



การพัฒนาไมโครอินเวอร์เตอร์ชนิดเชื่อมต่อกริดร่วมกับ
ระบบสื่อสารไร้สายสำหรับโรงพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์

โดย

ชาญวิทย์ บุญช่วย
ทรงกลด ศรีปรำงค์
อนุชิต อูไรรัตน์

สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2557

Developing grid-connected micro-inverter with wireless
communication system for solar farm

By

Chanwit Boonchuay
Songklod Sriprang
Anuchit Aurirat

Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2014



กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยในครั้งนี้ และขอบคุณคณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี ที่เอื้ออำนวยเกี่ยวกับสถานที่ห้องปฏิบัติการ ตลอดจนการติดตามการดำเนินงาน และการจัดส่งเอกสารที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย ผู้จัดทำหวังว่างานวิจัยชิ้นนี้จะก่อประโยชน์ให้กับมหาวิทยาลัยฯ และคณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี เพื่อเป็นองค์ความรู้สำหรับนักศึกษา รวมถึงบุคลากรที่สนใจ

ชาญวิทย์ บุญช่วย และคณะ
กันยายน 2557



บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : A3/2557
ชื่อโครงการ : การพัฒนาไมโครอินเวอร์เตอร์ชนิดเชื่อมต่อกริดร่วมกับระบบสื่อสารไร้สายสำหรับ
ไร่พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์
ชื่อนักวิจัย : ดร.ชาวนิววิทย์ บุญช่วย นายทรงกลด ศรีปรานค์ และนายอาทิตย์ อุไรรัตน์

งานวิจัยนี้เสนอการพัฒนาอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กสำหรับเชื่อมต่อพลังงานเข้าสู่ระบบไฟฟ้าร่วมกับระบบสื่อสารไร้สาย โดยใช้ระบบการแปลงผันพลังงานฟลายแบคแบบขนาน (Interleaved Flyback Converter: IFBC) โครงการนี้มีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การออกแบบระบบควบคุม สร้างต้นแบบไมโครอินเวอร์เตอร์เพื่อใช้งานทดสอบระบบที่น่าเสนอ และพัฒนาซอฟต์แวร์ในการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลการผลิตพลังงาน ไมโครอินเวอร์เตอร์มีฟังก์ชันตรวจจับสถานะทำงานของตัวเองและตรวจวัดพลังงาน และสามารถส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย Zigbee เข้าสู่ศูนย์ควบคุมซึ่งจะมีซอฟต์แวร์คอยแจ้งเตือนในกรณีที่ไม่โครอินเวอร์เตอร์หรือโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานผิดปกติ ผลการทดสอบแบบจำลองแสดงให้เห็นการทำงานของระบบที่สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้ โดยใช้เวลาเพียง 0.005 วินาที และข้อมูลพารามิเตอร์ของอินเวอร์เตอร์สามารถส่งเข้าสู่ศูนย์ข้อมูลได้ระยะทางมากกว่า 1 กิโลเมตร ช่วยให้ผู้ใช้ดูแลระบบสามารถตรวจวัดเพื่อการบำรุงรักษาและแก้ไขความขัดข้องได้สะดวกและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

คำสำคัญ : ระบบแปลงผันพลังงานไฟฟ้าแบบรวมเข้ากับโมดูล, ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบ, ระบบซิกบี, ระบบสื่อสารไร้สาย

E-mail Address : chanwit.b@rmutr.ac.th
ระยะเวลาโครงการ : 1 ตุลาคม 2556 - 30 กันยายน 2557

Abstract

Code of project : A3/2557
Project name : Developing grid-connected micro-inverter with wireless communication system for solar farm
Researcher name : Dr.Chanwit Boonchuay, Mr.Songklod Sriprang and Mr.Anuchit Aurirat

This report presents a single phase grid-connected microinverter with wireless communication for photovoltaic power generation systems. The proposed microinverter topology is based on a flyback converter and an active clamp circuit for reducing effects of output signal spikes with Zigbee wireless communication. The research includes modeling and designing the controller for the inverter. And an interleaved flyback module-integrated converter (IFMIC) prototype is developed. The experimental results of the microinverter model show responses during load changing. The controller can track the reference signal within 0.005 seconds. In addition, the parameters of the microinverter are able to be transmitted to the data center longer than 1 km. The proposed technique could help the system operator to efficiently detect and monitor the solar power generation.

Keyword: Micro-inverter, Grid-Connected Photovoltaic Power System, Differential Flatness-based Control, Zigbee system, Wireless communication

E-mail Address : chanwit.b@rmutr.ac.th
Period of Project : 1 October 2013 - 30 September 2014

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพประกอบ	ช
บทที่ 1	1
บทนำ	
1. หลักการและเหตุผล	1
2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
3. ขอบเขตโครงการวิจัย	3
4. วิธีการดำเนินการวิจัย	3
5. ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2	5
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2. การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	18
3. กรอบแนวคิด	19
4. สรุปรงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3	21
วิธีการดำเนินการวิจัย	
1. สร้างแบบจำลองของไมโครอินเวอร์เตอร์	21
2. ออกแบบ และสร้างฮาร์ดแวร์	26
3. การออกแบบซอฟต์แวร์	29
4. การออกแบบระบบควบคุมแบบพีไอ	30
5. ส่วนประกอบและการเชื่อมต่อการทำงาน	34
6. การตั้งค่าซอฟต์แวร์เพื่อเชื่อมต่อพารามิเตอร์ (Xbee)	35
7. ขั้นตอนการสร้างลายวงจร	43
8. ภาคการเฝ้าติดตาม Monitoring System	45
สารบัญ (ต่อ)	
9. การใช้งาน Xbee	53

บทที่ 4	ผลการทดลอง	56
	1. เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	56
	2. ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมพีไอ	57
	3. ผลการทดสอบแบบจำลองและระบบควบคุมไมโครอินเวอร์เตอร์	63
	4. ทดสอบการทำงานของระบบการสื่อสารซิกบี	73
	5. ทดสอบระบบการวัดสัญญาณและระบบการเฟ้าะวัง	76
	6. ผลการทดลองการสร้างเครื่องเฟ้าติดตามระบบพลังงานจากแสงอาทิตย์	84
	7. การบันทึกข้อมูล	85
	8. การตั้งค่า Data Recorder	86
	9. โปรแกรมการบันทึกข้อมูล	88
บทที่ 5	สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	94
	1. สรุปผลการทดลอง	94
	2. ข้อเสนอแนะ	94
บรรณานุกรม		95
ประวัติผู้วิจัย		98



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบสื่อสารไร้สายต่างๆ	16
2	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาค่าเกณฑ์ของระบบควบคุมพีไอด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค	33
3	ผลการทดลองจากการค้นหาจำนวน 50 รอบ	59
4	ผลการทดลองจากการค้นหาจำนวน 60 รอบ	60
5	สรุปผลการทดลองระยะของการรับส่งสัญญาณ Xbee	75
6	สรุปผลการทดลอง Xbee ทุกสภาพพื้นที่	76
7	ค่าที่ได้จากการทดลองของระบบการพัฒนาระบบตรวจวัดพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์	77
8	แสงอาทิตย์	78
9	ค่าความผิดพลาดของระบบการพัฒนาระบบตรวจวัดพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์	80
10	ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าความผิดพลาดจากการทดลองสรุปผลการทดลองระยะของการรับส่งสัญญาณ Xbee ในพื้นที่โล่ง	81



สารบัญญภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างการเชื่อมต่อของอินเวอร์เตอร์แบบศูนย์กลางและไมโครอินเวอร์เตอร์	2
2	บล็อกไดอะแกรมรวมของการเชื่อมต่อพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ไมโครอินเวอร์เตอร์	5
3	ไดอะแกรมการตรวจวัดพลังงานและการทำงานของไมโครอินเวอร์เตอร์	6
4	เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน	7
5	กราฟกระแสกับแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V curve)	7
6	ไดอะแกรมการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์	8
7	วงจรสมมูลย์ของเซลล์แสงอาทิตย์	8
8	รูปแบบการเชื่อมระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เข้าระบบสายส่ง	10
9	บล็อกไดอะแกรมส่วนประกอบของไมโครอินเวอร์เตอร์	12
10	บล็อกไดอะแกรมรวมของการเชื่อมต่อพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ไมโครอินเวอร์เตอร์	12
11	วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	13
12	ไดอะแกรมพื้นฐานของ Flyback converter	14
13	สัญญาณควบคุมสวิตช์ Q1	14
14	ไดอะแกรมวงจรควบคุมเฟสในการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับระบบของการไฟฟ้า	14
15	เฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันและกระแสที่เกี่ยวข้องในการเชื่อมต่อเข้ากับระบบ	16 19
16	บล็อกไดอะแกรมรวมของระบบ MIC	19
17	โครงสร้างการเชื่อมต่อไมโครอินเวอร์เตอร์	20
18	ส่วนประกอบของระบบไมโครอินเวอร์เตอร์	21
19	วงจรสมมูลย์ของไมโครอินเวอร์เตอร์ทั้งระบบ	22
20	การทำงานของสวิตช์ Q ₁ และ Q ₂ ในแบบ DCM	22
21	รูปคลื่นสัญญาณสั่งงานวงจรคัลล์สัญญาณ Unfolding	23
22	วงจรสมมูลย์ของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แบบ 1 เฟส เชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า	24
23	แบบจำลองไมโครอินเวอร์เตอร์บนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK	26

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
24 ส่วนประกอบของระบบควบคุม	26
25 โมดูล IGBT สำหรับสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์	27
26 วงจรสมมูลของโมดูล IGBT	27
27 ตัวถังของ dsPIC30F2010	28
28 ตำแหน่งขาของ dsPIC30F2010	28
29 ไมโครอินเวอร์เตอร์ต้นแบบ	29
30 โพล์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรม	30
31 วงจรสมมูลสัญญาณ AC ขนาดเล็ก	31
32 บล็อก SIMULINK ที่ใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมพีไอ	34
33 วงจรการรับส่งสัญญาณระหว่างไมโครอินเวอร์เตอร์ผ่านเครือข่ายซิกบี	34
34 Software X-CTU ที่ใช้ร่วมกับ X-bee (Free Download)	36
35 แสดงหน้าต่างแจ้งผลการติดต่อและข้อมูลทางฮาร์ดแวร์	36
36 แสดงการเลือกรุ่น, firmware version	37
37 แสดงการเลือกฟังก์ชัน Xbee แต่ละรุ่น	37
38 ทำการเลือก COM Port (UART) ในแต่ละชุด	38
39 หน้าต่างแจ้งผลการติดต่อและข้อมูลทางฮาร์ดแวร์	38
40 การ Set Parameter ในหมวด Networking & Security	39
41 แสดงการ set ให้ parameter DH และ DL , SH และ SL	40
42 แสดงตัวอย่างการหา SH, SL, MODEM	40
43 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ Xbee กับ Microcontroller	41
44 วงจรรักษาระดับแรงดัน 12 V	41
45 วงจรรักษาระดับแรงดัน 5 V ด้วย MC7805	41
46 วงจรรักษาระดับแรงดัน 3.3 V ด้วย LM1117	42
47 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A	42
48 วงจร Xbee	42
49 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า	43

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
		๑
50	ลายวงจรต้นแบบชุดทดลอง PIC16F877A ที่เชื่อมต่อกับ Xbee ในภาค การส่งสัญญาณ	43
51	ลายวงจรต้นแบบชุดทดลอง PIC16F877A ที่เชื่อมต่อกับ Xbee ในภาค การรับสัญญาณ	44
52	แสดงการฉายแสงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A	44
53	แสดงการล้างโซเดียมวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A	45
54	แสดงการกัดลายวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A	45
55	แสดงลายวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A	46
56	แสดงการลงอุปกรณ์วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A และ Xbee บอร์ดส่งสัญญาณ	46
57	แสดงการลงอุปกรณ์วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A และ Xbee บอร์ดรับสัญญาณ	47
58	กล่องป้องกัน	47
59	ตำแหน่งขาของ ADC7763	48
60	การออกแบบวงจรการต่อใช้งาน ADE7763	49
61	วงจร Current Transformer (CT)	50
62	ตำแหน่งขา PIC18F46K22	50
63	ตำแหน่งขา DS1307	51
64	ส่วนประกอบทั้งหมดของระบบเฝ้าติดตามใช้การประมวลผลด้วย PIC18F46K22	51
65	การต่อใช้งาน Xbee และคอนเน็คเตอร์สำหรับต่อใช้งาน Sensor ต่างๆ	52
66	การออกแบบ PCB ต้นแบบ	53
67	การตั้งค่า Xbee 1 และ Xbee 2 รับและส่งข้อมูล	54
68	การตั้งค่า Xbee3 และ Xbee 4 ทำงานในตัวยายสัญญาณ	55
69	ชุดต้นแบบไมโครอินเวอร์เตอร์และเครื่องมือวัด	57
70	บล็อก SIMULINK ที่ใช้ในการทดลอง	58

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
71	ผลการทดลองหาค่า K_p และ K_i ที่จำนวน 50 รอบ	59
72	ผลการทดลองหาค่า K_p และ K_i ที่จำนวน 60 รอบ	60
73	ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมด้วยวิธี Ziegler-Nichole ด้วยวิธีการที่ 1	61
74	ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมด้วยวิธี Ziegler-Nichole ด้วยวิธีการที่ 2	62
75	ไดอะแกรมแบบจำลองไมโครอินเวอร์เตอร์	63
76	ไดอะแกรมการทำงานของไมโครอินเวอร์เตอร์	63
77	แบบจำลองไมโครอินเวอร์เตอร์บนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK	64
78	บล็อกไดอะแกรมการวัดกระแสและเปรียบเทียบ	64
79	กระแสอ้างอิงและกระแสวัดจริง	65
80	สัญญาณสวิตช์ Q_1 และ Q_2 เมื่อ Duty cycle = 50%	66
81	สัญญาณสวิตช์ Q_1 และ Q_2 เมื่อ Duty cycle = 100%	66
82	สัญญาณรูปคลื่นกระแสไหลขดลวดหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ	67
83	สัญญาณแรงดันเอาต์พุต	67
84	สัญญาณแรงดันเอาต์พุตขนาด 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์	68
85	สัญญาณกระแสเอาต์พุต	68
86	สัญญาณกระแสและแรงดันเมื่อมีโหลดประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์	69
87	สัญญาณกระแสและแรงดันเมื่อมีโหลดประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์	69
88	สัญญาณกระแสและแรงดันเมื่อไม่มีโหลด	70
89	สัญญาณกระแสและแรงดันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดอย่างฉับพลัน	70
90	ไมโครอินเวอร์เตอร์ต้นแบบสำหรับทดสอบการทำงานจริง	71
91	สัญญาณกระแสไหลเข้าหม้อแปลงฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์เฟส 1 และ 2	71
92	ภาพสัญญาณกระแสสวิตช์ Q_1 และ Q_2	72
93	แรงดันและกระแสขณะจ่ายโหลดที่ 70%	72
94	แรงดันและกระแสขณะจ่ายโหลดที่ 40%	73
95	แสดงตำแหน่งจุดส่งสัญญาณและจุดรับสัญญาณ 3 ระยะการทดลองในพื้นที่	73
96	วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และชุดส่งสัญญาณ	74

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
97	บอร์ดรับสัญญาณระยะ 300 เมตร	74
98	แสดงการเชื่อมต่อสื่อสารในพื้นที่โล่ง	75
99	แสดงการเชื่อมต่อสื่อสารในอาคาร	75
100	แสดงการเชื่อมต่อสื่อสารในพื้นที่ป่าไม้และสิ่งกีดขวาง	76
101	หน้าจอแสดงผลการทำงานใน LabVIEW	76
102	โครงสร้างรวมของระบบตรวจวัดพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบไร้สาย	77
103	โครงสร้างชุดทดลองระบบเฝ้าติดตามการทำงานแบบไร้สาย	79
104	โครงสร้างชุดทดลองที่ต่อเข้ากับระบบ	80
105	จอแสดงผล LCD 16x2	80
106	การทดลองการส่งสัญญาณด้วย Xbee	81
107	ซอฟต์แวร์ในการแสดงผลด้วย LabVIEW	82
108	Flow chart ของระบบเฝ้าติดตามด้วยซอฟต์แวร์ LabVIEW	83
109	เปรียบเทียบการทำงานของซอฟต์แวร์ LabVIEW และเครื่องมือวัดจริง	84
110	การบันทึกข้อมูลและการตั้งเวลา	86
111	แสดง Data Recorder กำลังบันทึกข้อมูล	86
112	แสดงการตั้งค่าหยุดการบันทึกข้อมูล	87
113	แสดงการทำงานเมื่อไม่อยู่ในเงื่อนไขเวลา หยุดบันทึกข้อมูล	87
114	ตัวอย่างข้อมูลที่ทำการบันทึก	88
115	ตำแหน่งที่บันทึกข้อมูล	89
116	การสร้างไฟล์เดอรีใหม่	89
117	เลือกไฟล์ข้อมูลที่ต้องการ	90
118	การเปิดไฟล์งานด้วยโปรแกรม Microsoft Office Excel	90
119	การเรียกใช้งานไฟล์ข้อมูล	91
120	การเลือกชนิดข้อมูล	91
121	การแบ่งข้อมูลเป็นชุดข้อมูล	92
122	การเลือกชนิดคอลัมน์	92
123	การแสดงผลหน้าต่าง Excel หลังจากใช้งานไฟล์ข้อมูล	93

บทที่ 1 บทนำ

1. หลักการและเหตุผล

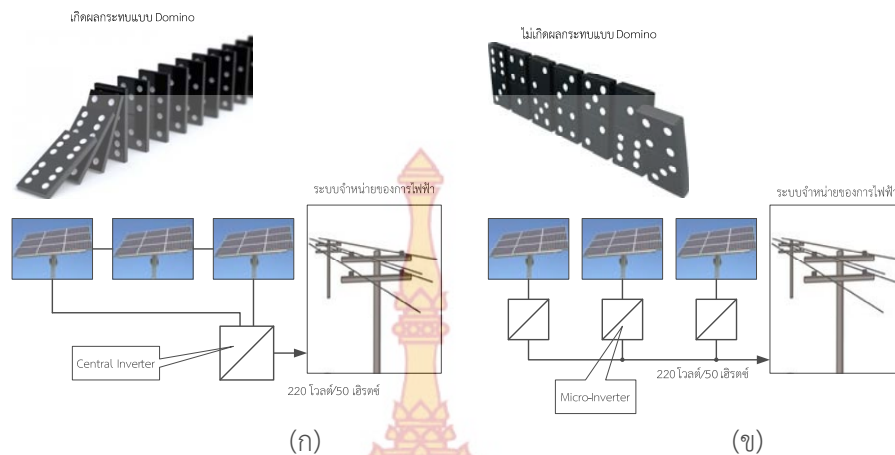
ปัญหาด้านความขาดแคลนพลังงานเป็นสิ่งที่หลายฝ่ายให้ความสำคัญ และพยายามหาทางแก้ไข เนื่องจากความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ขณะที่เชื้อเพลิงสำหรับใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้ามีอยู่อย่างจำกัด นอกจากนี้การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล จะปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณมาก ซึ่งเป็นต้นเหตุของปัญหาโลกร้อน ดังนั้น การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน (Renewable Energy) จึงมีความจำเป็นมาก และเป็นเรื่องเร่งด่วนเพื่อลดปัญหาโลกร้อนและสภาวะการขาดแคลนพลังงาน

การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น อีกทั้งเทคโนโลยีด้านเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีราคาถูกลงตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายเข้าระบบไฟฟ้า จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์แปลงผันพลังงานหรือ อินเวอร์เตอร์ เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถเชื่อมต่อเข้าระบบไฟฟ้าได้ ดังนั้นการพัฒนากระบวนการแปลงผันพลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงและมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น จะช่วยลดต้นทุนการผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ และย่นระยะเวลาคืนทุนของการลงทุนธุรกิจพลังงานแสงอาทิตย์ ส่งผลให้ประเทศไทยมีผู้สนใจลงทุนและมีสัดส่วนการใช้พลังงานหมุนเวียนมากขึ้นด้วย

จากเหตุผลที่กล่าวในข้างต้น โครงการวิจัยนี้จึงจะศึกษาและออกแบบ รวมถึงการสร้างเครื่องต้นแบบอินเวอร์เตอร์สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในลักษณะ Module Interface Converter (MIC) หรือ ไมโครอินเวอร์เตอร์ (Micro-inverter) คือระบบแปลงผันพลังงานอยู่ภายในของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ [1] ซึ่งทำหน้าที่ในการแปลงผันพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ 220 โวลต์ ที่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า (Grid Connection) ได้ ข้อดีของระบบนี้คือ สามารถลดต้นทุนการผลิต ลดขนาดของอุปกรณ์ ยืดอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์รวมถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ [2], [3], [4], [5] และที่สำคัญสามารถลดความสูญเสียในสายตัวนำลงได้¹

นอกจากนี้ ไมโครอินเวอร์เตอร์อินเวอร์เตอร์ยังช่วยให้การจ่ายพลังงานเข้าระบบมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ดังแสดงโครงสร้างการเชื่อมต่อของอินเวอร์เตอร์ศูนย์กลาง (Centralized Inverter) และไมโคร-อินเวอร์เตอร์ในภาพที่ 1

¹ ค่าความสูญเสียในสายคำนวณจาก $P_{\text{loss}} = I^2 \times R$ ดังนั้นถ้าลดค่ากระแสที่ไหลในสาย จะสามารถลดค่าความสูญเสียได้โดยตรง ทั้งนี้ไมโครอินเวอร์เตอร์มีชุดยกแรงดันขาออกให้เท่ากับ 220 V ทำให้กระแสไฟฟ้าด้านขาออกมีค่าต่ำ



ภาพที่ 1 (ก) โครงสร้างการเชื่อมต่อของอินเวอร์เตอร์แบบศูนย์กลาง และ (ข) ไมโครอินเวอร์เตอร์ สำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบ

ภาพที่ 1 (ก) เป็นระบบแบบอินเวอร์เตอร์ศูนย์กลาง (Centralized Inverter) เมื่อโมดูลใดโมดูลหนึ่งเกิดปัญหา ซึ่งสามารถเกิดได้จากสาเหตุหลายประการเช่น เงาจากเมฆบัง, เศษใบไม้ที่ลอยมาติด รวมถึงฝุ่นที่เกาะบนแผง อินเวอร์เตอร์ศูนย์กลางไม่สามารถติดตามพลังงานสูงสุด (Maximum Power Tracking) ของแผงที่มีปัญหาเหล่านั้นได้ ทำให้ส่งผลกระทบต่อทั้งระบบเหมือนปรากฏการณ์โดมิโน (Domino) ซึ่งแตกต่างจาก (ข) ระบบเป็นแบบไมโครอินเวอร์เตอร์ หากโมดูลใดโมดูลหนึ่งเกิดปัญหา จากสาเหตุหลายประการเช่น เงาจากเมฆบัง, เศษใบไม้ที่ลอยมาติด รวมถึงฝุ่นที่เกาะบนแผง อินเวอร์เตอร์ของแต่ละโมดูลจะทำการติดตามพลังงานสูงสุด (Maximum Power Tracking) ของแผงนั้นๆ ได้ ทำให้ประสิทธิภาพในการเก็บเกี่ยวพลังงานเพิ่มขึ้น และไม่เกิดผลกระทบแบบโดมิโน

จะเห็นว่าการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าโดยใช้ไมโครอินเวอร์เตอร์มีข้อดีหลายประการ และจุดเด่นที่สามารถพัฒนาเพิ่มเติมให้กับไมโครอินเวอร์เตอร์ได้คือ การเฝ้าติดตาม (Monitoring) การทำงานของแต่ละโมดูลได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะมีการพัฒนาส่วนดังกล่าวให้กับระบบไมโครอินเวอร์เตอร์ของแต่ละโมดูล พร้อมทั้งระบบสื่อสารเพื่อส่งข้อมูลไปยังศูนย์ควบคุม ทำให้สามารถตรวจสอบการจ่ายพลังงานของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และทราบสถานะการทำงานของไมโครอินเวอร์เตอร์

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบไมโครอินเวอร์เตอร์ สำหรับเชื่อมต่อพลังงานจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เข้าระบบไฟฟ้า

2.2 เพื่อสร้างระบบเฝ้าติดตาม (Monitoring) การทำงานของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ และไมโครอินเวอร์เตอร์สำหรับใช้ในไร่พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar farm)

2.3 สร้างซอฟต์แวร์ในการวิเคราะห์ข้อมูลการทำงานของไมโครอินเวอร์เตอร์และโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะแจ้งเตือนกรณีมีความผิดปกติของอุปกรณ์

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

3.1 ดำเนินการออกแบบและสร้างไมโครอินเวอร์เตอร์แบบ 1 เฟส ขนาด 100 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ที่สามารถเชื่อมต่อเข้าระบบสายส่งได้โดยตรง (Grid Connection) โดยใช้ระบบคอนเวอร์เตอร์ แบบ Interleave Fly Back

3.2 ทดสอบในไร่พลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1 กิโลวัตต์ โดยใช้ไมโครอินเวอร์เตอร์ทั้งหมด 10 ตัว

3.3 ไมโครอินเวอร์เตอร์มีฟังก์ชันตรวจจับสถานะทำงานของตัวเองและตรวจวัดพลังงาน และสามารถส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย Zigbee เข้าสู่ศูนย์ควบคุม ซึ่งจะมีซอฟต์แวร์คอยแจ้งเตือนในกรณีที่ไมโครอินเวอร์เตอร์หรือโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานผิดปกติ

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 ศึกษา ค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

4.2 ออกแบบ และจำลองการทำงานของระบบ

4.3 วาดวงจร schematic และจัดซื้ออุปกรณ์ของชุดทดลองต้นแบบ

4.4 วาดวงจร Print circuit board (PCB) เพื่อสร้างวงจรปรินต์ ของชุดต้นแบบ

4.5 ลงอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องลงบนแผ่นปรินต์ของชุดทดลองต้นแบบ

4.6 ทดสอบการทำงานของวงจรชุดทดลองต้นแบบที่สร้างขึ้น และทำการแก้ไขหากเกิด

ข้อผิดพลาด

4.7 ประกอบ ตกแต่ง ชุดทดลอง เพื่อความสวยงามและความสะดวกในการใช้งาน

4.8 ทำการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบควบคุม และระบบรวมทั้งหมดของชุดต้นแบบ สรุปผลงานวิจัย เผยแพร่ และจัดทำเล่มรายงาน

5 ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

5.1 ได้ระบบแปลงผันพลังงานไฟฟ้า (Converter) สำหรับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบ (Grid connected) ในแบบ Module Interface Converter (MIC) ที่มีประสิทธิภาพ สามารถช่วยลดต้นทุนการในการติดตั้งระบบ

5.2 เพิ่มประสิทธิภาพของระบบแปลงผันพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ลดแรงดันกระเพื่อมของกระแส (Ripple Current) ที่จ่ายให้กับคาปาซิเตอร์ ยืดอายุการใช้งานของคาปาซิเตอร์

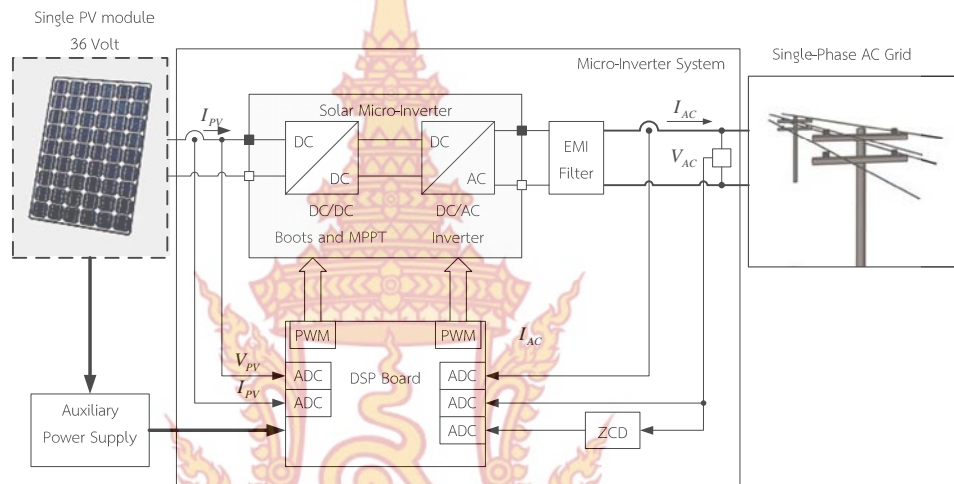
5.3 เพิ่มเสถียรภาพให้กับระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ การออกแบบที่มีมาตรฐาน

5.4 สามารถเฝ้าติดตาม (Monitoring) การทำงานของแต่ละโมดูลได้ด้วยระบบสื่อสารไร้สาย ส่งข้อมูลไปยังศูนย์ควบคุม ทำให้สามารถตรวจสอบการจ่ายพลังงานของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และทราบสถานะการทำงานของไมโครอินเวอร์เตอร์



บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงการสืบค้นข้อมูล ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่จัดทำขึ้น ตามส่วนประกอบต่างๆ ภายในโครงการวิจัย

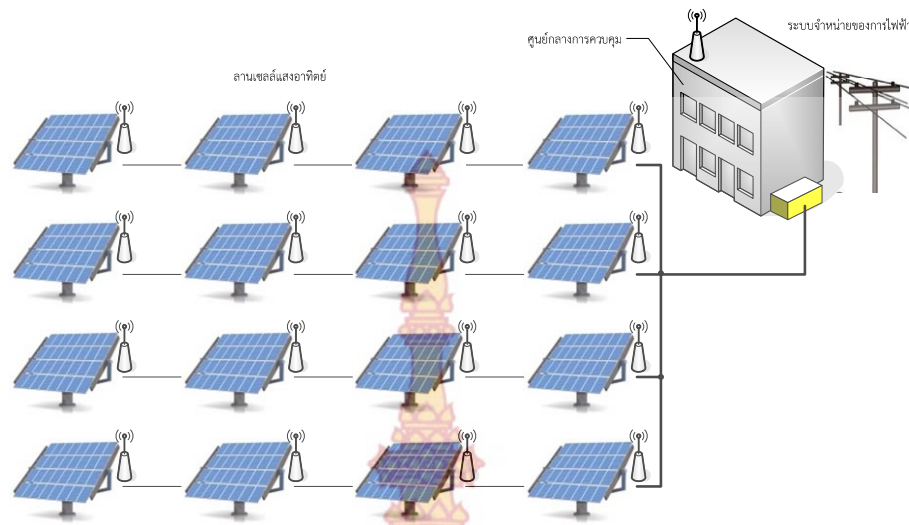


ภาพที่ 2 บล็อกไดอะแกรมรวมของการเชื่อมต่อพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ไมโครอินเวอร์เตอร์

ในงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการศึกษา ออกแบบ และสร้างต้นแบบ อินเวอร์เตอร์ขนาดเล็ก หรือที่รู้จักกันในชื่อ ไมโครอินเวอร์เตอร์ (Microinverter) สำหรับเชื่อมต่อพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เข้าระบบไฟฟ้า ภายในของชุดไมโครอินเวอร์เตอร์ประกอบด้วย 2 กระบวนการคือ การเพิ่มขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นแรงดันที่ไม่น้อยกว่าแรงดันของระบบไฟฟ้า โดยใช้คอนเวอร์เตอร์แบบ Flyback Converter และแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ด้วย Full-bridge inverter ซึ่งเขียนเป็นไดอะแกรมภาพรวมของระบบได้ดังภาพที่ 2

หน่วยประมวลผลสัญญาณ (DSP Board) จะทำหน้าที่ควบคุมให้ชุดคอนเวอร์เตอร์และอินเวอร์เตอร์ทำงานที่จุดจ่ายพลังงานสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ อีกทั้งทำหน้าที่ตรวจวัด (Monitoring) ค่าพลังงานของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ และสถานะของการทำงานของไมโครอินเวอร์เตอร์

ในงานวิจัยนี้จะพัฒนาระบบส่ง และเก็บข้อมูลพลังงานพร้อมทั้งสถานะการทำงานของไมโครอินเวอร์เตอร์ ผ่านระบบไร้สายมายังศูนย์ควบคุม โดยแผนภาพการทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 3



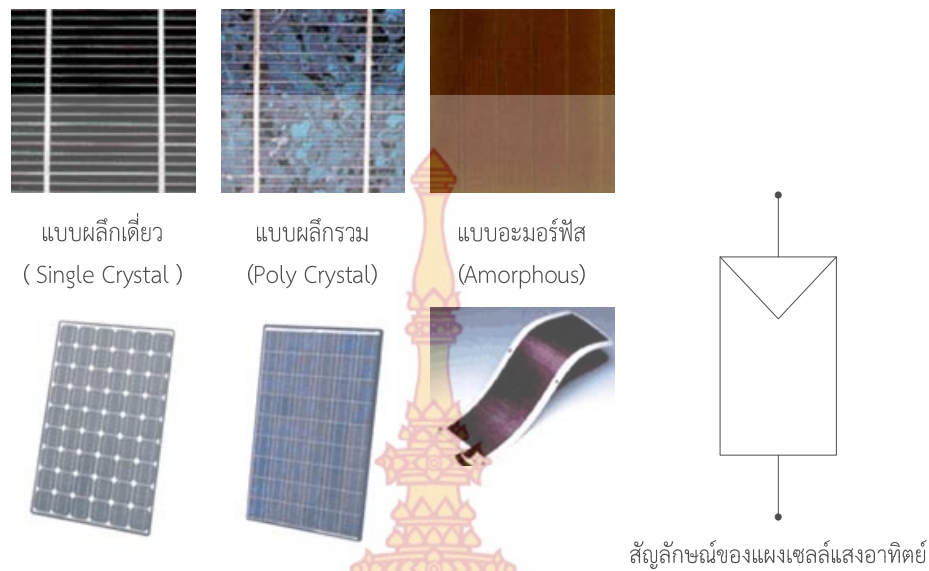
ภาพที่ 3 ไตอะแกรมระบบตรวจวัดพลังงานและการทำงานของไมโครอินเวอร์เตอร์

เพื่อลดความยุ่งยากในการติดตั้งในเรื่องของการเดินสาย งานวิจัยนี้มีความสนใจจะใช้ระบบเครือข่าย Zigbee ในการส่งข้อมูลจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังศูนย์ควบคุม เนื่องจากระบบดังกล่าวมีต้นทุนต่ำ ใช้พลังงานน้อย และมีความทนทาน อีกทั้งมีการประยุกต์ใช้งานด้าน Monitoring ค่อนข้างแพร่หลาย เช่น การตรวจสอบตำแหน่งของวัตถุ และตรวจสอบสภาพแวดล้อม เป็นต้น และเมื่อเปรียบเทียบกับระบบ Zigbee กับระบบสื่อสารแบบอื่นพบว่ามีความเหมาะสมในการใช้ส่งสัญญาณสถานะการทำงานของไมโครอินเวอร์เตอร์และการตรวจติดตามการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

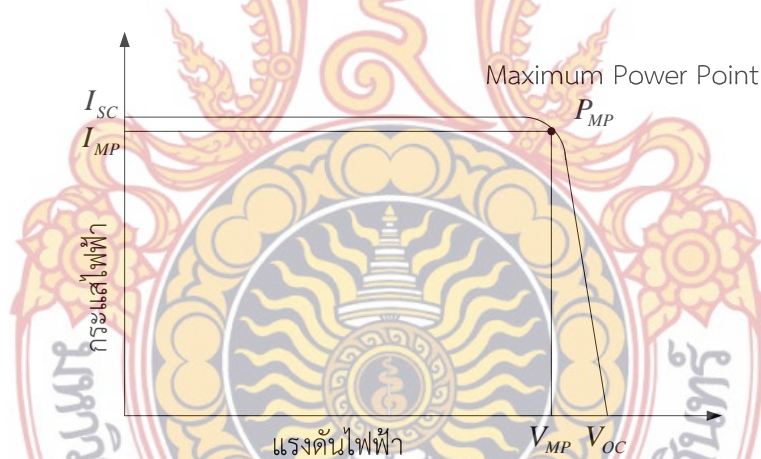
1.1 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุด และมีมากที่สุดบนพื้นโลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน



ภาพที่ 4 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 5 กราฟกระแสกับแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V curve)

เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าเป็นกระแสตรง โดยที่แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิ ภาพที่ 5 แสดงกราฟกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อต่างกับโหลดที่แปรค่าตั้งแต่สภาวะวงจรถัด (short circuit) ถึงสภาวะวงจรถัดเปิด (Open circuit) โดยแกนตั้งที่แรงดันเป็นศูนย์ จะได้ค่ากระแสที่สภาวะวงจรถัด (Short circuit current: I_{SC}) ส่วนจุดตัดแกนนอนที่กระแสที่กระแสเท่ากับศูนย์ จะได้ค่าแรงดันขณะวงจรถัดเปิด (Open circuit voltage: V_{OC}) เมื่อนำกระแสคูณกับแรงดันจะได้กำลังของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งต้องมีจุดเดียวเป็นกำลังไฟฟ้าสูงสุด เรียกว่า กำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุด (Maximum Power Point: P_{MP}) ส่วนกระแสกับแรงดันที่จุดนี้เรียกว่า กระแสที่จุดกำลังสูงสุด (Current at maximum

