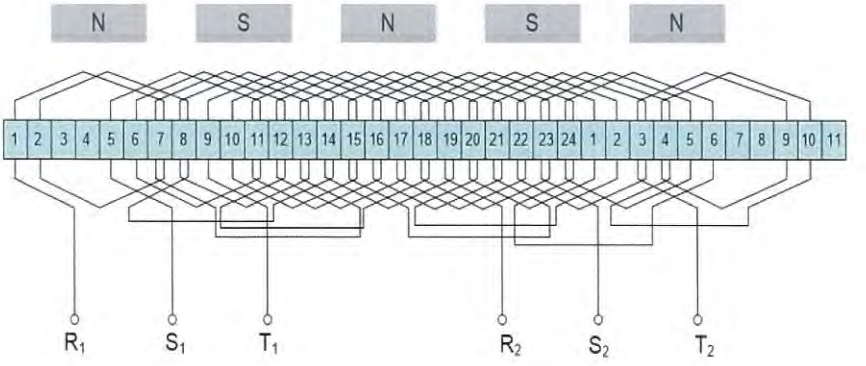
การพันขดลวดอาร์มาเจอร์แบบชั้นเดียวนั้นใน 1 ร่องสลอต (Slot) จะมีด้านข้างของขดลวด (Coil Side) เพียงแค่ด้านเดียว เรียนกว่า Half Coil Winding ทำให้ร่องสลอต มีจำนวนเป็น 2 เท่า ของขดลวดที่ใช้ในการพัน ซึ่งก็แบ่งการพันได้อีกเป็น การพันแบบเต็มระยะกับแบบไม่เต็มระยะ ขึ้นกับการออกแบบ โดยการต่อขดลวดแต่ละชุดเข้าด้วยกันนั้นจะต่อแบบปลายต่อต้น ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การพันขดลวดชั้นเดียว

2.4.2 การพันขดลวดสองชั้น (Double Layer Winding)

ในการพันขดลวดอาร์มาเจอร์แบบสองชั้นนี้ใน 1 สลอต มีการลง 2 ด้านของขดลวดทับกัน จำนวนชุดขดลวดต่อเฟสเท่ากับจำนวนขั้วแม่เหล็ก ซึ่งการต่อขดลวดเข้าด้วยกันแบบปลายต่อปลาย ดังรูปที่ 2.9



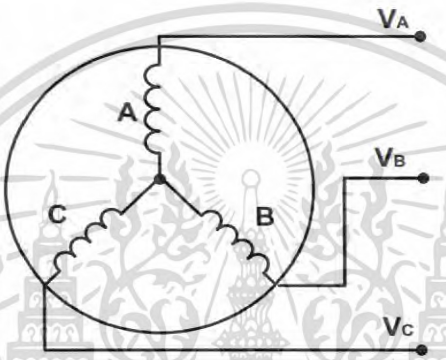
รูปที่ 2.9 การพันขดลวดสองชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การต่อวงจรไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส

การต่อวงจรแบบสตาร์ (Star Connection)

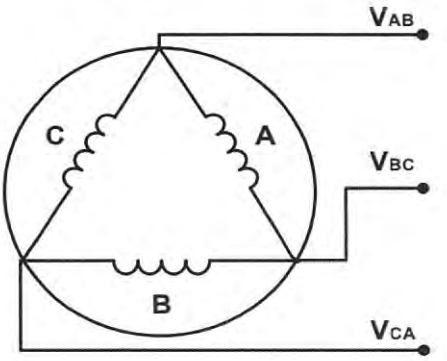
ขดลวดอาร์เมเจอร์ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 เฟส นั้นจะถูกวางอยู่ในสลอตที่มีระยะห่างกัน 120 องศาไฟฟ้าและมีปลายสายออกมา 6 ปลาย และหากทำการออกแบบเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ 3 เฟส จะมี 3ชุดสามารถต่อวงจรขดลวดอาร์เมเจอร์ทั้งสามชุดเข้าด้วยกันแบบสตาร์ได้ โดยการต่อแบบสตาร์นั้นจะเอาปลายสายของแต่ละเฟสต่อเข้าด้วยกัน และจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าออกที่ต้นสายของแต่ล่ะเฟส ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 วงจรขดลวดแบบสตาร์

การต่อวงจรไฟฟ้าแบบเดลต้า (Delta connection)

ซึ่งในวงจรไฟฟ้า 3 เฟส สามารถทำได้โดยให้ต้นสายของเฟสที่ 1 (A) ต่อเข้ากับปลายสายของเฟสที่ 3 (C) แล้วต่อออกไปยังโหลดที่จุด V_{AB} ต้นสายของเฟสที่ 2 (B) ต่อเข้ากับปลายสายของเฟสที่ 1 (A) แล้วต่อออกไปยังโหลดที่จุด V_{BC} ต่อมาต้นสายของเฟสที่ 3 ต่อเข้ากับปลายสายของเฟสที่ 2 แล้วต่อออกไปยังโหลดที่จุด V_{CA} ดังรูปที่ 2.11



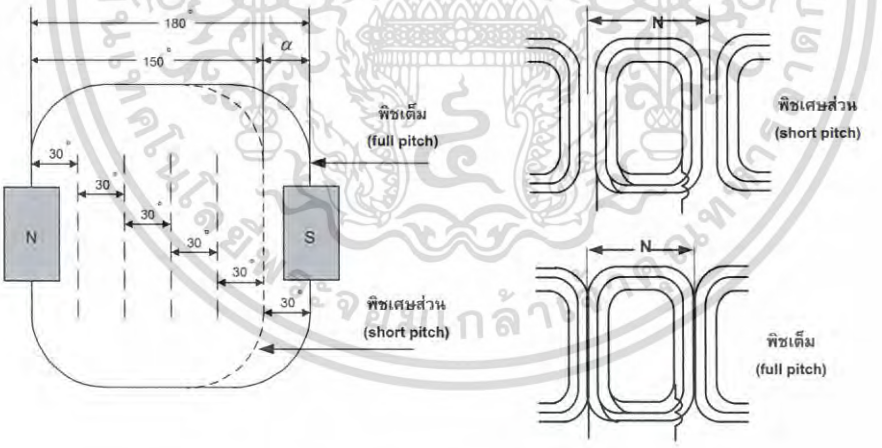
รูปที่ 2.11 วงจรขดลวดแบบเดลต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกนนั้นจะไม่มีร่องสลอตจึงต้องพันขดลวดแบบชั้นเดียวซึ่งการต่อขดลวดในแต่ละคอยล์เข้าด้วยกันนั้นจะเป็นการต่อแบบอนุกรม (Series) คือการต่อแบบปลายต่อต้น ซึ่งการต่อแบบนี้จะเป็นการเพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้าด้วย โดยการพันขดลวดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

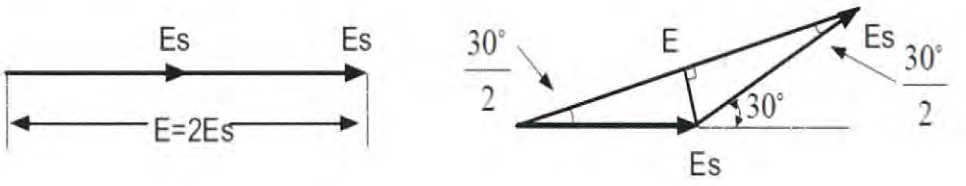
1. แบบพิชเต็ม (Full-Pitch) คือ ระยะห่างกึ่งกลางระหว่างขั้วแม่เหล็ก N ไปยังขั้วแม่เหล็ก S ที่อยู่ประชิดกันจะมีค่าเท่ากับ 180 องศาไฟฟ้า เรียกว่า 1 โปลพิช (Pole-Pitch)

2. แบบพิชเศษส่วน (Short-Pitch) คือ ระยะห่างระหว่างต้นและปลายของคอยล์เดียวกันที่พันลงไปในสลอตของอาร์มาเจอร์จะมีค่าน้อยกว่า 1 โปลพิชหรือน้อยกว่า 180 องศาไฟฟ้า แต่ไม่เกิน 150 องศาไฟฟ้า ซึ่งการพันขดลวดแบบพิชเศษส่วนนั้นจะต้องออกแบบ Form ในการพันขดลวดให้มีขนาดเล็กลงกว่าปกติทำให้ใช้ความยาวของขดลวดสั้นลงกว่าเดิมและเกิดช่องว่างขึ้น เมื่อ α คือ ช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างการพันขดลวดทั้ง 2 แบบ และข้อดีของการพันขดลวดอาร์มาเจอร์แบบพิชเศษส่วนเป็นการทำให้ประหยัดลวดทองแดงได้และผลที่ตามมาคืออินดักแตนซ์ของขดลวดแต่ละเฟสลดลง เนื่องจากมิวจวลอินดักแตนซ์ระหว่างคอยล์น้อยอีกทั้งยังทำให้เวฟฟอร์มของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำดูดีขึ้นเป็นการลดฮาร์โมนิคส์



รูปที่ 2.12 การพันขดลวดแบบพิชเต็มและพิชเศษส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แบบพีชเต็ม (ข) แบบเศษส่วน

รูปที่ 2.13 เวคเตอร์ของขดลวดแบบพิชเต็ม (Full-Pitch) และแบบพิชเศษส่วน (Short-Pitch)

2.5 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ [5]

ในการพิจารณาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อเฟสที่สามารถนำไปใช้ได้จริง (Effective value) จะขึ้นอยู่กับตัวประกอบของระยะขดลวด (K_p) ตัวประกอบการกระจาย (K_d) จำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก (Ø) ความถี่ของแรเคลื่อนไฟฟ้า (f) และจำนวนรอบของการพันขดลวด (T)

2.5.1 ตัวประกอบสมการของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

2.5.1.1 ตัวประกอบระยะขดลวด (Pitch Factor)

เนื่องจากสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการพันขดลวดคือรูปคลื่นไซน์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและในการพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบพิชเศษส่วนนั้นจะทำให้ได้รูปคลื่นของแรงเคลื่อนไฟฟ้าใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์มากที่สุด และทำให้เกิดตัวประกอบของระยะขดลวดขึ้น ใช้ตัวย่อว่า Kp ดังสมการที่ 2.4

$$K_p = \frac{2\,\mathrm{E}\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{2\,\mathrm{E}} \tag{2.3}$$

$$K_p = \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \tag{2.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.2 ตัวประกอบการกระจาย (Distribution Factor or Winding Factor)

ในการพันขดลวดอาร์เมเจอร์ในเฟสเดียวกันนั้น ขดลวดก็จะมีการวางอยู่ในหลายสลอตด้วยเช่นกันเป็นแบบโพลาร์กรุ๊ป (Polar Group) ในหนึ่งขั้วจำนวนขดลวดต่อเฟสจะกระจายกันอยู่และมีมุมห่างเท่ากัน และปลายของแต่ละคอยล์จะต่ออนุกรมกันทำให้การตัดผ่านของขั้วแม่เหล็กไม่พร้อมกัน เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ไม่พร้อมกัน ผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ก็จะลดลงด้วย ตัวประกอบนี้เรียกว่า ตัวประกอบการกระจาย (Distribution Factor) ใช้ตัวย่อว่า K_d ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ 2.5

$$K_d = \frac{\sin\left(m\frac{\beta}{2}\right)}{\mathrm{m}\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)} \qquad (2.5)$$

เมื่อ n คือ จำนวนช่องว่างระหว่างขั้วแม่เหล็ก

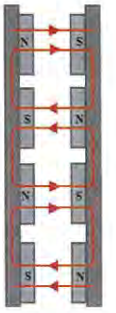
m คือ จำนวนช่องว่างระหว่างขั้วแม่เหล็กต่อเฟส

β คือ อัตราส่วนมุม 180 องศากับจำนวนช่องว่างขั้วแม่เหล็ก

หมายเหตุ ถ้าวางขดลวดแบบพิชเต็ม (Full-Pitch) ค่า $K_p = 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Equation of induced e.m.f)



รูปที่ 2.14 การเสริมกันของเส้นแรงแม่เหล็ก

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อเฟสเมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นรูปคลื่นไซน์ จึงต้องคูณ From Factor จะได้สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อเฟส ดังสมการที่ 2.6

$$E = 4.44\, f\, N_{ph}\, \phi\, K_W \tag{2.6}$$

เมื่อ K_W คือ ค่าคงที่ในการพันขดลวดในแบบต่าง ๆ หรือเรียกว่า Pitch Factor และค่าการพันขดลวดของแต่ละกลุ่มให้กระจายไปหลายๆ ร่องหรือเรียกว่า Distributed Winding

$$K_W = K_P K_D \tag{2.7}$$

เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลมไม่มีร่องสลอตจึงไม่นำค่า Distributed Winding มาคิดและเมื่อมีการพันขดลวดแบบพิชเศษส่วน

เมื่อ Z คือ จำนวนตัวนำหรือจำนวนเส้นลวดทองแดงที่คอยล์ไซด์ทั้งสอง

N_{ph} คือ จำนวนรอบของขดลวดต่อหนึ่งเฟส (รอบ)

ϕ คือ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดต่อขั้ว (เวเบอร์)

K_w คือ ค่าคงที่การพันขดลวดมีค่า ≤ 1

K_P คือ พิชแฟคเตอร์ เมื่อวางขดลวดแบบพิชเศษส่วน

K_D คือ ค่าการพันขดลวดของแต่ละกลุ่มให้กระจายไปหลาย ๆ ร่อง หรือเรียกว่า Distributed Winding

E คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (โวลต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 แม่เหล็กไฟฟ้า [5]

แม่เหล็ก (Magnet) คือ แร่หรือโลหะที่มีคุณสมบัติในการดูดเหล็กและสามารถทำให้เกิดสนามแม่เหล็กได้ด้วยโดยการส่งแรงดูดหรือแรงผลัก ออกไปรอบ ๆ ตัวมันได้ ซึ่งสามารถสร้างแม่เหล็กขึ้นมาได้จากการนำเหล็กมาถูแม่เหล็ก หรือจะเป็นการป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดที่พันรอบเหล็ก แรงเหนี่ยวนำที่เกิดในขดลวดจะทำให้เหล็กนั้นกลายเป็นแม่เหล็กชั่วคราวและทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบ ๆ เหล็กนั้น เรียกเหล็กแบบนี้ว่า “แม่เหล็กไฟฟ้า” ซึ่งสารที่ทำให้เป็นแม่เหล็กได้ก็ได้แก่ โคบอล นิกเกิล เป็นต้น

คุณสมบัติของแม่เหล็ก

1. แม่เหล็กมีเพียง 2 ขั้วเท่านั้น คือ ขั้วเหนือและขั้วใต้ถ้าทำให้แม่เหล็กอยู่อย่างอิสระ เมื่อหยุดนิ่ง ขั้วที่ชี้ไปทางทิศเหนือจะเรียกว่า ขั้วเหนือ (N) ส่วนขั้วที่ชี้ไปทางทิศใต้ เรียกว่า ขั้วใต้ (S)
2. หากนำแม่เหล็ก 2 อันมาใกล้กันจะเกิดแรงกระทำของขั้วแม่เหล็กอยู่ 2 แบบ คือ แรงที่ผลักกัน เกิดเมื่อขั้วแม่เหล็กเหมือนกันมาเจอกัน และแรงที่ดูดกัน เกิดเมื่อขั้วแม่เหล็กต่างชนิดกันมาเจอกัน
3. เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางทางออกจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้เสมอ

