

บทที่ 3

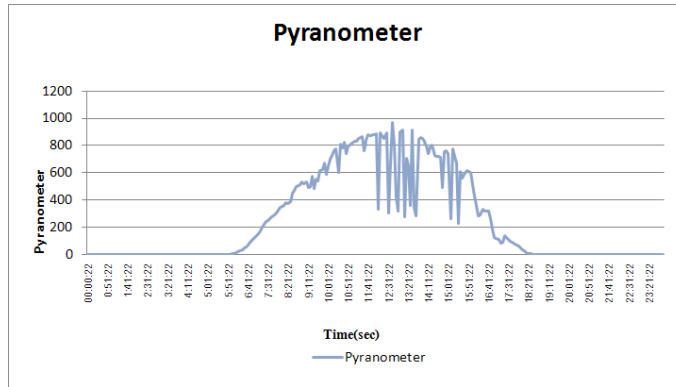
การดำเนินงาน

การศึกษาและวิเคราะห์แหล่งกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 ชนิด คือ แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานลม และเซลล์เชื้อเพลิงในการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทน โครงสร้าง ส่วนประกอบ ปริมาณลมเฉลี่ยในประเทศไทย ปริมาณแสงอาทิตย์ หลักการทำงานรวมไปถึงทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้อง ในงานวิจัยนี้จะเน้นการออกแบบแบบจำลองของแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทน: แสงอาทิตย์, กังหันลม, และเซลล์เชื้อเพลิง การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในการหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดแต่ละแบบได้ทำการทดสอบโดยสร้างแบบจำลองในโปรแกรม MATLAB/SIMULINK และทดสอบกับความเร็วลมที่ความเร็วต่างๆ เพื่อให้มีการทำงานที่สมบูรณ์และมีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่กำหนดไว้ แบ่งการสร้างแหล่งกำเนิดออกเป็น 3 หัวข้อหลักคือ

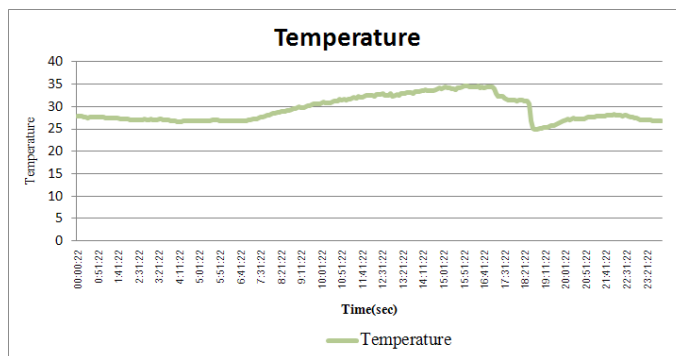
1. การออกแบบแบบจำลองของแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนพลังงานแสงอาทิตย์
2. การออกแบบแบบจำลองของแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนพลังงานลม
3. การออกแบบแบบจำลองของแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนเซลล์เชื้อเพลิง

3.1 การออกแบบแบบจำลองของแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนพลังงานแสงอาทิตย์

งานวิจัยนี้ทำการวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ได้จากไพรานอมิเตอร์ โดยจะทำการวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์เป็นระยะเวลาหนึ่งและจะนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้วิเคราะห์ตามขั้นตอนการทำงาน จากการศึกษาประสิทธิภาพจริงของพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่นั้น พบว่าปริมาณแสงอาทิตย์ที่วัดค่าได้จาก ไพรานอมิเตอร์ ในระยะเวลา 1 วัน ช่วงระยะเวลาที่ได้ประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุดคือ ประมาณ 10.00 น. ถึง 15.00 น. ดูจากค่าที่ได้พร้อมในรูปแบบกราฟตามเวลาจริงได้ดังแสดงในรูปที่ 3.1



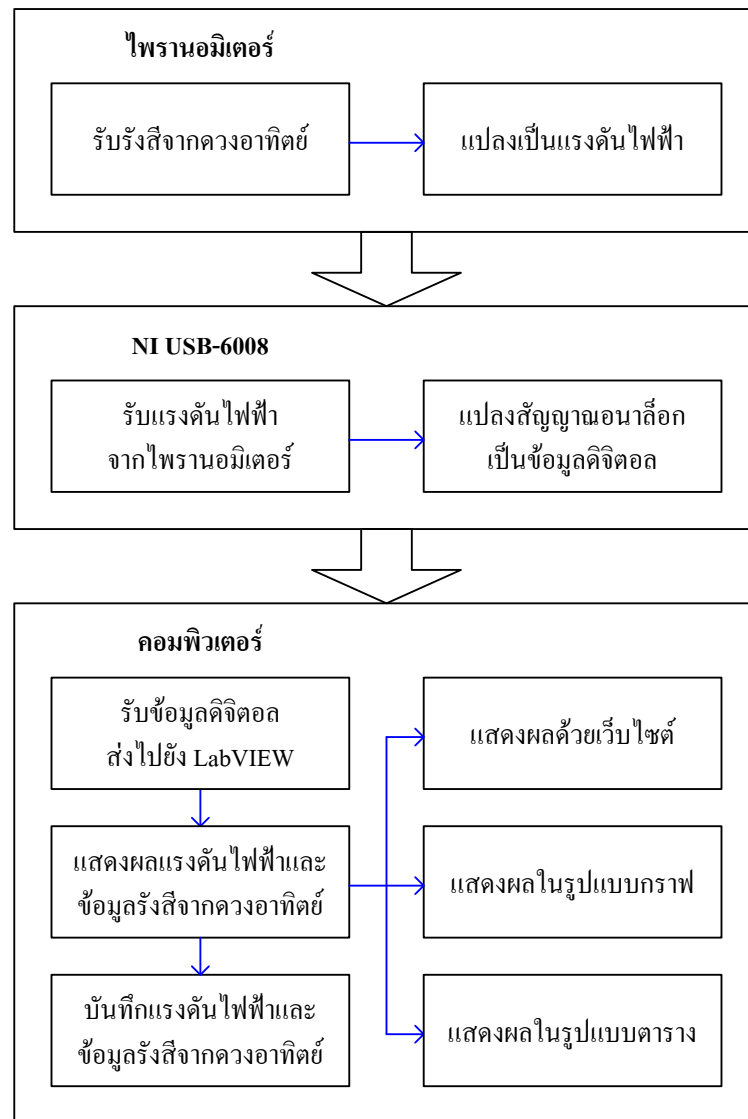
รูปที่ 3.1 ปริมาณแสงอาทิตย์ในระยะเวลา 1 วัน



รูปที่ 3.2 อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์

3.1.1 การวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์

การวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์นั้น มีอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัดและบันทึกข้อมูลอยู่ 3 ส่วน คือ ไพรานอมิเตอร์, NI USB-6008 และ คอมพิวเตอร์ โดยที่ไพรานอมิเตอร์จะทำการวัดความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์และส่งแรงดันไฟฟ้าไปยัง NI USB-6008 ซึ่งทำหน้าที่รับสัญญาณอนาล็อกมาแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลและส่งข้อมูลต่อไปยังคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการประมวลผลและแสดงข้อมูลขึ้นตอนการทำงานของ การวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์ ตั้งแต่เริ่มทำการวัดค่ารังสีดวงอาทิตย์จนถึงการแสดงผลนั้น สามารถแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทำงานของการวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์

3.1.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์

การวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์นั้น มีการรับข้อมูลจากไพรานอมิเตอร์ในรูปแบบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยในการออกแบบฮาร์ดแวร์จะมีการแบ่งเป็นส่วนๆ เพื่อให้ง่ายต่อการทำงานและจัดการข้อมูล มีส่วนประกอบ ดังนี้

1. ไพรานอมิเตอร์ที่ใช้สำหรับวัดรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ของ KIPP & ZONEN รุ่น CMP 3 ใช้ตัวรับแสงแบบเทอร์โมโพล์ ซึ่งทำด้วยโลหะตัวนำต่างกัน 2 ชนิด โดยแบ่งเป็นฝั่ง Hot junctions เป็นส่วนที่ใช้วัดอุณหภูมิและฝั่ง Cold junctions เป็นส่วนที่ใช้อ้างอิงอุณหภูมิ เมื่อ

เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างทั้ง 2 ผัง จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นตั้งแต่ 0 - 15 มิลลิโวลต์ และมีค่า Sensitivity อยู่ที่ $15.96 \mu\text{V/W/m}^2$ เพื่อทำการวัดความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์

