

บทที่ 4

ผลการทดลอง

เมื่อทำการออกแบบแบบจำลองพลังงานทดแทนในแต่ละแหล่งกำเนิดแล้ว ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ทดลอง คือ

1. จากการศึกษาแหล่งกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์ การวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์ โดยใช้อุปกรณ์ในการวัดและบันทึกข้อมูลด้วยโปรแกรมจากที่ได้ออกแบบไว้ จะเก็บข้อมูลที่บันทึกได้มาวัดและเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์และโปรแกรมที่ได้ออกแบบ
2. จากการศึกษาแหล่งกำเนิดพลังงานลมจะกล่าวถึงผลของการสร้าง การทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และผลจากการจำลองการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร และจากโปรแกรมMATLAB/SIMULINK

4.1 แบบจำลองของแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนพลังงานแสงอาทิตย์

4.1.1 การวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์

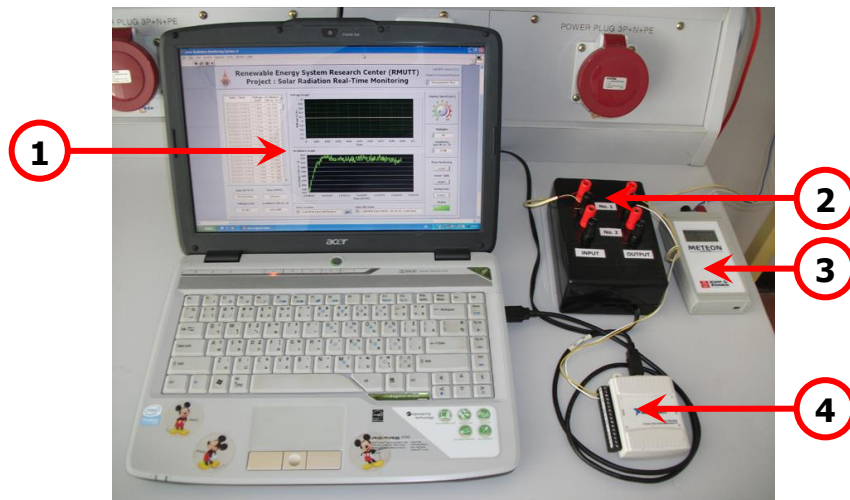
การวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์ด้วยโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ โดยเริ่มทดสอบการวัดรังสีจากดวงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 7.00 น. - 18.00 น. ซึ่งจะวัดและบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที โดยในการทดสอบนั้นจะมีส่วนที่ใช้งานทั้งหมด 4 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 คือ ส่วนของหน้าจอการแสดงผลการทำงานของโปรแกรม LabVIEW

ส่วนที่ 2 คือ วงจรสำหรับขยายแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากไพราโนมิเตอร์

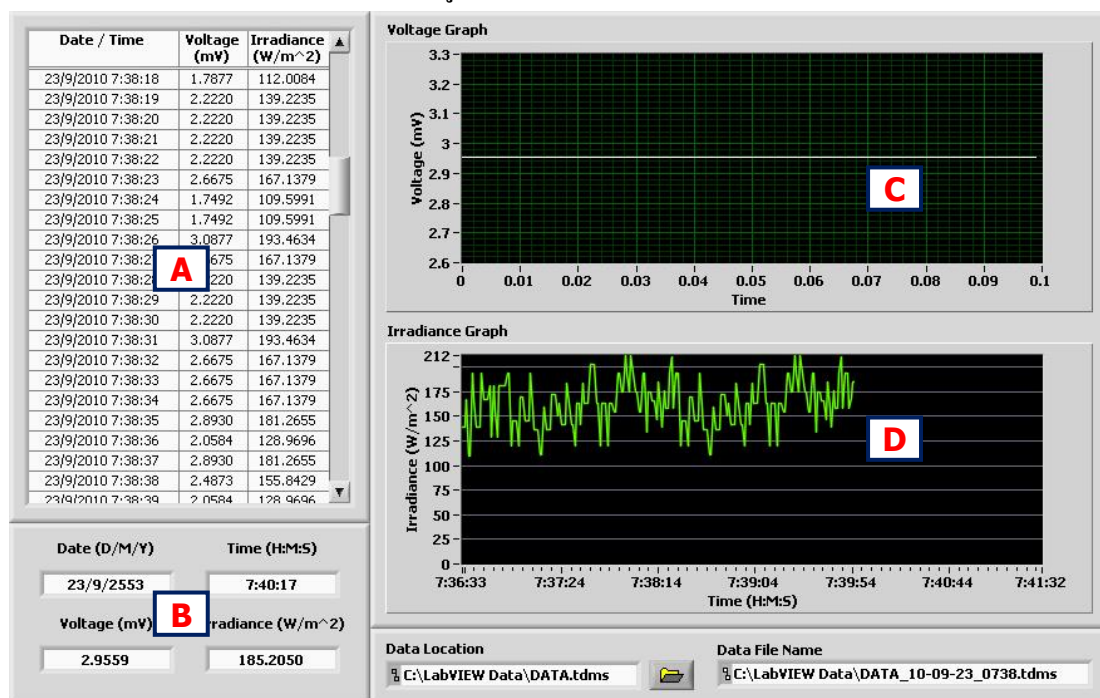
ส่วนที่ 3 คือ Data Logger ที่นำมาใช้วัดเทียบกับการวัดด้วยโปรแกรม LabVIEW

ส่วนที่ 4 คือ NI USB-6008 ที่ใช้รับข้อมูลจากวงจรขยายแรงดันเข้าสู่โปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 4.1 การทดสอบการวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์

โดยโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์ มีคุณสมบัติเบื้องต้น การแสดงผลและการจัดเก็บข้อมูล



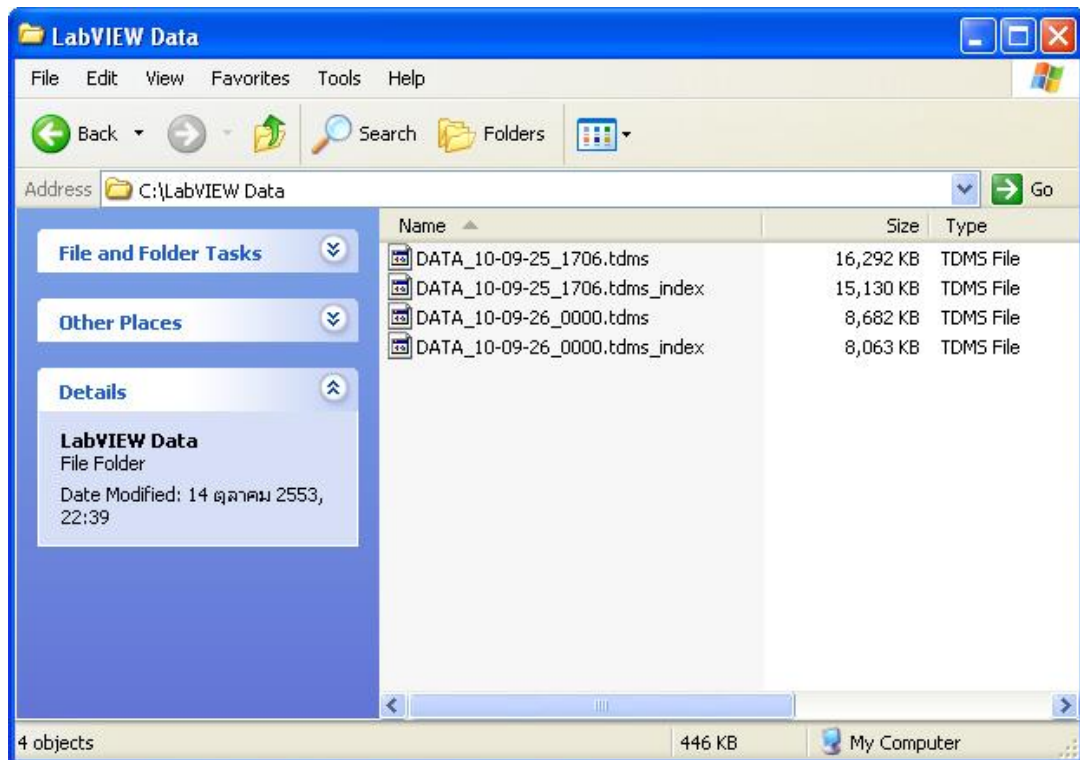
รูปที่ 4.2 ตำแหน่งการแสดงผลของโปรแกรม

1. การจัดเก็บข้อมูลของโปรแกรม

ในการเก็บข้อมูลจะเก็บไว้ในฮาร์ดดิสก์ตามโฟลเดอร์ที่ได้กำหนดไว้ ความเร็วในการบันทึกข้อมูลขึ้นอยู่กับค่าที่ตั้งค่า ซึ่งสามารถตั้งค่าได้ตั้งแต่ 1 - 10 วินาทีต่อการบันทึก 1 ครั้ง ในส่วนรูปแบบของไฟล์จะเป็น [ชื่อไฟล์]_ปี-เดือน-วัน_[เวลาที่เริ่มบันทึกไฟล์นั้น].tdms

Data Location	Data File Name
% C:\LabVIEW Data\DATA.tdms	% C:\LabVIEW Data\DATA_10-09-23_0738.tdms

รูปที่ 4.3 แสดงตำแหน่งบันทึกข้อมูลจากหน้าแสดงผลของโปรแกรม



รูปที่ 4.4 ลักษณะไฟล์ข้อมูลที่บันทึกได้จากโปรแกรม

เมื่อเปิดไฟล์แล้วจะมี 2 Sheet โดย Sheet แรกจะเป็นข้อมูลทางเทคนิคของไฟล์นั้นๆ ตั้งแต่ชื่อไฟล์ ประเภทของข้อมูล ระยะเวลารวมในการบันทึก เวลาเริ่มและเวลาหยุดบันทึก ในส่วนของ Sheet ที่สองจะเป็นส่วนที่เก็บค่าที่วัดได้ จะอธิบายแต่ละคอลัมน์ได้ดังนี้

คอลัมน์ A เป็นวันที่และเวลา

คอลัมน์ B เป็นจำนวนครั้งที่บันทึก

คอลัมน์ C เป็นแรงดันไฟฟ้าจากไพรานอมิเตอร์

คอลัมน์ D เป็นค่ารังสีจากดวงอาทิตย์ของไพรานอมิเตอร์

	A	B	C	D
1	Time	Time*	Formula Result	Formula Result (Formula Result)
2	23/09/2010 07:38:18.875 AM	0	1.787653584	112.0083699
3	23/09/2010 07:38:19.875 AM	1	2.222007549	139.2235306
4	23/09/2010 07:38:20.875 AM	2	2.222007549	139.2235306
5	23/09/2010 07:38:21.875 AM	3	2.222007549	139.2235306
6	23/09/2010 07:38:22.875 AM	4	2.222007549	139.2235306
7	23/09/2010 07:38:23.875 AM	5	2.66752013	167.1378527
8	23/09/2010 07:38:24.875 AM	6	1.749202135	109.5991313
9	23/09/2010 07:38:25.875 AM	7	1.749202135	109.5991313
10	23/09/2010 07:38:26.875 AM	8	3.087676198	193.463421
11	23/09/2010 07:38:27.875 AM	9	2.66752013	167.1378527
12	23/09/2010 07:38:28.875 AM	10	2.222007549	139.2235306
13	23/09/2010 07:38:29.875 AM	11	2.222007549	139.2235306
14	23/09/2010 07:38:30.875 AM	12	2.222007549	139.2235306
15	23/09/2010 07:38:31.875 AM	13	3.087676198	193.463421
16	23/09/2010 07:38:32.875 AM	14	2.66752013	167.1378527
17	23/09/2010 07:38:33.875 AM	15	2.66752013	167.1378527
18	23/09/2010 07:38:34.875 AM	16	2.66752013	167.1378527
19	23/09/2010 07:38:35.875 AM	17	2.892996757	181.2654609
20	23/09/2010 07:38:36.875 AM	18	2.05835536	128.9696341
21	23/09/2010 07:38:37.875 AM	19	2.892996757	181.2654609
22	23/09/2010 07:38:38.875 AM	20	2.487251916	155.8428519

รูปที่ 4.5 ลักษณะค่าที่วัดได้เมื่อเปิดไฟล์ด้วย Microsoft Excel

ในการบันทึกข้อมูลแต่ละครั้งจะมีการเพิ่มขนาดของไฟล์ขึ้น โดยชนิดของไฟล์รูปแบบ .TDMS จะมีขนาดเริ่มต้น 2,464 ไบต์ และมีขนาดเพิ่มขึ้น 672 ไบต์ต่อการบันทึก 1 ครั้ง ส่วนไฟล์รูปแบบ .TDMS_INDEX จะมีขนาดเริ่มต้น 2,416 ไบต์ และมีขนาดเพิ่มขึ้น 624 ไบต์ต่อการบันทึก 1 ครั้ง ซึ่งจะสามารถคำนวณพื้นที่ฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลภายใน 1 วัน โดยมีการบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที

4.1.2 วิเคราะห์ผลการวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์

ในการทดสอบนี้จะทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนของวงจรขยายแรงดันและ ส่วนของค่าที่ได้จากการวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์

1. วิเคราะห์ผลในส่วนของวงจรขยายแรงดัน

วงจรขยายแรงดันจำเป็นต้องมีอัตราขยายคงที่และมีความคลาดเคลื่อนให้น้อยที่สุด เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุด จึงได้ทำการทดสอบต่อวงจรขยายแรงดันเข้ากับแหล่งจ่ายไฟในระดับ 1 - 15 มิลลิโวลต์ เทียบเท่ากับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของไพราโนมิเตอร์ที่ใช้ ซึ่งจะคำนวณความคลาดเคลื่อนได้จากสูตร

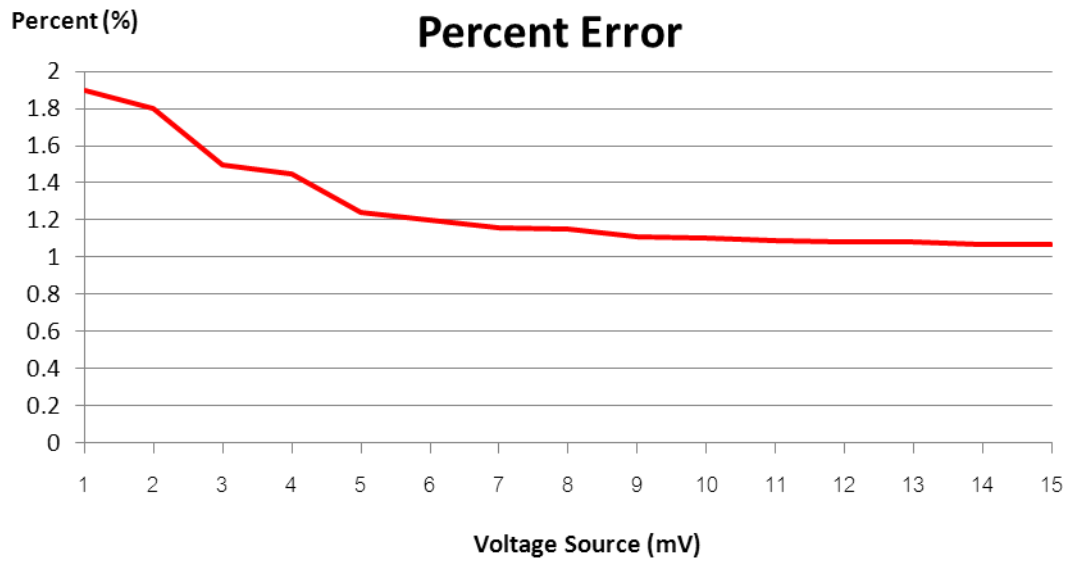
$$\left| \frac{(V_{\text{source}} \times AV) - V_{\text{circuit}}}{(V_{\text{source}} \times AV)} \right| \times 100 = \text{Percent Error (\%)} \quad (4.2)$$

เมื่อ V_{source} = แรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ (mV)
 V_{circuit} = แรงดันไฟฟ้าจากวงจรขยายแรงดัน (mV)
 AV = อัตราขยายแรงดันซึ่งคิดที่ 100 เท่า

ตารางที่ 4.1 ค่าที่ได้จากทดสอบวงจรขยายแรงดันกับแหล่งจ่ายไฟ

แหล่งจ่ายไฟ (mV)	วงจรขยายแรงดัน		ความคลาดเคลื่อน (%)
	คำนวณ (mV)	วัดจริง (mV)	
1	100	98.1	1.90
2	200	196.4	1.80
3	300	295.5	1.50
4	400	394.2	1.45
5	500	493.8	1.24
6	600	592.8	1.20
7	700	691.9	1.16
8	800	790.8	1.15
9	900	890	1.11
10	1,000	989	1.10
11	1,100	1088	1.09
12	1,200	1187	1.08
13	1,300	1286	1.08
14	1,400	1385	1.07
15	1,500	1484	1.07
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย			1.27

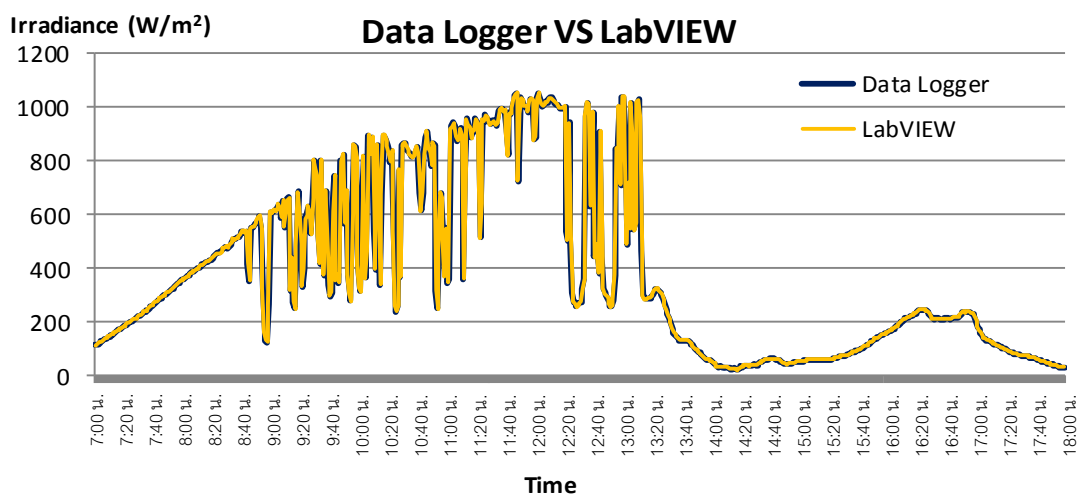
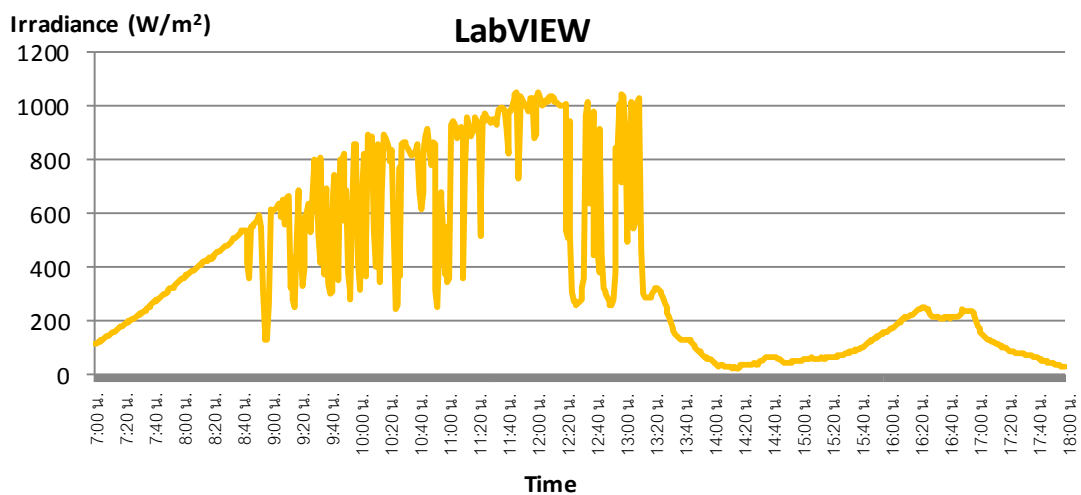
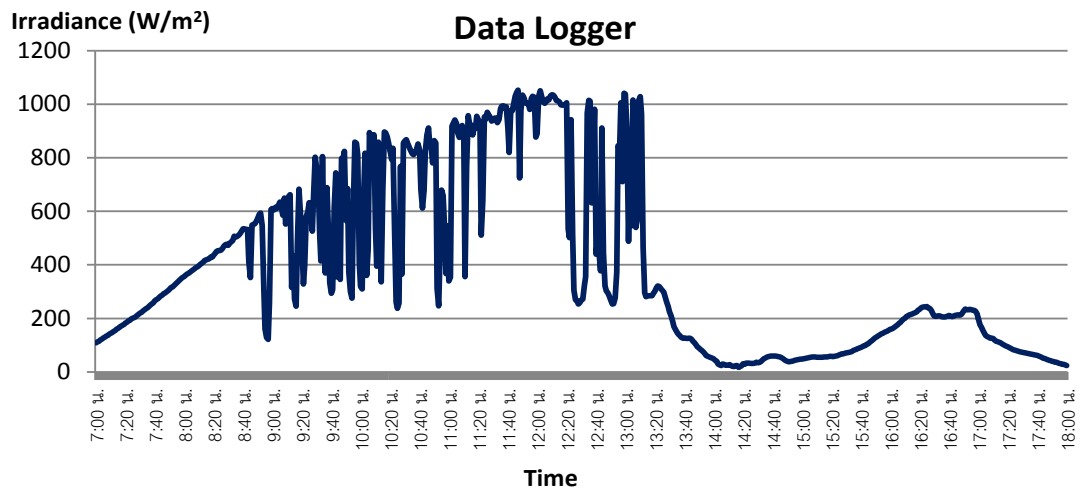
เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟที่ใช้ทดสอบสามารถปรับได้เพียงขั้นละ 1 มิลลิโวลต์ จึงทดสอบเพียง 15 ค่า โดยจะเห็นได้ว่าอัตราขยายของวงจรมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 1.27% เมื่อนำไปลบออกจากอัตราขยายของวงจรที่คำนวณไว้ จะได้อัตราขยายจริงเฉลี่ยอยู่ที่ 98.73 เท่า ซึ่งจะนำอัตราขยายที่ได้นี้ไปปรับค่าในช่อง Multiplier ของโปรแกรม



