

## สารบัญ

|                                                                  | หน้า |
|------------------------------------------------------------------|------|
| สารบัญ                                                           | ง    |
| สารบัญตาราง                                                      | จ    |
| สารบัญรูป                                                        | ฉ    |
| บทที่ 1 บทนำ                                                     | 1    |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา                                    | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ                                       | 2    |
| 1.3 ขอบเขตของโครงการ                                             | 2    |
| 1.4 คำสำคัญ (keywords) ของแผนงานวิจัย                            | 2    |
| 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน                                          | 2    |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                            | 7    |
| 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์                                              | 9    |
| 2.2 กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า                                       | 21   |
| 2.3 เซลล์เชื้อเพลิง                                              | 32   |
| 2.4 โปรแกรม LabVIEW                                              | 40   |
| 2.5 อุปกรณ์เชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ Data Acquisition                 | 46   |
| บทที่ 3 การดำเนินงาน                                             | 52   |
| 3.1 การออกแบบแบบจำลองของแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนพลังงานแสงอาทิตย์ | 52   |
| 3.2 การออกแบบแบบจำลองของแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนพลังงานกังหันลม   | 63   |
| 3.3 การออกแบบแบบจำลองของแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนเซลล์เชื้อเพลิง   | 78   |

## สารบัญ(ต่อ)

|                                                         | หน้า |
|---------------------------------------------------------|------|
| บทที่ 4 ผลการทดลอง                                      | 81   |
| 4.1 แบบจำลองของแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนพลังงานแสงอาทิตย์ | 81   |
| 4.2 แบบจำลองของแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนพลังงานลม         | 92   |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย                                  | 110  |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย                                      | 110  |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ                                          | 112  |
| เอกสารอ้างอิง                                           | 113  |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |                                                                                                                                                                 | หน้า |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1      | ชนิดของแผงเซลล์แบ่งตามวัสดุและประสิทธิภาพการใช้งานในห้องทดลอง และใช้ในงานจริง                                                                                   | 8    |
| 2.2      | ขนาดของกังหันลม                                                                                                                                                 | 29   |
| 2.3      | ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง อุนหภูมิการทำงาน เชื้อเพลิงและออกซิเจนที่ อิเล็กโตรไลต์ที่ใช้ กระบวนการในอิเล็กโตรไลต์ เป้าหมายขนาดกำลังผลิต การประยุกต์ใช้และผู้จำหน่าย | 36   |
| 2.4      | ข้อดีและข้อเสียของเซลล์เชื้อเพลิงแต่ละชนิด                                                                                                                      | 37   |
| 2.5      | เปรียบเทียบระดับเสียงจากการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงกับเทคโนโลยีอื่นๆ                                                                                             | 39   |
| 2.6      | เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงกับเทคโนโลยีอื่น ๆ                                                                                                      | 39   |
| 2.7      | ข้อมูลจำเพาะของ NI USB-6008                                                                                                                                     | 47   |
| 2.8      | ช่องสัญญาณของจุดต่อฝั่งอนาล็อก                                                                                                                                  | 49   |
| 2.9      | ช่องสัญญาณของจุดต่อฝั่งดิจิทัล                                                                                                                                  | 50   |
| 2.10     | รายละเอียดของช่องสัญญาณ                                                                                                                                         | 51   |
| 3.1      | ค่าพารามิเตอร์ของลมในประเทศไทย                                                                                                                                  | 65   |
| 3.2      | ค่า พารามิเตอร์ของใบพัดกังหันลม                                                                                                                                 | 66   |
| 3.3      | ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร                                                                                                     | 67   |
| 4.1      | ค่าที่ได้จากทดสอบวงจรขยายแรงดันกับแหล่งจ่ายไฟ                                                                                                                   | 84   |
| 4.2      | ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร ขนาด 1 kW ความเร็วคงที่ และโหลดเปลี่ยนแปลง                                                          | 102  |
| 4.3      | ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร ขนาด 1 kW ความเร็วคงที่ และโหลดเปลี่ยนแปลง                                                          | 103  |
| 4.4      | ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร ขนาด 1 kW ความเร็วคงที่ และโหลดเปลี่ยนแปลง                                                          |      |