แม่เหล็กประดิษฐ์

แม่เหล็กประดิษฐ์ (Artificial Magnet) เป็นแม่เหล็กที่ทำขึ้นด้วยวิธีการต่าง ๆ ซึ่งก็มีอยู่ 2 ชนิด ดังนี้

1. แม่เหล็กชั่วคราว เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดที่พันรอบแท่งเหล็กอ่อน (Iron) คือไม่สามารถรักษาอำนาจความเป็นแม่เหล็กไว้ได้นาน การนำแม่เหล็กไฟฟ้าไปประยุกต์ใช้ที่พบเห็นได้ทั่วไป เช่น ไมโครโฟน ลำโพง หลอดไฟฟ้า มอเตอร์ ไดนาโม เป็นต้น ซึ่งแม่เหล็กที่หลงเหลืออยู่ในสารแม่เหล็กชั่วคราวเรียกว่า แม่เหล็กตกค้าง
2. แม่เหล็กถาวร เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดที่พันรอบแท่งเหล็กกล้า (Steel) คือแม่เหล็กที่ไม่เสียอำนาจแม่เหล็กง่าย หลังถูกทำให้เป็นแม่เหล็กแล้ว ซึ่งแม่เหล็กจะหมดอำนาจลงเมื่อถูกนำไปเผาหรือทุบด้วยค้อนหลายครั้งหรือหยุดไปกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุ (Properties Magnet Of Materials)

วัสดุถูกแบ่งได้ 3 กลุ่ม ตามค่าเพอร์มีบิลิตี้สัมพันธ์ ได้ดังนี้

1. กลุ่มไดอาแมกเนติก (Diamagnetism) : เป็นสภาพความเป็นแม่เหล็กอ่อนๆ แม่เหล็กประเภทนี้จึงไม่ใช่แม่เหล็กแบบถาวร

2. กลุ่มพาราแมกเนติก (Paramagnetism) : สภาพความเป็นแม่เหล็กในวัสดุที่โมเมนต์แม่เหล็กเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ วัสดุที่แสดงพฤติกรรมแม่เหล็กแบบพาราแมกเนติกจะประกอบด้วยอะตอมของธาตุแทรนซิชัน เช่น โพแทสเซียม ทังสเตน

3. กลุ่มเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetism) : สภาวะแม่เหล็กเฟอร์โรแมกเนติกเป็นสภาวะแม่เหล็กที่คงอยู่ได้ แม้ไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอก วัสดุที่แสดงพฤติกรรมแม่เหล็กแบบเฟอร์โรแมกเนติกจะประกอบด้วยธาตุเหล็ก (Fe) โคบอลต์ (Co) และนิกเกิล (Ni) เป็นต้น

ทั้งนี้สมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุก็ขึ้นอยู่กับลักษณะการจับตัวของโมเลกุลของธาตุที่ประกอบขึ้นเป็นวัสดุซึ่งถ้านำเอาวัสดุ เฟอร์โรแมกเนติกไปวางในสนามแม่เหล็กจะทำให้สนามแม่เหล็กนั้นมีความเข้มเพิ่มขึ้นและปริมาณความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้นนี้สามารถบอกได้ด้วยค่าซึมซาบแม่เหล็ก (Permeability) ซึ่งบอกถึงคุณสมบัติของตัวกลางที่ยอมให้เส้นแรงแม่เหล็กไหลผ่านได้ง่ายหรือยาก สัญลักษณ์ที่ใช้ คือ μ โดยความซึมซาบได้ของสุญญากาศหรือค่าคงที่แม่เหล็ก (Permeability of free space or magnetic constant) ดังสมการที่ 2.8

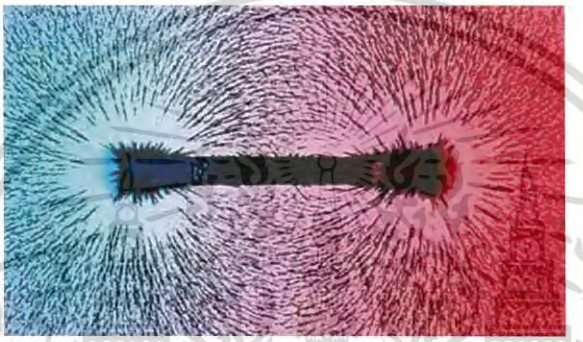
$$\mu = \frac{B}{H} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ เฮนรี่ต่อเมตร} \qquad (2.8)$$

ถ้าค่า relative permeability หรือ magnetic มีค่ามากขึ้นจะทำให้ทราบได้ว่าสนามแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเหนี่ยวนำของแท่งแม่เหล็กในขดลวดจะมีค่ามากขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ทฤษฎีสนามแม่เหล็ก [6]

เส้นแรงแม่เหล็กหรือฟลั๊กซ์แม่เหล็ก (Magnetic field lines or flux lines) คือ เส้นที่แสดงถึงทิศของสนามแม่เหล็กรอบ ๆ แท่งแม่เหล็ก ซึ่งทิศของสนามแม่เหล็กก็คือทิศของแรงนี้กระทำกับขั้วเหนือ และเส้นแรงแม่เหล็กนี้ยังแสดงความเข้มของสนามแม่เหล็กด้วย โดยการวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กที่จุด ๆ หนึ่งแสดงได้โดยเส้นแรงแม่เหล็กที่อยู่ชิดกัน เส้นแรงแม่เหล็กที่อยู่ภายนอกแท่งแม่เหล็กจะมีทิศออกจากขั้วเหนือ N วนเข้าขั้วใต้ S แต่ถ้าเส้นแรงแม่เหล็กภายในแท่งแม่แม่เหล็กจะมีทิศพุ่งจากขั้วใต้ S ไปยังขั้วเหนือ N



รูปที่ 2.15 ผลของการโรยผงเหล็กที่รอบ ๆ แท่งแม่เหล็ก

ความหนาแน่นฟลั๊กซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux density) หรือ ความเข้มของสนามแม่แม่เหล็ก คือจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วยพื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กตกตั้งฉากเป็นปริมาณเวกเตอร์ มีหน่วยเป็น เวเบอร์ต่อตารางเมตร (Wb/m^2) หรือ เทสลา (T) ดังสมการที่ 2.9

$$B = \frac{\phi}{A} \tag{2.9}$$

เมื่อ B คือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (เทสลา)

$\emptyset$ คือ เส้นแรงแม่เหล็กหรือฟลักซ์แม่เหล็ก (เวเบอร์)

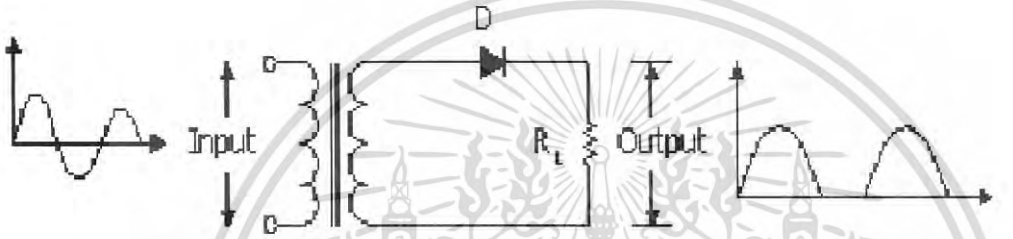
A คือ พื้นที่ที่ตกตั้งฉาก (ตารางเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 วงจรเรียงกระแส [7]

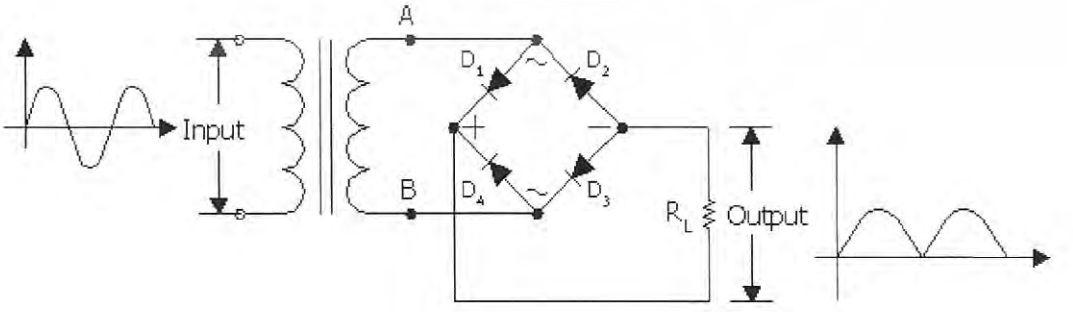
วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit) คือ วงจรไฟฟ้าที่สามารถแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้กลายเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งใช้ไดโอด (Diode) ที่มีคุณสมบัติยอมทำให้ไฟฟ้าไหลผ่านไปในทิศทางเดียว แบ่งเป็น 2 ชนิด

วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half-wave rectifier circuit) เป็นวงจรที่ใช้ไดโอดเพียงตัวเดียวโดยแรงดันที่ได้มีลักษณะเป็นพัลส์ที่ยังไม่เรียบ ต้องผ่านการกรองให้เรียบก่อนโดยใช้ตัวเก็บประจุทำหน้าที่ในการกรอง แรงดันขาออกเมื่อเทียบกับแรงดันขาเข้าแล้วมีประสิทธิภาพต่ำ



รูปที่ 2.16 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น และสัญญาณแรงดันขาออก

วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full-wave bridge rectifier circuit) เป็นวงจรที่ใช้ไดโอดสี่ตัวเริ่มต้นด้วยการจ่ายกระแสไฟฟ้าขั้วบวกเข้ามาจะทำให้ไดโอดขาที่หนึ่งและตัวตรงข้ามได้รับไบอัสตรง จะได้แรงดันขาออกเป็นบวก จากนั้นเมื่อกระแสขั้วลบเข้ามาจะทำให้ไดโอดขาที่สองและขาตรงข้ามได้รับไบอัสตรง จะได้แรงดันขาออกเป็นบวกเช่นเดียวกัน และจะเป็นแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จึงทำให้ได้ไฟฟ้ากระแสตรงออกมา



รูปที่ 2.17 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น และแรงดันขาออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 อินเวอร์เตอร์ [7]

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) คือ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ ซึ่งสามารถปรับแรงดันและความถี่ได้ แรงดันขาออกสามารถปรับให้คงที่หรือตั้งค่าตามต้องการที่ความถี่ใดความถี่หนึ่ง

อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

แบ่งออก 2 แบบ คือ รูปคลื่นสี่เหลี่ยม และ มอดูเลตความกว้างพัลส์ (PMW)

- อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส แบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม มีสองลักษณะ คือ คลื่นสี่เหลี่ยมเต็มคลื่นและคลื่นสี่เหลี่ยมครึ่งคลื่น
- อินเวอร์เตอร์แบบ PMW ในการทำงาน ไดโอดจะแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง หลังจากนั้นจะสร้างสัญญาณความถี่ที่ควบคุมขนาดแรงดันขาออก

อินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ครึ่งคลื่น (Half Bridge Inverter)

อินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ครึ่งคลื่นจะมีตัวเก็บประจุที่มีค่าเดียวกัน 2 ตัว ต่ออนุกรมกันต่อคร่อมกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง แรงดันที่ตกคร่อมบนตัวเก็บประจุจะมีค่าครึ่งหนึ่งและค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุจะต้องมีค่าสูงพอที่จะทำให้แรงดันที่ค่า 0 โวลต์ มีค่าคงที่เมื่อเทียบกับจุดนิวทรอน

อินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เต็มคลื่น (Full Bridge Inverter)

อินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เต็มคลื่นนั้นมีวงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ครึ่งคลื่น 2 วงจร เพื่อที่จะทำให้สามารถใช้งานกับพิกัดสูงๆได้ แรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่ามากกว่าอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ครึ่งคลื่นถึง 2 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ

ในการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงของโครงงานวิศวกรรมนี้ซึ่งเป็นแบบไม่มีแปรงถ่านชนิดแม่เหล็กถาวรและมีความเร็วรอบต่ำนั้นจำเป็นต้องมีความรู้ในเรื่องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับและวงจรเรียงกระแสไฟฟ้า (Rectifier circuit) เพื่อนำมาออกแบบลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งเกิดจากการคำนวณค่าต่าง ๆ แล้วนำค่าที่ได้มาจัดหาอุปกรณ์ จากนั้นจึงทำการประดิษฐ์ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับและทำให้กระแสไฟฟ้าที่ออกมาเป็นกระแสตรงโดยใช้ไดโอดบริดเรียงกระแสไฟฟ้า

3.1 การศึกษารายละเอียดเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [3]

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต้องการออกแบบ

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความเร็วรอบต่ำ 300 รอบต่อนาที
- แรงดันและกำลังไฟฟ้าขาออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขนาด 500 VA , 24 V

อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ

แม่เหล็กขนาดกว้าง 1 นิ้ว ยาว 2 นิ้ว	จำนวน	24	ก้อน
ขดลวดทองแดงเบอร์ 17 มาตรฐาน SWG	จำนวน	2.5	กิโลกรัม
ไม้อัดสำหรับทำฟอร์มคอยล์และแบบหล่อเรซิ่น	จำนวน	1	ชุด
เรซิ่นและฮาร์ดทินเนอร์	จำนวน	2	ชุด
ใยแก้วเสริมแรง ขนาด 40x40 ตารางเซนติเมตร	จำนวน	2	แผ่น
แผ่นจานเหล็กสำหรับโรเตอร์ หนา 10 มิลลิเมตร	จำนวน	2	แผ่น
สายไฟขนาด 15 ตารางมิลลิเมตร	จำนวน	10	เมตร

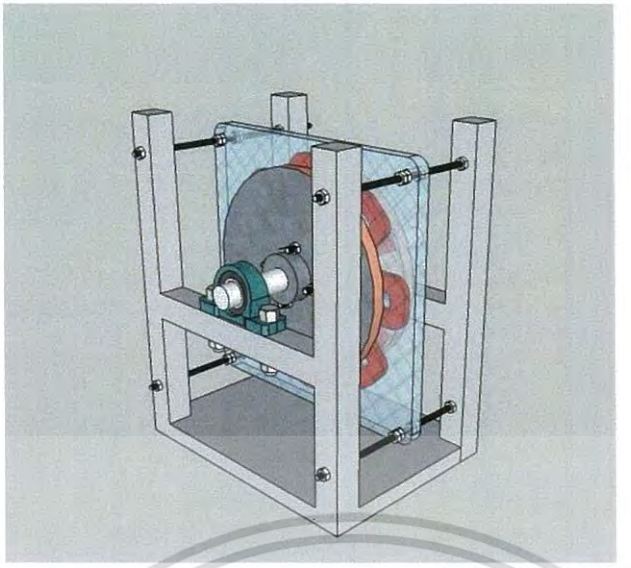
3.2 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [4]

ในโครงงานวิศวกรรมนี้จะเป็นการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรแบบแกนนอนพิกัด 500 VA 24 V 5 เฟส ซึ่งมีสเตเตอร์ และโรเตอร์อย่างละ 1 ชุด และโครงสร้างเพื่อใช้ เป็นฐานและที่กำหนดตำแหน่งของสเตเตอร์และโรเตอร์

แบบโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้ทำการออกแบบไว้ มีขนาดด้านกว้าง 30 เซนติเมตร ด้านยาว 40 เซนติเมตร และความสูง 60 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3.3 ส่วนที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์ [5]

3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสเตเตอร์

ลวดทองแดงมาตรฐาน S.W.G เบอร์ 17

แบบพันขดลวดหรือฟอร์มคอยล์

น้ำยาวานิช

เครื่องพันขดลวด

แบบหล่อเรซิ่น

ฮาร์ดทินเนอร์และเรซิ่น

สว่านไฟฟ้า

ค้อน

ไขควง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ในการใช้พันขดลวด

รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ทำสเตเตอร์

3.3.2. การคำนวณหาค่าต่าง ๆ

3.3.2.1 การคำนวณหาขนาดพื้นที่หน้าตัดของทองแดง

จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต้องการออกแบบที่มีขนาดพิกัด 500 VA , 24 V ทำให้รู้ว่ากระแสไฟฟ้ามีค่า 20 แอมป์ ในการคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดนั้นจำเป็นต้องรู้ค่ากระแสสูงสุดที่ขดลวดจะทนได้หรือเรียกว่าค่าความหนาแน่นของกระแส ในโครงงานวิศวกรรมนี้จะกำหนดให้มีค่าความหนาแน่นของกระแสมีค่าเท่ากับ 4 แอมป์และมีจำนวนขดลวดทั้งหมด 10 ขด กำหนดให้แต่ละขดมีกระแสไหล 4 แอมป์ จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของทองแดง ดังสมการที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A = \frac{I}{J} \tag{3.1}$$

เมื่อ J คือ ค่าความหนาแน่นของกระแส (แอมป์ต่อตารางมิลลิเมตร)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของทองแดง (ตารางมิลลิเมตร)

I คือ กระแสไฟฟ้าขาออกของขดลวดทองแดง (แอมป์)

แทนค่าในสมการ $A = \frac{4}{3}$

$A = 1.33$ ตารางมิลลิเมตร

ในขดลวดทองแดงมาตรฐาน S.W.G นั้น ไม่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดขนาด 1.33 ตารางมิลลิเมตร จึงเลือกขดลวดเบอร์ 17 ซึ่งมีขนาดพื้นที่หน้าตัด 1.54 ตารางมิลลิเมตร และทนกระแสสูงสุดได้ 5.29 แอมป์

3.3.2.2 การคำนวณหาจำนวนรอบการพันของขดลวด

เมื่อขดลวดตัวนำหมุนตัดกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าขึ้น ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับต้องทำให้สนามแม่เหล็กตัดกับขดลวด เมื่อโรเตอร์หมุนตัดกับขดลวดที่สเตเตอร์ครบ 1 รอบในตอนที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้นทั้งคลื่นบวกและคลื่นลบจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถคำนวณค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้จากสมการที่ 3.2 ซึ่งเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขณะที่ยังไม่ได้จ่ายพลังงานให้แก่ภาระทางไฟฟ้า

$$E = Blu \tag{3.2}$$

เมื่อ E คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (โวลต์)

B คือ ค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (เทสลา)

u คือ ความเร็วรอบการหมุน (รอบต่อนาที)

l คือ ความยาวลวดที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก (เมตร)

เพื่อทำการหาจำนวนรอบของขดลวดจึงทำการเขียนสมการขึ้นใหม่และกำหนดค่าให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเท่ากับ 12 โวลต์ ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กเท่ากับ 0.323 เทสลา และความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที แทนค่าหาความยาวลวดที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$l = \frac{12}{(0.323)(\frac{300}{60})}$$

$$l = 7.43 \text{ เมตร}$$

ดังนั้นเมื่อพันขดลวดที่มีแกนพันหนา 14 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ความยาว 7.43 เมตร จะต้องพันขดลวดจำนวน 90 รอบ

รูปที่ 3.4 การพันขดลวด

3.3.2.3 การคำนวณหาความต้านทานของขดลวด

. การคำนวณหาความต้านทานของขดลวดนั้นจำเป็นที่จะต้องรู้ความยาวทั้งหมดของลวดทองแดงนั้นก่อนแล้วนำค่าความยาวที่ได้ไปเทียบกับตารางลวดทองแดงมาตรฐานเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับความยาวลวด ในการคำนวณหาความยาวของลวดทองแดงในขดลวดนั้นสามารถทำได้โดยคำนวณ ดังสมการที่ 3.3 และ 3.4 เมื่อความหนาแน่นของลวดทองแดงเท่ากับ 8,900 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร เพื่อหามวลจากการชั่งน้ำหนักขดลวด

ตารางที่ 3.1 มวลของขดลวด

ขดลวด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
มวล (kg)	0.24	0.24	0.24	0.24	0.23	0.24	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m = \rho V \tag{3.3}$$

$$V = \frac{0.235}{8900}$$

$V = 2.64 \times 10^{-5}$ ลูกบาศก์เมตร

$$V = \pi r^2 l \tag{3.4}$$

$$l = \frac{2.64 \times 10^{-5}}{\pi \times (0.7 \times 10^{-3})^2}$$

$l = 17.15$ เมตร

เมื่อเปลี่ยนหน่วยให้เป็นเมตร ความยาวของขดลวดจะมีค่าเท่ากับ 23.976 เมตร นำค่าที่ได้ไปคูณกับค่าความต้านทานของลวดทองแดงเบอร์ 17 ที่เปิดในตารางลวดทองแดงมาตรฐาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10.45 โอห์มต่อกิโลเมตรหรือ 0.01045 โอห์มต่อเมตร ดังสมการที่ 3.5

$$R = l \times 0.01045 \tag{3.5}$$

เมื่อ R คือ ความต้านทานของขดลวด (โอห์ม)

l คือ ความยาวทั้งหมดของลวดทองแดง (เมตร)

$$R = 17.15 \times 0.01045$$

$R = 0.18$ โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.4 การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด

ค่าความเหนี่ยวนำมีหน่วยเป็นเฮนรี่ (H) 1 เฮนรี่ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของกระแสหนึ่งแอมป์ในหนึ่งวินาที ซึ่งทำให้เกิดแรงดันหนึ่งโวลต์ ค่าความเหนี่ยวนำจะมีค่ามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยสี่อย่าง คือ จำนวนรอบ วัสดุที่นำมาทำแกนซึ่งมีคุณสมบัติในการเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็กเรียกว่าความซาบซึม พื้นที่หน้าตัดของแกน ความยาวของแกน จากปัจจัยทั้งสี่นี้สามารถนำมาเขียนความสัมพันธ์ของค่าความเหนี่ยวนำได้ ดังสมการที่ 3.6

$$L = \frac{\mu n^2 A}{d} \tag{3.6}$$

เมื่อ L คือ ค่าความเหนี่ยวนำ (เฮนรี่)

μ คือ ค่าความซึมซาบของวัสดุ

n คือ จำนวนรอบของขดลวด

A คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนอากาศ (ตารางเมตร)

d คือ ความยาวของแกนที่พันขดลวด (ตารางเมตร)

ในโครงงานวิศวกรรมนี้จะใช้เป็นแกนอากาศซึ่งมีค่าความซึมซาบเท่ากับ $4\pi \times 10^{-7}$

$$L = \frac{4\pi \times 10^{-7}(90^2)(12.9 \times 10^{-4})}{1.4 \times 10^{-2}}$$

$$L = 0.940 \text{ มิลลิเฮนรี่}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 การวัดค่า R และ L ของขดลวด

จากการวัดค่าความเหนี่ยวนำจริงของขดลวดได้ค่าทั้งหมด ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าความเหนี่ยวนำ (L) ของขดลวด

ขดลวด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
ค่าความเหนี่ยวนำ(mH)	0.48	0.46	0.46	0.47	0.43	0.46	0.44	0.43	0.48	0.48	0.46

3.3.3 การวางตำแหน่งของขดลวด

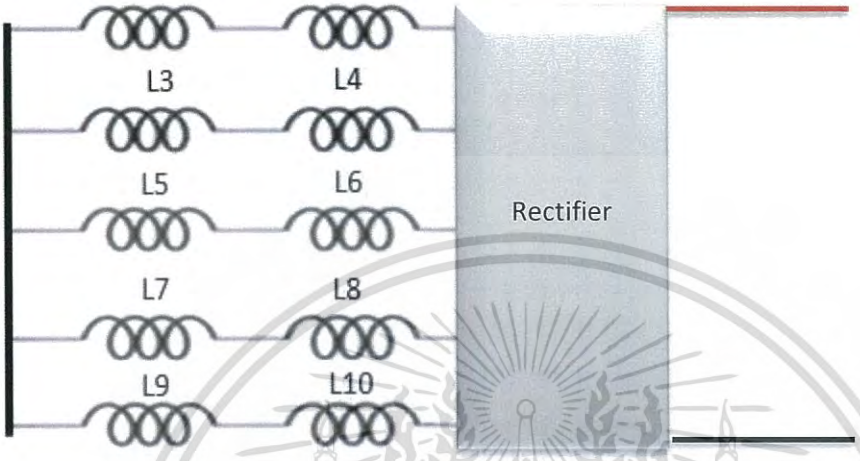
นำขดลวดที่พันเสร็จแล้วมาวางในแบบหล่อเรซิ่นที่เตรียมไว้ ในการวางขดลวดจำนวน 10 ขด ให้เป็นวงกลมนั้นทำได้โดยการนำขดลวดทั้งหมดวางห่างกัน 36 องศา ซึ่งเป็นระยะห่างเชิงมุมของขดลวดในแบบหล่อเรซิ่น ความกว้างของวงกลมขึ้นอยู่กับโรเตอร์เนื่องจากต้องทำให้แม่เหล็กตัดผ่านขดลวดพอดี

รูปที่ 3.6 การวางขดลวดในแบบหล่อเรซิ่น

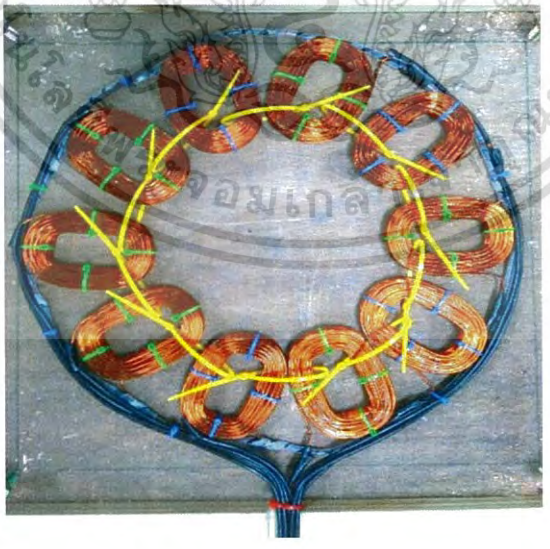
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การต่อวงจรของขดลวด

การต่อวงจรนั้นจะนำขดลวดมาเชื่อมเข้าด้วยกันทั้ง 10 ขดโดยนำขดลวดมาต่ออนุกรมกัน 2 ขด จำนวน 5 ชุด



รูปที่ 3.7 ไดอะแกรมการต่อวงจร



รูปที่ 3.8 การต่อวงจรของขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ส่วนเคลื่อนที่หรือโรเตอร์ [6]

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างโรเตอร์

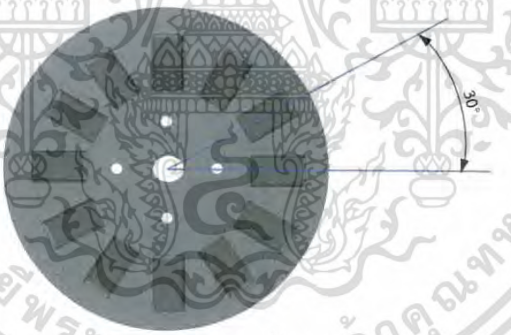
แผ่นเหล็ก	จำนวน	2	แผ่น
แม่เหล็กชนิด neodymium	จำนวน	24	ก้อน
ซีเมนต์เหล็กและกาวดินน้ำมัน	จำนวน	1	ชุด
กระดาษแข็ง กรรไกร ปากกาหรือดินสอ	จำนวน	1	ชุด

การหาพื้นที่หน้าตัดของแม่เหล็ก

ในการเลือกขนาดของแม่เหล็กนั้นสามารถอ้างอิงได้จากขนาดของขดลวด โดยที่ความยาวจะมีค่าเท่ากับความยาวของขดลวดและความกว้างมีค่าเท่ากับความกว้างของขดลวดเช่นกัน

ขั้นตอนการวางแม่เหล็กบนแผ่นเหล็ก

1. แบ่งพื้นที่บนแผ่นเหล็กออกเป็น 12 ส่วน โดยที่ห่างกัน 30° ทั้งสองแผ่น
2. ทำแบบที่วางแม่เหล็กเพื่อให้ตำแหน่งตรงตามที่ออกแบบไว้
3. นำแม่เหล็กมาวางบนแผ่นเหล็ก โดยวางสลับกันระหว่างขั้วเหนือและขั้วใต้ทั้งสองแผ่น และทั้งสองแผ่นก็ต้องวางสลับขั้วเช่นเดียวกันเพื่อทำให้แผ่นเหล็กดูดกัน



รูปที่ 3.9 ตำแหน่งการวางแม่เหล็ก

รูปที่ 3.10 การวางแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบและการวิเคราะห์

การทดสอบเพื่อหาพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้วนำมาวิเคราะห์คำนวณหาค่าประสิทธิภาพโดยอาศัยตัวแปรต่าง ๆ

4.1 การทดสอบเพื่อวัดพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การทดสอบวัดพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นทำเพื่อระบุพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในขณะที่ทำงานอยู่ ทั้งตอนที่มีภาระทางไฟฟ้าและไม่มีภาระทางไฟฟ้า

4.1.1 การทดสอบหาแรงดันขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า

การทดสอบเพื่อวัดหาพิกัดแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกนทำได้โดยต่อวงจร ดังรูปที่ 4.1

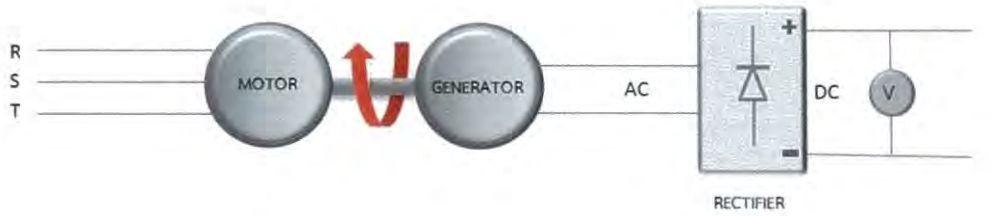
อุปกรณ์การทดสอบ

มอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟสพิกัด 7.5 กิโลวัตต์	จำนวน	1	เครื่อง
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน	จำนวน	1	เครื่อง
อินเวอร์เตอร์สามเฟส	จำนวน	1	เครื่อง
สายไฟ	จำนวน	1	ชุด
กล่องเก็บสายไฟ (junction box)	จำนวน	2	กล่อง
มัลติมิเตอร์	จำนวน	1	เครื่อง

