ปัจจัยของความเร็วเชิงมุมสัมพัทธ์ที่ส่งผลต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบกรงกระรอก

วิทยานิพนธ์

ของ

กานต์ เพ็ชร์ไทย

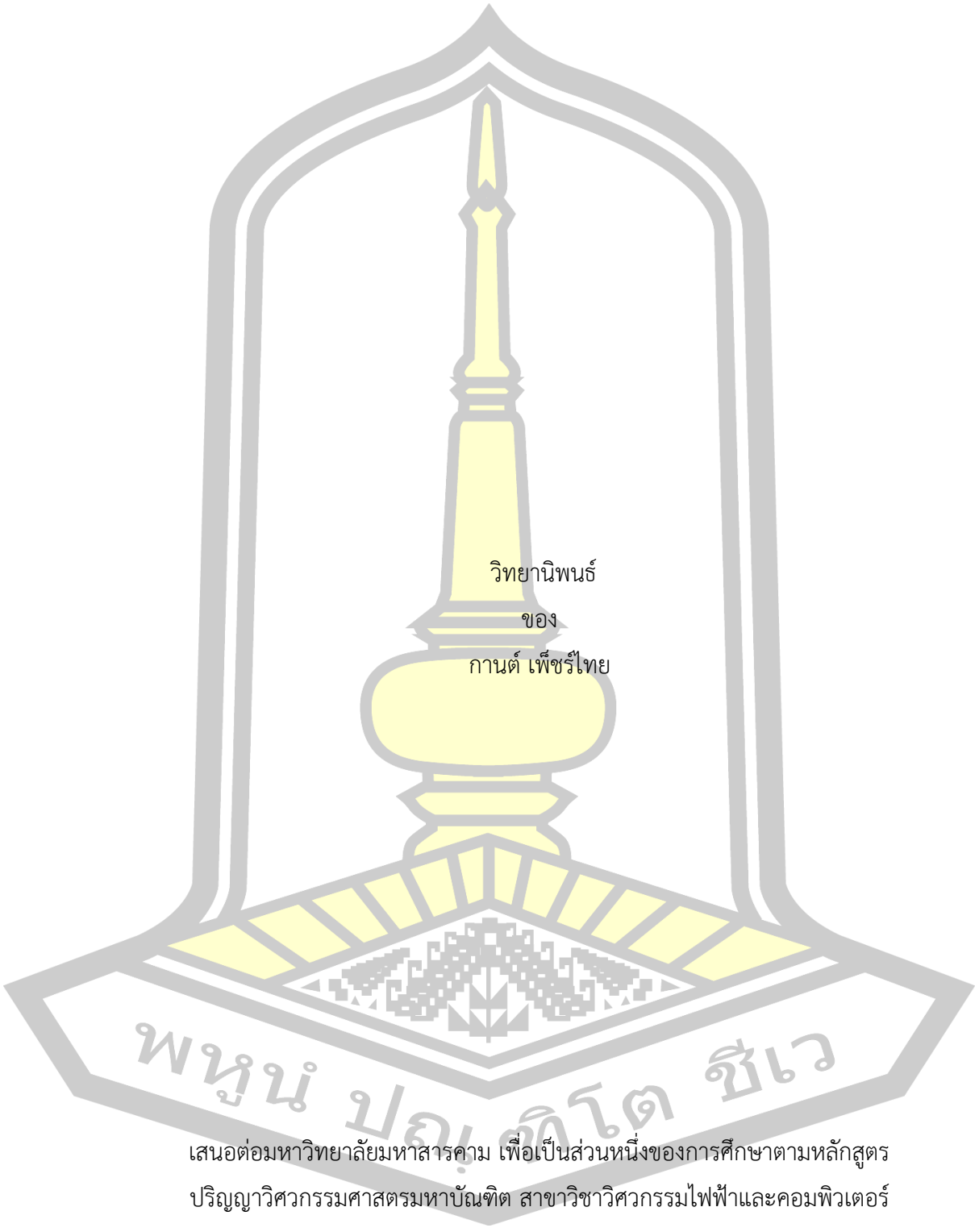
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

เมษายน 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ปัจจัยของความเร็วเชิงมุมสัมพัทธ์ที่ส่งผลต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบกรงกระรอก



วิทยานิพนธ์

ของ

กานต์ เพ็ชร์ไทย

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

เมษายน 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

The Relative Angular-Velocity Factor Affecting Squirrel-Cage AC Generator

Kan Phetthai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)

April 2020

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายกานต์ เพ็ชร์ไทย แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผศ. ดร. อนันต์ เครือทรัพย์ถาวร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รศ. ดร. วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. ณัฐวุฒิ สุวรรณทา)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. นิวัตร์ อังควิศิษฐพันธ์)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง ปัจจัยของความเร็วเชิงมุมสัมพัทธ์ที่ส่งผลต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบกรงกระรอก

ผู้วิจัย กานต์ เพ็ชร์ไทย

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2563

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อ 1) ศึกษาการหมุนแบบสัมพัทธ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 2) ศึกษาความเร็วรอบของขดลวดและความเร็วรอบของแม่เหล็กถาวรที่มีความสัมพันธ์กับระดับแรงดันของของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ และ 3) สร้างสมการพยากรณ์ระดับแรงดันของของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ โดยการใช้อัลเทอร์เนเตอร์จักรยานยนต์ 12 โวลต์ แบบ 6 ขั้ว การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ผลการวิจัยพบว่า 1) ความเร็วรอบสัมพันธ์ต่ำสุด 376 รอบ/นาที สามารถผลิตแรงดันสูงสุด 3.25 โวลต์ ขณะที่ความเร็วรอบสัมพันธ์สูงสุด 2280 รอบ/นาที สามารถผลิตแรงดันสูงสุด 22.98 โวลต์ 2) ความเร็วรอบของแม่เหล็กถาวรมีความสัมพันธ์กับระดับแรงดันมากกว่าความเร็วรอบของขดลวด ที่ระดับนัยสำคัญ .01 และ 3) สมการพยากรณ์แสดงในรูปคะแนนมาตรฐาน ดังนี้

ระดับแรงดัน = 0.806 (ความเร็วรอบของแม่เหล็กถาวร) + 0.634 (ความเร็วรอบของขดลวด)

คำสำคัญ : การหมุนแบบสัมพัทธ์, ความเร็วรอบสัมพัทธ์, เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ, สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน, การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

TITLE The Relative Angular-Velocity Factor Affecting Squirrel-Cage AC Generator

AUTHOR Kan Phetthai

ADVISORS Associate Professor Worawat Sa-Ngiamvibool , Ph.D.

DEGREE Master of Engineering **MAJOR** Electrical and Computer Engineering

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2020

ABSTRACT

The purposes of the research were; 1) to study the relative rotation of AC-generator 2) to study the angular velocities of magnetic coil and permanent magnetic influence generating voltage of AC-generator, and 3) to construct predictive equations of generating voltage of AC-generator. By the 12-V 6-pole alternator of motorcycle, Pearson's correlation and regression analysis, the findings revealed that: 1) At the lowest relative angular velocity of 376 rpm, the generating voltage is 3.28 V. While the highest relative angular velocity of 2280 rpm, the generating voltage is 22.98 V. 2) The angular velocity of permanent magnetic has great influences on generating voltage than the angular velocities of magnetic coil, at the .01 level of significant and 3) function as below :

Generating voltage = 0.806 (Velocity of permanent magnetic) + 0.634 (Velocity of magnetic coil)

Keyword : Relative rotation, Relative angular velocity, AC-Generator, Pearson's correlation, Regression analysis

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากบุคคลหลายท่านได้กรุณาช่วยเหลือให้ข้อเสนอแนะ คำปรึกษา แนะนำ และกำลังใจแก่ผู้เขียน

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูลอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ เครือทรัพย์ถาวร ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ สุวรรณทา กรรมการสอบ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.นิวัตร์ อังควิศิษฐพันธ์ กรรมการสอบ

ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาปริญญาโท และปริญญาเอกผู้เป็นกำลังใจทุกท่าน ที่คอยสนับสนุนส่งเสริมเสมอมา

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของผู้เขียน ที่ได้ช่วยส่งเสริมสนับสนุนกระตุ้นเตือน และเป็นกำลังใจตลอดมา

กานต์ เพ็ชร์ไทย

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 สมมุติฐานการวิจัย 3

1.4 ขอบเขตการวิจัย 3

บทที่ 2 ปริทัศน์เอกสารข้อมูล 4

2.1 แม่เหล็กเบื้องต้น 4

2.2 หลักการของแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetism) 7

2.3 การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า 8

2.4 กฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) 11

2.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 12

2.6 การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด 14

2.7 สมการของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 19

2.8 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 27

2.9 ความเร็วเชิงมุมสัมพัทธ์ 27

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 29
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 33
3.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกรงกระรอก 33
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 33
3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล 33
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล 33
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 34
บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผล 44
บรรณานุกรม 45
ประวัติผู้เขียน 48

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 ความเร็วรอบขดลวด ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร ความเร็วรอบสัมพัทธ์ และแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 35

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบขดลวด ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร และระดับแรงดัน 42

ตารางที่ 4.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (R) และสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R^2) 42

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของตัวพยากรณ์มาตรฐาน (beta) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (SE_h) 43

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 2.1 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ (ก) เหล็กธรรมดา และ (ข) แม่เหล็ก 4
ภาพประกอบ 2.2 ขั้วเหล็กตามทิศในทางภูมิศาสตร์ 5
ภาพประกอบ 2.3 ทิศทางของสนามแม่เหล็ก 5
ภาพประกอบ 2.4 การแพร่กระจายของสนามแม่เหล็ก 6
ภาพประกอบ 2.5 แม่เหล็กธรรมชาติ (Natural Permanent Magnet) 6
ภาพประกอบ 2.6 สนามแม่เหล็กซึ่งเกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำ 7
ภาพประกอบ 2.7 การทดลองเพื่อตรวจสอบเส้นแรงแม่เหล็ก 7
ภาพประกอบ 2.8 ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก 8
ภาพประกอบ 2.9 ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กตามกฎมือขวา 8
ภาพประกอบ 2.10 การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า 9
ภาพประกอบ 2.11 การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก 9
ภาพประกอบ 2.12 ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก 10
ภาพประกอบ 2.13 การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของฟาราเดย์ข้อที่ 1 11
ภาพประกอบ 2.14 การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของฟาราเดย์ข้อที่ 2 11
ภาพประกอบ 2.15 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 12
ภาพประกอบ 2.16 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดขดลวดหมุน 13
ภาพประกอบ 2.17 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับชนิดขั้วแม่เหล็กหมุนแบบขั้วยื่น 13
ภาพประกอบ 2.18 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขั้วแม่เหล็กหมุนแบบขั้วเรียบ 14
ภาพประกอบ 2.19 การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากตัวนำหมุนตัดสนามแม่เหล็ก 14
ภาพประกอบ 2.20 การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็กหมุนตัดตัวนำ 15
ภาพประกอบ 2.21 การเกิดรูปคลื่นไซน์ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 15

ภาพประกอบ 2.22 การเกิดรูปคลื่นไซน์ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 2 เฟส 16
ภาพประกอบ 2.23 การเกิดรูปคลื่นไซน์ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 16
ภาพประกอบ 2.24 เวกเตอร์ไดอะแกมของแรงเคลื่อนไฟฟ้า 3 เฟส 17
ภาพประกอบ 2.25 การพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบพิตช์เต็มและแบบพิตช์สั้น 20
ภาพประกอบ 2.26 ผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าวิธีเลขคณิต 20
ภาพประกอบ 2.27 ผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าวิธีเวกเตอร์ 21
ภาพประกอบ 2.28 ระยะพันขดลวด 21
ภาพประกอบ 2.29 ผลรวมทางเลขคณิตของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 23
ภาพประกอบ 2.30 ผลรวมทางเวกเตอร์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 23
ภาพประกอบ 2.31 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 27
ภาพประกอบ 2.32 การเคลื่อนที่ในแบบวงกลม 27
ภาพประกอบ 4.1 ระดับแรงดันเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรและความเร็วรอบของขดลวดที่ 0 RPM 37
ภาพประกอบ 4.2 ระดับแรงดันเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบขดลวดและความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรเป็น 0 RPM 38
ภาพประกอบ 4.3 ระดับแรงดันเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรและความเร็วรอบขดลวดสูงสุด 1420 RPM 39
ภาพประกอบ 4.4 ระดับแรงดันเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบขดลวดและความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร 1440 RPM 40
ภาพประกอบ 4.5 ระดับแรงดันเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบสัมพัทธ์ 41

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและปัญหา

สถานการณ์การใช้พลังงานทดแทนเพื่อผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยในปัจจุบันมีแนวโน้มการใช้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยพลังงานทดแทนต่างๆ ถือเป็นทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในการผลิตกระแสไฟฟ้า พลังงานทดแทน (alternative energy) เป็นพลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงและก๊าซธรรมชาติ สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้มาออกเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไปเรียกว่า พลังงานสิ้นเปลือง (nonrenewable energy) ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ แล้ว สามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีกเรียกว่า พลังงานหมุนเวียน (renewable energy) ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น พลังงานทดแทน ประเภทที่ 2 เป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ใน(มณฑาสินี หอมหวาน, 2557) ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้ากว่าร้อยละ 90 ใช้พลังงานจากฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งนับวันมีแต่จะลดปริมาณลงเรื่อยๆ และราคาที่มีความผันผวนไม่แน่นอนตามสภาพเศรษฐกิจโลก และถือเป็นตัวการหนึ่งของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์จำนวนมหาศาลซึ่งเป็น สาเหตุของสภาวะโลกร้อน พลังงานทดแทนที่สำคัญ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ, พลังงานลม, พลังงานจากความร้อนใต้พิภพ, พลังงานคลื่น, เชื้อเพลิงชีวภาพ, พลังงานชีวมวล, พลังงานจากขยะ เหล่านี้ล้วนเป็นพลังงานทางเลือกที่สะอาดและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้พลังงานทดแทนดังกล่าวบางชนิดยังถือเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกด้วย จากสถิติของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน รายงานว่าในช่วง 11 เดือนของปี 2556 ประเทศไทยมีการนำเข้าพลังงาน คิดเป็นมูลค่ากว่า 1,190 พันล้านบาท โดยมีการนำเข้าน้ำมันดิบมากที่สุด ทั้งนี้ ราคาน้ำมันดิบดูไบเฉลี่ยในตลาดโลกอยู่ที่ 105.4 เหรียญสหรัฐ/บาร์เรล และมีการใช้พลังงาน ปริมาณ 68,935 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อนร้อยละ 2.8 คิดเป็นมูลค่ากว่า 1,698 พันล้านบาท และมีการใช้พลังงานทดแทน 7,495 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 14.2จากช่วงเดียวกันของปีก่อน การใช้เชื้อเพลิง ในการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด ถ่านหิน/ลิกไนต์ ร้อยละ 20.7 น้ำมันเตา และน้ำมันดีเซลร้อยละ 2.9 ที่เหลือเป็นพลังงานหมุนเวียนและพลังงานทดแทน คิดเป็นสัดส่วน ร้อยละ 3.9 โดยการใช้พลังงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกสาขาเศรษฐกิจ เช่น ภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม ที่อยู่อาศัย ธุรกิจการค้าและขนส่งเพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อน ร้อยละ 3.6 3.6 2.7 3.3 และ 1.7 ตามลำดับ ซึ่งภาคอุตสาหกรรมเป็นภาคที่มีการใช้พลังงานในสัดส่วนที่สูงกว่าภาคอื่นๆ โดยมีสัดส่วนการใช้ร้อยละ 37.0 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมด รองลงมาเป็นภาคการขนส่ง ที่อยู่อาศัย ธุรกิจการค้า และเกษตรกรรม โดยมีการใช้ ร้อยละ 35.4 15.1 7.3 และ 5.2 ตามลำดับ และการขยายตัวของภาคธุรกิจการผลิตพลังงานทดแทนซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษและส่งผลดีต่อสภาพแวดล้อมของโลกตลอดจนลดปัจจัยการเกิดภาวะโลกร้อนอันส่งผลกระทบรุนแรงอย่างกว้างขวางใน ปัจจุบัน ทั้งยัง

สามารถลดต้นทุนการผลิตในด้านเศรษฐกิจสาขาต่างๆ ได้ นับว่าส่งผลดีต่อประเทศอย่างมหาศาล นอกจากนี้พลังงานทางเลือกยังทำให้ประเทศเราไม่ผูกขาดกับแหล่งพลังงานใดพลังงานหนึ่งเพียงแหล่งเดียว เป็นโอกาสดีที่ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในแต่ละภาคส่วนจะได้มีโอกาส พัฒนา ค้นคว้าและค้นหาแหล่งพลังงานทดแทนอื่นๆ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ ชีวมวล ฯลฯ หรือจากช่องทางอื่นได้มากขึ้น ตลอดจนผลักดันให้พลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทน เป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาศักยภาพของประเทศแบบยั่งยืนต่อไป (กษิดิส เสนะวงศ์, 2557)

แสดงให้เห็นว่าการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสภาพแวดล้อมและเศรษฐกิจของประเทศ เห็นได้จากนักวิจัยหลายท่านได้นำเสนอการนำพลังงานทดแทน ไม่ว่าจะเป็นนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับการพัฒนาจนถึงขั้นนำมาใช้งานได้จริง แต่อย่างไรก็ตาม การนำอุปกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์เหล่านี้มาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องทราบศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของบริเวณที่จะใช้งานด้วย โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่ง จะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น (มณฑาสินี หอมหวาน,2557) ซึ่งค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างนั้นยังมีราคาที่สูง แต่ยังมีพลังงานหมุนเวียนอีกไม่ว่าจะเป็น พลังงานลม และพลังงานน้ำ ซึ่งต้นทุนในการก่อสร้างนั้นมีราคาไม่สูงนัก แต่อย่างไรก็ตามการใช้พลังงานลม และพลังงานน้ำเพื่อนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยที่ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ก็ขึ้นอยู่กับพลังงานของลม คือความเร็วของลม และพลังงานน้ำก็คือความเร็วของการไหล และปริมาณของน้ำ ทำให้นักวิจัยหลายๆ ท่านได้ทำการวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าที่พลังงานลม และพลังน้ำปริมาณไม่สูงนักได้ ไม่ว่าจะเป็น จักรกฤษณ์ จันทรศิริ (2553) ได้ทำการศึกษา ออกแบบและพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมที่ใช้กับความเร็วของลมที่ไม่เกิน 3.5 เมตรต่อวินาที สำหรับงานวิจัยของธานินทร์ เหลืองศิริ (2552) ได้ทำการศึกษา พัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่ใช้ระบบแรงขับจากลม ธรรมชาติความเร็วลมต่ำ ที่มีความเร็วลมในการผลิตไฟฟ้าไม่เกิน 6 เมตรต่อวินาที และงานวิจัยของประเทือง ฝั้นแก้ว (2550) ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กที่ใช้กังหันแบบคาปลาน สำหรับงานวิจัยในต่างประเทศนั้นได้มีงานวิจัยของ Järvik, J., Kesküla, V. and Kilk, A. (2006) และ Kilk, A. (2007) ได้ทำการศึกษาเครื่องกำนิดไฟฟ้าชิงโครนัส แบบแม่เหล็กถาวร ความเร็วรอบต่ำสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม

จากที่กล่าวมานั้นทำให้เกิดข้อสังเกตได้ว่าพลังงานลม และพลังงานน้ำที่เป็นพลังงานหมุนเวียน สำหรับนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้านั้น จะมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สนใจที่จะศึกษาปัจจัยของความเร็วเชิงมุมสัมพัทธ์ที่ส่งผลต่อเครื่องกำนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบกรงกระรอก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าและเป็นข้อมูลในการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบกรงกระรอกแบบความเร็วเชิงมุมสัมพัทธ์

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาเครื่องกำนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบกรงกระรอกโดยใช้แม่เหล็กถาวร ความเร็วเชิงมุมและความเร็วเชิงมุมสัมพัทธ์

1.2.2 สร้างเครื่องกำนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบกรงกระรอกโดยใช้แม่เหล็กถาวร 16 ขั้ว และทดสอบหาค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า

1.2.3 เพื่อศึกษาความเร็วเชิงมุมสัมพัทธ์ที่ส่งผลต่อเครื่องกำนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 16 ขั้วแม่เหล็กถาวร แบบกรงกระรอก

1.3 สมมุติฐานการวิจัย

ความเร็วเชิงมุมสัมพัทธ์ของเครื่องกำนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 16 ขั้วแม่เหล็กถาวร แบบกรงกระรอก ส่งผลต่อแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 เครื่องกำนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 16 ขั้วแม่เหล็กถาวร แบบกรงกระรอก ที่สามารถเคลื่อนที่ได้หรือหมุนได้ทั้งชุดสร้างสนามแม่เหล็กด้วยแม่เหล็กถาวรและชุดขดลวดอาเมเจอร์ โดยกระแสไฟฟ้าถูกส่งผ่านชุดส่งผ่านกระแสไฟฟ้า (Commutator) ที่ติดตั้งภายนอก

1.4.2 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ ความเร็ว ความเร็วเชิงมุมสัมพัทธ์ แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า

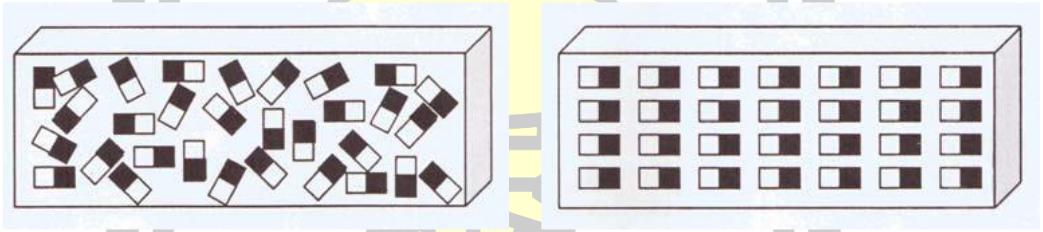
พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

บทที่ 2
ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยของความเร็วเชิงมุมสัมพัทธ์ที่ส่งผลต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบกรงกระรอก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าและเป็นข้อมูลในการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบกรงกระรอกแบบความเร็วเชิงมุมสัมพัทธ์ดังนั้น ผู้วิจัยได้รวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ 1.แม่เหล็กเบื้องต้น 2.หลักการของแม่เหล็กไฟฟ้า 3.การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า 4. กฎของฟาราเดย์ 5.เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 6.การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด 7.สมการของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 8.วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 9.ความเร็วเชิงมุมสัมพัทธ์ และ 10.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แม่เหล็กเบื้องต้น

แม่เหล็ก (Magnet) คือ เหล็กที่มีคุณสมบัติพิเศษ สามารถดึงดูดวัตถุธาตุบางชนิดได้ เช่น เหล็ก โครเมียมแมงกานีส นิกเกิล ฯลฯ ซึ่งโครงสร้างโมเลกุลของแม่เหล็ก เรียกว่าโดเมนแม่เหล็ก (magnetic domain) จะต่างจากเหล็กธรรมดา คือ ในเหล็กธรรมดาโดเมนเหล็ก จะเรียงตัวกันไม่เป็นระเบียบชี้ไปทุกทิศทุกทาง แต่ของแม่เหล็ก จะเรียงตัวกันเป็นระเบียบ ยิ่งมีการเรียงตัวกันเป็นระเบียบมาก อำนาจในการดึงดูดก็จะมากด้วย

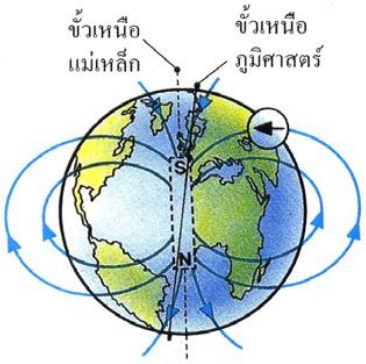


(ก) (ข)

ภาพประกอบ 2.1 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ (ก) เหล็กธรรมดา และ (ข) แม่เหล็ก

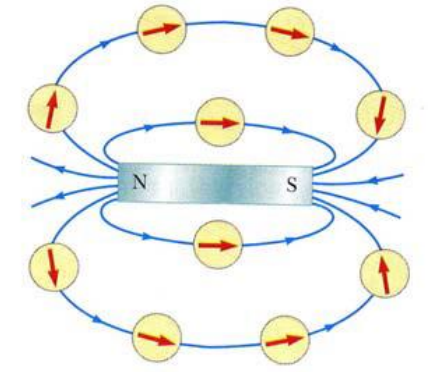
2.1.1 ขั้วของแม่เหล็ก (Magnet Pole)

แม่เหล็กได้ถูกกำหนดทิศทางของคุณสมบัติเป็นขั้วแม่เหล็กตามการวางตัวของขั้วแม่เหล็กตามทิศในทางภูมิศาสตร์ นั่นคือ มี 2 ขั้ว ขั้วเหนือ (North Pole) นิยมเขียนย่อ ๆ ด้วย N และ ขั้วใต้ (South Pole) นิยมเขียนย่อ ๆ ด้วย S



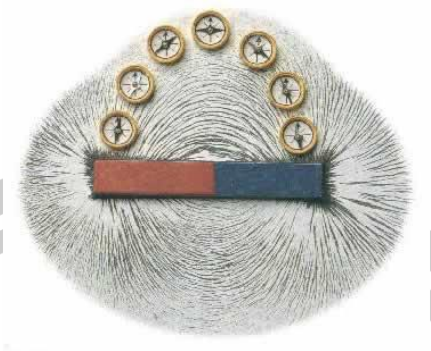
ภาพประกอบ 2.2 ขั้วเหล็กตามทิศในทางภูมิศาสตร์

ในระหว่างขั้วของแม่เหล็กทั้งสองจะส่งแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดอำนาจแผ่กระจายออกโดยรอบเรียกว่า “อำนาจแม่เหล็ก” หรือ “สนามแม่เหล็ก” อำนาจแม่เหล็กภายในจะส่งแรงดึงดูดจากขั้วใต้ไปยังขั้วเหนือ และอำนาจแม่เหล็กที่อยู่ภายนอกแท่งแม่เหล็กจะส่งแรงดึงดูดจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้อำนาจแม่เหล็กที่ส่งแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน จะมีความหนาแน่นมากที่สุดที่บริเวณปลายของขั้ว แม่เหล็กทั้งสองด้าน แต่ถ้านำเอาแท่งแม่เหล็ก 2 แท่งหันขั้วที่เหมือนกันเข้าหากัน แม่เหล็กทั้งสองก็จะผลักดันออกจากกันแต่ถ้าหันขั้วที่ต่างกันเข้ากันแม่เหล็กทั้งสองก็จะดึงดูดเข้าหากัน แม้เราจะแบ่งแท่งแม่เหล็กลงเป็นส่วนเล็กๆได้ แต่ ในแต่ละส่วนยังคงมีทั้งขั้วเหนือและขั้วใต้เสมอ โลกเราได้ว่าถือว่าเป็นแม่เหล็กด้วยโดยขั้วขั้วโลกเหนือเป็นแม่เหล็กขั้วใต้ และขั้วโลกใต้มีแม่เหล็กขั้วเหนืออยู่



ภาพประกอบ 2.3 ทิศทางของสนามแม่เหล็ก

อำนาจแม่เหล็กจะผ่านวัสดุได้ทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นวัสดุตัวนำหรือฉนวนการแพร่กระจายของสนามแม่เหล็กออกไปเป็นบริเวณโดยรอบเราเรียกว่า สนามแม่เหล็ก การแพร่กระจายจะกว้างหรือแคบ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของสนานแม่เหล็ก สามารถทดสอบได้โดยการใช้กระดาษวางลงบนแท่งแม่เหล็ก แล้วโรยผงเหล็กลงบนแผ่นกระดาษ ผงเหล็กก็จะเกาะอยู่ตามบริเวณสนามแม่เหล็กที่แพร่กระจายออกมา ส่วนไหนที่มีสนามแม่เหล็กมากผงเหล็กก็จะเกาะอยู่มาก ถ้าส่วนไหนสนามแม่เหล็กน้อย ผงเหล็กก็จะเกาะอยู่น้อย

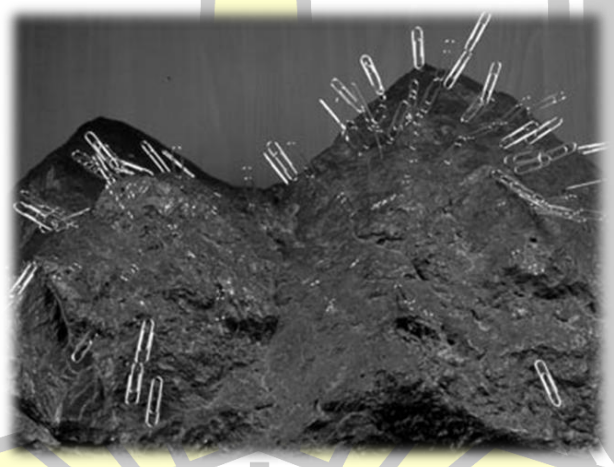


ภาพประกอบ 2.4 การแพร่กระจายของสนามแม่เหล็ก

2.1.2 ประเภทของแม่เหล็ก

แม่เหล็กแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

2.1.2.1 แม่เหล็กธรรมชาติ (Natural Permanent Magnet) เป็นแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยคุณสมบัติของตัวเอง เกิดขึ้นได้บริเวณแถบ ขั้วโลกเหนือ และ ขั้วโลกใต้ มีประโยชน์ต่อมนุษย์ในการกำหนดทิศทางของการเดินทางทั้งทางอากาศ และ ทางทะเล



ภาพประกอบ 2.5 แม่เหล็กธรรมชาติ (Natural Permanent Magnet)

(ที่มา: http://www.oneworld.org/itdg)

2.1.2.2 แม่เหล็กประดิษฐ์ เป็นแม่เหล็กที่ถูกมนุษย์สร้างขึ้นมาเพื่อนำไปใช้งานในหน้าที่ตางๆ มีทั้งชนิดที่ทำขึ้นโดยการนำเอาเหล็กธรรมดาไปถูกับแม่เหล็ก เพื่อให้เหล็กธรรมดานั้นมีอำนาจแม่เหล็กขึ้นมา หรือแม่เหล็กที่เกิดจากการกระทำของกระแสไฟฟ้า ที่ถูกนำมาใช้ประกอบในเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหลายที่มีใช้อยู่ในชีวิตประจำวันแม่เหล็กประดิษฐ์ยังแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.1.2.2.1 แม่เหล็กถาวร (Permanence Magnetic) คือแม่เหล็กที่มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กตลอดไป เช่น แม่เหล็กที่ใช้ในลำโพง เป็นต้น ซึ่งได้มาจากการนำเอาลวดทองแดงอาบน้ำยาพันรอบแท่งเหล็กกล้าแล้วปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในขดลวด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

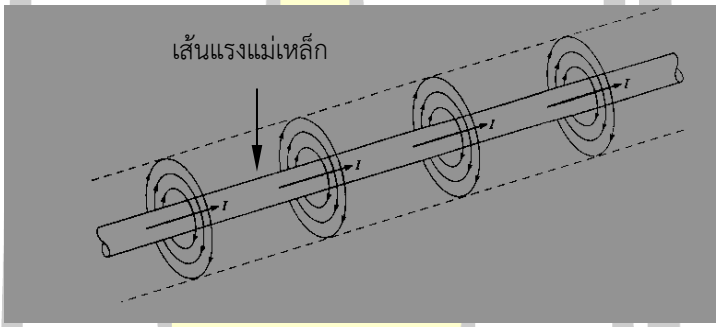
โมเลกุลภายในแท่งเหล็กกล้า ให้มีการเรียงตัวของโมเลกุลอย่างเป็นระเบียบตลอดไป เหล็กกล้าดังกล่าวก็จะคงสภาพเป็นแม่เหล็กถาวรต่อไป

2.1.2.2.2 แม่เหล็กไฟฟ้า หรือ แม่เหล็กชั่วคราว (Electro Magnetic) เป็นแม่เหล็กที่เกิดขึ้นใน ลักษณะเดียวกันกับแม่เหล็กถาวร แต่เหล็กที่นำมาใช้เป็นเพียงเหล็กอ่อนธรรมดา เมื่อมีการป้อนกระแส ไฟฟ้ าผ่านเข้าไปในขดลวดที่พันอยู่รอบแท่งเหล็กอ่อนนั้น แท่งเหล็กอ่อนก็จะมีสภาพเป็นแม่เหล็กไปทันที แต่เมื่อหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไป อำนาจแม่เหล็กก็จะหมดไปด้วย เช่น อุปกรณ์จำพวกรีเลย์ (Relay) โซนินอยด์ (Solenoid) กระดิ่งไฟฟ้า เป็นต้น

2.2 หลักการของแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetism)

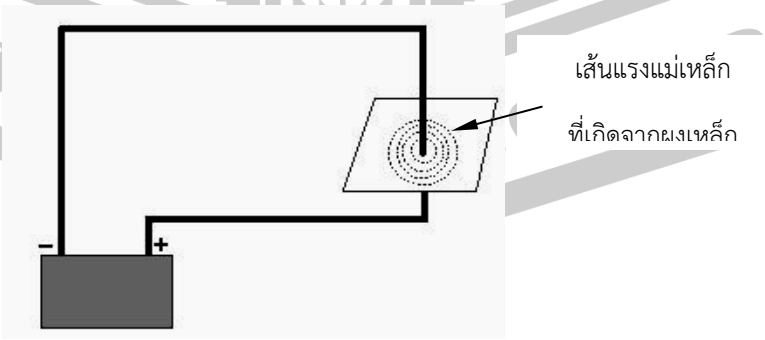
2.2.1 การเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านตัวนำจะทำให้รอบ ๆ ตัวนำเกิดสนามแม่เหล็กขึ้น สนาม- แม่เหล็ก ที่เกิดขึ้นรอบตัวนำนี้เรียกว่า “ สนามแม่เหล็กไฟฟ้า” ดังภาพประกอบ 2.6



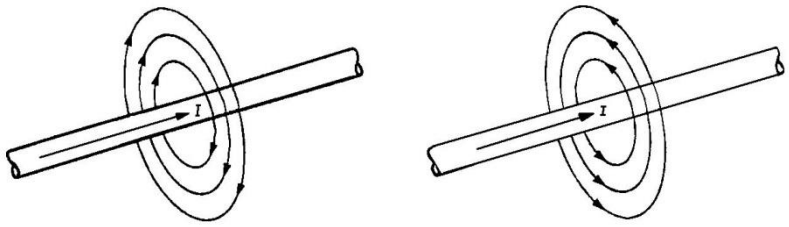
ภาพประกอบ 2.6 สนามแม่เหล็กซึ่งเกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำ

เส้นแรงแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีรูปแบบที่แน่นอนและต่อเนื่องตลอดความ-ยาวของตัวนำ ตามปกติมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ในการทดลองต่อไปนี้จะทำให้มองเห็นเส้นแรงแม่เหล็กได้ ให้นำเส้นลวดที่เป็นตัวนำไฟฟ้าเสียบทะลุแผ่นกระดาษที่โรยด้วยผงเหล็ก โดยให้แผ่นกระดาษกับเส้นลวดตั้งฉากกัน ต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปในเส้นลวดตัวนำนั้น จะสังเกตเห็นผงเหล็กบนแผ่นกระดาษจัดเรียงตัวตามเส้นแรงแม่เหล็กเป็นรูปวงแหวนที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกัน ดังภาพประกอบ 2.7



ภาพประกอบ 2.7 การทดลองเพื่อตรวจสอบเส้นแรงแม่เหล็ก

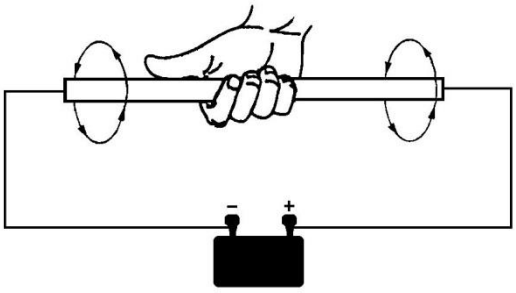
2.2.2 ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก (Direction of the Line of Force)



(ก) ทิศทางจากซ้ายไปขวา (ข) ทิศทางจากขวาไปซ้าย

ภาพประกอบ 2.8 ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก

จากภาพประกอบ 2.8 (ก) เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำในทิศทางจากซ้ายไปขวาเส้นแรงแม่เหล็กจะมีทิศทางตามเข็มนาฬิกา และจากภาพประกอบ 2.8 (ข) เมื่อกระแสไฟฟ้ามีทิศทางจากขวาไปซ้ายเส้นแรงแม่เหล็กจะมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา อย่างไรก็ตามถ้าเราทราบทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าก็สามารถหาทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กได้โดยใช้กฎมือขวา ดังภาพประกอบ 2.9 เมื่อจับตัวนำด้วยมือขวาโดยกำหนดให้นิ้วหัวแม่มือแสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า นิ้วอื่น ๆ จะแสดงทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก

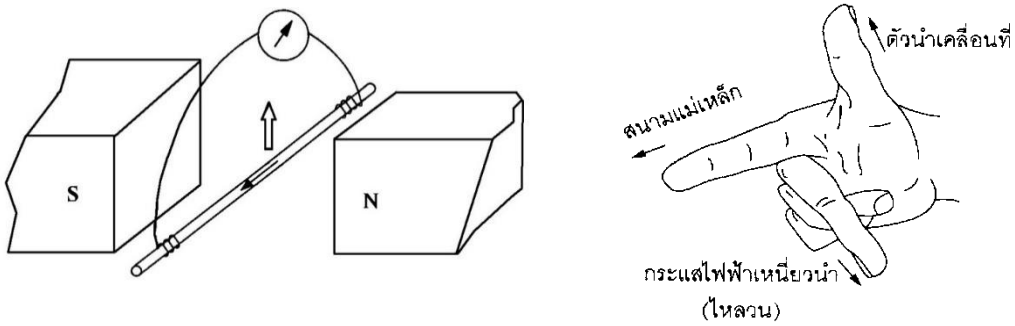


ภาพประกอบ 2.9 ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กตามกฎมือขวา

2.3 การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปในลวดตัวนำที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็กจะเกิดแรงแม่เหล็กไฟฟ้ากระทำให้ตัวนำนั้นเคลื่อนไหวได้ ในทางกลับกันเมื่อมีแรงหรือพลังงานไปกระทำให้ตัวนำเคลื่อนไหวในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลที่ตัวนำนั้นได้ ปรากฏการณ์นี้สามารถทดลองได้โดยการนำลวดตัวนำไปวางไว้ในสนามแม่เหล็กแล้วต่อปลายขั้วของลวดตัวนำด้วย กัลวานอร์มิเตอร์ที่มีความไวสูงเพื่อวัดกระแสไฟฟ้า เมื่อขยับตัวนำให้เคลื่อนไหวขึ้นลง ดังภาพประกอบ 2.10 จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลในลวดตัวนำนั้น เข็มของกัลวานอร์มิเตอร์จะกระดิกไปมาถ้าเราเคลื่อนที่ลวดตัวนำ

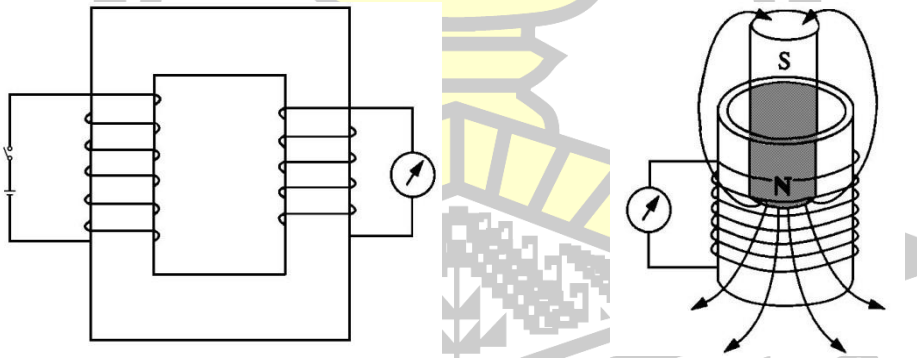
ด้วยความเร็วสูงมากขึ้นก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในลวดตัวนำมากขึ้นเข็มของ กัลวานอร์มิเตอร์ก็จะกระดิกแรงมากขึ้นเช่นกัน



ภาพประกอบ 2.10 การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

จากภาพประกอบ 2.10 ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้าความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า เส้นแรงแม่เหล็กและทิศทางการเคลื่อนไหวของตัวนำจะเป็นไปตามกฎมือขวาของ เฟลมมิ่ง(เมื่อกางนิ้วมือขวาออกโดยให้นิ้วชี้ นิ้วกลางและนิ้วหัวแม่มือตั้งฉากซึ่งกันและกัน) ดังภาพประกอบ 2.10 จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กมีทิศทางตามนิ้วชี้และตัวนำเคลื่อนไหวในทิศทางของนิ้วหัวแม่มือจะเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในทิศทางของนิ้วกลาง

2.3.1 การเกิดแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดเหนี่ยวนำ



(ก) การเหนี่ยวนำโดยการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก

(ข) การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กในขดลวดเหนี่ยวนำ

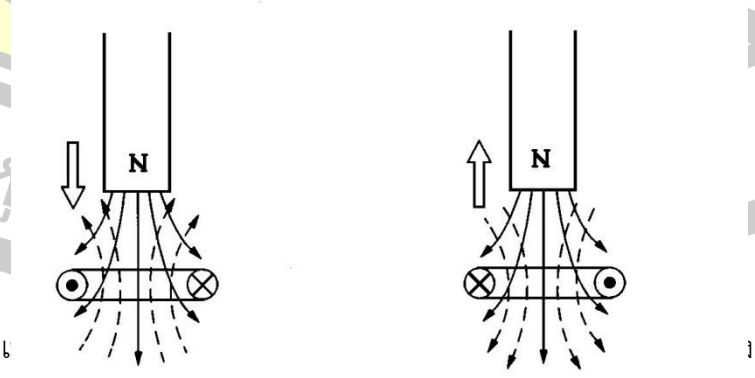
ภาพประกอบ 2.11 การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก

จากภาพประกอบ 2.11 (ก) เอาแกนเหล็กมาพันด้วยลวดตัวนำทั้ง 2 ข้างโดยที่ลวดตัวนำข้างหนึ่งต่อกับแบตเตอรี่และสวิตช์ ส่วนลวดตัวนำอีกข้างหนึ่งต่อกับกัลวานอมิเตอร์ไว้ ขดลวดเหนี่ยวนำชุดแรกเรียกว่าขดลวดปฐมภูมิและขดลวดเหนี่ยวนำอีกชุดหนึ่งเรียกว่าขดลวดทุติยภูมิ เมื่อ

สับสวิตช์ให้ปิด-เปิด ๆ เข็มของกัลวานอมิเตอร์จะกระดิกซ้าย-ขวา แต่ถ้าสับสวิตช์ให้ปิดหรือเปิดค้างไว้ เข็มจะไม่กระดิก ปรากฏการณ์นี้อธิบายได้ว่าเมื่อเราสับสวิตช์ให้ปิด-เปิดๆนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น เกิดการเพิ่มและลดของเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็ก จึงชักนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นและถึงแม้จะมีเส้นแรงแม่เหล็กผ่านแกนเหล็กอยู่ แต่ถ้าเส้นแรงแม่เหล็กไม่มีการเปลี่ยนแปลง ก็จะไม่สามารถทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นแต่อย่างไร

ปรากฏการณ์ที่ว่านี้ไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะกับเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็กเท่านั้นแต่เกิดขึ้นกับเส้นแรงแม่เหล็กในอากาศด้วย ดังการทดลองในภาพประกอบ 2.11 (ข) โดยการเลื่อนแท่งแม่เหล็กเข้า-ออก ในขดลวดเหนี่ยวนำทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดเหนี่ยวนำมีการเปลี่ยนแปลง จึงเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในขดลวดเหนี่ยวนำนั้นทำให้เข็มของกัลวานอมิเตอร์ที่ต่ออยู่กระดิกได้ การเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดเหนี่ยวนำเกิดขึ้นจากการเคลื่อนไหวขดลวดเหนี่ยวนำตัดเส้นแรงแม่เหล็กนั่นเองเป็นเหตุให้เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ในกรณีเช่นนี้ขนาดของแรงขับเคลื่อนทางไฟฟ้ากำหนดได้จากผลคูณของจำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำและปริมาณการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กในขดลวดเหนี่ยวนำต่อหนึ่งหน่วยเวลา

ทิศทางของแรงขับเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากการเพิ่มหรือลดของเส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดเหนี่ยวนำกำหนดได้ดังต่อไปนี้ เมื่อเกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นจะมีกระแสไฟฟ้าไหลใน ขดลวดเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้านี้ก่อให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นใหม่ โดยที่ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นใหม่นี้มีลักษณะต้านไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กเดิม ดังนั้นเมื่อนำขั้วแม่เหล็กเข้าใกล้ขดลวดเหนี่ยวนำ ดังภาพประกอบ 2.12 (ก) เส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดเหนี่ยวนำจะเพิ่มขึ้นเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้านี้จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก ดังเขียนเป็นลูกศรเส้นประในภาพประกอบ 2.12 ซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกับเส้นแรงแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็ก เพื่อหักล้างไม่ให้มีการเพิ่มของเส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดเหนี่ยวนำนั้นเมื่อเลื่อนขั้วแม่เหล็กออกจาก ขดลวดเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดเหนี่ยวนำนั้นจะลดน้อยลง กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะสร้างเส้นแรงแม่เหล็กเพื่อเพิ่มเส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดเหนี่ยวนำ จึงมีทิศทางเดียวกันกับเส้นแรงแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็กนั้น ดังภาพประกอบ 2.12 (ข)



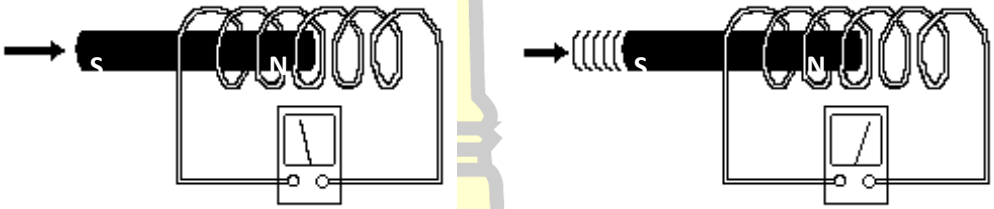
ก. เ ง

ภาพประกอบ 2.12 ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก

2.4 กฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law)

ไมเคิล ฟาราเดย์ ได้ค้นพบหลักการเกี่ยวกับการ เหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าว่าเมื่อเคลื่อนแม่เหล็กผ่านขดลวดเหนี่ยวนำจะเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำตกคร่อมขดลวดเหนี่ยวนำ ซึ่งจะได้ข้อสังเกต 2 ประการคือ

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำตกคร่อมขดลวดเหนี่ยวนำเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กอันเนื่องมาจากขดลวดเหนี่ยวนำ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำตกคร่อมขดลวดเหนี่ยวนำเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำข้อสังเกตข้อแรกของฟาราเดย์แสดงให้เห็นดังรูปที่ ภาพประกอบ 2.13

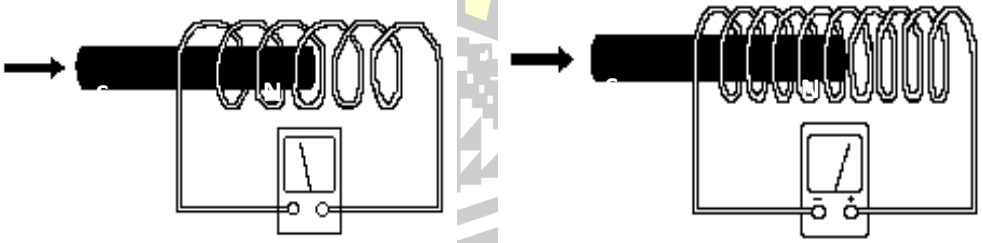


(ก) การเคลื่อนที่แม่เหล็กช้าแรงดันไฟฟ้าน้อย (ข) การเคลื่อนที่แม่เหล็กเร็วแรงดันไฟฟ้ามากขึ้น

ภาพประกอบ 2.13 การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของฟาราเดย์ข้อที่ 1

เมื่อแท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่านขดลวดเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กเกิดการเปลี่ยนแปลงแล้วสร้างแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดลวดเหนี่ยวนำดังภาพประกอบ 2.13 (ก) แสดงให้เห็นว่าเมื่อแท่งเหล็กเคลื่อนที่ผ่านขดลวดเหนี่ยวนำด้วยอัตราเร็วเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น

ข้อสังเกตข้อที่ 2 ของฟาราเดย์ แสดงให้เห็นในภาพประกอบ 2.14



(ก) จำนวนรอบขดลวดน้อยแรงดันไฟฟ้าน้อย (ข) จำนวนรอบขดลวดมากแรงดันไฟฟ้ามาก

ภาพประกอบ 2.14 การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของฟาราเดย์ข้อที่ 2

จากภาพประกอบ 2.14 (ก) แสดงให้เห็นว่าเมื่อแท่งเหล็กเคลื่อนที่ผ่านขดลวดเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำค่าหนึ่ง ส่วนภาพประกอบ 2.14 (ข) แสดงให้เห็นว่าเมื่อแท่งแม่เหล็ก

เคลื่อนที่ผ่านขดลวดเหนี่ยวนำด้วยอัตราเร็วเท่าเดิมแต่ขดลวดเหนี่ยวนำมีจำนวนรอบมากขึ้นจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น

2.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

จากหลักการของการเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กเกิดการเปลี่ยนค่า ไม่ว่าจะทำให้ขดลวดเหนี่ยวนำหมุน(เคลื่อนที่)ในสนามแม่เหล็กหรือทำให้ขั้วแม่เหล็ก(สนามแม่เหล็ก)หมุน(เคลื่อนที่)ในขดลวดเหนี่ยวนำ ผลที่ได้ก็คือจะให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าด้วยขนาดของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าตามที่ต้องการเช่นเดียวกัน ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสสลับจึงประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนด้วยกันคือ ขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า(สนามแม่เหล็ก) และขดลวดเหนี่ยวนำ (ที่ให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า)

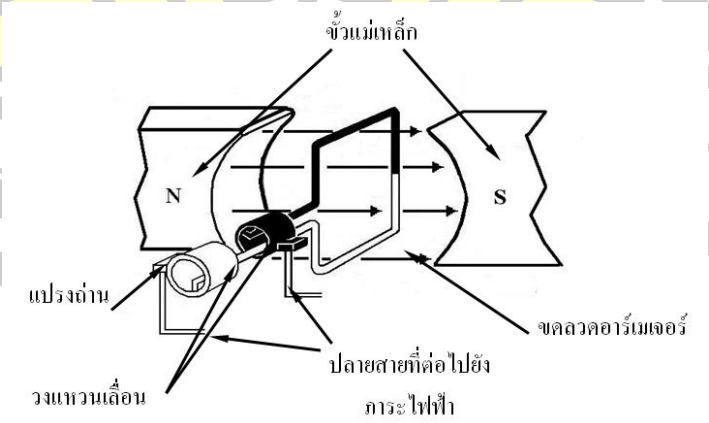
เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับสามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ดังนี้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับชนิดขดลวดหมุนและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับชนิดสนามแม่เหล็ก (ขั้วแม่เหล็ก) หมุน

2.5.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับชนิดขดลวดหมุน มีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

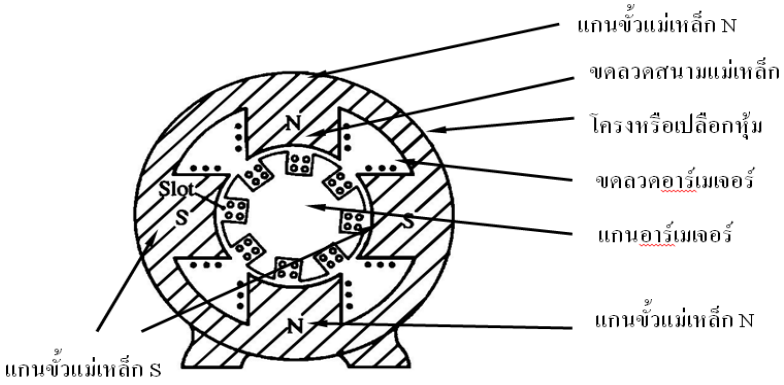
2.5.1.1 ขั้วแม่เหล็ก เป็นตัวให้กำเนิดเส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กและเป็นส่วนที่ให้อยู่กับที่ใช้ได้ทั้งขั้วแม่เหล็กถาวรที่มีขั้ว 2 ขั้ว คือขั้วเหนือและขั้วใต้ เส้นแรงแม่เหล็กจะมีทิศทางจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้และขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า(ส่วนใหญ่นิยมใช้ขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า)

2.5.1.2 ขดลวดเหนี่ยวนำ เป็นตัวให้กำเนิดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าขณะทำให้หมุนในสนามแม่เหล็ก ประกอบด้วยตัวนำทองแดงหลายๆ ตัวนำใส่ไว้ในช่องของแกนเหล็กที่เรียกว่าอาร์เมเจอร์ (Armature)

2.5.1.3 วงแหวนเลื่อน (Slip Ring) เป็นวงแหวนทองแดงหรือทองเหลืองขัดผิวให้เรียบขณะที่ขดลวดเหนี่ยวนำหมุน วงแหวนเลื่อนซึ่งต่ออยู่ที่ปลายของขดลวดเหนี่ยวนำจะหมุนไปด้วย แปรงถ่านเป็นส่วนที่อยู่กับที่แต่สัมผัสกับผิวของวงแหวนเลื่อนตลอดเวลา ส่วนประกอบทั้งหมดจะทำหน้าที่ส่งผ่านพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่ให้กำเนิดโดยขดลวดเหนี่ยวนำไปใช้งาน



ภาพประกอบ 2.15 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ



ภาพประกอบ 2.16 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดขดลวดหมุน

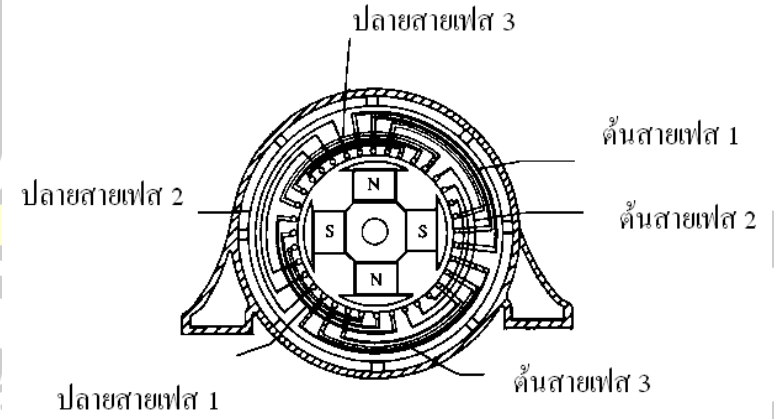
2.5.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับชนิดสนามแม่เหล็กหมุน มีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

2.5.2.1 ขดลวดเหนี่ยวนำ เป็นขดลวดที่อยู่กับที่ทำมาจากทองแดงใส่ไว้ในช่องของอาร์เมเจอร์ เป็นส่วนที่ให้กำลังแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าขณะที่ทำให้สนามแม่เหล็กหมุนตัดกับขดลวดนี้