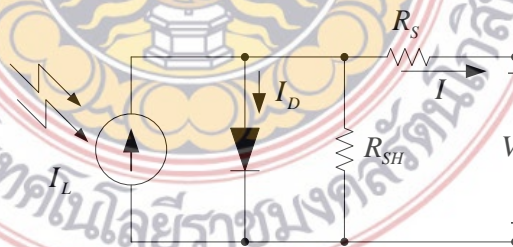
power point: I_{MP}) กับแรงดันที่จุดกำลังสูงสุด (Voltage at maximum power point: V_{MP}) ตามลำดับ

การระบุค่าสมรรถนะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้จากการทดสอบวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า (I-V curve) โดยต่อภาระทางไฟฟ้าที่สามารถแปรค่าได้ตั้งแต่สภาวะวงจรเปิดจนถึงสภาวะวงจรลัด เข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วให้แสงแก่แผงเซลล์ดังกล่าวที่ 6 โดยควบคุมสภาพแวดล้อมที่สภาวะมาตรฐาน (Standard Test Condition, STC) คือความเข้มรังสีอาทิตย์ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร สเปกตรัมของแสงที่ Air Mass (AM) 1.5 และอุณหภูมิด้านหลังแผงเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการรับรองมาตรฐานประกอบด้วย IEC 61215 สำหรับแผงชนิดผลึก IEC 61646 สำหรับชนิดฟิล์มบาง และมาตรฐานทางด้านความปลอดภัย เช่น IEC 61730 สำหรับแผงทั้งสองชนิด และ UL 1703 เป็นต้น



ภาพที่ 6 โดอะแกรมการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

วงจรสมมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 7 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์สามารถแทนด้วยวงจรสมมูล (Equivalent circuit) ดังภาพที่ 7 ประกอบด้วย แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าต่อขนานกับไดโอด (รอยต่อพี-เอ็น) และ R_{SH} แล้วจึงต่ออนุกรมกับ R_S โดยกำหนดให้แหล่งจ่ายกระแสเป็นแบบคงที่ ซึ่งแปรผันตามความเข้มแสง ความต้านทาน

อนุกรม (R_S) เป็นความต้านทานที่เกิดขึ้นจากจุดเชื่อมต่อ (Wiring contact) ระหว่างตัวนำไฟฟ้ากับ เซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนความต้านทานชั้นที่ (R_{SH}) เกิดขึ้นเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าในลักษณะไบอัสย้อนกลับ ให้กับไดโอด

ทางอุดมคติจะไม่มีกระแสไหลย้อนกลับ ตรงกันข้ามกับความจริงจะมีกระแสไหลย้อนกลับในระดับต่ำ นั้นแสดงให้เห็นว่ามีเส้นทางกระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านได้ ดังนั้นจึงแทนด้วยความต้านทานชั้นที่ ซึ่งมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับความต้านทานที่มีค่าต่ำมาก สมการที่ 1 เป็นสมการทางสถิติของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีพื้นฐานมาจากทฤษฎีโซลิตสเททฟิสิกส์ (Solid-state physics theory)

$$I = I_L - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{q(V + IR_S)}{AK_B T} \right] - 1 \right\} - \frac{V + IR_S}{R_{SH}} \quad (1)$$

เมื่อ

I คือ กระแสเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์

I_0 คือ กระแส Saturate ของไดโอด

q คือ Electronic charge (1.6×10^{19} C)

V คือ แรงดันที่ขั้วของเซลล์แสงอาทิตย์

R_S คือ ความต้านทานอนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์

R_{SH} คือ ความต้านทานชั้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์

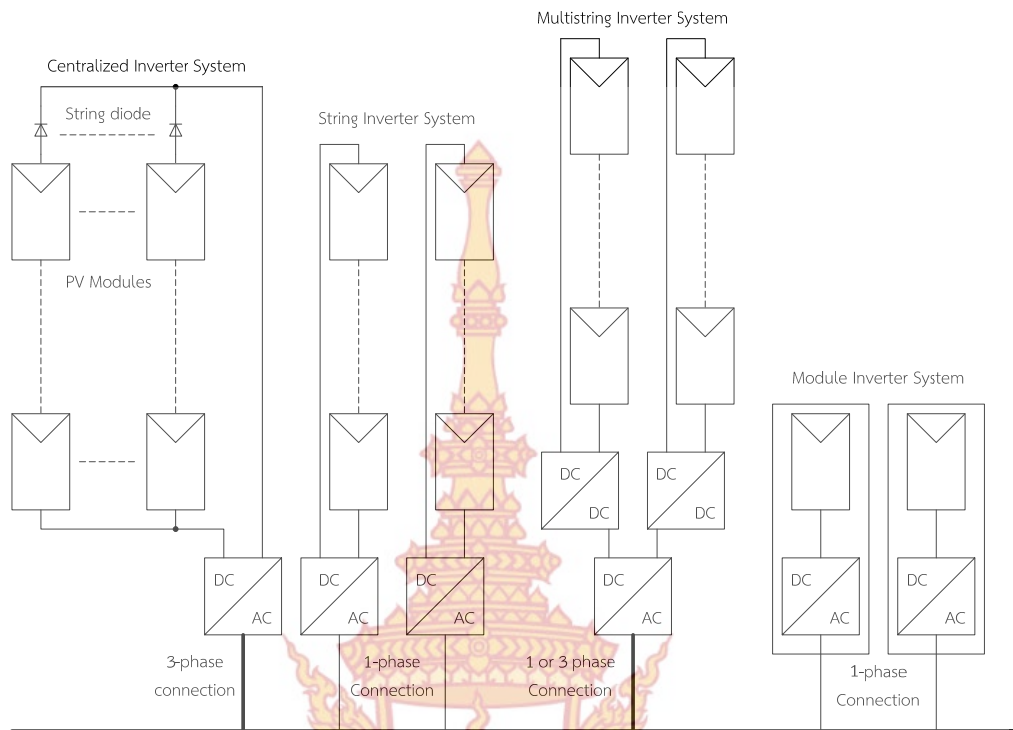
A คือ An arbitrary curve-fitting constant between 1 and 2

K_B คือ Boltzman's constant (1.38×10^{-23} J.K-1)

T คือ ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

1.2 ระบบการเชื่อมต่อพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เข้าระบบไฟฟ้า

ระบบเชื่อมต่อพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เข้าระบบไฟฟ้า ที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบันนั้นมีอยู่ 4 รูปแบบประกอบด้วย Centralized Inverter System, String Inverter System, Multi-string Inverter System และ Module Inverter System (Micro-inverter) [7], [8] รูปแบบของการเชื่อมต่อทั้ง 4 รูปแบบ แสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 รูปแบบการเชื่อมระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เข้าระบบสายส่ง

ในจำนวนทั้ง 4 รูปแบบ ระบบการเชื่อมต่อพลังงานด้วยอินเวอร์เตอร์ Module Inverter System หรือ โมดูลอินเวอร์เตอร์ ได้รับความนิยมสูง กรณีมีการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในปริมาณมากๆ เนื่องจากข้อดีดังต่อไปนี้

1.2.1 ระบบไม่เป็นแบบรวมศูนย์กลาง แต่เป็นแบบกระจายการจ่าย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจ่ายพลังงาน

1.2.2 เพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบจาก 5 เป็น 20 ปี ลดระบบระบายอากาศของระบบคอนเวอร์เตอร์

1.2.3 ทดแทนเทคนิคการสวิตช์แบบ Hard-switching ด้วยเทคนิค Soft-switching ทำให้ประสิทธิภาพดีขึ้น ลดความร้อนที่เกิดจากการสวิตช์

1.2.4 ลดขนาดของตัวเก็บประจุ (Electrolytic Capacitor) ให้มีขนาดเล็กลง

1.2.5 เนื่องจากที่พิกัดสูงๆจะต้องใช้คาปาซิเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ระบบคอนเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นจะเชื่อมต่อเข้าระบบโดยตรงไม่มีการใช้แบตเตอรี่ เนื่องจากแบตเตอรี่มีราคาแพง

1.2.6 ลดความสูญเสียในสายตัวนำ เนื่องจากไฟฟ้ากระแสตรงก่อนเข้าอินเวอร์เตอร์มีค่าสูงมาก หากมีการแปลงให้เป็นกระแสสลับที่แรงดัน 220 โวลต์ กระแสไฟฟ้าในสายจะมีค่าต่ำลง

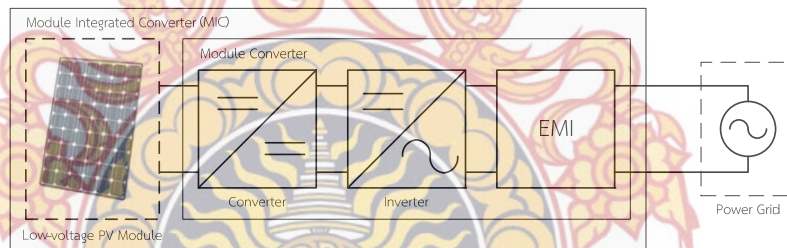
ในการเชื่อมต่อโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับระบบสายส่งจะต้องพิจารณาดังนี้ ในอันดับแรกจะต้องมั่นใจว่าระบบแปลงผันพลังงานไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่จุดกำลังสูงสุด (Maximum Power Point: MPP) อันดับต่อไปกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้าระบบสายส่งจะต้องเป็นรูปคลื่นไซน์ โดยจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานของ EN1000-3-2, IEEE1547 หรือ National

Electrical Code (NEC) 690 ระบบอินเวอร์เตอร์แบบนี้จะต้องสามารถตรวจสอบเหตุการณ์ เมื่อ หลุดออกจากระบบสายส่ง หรือ Islanding และดำเนินการเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายต่อ อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับระบบสายส่ง ในกรณีเกิด Islanding ระบบจะต้องสามารถทำงานได้อย่าง ต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเกิดโดยตั้งใจ อุบัติเหตุ หรือเกิดความเสียหายต่างๆ และถ้าระบบสายส่งหลุดออก จากระบบอินเวอร์เตอร์ ระบบอินเวอร์เตอร์ควรจะหยุดการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบสายส่ง หรือ ทำการกระตุ่นระบบ

1.3 ระบบไมโครอินเวอร์เตอร์

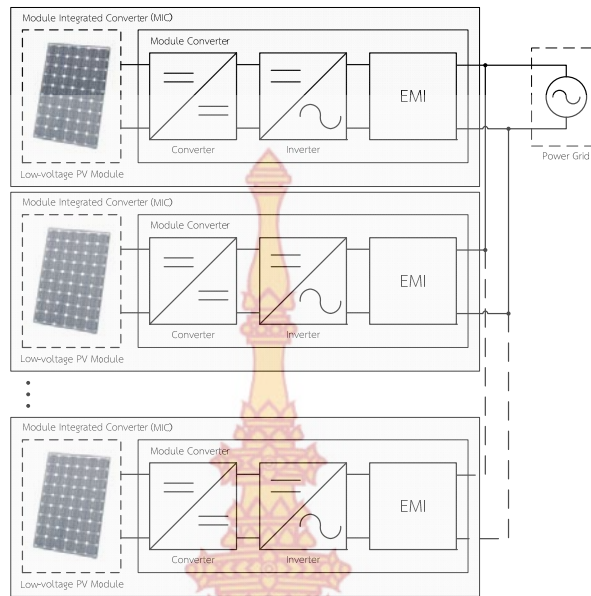
โครงสร้างของระบบแปลงผันพลังงานแบบไมโครอินเวอร์เตอร์ จะเป็นแบบรวมอยู่กับ โมดูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือใน 1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีโมดูลอินเวอร์เตอร์ ที่สามารถแปลง แรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายเข้ากับระบบจำหน่าย ของการไฟฟ้า ที่ขนาดแรงดัน 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ได้ทันที ดังนั้นขนาดกำลังวัตต์ของ อินเวอร์เตอร์จะต่ำลง ขึ้นอยู่กับขนาดกำลังวัตต์ของโมดูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งปัจจุบันแผง เซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดกำลังวัตต์ประมาณ >130 วัตต์

เนื่องจากแรงดันที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแรงดันต่ำ ซึ่งในขณะเปิดวงจร (Open-circuit Voltage) แรงดันที่ได้อยู่ในช่วง 27-45 โวลต์ และเมื่อจ่ายพลังงานแรงดันจะลดลง แต่แรงดันในระบบไฟฟ้า มีขนาดแรงดัน 220 โวลต์ (สำหรับประเทศไทย) ระบบแปลงผันพลังงาน ไฟฟ้าแบบไมโครอินเวอร์เตอร์ มีส่วนประกอบและรูปแบบของระบบดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 บล็อกไดอะแกรมส่วนประกอบของไมโครอินเวอร์เตอร์

จากภาพที่ 9 ระบบแปลงผันพลังงานไฟฟ้าประกอบด้วย ระบบแปลงผันพลังงานไฟฟ้า กระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Converter), ระบบแปลงผันพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้า กระแสสลับ (Inverter), วงจรกรองสัญญาณ (EMI Filter) และระบบสามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบ ไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ได้โดยตรง การใช้งานของระบบแบบจึงมีความสะดวก เนื่องจาก ระบบจะติดตั้งกับโมดูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถนำไปใช้งานในแบบไม่เชื่อมต่อเข้ากับระบบ “Stand Alone” ได้ หรือใช้ในแบบเชื่อมต่อนระบบของการไฟฟ้า “Grid Connection” ได้ อีกทั้ง สามารถใช้ในแบบรวมกันหรือ Module Incorporated Inverters คือสามารถเชื่อมกันหลายๆ โมดูล ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ไดอะแกรมการเชื่อมต่อพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยไมโครอินเวอร์เตอร์

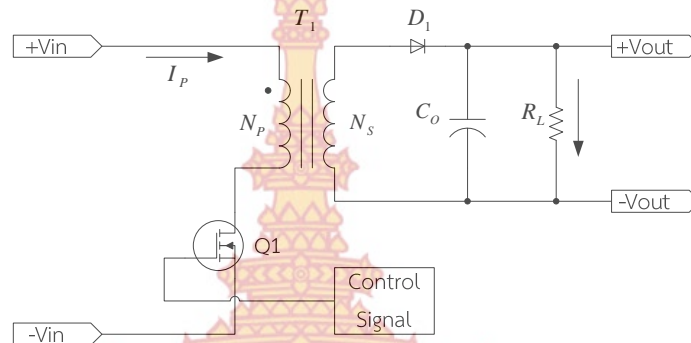
การทำงานของระบบเริ่มจากรับแรงดันจากโมดูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำการเพิ่มขนาดของแรงดันให้สูงขึ้นโดยคอนเวอร์เตอร์ โดยการทำงานของคอนเวอร์เตอร์จะต้องสามารถติดตามพลังงานสูงสุด (Maximum Power Point Tracking: MPPT) ของโมดูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อการจ่ายพลังงานที่เหมาะสมตลอดเวลา แรงดันที่ได้จะมีขนาดสูงขึ้นแต่ยังคงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ไม่สามารถต่อเข้ากับระบบของการไฟฟ้าได้ จนกว่าจะทำการแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยอินเวอร์เตอร์ และผ่านวงจรกรองสัญญาณให้เรียบ ขั้นตอนที่กล่าวมานั้นเป็นหลักการที่ทราบกันโดยทั่วไป สำหรับระบบอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อนำมาใช้งาน ซึ่งหากพิจารณาถึงการสร้างจริงจะต้องเลือกพิจารณาเป็นส่วนและมีค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องมากมาย

1.4 ระบบแปลงผันพลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง หรือคอนเวอร์เตอร์ (Converter)

สำหรับรูปแบบของคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการเพิ่มแรงดันจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ นั้นมีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน และที่ผ่านมามีงานวิจัยหลายเรื่องที่น่าเสนอรูปแบบของคอนเวอร์เตอร์จะประกอบด้วย คอนเวอร์เตอร์แบบทบแรงดัน (Boost Converter), คอนเวอร์เตอร์แบบฮาร์ฟบริดจ์ (Half Bridge Converter), คอนเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ (Full Bridge Converter) และคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค (Flyback Converter) เป็นต้น ซึ่งแต่ละรูปแบบนั้นสามารถเพิ่มขนาดของแรงดันได้ แต่หากพิจารณาถึงการใช้นั้นคอนเวอร์เตอร์แบบ Flyback เหมาะสมกว่าคอนเวอร์เตอร์ในรูปแบบอื่นๆ เนื่องจากใช้อุปกรณ์น้อยกว่า และสัญญาณด้านออกนั้นเป็นแรงดันกระแสตรงแบบเต็มคลื่น (Full wave) ซึ่งสามารถนำมาใช้การได้ทันที จะเป็นลักษณะการแปลงผันพลังงานไฟฟ้าแบบ 1 จังหวะ Single-stage converter

1.5 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แบบขนาน (Interleaved Flyback Converter)

ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ค่าใช้จ่ายในการสร้างต่ำ แต่ข้อเสียของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์คือ แรงดันด้านออกที่ได้จะมีค่าแรงดันกระเพื่อม (Ripple) ค่อนข้างสูง วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แสดงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

สามารถอธิบายการทำงานของวงจรได้ดังนี้ สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ (MOSFET) Q1 ทำงานโดยนำกระแส (ON) และหยุดนำกระแส (OFF) สลับกันไปจากการสั่งงานจากสัญญาณควบคุม (Control Signal) เมื่อ Q1 นำกระแสมีกระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ (I_p) แต่เนื่องจากหม้อแปลงถูกกำหนดให้ขดลวดปฐมภูมิ และขดลวดทุติยภูมิพันในลักษณะกลับทิศ ดังนั้นในขณะที่ Q1 ทำงาน ไดโอด D_1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับ ไม่มีกระแสไหลผ่านไปยังโหลด R_L พลังงานจึงถูกสะสมอยู่ที่ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง จนเมื่อ Q1 หยุดนำกระแสสนามแม่เหล็กในแกนหม้อแปลงยุบตัว ทำให้มีการกลับขั้วของแรงดันที่ขดทุติยภูมิ ไดโอด D_1 อยู่ในลักษณะไบแอสตรง พลังงานที่สะสมในขดลวดปฐมภูมิ ถ่ายเทไปยังขดลวดทุติยภูมิ มีกระแสไหลผ่านไปยังโหลดและตัวเก็บประจุเอาต์พุต C_o ได้ เมื่อวงจรทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากคอนเวอร์เตอร์จะเป็นดังสมการที่ 2

$$V_{out} = \frac{t_{ON} \times \left(\frac{N_s}{N_p}\right) (V_{in} - V_{CE(sat)})}{T - t_{ON}} - V_D \quad (2)$$

โดยที่

T คือ คาบเวลาการทำงานของ Q1 (sec)

t_{ON} คือ ช่วงเวลาที่ Q1 นำกระแส (sec)

N_p คือ จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ

N_s คือ จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

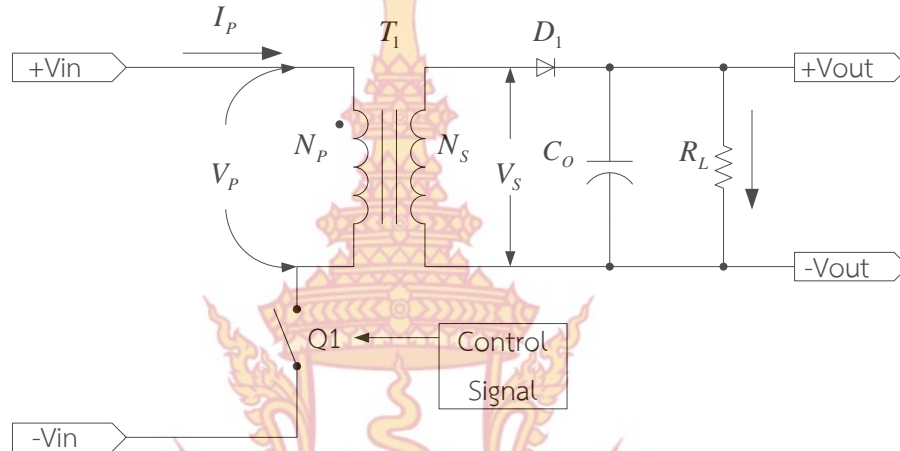
V_{out} คือ แรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ (Volt)

V_{in} คือ แรงดันอินพุตของคอนเวอร์เตอร์ (Volt)

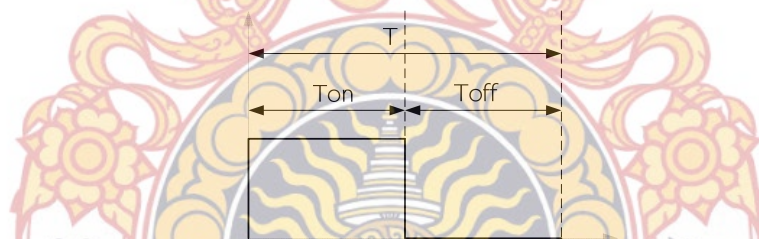
$V_{CE(sat)}$ คือ แรงดันตกคร่อม Q1 ขณะกระแสที่จุดอิมิต์ว (Volt)

V_D คือ แรงดันตกคร่อมไดโอด D_1 ขณะนำกระแส (Volt)

จะเห็นได้ว่า วงจรมีความสามารถคงค่าแรงดันไว้ได้ด้วยการเพิ่ม หรือลดช่วงเวลาการนำกระแส (t_{ON}) ของสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ Q1 เท่านั้น ไม่ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุต หรือการเปลี่ยนแปลงโหลดก็ตาม ลักษณะทางกายภาพของ Flyback converter สามารถอธิบายได้ดังนี้



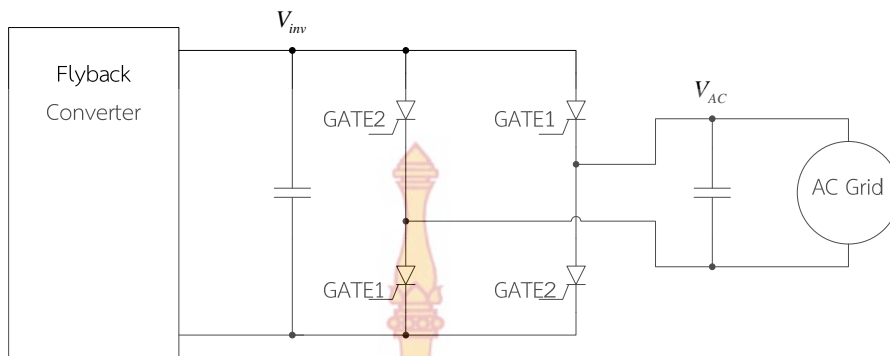
ภาพที่ 12 ไดอะแกรมพื้นฐานของ Flyback converter



ภาพที่ 13 สัญญาณควบคุมสวิตช์ Q1

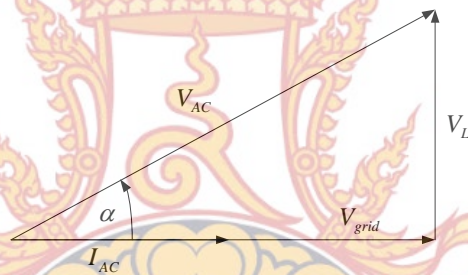
1.6 หลักการเชื่อมต่อกับอินเวอร์เตอร์เข้ากับระบบของการไฟฟ้า (Grid connected)

ในการเชื่อมต่อกับอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อกับระบบ (Grid connected inverter) เข้ากับระบบของการไฟฟ้า จะต้องคำนึงถึงเฟสของแรงดันจากอินเวอร์เตอร์ กับแรงดันของการไฟฟ้า ดังนั้นจะต้องมีการสร้างวงจรควบคุมเฟส ทางด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ โดยใช้วงจรควบคุมเฟส ซึ่งส่วนประกอบของวงจรควบคุมเฟส แสดงเป็นไดอะแกรมดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ไดอะแกรมวงจรควบคุมเฟสในการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับระบบของการไฟฟ้า

โดยการส่งจ่ายพลังงานออกจากอินเวอร์เตอร์นั้นมุมของแรงดันจากอินเวอร์เตอร์จะต้องมีมุมมากกว่าแรงดันของการไฟฟ้า ในขณะที่กระแสที่ออกจากอินเวอร์เตอร์จะต้องอินเฟสกับแรงดันของการไฟฟ้า โดยแสดงเป็นเฟสเซอร์ไดอะแกรมดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันและกระแสที่เกี่ยวข้องในการเชื่อมต่อเข้ากับระบบ

1.7 ระบบสื่อสารในการแสดงผลและควบคุมการผลิตพลังงานไฟฟ้าในลานเซลล์แสงอาทิตย์

เพื่อลดความยุ่งยากในการติดตั้งในเรื่องของการเดินสาย งานวิจัยนี้มีความสนใจจะใช้ระบบเครือข่าย Zigbee ในการส่งข้อมูลจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังศูนย์ควบคุม เนื่องจากระบบดังกล่าวมีต้นทุนต่ำ ใช้พลังงานน้อย และมีความทนทาน อีกทั้งมีการประยุกต์ใช้งานด้าน Monitoring ค่อนข้างแพร่หลาย เช่น การตรวจสอบตำแหน่งของวัตถุ และตรวจสอบสภาพแวดล้อม เป็นต้น และเมื่อเปรียบเทียบระบบ Zigbee กับระบบสื่อสารแบบอื่นพบว่ามีความเหมาะสมในการใช้ส่งสัญญาณสถานะการทำงานของไมโครอินเวอร์เตอร์และการตรวจติดตามการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบสื่อสารไร้สายแบบต่างๆ

มาตรฐาน	ZigBee® 802.15.4	Wi-Fi™ 02.11b	Bluetooth™ 802.15.1
Transmission Range	1-100	1-100	1-10

(meters)			
Battery Life (days)	100-1,000	0.5-5.0	1-7
Network Size(# of nodes)	> 64,000	32	7
Application	Monitoring & control	Web,Email,	Cable
Stack Size (KB)	4-32	1,000	250
Throughput (kb/s)	20-250	11,000	720

สรุปคุณสมบัติโดยทั่วไปของ Zigbee

1. อัตราการส่งข้อมูล 250 kbps (2.4 GHz), 40 kbps (915 MHz)
2. High throughput และ low latency Duty Cycle ต่ำ (< 0.1%)
3. มีการเข้าถึง Channel แบบ Channel access using Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA - CA)
4. สามารถรองรับ Address ได้ถึง 64 bit IEEE address (65535 network)
5. รับประกันการส่งแบบ Fully hand-shaked protocol
6. เชื่อมต่อ Topology ได้หลายแบบ เช่น Star, Peer-to-peer, Mesh
7. ใช้พลังงานต่ำ
8. ระยะการส่งพื้นฐาน 1-100 เมตร

1.8 ระบบแสดงผลพลังงานไฟฟ้าในลานเซลล์แสงอาทิตย์โดยซอฟต์แวร์ Labview

LabVIEW คือ เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างขึ้นเพื่อนำมาใช้งานในด้านการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ซึ่งหมายความว่า เป็นโปรแกรมที่สร้าง เครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ดังนั้นจุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมนี้ก็คือ การจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัด อย่างมีประสิทธิภาพ และในตัวของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ใช้ช่วยในการวัดมากมายและแน่นอนที่สุด โปรแกรมนี้จะมีประโยชน์อย่างสูงเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือวัดทางวิศวกรรมต่างๆ

สิ่งที่ LabVIEW แตกต่างจากโปรแกรมอื่นอย่างเห็นได้ชัดมากที่สุด ก็คือ LabVIEW นี้เป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphical User Interface) โดยสมบูรณ์ นั่นคือเราไม่จำเป็นต้องเขียน code หรือคำสั่งใดๆทั้งสิ้น และที่สำคัญลักษณะภาษาที่ใช้ในโปรแกรมนี้เราจะเรียกว่าเป็น ภาษาภาพ หรือเรียกอีกอย่างว่า ภาษา G (Graphical Language) ซึ่งจะแทนการเขียนโปรแกรมเป็นบรรทัดอย่างที่เราคุ้นเคยกับภาษาพื้นฐาน เช่น C, Basic หรือ FORTRAN ด้วยรูปภาพหรือสัญลักษณ์ทั้งหมด ซึ่งแม้ว่าในเบื้องต้นเราอาจจะสับสนกับการจัดเรียงหรือเขียนโปรแกรมบ้าง แต่เมื่อเราคุ้นเคยกับการใช้โปรแกรมนี้แล้วเราจะพบว่า LabVIEW นี้มีความสะดวกและสามารถลดเวลาในการเขียนโปรแกรมลงไปได้มาก โดยเฉพาะในงานเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อใช้ในการวัดและการควบคุม

สำหรับผู้ที่เคยใช้โปรแกรมประเภทที่ใช้ตัวหนังสือ หรือที่เรียกว่า Text Base ทั้งหลายคงจะทราบถึงความยุ่งยากในการจัดการกับตำแหน่งการส่งผ่านข้อมูลตามอุปกรณ์เชื่อมต่อเช่น Port

หรือ Card ต่างๆ รวมถึงการจัดวางตำแหน่งในหน่วยความจำ เพื่อที่จะสามารถรวบรวมข้อมูลมาใช้ในการคำนวณและเก็บข้อมูลให้ได้ประโยชน์สูงสุด ปัญหาเหล่านี้ได้รับการแก้ไขใน LabVIEW โดยได้มีการบรรจุโปรแกรมจำนวนมาก หรือ Libraries ไว้สำหรับจัดการกับปัญหาเหล่านั้นไม่ว่าอุปกรณ์การเชื่อมต่อจะเป็น DAQ (Data Acquisition), GPIB (General Purpose Interface Bus หรือก่อนหน้านี้อาจจะรู้จักกันในชื่อ Hewlett Packard Interface Bus, HP-IB), พอร์ตอนุกรม หรือ Serial Port เพื่อใช้ติดต่อกับอุปกรณ์ที่ส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Instrument) รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ด้วยวิธีการต่างๆ นอกจากนี้ใน Libraries เหล่านี้ ยังได้บรรจุฟังก์ชันการทำงานที่สำคัญอีกหลายประการเช่น Signal Generation, Signal Processing, Filters, สถิติ, พีชคณิต และคณิตศาสตร์อื่นๆ ดังนั้น LabVIEW จึงทำให้การวัดและการใช้เครื่องมือกลายเป็นเรื่องง่ายลงไปมาก และทำให้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลของเรากลายเป็นเครื่องมือทางด้านกรวัดหลายชนิดอยู่ในเครื่องเดียว ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม LabVIEW ในการทำหน้าที่จอแสดงผลระบบเฝ้าติดตาม และเก็บบันทึกข้อมูลในรูปแบบ ไฟล์ Text โดยใช้การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกผ่านทาง RS232 Serial Port โดยเชื่อมต่อผ่าน USB Comport ซึ่งสะดวกและง่ายใช้ได้กับคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องด้วย

ดังนั้นโปรแกรม LabVIEW จึงเหมาะที่จะนำเครื่องคอมพิวเตอร์ของเรา มาใช้งานร่วมกันสามารถเปลี่ยนเครื่องคอมพิวเตอร์ของเราให้กลายเป็นเครื่องมือวัดได้ในหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็น scilloscope, Multi-meter, Function Generator, Strain meter Thermometer หรือเครื่องมือวัดอื่นๆ ตามที่ต้องการ ทำให้สามารถใช้คอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือวัดในการทำงานได้อย่างกว้างขวาง ซึ่งนี่ก็เป็นแนวคิดที่จะทำเครื่องมือวัดเสมือนจริงด้วยโปรแกรม LabVIEW ขึ้นมานั่นเอง และข้อได้เปรียบกว่าเครื่องมือวัดทั่วไปนั่นคือ สามารถประยุกต์ให้เหมาะสมกับงานนั้นๆมากที่สุดและตามการใช้งานของกลุ่มผู้ใช้งานตามแต่ละสาขาวิชาต่างๆ

2. การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

ที่ผ่านมาในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบ (Grid-connected Photovoltaic Power System) มากมาย ได้นำเสนอถึงเทคนิคและวิธีการต่างๆ รวมถึงระบบการควบคุมแบบต่างๆ ดังนี้

Yang et al. (2010) [9] นำเสนอการออกแบบและวิเคราะห์ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบ โดยใช้คอนเวอร์เตอร์แบบ ZVT-interleaved เพื่อเพิ่มแรงดันจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอันดับแรก และแปลงผันให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับด้วย Full-bridge inverter เป็นการดำเนินการด้วยการจำลองการทำงาน (Simulation) และสร้างต้นแบบของระบบ เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงาน ผลที่ได้ทำการสร้างต้นแบบขนาด 2 กิโลวัตต์ และทดสอบแล้วยืนยันว่าระบบมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดี

Erickson et al. (2009) [14] นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบอินเวอร์เตอร์แบบ Micro-inverter ที่รวมอยู่กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผลที่ได้คือทำให้ลดต้นทุนของระบบรวมทั้งหมด

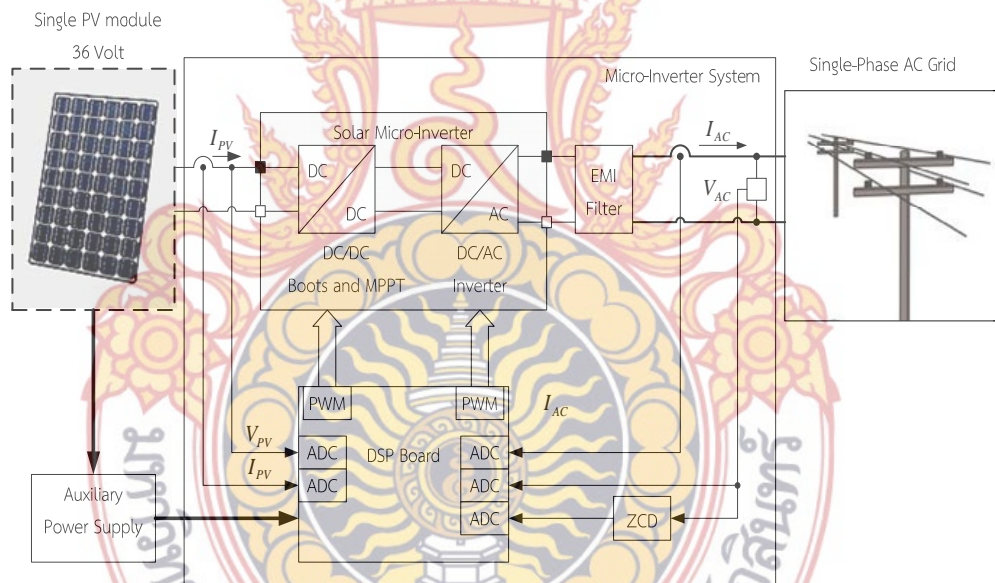
Bower et al. (2006) [6] นำเสนอนวัตกรรมใหม่ของระบบอินเวอร์เตอร์ ที่ยึดรวมอยู่กับโมดูลของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อลดขนาดของตัวคาปาซิเตอร์ และยืดอายุการใช้งานของระบบการจ่ายพลังงานจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

Frattini et al. (2010) [15] นำเสนอวิธีการใหม่ในการออกแบบโมดูลของระบบอินเวอร์เตอร์ที่รวมอยู่กับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อลดขนาดของตัวเก็บประจุ

การวิจัยที่ผ่านมานำเสนอเกี่ยวกับข้อดีของระบบไมโครอินเวอร์เตอร์ (Micro-inverter) และนำเสนอรูปแบบของการแปลงผันพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานภายใน สำหรับระบบการสื่อสารหรือการสร้างเครือข่ายการสื่อสารของไมโครอินเวอร์เตอร์นั้นยังไม่มีการวิจัยใดกล่าวถึง

3. กรอบแนวคิด

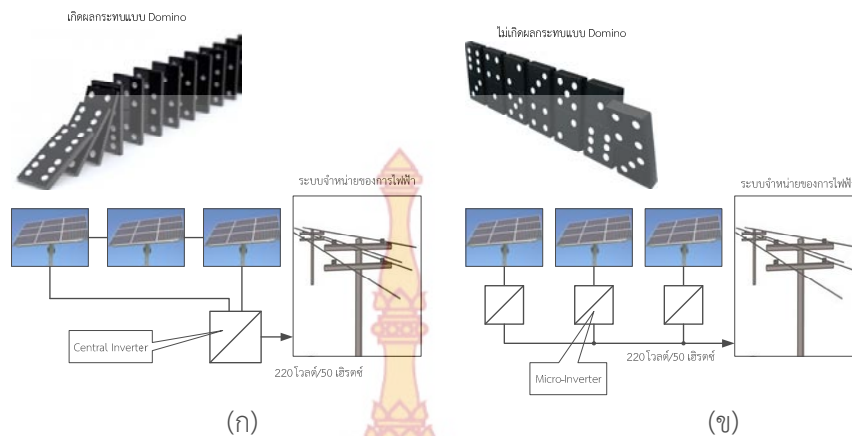
ในงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการศึกษา ออกแบบ วิเคราะห์ และสร้างระบบแปลงผันพลังงานไฟฟ้า สำหรับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถเชื่อมต่อเข้าระบบสายส่ง (Grid-Connected) ในแบบ Module Integrated Converter แบบ MIC with a pseudo DC Link ภายในประกอบด้วย 2 กระบวนการคือ เพิ่มขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ให้เป็นแรงดันที่ไม่น้อยกว่าแรงดันของสายส่ง ด้วยคอนเวอร์เตอร์แบบ Flyback Converter และแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ด้วย Full-bridge inverter เขียนเป็นไดอะแกรมภาพรวมของระบบได้ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 บล็อกไดอะแกรมรวมของระบบ MIC