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ต่ออุปกรณ์ ดังรูปที่ 4.1
2. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสให้กับมอเตอร์ผ่านอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมระดับความเร็วของมอเตอร์
3. ปรับที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ โดยเริ่มต้นที่ 0 Hz ทำการปรับความถี่จนกระทั่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความเร็ว 250 rpm วัดค่าโดยใช้เครื่องวัดความเร็วรอบ
4. เมื่อความเร็วมีค่า 250 rpm แล้วจึงทำการวัดค่าแรงดันของสายแต่ละเส้นเทียบกับอีกสายหนึ่งจนครบทุกคู่แล้วทำการบันทึกค่าแรงดัน
5. ทำการเปลี่ยนความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็น 300, 350 และ 400 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การต่อวงจรเพื่อวัดหาพิกัดแรงดันขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า

ตารางที่ 4.1 พิกัดแรงดัน AC ขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้าที่ระยะช่องว่างอากาศ 5 มิลลิเมตร

Gap 5 mm										
Speed (rpm)	V_{1-2} (V)	V_{1-3} (V)	V_{1-4} (V)	V_{1-5} (V)	V_{2-3} (V)	V_{2-4} (V)	V_{2-5} (V)	V_{3-4} (V)	V_{3-5} (V)	V_{4-5} (V)
250	30.6	28.9	29.0	27.9	34.8	28.5	29.4	26.7	28.9	26.0
300	38.9	37.5	38.3	36.5	39.7	37.3	37.8	35.2	37.8	35.8
350	44.1	42.0	43.6	41.0	48.6	43.0	43.2	40.6	42.8	40.7
400	49.4	47.4	48.7	46.6	52.1	47.5	47.9	45.2	48.0	45.2

ตารางที่ 4.2 พิกัดแรงดัน AC ขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้าที่ระยะช่องว่างอากาศ 6 มิลลิเมตร

Gap 6 mm										
Speed (rpm)	V_{1-2} (V)	V_{1-3} (V)	V_{1-4} (V)	V_{1-5} (V)	V_{2-3} (V)	V_{2-4} (V)	V_{2-5} (V)	V_{3-4} (V)	V_{3-5} (V)	V_{4-5} (V)
200	23.6	25.6	21.9	26.3	21.1	26.4	24.4	20.8	23.8	26.2
300	31.1	33.3	29.6	34.0	29.3	34.2	31.9	28.3	32.1	33.4
400	36.8	37.9	34.3	38.6	34.6	39.0	37.4	33.9	37.4	38.7
500	42.8	43.9	40.3	44.5	40.3	45.1	43.4	39.8	43.2	44.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 พิกัดแรงดัน AC ขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้าที่ระยะช่องว่างอากาศ 7 มิลลิเมตร

Gap 7 mm										
Speed (rpm)	V_{1-2} (V)	V_{1-3} (V)	V_{1-4} (V)	V_{1-5} (V)	V_{2-3} (V)	V_{2-4} (V)	V_{2-5} (V)	V_{3-4} (V)	V_{3-5} (V)	V_{4-5} (V)
200	24.2	19.5	25.0	19.9	25.0	17.9	22.8	24.7	20.3	21.9
300	32.3	28.0	33.7	28.4	33.8	26.6	32.0	33.9	28.9	30.5
400	36.8	32.6	37.4	32.6	37.8	30.9	35.1	37.1	32.3	34.0
500	42.4	37.8	43.4	38.5	43.4	36.7	41.9	43.0	39.0	40.3

4.1.2 การทดสอบหาพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะมีภาระทางไฟฟ้า

การทดสอบเพื่อวัดหาพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกนทำได้โดยต่อวงจร ดังรูปที่ 4.2 และเพิ่มภาระทางไฟฟ้าขึ้นตั้งแต่ 50 วัตต์ จนถึง 500 วัตต์ โดยใช้หลอดไฟฟ้าเป็นภาระทางไฟฟ้า

อุปกรณ์การทดสอบ

มอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟส 1 แรงม้า	จำนวน 1 เครื่อง
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน	จำนวน 1 เครื่อง
อินเวอร์เตอร์สามเฟส	จำนวน 1 เครื่อง
สายไฟ	จำนวน 1 ชุด
ชุดกล่องเก็บสายไฟ (junction box)	จำนวน 2 กล่อง
วงจรเรียงกระแสแบบบริจด์	จำนวน 1 วงจร
หลอดไฟ 25 วัตต์	จำนวน 2 ดวง
หลอดไฟ 50 วัตต์	จำนวน 2 ดวง
หลอดไฟ 100 วัตต์	จำนวน 4 ดวง
แอมป์มิเตอร์	จำนวน 1 เครื่อง
มัลติมิเตอร์	จำนวน 6 ก้อน
เครื่องวัดความเร็ว	จำนวน 1 เครื่อง

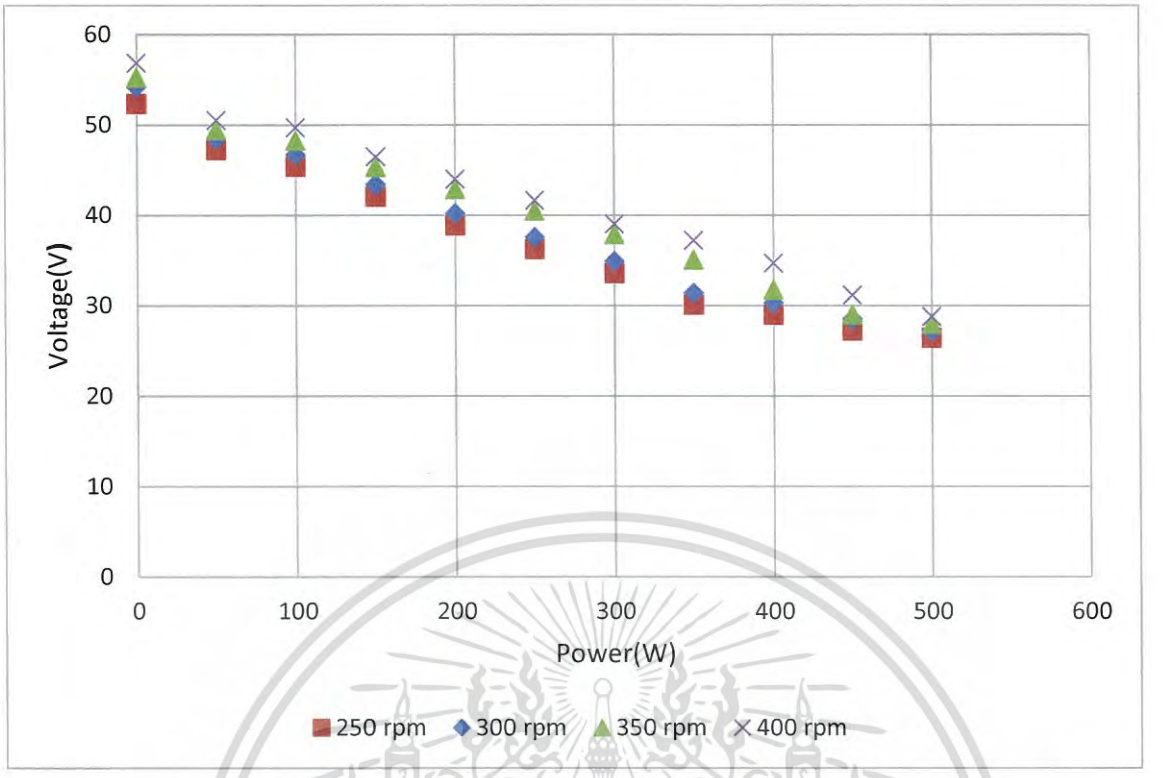
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดสอบ

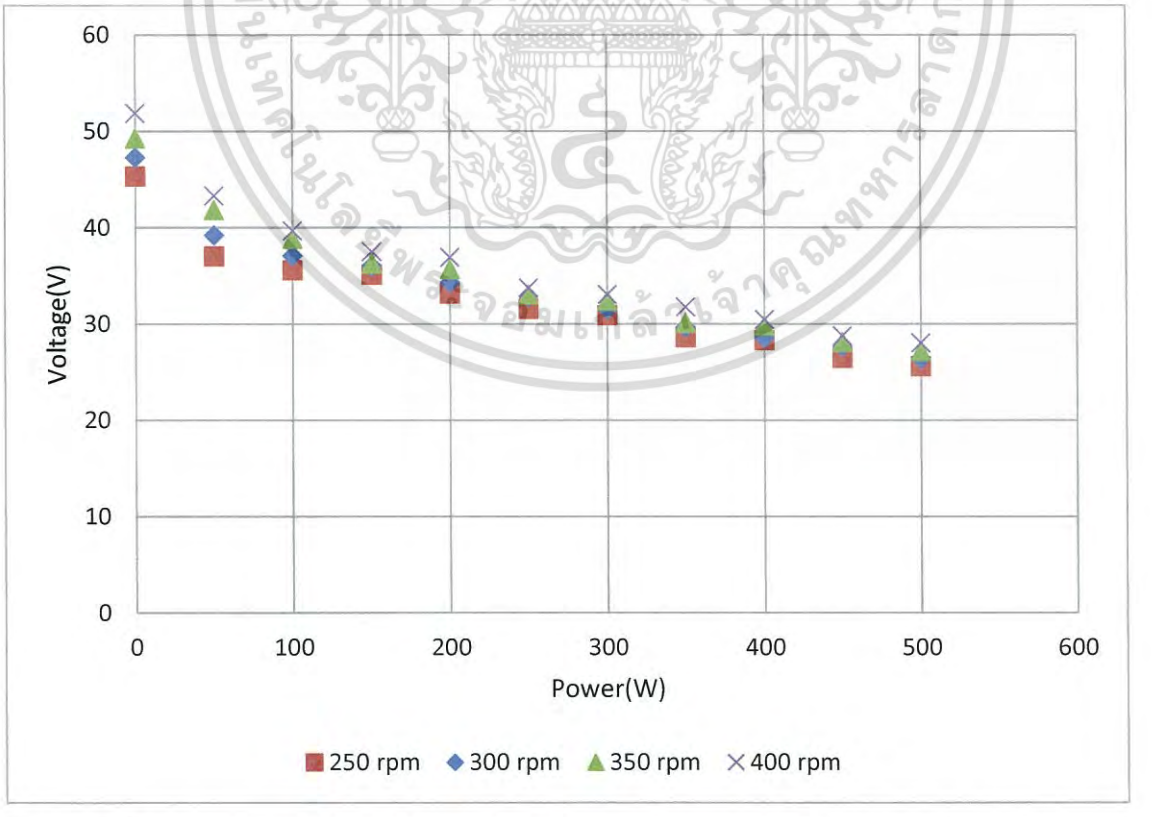
1. ต่ออุปกรณ์ ดังรูปที่ 4.2 โดยโหลดที่ใช้คือหลอดไฟ
2. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสให้กับมอเตอร์ผ่านอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมระดับความเร็วของมอเตอร์
3. ปรับที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ โดยเริ่มต้นที่ 0 เฮิร์ต ทำการปรับความถี่จนกระทั่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความเร็ว 250 รอบต่อนาที โดยใช้เครื่องวัดความเร็วรอบวัด
4. เมื่อความเร็วมีค่า 250 รอบต่อนาที ทำการวัดค่าแรงดันขณะไม่มีโหลดแล้วทำการบันทึกค่าแรงดัน
5. ทำการเพิ่มโหลดให้กำลังไฟฟ้าขาออกมีค่า 50 วัตต์ โดยใช้วัตต์มิเตอร์กระแสตรงวัด เมื่อความเร็วตกเนื่องจากโหลดให้ทำการเพิ่มความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจนค่ากลับมาเป็น 250 รอบต่อนาที อีกครั้งแล้วทำการบันทึกค่าแรงดันและกระแส
6. ทำการเพิ่มโหลดให้กำลังไฟฟ้าขาออกมีค่าเพิ่มขึ้น 50 วัตต์ แล้วทำซ้ำข้อที่ 4 จนกระทั่งกำลังไฟฟ้าขาออกมีค่า 500 วัตต์
7. ปรับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 50 รอบต่อนาที ทำการวัดค่าแรงดันขณะไม่มีโหลดต่ออยู่ แล้วทำการบันทึกค่าแรงดัน จากนั้นทำซ้ำข้อที่ 5 และ 6
8. ทำซ้ำข้อที่ 7 จนความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่า 400 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.2 การต่อวงจรเพื่อวัดหาพิกัดแรงดันขณะต่อภาระทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

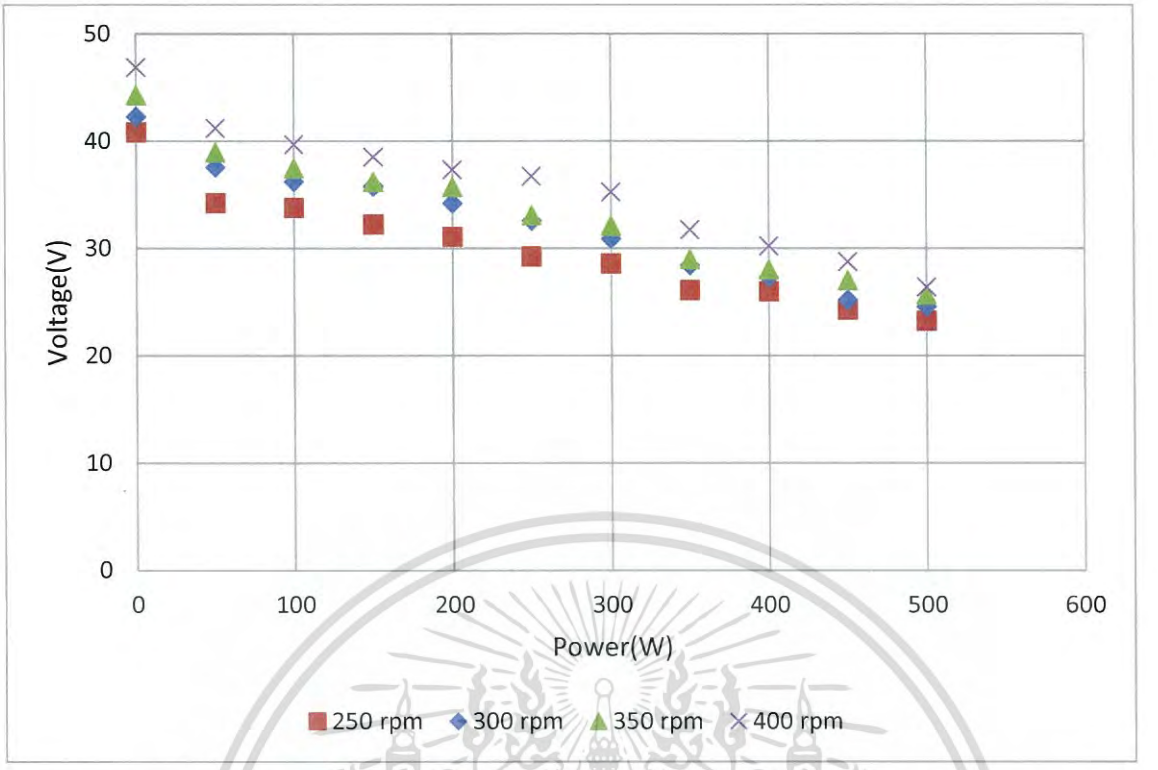


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกำลังไฟฟ้าที่ระยะช่องว่าอากาศ 5 มิลลิเมตร