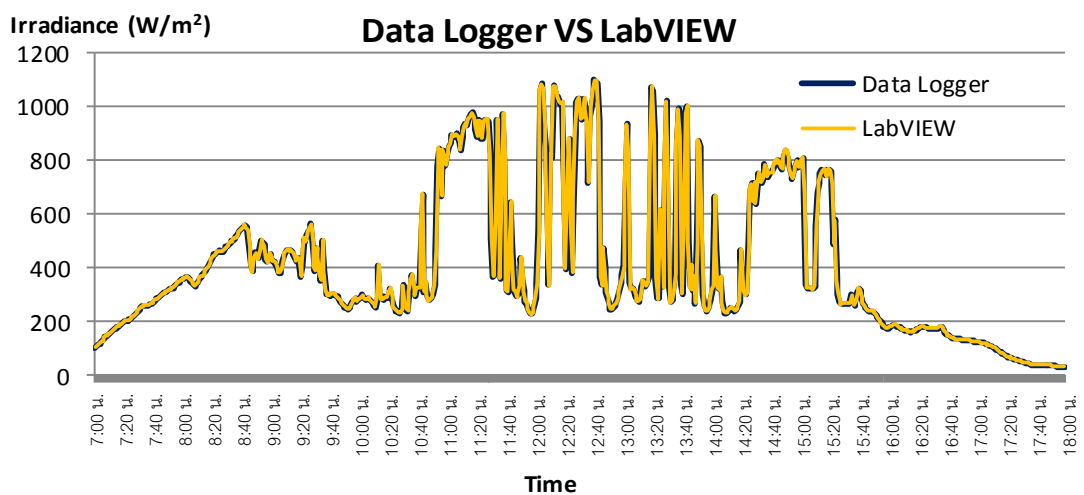
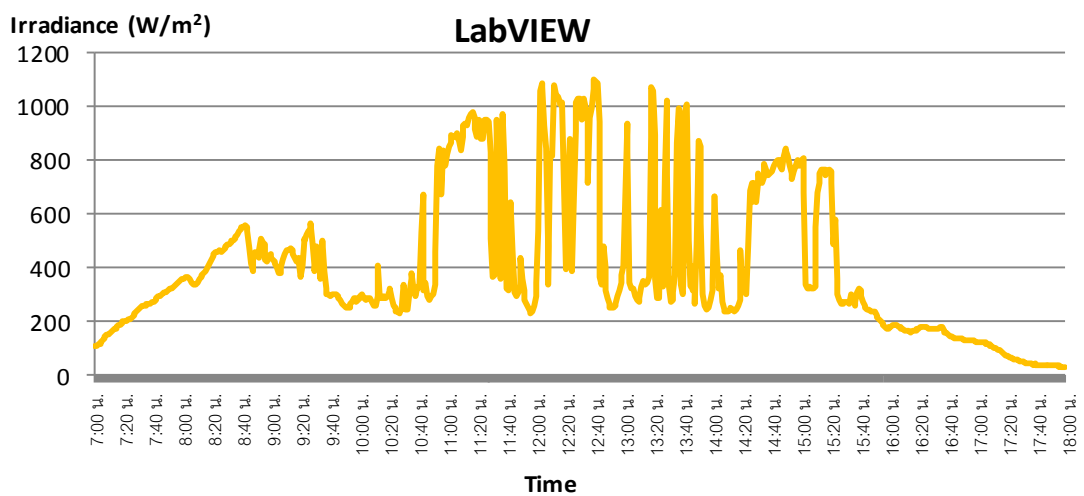
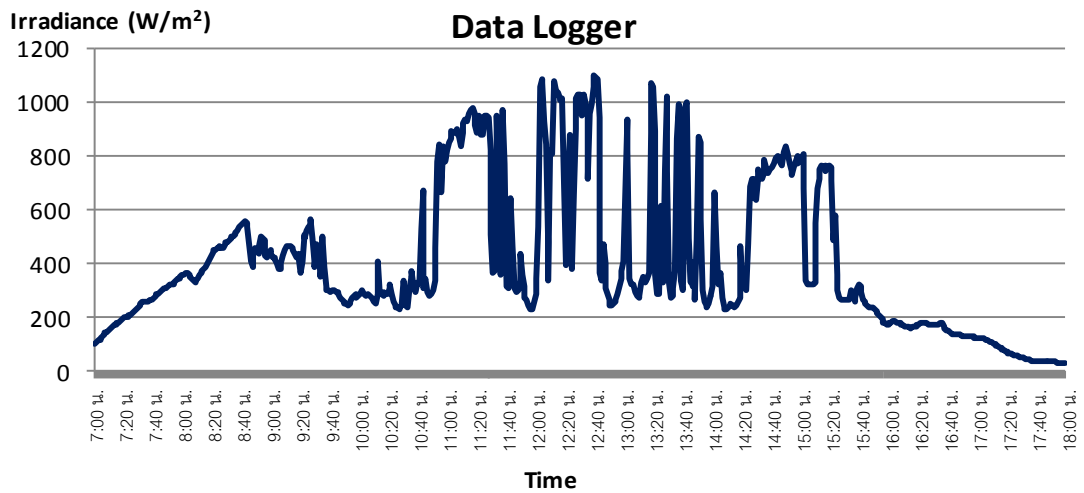
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของวงจรขยายแรงดัน

เมื่อนำค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทดสอบวงจรขยายแรงดันกับแหล่งจ่ายไฟมาแสดงเป็นกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.6 โดยจากกราฟจะเห็นได้ว่า เมื่อค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 1 มิลลิโวลต์จะมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับหนึ่งจนกระทั่งเมื่อแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นจนถึง 5 มิลลิโวลต์ ความคลาดเคลื่อนของวงจรขยายแรงดันจะมีแนวโน้มลดลง

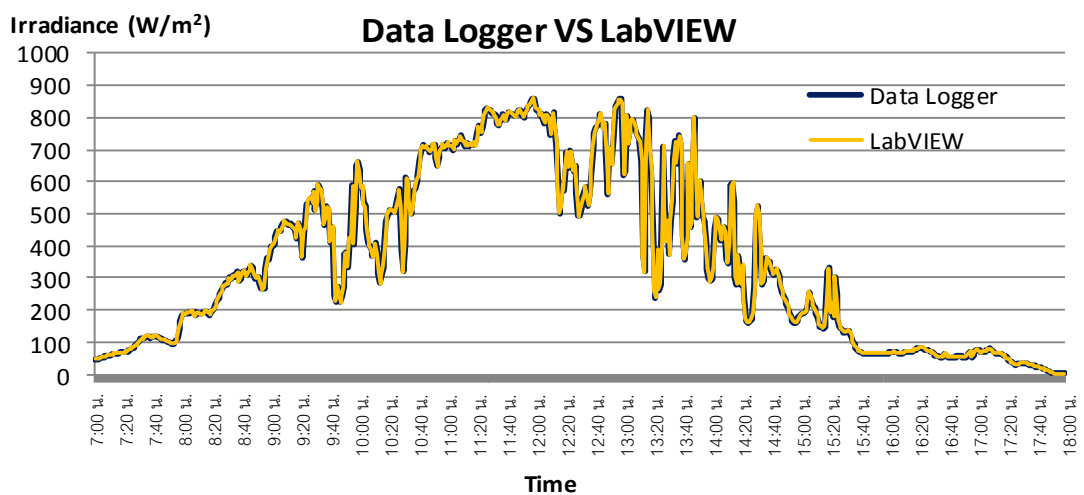
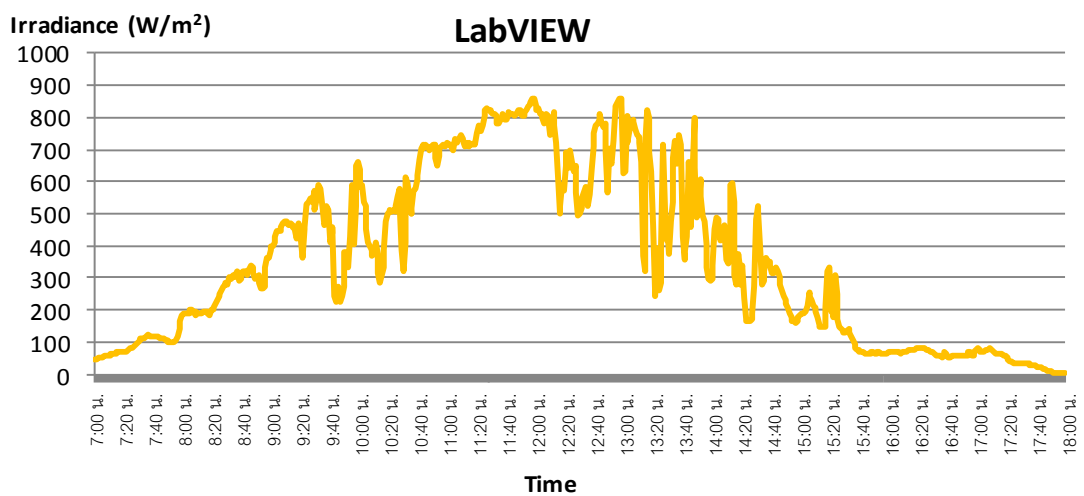
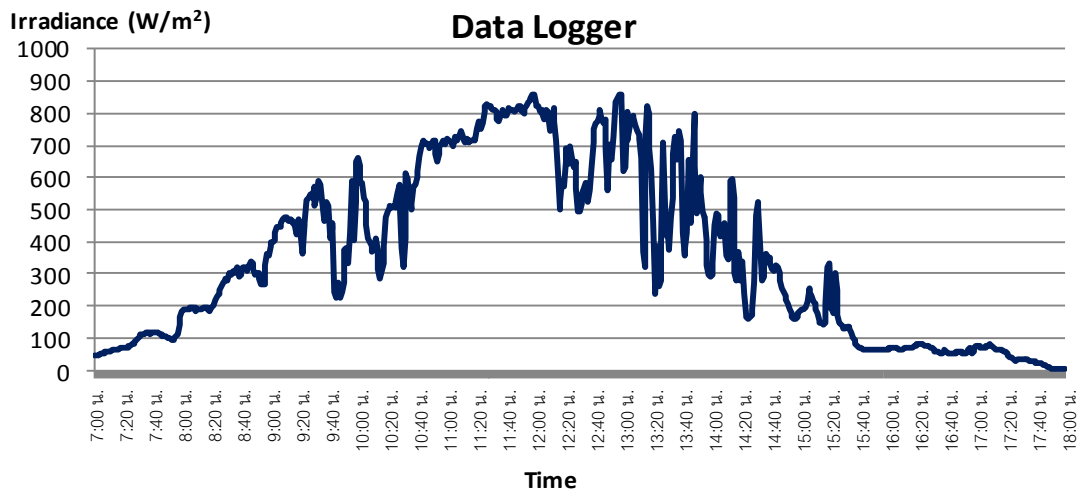
เมื่อนำค่าที่วัดได้จากโปรแกรม LabVIEW มาทำการเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ด้วย Data Logger ซึ่งจะทำให้การเปรียบเทียบรูปกราฟดังนี้