ข้อดีของระบบนี้คือ สามารถลดต้นทุนการผลิต ลดขนาดของอุปกรณ์ ยืดอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์รวมถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ [2], [3], [4], [5] และที่สำคัญ สามารถลดความสูญเสียในสายตัวนำลงได้

นอกจากนี้ ไมโครอินเวอร์เตอร์อินเวอร์เตอร์ยังช่วยให้การจ่ายพลังงานเข้าระบบมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ดังแสดงโครงสร้างการเชื่อมต่อของอินเวอร์เตอร์ศูนย์กลาง (Centralized Inverter) และไมโครอินเวอร์เตอร์ในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 โครงสร้างการเชื่อมต่อไมโครอินเวอร์เตอร์ (ก) โครงสร้างการเชื่อมต่อของอินเวอร์เตอร์แบบศูนย์กลาง และ (ข) ไมโครอินเวอร์เตอร์สำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบ

4. สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

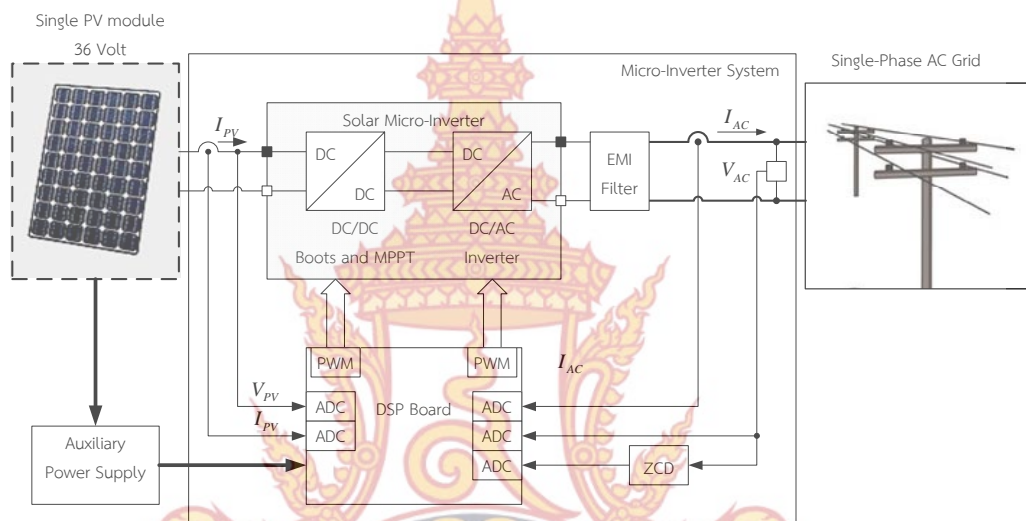
จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้กล่าวถึงข้อดีของระบบการแปลงผันพลังงานไฟฟ้า ที่ใช้ในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Module Integrated Converter หรือไมโครอินเวอร์เตอร์ว่าสามารถลดต้นทุนรวมของระบบ ยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ รวมถึงนำเสนอการระบบและวิธีการควบคุมและรูปแบบของคอนเวอร์เตอร์ แต่ยังมีในส่วนของการสื่อสารระหว่างตัวอินเวอร์เตอร์ในไร่พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์

จากเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงกำหนดเป้าหมายการวิจัย ในส่วนของการพัฒนาไมโครอินเวอร์เตอร์ที่มีการรวมเอาระบบการสื่อสารเข้าไว้ภายใน เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพ และความเหมาะสมในการทำงาน



บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

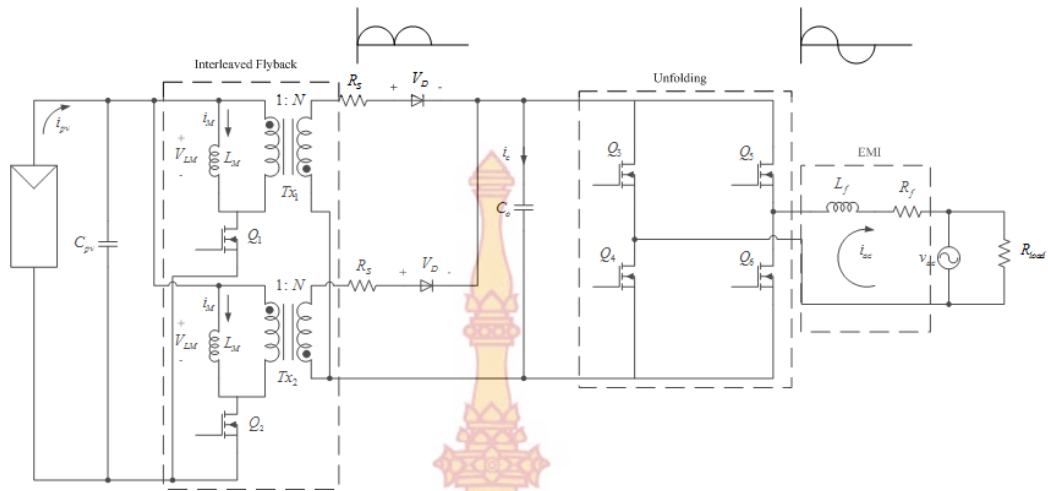
โครงสร้างของไมโครอินเวอร์เตอร์ต้นแบบที่ทำการออกแบบขึ้นนั้นมีไดอะแกรมของระบบรวม
ดังแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ส่วนประกอบของระบบทั้งหมดของไมโครอินเวอร์เตอร์

1. สร้างแบบจำลองของไมโครอินเวอร์เตอร์

การดำเนินงานเริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลองของไมโครอินเวอร์เตอร์ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการดำเนินการจากภาพที่ 18 ภายในของไมโครอินเวอร์เตอร์ประกอบด้วยวงจรแปลงผันพลังงานกระแสตรง ที่มีขนาดสัญญาณน้อยให้มีขนาดมากขึ้น ซึ่งวงจรที่นำเสนอในงานวิจัยนี้คือ วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) วงจรฟลายแบคที่นำเสนอเป็นแบบขนานหรือ Interleaved Flyback Converter และจากนั้นสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรฟลายแบคที่ได้จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น (Full-wave rectifier) สัญญาณจะถูกเก็บพลังงานในตัวเก็บประจุ และส่งต่อไปยังวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full bridge converter) เพื่อคลี่สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และจ่ายไปยังวงจรกรองสัญญาณแบบ EMI เพื่อกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า วงจรสมมูลของระบบแสดงดังภาพที่ 19

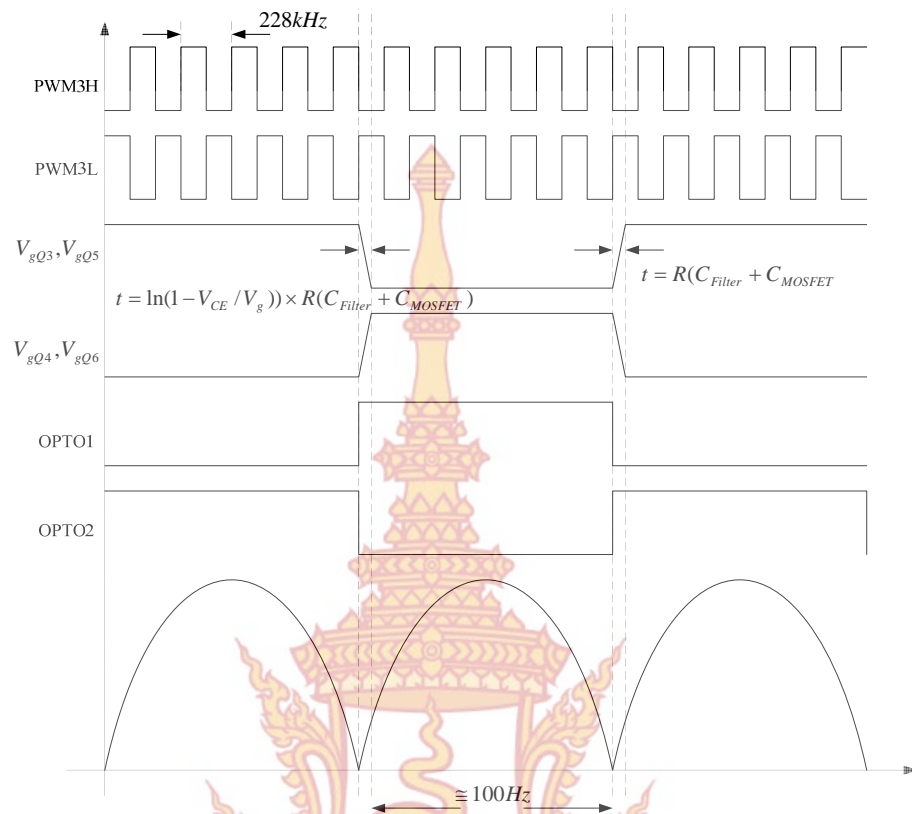


ภาพที่ 19 วงจรสมมูลของไมโครอินเวอร์เตอร์ทั้งระบบ

วงจรของ Interleaved Flyback Converter ในดังภาพที่ 19 การทำงานของวงจรเริ่มจากวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ดึงกระแสจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มอดดูเลตสัญญาณให้เป็นรูปคลื่น Full-wave-Rectifier โดยการสวิตช์ Q_1 และ Q_2 ซึ่งจะสวิตช์ด้วยความถี่สูง โดยที่สัญญาณจุดขนวนขาเกตของ Q_1 และ Q_2 มีระยะห่างกัน 180 องศาทางไฟฟ้า จากนั้นวงจร H-Bridge ที่ใช้มอสเฟต $Q_3 - Q_6$ เป็นสวิตช์ทำหน้าที่ (Unfolding) สัญญาณให้เป็นรูปคลื่นไซน์ โดย Q_3 และ Q_6 ทำให้เป็นซีกครึ่งคลื่นบวก และ Q_4 กับ Q_5 ทำให้เป็นครึ่งคลื่นลบ และ EMI ทำหน้าที่กำจัดฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นจากสัญญาณรูปคลื่นไซน์ของอินเวอร์เตอร์ที่ฉีดเข้าระบบไฟฟ้า



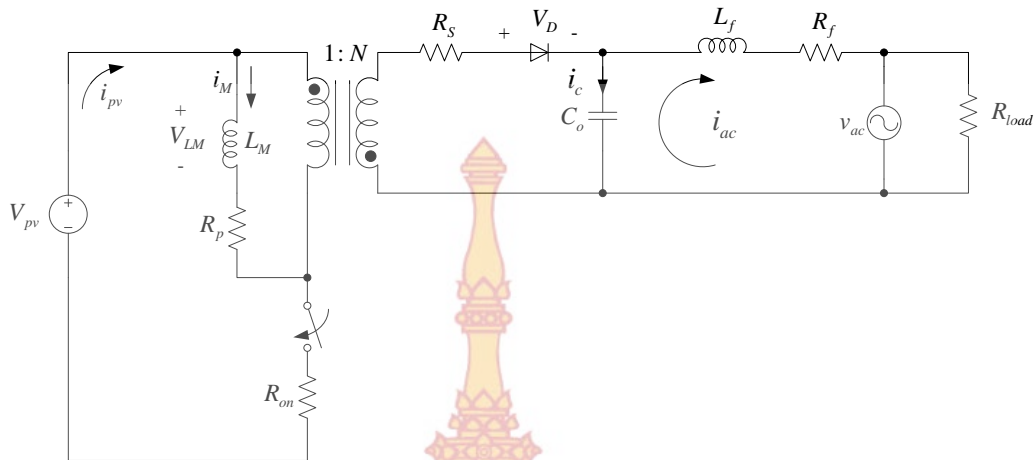
ภาพที่ 20 การทำงานของสวิตช์ Q_1 และ Q_2 ในแบบ DCM



ภาพที่ 21 รูปคลื่นสัญญาณสั่งงานวงจรคลี่สัญญาณ Unfolding

จังหวะการทำงานของสวิตช์ Q_1 และ Q_2 และกระแสที่เกิดขึ้นขณะทำการสวิตช์ในแบบ Discontinuous mode (DCM) แสดงดังรูปที่ 3 และการทำงานของสวิตช์ $Q_3 - Q_6$ พร้อมกับรูปคลื่นที่เกิดขึ้นแสดงดังภาพที่ 21 มีการใช้งาน Optocoupler ร่วมกับวงจรขับเคลื่อนแบบหม้อแปลงความถี่สูง

ในการสร้างแบบจำลองเริ่มต้นด้วยการพิจารณาวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ 1 เฟส พร้อมกับวงจรเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 22 การทำงานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ จะคล้ายกับวงจร Buck-Boost คอนเวอร์เตอร์



ภาพที่ 22 วงจรสมมูลของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แบบ 1 เฟส เชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า

จากภาพที่ 22 การทำงานแบบจำลองนั้นจะกำหนดให้แรงดันด้านออก (Grid Voltage) เป็นแรงดันกระแสตรงคงที่แบบครึ่งคลื่นเป็นค่า RMS ของแรงดันไฟฟ้า และการสวิตช์จะมีความถี่สูงกว่าความถี่ของระบบไฟฟ้า (Grid) ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ทำงาน 3 สถานะ และนั่นหมายถึงจะมีการเก็บพลังงานอยู่ใน 3 ส่วนประกอบ ซึ่งทั้งหมดใช้ในการพิจารณาทำแบบจำลอง 1) $I_M(s)$ – Flyback inductor current 2) $V_{ac}(s)$ – Flyback output capacitor voltage และ 3) $I_{ac}(s)$ – Output filter inductor current which is fed to the grid จากวงจรในภาพที่ 12 ใช้ KVL และ KCL ในการสร้างสมการได้ดังนี้

$$V_{LM} = L_M \frac{d(i_M)}{dt} = d \times v_{pv} - d \times i_M (R_{on} + R_p) - d' \left(\frac{v_{ac} + i_M R_s}{N} \right) \quad (2.1)$$

$$i_s = \frac{i_M}{N} d' \quad (2.2)$$

$$V_{L_f} = V_{ac} - i_{ac} R_f - v_{grid} \quad (2.3)$$

$$i_c = C_o \frac{d(v_{ac})}{dt} = i_s - i_{ac} \quad (2.4)$$

$$v_{grid} = R_{load} i_{ac} \quad (2.5)$$

$$i_{pv} = d \times i_M \quad (2.6)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{dv_{C_{pv}}}{dt} \\ \frac{di_{LM}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_{pv} C_{pv}} & -\frac{1}{C_{pv}} \\ \frac{1}{L_M} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{C_{pv}} \\ i_{LM} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{R_{pv} C_{pv}} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{pv} \\ V_g \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$$y = i_{diode} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{C_{pv}} \\ i_{LM} \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} \frac{dv_{C_{pv}}}{dt} \\ \frac{di_{LM}}{dt} \end{cases} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_{pv}C_{pv}} & 0 \\ \frac{1}{L_M} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{C_{pv}} \\ i_{LM} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{R_{pv}C_{pv}} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{NL_M} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{pv} \\ V_g \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

$$y = i_{diode} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{C_{pv}} \\ i_{LM} \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} \frac{dv_{C_{pv}}}{dt} \\ \frac{di_{LM}}{dt} \end{cases} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_{pv}C_{pv}} & -\frac{d}{C_{pv}} \\ \frac{d}{L_M} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{C_{pv}} \\ i_{LM} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{R_{pv}C_{pv}} & 0 \\ 0 & -\frac{d'}{NL_M} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{pv} \\ V_g \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$y = i_{diode} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{d'}{N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{C_{pv}} \\ i_{LM} \end{bmatrix}$$

โดยที่

$$d' = 1 - d$$

จากสมการที่ (2.7), (2.8) และ (2.9) สามารถนำมาสร้างเป็นสมการสเตทได้โดย
ตัวแปรสเตทของระบบคือ

$$x = [i_M \quad i_{ac} \quad v_{ac}]^T \quad (2.10)$$

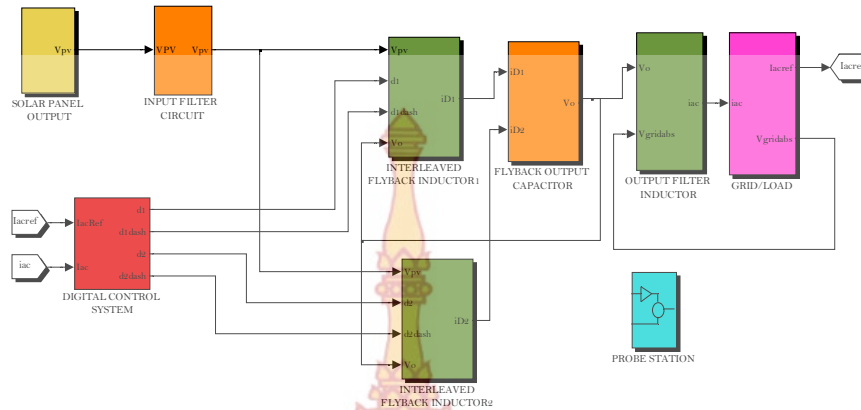
ตัวแปรอินพุทของระบบคือ

$$u = [d \quad v_{grid} \quad v_{pv}]^T \quad (2.11)$$

และเอาต์พุตของระบบคือ

$$y = [i_{ac}] \quad (2.12)$$

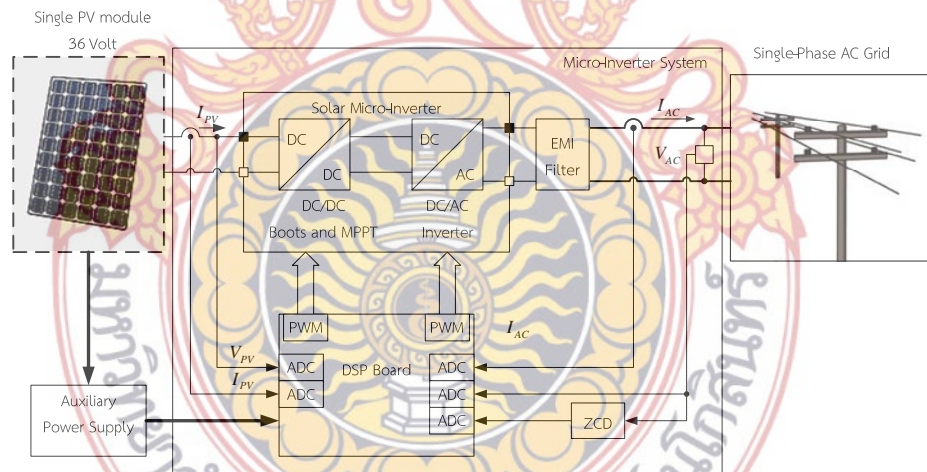
นำความสัมพันธ์ของสมการทั้งหมดสร้างแบบจำลองของไมโครอินเวอร์เตอร์สำหรับการ
ทดสอบการทำงาน ซึ่งดำเนินการบนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK แสดงดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 แบบจำลองไมโครอินเวอร์เตอร์บนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK

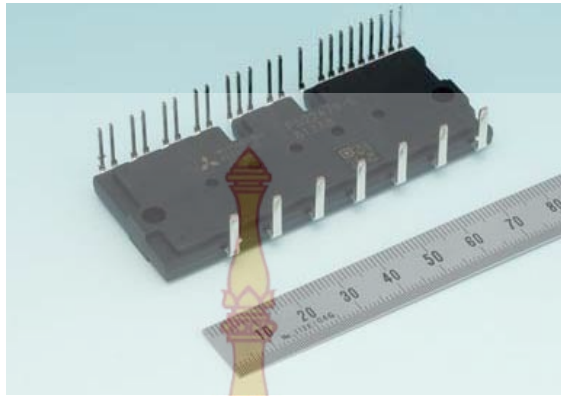
2. ออกแบบ และสร้างฮาร์ดแวร์

หลังสรุปได้ว่าระบบควบคุมสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่ต้องการ ขั้นตอนต่อไปคือการออกแบบ และสร้างฮาร์ดแวร์ของระบบควบคุมมอเตอร์เพื่อทดสอบการทำงาน โดยเงื่อนไขของการออกแบบเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยจะแบ่งเป็น ภาคอิเล็กทรอนิกส์กำลัง และภาคประมวลผลและควบคุม

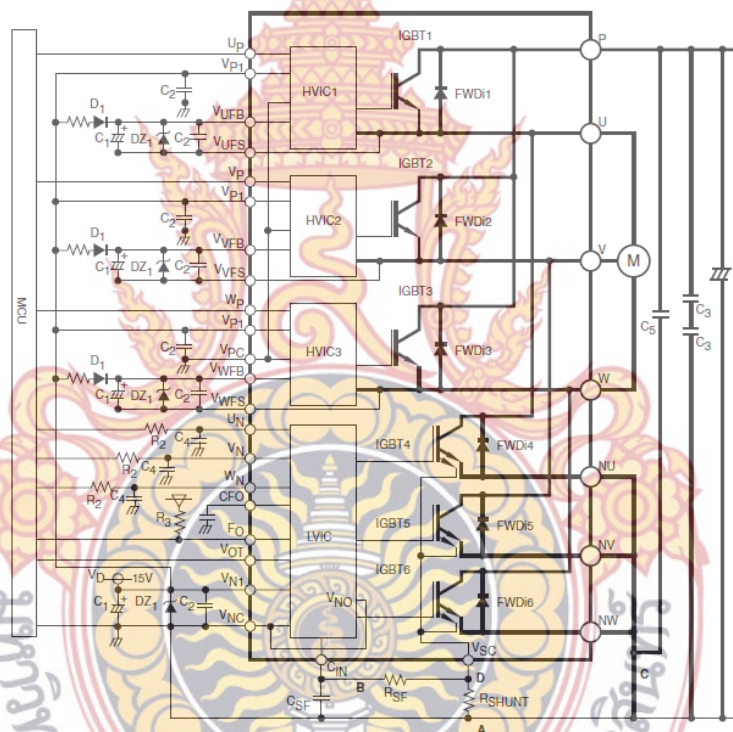


ภาพที่ 24 ส่วนประกอบของระบบควบคุม

วงจรมอเตอร์ที่สร้างขึ้นได้เลือกโมดูล IGBT ของ POWEREX เบอร์ PS21A79 Intellimod™ Module ดังแสดงในภาพที่ 25



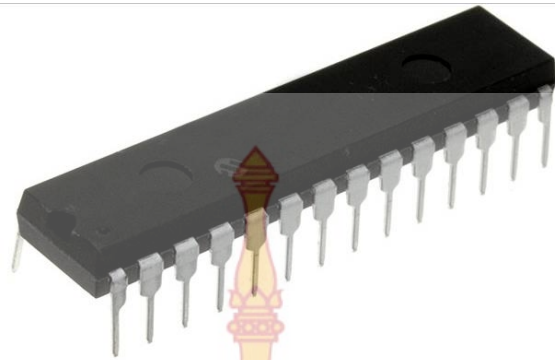
ภาพที่ 25 โมดูล IGBT สำหรับสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์



ภาพที่ 26 วงจรสมมูลของโมดูล IGBT

ภายในโมดูลจะประกอบด้วย IGBT ทั้งหมด 6 ตัว ต่อวงจรร่วมกันเป็นอินเวอร์เตอร์ขนาด 3 เฟส ซึ่งสามารถสร้างวงจรเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) ได้ดังภาพที่ 26

วงจรประมวลผลและสั่งงานเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC30F ของบริษัท Microchip Inc. เบอร์ dsPIC30F2010 ดังภาพที่ 27

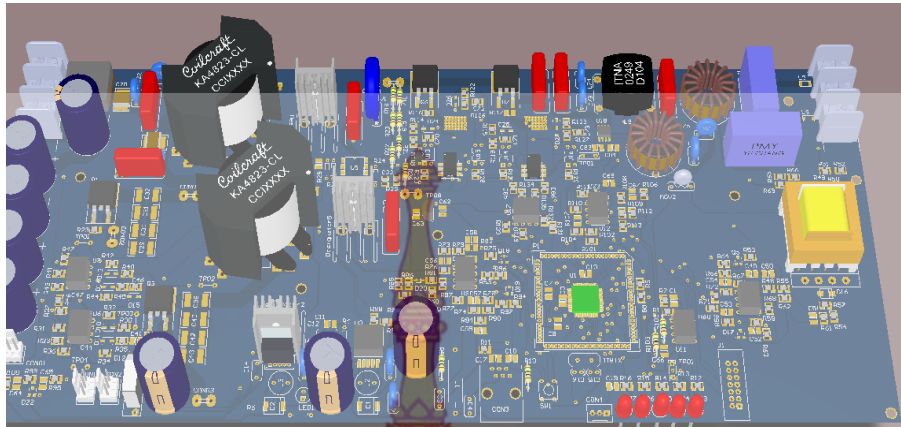


ภาพที่ 27 ตัวถังของ dsPIC30F2010

ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็ก มีขนาด 28 ขา แต่ประสิทธิภาพน่าสนใจ เนื่องจากการผนวก ระบบประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเข้าไป จึงทำให้สามารถทำงานในแบบ ON/OFF หรือ Periperal operation และยังสามารควัดค่านวมทางคณิตได้รวดเร็วขึ้น ตำแหน่งขาต่างๆ ของ dsPIC30F2010 แสดงดังภาพที่ 28 สำหรับตัวเครื่องไมโครอินเวอร์เตอร์ต้นแบบ ที่สร้างขึ้นประกอบด้วยอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 29



ภาพที่ 28 ตำแหน่งขาของ dsPIC30F2010



ภาพที่ 29 ไมโครอินเวอร์เตอร์ต้นแบบ

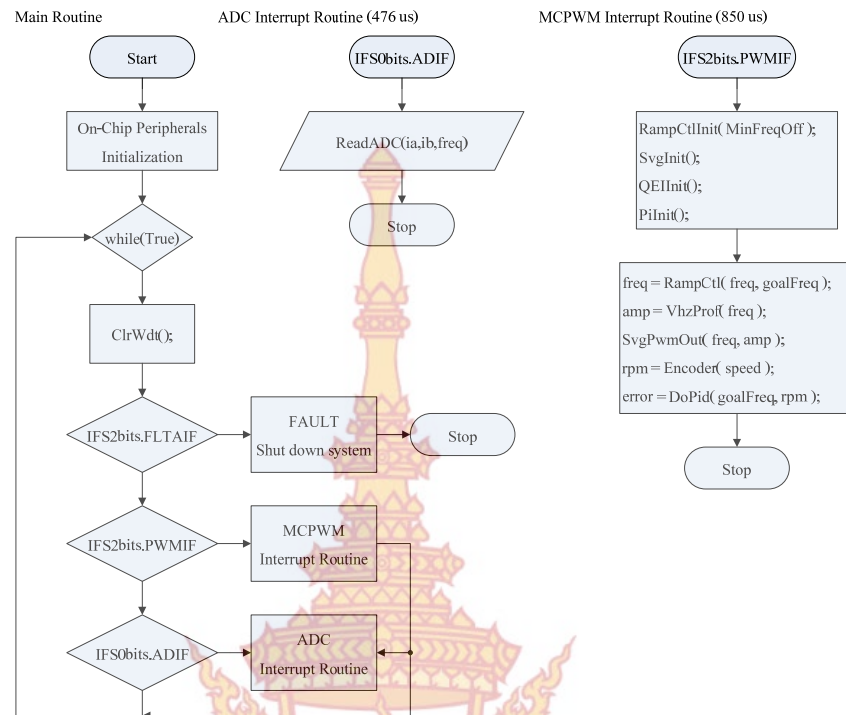
3. การออกแบบซอฟต์แวร์

โปรแกรมควบคุมการทำงานที่ทำการเขียนขึ้นนั้น เขียนโดยโปรแกรมภาษาซี โดยใช้โปรแกรม MPLAB IDE เป็นตัว Editor และ MPLAB C30 เป็นตัว Compiler โดยทำการแบ่งไฟล์โปรแกรมออก ดังนี้

- ไฟล์โปรแกรมหลัก (Main.c)
- ไฟล์โปรแกรมอ่านค่าจากโมดูลแปลงสัญญาณ ADC (read_adc.s)
- ไฟล์โปรแกรม Ramp Control (ramp_ctl.s)
- ไฟล์โปรแกรมกำเนิดสัญญาณ SVPWM (svg_pwm.s)
- ไฟล์โปรแกรม V/F Control (vHz_prof.s)
- ไฟล์โปรแกรมระบบควบคุมแบบพีไอ (pi.s)

ซึ่งการทำงานของโปรแกรมแสดงเป็นโฟลว์ชาร์ตได้ดังภาพที่ 30





ภาพที่ 30 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรม

4. การออกแบบระบบควบคุมแบบพีไอ

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในโรงงานวิจัยนี้นำเสนอเป็นแบบพีไอ (PI Controller) เนื่องจากเป็นระบบที่ให้ผลตอบสนองที่เร็วและแม่นยำ ในการออกแบบระบบควบคุมแบบพีไอเริ่มแรกต้องทราบทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบที่ต้องการควบคุม ในที่นี้คือมอเตอร์อินดักชันแบบกรงกระรอก ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของมอเตอร์เป็นดังนี้

เริ่มจากการพิจารณาสมการความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตคือกระแส และดิฟฟิซิเคิลของสัญญาณ PWM สร้างสมการตัวแปรสแตต ดังสมการ

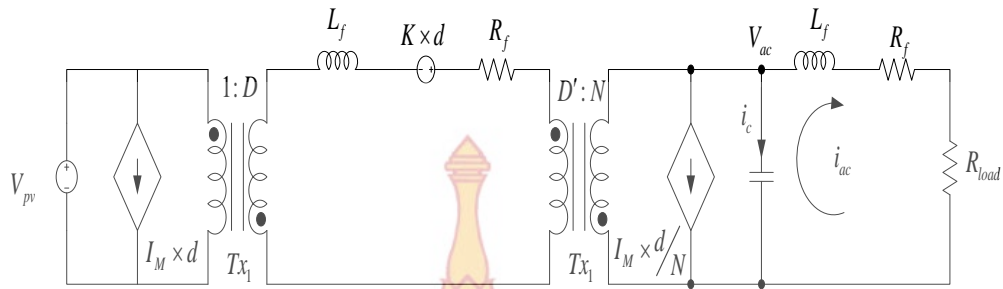
$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (2.20)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t)$$

โดยแบ่งออกเป็นตัวแปรสแตตคือ x ตัวแปรอินพุตคือ u และตัวแปรเอาต์พุตคือ y โดยกำหนดให้

$$\begin{aligned} x &= [i_M \quad i_{ac} \quad v_{ac}]^T \\ u &= [d \quad v_{grid} \quad v_{pv}]^T \\ y &= [i_{ac}] \end{aligned} \quad (2.21)$$

วงจรมุมูลของสัญญาณ AC ขนาดเล็กได้ดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 วงจรสมมูลสัญญาณ AC ขนาดเล็ก

จากวงจรเขียนสมการใหม่ในแบบสมการสเตตเพื่อใช้ในการออกแบบระบบควบคุม เขียนอยู่ในรูปของ Matrix

$$\begin{bmatrix} \hat{i}_M \\ \hat{i}_{ac} \\ \hat{v}_{ac} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L_M} & 0 & -\frac{D'}{L_M N} \\ 0 & \frac{R_f}{L_f} & \frac{1}{L_f} \\ \frac{D'}{NC_o} & -\frac{1}{C_o} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}_M \\ \hat{i}_{ac} \\ \hat{v}_{ac} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{k}{L_M} \\ 0 \\ -\frac{I_M}{NC_o} \end{bmatrix} \hat{d} + \begin{bmatrix} \frac{D}{L_M} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \hat{v}_{pv} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L_f} \\ 0 \end{bmatrix} \hat{v}_{grid}$$

และสมการสเตตของเอาต์พุตจะได้

$$y = \hat{i}_{ac} \quad (2.23)$$

การออกแบบระบบควบคุมของอินเวอร์เตอร์จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุต $y(t)$ และตัวแปรควบคุมอินพุต $u(t)$ (โดยอยู่ในข้อจำกัดที่ว่าสัญญาณ Disturbance ทุกอย่างเป็นศูนย์) จะจากสมการที่

$$\frac{Y(s)}{U1(s)} = C(sI - A)^{-1} B1 \quad \text{โดย } U2(s) = U3(s) = 0 \quad (2.24)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบที่ใช้ในการออกแบบระบบควบคุมนั้นเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส (i_{ac}) กับ Duty cycle (d) เป็นดังนี้

$$G_{id}(s) = \frac{-9.406 \times 10^9 + 1.006 \times 10^{15}}{s^3 + 8.239 \times 10^5 s^2 + 1.542 \times 10^{10} s + 3.63 \times 10^{14}} \quad (2.25)$$

เมื่อได้ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน หรือฟังก์ชันถ่ายโอน การควบคุมกระแสของไมโครอินเวอร์เตอร์ จากนั้นเป็นการออกแบบระบบควบคุมแบบฟีดโอบ สิ่งที่ต้องการคือค่าพารามิเตอร์ประกอบด้วยค่า k_p

และ k_i ในงานวิจัยนี้ออกแบบและหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมแบบพีโอโดยใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization) วิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization) โดยมีการดำเนินการดังนี้

ขั้นตอนแรกในการปฏิบัติเพื่อการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมคือ หาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบที่สนใจ ซึ่งฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมของไมโครอินเวอร์เตอร์ นั้นแสดงดังสมการที่ 2.25 เมื่อทราบฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบที่สนใจเป็นที่เรียบร้อยแล้ว สิ่งที่ต้องพิจารณาต่อไปคือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Object function) ในการหาค่าพารามิเตอร์ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมพีโอ นั้น จะใช้ดัชนีสมรรถนะของระบบควบคุมเป็นตัวบอกลักษณะประสิทธิภาพของระบบที่ได้ ดัชนีสมรรถนะของระบบควบคุมนั้นประกอบด้วย ค่าปริพันธ์ของค่าผิดพลาดสมบูรณ์ (Integral Absolute Error: IAE), ค่าปริพันธ์ของค่าผิดพลาดสมบูรณ์แปรตามเวลา (Integral Time-Absolute Error: ITAE), ค่าปริพันธ์ของค่าผิดพลาดกำลังสอง (Integral Square Error: ISE) และ ค่าปริพันธ์ของค่าผิดพลาดกำลังสองแปรตามเวลา (Integral Time-Square Error: ITSE) โดยแต่ละค่านี้มีสมการตามลำดับดังนี้

1. ค่าปริพันธ์ของค่าผิดพลาดสมบูรณ์
สมการจะเป็นดังนี้

$$F = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (2.26)$$

การหาค่าอัตราขยายของตัวควบคุมด้วยดัชนี IAE นี้ ระบบจะถูกออกแบบโดยสนใจเฉพาะขนาดสัญญาณผิดพลาด (Error signal, $e(t)$) โดยไม่สนใจว่าเป็นด้านบวกหรือด้านลบ

2. ค่าปริพันธ์ของค่าผิดพลาดสมบูรณ์แปรตามเวลาสมการจะเป็นดังนี้

$$F = \int_0^{\infty} t \cdot |e(t)| dt \quad (2.27)$$

การหาค่าอัตราขยายของตัวควบคุมด้วยดัชนี ITAE นั้น ระบบจะถูกออกแบบโดยไม่สนใจขนาดของสัญญาณผิดพลาดเช่นกัน แต่ทว่าแปรผันตามเวลาในการควบคุมระบบด้วย กล่าวคือค่าผิดพลาดของระบบเพียงเล็กน้อย จะแปรค่ามากขึ้นเนื่องจากพิจารณาตามเวลาใช้งาน จึงนิยมใช้มากกว่าดัชนีรูปแบบอื่น

3. ค่าปริพันธ์ของค่าผิดพลาดสมบูรณ์กำลังสองสมการเป็นดังนี้

$$F = \int_0^{\infty} |e(t)|^2 dt \quad (2.28)$$

4. ค่าปริพันธ์ของค่าผิดพลาดสมบูรณ์กำลังสองแปรตามเวลาสมการเป็นดังนี้

$$F = \int_0^{\infty} t \cdot |e(t)|^2 dt \quad (2.29)$$

ฟังก์ชันที่นิยมใช้คือ ค่าปริพันธ์ของค่าผิดพลาดสมบูรณ์แปรตามเวลา (ITAE) เนื่องจากจะสนใจค่าผิดพลาดที่แปรตามเวลาของระบบ กล่าวคือค่าผิดพลาดของระบบแม้เพียงเล็กน้อย ก็แปรค่ามากขึ้นเนื่องจากพิจารณาตามเวลาใช้งาน จึงนิยมใช้มากกว่าดัชนีรูปแบบอื่นๆ ดังนั้นในการหา