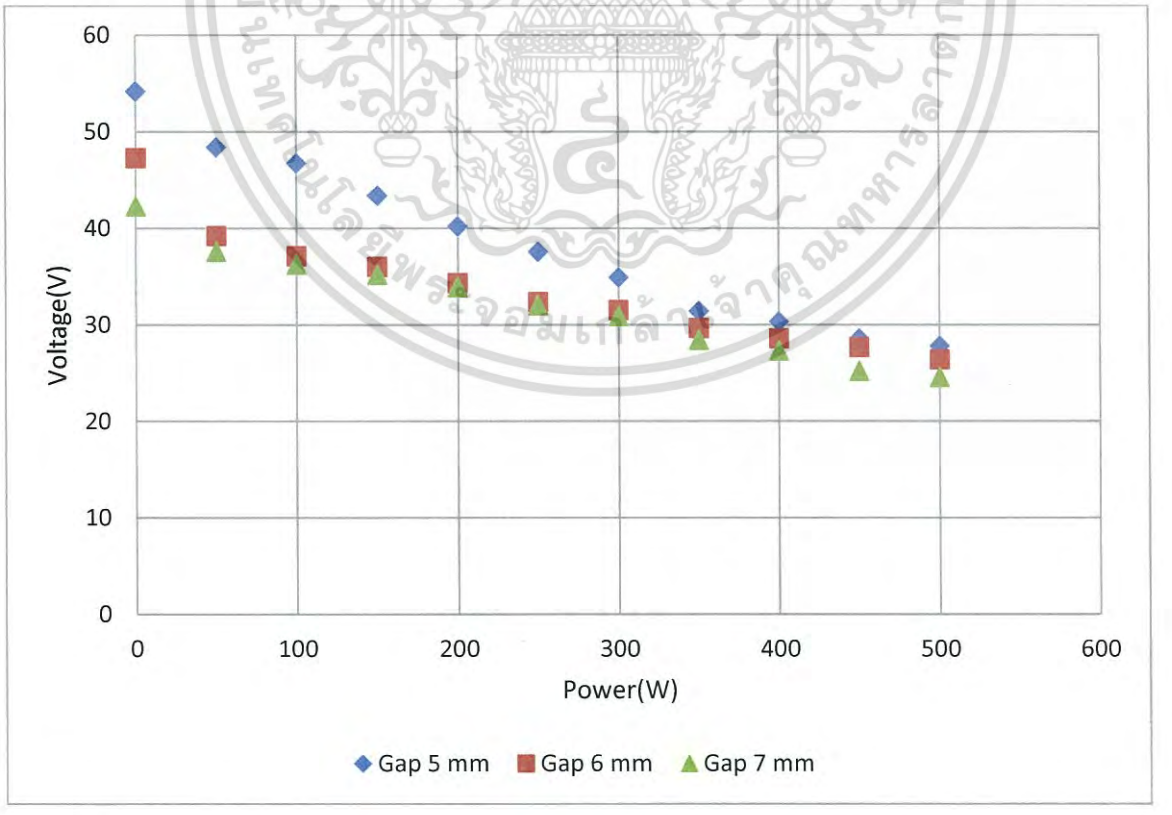


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกำลังไฟฟ้าที่ระยะช่องว่าอากาศ 6 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกำลังไฟฟ้าที่ระยะช่องว่าอากาศ 7 มิลลิเมตร



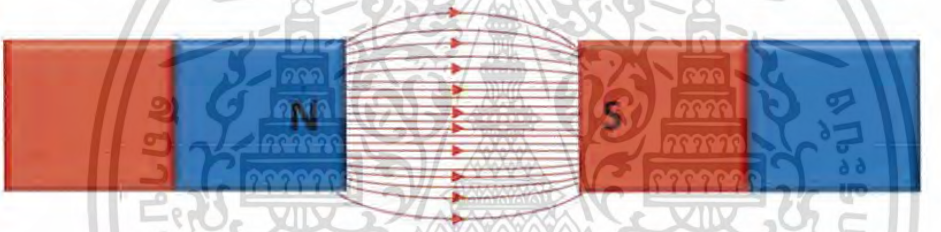
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกำลังไฟฟ้า ที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของระยะช่องว่างอากาศ

เกิดจากการรั่วไหลของเส้นแรงแม่เหล็ก (flux leakage) เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กนั้นไม่สามารถควบคุมให้ไหลได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลออกจากแนวทางเดินของสนามแม่เหล็กและกระจายออกไปในอากาศ เส้นแรงแม่เหล็กตรงช่องว่างอากาศจะมีการโป่งพองออก (fringing) ซึ่งเป็นผลให้พื้นที่หน้าตัดของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ดังนั้นความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กตรงช่องว่างอากาศจึงลดลง ดังรูปที่ 4.7 โดยสามารถพิสูจน์ได้ตามสมการที่ (2.9)

จากสมการข้างต้น จะเห็นได้ว่าเมื่อพื้นที่หน้าตัดของช่องว่างอากาศเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กลดลง และเมื่อความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กลดลงก็จะส่งผลให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าลดลงตามไปด้วยเช่นกัน ดังนั้นระยะที่ดีที่สุดของช่องว่างอากาศในการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้จึงจะเกิดประสิทธิภาพที่พิกัดสูงสุด ซึ่งในการทดสอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ คือ 5 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.7 เส้นแรงแม่เหล็กโป่งพองเนื่องจากการรั่วไหลของเส้นแรงแม่เหล็ก

การรักษาระดับแรงดัน (Voltage regulation)

ในการทดสอบนี้ เป็นการรักษาระดับแรงดันขณะที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลง หมายถึงเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะสามารถรักษาระดับแรงดันได้โดยจ่ายกระแสให้กับมอเตอร์เพื่อเพิ่มความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำให้แรงดันขาออกคงที่ สามารถนิยามได้จากเปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงแรงดันขาออกสำหรับกระแสที่ไหลผ่านโหลด คือ การหาเปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงแรงดันขาออกขณะที่ไม่มีโหลดและขณะที่มีโหลด ดังสมการที่ 4.1

$$Voltage\,regulation = \left(\frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}}\right) \times 100\% \qquad (4.1)$$

เมื่อ V_{NL} คือ แรงดันขาออกขณะที่ไม่มีโหลด

V_{FL} คือ แรงดันขาออกขณะที่มีโหลด

ในการคำนวณค่าการรักษาระดับแรงดันที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ระยะช่องว่างอากาศ 5, 6 และ 7 ได้ค่า 22.28%, 20.63% และ 19.11% ตามลำดับ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปค่าพิกัดที่ได้จากความสัมพันธ์

ในการทดสอบพิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโครงงานวิศวกรรมนี้ได้กำหนดความเร็วการหมุนของโรเตอร์ไว้ โดยความเร็วการหมุนที่สามารถหมุนได้ในการนำไปใช้จริงอยู่ที่ประมาณ 300 รอบต่อนาที และที่ระยะช่องว่างอากาศ 5 มิลลิเมตร ซึ่งได้พิกัดสูงสุด มีพิกัดแรงดันอยู่ที่ 30.00 โวลต์ กระแส 13.33 แอมป์ ที่กำลังไฟฟ้า 500 วัตต์

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกนนี้ได้นำมอเตอร์มาเป็นต้นกำลังในการขับให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้ลูกรอกและสายพาน เมื่อได้ทำการติดตั้งลูกรอกและสายพานเรียบร้อยแล้ว จะทำการกำหนดความเร็วของมอเตอร์โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ผ่านอินเวอร์เตอร์และปรับความถี่เพื่อให้ได้ความเร็วที่ต้องการ จากนั้นทำการติดตั้งอุปกรณ์ตามรูปแบบของการทดสอบ

4.2.1 การทดสอบหากำลังขาเข้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การทดสอบค่าแรงบิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เป็นการหาค่าแรงบิดแบบคร่าวๆ โดยการถ่วงมวลไว้ที่ลูกรอกและให้มอเตอร์ทำงานเพื่อหมุนลูกรอกแล้วชั่งน้ำหนักให้มีค่าใกล้เคียง 0 จากนั้นเพิ่มน้ำหนักขึ้นไปตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น โดยใช้สมการที่ 4.2

$$\tau = 9.81(w_2 - w_1)r \qquad (4.2)$$

เมื่อ τ คือ แรงบิด (นิวตันเมตร)

w_2 คือ มวลที่ใช้ถ่วง (กิโลกรัม)

w_1 คือ มวลที่ใช้ถ่วงขณะมอเตอร์ทำงาน (กิโลกรัม)

r คือ รัศมีของลูกรอก (เมตร)

การคำนวณหาต้นกำลังจากค่าแรงบิดที่ได้

การคำนวณหาต้นกำลังที่ให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากแรงบิดนั้น สามารถทำได้โดยใช้ สมการที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{in} = \tau\omega \tag{4.3}$$

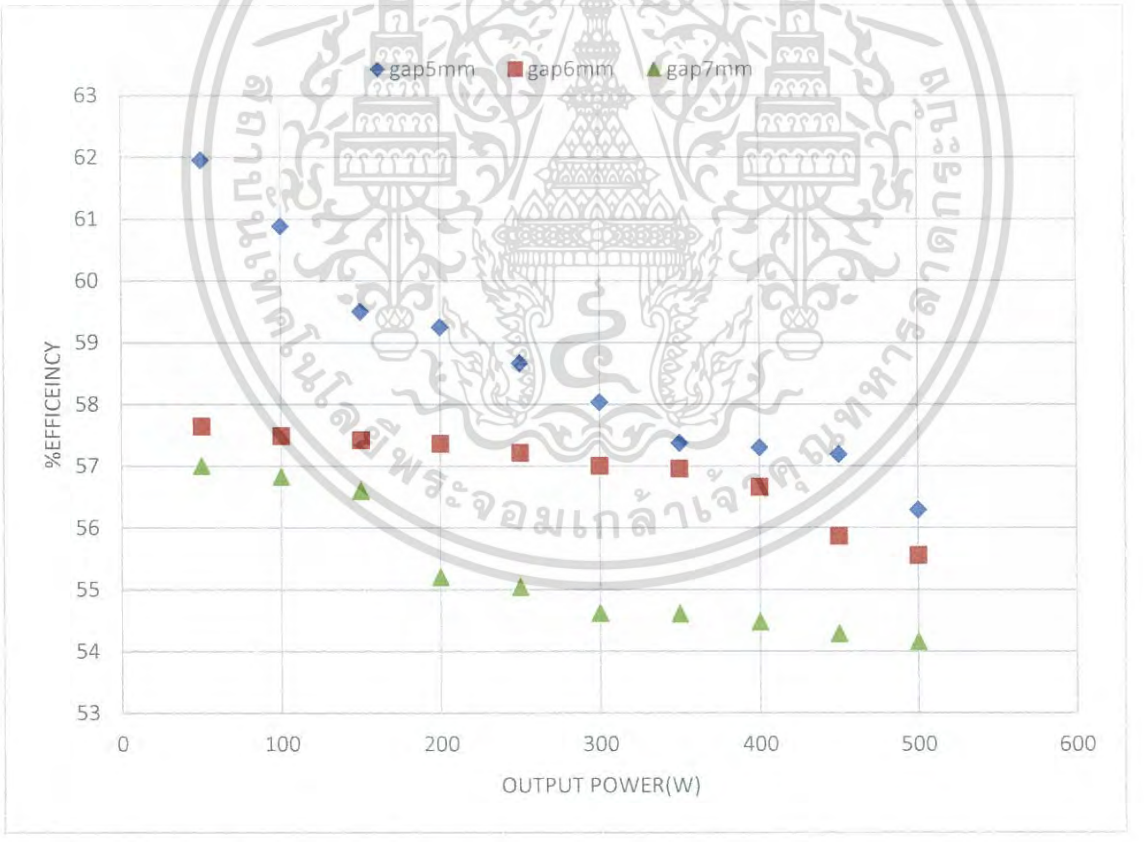
เมื่อ P_{in} คือ กำลังขาเข้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (วัตต์)

τ คือ แรงบิด (นิวตันเมตร)

ω คือ ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์ (เรเดียนต่อวินาที)

ในการคำนวณนั้นค่าความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์จำเป็นต้องเปลี่ยนหน่วยจากรอบต่อวินาที เป็นเรเดียนต่อวินาทีเสียก่อน ดังสมการที่ 4.4

$$\omega = 2\pi f \tag{4.4}$$



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพที่ระยะช่องว่างอากาศ 5 6 และ 7 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุป

5.1 สรุป

จากการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกนขนาดพิกัด 500 VA , 24 V ซึ่งจะมีการแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า และการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะมีภาระทางไฟฟ้า

การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า

ในการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้านั้นจะทดสอบระยะช่องว่างอากาศทั้งหมด 3 ระยะด้วยกัน คือ 5 , 6 และ 7 มิลลิเมตร โดยในตอนแรกยังไม่ทำการแปลงแรงดันจะพบว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขาออกแต่ละเฟสมีค่าใกล้เคียงกันที่ความเร็วเดียวกัน และเมื่อผ่านวงจรเรียงกระแสพบว่าในระยะช่องว่างอากาศ 7 มิลลิเมตรนั้นเมื่อทำการปรับความถี่สูงสุดและได้ความเร็วรอบ 300 รอบต่อวินาที แรงดันที่ได้สูงสุดคือ 55.58 โวลต์ ส่วนระยะช่องว่างอากาศ 6 มิลลิเมตร เมื่อทำการปรับความถี่สูงสุดจะได้ความเร็วรอบ 300 รอบต่อวินาที แรงดันที่ได้สูงสุดคือ 58.12 โวลต์ และระยะช่องว่างอากาศ 5 มิลลิเมตร เมื่อทำการปรับความถี่สูงสุดและได้ความเร็วรอบ 300 รอบต่อวินาที แรงดันที่ได้สูงสุดคือ 61.4 โวลต์ จึงเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะมีค่าประมาณเท่ากับค่าเฉลี่ยของแรงดันกระแสสลับและระยะช่องว่างอากาศ 5 มิลลิเมตร จะให้แรงดันได้สูงที่สุด

จากการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า จะสรุปได้ว่าเมื่อกำหนดให้ระยะช่องว่างอากาศเท่ากัน แรงดันไฟฟ้าจะมีค่าแปรผันตรงกับความรอบเร็ว ยิ่งถ้าหมุนด้วยความเร็วที่สูง แรงดันไฟฟ้าที่ได้ก็จะสูงตามด้วย แต่ถ้าหมุนที่ความเร็วรอบที่ต่ำ แรงดันไฟฟ้าก็จะมีค่าน้อยตามด้วย และในกรณีที่กำหนดให้ระยะช่องว่างอากาศที่ต่างกัน แต่หมุนด้วยความเร็วรอบที่เท่ากัน ค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าแปรผกผันกับระยะช่องว่างอากาศ คือจะได้แรงดันไฟฟ้ามากในระยะที่มีช่องว่างอากาศน้อย และจะได้แรงดันไฟฟ้าน้อยในระยะที่มีช่องว่างอากาศมากกว่านั่นเอง

การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะมีภาระทางไฟฟ้า

ในการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะมีภาระทางไฟฟ้าเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งขาเข้าและขาออก เมื่อกำหนดให้ระยะช่องว่างอากาศนั้นมีค่า 5 , 6 และ 7 มิลลิเมตร โดยทำการเพิ่มภาระทางไฟฟ้าให้กับระบบขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่ 50 จนถึง 500 วัตต์ ในระยะช่องว่างอากาศ 7 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อวินาที กำลังไฟฟ้า 500 VA แรงดันที่ได้ 22.4 โวลต์ ส่วนระยะช่องว่างอากาศ 6 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อวินาที กำลังไฟฟ้า 500 VA

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันที่ได้คือ 23.1 โวลต์ และระยะช่องว่างอากาศ 5 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที กำลังไฟฟ้า 500 VA แรงดันที่ได้ 24.56 โวลต์ เมื่อเพิ่มภาระทางไฟฟ้าให้กับระบบ แรงดันไฟฟ้าจะลดลงในขณะที่กระแสนั้นเพิ่มขึ้น และยิ่งความเร็วรอบในการหมุนเร็วขึ้นเท่าไรค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ก็ยิ่งเพิ่มขึ้นเท่านั้น ค่าสัมประสิทธิ์จะมีค่าสูงสุดเมื่อช่องว่างอากาศเท่ากับ 5 มิลลิเมตร อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพสูงสุด

จากการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะมีภาระทางไฟฟ้า จะสรุปได้ว่าเมื่อกำหนดให้ระยะช่องว่างอากาศเท่ากัน แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าแปรผกผันกับภาระทางไฟฟ้าที่ให้กับระบบ ถ้าภาระทางไฟฟ้าที่ให้กับระบบมีค่ามาก จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ได้มาจะน้อย และถ้าภาระทางไฟฟ้าที่ให้กับระบบมีค่าน้อย แรงดันไฟฟ้าที่ได้มาจะมีค่ามากนั่นเอง

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกนขนาดพิกัด 500 VA , 24 V สิ่งที่ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นผลิตกระแสไฟฟ้าได้ไม่เต็มกำลัง เนื่องมาจากขั้นตอนในการหล่อเรซิ่นซึ่งไม่ควรหล่อให้หนาจนเกินไปเพราะจะทำให้ขดลวดตัวนำรับแรงดูดจากแม่เหล็กได้ไม่เต็มที่ และในส่วนของการพันขดลวดตัวนำไม่ควรพันให้หนาเพราะจะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กผ่านได้ยาก กระแสไฟฟ้าที่ออกมาก็จะออกมาน้อยตามไปด้วย อีกทั้งในส่วนของการทดสอบนั้นหากต้องการให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงสุด ให้ทำการปรับระยะช่องว่างอากาศให้มีน้อยที่สุดเพื่อให้ขดลวดตัวนำรับแรงดึงดูดจากแม่เหล็กได้เต็มที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] สุนทร ชูกรณ์. (2558). **เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามแกนหมุนของกังหันน้ำผลิตกระแสไฟฟ้า**. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

[2] ฉันทนา สาลวัน. (2551). **กฎของฟาราเดย์**. เข้าถึงได้จาก : https://www.scribd.com/doc/6763267/บทที่-6-กฎของฟาราเดย์ (21 พฤศจิกายน 2560)

[3] วิชิต เครือสุข. (2553). **เทคโนโลยีการผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.** สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.)

[4] **เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ.** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : http://www.retc.ac.th/v3/kru_pitoon/3/1/3.do (1 ธันวาคม 2560)

[5] **Potential Field Methods.** (2556). เข้าถึงได้จาก : http://palungjit.org/attachments/magnetic-pdf.2708860/ (1 ธันวาคม 2560)

[6] **ทฤษฎีแม่เหล็ก**. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : http://elec.chandra.ac.th/courses/ELEC2101/termwork/magnetic/timesaving1.html (2 ธันวาคม 2560)

[7] วีระเชษฐ์ ขันเงิน และคณะ**.** (2552) **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง** คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ตารางคุณสมบัติของขดลวดตัวนำมาตรฐาน AWG และ SWG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMAL Detection

INFORMATION SHEET

Conductor Wire Gauges - Silver Plated Copper

Conductor AWG - SWG	Conductor strand in mm	Conductor diameter in mm	Conductor area in mm^2	Max resistance at 20°C (insulated) Ω/Km	Current rating in amps > 40°C single wire in free air
30 - 33	1/0.250	0.250	0.049	377.00	2.0
28 - 30	1/0.320	0.320	0.080	229.00	3.0
26 - 28	1/0.400	0.400	0.126	146.00	4.0
22 - 23	1/0.600	0.600	0.283	64.30	7.0
19 - 20	1/0.900	0.900	0.636	28.50	12.0
32 - 36	7/0.080	0.240	0.035	558.00	1.5
30 - 33	7/0.100	0.300	0.055	353.00	2.0
28 - 30	7/0.120	0.360	0.079	244.00	3.0
26 - 28	7/0.150	0.450	0.124	159.00	4.0
24 - 25	7/0.200	0.600	0.220	88.30	6.0
26 - 28	19/0.100	0.500	0.149	130.00	5.0
24 - 25	19/0.120	0.600	0.215	89.80	6.0
22 - 23	19/0.150	0.750	0.336	58.60	8.0
20 - 21	19/0.200	1.000	0.597	32.50	11.0
18 - 19	19/0.250	1.250	0.933	20.60	15.0
16 - 18	19/0.300	1.500	1.343	14.30	20.0
14 - 16	19/0.335	1.675	1.675	11.40	23.0
12 - 14	19/0.450	2.250	3.022	6.28	35.0
10 - 12	37/0.400	2.800	4.650	4.01	47.0

These conductors when insulated with PTFE have a wide operating temperature range of –75°C to +190°C (nickel plated conductors will extend this range to +260°C). The insulation has good resistance to chemical attack and is unaffected by oils, lubricants, hydraulic fluids, aircraft or rocket fuel. It is non-flammable and resistant to solder iron damage. Due to its excellent dielectric properties, insulation wall thickness can be minimised, offering enhanced flexibility, space and weight savings.

Typical Properties

Tensile strength	$25N/mm^2$	Water absorption	0% at 20°C
Elongation	350%	Dielectric constant	2.1
Hardness	D55	Dissipation factor	0.0002×10^6Hz
Service temperature	+260°C max.	Radiation resistance	10^5RADS
Service temperature*	-75°C min.	Oxygen index	95
Density	$2.1g/cm^3$	Melt temperature	+327°C

*Can be used down to –200°C if remaining in a static position.

Thermal Detection Limited
Unit 6, Orde Wingate Way
Primrose Hill Industrial Estate
Stockton-on-Tees England TS19 0GA

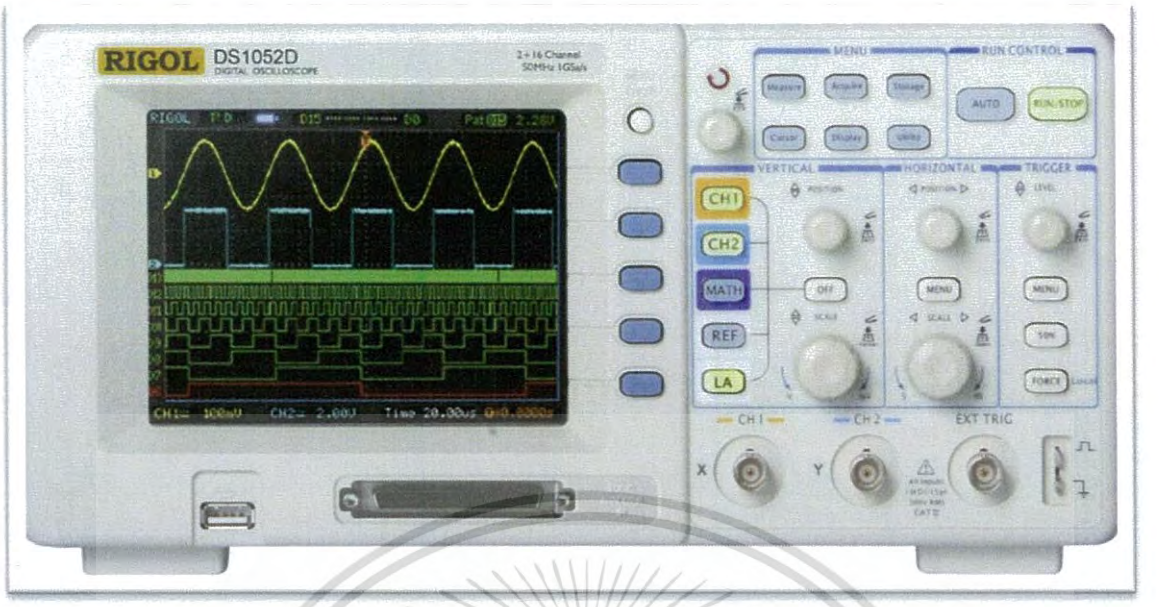
Tel +44 (0) 1642 602878
Fax +44 (0) 1642 618307
Email tdl@thermal-detection.com
Website www.thermal-detection.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เครื่องมือที่ใช้ในปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 Digital Oscilloscope RIGOL รุ่น DS1052D

รูปที่ ข.2 Digital Multimeter SUNWA รุ่น CD772

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.3 Variable frequency drive LG รุ่น SV0081G-2U

รูปที่ ข.4 มอเตอร์ขนาด 0.75 kW Mitsubishi รุ่น SCL-KR 4P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ข้อมูลพิกัดและรูปสัญญาณของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ค่าแรงดันและกระแสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ช่องว่างอากาศ 5 มิลลิเมตร

	Gap 5 mm							
	250 rpm		300 rpm		350 rpm		400 rpm	
P(W)	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)
No-load	52.3	0	54.2	0	55.2	0	56.9	0
55.2	47.2	1.2	48.4	1.1	49.5	1.1	50.5	1.1
94.4	45.4	2.1	46.7	2.0	48.3	1.9	49.6	1.8
147.5	42.1	3.5	43.4	3.4	45.3	3.2	46.4	3.0
214.3	38.9	5.1	40.2	5.3	42.9	4.8	44.0	4.6
267.8	36.2	7.2	37.5	7.3	40.5	6.1	41.6	5.8
308.8	33.6	9.2	34.9	8.8	37.9	8.4	39.0	8.1
352.2	30.1	11.5	31.4	11.2	35.1	10.3	37.2	9.7
407.7	28.9	13.9	30.3	13.4	31.7	12.9	34.7	11.8
469.3	27.2	16.8	28.5	16.4	29.0	16.1	31.1	15.1
502.1	26.4	19.0	27.2	18.4	28.0	18.0	28.8	17.6

ตารางที่ ค.2 ค่าแรงดันและกระแสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ช่องว่างอากาศ 6 มิลลิเมตร

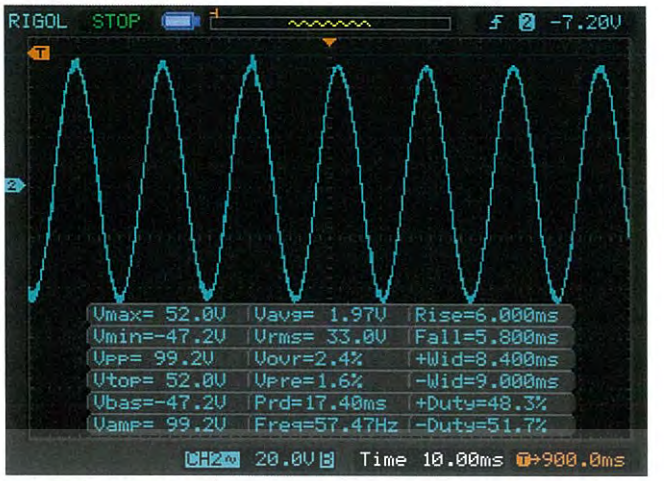
	Gap 6 mm							
	250 rpm		300 rpm		350 rpm		400 rpm	
P(W)	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)
No-load	45.3	0	47.3	0	49.2	0	51.8	0
51.3	37.0	1.3	39.2	1.3	41.8	1.2	43.3	1.2
91.1	35.5	2.7	37.1	2.5	38.8	2.5	39.6	2.2
142.3	35.1	3.9	36.2	4.1	36.2	4.1	37.5	3.1
207.5	33.1	5.4	34.3	6.2	35.7	5.9	36.9	4.6
261.1	31.5	7.6	32.2	8.2	33.8	7.9	33.7	7.3
303.4	30.8	9.3	31.5	10.1	32.4	9.7	33.1	9.3
349.6	28.5	11.9	29.6	11.8	30.1	12.8	31.7	12.4
403.1	28.2	13.7	28.5	14.1	29.8	14.2	30.4	13.7
458.5	26.4	17.2	27.6	16.5	28.1	16.9	28.7	16.1
497.5	25.6	19.4	26.4	18.7	27.2	18.5	28.1	18.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

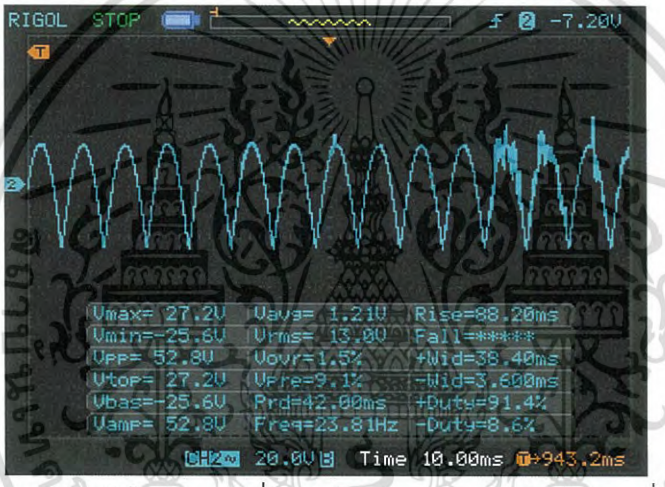
ตารางที่ ค.3 ค่าแรงดันและกระแสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ช่องว่างอากาศ 7 มิลลิเมตร

	Gap 7 mm							
	250 rpm		300 rpm		350 rpm		400 rpm	
P(W)	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)
No-load	40.8	0	42.2	0	44.2	0	46.8	0
49.5	34.2	1.4	37.5	1.3	38.9	1.2	41.2	1.2
92.3	33.7	2.5	36.2	2.5	37.4	2.3	39.6	2.7
143.7	32.2	4.6	35.7	4.2	36.2	3.7	38.5	3.7
198.5	31.6	6.2	34.3	5.8	35.7	5.4	37.3	5.2
255.2	29.2	8.7	32.2	7.8	33.1	7.7	36.7	6.8
312.7	28.5	10.8	30.9	10.2	32.8	9.7	35.2	8.9
349.2	26.8	13.3	28.4	12.2	29.2	12.1	31.7	11.1
397.6	25.9	15.2	27.3	14.5	28.3	14.2	30.2	13.3
447.5	24.2	18.3	25.2	17.7	27.3	16.7	28.7	15.7
493.7	23.2	21.1	24.5	20.6	25.7	19.3	26.3	18.9

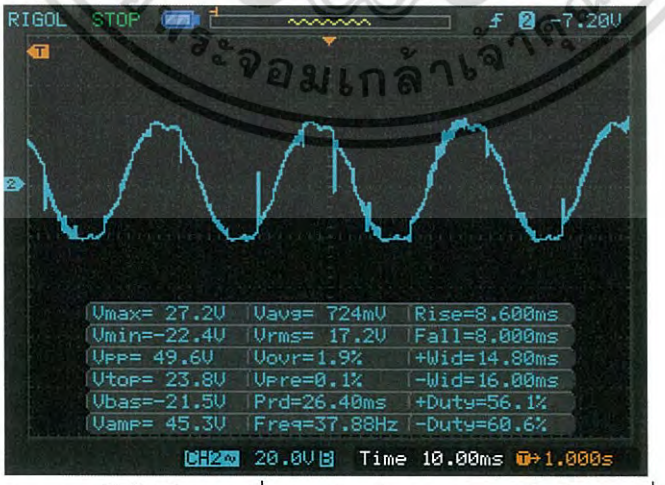
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 สัญญาณแรงดันไฟฟ้า DC ที่ระยะช่องว่างอากาศ 5 มิลลิเมตร ขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า

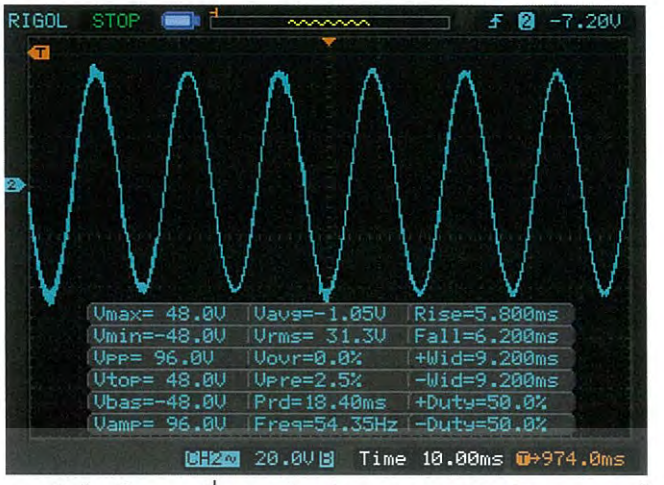


รูปที่ ค.2 สัญญาณแรงดันไฟฟ้า DC ที่ระยะช่องว่างอากาศ 5 มิลลิเมตร ที่พิกัด 500 VA



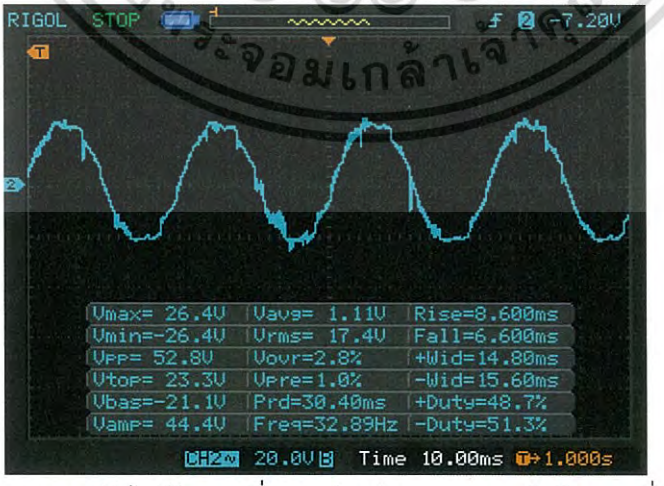
รูปที่ ค.3 สัญญาณแรงดันไฟฟ้า AC ที่ระยะช่องว่างอากาศ 5 มิลลิเมตร ที่พิกัด 500 VA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



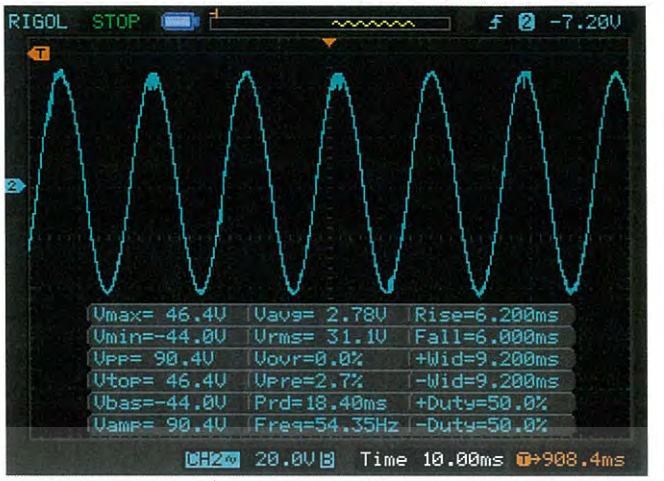
รูปที่ ค.4 สัญญาณแรงดันไฟฟ้า DC ที่ระยะช่องว่างอากาศ 6 มิลลิเมตร ขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า

รูปที่ ค.5 สัญญาณแรงดันไฟฟ้า DC ที่ระยะช่องว่างอากาศ 6 มิลลิเมตร ที่พิกัด 500 VA



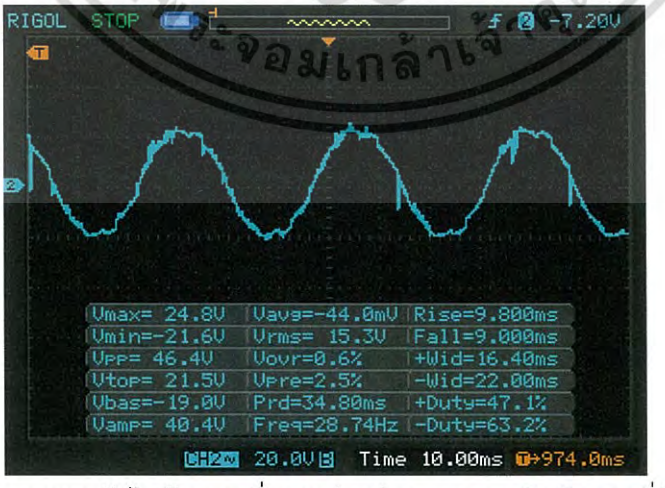
รูปที่ ค.6 สัญญาณแรงดันไฟฟ้า AC ที่ระยะช่องว่างอากาศ 6 มิลลิเมตร ที่พิกัด 500 VA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.7 สัญญาณแรงดันไฟฟ้า DC ที่ระยะช่องว่างอากาศ 7 มิลลิเมตร ขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า

รูปที่ ค.8 สัญญาณแรงดันไฟฟ้า DC ที่ระยะช่องว่างอากาศ 7 มิลลิเมตร ที่พิกัด 500 VA



รูปที่ ค.9 สัญญาณแรงดันไฟฟ้า AC ที่ระยะช่องว่างอากาศ 7 มิลลิเมตร ที่พิกัด 500 VA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

บทความวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าความเร็วรอบต่ำขนาดพิกัด 500 VA 24 V

500 VA 24 V LOW SPEED GENERATOR

ธนาพล ทัดสวน ศธัญชล สมธนกิจ ศุภวิชญ์ แก้วมหา และอลงกต ธิต๊ะยา

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกนขนาดพิกัด 500 VA , 24 V ความเร็วรอบต่ำ ซึ่งจุดเด่นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกนคือมีโครงสร้างที่ไม่ยุ่งยาก สำหรับการออกแบบจะมีทั้งหมด 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor) เป็นการใช้แม่เหล็กถาวรแทนขดลวด โดยใช้แม่เหล็กถาวร 12 ก้อน กับส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) จะใช้ขดลวดทั้งหมด 10 ขด มาทำการต่ออนุกรมและวางขดลวดห่างกัน 36 องศาทางไฟฟ้า โดยหลักการทำงานคือใช้มอเตอร์เป็นตัวขับกำลังทางกลให้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของขดลวดตัวนำผ่านสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดตัวนำนั้น โดยในการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่ความเร็ว 250 – 400 rpm ขณะที่ไม่มีภาระทางไฟฟ้าและทำการเพิ่มภาระทางไฟฟ้าตั้งแต่ 50 W – 500 W ผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการเพิ่มภาระทางไฟฟ้า จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลงตามสัดส่วนของภาระทางไฟฟ้า ที่ความเร็วการหมุนเท่ากับ 300 rpm เมื่อภาระทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนถึง 500 W แรงดันไฟฟ้าจะมีค่าอยู่ที่ 24.56 , 23.09 และ 22.42 V ที่ช่องว่างอากาศ 5, 6, 7 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยที่ประสิทธิภาพสูงสุดตามพิกัด มีค่าอยู่ที่ 66.4%

ABSTRACT

This project is about designing and constructing the generator rated 500 VA 24 V to study and apply in real life. The electricity that is generated will charge into batteries and use it later. The feature of axial flux generator is simple structures. The design is divided to 2 important parts which consist of rotor made up of magnets instead of coils that have 12 pieces and stator uses 10 coils which have 36 angle and connect each other into the series. In the operating, the motor is used to drive the generator at rotational speeds 250 - 400 rpm and taking loads from 50 W - 500 W, divided into 2 experiments that are adding loads at the various rotation speeds and finding the efficiency of generator. It's found that when loads increase, generator would get more power that has nearby values to loads. At rotational speed is 300 rpm, when loads have value that equals to 500 W the voltage which generator produce equal about 24.56 V, 23.09 V and 22.42 V at gap 5, 6 and 7 mm. respectively. And the highest efficiency is 66.4%

1. บทนำ

หลักการในการผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่จะต้องอาศัยเชื้อเพลิงหรือแรงในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุน และได้ไฟฟ้าออกมาซึ่งในประเทศไทยโดยส่วนใหญ่แล้วจะมีสถานที่ไว้สำหรับผลิตไฟฟ้าให้ประชาชนใช้โดยเฉพาะ ไม่ว่าจะเป็นภาครัฐหรือเอกชนก็ตาม เช่น เขื่อนกักเก็บน้ำ โรงไฟฟ้าต่าง ๆ เป็นต้น แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นได้มีการคาดคะเนว่า ในอนาคตไฟฟ้าจะหมดลง จึงอาจทำให้มีการเพิ่มสถานที่ผลิตไฟฟ้าหรือผลิตไฟฟ้าในรูปแบบอื่น ๆ ที่พัฒนาไปจากเดิม

กลุ่มนักศึกษาจึงมีความสนใจที่จะช่วยในการแก้ไขปัญหาว่าในอนาคตไฟฟ้าจะหมดลง จึงเลือกที่จะศึกษาเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อให้เข้าใจถึงทฤษฎีและระบบทางไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการผลิตไฟฟ้า รวมถึงการประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน และการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในประสิทธิภาพที่สูงสุด ซึ่งสิ่งที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นแค่วิธีเพิ่มการผลิตไฟฟ้าให้มากขึ้นเท่านั้น แต่สำหรับปัจจัยหลักที่สำคัญ คือ ผู้ใช้จะต้องประหยัดและใช้ไฟฟ้าให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน (Axial Flux Permanent Magnet ; AFPM) จะมีโครงสร้างที่มีความกะทัดรัด ไม่ได้ซับซ้อนมากเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวรัศมี (Radial Flux Permanent Magnet ; RFPM) และการเคลื่อนที่หรือการกระจายตัวของเส้นแรงแม่เหล็กนั้นจะวิ่งจากแม่เหล็กไปที่ขั้วของมันซึ่งเป็นไปตามแนวแกน ที่มาจากลักษณะการวางของโรเตอร์

รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่ตามแนวแกน

จากรูปที่ 2.1 นั้นเส้นแรงแม่เหล็กจะวิ่งไปตามแนวแกน โดยส่วนใหญ่จะมีการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกนไปใช้กับงานดึง งานยก หรืออาจจะเห็นได้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันลม เนื่องจากโรเตอร์ที่ออกแบบขึ้นมานั้นมีขนาดค่อนข้างใหญ่อีกทั้งจำนวนคู่ขั้วแม่เหล็กเยอะ ส่งผลให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นทำให้เกิดโมเมนต์ความเฉื่อยและความเร็วรอบในการหมุนต่ำ

2.2. โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนได้แก่ ส่วนที่เคลื่อนที่หรือโรเตอร์กับส่วนที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์

2.2.1 ส่วนที่เคลื่อนที่ (Making the Rotor)

ส่วนที่เคลื่อนที่หรือโรเตอร์ (Rotor) ในโครงงานวิศวกรรมนี้ได้ใช้เป็นแม่เหล็กถาวร มีหน้าที่เป็นตัวนำเส้นแรงแม่เหล็กถาวรมาหมุนตัดกับขดลวดอาเมเจอร์ที่สเตเตอร์ เกิดเป็นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นมา โดยวางแม่เหล็กถาวรที่สลับขั้วเหนือขั้วใต้กันไปและแผ่นโรเตอร์นั้นต้องยึดติดกับแกนเพลา (shaft) เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับแรงทางกลที่ช่วยฉุดให้มันหมุนไปได้

2.2.2 ส่วนที่อยู่กับที่ (Making the Stator)

ส่วนที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์ (Stator) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่ง ลักษณะของสเตเตอร์นั้นจะประกอบด้วยขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature-Winding) ที่ต่ออนุกรมกันภายในสเตเตอร์และเป็นตัวผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำออกมาใช้งาน โดยกระแสไฟฟ้าที่ได้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ จากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ ความถี่ และขั้วแม่เหล็ก จึงสามารถคำนวณหาความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับได้ดังสมการที่ 2.2

$$N = \frac{120f}{P} \qquad (2.2)$$

เมื่อ N คือ ความเร็วรอบของโรเตอร์ (rpm)

f คือ ความถี่ (Hz)

P คือ จำนวนคู่ขั้วแม่เหล็ก (Pole)

2.3 การพันขดลวดและการต่อวงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน

การพันขดลวดอาเมเจอร์สิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงคือแรงดันเอาต์พุตจะต้องมีความใกล้เคียงกับรูปคลื่นไซน์ (Sine wave) ให้มากที่สุด โดยวิธีการพันขดลวดอาร์มาเจอร์นั้น จะพันแบบพิชเศษส่วน (Short-Pitch) คือ ระยะห่างระหว่างต้นและปลายของคอยล์เดียวกันที่พันลงไปในสลอตของอาร์มาเจอร์จะมีค่าน้อยกว่า 1 โปลพิชหรือน้อยกว่า 180 องศาไฟฟ้า แต่ไม่เกิน 150 องศาไฟฟ้า โดยออกแบบ Form ในการพันขดลวดให้มีขนาดเล็กลงกว่าปกติ ทำให้ใช้ความยาวของขดลวดสั้นลงกว่าเดิมและเกิดช่องว่างขึ้นเมื่อ α คือ ช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างการพันขดลวด ทั้ง 2 แบบ และข้อดีของการพันขดลวดอาร์มาเจอร์แบบพิชเศษส่วนเป็นการทำให้ประหยัดลวดทองแดงได้และผลที่ตามมาคืออินดักแตนซ์ของขดลวดแต่ละเฟสลดลง เนื่องจากมิวจวลอินดักแตนซ์ระหว่างคอยล์น้อยอีกทั้งยังทำให้เวฟฟอร์มของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำดูดีขึ้นเป็นการลดฮาร์โมนิคส์

2.4 วงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit) คือ วงจรไฟฟ้าที่สามารถแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้กลายเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งใช้ไดโอด (Diode) ที่มีคุณสมบัติยอมทำให้ไฟฟ้าไหลผ่านไปในทิศทางเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) คือ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ ซึ่งสามารถปรับแรงดันและความถี่ได้ แรงดันขาออกสามารถปรับให้คงที่หรือตั้งค่าตามต้องการที่ความถี่ใดความถี่หนึ่งโดยในที่นี้จะใช้ **อินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เต็มคลื่น** (Full Bridge Inverter) ซึ่งจะมีวงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ครึ่งคลื่น 2 วงจร เพื่อที่จะทำให้สามารถใช้งานกับพิกัดสูงๆได้ แรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่ามากกว่าอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ครึ่งคลื่นถึง 2 เท่า

3. การออกแบบ

3.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต้องการออกแบบ - เครื่องกำเนิดไฟฟ้าความเร็วรอบต่ำ 300 รอบต่อนาที - แรงดันและกำลังไฟฟ้าขาออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขนาด 500 VA 24 V

รูปที่ 3.1 แบบโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3.2 การคำนวณหาขนาดพื้นที่หน้าตัดของทองแดง

ในการคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดในโครงงานวิศวกรรมนี้จะกำหนดให้มีค่าความหนาแน่นของกระแสมีค่าเท่ากับ 4 A และมีจำนวนขดลวดทั้งหมด 10 ขด และคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของทองแดงตามสมการ

$$A = \frac{I}{J} \qquad (3.1)$$

เมื่อ J คือ ค่าความหนาแน่นของกระแส (A/mm^2)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของทองแดง (mm^2)

I คือ กระแสไฟฟ้าขาออกขดลวดทองแดง (A)

ในขดลวดทองแดงมาตรฐาน S.W.G นั้น ไม่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดขนาด 1.33 ตารางมิลลิเมตร จึงเลือกขดลวดเบอร์ 17 ซึ่งมีขนาดพื้นที่หน้าตัด 1.54 ตารางมิลลิเมตร และทนกระแสสูงสุดได้ 5.29 แอมป์

3.4 การคำนวณหาจำนวนรอบการพันของขดลวด

สามารถคำนวณค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้จากสมการที่ 3.2 ซึ่งเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขณะที่ยังไม่ได้จ่ายพลังงานให้แก่ภาระทางไฟฟ้า

$$E = Blu \qquad (3.2)$$

เมื่อ E คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (V)

B คือ ค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (T)

u คือ ความเร็วรอบการหมุน (rpm)

l คือ ความยาวลวดที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก (m)

เพื่อทำการหาจำนวนรอบของขดลวดจึงทำการเขียนสมการขึ้นใหม่และกำหนดค่าให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเท่ากับ 12 โวลต์ ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กเท่ากับ 0.323 เทสลา และความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที แทนค่าหาความยาวลวดที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก

$$l = \frac{12}{(0.323)(\frac{300}{60})}$$

$$l = 7.43 \text{ m}$$

ดังนั้นเมื่อพันขดลวดที่มีแกนพันหนา 14 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ความยาว 7.43 เมตรจะต้องพันขดลวดจำนวน 90 รอบ

3.3.4 การคำนวณหาความต้านทานของขดลวด

การคำนวณหาความต้านทานของขดลวดนั้นจำเป็นที่จะต้องรู้ความยาวทั้งหมดของลวดทองแดงนั้นก่อนแล้วนำค่าความยาวที่ได้ไปเทียบกับตารางลวดทองแดงมาตรฐานเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับความยาวลวด ในการคำนวณหาความยาวของลวดทองแดงในขดลวดนั้นสามารถทำได้โดยคำนวณจากสมการ (3.3) และ (3.4) เมื่อความหนาแน่นของลวดทองแดงเท่ากับ 8,900 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และหามวลจากการชั่งน้ำหนักขดลวด โดยความยาวของขดลวดจากที่คำนวณจะมีค่าเท่ากับ 23.976 เมตร นำค่าที่ได้ไปคูณกับค่าความต้านทานของลวดทองแดงเบอร์ 17 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10.45 โอห์มต่อกิโลเมตร หรือ 0.01045 โอห์มต่อเมตร

$$R = l \times 0.01045 \qquad (3.3)$$

เมื่อ R คือ ความต้านทานของขดลวด (Ω)

l คือ ความยาวทั้งหมดของลวดทองแดง (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R = 17.15 \times 0.01045$$

$$R = 0.18\ \Omega$$

3.3.5 การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด

ค่าความเหนี่ยวนำมีหน่วยเป็นเฮนรี่ (H) 1 เฮนรี่ คือ การเปลี่ยนแปลงของกระแสหนึ่งแอมป์ในหนึ่งวินาที ซึ่งทำให้เกิดแรงดันหนึ่งโวลต์ ค่าความเหนี่ยวนำจะมีค่ามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับ จำนวนรอบ วัสดุที่นำมาทำแกน พื้นที่หน้าตัดของแกน และความยาวของแกน ซึ่งนำมาเขียนความสัมพันธ์ของค่าความเหนี่ยวนำได้เป็นสมการ ดังนี้

$$L = \frac{\mu n^2 A}{d} \qquad (3.4)$$

เมื่อ L คือ ค่าความเหนี่ยวนำ (H)

μ คือ ค่าความซึมซาบของวัสดุ

n คือ จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนอากาศ (m^2)

d คือ ความยาวของแกนที่พันขดลวด (m^2)

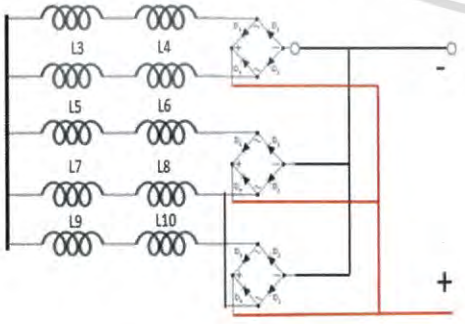
ในโครงงานวิศวกรรมนี้จะใช้เป็นแกนอากาศซึ่งมีค่าความซึมซาบเท่ากับ $4\pi \times 10^{-7}$

$$L = \frac{1.26 \times 10^{-6}(90^2)(12.9 \times 10^{-4})}{1.4 \times 10^{-2}}$$

$$L = 0.940\,\text{mH}$$

3.3.7 การต่อวงจรของขดลวด

การต่อวงจรนั้นจะนำขดลวดมาเชื่อมเข้าด้วยกันทั้ง 10 ขดโดยนำขดลวดมาต่ออนุกรมกัน 2 ขด จำนวน 5 ชุด



รูปที่ 3.2 ไดอะแกรมการต่อวงจร

3.4 ส่วนที่เคลื่อนที่หรือโรเตอร์

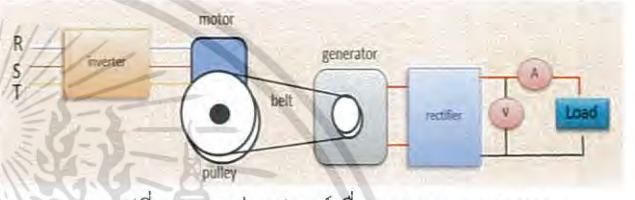
3.4.1 การหาพื้นที่หน้าตัดของแม่เหล็ก

ในการเลือกขนาดของแม่เหล็กนั้นสามารถอ้างอิงได้จากขนาดของขดลวด โดยที่ความยาว จะมีค่าเท่ากับความยาวของขดลวดและความกว้างมีค่าเท่ากับความกว้างของขดลวดเช่นกัน

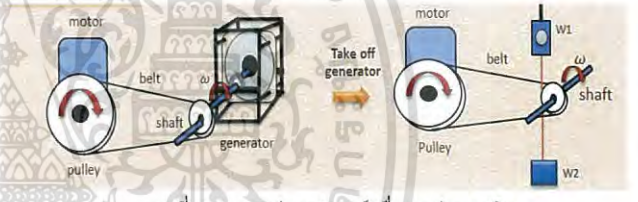
4. การทดสอบและการวิเคราะห์

4.1 การทดสอบเพื่อวัดพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

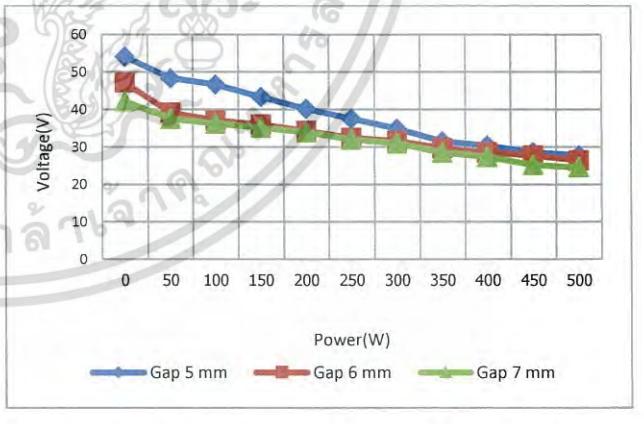
การทดสอบวัดพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นทำเพื่อระบุพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในขณะที่ทำงานอยู่ ทั้งตอนที่มีภาระทางไฟฟ้าและไม่มีภาระทางไฟฟ้า



รูปที่ 4.1 การต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบการแสดงผล



รูปที่ 4.2 การต่ออุปกรณ์เพื่อหาค่าแรงบิด



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกำลังไฟฟ้าที่ความเร็ว 300 rpm เปรียบเทียบที่ช่องว่างอากาศระยะต่าง ๆ

ในการทดสอบพิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโครงงานวิศวกรรมนี้ได้กำหนดความเร็วการหมุนของโรเตอร์ไว้ โดยความเร็วการหมุนที่สามารถหมุนได้ในการนำไปใช้จริงอยู่ที่ประมาณ 300 รอบต่อนาที และที่ระยะช่องว่างอากาศ 5 มิลลิเมตร ซึ่งได้พิกัดสูงสุด มีพิกัดแรงดันอยู่ที่ 30.00 V กระแส 13.33 A ที่กำลังไฟฟ้า 500 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกนนี้ได้นำมอเตอร์มาเป็นต้นกำลังในการขับให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้ลูกรอกและสายพาน เมื่อได้ทำการติดตั้งลูกรอกและสายพานเรียบร้อยแล้ว จะทำการกำหนดความเร็วของมอเตอร์โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ผ่านอินเวอร์เตอร์และปรับความถี่เพื่อให้ได้ความเร็วที่ต้องการ จากนั้นทำการติดตั้งอุปกรณ์ตามรูปแบบของการทดสอบ

5. สรุปการทดสอบ

5.1 ทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า

ในการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้านั้นจะทดสอบระยะช่องว่างอากาศทั้งหมด 3 ระยะด้วยกัน คือ 5 , 6 และ 7 มิลลิเมตร โดยในตอนแรกยังไม่ทำการแปลงแรงดันจะพบว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขาออกแต่ละเฟสมีค่าใกล้เคียงกันที่ความเร็วเดียวกัน และเมื่อผ่านวงจรเรียงกระแสพบว่าในระยะช่องว่างอากาศ 5 มิลลิเมตร เมื่อทำการปรับความถี่สูงสุดและได้ความเร็วรอบ 300 rpm แรงดันที่ได้สูงสุดคือ 61.4 V จึงเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะมีค่าประมาณเท่ากับค่าเฉลี่ยของแรงดันกระแสสลับ

5.2 ทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะมีภาระทางไฟฟ้า

ในการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะมีภาระทางไฟฟ้าเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งขาเข้าและขาออก เมื่อกำหนดให้ระยะช่องว่างอากาศนั้นมีค่า 5 , 6 และ 7 มิลลิเมตร โดยทำการเพิ่มภาระทางไฟฟ้าให้กับระบบขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่ 50 จนถึง 500 W ในระยะช่องว่างอากาศ 5 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 300 rpm แรงดันที่ได้ 24.56 V เมื่อเพิ่มภาระทางไฟฟ้าให้กับระบบ แรงดันไฟฟ้าจะลดลงในขณะที่กระแสนั้นเพิ่มขึ้น

6.เอกสารอ้างอิง

[1] สุนทร ชูกรณ์. (2558). **เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามแกนหมุนของกังหันน้ำผลิตกระแสไฟฟ้า**.ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

[2] ฉันทนา สาลวัน. (2551). **กฎของฟาราเดย์**. เข้าถึงได้จาก : https://www.scribd.com/doc/6763267/บทที่-6-กฎของฟาราเดย์ (21 พฤศจิกายน 2560)

[3] วิชิต เครือสุข. (2553). **เทคโนโลยีการผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้า**. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.)

[4] **เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ**. เข้าถึงได้จาก : http://www.retc.ac.th/v3/kru_pitoon/3/1/3.do (1 ธันวาคม 2560)

[5] Potential Field Methods. (2556). เข้าถึงได้จาก : http: / / palungjit. org/ attachments/ magnetic-pdf.2708860/ (1 ธันวาคม 2560)

[6] **ทฤษฎีแม่เหล็ก**. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : http://elec.chandra.ac.th/courses/ELEC2101/termwork/magnetic/timesaving1.html (2 ธันวาคม 2560)

[7] วีระเชษฐ์ ขันเงิน และคณะ. (2552) **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง** คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

7. ประวัติผู้จัดทำปริญญานิพนธ์

นายธนาพล ทัดสวน
23 กรกฎาคม 2539
49 ต.ท่าไม้ อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี 71120
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนศรีสวัสดิ์พิทยาคม

นางสาวศธัญชล สมธนกิจ
1 เมษายน 2539
91/87 ต.บางรักพัฒนา อ.บางบัวทอง จ.นนทบุรี 11110
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสันติราษฎร์วิทยาลัย

นายศุภวิชญ์ แก้วมหา
9 ธันวาคม 2538
205/2 ถนนสุขุมวิท ต.วังกระแจะ อ.เมือง จ.ตราด 23000
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาโรงเรียนตราดสรรเสริญวิทยาคม

นายอลงกต ธิต๊ะยา
16 กรกฎาคม 2538
232 หมู่ 10 ต.เวียง อ.เชียงคำ จ.พะเยา 56110
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเชียงคำวิทยาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำปริญญานิพนธ์

นายธนาพล ทัดสวน

23 กรกฎาคม 2539

49 หมู่ 10 ต.ท่าไม้ อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี 71120

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนศรีสวัสดิ์พิทยาคม

E-mail : best_9497@hotmail.com

นางสาวศธัญชล สมธนกิจ

1 เมษายน 2539

91/87 ต.บางรักพัฒนา อ.บางบัวทอง จ.นนทบุรี 11110

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนสันติราษฎร์วิทยาลัย

E-mail : mauyza2539@hotmail.com

นายศุภวิชญ์ แก้วมหา

9 ธันวาคม 2538

205/2 หมู่ 2 ถนนสุขุมวิท ต.วังกระแจะ อ.เมือง จ.ตราด 23000

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนตราดสรรเสริวิทยาคม

E-mail : cee0078@hotmail.com

นายอลงกต ธิต๊ะยา

16 กรกฎาคม 2538

232 หมู่ 10 ต.เวียง อ.เชียงคำ จ.พะเยา 56110

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนเชียงคำวิทยาคม

E-mail : alongkot856@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้