## สารบัญรูป

| รูปที่                                                                                            | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.1 ตัวอย่างระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานทดแทนทั่วไป                                                       | 4    |
| 2.1 กราฟแสดงเป้าหมายของยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนของประเทศไทย                                         | 5    |
| 2.2 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลมในประเทศไทย                                        | 9    |
| 2.3 การเกิดคู่อิเล็กตรอน – โฮลในสารกึ่งตัวนำ                                                      | 10   |
| 2.4 แสดงรอยต่อ p-n (DAN)                                                                          | 10   |
| 2.5 ศักย์ไฟฟ้าภายในบริเวณรอยต่อ p-n (DAN)                                                         | 11   |
| 2.6 ไดอะแกรมประสิทธิภาพและสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์                                               | 11   |
| 2.7 Solar Cell                                                                                    | 12   |
| 2.8 เซลล์แสงอาทิตย์ห้วต่อแบบ พี เอ็น                                                              | 12   |
| 2.9 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์                                                                   | 13   |
| 2.10 กราฟลักษณะสมบัติการจ่ายกระแสและแรงดันเมื่อได้รับพลังงานแสงอาทิตย์                            | 13   |
| 2.11 กราฟลักษณะสมบัติการจ่ายกระแสและแรงดัน (V-I Curve)                                            | 14   |
| 2.12 กังหันลมแบบแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine)                                          | 15   |
| 2.13 กังหันลมแบบแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine)                                           | 16   |
| 2.14 ลักษณะของความเร็วมวลภายใต้ชั้นบรรยากาศ (Atmosphere boundary layer)                           | 17   |
| 2.15 ปริมาตรการไหลของอากาศที่ไหลผ่านกังหันลม                                                      | 21   |
| 2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลัง สัมประสิทธิ์แรงบิด กับ แลมด้า                           | 22   |
| 2.17 เส้นทางการควบคุมกังหันลม ณ ความเร็วมวลต่างๆ                                                  | 23   |
| 2.18 กระบวนการเกิดเทอร์กอากาศพลศาสตร์                                                             | 23   |
| 2.19 กำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลมแบบ Stall limit (เส้นประ) และแบบ pitch control (เส้นทึบ) | 24   |
| 2.20 ทิศทางลมสำหรับเขียนแผนที่อากาศ ใช้รายงานเป็นองศา                                             | 26   |
| 2.21 Front Panel และ Block Diagram                                                                | 40   |
| 2.22 ฟังก์ชัน Control และ Indicator แบบ Numeric ใน Front Panel                                    | 41   |
| 2.23 ฟังก์ชัน Control และ Indicator แบบ Boolean ใน Front Panel                                    | 41   |
| 2.24 ฟังก์ชัน Control และ Indicator แบบ String ใน Front Panel                                     | 41   |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่                                                                        | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.25 ฟังก์ชัน Indicator แบบ Chart/Graph ใน Front Panel                        | 42   |
| 2.26 ฟังก์ชัน Numeric, Boolean, String และ Chart/Graph ใน Block Diagram       | 43   |
| 2.27 ฟังก์ชัน Operation                                                       | 44   |
| 2.28 ฟังก์ชันตรีโกณมิติ                                                       | 44   |
| 2.29 Loop & Case Structure                                                    | 45   |
| 2.30 ฟังก์ชัน File Input/Output สำหรับข้อมูลแบบต่างๆ                          | 45   |
| 2.31 Data Acquisition รุ่น NI USB-6008                                        | 46   |
| 2.32 ไคอะแกรมการทำงานของ NI USB-6008                                          | 47   |
| 3.1 ปริมาณแสงอาทิตย์ในระยะเวลา 1 วัน                                          | 54   |
| 3.2 อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์                                                | 58   |
| 3.3 ขั้นตอนการทำงานของการวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์                 | 58   |
| 3.4 ไพแรนอมิเตอร์บนคาตฟ้าอาคาร                                                | 59   |
| 3.5 การต่อสายเข้ากับวงจรขยายสัญญาณ                                            | 59   |
| 3.6 การต่อสายเข้ากับวงจรขยายสัญญาณ                                            | 59   |