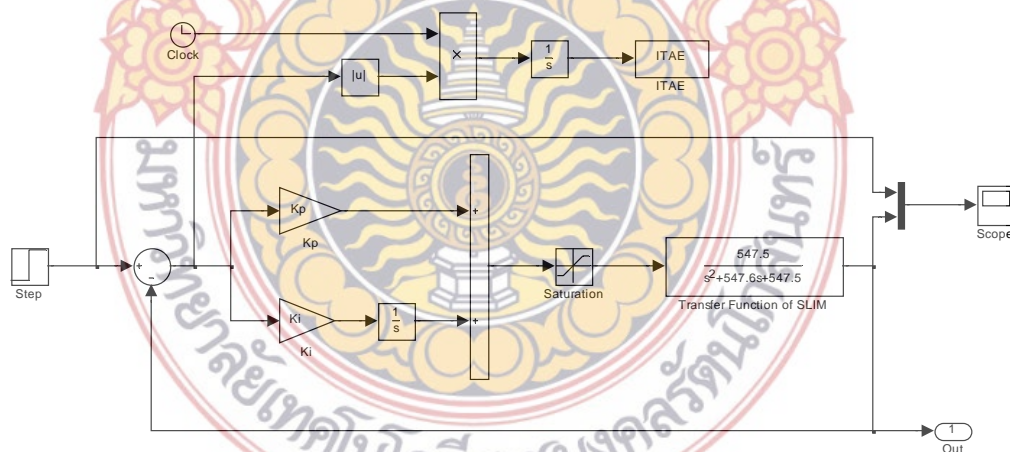
ค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมแบบฟuzzy ด้วยวิธีกลุ่มอนุภาคนั้นจะใช้ดัชนีสมรรถนะของระบบควบคุมแบบ ITAE เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์

เมื่อทราบฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของระบบแล้ว จากนั้นก็ทำการกำหนดตัวแปรเริ่มต้นของวิธีกลุ่มอนุภาค ซึ่งค่าที่ใช้ทั้งหมดนั้นแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาค่าเกณฑ์ของระบบควบคุมฟuzzy ด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค

ค่าพารามิเตอร์	ค่าที่ใช้
จำนวนอนุภาค (Particle)	20
ขนาด (Dimension)	2
ค่าถ่วงน้ำหนัก (weight w)	$w_{\max} = 0.9, w_{\min} = 0.4$
ค่าคงที่ c_1 และ c_2	0.7, 0.7
จำนวนรอบการคำนวณสูงสุด (Iteration)	50
ค่าสูงสุดของเกณฑ์ $k_{p \max}$	200
ค่าต่ำสุดของเกณฑ์ $k_{p \min}$	0.001
ค่าต่ำสุดของเกณฑ์ไอ $k_{i \max}$	200
ค่าต่ำสุดของเกณฑ์ไอ $k_{i \min}$	0.001

ทำการเขียนโค้ดโปรแกรม M file ซึ่งโค้ดโปรแกรมนั้นจะแบ่งเป็น 2 ไฟล์คือ ไฟล์โปรแกรมหลัก และไฟล์โปรแกรมของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ จากนั้นทำการสร้างบล็อกของระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำใน SIMULINK ดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 บล็อก SIMULINK ที่ใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมฟuzzy

5. ส่วนประกอบและการเชื่อมต่อระบบการทำงาน

ทำการออกแบบส่วนประกอบการทำงาน เพื่อให้เข้าใจถึงส่วนประกอบและหลักการทำงาน “ชุดส่งสัญญาณผ่านเครือข่ายซิกบี” จำแนกลักษณะการทำงานได้ 3 ส่วน ได้แก่ ภาคส่งสัญญาณ (Input) ภาคการประมวล (Processor) และภาคการแสดงผล (Output) โดยแสดงในภาพที่ 33



ภาพที่ 33 วงจรการรับส่งสัญญาณระหว่างไมโครอินเวอร์เตอร์ผ่านเครือข่ายซิกบี

5.1 ภาคส่งสัญญาณ (Input)

แสงอินฟราเรด คือแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่าแสงสีแดงลงไป ดังนั้นจึงไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยสายตาของมนุษย์ ซึ่งคุณสมบัตินี้เองจึงทำให้เซ็นเซอร์ชนิดที่ใช้แสงอินฟราเรดเป็นที่นิยมนำมาใช้กันมาก โดยจะอาศัยหลักการของการสะท้อนของแสงกล่าว คือ ใช้อุปกรณ์ส่งแสงเป็นแหล่งกำเนิด ปล่อยแสงออกไป และเมื่อแสงกระทบกับวัตถุด้านหน้ามันก็จะสะท้อนแสงกลับมาเข้าที่ตัวรับแสง ส่วนอัตราของการสะท้อนกลับนั้นนำไปประมวลผลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสั่งการทำงานของ xbee

5.2 ภาคการประมวล (Processor)

เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ส่วนการประมวลผลก็เริ่มเข้าสู่ขั้นตอนการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็น ดิจิทัล (Analog to Digital) โดยในตัวของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A เพื่อทำการประมวลผลและคำนวณค่าต่างๆตามที่ได้เขียนโปรแกรมไว้ ก่อนที่จะส่งค่าที่คำนวณได้ไปยังส่วนชุดส่งสัญญาณ Xbee ในภาคการตั้งค่า ในโหมด End Device ที่ทำการรับส่งสัญญาณ Xbee ที่ตั้งไว้ในโหมด Coordinator เอาไว้ จากนั้นเมื่อมีสัญญาณเข้ามา Xbee ในโหมด Coordinator จะทำการส่งงานให้ผ่าน ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A เพื่อทำการประมวลผลและคำนวณค่าต่างๆตามที่ได้เขียนโปรแกรมไว้ก่อนที่จะส่งค่าที่คำนวณได้ไปยังส่วนชุด Siren

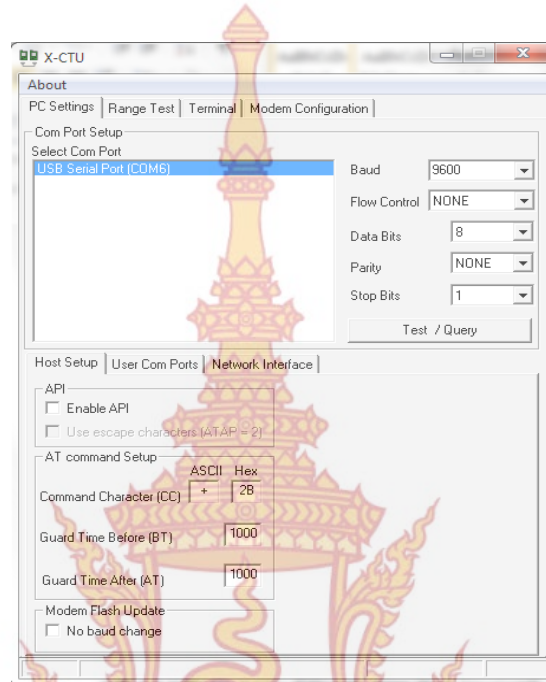
5.3 ภาคการแสดงผล (Output)

ลำโพงสัญญาณเตือนภัยหรือที่เรียกกันทั่วไปว่า ไซเรน เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่ส่งสัญญาณเสียง เพื่อเตือนภัย เมื่อเกิดเหตุการณ์ผิดปกติขึ้นการทำงานของไซเรนนี้จะรับสัญญาณมาจากเครื่องควบคุมอีกทีหนึ่งการทำงานของไซเรนที่จะให้ผลลัพธ์นั้นควรอยู่ในตำแหน่งที่ไซเรนทำงานแล้วสามารถส่งเสียง ดังให้ได้ยินไปไกล และติดตั้งไว้ในจุดที่ผู้บุกรุกจะเข้าไปตัดสายได้ยาก ส่วนการเลือกไซเรนให้มีความดังระดับใดนั้นย่อมขึ้นอยู่กับทำเลสถานที่ และสิ่งแวดล้อมรอบข้างด้วยซึ่งอาจมีการทดสอบก่อนเพื่อการเลือกใช้ที่เหมาะสม

6. การตั้งค่าซอฟต์แวร์เพื่อเซตค่าพารามิเตอร์ (Xbee)

เมื่อโหลดโปรแกรม X-CTU จากทาง DIGI เสร็จแล้ว เข้าสู่โหมดการใช้งานผ่าน X-CTU ซึ่งเป็น software interface บนคอมพิวเตอร์ที่จะช่วยในการ update firmware หรือ ทดสอบการใช้

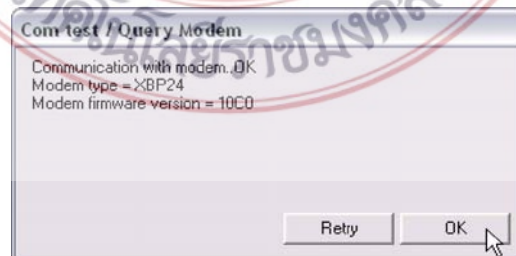
งาน หรือปรับparameter กับ Xbee สำหรับการใช้งาน เลือกทำการ Install จะใช้เวลานานพอสมควรเนื่องจากจะมีการ Download Firmware ล่าสุดจาก Digi ผ่าน internet (ควรต่อ internet ไปด้วย) กรุณารอจนติดตั้งเสร็จรับจะได้ firmware ครบถ้วน



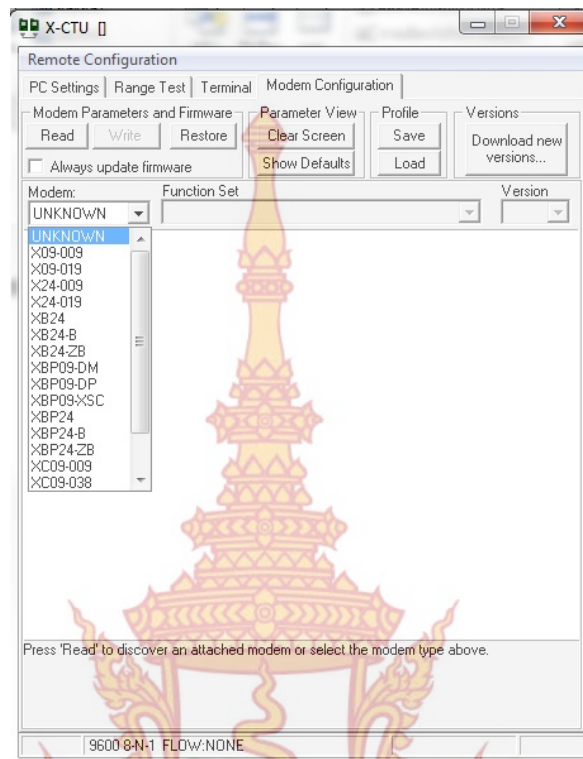
ภาพที่ 34 Software X-CTU ที่ใช้ร่วมกับ Xbee (Free Download)

6.1 การตั้งค่า Firmware

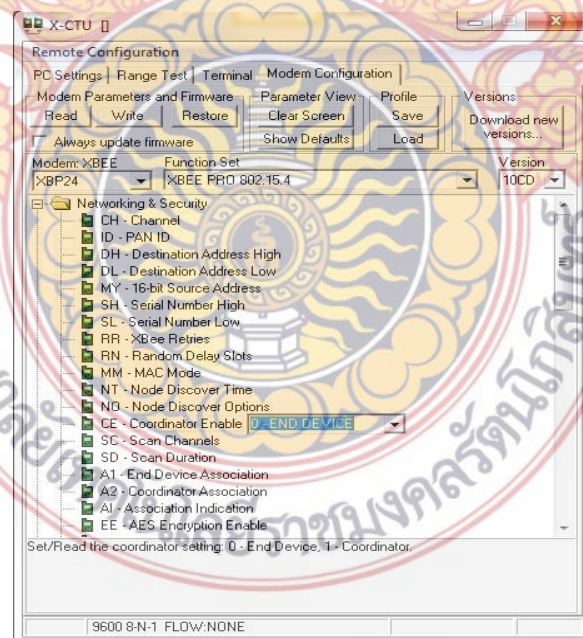
สำหรับ Xbee นั้น ในแต่ละรุ่นที่ซื้อจะมี firmware ที่โปรแกรมมาแล้วจากทางโรงงาน ซึ่งเราสามารถตั้งค่ามาได้ด้วยโดยไปที่ Tab Modem Configuration แล้วกดปุ่ม Read ถ้าหากซื้อ XbeePro Series 1 มา เราจะต้องเลือก firmware Version ที่ใช้ร่วมกัน คือ 1081,1082,1083,1084 , ... ซึ่งfirmware ล่าสุดจะถูก set ให้โดยอัตโนมัติหากเลือก Xbee รุ่นธรรมดา (ไม่ Pro) จะต้องเลือก group XB24xx เป็นต้นไป ส่วนถ้าเลือกรุ่น Pro มาต้องเลือก XbP24xxx สำหรับในแต่ละ series นั้นจะลงท้ายไม่เหมือนกัน เช่น series2 ZB จะเป็น XB24-ZB เพื่อทดสอบการติดต่อระหว่าง XBee-PRO กับโปรแกรม X-CTU หากติดต่อได้จะปรากฏหน้าต่างแจ้งผลการติดต่อ และข้อมูลทางฮาร์ดแวร์ เบื้องต้นของโมดูล XBee-PRO จะแสดงดังภาพที่ 35 ถึงภาพที่ 37



ภาพที่ 35 แสดงหน้าต่างแจ้งผลการติดต่อและข้อมูลทางฮาร์ดแวร์



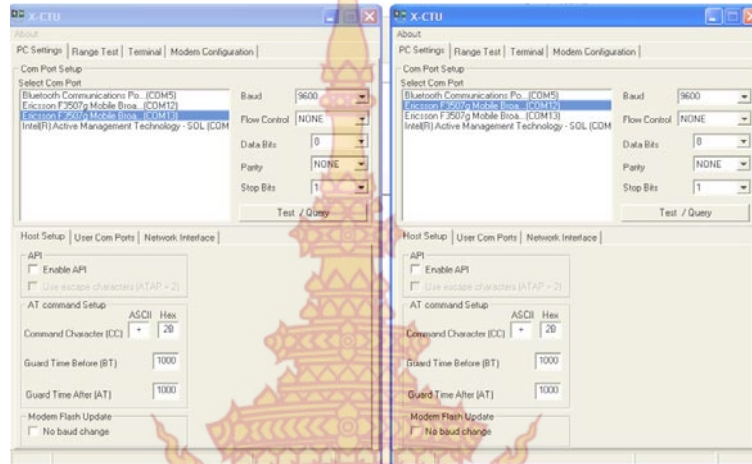
ภาพที่ 36 แสดงการเลือกรุ่น, firmware version



ภาพที่ 37 แสดงการเลือกฟังก์ชันของ Xbee แต่ละรุ่น

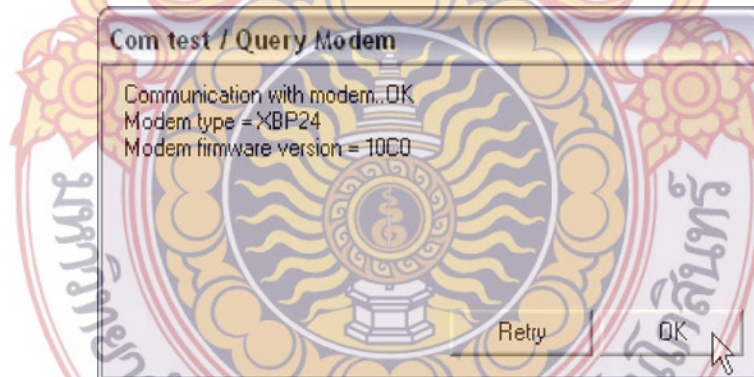
6.2 การตั้งค่า Parameter ในการทำงาน

ทำการ set ให้ parameter ให้ติดต่อแบบ Point to Point และเมื่อได้เชื่อมต่อ XBee-PRO Seires1 และ USB ZX-XBeeU เข้ากับ PC ทั้ง 2 ชุดเรียบร้อยแล้วให้เปิดโปรแกรม X-CTU ขึ้น 2 ชุดเช่นกัน แล้วทำการเลือก COM Port (UART) ในแต่ละชุดให้ถูกต้อง



ภาพที่ 38 ทำการเลือก COM Port (UART) ในแต่ละชุด

กดปุ่ม Test เพื่อทดสอบการติดต่อระหว่าง XBee-PRO กับโปรแกรม X-CTU หากติดต่อ กันได้จะปรากฏหน้าต่างแจ้งผลการติดต่อและข้อมูลทางฮาร์ดแวร์ของโมดูล ของ XBee PRO

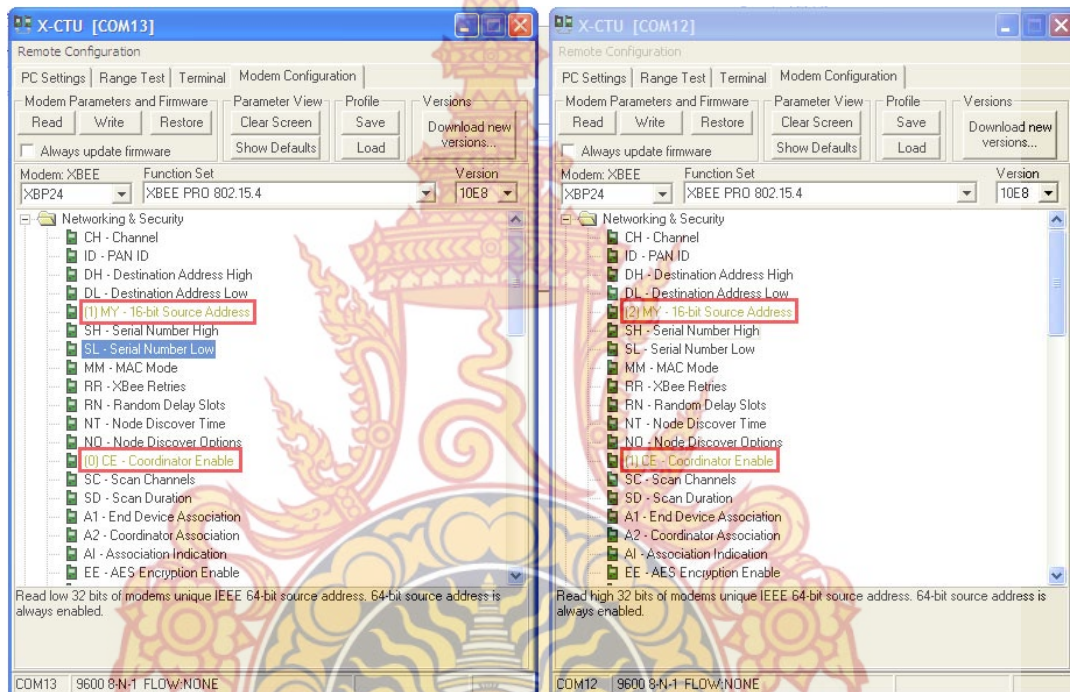


ภาพที่ 39 หน้าต่างแจ้งผลการติดต่อและข้อมูลทางฮาร์ดแวร์

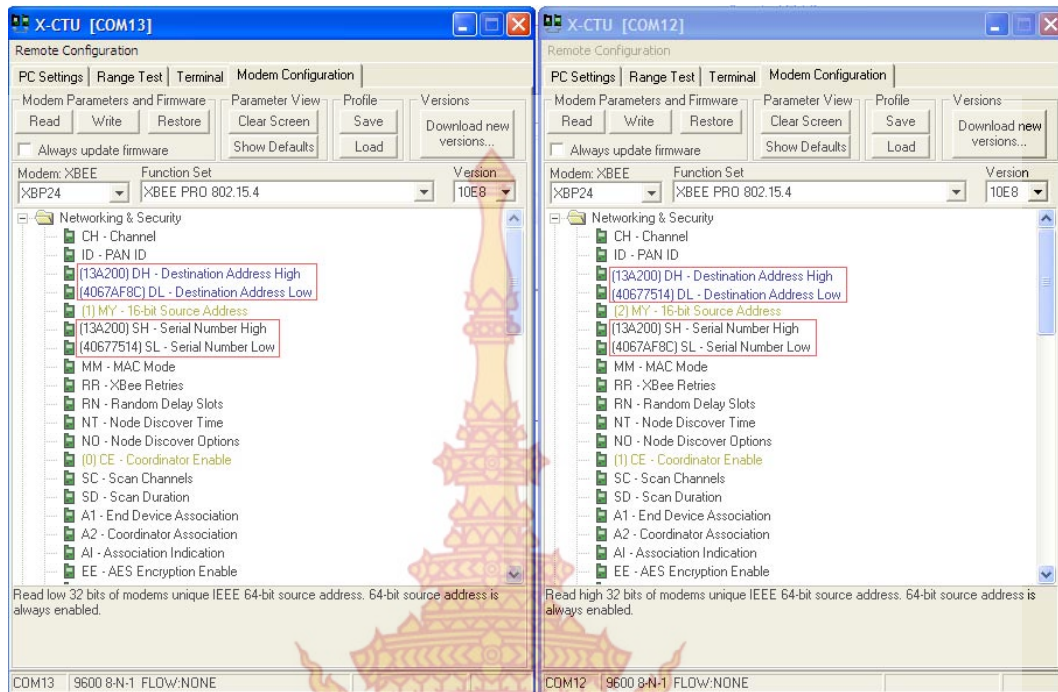
สำหรับตัวอย่างในบทความนี้จะใช้ Xbee Pro Series1 ร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มาต่อกัน โดยการเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะเริ่มที่บอร์ด PIC16F877A ที่จะใช้งาน crystal 20 Mhz ต่อเข้ากับ บอร์ดเชื่อมต่อการรับส่งสัญญาณ Xbee เป็นตัวส่งข้อมูลไปยังตัวรับอีก-ฝั่งเขียนโปรแกรมภาษาซีส่งคำสั่งเป็น AT Command ผ่าน UART ทั้งนี้การ set parameter จะทำการ set ฝั่งส่งเป็นโหมด End Device ด้วยการ set Parameter ในหมวด Networking Security >> (CE=0) และ ค่า MY = 1 (16 bit address)

และ Set ฝั่งรับเป็นโหมด Coordinator ด้วยการ Set Parameter ในหมวด Networking & Security >> (CE=1) และ ค่า MY = 2 (16 bit address) ทั้งนี้ได้ set baud rate ที่ตัว Xbee ทั้ง 2 ตัวที่ 9600 bps (BD=3) ทำการ set ให้ parameter DH และ DL ของแต่ละฝั่งให้มีค่าเท่ากับ SH และ SL ของฝั่งตรงข้ามโดย SH SL เป็นค่า address ที่เราเปลี่ยนไม่ได้ (Read Only) เป็นค่าที่ใส่มาจากโรงงานดังภาพที่ 48

วิธีการดูว่า Xbee ของเรามีค่า SH และ SL เท่าไหร่ สามารถดูได้ 2 วิธีคือ ให้กด Read เพื่อ Load ค่าของ Xbee เข้ามาจะทำให้เรา Click ดูค่า SH และ SL และดูจากทางด้านใต้ของตัว Xbee จะมี Sticker ปะหมายเลข SH, SL มาให้แล้ว



ภาพที่ 40 การ Set Parameter ในหมวด Networking & Security



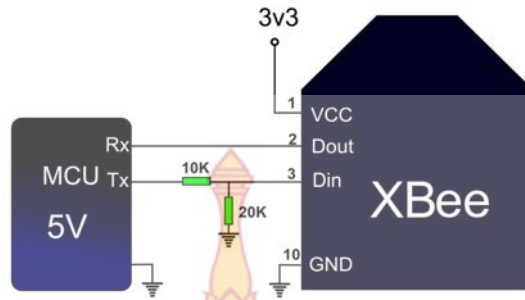
ภาพที่ 41 แสดงการ set ให้ parameter DH และ DL, SH และ SL



ภาพที่ 42 แสดงตัวอย่างการหา SH, SL, MODEM

6.3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ Xbee กับ Microcontroller

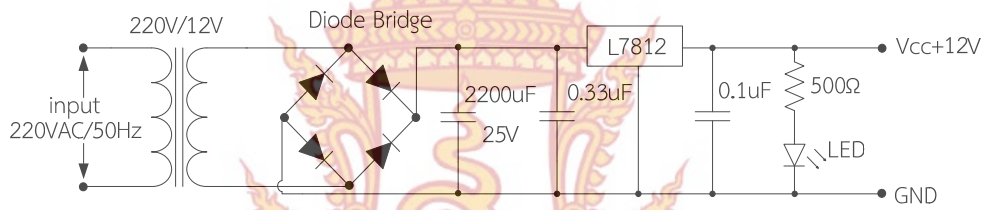
ก่อนอื่นต้องถอด Max232 ออกจากบอร์ด Microcontroller เพื่อเลือกการเชื่อมต่อ กับ USART จากนั้นเราสามารถทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ Xbee เข้ากับ Microcontroller ผ่านทางขา Din (Data In) ของตัว Xbee ซึ่งเป็นขาที่รับสัญญาณจาก Microcontroller (ขา RC6 (Tx)) และขา Dout (Data Out) ซึ่งเป็นขาที่ส่งสัญญาณไปยัง Microcontroller (ขา RC7 (Rx)) ดังภาพที่ 43



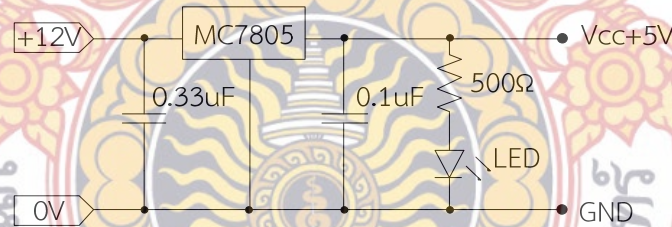
ภาพที่ 43 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ Xbee กับ Microcontroller

6.4 ทำการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

วงจรรักษาระดับแรงดัน ในเอกสารนี้เลือกใช้ไอซีรักษาระดับแรงดันเบอร์ MC7812 เป็นไอซี ชนิด 3 ขา การออกแบบวงจรมันโดยอ้างอิงจาก Data sheet ของไอซี MC7812 ดังภาพที่ 44 และ 45



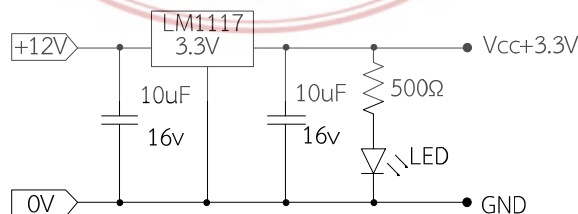
ภาพที่ 44 วงจรรักษาระดับแรงดัน 12V



ภาพที่ 45 วงจรรักษาระดับแรงดัน 5V ด้วย MC7805

6.5 ทำการออกแบบวงจรแหล่งจ่าย Xbee

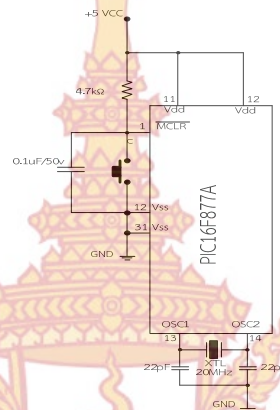
ในเอกสารนี้เลือกใช้ไอซีรักษาระดับแรงดันเบอร์ LM1117 3.3v เป็นไอซี 3 ขาการออกแบบวงจรมันโดยอ้างอิงจาก Data sheet ของ LM1117 ดังภาพที่ 46



ภาพที่ 46 วงจรรักษาระดับแรงดัน 3.3V ด้วย LM1117

วงจรแหล่งจ่ายที่ได้ออกแบบออกมานี้ เพื่อใช้ในการโครงการชุดสัญญาณเตือนภัยการบุกรุกของช่างป่าต่อพื้นที่การเกษตร ซึ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในวงจรควบคุมต้องการค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในงานในวงจรแรงดันต่ำ จึงได้ออกแบบแรงดันให้เหมาะสมกับวงจรต่างๆของโครงการนี้

6.6 ทำการออกแบบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์



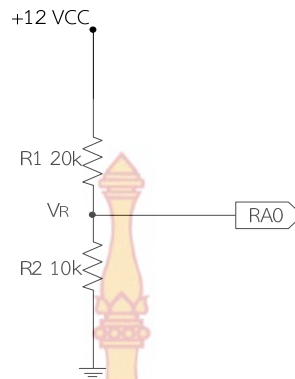
ภาพที่ 47 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

6.7 ทำการออกแบบวงจร Xbee



ภาพที่ 48 วงจร Xbee

6.8 ทำการออกแบบวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า



ภาพที่ 49 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า

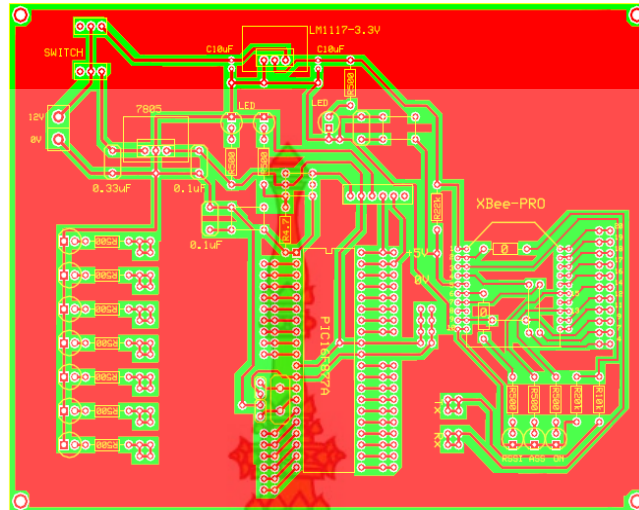
7. ขั้นตอนการสร้างลายวงจร

เมื่อออกแบบวงจรการทำงานเบื้องต้นเสร็จแล้วลำดับต่อไปทำการออกแบบลายวงจรเพื่อสร้างต้นแบบชุดทดลอง PIC16F877A ที่เชื่อมต่อกับ Xbee ในภาคการส่งสัญญาณ โดยใช้โปรแกรม Express PCB ในกาออกแบบ



ภาพที่ 50 ลายวงจรต้นแบบชุดทดลอง PIC16F877A ที่เชื่อมต่อกับ Xbee ในภาคการส่งสัญญาณ

ทำการออกแบบลายวงจรเพื่อสร้างต้นแบบชุดทดลอง PIC16F877A ที่เชื่อมต่อกับ Xbee ในภาคการรับสัญญาณ โดยใช้โปรแกรม Express PCB ในกาออกแบบ



ภาพที่ 51 ลายวงจรต้นแบบชุดทดลอง PIC16F877A ที่เชื่อมต่อกับ Xbee ในภาคการรับสัญญาณ

7.1 ขั้นตอนที่น่าลายวงจรที่ออกแบบไปทำการกัดลายวงจร

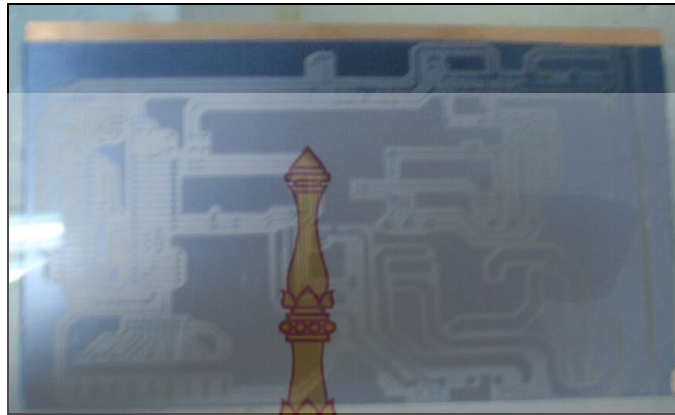
โดยแสดงการกัดลายวงจร PIC16F877A จัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ทำวงจรและอุปกรณ์ที่จะลงแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ตามที่ได้ออกแบบมาแล้ว โดยประกอบไปด้วยแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แผ่นฟิล์มไวแสง ความต้านทาน ไดโอด ตัวตรวจจับ กระแส ตัวตรวจจับแรงดัน ตัวเก็บประจุ Regulator MC7805, LM1117, PIC16F877A, Xbee

7.2 ขั้นตอนที่น่าลายวงจร PIC16F877A ไปฉายแสง



ภาพที่ 52 แสดงการฉายแสงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

7.3 ขั้นตอนที่น่าล้างโซเดียมวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A



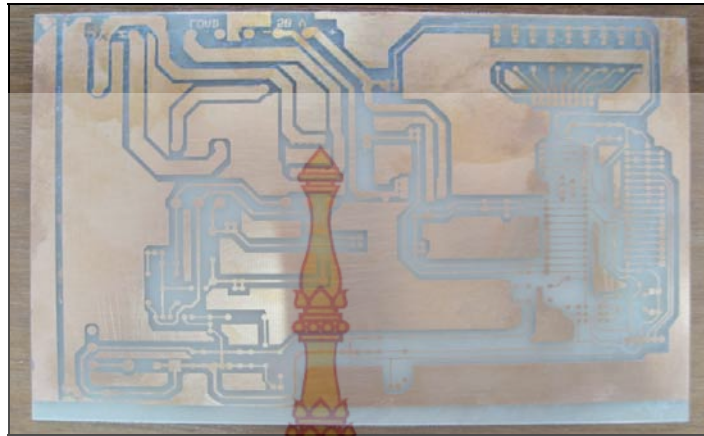
ภาพที่ 53 แสดงการล้างโซเดียมวงจรมicroคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

7.4 ขั้นตอนที่น่าलयวงจรที่ได้ไปกัดลายวงจรโดยใช้กรดกัดวงจรอิเล็กทรอนิกส์
เมื่อทำการล้างโซเดียมออกหมดแล้วจะมาถึงขั้นตอนการกัดลายวงจรที่ต้องการนำไปใช้
โดยเมื่อล้างโซเดียมออกหมดแล้วยังเหลือลายวงจรที่โดนฉายแสงอยู่เหมือนการเคลือบลายวงจร
เอาไว้หลังจากนั้นเราทำการแช่สารละลายทองแดงเพื่อกัดส่วนที่ไม่ต้องการให้ได้ลายเส้นวงจรออกมา



ภาพที่ 54 แสดงการกัดลายวงจรmicroคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

7.5 ขั้นตอนที่น่าलयวงจรที่ได้ไปล้างทินเนอร์และทำความสะอาดวงจร



ภาพที่ 55 แสดงลายวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

7.6 ขั้นตอนที่น่าลายวงจรที่เจาะรูเสร็จแล้วไปลงอุปกรณ์

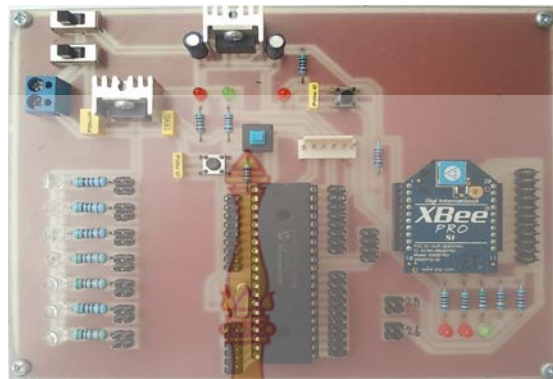
เมื่อได้รายวงจรแต่ละจุดเรียบร้อยแล้วทำการเจาะรูให้ได้ขนาดและสัดส่วนตามตำแหน่งของแต่ละจุดให้มีความพอดี และมีความเสมอกันเพื่อให้ง่ายต่อการลงอุปกรณ์

7.7 ขั้นตอนที่น่าลายวงจรมาลงอุปกรณ์ตามที่ได้ออกแบบมา

เมื่อได้แผ่นทองแดงที่ผ่านการเจาะรูเอาไว้เรียบร้อยแล้ว ทำการลงอุปกรณ์เข้ากับแผ่นทองแดงตามลายวงจรที่ทำการออกแบบไว้ทั้งหมดด้วยการบัดกรีอุปกรณ์เข้ากับแผ่นทองแดง

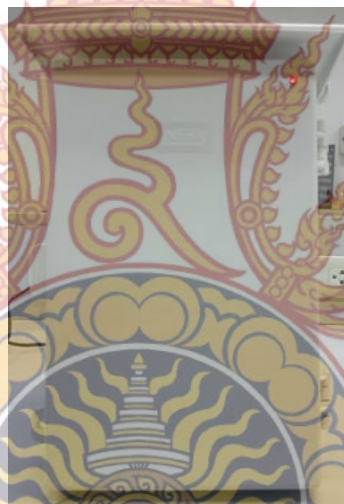


ภาพที่ 56 แสดงการลงอุปกรณ์วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A และ Xbee บอร์ดส่งสัญญาณ



ภาพที่ 57 แสดงการลงอุปกรณ์วงจรมicroคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A และ Xbee บอร์ดรับสัญญาณ