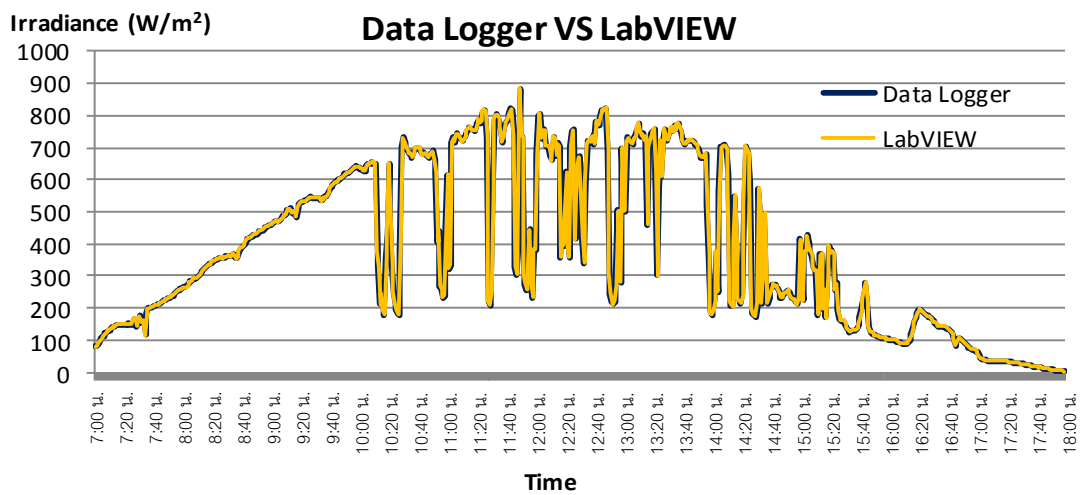
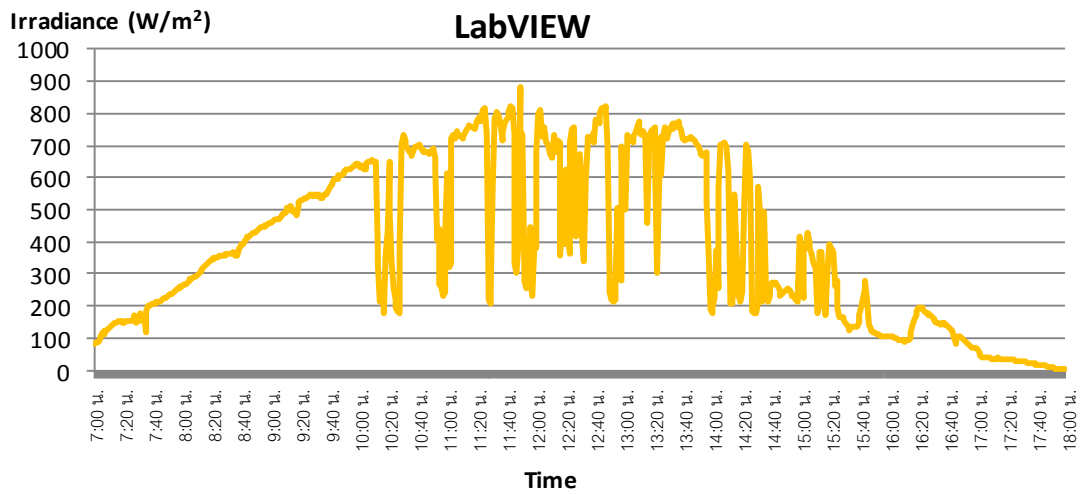
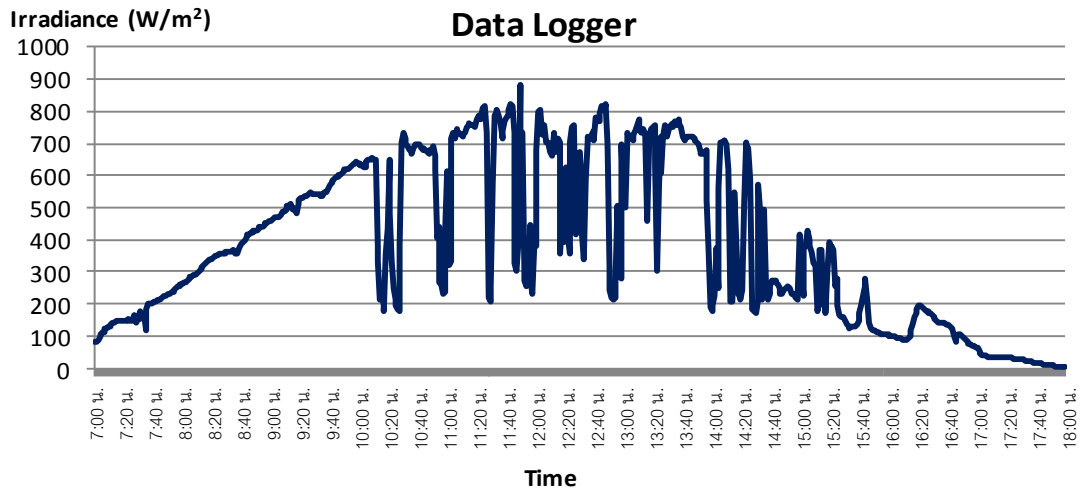
รูปที่ 4.7 ค่าที่ได้จากการวัดด้วย data logger กับจำลองจากโปรแกรม LabVIEW วันที่ 1



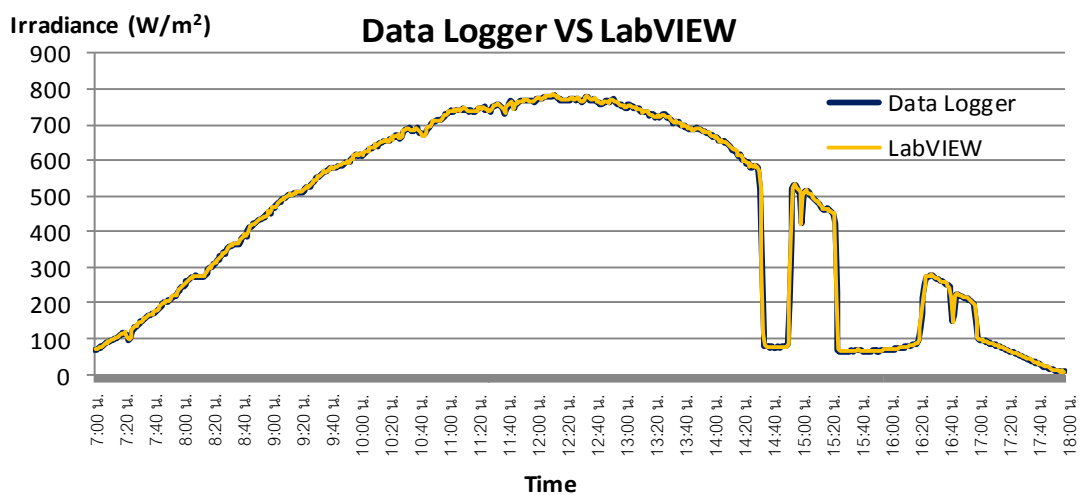
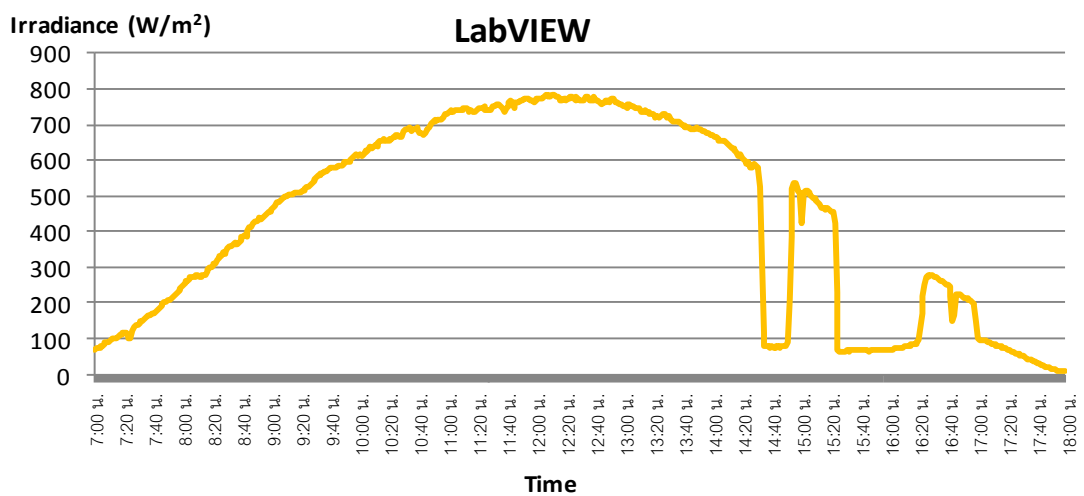
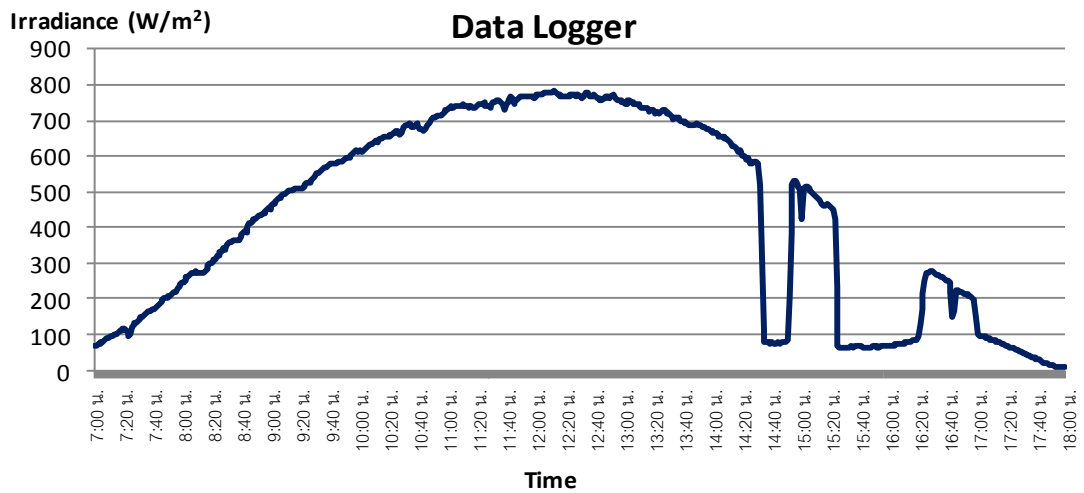
รูปที่ 4.8 ค่าที่ได้จากการวัดด้วย data logger กับจำลองจากโปรแกรม LabVIEW วันที่ 2



รูปที่ 4.9 ค่าที่ได้จากการวัดด้วย data logger กับจำลองจากโปรแกรม LabVIEW วันที่ 3



รูปที่ 4.10 ค่าที่ได้จากการวัดด้วย data logger กับจำลองจากโปรแกรม LabVIEW วันที่ 4



รูปที่ 4.11 ค่าที่ได้จากการวัดด้วย data logger กับจำลองจากโปรแกรม LabVIEW วันที่ 5

จากการสังเกตโดยรวมในวันที่ทำการทดสอบการวัดและบันทึกข้อมูล พบว่าสภาพหากห้องฟ้าเป็นช่วงที่มีเมฆหนาปิดบัง พร้อมกับมีฝนตกลักษณะกราฟจะมีค่าปริมาณแสงลดลง ถ้าห้องฟ้าเปิดไม่มีเมฆ ก็จะทำการวัดได้ค่าปริมาณแสงมาก โดยลักษณะกราฟทั้ง 5 วันที่ได้ทำการทดสอบการวัดและบันทึกนั้น แสดงให้เห็นว่าค่าที่วัดได้จาก Data Logger และค่าที่วัดได้จากโปรแกรม LabVIEW นั้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันตลอดหมายความว่าวงจรขยายแรงดันและโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้นั้น สามารถทำงานได้อย่างปกติและวัดค่าได้เช่นเดียวกันกับการใช้ Data Logger

4.2 การออกแบบแบบจำลองของแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนพลังงานลม

4.2.1 ผลการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร ขนาด 1 กิโลวัตต์

การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร ขนาด 1 กิโลวัตต์ เนื่องจากสเตเตอร์มี 36 ร่องสล็อต จึงทำการประยุกต์ในการลงขดลวด 24 ขด วางระยะความกว้าง 5 ร่อง ใช้ขดลวดทองแดงเบอร์ 21 ทนกระแสสูงสุดได้ 1.2 แอมป์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7239 mm. จะพันได้เต็มสเตเตอร์พอดี



รูปที่ 4.12 สเตเตอร์



รูปที่ 4.13 การวางและการต่อขดลวด 3 เฟส



รูปที่ 4.14 โรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 4.15 โรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 4.16 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร 3 เฟส

4.2.2 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร ขนาด 1 kW

การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรแบบ 3 เฟส โดยวัดและบันทึกค่า ความเร็วรอบ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังเอาต์พุต และคำนวณหา กำลังอินพุตกับประสิทธิภาพ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบ

1. โดยการทดสอบที่โหลดคงที่ ความเร็วลมเปลี่ยนแปลง ทำการทดสอบโดยการจำลองความเร็วลมตั้งแต่ 1-25 m/s ต่อโหลดความต้านทานขนาด 900 วัตต์ โดยมีการแสดงผล เป็นกราฟดังนี้

ความเร็วลมและความเร็วรอบ

ความเร็วลมและแรงดันไฟฟ้าขณะจ่ายโหลด

ความเร็วลมและกระแสไฟฟ้าขณะจ่ายโหลด

ความเร็วลมและกำลังเอาต์พุตขณะจ่ายโหลด

กระแสไฟฟ้าและแรงดันขณะจ่ายโหลด

กระแสไฟฟ้าและกำลังเอาต์พุตขณะจ่ายโหลด

2. โดยการทดสอบที่ความเร็วลมคงที่ โหลดเปลี่ยนแปลง ทำการทดสอบความเร็วลมที่ 14 m/s 21 m/s และ 25 m/s ต่อโหลดความต้านทานปรับค่าได้ โดยมีการแสดงผล เป็นกราฟดังนี้

การปรับโหลดและกำลังเอาต์พุตที่จ่ายโหลด ที่ 14 m/s

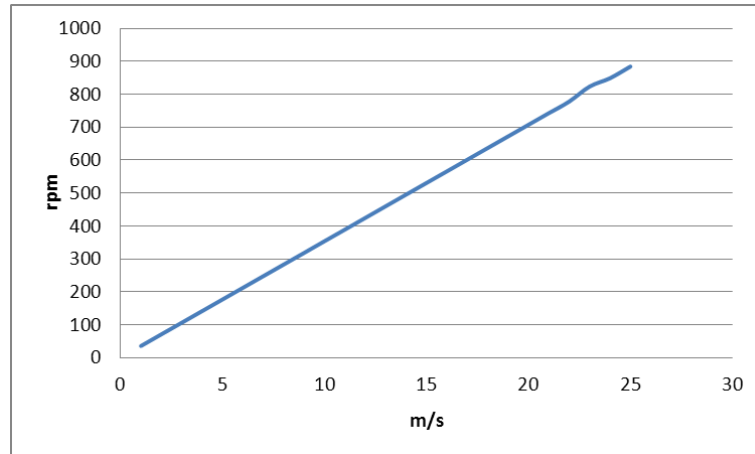
การปรับโหลดและกำลังเอาต์พุตที่จ่ายโหลด ที่ 21 m/s

การปรับโหลดและกำลังเอาต์พุตที่จ่ายโหลด ที่ 25 m/s

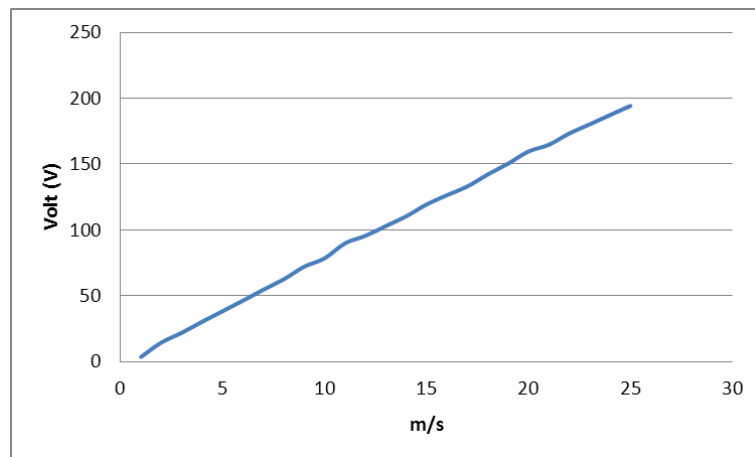
เปรียบเทียบการปรับโหลดและกำลังเอาต์พุตที่จ่ายโหลด

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร
ขนาด 1 kW โหลดคงที่ และความเร็วเปลี่ยนแปลง

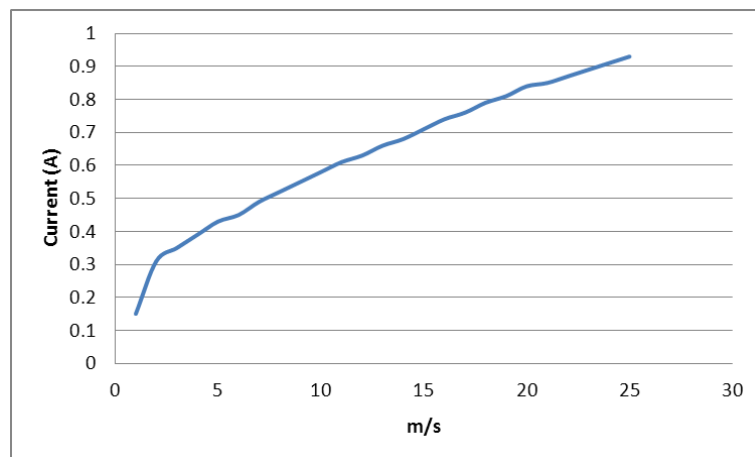
m/s	rpm	Vwind	Iwind	Pgen	Pwind	η (%)
1	35.4	3.5	0.15	0.9	1.2	75.0
2	70.7	14.5	0.31	7.7	9.8	78.5
3	106.1	21.9	0.35	13.3	33.1	40.1
4	141.5	30.3	0.39	20.5	78.5	26.1
5	176.8	38.3	0.43	28.5	153.4	18.58
6	212.2	46.3	0.45	36.8	265.1	13.8
7	247.5	54.6	0.49	46.6	421.0	11.1
8	282.9	62.5	0.52	56.1	628.4	8.9
9	318.3	72.1	0.55	68.7	894.7	7.6
10	353.7	78.4	0.58	78.4	1277.4	6.1
11	389.0	89.8	0.61	94.3	1637.6	5.7
12	424.4	95.5	0.63	104.9	2120.9	5.0
13	459.8	102.9	0.66	117.5	2696.6	4.3
14	495.2	110.3	0.68	130.5	3368.0	3.8
15	530.5	119.3	0.71	147.1	4142.5	3.5
16	565.9	126.4	0.74	161.6	5030.5	3.2
17	601.3	133.0	0.76	174.6	6031.3	2.8
18	636.6	142.1	0.79	193.5	7112.2	2.7
19	671.9	150.3	0.81	209.6	8452.4	2.4
20	707.4	159.6	0.84	231.9	9823.3	2.3
21	742.7	164.7	0.85	241.6	11342.2	2.1
22	778.1	173.3	0.87	261.6	13071.3	2.0
23	823.5	180.2	0.89	277.5	14941.2	1.9
24	848.8	187.3	0.91	295.8	16983.6	1.8
25	884.2	194.2	0.93	313.5	19192.4	1.7