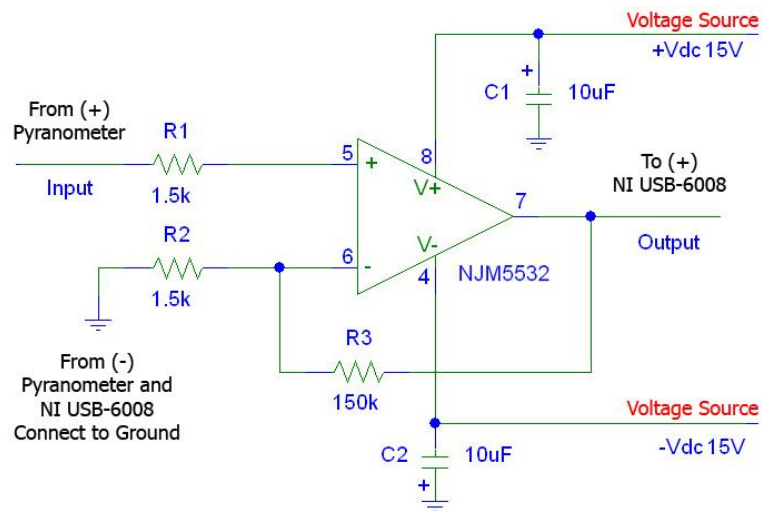


รูปที่ 3.4 ไพรานอมิเตอร์บนศาลฟ้าอาคาร

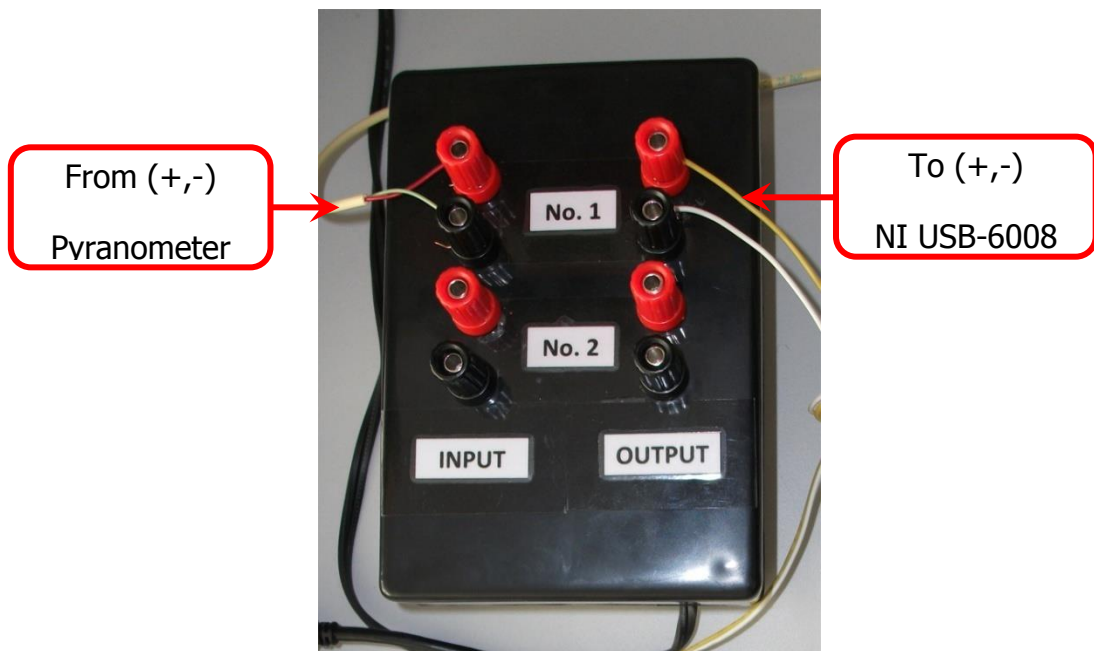
2. วงจรขยายสัญญาณเนื่องจากอุปกรณ์ NI USB-6008 นั้นไม่สามารถรับแรงดันไฟฟ้าในระดับมิลลิโวลต์ได้ จึงจำเป็นต้องทำการขยายแรงดันไฟฟ้าที่มาจากไพรานอมิเตอร์ขึ้นมา โดยใช้ ออปแอมป์ในการขยายสัญญาณ ซึ่งจากวงจรเป็นการขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส เริ่มจาก R1 เป็นตัวจำกัดแรงดัน ผ่านเข้าออปแอมป์รหัส NJM5532 ของ JRC โดยอัตราการขยายสัญญาณ (AV) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} AV &= 1 + \left(\frac{R3}{R2} \right) \\ &= 1 + \left(\frac{150\text{k}\Omega}{1.5\text{k}\Omega} \right) \\ &\cong 100 \text{ เท่า} \end{aligned} \tag{3.1}$$

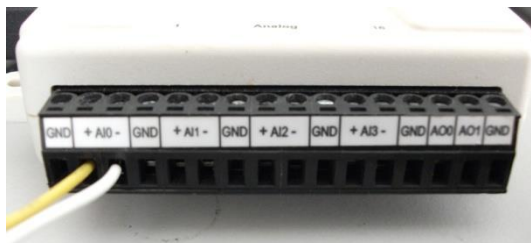
ในการต่อจะให้ขั้วบวกของไพรานอมิเตอร์ต่อเข้าฝั่งอินพุตของวงจรและเอาต์พุตของวงจรจะต่อเข้าขั้วบวกในช่อง AIO ของ NI USB-6008 ส่วนขั้วลบของไพรานอมิเตอร์และช่อง AIO จะต่อเข้ากับกราวด์ร่วมของวงจร



รูปที่ 3.5 วงจรขยายสัญญาณ

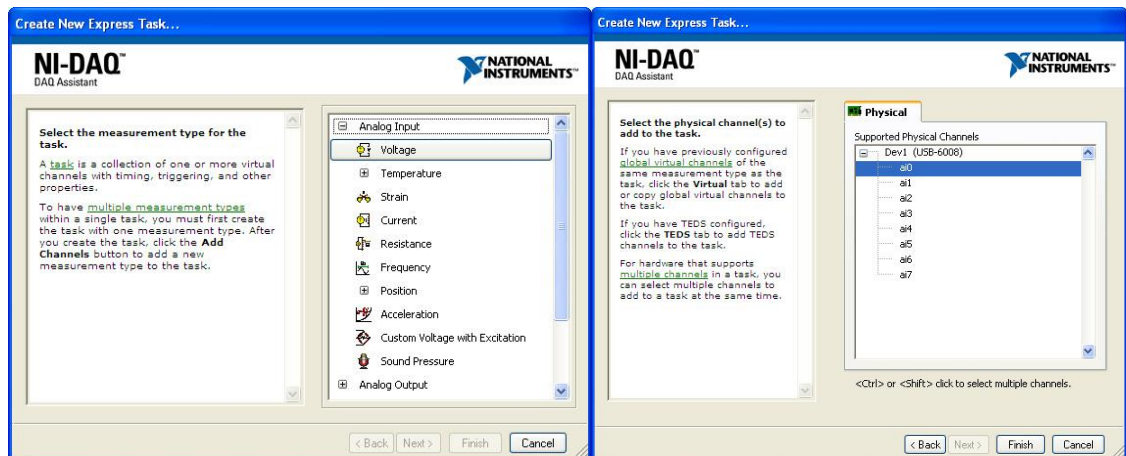


รูปที่ 3.6 การต่อสายเข้ากับวงจรขยายสัญญาณ



รูปที่ 3.7 การต่อสายเข้ากับ NI USB-6008

3. Data Acquisition รุ่น NI USB-6008 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รับและส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ เหตุผลในการเลือกใช้อุปกรณ์นี้ เนื่องจากการส่งข้อมูลแบบ USB ที่เร็วกว่าแบบ RS-232 และยังสามารถแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นข้อมูลดิจิทัลได้ในตัวเอง อีกทั้งสนับสนุนการทำงานของโปรแกรม LabVIEW เป็นอย่างดี โดยในการใช้งาน NI USB-6008 กับไพรมอนิเตอร์นั้นจะต้องเลือกชนิดของข้อมูลที่ได้รับเข้าด้วย

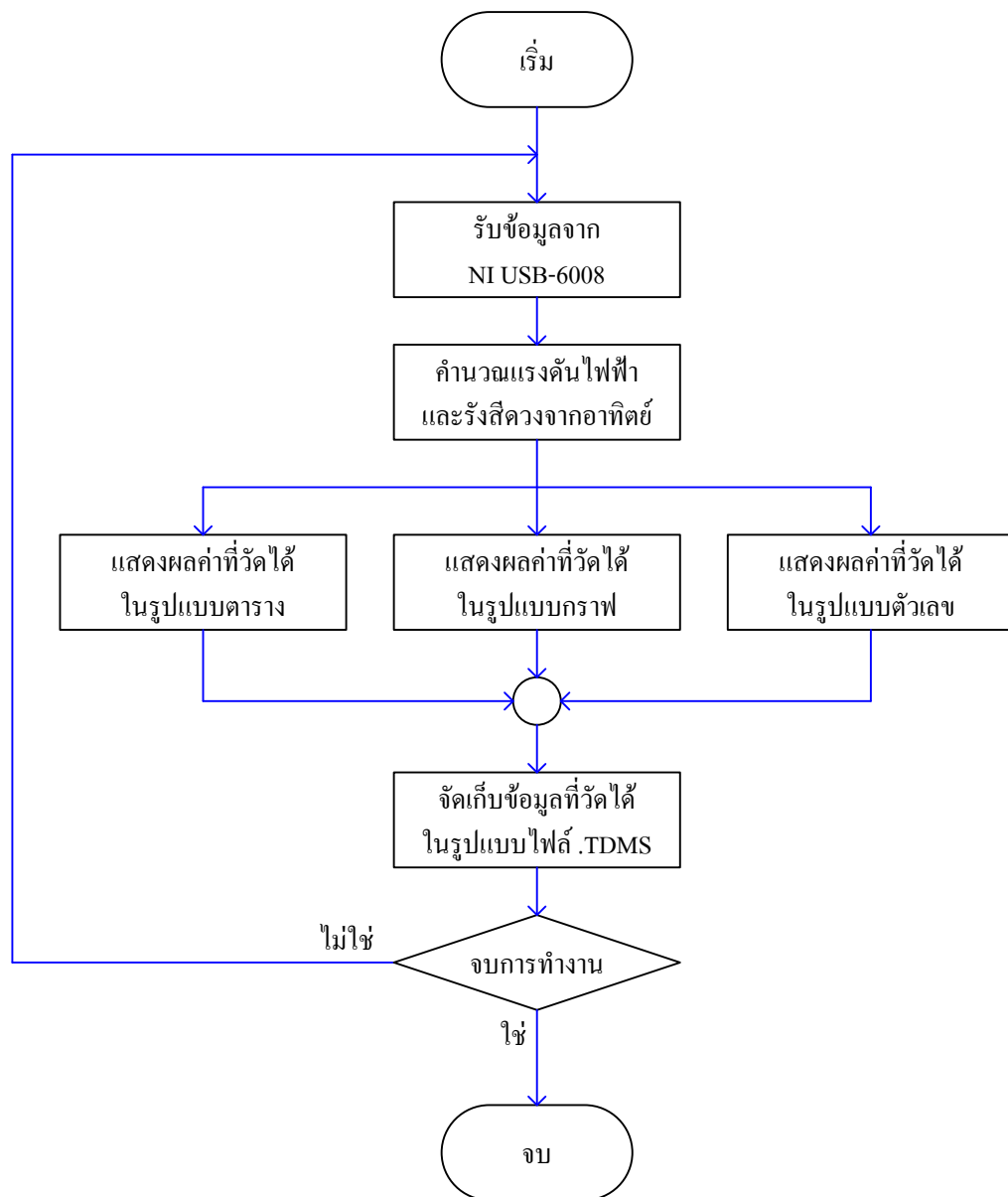


รูปที่ 3.8 การเลือกชนิดของข้อมูลและช่องสัญญาณต่อไพรมอนิเตอร์ ที่รับเข้า NI USB-6008

3.1.3 การออกแบบซอฟต์แวร์

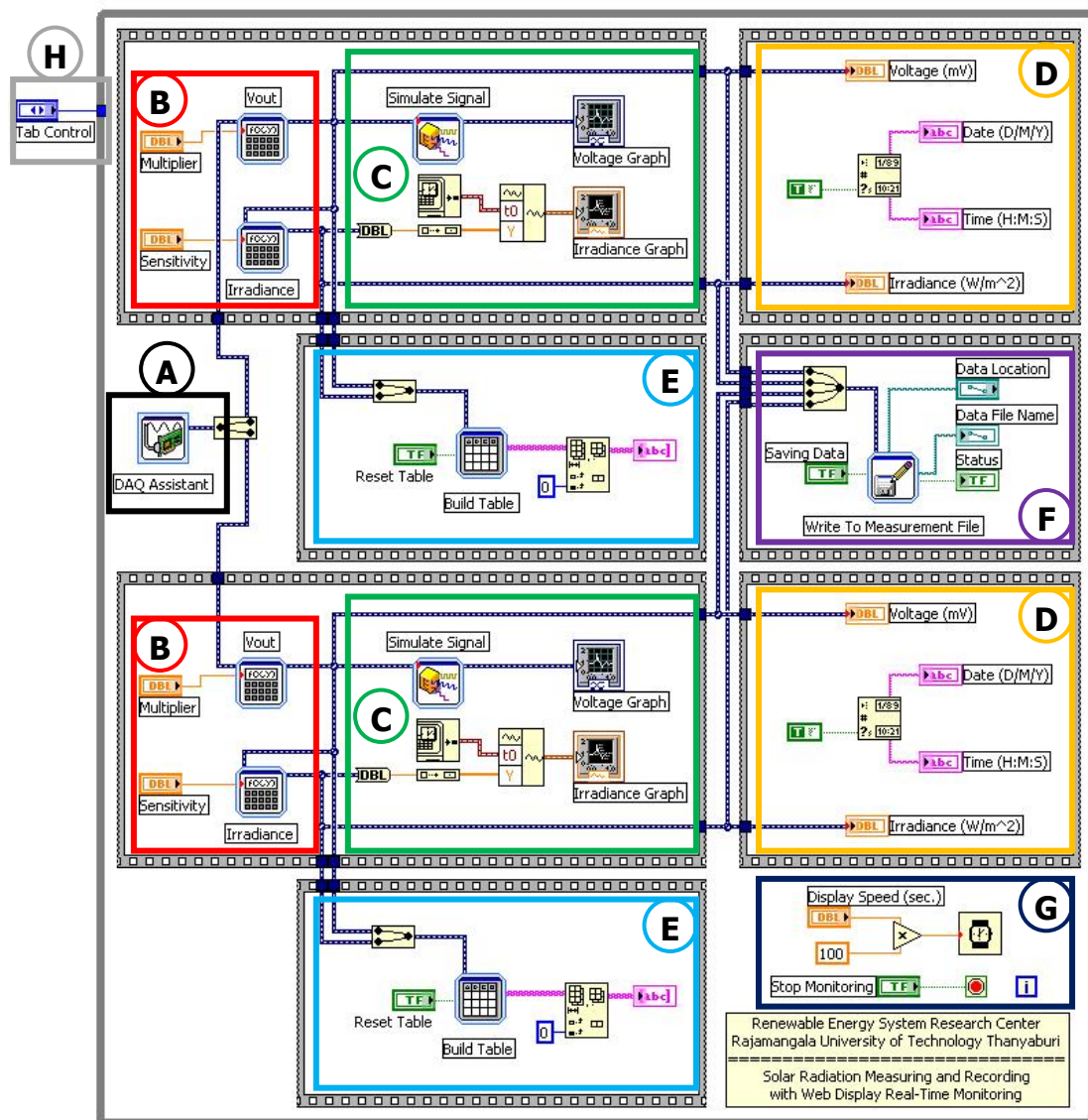
การออกแบบซอฟต์แวร์ ต้องคำนึงถึงความสะดวกในการใช้โปรแกรม ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบโปรแกรมในการวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรม LabVIEW ในการเขียนรูปแบบการแสดงผลต่างๆ ซึ่งลักษณะการทำงานของโปรแกรมสามารถอธิบายได้ดังรูปที่

3.9



รูปที่ 3.9 ลักษณะการทำงานของโปรแกรม

1. Source Code เป็นส่วนที่เก็บชุดของฟังก์ชันที่ใช้ออกแบบโปรแกรม ซึ่งเป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก หากมีการเชื่อมโยงที่ผิดพลาดหรือการใช้รูปแบบข้อมูลไม่ตรงกันในแต่ละฟังก์ชัน อาจทำให้การวัดและบันทึกมีความผิดพลาดหรือไม่สามารถเรียกใช้งานโปรแกรมได้เลย



รูปที่ 3.10 Source Code ของโปรแกรม

โดยในแต่ละฟังก์ชันที่ใช้จะมีความเกี่ยวเนื่องกันกับส่วนการแสดงผลและการควบคุม ซึ่งจะสามารถอธิบายการทำงานและความสัมพันธ์กับส่วนแสดงผลได้ดังนี้

- ฟังก์ชันการรับข้อมูลเนื่องจากตัว NI USB-6008 ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นข้อมูลดิจิทัล ภายในโปรแกรม LabVIEW นั้นจะใช้ฟังก์ชันของ DAQ Assistant ทำหน้าที่รับข้อมูลที่ได้อาจมาจาก NI USB-6008 ซึ่งฟังก์ชันนี้จะไม่แสดงในส่วนของการแสดงผลและการควบคุมการทำงาน
- ฟังก์ชันการคำนวณในส่วนของการคำนวณ จะเป็นการรับค่าที่รับมาจาก DAQ Assistant มาให้ฟังก์ชัน Formula ทำการคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากไพราโนมิเตอร์และค่ารังสี

จากดวงอาทิตย์ ซึ่งสัมพันธ์กับส่วนที่ 9 และ 10 ของส่วนการควบคุมการทำงาน ในการคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากไพรานอมิเตอร์จะคำนวณได้ดังนี้

$$\frac{V_{\text{circuit}}}{AV} \times 1000 = V_{\text{pyranometer}} \quad (3.2)$$

ในส่วนของการคำนวณค่ารังสีจากดวงอาทิตย์จะคำนวณได้ดังนี้

$$\frac{V_{\text{pyranometer}}}{\text{Sensitivity}} \times 1000 = \text{Irradiance} \quad (3.3)$$

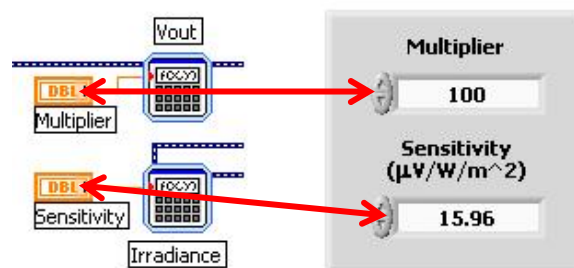
เมื่อ $V_{\text{pyranometer}}$ = แรงดันไฟฟ้าจากไพรานอมิเตอร์ (mV)

V_{circuit} = แรงดันไฟฟ้าจากวงจรขยายแรงดัน (V)

AV = อัตราขยายแรงดัน

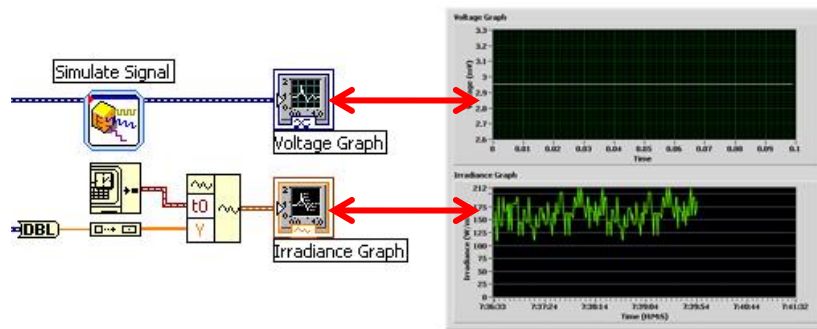
Sensitivity = ความไวของไพรานอมิเตอร์ ($\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$)

Irradiance = รังสีจากดวงอาทิตย์ (W/m^2)



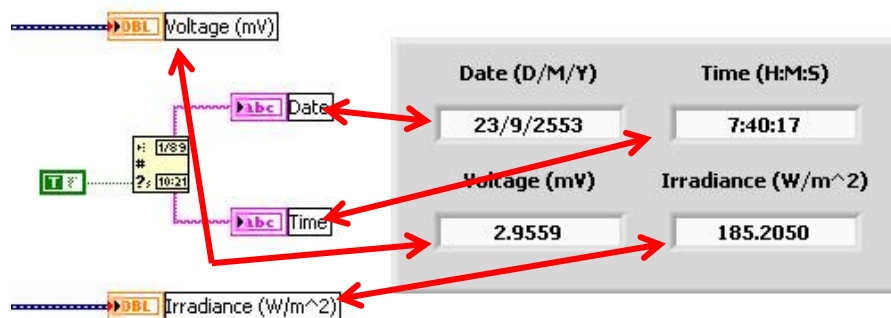
รูปที่ 3.11 ลักษณะฟังก์ชันการคำนวณ (กรอบ B)

- ฟังก์ชันการแสดงผล จะแสดงผลใน 3 รูปแบบคือ กราฟ, ตัวเลขและตาราง โดย ส่วนของกราฟแสดงผลจะใช้ฟังก์ชัน Simulate Signal เพื่อสร้างรูปสัญญาณ DC สำหรับแสดงผล แรงดันไฟฟ้าบน Waveform Graph และในส่วนของ Waveform Chart จะใช้ฟังก์ชันที่นำค่าที่ได้จากการคำนวณรวมกับเวลาเพื่อไปแสดงผลค่าความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์แบบเทียบกับเวลาซึ่งจะสัมพันธ์กับส่วนที่ 3 และ 4 ของส่วนการแสดงผล



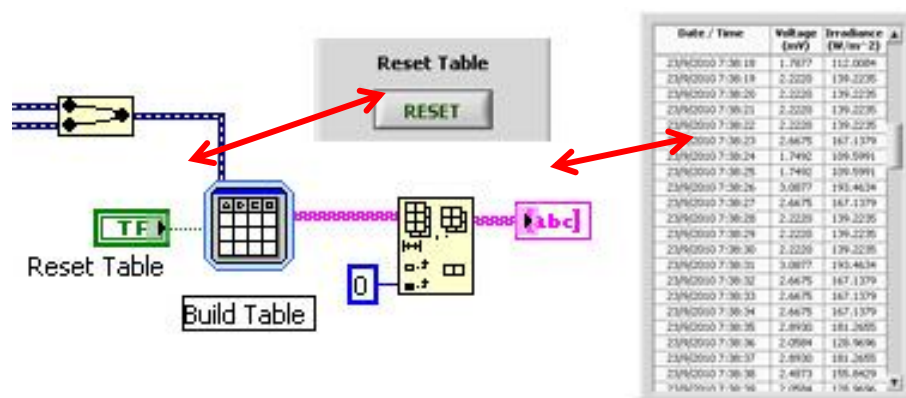
รูปที่ 3.12 ลักษณะฟังก์ชันการแสดงผลแบบกราฟ(กรอบ C)

ในส่วนของการแสดงผลแบบตัวเลข จะใช้ฟังก์ชัน Numeric Indicator แสดงค่าที่วัดได้และ String Indicator สำหรับรับค่าจากฟังก์ชันที่ใช้วันที่และเวลาซึ่งสัมพันธ์กับส่วนที่ 2 ของส่วนการแสดงผล



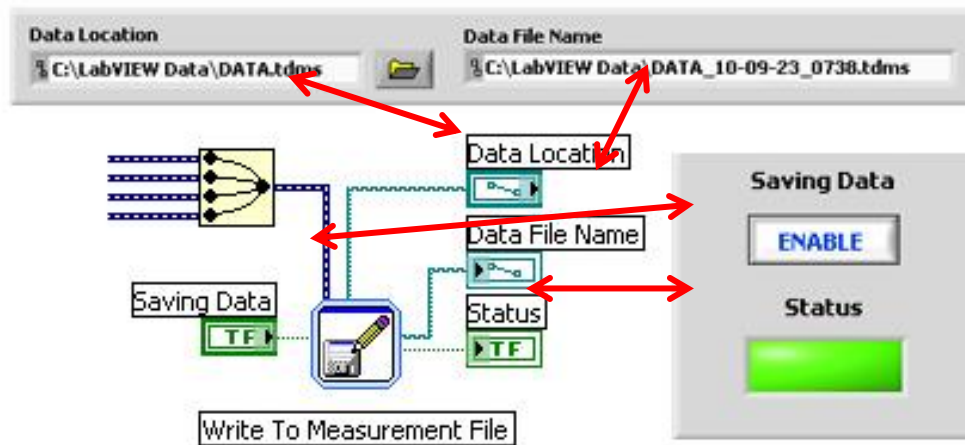
รูปที่ 3.13 ลักษณะฟังก์ชันการแสดงผลแบบตัวเลข (กรอบ D)

ในส่วนของการแสดงผลแบบตาราง จะใช้ฟังก์ชัน Build Table เพื่อแสดงลักษณะค่าที่วัดได้ทั้งเทียบกับเวลาไปแสดงบนตาราง จะสัมพันธ์กับส่วนที่ 1 และ 12 ของส่วนการแสดงผล



รูปที่ 3.14 ลักษณะฟังก์ชันการแสดงผลแบบตาราง(กรอบ E)

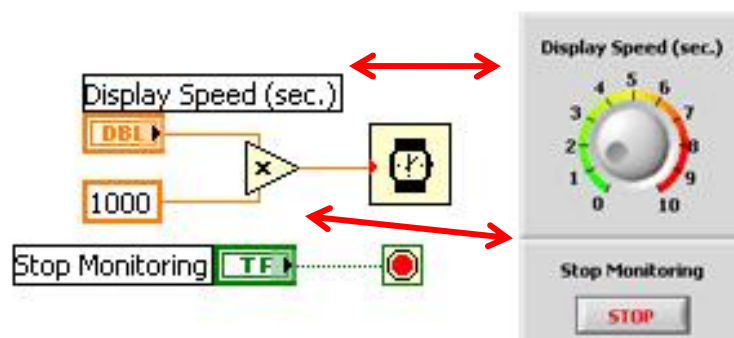
- ฟังก์ชันการจัดเก็บข้อมูลจะใช้ฟังก์ชัน Write to Measurement File ในการจัดเก็บข้อมูลทั้งหมด โดยเป็นไฟล์รูปแบบ .TDMS ซึ่งไฟล์นี้จะสามารถเปิดดูข้อมูลได้ต่อเมื่อติดตั้ง TDM Excel Add-In แล้วเท่านั้น โดยจะใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการเรียกดูไฟล์ .TDMS โดยฟังก์ชันการจัดเก็บข้อมูลนี้ จะสัมพันธ์กับส่วนที่ 5 และ 6 ของส่วนการแสดงผลรวมทั้งในส่วนที่ 13 และ 14 ของส่วนการควบคุมการทำงาน



รูปที่ 3.15 ลักษณะฟังก์ชันการจัดเก็บข้อมูล (กรอบ F)

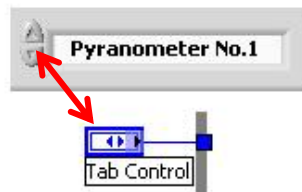
- ฟังก์ชันควบคุมความเร็วการแสดงผลและหยุดการทำงานการหน่วงความเร็วการแสดงผลของโปรแกรม จะใช้ฟังก์ชัน Wait (ms) ร่วมกับฟังก์ชัน Numeric Control ที่ใช้ปรับเวลาในการแสดงผล ซึ่งได้ตั้งค่าการหน่วงความเร็วในการแสดงผลตั้งแต่ 1 - 10 วินาทีซึ่งจะสัมพันธ์กับส่วนที่ 8 ของส่วนการควบคุมการทำงาน

ในการสั่งให้โปรแกรมหยุดทำงานจะใช้ฟังก์ชัน Boolean ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ในการสั่งให้รอบการทำงานสิ้นสุดลง ซึ่งจะสัมพันธ์กับส่วนที่ 11 ของส่วนการควบคุมการทำงาน



รูปที่ 3.16 ลักษณะฟังก์ชันควบคุมความเร็วการแสดงผลและหยุดการทำงาน(กรอบ G)

- ฟังก์ชันสลับการแสดงผลโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้นั้น สามารถรองรับการวัดค่าจากไพรานอมิเตอร์พร้อมกันได้ 2 ตัว โดยฟังก์ชันนี้จะทำหน้าที่สลับการแสดงผลการวัดระหว่างตัวที่ 1 และ ตัวที่ 2 ซึ่งจะสัมพันธ์กับส่วนที่ 7 ของส่วนการควบคุมการทำงาน



รูปที่ 3.17 ฟังก์ชันสลับการแสดงผล (กรอบ H)

3.2 การออกแบบแบบจำลองของแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนพลังงานกังหันลม

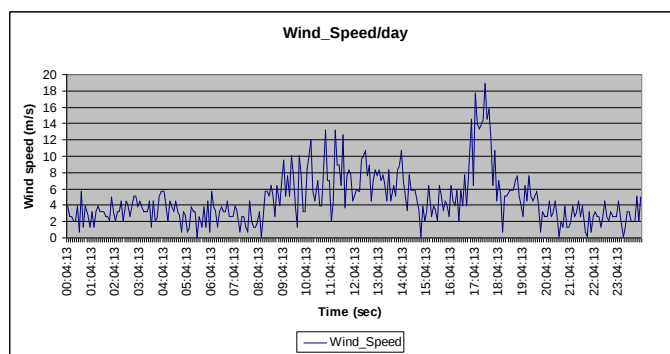
3.2.1 การจำลองโมเดลกังลมผลิตไฟฟ้า

ส่วนประกอบของโมเดลการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบ่งเป็น 3 ส่วนหลักๆ

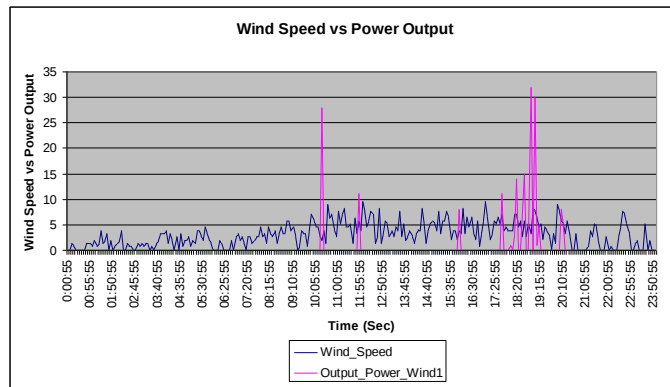
- โมเดลของลมในประเทศไทย
- โมเดลของใบพัดกังหันลม
- โมเดลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวร

1. จำลองโมเดลของลมในประเทศไทย

จากการศึกษาประสิทธิภาพจริงของพลังงานลมของพื้นที่นั้น พบว่า ความเร็วลมที่ได้จากระบบเฝ้าสังเกตด้วยพีซีและแสดงผล ด้วยโปรแกรม LabVIEW โดยออกแบบหน้าจอแสดงผลการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมขนาด 1000 W ที่นำข้อมูลของความเร็วลม กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ออกมาในลักษณะของตัวเลข และนำค่าที่ได้มาสร้างพร้อมรูปแบบกราฟตามเวลาจริงได้ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ความเร็วลมในระยะเวลา 1 วัน



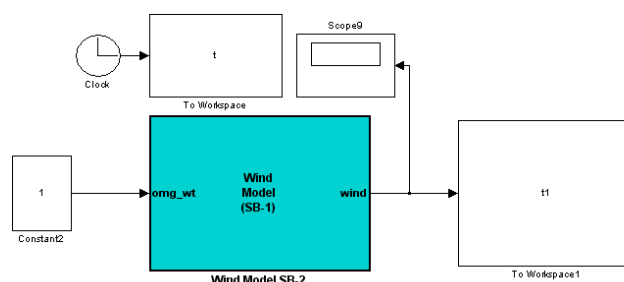
รูปที่ 3.19 ความเร็วลมเปรียบเทียบกับกำลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในระยะเวลา 1 วัน

1. จำลองการทำงานของความเร็วลมในประเทศไทย

ตารางที่ 3.1ค่าพารามิเตอร์ของลมในประเทศไทย

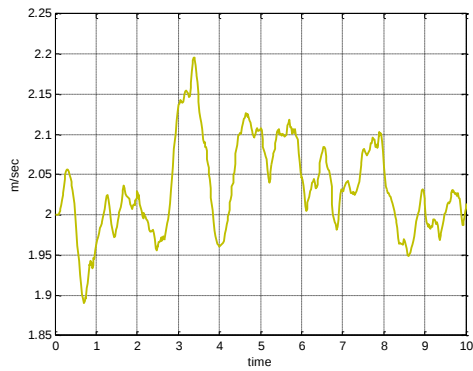
Parameter	Set parameter
Rotor Diameter [m]	2.7
Average Wind speed [m/sec]	2,10,35
Length scale [m]	1
Turbulence intensity [%]	12
Simple time [sec]	0.05

หมายเหตุ การset ค่า parameter สามารถปรับเปลี่ยนตามขนาดของกังหันลมขนาดต่างๆได้

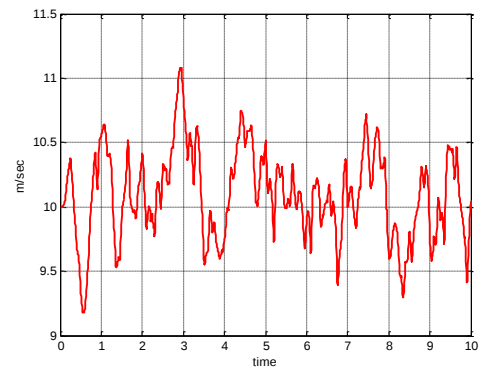


รูปที่ 3.20 การจำลองโมเดลของลม

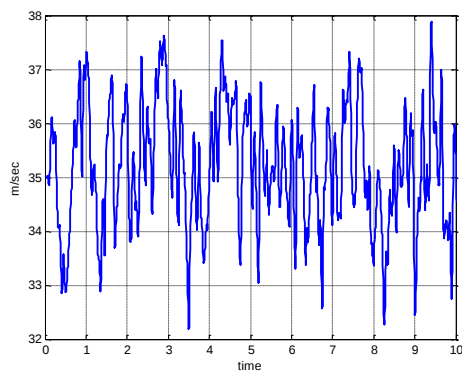
การทดสอบลมที่ความเร็วที่ค่าความเร็วต่างๆ ในสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย ได้แบ่งการจำลองออกเป็น 3 ความเร็วลมคือ 2 m/s 10 m/s 35m/s ที่ความเร็วลมที่ต่างกันจะเห็นได้ว่าค่าความถี่ของพลังงานจะมีค่าต่างกัน ตามแสดงที่รูป



ก) ความเร็วลมที่ 2 m/sec



ข) ความเร็วลมที่ 10 m/sec



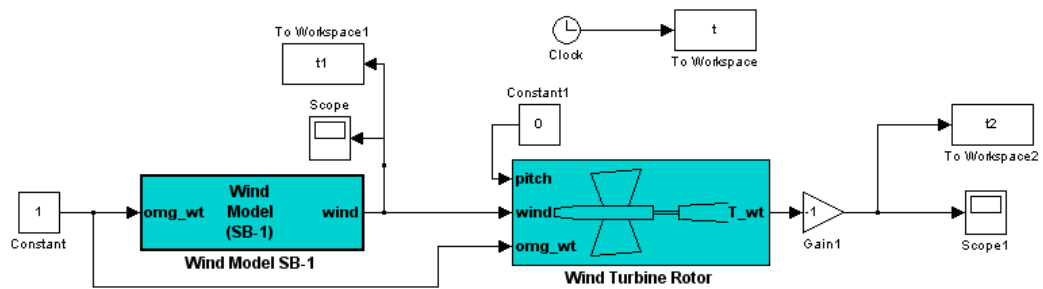
ค) ความเร็วลมที่ 35 m/sec

รูปที่ 3.21 จำลองความเร็วลมที่ความเร็วลมต่างกัน

2. โมเดลใบพัดของกังหันลม

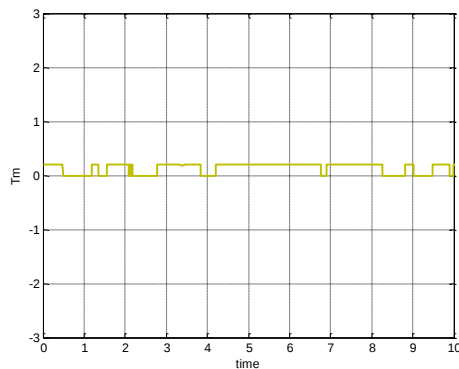
ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ของใบพัดกังหันลม

Parameter	Set parameter
Blade radius [m]	1.35
Air density [kgm^3]	1.225
Cut in speed [m/sec]	2
Cut out speed [m/sec]	35
Time constant for pitch actuator [sec]	0

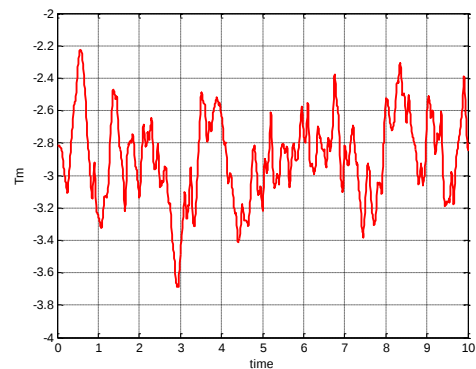


รูปที่ 3.22 การจำลองโมเดลการทำงานของใบพัดกังหันลม

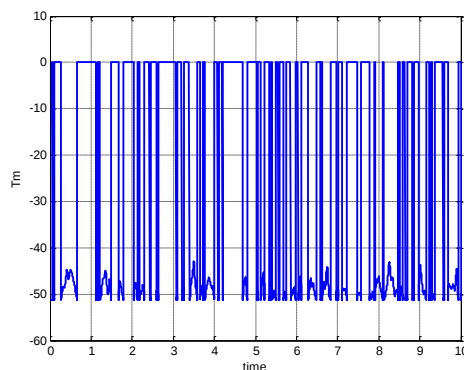
การทดสอบ โมเดลของใบพัดกังหันลม โดยรับอินพุตลมมาจากโมเดลของลมในประเทศไทย ที่สภาวะการทำงาน cut in ที่ 2 m/sec cut out ที่ 35 m/sec และเพื่อศึกษาการทำงานของใบพัดของกังหันลมในช่วงการทำงานต่างๆ โดยเอาพุดที่ออกมาอยู่ในรูปของแรงบิดเพื่อไป ควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อไป



ก) ทอร์คการทำงานในสภาวะ Cut in



ข) ทอร์คการทำงานในสภาวะปกติ



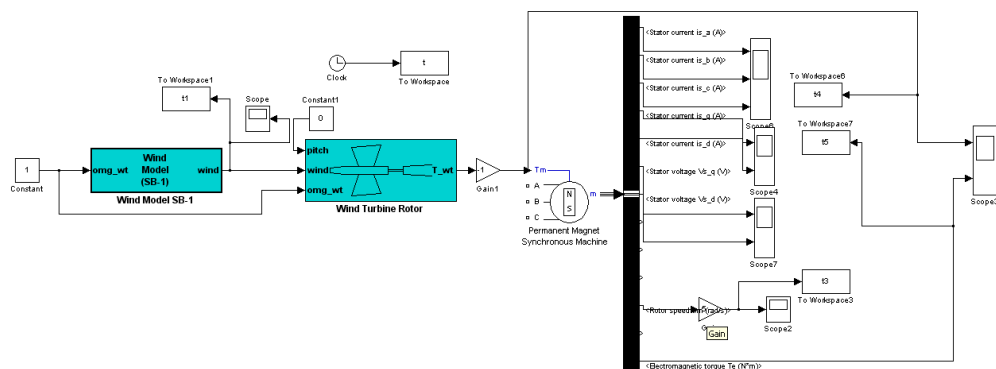
ค) ทอร์คการทำงานในสภาวะ Cut out

รูปที่ 3.23 ทอร์คของใบพัดกังหันลม

3. โมเดลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร

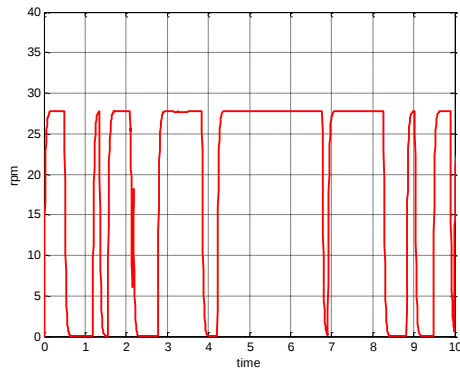
ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร

Parameter	Set parameter
Flux distribution : Sinusoidal : trapezoidal	Sinusoidal
Mechanical input : Torque T_m : Speed w	Torque T_m
Preset model :	No
Stator resistance [ohm]	2.8750
Inductances [$L_d(H)$, $L_q(H)$]	[8.5e-3, 8.5e-3]
Flux induced by magnets [Wb]	0.175
Inertia, friction factor and pairs [$J(kg\cdot m^2)$, $F(N\cdot m\cdot s/pO)$]	[1e-3, 0, 8]

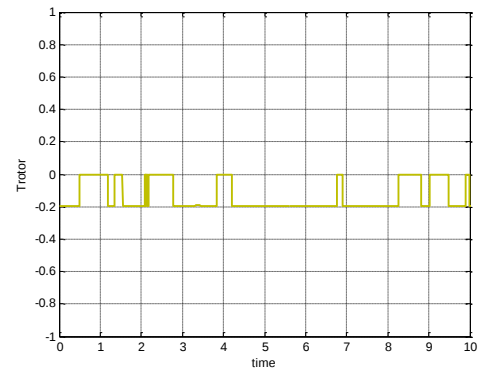


รูปที่ 3.24 การจำลองเพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร

การทดสอบ โมเดลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร โดยรับอินพุตจาก กังหันลมดังรูปที่ 3.25 เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรใน สภาวะลมต่างๆ

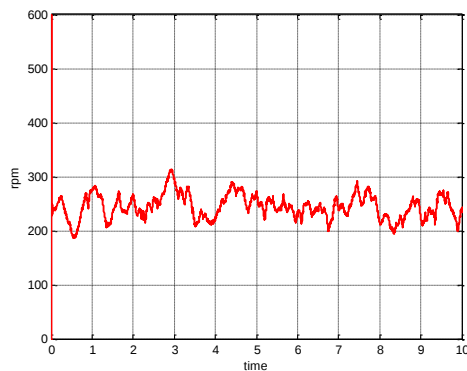


ก) ความเร็วลมในสภาวะ Cut in

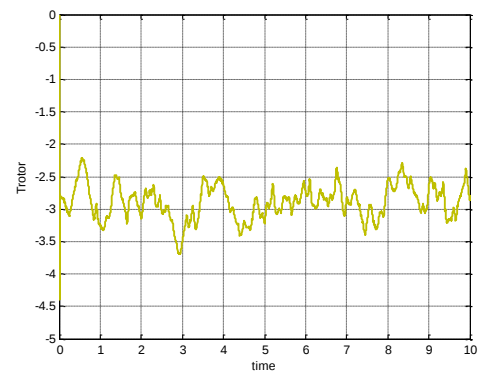


ข) ทอร์คในสภาวะ Cut in

รูปที่ 3.25 การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรในสภาวะ Cut in

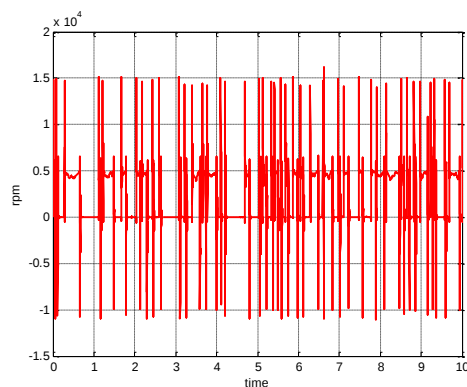


ก) ความเร็วลมในสภาวะปกติ

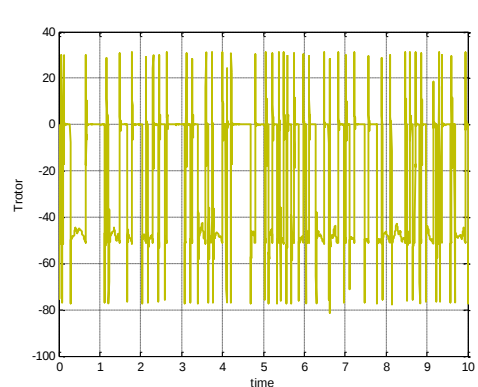


ข) ทอร์คในสภาวะปกติ

รูปที่ 3.26 การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรในสภาวะปกติ



ก) ความเร็วลมในสภาวะ Cut Out



ข) ทอร์คในสภาวะ Cut Out

รูปที่ 3.27 การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรในสภาวะ Cut Out

พลังงานที่ผลิตได้จากกังหันลมจะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความเร็วลมแต่ความสัมพันธ์นี้ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง ที่ความเร็วลมต่ำ (1 - 3 เมตร/วินาที) กังหันลมจะยังไม่ทำงาน ในช่วงความเร็วลม

นี้กังหันลมจะยังไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ที่ความเร็วลมระหว่าง 1 – 1.9 เมตร/วินาที กังหันลมจะเริ่มทำงานเรียกช่วงนี้ว่า "cut in wind speed" ที่ความเร็วลมช่วงประมาณ 2 เมตร/วินาที เป็นช่วงที่เรียกว่า "nominal หรือ rate wind speed" ซึ่งเป็นช่วงที่กังหันลมทำงานอยู่บนพิกัดกำลังสูงสุดของตนเองค่าความเร็วลมที่แน่นอนขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อพื้นที่หน้าตัดของใบพัดและการออกแบบที่จุดต่ำกว่า nominal คือ "maximum rotor efficiency" ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับ "tip speed ratio" (Siegfried, 1998) ในช่วงความเร็วลมที่สูงกว่า 35 เมตร/วินาที กังหันลมจะหยุดทำงานเนื่องจากความเร็วลมที่สูงเกินไป จนอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อกลไกของกังหันลมได้

3.2.2 การออกแบบแบบจำลองแหล่งกำเนิดพลังงานลม

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรขนาด 1 กิโลวัตต์

- การคำนวณจำนวนโพล

จากการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรขนาด 1 กิโลวัตต์มีแรงดันพิกัดที่ 48V ความถี่ 50 Hz จำนวนขั้วแม่เหล็ก 12 ขั้ว จึงนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาคำนวณความเร็วรอบ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก และจำนวนขดลวดในร่องสเตเตอร์เพื่อแสดงความสัมพันธ์

$$\begin{aligned} N &= \frac{120 f}{p} \text{ (rpm.)} \\ &= \frac{120 \times 50}{8} \\ &= 750 \text{ rpm.} \end{aligned} \tag{3.4}$$

เมื่อ N = ความเร็วรอบ

F = ความถี่ไฟฟ้า

P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก

เมื่อทราบจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กเท่ากับ 15,000 Gauss ต้องคำนวณหา $\Phi_{\max}$

$$15,000 \text{ Gauss} = 1.5 \text{ T} = B_r$$

เมื่อ $\Phi_{\max}$ = ค่า fundamental flux จากแม่เหล็กหาได้จาก

$$\Phi_{\max} = A_{\text{magn}} B_{\max} \tag{3.5}$$

เมื่อ A_{magn} = พื้นที่หน้าตัดแม่เหล็กแต่ละแท่ง = ความกว้าง x ความยาว

$$\begin{aligned} A_{\text{magn}} &= l \times w \\ &= 27\text{mm} \times 115\text{mm} \\ &= 3.105 \times 10^{-3} \text{m}^2 \end{aligned}$$

เมื่อ B_{max} = ค่าความหนาแน่นสูงสุดของสนามแม่เหล็ก ผ่าน Air gap

$$\begin{aligned} B_{\text{max}} &= B_r \frac{\delta}{A_{\text{gap}} + \delta} \\ &= 1.5 \text{ T} \frac{12}{5 + 12} \\ &= 1.5 \text{ T} \times 0.7 \\ &= 1.05 \text{ T} \end{aligned}$$

เมื่อ A_{gap} = ช่องว่างระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์ (mm.)

δ = คือความหนาแท่งแม่เหล็ก (10 mm.)

B_r = คือความหนาแน่นสนามแม่เหล็กบริเวณผิวแท่งแม่เหล็ก

$$\begin{aligned} \phi_{\text{max}} &= 3.105 \times 10^{-3} \text{m}^2 \times 1.05 \text{T} \\ &= 3.26 \times 10^{-3} \text{Wb/m}^2 \end{aligned}$$

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

$$E = 2\pi \times N_c \times f \times \phi_{\text{max}} \times \frac{N_s}{N_{\text{ph}}} \quad (3.6)$$

เมื่อ N_c = จำนวนรอบของขดลวด

N_s = จำนวนขดลวด (24 ขด)

N_{ph} = จำนวนเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$\phi_{\text{max}} = 3.26 \times 10^{-3} \text{Wb/m}^2$$



รูปที่ 3.28 สเตเตอร์ของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

- สเตเตอร์

จำนวนร่องสลิต 36 ร่องสลิต 8 โพล เนื่องจากสเตเตอร์มีเพียง 36 ร่องสลิต จึงทำการประยุกต์ในการลงขดลวดวางระยะความกว้าง 5 ร่อง

สูตรคำนวณการออกแบบการพันขดลวดสเตเตอร์

$$n = \text{จำนวนร่องต่อขั้วแม่เหล็ก} \\ = 36 / 8$$

$$= 4.5 \approx 5 \text{ (Slot/pole)}$$

$$m = \text{จำนวนร่องต่อขั้วแม่เหล็กต่อเฟส} \\ = 36/8/3$$

$$= 1.5 \text{ coil-group} \approx 2 \text{ coil-group}$$

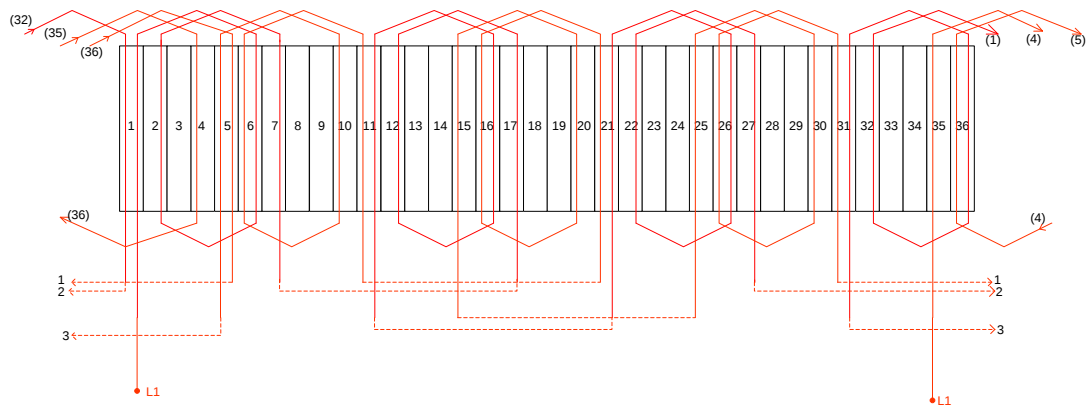
ใช้ขดลวดทองแดงเบอร์ 21 ทนกระแสสูงสุดได้ 1.2 แอมป์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7239 mm. การลงขดลวดแสดงดังรูป 3.1,3.2,3.3 ตามลำดับ



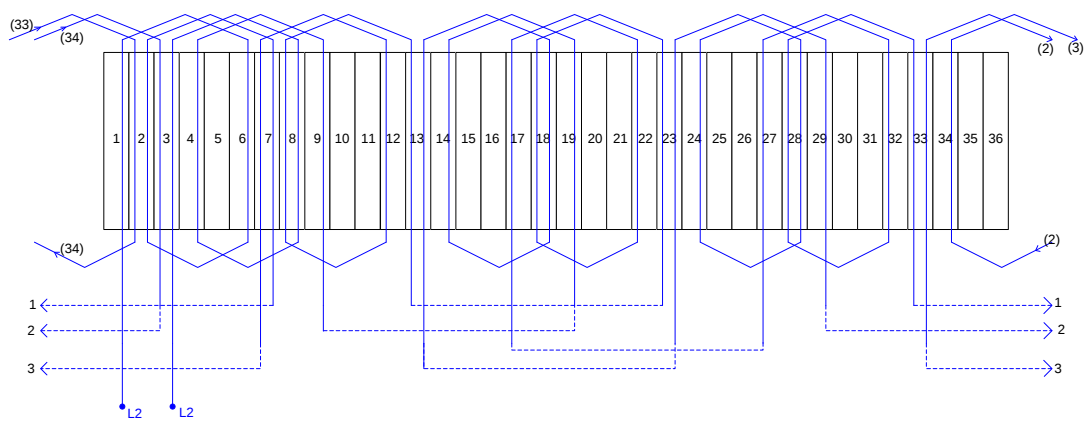
รูปที่ 3.29 โรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

- โรเตอร์

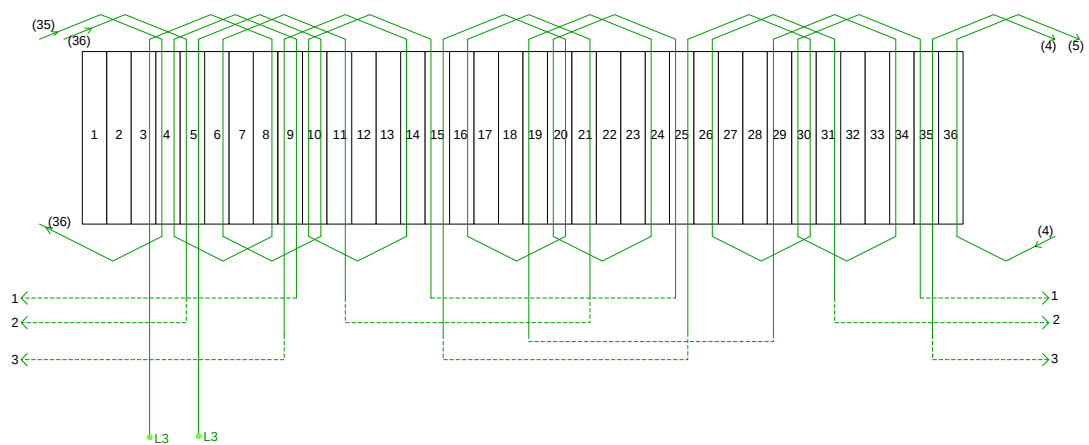
โรเตอร์ 8 ขั้ว ทำด้วยแม่เหล็กขนาด 27 mm × 115 mm × 12 mm เมื่อทราบจำนวนร่องสลิตต่อขั้วแม่เหล็กเท่ากับ 5 ร่องต่อขั้วแม่เหล็ก การเลือกแม่เหล็กถาวรควรมีขนาดความกว้างเท่ากับขนาดของร่องสลิตต่อขั้วแม่เหล็กแต่ขนาดของแม่เหล็กถาวรที่เลือกจะมีขนาด กว้าง x ยาว x หนาหลายขนาด ดังนั้นจึงต้องเลือกแม่เหล็กถาวรให้มีขนาดใกล้เคียงความยาวของสลิตโรเตอร์



รูปที่ 3.30 การวางขดลวดเฟสที่ 1



รูปที่ 3.31 การวางขดลวดเฟสที่ 2



รูปที่ 3.32 การวางขดลวดเฟสที่ 3

2. การคำนวณความเร็วรอบของใบพัด

ใบพัดกังหันลมจะหมุนด้วยความเร็วรอบเท่าไรขึ้นอยู่กับปัจจัยสามอย่างคือความเร็วลม จำนวนใบ และความโตของใบพัด เราสามารถคำนวณความเร็วรอบได้ดังนี้

$$\text{ความเร็วรอบ (RPM)} = \text{ความเร็วลม (m/s)} \times \text{TSR} \times 60 / (22 / 7 \times D) \quad (3.7)$$

$$\text{หรือ} = \text{ความเร็วลม (m/s)} \times \text{TSR} \times 60 \times 7 / (22 \times D)$$

เมื่อ TSR (Tip Speed Ratio) คือ อัตราส่วนความเร็วปลายใบพัดเมื่อเทียบกับความเร็วลม ซึ่งใบพัดชนิดสามใบมีค่าเท่ากับ 5 เท่าของความเร็วลม

D คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัด (เมตร) นำมาคำนวณเป็นเส้นรอบวงโดยคูณด้วย 22 / 7

การคำนวณความเร็วรอบของใบพัดชนิดสามใบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.4 เมตร ณ. ความเร็วลม 9 เมตรต่อวินาที

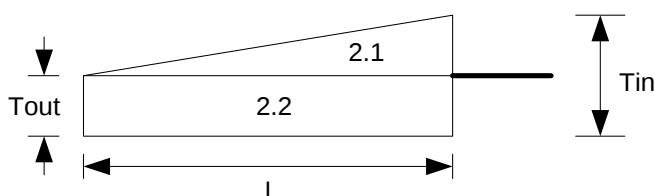
1. การหาความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลม

$$\text{ความเร็วรอบ} = 9 \times 5 \times 60 \times 7 / (22 \times 5.4)$$

$$= 18900 / 118.8$$

$$= 159 \text{ รอบต่อวินาที}$$

2. การหาพื้นที่ของใบพัด



$$A_{2,1} = \frac{1}{2} (T_{in} - T_{out}) \times l \quad (3.8)$$

$$A_{2,2} = T_{out} \times l \quad (3.9)$$

$$A = \left[\frac{1}{2} (T_{in} - T_{out}) \times l \right] + [T_{out} \times l]$$

$$A = \frac{l}{2} [T_{in} + T_{out}] \quad (3.10)$$

3. การคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad \% \quad (3.11)$$

เมื่อ P_{in} = กำลังขับ (W)

P_{out} = กำลังจ่ายออก (W)

η = ประสิทธิภาพ (%)

$$P_{in} = T_{shaft} \times 2\pi \times \frac{N}{60} \quad (W) \quad (3.12)$$

เมื่อ T_{shaft} = แรงบิด (N.m)

N = ความเร็วรอบ (rpm)

$$T_{shaft} = F \times r \quad (3.13)$$

เมื่อ F = แรงที่กระทำ (N)

r = รัศมีของใบพัด (m)

$$F = \frac{1}{2} \rho A V^2 \quad (3.14)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นมวลอากาศ ($\approx 1.225 \text{ kg/m}^3$)

A = พื้นที่ของใบพัด (m^2)

V = ความเร็วลม (m/s)

F = แรงที่กระทำ (N)

$$P_{out} = V I \quad (W) \quad (3.15)$$

เมื่อ V = แรงดันจ่ายออก (V)

I = กระแส (A)

-ประสิทธิภาพของ Wind Generator

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \quad (3.16)$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าจากกังหันลม } P = \frac{1}{2} \rho \frac{\pi}{4} D^2 V^3 C_p \quad (3.17)$$

เมื่อ P = กำลังจากกังหัน (W)

V = ความเร็วลม (m/s)

ρ = ความหนาแน่นมวลอากาศ ($\approx 1.225 \text{ kg/m}^3$)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางใบกังหัน (3 m)

C_p = สัมประสิทธิ์พลังงานจากกังหันลม (0.15)

$$P_{out} = V \times I \quad (W) \quad (3.18)$$

เมื่อ V = แรงดันจ่ายออก (V)

I = กระแส (A)

3.2.3 การทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรขนาด 1 กิโลวัตต์ ทดสอบที่โหลดคงที่ ความเร็วเปลี่ยนแปลง

ขณะต่อโหลดโหลดอินแคนเดสเซนต์ 900 วัตต์ ทำการทดสอบความเร็วรอบตั้งแต่ 1-20 m/s โดยวัดและบันทึกค่า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และคำนวณหาลำดับ input output และประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

อุปกรณ์การทดสอบ

- | | |
|-------------------------------------|-----------|
| 1. โหลดหลอดอินแคนเดสเซนต์ 100 วัตต์ | 9 หลอด |
| 2. motor และชุดควบคุม (Inverter) | 1 เครื่อง |
| 3. โวลท์มิเตอร์ | 2 เครื่อง |
| 4. แอมป์มิเตอร์ | 3 เครื่อง |
| 5. เครื่องวัดความเร็วรอบ | 1 เครื่อง |

6. ออสซิลโลสโคป

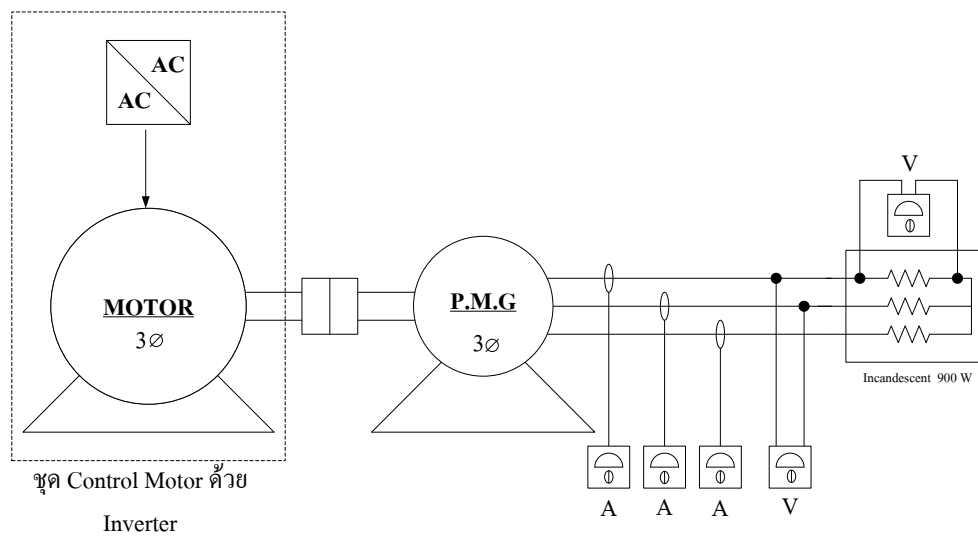
1 เครื่อง

7. สายต่อวงจร

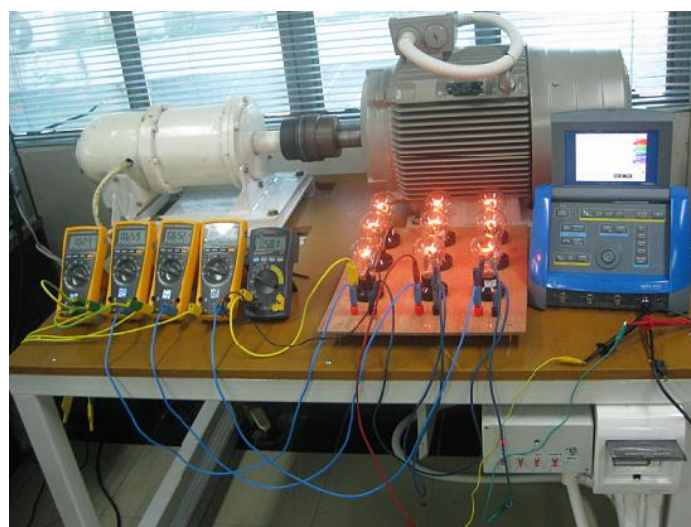
20 เส้น

ลำดับขั้นตอนการทดสอบ

1. ประกอบชุดควบคุม (Inverter) กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร 3 เฟส และมิเตอร์เพื่อวัดค่าต่างๆทางไฟฟ้า ดังภาพที่ 3.3
2. ต่อวงจรให้เรียบร้อยแล้วเปิดสวิตช์ชุดควบคุม (Inverter)
3. ปรับความเร็วรอบทดสอบตามตารางการทดลอง
4. บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ขณะจ่ายโหลด



รูปที่ 3.33 วงจรการทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรแม่เหล็กถาวร ขนาด 1 กิโลวัตต์ ขณะต่อ โหลดด้านกระแสลับ



รูปที่ 3.34 การทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร 1 kW โหลดคงที่

3.2.4 การทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรขนาด 1 กิโลวัตต์ โดยการทดสอบที่ความเร็วคงที่ โหลดเปลี่ยนแปลง

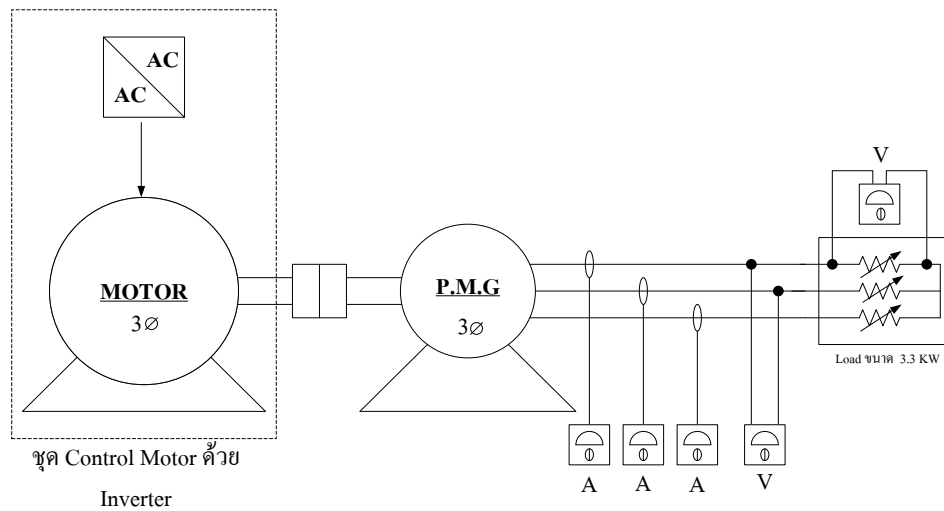
การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรขนาด 1 กิโลวัตต์ ขณะต่อโหลดด้านกระแสสลับ ทำการทดสอบความเร็วคงที่ 500 rpm ต่อโหลดความต้านทานปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 - 1,000 วัตต์ โดยวัดและบันทึกค่า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และคำนวณหา กำลัง input output และประสิทธิภาพ

อุปกรณ์การทดสอบ

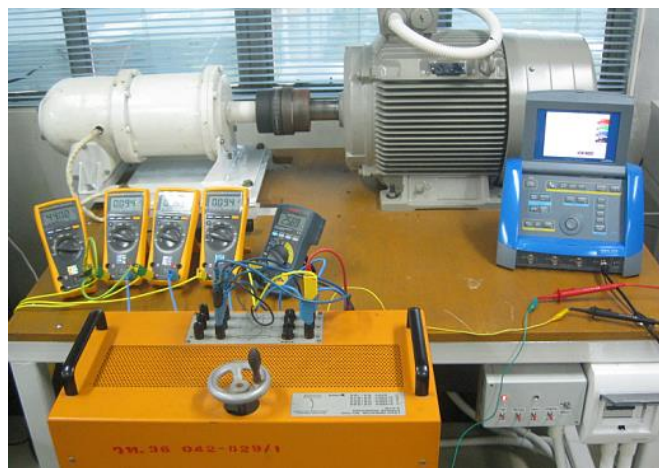
1. โหลดความต้านทานปรับค่าได้ขนาด 3.3 kW	1 เครื่อง
2. motor และชุดควบคุม (Inverter)	1 เครื่อง
3. โวลท์มิเตอร์	2 เครื่อง
4. แอมป์มิเตอร์	3 เครื่อง
5. เครื่องวัดความเร็วรอบ	1 เครื่อง
6. ออสซิลโลสโคป	1 เครื่อง
7. สายต่อวงจร	20 เส้น

ลำดับขั้นตอนการทดสอบ

1. ประกอบชุดควบคุม (Inverter) กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรแบบ 3 เฟส และมิเตอร์เพื่อวัดค่าต่างๆทางไฟฟ้า ดังภาพที่ 3.3
2. ต่อวงจรให้เรียบร้อยแล้วเปิดสวิตซ์ชุดควบคุม (Inverter)
3. ปรับความเร็วรอบตามตารางกำหนด
4. ปรับโหลดความต้านทานแบบละเอียดทดสอบเริ่มตั้งแต่ 0 - 1,000 W
5. บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ขณะจ่ายโหลด



รูปที่ 3.35 วงจรการทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรขนาด 1 กิโลวัตต์ ขณะต่อโหลดด้านกระแสลับ



รูปที่ 3.36 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร ขนาด 1 กิโลวัตต์ โหลดเปลี่ยนแปลง

3.3 การออกแบบแบบจำลองของแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนเซลล์เชื้อเพลิง

การออกแบบเซลล์เชื้อเพลิงนั้นวัตถุประสงค์สำคัญคือการจัดการจัดการน้ำเป็นปัญหาสำคัญ ใน Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFCs) ซึ่งเชื้อเพลิงต้องชุ่มน้ำอยู่ตลอดเวลา ทำให้น้ำที่ระเหยออกไปต้องเท่ากับน้ำที่ผลิตขึ้นมา ถ้าน้ำระเหยเร็วเกินไป น้ำจะแห้งจากเชื้อเพลิงและทำให้ความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และเชื้อเพลิงจะแตกออก ทำให้เกิดการลัดวงจรของก๊าซ ซึ่งไฮโดรเจนและ

ออกซิเจนจะรวมกันโดยตรง ทำให้เกิดความร้อนสูง ทำลายเซลล์ไปได้ แต่ถ้าน้ำระเหยออกช้าเกินไป ขั้วไฟฟ้าจะถูกน้ำท่วมทำให้สารตั้งต้นไม่อาจเข้าทำปฏิกิริยากับตัวเร่งได้และทำให้ปฏิกิริยาสิ้นสุด และปัจจัยอื่นๆ ก็มีความสำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิตลอดทั้งเซลล์ ซึ่งบางครั้งอาจเปลี่ยนแปลงและทำลายเซลล์ได้ สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ในลำดับต่างๆ ของเซลล์แต่ละชนิด การเลือกวัสดุต้องพิจารณาปัจจัยหลายอย่างประกอบกัน ทั้งนี้ไม่มีวัสดุใดที่จะให้ผลดี 100% พร้อมกันในทุกๆ ด้าน นอกจากนี้ สำหรับเซลล์บางประเภทจะเน้นที่ความทนทานและอายุการใช้งาน สำหรับ เซลล์เชื้อเพลิงไม่มีปัญหาการทำงานในที่อุณหภูมิสูงแต่ในที่อุณหภูมิต่ำ

3.3.1 เทคโนโลยีของเซลล์เชื้อเพลิง

ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงไม่ได้ถูกจำกัดด้วยประสิทธิภาพในระบบของวัฏจักร การ์โนต์ เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงไม่ได้มีการทำงานเป็นวัฏจักรที่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ดังนั้นเซลล์เชื้อเพลิงจึงสามารถมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าที่สูงมากได้ เช่น เซลล์เชื้อเพลิงแบบ hydrogen/oxygen proton-exchange membrane หรือ polymer electrolyte (PEMFC) พอลิเมอร์ที่ให้โปรตอนผ่านได้จะแยกฝั่งแอโนดและแคโทดออกจากกัน แต่ละด้านจะมี ขั้วไฟฟ้าของตัวเอง ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นแผ่นคาร์บอนเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม

ในด้านของแอโนด ไฮโดรเจนจะแพร่เข้าสู่ตัวเร่งปฏิกิริยาด้านแอโนด ทำให้มันแตกตัวออกเป็นโปรตอนและอิเล็กตรอน โปรตอนจะวิ่งผ่านเยื่อกั้นไปที่แคโทด ในขณะที่อิเล็กตรอนจะถูกบังคับให้วิ่งเข้าสู่วงจรไฟฟ้าภายนอก (ให้พลังงานออกมา) เพราะว่าเยื่อกั้นนั้นไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้

ในด้านของตัวเร่งปฏิกิริยาที่แคโทด โมเลกุลของออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอน ซึ่งวิ่งมาจากแอโนดผ่านวงจรภายนอก และมาพบกับออกซิเจนและโปรตอนที่ด้านนี้ กลายเป็นน้ำ

เซลล์เชื้อเพลิงไม่สามารถเก็บพลังงานได้เหมือนกับแบตเตอรี่ แต่ในบางสถานการณ์ เช่นเดียวกับ โรงไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับแหล่งพลังงานที่ไม่ต่อเนื่อง (แสงอาทิตย์ ลม) มันสามารถทำงานร่วมกับ electrolyzer และระบบเก็บสะสมพลังงานเพื่อเก็บพลังงานไว้ได้ ประสิทธิภาพโดยรวมจากไฟฟ้าเป็นไฮโดรเจนและกลับมาสู่ไฟฟ้าอีกครั้งสำหรับโรงไฟฟ้าแบบนี้อยู่ที่ 30-40%

3.3.2 ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงโดยทั่วไปสามารถเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ถึงราว 50% ประสิทธิภาพนี้ขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลผ่านเซลล์ ยิ่งกระแสถูกดึงไปมากประสิทธิภาพก็ลดลงมาก ดังนั้นการสูญเสียที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต ขนส่งและจัดเก็บมาพิจารณาด้วย รถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ไฮโดรเจนอัดอาจมีประสิทธิภาพจากแหล่งพลังงานไปสู่การขับเคลื่อนอยู่ที่ 22% ถ้าไฮโดรเจนถูกเก็บอยู่ในรูปก๊าซความดันสูง และ 17% ถ้าไฮโดรเจนถูกเก็บอยู่ในรูปก๊าซเหลว การใช้เซลล์เชื้อเพลิงให้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนไปพร้อมกัน ประสิทธิภาพในระบบนี้เกิดการเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องสูงมากนัก ปกติแล้วอยู่ที่ 15-20% เนื่องจากความร้อนก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ความร้อนบางส่วนสูญเสียไปกับก๊าซที่ปล่อยออกจากระบบเช่นเดียวกับระบบที่มีการเผาไหม้ทั่วไป ดังนั้นในระบบนี้ประสิทธิภาพโดยรวมจึงยังไม่ใช่ว่า 100% แต่อยู่ที่ราว 80%