| 3.7 การต่อสายเข้ากับ NI USB-6008                                              | 60   |
| 3.8 การเลือกชนิดของข้อมูลและช่องสัญญาณต่อไพแรนอมิเตอร์ ที่รับเข้า NI USB-6008 | 60   |
| 3.9 ลักษณะการทำงานของโปรแกรม                                                  | 60   |
| 3.10 Source Code ของโปรแกรม                                                   | 61   |
| 3.11 ลักษณะฟังก์ชันการคำนวณ (กรอบ B)                                          | 61   |
| 3.12 ลักษณะฟังก์ชันการแสดงผลแบบกราฟ (กรอบ C)                                  | 62   |
| 3.13 ลักษณะฟังก์ชันการแสดงผลแบบตัวเลข (กรอบ D)                                | 62   |
| 3.14 ลักษณะฟังก์ชันการแสดงผลแบบตาราง (กรอบ E)                                 | 63   |
| 3.15 ลักษณะฟังก์ชันการจัดเก็บข้อมูล (กรอบ F)                                  | 64   |
| 3.16 ลักษณะฟังก์ชันควบคุมความเร็วการแสดงผลและหยุดการทำงาน(กรอบ G)             | 65   |
| 3.17 ฟังก์ชันสลับการแสดงผล (กรอบ H)                                           | 66   |
| 3.18 ความเร็วลมในระยะเวลา 1 วัน                                               | 69   |
| 3.19 ความเร็วลมเปรียบเทียบกับกำลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในระยะเวลา 1 วัน          | 70   |
| 3.20 การจำลองโมเดลของลม                                                       | 71   |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่                                                                                                                 | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 3.21 จำลองความเร็วลมที่ความเร็วลมต่างกัน                                                                               | 72   |
| 3.22 การจำลองโมเดลการทำงานของใบพัดกังหันลม                                                                             | 73   |
| 3.23 ทอร์คของใบพัดกังหันลม                                                                                             | 74   |
| 3.24 การจำลองเพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร                                           | 75   |
| 3.25 การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรในสภาวะ Cut in                                               | 75   |
| 3.26 การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรในสภาวะปกติ                                                  | 75   |
| 3.27 การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรในสภาวะ Cut Out                                              | 76   |
| 3.28 สเตเตอร์ของกังหันลมผลิตไฟฟ้า                                                                                      | 77   |
| 3.29 โรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร                                                                                            | 78   |
| 3.30 การวางขดลวดเฟสที่ 1                                                                                               | 78   |
| 3.31 การวางขดลวดเฟสที่ 2                                                                                               | 79   |
| 3.32 การวางขดลวดเฟสที่ 3                                                                                               | 79   |
| 3.33 วงจรการทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรแม่เหล็กถาวรขนาด 1 กิโลวัตต์ ขณะที่ โหลดด้านกระแสลับ | 79   |
| 3.34 การทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร 1 kW โหลดคงที่                                          | 80   |
| 3.35 วงจรการทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรขนาด 1 กิโลวัตต์ ขณะที่ โหลดด้านกระแสลับ             | 80   |
| 3.36 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรขนาด 1 กิโลวัตต์ โหลดเปลี่ยนแปลง                      | 80   |
| 4.1 การทดสอบการวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์                                                                    | 82   |
| 4.2 ตำแหน่งการแสดงผลของโปรแกรม                                                                                         | 83   |
| 4.3 แสดงตำแหน่งบันทึกข้อมูลจากหน้าแสดงผลของโปรแกรม                                                                     | 85   |
| 4.4 ลักษณะไฟล์ข้อมูลที่บันทึกได้จากโปรแกรม                                                                             | 85   |
| 4.5 ลักษณะค่าที่วัดได้เมื่อเปิดไฟล์ด้วย Microsoft Excel                                                                | 86   |

|     |                                                                        |    |
|-----|------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.6 | กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของวงจรขยายแรงดัน                    | 87 |
| 4.7 | ค่าที่ได้จากการวัดด้วย data logger กับจำลองจากโปรแกรม LabVIEW วันที่ 1 | 88 |

### สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ |                                                                        | หน้า |
|--------|------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.8    | ค่าที่ได้จากการวัดด้วย data logger กับจำลองจากโปรแกรม LabVIEW วันที่ 2 | 89   |
| 4.9    | ค่าที่ได้จากการวัดด้วย data logger กับจำลองจากโปรแกรม LabVIEW วันที่ 3 | 89   |
| 4.10   | ค่าที่ได้จากการวัดด้วย data logger กับจำลองจากโปรแกรม LabVIEW วันที่ 4 | 90   |
| 4.11   | ค่าที่ได้จากการวัดด้วย data logger กับจำลองจากโปรแกรม LabVIEW วันที่ 5 | 91   |
| 4.12   | สเตเตอร์                                                               | 92   |
| 4.13   | การวางและการต่อขดลวด 3 เฟส                                             | 92   |
| 4.14   | โรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร                                                 | 94   |
| 4.15   | โรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร                                                 | 94   |
| 4.16   | เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร 3 เฟส                       | 95   |
| 4.17   | ความเร็วลมและความเร็วรอบ                                               | 96   |
| 4.18   | ความเร็วลมและแรงดันไฟฟ้าขณะจ่ายโหลด                                    | 96   |
| 4.19   | ความเร็วลมและกระแสไฟฟ้าขณะจ่ายโหลด                                     | 97   |
| 4.20   | ความเร็วลมและกำลังเอาต์พุตขณะจ่ายโหลด                                  | 98   |
| 4.21   | กระแสไฟฟ้าและแรงดันขณะจ่ายโหลด                                         | 98   |
| 4.22   | กระแสไฟฟ้าและกำลังเอาต์พุตขณะจ่ายโหลด                                  | 99   |
| 4.23   | การปรับโหลดและกำลังเอาต์พุตที่จ่ายโหลด ที่ 14 m/s แบบ 2 เฟส            | 100  |
| 4.24   | การปรับโหลดและกำลังเอาต์พุตที่จ่ายโหลด ที่ 21 m/s                      | 100  |

### สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่                                                      | หน้า |
|-------------------------------------------------------------|------|
| 4.25 การปรับโหลดและกำลังเอาต์พุตที่จ่ายโหลด ที่ 25 m/s      | 101  |
| 4.26 เปรียบเทียบการปรับโหลดและกำลังเอาต์พุตที่จ่ายโหลด      | 102  |
| 4.27 การจำลองการทำงานของกังหันลมด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK | 103  |
| 4.28 ความเร็วลมที่ความเร็วเริ่มทำงาน Cut in 2 m/s           | 104  |
| 4.29 แรงบิดที่สภาวะเริ่มทำงาน Cut in 2 m/s                  | 104  |
| 4.30 กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่สภาวะเริ่มทำงาน Cut in 2 m/s      | 105  |
| 4.31 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าสภาวะเริ่มทำงาน Cut in 2 m/s        | 105  |
| 4.32 ความเร็วลมที่ความเร็วทำงานปกติ Normal 9 m/s            | 106  |
| 4.33 แรงบิดที่สภาวะทำงานปกติ Normal 9 m/s                   | 106  |
| 4.34 กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่สภาวะทำงานปกติ Normal 9 m/s       | 107  |
| 4.35 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะทำงานปกติ Normal 9 m/s      | 107  |
| 4.36 ความเร็วลมที่ความเร็วในช่วง Cut out 35 m/s             | 108  |
| 4.37 แรงบิดที่สภาวะทำงาน Cut out 35 m/s                     | 108  |
| 4.38 กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่สภาวะทำงาน Cut out 35 m/s         |      |
| 4.39 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะทำงาน Cut out 35 m/s        |      |