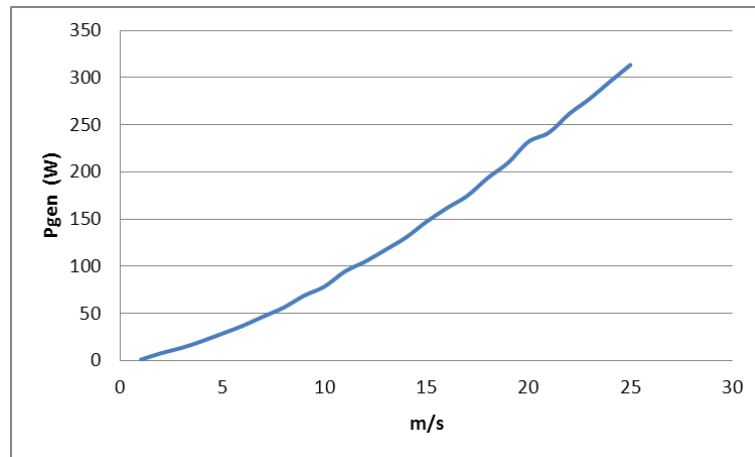
รูปที่ 4.17 ความเร็วลมและความเร็วรอบ



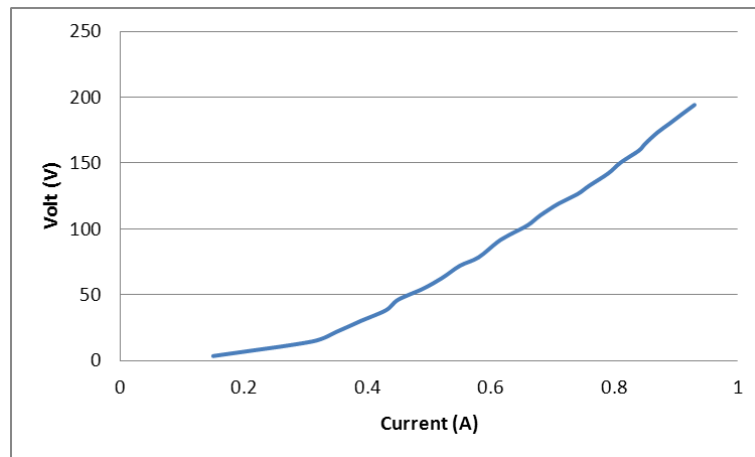
รูปที่ 4.18 ความเร็วลมและแรงดันไฟฟ้าขณะจ่ายโหลด



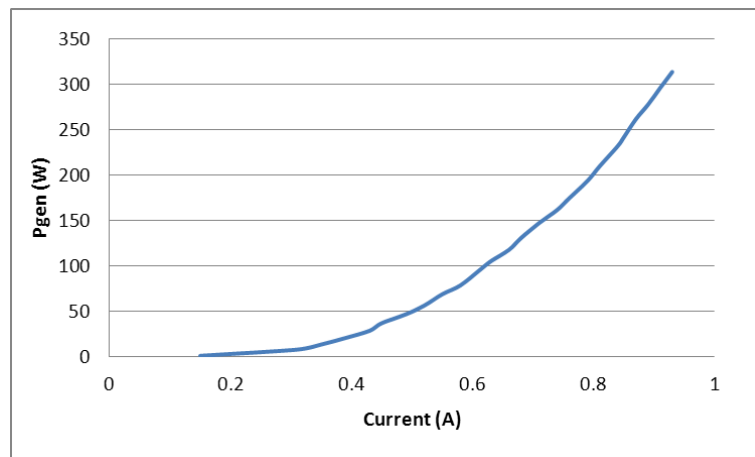
รูปที่ 4.19 ความเร็วลมและกระแสไฟฟ้าขณะจ่ายโหลด



รูปที่ 4.20 ความเร็วลมและกำลังเอาต์พุตขณะจ่ายโหลด



รูปที่ 4.21 กระแสไฟฟ้าและแรงดันขณะจ่ายโหลด



รูปที่ 4.22 กระแสไฟฟ้าและกำลังเอาต์พุตขณะจ่ายโหลด

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร
ขนาด 1 kW ความเร็วคงที่ และโหลดเปลี่ยนแปลง

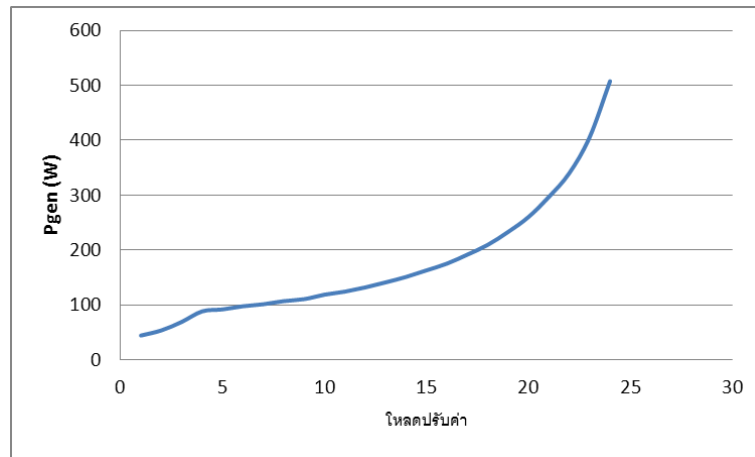
ความเร็วลม 14 m/s			
rpm	Vwind	Iwid	Pgen
500	111.2	0.23	44.3
500	110.5	0.28	53.58
500	110.8	0.36	69.1
500	110.8	0.46	88.3
500	110.4	0.48	91.8
500	110.5	0.51	97.6
500	110.3	0.53	101.3
500	110.2	0.56	106.9
500	110.1	0.58	110.6
500	110.5	0.62	118.7
500	110.3	0.65	124.2
500	110.4	0.69	131.9
500	110.1	0.74	141.1
500	109.8	0.79	151.0
500	109.8	0.86	162.9
500	109.7	0.92	175.2
500	109.8	1.01	191.5
500	109.6	1.10	209.4
500	109.7	1.23	232.9
500	108.9	1.38	260.1
500	108.7	1.58	296.7
500	107.8	1.82	340.0
500	107.6	2.21	405.7
500	107.4	2.73	507.7

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร
ขนาด 1 kW ความเร็วคงที่ และโหลดเปลี่ยนแปลง

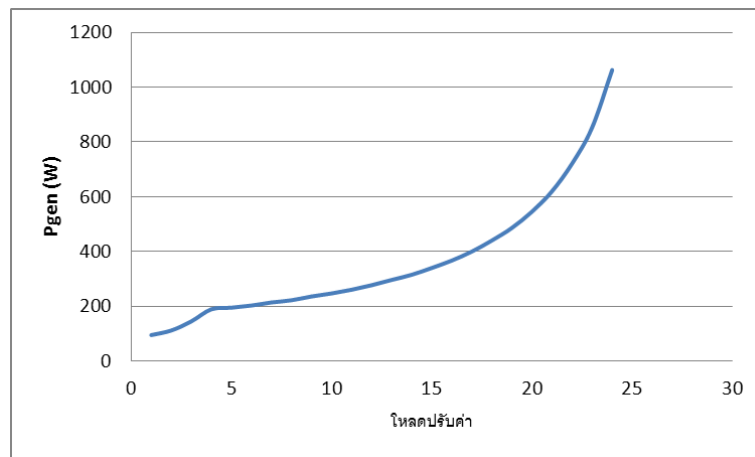
ความเร็วลม 21 m/s			
rpm	Vwind	Iwind	Pgen
750	161.1	0.34	94.8
750	161.0	0.40	111.5
750	160.8	0.52	144.8
750	160.5	0.68	189.0
750	160.5	0.70	194.6
750	160.4	0.73	202.8
750	160.4	0.77	213.9
750	160.2	0.80	222.0
750	160.2	0.85	235.9
750	160.1	0.89	246.8
750	159.9	0.94	260.3
750	159.9	1.00	276.9
750	159.9	1.07	296.3
750	159.6	1.14	315.1
750	159.6	1.23	340.0
750	159.4	1.33	367.1
750	159.2	1.45	399.8
750	158.9	1.60	440.3
750	158.6	1.78	486.2
750	158.3	1.99	545.6
750	157.7	2.28	620.0
750	157.1	2.65	721.1
750	156.3	3.15	852.7
750	154.8	3.96	1063.0

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร
ขนาด 1 kW ความเร็วคงที่ และโหลดเปลี่ยนแปลง

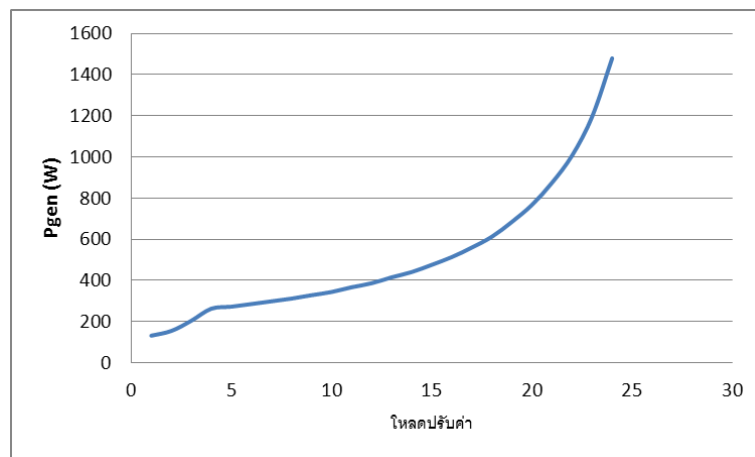
ความเร็วลม 25 m/s			
rpm	Vwind	Iwind	Pgen
900	190.3	0.40	131.8
900	190.1	0.47	154.8
900	190.3	0.62	204.4
900	189.7	0.80	262.9
900	189.7	0.83	272.7
900	189.6	0.87	285.7
900	189.5	0.91	298.7
900	189.6	0.95	312.0
900	189.6	1.00	328.4
900	189.3	1.05	344.3
900	189.2	1.12	367.0
900	189.2	1.18	386.7
900	188.9	1.27	415.5
900	188.6	1.35	441.0
900	188.5	1.46	476.0
900	188.4	1.58	513.9
900	188.2	1.72	560.0
900	187.7	1.89	612.8
900	187.3	2.10	684.7
900	187.9	2.36	767.4
900	186.6	2.71	875.2
900	185.9	3.13	1007.1
900	184.4	3.74	1195.7
900	182.6	4.68	1479.5



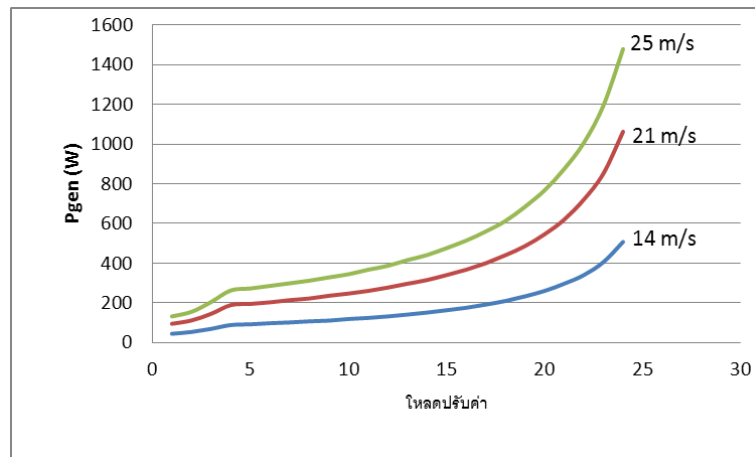
รูปที่ 4.23 การปรับโหลดและกำลังเอาต์พุตที่จ่ายโหลด ที่ 14 m/s



รูปที่ 4.24 การปรับโหลดและกำลังเอาต์พุตที่จ่ายโหลด ที่ 21 m/s



รูปที่ 4.25 การปรับโหลดและกำลังเอาต์พุตที่จ่ายโหลด ที่ 25 m/s

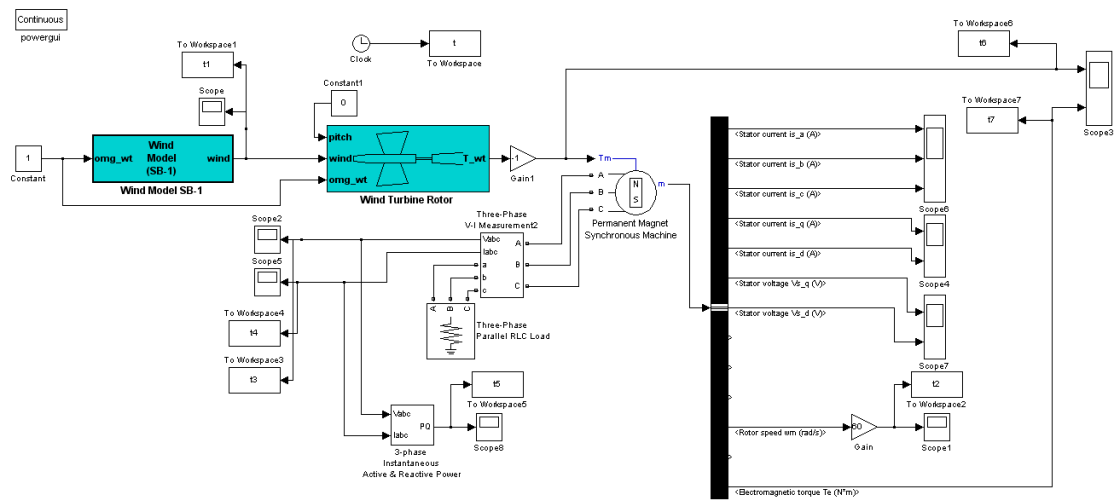


รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบการปรับโหลดและกำลังเอาต์พุตที่จ่ายโหลด

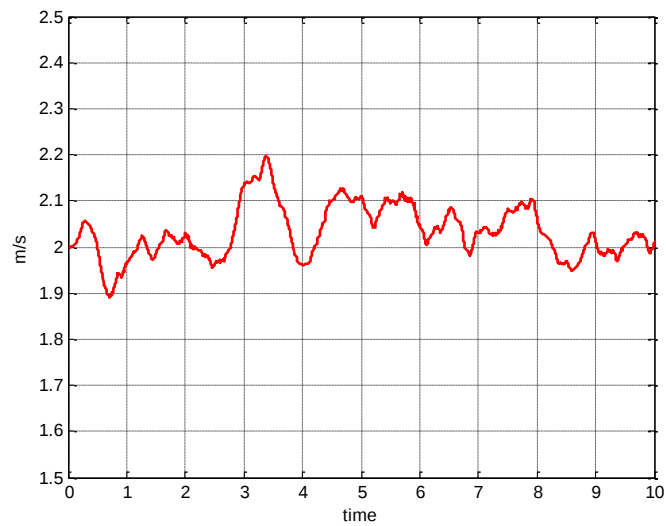
4.2.3 ผลการจำลองการทำงานของกังหันลมด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK

การจำลองการทำงานของกังหันลมขนาด 1 kW ในสถานะเริ่มทำงาน Cut in สถานะทำงานปกติที่พิกัด Normal และสถานะหยุดทำงาน Cut out โดยมีการแสดงผล เป็นกราฟดังนี้

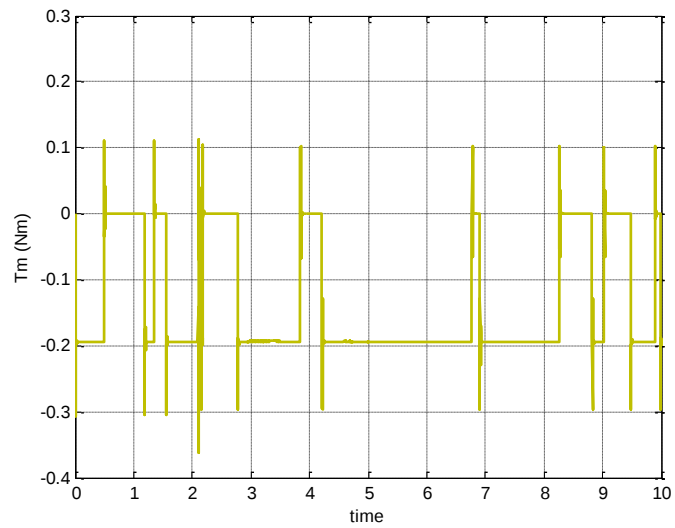
1. ความเร็วลมที่ความเร็วเริ่มทำงาน Cut in 2 m/s
2. แรงบิดที่สถานะเริ่มทำงาน Cut in 2 m/s
3. กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่สถานะเริ่มทำงาน Cut in 2 m/s
4. รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าสถานะเริ่มทำงาน Cut in 2 m/s
5. ความเร็วลมที่ความเร็วทำงานปกติ Normal 9 m/s
6. แรงบิดที่สถานะทำงานปกติ Normal 9 m/s
7. กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่สถานะทำงานปกติ Normal 9 m/s
8. รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่สถานะทำงานปกติ Normal 9 m/s
9. ความเร็วลมที่ความเร็วในช่วง Cut out 35 m/s
10. แรงบิดที่สถานะทำงาน Cut out 35 m/s
11. กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่สถานะทำงาน Cut out 35 m/s
12. รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่สถานะทำงาน Cut out 35 m/s



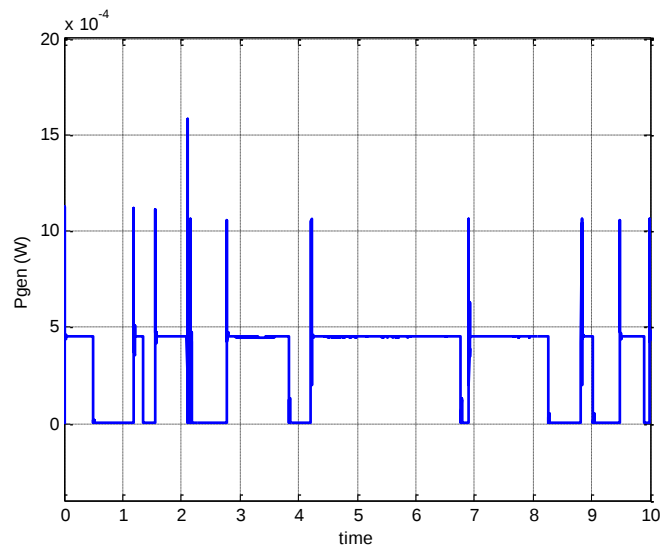
รูปที่ 4.27 การจำลองการทำงานของกังหันลมด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK



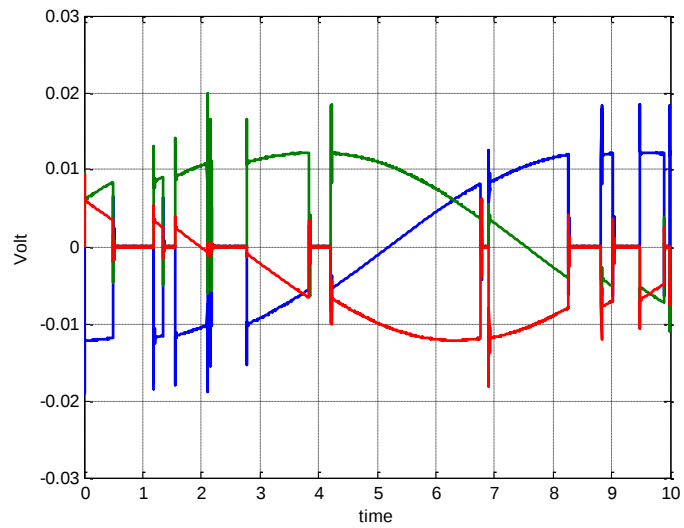
รูปที่ 4.28 ความเร็วลมที่ความเร็วเริ่มทำงาน Cut in 2 m/s



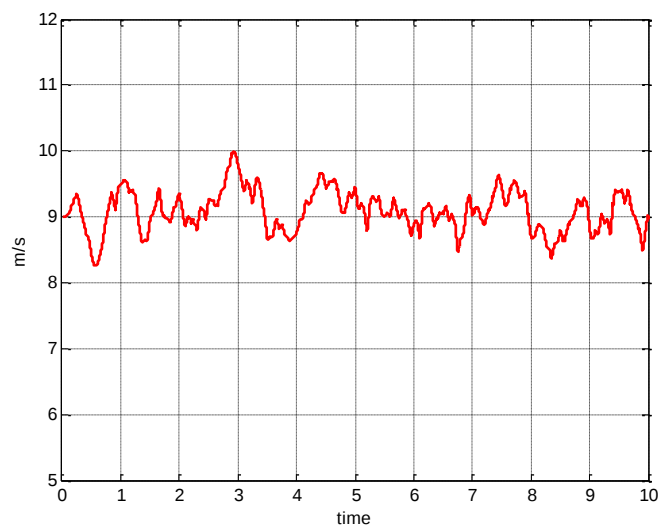
รูปที่ 4.29 แรงบิดที่สภาวะเริ่มทำงาน Cut in 2 m/s



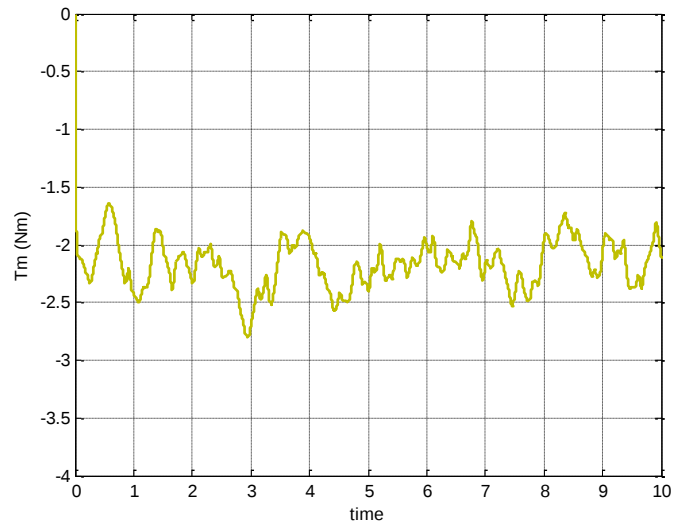
รูปที่ 4.30 กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่สภาวะเริ่มทำงาน Cut in 2 m/s



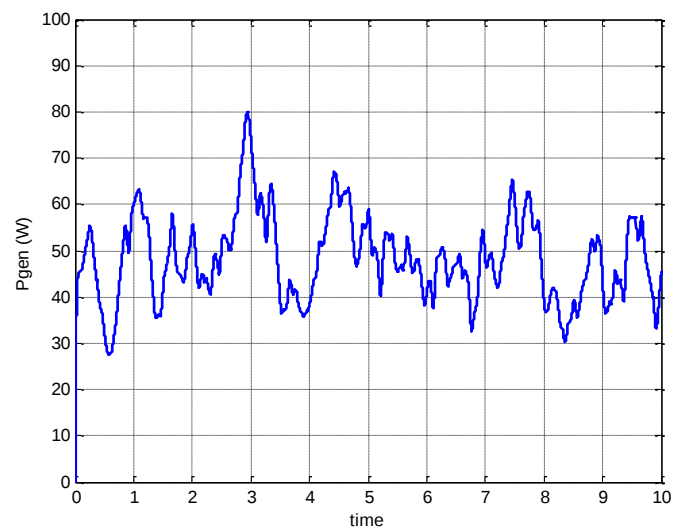
รูปที่ 4.31 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าสถานะเริ่มทำงาน Cut in 2 m/s



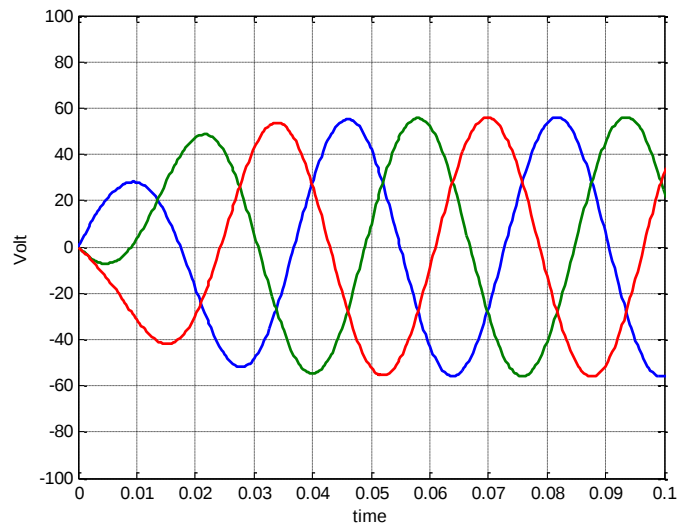
รูปที่ 4.32 ความเร็วลมที่ความเร็วทำงานปกติ Normal 9 m/s



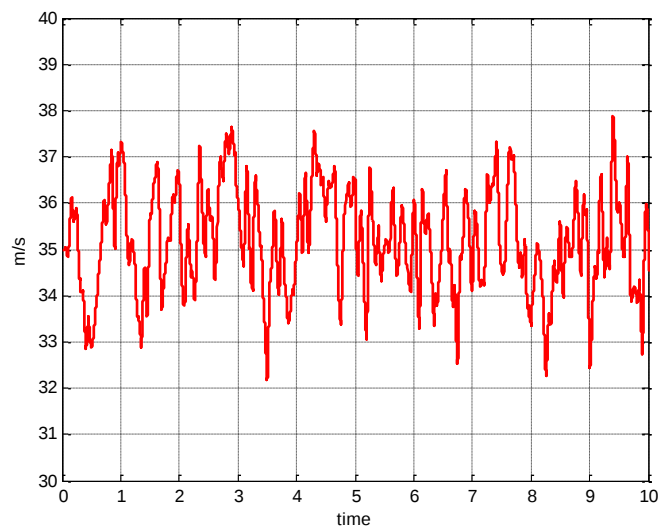
รูปที่ 4.33 แรงบิดที่สภาวะทำงานปกติ Normal 9 m/s



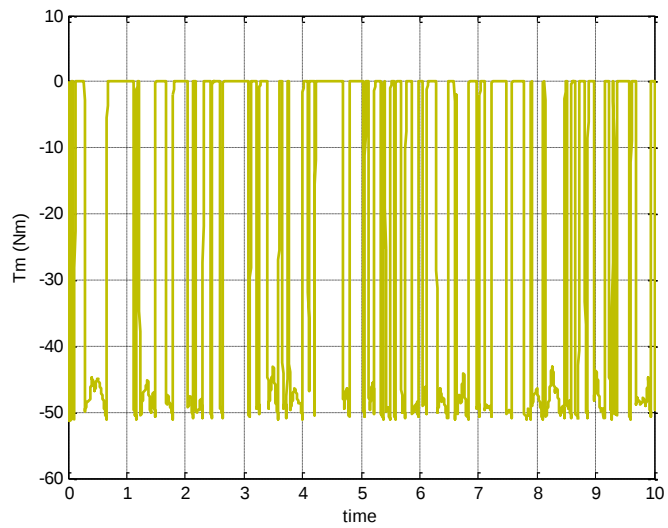
รูปที่ 4.34 กำลังไฟฟ้าแอดพุตที่สภาวะทำงานปกติ Normal 9 m/s



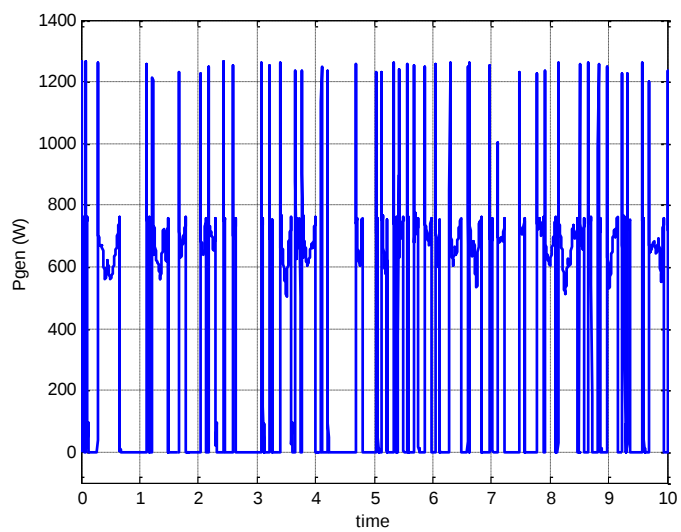
รูปที่ 4.35 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะทำงานปกติ Normal 9 m/s



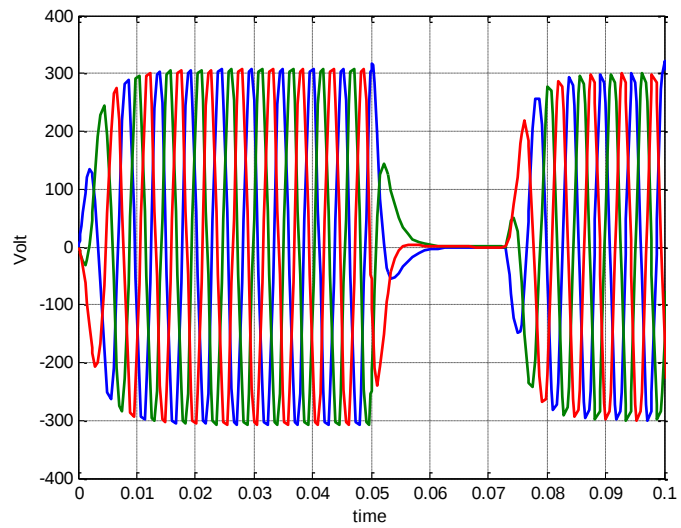
รูปที่ 4.36 ความเร็วลมที่ความเร็วในช่วง Cut out 35 m/s



รูปที่ 4.37 แรงบิดที่สภาวะทำงาน Cut out 35 m/s



รูปที่ 4.38 กำลังไฟฟ้าเอ๊าต์พุตที่สภาวะทำงาน Cut out 35 m/s



รูปที่ 4.39 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะทำงาน Cut out 35 m/s