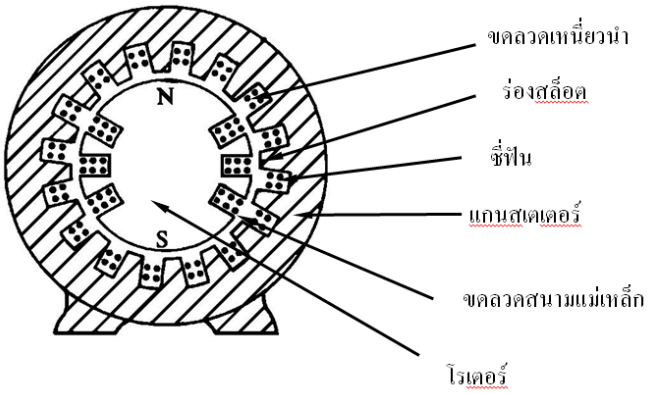
2.5.2.2 ขั้วแม่เหล็ก(สนามแม่เหล็ก)หมุน เป็นตัวให้กำเนิดเส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กให้เป็นส่วนหมุนที่ทำให้หมุนในขดลวดเหนี่ยวนำ แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

2.5.2.2.1 ขั้วแม่เหล็กหมุนแบบขั้วยื่น (Salient Pole Type)

2.5.2.2.2 ขั้วแม่เหล็กหมุนแบบขั้วเรียบ (Smooth Cylindrical Type)



ภาพประกอบ 2.17 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับชนิดขั้วแม่เหล็กหมุนแบบขั้วยื่น

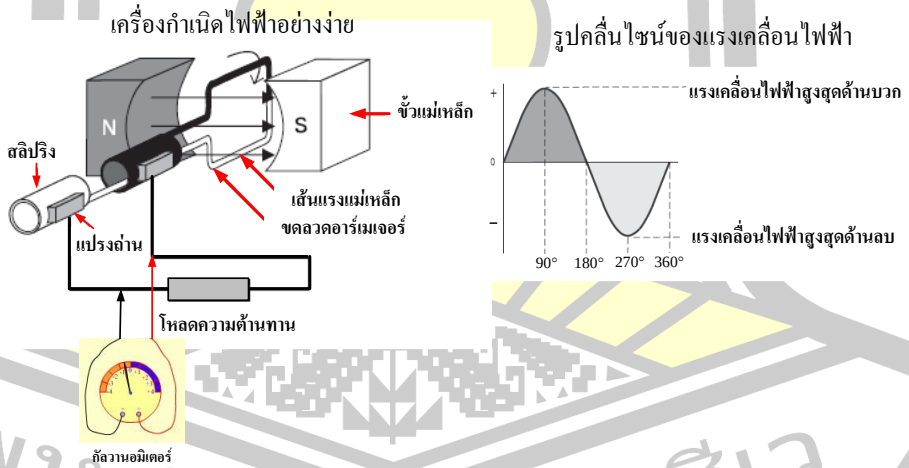


ภาพประกอบ 2.18 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขั้วแม่เหล็กหมุนแบบขั้วเรียบ

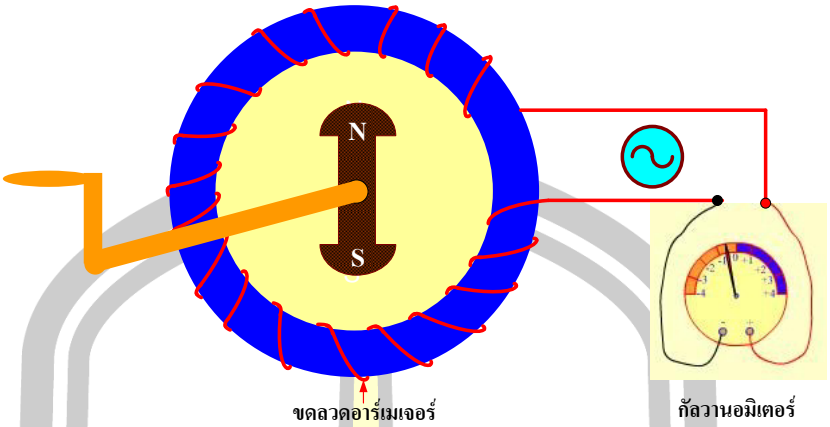
2.6 การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในขดลวดตัวนำเมื่อให้ตัวนำหมุนตัดสนามแม่เหล็ก (ขั้วแม่เหล็กอยู่กับที่) หรือให้สนามแม่เหล็กหมุนตัดตัวนำ (ตัวนำอยู่กับที่)

เมื่อขดลวดหมุนตัดผ่านสนามแม่เหล็กดังภาพประกอบ 2.19 หรือสนามแม่เหล็กหมุนตัดกับตัวนำดังภาพประกอบ 2.20 จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น สังเกตเห็นได้ว่าเข็มของกัลวานอมิเตอร์จะเบี่ยงเบนไป ทำให้ทราบว่ามีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร



ภาพประกอบ 2.19 การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากตัวนำหมุนตัดสนามแม่เหล็ก

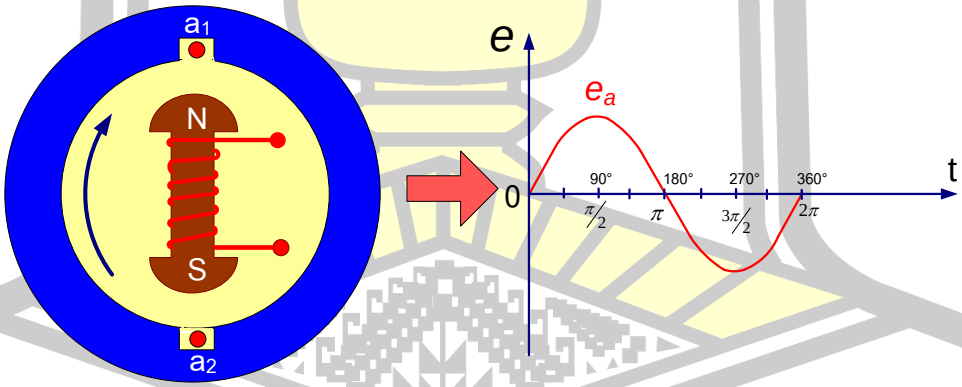


ภาพประกอบ 2.20 การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็กหมุนตัดตัวนำ

2.6.1 การเกิดรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave)

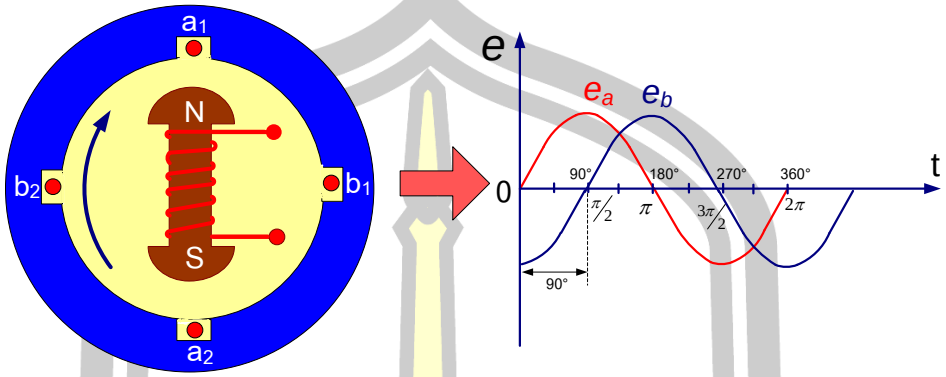
ถ้าจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับขดลวดสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กที่ขั้วแม่เหล็ก (ขั้ว N และ ขั้ว S) และขับเคลื่อนให้หมุนตัดผ่านกับขดลวดอาร์เมเจอร์จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในลักษณะรูปคลื่นไซน์ขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งตามชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ดังนี้

2.6.1.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส (Single – Phase Alternator)



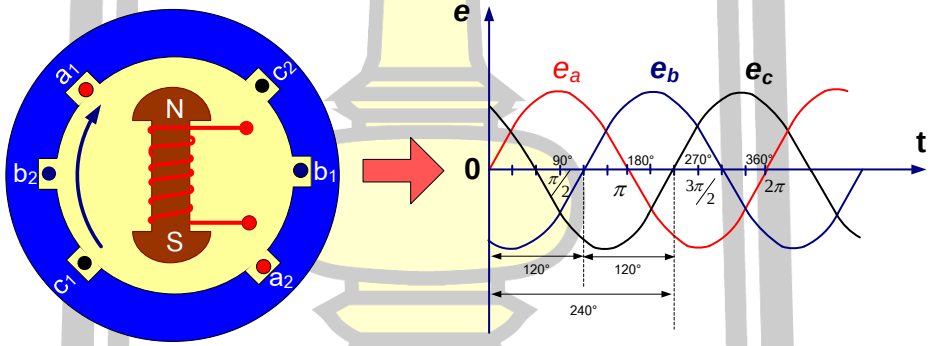
ภาพประกอบ 2.21 การเกิดรูปคลื่นไซน์ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส

2.6.1.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 2 เฟส (Two – Phase Alternator)



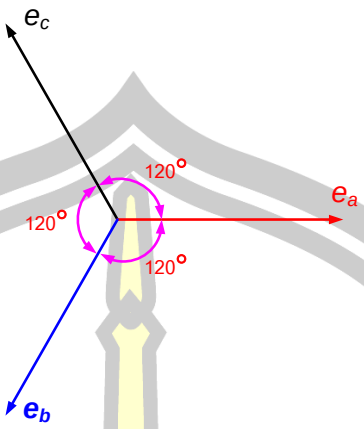
ภาพประกอบ 2.22 การเกิดรูปคลื่นไซน์ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 2 เฟส

2.6.1.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส (Three – Phase Alternator)



ภาพประกอบ 2.23 การเกิดรูปคลื่นไซน์ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

จากภาพประกอบ 2.23 สามารถเขียนเป็นเวกเตอร์ไดอะแกรมของแรงเคลื่อนไฟฟ้า 3 เฟส ได้ดังนี้



ภาพประกอบ 2.24 เวกเตอร์ไดอะแกมของแรงเคลื่อนไฟฟ้า 3 เฟส

เมื่อพิจารณาเวกเตอร์ไดอะแกรมตามเข็มนาฬิกา

$$e_a = E_m \sin \omega t$$

$$e_b = E_m \sin(\omega t - 120^o)$$

$$e_c = E_m \sin(\omega t - 240^o)$$

เมื่อพิจารณาเวกเตอร์ไดอะแกรมทวนเข็มนาฬิกา

$$e_a = E_m \sin \omega t$$

$$e_b = E_m \sin(\omega t + 240^o)$$

$$e_c = E_m \sin(\omega t + 120^o)$$

ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (e) ที่เกิดขึ้นในตัวนำจะเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (B) ความยาวของลวดตัวนำ (l) ความเร็วรอบของการหมุนตัด (v) จะได้สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำดังนี้

$$e = Blv \qquad \text{มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)} \qquad 2.1$$

2.6.2 ความเร็วรอบและความถี่

ถ้าขดลวดหมุนตัดสนามแม่เหล็ก 1 คู่ขั้วแม่เหล็ก ได้ 1 รอบ จะทำให้เกิดรูปคลื่นไซน์ 1 ไซเกิล เป็นมุม 360 องศาไฟฟ้า หรือ 2π เรเดียน นั่นคือ

$$\text{องศาไฟฟ้า} = \text{องศาทางกล} \times \text{จำนวนคู่ของขั้วแม่เหล็ก} \qquad 2.2$$

$$\theta_e = \theta_m \frac{P}{2} \qquad 2.3$$

เมื่อกำหนดให้

θ_e = องศาไฟฟ้าของรูปคลื่นไซน์

θ_m = องศาทางกลที่ขดลวดตัวนำหมุนตัดขั้วแม่เหล็กครบ 1 รอบ

$\frac{P}{2}$ = จำนวนคู่ของขั้วแม่เหล็ก

ถ้ากำหนดให้ความเร็วรอบการหมุน n คงที่

จำนวนรูปคลื่นไซน์ $\propto \frac{P}{2}$

ความถี่ (f) $\propto \frac{P}{2}$ 2.4

ถ้ากำหนดให้จำนวนคู่ขั้วแม่เหล็ก $\frac{P}{2}$ คงที่

$$f \propto n \quad 2.5$$

จากสมการที่ 2.4 และ 2.5 จะได้

$$f = n\frac{P}{2} \quad 2.6$$

เมื่อ f = ความถี่ มีหน่วยเป็น ไซเกิล/วินาที หรือ เฮิรตซ์ (Hz)

P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น ขั้ว

n = ความเร็วรอบการหมุนตัด มีหน่วยเป็น รอบต่อวินาที (rps)

N = ความเร็วรอบการหมุนตัด มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที (rpm)

จากสมการ 2.5 เมื่อ N มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที จะได้

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

$$f = \frac{NP}{120} \quad 2.7$$

เมื่อ N คือ ความเร็วรอบของสนามแม่เหล็กหมุน (Synchronous Speed) เป็นความเร็วรอบของต้นกำลังที่ใช้ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้หมุน เพื่อผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้ได้ความถี่ตามต้องการ

ตัวอย่างที่ 2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส มี 6 ขั้วแม่เหล็ก หมุนด้วยความเร็ว 1000 รอบต่อนาที จงคำนวณหาค่าความถี่ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

วิธีทำ จากโจทย์ P = 6 ขั้วแม่เหล็ก และ N = 1000 รอบต่อนาที

จากสมการ $f = \frac{NP}{120}$

แทนค่าจะได้ $f = \frac{1000 \times 6}{120}$ = 50 Hz

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความถี่ (f) = 50 Hz **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส 4 ขั้วแม่เหล็ก จ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้กับโหลดที่ต้องการความถี่ 50 Hz จงคำนวณหาความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวนี้

วิธีทำ จากโจทย์ P = 4 ขั้วแม่เหล็ก และ f = 50 Hz

จากสมการ $$N = \frac{120f}{P}$$

แทนค่าจะได้ $$N = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ รอบต่อนาที}$$

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนด้วยความเร็ว 1500 รอบต่อนาที **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 2.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส ขับด้วยความเร็ว 600 รอบต่อนาที เพื่อจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้กับโหลดที่ต้องการความถี่ 60 Hz จงหาจำนวนขั้วแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องนี้

วิธีทำ จากโจทย์ N = 600 รอบต่อนาที และ f = 60 Hz

จากสมการ $$N = \frac{120f}{P}$$

แทนค่าจะได้ $$P = \frac{120f}{N} = \frac{120 \times 60}{600} = 12 \text{ ขั้ว}$$

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามี 12 ขั้วแม่เหล็ก **ตอบ**

2.7 สมการของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องเป็นค่าที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง (Effective value) ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อเฟสจะขึ้นอยู่กับตัวประกอบของระยะขดลวด(K_P) ตัวประกอบการกระจาย(K_d) จำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก (Φ) ความถี่ของแรงเคลื่อนไฟฟ้า (f) และจำนวนรอบของการพันขดลวด (T)

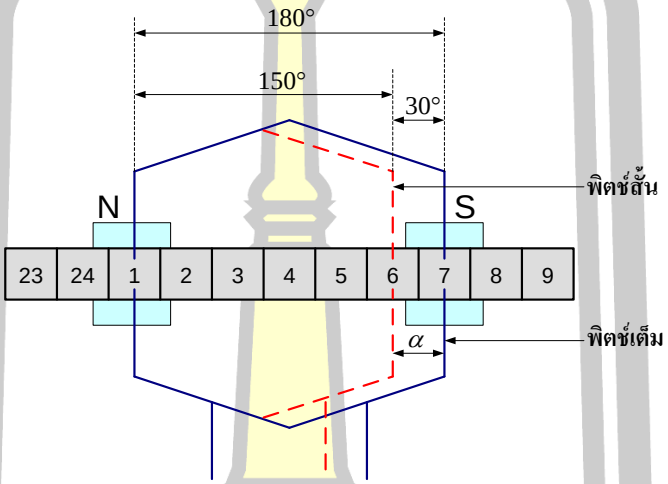
2.7.1 ตัวประกอบสมการของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

2.7.1.1 ตัวประกอบระยะขดลวด(Pitch Factor)

การพันขดลวดอาร์เมเจอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงอีกอย่างหนึ่ง คือรูปคลื่นไซน์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้องมีรูปร่างใกล้เคียงกับรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) มากที่สุด ซึ่งการพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบพิตช์สั้นหรือพิตช์เศษส่วน (Short Pitch or Fractional Pitch) จะทำให้ได้รูปคลื่นของแรงเคลื่อนไฟฟ้าใกล้เคียงกับรูปคลื่นไซน์มากที่สุด

การพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบพิตช์สั้น คือการพันให้มีระยะห่างด้านของขดลวด (Coil side) มีค่าน้อยกว่า 1 ระยะขั้วแม่เหล็ก (Pole-pitch) หรือน้อยกว่า 180 องศาไฟฟ้า และการพันขดลวดแบบพิตช์เต็ม(Full pitch)หรือการพันแบบเต็มระยะด้านของขดลวดทั้งสองด้านมีระยะห่าง

ระหว่างกึ่งกลางของขั้ว N ไปยังกึ่งกลางของขั้ว S ที่อยู่ประชิดกันมีค่าเท่ากับ 180 องศาไฟฟ้า หรือเรียกว่า 1 ระยะขั้วแม่เหล็ก การพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบพิตช์สั้นทำให้เกิดตัวประกอบของระยะขดลวดขึ้น (Pitch factor) ใช้ตัวย่อว่า K_P ข้อดีของการพันแบบนี้นอกจากทำให้ได้รูปคลื่นใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์แล้ว ยังช่วยประหยัดขดลวดทองแดงที่ใช้พัน กำจัดคลื่นรบกวนความถี่สูง ลดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน และการสูญเสียเนื่องจากฮีสเตอริซีสทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงขึ้น ดังแสดงในรูป 1.14



ภาพประกอบ 2.25 การพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบพิตช์เต็มและแบบพิตช์สั้น

จากภาพประกอบ 2.25 ด้านทั้งสองของขดลวดอยู่ในสลอต 1-7 พันคลุมอยู่ 6 ซี่เรียกว่าการพันแบบพิตช์เต็มมีระยะขดลวด 180 องศาไฟฟ้า และถ้าทั้งสองด้านของขดลวดอยู่ในสลอต 1-6 พันคลุมอยู่ 5 ซี่ เรียกว่าการพันแบบพิตช์สั้น

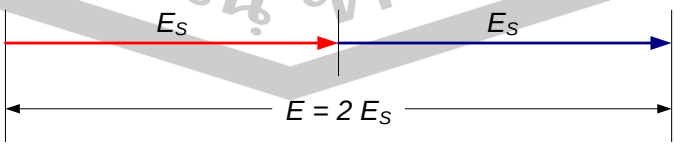
ดังนั้นพิตช์สั้นต่อพิตช์เต็ม = $\frac{5}{6}$ ของระยะขั้วแม่เหล็ก

พิตช์สั้นจะมีระยะห่างน้อยกว่าพิตช์เต็ม

$$\alpha = 1 - \frac{5}{6} = \frac{1}{6}$$ ของระยะขั้วแม่เหล็ก

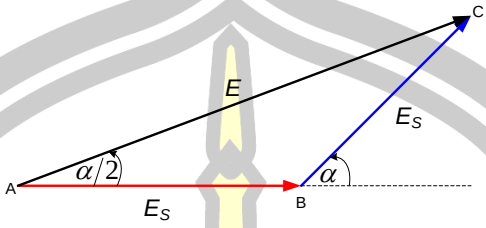
$$\alpha = 180 \times \frac{1}{6} = 30$$ องศาไฟฟ้า

การพันขดลวดแบบพิตช์เต็มแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละด้านของขดลวดจะเกิดขึ้นพร้อมกันและมีทิศทางตามกันสามารถหาผลรวมได้ด้วยวิธีเลขคณิต



ภาพประกอบ 2.26 ผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าวิธีเลขคณิต

สำหรับการพันขดลวดแบบพิตช์สั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละด้านของขดลวดจะเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน ซึ่งจะห่างกันอยู่ 180 - α องศาไฟฟ้าต่ออนุกรมกันและมีขนาดเท่ากัน ดังนั้นผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจึงเป็นผลรวมทางเวกเตอร์



$$E = 2Es\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

ภาพประกอบ 2.27 ผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าวิธีเวกเตอร์

พิตช์แฟกเตอร์ เป็นอัตราส่วนของผลรวมแรงเคลื่อนไฟฟ้าแบบพิตช์สั้นต่อผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าแบบพิตช์เต็ม ดังนั้นจะได้ว่า

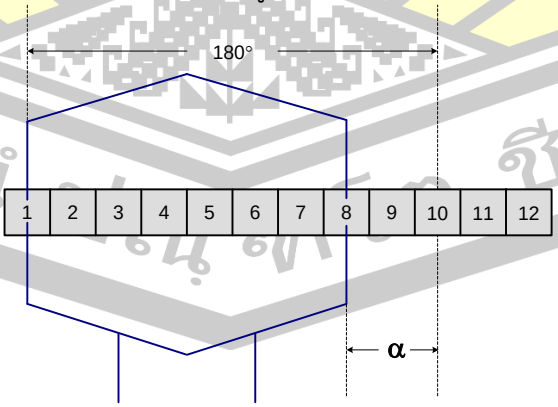
$$\text{พิตช์แฟกเตอร์ } (K_p) = \frac{\text{ผลรวมทางเวกเตอร์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อขดลวด}}{\text{ผลรวมทางเลขคณิตของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อขดลวด}}$$

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

$$K_p = \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \qquad 2.8$$

การคำนวณหาตัวประกอบระยะขดลวด (Pitch Factor)

ตัวอย่างที่ 2.4 จงคำนวณหาตัวประกอบระยะขดลวด กำหนดให้สเตเตอร์มี 36 สลอต 4 ขั้ว และมีระยะการพันขดลวด 1- 8 และให้เขียนรูประยะการพันของขดลวดด้วย



ภาพประกอบ 2.28 ระยะพันขดลวด

วิธีทำ

$$\text{ระยะขั้วแม่เหล็ก} = \frac{\text{จำนวนสลอต}}{\text{จำนวนขั้วแม่เหล็ก}} = \frac{36}{4} = 9$$

กำหนดให้ระยะการพันขดลวด 1- 8

ดังนั้น α = ความแตกต่างระหว่างระยะขั้วแม่เหล็กกับระยะขดลวด

$$\alpha = 180 \times \frac{2}{9} = 40^o$$

จากสมการ

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

$$\therefore \quad K_p = \cos\left(\frac{40^o}{2}\right) = \cos 20^o = 0.9396$$

ดังนั้นตัวประกอบระยะขดลวด

$$K_p = 0.9396$$ **ตอบ**

ตัวประกอบการกระจาย (Distribution Factor or Winding Factor or Spread Factor)

การพันขดลวดอาร์มาเจอร์ในเฟสเดียวกันนั้น ขดลวดไม่ได้วางรวมกันอยู่เพียงสลอตเดียวเท่านั้น แต่จะมีอยู่ในหลายสลอตเป็นแบบโพลาร์กรุ๊ป(Polar Group) ในหนึ่งขั้วจำนวนขดลวดต่อเฟสจะกระจายกันอยู่และมีมุมห่างเท่าๆกัน และปลายของขดลวดแต่ละคอยล์จะต่ออนุกรมกัน ทำให้การตัดผ่านของขั้วแม่เหล็กไม่พร้อมกันและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในแต่ละคอยล์จึงเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน ทำให้ผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ก็จะลดลง ตัวประกอบนี้เรียกว่าตัวประกอบการกระจาย(Distribution Factor)ใช้ตัวย่อ K_d ซึ่งจะต้องคูณเข้าไปในสมการของแรงเคลื่อนไฟฟ้าด้วย ตัวประกอบการกระจายเป็นอัตราส่วนของผลรวมทางเวกเตอร์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่กระจายอยู่ในแต่ละสลอตต่อผลรวมทางเลขคณิตของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อยู่ในสลอตเดียวกัน

$$K_d = \frac{\text{ผลรวมทางเวกเตอร์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของขดลวดที่อยู่ในแต่ละสลอต}}{\text{ผลรวมทางเลขคณิตของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของขดลวดที่อยู่ในสลอตเดียวกัน}}$$

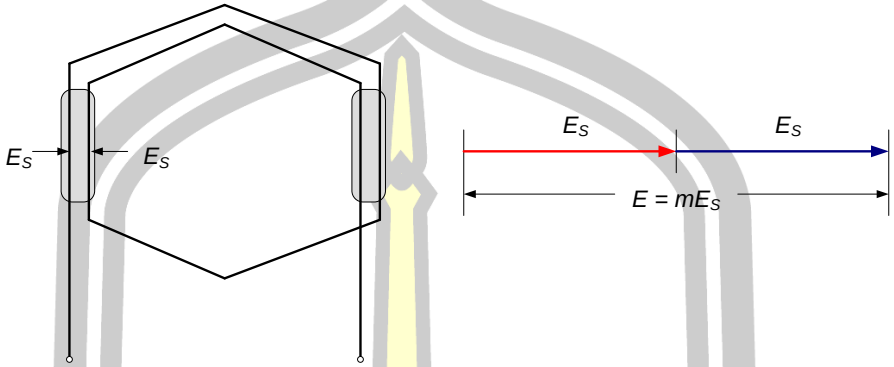
กำหนดให้

$$n = \frac{\text{สลอต}}{\text{ขั้ว}}$$

และ $$m = \frac{n}{\text{เฟส}} = \frac{\text{สลอต/ขั้ว}}{\text{เฟส}} = \frac{\text{สลอต}}{\text{ขั้ว} \times \text{เฟส}}$$

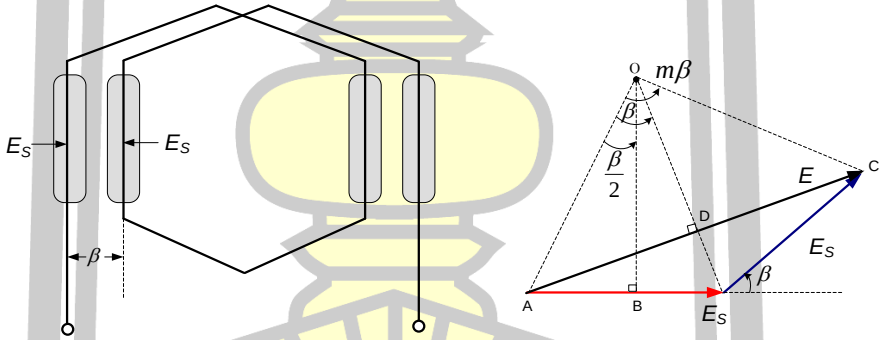
$$\beta = \frac{180}{n} = \text{มุมของสลอต 2 สลอต ที่อยู่ชิดกัน}$$

ถ้าด้านของขดลวด(Coil side) กลุ่มเดียวกัน (Coil Group) อยู่ในสลอตเดียวกัน ผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (*E*) ที่เกิดขึ้นจะเท่ากับ mEs



ภาพประกอบ 2.29 ผลรวมทางเลขคณิตของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ถ้าด้านของขดลวดของกลุ่มเดียวกันพันกระจายอยู่หลายสลอต จะต่างเฟสกันเป็นมุม β ดังนั้นผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดแต่ละสลอตจะต้องรวมกันทางเวกเตอร์ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.30



ภาพประกอบ 2.30 ผลรวมทางเวกเตอร์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

จากเวกเตอร์ในภาพประกอบ 2.30

$$E = 2AD \quad \text{และ} \quad E_S = 2AB \qquad 2.9$$

พิจารณา Δ OAD

$$E = 2OA\sin(m\frac{\beta}{2}) \qquad 2.10$$

พิจารณา Δ OAB

$$E_S = 2OA\sin(\frac{\beta}{2}) \qquad 2.11$$

ดังนั้น

$$OA = \frac{E_S}{2\sin(\frac{\beta}{2})} \quad 2.12$$

แทนค่าสมการ 2.12 ลงใน 2.10

$$E = \frac{2E_S \sin(m\frac{\beta}{2})}{2\sin(\frac{\beta}{2})} = \frac{E_S \sin(m\frac{\beta}{2})}{\sin(\frac{\beta}{2})} \quad 2.13$$

จากสมการ $K_d = \frac{E}{mE_S}$ 2.14

แทนค่าสมการ 2.13 ในสมการ 2.14

$$K_d = \frac{\sin(m\frac{\beta}{2})}{m\sin(\frac{\beta}{2})} \quad 2.15$$

การคำนวณหาค่าตัวประกอบการกระจาย (Distribution Factor)

ตัวอย่างที่ 2.5 จงหาค่าตัวประกอบการกระจายของการวางขดลวดอาร์เมเจอร์ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส 4 ขั้วแม่เหล็กมี 36 สลอต

วิธีทำ

จากสมการ $m = \frac{\text{สลอต}}{\text{ขั้ว} \times \text{เฟส}} = \frac{36}{4\times 3} = 3$ สลอต/ขั้ว/เฟส

$\beta = \frac{180}{\text{สลอต/ขั้ว}} = \frac{180}{36/4} = 20$ องศาไฟฟ้า

จากสมการ $K_d = \frac{\sin(m\frac{\beta}{2})}{m\sin(\frac{\beta}{2})} = \frac{\sin(3\frac{20}{2})}{3\sin(\frac{20}{2})} = 0.962$

ตอบ

2.7.2 สมการของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Equation of induced E.M.F)

กำหนดให้ Z = จำนวนตัวนำที่ต่ออนุกรมกันใน 1 เฟส

Z = 2T เมื่อ T คือจำนวนขดลวดหรือจำนวนรอบต่อเฟส (1 รอบ = 2 ตัวนำ)

P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก(ขั้ว)

f = ความถี่ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น (Hz)

Φ = เส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว (Wb)

K_P = ตัวประกอบระยะขดลวด (Pitch Factor)

K_d = ตัวประกอบการกระจาย (Distribution Factor)

K_f = ตัวประกอบรูปแบบ (Form Factor)

$$= \frac{r.m.s\ Value}{Average Value} = \frac{0.707V_p}{0.636V_p} = 1.11$$

N = ความเร็วรอบในการหมุนของโรเตอร์ (รอบต่อนาที)

เวลาที่ใช้ในการหมุนครบหนึ่งรอบ $dt = \frac{60}{N}$ (วินาที)

ตัวนำที่อยู่กับที่เพียง 1 ตัวนำจะตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก $d\Phi = \Phi P$

ดังนั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเฉลี่ยต่อตัวนำ (E_{av}) $= \frac{d\Phi}{dt} = \frac{\Phi P}{60/N}$

$$E_{av} = \frac{\Phi NP}{60}$$ มีหน่วยเป็นโวลต์ (V) 2.16

แต่ $N = \frac{120f}{P}$ รอบต่อนาที

แทนค่า N ในสมการ 2.16 จะได้

$$E_{av} = \left(\frac{\Phi P}{60}\right)\left(\frac{120f}{P}\right) = 2\Phi f$$

ถ้ามีตัวนำทั้งหมดเป็น Z ตัว ต่ออนุกรมกันในแต่ละเฟสได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเฟสเป็น

$$E_{av} = 2\Phi f Z$$

แต่ $Z = 2T$

$$E_{av} = 4\Phi f T$$

ค่าที่วัดได้(Effective)หรือ rms ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อเฟส ดังนี้

$$E_{eff} = 4\Phi f T K_f$$

$$E_{ph} = 4.44\ \Phi f T$$ 2.17

สมการที่ 2.17 เป็นค่าที่ใช้งานจริงของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อพันขดลวดแบบพิตช์เต็มและชุดขดลวดรวมอยู่ใน 1 สลอต แต่ในทางปฏิบัติขดลวดแต่ละเฟสจะพันกระจายในแต่ละสลอต และมีการพันแบบพิตช์สั้น ดังนั้นจึงต้องเอา K_P และ K_d คูณเข้าไปในสมการด้วย จะได้สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นดังนี้

$$E_{ph} = 4.44\ K_p K_d \Phi f T$$ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V) 2.18

ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับต่อเป็นแบบสตาร์หรือวาย แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่สาย (Line to Line) จะมีค่า $\sqrt{3}$ เท่า ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เฟส

$$E_L = \sqrt{3}E_{ph}$$ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

การคำนวณหาค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ตัวอย่างที่ 2.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 16 ขั้ว 144 สลอต มีตัวนำ 4 ตัวนำต่อสลอตพันเบบ 2 ชั้น และขดลวดในแต่ละเฟสต่ออนุกรมกัน ถูกขับให้หมุนด้วยความเร็วรอบ 275 รอบต่อนาที มีเส้นแรงแม่เหล็กที่ช่องว่างอากาศ 0.05 เวเบอร์ต่อขั้ว จงคำนวณหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อเฟสโดยกำหนดให้ระยะของขดลวดเท่ากับ 150 องศาไฟฟ้า

วิธีทำ

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

$\alpha = 180° - 150° = 30$ องศาไฟฟ้า

ดังนั้น $K_p = \cos\left(\frac{30}{2}\right) = \cos 15° = 0.966$

จากสมการ $K_d = \frac{\sin(m\frac{\beta}{2})}{m\sin(\frac{\beta}{2})}$

เมื่อ m = จำนวนสลอต/ขั้ว/เฟส

$m = \frac{144}{16\times 3} = 3$

เมื่อ $\beta = \frac{180}{\text{จำนวนสลอต/ขั้ว}} = \frac{180}{144/16} = 20^o$

ดังนั้น $K_d = \frac{\sin(3\frac{20}{2})}{3\sin(\frac{20}{2})} = \frac{\sin 30}{3\sin 10} = 0.9598$

เพราะว่า $f = \frac{PN}{120} = \frac{16\times 375}{120} = 50\ \text{Hz}$

จาก Z = จำนวนสลอต × จำนวนตัวนำ/สลอต/เฟส

$Z = 144\times\frac{4}{3} = 192$ ตัวนำ

เพราะว่า $T = \frac{Z}{2} = \frac{192}{2} = 96$ รอบ

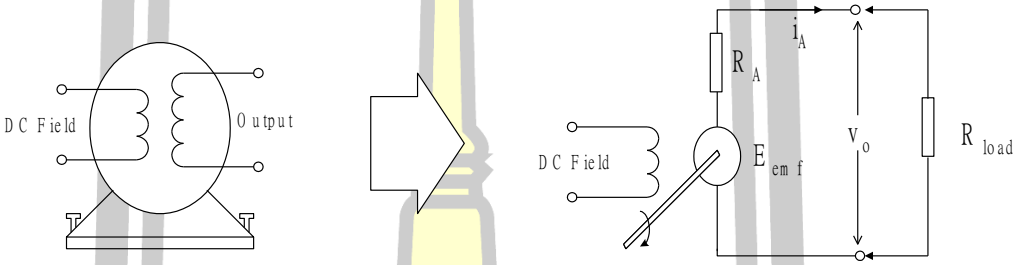
จากสมการ $E_{ph} = 4.44 K_p K_d \Phi f T$

$= 4.44 \times 0.966 \times 0.9598 \times 0.05 \times 50 \times 96$

$E_{ph} = 987.988$ V **ตอบ**

2.8 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับทางานขณะที่ไม่มีโหลด ที่ปลายสายไม่มีโหลดต่ออยู่ แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายของขดลวด จะมีค่าเท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำทีขดลวดอาเมเจอร์แต่ละเฟสเมื่อไม่มีโหลดต่อที่ปลายขดลวดอาเมเจอร์ ทำให้วงจรขดลวดอาเมเจอร์ไม่ครบวงจร ทำให้ไม่มีกระแสเหนี่ยวนำเกิดขึ้น ดังภาพประกอบ 2.31 เมื่อมีโหลดมาต่อเข้าที่ปลายสายเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายลดลง ทำให้มีกระแสไหลครบวงจรอาเมเจอร์ สาเหตุที่ทำให้แรงดันไฟฟ้าปลายสายลดลง

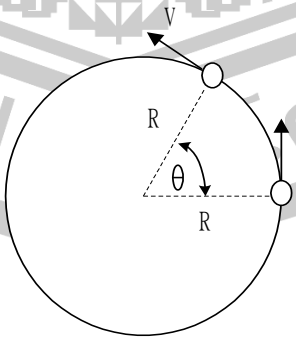


ภาพประกอบ 2.31 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส

2.9 ความเร็วเชิงมุมสัมพัทธ์

2.9.1 การเคลื่อนที่เป็นวงกลม

เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่ สิ่งหนึ่งที่เกิดขึ้นคือ อัตราเร็ว(v) หรือ ความเร็ว ($\vec{v}$) ของวัตถุนั้นและการเคลื่อนที่ในแนวเชิงเส้น หรือ เรียกว่าอัตราเร็วเชิงเส้นหรือความเร็วเชิงเส้น เมื่อวัตถุใดมีการเคลื่อนที่รอบตำแหน่งใดๆ เช่น การเคลื่อนที่แบบวงกลม การแกว่งของลูกตุ้ม หรือการสั่นของสปริง การเคลื่อนที่นั้นจะทำให้ระยะทางของวัตถุเปลี่ยนไปแล้ว มุมที่เทียบกับตำแหน่งนั้นก็จะเปลี่ยนไปด้วย การเคลื่อนที่ในลักษณะที่ทำให้มุมเปลี่ยนไปนี้เรียกว่า เกิดอัตราเร็วเชิงมุมหรือความเร็วเชิงมุม ดังนั้นการเคลื่อนที่แบบวงกลมจะมีอัตราเร็วเชิงมุมและความเร็วเชิงมุมมาเกี่ยวข้อง ปริมาณนี้ในทางฟิสิกส์แทนด้วยสัญลักษณ์ คือ ω (อ่านว่า โอเมก้า) สามารถหาขนาดของอัตราเร็วเชิงมุมได้ดังนี้



ภาพประกอบ 2.32 การเคลื่อนที่ในแบบวงกลม

$$\omega = \frac{\theta}{t} \qquad 2.19$$

เมื่อ

ω คือ ความเร็วเชิงมุม มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที (rad /s)

θ คือ มุมที่เคลื่อนที่กวาดไปได้ มีหน่วยเป็น เรเดียน (rad)

t คือ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็น วินาที (s)

2.9.2 คาบ ความถี่ และความเร็วเชิงมุม

ความถี่ (Frequency, f) คือปริมาณที่บ่งบอกจำนวนครั้งที่เหตุการณ์เกิดขึ้นในเวลาหนึ่ง การวัดความถี่สามารถทำได้โดยกำหนดช่วงเวลาคงที่ค่าหนึ่ง นับจำนวนครั้งที่เหตุการณ์เกิดขึ้น นำจำนวนครั้งหารด้วยระยะเวลา และ คาบ เป็นส่วนกลับของความถี่ หมายถึงเวลาที่ใช้ไปในการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ ในระบบหน่วย SI หน่วยวัดความถี่คือเฮิรตซ์ (hertz) ซึ่งมาจากชื่อของนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ Heinrich Rudolf Hertz เหตุการณ์ที่มีความถี่หนึ่งเฮิรตซ์หมายถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นหนึ่งครั้งทุกหนึ่งวินาที หน่วยอื่นๆ ที่นิยมใช้กับความถี่ได้แก่: รอบต่อวินาที หรือ รอบต่อนาที (revolutions per minute, rpm) อัตราการเต้นของหัวใจใช้หน่วยวัดเป็นจำนวนครั้งต่อนาที อีกหนึ่งวิธีที่ใช้วัดความถี่ของเหตุการณ์คือ การวัดระยะเวลาระหว่างการเกิดขึ้นแต่ละครั้ง (คาบ) ของเหตุการณ์นั้นๆ และคำนวณความถี่จากส่วนกลับของคาบเวลา และมีค่าเท่ากับ

$$f = \frac{1}{T} \qquad 2.20$$

เมื่อ

T คือ คาบ (Period, T) เป็นระยะเวลาที่ตำแหน่งใด ๆ บนคลื่นหรือวงกลมเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ คาบมีหน่วยเป็นวินาที

ความเร็วเชิงมุม (ω) คือ การกระจัดเชิงมุมที่เปลี่ยนแปลงในหนึ่งหน่วยเวลาเป็นปริมาณเวกเตอร์มีทิศเดียวกับการกระจัดเชิงมุมที่เปลี่ยนแปลง และมีค่าเท่ากับ

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \qquad 2.21$$

2.9.3 ความเร็วสัมพัทธ์

ความเร็วสัมพัทธ์ คือ ความเร็วที่เทียบกันระหว่างความเร็วของวัตถุ 2 สิ่ง ยกตัวอย่างเช่นหน้าปัดรถยนต์บอกความเร็วที่ 60 km/h นั่นหมายถึง ความเร็วนั้นเทียบกับวัตถุที่อยู่นิ่ง แต่ถ้าคน 2 คนเดินไปข้างหน้าด้วยกัน ด้วยอัตราเร็วเท่ากันและทิศทางเดียวกัน แต่ละคนจะเห็นอีกคนอยู่กับที่ เพราะว่าความเร็ว A เทียบกับ B มีค่าเท่ากัน ส่วนอีกกรณีคือ ให้แต่ละคนเดินสวนทางกันด้วยอัตราเร็วที่เท่ากัน แล้วปรากฏว่าถ้า A ไปมอง B ก็จะเห็น B เคลื่อนที่ด้วยเร็ว 2 เท่าของ A โดยการใช้สมการการคำนวณ เช่นเดียวกับ การจะบอกว่าวัตถุอยู่ที่ตำแหน่งใดให้ชัดเจน และเป็นที่เข้าใจกันได้เป็นอย่างดี ย่อมต้องมีจุดอ้างอิงและแกนอ้างอิง นั่นคือ มีระบบโคออร์ดิเนตอ้างอิง ถ้ามีผู้สังเกตสอง

คน ต่างใช้ระบบโคออร์ดิเนตของตนเองและเคลื่อนที่สัมพัทธ์กัน นั่นคือ ระบบหนึ่งมีความเร็ว เมื่อเทียบกับอีกระบบหนึ่ง สิ่งนี้เป็นไปได้เสมอ เมื่อเป็นเช่นนี้ วัตถุที่เห็นอยู่นิ่งในระบบหนึ่ง ก็จะปรากฏในอีกระบบหนึ่ง ตัวอย่างเช่น ขณะที่รถไฟวิ่งด้วยความเร็วคงตัวผ่านชานชาลา แห่งหนึ่งผู้โดยสารในรถไฟทำของหล่นจากมือลงพื้น ผู้สังเกตในรถไฟเห็นวัตถุนั้นตกลง ด้วยความเร่งในแนวดิ่ง ทั้งนี้เทียบกับตัวเองในรถไฟ ส่วนผู้ที่อยู่บนชานชาลานอกรถไฟ มองผ่านหน้าต่างเห็นว่าวัตถุตกลงเป็นวิถีโค้งแบบโพรเจกไทล์ตัวอย่างของการสังเกตที่เกี่ยวกับความเร็วสัมพัทธ์เช่น ขณะที่ฝนตก ให้เม็ดฝนมีขนาดที่ทำให้ตกด้วยความเร็วสม่ำเสมอ 10 เมตรต่อวินาที และตกลงในแนวดิ่งในอากาศนิ่ง (สำหรับผู้สังเกตอยู่นิ่ง) สำหรับผู้สังเกตที่อยู่ในรถยนต์วิ่งด้วยความเร็ว 36 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (10 เมตรต่อวินาที) จะเห็นเม็ดฝนตกอย่างไร ซึ่งความเร็วของเม็ดฝนที่เห็นจะเป็นความเร็วสัมพัทธ์กับผู้สังเกตที่เคลื่อนที่นั่นเอง สิ่งที่ลอยอยู่นิ่งในอากาศข้างหน้าของผู้สังเกตที่ออยู่ในรถ ผู้สังเกตย่อมเห็น สิ่งนั้นเคลื่อนที่เข้าหาด้วยความเร็วมีขนาดเท่าที่รถวิ่ง ซึ่งหมายถึงความเร็วในทิศตรงกันข้าม กับการเคลื่อนที่ของตนเอง สิ่งที่อยู่นิ่งด้านข้าง หรือหลังของผู้สังเกตก็จะปรากฏมีความเร็ว เพราะฉะนั้นผู้สังเกตจึงจะเห็นเม็ดฝนมีความเร็วเดิม บวกด้วยความเร็วมีทิศตรงกันข้ามกับความเร็วของตนเองแต่ขนาดเท่ากัน เมื่อให้เป็นความเร็วของผู้สังเกต (Observer) ให้ สามารถแสดงทิศทางได้

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 งานวิจัยภายในประเทศ

เกียรติศักดิ์ เส็งพัฒน์ (2550) การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงประสิทธิภาพสูง โดยอาศัยพลังงาน จากแรงกดของรถยนต์ รวมถึงเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง บั๊กคอนเวอร์ เตอร์ เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ปรับลดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยการแบ่ง แรงดันโดยตัวต้านทาน ผลการวิจัยพบว่าชุดการกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง สามารถผลิตไฟฟ้าได้กำลังไฟฟ้า ได้สูงสุดถึง 32 วัตต์ โดยใช้จากแรงกดจากน้ำหนักล้อรถยนต์เคลื่อนที่ผ่านชุดอุปกรณ์ทางกลไปขับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และนำกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ผ่านวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ เพื่อไปประจุแบตเตอรี่ จากนั้นนำวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมแรงดันจ่ายให้ไดโอดแปล่งแสง โดยระดับแรงดันออก ของวงจรทั้งสองมีระดับแรงดันคงที่ตลอดเวลาที่ระดับ 6.9 โวลท์ และ 3.1 โวลท์ ตามลำดับ มีระดับ กระแสสูงสุดที่จ่ายให้ฏหลดไดโอดแปล่งแสงจำนวน 150 ดวง เท่ากับ 586 mA ให้ค่าความส่อง สว่างสูงสุด 233 ลักซ์ และมีระดับความส่องสว่างเฉลี่ย X เท่ากับ 135.2 ลักซ์ มีระยะการมองเห็นได้ เกิน 150 เมตร สามารถปรัหยัดค่าใช้จ่ายต่อปีเมื่อเทียบกับการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 4 หลอด จำนวน 934 บาท และประหยัดค่าใช้จ่ายต่อปีเมื่อเทียบกับการใช้หลอดไส้จำนวน 6,483 บาท วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงบั๊กคอนเวอร์เตอร์ มีประสิทธิภาพด้านการให้กำลังงานเอาท์พุทสูง กว่าวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าที่แบ่งแรงดันไฟฟ้าโดยตัวต้านทาน ที่ระดับเฉลี่ย X ร้อยละ เท่ากับ 49.77 มี ประสิทธิภาพด้านการให้ความส่องสว่างสูงกว่าวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าที่แบ่งแรงดันโดยตัวต้านทาน ที่ ระดับเฉลี่ย X ร้อยละ เท่ากับ 42.70 และ วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงบั๊กคอนเวอร์เตอร์ มีระยะเวลา ใช้แบตเตอรี่นานกว่าวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าที่แบ่งแรงดันโดยตัวต้านทานเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ประเทือง ฝั้นแก้ว (2550) โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก ที่ใช้กังหันแบบคาปลาน ประกอบด้วยชุดผลิตกระแสไฟฟ้า ชุดใบกังหัน จำนวน 3 ชุด โดยแต่ละชุดมีมุมใบกังหัน 30, 45 และ 60 องศา ตามลำดับ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและดุมใบกังหันขนาด 110 และ 30 มิลลิเมตร ตามลำดับ การทดสอบเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กได้ใช้กังหันแบบคาปลานทั้งหมด 3 ชุด โดยแต่ละชุดจะมีมุมใบกังหัน 30, 45 และ 60 องศา และได้มีการเปลี่ยนระดับค่าความสูงของหัวน้ำในการทดสอบที่ 3, 3.5 และ 3.85 เมตร มาเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพใบกังหัน ประสิทธิภาพอัลเตอร์เนเตอร์ และประสิทธิภาพรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก ผลการทดสอบพบว่า ที่ค่าความสูงของหัวน้ำ 3.85 เมตร ชุดใบกังหันมุม 30 องศาจะให้ประสิทธิภาพดีที่สุด คือ มีประสิทธิภาพใบกังหันเท่ากับ 59.526 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพอัลเตอร์เนเตอร์ เท่ากับ 28.958 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กเท่ากับ 17.238 เปอร์เซ็นต์

ยุทธนา จันทศิลา (2551) พัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่ใช้ระบบแรงขับจากลม ธรรมชาติและใช้เป็นพลังงานทดแทนในอนาคต โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วนคือ 1.ใบพัดทำ จากไม้สนมีขนาดความยาว 4 ฟุต จำนวน 3 ใบ ทำหน้าที่รับแรงลมแล้วเปลี่ยนพลังงานจลน์จากลมเป็น พลังงานกลและส่งต่อไปยังเพลาหมุน 2.เหลาหมุนทำหน้าที่ เป็นตัวหมุนถ่ายแรงกล 3.เครื่องกำเนิด ไฟฟ้ากระแสสลับ ประกอบด้วยแผ่น วางขดลวด จำนวน 9 คอยล์ ใช้ขดลวด เบอร์ 17 AWG โดยพัน ขดลวด 75 รอบต่อคอยล์ ต่อแบบ series/star-3 coil in series per phase และแผ่นวางแม่เหล็กขนาด 2"xl"xl/2" จำนวน 2 แผ่นๆละ 12 ตัว โดยวางแผ่นขดลวดอยู่ตรงกลาง ใช้แผ่นแม่เหล็กประกบยึดติด กับเพลาหมุน เมื่อขดลวดตัวนำตัดกับสนามแม่เหล็กก็จะเกิดแรงกับไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ตัวนำนั้น 4.ชุดเพลนหาง ทำจากแผ่นไม้อัดขนาด 4 มิลลิเมตรอาบด้วยน้ำยาเลซิล ทำหน้าที่บังคับตัวเรือนและ ใบพัดเพื่อให้หันรับแรงลมได้ทุกทิศทาง 5.โครงเสาทำด้วยเหล็กประกอบเป็นโครงถักความสูงประมาณ 15-20 เมตร เมื่อลมมาปะทะจนทำให้กังหันหมุนทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีอยู่ติดกับ ส่วนของเพลาหมุนผลิตกระแสไฟฟ้ากระแสสลับผ่านชุดแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง ส่ง เข้าเครื่องควบคุม เพื่อเก็บกระแสไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่ขนาด 12 VDC แล้วจึงเปลี่ยนเป็นพลังงาน ไฟฟ้ากระแสสลับอีกทอดหนึ่ง ซึ่งเป็นไฟฟ้าที่เราใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน จาก ผลการวิจัยพบว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่ใช้แรงขับจากลม ธรรมชาติเมื่อมีกระแสสลตั้งแต่ 1.8 เมตร/วินาที ใบพัดกังหันลมเริ่มทำการหมุนจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ 10 VDC เมื่อแรงลมเพิ่มที่ระดับ 2.75 เมตรต่อวินาที แรงดันอยู่ที่ระดับ 12.25 V ทำให้เครื่องชาต์จ สามารถชาต์จเข้าแบตเตอรี่ 12 V DC และเมื่อแรงลมอยู่ที่ 3.5 เมตรต่อวินาทีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ระดับ 14.25 V ซึ่งผลของการวิจัยครั้งนี้จะนำองค์ความรู้ดังกล่าวไปใช้ใน การพัฒนาปรับปรุงในการเลือกใช้พลังงานทดแทนและเป็นหนทางในการแก้ปัญหาการขาดแคลน พลังงานในอนาคตต่อไป

ธานินทร์ เหลืองศิริ (2552) เพื่อพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่ใช้ระบบแรงขับจากลม ธรรมชาติความเร็วลมต่ำ ที่มีความเร็วลมในการผลิตไฟฟ้าไม่เกิน 6 m/s ให้พิกัดกำลัง 250 W ที่ ความเร็วลม 6 m/s และออกแบบกังหันลมแบบมีแกนในแนวนอนมีจำนวน 3 ใบพัด และมีชัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการของฟาราเดย์ แบบ 3 เฟส ใช้แม่เหล็กถาวรจำนวน 9 คู่

ขั้วแม่เหล็ก แรงดันไฟฟ้า 16.58 V กระแสไฟฟ้า 6.6 A ที่ความเร็วรอบ 240 rpm และจากการทดสอบระบบพบว่ากังหันลมเริ่มหมุนที่ความเร็วลมประมาณ 3.0 m/s และที่ความเร็วลมเท่ากับ 6 m/s กังหันลมสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 90 W โดยกังหันลมมีประสิทธิภาพ 40.51 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการทดลองใช้งานกังหันลมผลิตไฟฟ้ากับบ้านตัวอย่างสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากสุดวันละ 10 kWh และจากการวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าระยะคืนทุนของกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วลมต่ำ จะสามารถคืนทุนในระยะเวลา 4.4 ปี ซึ่งผลของการวิจัยครั้งนี้จะนำองค์ความรู้ดังกล่าวไปใช้ในการพัฒนาปรับปรุงในการเลือกใช้พลังงานทดแทนและเป็นหนทางในการแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานในอนาคตต่อไป

ดอนสัน ปงมาบ (2556) ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมโดยออกแบบให้แกนโรเตอร์หมุนสวนทางกับสเตเตอร์ เพื่อทำให้ความเร็วรอบของแกนโรเตอร์และสเตเตอร์เพิ่มมากขึ้น เพื่อให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าในความเร็วรอบที่ต่ำลงได้ โดยใช้กังหันลมแนวนอนแบบ 3 ใบพัด ใบพัด 2 ตัวหนเจะใช้ขับแกนโรเตอร์ ใช้เฟืองและโซ่เป็นตัวส่งผ่านกำลัง ใบพัดตัวที่ 3 ใช้ขับสเตเตอร์ บังคับทิศทางลมโดยใช้แผ่นบังคับทิศทาง และใช้อัลเตอร์เนเตอร์ขนาด 24 โวลท์ 45 แอมป์ เป็นเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าโดยใช้พลังงานลมเป็นตัวขับ ผลการวิจัยพบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมแบบใช้วิธีให้แกนโรเตอร์หมุนสวนทางกับสเตเตอร์ มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องกำเนิดแบบแกนโรเตอร์หมุนเพียงอย่างเดียวประมาณ 1.9 เท่าเมื่อแกรโรเตอร์หมุนสวนทางกับสเตเตอร์ที่ความเร็วรอบเท่ากัน

สุรเทพ เวชสุวรรณ (2552) เพื่อพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงประสิทธิภาพสูงโดยอาศัยพลังงาน จากแรงกดและดันกลับที่สร้างขึ้นสามารถกำเนิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดถึง 9.25-41.82 วัตต์ เมื่อ นำไปใช้งานขับแอลอีดีจำนวน 180 ดวงเพื่อทำป้ายเตือนจราจรทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายต่อปีเมื่อเทียบ กับการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 4 หลอด จำนวน 993 บาท และประหยัด ค่าใช้จ่ายต่อปีเมื่อเทียบการใช้หลอดไส้ จำนวน 10 หลอด 6,483 บาท และเมื่อได้รับพลังงานจากแรง กดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง จะได้ระดับแรงดันในการประจุแบตเตอรี่จะอยู่ที่ระดับ 6.9-7.1 โวลท์ มีระดับกระแส สูงสุดที่จ่ายให้โหลด 585 mA ให้ค่าความส่องสว่างสูงสุด 232 ลักซ์ มีระยะ การมองเห็นได้เกิน 150 เมตร ส่วนประสิทธิภาพของวงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงบั๊กคอนเวอร์เตอร์ มี ประสิทธิภาพด้านการให้กำลังเอาท์พุทสูงกว่าวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ปรับลดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยการแบ่งแรงดันด้วยตัวต้านทาน ที่ระดับร้อยละ 40 มีประสิทธิภาพด้านการให้ความส่องสว่างสูง กว่าวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า ที่ปรับลดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยการแบ่งแรงดันโดยตัวต้านทาน ที่ ระดับร้อยละ เท่ากับ 44.87 และ วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงบั๊กคอนเวอร์เตอร์ มีระยะเวลาใช้งาน แบตเตอรี่นานกว่าวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ปรับลดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยการแบ่งแรงดันโดยตัว ต้านทานเป็นเวลา 4 ชั่งโมง

2.7.2 งานวิจัยต่างประเทศ

J.Jarvik, V.Keskula (2006) ศึกษาเครื่องกำนิดไฟฟ้าชิงโครนัส แบบแม่เหล็กถาวรความเร็วรอบต่ำสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม นำเสนอแนวโน้มการพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ประกอบด้วยการวิเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและในส่วนของโรงไฟฟ้าที่

สามารถผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมระดับต่ำ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรที่ถูกขับเคลื่อนโดยตรงจากกังหันลม การกระจายของสนามแม่เหล็กปฐมภูมิและผลจากแรงปฏิกริยาของขดลวดอาเมเจอร์ ถูกนำมาศึกษาเพื่อออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรความเร็วรอบต่ำ ผลที่ได้จากการทดลองกับเครื่องต้นแบบถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง

A.Kilk (2007) ศึกษาเครื่องกำนิดไฟฟ้าซิงโครนัสขนาดเล็ก แบบแม่เหล็กถาวร ความเร็วรอบต่ำสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม จากการทดลองและออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมแบบแม่เหล็กถาวรความเร็วรอบต่ำขนาด 10 kW การใช้ขดลวดอาเมเจอร์สองชั้นเพื่อให้ใช้ความเร็วในการหมุนต่ำ แม่เหล็กถาวรสี่เหลี่ยมแบบ NdFeB ถูกติดตั้งลงบนผิวของตัวนำ การวิเคราะห์การกระจายของสนามแม่เหล็กโดยการทำแผนภูมิและการใช้วิธีFinite Element Methods เปรียบเทียบกับการทดสอบเครื่องต้นแบบ และหาความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์กับผลการทดลอง ผลการทดลองที่ความเร็วรอบต่ำมากๆค่าความต่างศักดิ์จะเป็นสัญญาณไซน์ และสามารถจัดระดับได้ จะสังเกตว่าแนวโน้มความต่างศักดิ์ที่โหลดต่างๆกัน จากการวิเคราะห์จะต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง 0.5-1.3%

A.P.Ferreira and A.F.Costa (2017) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรแบบขับตรงสำหรับกังหันลมขนาดเล็ก กล่าวว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้พลังงานลมต้องมีราคาต่ำและมีความน่าเชื่อถือสูง การใช้การขับเคลื่อนโดยตรงไม่มีอัตราทด จะช่วยลดชิ้นส่วนการขับเคลื่อน การวิจัยนี้มุ่งที่จะลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยการออกแบบให้ใช้ความเร็วในการขับเคลื่อนที่ต่ำ การออกแบบให้มีจำนวนขดลวดมากขึ้นสามารถเพิ่มความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก โดยอธิผลจากการทดสอบ

M.Abbasian, A.Isfahani, S.Shahghasemi (2011) ศึกษาผลกระทบของเครื่องกำนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรแบบซิงโครนัสและตัวแปรทางกังหันลมต่อประสิทธิภาพของระบบการกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลมขนาดเล็ก กล่าวว่าเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรใช้กันอย่างแพร่หลายในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม.การออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและกังหันลมที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า บทความนี้วิเคราะห์ผลกระทบจากการออกแบบที่แตกต่างกันของพื้นผิวที่ติดตั้งแม่เหล็กถาวรและกังหัน โดยศึกษาพลังงานที่สามารถผลิตออกมาได้ของระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมระดับต่ำ การวิเคราะห์แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและกังหันลมและค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆของระบบ,การสูญเสียพลังงานในอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ ถูกนำมาประกอบการวิเคราะห์ด้วย

I.Tarimer and E.O.Yuzer (2011) การออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรแบบขับตรงสำหรับกังหันความเร็วรอบต่ำ โดยการศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการใช้แม่เหล็กถาวรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อออกแบบกังหันลมความเร็วรอบต่ำด้วยวิธีการวิเคราะห์และการคำนวณแบบไฟไนท์อิลิเมนท์ การออกแบบใช้รายละเอียดของโปรแกรมวิเคราะห์แบบสามมิติซึ่งสามารถจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับกังหันลมความเร็วรอบต่ำได้ ในการออกแบบครั้งนี้กำหนดให้ความเร็วมีค่าคงที่และใช้การจำลองสนามแม่เหล็ก รวมถึงตัวแปรต่างๆได้ถูกคำนวณ จากผลการวิเคราะห์ เมื่อมีการต่อโหลดที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ผลพบว่าเป็นไปตามการจำลองและส่งผลต่อแรงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลดลง

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย ออกเป็นลำดับขั้นดังนี้

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกรงกระรอก
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล
4. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกรงกระรอก

เครื่องกำนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 16 ขั้วแม่เหล็กถาวร แบบกรงกระรอก ที่สามารถเคลื่อนที่ได้หรือหมุนได้ทั้งชุดสร้างสนามแม่เหล็กด้วยแม่เหล็กถาวรและชุดขดลวดอาเมเจอร์ โดยกระแสไฟฟ้าถูกส่งผ่านชุดส่งผ่านกระแสไฟฟ้า (Commutator) ที่ติดตั้งภายนอก

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย ชุดความคุมการหมุนแบบสัมพัทธ์ เครื่องวัดความเร็วรอบ เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า เครื่องวัดกระไฟฟ้า และออสซิโลสโคป

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

นำเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเก็บรวบรวมข้อมูล วัดค่าความเร็วรอบชุดสร้างสนามแม่เหล็กด้วยแม่เหล็กถาวรและชุดขดลวดอาเมเจอร์ กระแส และแรงดันไฟฟ้า ที่ความเร็วรอบต่างๆ

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. วิเคราะห์ค่าความเร็วรอบชุดสร้างสนามแม่เหล็กด้วยแม่เหล็กถาวรที่ส่งผลต่อค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของขดลวดอาเมเจอร์ที่ความเร็วรอบต่างๆ

2. วิเคราะห์ค่าความเร็วรอบชุดขดลวดอาเมเจอร์ที่ส่งผลต่อค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของขดลวดอาเมเจอร์ที่ความเร็วรอบต่างๆ

3. วิเคราะห์ค่าความเร็วรอบสัมพัทธ์ที่ส่งผลต่อค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของขดลวดอาเมเจอร์

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลครั้งนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็นลำดับ ดังนี้

1. สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล
2. ลำดับขั้นในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล
3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูล การนำเสนอผลกาวิจัย และการแปลความหมายจากข้อมูล ผู้วิจัยได้กำหนดความหมายของสัญลักษณ์ในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

$\overline{X}$	แทน	ค่าคะแนนเฉลี่ย
S.D.	แทน	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
F	แทน	ค่าสถิติที่ใช้เปรียบเทียบกับค่าวิกฤตจากการแจกแจงแบบ F
t	แทน	ค่าสถิติที่ใช้เปรียบเทียบกับค่าวิกฤตจากการแจกแจงแบบ t
N	แทน	จำนวนในกลุ่มตัวอย่าง
df	แทน	ระดับความอิสระ
r	แทน	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร
R	แทน	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ
R^2	แทน	สัมประสิทธิ์การทำนาย
a	แทน	ค่าคงที่ในสมการพยากรณ์ในรูปคะแนนดิบ
b	แทน	สัมประสิทธิ์ถดถอยของตัวพยากรณ์ซึ่งพยากรณ์ในรูปคะแนนดิบ
β	แทน	สัมประสิทธิ์ถดถอยของตัวพยากรณ์ซึ่งพยากรณ์ในรูปคะแนนมาตรฐาน
SE_{est}	แทน	ค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์
SE_b	แทน	ค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การถดถอย
*	แทน	มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
**	แทน	มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01
Coil_Rpm	แทน	ขดลวดหมุน มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที (rpm)
Magenet_Rpm	แทน	แม่เหล็กถาวรหมุน มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที (rpm)
Voltage	แทน	แรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โวลต์ (V.)
Relative_Rpm	แทน	ความเร็วรอบสัมพัทธ์ มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที (rpm)

2. ลำดับขั้นในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการเสนอผลการวิเคราะห์ โดยจำแนกออก ดังนี้

2.1 ผลการวิเคราะห์ความเร็วรอบขดลวด ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร ความเร็วรอบสัมพัทธ์ และแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 6 ขั้ว

2.2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบขดลวด ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร และแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 6 ขั้ว

2.3 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของความเร็วรอบขดลวด ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร และความเร็วรอบสัมพัทธ์ ที่มีต่อแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 6 ขั้ว

3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ผลการวิเคราะห์ความเร็วรอบขดลวด ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร ความเร็วรอบสัมพัทธ์ และแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ ความเร็วรอบขดลวด ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร ความเร็วรอบสัมพัทธ์ และแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 6 ขั้ว ซึ่งผลการทดลองดังตาราง 2 และสามารถจำแนกระดับแรงดันที่เกิดขึ้นได้ 5 กลุ่ม ประกอบด้วย 1) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรและความเร็วรอบขดลวด 0 RPM 2) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบขดลวดและความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร 0 RPM 3) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรและความเร็วรอบขดลวดสูงสุด 1420 RPM 4) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบขดลวดและความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรสูงสุด 1440 RPM และ 5) เมื่อความเร็วรอบสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลง

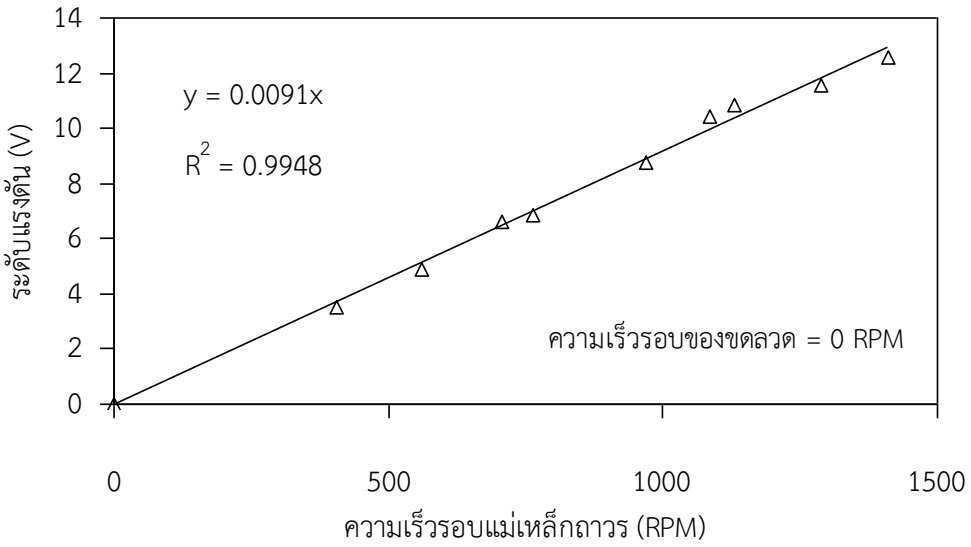
ตารางที่ 4.1 ความเร็วรอบขดลวด ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร ความเร็วรอบสัมพัทธ์ และแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ความเร็วรอบขดลวด (RPM)	ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร (RPM)	ความเร็วรอบสัมพัทธ์ (RPM)	ระดับแรงดัน (V.)
0	1410	1410	12.59
0	1287	1287	11.57
0	1130	1130	10.82
0	1086	1086	10.4
0	970	970	8.76
0	764	764	6.84
0	707	707	6.6
0	562	562	4.9
0	405	405	3.49
0	1410	1410	12.59

ตารางที่ 4.1 ความเร็วรอบขดลวด ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร ความเร็วรอบสัมพัทธ์ และแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า *(ต่อ)*

ความเร็วรอบขดลวด (RPM)	ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร (RPM)	ความเร็วรอบสัมพัทธ์ (RPM)	ระดับแรงดัน (V.)
1390	0	1390	12.53
1260	0	1260	11.17
1107	0	1107	10.24
923	0	923	8.57
788	0	788	7.3
602	0	602	6.21
548	0	548	5.1
376	0	376	3.25
1209	1420	2629	23.13
967	1420	2387	20.13
889	1420	2309	19.66
755	1420	2175	18.89
432	1420	1852	15.6
220	1420	1640	14.36
201	1420	1621	14.2
147	1420	1567	13.71
1440	1440	2880	22.98
1440	1317	2757	22.52
1440	969	2409	19.64
1440	897	2337	18.91
1440	708	2148	17.07
1440	677	2117	16.91
1440	573	2013	16.4
1440	490	1930	15.45
1440	404	1844	15.1
1440	306	1746	14.19
1440	244	1684	12.13

1) ระดับแรงดันที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรและความเร็วรอบขดลวด 0 RPM ได้ผลการทดลองดังภาพประกอบ 3



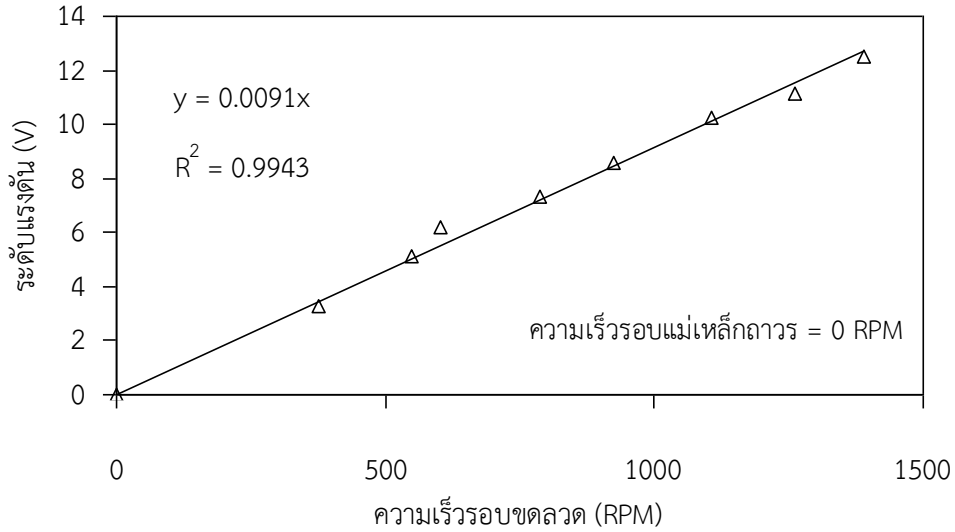
ภาพประกอบ 33 ระดับแรงดันเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรและความเร็วรอบของขดลวดที่ 0 RPM

จากภาพประกอบ 4.1 เมื่อความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรมีค่าเพิ่มขึ้นขณะที่ความเร็วรอบขดลวดมีค่าเท่ากับ 0 รอบต่อนาที (RPM) พบว่า ระดับแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่ามากขึ้น โดยมีระดับแรงดันสูงสุด 12.59 โวลต์ ที่ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรมีค่าเท่ากับ 1410 รอบต่อนาที นอกจากนี้เมื่อทดสอบความเป็นเชิงเส้น (Linearity) พบว่า ตลอดย่านของความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร 0 ถึง 1410 รอบต่อนาที ระดับแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรโดยมีสมการแนวโน้มเชิงเส้นที่ค่า R^2 เท่ากับ 0.9948 ดังนี้

ระดับแรงดัน = 0.0091 (ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร) (1)

จากสมการที่ 1 เมื่อความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรมีค่าเพิ่มขึ้น 1 รอบต่อนาที จะส่งผลต่อระดับแรงดันมีค่าเพิ่มขึ้น 0.0091 โวลต์

2) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบขดลวดและความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร 0 RPM ได้ผลการทดลองดังภาพประกอบ 4.2



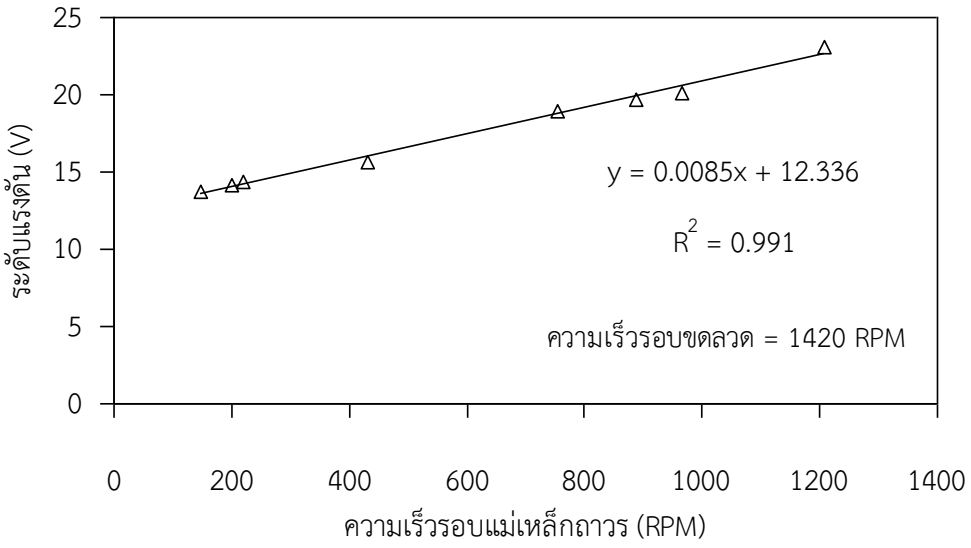
ภาพประกอบ 34 ระดับแรงดันเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบขดลวดและความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรเป็น 0 RPM

จากภาพประกอบ 4.2 เมื่อความเร็วรอบขดลวดมีค่าเพิ่มขึ้นขณะที่ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรมีค่าเท่ากับ 0 รอบต่อนาที (RPM) พบว่า ระดับแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่ามากขึ้น โดยมีระดับแรงดันสูงสุด 12.53 โวลต์ ที่ความเร็วรอบขดลวดมีค่าเท่ากับ 1390 รอบต่อนาที นอกจากนี้เมื่อทดสอบความเป็นเชิงเส้น (Linearity) พบว่า ตลอดย่านของความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร 0 ถึง 1390 รอบต่อนาที ระดับแรงดันของเครื่องกำเนดไฟฟ้ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรโดยมีสมการแนวโน้มเชิงเส้นที่ค่า R^2 เท่ากับ 0.9943 ดังนี้

ระดับแรงดัน = 0.0091 (ความเร็วรอบขดลวด) (2)

จากสมการที่ 2 เมื่อความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรมีค่าเพิ่มขึ้น 1 รอบต่อนาที จะส่งผลต่อระดับแรงดันมีค่าเพิ่มขึ้น 0.0091 โวลต์

3) ระดับแรงดันที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรและความเร็วรอบขดลวดสูงสุด 1420 RPM ได้ผลการทดลองดังภาพประกอบ 4.3



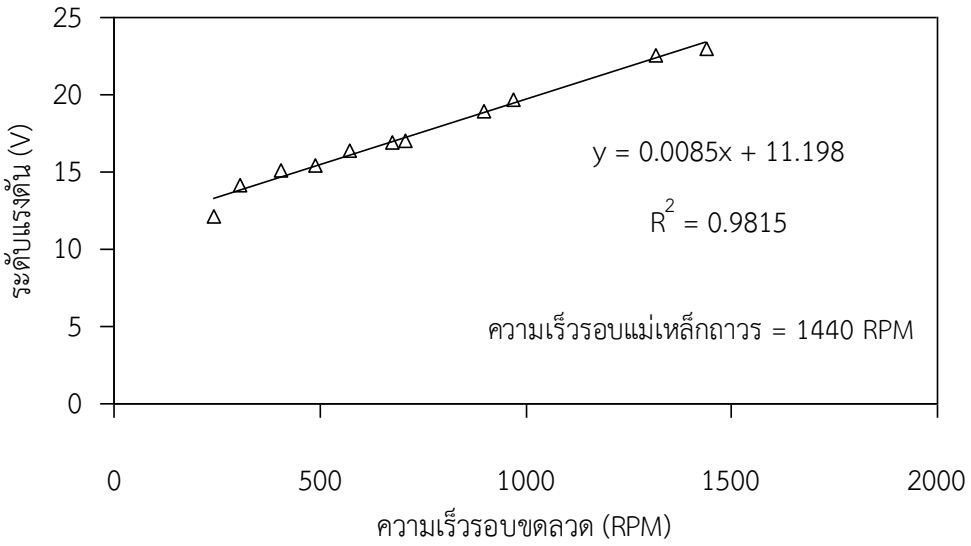
ภาพประกอบ 35 ระดับแรงดันเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรและความเร็วรอบขดลวดสูงสุด 1420 RPM

จากภาพประกอบ 4.3 เมื่อความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรมีค่าเพิ่มขึ้นขณะที่ความเร็วรอบขดลวดมีค่าเท่ากับ 1420 รอบต่อนาที (RPM) พบว่า ระดับแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่ามากขึ้น โดยมีระดับแรงดันสูงสุด 23.13 โวลต์ ที่ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรมีค่าเท่ากับ 1290 รอบต่อนาที นอกจากนี้เมื่อทดสอบความเป็นเชิงเส้น (Linearity) พบว่า ตลอดย่านของความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร 0 ถึง 1290 รอบต่อนาที ระดับแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรโดยมีสมการแนวโน้มเชิงเส้นที่ค่า R^2 เท่ากับ 0.991 ดังนี้

ระดับแรงดัน = 0.0085 (ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร) + 12.336 (3)

จากสมการที่ 3 เมื่อความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรมีค่าเท่ากับ 0 รอบต่อนาที หรืออยู่นิ่ง จะมีค่าระดับแรงดันเท่ากับ 12.336 โวลต์ และเมื่อความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรมีค่าเพิ่มขึ้น 1 รอบต่อนาที จะส่งผลต่อระดับแรงดันมีค่าเพิ่มขึ้น 0.0085 โวลต์

4) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบขดลวดและความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร 1440 RPM ได้ผลการทดลองดังภาพประกอบ 4.4



ภาพประกอบ 36 ระดับแรงดันเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบขดลวดและความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร 1440 RPM

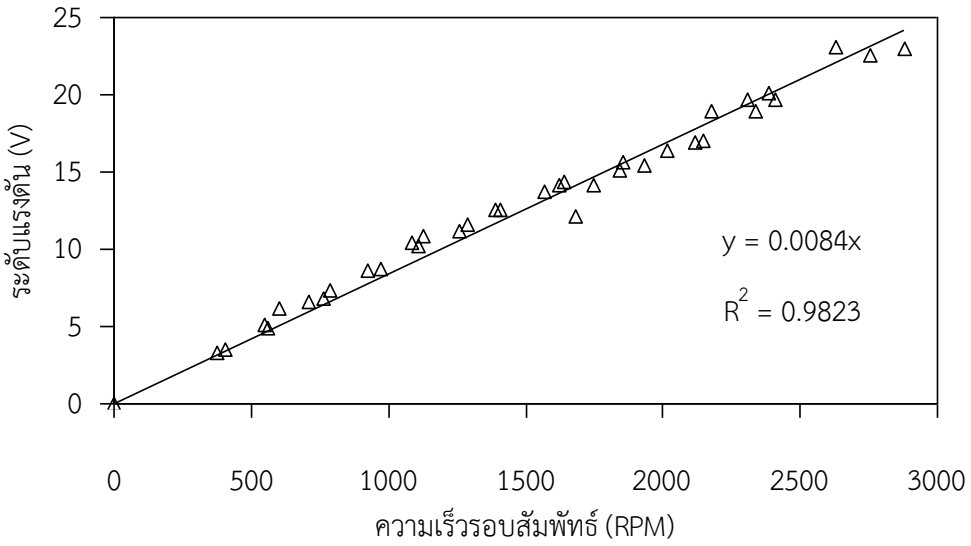
จากภาพประกอบ 4.4 เมื่อความเร็วรอบขดลวดมีค่าเพิ่มขึ้นขณะที่ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรมีค่าเท่ากับ 1440 รอบต่อนาที (RPM) พบว่า ระดับแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่ามากขึ้น โดยมีระดับแรงดันสูงสุด 22.98 โวลต์ ที่ความเร็วรอบขดลวดมีค่าเท่ากับ 1440 รอบต่อนาที นอกจากนี้เมื่อทดสอบความเป็นเชิงเส้น (Linearity) พบว่า ตลอดย่านของความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร 0 ถึง 1440 รอบต่อนาที ระดับแรงดันของเครื่องกำเนดไฟฟ้ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรโดยมีสมการแนวโน้มเชิงเส้นที่ค่า R^2 เท่ากับ 0.9815 ดังนี้

ระดับแรงดัน = 0.0085 (ความเร็วรอบขดลวด) + 11.198 (4)

จากสมการที่ 4 เมื่อความเร็วรอบขดลวดมีค่าเท่ากับ 0 รอบต่อนาที หรืออยู่นิ่ง จะมีค่าระดับแรงดันเท่ากับ 11.198 โวลต์ และเมื่อความเร็วรอบของขอลวดมีค่าเพิ่มขึ้น 1 รอบต่อนาที จะส่งผลต่อระดับแรงดันมีค่าเพิ่มขึ้น 0.0085 โวลต์

5) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบสัมพัทธ์ ได้ผลการทดลองดังภาพประกอบ 4.5

พหุน ปณฺฑิโต ชิเร



ภาพประกอบ 37 ระดับแรงดันเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบสัมพัทธ์

จากภาพประกอบ 4.5 เมื่อความเร็วรอบสัมพัทธ์มีค่าเพิ่มขึ้น พบว่า ระดับแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่ามากขึ้น โดยมีระดับแรงดันสูงสุด 22.98 โวลต์ ที่ความเร็วรอบขดลวดมีค่าเท่ากับ 2880 รอบต่อนาที นอกจากนี้เมื่อทดสอบความเป็นเชิงเส้น (Linearity) พบว่า ตลอดย่านของความเร็วรอบสัมพัทธ์ 0 ถึง 2880 รอบต่อนาที ระดับแรงดันของเครื่องกำเนดไฟฟ้ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรโดยมีสมการแนวโน้มเชิงเส้นที่ค่า R^2 เท่ากับ 0.9823 ดังนี้

ระดับแรงดัน = 0.0085 (ความเร็วรอบสัมพัทธ์) (5)

จากสมการที่ 5 เมื่อความเร็วรอบสัมพัทธ์มีค่าเพิ่มขึ้น 1 รอบต่อนาที จะส่งผลต่อระดับแรงดันมีค่าเพิ่มขึ้น 0.0085 โวลต์

3.2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบขดลวด ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร และระดับแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบขดลวด ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร และแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยวิธี Pearson product moment correlation ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ดังตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบขดลวด ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร และระดับแรงดัน

ตัวแปร	ระดับแรงดัน	ความเร็วรอบขดลวด	ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร
ระดับแรงดัน	1.000	0.583**	0.766**
ความเร็วรอบขดลวด		1.000	-0.063
ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร			1.000

หมายเหตุ ** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

จากตาราง 4.2 พบว่า

1) ทุกตัวแปรมีค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

2) ไม่ปรากฏค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3) ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบขดลวดกับความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร

4) ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เป็นบวก ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันกับความเร็วรอบขดลวด แสดงว่า ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้ง 2 ตัวแปร แปรผันสอดคล้องกัน กล่าวคือ หากความเร็วรอบขดลวดเพิ่มขึ้น-ระดับแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น และความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันกับความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร แสดงว่า ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้ง 2 ตัวแปร แปรผันสอดคล้องกัน กล่าวคือ หากความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรเพิ่มขึ้น-ระดับแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น

5) ความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันกับความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรมีค่าสหสัมพันธ์มากกว่าความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างระดับแรงดันกับความเร็วรอบขดลวด

3.3 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของความเร็วรอบขดลวด ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร และความเร็วรอบสัมพัทธ์ ที่มีต่อแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของความเร็วรอบขดลวด ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร และความเร็วรอบสัมพัทธ์ ที่มีต่อแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังตาราง 4.3

ตารางที่ 4.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (R) และสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R^2)

ตัวแปร	R	R^2	Adj. R^2	SE_{est}
ความเร็วรอบขดลวด, ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร	0.994	0.987	0.986	0.6949

จากตาราง 4.3 ผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ พบว่า ความเร็วรอบขดลวดและความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร สามารถร่วมกันพยากรณ์ระดับแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 6 ขั้ว ได้ร้อยละ 98.7 (R^2) โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ (SE_{est}) เท่ากับ 0.6949 และ

ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของตัวพยากรณ์มาตรฐาน(beta) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย(SE_b) ดังตาราง 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของตัวพยากรณ์มาตรฐาน (beta) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (SE_h)

ตัวแปร	beta	SE_b	t	P
ความเร็วรอบขดลวด (Coil_Rpm)	0.634	0.000	41.231	0.000
ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร (Mage_Rpm)	0.806	0.000	32.412	0.000

จากตาราง 4.4 พบว่า

1) ตัวแปรที่พยากรณ์ระดับแรงดัน (Voltage) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบ 6 ขั้ว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ได้แก่ ความเร็วรอบขดลวด (Coil_Rpm) และความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร (Mage_Rpm)

2) ตัวแปรที่มีผลต่อระดับแรงดัน (Voltage) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบ 6 ขั้ว มากที่สุดเรียงตามลำดับได้แก่ ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร (0.806) และความเร็วรอบขดลวด (0.6340) ตามลำดับ

3) สามารถเขียนสมการพยากรณ์ระดับแรงดัน (Voltage) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบ 6 ขั้ว ในรูปแบบของความเร็วรอบขดลวด (Coil_Rpm) และความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร (Mage_Rpm) ดังนี้

$$\text{Voltage} = 0.806\,(\text{Mage_Rpm}) + 0.634\,(\text{Coil_Rpm}) \qquad (6)$$

จากสมการที่ 6 ถ้าความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร (Mage_Rpm) และความเร็วรอบขดลวด (Coil_Rpm) มีค่าคงที่ เมื่อความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร (Mage_Rpm) เพิ่มขึ้น 1 หน่วย ระดับแรงดัน (Voltage) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น 0.806 หน่วย เช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้น 1 หน่วย ของความเร็วรอบขดลวด (Coil_Rpm) เมื่อความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร (Mage_Rpm) มีค่าคงที่ จะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับแรงดัน (Voltage) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น 0.634 หน่วย

บทที่ 5
สรุปและอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1) เมื่อขดลวดหมุน โดยที่แม่เหล็กถาวรอยู่ในสถานะหยุดนิ่ง (0 RPM) ได้ระดับแรงดันสูงสุด 12.59 โวลต์ ที่ความเร็วรอบขดลวดมีค่าเท่ากับ 1410 รอบต่อนาที และแม่เหล็กถาวรหมุนที่ความเร็วสูงสุด (1440 RPM)ในทิศทางตรงข้าม ได้ระดับแรงดันสูงสุด 22.98 โวลต์ ที่ความเร็วรอบขดลวดมีค่าเท่ากับ 1440 รอบต่อนาที ซึ่งระดับแรงดันที่ได้จากการหมุนแม่เหล็กถาวรหมุนในทิศทางตรงข้าม มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อแม่เหล็กถาวรหมุน โดยที่ขดลวดอยู่ในสถานะหยุดนิ่ง (0 RPM) ได้ระดับแรงดันสูงสุด 12.59 โวลต์ ที่ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรมีค่าเท่ากับ 1410 รอบต่อนาที และขดลวดหมุนที่ความเร็วสูงสุด (1420 RPM)ในทิศทางตรงข้าม ได้ระดับแรงดันสูงสุด 22.98 โวลต์ ที่ความเร็วรอบขดลวดมีค่าเท่ากับ 1440 รอบต่อนาที ซึ่งระดับแรงดันที่ได้จากการหมุนแม่เหล็กถาวรหมุนในทิศทางตรงข้าม มีค่าเพิ่มขึ้นระดับแรงดันสูงสุด 23.13 โวลต์ ที่ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวรมีค่าเท่ากับ 1290 รอบต่อนาที ตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้กล่าวคือ ความเร็วรอบขดลวด ความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร ส่งผลต่อแรงดันไฟฟ้า ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 6 ขั้ว เนื่องจากเมื่อขดลวดหมุนในทิศทางตรงข้ามกับแม่เหล็กถาวรเสมือนว่าความเร็วรอบที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ได้ระดับแรงดันเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับ ชนินทร ทุ่มโมง (2552) ศึกษาด้านการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันลมชนิดแกนตั้งมีใบพัด 2 ชุดที่หมุนสวนทางกันโดยการออกแบบใบพัดเป็นแบบกรงกระรอกแต่ละชุดหมุนสวนทางกันตามลักษณะของการออกแบบใบพัดทั้ง 2 ชุด อยู่ในแกนเดียวกัน สวนของชุด กำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบแม่เหล็กถาวรหมุนตัดกับขดลวด ชุดแม่เหล็กถาวรติดกับใบพัดชุดบนที่หมุนตามเข็มนาฬิกา และชุดขดลวดติดกับใบพัดชุดล่างที่หมุนทวนเข็มนาฬิกา การสงกระแสไฟฟ้าที่ชุดขดลวดที่ กำลังหมุนจะใช้ แปรงถ่านต่อเข้ากับชุดควบคุมกระแสไฟฟ้าภายนอก การหมุนสวนทางกันทำให้ความเร็วของการตัดกันของสนามแม่เหล็กเร็วขึ้นทำให้การผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น

2) เมื่อความเร็วรอบสัมพัทธ์มีค่าเพิ่มขึ้น พบว่า ระดับแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่ามากขึ้น โดยมีระดับแรงดันสูงสุด 22.98 โวลต์ ที่ความเร็วรอบสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับ 2880 รอบต่อนาที แนวโน้มเชิงเส้นที่ค่า R^2 เท่ากับ 0.9823 กล่าวคือเมื่อความเร็วรอบสัมพัทธ์มีค่าเพิ่มขึ้น 1 รอบต่อนาที จะส่งผลต่อระดับแรงดันมีค่าเพิ่มขึ้น 0.0085 โวลต์ และระดับแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเร็วรอบแม่เหล็กถาวร เนื่องจาก เมื่อความเร็วรอบสัมพัทธ์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ ค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ ระดับแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่ามากขึ้น สอดคล้องกับ ยุทธนา จันทศิลา (2551) เมื่อขดลวดตัวนำตัดกับสนามแม่เหล็กก็จะเกิดแรงกับไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ตัวนำนั้น ธเนศ ไชยชนะ (2554) ทำการศึกษาระบบเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันลมสำหรับกังหันลมแกนตั้งแบบเพลาคู่ร่วมแกนหมุนสวนทาง พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะการทำงานของกังหันลมแกนตั้งคือ แรงที่กระทำต่อเพลาหรือภาระ ความเร็วลม มุมของใบพัด ซึ่งทำให้ความเร็วในการหมุนเพิ่มขึ้น

บรรณานุกรม

กษิดิส เสนะวงศ์. (2557). *สถานการณ์พลังงาน*. ค้นเมื่อ 4 กุมภาพันธ์ 2562, จาก http://www.pea-encom.com/index.php?mo=3&art=42137446

เกียรติศักดิ์ เส้งพัฒน์.(2550). *การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงประสิทธิภาพสูง โดยอาศัยพลังงานจากแรงกดของรถยนต์*. กรุงเทพมหานคร:มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ดอนสัน ปงผาบ. (2549). *เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม*.ลำปาง:คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ธานินทร์ เหลืองศิริ. (2552). *การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่ใช้ระบบแรงขับจากลมธรรมชาติ*. กรุงเทพมหานคร:มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ประเทือง ฝั้นแก้ว. (2550). *เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก*. ลำปาง:คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

มณฑาสินี หอมหวาน. (2557). *พลังงานทดแทน พลังงานทางเลือกใหม่สำหรับอนาคต*. ค้นเมื่อ 12 กุมภาพันธ์ 2562, จาก http://www.bu.ac.th/knowledgecenter%0A%09%09/executive_journal/Jan_mar_12/pdf/aw014.pdf%0A.

A.Kilk. (2007). Low-Speed Permanent-Megnet Synchronous Generator for Small-Scale Wind Power Applications. *Oil Shale*, *24*(2), 318–331.

A.P.Ferreira & A.F.Costa. (2017). Direct Driven Axial Flux Permanent Magnet Generator for Small-Scale Wind Power Applications. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, *1*(9), 905–910.

I.Tarimer & E.O.Yuzer. (2011). Design of a Permanent Magnet and Directly Driven Synchronous Generator for Low Speed Turbines. *Elektronika Ir Elektrotechnika*, *6*(6), 15–18.

J.Jarvik, V.Keskula.(2006). Permanent Magnet Low-Speed Synchronous Generator for Wind Applications. *International Wissenschaftliches Kolloguium*.

M.Abbasian, A.Isfahani & S.Shahghasemi. (2011). Effects of Permanent Management Synchronous Generator and Wind Turbine Parameters on the Performance of a Small-Scale Wind Power Generation System. *Przeglad Elektrotechniczny (Electrical Review)*, *87*(10), 360–363.

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีเว

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายกานต์ เพ็ชร์ไทย
วันเกิด	วันที่ 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2516
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลยโสธร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	33 ซอยบ่านางเจิม ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดยโสธร
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	อาจารย์พิเศษประจำสนามยิงปืนค่ายบดินเดชา กองพันทหารราบที่ 2 กรมทหารราบที่ 16 พัน 2
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กองพันทหารราบที่ 2 กรมทหารราบที่16 ค่ายบดินเดชา จังหวัดยโสธร
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2550 เทคโนโลยีบัณฑิต (ทล.บ.) สาขาวิชา เทคโนโลยีไฟฟ้า มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ พ.ศ.2563 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว