# บทที่ 2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการทำวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วย หลักการทำงานและโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวร การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง แบตเตอรี่และการประจุแบตเตอรี่ อินเวอร์เตอร์ ระบบวัดและเก็บข้อมูล การคำนวณอัตราการทดความเร็วรอบ และการเลือกชุดส่งกำลัง

## 2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับและการออกแบบ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยเปลี่ยนแปลงพลังงานทางกลให้เป็นไฟฟ้า เนื่องจากในงานวิจัยนี้ต้องการเปลี่ยนแปลงแรงที่ได้จากการออกกำลังกายมาเป็นต้นกำลังสำหรับขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งความเร็วรอบและแรงบิดที่ได้จากเครื่องออกกำลังกายโดยเฉลี่ย เช่น จักรยานออกกำลังกาย เครื่อง Ellipical trainer อยู่ที่ประมาณ 300 รอบต่อนาที (Revolution Per Mininute; RPM) โดยคิดที่ชุดหน่วงน้ำหนักของเครื่องออกกำลังกาย เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขายอยู่ในท้องตลาดไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้ที่ความเร็วรอบดังกล่าวซึ่งถือว่าเป็นความเร็วรอบต่ำ

อย่างไรก็ตามได้มีงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ที่มีการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ความเร็วรอบต่ำมาใช้กับกังหันลม โดยเริ่มต้นที่งานประดิษฐ์กังหันลมของ อาจารย์บรรจง ขยันกิจ [1] ที่ออกแบบใบพัดกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความเร็วต่ำที่ขนาดกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 250 วัตต์ และเป็นที่มาของสืบค้นชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในงานของ J.R. Bumby และ R.Martin [2] เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร แบบเส้นเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกนผ่านแกนอากาศ (Axial-Flux permanent magnet air-cored generator) โดยเครื่องกำเนิดดังกล่าวมีกำลังไฟฟ้าที่ 1000 และ 2000 วัตต์ ที่ความเร็วรอบ 300 และ 500 รอบต่อนาที (RPM) ตามลำดับ จากงานดังกล่าวทำให้เห็นความเป็นไปได้ในการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังกล่าวมาออกแบบเป็นเครื่องออกกำลังกายผลิตไฟฟ้า โดยโครงงานปีสุดท้ายนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ของนายกิตติธัช วิราภรณ์ และนายสัมมา สุวรรณพงศ์ [3] ได้ออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความเร็วรอบต่ำ ที่ขนาด 250 W แรงดัน 220 V 50 Hz เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร แบบเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน เป็นต้นกำลังของจักรยานออกกำลังกาย ซึ่งผลเป็นที่น่าพอใจในระดับหนึ่ง

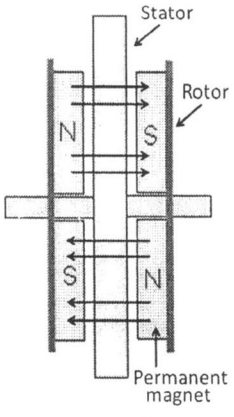
- **การออกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร แบบเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน**

หลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นการเคลื่อนที่ตัดกันของขดลวดผ่านสนามแม่เหล็ก หรือการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กผ่านขดลวด ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า

โดยโครงสร้างมีส่วนประกอบหลักดังต่อไปนี้ (รูปที่ 2-1)

1) ส่วนที่หมุน ( Rotor ) เป็นแผ่นเหล็กกลมสำหรับยึดแม่เหล็กถาวร ที่ทำหน้าที่เป็นขั้วแม่เหล็ก

2) ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) เป็นส่วนยึดขดลวดที่ทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้า เมื่อถูกสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดขดลวด มีลักษณะเป็นวงกลมโดยขดลวดสเตเตอร์จะอยู่ด้านใน




รูปที่ 2-1 แสดงโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

**การออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องมีการคำนวณส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้**

1. การคำนวณหาจำนวนขั้วแม่เหล็ก ได้จากสมการ (1)

$$N = \frac{120f}{P} \qquad (1)$$

เมื่อ $f$: ความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ (Hz), P: จำนวนขั้วแม่เหล็ก, N: ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า รอบต่อนาที (RPM)

2. การคำนวณหาขนาดของขดลวดสเตเตอร์

โดยคำนวณจากจากพิกัดกำลัง แรงดันไฟฟ้า ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งขนาดของกระแสที่คำนวณได้ นำไปกำหนดขนาดของขดลวดสเตเตอร์ ในสมการ (3)

$$P = VI\cos\theta \qquad (2)$$

$$I = \left(\frac{P}{V\cos\theta}\right) \qquad (3)$$

เมื่อ P : พิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีหน่วยเป็น วัตต์ (Watt) ;

V: แรงดันไฟฟ้าอาร์-เอ็ม-เอส หน่วย โวลต์ (V) และ I: กระแสไฟฟ้า อาร์-เอ็ม-เอส หน่วย แอมป์แปร์ (A)

$\cos\theta$ : ตัวประกอบกำลัง หรือ เพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power factor; P.F.)

เมื่อคำนวณได้ค่ากระแสแล้วนำไปใช้ในการเลือกขนาดของเส้นลวดทองแดงสำหรับพันเป็นขดลวดที่ติดตั้งที่ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) โดยการใช้ตารางเทียบเบอร์ขดลวด ดังตัวอย่างในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างตารางคุณลักษณะของขดลวดตามมาตรฐาน AWG

| AWG gauge | Conductor Diameter Inches | Conductor Diameter mm | Ohms per 1000 ft | Ohms per km | Maximum amps for chassis wiring | Maximum amps for power transmission | Maximum freqency for 100% skin depth for solid conductor copper |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OOOO | 0.46 | 11.684 | 0.049 | 0.16072 | 380 | 302 | 125 Hz |
| OOO | 0.4096 | 10.40384 | 0.0618 | 0.202704 | 328 | 239 | 160 Hz |
| OO | 0.3648 | 9.26592 | 0.0779 | 0.255512 | 283 | 190 | 200 Hz |
| 0 | 0.3249 | 8.25246 | 0.0983 | 0.322424 | 245 | 150 | 250 Hz |
| 1 | 0.2893 | 7.34822 | 0.1239 | 0.406392 | 211 | 119 | 325 Hz |
| 2 | 0.2576 | 6.54304 | 0.1563 | 0.512664 | 181 | 94 | 410 Hz |
| 3 | 0.2294 | 5.82676 | 0.197 | 0.64616 | 158 | 75 | 500 Hz |
| 4 | 0.2043 | 5.18922 | 0.2485 | 0.81508 | 135 | 60 | 650 Hz |
| 5 | 0.1819 | 4.62026 | 0.3133 | 1.027624 | 118 | 47 | 810 Hz |
| 6 | 0.162 | 4.1148 | 0.3951 | 1.295928 | 101 | 37 | 1100 Hz |
| 7 | 0.1443 | 3.66522 | 0.4982 | 1.634096 | 89 | 30 | 1300 Hz |
| 8 | 0.1285 | 3.2639 | 0.6282 | 2.060496 | 73 | 24 | 1650 Hz |
| 9 | 0.1144 | 2.90576 | 0.7921 | 2.598088 | 64 | 19 | 2050 Hz |

3. การคำนวณแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ และเส้นแรงแม่เหล็ก

แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำสามารถคำนวณได้จากสมการ (4)

$$E_{rms} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} N.f\phi\max.\frac{N_{coil}}{N_{ph}} \qquad (4)$$

โดยที่ $E_{rms}$ : ค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสต่อเฟส (โวลต์), N: จำนวนรอบของขดลวดต่อขด (รอบ)

$f$: ความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับที่ความเร็วรอบพิกัด (Hz),

$N_{coil}$ : จำนวนชุดขดลวดทั้งหมดในเครื่องกำเนิด

$N_{ph}$ : จำนวนเฟสของระบบไฟฟ้า, $\phi\max$ : ค่าเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดในช่องว่างอากาศ

โดยทั้งนี้ค่า $\phi\max$ จะขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดของขั้วแม่เหล็ก $A_{mag}(m^2)$ และความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก $B_{max}(Wb/m^2)$ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\phi\max = B_{max}\,(Wb/m^2) \times A_{mag}(m^2) \qquad (5)$$

1 Guass = $10^{-4}$T ( Tesla ) = $10^{-4}$ Weber/$m^2$ ซึ่ง 1000 Guass = 1 Tesla

ดังนั้น 1 Tesla = 1 Weber/$m^2$

$B_{max}$(Wb/$m^2$) ที่ขดลวดได้รับขึ้นอยู่กับ ความหนาของขั้วแม่เหล็กและระยะของ air gap ระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์ ตามสมการ

$$B_{max} = Br.\left[\frac{Lm}{Lm+\sigma}\right] \quad (6)$$

เมื่อ $B_{max}$ : ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กในช่องว่างอากาศ (Wb/$m^2$)

Br : เป็นความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็ก (Wb/$m^2$)

$L_m$ : เป็นความหนาของขั้วแม่เหล็ก (mm)

$\sigma$ : เป็นระยะห่างของ Air gap (mm)

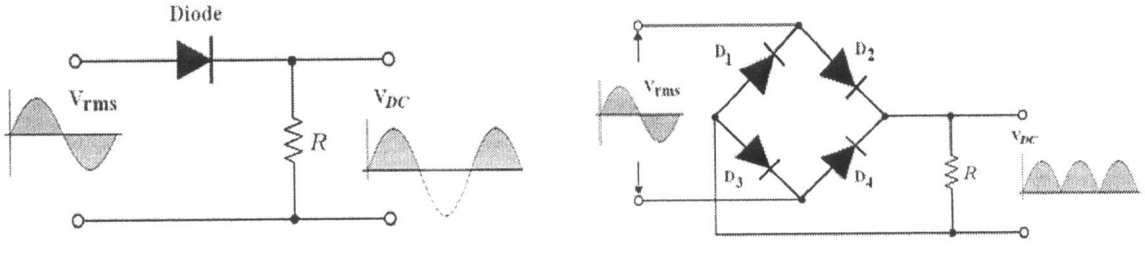
จากสมการ (4) นำมาคำนวณหาค่าจำนวนรอบของขดลวดสเตเตอร์จาก

$$N = \frac{\sqrt{2} \times E_{rms}.N_{ph}}{2\pi f \phi \max N_{coil}} \quad \text{รอบ}$$

## 2.2 การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

เนื่องจากไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่ไม่คงที่ โดยจะแปรผันตามต้นกำลังจากการออกกำลังกาย จากงานวิจัย [2] และโครงงาน [3] พบว่าความเร็วของต้นกำลังไม่ว่าจะได้มาจากแรงลม หรือการปั่นจักรยานจะมีความเร็วไม่คงที่ ซึ่งเป็นผลให้ความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากเครื่องกำเนิดไม่คงที่ด้วยเช่นกัน อีกทั้งถ้าต้องการจะเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่ ต้องมีการแปลงระบบไฟฟ้าจากกระแสสลับไปเป็นกระแสตรง โดยวงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuits) เป็นวงจรที่ใช้โดยทั่วไปในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง ซึ่งมีอยู่ 3 แบบ คือ

1. วงจรเร็กติไฟเออร์แบบครึ่งคลื่น (Half-wave Rectifier )
2. วงจรเร็กติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น (Full-wave Rectifier)
3. วงจรเร็กติไฟเออร์แบบเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (Full-Wave Bridge Rectifier)



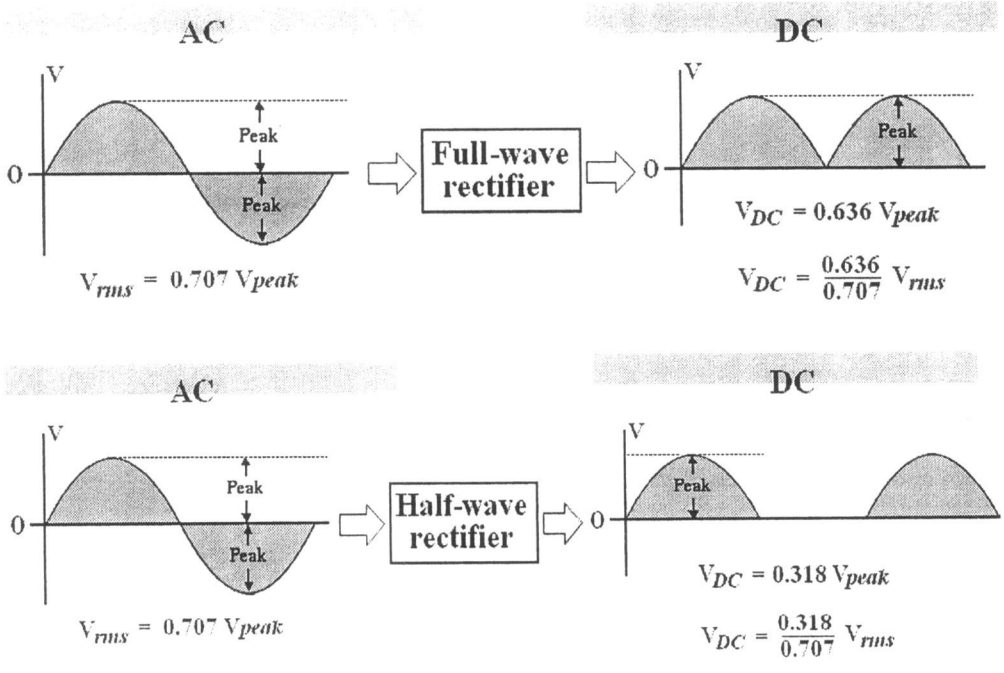

1) Half-wave rectifier 2) Full-wave Bridge rectifier

รูปที่ 2-2 แสดงวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นและเต็มคลื่น

โดยค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับหรือแรงดัน อาร์-เอ็ม-เอส และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง หรือแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย มีความสัมพันธ์ดังสมการ (7.1) และ (7.2)

$$V_{DC} = 0.9V_{rms} \qquad \text{(Full-Wave Rectifier)} \qquad (7.1)$$

$$V_{DC} = 0.45V_{rms} \qquad \text{(Half-Wave Rectifier)} \qquad (7.2)$$




รูปที่ 2-3: ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ย (DC) และค่าประสิทธิผล (RMS) แบบเต็มคลื่นและครึ่งคลื่น

## 2.3 แหล่งเก็บพลังงานไฟฟ้า

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด นิยมนำมาใช้ในการเก็บพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลม เซลล์แสงอาทิตย์ และในรถยนต์ เนื่องจากสามารถชาร์จด้วยกระแสสูงได้ และมีอายุการใช้งานนาน อีกทั้งมีความทนทาน

การชาร์จประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด สามารถทำได้ง่ายโดยการป้อนกระแสกลับทางเข้าไปในแบตเตอรี่เพื่อบังคับให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่เปลี่ยนตะกั่วซัลเฟต ให้กลับเป็นตะกั่วและกรดกำมะถันตามเดิม โดยกระแสที่ป้อนเข้าไปเมื่อประจุไฟใหม่นั้นขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนเข้าไป นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสถานะการคายประจุของแบตเตอรี่ คือถ้าคายประจุหมด และแรงดันที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่มีค่าสูง จะทำให้กระแสที่ไหลเข้าประจุแบตเตอรี่มีค่าสูงเช่นเดียวกัน ซึ่งแรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุจะอยู่ที่ 1.1 -1.25 เท่า [4] ของแรงดันปกติของแบตเตอรี่

## 2.4 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่แน่นอน วงจรภายในอินเวอร์เตอร์ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง และวงจรควบคุมการทำงานของสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เพื่อให้ได้ขนาดของแรงดันไฟฟ้า ความถี่ และลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าทางด้านออกเป็นรูปคลื่นซายน์ เนื่องจากเป็นรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ สำหรับภาระทางไฟฟ้าที่เป็นความต้านทาน สามารถใช้ได้กับทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ ดังนั้นลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าจึงไม่มีผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดนี้ ในขณะที่ภาระทางไฟฟ้าแบบอินดักทีพ หรือโหลดที่เป็นจำพวกขดลวดทองแดง เช่น มอเตอร์พัดลม สัญญาณไฟฟ้าที่ส่งให้มอเตอร์ต้องมีลักษณะเป็นคลื่นรูปซายน์หรือใกล้เคียงมากที่สุด เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานในการหมุนของมอเตอร์ จะเกิดจากความถี่พื้นฐาน 50 Hz ของสัญญาณรูปคลื่นซายน์ ส่วนความถี่ฮาร์มอนิกส์อื่นที่สูงกว่า ที่ถูกส่งมาร่วมกับสัญญาณรูปคลื่นไซน์ จะไม่ทำให้เกิดการหมุนของมอเตอร์ แต่จะทำให้เกิดความร้อนในขดลวดทองแดงและตัวของมอเตอร์เอง และที่มักเกิดบ่อย คือทำให้ฉนวนที่หุ้มขดลวดมีอายุการใช้งานสั้นลงทำให้มอเตอร์ไหม้เสียหายได้

## 2.5 ระบบวัดและเก็บข้อมูล

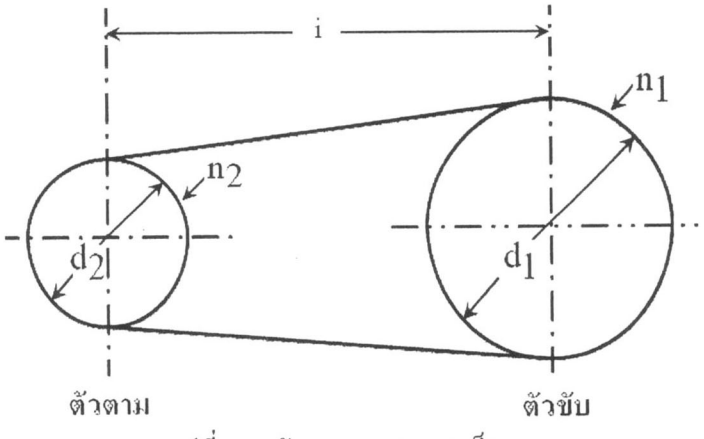
ในการเก็บข้อมูลของพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ มีพารามิเตอร์หลักที่ต้องนำมาพิจารณา คือ กระแส และ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Current and DC Volt) อัตราการเต้นของหัวใจ การเก็บข้อมูลในการวัด สำหรับระบบเก็บข้อมูลจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า “Data Acquisition (DAQ)” ซึ่งมีหน้าที่ในการเก็บข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ และส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผล โดยข้อมูลที่ได้จะเก็บอยู่ในรูปของไฟล์ข้อมูลที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำของ DAQ เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์

ในงานวิจัยนี้พิจารณาเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ของบริษัท National Instrument รุ่น NI USB-6009 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่รับข้อมูลจากความต้านทานชันท์และส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ได้ อีกทั้งยังสนับสนุนการทำงานของโปรแกรม Lab VIEW

รูปที่ 2-4: Data Acquisition รุ่น NI USB-6009

## 2.6 การคำนวณอัตราการทดความเร็วรอบ

ในการส่งกำลังจากชุดขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความจำเป็นต้องทดรอบให้ชุดขับเคลื่อนด้วยการออกกำลังกาย สามารถขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ตามที่ออกแบบ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดมีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบของการหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยตรง




รูปที่ 2-5: อัตราการทดความเร็วรอบ

$$\text{อัตราทดรวม(i)} = \frac{\text{ความเร็วรอบตัวขับ}}{\text{ความเร็วรอบตัวตาม}}$$

$$i = \frac{n1}{n2} \quad (8)$$

หรือ

$$\text{อัตราทดรวม} = \frac{\text{เส้นผ่าศูนย์กลางล้อตาม}}{\text{เส้นผ่าศูนย์กลางล้อขับ}}$$

$$i = \frac{d2}{d1} \quad (9)$$

$$\boxed{i = \frac{n1}{n2} = \frac{d2}{d1}} \quad (10)$$

เมื่อ

| | | |
|---|---|---|
| i | คือ | อัตราทดรวม |
| n1 | คือ | ความเร็วรอบตัวขับ (รอบต่อนาที) |
| n2 | คือ | ความเร็วรอบตัวตาม (รอบต่อนาที) |
| d1 | คือ | เส้นผ่าศูนย์กลางล้อขับ (เมตร) |
| d2 | คือ | เส้นผ่าศูนย์กลางล้อตาม (เมตร) |

## 2.7 สรุป

ทฤษฎีที่ใช้ในส่วนสำคัญหลักในงานวิจัยได้กล่าวถึงพอสังเขปได้แก่

1. หลักการทำงานและโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรใช้ในการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
2. ระบบการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
3. หลักการของแบตเตอรี่และการประจุแบตเตอรี่
4. การทำงานอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แปลงระบบไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นกระแสสลับ
5. ระบบวัดและเก็บข้อมูล
6. การคำนวณอัตราการทดความเร็วรอบของชุดส่งกำลังไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ซึ่งทฤษฎีดังกล่าวจะนำไปใช้ในการออกแบบส่วนต่างๆในบทที่ 3 ต่อไป