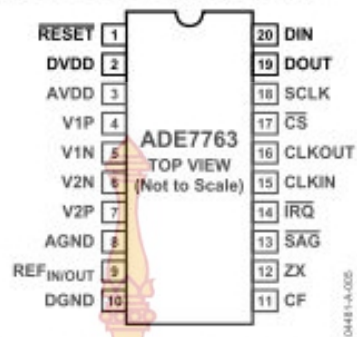
7.8 นาวจรถที่ได้ออกแบบมาใส่กล่องป้องกัน



ภาพที่ 58 กล่องป้องกัน

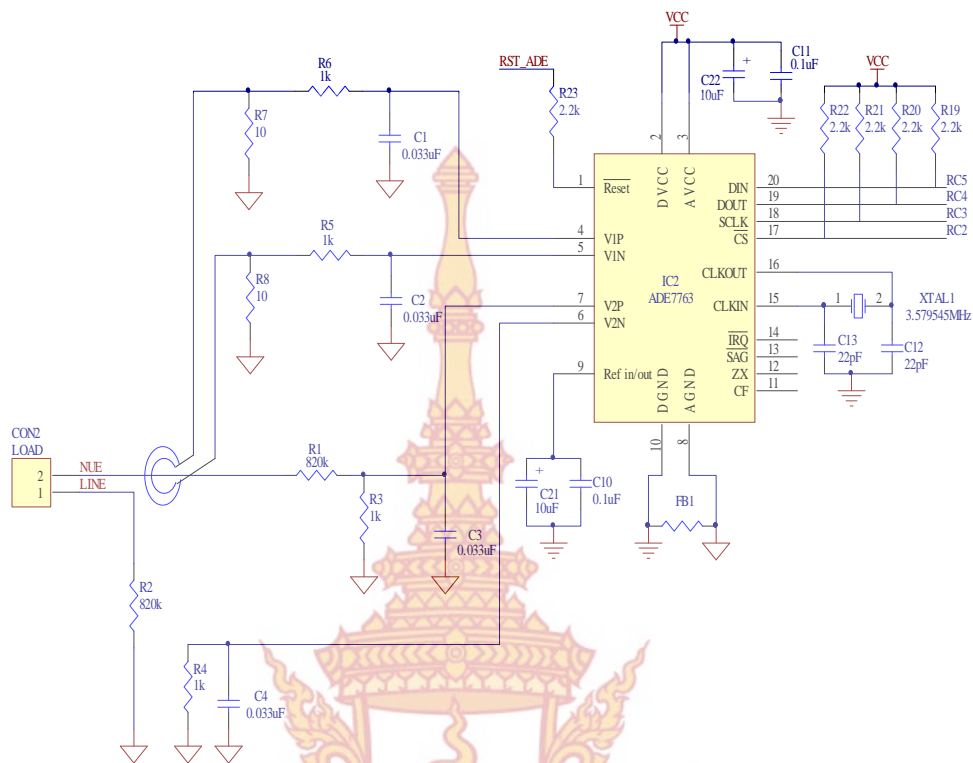
8. ภาคการเฝ้าติดตามระบบ Monitoring System

ภาคระบบเฝ้าติดตามใช้ Power IC ของ บริษัท Analog Device โดยใช้ เพาเวอร์ไอซี เบอร์ ADE7763 ตรวจสอบพลังงานในระบบทั้งหมด ADE7763 เป็น Power IC chip ของบริษัท Analog Devices ซึ่ง IC ตัวนี้มีความสามารถในการวัด คำนวณค่าทางไฟฟ้าออกมาได้หลากหลาย และมีความแม่นยำสูง มีความสามารถในการวัดแรงดัน กระแส รวมไปถึงค่ากำลังไฟฟ้าต่างๆ เช่น กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) และกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) โดย Output ที่ได้นั้นจะเป็นค่าดิจิตอล



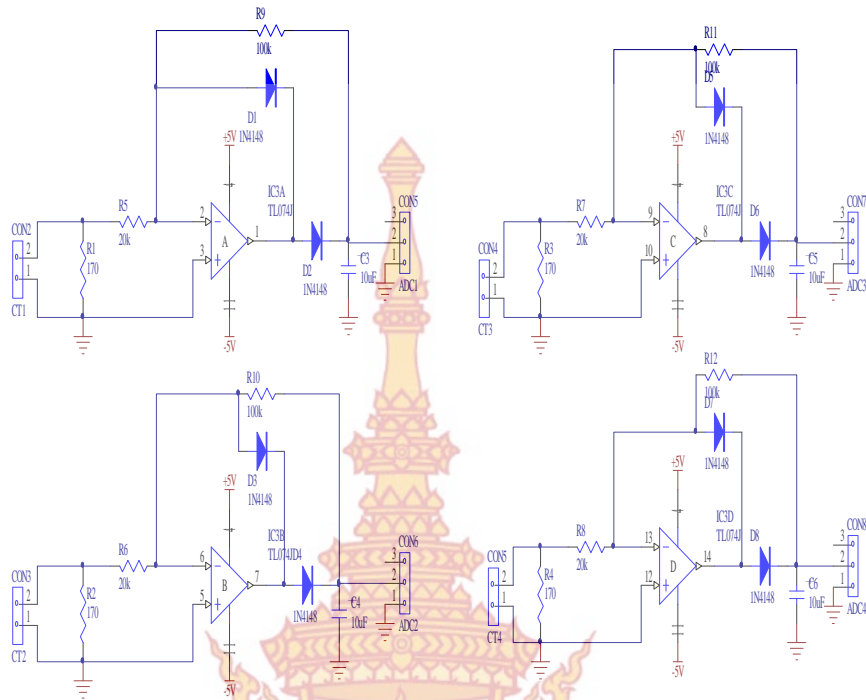
ภาพที่ 59 ตำแหน่งขาของ ADC7763

ADE7763 มีส่วนที่ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก แบบอนุกรม (SPI: Serial Peripheral Interface) เพื่อใช้ในการติดต่อระหว่าง Power IC กับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อีกด้วย ADE7763 มี Input ออกสองทาง คือ ทางที่หนึ่งเป็น Input สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้า (Current Channel) และอีกทาง คือ Input ของแรงดันไฟฟ้า (Voltage Channel) ซึ่งทั้งสอง Channel นี้ รับค่าแรงดันไฟฟ้า ได้มากที่สุดไม่เกิน ± 0.5 Vrms หลังจากนั้นสัญญาณจะผ่านเข้ามาที่ตัวขยายสัญญาณ (Amplifier) ต่อมา สัญญาณที่วัดได้ ก็ผ่านตัวแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล (A to D) จากนั้นผ่านเข้าสู่ตัวกรองความถี่สูง (High Pass Filter) เพื่อตัดสัญญาณรบกวนต่างๆ ออก และเมื่อสัญญาณผ่าน วงจรอินทิเกรเตอร์ (Integrator) ทั้งสอง Channel สัญญาณจะแบ่งออกเป็นสองส่วน โดยส่วนที่หนึ่ง จะนำไปคูณกับแรงดันไฟฟ้า ผลที่ได้จะเป็นกำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) และนำค่าที่ได้เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ ซึ่งจะสะสมค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นค่าในรีจิสเตอร์ จึงเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าจริง (Active Energy) ส่วนสัญญาณที่สอง นั้นจะนำมาคำนวณ เป็นค่ารากของกำลังสองเฉลี่ย (rms) ก่อนที่จะนำมาคูณกับแรงดันไฟฟ้า (rms) เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) มีหน่วยเป็น VA (Volt-Amp) และนำค่าที่ได้เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ ซึ่งจะสะสมค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นค่าในรีจิสเตอร์ จึงเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Energy)



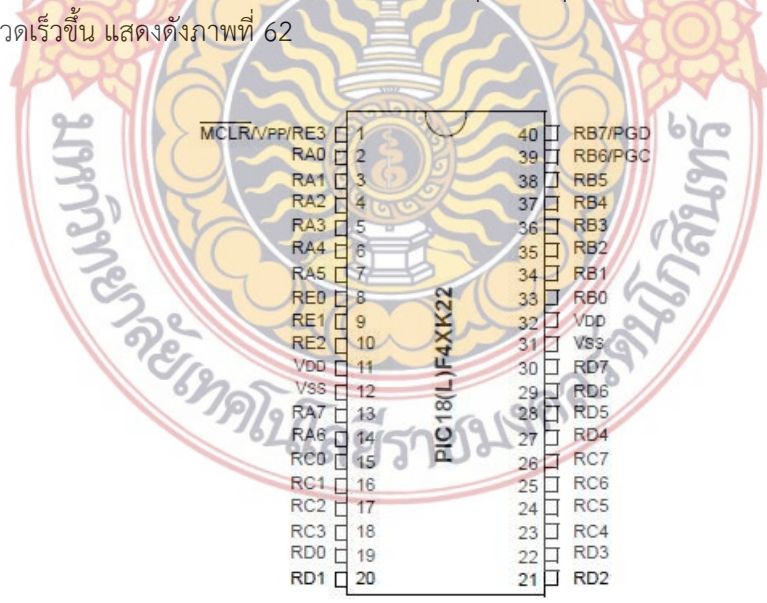
ภาพที่ 60 การออกแบบวงจรการต่อใช้งาน ADE7763

ส่วนของการวัดพลังงานแยกแต่ละชุดของ Inverter นั้นทำโดยใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงจาก Power IC ADE7763 จากนั้นในส่วนของแต่ละแผงจะติดตั้ง Current transformer (CT) สัญญาณที่ได้จาก CT จะเป็นลักษณะ sine wave (เหมือนไฟกระแสสลับ 220AC) เมื่อมีกระแสไหลผ่านสายไฟที่เราคล้องผ่านไปยังโหลด จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำภายใน CT ขึ้น เพราะ CT เป็นขดลวด ดังนั้นจะเกิดการเหนี่ยวนำขึ้น ซึ่งปริมาณของการเหนี่ยวนำจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านไปยังโหลด ตัวต้านทาน 170 โอห์มที่ขนานอยู่กับ CT เรียกว่าตัวต้านทาน burden (burden resistor) จะทำให้สัญญาณที่ได้จากการเหนี่ยวนำของ CT เป็นเชิงเส้นมากที่สุด จากนั้นสัญญาณจะถูกป้อนเข้าออปแอมป์เพื่อทำการขยายสัญญาณ ซึ่งวงจรนี้จะขยายสัญญาณประมาณ 5 เท่า (จากสมการ R_f/R_i หรือเท่ากับ $100k/20k$ นั่นเอง) สัญญาณที่ถูกขยายนี้จะเป็นลักษณะแรงดันกระแสสลับอยู่ หากนำไปป้อนให้กับ ADC ของไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำให้ค่าที่อ่านได้ไม่ตรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแปลงเป็นแรงดันไฟกระแสตรงเสียก่อน โดยใช้ไอโอดีน 1N4148 ทำหน้าที่เรียงกระแสแบบ full bridge rectifier และเพื่อให้แรงดันเรียบมากยิ่งขึ้นจึงต้องกรองด้วยตัวเก็บประจุ 10uF อีกทีหนึ่ง

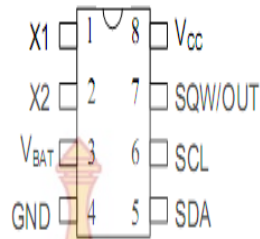


ภาพที่ 61 วงจร Current Transformer (CT)

วงจรประมวลผลและสั่งงานเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ของบริษัท Microchip Inc. เบอร์ PIC18F46K22 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F46K22 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็ก มีขนาด 40 ขา แต่ประสิทธิภาพน่าสนใจ เนื่องจากมีการผนวก ระบบประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเข้าไป จึงทำให้สามารถทำงานในแบบ ON/OFF หรือ Periperal operation และยังสามารถคำนวณทางคณิตได้รวดเร็วขึ้น แสดงดังภาพที่ 62



ภาพที่ 62 ตำแหน่งขาของ PIC18f46K22



ภาพที่ 63 แสดงขาของ DS1307

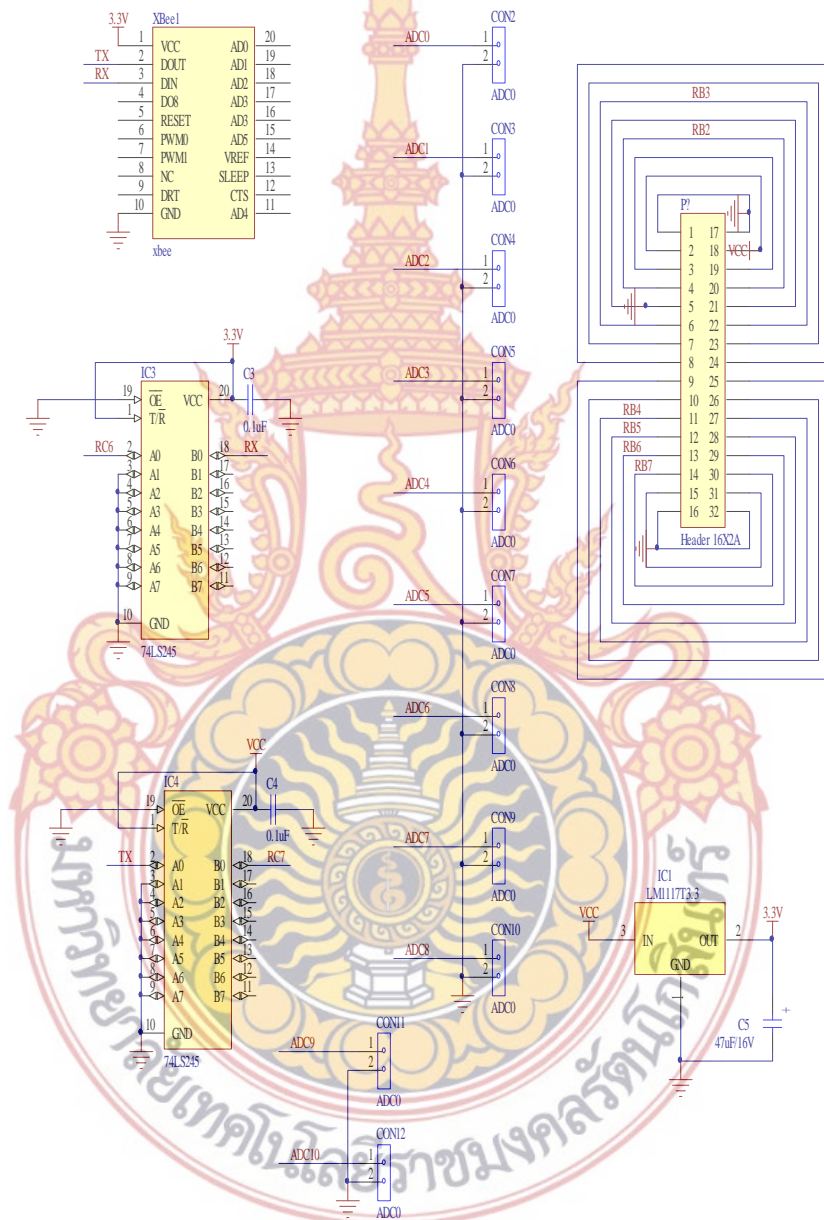
วงจรการทำงานของโครงการนี้คือไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC18F46K22 ซึ่งมีวงจรสมมูลณ์ โดยวงจรนี้เริ่มจากภาคแหล่งจ่ายไฟโดยใช้หม้อแปลงลงปรีนซ์เบอร์ 000007 ไฟเอาต์พุต 6.5 VAC กระแส 800 mA แรงดันจะผ่านการเรียงกระแสให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ด้วยไดโอดบริดจ์ หลังจากนั้นจะกรองแรงดันด้วย Capacitor ก่อนจ่ายไปเลี้ยงวงจรสวิตชิ่งเรกูเลเตอร์เบอร์ LM2575 เพื่อลดระดับแรงดันให้เหลือ 5 โวลต์ และหน้าที่สำคัญคือการแสดงผลผ่านจอแสดงผลแบบ LCD อ่านค่ากำลังไฟฟ้าจาก ADE7763 อ่านค่าเวลาจาก DS1307 และส่งข้อมูลผ่าน ระบบส่งสัญญาณไร้สายแบบ Zigbee และ RS232 สามารถดูรายละเอียดได้ตามภาพ ตามภาพที่ 64



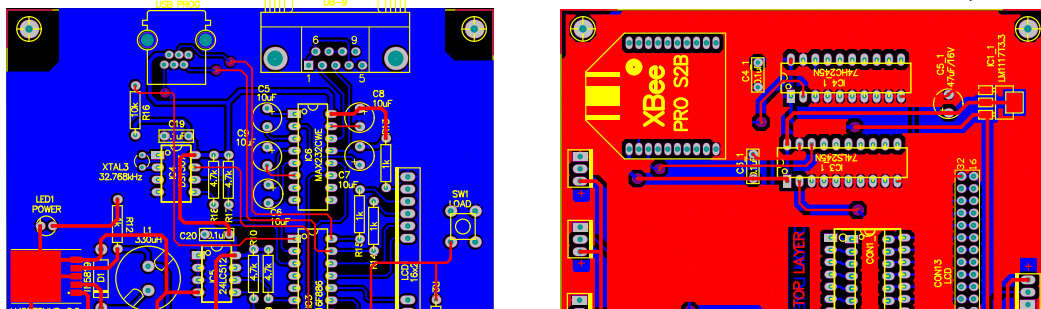
ภาพที่ 64 ส่วนประกอบทั้งหมดของระบบเฝ้าติดตามใช้การประมวลผลด้วย PIC18F46K22

ในส่วนสุดท้ายเป็นส่วนของการออกแบบชุดส่งสัญญาณไร้สายไปยังจุดที่ศูนย์ควบคุมตั้งอยู่ เพื่อให้การทำงานและการตรวจซ่อมบำรุงรักษาง่ายเวลาเกิดปัญหา และออกแบบให้ PCB มีขนาดที่

เหมาะสมอุปกรณ์ไม่ติดกันจนเกินไปและใช้กราวเต็มแผ่นเพื่อช่วยในการระบายความร้อน จึงได้ทำการออกแบบ PCB เป็น PCB 2 ชั้นขึ้นมาจากที่กล่าวมาข้างต้นจะทำการใช้การส่งสัญญาณแบบไร้สายจึงได้มีการออกแบบวงจรใช้งาน ร่วมกับ Xbee และ RS232 ในวงจรนี้ใช้การต่อวงจรไฟเลี้ยง Xbee โดยผ่าน IC 74LS245 เพื่อเป็นการป้องกันการปัญหาเกี่ยวกับระดับแรงดัน ที่จะใช้เลี้ยง Xbee ที่ต้องการใช้พลังงานแค่ 3.3V โดยมีเร็กกูเลเตอร์เบอร์ LM117T3 มาใช้ในการลดระดับแรงดันจาก 5v ให้เหลือ 3.3 V



ภาพที่ 65 การต่อใช้งาน Xbee และคอนเน็คเตอร์สำหรับต่อใช้งาน Sensor ต่างๆ





ภาพที่ 66 ออกแบบ PCB ต้นแบบ

9. การใช้งาน Xbee

X-CTU เป็น software interface บนคอมพิวเตอร์ที่จะช่วยในการ update firmware หรือ ทดสอบการใช้งาน หรือ ปรับ parameter กับ Xbee โดยท่านสามารถ download software มาได้ ฟรีจาก Digi (X-CTU Software) สำหรับการใช้งาน ท่านสามารถอ่านจากคู่มือ X-CTU Configuration & Test Utility Software User Guide

หลังจากที่ Download ตัว Software มาแล้ว การ Install จะใช้เวลานานพอสมควร เนื่องจาก จะมีการ Download Firmware ล่าสุดจาก Digi ผ่าน internet (ควรต่อ internet ไว้ด้วย) กรุณา รอจนติดตั้งเสร็จแล้วจะได้ firmware ครบถ้วน สำหรับ Xbee นั้น ในแต่ละรุ่นที่ซื้อ จะมี firmware ที่โปรแกรมมาแล้วจากทางโรงงาน ซึ่งเราสามารถตั้งค่ามาได้ด้วยไปที่ Tab Modem Configuration แล้วกดปุ่ม Read

หากซื้อ Xbee Pro Series 1 มา เราจะต้องเลือก firmware version ที่ใช้ร่วมกัน คือ 1081, 1082, 1083, 1084 , ซึ่ง firmware ล่าสุดจะถูก set ให้โดยอัตโนมัติ (หาข้อมูลเรื่อง firmware ที่ใช้ในแต่ละรุ่น ได้จาก www.digi.com หรือจาก Datasheet)

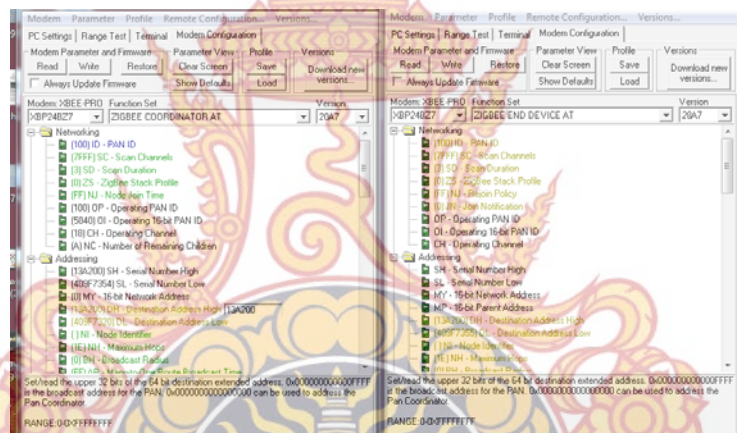
หากเลือก Xbee รุ่นธรรมดา (ไม่ Pro) จะต้องเลือก group XB24xxxx เป็นต้นไป ส่วนถ้าเลือกรุ่น Pro มา ต้องเลือก XBP24xxxx สำหรับ ในแต่ละ series นั้น จะลงท้ายไม่เหมือนกัน เช่น series2 ZB จะเป็น XB24-ZB ท่านสามารถ Set Parameter ใน Tab Modem Configuration ได้ง่าย ๆ แล้ว กด write Firmware เราสามารถทดลองใช้งานง่าย ๆ ด้วยการใช้อุปกรณ์ Dongle และ

Xbee 1 คู่ สร้างเครือข่ายแบบ Point-to-Point ร่วมกับ X-CTU เพื่อกำหนด Parameter ให้กับ Xbee ผ่าน firmware และ X-CTU สามารถ เปิดออกมาใช้ที่หน้าต่างก็ได้ๆพห สำหรับ การทดสอบ ในบทความนี้จะเปิดใช้ X-CTU 2 หน้าต่าง การทดสอบจะใช้อุปกรณ์ดังรูปด้านล่างคือ ประกอบด้วย Xbee Pro Series 1 และ Mini Xbee USB Dongle V2 สำหรับเสียบอุปกรณ์กับ คอมพิวเตอร์ (การทดสอบใช้เป็นคู่ ดังนั้นต้องใช้ Xbee Pro Series 1 และ Mini Xbee USB Dongle V2 ทั้งหมด 2 ชุด) ทำการเปิด X-CTU 2 หน้าต่าง แล้วไปที่หน้า Tab Modem Configuration แล้วกด Read จะพบว่า X-CTU จะทำการ Load Firmware ของ Xbee Pro Series1 ออกมาซึ่งจะเป็นค่าที่ Set ไว้แบบ Default

ขั้นตอนการกำหนดค่าการใช้งานของ XBee Pro Series 1

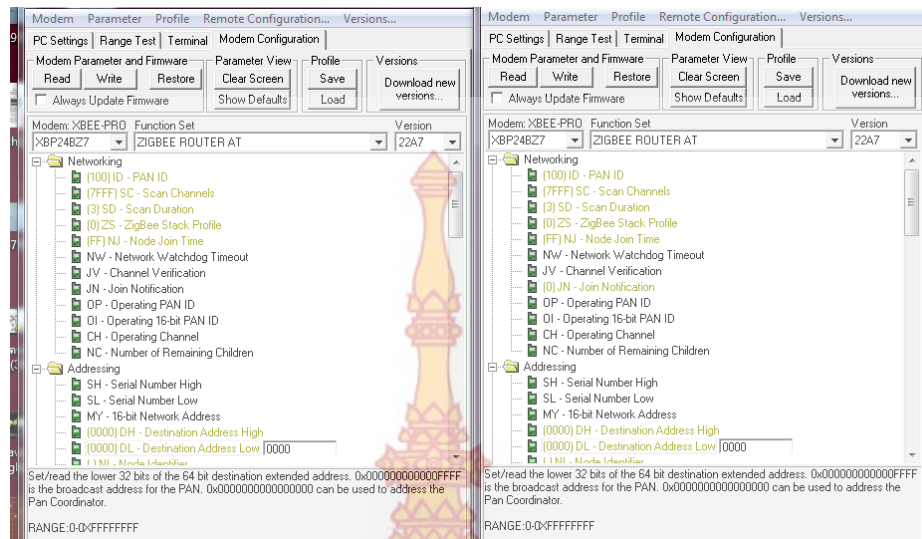
การทดลอง ตั้ง Destination ให้กับ Xbee คู่หนึ่งดังนี้

- 1) DH, DL ของ Xbee (1) ให้เป็น SH, SL ของ Xbee (2) ตามลำดับ
- 2) DH, DL ของ Xbee (2) ให้เป็น SH, SL ของ Xbee (1) ตามลำดับ



ภาพที่ 67 การตั้งค่า Xbee 1 และ 2 รับและส่งข้อมูล

จากนั้น พบว่าสามารถรับส่ง Data กันได้ตามปกติ และได้ทดลองตาม Step ดังนี้
 Step1 แยก Xbee (A) ให้อยู่ไกลจาก Xbee (B) จนไม่สามารถรับส่ง Data กันได้
 Step2 นำเอา Xbee 3 และ Xbee 4 ซึ่งกำหนด DH=0000, DL=0000(Default) มาวางตรงกลางระหว่าง Xbee (1) และ Xbee (2) พบว่า Xbee 1) และ Xbee (2) สามารถส่งข้อมูลหากันได้อีกครั้ง



ภาพที่ 68 การตั้งค่า Xbee 3 และ 4 ทำงานในตัวขยายสัญญาณ

Step3 ปิด Xbee (3) จะพบว่า Xbee (1) และ Xbee (2) ยังส่งข้อมูลหากันได้โดยใช้ Xbee (4) เป็นตัวกลางส่งผ่านข้อมูล

Step4 เปิด Xbee (3) และ ปิด Xbee (4) จะพบว่า Xbee (1) และ Xbee (2) ยังส่งข้อมูลหากันได้โดยใช้ Xbee (3) เป็นตัวกลางส่งผ่านข้อมูล



บทที่ 4

ผลการทดลอง

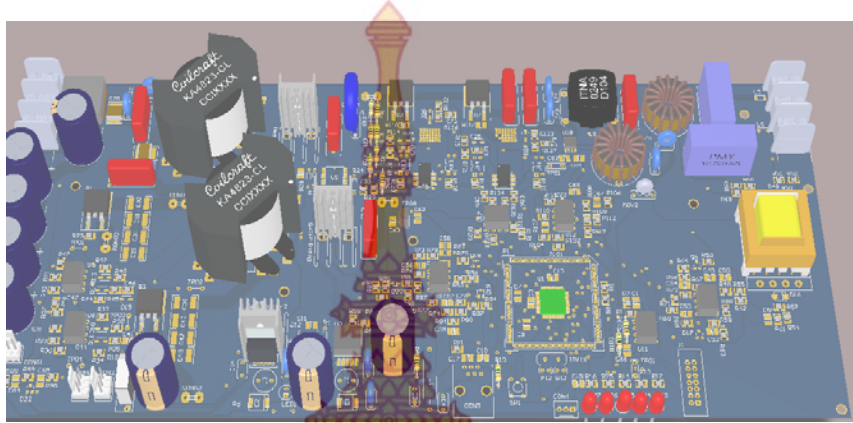
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบ การพัฒนาไมโครอินเวอร์เตอร์ชนิดเชื่อมต่อกับกริดร่วมกับระบบสื่อสารไร้สายสำหรับโรงพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการทดสอบการทำงานของระบบรวมทั้งหมด ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ระบบเซนเซอร์วัดค่าพารามิเตอร์ และระบบการสื่อสารโดยซิกบี เมื่อทำงานในโรงผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

1. เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

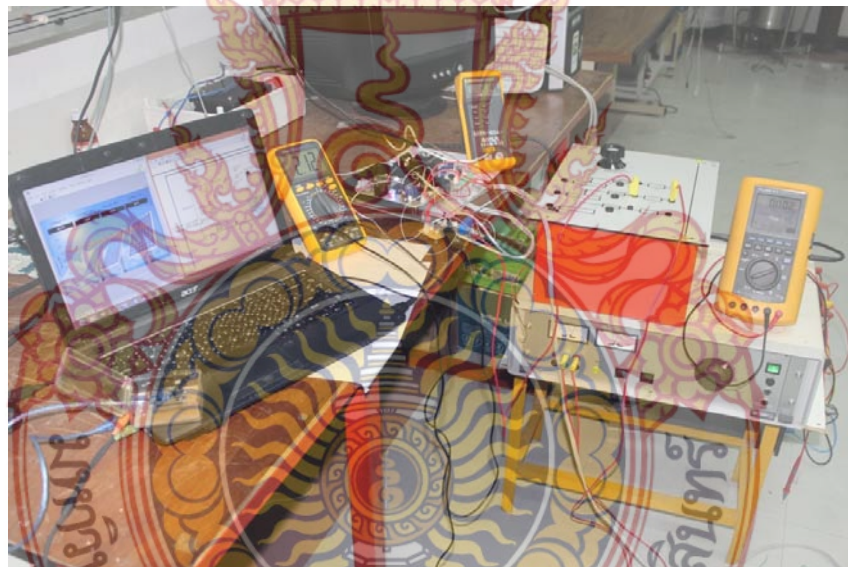
1. ออสซิลโลสโคป Tektronix TDS2014B
2. โวลต์มิเตอร์ Fluke 867B
3. Tektronix A622 AC/DC Current probe
4. ชุด Power Supply 5 โวลต์
5. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F46K22+Xbee
6. ชุดเซนเซอร์วัดกระแส เบอร์ LTS-15-NP
7. บอร์ด MINI USB DOUGLE V2
8. แผง Solar Cell (SHARP NA-F121GK)
9. ไมโครอินเวอร์เตอร์
10. โหลดปรับค่าได้ขนาด 1,000 วัตต์
11. มัลติมิเตอร์
12. เทอโมมิเตอร์



ชุดต้นแบบไมโครอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงชุดเซนเซอร์กระแส และชุดสื่อสารไร้สายซิกบี เพื่อใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 69



(ก) ต้นแบบชุดไมโครอินเวอร์เตอร์



(ข) เครื่องมือและอุปกรณ์วัดสัญญาณ ชุดเซนเซอร์กระแสและชุดเซนเซอร์ไร้สาย

ภาพที่ 69 ชุดต้นแบบไมโครอินเวอร์เตอร์และเครื่องมือวัด

2. ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมพีไอ

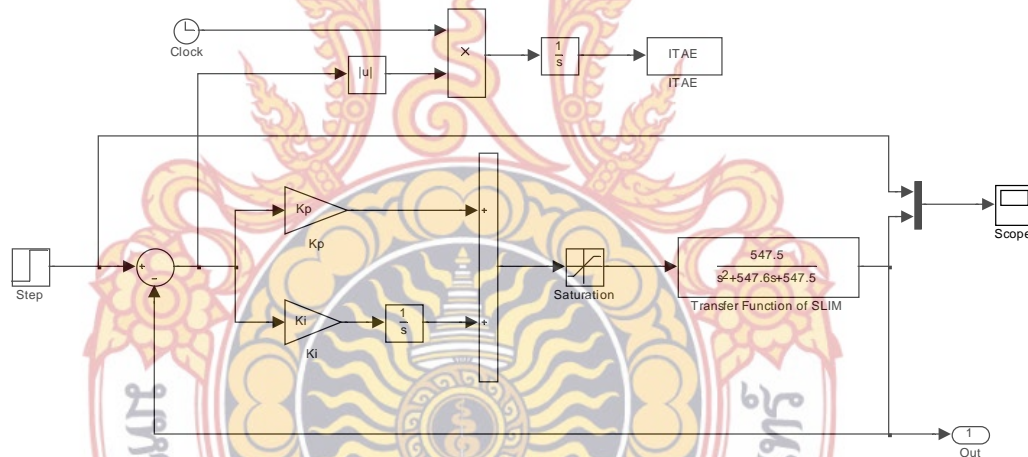
การทดสอบผลที่ได้ในการออกแบบระบบควบคุมแบบพีไอโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค จะทำการเปรียบเทียบกับผลการออกแบบด้วยวิธีการของ Zeigler-Nichole ซึ่งมีผลดังนี้

2.1 ผลการทดลองระบบควบคุมพีไอที่ได้จากวิธีกลุ่มอนุภาค

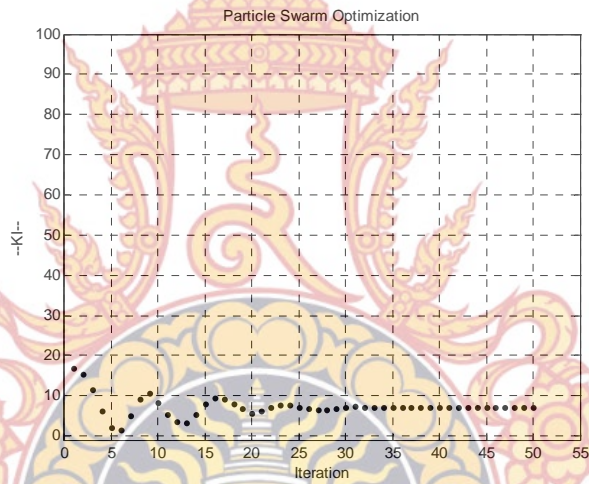
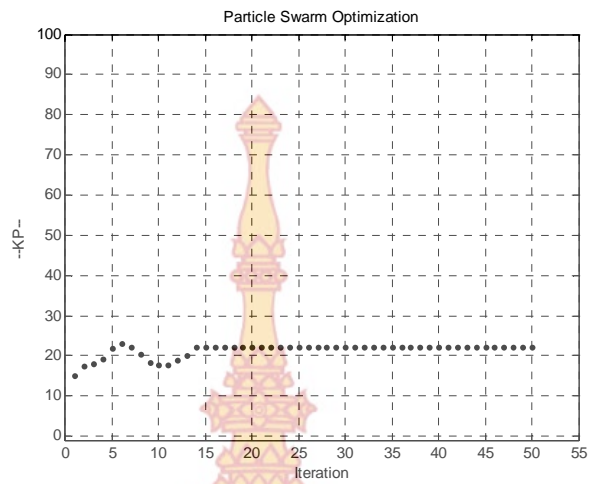
เมื่อทำการแทนค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดลงในฟังก์ชันถ่ายโอน ของระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นจะได้ดังสมการ

$$G(s) = \frac{547.5}{s^2 + 547.6s + 547.5} \quad (4.1)$$

เมื่อได้สมการฟังก์ชันถ่ายโอนระบบควบคุมดังกล่าว และเขียนบล็อกในโปรแกรม SIMULINK ดังภาพที่ 4.2 เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุม กระบวนการในการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมที่ไต่ด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค จะมีกระบวนการและค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ดังที่กล่าวในหัวข้อที่ 7 ในบทที่ 3 และทำการทดลอง โดยการทดลองนั้นจะทำการแบ่งเป็นจำนวนรอบในการค้นหา เพื่อสังเกตค่าพารามิเตอร์ที่ได้ว่ามีความแตกต่างหรือสอดคล้องกันหรือไม่ ซึ่งหาค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากจำนวนรอบในการค้นหา ไม่เป็นไปในทางเดียวกันนั้นหมายถึง ค่าพารามิเตอร์ที่ได้นั้นเชื่อถือไม่ได้ สำหรับฟังก์ชันวัตถุประสงค์นั้นเลือกค่า ดัชนีสมรรถนะของระบบแบบ ค่าปริพันธ์ของค่าผิดพลาดพร้อมแปรตามเวลา (Integral Time-Absolute Error: ITAE) และจำนวนรอบในการค้นหาคือ 50 รอบ และ 60 รอบ ผลการทดลองที่ได้เป็นดังนี้



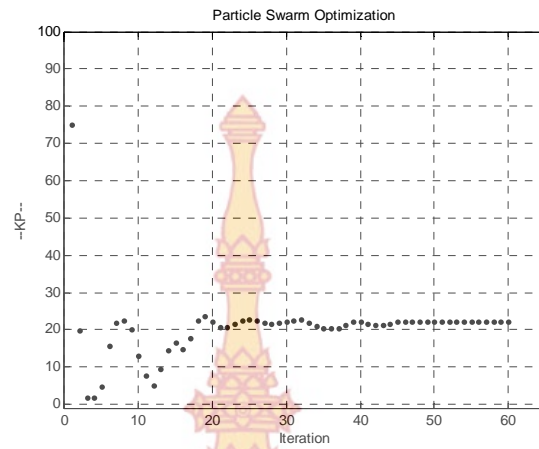
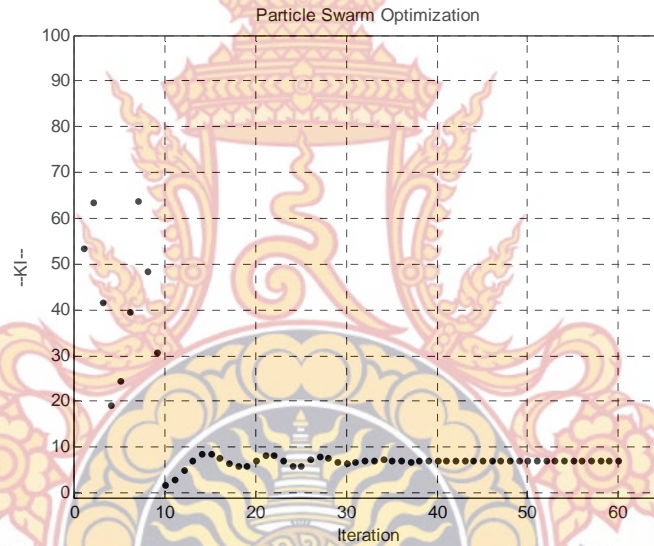
ภาพที่ 70 บล็อก SIMULINK ที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 71 ผลการทดลองหาค่า K_p และ K_i ที่จำนวนรอบ 50 รอบ

ตารางที่ 3 ผลการทดลองจากการค้นหาจำนวน 50 รอบ

ค่าพารามิเตอร์	ค่าที่ได้
ค่าเกน K_p	22.24
ค่าเกน K_i	7.08
ดัชนีสมรรถนะของระบบ (ITAE)	0.0139
เปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกิน (M_p)	0 %

(ก) ค่า K_p (ข) ค่า K_i

ภาพที่ 72 ผลการทดลองหาค่า K_p และ K_i ที่จำนวนรอบ 60 รอบ

ตารางที่ 4 ผลการทดลองจากการค้นหาจำนวน 60 รอบ

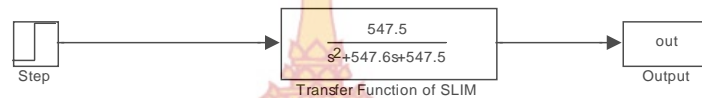
ค่าพารามิเตอร์	ค่าที่ได้
ค่าเกน K_p	22.14
ค่าเกน K_i	7.079
ดัชนีสมรรถนะของระบบ (ITAE)	0.0139
เปอร์เซ็นต์ค่าฟุงเกิน (M_p)	0 %

เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมแล้วนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ ทดสอบกับแบบจำลองระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำ

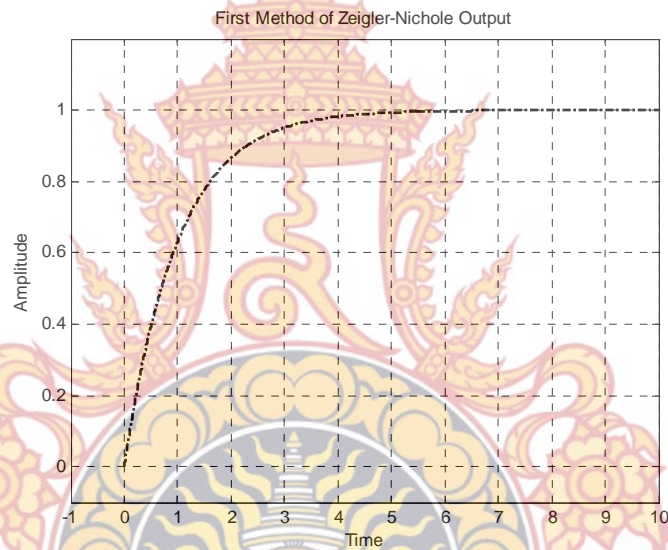
2.2 ผลการทดลองระบบควบคุมพีไอที่ได้จากวิธีของ Zeigler-Nichole

จากที่กล่าวถึงทฤษฎีการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมด้วยวิธีของ Zeigler-Nichole นั้นสามารถกระทำได้ 2 วิธี และในการเลือกวิธีใดมาทำการแก้ปัญหานั้นให้ดูจากผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งจากการทดสอบผลได้ดังนี้

1. ผลการทดสอบด้วยวิธีการที่ 1 (Reaction Curve)



(ก) บล็อก SIMULINK ที่ใช้ในการทดสอบ

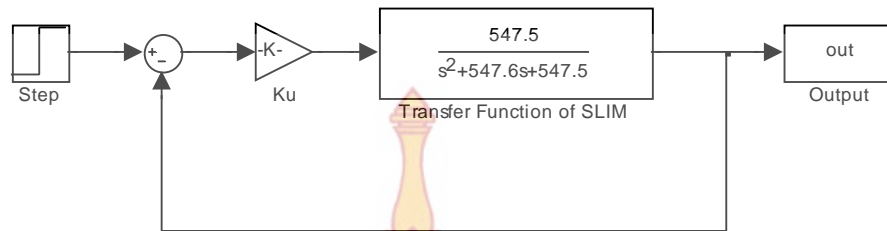


(ข) ผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตต่อสัญญาณหนึ่งหน่วย (Unit-step)

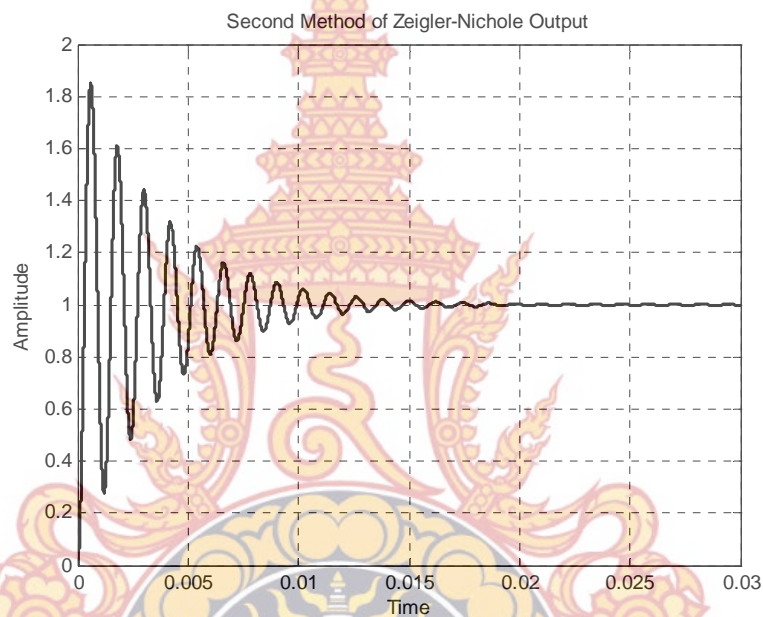
ภาพที่ 73 การหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมด้วยวิธี Ziegler-Nichole ด้วยวิธีการที่ 1

จากที่กล่าวถึงการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมด้วยวิธี Zeigler-Nichole วิธีการที่ 1 ได้นั้นสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะต้องเป็นแบบ S-Curve แต่จากการทดลองนั้น ไม่สามารถใช้วิธีการที่ 1 ของ Zeigler-Nichole ได้เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตไม่เป็น S-Curve ดังนั้นจะต้องเลือกใช้วิธีการที่ 2 ซึ่งผลที่ได้แสดงดังหัวข้อต่อไป

2. ผลการทดสอบด้วยวิธีการที่ 2 (Ultimate Sensitivity)



(ก) บล็อก SIMULINK ที่ใช้ในการทดลอง



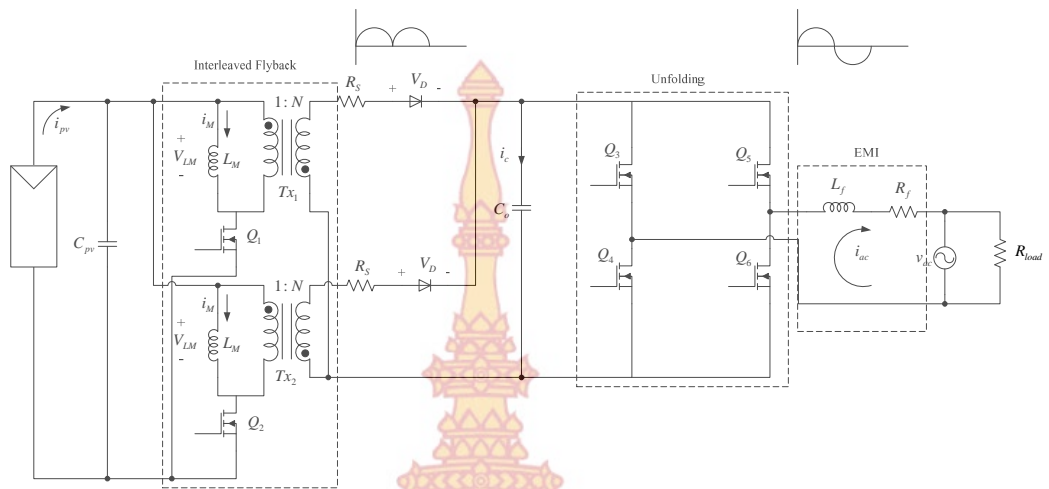
(ข) ผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตเมื่อทำการปรับค่าเกน 5000

ภาพที่ 74 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมด้วยวิธี Ziegler-Nichole ด้วยวิธีการที่ 2

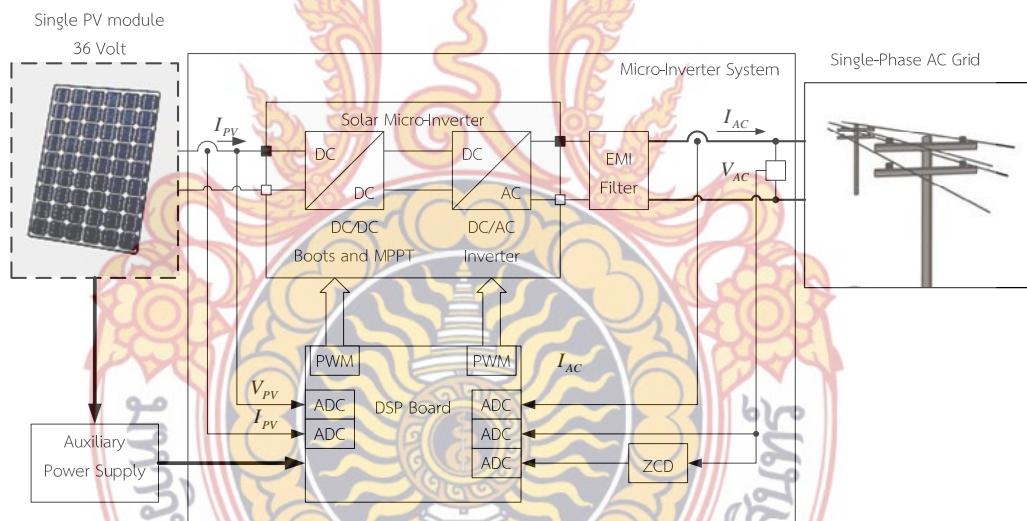
จากการผลการทดลองจะเห็นว่า การแกว่งของระบบไม่สม่ำเสมอ แม้จะทำการปรับเกนเท่ากับ 5000 เนื่องจากค่าเกนที่มากเกินไป สัญญาณที่ได้จากระบบควบคุมจะเกิดการ Saturate ซึ่งจะเห็นว่า การหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีการของ Z-N Tuning นั้นมีความยากลำบากในการหาค่าพารามิเตอร์ เมื่อระบบเกิดการแกว่งที่ไม่สม่ำเสมอ

3. ผลการทดสอบแบบจำลองและระบบควบคุมไมโครอินเวอร์เตอร์

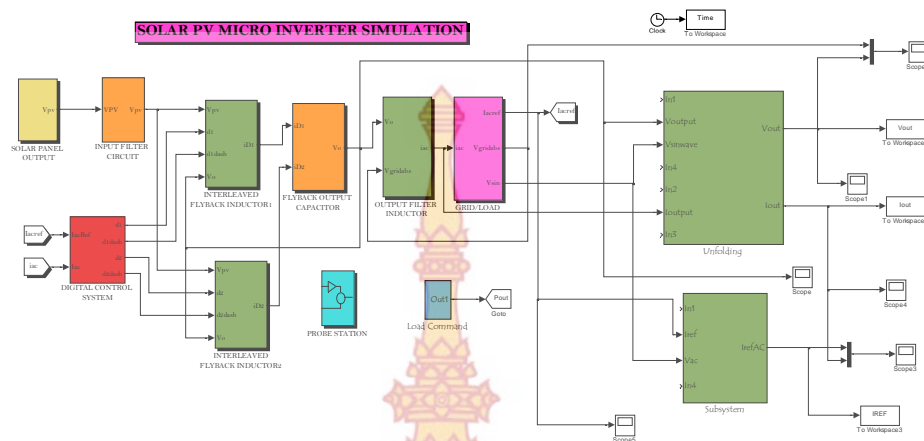
เมื่อทำการทดลองและหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อมา คือนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้แทนลงในแบบจำลองระบบควบคุม และทดสอบกับแบบจำลองของไมโครอินเวอร์เตอร์ ที่สร้างขึ้นในโปรแกรม SIMULINK มีไดอะแกรมดังภาพที่ 75



ภาพที่ 75 โดอะแกรมแบบจำลองไมโครอินเวอร์เตอร์

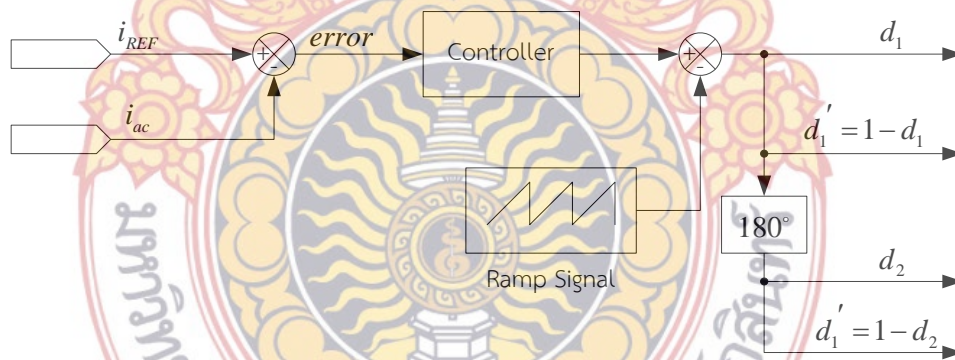


ภาพที่ 76 โดอะแกรมการทำงานของไมโครอินเวอร์เตอร์



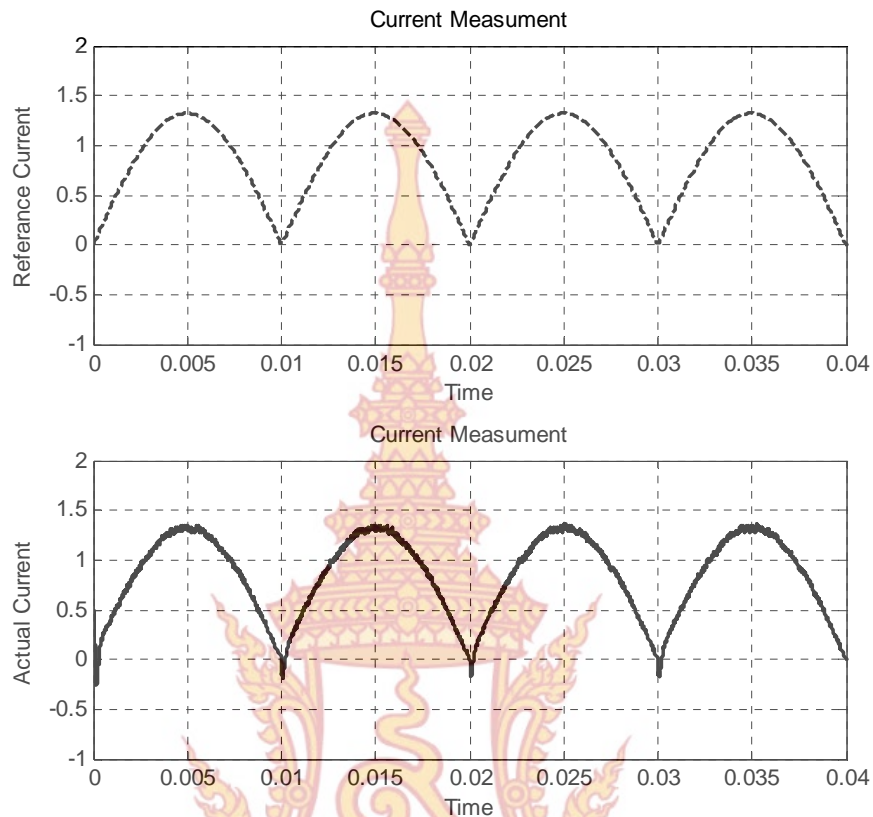
ภาพที่ 77 แบบจำลองไมโครอินเวอร์เตอร์บนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK

จากภาพที่ 77 การทำงานของไมโครอินเวอร์เตอร์เริ่มจากการวัดค่ากระแสและแรงดันด้านเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า นำสัญญาณแรงดันที่วัดได้เข้าวงจรหาค่าตำแหน่ง 0 หรือ Zero Crossing เพื่อใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงในการเชื่อมต่อไมโครอินเวอร์เตอร์เข้าระบบการไฟฟ้า สัญญาณกระแสคือสัญญาณที่ต้องการควบคุม ดังนั้นสัญญาณกระแสที่วัดได้จะเป็นสัญญาณอ้างอิงของสัญญาณที่สร้างขึ้น ดังแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมในภาพที่ 51



ภาพที่ 78 บล็อกไดอะแกรมการวัดกระแสและเปรียบเทียบ

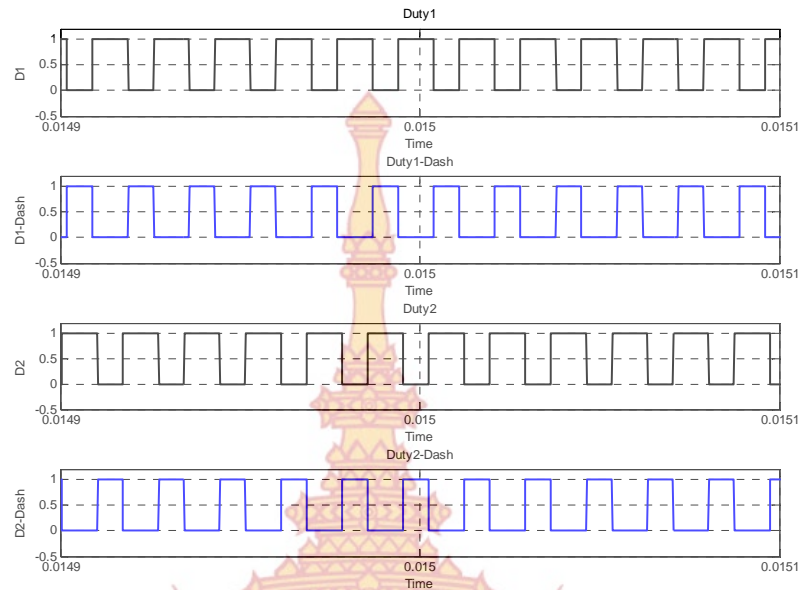
รูปคลื่นสัญญาณกระแสอ้างอิงที่วัดได้เป็นสัญญาณรูปคลื่นแบบไฟฟ้ากระแสตรงเต็มคลื่น ดังภาพที่ 79 (ก) และสัญญาณกระแสเอาต์พุตที่วัดได้จะต้องสามารถตามสัญญาณอ้างอิงได้ ดังนั้นรูปคลื่นของสัญญาณกระแสเอาต์พุตจึงเป็นสัญญาณแบบไฟฟ้ากระแสตรงเต็มคลื่นเช่นกัน ดังภาพที่ 79 (ข) เมื่อทำการเปรียบเทียบสัญญาณทั้งสองจะต้องเป็นสัญญาณในรูปแบบเดียวกัน



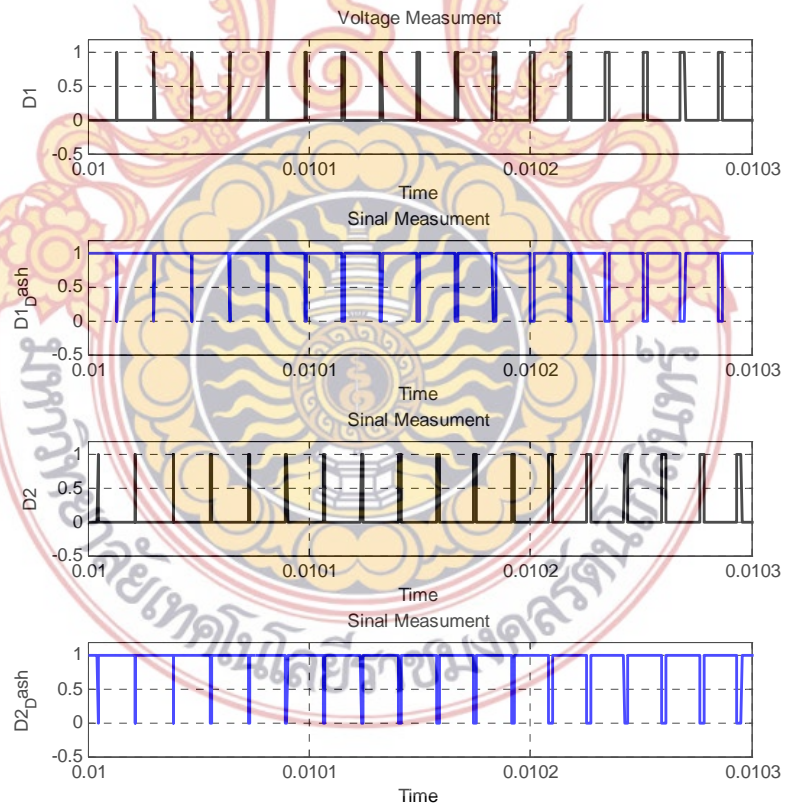
ภาพที่ 79 กระแสอ้างอิงและกระแสวัดจริง

จากภาพจะเห็นว่าสัญญาณกระแสเอาต์สามารถตามสัญญาณกระแสอ้างอิงได้ และมีผลการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงที่ดี

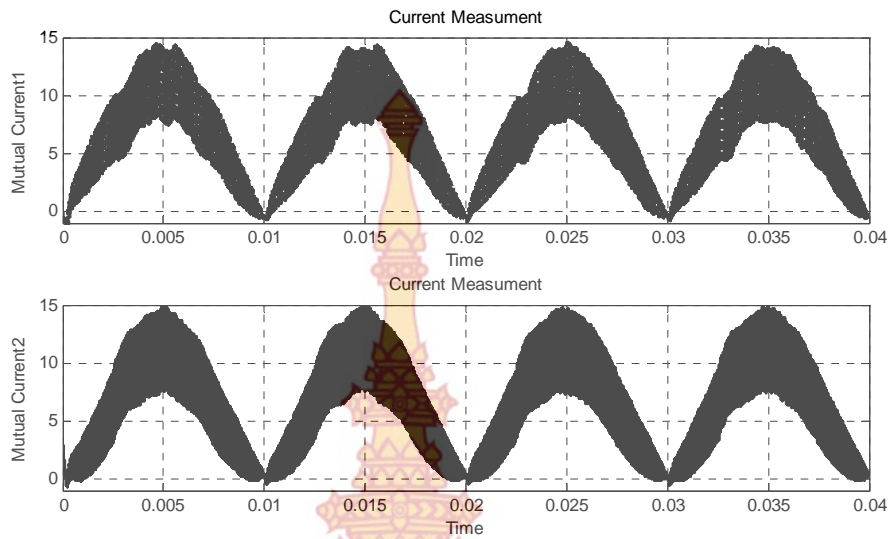
จากบล็อกไดอะแกรมดังภาพที่ 78 สัญญาณกระแส 2 สัญญาณถูกเปรียบเทียบกัน เกิดเป็นผลต่างของสัญญาณจากนั้นนำเข้าตัวควบคุม (Controller) เพื่อปรับปรุงผลตอบสนองของระบบ และนำสัญญาณที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle) เพื่อสร้างสัญญาณพัลส์วิธี่มอดูเลชั่น และทำการเลื่อนเฟสของสัญญาณสวิตซ์ Q_1 และ Q_2 ซึ่งจะสวิตซ์ด้วยความถี่สูง โดยที่สัญญาณจุดชนวนขาเกตของ Q_1 และ Q_2 มีระยะห่างกัน 180 องศาทางไฟฟ้า สัญญาณที่ได้จากตัวควบคุมเป็นสัญญาณแบบเต็มคลื่นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม รูปคลื่นของสัญญาณ PWM จะเป็นสัญญาณมอดูเลชั่นรูปสัญญาณเต็มคลื่น ทำให้กระแสที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงฟลายแบคเป็นสัญญาณแบบเต็มคลื่น ดังภาพที่ 80 ถึงภาพที่ 82



ภาพที่ 80 สัญญาณสวิทช์ Q_1 และ Q_2 เมื่อ Duty cycle = 50%

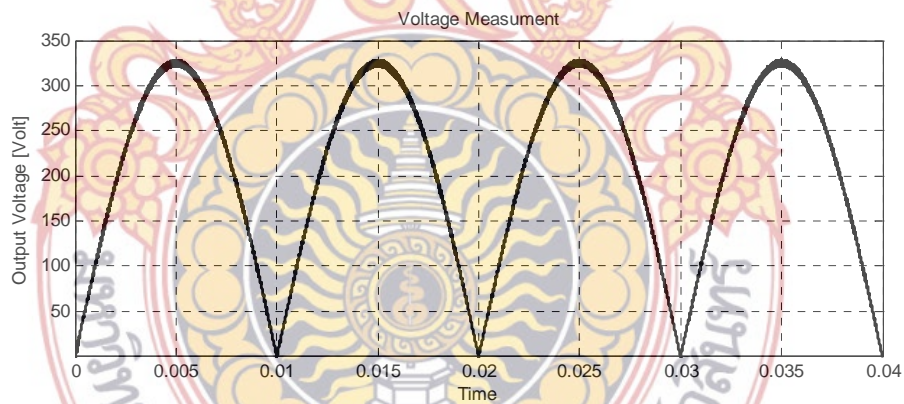


ภาพที่ 81 สัญญาณสวิทช์ Q_1 และ Q_2 เมื่อ Duty cycle = 100%



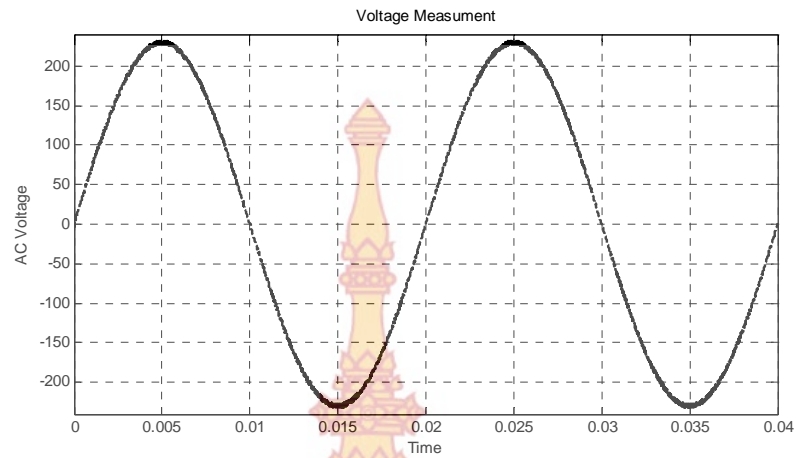
ภาพที่ 82 สัญญาณรูปคลื่นกระแสไหลขดลวดหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ

แรงดันเอาต์พุตจากหม้อแปลงฟลายแบคคกร่อมตัวเก็บประจุ C_o จะเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่นดังภาพที่ 83

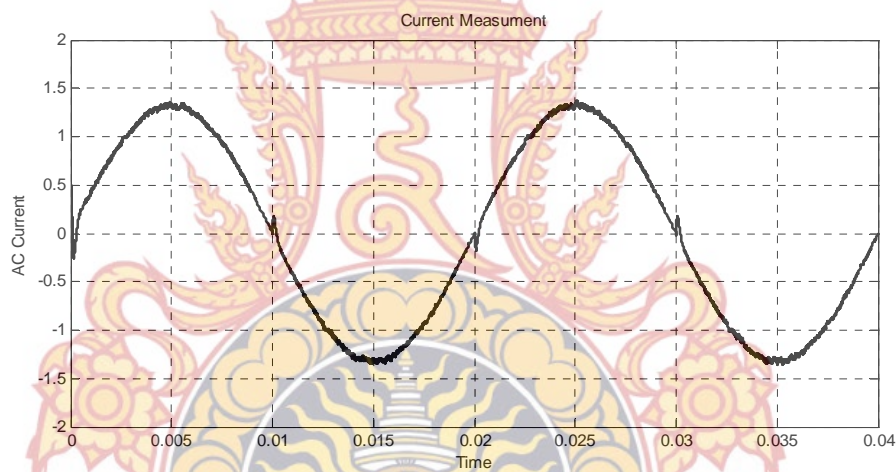


ภาพที่ 83 สัญญาณแรงดันเอาต์พุต

จากสัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงเต็มคลื่นขนาดประมาณ 310 โวลต์ จากนั้นทำการคลี่สัญญาณดังกล่าวให้เป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ขนาด 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ ผ่านวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ภาพสัญญาณที่ได้แสดงดังภาพที่ 84 และสัญญาณกระแสเอาต์พุตเมื่อผ่านวงจรคลี่สัญญาณแสดงดังภาพที่ 85

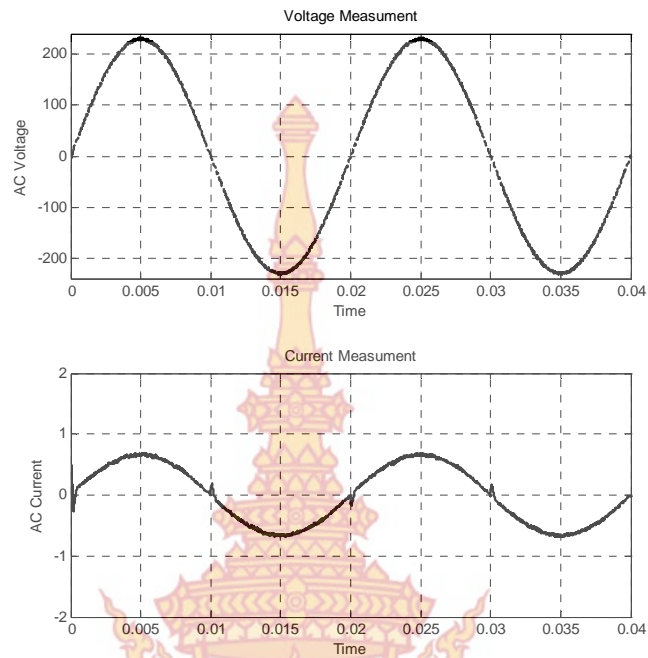


ภาพที่ 84 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตขนาด 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์

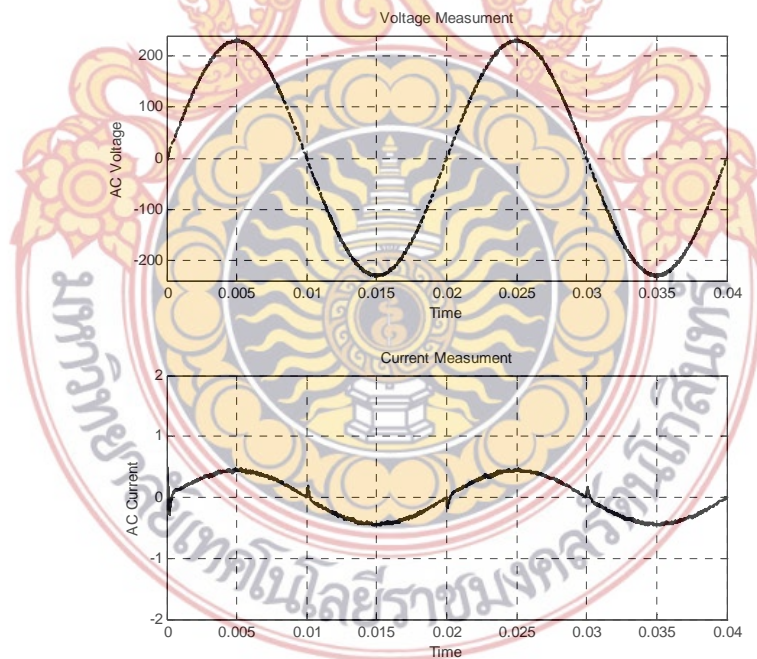


ภาพที่ 85 สัญญาณกระแสเอาต์พุต

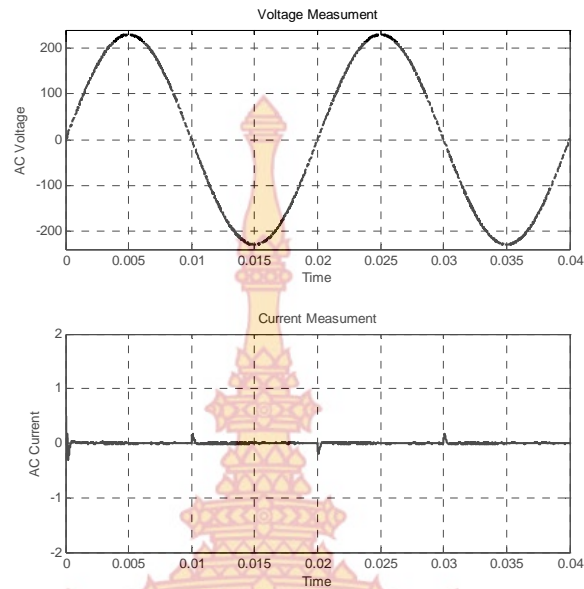
จากการทดสอบแบบจำลองในข้างต้นแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองของไมโครอินเวอร์เตอร์ ที่สร้างขึ้นให้ผลการทำงานเป็นไปตามเงื่อนไขทุกประการ ลำดับต่อไปคือการทดสอบการทำงานของไมโครอินเวอร์เตอร์ขณะมีโหลดเปลี่ยนแปลงและไม่มีโหลด ผลการทำงานขณะมีการเปลี่ยนแปลงของโหลด 50 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังภาพที่ 86 และเมื่อโหลดเปลี่ยนแปลงเหลือ 25 เปอร์เซ็นต์ดังภาพที่ 87 และเมื่อไม่มีโหลดดังภาพที่ 88 ตามลำดับ



ภาพที่ 86 สัญญาณกระแสและแรงดันเมื่อมีโหลดประมาณ 50 เฮอร์เซ็นต์

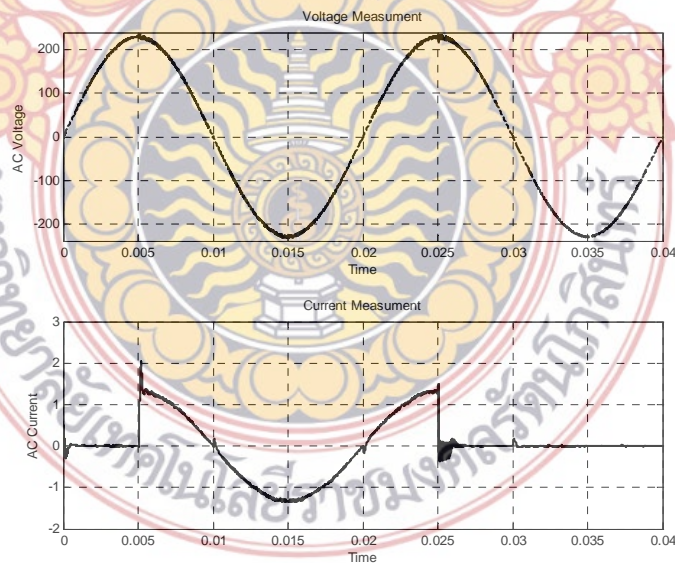


ภาพที่ 87 สัญญาณกระแสและแรงดันเมื่อมีโหลดประมาณ 25 เฮอร์เซ็นต์



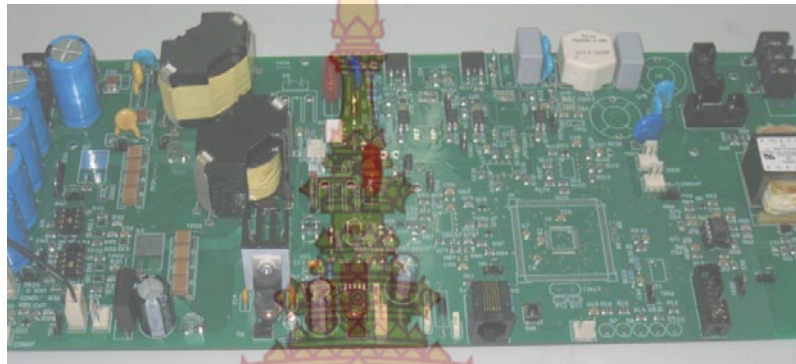
ภาพที่ 88 สัญญาณกระแสและแรงดันเมื่อไม่มีโหลด

ทดสอบการเปลี่ยนโหลดอย่างฉับพลันเพื่อดูผลตอบสนองของตัวควบคุมที่ออกแบบ และให้ทราบถึงประสิทธิภาพการทำงานของตัวควบคุม เมื่อต่อโหลดขนาด 100 เปอร์เซ็นต์เข้ากับอินเวอร์เตอร์อย่างฉับพลันที่เวลา 0.005 วินาที ดังภาพที่ 89



ภาพที่ 89 สัญญาณกระแสและแรงดันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลดอย่างฉับพลัน

การทดสอบแบบจำลองที่สร้างขึ้นแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองดังกล่าวสามารถใช้ในการพิสูจน์สมมติฐาน ของการสร้างไมโครอินเวอร์เตอร์ต้นแบบเพื่อใช้ในการทดสอบการทำงานจริง ไมโครอินเวอร์เตอร์ต้นแบบที่สร้างขึ้นมีขนาดพิกัดตามแบบจำลองคือ กำลังวัตต์ 215 วัตต์ ภาพของชุดต้นแบบไมโครอินเวอร์เตอร์แสดงดังภาพที่ 90

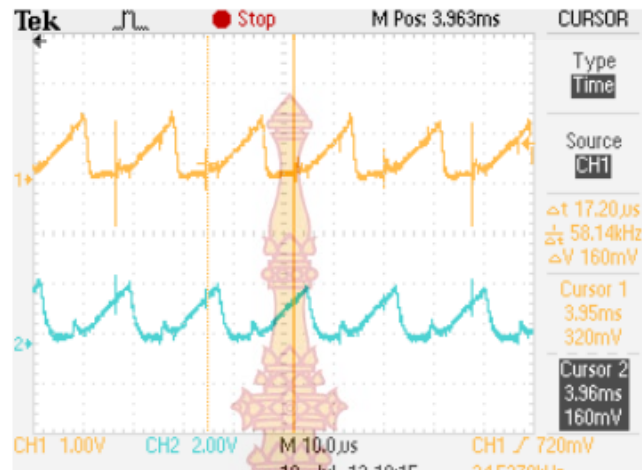


ภาพที่ 90 ไมโครอินเวอร์เตอร์ต้นแบบสำหรับทดสอบการทำงานจริง

การทดสอบโดยการวัดกระแสที่จ่ายเข้าหม้อแปลงฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ภาพขยายของกระแสที่มีการสวิตช์เลือนเฟส 180 องศาทางไฟฟ้า และวัดสัญญาณกระแสและแรงดันด้านออกขณะที่มีโหลด 40 เพอร์เซ็นต์ และมีโหลด 70 เพอร์เซ็นต์ รูปคลื่นกระแสไหลเข้าขดลวดหม้อแปลงฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แสดงดังภาพที่ 91

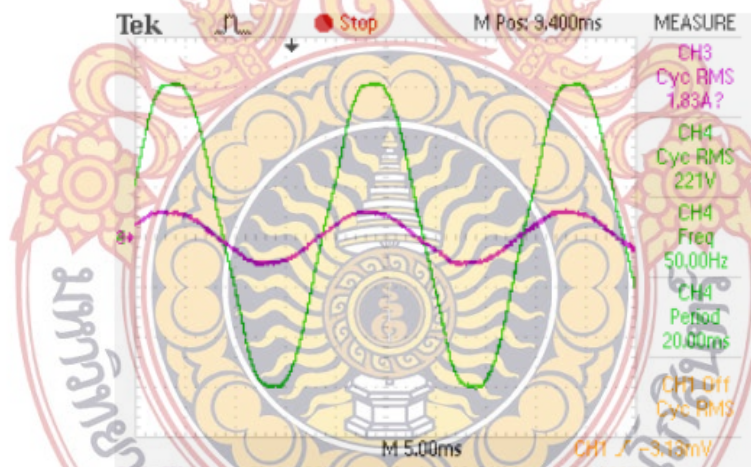


ภาพที่ 91 สัญญาณกระแสไหลเข้าหม้อแปลงฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์เฟส 1 และ 2 ภาพขยายของกระแสทั้ง 2 จากภาพที่ 91 แสดงให้เห็นว่ากระแสทั้ง 2 มีมุมสวิตช์ห่างกัน 180 องศาทางไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 92

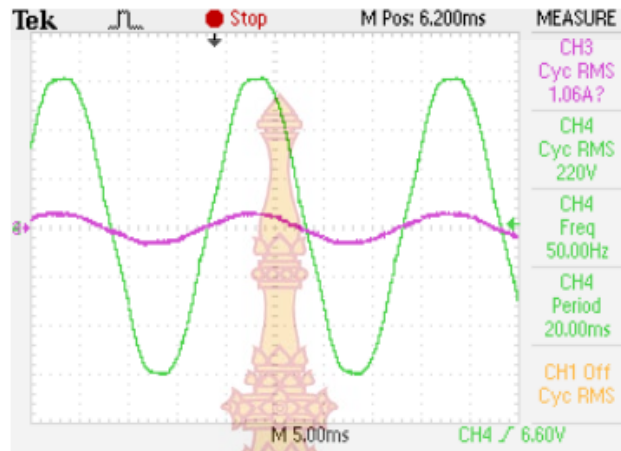


ภาพที่ 92 ภาพขยายสัญญาณกระแสวิตซ์ Q_1 และ Q_2

จากนั้นทำการเชื่อมต่อโหลดขนาด 70 เปอร์เซ็นต์ และสัญญาณเชื่อมต่อโหลดขนาด 40 เปอร์เซ็นต์ เพื่อวัดสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดันขณะมีโหลด ภาพคลื่นสัญญาณแสดงดังภาพที่ 93 และ ภาพที่ 94



ภาพที่ 93 แรงดันและกระแสขณะจ่ายโหลด 70 %



ภาพที่ 94 แรงดันและกระแสขนาดจ่ายโหลด 40 %

การทดสอบชุดไมโครอินเวอร์เตอร์ต้นแบบที่สร้างขึ้นสามารถทำงานได้เป็นไปตามแบบจำลองที่สร้างขึ้น สามารถจ่ายโหลดได้ และเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าได้

4. ทดสอบการทำงานของระบบการสื่อสารซิกบี

4.1 การใช้งานวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และชุดส่งสัญญาณ xbee บอร์ดรับและบอร์ดส่งสัญญาณ

จากการทดลองการส่งสัญญาณความถี่ xbee ในระยะ 100-300 เมตร ช่วงระยะในการตอบสนองในการส่งสัญญาณสามารถตอบสนองการทำงานกันได้ดี เมื่อ xbee ตัวที่ 1 (ตัวส่งสัญญาณ) ส่งสัญญาณความถี่ไปหา xbee ตัวที่ 2 (ตัวรับสัญญาณ) เมื่อ xbee ตัวที่ 2 ได้รับสัญญาณความถี่แล้วจะทำการส่งค่าผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ให้แสดงค่าผ่านหลอด LED เพื่อแสดงผลว่าได้รับสัญญาณความถี่เข้ามาแล้ว ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้ได้กำหนดระยะทางเป็น 3 ตำแหน่งบนพื้นที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตวังไกลกังวลแสดงดังภาพที่ 95



ภาพที่ 95 แสดงตำแหน่งจุดส่งสัญญาณและจุดรับสัญญาณ 3 ระยะการทดลองในพื้นที่

จากภาพที่ 95 จะบอกตำแหน่งจุด Start หรือตำแหน่งของตัวส่งสัญญาณซึ่งจะทำการทดสอบการรับ ส่งค่าของ xbee ทั้ง 2 ตัว ในพื้นที่โล่งกว้างออกเป็น 3 ระยะ โดยจะทำการบันทึกค่าของการรับส่งสัญญาณความถี่แต่ละครั้งว่า สามารถรับส่งสัญญาณความถี่ได้ระยะทางไกลสูงสุด

เท่าไร โดยผลสรุปที่ได้ออกมาดังนี้ เมื่อ xbee ทั้ง 2 ตัว แสดงสถานการณ์ทำงานในตำแหน่ง (No) โดยจะกำหนดการเชื่อมต่อในการรับส่งสัญญาณความถี่ xbee ทั้ง 2 ตัว ให้มีการแสดงผลผ่านหลอด Ass ซึ่งจะสามารถทราบถึงสถานะของการเชื่อมต่อของสัญญาณระหว่าง xbee ทั้ง 2 ตัว จากการทดลองในตำแหน่งที่ 1 ระยะ 100 เมตร ปรากฏว่าหลอด Ass มีการแสดงผลอยู่ซึ่งหมายความว่า การเชื่อมต่อของสัญญาณการรับส่งยังคงทำงานได้อย่างปกติ และเมื่อทำการส่งค่าจากการส่งสัญญาณ จาก xbee ตัวที่ 1 ไปหา xbee ตัวที่ 2 ระยะทาง 100 เมตร xbee ตัวที่ 2 มีการตอบสนองโดยการส่งงานผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ให้แสดงผลผ่านหลอด LED จากการทดลองทั้ง 3 ระยะที่ได้กำหนดมานี้ ปรากฏว่ามีการเชื่อมต่อของสัญญาณที่คง และสามารถส่งค่าผ่าน xbee ทั้ง 2 ตัวได้ อย่างดีเยี่ยม เนื่องจากการทดสอบการทำงานนี้อยู่ในสภาพพื้นที่โล่งกว้างซึ่งเหมาะแก่การรับส่งสัญญาณมาก โดย จะไม่มีสิ่งกีดขวางต่อสัญญาณความถี่ที่ได้ส่งออกไป ทำให้การรับส่งสัญญาณนั้นมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ซึ่งจะแสดงดังภาพที่ 96 และ ภาพที่ 97



ภาพที่ 96 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และชุดส่งสัญญาณ



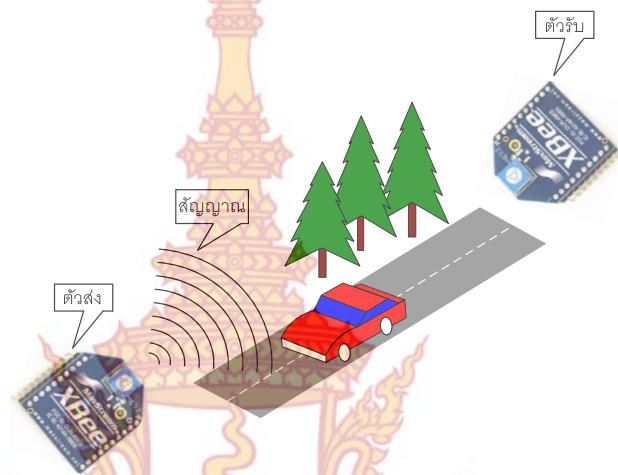
ภาพที่ 97 บอร์ดรับสัญญาณระยะ 300 เมตร

ตารางที่ 5 สรุปผลการทดลองระยะของการรับส่งสัญญาณ Xbee

ระยะทางในการรับส่งสัญญาณ Xbee	ผลการตอบสนอง		
	ทำงาน	ไม่ทำงาน	ระยะเวลาในการรับส่งสัญญาณ
100 เมตร	/		2 วินาที
200 เมตร	/		3 วินาที
300 เมตร	/		4 วินาที

400 เมตร	/		5 วินาที
500 เมตร	/		5วินาที
600 เมตร		/	-

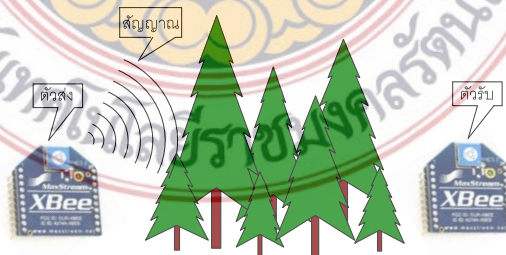
4.2 ตัวอย่างการทดลองการรับส่งสัญญาณ Xbee ใน 3 รูปแบบ



ภาพที่ 98 แสดงการเชื่อมต่อสื่อสารในพื้นที่โล่ง



ภาพที่ 99 แสดงการเชื่อมต่อสื่อสารในอาคาร



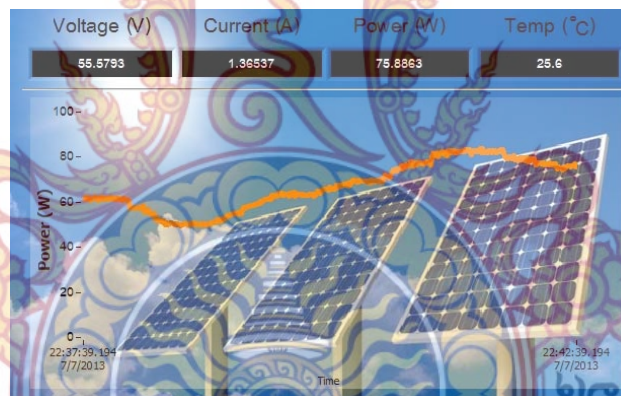
ภาพที่ 100 แสดงการเชื่อมต่อสื่อสารในพื้นที่ป่าไม้และสิ่งกีดขวาง

จากการเชื่อมต่อทั้ง 3 รูปแบบข้างต้นเป็นการเชื่อมต่อแบบ Star หรือ แบบ Broadcast ซึ่งเป็นการรับส่งข้อมูล แบบไม่เฉพาะเจาะจงจุดหมายปลายทาง หรือ Xbee ทุกตัวที่อยู่ในระบบเครือข่ายเดียวกันสามารถรับข้อมูลทุกข้อมูลได้ทุกตัว และตัวอย่างการใช้งานแบบ Star (Broadcast) จะประกอบไปด้วย Xbee ที่ทำงานเป็น 2 รูปแบบคือ แบบที่ 1 เป็น Coordinator จะทำหน้าที่สร้างเครือข่ายและ แบบที่ 2 เป็น End Device ทำหน้าที่เป็นลูกข่าย ซึ่งผลการทดลองการรับ-ส่ง สัญญาณการเชื่อมต่อนี้แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สรุปผลการทดลอง Xbee ทุกสภาพพื้นที่

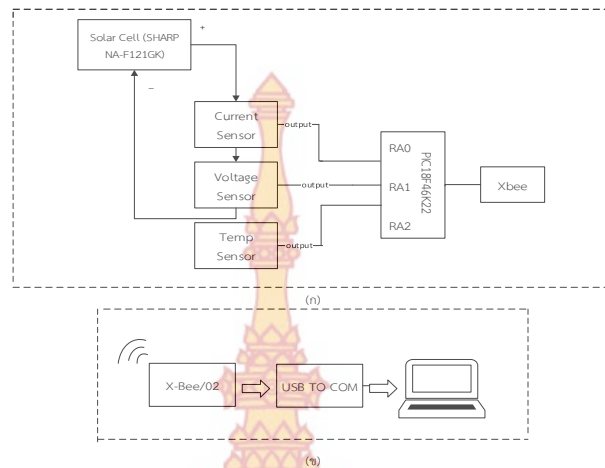
พื้นที่การรับส่งสัญญาณ Xbee	ผลการตอบสนอง		
	ทำงาน	ไม่ทำงาน	ระยะเวลาในการรับส่งสัญญาณ
พื้นที่โล่ง	/		2 วินาที
พื้นที่ในอาคาร สถานที่	/		3 วินาที
ป่าไม้และสิ่งขีดขวาง	/		5 วินาที

5. การทดสอบระบบการการวัดสัญญาณและระบบการเฝ้าระวัง



รูปที่ 101 หน้าจอแสดงผลการทำงานใน LabVIEW

ขั้นตอนที่ 1 ต่อวงจรวัดแรงดัน วงจรวัดกระแส และวงจรวัดอุณหภูมิโดยต่อสาย Output ของแต่ละอุปกรณ์ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F46K22 ดังรูป 102



รูปที่ 102

โครงสร้างรวมของระบบตรวจวัดพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบไร้สายโดยใช้การสื่อสารแบบ Zigbee ร่วมกับซอฟต์แวร์ LabVIEW

ขั้นตอนที่ 2 หลังจากต่อวงจรวัดแรงดัน วงจรวัดกระแส และวงจรวัดอุณหภูมิโดยต่อสาย Output ของแต่ละอุปกรณ์ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F46K22 แล้วทำการวัดสัญญาณต่างๆค่าที่วัดกำลังไฟฟ้าได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าที่ได้จากการทดลองของระบบการพัฒนาระบบตรวจวัดพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์

โวลต์มิเตอร์มาตรฐาน		แรงดันเอาท์พุทเซนเซอร์		LabVIEW	
แรงดัน Voltage (V)	กระแส Current (A)	Vout(v)	Iout (v)	แรงดัน Voltage (V)	กระแส Current (A)
50	0.75	4.89	2.591	49.98	0.71
45	0.68	4.39	2.583	44.79	0.62
40	0.60	3.90	2.574	40.11	0.55
35	0.52	3.42	2.563	35.21	0.5
30	0.45	2.93	2.552	30.23	0.39
25	0.37	2.44	2.544	24.78	0.37
20	0.30	1.96	2.533	19.7	0.30
0	0	0	2.502	0	0

ขั้นตอนที่ 3 จากตารางที่ 7 สามารถหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\left[\frac{\text{ค่าที่วัดได้จากมิเตอร์} - \text{ค่าจากซอฟต์แวร์}}{\text{ค่าที่วัดได้จากมิเตอร์}} \right] * 100$$

ตารางที่ 8 ค่าความผิดพลาดของระบบการพัฒนาระบบตรวจวัดพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์

โวลต์มิเตอร์มาตรฐาน		LabVIEW		ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด	
แรงดัน	กระแส	แรงดัน	กระแส	แรงดัน	กระแส
	Current (A)	Voltage (V)	Current (A)	Voltage (V)	Current (A)

Voltage (V)					
50	0.75	49.98	0.75	0.04%	0%
45	0.68	44.79	0.68	0.46%	0%
40	0.60	40.11	0.60	-0.27%	0%
35	0.52	35.21	0.53	-0.6%	-1.9%
30	0.45	30.23	0.44	-0.76%	2.2%
25	0.37	24.78	0.40	-0.88%	-8.1%
20	0.30	19.7	0.35	1.5%	16.66%

ตารางที่ 9 ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าความผิดพลาดจากการทดลอง

โวลต์มิเตอร์มาตรฐาน		กำลังไฟฟ้า (w)	กำลังไฟฟ้า Power จาก LabVIEW		กำลังไฟฟ้า (w)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
V	I	P	V	I	P	%
50	0.75	37.5	49.98	0.75	37.485	0.04%
45	0.68	30.6	44.79	0.68	30.457	0.46%
40	0.60	24	40.11	0.60	24.06	-0.24%
35	0.52	18.2	35.21	0.53	18.66	-2.46%
30	0.45	13.5	30.23	0.44	13.30	1.5%
25	0.37	9.25	24.78	0.40	9.912	-6.6%
20	0.30	6	19.7	0.35	6.89	12.9%

จากการทดลองระบบตรวจวัดพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบไร้สายโดยใช้การสื่อสารแบบ Zigbee ร่วมกับซอฟต์แวร์ LabVIEW จะพบว่าค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์ ค่ากระแส ค่าแรงดัน และค่ากำลังไฟฟ้า ทำการจ่ายโหลดโดยใช้ค่าความต้าน 27Ω จะเห็นได้ว่าระบบตรวจวัดพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบไร้สายโดยใช้การสื่อสารแบบ Zigbee ร่วมกับซอฟต์แวร์ LabVIEW แสดงผลค่าต่างออกมามีความผิดพลาดเล็กน้อยในส่วนของ การวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage) แต่ในส่วนของ การวัดกระแสไฟฟ้านั้นเกิดค่าที่วัดได้และเกิดความผิดพลาดน้อยอยู่ที่ระดับแรงดันระหว่าง 35-50 V แต่เมื่อระดับแรงดันต่ำกว่า 35 V และลดลงไปต่ำลงสัญญาณยิ่งแกว่งมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้เกิดความผิดพลาดตามมามากขึ้นเรื่อยๆตามลำดับดังตารางที่ 9

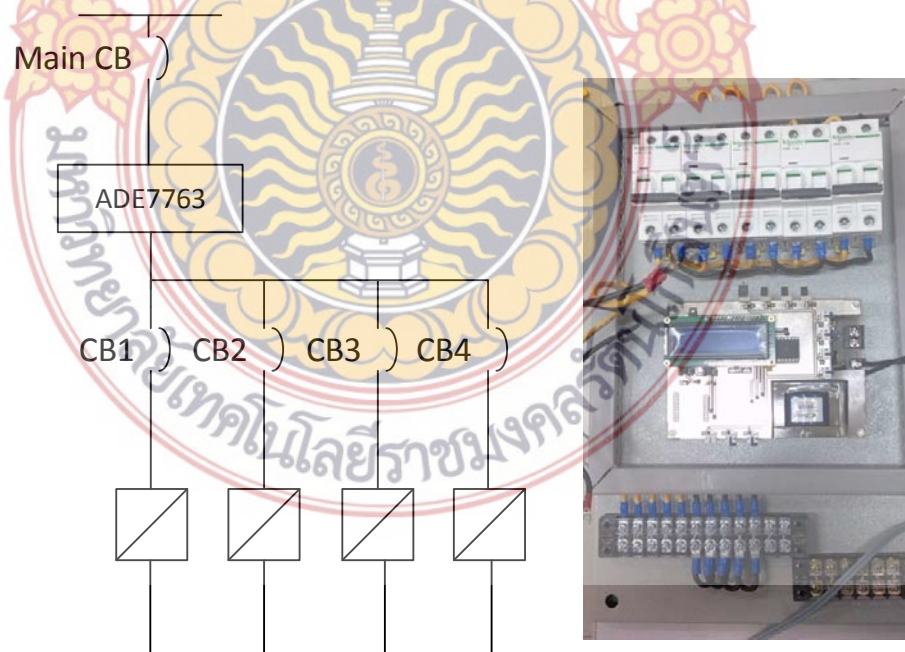
การทำงานของ การเฝ้าระวังระบบโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ใช้การลดระดับแรงดันโดยใช้ Power IC เบอร์ ADE7763 เป็นตัวประมวลผลค่าทางไฟฟ้าและใช้หม้อแปลงกระแส Current Tranformer เพื่อนำสัญญาณเข้าสู่ ADE7763 และหน่วยประมวลผลกลาง PIC18F46K22 และใน

ส่วนประมวลผลกลางมีการใช้ Current Transformer อีกครั้งในการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าแต่ละแผง ก่อนจะทำการจัดข้อมูลทั้งหมด เพื่อส่งข้อมูลให้กับ LabVIEW ต่อไป



ภาพที่ 103 โครงสร้างชุดทดลองระบบเฝ้าติดตามทำงานแบบไร้สาย

จากภาพที่ 103 แสดงอุปกรณ์การวัดค่าพลังงานไฟฟ้าด้วยบอร์ดประมวลผลสัญญาณโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการเชื่อมต่อเข้ากับระบบ เมื่อเชื่อมต่อระบบทั้งหมดเข้าด้วยกัน ผ่านอุปกรณ์ป้องกันด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 10A แล้วการติดตั้งอุปกรณ์ดังภาพ



ภาพที่ 104 โครงสร้างชุดทดลองที่ต่อเข้ากับระบบ

หลังจากติดตั้งอุปกรณ์เรียบร้อยแล้วทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ระบบแล้วทำการเปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ทุกตัว ให้อุปกรณ์จ่ายพลังงานให้ Inverter ทุกตัวทั้งสี่ตัวหลังจากนั้นสังเกตแรงดันไฟฟ้า โปรแกรมจะแสดงค่าต่างๆขึ้นมาบนจอ LCD 16x2 ดังภาพที่ 105 โดยที่หน้าจอจะแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าและ พลังงานไฟฟ้า ของระบบที่ทำการวัดได้ทั้งหมด



ภาพที่ 105 จอแสดงผล LCD 16x2

การทดลองการส่งสัญญาณไร้สาย ใช้ตัวรับส่งสัญญาณทั้งหมดสี่ตัว โดยให้ชื่อว่า Xbee 1, Xbee 2, Xbee 3, Xbee 4 โดยให้ตัวที่ 1 และ 4 มีไอพีที่สามารถสื่อสารถึงกันได้ และตัวที่ 2 และ 3 เป็นตัวที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเพื่อให้ตัว 1 และ 4 ที่อยู่ห่างกันสามารถส่งสัญญาณถึงกันได้ โดยมีตำแหน่งการติดตั้งดังภาพที่ 106



ภาพที่ 106 การทดลองการส่งสัญญาณด้วย Xbee

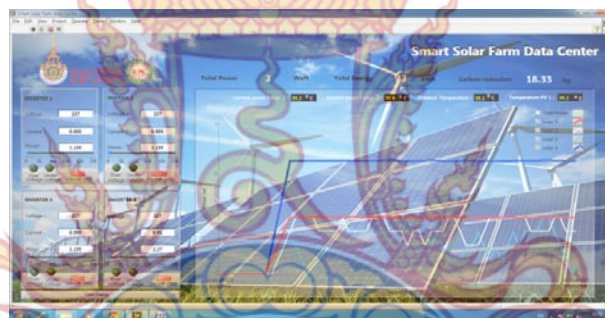
การเชื่อมต่อ Xbee โดยใช้การกำหนด ID ของแต่ละตัวโดยให้ส่งสัญญาณหากันโดยตรงเป็นเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพสูงเนื่องจาก ข้อมูลสามารถส่งไปถึงเป้าหมายได้ในตำแหน่งที่แน่นอน ระบบนี้สามารถรับส่งข้อมูลไปยังจุดหมายปลายทางได้ แม้จะเกิดความเสียหายของระบบในบางส่วนก็ตาม (ขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบของผู้ใช้ด้วย) ซึ่งผลการทดลองการรับส่งสัญญาณการเชื่อมต่อในพื้นที่โล่งจะแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 สรุปผลการทดลองระยะของการรับส่งสัญญาณ Xbee ในพื้นที่โล่ง

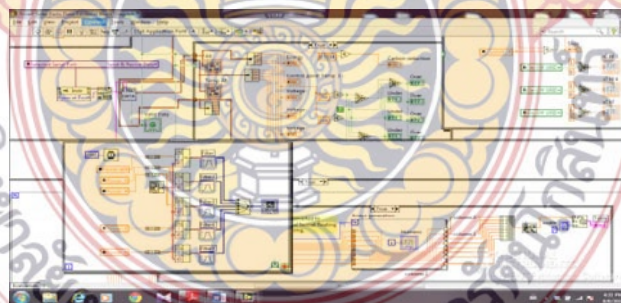
ระยะทางในการรับส่งสัญญาณ Xbee	ผลการตอบสนอง		
	ทำงาน	ไม่ทำงาน	ระยะเวลาในการรับส่งสัญญาณ
200 เมตร	/		2 วินาที
500 เมตร	/		2 วินาที
1000 เมตร	/		4 วินาที
ขยายสัญญาณ xbee 2-3	/		5 วินาที

การรับสัญญาณของโปรแกรม LabVIEW นั้นใช้การรับสัญญาณจากภายนอกในการรับสัญญาณผ่านคอมพิวเตอร์ ร่วมกับ Software X-CTU สามารถต่อ Xbee ร่วมกับ Mini Xbee USB Dongle ผ่าน USB Port ได้โดยตรง ซึ่งคอมพิวเตอร์จะมองเป็น Com Port (Serial UART)

โปรแกรม LabVIEW จะเน้นไปทางการติดผ่าน USB โดยการใช้การส่งผ่านข้อมูลทาง Com Port (Serial UART) จากการศึกษาโปรแกรม LabVIEW สามารถเขียนโปรแกรมได้หน้าจอแสดงที่ Front panel เป็นเครื่องมือวัดเสมือน โดยสามารถวัดค่าต่างๆ ได้ดังภาพที่ 107



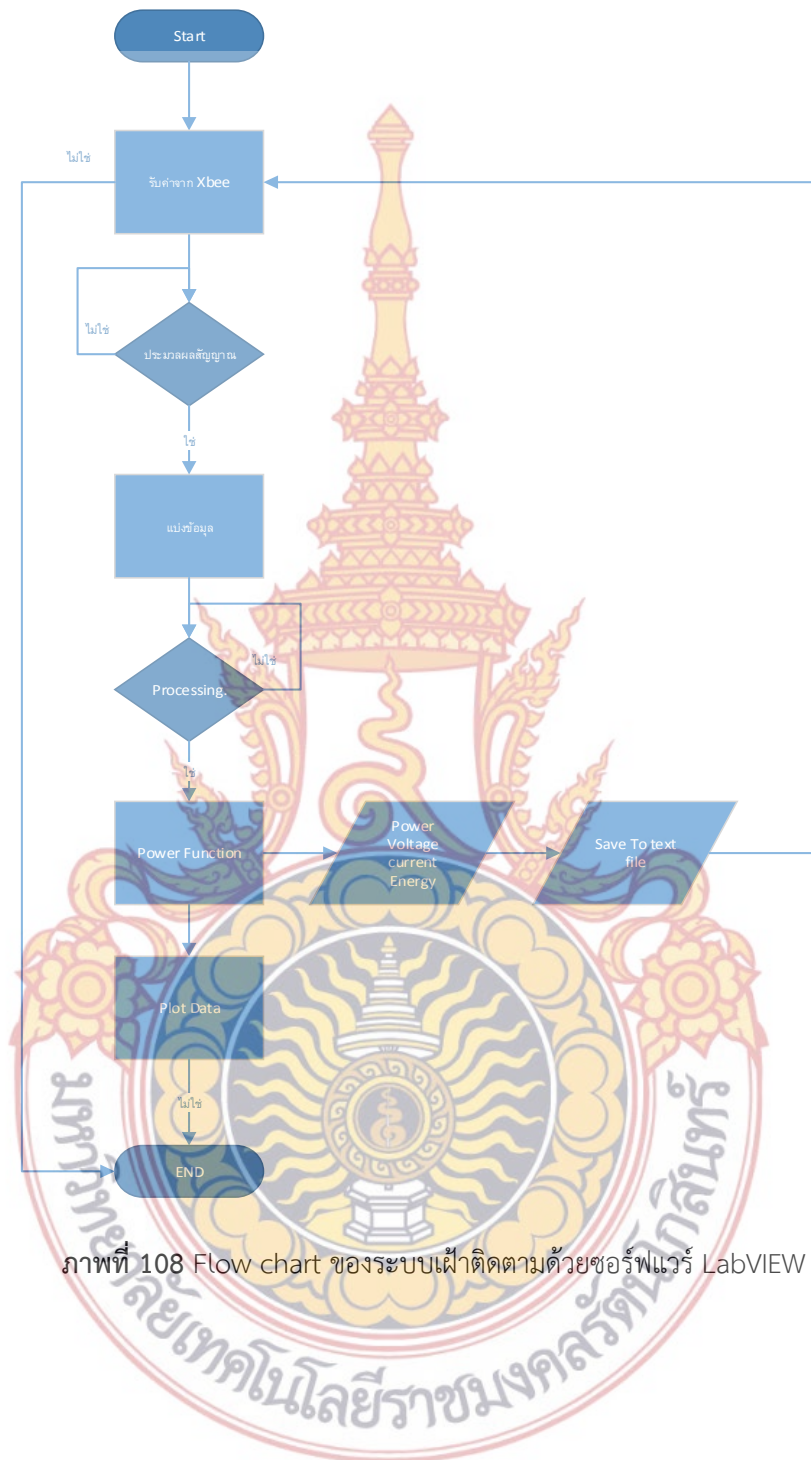
(ก) หน้าต่างแสดงผลของระบบเฝ้าติดตาม



(ข) โปรแกรมของระบบเฝ้าติดตาม

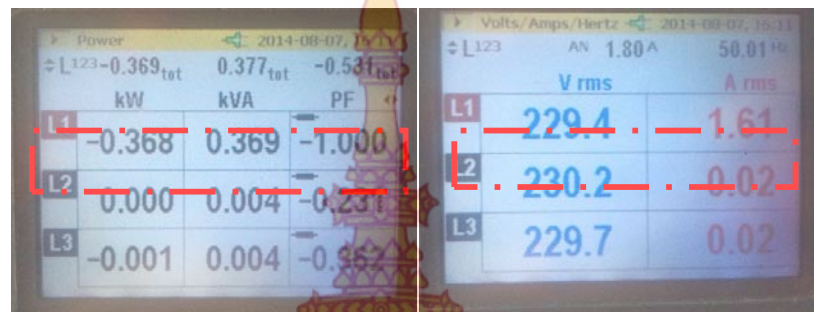
ภาพที่ 107 ซอร์ฟแวร์ในการแสดงผลด้วย LabVIEW

การทำงานของซอร์ฟแวร์ LabVIEW ในการแสดงผลและดูการเปลี่ยนแปลงแบบ Realtime รวมถึงการเก็บบันทึกข้อมูลต่างๆ มีลำดับการทำงานตามภาพที่ 108

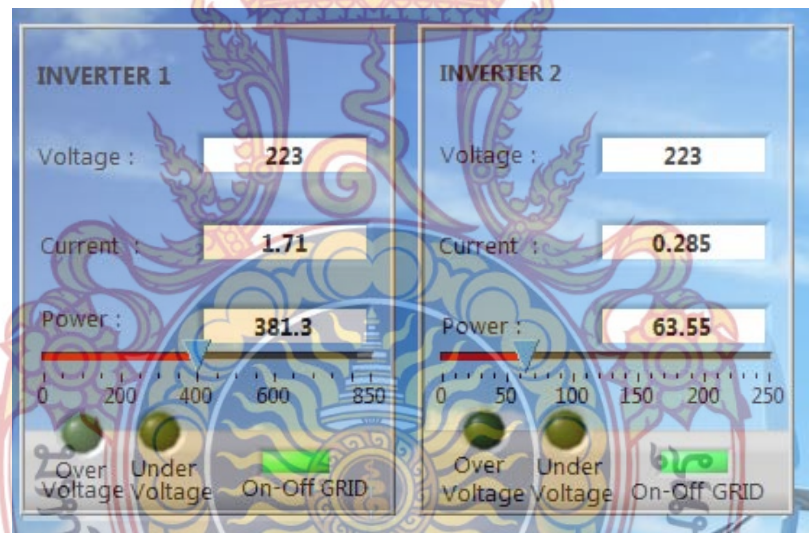


6. ผลการทดลองการสร้างเครื่องเฝ้าติดตามระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์

การสร้างเครื่องเฝ้าติดตามระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยซอฟต์แวร์ LabVIEW ที่ทำการทดลองนั้น เพื่อความถูกต้องและให้มีความน่าเชื่อถือสามารถนำค่าที่วัดได้มาเทียบกับ Power Meter และทดสอบสัญญาณทุกสัญญาณที่ได้ด้วยออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) โดยทดสอบระบบในชุดที่หนึ่ง



(ก) ผลการวัดจาก Power Meter



ภาพที่ 109 เปรียบเทียบการทำงานของซอฟต์แวร์ Labview และเครื่องมีวัดจริง

ผลจากการทดลองเปรียบเทียบค่าต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น Power Energy current voltage และ Temperature ในส่วนที่ต้องทำการแสดงผล Monitored แล้วสามารถนำค่านั้นมาทดสอบได้อีกวิธีการอื่นด้วยเพื่อให้ได้ค่าความแม่นยำมากที่สุด ซึ่งสามารถทดสอบเป็นสมการได้ดังนี้

กำลังไฟฟ้าเมื่อถูกนำมาใช้งานร่วมกับกฎของโอห์ม สามารถสรุปผลได้ดังนี้ กำลังไฟฟ้า (P) วัตต์ (W) คือ อัตราของงานที่ถูกกระทำในวงจรซึ่งเกิดกระแส (I) 1 แอมแปร์ (A) เมื่อแรงดัน (E) จ่าย

ให้วงจร 1 โวลต์ (V) กำลังไฟฟ้า หาได้จากผลคูณของแรงดัน มีหน่วยเป็นโวลต์ คูณด้วยกระแส มีหน่วยเป็นแอมแปร์ เขียนเป็นสมการออกมาได้ดังสมการ $P=EI$

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้า หน่วยมาตรฐานวัตต์ (W)
 E คือ แรงดัน หน่วยมาตรฐานโวลต์ (V)
 I คือ กระแส หน่วยมาตรฐานแอมแปร์ (A)

ถ้า E = 220 โวลต์ และ I=1.7 แอมแปร์

ดังนั้น $P = EI = 220 \times 1.7 = 374$ วัตต์

7. การบันทึกข้อมูล

การทำงานสุดท้ายในอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าที่ต้องมีนั้นคือการบันทึกข้อมูล (Data logger) บันทึกค่าที่วัดได้ลงในเครื่อง ตามช่วงเวลาที่เรากำหนดไว้ เช่น อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์, ความดัน เป็นต้น ซึ่งเราสามารถนำข้อมูลที่บันทึกไว้ นำออกมาแสดงผลในรูปของกราฟ หรือตารางได้ โดยการบันทึกค่าขึ้นอยู่กับงานว่าต้องการความละเอียดของข้อมูลมากแค่ไหนนั่นเอง ในระบบเฝ้าติดตามระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยซอฟต์แวร์ LabVIEW เป็นการแสดงผลแบบ Real time เป็นการเก็บค่าตลอดเวลา ดังนั้นจึงออกแบบการบันทึกข้อมูลที่สามารถตั้งเวลา ในการบันทึกข้อมูลได้ เช่นตั้งเวลาเป็นวัน เป็นเดือน เป็นปี สามารถเลือกเวลาและตั้งเวลาได้อย่างละเอียดถึงขนาดบันทึกข้อมูลระดับวินาทีก็ได้เช่นกัน และหลังจากทำการบันทึกข้อมูลแล้วสามารถนำข้อมูลมาดูผลการทำงานย้อนหลังและวิเคราะห์ข้อมูลในภายหลังได้อีกด้วย การบันทึกข้อมูลแบบ ต่อเนื่อง แบบรีเซ็ทข้อมูลทุก 06.00 น เพื่อขึ้นไฟล์ใหม่ ที่ช่อง Start Time คลิกเลือก รูปปฏิทิน จะมีหน้าต่างวันและเวลาขึ้นมาให้ทำการตั้งค่า สามารถตั้งค่าเวลาที่ต้องการทำการ หรือถ้าต้องการให้ทำงานจากเวลา ณ ปัจจุบัน กด Start Time To Now จะเป็นการทำงานทันที จากนั้นกด Ok แล้ว กดปุ่ม Record ให้เป็นสีเขียวโปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูล



ภาพที่ 110 การบันทึกข้อมูลและการตั้งเวลา

8. การตั้งค่า Data Recorder

หากโปรแกรมทำการบันทึกข้อมูลเรียบร้อยแล้วหน้าต่างโปรแกรมจะแสดง ที่อยู่ที่ใช้ในการจัดกับ Data และไฟสถานะ save data จะเปลี่ยนสีจากเขียวทึบเป็นเขียวสว่าง ดังภาพด้านล่าง



ภาพที่ 111 แสดง Data Recorder กำลังบันทึกข้อมูล

การตั้งเวลาหยุดการบันทึกข้อมูลในกรณีต้องการดูเวลา เช่น 10 นาที 10 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง เป็นต้น สามารถทำได้โดยทำทุกอย่างตามข้อที่ 1 เมื่อทำตามข้อหนึ่งเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ เลือกปฏิทิน Stop time ทำการเลือกเวลา ที่ต้องการหยุดการทำงาน จากนั้นกด OK เมื่อถึงเวลาที่กำหนด โปรแกรมจะหยุดบันทึกสามารถดูได้จาก Led สีเขียวสว่างจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้ม



ภาพที่ 112 แสดงการตั้งค่าหยุดการบันทึกข้อมูล



ภาพที่ 113 แสดงการทำงานเมื่อไม่อยู่ในเงื่อนไขเวลา หยุดบันทึกข้อมูล

9. โปรแกรมการบันทึกข้อมูล

โปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูล ทุกๆ 10 วินาที โดยเซฟเป็นไฟล์นามสกุล .LVM เก็บไว้ที่ MY Computer ไดรฟ์ C โดยชื่อของข้อมูลจะเป็นรูปแบบไฟล์ที่ชื่อว่า data_YY-MM-DD_HHMM.LVM โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ YY คือ ปี, MM คือ เดือน, DD คือ วัน, HHMM คือ เวลา สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ได้ด้วยโปรแกรม Excel, Matlab เป็นต้น ตัวอย่างเช่น [data_14-06-05_1053] ข้อมูลเริ่มบันทึกตั้งแต่วันที่ 05/06/2014 เป็นต้น

Notepad														
lp														
4/7/2014 11:21:15 228.000000 1.429000 327.000000 32.900000 172.140000 1.140000 1.140000 193.800000 35.100000 34.100000 36.200000 32.800000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:21:15 229.000000 1.431000 324.000000 32.900000 179.760000 1.140000 1.140000 193.790000 35.100000 34.200000 36.100000 32.700000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:21:15 228.000000 1.431000 327.000000 32.900000 173.280000 1.140000 0.000000 192.660000 35.000000 34.200000 36.200000 33.000000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:21:15 228.000000 1.426000 326.000000 32.900000 174.420000 1.140000 0.000000 199.300000 35.100000 34.200000 36.200000 33.100000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:21:15 227.000000 1.423000 324.000000 32.900000 175.920000 1.135000 1.135000 196.350000 35.000000 34.400000 36.200000 33.300000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:22:03 227.000000 1.446000 329.000000 32.900000 174.790000 1.135000 1.135000 197.490000 35.100000 34.400000 36.000000 33.400000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:22:15 228.000000 1.429000 326.000000 32.900000 176.700000 1.140000 1.140000 192.660000 35.100000 34.400000 36.000000 33.400000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:22:15 227.000000 1.426000 324.000000 32.900000 174.790000 1.135000 1.135000 194.810000 35.000000 34.400000 36.200000 33.400000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:22:35 228.000000 1.415000 324.000000 32.900000 175.560000 1.140000 0.000000 191.520000 35.000000 34.400000 36.200000 33.300000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:22:45 227.000000 1.408000 320.000000 32.900000 173.650000 1.135000 1.135000 187.270000 35.000000 34.500000 36.200000 33.200000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:22:55 228.000000 1.396000 319.000000 32.900000 173.280000 1.140000 1.140000 192.660000 35.000000 34.200000 36.200000 33.100000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:22:05 227.000000 1.390000 316.000000 32.900000 172.520000 1.135000 1.135000 189.540000 35.100000 34.400000 36.200000 33.000000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:21:15 227.000000 1.407000 320.000000 32.900000 171.385000 1.135000 0.000000 188.410000 35.000000 34.200000 36.200000 33.200000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:21:25 227.000000 1.410000 320.000000 32.900000 174.790000 1.135000 1.135000 186.140000 35.000000 34.400000 36.200000 33.100000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:21:35 227.000000 1.404000 319.000000 32.900000 170.250000 1.135000 1.135000 186.140000 35.000000 34.400000 36.200000 33.200000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:21:45 227.000000 1.406000 320.000000 32.900000 169.115000 1.135000 1.135000 183.070000 35.000000 34.500000 36.000000 33.300000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:21:55 229.000000 1.389000 318.000000 32.900000 172.895000 1.145000 1.145000 192.360000 35.000000 34.500000 36.200000 33.500000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:24:05 228.000000 1.400000 319.000000 32.900000 171.000000 1.140000 1.140000 192.660000 35.000000 34.500000 36.200000 33.200000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:24:15 227.000000 1.409000 320.000000 32.900000 172.520000 1.135000 1.135000 191.810000 35.000000 34.400000 36.100000 33.100000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:24:25 228.000000 1.409000 321.000000 32.900000 171.000000 1.140000 1.140000 192.660000 35.000000 34.400000 36.200000 33.300000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:24:35 228.000000 1.400000 320.000000 32.900000 172.140000 1.140000 1.140000 191.800000 34.800000 34.400000 36.200000 33.000000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:24:45 227.000000 1.412000 321.000000 32.900000 179.330000 1.135000 1.135000 195.220000 34.800000 34.200000 36.200000 33.200000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:24:55 228.000000 1.408000 322.000000 32.900000 174.420000 1.140000 1.140000 196.080000 35.000000 34.300000 36.100000 33.100000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:25:05 227.000000 1.402000 319.000000 32.900000 172.520000 1.135000 1.135000 190.480000 35.000000 34.400000 36.200000 33.200000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:25:15 227.000000 1.414000 321.000000 32.900000 175.925000 1.135000 1.135000 189.540000 35.000000 34.300000 36.100000 33.300000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:25:25 227.000000 1.413000 321.000000 32.900000 173.650000 1.135000 1.135000 188.410000 35.000000 34.200000 36.200000 33.100000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:25:35 227.000000 1.415000 321.000000 32.900000 174.790000 1.135000 1.135000 187.270000 34.800000 34.100000 36.200000 33.100000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:25:45 227.000000 1.422000 323.000000 32.900000 179.330000 1.135000 1.135000 192.930000 34.900000 34.300000 36.100000 33.200000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:25:55 228.000000 1.433000 326.000000 32.900000 177.060000 1.135000 1.135000 190.680000 35.000000 34.300000 36.100000 33.000000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:26:05 228.000000 1.436000 327.000000 32.900000 178.980000 1.140000 1.140000 193.800000 35.000000 34.200000 36.200000 33.200000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:26:15 227.000000 1.450000 331.000000 32.900000 176.330000 1.145000 1.145000 191.520000 35.000000 34.400000 36.100000 33.200000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:26:25 229.000000 1.457000 329.000000 32.900000 185.200000 1.143000 1.143000 202.480000 34.800000 34.400000 36.200000 33.200000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:26:35 228.000000 1.441000 330.000000 32.900000 180.120000 1.140000 1.140000 197.220000 35.000000 34.400000 36.100000 33.400000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:26:45 227.000000 1.446000 329.000000 32.900000 185.000000 1.135000 1.135000 198.620000 34.900000 34.300000 36.200000 33.100000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:26:55 227.000000 1.451000 330.000000 32.900000 183.870000 1.135000 1.135000 191.810000 34.800000 34.200000 36.200000 33.300000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:27:05 228.000000 1.458000 332.000000 32.900000 180.120000 1.140000 1.140000 197.220000 34.800000 34.200000 36.200000 33.400000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:27:15 228.000000 1.457000 333.000000 32.900000 178.000000 1.140000 0.000000 197.220000 34.800000 34.100000 36.200000 33.800000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:27:25 229.000000 1.461000 335.000000 32.900000 180.910000 1.145000 1.145000 200.370000 34.700000 34.300000 36.200000 33.300000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:27:35 227.000000 1.465000 334.000000 32.900000 177.840000 1.140000 1.140000 197.220000 34.800000 34.400000 36.200000 33.300000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:27:45 227.000000 1.462000 333.000000 32.900000 178.195000 1.135000 1.135000 199.760000 34.900000 34.400000 36.200000 33.000000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:27:55 228.000000 1.480000 333.000000 32.900000 178.980000 1.140000 1.140000 202.920000 34.900000 34.300000 36.200000 33.400000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:28:05 227.000000 1.473000 332.000000 32.900000 179.330000 1.135000 1.135000 198.760000 34.800000 34.400000 36.200000 33.200000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:28:15 229.000000 1.463000 335.000000 32.900000 179.765000 1.145000 0.000000 196.940000 34.700000 34.200000 36.200000 33.500000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:28:25 228.000000 1.468000 334.000000 32.900000 188.100000 1.140000 1.140000 198.360000 34.900000 34.100000 36.200000 33.400000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:28:35 227.000000 1.473000 339.000000 32.900000 187.270000 1.135000 1.135000 199.620000 34.800000 34.400000 36.200000 33.400000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:28:45 227.000000 1.465000 333.000000 32.900000 185.095000 1.135000 0.000000 203.165000 34.800000 34.200000 36.200000 33.400000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:28:55 227.000000 1.473000 335.000000 32.900000 179.330000 1.139000 0.000000 199.760000 34.800000 34.200000 36.200000 33.200000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:29:05 229.000000 1.479000 339.000000 32.900000 185.490000 1.145000 1.145000 199.230000 34.800000 34.200000 36.200000 33.400000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:29:15 228.000000 1.480000 338.000000 32.900000 185.820000 1.140000 1.140000 199.500000 34.900000 34.400000 36.200000 33.200000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:29:25 227.000000 1.479000 337.000000 32.900000 179.270000 1.135000 1.135000 198.620000 34.800000 34.100000 36.200000 33.100000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:29:35 228.000000 1.486000 339.000000 33.000000 188.100000 1.140000 1.140000 200.640000 34.900000 34.300000 36.200000 33.100000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:29:45 229.000000 1.488000 340.000000 33.000000 191.210000 1.145000 0.000000 201.810000 34.900000 34.200000 36.200000 33.100000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:29:55 229.000000 1.496000 343.000000 33.000000 194.345000 1.145000 0.000000 199.230000 34.800000 34.200000 36.200000 33.200000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:30:05 229.000000 1.500000 344.000000 33.000000 185.490000 1.145000 1.145000 204.935000 34.800000 34.400000 36.200000 33.100000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:30:15 228.000000 1.516000 346.000000 33.000000 185.820000 1.140000 1.140000 200.640000 34.800000 34.200000 36.200000 33.100000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:30:25 228.000000 1.514000 346.000000 33.000000 185.820000 1.140000 1.140000 200.640000 34.800000 34.200000 36.200000 33.300000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:30:35 228.000000 1.521000 348.000000 33.000000 191.570000 1.140000 1.140000 206.340000 34.900000 34.300000 36.200000 33.100000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:30:45 229.000000 1.520000 346.000000 33.000000 195.910000 1.135000 1.135000 207.750000 34.800000 34.200000 36.200000 33.100000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:30:55 229.000000 1.531000 333.000000 33.000000 194.630000 1.145000 1.145000 206.100000 34.800000 34.200000 36.100000 32.900000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:31:05 228.000000 1.542000 332.000000 33.000000 191.520000 1.140000 1.140000 194.060000 34.800000 34.200000 36.200000 32.900000 1 0 0 1														
4/7/2014 11:31:15 227.000000 1.549000 332.000000 33.000000 192.950000 1.135000 0.000000 205.445000 34.700000 34.200000 36.200000 33.100000 1 0 0 1														

ภาพที่ 114 ภาพแสดงตัวอย่างข้อมูลที่ถูกรับทันที

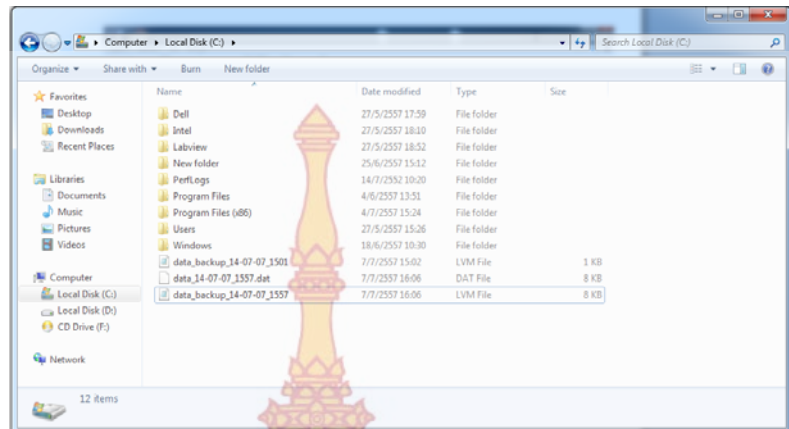
ตำแหน่งข้อมูลที่ทีก็สามารถแบ่งเป็นคอลัมน์ได้ดังนี้

- | | |
|----------------------------------|---------------------------------|
| 1. วันเดือนปี | 9. กำลังไฟฟ้าของแผงที่ 3 |
| 2. เวลา | 10. กำลังไฟฟ้าของแผงที่ 4 |
| 3. แรงดันทั้งหมด Total Voltages | 11. อุณหภูมิตู้ที่ 1 |
| 4. กระแสทั้งหมด Total Current | 12. อุณหภูมิตู้ที่ 2 |
| 5. กำลังไฟฟ้าทั้งหมด Total Power | 13. อุณหภูมิภายนอก |
| 6. พลังงานทั้งหมด Total energy | 14. อุณหภูมิได้แสง |
| 7. กำลังไฟฟ้าของแผงที่ 1 | 15. สถานะการทำงานของ [Inverter |
| 8. กำลังไฟฟ้าของแผงที่ 2 | “On=1” “OFF=0”] ทั้ง 4 ตัว |

หลังจากได้ข้อมูลมาแล้วสามารถนำไปวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ Microsoft Excel ตาม

ขั้นตอนดังนี้

- เข้าไปที่ตำแหน่งที่บันทึกข้อมูล



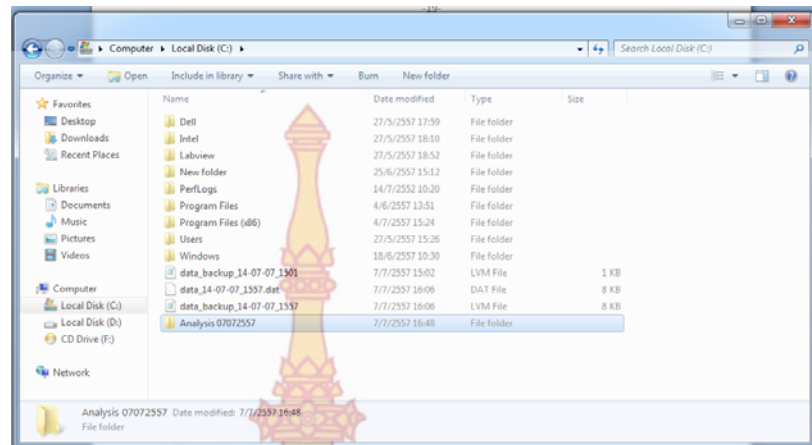
ภาพที่ 115 ตำแหน่งที่บันทึกข้อมูล

- สร้างโฟลเดอร์ใหม่ โดยการคลิกขวา New เลือก Folder



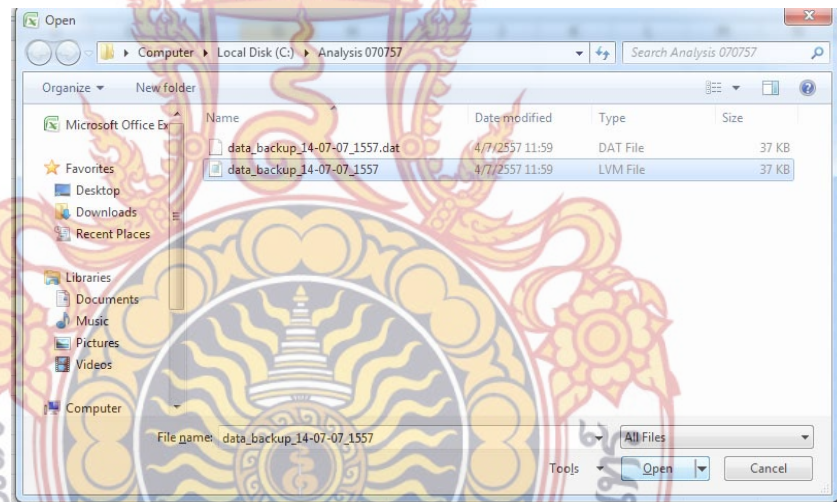
ภาพที่ 116 การสร้างโฟลเดอร์ใหม่

- คัดลอกข้อมูลที่ต้องการทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Microsoft Office Excel ไปไว้ในโฟลเดอร์ Analysis 7072557 โดยนำมาทั้งไฟล์นามสกุล DAT และ LVM



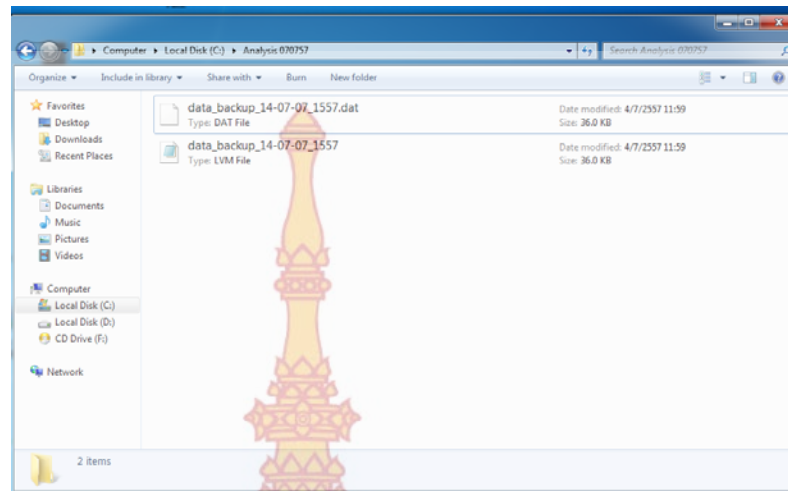
ภาพที่ 117 เลือกไฟล์ข้อมูลที่ต้องการ

- เปิดโปรแกรม Microsoft Office Excel



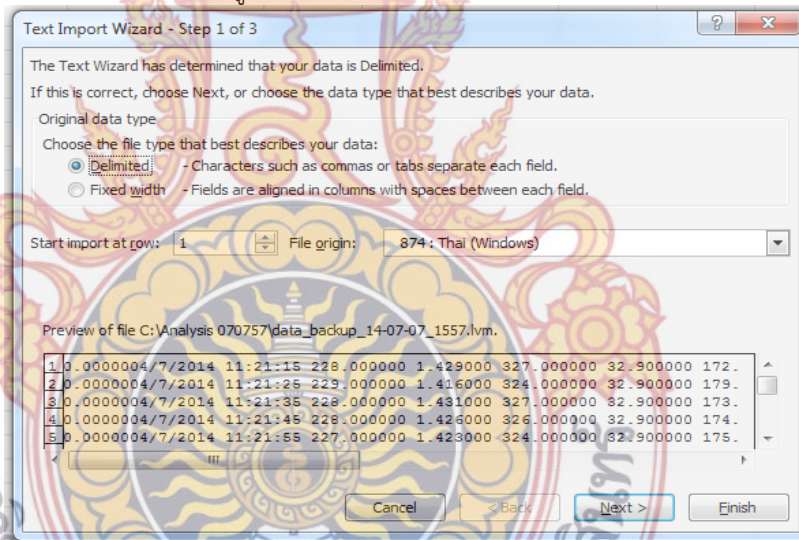
ภาพที่ 118 การเปิดไฟล์งานด้วยโปรแกรม Microsoft Office Excel

- เปิดไฟล์ [Ctrl+O] แล้วไปที่ ไดรฟ์ C เลือกโฟลเดอร์ Analysis 070757 เลือก All file จะเห็นไฟล์ที่เราทำการ Copy มา จากนั้นกด Open



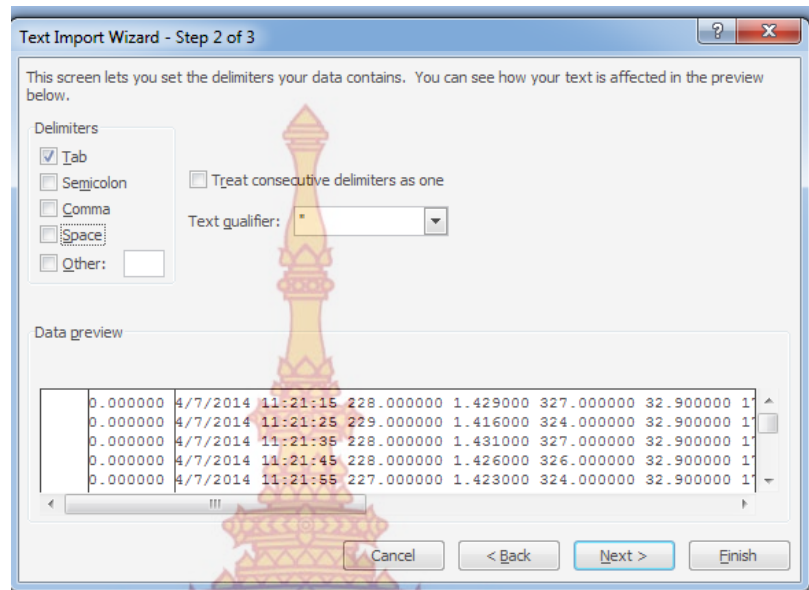
ภาพที่ 119 การเรียกใช้งานไฟล์ข้อมูล

- เลือกชนิดการแยกข้อมูล

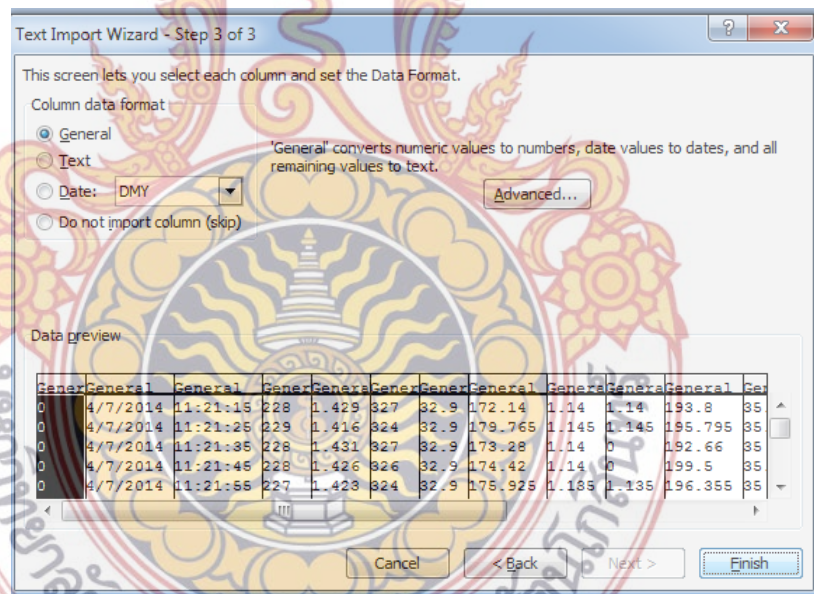


ภาพที่ 120 การเลือกชนิดข้อมูล

- เลือกหน้าคำว่า Space จะเป็นเครื่องหมาย ถูก จากนั้นกด NEXT



ภาพที่ 121 การแบ่งข้อมูลเป็นชุดข้อมูล



ภาพที่ 122 เลือกชนิดคอลัมน์

ข้อมูลที่บันทึกก็สามารถนำไปทำการวิเคราะห์กับโปรแกรมที่รองรับไฟล์ Txt สามารถทำให้มีความสะดวกในการนำข้อมูลไปใช้งานได้ต่อไป

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	0	4/7/2014	11:21:15	228	1.429	327	32.9	172.14	1.14	1.14	193.8	35.1	34.1	36.2	32.8	1	0	0	0	1	
2	0	4/7/2014	11:21:25	229	1.416	324	32.9	179.765	1.145	1.145	195.795	35.1	34.2	36.1	32.7	1	0	0	0	1	
3	0	4/7/2014	11:21:35	228	1.431	327	32.9	173.28	1.14	0	192.66	35	34.2	36.2	33	1	0	0	0	1	
4	0	4/7/2014	11:21:45	228	1.426	326	32.9	174.42	1.14	0	199.5	35.1	34.2	36.2	33.1	1	0	0	0	1	
5	0	4/7/2014	11:21:55	227	1.423	324	32.9	175.925	1.135	1.135	196.355	35	34.4	36.2	33.3	1	0	0	0	1	
6	0	4/7/2014	11:22:05	227	1.446	329	32.9	174.79	1.135	1.135	197.49	35.1	34.4	36	33.4	1	0	0	0	1	
7	0	4/7/2014	11:22:15	228	1.429	326	32.9	176.7	1.14	1.04	192.66	35.1	34.4	36	33.4	1	0	0	0	1	
8	0	4/7/2014	11:22:25	227	1.426	325	32.9	174.79	1.135	1.135	191.815	35	34.4	36.1	33.4	1	0	0	0	1	
9	0	4/7/2014	11:22:35	228	1.415	324	32.9	175.56	1.14	0	191.52	35	34.4	36.2	33.3	1	0	0	0	1	
10	0	4/7/2014	11:22:45	227	1.408	320	32.9	173.655	1.135	1.135	187.275	35	34.5	36.2	33.3	1	0	0	0	1	
11	0	4/7/2014	11:22:55	228	1.396	319	32.9	173.28	1.14	1.14	192.66	35	34.2	36.2	33.1	1	0	0	0	1	
12	0	4/7/2014	11:23:05	227	1.39	316	32.9	172.52	1.135	1.135	189.545	35.1	34.4	36.2	33	1	0	0	0	1	
13	0	4/7/2014	11:23:15	227	1.407	320	32.9	171.385	1.135	0	188.41	35	34.2	36.2	33.2	1	0	0	0	1	
14	0	4/7/2014	11:23:25	227	1.41	320	32.9	174.79	1.135	1.135	186.14	35	34.4	36.1	33.2	1	0	0	0	1	
15	0	4/7/2014	11:23:35	227	1.404	319	32.9	170.25	1.135	1.135	186.14	35	34.4	36.2	33.2	1	0	0	0	1	
16	0	4/7/2014	11:23:45	227	1.406	320	32.9	169.115	1.135	1.135	183.87	35	34.5	36	33.3	1	0	0	0	1	
17	0	4/7/2014	11:23:55	229	1.389	318	32.9	172.895	1.145	1.145	192.36	35	34.5	36.2	33.5	1	0	0	0	1	
18	0	4/7/2014	11:24:05	228	1.4	319	32.9	171	1.14	1.14	192.66	35	34.5	36.2	33.2	1	0	0	0	1	
19	0	4/7/2014	11:24:15	227	1.409	320	32.9	172.52	1.135	1.135	191.815	35	34.4	36.1	33.1	1	0	0	0	1	
20	0	4/7/2014	11:24:25	228	1.409	321	32.9	171	1.14	1.14	192.66	35	34.4	36.2	33.3	1	0	0	0	1	
21	0	4/7/2014	11:24:35	228	1.4	320	32.9	172.14	1.14	1.14	193.8	34.8	34.4	36.2	33	1	0	0	0	1	
22	0	4/7/2014	11:24:45	227	1.412	321	32.9	170.33	1.135	1.135	195.22	34.8	34.2	36.2	33.2	1	0	0	0	1	
23	0	4/7/2014	11:24:55	228	1.408	322	32.9	174.42	1.14	1.14	196.08	35	34.3	36.1	33.1	1	0	0	0	1	
24	0	4/7/2014	11:25:05	227	1.402	319	32.9	172.52	1.135	1.135	196.68	35	34.3	36.2	33.2	1	0	0	0	1	
25	0	4/7/2014	11:25:15	227	1.414	321	32.9	175.925	1.135	1.135	189.545	35	34.3	36.1	33.3	1	0	0	0	1	
26	0	4/7/2014	11:25:25	227	1.413	321	32.9	173.655	1.135	1.135	188.41	35	34.2	36.2	33.1	1	0	0	0	1	
27	0	4/7/2014	11:25:35	227	1.415	321	32.9	174.79	1.135	1.135	187.275	34.8	34.1	36.2	33.1	1	0	0	0	1	
28	0	4/7/2014	11:25:45	227	1.422	323	32.9	179.33	1.135	1.135	192.95	34.9	34.3	36.1	33.2	1	0	0	0	1	
29	0	4/7/2014	11:25:55	227	1.433	326	32.9	177.06	1.135	1.135	190.68	35	34.3	36.1	33	1	0	0	0	1	
30	0	4/7/2014	11:26:05	228	1.436	327	32.9	176.96	1.14	1.14	189.4	35	34.2	36.2	33.2	1	0	0	0	1	
31	0	4/7/2014	11:26:15	229	1.445	331	32.9	176.33	1.145	1.145	193.505	35	34.4	36.1	33.2	1	0	0	0	1	
32	0	4/7/2014	11:26:25	229	1.437	329	32.9	183.2	1.145	1.145	202.865	34.8	34.4	36.2	33.2	1	0	0	0	1	
33	0	4/7/2014	11:26:35	228	1.441	330	32.9	180.12	1.14	1.14	192.22	35	34.4	36.1	33.4	1	0	0	0	1	
34	0	4/7/2014	11:26:45	228	1.441	330	32.9	185.08	1.145	1.145	193.02	34.8	34.4	36.2	33.4	1	0	0	0	1	

ภาพที่ 123 แสดงหน้าต่าง Excel หลังจากใช้งานไฟล์ข้อมูล



บทที่ 5

สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาไมโครอินเวอร์เตอร์ชนิดเชื่อมต่อกริดร่วมกับระบบสื่อสารไร้สายสำหรับโรงพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งกระบวนการแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือการออกแบบสร้างฮาร์ดแวร์ และการโปรแกรมควบคุม ในส่วนของการออกแบบฮาร์ดแวร์มีการจำลองการทำงานโดยโปรแกรม MALAB/SIMULINK และสร้างต้นแบบของระบบ

ผลที่ได้สามารถออกแบบและสร้างไมโครอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อเข้ากับกริดร่วมกับระบบสื่อสารไร้สายสำหรับวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในโรงผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งการออกแบบส่วนประกอบต่างๆของระบบแสดงดังบทที่ 3 และผลการทดลองในส่วนต่างๆ แสดงในบทที่ 4 ตามลำดับ

2. ข้อเสนอแนะ

ไมโครอินเวอร์เตอร์ถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ได้ความนิยมในการใช้ในระบบแปลงผันพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อเข้าระบบของการไฟฟ้า เหมาะสมกับระบบการผลิตไฟฟ้าบนหลังคาบ้านหรือ Solar roof เป็นอย่างดี ยังมีหลายส่วนของระบบที่ต้องได้รับการพัฒนาต่อไป อาทิเช่น

2.1 การศึกษาและพัฒนาระบบการใช้งานให้สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางในประเทศ

2.2 พัฒนาระบบการ Monitoring เพื่อควบคุมค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลกระทบทำให้ระบบเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาและพัฒนาระบบการเฝ้าระวัง (Monitoring) ไมโครอินเวอร์เตอร์ชนิดเชื่อมต่อกริดร่วมกับระบบสื่อสารไร้สายสำหรับโรงพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบที่ทำการวิจัยขึ้นสามารถนำไปสร้างระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของบ้านเรือนได้ต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] Wei, X., Z. Jian Guo, et al. "Equivalent Circuits for Single-Sided Linear Induction Motors." **Industry Applications, IEEE Transactions on** 46(6): 2410-2423.
- [2] McLean, G. W. (1988). "Review of recent progress in linear motors." **Electric Power Applications, IEE Proceedings B.** 135(6): 380-416.
- [3] Boldea, I. and Nasar, S.A., **Linear Motion Electromagnetic Devices**, Taylor & Francis, United States of America, 2001.
- [4] Laithwaite, E. R. & Nasar, S. A. (1970) Linear-motion electrical machines. **Proceedings of the IEEE**, 58(4), 531-542.
- [5] Viet Nam Hong, "Design of Single-Side Linear Induction Motor", Bachelor of Electrical Engineering Project, School of Information Technology and Electrical Engineering, University of Queensland, 2003
- [6] Sarveswara Prasad Bhamid, "Design of a Single Sided Linear Induction Motor (SLIM) Using a User Interactive Computer Program" In partial fulfillment of the requirement for the degree master of science, A Thesis presented to the faculty of the Graduate School University of Missouri-Columbia, May 2005.
- [7] Iwamoto, M., S. Sakabe, et al. (1981). "Experimental and theoretical study of high-speed single-sided linear induction motors." **Electric Power Applications, IEE Proceedings B.** 128(6): 306-312.
- [8] Iwamoto, M., E. Ohno, et al. (1973). "End-Effect of High-Speed Linear Induction Motor." **Industry Applications, IEEE Transactions on** IA-9(6): 632-639.
- [9] Lee, H. W., C. B. Park, et al. Exit end effect reduction of a linear induction motor for the deep-underground GTX. **Electrical Machines (ICEM), 2010 XIX International Conference on.**
- [10] Mi Ching, T. and C. Jeng Hu (1999). A practical implementation of a linear induction motor drive using new generation DSP controller. **Control Applications, 1999. Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on.**
- [11] W. Leonhard, **Control of Electric Drives**, Second Edition, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany, 1996.
- [12] **LabVIEW System Design Software**, online available: <http://www.ni.com/labview/>
- [13] รศ.ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน, วุฒิพล ชาราธิ์เรษฐ. 2550. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. สำนักพิมพ์ ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง, กรุงเทพฯ, หน้า 423-480.
- [14] ทรงกลด ศรีปรางค์, วันชัย ทรัพย์สิงห์, "การออกแบบและประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC30xF ในอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส" การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6, ENETT6-1191, 2553.

- [15] ทรงกลด ศรีปรารงค์, วันชัย ทรัพย์สิงห์, “การดำเนินการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นโดยใช้ dsPIC30F2010” การประชุมวิชาการ “แม่ฟ้าหลวงวิชาการ” ประจำปี พ.ศ. 2553 : 12 ปี ตามรอยสมเด็จพระเจ้า วันที่ 19-20 พฤศจิกายน 2553
- [16] Jeong-Hyoun, S. and N. Kwanghee (1999). A new approach to vector control for a linear induction motor considering end effects. Industry Applications Conference, 1999. Thirty-Fourth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 1999 IEEE.
- [17] Bose, B.K., 2002, *Modern Power Electronic and AC Drive*, Prentice Hall, New Jersey, pp. 408-413.
- [18] Maurice Clerc. 2006. Great Britain by Antony Rowe Ltd, Chippenham, Wiltshire.
- [19] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle Swarm Optimization", *Proc. of IEEE International Conference on Neural Networks*, Vol. IV, pp.1942-1948, Perth, Australia, 1995.
- [20] เสาวคนธ์ ชูบัว, ปรัชญนันท์ นิลสุข. 2553. อาณาจักรแห่งความรู้แบบปัญญารวมหมู่ Colony of knowledge with Swarm Intelligence. *วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ*. ปีที่ 6 ฉบับที่ 11 หน้า 50-55
- [21] สมพร สิริสำราญนุกุล “การหาตำแหน่งติดตั้งและขนาดคาปาซิเตอร์แบงค์ที่เหมาะสมเพื่อลดกำลังสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าพร้อมทั้งคำนึงถึงความไม่เป็นเชิงเส้นของโหลดโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2550
- [22] Wesam Elshamy . “Particle Swarm Optimization Simulation”, *Mathworks*, 28 Jun 2006
- [23] Wael korani. “Tunning of PID controller using Particle Swarm Optimization”, *Mathworks*, 12 Jun 2008
- [24] Microchip Technology Inc. “dsPIC30F2010 Data Sheet” (DS70118H), 2008
- [25] Microchip Technology Inc. “dsPIC30F Family Reference Manual” (DS70046D), 2005
- [26] J. Atencia, A. García Rico and J. Florez, *low-cost Linear Induction Motor for Laboratory Experiments*, Department of Electrical, Electronics and Control Engineering, Escuela Superior de Ingenieros Industriales, (Universidad de Navarra), San Sebastián, Spain.
- [27] Atencia, J., M. Martinez-Iturralde, et al. (2001). Modeling of linear induction motors as linear drives. *Power Tech Proceedings, 2001 IEEE Porto*.
- [28] รุจิศักดิ์ เมืองสงและคณะ “การควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ของโลหะจํารูป ด้วยวิธีกลุ่มอนุภาคเพื่อหาตัวแปรควบคุมพีไอที่ดีที่สุดที่เหมาะสม” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 30 (EECON-30). 25-26 ตุลาคม 2550 หน้า 1181-1184
- [29] Radha Thangaraj, Thanga Raj Chelliah, Millie Pant, Ajith Abraham and Crina Grosan, Optimal gain tuning of PI speed controller in induction motor drives

using particle swarm optimization, *Logic Journal of IGPL Advance Access*.
published July 8, 2010

[30] LEM. "Current Transducer LTS 25-NP Data sheet"

[31] Agilent AEDB-9140 Series, **Three Channel Optical Incremental Encoder Modules with Codewheel**, 100 CPR to 500 CPR Data Sheet



ประวัตินักวิจัย

หัวหน้าโครงการ

ดร.ชาญวิทย์ บุญช่วย

ตำแหน่ง: อาจารย์

หน่วยงาน: สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โทรศัพท์ 032618500 ต่อ 4039

e-mail: chanwit.b@rmutr.ac.th

การศึกษา:

ปริญญาเอก สาขา Electric Power System Management, Asian Institute of Technology

ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 1

นายทรงกลด ศรีปรางค์

ตำแหน่ง: อาจารย์

หน่วยงาน: สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โทรศัพท์ 032618500 ต่อ 4005

e-mail: songklod.sriprang@gmail.com

การศึกษา:

ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 2

นายอนุชิต อูไรรัตน์

ตำแหน่ง: หัวหน้าสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า

หน่วยงาน: สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โทรศัพท์ 032618500 ต่อ 4037

e-mail: aurirat@gmail.com

การศึกษา:

ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล