

การพัฒนาמודูลวัดแรงดันสำหรับตรวจวัดฟาร์มแสงอาทิตย์ที่ใช้การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้ากระแสตรง



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2557  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A VOLTAGE MEASUREMENT MODULE CAPABLE OF SOLAR FARM M  
ONITORING WITH DC POWER LINE COMMUNICATION

Mr. Wongsakorn Limsiri



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering  
Department of Electrical Engineering  
Faculty of Engineering  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2014  
Copyright of Chulalongkorn University



วงศกร ลี้มศิริ : การพัฒนามอดูลวัดแรงดันสำหรับตรวจวัดฟาร์มแสงอาทิตย์ที่ใช้การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้ากระแสตรง (DEVELOPMENT OF A VOLTAGE MEASUREMENT MODULE CAPABLE OF SOLAR FARM MONITORING WITH DC POWER LINE COMMUNICATION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.เอกชัย ลีลารัมย์, 48 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการพัฒนามอดูลตรวจวัดแรงดันสำหรับฟาร์มแสงอาทิตย์ที่ใช้การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีมอดูลตรวจวัดทำหน้าที่วัดแรงดันไฟฟ้าแต่ละแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในฟาร์ม และมอดูลรวบรวมข้อมูลทำการวัดแรงดันไฟฟ้ารวมที่ปลายสตริงของฟาร์มแสงอาทิตย์ และรวบรวมข้อมูลแรงดันจากมอดูลตรวจวัดแต่ละตัวก่อนส่งไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลต่อไป มอดูลตรวจวัดและมอดูลรวบรวมข้อมูล ทำการสื่อสารกันโดยใช้สัญญาณพัลส์ในการเข้า-ถอดรหัสข้อมูลผ่านทางสายส่งไฟฟ้าในสตริงนั้นๆ ข้อมูลที่ได้ทำให้สามารถทราบตำแหน่งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เสียหายได้ทันที ในขณะที่สายส่งไฟฟ้าไม่มีสัญญาณพัลส์เกิดขึ้นมอดูลตรวจวัดจะทำการตัดแหล่งจ่ายไฟทำให้ไม่มีการสูญเสียพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เลย มอดูลนี้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการตรวจวัดคุณภาพฟาร์มแสงอาทิตย์ที่มีราคาถูกและประหยัดพลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 5470349321 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: SOLAR FARM / POWER LINE COMMUNICATION / MONITORING UNIT / DATA  
CONCENTRATOR UNIT

WONGSAKORN LIMSIRI: DEVELOPMENT OF A VOLTAGE MEASUREMENT  
MODULE CAPABLE OF SOLAR FARM MONITORING WITH DC POWER LINE  
COMMUNICATION. ADVISOR: ASSOC. PROF.EKACHAI LEELARASMEE, Ph.D., 48  
pp.

This thesis describes the development of a voltage measurement module capable of solar farm monitoring with DC power line communication. It consists of 2 separate units, those are Monitoring Unit (MU) to measure voltage of each solar panel, and Data Concentrator Unit (DCU) to gather information from all MUs on string and measure total voltage at the end of each string. Pulse signal was used to communicate between MUs and DCU. The data from this system can identify the inoperative solar panels. When no communication between MU and DCU, there is no power loss in the system because the MU will be disconnected from their own power supply. The modules was designed to be very low power modules to serve the higher efficiency for solar farm monitoring system. It is a new technique that will be used to monitor solar panel efficiency of solar farm.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department: Electrical Engineering

Student's Signature .....

Field of Study: Electrical Engineering

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2014

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าได้มีโอกาสศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์จากปริญญาตรีถึงระดับปริญญาโท ประสบการณ์และความรู้ที่ได้รับจากสถาบันแห่งนี้ตลอดเวลาที่ผ่านมาถือเป็นสิ่งที่มีค่าอย่างยิ่ง ข้าพเจ้าจึงขอขอบคุณคณาจารย์ที่ได้กรุณาประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ให้ความช่วยเหลืออบรมสั่งสอน รวมทั้งชี้แนะในเรื่องต่าง ๆ ให้แก่ข้าพเจ้าด้วยความเมตตาตลอดระยะเวลาที่ยาวนาน ความรู้ที่ได้รับเป็นรากฐานสำคัญช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณสถาบันคือ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ให้โอกาสและทุนการศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและห้องปฏิบัติการวิจัยการออกแบบวงจรฝังตัวและวงจรรวมที่เอื้อเพื่อสถานที่และเครื่องมือสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งขอขอบคุณเพื่อน พี่ และน้อง ในห้องปฏิบัติการวิจัยการออกแบบวงจรฝังตัวและวงจรรวม ที่ได้แบ่งปันความรู้และประสบการณ์ที่ดีระหว่างกัน และขอขอบคุณนายไพโรจน์ ศิริมานารัตนะ รุณพีที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ ประสบการณ์ทั้งหมดทำให้ข้าพเจ้าเข้าใจถึงความผูกพันระหว่างเพื่อน พี่ และน้องร่วมสถาบัน

ขอขอบคุณบิดา - มารดา ญาติพี่น้องที่เป็นห่วงและคอยให้กำลังใจตลอดเวลาที่ผ่านมา และท้ายที่สุดข้าพเจ้าหวังว่าความรู้และประสบการณ์ที่มีค่าทั้งจากสถาบันและจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสามารถนำไปพัฒนาและปรับใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อไป

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ .....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 วิธีการดำเนินงาน .....	4
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	5
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์.....	6
2.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
2.3 การตรวจวัดคุณภาพของแผงเซลล์ในฟาร์มแสงอาทิตย์ .....	8
2.3.1 การตรวจวัดโดยใช้คน.....	9
2.3.2 การตรวจวัดโดยใช้สายสัญญาณเพิ่ม(External Line Communication).....	9
2.3.3 การตรวจวัดโดยใช้ระบบไร้สาย(Wireless Communication Network).....	9
2.3.4 การตรวจวัดโดยใช้สายส่งไฟฟ้าที่มีอยู่แล้ว(Power Line Communication) .....	10
2.4 สัญญาณพัลส์(Pulse Signal).....	11
2.4.1 สัญญาณพัลส์ในอุดมคติ.....	11

2.4.2 สัญญาณพัลส์ในทางปฏิบัติ .....	12
2.5 การเข้ารหัสแบบ Binary Pulse Length Coding (BPLC).....	13
2.6 การสื่อสารอนุกรม RS485 .....	13
บทที่ 3 ระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้.....	15
3.1 แนวคิดในการสื่อสารผ่านสายส่งพลังงานไฟฟ้าด้วยการส่งสัญญาณพัลส์ .....	15
3.1.1 หลักการทำงาน.....	15
3.1.2 ข้อดี – ข้อเสียระหว่างการสื่อสารด้วยคลื่นความถี่พาหะ และ การสื่อสารด้วย สัญญาณพัลส์ .....	17
3.2 ภาพรวมของระบบ .....	18
3.3 มอดูลดตรวจวัด(Monitoring Unit, MU).....	18
3.4 มอดูลรวบรวมข้อมูล(Data Concentrator Unit, DCU).....	20
บทที่ 4 การออกแบบวงจรภายในของมอดูล .....	22
4.1 วงจรเชื่อมต่อกราวด์ และ วงจรควบคุมแรงดัน .....	22
4.1.1 วงจรเชื่อมต่อกราวด์ .....	22
4.1.2 วงจรควบคุมแรงดันไฟเลี้ยง .....	23
4.2 วงจรแบ่งแรงดัน.....	25
4.3 วงจรรับสัญญาณพัลส์.....	25
4.4 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ .....	27
บทที่ 5 การออกแบบและพัฒนามอดูลต้นแบบ .....	28
5.1 การออกแบบและพัฒนาด้านแบบมอดูลดตรวจวัด(Monitoring unit, MU).....	28
5.1.1 แนวคิดการออกแบบมอดูลดตรวจวัด .....	28
5.1.2 วิธีการใช้มอดูลดตรวจวัด .....	29
5.2 การออกแบบและพัฒนาด้านแบบมอดูลรวบรวมข้อมูล(Data Concentrator Unit, DCU).....	30



5.2.1 แนวคิดการออกแบบมอดูลรวบรวมข้อมูล.....	30
5.2.2 วิธีการใช้มอดูลรวบรวมข้อมูล .....	31
บทที่ 6 การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมการทำงานของมอดูล .....	32
6.1 โปรแกรมการทำงานของมอดูลรวบรวมข้อมูล .....	32
6.1.1 แผนผังการทำงานของมอดูลรวบรวมข้อมูล .....	32
6.1.2 ข้อตกลงในการสื่อสาร(Protocol)จากมอดูลรวบรวมข้อมูลไปยังมอดูลตรวจวัด...33	
6.1.3 ตัวอย่างคลื่นสัญญาณการสื่อสาร .....	33
6.1.4 รายละเอียดชุดคำสั่ง.....	33
6.2 โปรแกรมการทำงานของมอดูลตรวจวัด .....	34
6.2.1 แผนผังการทำงานของมอดูลตรวจวัด.....	34
6.2.2 ข้อตกลงในการสื่อสาร(Protocol)จากมอดูลตรวจวัดไปยังมอดูลรวบรวมข้อมูล...35	
6.2.3 ตัวอย่างคลื่นสัญญาณการสื่อสาร .....	35
6.2.4 รายละเอียดชุดคำสั่ง.....	35
6.3 ข้อมูลการรับส่งข้อมูลระหว่างมอดูลรวบรวมข้อมูลกับคอมพิวเตอร์.....	35
บทที่ 7 การทดสอบประสิทธิภาพ.....	37
7.1 โปรแกรมจำลองวงจร(Simulation).....	37
7.1.1 วงจรเชื่อมต่อกับกราฟด์ และ วงจรควบคุมแรงดัน .....	37
7.1.2 วงจรรับสัญญาณพัลส์ .....	38
7.2 ทดสอบวงจรต้นแบบ(Prototype).....	39
7.2.1 ทดสอบการปลุกมอดูลตรวจวัด.....	39
7.2.2 ทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างมอดูลรวมข้อมูลกับมอดูลตรวจวัด(ความแม่นยำ,ความเที่ยง).....	40
7.2.3 ทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างมอดูลรวมข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ .....	43

บทที่ 8 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ.....	45
8.1 ข้อสรุป.....	45
8.2 ข้อเสนอแนะ .....	45
รายการอ้างอิง .....	46
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	48



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2-1 ตารางเปรียบเทียบการวัดคุณภาพแผงเซลล์แบบต่างๆ.....	11
ตารางที่ 3-1 การเปรียบเทียบข้อดี – ข้อเสียระหว่างการสื่อสารด้วยคลื่นความถี่พาหะ และ การสื่อสารด้วยสัญญาณพัลส์.....	17
ตารางที่ 7-1 ตารางข้อมูลการวัดแรงดันจากมอดูลและมัลติมิเตอร์.....	41



## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1-1 โครงสร้างแบบ Multi-string ของระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	2
รูปที่ 2-1 โครงสร้างและแถบพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
รูปที่ 2-2 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
รูปที่ 2-3 ลักษณะคุณสมบัติกระแส – แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์.....	7
รูปที่ 2-4 การตรวจวัดโดยใช้สายสัญญาณเพิ่ม(External Line Communication).....	9
รูปที่ 2-5 การตรวจวัดที่ใช้ระบบไร้สายในการสื่อสาร(Wireless communication network).....	9
รูปที่ 2-6 แสดงการตรวจวัดที่ใช้สายส่งไฟฟ้าที่มีอยู่แล้วในการสื่อสาร(Power Line Communication, PLC).....	10
รูปที่ 2-7 รูปคลื่นพัลส์ในแบบอุดมคติ.....	11
รูปที่ 2-8 รูปคลื่นสัญญาณพัลส์ในทางปฏิบัติ.....	12
รูปที่ 2-9 ตัวอย่างการเข้ารหัสแบบ Binary Pulse Length Coding (BPLC).....	13
รูปที่ 2-10 รูปแบบการต่ออุปกรณ์อนุกรม RS485.....	14
รูปที่ 3-1 การสื่อสารผ่านสายส่งด้วยการส่งสัญญาณพัลส์บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่ออนุกรมกัน.....	15
รูปที่ 3-2 สัญญาณพัลส์ของการสื่อสารผ่านสายส่งไฟฟ้ากระแสตรง.....	16
รูปที่ 3-3 การเข้ารหัสแบบ Binary Pulse Length Coding(BPLC).....	16
รูปที่ 3-4 ภาพรวมของระบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	18
รูปที่ 3-5 โครงสร้างภายในของมอดูลตรวจวัด(Monitoring Unit, MU).....	18
รูปที่ 3-6 โครงสร้างภายในของมอดูลรวบรวมข้อมูล(Data Concentrator Unit, DCU).....	20
รูปที่ 4-1 วงจรเชื่อมต่อกราวด์ และ วงจรควบคุมแรงดัน.....	22
รูปที่ 4-2 วงจรแบ่งแรงดัน.....	25
รูปที่ 4-3 วงจรรับสัญญาณพัลส์.....	25
รูปที่ 4-4 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์.....	27
รูปที่ 5-1 วงจรภายในของมอดูลตรวจวัด.....	28
รูปที่ 5-2 การออกแบบ PCB วงจรมอดูลตรวจวัด.....	29
รูปที่ 5-3 ต้นแบบมอดูลตรวจวัด.....	29
รูปที่ 5-4 การต่อมอดูลตรวจวัดเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	29

รูปที่ 5-5 วงจรภายในของมอดูลรวบรวมข้อมูล.....	30
รูปที่	หน้า
รูปที่ 5-6 การออกแบบ PCB วงจรมอดูลรวบรวมข้อมูล.....	30
รูปที่ 5-7 ต้นแบบมอดูลรวบรวมข้อมูล.....	31
รูปที่ 5-8 รูปแบบการต่อมอดูลรวบรวมข้อมูล.....	31
รูปที่ 6-1 แผนผังการทำงานของมอดูลรวบรวมข้อมูล.....	32
รูปที่ 6-2 โพรโตคอลการสื่อสารจากมอดูลรวบรวมข้อมูลไปยังมอดูลตรวจวัด.....	33
รูปที่ 6-3 ตัวอย่างคลื่นสัญญาณการสื่อสารจากมอดูลรวบรวมข้อมูลไปยังมอดูลตรวจวัด.....	33
รูปที่ 6-4 แผนผังการทำงานของมอดูลตรวจวัด.....	34
รูปที่ 6-5 โพรโตคอลการสื่อสารจากมอดูลตรวจวัดไปยังมอดูลรวบรวมข้อมูล.....	35
รูปที่ 6-6 ตัวอย่างคลื่นสัญญาณการสื่อสารจากมอดูลตรวจวัดไปยังมอดูลรวบรวมข้อมูล.....	35
รูปที่ 7-1 รูปการตอบสนองของสัญญาณไฟเลี้ยงเมื่อมีสัญญาณพัลส์มาป้อน.....	37
รูปที่ 7-2 สัญญาณพัลส์ขนาด 12V ที่จ่ายให้กับวงจร.....	38
รูปที่ 7-3 สัญญาณพัลส์ขนาด 3.3V ที่วงจรสร้างขึ้นเมื่อได้รับสัญญาณพัลส์.....	38
รูปที่ 7-4 สัญญาณการตอบสนองของสัญญาณไฟเลี้ยงเมื่อมีสัญญาณพัลส์มาป้อน.....	39
รูปที่ 7-5 การทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างมอดูลรวมข้อมูลกับมอดูลตรวจวัด.....	40
รูปที่ 7-6 รูปสัญญาณในการสื่อสารระหว่างมอดูลรวมข้อมูลและมอดูลตรวจวัดที่ปรากฏในสายส่งไฟฟ้า.....	40
รูปที่ 7-7 การทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างมอดูลรวมข้อมูลกับคอมพิวเตอร์.....	43
รูปที่ 7-8 โปรแกรม Solar farm monitoring.....	44

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์

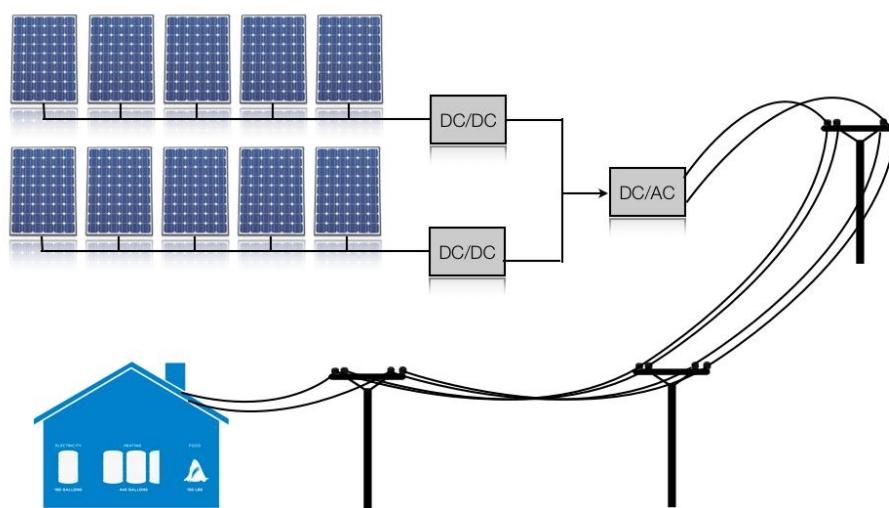
โลกยังพัฒนาก้าวหน้าไปเท่าใดความจำเป็นที่จะต้องใช้ไฟฟ้าก็ยิ่งเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพของโลกปัจจุบันที่การดำรงชีวิตของมนุษย์ส่วนใหญ่ล้วนแต่อยู่ได้ด้วยสิ่งอำนวยความสะดวกในหลากหลายรูปแบบ เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้าสำหรับชีวิตประจำวันไม่ว่าจะเป็นเตาไฟฟ้า หม้อหุงข้าว วิทยุ โทรทัศน์ แอร์คอนดิชัน เป็นต้น สิ่งต่าง ๆ ทั้งหมดนี้จำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าเป็นพลังงานในการทำงาน อย่างไรก็ตามไฟฟ้าไม่ได้มีความจำเป็นเฉพาะกับชีวิตของผู้คนในระดับจุลภาคเท่านั้น แต่ในโลกสมัยใหม่ที่เศรษฐกิจเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จในการพัฒนาประเทศ ไฟฟ้าก็เป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจ ดังนั้นไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องการพัฒนาประเทศในระดับมหภาคด้วย เช่น การใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม หรือในระบบสาธารณูปโภคพื้นฐานของประเทศ เป็นต้น จากความจำเป็นที่ต้องใช้ไฟฟ้าทั้งในระดับจุลภาคและมหภาคตามที่กล่าวมาแล้วในข้างต้นนี้เอง ทำให้อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในภูมิภาคต่าง ๆ ของโลกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทุกปีนำไปสู่ภาวะโลกร้อนที่นานาชาติพยายามหาทางแก้ไข

เนื่องจากประเทศไทยมีโครงสร้างและรูปแบบการใช้ไฟฟ้าที่ไม่ต่างจากประชาคมอื่น ๆ ของโลก อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของไทยจึงเพิ่มขึ้นเช่นกัน ที่น่าเป็นห่วงคือการผลิตกระแสไฟฟ้าของประเทศในปัจจุบันใช้ก๊าซธรรมชาติและถ่านหินเป็นหลัก ซึ่งกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานเหล่านี้เป็นแหล่งพลังงานที่สกปรก และทำให้เกิดมลภาวะอย่างมาก ด้วยเหตุนี้เพื่อสร้างเสถียรภาพและความมั่นคงของระบบไฟฟ้าและลดการเกิดมลภาวะที่จะส่งผลกระทบต่อโลก การใช้พลังงานทดแทนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าในปัจจุบัน

พลังงานทดแทนที่ได้รับความสนใจและถูกนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยขณะนี้คือพลังงานธรรมชาติหรือพลังงานหมุนเวียน ซึ่งประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ และพลังงานชีวมวล ซึ่งในบรรดาพลังงานธรรมชาติที่กล่าวมานี้ พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานธรรมชาติที่ได้รับการยอมรับว่ามีขนาดใหญ่ที่สุด สามารถใช้เป็นพลังงานได้ไม่มีวันหมด ไม่มีค่าใช้จ่ายในเรื่องเชื้อเพลิง และเป็นพลังงานสะอาดไม่ก่อให้เกิดมลภาวะจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า การใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตไฟฟ้าจึงเป็นอีกทางเลือกสำคัญในการผลิตไฟฟ้าและเป็นโครงการที่รัฐให้การสนับสนุน

ในระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นแบบ Multi-string[1] โดยแต่ละสตริงประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 8-20 แผงต่ออนุกรมกัน ที่ปลายสตริงมีตัวเพิ่ม

แรงดันกระแสตรงขนาดเล็ก (DC to DC boost convertor, DC/DC) เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานได้ถึงจุดสูงสุด(Maximum Power Point Tracking, MPPT) จากนั้นไฟฟ้ากระแสตรงจะถูกแปลงเป็นกระแสสลับโดยมีตัวแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับขนาดใหญ่(DC to AC convertor, DC/AC) เพื่อจ่ายให้สายส่งไฟฟ้าหลักต่อไปดังแสดงในรูปที่ 1-1



รูปที่ 1-1 โครงสร้างแบบ Multi-string ของระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ปัจจุบันประเทศไทยมีการติดตั้งฟาร์มแสงอาทิตย์อย่างกว้างขวางในขนาดต่าง ๆ ตามความต้องการของผู้ใช้ โดยปกติภายหลังจากการติดตั้งแล้วเพื่อให้ฟาร์มแสงอาทิตย์สามารถทำงานได้อย่างเต็มที่ จะมีระบบตรวจสอบวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์วิเคราะห์หาจุดที่มีปัญหาหรือเสื่อมสภาพ เพื่อทำการแก้ไขได้ตรงจุดและทันเวลา แต่สิ่งที่เกิดขึ้นในขณะนี้คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในท้องตลาดทุกวันนี้มีราคาที่สูงมาก นอกจากนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบฟาร์มแสงอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่หรือมีการติดตั้งแผงแสงอาทิตย์จำนวนมาก รวมทั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่จุดที่ยากจะเข้าถึงยังมีปัญหาค่อนข้างมากในการเข้าไปตรวจสอบคุณภาพหรือความผิดปกติของแผงเซลล์ งานวิจัยนี้จึงต้องการพัฒนาโมดูล(Module)ที่สามารถตรวจวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในฟาร์มแสงอาทิตย์ให้สามารถสื่อสารผ่านทางสายส่งไฟฟ้ากระแสตรงในรูปแบบของสัญญาณพัลส์(Pulse)เนื่องจากเป็นสัญญาณที่มีขนาดใหญ่ถูกรบกวนได้ยาก และมีวงจรที่ไม่ซับซ้อนใช้พลังงานน้อยเหมาะแก่การใช้งาน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนามอดูลตรวจวัดแรงดันที่สามารถสื่อสารผ่านสายไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการตรวจวัดฟาร์มแสงอาทิตย์

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ออกแบบและพัฒนามอดูลตรวจวัดแรงดันแต่ละเซลล์ (Monitoring Unit, MU) โดยมีคุณสมบัติดังนี้

1. พัฒนาระบบมอดูลตรวจวัดแรงดันแต่ละเซลล์จำนวน 3 มอดูล
2. สามารถวัดแรงดันได้สูงสุด 40 โวลต์
3. สามารถติดต่อมอดูลรวบรวมข้อมูลผ่านทางสายส่งไฟฟ้ากระแสตรงด้วยสัญญาณพัลส์ได้

1.3.2 ออกแบบและพัฒนามอดูลรวบรวมข้อมูล (Data Concentrator Unit, DCU) โดยมีคุณสมบัติดังนี้

1. พัฒนาระบบมอดูลรวบรวมข้อมูลจำนวน 2 มอดูล
2. สามารถวัดแรงดันได้สูงสุด 220 โวลต์
3. สามารถติดต่อมอดูลตรวจวัดแต่ละเซลล์ผ่านทางสายส่งไฟฟ้ากระแสตรงด้วยสัญญาณพัลส์ได้
4. สามารถติดต่อมอดูลรวบรวมข้อมูลตัวอื่นๆและคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS485 ได้

1.3.3 การทดสอบประสิทธิภาพ

ทดสอบการทำงานกับแบตเตอรี่ 6 โวลต์ต่ออนุกรมกันเพื่อจำลองแทนแผงเซลล์แสงอาทิตย์



#### 1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์, โครงสร้างฟาร์มแสงอาทิตย์, หลักการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (MPPT)
2. ศึกษาวิธีการตรวจวัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในฟาร์มแสงอาทิตย์ เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของการตรวจวัดแต่ละวิธี
3. ศึกษาวิธีการสื่อสารผ่านสายส่งไฟฟ้ากระแสตรงด้วยการส่งสัญญาณพัลส์, เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียระหว่างการใช้คลื่นพาหะกับสัญญาณพัลส์ในการสื่อสาร
4. ออกแบบรูปแบบการทำงานของมอดูลตรวจวัดและมอดูลรวบรวมข้อมูล
5. ออกแบบวงจรภายในของมอดูลตรวจวัดและมอดูลรวบรวมข้อมูล
6. ใช้โปรแกรมMultisimจำลองการสื่อสารระหว่างมอดูลตรวจวัดและมอดูลรวบรวมข้อมูลตามวงจรที่ได้คำนวณไว้ ศึกษาความเป็นไปได้ในการสื่อสารผ่านสายส่งไฟฟ้ากระแสตรงด้วยสัญญาณพัลส์
7. ออกแบบและพัฒนาต้นแบบมอดูลตรวจวัดและมอดูลรวบรวมข้อมูล
8. ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมการทำงานของมอดูลตรวจวัดและมอดูลรวบรวมข้อมูล
9. ทดสอบประสิทธิภาพของมอดูลตรวจวัดและมอดูลรวบรวมข้อมูล
10. สรุปผลการวิจัย และแนวทางการพัฒนาต่อ

## 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างสะดวกและทั่วถึง หากพบบริเวณที่มีปัญหาสามารถแก้ไขได้ถูกที่และทันเวลา

1.5.2 ผู้ใช้งานสามารถเก็บข้อมูลค่าสถิติจากการผลิตไฟฟ้าของฟาร์มแสงอาทิตย์ไปวิเคราะห์เพื่อการขยายฟาร์มแสงอาทิตย์และลงทุนต่อในอนาคต



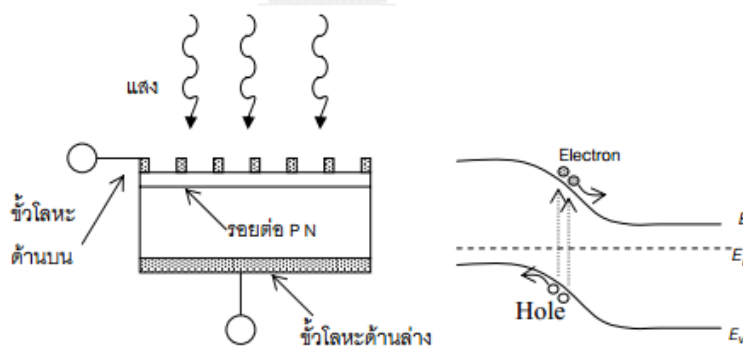
## บทที่ 2

### ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง

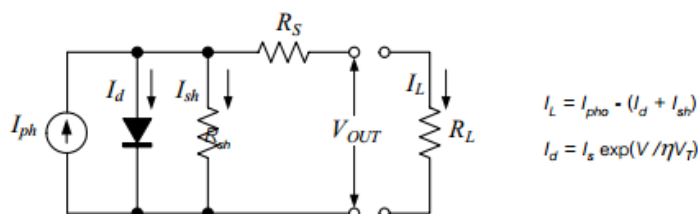
#### 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ เมื่อได้รับแสงจากดวงอาทิตย์หรือแสงจากหลอดไฟ เซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง

เซลล์แสงอาทิตย์มีโครงสร้างเป็นรอยต่อพี-เอ็นเช่นเดียวกับไดโอดทั่วไป แต่มีการออกแบบให้พื้นที่รับแสงโต และรอยต่อตั้งแสดงในรูปที่ 2-1 อาศัยปรากฏการณ์ทำงานเช่นเดียวกับโฟโตไดโอด มีข้อแตกต่างคือไม่จำเป็นต้องมีแรงดันไบแอสจากภายนอก (ขั้วรอยต่อพี-เอ็นจะอยู่ในสภาวะลัดวงจร เปิดวงจร หรือต่ออยู่กับโหลด แต่ไม่มีไหลดจ่ายไฟใดๆต่ออยู่) ในกรณีที่รอยต่อพี-เอ็นของเซลล์แสงอาทิตย์เปิดอยู่ เมื่อมีแสงกระทบเซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดการสร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้น สนามไฟฟ้าที่รอยต่อ( $eV_0$ )จะพัดพาโฮลให้ไหลไปทางพีและอิเล็กตรอนให้ไหลไปทางเอ็น จึงเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่ขั้วโลหะทั้งสองรอยต่อสารกึ่งตัวนำ ขั้วโลหะที่ต่อกับด้านพีจะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก และขั้วโลหะที่ต่อกับด้านเอ็นจะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-1 โครงสร้างและแถบพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2-2 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์[2]

เมื่อ

$I_{ph0}$  คือ กระแสที่เกิดจากโฟตอน

$I_d$  คือ กระแสที่ไหลผ่านไดโอดของรอยต่อพี-เอ็น

$I_{sh}$  คือ กระแสที่ไหลผ่านความต้านทานขนาน

$I_s$  คือ กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ

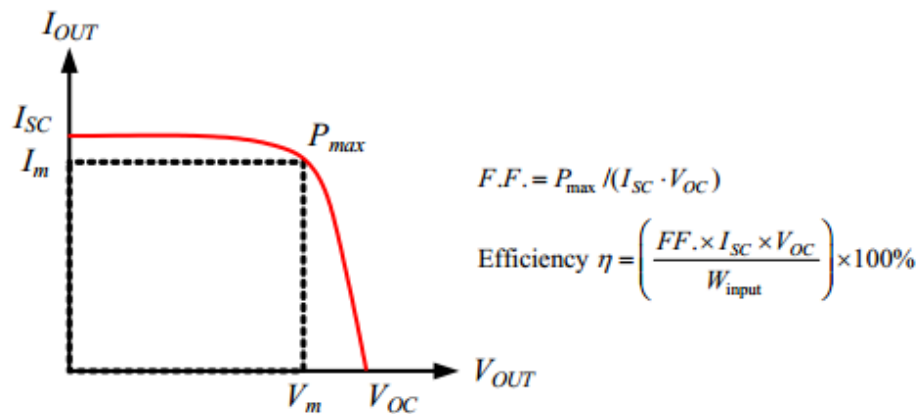
$R_{sh}$  คือ ความต้านทานขนาน

$R_s$  คือ ความต้านทานอนุกรม

เซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติคือเซลล์ที่มีความต้านทาน  $R_{sh}$  เป็นอนันต์ และค่าความต้านทาน  $R_s$  เป็น 0 เมื่อนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปฉายแสงแล้วตรวจสอบ จะได้ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันดังรูปที่ 2-3 โดย  $I_{sc}$  คือ กระแสลัดวงจร มีค่าเพิ่มขึ้นตามพื้นที่รับแสง และ  $V_{oc}$  คือ แรงดันวงจรเปิด  $P_{max}$  คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จะให้ได้เมื่อได้รับแสง และอัตราส่วนระหว่าง  $P_{max}$  กับผลคูณของ  $I_{sc} \times V_{oc}$  นั้นเรียกว่า ค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (Fill factor, F.F.) ฉะนั้นในอุดมคติแล้ว F.F. ควรมีค่าใกล้ 1 แต่ในทางปฏิบัติจะมีค่าระหว่าง 0.5 - 0.8 แล้วแต่คุณภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถหาได้ด้วยสูตร

$$\eta = \frac{I_{sc} \times V_{oc}}{W_{input}} \times F.F. \times 100(\%)$$

โดย  $W_{input}$  คือ กำลังของแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2-3 ลักษณะคุณสมบัติกระแส - แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

## 2.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

แบ่งออกตามวัสดุที่ใช้เป็น 3 ชนิดหลักๆ คือ

2.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell หรือ c-Si) ซิลิกอนเป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำที่มีราคาสูงที่สุด เนื่องจากซิลิกอนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในโลกชนิดหนึ่ง สามารถถลุงได้จากหินและทราย เรานิยมใช้ซิลิกอนในงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้ทำทรานซิสเตอร์และไอซี และเซลล์แสงอาทิตย์ เทคโนโลยี c-Si ได้รับความนิยมและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย นิยมใช้งานในพื้นที่เฉพาะ ได้แก่ ในชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าเป็นหลัก

2.2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน (Polycrystalline Silicon Solar Cell หรือ pc-Si) จากการพยายามในการที่จะลดต้นทุนการผลิตของ c-Si จึงทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยี pc-Si ขึ้นเป็นผลให้ต้นทุนการผลิต pc-Si ต่ำกว่า c-Si ร้อยละ 10 อย่างไรก็ตาม pc-Si ก็ได้รับความนิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลาย

2.2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน (Amorphous Silicon Solar Cell หรือ a-Si) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ธาตุซิลิกอนเช่นกันแต่ไม่เป็นผลึก ผลของสารอะมอร์ฟัสทำให้เกิดฟิล์มของซิลิกอน มีความหนาประมาณ 300 นาโนเมตร ทำให้ไม่สิ้นเปลืองเนื้อวัสดุ น้ำหนักเบา การผลิตทำได้ง่าย แล้วข้อดีของ a-Si คือ ไม่ทำให้เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม จึงเหมาะที่ประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าน้อย เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ วิทยุทรานซิสเตอร์ เป็นต้น

นอกจากซิลิกอนแล้ว วัสดุสารกึ่งตัวนำอื่นๆก็ใช้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เช่นกัน ได้แก่ แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs; Gallium Arsenide) แคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe; Cadmium Telluride) คอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ (CIS: Copper Indium Diselenide) โดยแสงอาทิตย์ที่ผลิตจาก GaAs จะมีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานที่สูงที่สุด เหมาะกับงานด้านอวกาศ ซึ่งมีราคาแพงมากเมื่อเทียบกับซิลิกอน นอกจากนี้มีการคาดหมายกันว่า เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจาก CIS จะมีราคาถูกและมีประสิทธิภาพสูง

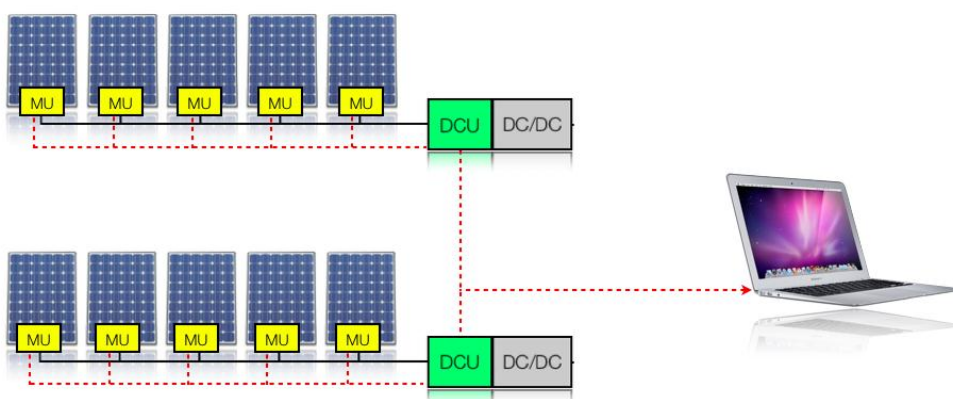
## 2.3 การตรวจวัดคุณภาพของแผงเซลล์ในฟาร์มแสงอาทิตย์

ปัจจุบันมีระบบที่สามารถตรวจวัดแบบละเอียดไปถึงระดับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ทุกแผง [3] ซึ่งมีหลายรูปแบบ ได้แก่ การตรวจวัดโดยจากเจ้าหน้าที่ (Manual), แบบใช้ระบบไร้สาย (Wireless communication network), แบบใช้สายส่งไฟฟ้าที่มีอยู่แล้วเพื่อการสื่อสาร (Power Line Communication, PLC)

### 2.3.1 การตรวจวัดโดยใช้คน

การตรวจวัดแบบนี้คือการที่เจ้าหน้าที่เข้าไปวัดแรงดันไฟฟ้าแต่ละแผงเซลล์ด้วยตัวเองทีละแผงหรือการสุ่มตรวจ ซึ่งถ้าหากมีแผงเซลล์ที่มากการวัดลักษณะนี้ค่อนข้างไม่สะดวกต่อการใช้งานจริงมากนัก

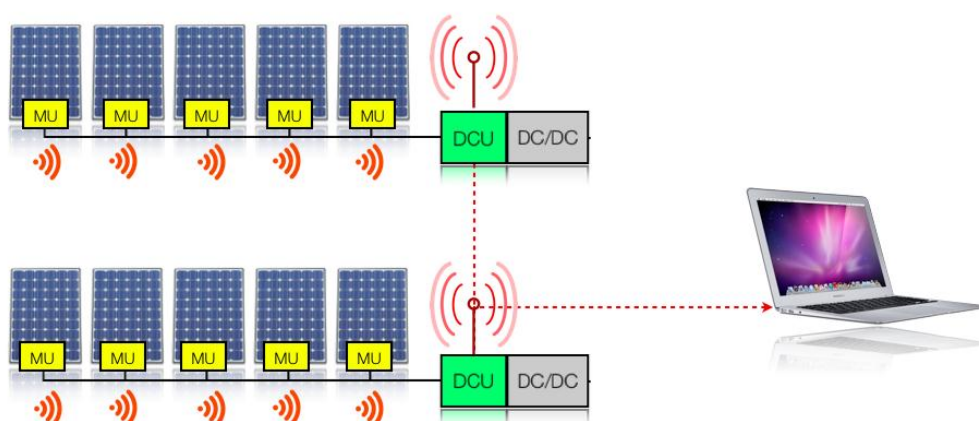
### 2.3.2 การตรวจวัดโดยใช้สายสัญญาณเพิ่ม(External Line Communication)



รูปที่ 2-4 การตรวจวัดโดยใช้สายสัญญาณเพิ่ม(External Line Communication)

การตรวจวัดลักษณะนี้มีการติดตั้งสายไฟเพิ่มขึ้นอย่างน้อย 1-2 เส้นดังแสดงในรูปที่ 2-4 เพื่อใช้ในการสื่อสารกันระหว่างมอดูลตรวจวัดกับมอดูลรวบรวมข้อมูล สายไฟที่เพิ่มขึ้นมาทำให้มีต้นทุนในการเดินสายไฟเพิ่มขึ้น อายุการใช้งานขึ้นอยู่กับชนิดสายไฟที่ใช้ การสื่อสารใช้การไม่ได้เมื่อสายไฟขาดหรือชำรุด รูปแบบการสื่อสารแบบนี้ได้แก่ RS485[4, 5], CANBUS เป็นต้น

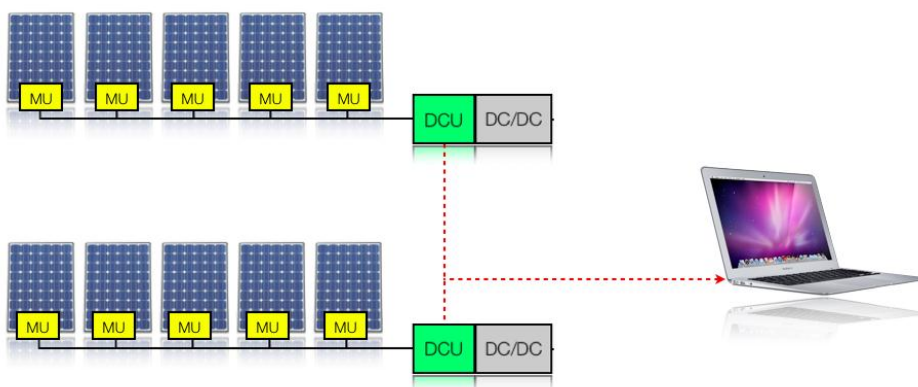
### 2.3.3 การตรวจวัดโดยใช้ระบบไร้สาย(Wireless Communication Network)



รูปที่ 2-5 การตรวจวัดที่ใช้ระบบไร้สายในการสื่อสาร(Wireless communication network)

จากรูปที่ 2-5 จะเห็นว่าที่แผงเซลล์ทุกแผงจะมีมอดูลตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าติดตั้งอยู่ เมื่อมอดูลทำการวัดแล้วจะส่งข้อมูลมายังหน่วยประมวลผลกลางด้วยการสื่อสารแบบสัญญาณไร้สาย ที่ตัววัดทุกตัวมีรหัสประจำตัวจึงสามารถระบุได้ว่าเซลล์ไหนมีแรงดันเท่าไร การตรวจวัดที่ใช้ระบบไร้สายในการสื่อสารจะมีอายุการใช้งานสูง ทนทาน ต้นทุนจะมากที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ รูปแบบการสื่อสารแบบนี้ได้แก่ ZigBee[6, 7], Wifi, RF เป็นต้น

#### 2.3.4 การตรวจวัดโดยใช้สายส่งไฟฟ้าที่มีอยู่แล้ว(Power Line Communication)



รูปที่ 2-6 แสดงการตรวจวัดที่ใช้สายส่งไฟฟ้าที่มีอยู่แล้วในการสื่อสาร(Power Line Communication, PLC)

การตรวจวัดที่ใช้สายส่งไฟฟ้าที่มีอยู่แล้วในการสื่อสาร[8] ดังแสดงในรูปที่ 2-6 สามารถตรวจวัดคุณภาพของแผงเซลล์ได้เพราะมีตัววัดแต่อยู่ทุกแผง โดยเมื่อมอดูลวัดแล้วจะส่งข้อมูลมาทางสายส่งไฟฟ้ากระแสตรงที่มีอยู่แล้ว ทำให้การติดตั้งไม่ต้องต่อสายไฟเพิ่ม การลงทุนอยู่ที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อายุการใช้งานสูง ในกรณีที่แผงเซลล์มีปัญหาหรือชำรุด สามารถระบุตำแหน่งได้

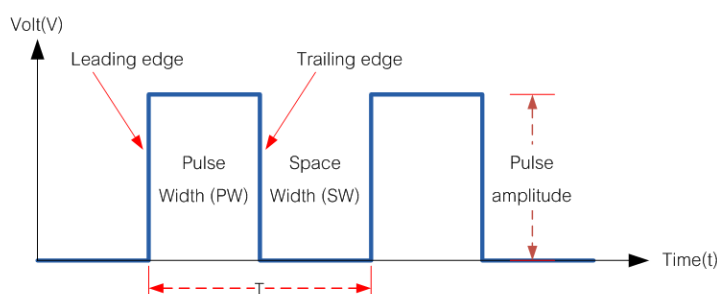
ตารางที่ 2-1 ตารางเปรียบเทียบการวัดคุณภาพแผงเซลล์แบบต่างๆ

		แบบที่ 2.3.1	แบบที่ 2.3.2	แบบที่ 2.3.3	แบบที่ 2.3.4
1	สามารถวัดคุณภาพได้ทุกแผงเซลล์	ได้เป็นบางแผงเนื่องจากเกิดจากการสุ่ม	ได้	ได้	ได้
2	สามารถระบุตำแหน่งที่แผงเซลล์มีปัญหา	ได้	ได้	ได้	ได้
3	พลังงานที่ใช้	ใช้แรงงานคน	ปานกลาง	น้อย	น้อย
4	ต้นทุน	สูง	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง
5	อายุการใช้งาน	น้อย	ปานกลาง	สูง	สูง
6	ประสิทธิภาพ	ต่ำ	สูง	ปานกลาง	สูง

## 2.4 สัญญาณพัลส์(Pulse Signal)

### 2.4.1 สัญญาณพัลส์ในอุดมคติ

สัญญาณพัลส์ในอุดมคติ คือ รูปคลื่นที่พิจารณาโดยไม่คิดค่าช่วงเวลาศูนย์เสี้ยวที่เกิดขึ้นในขณะที่พัลส์มีการเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูงและจากสูงไปต่ำดังแสดงในรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-7 รูปคลื่นพัลส์ในแบบอุดมคติ

เมื่อพิจารณาพบว่า

- ขนาดของพัลส์(Pulse amplitude)คือ ค่าที่วัดจากระดับแรงดันศูนย์โวลต์ไปถึงค่าสูงสุด( Peak value )
- ขอบหน้าของพัลส์ (Leading edge or rising edge or positive – going edge) คือ ค่าของสัญญาณที่เปลี่ยนค่าจากระดับแรงดันต่ำไปสู่ระดับแรงดันสูงสุด พิจารณาที่เวลา  $t = 0$
- ขอบหลังของพัลส์ (Trailing edge or falling edge or negative – going edge) คือ ค่าของสัญญาณที่เปลี่ยนค่าจากระดับแรงดันสูงสุดไปสู่ระดับต่ำสุดของพัลส์



– คาบเวลาของพัลส์ (Time period, T) คือระยะเวลาที่วัดจากขอบหน้าของพัลส์ที่เวลา  $t = 0$  จนถึงขอบหน้าของพัลส์รูปคลื่นต่อไป

– ความถี่ของพัลส์ (Pulse Repetition Frequency, PRF) คือ ค่าส่วนกลับของเวลา หรือ

$$PRF = PPS \text{ (Pulse Per Second)}$$

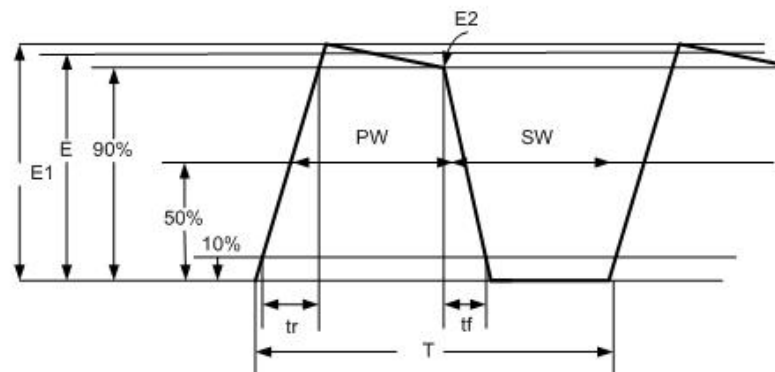
– ความกว้างของพัลส์ (Pulse Width, PW) คือ ช่วงเวลาที่วัดจากขอบหน้าของพัลส์จนถึงขอบหลังของพัลส์

– ช่องว่างระหว่างพัลส์ (Space Width, SW) คือ ช่วงเวลาที่วัดจากขอบหลังของพัลส์รูปคลื่นแรกจนถึงขอบหน้าพัลส์รูปคลื่นถัดไป

– อัตราส่วนพัลส์ (M/S ration) คือ อัตราส่วนระหว่างความกว้างของพัลส์ PW กับช่องว่างระหว่างพัลส์  $M / S \text{ ratio} = PW / SW$

– วัฏจักรหน้าที่ (Duty cycle) คือ ร้อยละของอัตราส่วนระหว่างความกว้างของพัลส์ (PW) กับคาบเวลาของพัลส์ (T)

#### 2.4.2 สัญญาณพัลส์ในทางปฏิบัติ



รูปที่ 2-8 รูปคลื่นสัญญาณพัลส์ในทางปฏิบัติ

จากรูปที่ 2-8 คลื่นพัลส์ในทางปฏิบัติจะแตกต่างกับทฤษฎีดังนี้

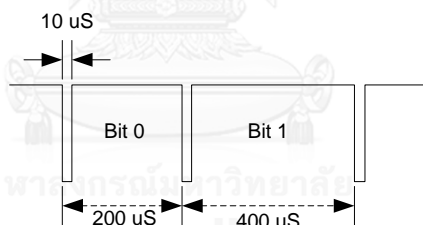
– เวลาไต่ขึ้น (Rise time) ระยะเวลาของสัญญาณพัลส์ขอบหน้าเปลี่ยนแปลงจากขนาดของสัญญาณที่ 10 % ไปจนถึง 90 % ของขนาดสูงสุด

– เวลาตก (Fall time) ระยะเวลาของสัญญาณพัลส์ขอบหลังตกจากระดับสัญญาณที่ 90 % ลงไปถึง 10 % ของขนาดสูงสุด

- ความกว้างของพัลส์ (PW) ต้องวัดมาจากค่าเฉลี่ยของความกว้างทั้งหมด คือวัดที่ 50 % ของขนาดสูงสุดของ แรงดันเฉลี่ย และค่าช่องว่างของพัลส์ ( SW ) ก็เช่นเดียวกัน ดังนั้น T จะเท่ากับ PW + SW
- ค่าขนาดแรงดันเฉลี่ยของพัลส์ (Average pulse amplitude) คือ ค่าเฉลี่ยจากค่าสูงสุดของขอบหน้า และขอบหลัง
- ความลาดเอียง (Tilt) คือ ความลาดเอียงบริเวณระดับสัญญาณสูงสุดขอบหน้าถึงขอบหลังของพัลส์
- ค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นพัลส์ ( $V_{av}$ ) คือ การนำเอาพื้นที่ที่เกิดพัลส์ ในช่วงความกว้างของพัลส์(PW) ทั้งด้านบน และด้านล่างของพัลส์มารวมกัน และหาร ด้วยคาบเวลาของพัลส์

## 2.5 การเข้ารหัสแบบ Binary Pulse Length Coding (BPLC)

ในรูปที่ 2-9 คือ การเข้ารหัสโดยใช้ความยาวรายคาบของสัญญาณพัลส์เป็นตัวกำหนด ความหมายของบิต เช่น กำหนดให้ความกว้าง 400 $\mu$ s มีความหมายเป็นบิต 1, 200 $\mu$ s เป็นบิต 0 เป็นต้น



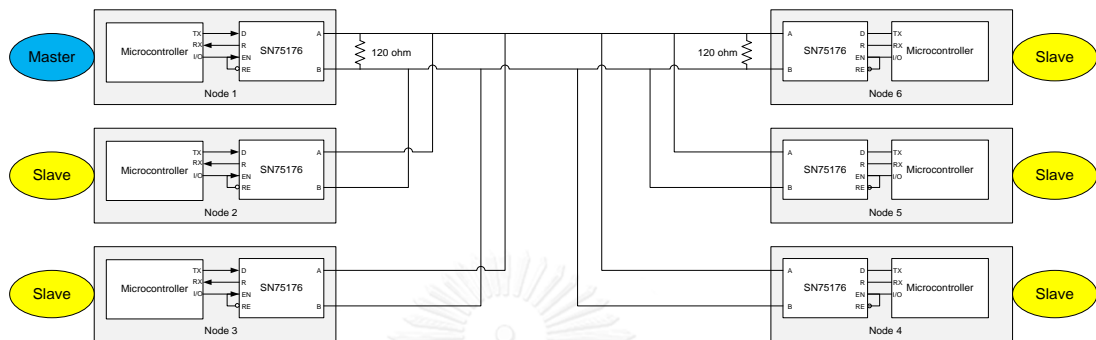
รูปที่ 2-9 ตัวอย่างการเข้ารหัสแบบ Binary Pulse Length Coding (BPLC)

## 2.6 การสื่อสารอนุกรม RS485

RS485 เป็นการรับส่งข้อมูลแบบ Half-Duplex โดยมีอุปกรณ์ 1 ชิ้นเป็นตัวแม่(Master) คอยจัด การสื่อสารในเครือข่าย ขณะที่อุปกรณ์ที่เหลือเป็นตัวลูก(Slave) ซึ่งตัวลูกแต่ละตัวมีรหัส (Address) ของตัวเอง เวลาที่ตัวแม่ต้องการสื่อสารกับตัวลูกทำได้โดยการส่ง Address ของตัวลูกที่ต้องการสื่อสารออกไป แล้วตามด้วยคำสั่งที่ต้องการ ตัวลูกทุกตัวจะได้รับข้อมูลจากตัวแม่ที่เหมือนกัน โดยตัวลูกแต่ละตัวจะตรวจสอบว่า Address ที่ส่งมานั้นเป็นของตัวเองหรือไม่ หากเป็น Address ของตัวเองก็จะทำตามคำสั่งของตัวแม่

โปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสาร สามารถกำหนดเองได้ว่าการลักษณะแบบใด ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของงาน ในขณะที่เดียวกันสามารถเลือกใช้ Open protocol ได้เช่นกัน ตัวอย่างเช่น โปรโตคอล MODBUS ซึ่งนิยมใช้กับ PLC ในงานอุตสาหกรรม

IC ที่นิยมใช้ในการแปลงสัญญาณจาก UART เป็น RS485 คือเบอร์ SN75176 ซึ่งมีราคาถูก และสามารถต่ออุปกรณ์ได้มากที่สุด 32 ตัว



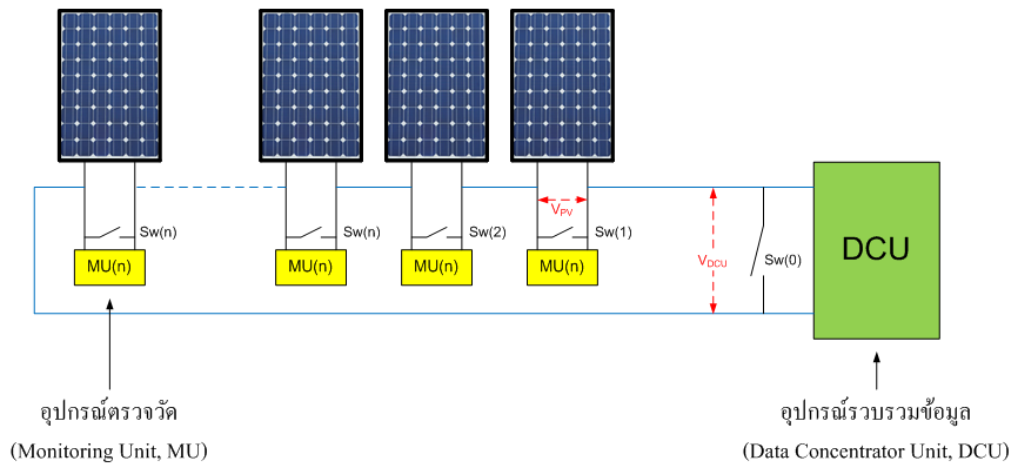
รูปที่ 2-10 รูปแบบการต่ออุปกรณ์อนุกรม RS485

สายสัญญาณ RS485 ถูกเดินเป็นเส้นยาว โดยที่ Node แรกที่ต้นสาย และ Node สุดท้ายที่ปลายสาย มีการนำตัวต้านทานขนาด  $120\Omega$  ใส่ไว้ ในขณะที่ Node อื่นสามารถนำมาต่อเข้ากับสายส่งระหว่าง Node แรก กับ Node สุดท้าย โดยไม่ต้องใส่ตัวต้านทาน ดังรูปที่ 2-10

### บทที่ 3

## ระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้

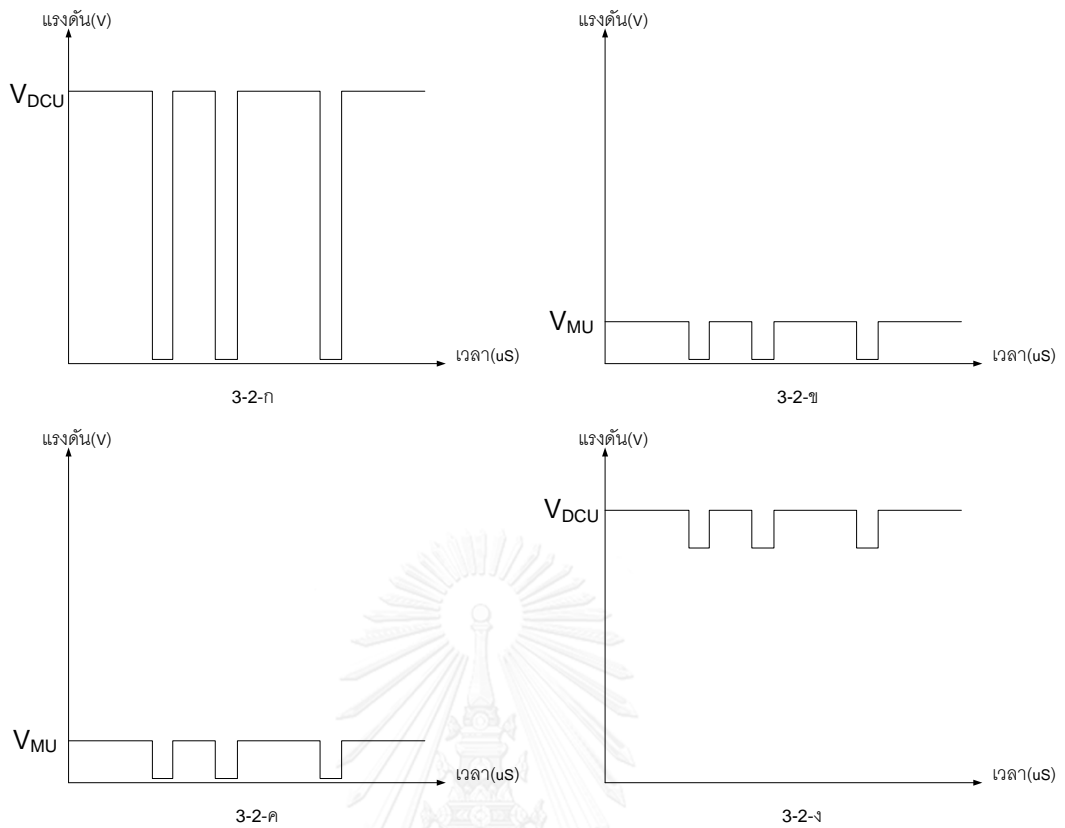
### 3.1 แนวคิดในการสื่อสารผ่านสายส่งพลังงานไฟฟ้าด้วยการส่งสัญญาณพัลส์



รูปที่ 3-1 การสื่อสารผ่านสายส่งด้วยการส่งสัญญาณพัลส์บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่ออนุกรมกัน

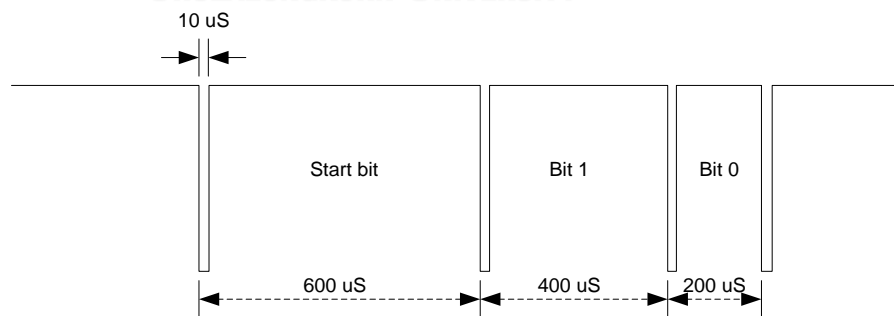
#### 3.1.1 หลักการทำงาน

แผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผงมีมอดูลตรวจวัดซึ่งภายในมีสวิตช์  $sw(1), sw(2), \dots, sw(n)$  ครอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ และที่ปลายสายส่งไฟฟ้ากระแสตรงมีมอดูลรวบรวมข้อมูลซึ่งภายในมีสวิตช์  $sw(0)$  ครอบสายส่งพลังงานไฟฟ้าอยู่เช่นกันดังรูปที่ 3-1 เริ่มการสื่อสารด้วยการเปิดสวิตช์  $sw(0)$  ซอร์ตแรงดัน  $V_{DCU}$  ให้เป็นศูนย์โวลต์เป็นพัลส์แคบๆ  $2\mu s - 10\mu s$  (ดังรูปที่ 3-2-ก) ซึ่งเป็นผลให้แรงดันที่ตกคร่อมแผงเซลล์แสงอาทิตย์  $V_{pv}$  ทุกตัวเป็นศูนย์ตามไปด้วย(ดังรูปที่ 3-2-ข) มอดูลตรวจวัดตัวใดตัวหนึ่งส่งข้อมูลไปให้กับมอดูลรวบรวมข้อมูลได้โดยการซอร์ตสวิตซ์ให้แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเป็นศูนย์โวลต์เป็นพัลส์แคบๆ  $2\mu s - 10\mu s$  จะเกิดเป็นสัญญาณพัลส์ขึ้น(ดังรูปที่ 3-2-ค) ซึ่งเป็นแรงดันที่หายไปของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตัวนั้นที่ปรากฏที่  $V_{DCU}$  (ดังรูปที่ 3-2-ง)



รูปที่ 3-2 สัญญาณพัลส์ของการสื่อสารผ่านสายส่งไฟฟ้ากระแสตรง

การเข้ารหัสใช้หลักการ Binary Pulse Length Coding(BPLC) กำหนดให้พัลส์มีขนาด 10μs เมื่อความกว้างของคาบ 200μs มีค่าเป็น Bit 0, 400μs มีค่าเป็น Bit 1 และ 600μs มีค่าเป็น Start bit ดังรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 การเข้ารหัสแบบ Binary Pulse Length Coding(BPLC)

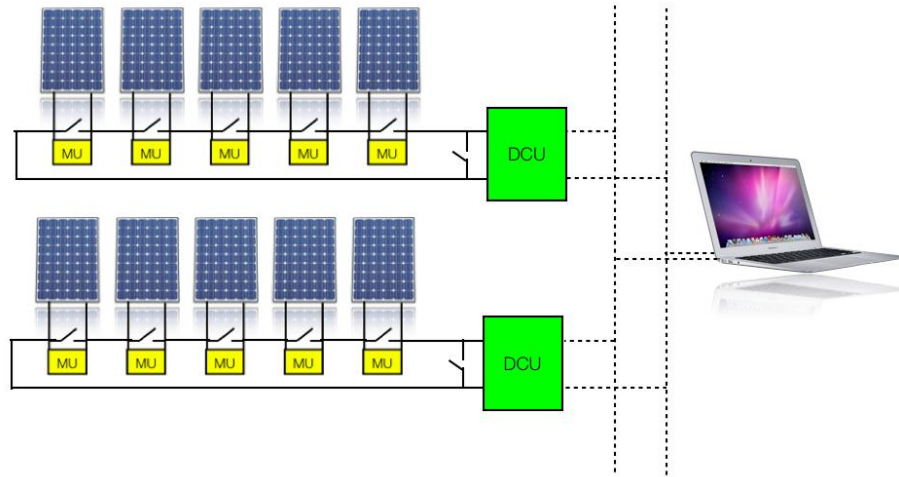
### 3.1.2 ข้อดี – ข้อเสียระหว่างการสื่อสารด้วยคลื่นความถี่พาหะ และ การสื่อสารด้วยสัญญาณพัลส์

ตารางที่ 3-1 การเปรียบเทียบข้อดี – ข้อเสียระหว่างการสื่อสารด้วยคลื่นความถี่พาหะ และ การสื่อสารด้วยสัญญาณพัลส์

	การสื่อสารด้วยคลื่นความถี่พาหะ	การสื่อสารด้วยสัญญาณพัลส์
สัญญาณรบกวน	- สามารถเกิดสัญญาณรบกวนได้เมื่อต้องสื่อสารผ่านสายส่งที่มีอุปกรณ์พวก Switching	- เนื่องจากสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณขนาดใหญ่ จึงถูกรบกวนได้ยาก
การประหยัดพลังงาน	- ต้องมีการเปิดภาครับไว้เพื่อรอรับคลื่นความถี่ ทำให้มีการใช้พลังงานอยู่ตลอดเวลา	- ในขณะที่สายส่งไม่มีสัญญาณพัลส์เกิดขึ้น มอดูลจะไม่ใช้พลังงานเลย
ความยุ่งยากในการสร้างมอดูล	- การสื่อสารแบบคลื่นพาหะต้องควบคุมค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุที่ใช้สร้างวงจรกรอง ซึ่งมีความยุ่งยาก	- การสื่อสารด้วยสัญญาณพัลส์ใช้วงจร RC ในการสร้างวงจร ทำให้ง่ายต่อการออกแบบและพัฒนา
ความซับซ้อนของวงจร	- วงจรที่ใช้มีความซับซ้อน	- วงจรที่ใช้ไม่ซับซ้อนมาก
ต้นทุน	- สูง	- ต่ำ

ข้อเสียของการสื่อสารด้วยสัญญาณพัลส์ คือ ในการสร้างสัญญาณพัลส์แต่ละครั้ง ต้องชอร์ตวงจร ทำให้มีการสูญเสียพลังงานไปบางส่วน แต่เนื่องจากเวลาที่ชอร์ตวงจรในแต่ละครั้งสั้นมาก (10 $\mu$ s) และการวัดแรงดันคร่อมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละวัน ทำการวัดเพียง 1-2 ครั้ง โดยใช้เวลารั้งละ 2-3 วินาที ซึ่งไม่สิ้นเปลืองพลังงานมากไปนัก

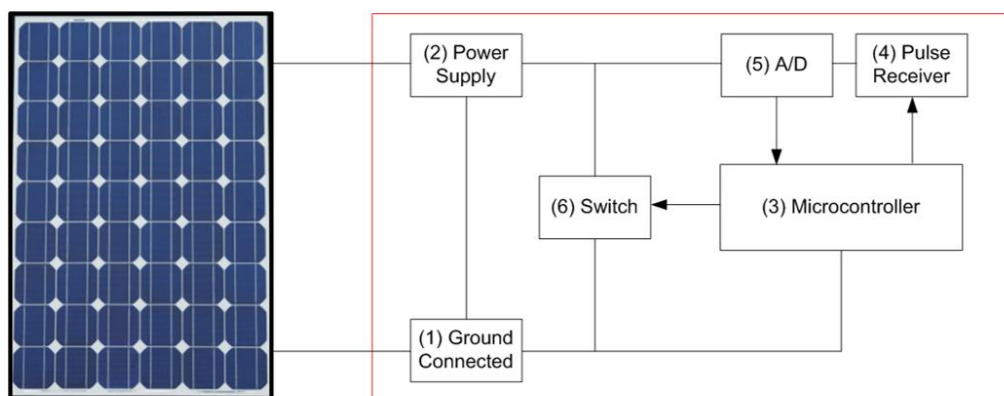
### 3.2 ภาพรวมของระบบ



รูปที่ 3-4 ภาพรวมของระบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ มีลักษณะดังรูปที่ 3-4 โดยในแต่ละแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีมอดูลตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า(Monitoring Unit, MU) ติดตั้งอยู่ มอดูลเหล่านี้เมื่อจะทำงานก็ต่อเมื่อมอดูลรวบรวมข้อมูล(Data Concentrator Unit, DCU) ส่งสัญญาณพัลส์มาปลุกให้ทำงานผ่านทางสายส่งไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อมอดูลตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าเสร็จจะส่งข้อมูลกลับมายังมอดูลรวบรวมข้อมูลผ่านทางสายส่งไฟฟ้ากระแสตรงเช่นกัน ที่มอดูลรวบรวมข้อมูลมีการวัดค่าแรงดันรวมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดและเก็บข้อมูล นอกจากนี้ระหว่างมอดูลรวบรวมข้อมูลมีการติดต่อกันผ่านทางระบบสื่อสารอนุกรม RS485 เพื่อส่งข้อมูลไปยังหน่วยประมวลผลกลาง

### 3.3 มอดูลตรวจวัด(Monitoring Unit, MU)



รูปที่ 3-5 โครงสร้างภายในของมอดูลตรวจวัด(Monitoring Unit, MU)

จากรูปที่ 3-5 วงจรอย่างง่ายของมอดูลตรวจวัดแรงดันแต่ละเซลล์ประกอบด้วย

(1) วงจรเชื่อมต่อกาวด์ (Ground connected)

ใช้เชื่อมต่อกาวด์ของวงจรควบคุมแรงดัน (Power supply)

(2) วงจรควบคุมแรงดัน (Power supply)

ใช้ปรับแรงดันจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จาก 12V เป็น 3.3 V เพื่อใช้เลี้ยงตัว

ไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรรับพัลส์

(3) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ใช้ประมวลและเก็บข้อมูลแรงดันที่วัดได้

(4) วงจรรับพัลส์ (Pulse receiver)

ใช้รับสัญญาณที่ถูกส่งมาจากมอดูลรวบรวมข้อมูลผ่านทางสายส่งไฟฟ้ากระแสตรง

(5) วงจรลดแรงดัน (Voltage divider)

ใช้แปลงแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันสูงเป็นแรงดันระดับต่ำก่อนส่งเข้า A/D ของ

ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลค่าแรงดันต่อไป

(6) สวิตช์ (Switch)

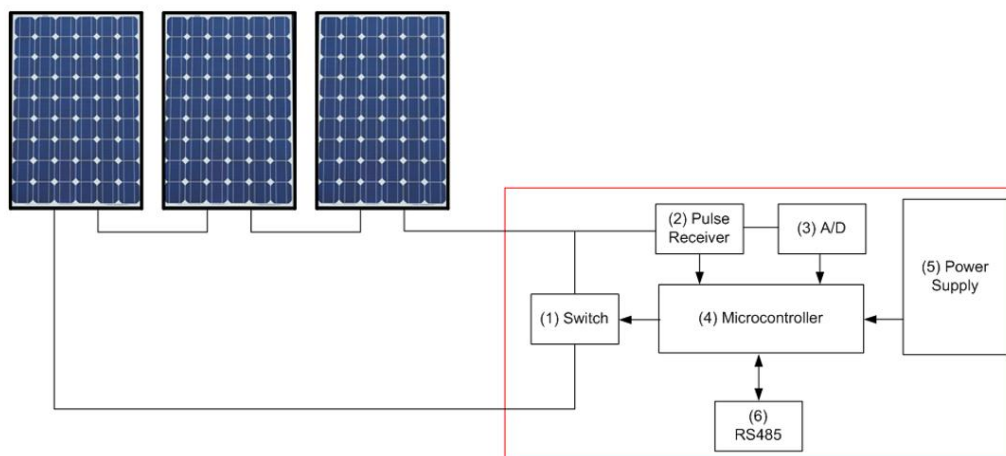
ใช้ส่งสัญญาณพัลส์

หลักการทำงาน:

ในสถานะที่สายส่งไฟฟ้ามีสัญญาณพัลส์เกิดขึ้น วงจรเชื่อมต่อกาวด์ (1) จะนำพลังงานจากสัญญาณพัลส์นั้นมาเชื่อมต่อกาวด์ของวงจรควบคุมแรงดัน (2) ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (3) เริ่มทำงาน โดยวงจรรับสัญญาณพัลส์ (4) จะเปลี่ยนระดับแรงดันพัลส์ให้สามารถส่งเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เพื่อถอดรหัสต่อไป ในขณะที่วงจรลดแรงดัน (5) ทำหน้าที่ลดแรงดันไฟสูงให้เป็นแรงดันไฟเท่ากับแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง ก่อนเข้า A/D ของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อคำนวณแรงดันต่อไป เมื่อมอดูลตรวจวัดตรวจวัดต้องการส่งข้อมูลกลับไปยังมอดูลรวบรวมข้อมูล จะทำการสั่งสวิตช์ (6) เพื่อขอร์ดแรงดัน ทำให้เกิดสัญญาณพัลส์ในสายส่งต่อไป



### 3.4 มอดูลรวบรวมข้อมูล(Data Concentrator Unit, DCU)



รูปที่ 3-6 โครงสร้างภายในของมอดูลรวบรวมข้อมูล(Data Concentrator Unit, DCU)

จากรูปที่ 3-6 วงจรอย่างง่ายของมอดูลรวบรวมข้อมูลประกอบด้วย

- (1) สวิตช์: ใช้ส่งสัญญาณพัลส์
- (2) วงจรรับพัลส์: ใช้รับสัญญาณที่ถูกส่งมาจากมอดูลตรวจวัดผ่านทางสายส่งไฟฟ้ากระแสตรง
- (3) A/D: ใช้แปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแอนนาลอกเป็นดิจิตอลก่อนส่งเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์
- (4) ไมโครคอนโทรลเลอร์: ใช้ประมวลและเก็บข้อมูลแรงดันที่วัดได้
- (5) วงจรควบคุมแรงดัน: ใช้สร้างแรงดันขนาด 5V และ 3.3 V เพื่อใช้เลี้ยงตัวไมโครคอนโทรลเลอร์, วงจรรับพัลส์ และวงจร RS485
- (6) สื่อสารอนุกรม RS485: ใช้สื่อสารกันระหว่างตัวแม่แต่ละตัวและคอมพิวเตอร์ที่เป็นหน่วยประมวลผลกลาง

หลักการทำงาน:

มอดูลรวบรวมข้อมูลทำหน้าที่ในการรวบรวมข้อมูลแรงดันไฟฟ้าที่มอดูลตรวจวัดส่งมา และวัดแรงดันรวมที่ปลายสตรึง ก่อนส่งข้อมูลต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลต่อไป

มอดูลรวบรวมข้อมูลประกอบได้ สวิตช์(1) ใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์ในสายส่งไฟฟ้าไปยังมอดูลตรวจวัดทุกตัวในสตรึง โดยมีวงจรรับสัญญาณพัลส์(2) เพื่อรับข้อมูลที่ส่งมาจากมอดูลตรวจวัด มีวงจรลดแรงดันไฟฟ้า(3)เพื่อลดระดับแรงดันไฟฟ้าจากสูงมาต่ำก่อนเข้า A/D ของ

ไมโครคอนโทรลเลอร์(4)เพื่อคำนวณแรงดันไฟฟ้า นอกจากนี้เมื่อดูรวบรวมข้อมูลยังมีการสื่อสารแบบ  
อนุกรมRS485 (6) เพื่อติดต่อกับคอมพิวเตอร์ในระยะไกลด้วย

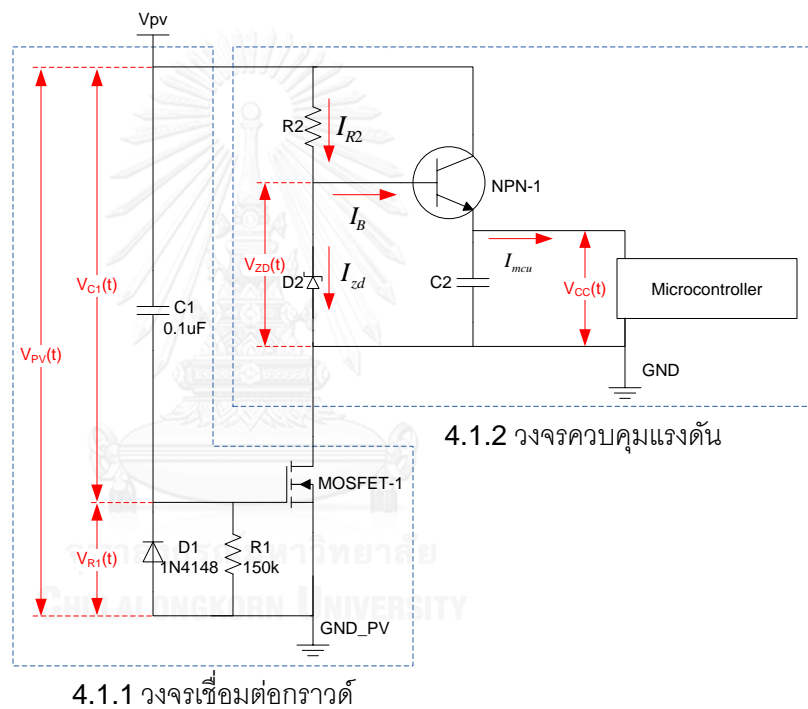


## บทที่ 4

### การออกแบบวงจรภายในของมอดูล

การออกแบบวงจรและคำนวณค่าตัวแปรต่างๆเพื่อใช้ในการทดสอบกับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ หากต้องการนำไปทดสอบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง อาจมีการปรับเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรบางค่าให้เหมาะสมกับการขนาดแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นๆ

#### 4.1 วงจรเชื่อมต่อกราวด์ และ วงจรควบคุมแรงดัน



รูปที่ 4-1 วงจรเชื่อมต่อกราวด์ และ วงจรควบคุมแรงดัน

##### 4.1.1 วงจรเชื่อมต่อกราวด์

วงจรเชื่อมต่อกราวด์เป็นเสมือนวงจรปลุกมอดูลตรวจวัดให้เริ่มต้นทำงาน ในขณะที่สายส่งไฟฟ้าไม่มีสัญญาณพัลส์  $V_{PV} = V_{C1}$  และ  $V_{R1} = 0$  มอสเฟต  $Q_1$  อยู่ในสภาวะหยุดทำงานตามสมการที่ (4-1) เมื่อมอดูลรวบรวมข้อมูลส่งสัญญาณพัลส์ในสายส่งเพื่อปลุกมอดูลตรวจวัด แรงดัน  $V_{PV}$  ตกลง ตัวเก็บประจุ  $C_1$  คายประจุออกมาผ่านไดโอด  $D_1$  ได้แรงดัน  $V_{C1}$  และ  $V_{R1}$  ณ เวลา  $t=0$  ดังนี้

$$V_{C1} = V_{PV} \text{ และ } V_{R1} = 0 \quad (4-1)$$

มอสเฟต Q1 เริ่มทำงานเมื่อ  $V_{R1} > V_{th-Q1}$  เมื่อพิจารณาช่วงเวลา  $0 < t < T$  จะได้สมการดังนี้

$$V_{PV}(t) = V_{C1}(t) + V_{R1}(t) \quad (4-2)$$

$$I_{C1} = C_1 \frac{dV_{C1}(t)}{dt} \text{ และ } I_{C1} = \frac{V_{R1}}{R_1} \quad (4-3)$$

จากสมการที่ (4-2) และ (4-3) จะได้

$$V_{PV}(t) = V_{C1}(t) + R_1 C_1 \frac{dV_{C1}(t)}{dt} \quad (4-4)$$

เมื่อแก้สมการอนุพันธ์อันดับที่ 1 ของสมการที่ (4-4) จะได้

$$V_C(t) = V_{PV}(1 - e^{-\frac{t}{R_1 C_1}}) \quad (4-5)$$

$$V_R(t) = V_{PV}(e^{-\frac{t}{R_1 C_1}}) \quad (4-6)$$

โดย  $\tau = R_1 C_1$  จากค่า  $R_1$  และ  $C_1$  จากรูปที่ 4-1 ( $R_1 = 150k\Omega$ ,  $C_1 = 0.1\mu F$ )

จะได้  $\tau = 15mS$  มอสเฟตที่ใช้เป็นเบอร์ 2N7000 ซึ่งมี  $V_{gs-th} = 3V$  โดยมอสเฟตจะทำงานก็ต่อเมื่อ  $V_{R1} > V_{gs-th}$  จากสมการที่ (4-6) เมื่อแทนค่า  $V_{PV} = 12V$  และ  $t = 200 \mu S$  ( $200 \mu S$  เป็นคาบเวลาของสัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการปลุกมอดูล) จะได้  $11.84V$  ซึ่งมากกว่า  $V_{gs-th}$  มอสเฟต Q1 จึงอยู่ในสถานะทำงาน

#### 4.1.2 วงจรควบคุมแรงดันไฟเลี้ยง

ในสถานะที่มอดูลตรวจวัดไม่ทำงานจะไม่มีการใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากกราวด์ของวงจรไม่ได้ถูกเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้ คือ PIC16LF1805 ซึ่งใช้ไฟเลี้ยง  $1.8 - 3.6V$  และใช้กระแส  $0.48mA$  ในการทำงาน

หากใช้ไอซี Linear regulator เป็นตัวลดระดับแรงดันไฟฟ้าให้ได้  $1.8-3.6V$  จำเป็นต้องใช้ไอซีมากกว่า 1 ตัว เนื่องจาก ไอซี Linear regulator ที่ให้ไฟ  $3.3V$  สามารถรับไฟเข้าได้ไม่เกิน  $10V$  ซึ่งในการทดสอบนี้ใช้แบตเตอรี่ขนาด  $12V$  แทนแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง ซึ่งไม่สามารถใช้ไอซี regulator ได้ทันที อาจต้องมีการใช้ไอซีเบอร์ LM7805 ลดระดับแรงดันจาก  $12V$  มาเป็น  $5V$  ก่อน แล้วค่อยใช้

ไอซีเบอร์ LM1117 มาลดระดับแรงดันให้เหลือ 3.3V ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ต้นทุนสูง และทำให้วงจรมีขนาดใหญ่

อีกทางเลือกหนึ่งคือการใช้วงจร Switching power supply ในการลดระดับแรงดัน ซึ่งสามารถรับแรงดันเข้าระดับสูงได้และสามารถให้กระแสที่สูง แต่เนื่องจากมอดูลตรวจวัดไม่จำเป็นต้องใช้กระแสมาก และวงจรสวิตซ์มีการยุ่งยากในการออกแบบและใช้อุปกรณ์มาก ต้นทุนสูง ดังนั้นการเลือกใช้ Switching power supply จึงไม่เหมาะในการใช้เป็นวงจรควบคุมแรงดันไฟเลี้ยงในมอดูลนี้ การออกแบบวงจรควบคุมแรงดันไฟเลี้ยงที่นำเสนอขึ้น เป็นการใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นตัวกำหนดแรงดันและใช้ทรานซิสเตอร์NPNเป็นตัวขยายกระแส ซึ่งเป็นวงจรที่ไม่ซับซ้อน ต้นทุนต่ำ และสามารถให้กระแสได้เหมาะสมกับมอดูลตรวจวัด

แรงดันไฟเลี้ยง( $V_{CC}$ )สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4-6) ดังนี้

$$V_{CC} = V_{ZD} - V_{BE} \quad (4-6)$$

โดย  $V_{CC}$  ที่ต้องการมีค่าอยู่ระหว่าง 1.8-3.6 V และ ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ขยายกระแส(เบอร์ ST13005) มี  $V_{BE}$  เท่ากับ 1.2V จากตารางที่ 4-1 เบอร์ซีเนอร์ที่สามารถใช้ได้คือ 1N5230B ซึ่งมีค่าแรงดันขณะพังทลายเท่ากับ 4.7V เมื่อนำมาคำนวณกับสมการที่ (4-6) แล้วจะได้  $V_{CC}$  เท่ากับ 3.5 V

ในขณะที่มอดูลตรวจวัดต้องการกระแสประมาณ 2mA และซีเนอร์ไดโอดเบอร์ 1N5230B ต้องการกระแส 20mA ในการพังทลาย ในขณะที่ทรานซิสเตอร์ ST13005 มีอัตราขยายกระแส ( $\beta$ ) เท่ากับ 20

จาก 
$$I_C = \beta I_B \quad (4-7)$$

มอดูลตรวจวัดต้องการกระแส 2mA ดังนั้น  $I_C = 2 \text{ mA}$  จากสมการที่ (4-7) จะได้  $I_B = 0.1 \text{ mA}$

จาก KCL 
$$I_R = I_{zd} + I_B \quad (4-8)$$

จะได้ 
$$I_R = 20 \text{ mA} + 0.1 \text{ mA}$$
  

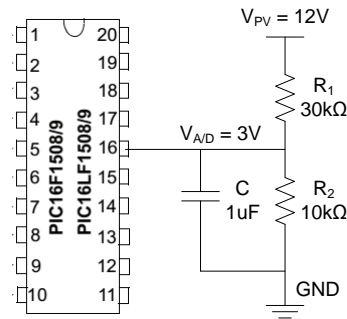
$$I_R = 20.1 \text{ mA}$$

เมื่อ 
$$R = \frac{V_{pv} - V_{zd}}{I_R} \quad (4-9)$$
  

$$R = \frac{12 - 4.7}{20.1 \text{ mA}}$$

ดังนั้น  $R = 363.18 \Omega$

## 4.2 วงจรแบ่งแรงดัน



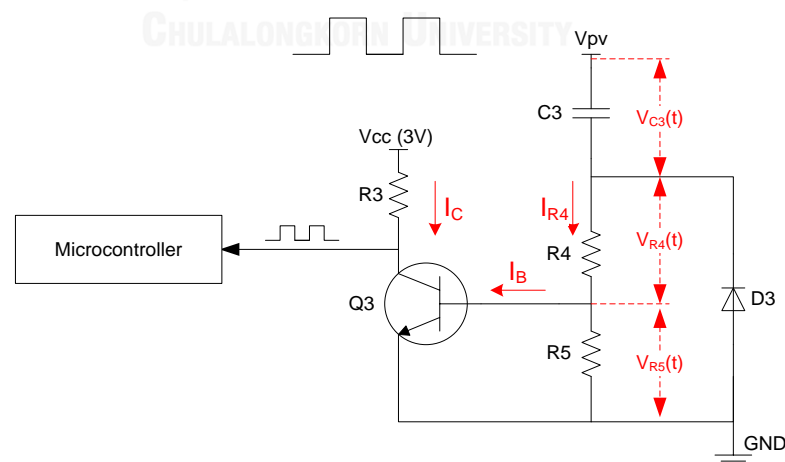
รูปที่ 4-2 วงจรแบ่งแรงดัน

การวัดแรงดันของแต่ละแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้ตัวต้านทาน  $R_1$  และ  $R_2$  แบ่งแรงดัน  $V_{PV}$  จาก 12V เหลือ 3V ตามสมการที่ (4-10) เพื่อเข้าขาแปลงสัญญาณแอนนาลอกเป็นดิจิตอล(A/D converter)ของไมโครคอนโทรลเลอร์

$$V_{A/D} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{PV} \quad (4-10)$$

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16LF1508 มีขาแปลงสัญญาณแอนนาลอกเป็นดิจิตอลอยู่ 12 ขา โดยมีความละเอียด 10 bit

## 4.3 วงจรรับสัญญาณพัลส์



รูปที่ 4-3 วงจรรับสัญญาณพัลส์

วงจรรับสัญญาณพัลส์ทำหน้าที่แปลงสัญญาณพัลส์ขนาดใหญ่( $V_{PV}$ )ให้เป็นสัญญาณพัลส์ขนาดเล็กซึ่งมีขนาดเท่ากับไฟเลี้ยงมอดูล( $V_{CC}$ ) เมื่อสภาวะสงบนิ่ง สายส่งไฟฟ้าไม่มีสัญญาณพัลส์  $V_{PV} = V_{C1}$

และ  $V_R = 0$  ดังสมการที่ (4-11) ทรานซิสเตอร์  $Q_3$  อยู่ในสภาวะหยุดทำงาน เมื่อมอดูลรวบรวมข้อมูลส่งสัญญาณพัลส์ในสายส่ง แรงดัน  $V_{PV}$  ตกลง ตัวเก็บประจุ  $C_3$  คายประจุออกมาผ่านไดโอด  $D_3$  ได้แรงดัน  $V_C$  และ  $V_R$  ณ เวลา  $t=0$  ดังนี้

$$V_C(0) = 0 \text{ และ } V_R(0) = 0 \quad (4-11)$$

และจะได้สมการในช่วงเวลาระหว่าง  $0 \leq t \leq T$  ดังสมการที่ (4-12)

$$V_{PV}(t) = V_{C3}(t) + V_{R4}(t) + V_{R3}(t) \quad (4-12)$$

เมื่อ 
$$V_{R4}(t) = R_4 C_3 \frac{dV_{C3}(t)}{dt} \text{ และ } V_{R3}(t) = V_{BE} \quad (4-13)$$

จะได้ 
$$V_{PV}(t) = V_{C3}(t) + R_4 C_3 \frac{dV_{C3}(t)}{dt} + V_{BE}(t) \quad (4-14)$$

เมื่อแก้สมการอนุพันธ์อันดับที่ 1 ของสมการ (4-14) จะได้  $V_C(t)$  ดังสมการที่ (4-15) และ  $V_{R4}(t)$  ดังสมการที่ (4-16)

$$V_C(t) = (V_{PV}(t) - V_{BE}(t))(1 - e^{-\frac{t}{R_4 C_3}}) \quad (4-15)$$

$$V_{R4}(t) = (V_{PV}(t) - V_{BE}(t))(e^{-\frac{t}{R_4 C_3}}) \quad (4-16)$$

เมื่อ 
$$I_{R4} = I_B + \frac{V_{BE}}{R_5} \quad (4-17)$$

และ 
$$I_{R4} = \frac{V_{R4}(t)}{R_4} \quad (4-18)$$

จะได้ 
$$I_B = \left\{ \left( \frac{V_{PV}(t) - V_{BE}(t)}{R_4} \right) e^{-\frac{t}{R_4 C_3}} \right\} - \frac{V_{BE}(t)}{R_5} \quad (4-19)$$

กำหนดให้  $V_{PV}(t) = 12V$ ,  $V_{BE}(t) = 0.9V$ ,  $R_4 = 10k\Omega$  และ  $C_3 = 1nF$  โดยเวลา  $t$  อยู่ในช่วง  $200 - 600 \mu s$  จะได้  $I_B = 90 \mu A$

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4-3 จะได้

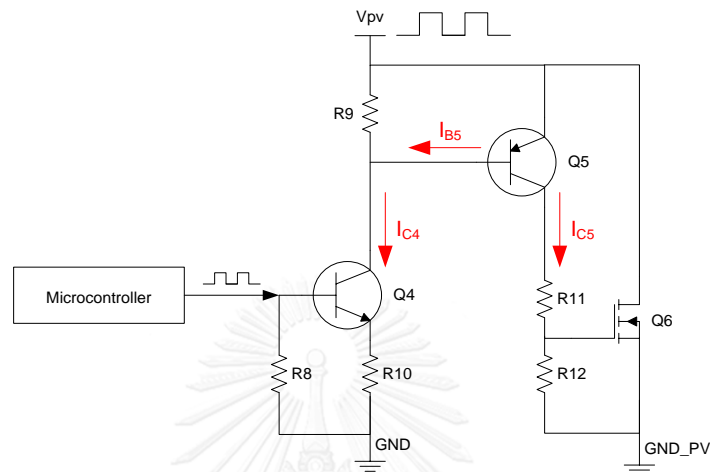
$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_3} \quad (4-20)$$

กำหนดให้  $V_{CC} = 3.3V$ ,  $R_3 = 3.3k\Omega$  จะได้  $I_C = 1 mA$

จาก  $I_B = \frac{I_C}{\beta}$  เมื่อ กำหนดให้  $\beta = 100$  จะได้  $I_B = 10 \mu A$

ทรานซิสเตอร์  $Q_3$  เริ่มทำงานเมื่อ  $I_B \geq 10 \mu A$  พบว่า  $I_B$  จากสมการที่ (4-19) มีค่าเท่ากับ  $90 \mu A$  ซึ่งมากกว่า  $10 \mu A$  ทรานซิสเตอร์  $Q_3$  จึงอยู่ในสถานะทำงาน

#### 4.4 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์



รูปที่ 4-4 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์

วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ เปรียบเสมือนสวิตช์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์ โดยมอสเฟต  $Q_6$  จะทำหน้าที่ในการลัดวงจร (Short-circuit) และเปิดวงจร (Open-circuit) แรงดันตกคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ ( $V_{PV}$ ) ซึ่งทำให้เกิดสัญญาณพัลส์ขนาดเท่ากับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นๆ ในสายส่งไฟฟ้า สมการของวงจรสร้างสัญญาณพัลส์สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$I_{C4} = \frac{V_{MCU} - V_{BE}}{R_{10}} \quad (4-21)$$

$$I_{B5} = I_{C4} - \frac{V_{BE}}{R_{10}} \quad (4-22)$$

$$I_{C5} = \beta_2 I_{B5} \quad (4-23)$$

เมื่อ  $V_{MCU} = 3.3V$ ,  $V_{BE} = 0.7V$  และ  $\beta_2 = 100$  จะได้  $I_{C5} = 19mA$

มอสเฟต  $Q_6$  ทำงานก็ต่อเมื่อ  $I_{C5} > \frac{V_{gs-th}}{R_{11}}$

เมื่อ  $V_{gs-th} = 7V$  จะได้  $\frac{V_{gs-th}}{R_{11}} = 7mA$

พบว่า  $I_{C5} > \frac{V_{gs-th}}{R_{11}}$  ดังนั้น มอสเฟต  $Q_6$  จึงอยู่ในสถานะทำงาน



## บทที่ 5

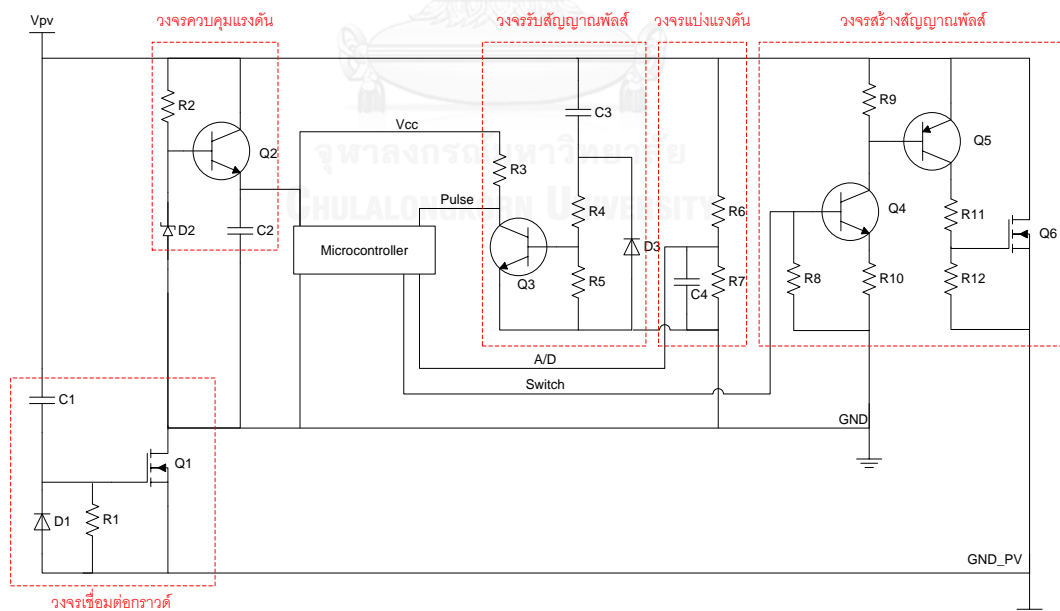
### การออกแบบและพัฒนาโมดูลต้นแบบ

#### 5.1 การออกแบบและพัฒนาต้นแบบมอดูลตรวจวัด(Monitoring unit, MU)

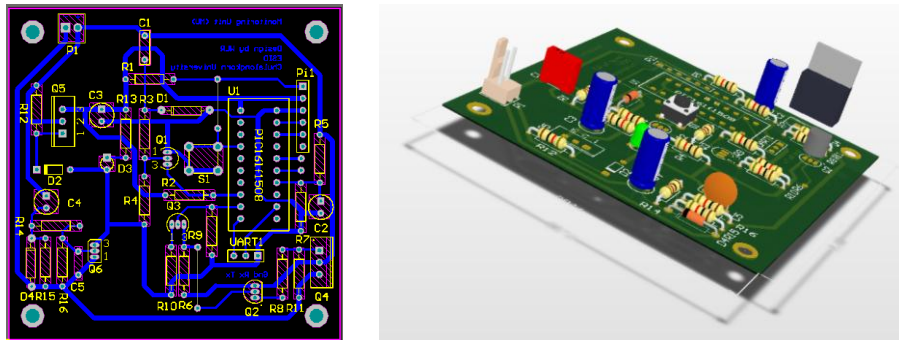
##### 5.1.1 แนวคิดการออกแบบมอดูลตรวจวัด

เนื่องจากมอดูลตรวจวัดเป็นมอดูลที่ต้องถูกติดตั้งกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกแผงในฟาร์มซึ่งมีจำนวนมาก หากมอดูลเหล่านี้ใช้พลังงานมาก ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากฟาร์มก็จะลดลงอย่างมาก ดังนั้นแนวคิดสำคัญของการออกแบบมอดูลตรวจวัด คือ ประหยัดพลังงาน, มีขนาดขนาดเล็ก, ทนทาน และราคาไม่สูง มอดูลส่วนใหญ่ในมอดูลตรวจวัดจึงเป็น passive component และเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้พลังงานต่ำ(Low power)

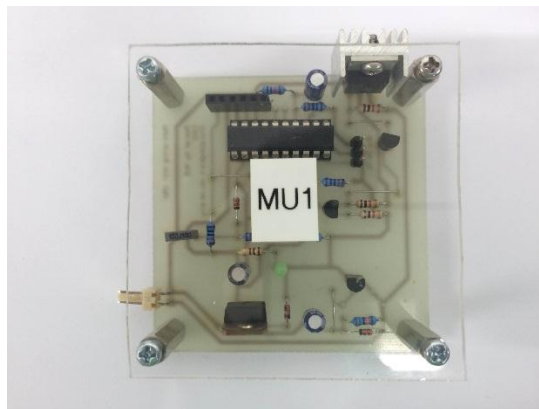
ในสภาวะปกติที่ไม่มีคำสั่งจากมอดูลรวบรวมข้อมูล มอดูลตรวจวัดจะถูกตัดวงจร(Open-circuit)ออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ไม่มีการใช้พลังงานจากแผงเซลล์นั้นๆอย่าง 100% เมื่อมีคำสั่งจากมอดูลรวบรวมข้อมูลมา กราวด์ของมอดูลตรวจวัดจะถูกเชื่อมต่อ(Short-circuit)ทำให้มอดูลตรวจวัดกลับมาทำงานอีกครั้ง ซึ่งในสภาวะทำงาน มอดูลตรวจวัดใช้กระแสไม่เกิน 10mA และใช้เวลาในการตรวจวัดไม่เกิน 1 วินาที



รูปที่ 5-1 วงจรภายในของมอดูลตรวจวัด



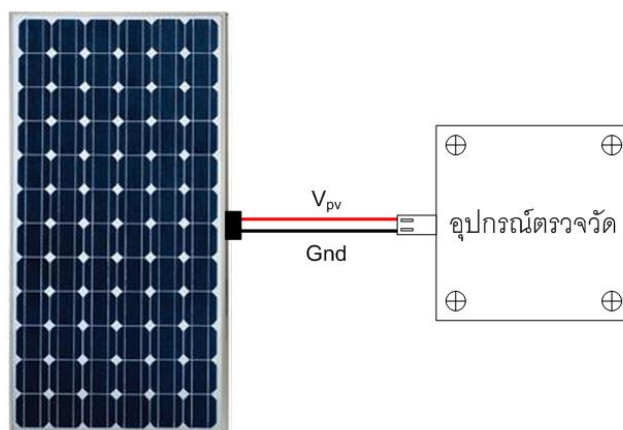
รูปที่ 5-2 การออกแบบ PCB วงจรมอดูลตรวจวัด



รูปที่ 5-3 ต้นแบบมอดูลตรวจวัด

### 5.1.2 วิธีการใช้มอดูลตรวจวัด

การใช้งานมอดูลตรวจวัดทำได้โดยการนำมอดูลไปติดตั้งที่ขั้วของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 5-4



แผงเซลล์แสงอาทิตย์

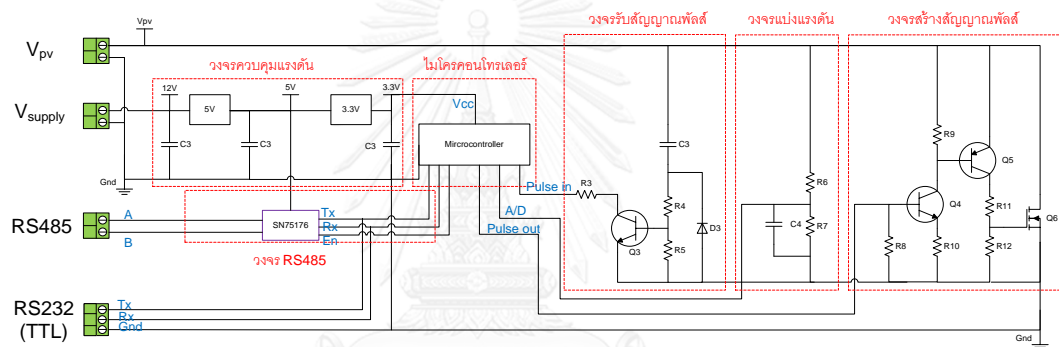
รูปที่ 5-4 การต่อมอดูลตรวจวัดเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

## 5.2 การออกแบบและพัฒนาต้นแบบมอดูลรวบรวมข้อมูล(Data Concentrator Unit, DCU)

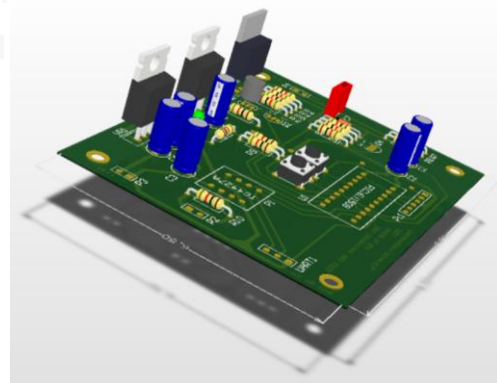
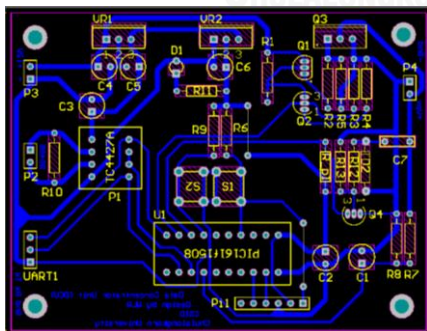
### 5.2.1 แนวคิดการออกแบบมอดูลรวบรวมข้อมูล

มอดูลรวบรวมข้อมูลถูกพัฒนาขึ้นเพื่อรับข้อมูลจากมอดูลตรวจวัดทุกตัวในสายส่งสตรีงนั้นๆ ดังนั้นมอดูลรวบรวมข้อมูลต้องสามารถทนต่อแรงดันไฟสูงได้(220V) และสามารถส่งข้อมูลที่รวบรวมได้ไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ทอนุกรม RS485

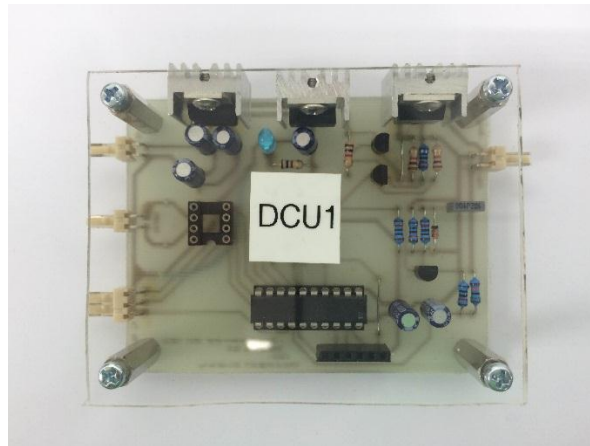
ภายในมอดูลรวบรวมข้อมูลประกอบด้วยวงจรที่เหมือนกับมอดูลตรวจวัด เช่น ได้แก่ ไมโครคอนโทรลเลอร์, วงจรรับสัญญาณพัลส์, วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ และวงจรแปลงแรงดัน แต่สามารถทนแรงดันไฟสูงได้มากกว่ามอดูลตรวจวัด ในขณะที่วงจรควบคุมแรงดันมีการใช้ Regulator ขนาด 5V และ 3.3V โดยแรงดัน 5V จ่ายให้กับไอซี SN75176 (RS485) ในขณะที่แรงดัน 3.3V จ่ายให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ และ วงจรอื่นๆ



รูปที่ 5-5 วงจรภายในของมอดูลรวบรวมข้อมูล



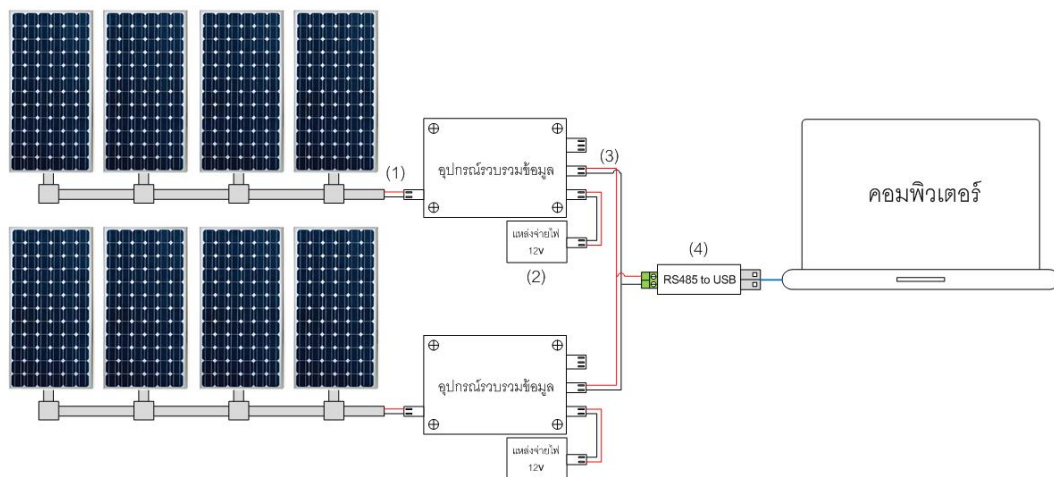
รูปที่ 5-6 การออกแบบ PCB วงจรมอดูลรวบรวมข้อมูล



รูปที่ 5-7 ต้นแบบมอดูลรวบรวมข้อมูล

### 5.2.2 วิธีการใช้มอดูลรวบรวมข้อมูล

- (1) ติดตั้งมอดูลรวบรวมข้อมูลที่ปลายสตรีง
- (2) ต่อแหล่งจ่ายไฟ 12V เข้าที่มอดูล
- (3) ต่อสายสัญญาณ RS485 เข้าที่มอดูล
- (4) ใช้ RS485 to USB เป็นตัวแปลงสัญญาณ RS485 เป็น USB เพื่อเข้าคอมพิวเตอร์



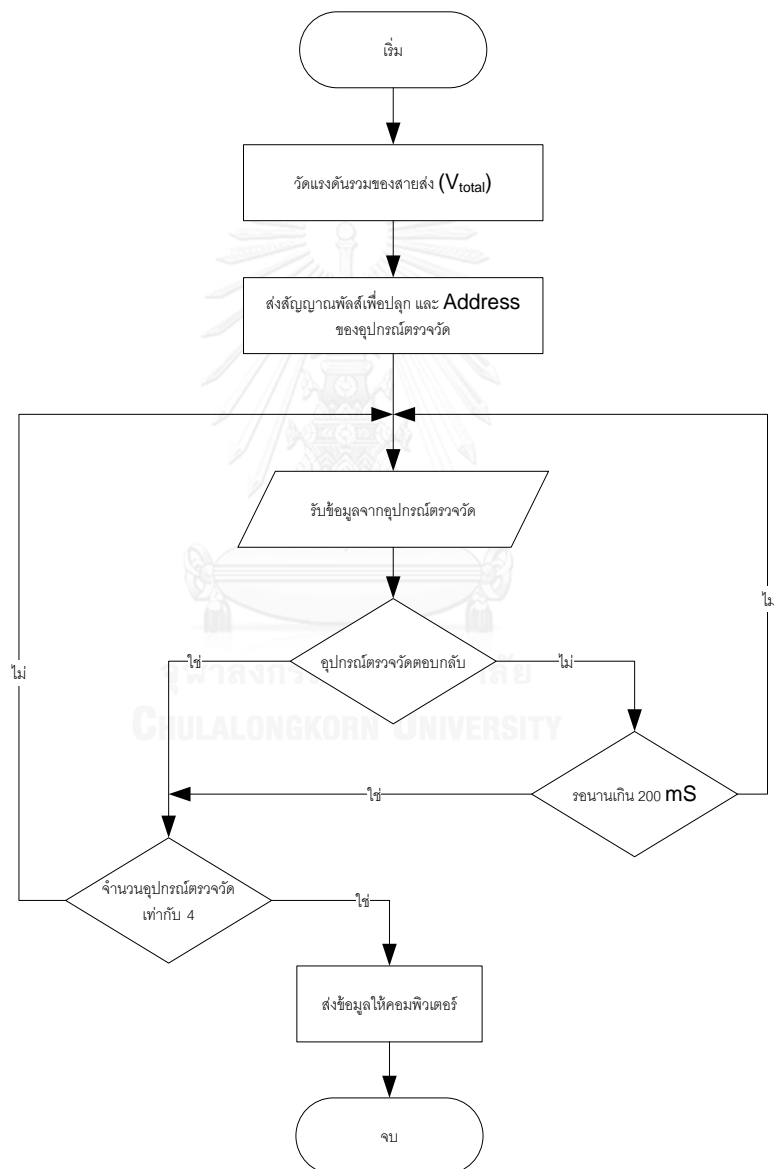
รูปที่ 5-8 รูปแบบการต่อมอดูลรวบรวมข้อมูล

## บทที่ 6

### การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมการทำงานของมอดูล

#### 6.1 โปรแกรมการทำงานของมอดูลรวบรวมข้อมูล

##### 6.1.1 แผนผังการทำงานของมอดูลรวบรวมข้อมูล



รูปที่ 6-1 แผนผังการทำงานของมอดูลรวบรวมข้อมูล

มอดูลรวบรวมข้อมูลเริ่มต้นทำงานด้วยการวัดแรงดันรวมที่ปลายสตริง( $V_{total}$ ) จากนั้นจึงเริ่มปลุกมอดูลตรวจวัดทีละตัวให้ตื่นขึ้นมาวัดแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์( $V_{PV}$ )ของตัวเอง และส่งข้อมูลแรงดันที่วัดได้กลับยังมอดูลรวบรวมข้อมูลอีกที หากมอดูลตรวจวัดไม่มีการตอบสนองเกิน 200 ms มอดูลรวบรวมข้อมูลจะปลุกมอดูลตัวถัดไปทันที เมื่อมอดูลตรวจวัดครบ 4 ตัว และส่งข้อมูลมูลทั้งหมดกลับมายังคอมพิวเตอร์ก่อนหยุดการทำงาน

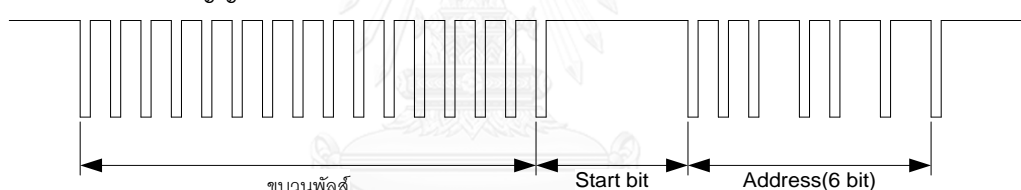
#### 6.1.2 ข้อตกลงในการสื่อสาร(Protocol)จากมอดูลรวบรวมข้อมูลไปยังมอดูลตรวจวัด

เริ่มต้นด้วยการส่งขบวนพัลส์ไปเพื่อปลุกให้มอดูลตรวจวัดตื่น จากนั้นตามด้วย Start bit และ Address(6bit) ของมอดูลตรวจวัด ดังรูปที่ 6-2



รูปที่ 6-2 โพรโตคอลการสื่อสารจากมอดูลรวบรวมข้อมูลไปยังมอดูลตรวจวัด

#### 6.1.3 ตัวอย่างคลื่นสัญญาณการสื่อสาร



รูปที่ 6-3 ตัวอย่างคลื่นสัญญาณการสื่อสารจากมอดูลรวบรวมข้อมูลไปยังมอดูลตรวจวัด

#### 6.1.4 รายละเอียดชุดคำสั่ง

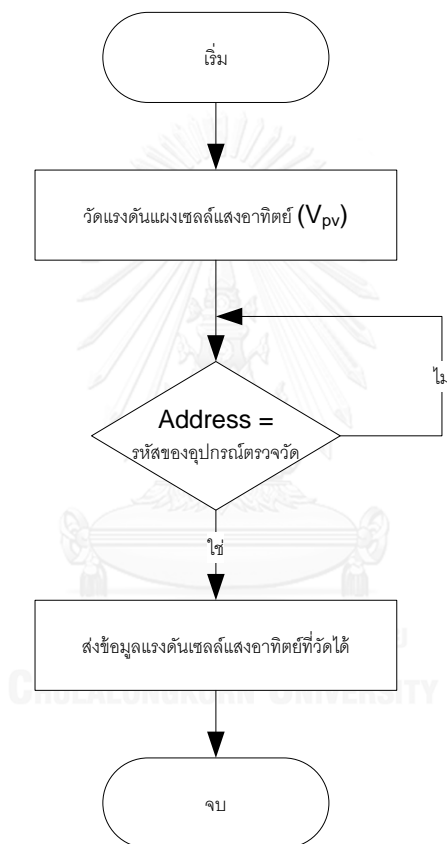
ขบวนพัลส์: ทำหน้าที่ปลุกให้มอดูลตรวจวัดตื่นขึ้นเพื่อพร้อมรับคำสั่งต่อไปจากมอดูลรวบรวมข้อมูล

Start bit: เพื่อป้องกันมอดูลตรวจวัดเข้ารหัสผิด เนื่องจากในขณะที่มอดูลตรวจวัดตัวใดตัวหนึ่งมีการส่งข้อมูลในสายส่ง มอดูลตรวจวัดตัวอื่นๆสามารถรับข้อมูลเหล่านั้นเช่นกัน ซึ่งบางกรณีอาจมีเหตุการณ์ข้อมูลที่ส่ง ตรงกับ address ของมอดูลตรวจวัดบางตัว ทำให้มอดูลตัวนั้นทำการวัดแรงดัน และส่งข้อมูลทันที ซึ่งการสื่อสารขณะนั้นจะผิดพลาด ดังนั้น Start bit จึงเป็นตัวกำหนดการเริ่มต้นการรับข้อมูลคำสั่ง โดย Start bit มีคาบความกว้างที่มากกว่า bit 0 และ หาก 1มอดูลตรวจวัดเมื่อรับข้อมูลแล้วพบ Start bit ก็จะไม่ทำงานใดๆ

Address (6 bit): มอดูลรวบรวมข้อมูลส่งคำสั่งเรียกมอดูลตรวจวัดโดยใช้ Address ของมอดูลนั้นๆเป็นคำสั่งเรียกข้อมูล โดย Address จำนวน 6bit รองรับมอดูลตรวจวัดได้ถึง 63 ตัว

## 6.2 โปรแกรมการทำงานของมอดูลตรวจวัด

### 6.2.1 แผนผังการทำงานของมอดูลตรวจวัด



รูปที่ 6-4 แผนผังการทำงานของมอดูลตรวจวัด

เมื่อมอดูลตรวจวัดอยู่ในสถานะพร้อมทำงาน มอดูลจะทำการวัดแรงดันตกคร่อมแผงเซลล์แสงอาทิตย์( $V_{pv}$ ) เมื่อมอดูลตรวจวัดทำการตรวจสอบแล้วว่า Address ที่ส่งมาตรงกับ รหัสของตัวเองหรือไม่ มอดูลตรวจวัดก็จะส่งข้อมูลแรงดันที่ได้กลับไปยังมอดูลรวบรวมข้อมูล

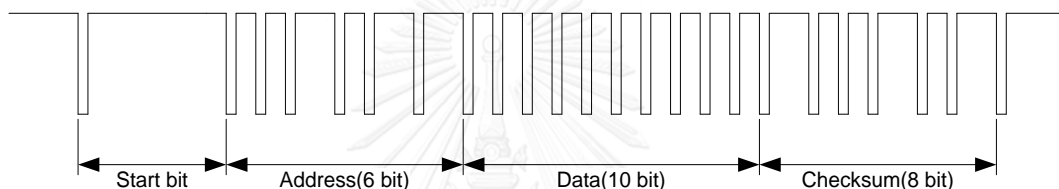
### 6.2.2 ข้อตกลงในการสื่อสาร(Protocol)จากมอดูลตรวจวัดไปยังมอดูลรวบรวมข้อมูล

เริ่มต้นด้วยการส่ง Start bit ตามด้วย Address(6 bit) ของตัวเอง ข้อมูลแรงดันที่วัดได้(10 bit) และ Check sum(8bit) เพื่อความถูกต้องของข้อมูลที่ส่งไป ดังรูปที่ 6-5

Start bit	Address	Data	Check sum
	6 bit	10 bit	8 bit

รูปที่ 6-5 โพรโตคอลการสื่อสารจากมอดูลตรวจวัดไปยังมอดูลรวบรวมข้อมูล

### 6.2.3 ตัวอย่างคลื่นสัญญาณการสื่อสาร



รูปที่ 6-6 ตัวอย่างคลื่นสัญญาณการสื่อสารจากมอดูลตรวจวัดไปยังมอดูลรวบรวมข้อมูล

### 6.2.4 รายละเอียดชุดคำสั่ง

Start bit:	เริ่มการส่งข้อมูล
Address:	Address ของมอดูลตรวจวัดที่ส่งข้อมูล
Data:	ข้อมูลแรงดันที่อ่านจาก A/D บนไมโครคอนโทรลเลอร์จำนวน 10bit
Checksum:	ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

### 6.3 ข้อมูลการรับส่งข้อมูลระหว่างมอดูลรวบรวมข้อมูลกับคอมพิวเตอร์

เมื่อต้องการข้อมูลที่วัดได้จากแต่ละสตรีง คอมพิวเตอร์จะใช้คำสั่ง DCU1, DCU2, DCU3 , . . ในการเรียกเก็บข้อมูลของสตรีงที่ 1,2,3, . . . ตามลำดับ โดยข้อมูลที่มอดูลรวบรวมข้อมูลส่งกลับมาได้แก่ ชื่อของมอดูลรวบรวมข้อมูล, ค่าแรงดันรวมที่ปลายสตรีง และค่าแรงดันของมอดูลตรวจวัดที่ 1,2,3 และ 4 โดยมีรายละเอียดดังนี้

$$\$DCU_{num}:V_{total},V_{MU-1},V_{MU-2},V_{MU-3},V_{MU-4},\#$$



กำหนดให้

\$	สัญลักษณ์เริ่มต้นการส่งข้อมูล
$DCU_{num}$	ลำดับที่ของมอดูลรวบรวมข้อมูล
$V_{total}$	ค่าแรงดันรวมที่ปลายสตรีง
$V_{MU-1}, V_{MU-2}, V_{MU-3}, V_{MU-4}$	ค่าแรงดันของมอดูลตรวจวัดที่ 1,2,3 และ 4
#	สัญลักษณ์สิ้นสุดการส่งข้อมูล

หมายเหตุ: ข้อมูลแรงดันที่ส่งมาเป็นจำนวนเลขฐาน16 (Hex number) ซึ่งเป็นข้อมูลที่อ่านได้จาก A/D โดยตรง  
การแปลงค่าข้อมูลเหล่านี้ให้เป็นค่าแรงดันในรูปแบบเลขฐาน 10(Decimal number)เกิดขึ้นที่  
คอมพิวเตอร์ที่เก็บข้อมูล



## บทที่ 7

### การทดสอบประสิทธิภาพ

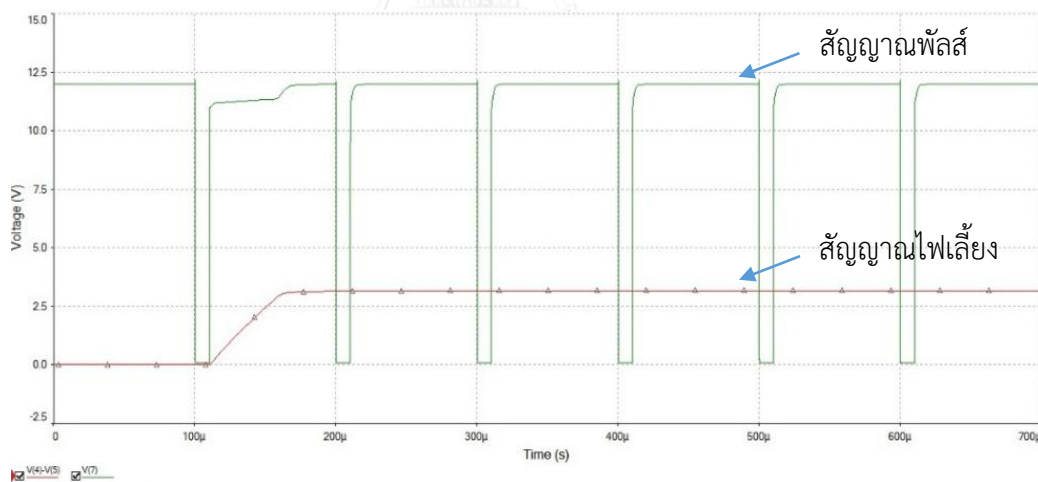
การทดสอบประสิทธิภาพแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การทดสอบโดยการจำลองโปรแกรม และการทดสอบวงจรต้นแบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 7.1 โปรแกรมจำลองวงจร(Simulation)

ขั้นตอนก่อนการสร้างมอดูลต้นแบบ ได้มีการพิสูจน์แนวคิดเพื่อหาความเป็นไปได้ในการสร้างมอดูลต่อไป โดยได้นำวงจรที่ออกแบบมาทดสอบบนคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Multisim ในการทดสอบ ซึ่งให้ผลลัพธ์ดังนี้

##### 7.1.1 วงจรเชื่อมต่อกראวด์ และ วงจรควบคุมแรงดัน

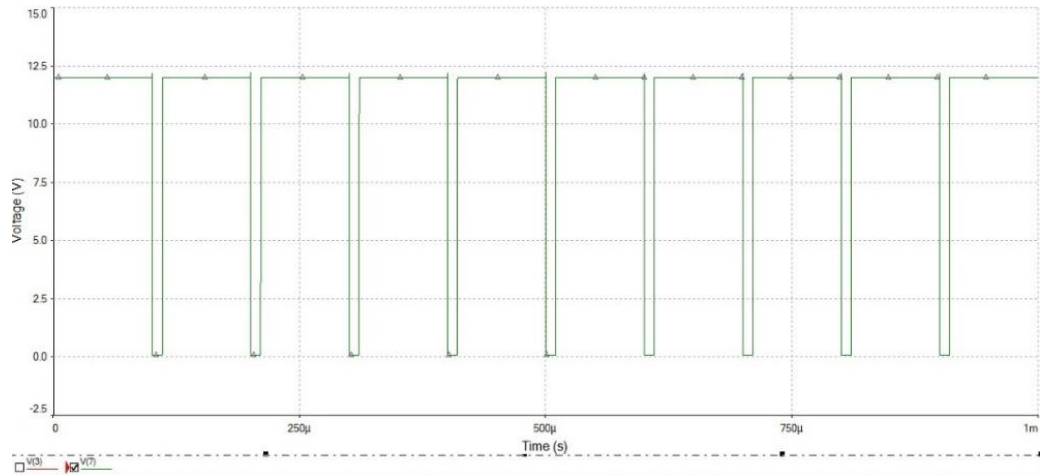
เมื่อสร้างสัญญาณพัลส์ขนาด 12V เข้ามาให้วงจรพบว่า วงจรสามารถเชื่อมต่อกראวด์และสร้างแรงดัน 3.3V ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างสม่ำเสมอ



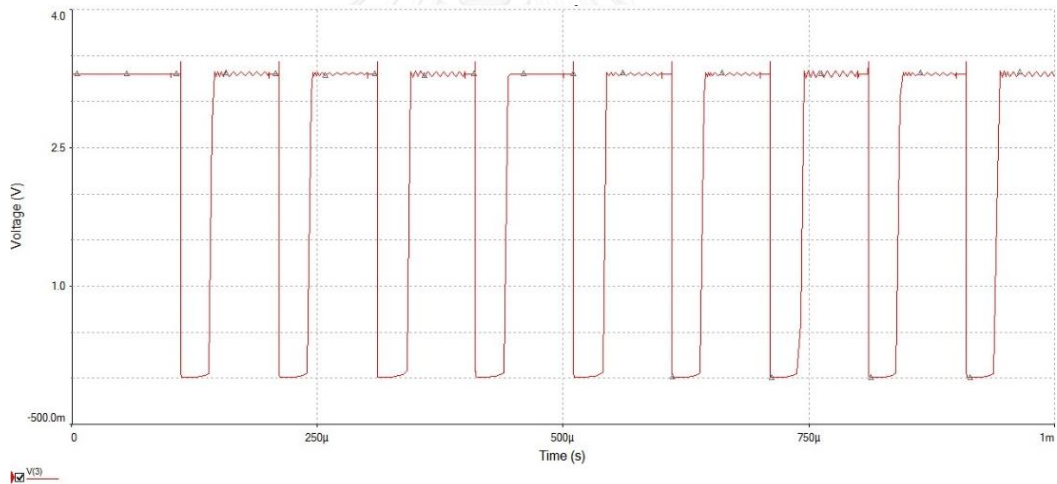
รูปที่ 7-1 รูปการตอบสนองของสัญญาณไฟเลี้ยงเมื่อมีสัญญาณพัลส์มาป้อน

### 7.1.2 วงจรรับสัญญาณพัลส์

เมื่อสร้างสัญญาณพัลส์ขนาด 12V พบว่า วงจรออกแบบสามารถตอบสนอง และสร้างสัญญาณพัลส์ขนาด 3.3V ได้



รูปที่ 7-2 สัญญาณพัลส์ขนาด 12V ที่จ่ายให้กับวงจร

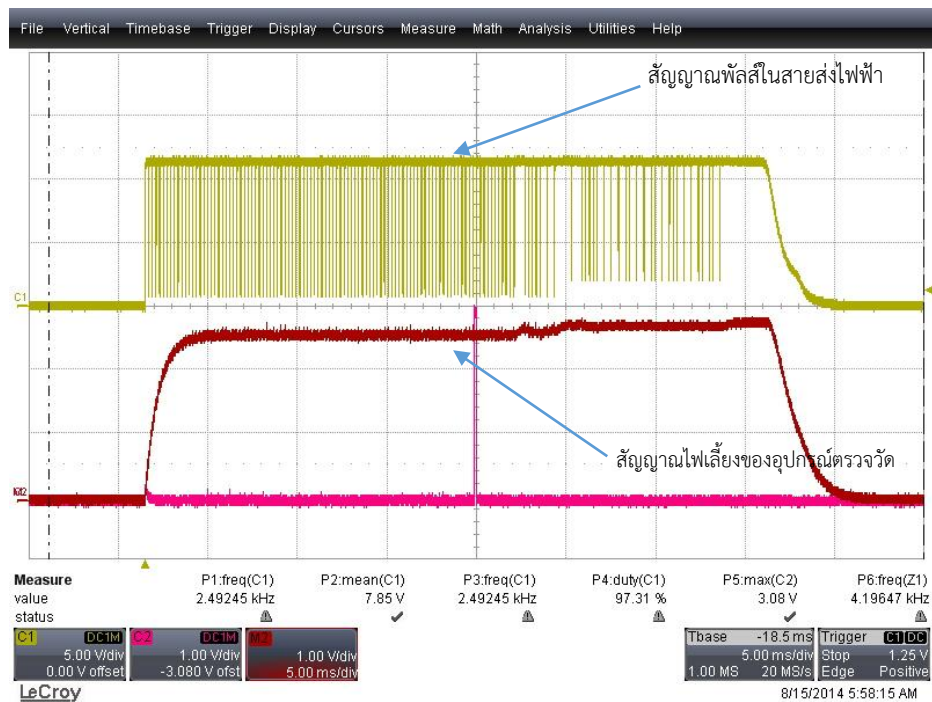


รูปที่ 7-3 สัญญาณพัลส์ขนาด 3.3V ที่วงจรสร้างขึ้นเมื่อได้รับสัญญาณพัลส์

## 7.2 ทดสอบวงจรต้นแบบ(Prototype)

### 7.2.1 ทดสอบการปลุกมอดูลตรวจวัด

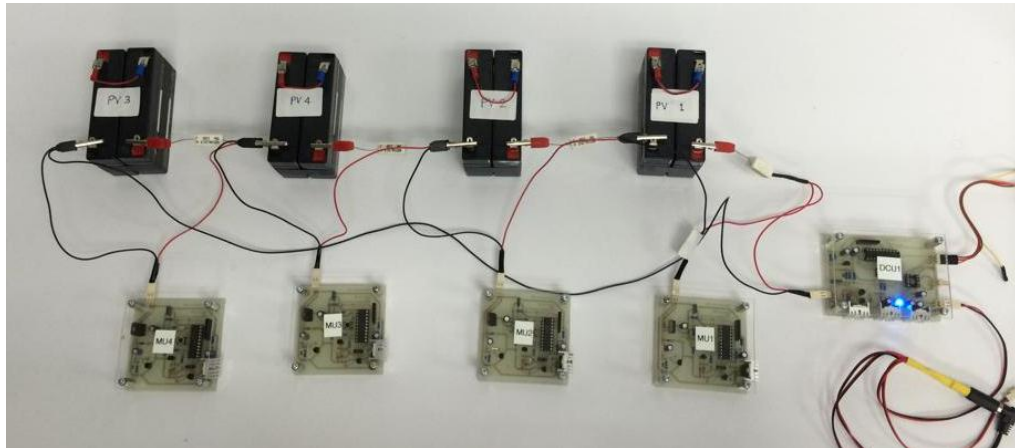
ทำการสร้างขบวนพัลส์และAddressของมอดูลตรวจวัดในสายส่งไฟฟ้า พบว่ามอดูลตรวจวัดสามารถตอบสนองต่อสัญญาณพัลส์ โดยแรงดันไฟเลี้ยงได้เพิ่มขึ้นเมื่อมีสัญญาณพัลส์มาปลุก และดับลงเมื่อในสายส่งไฟฟ้าไม่มีสัญญาณพัลส์



รูปที่ 7-4 สัญญาณการตอบสนองของสัญญาณไฟเลี้ยงเมื่อมีสัญญาณพัลส์มาปลุก

### 7.2.2 ทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างมอดูลรวมข้อมูลกับมอดูลตรวจวัด(ความแม่นยำ,ความเที่ยง)

นำมอดูลตรวจวัด 4 ตัว ต่อเข้ากับแบตเตอรี่ 12V (แบตเตอรี่ 6 V 2 ก้อนต่อกัน) จำนวน 4 ก้อน ที่ต่ออนุกรมกันอยู่ เพื่อจำลองเป็นสายส่งของสถานีในฟาร์มแสงอาทิตย์ โดยที่ปลายสายส่งมีมอดูลรวบรวมข้อมูลติดตั้งอยู่ ทดสอบการตรวจวัดแรงดันและรับส่งข้อมูลระหว่างมอดูลรวบรวมข้อมูลและ มอดูลตรวจวัด โดยได้ทดลองจำนวน 20 ครั้ง เพื่อหาความแม่นยำและความเที่ยงของมอดูล



รูปที่ 7-5 การทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างมอดูลรวมข้อมูลกับมอดูลตรวจวัด



รูปที่ 7-6 รูปสัญญาณในการสื่อสารระหว่างมอดูลรวบรวมข้อมูลและมอดูลตรวจวัดที่ปรากฏในสายส่งไฟฟ้า

ข้อมูลแรงดันที่ได้จากการวัดโดยมอดูลและมัลติมิเตอร์มีดังนี้

ตารางที่ 7-1 ตารางข้อมูลการวัดแรงดันจากมอดูลและมัลติมิเตอร์

ครั้งที่	ค่าแรงดันที่มอดูลวัดได้					ค่าแรงดันที่มัลติมิเตอร์วัดได้				
	$V_{total}$	$V_{MU-1}$	$V_{MU-2}$	$V_{MU-3}$	$V_{MU-4}$	$V_{total}$	$V_{MU-1}$	$V_{MU-2}$	$V_{MU-3}$	$V_{MU-4}$
1	48.67	12.08	11.94	11.83	11.33	48.9	12.39	12.13	12.43	11.95
2	48.67	12.08	11.94	11.83	11.33					
3	48.67	12.08	11.94	11.83	11.33					
4	48.67	12.08	11.94	11.83	11.33					
5	48.67	12.08	11.94	11.83	11.33					
6	48.67	12.08	11.94	11.83	11.33					
7	48.67	12.08	11.94	11.83	11.33					
8	48.67	12.08	11.92	11.83	11.33					
9	48.67	12.08	11.92	11.83	11.33					
10	48.67	12.08	11.92	11.83	11.33					
11	48.67	12.07	11.92	11.83	11.33					
12	48.67	12.07	11.92	11.83	11.33					
13	48.67	12.07	11.92	11.83	11.33					
14	48.67	12.07	11.92	11.83	11.33					
15	48.67	12.07	11.92	11.83	11.33					
16	48.67	12.07	11.92	11.83	11.33					
17	48.67	12.07	11.92	11.83	11.33					
18	48.67	12.07	11.92	11.83	11.33					
19	48.67	12.07	11.92	11.83	11.33					
20	48.67	12.07	11.92	11.83	11.33					
ค่าเฉลี่ย	48.67	12.08	11.93	11.83	11.33					

การคำนวณหาความแม่นยำ(Accuracy)

ใช้มิเตอร์ FLUKE-115 เป็นตัวชี้วัดเปรียบเทียบ โดยการคำนวณความแม่นยำสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Relative\ error = \left| \frac{X_{mea} - X_t}{X_t} \right|$$

$$\%error = Relative\ error \times 100$$

เมื่อ  $X_{mea}$  คือ ค่าแรงดันที่ได้จากการวัดของมอดูลตรวจวัด และ มอดูลรวบรวมข้อมูล

$X_t$  คือ ค่าแรงดันที่ได้จากการวัดของมิเตอร์ FLUKE - 115

การคำนวณ

ความแม่นยำของการวัดแรงดันรวมที่มอดูลรวบรวมข้อมูล( $V_{total}$ )

$$\%error\ ของ\ V_{total} = \left| \frac{48.67 - 48.9}{48.9} \right| \times 100$$

$$พบว่า\ \%error = 0.47\%$$

ความแม่นยำของการวัดแรงดันที่มอดูลตรวจวัด 1,2,3,4 ( $V_{MU1}$ ,  $V_{MU2}$ ,  $V_{MU3}$ ,  $V_{MU4}$ )

$$\%error\ ของ\ V_{MU1} = \left| \frac{12.08 - 12.39}{12.39} \right| \times 100$$

$$พบว่า\ \%error = 2.50\%$$

$$\%error\ ของ\ V_{MU2} = \left| \frac{11.93 - 12.13}{12.18} \right| \times 100$$

$$พบว่า\ \%error = 1.65\%$$

$$\%error\ ของ\ V_{MU3} = \left| \frac{11.83 - 12.43}{12.43} \right| \times 100$$

$$พบว่า\ \%error = 4.83\%$$

$$\%error\ ของ\ V_{MU4} = \left| \frac{11.33 - 11.95}{11.95} \right| \times 100$$

$$พบว่า\ \%error = 5.19\%$$

สรุป มอดูลตรวจวัดที่ 1,2,3 และ 4 มี %error เท่ากับ 2.50%, 1.65%, 4.83% และ 5.19%

ตามลำดับ ในขณะที่มอดูลรวบรวมข้อมูลมี %error เท่ากับ 0.47%

การคำนวณหาความเที่ยง(Precision)

โดยการคำนวณความเที่ยงสามารถคำนวณได้ดังนี้

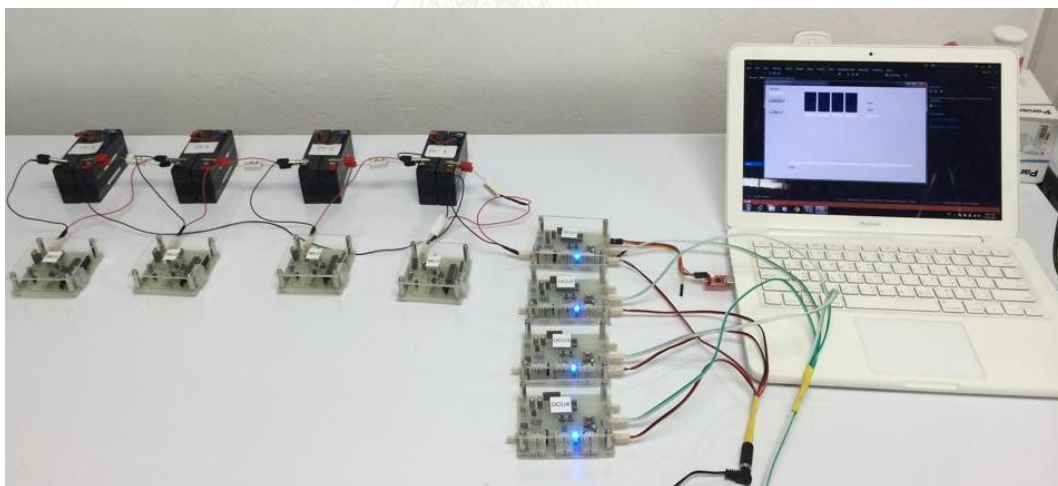
$$Precision = \left| \frac{X_i - X_m}{X_m} \right|$$

$$X_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

เมื่อ  $X_i$  คือ ค่าการวัดแต่ละครั้ง  
 $X_m$  คือ ค่าเฉลี่ยของการวัด  
 $n$  คือ จำนวนครั้งของการวัด

จากการทดสอบใช้มอดูลตรวจวัดและมอดูลวัดแรงดัน 20 ครั้ง พบว่า ค่าที่วัดได้ในแต่ละครั้ง ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อนำมาคำนวณหาความเที่ยงพบว่า ทั้งมอดูลตรวจวัดและมอดูลรวบรวม ข้อมูลมีความเที่ยง  $\pm 0.00$  V

### 7.2.3 ทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างมอดูลรวมข้อมูลกับคอมพิวเตอร์



รูปที่ 7-7 การทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างมอดูลรวมข้อมูลกับคอมพิวเตอร์

ต่อมอดูลรวบรวมข้อมูลทั้ง 4 เข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ทอนุกรม RS485 (ดังแสดงในรูปที่ 7-7) โดยที่คอมพิวเตอร์มีอุปกรณ์แปลงจากพอร์ทอนุกรม RS485 เป็น USB เพื่อส่งสัญญาณเข้าคอมพิวเตอร์ต่อไป

สร้างโปรแกรมติดต่อกับมอดูล(Graphic User Interface) เพื่อใช้ในการทดสอบการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับมอดูลรวบรวมข้อมูลผ่านทาง RS485 (ดังแสดงในรูปที่ 7-8)



โปรแกรม Solar Farm Monitoring ที่สร้างขึ้นมาทำหน้าที่ในการติดต่อกับมอดูลรวบรวมข้อมูล โดยโปรแกรมจะส่งคำสั่งไปยังมอดูลรวบรวมข้อมูลผ่านทางพอร์ทอนุกรมRS485 เมื่อมอดูลรวบรวมข้อมูลได้รับคำสั่งแล้วจะทำการวัดแรงดันรวมที่ปลายสตริง, รวบรวมข้อมูลแรงดันจากแต่ละมอดูลตรวจวัด และส่งข้อมูลทั้งหมดกลับมายังคอมพิวเตอร์ทางพอร์ทอนุกรม RS485 เช่นเดิม

การใช้งานโปรแกรม Solar Farm Monitoring

- ขั้นตอนที่ 1 เลือกพอร์ท COM ที่ได้ติดตั้งมอดูล USB to Serial ไว้
- ขั้นตอนที่ 2 กดปุ่ม “เปิดPort” เพื่อเริ่มการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ที่กำหนดไว้
- ขั้นตอนที่ 3 กดปุ่ม “Sent” เพื่อส่งคำสั่งไปยังอุปกรณ์รวบรวมข้อมูลทั้งหมด
- ขั้นตอนที่ 4 กดปุ่ม “ปิดPort” เพื่อสิ้นสุดการทำงาน



รูปที่ 7-8 โปรแกรม Solar farm monitoring

จากการทดลองรับส่งข้อมูลพบว่า มอดูลรวบรวมข้อมูลสามารถรับคำสั่งและส่งข้อมูลกลับไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ทอนุกรม RS485 ได้

## บทที่ 8

### ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 8.1 ข้อสรุป

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนามอดูลตรวจวัดแรงดันที่สามารถสื่อสารผ่านสายไฟฟ้ากระแสตรง สำหรับตรวจวัดฟาร์มแสงอาทิตย์ ซึ่งประกอบด้วยมอดูล 2 ชนิด คือ มอดูลตรวจวัด ที่วัดแรงดันของแต่ละแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และ มอดูลรวบรวมข้อมูล ที่วัดแรงดันรวม, รวบรวมข้อมูลจากมอดูลตรวจวัด และส่งข้อมูลมายังคอมพิวเตอร์ ข้อมูลที่ได้สามารถวิเคราะห์ความผิดปกติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบุตำแหน่งของแผงเซลล์ที่เสียหายได้

โดยมอดูลตรวจวัดนอกจากถูกออกแบบให้ทำการวัดแรงดันและรับ-ส่งข้อมูลด้วยสัญญาณพัลส์แล้ว ยังสามารถประหยัดพลังงานถึงระดับไม่ใช้พลังงานเลยในกรณีที่สายส่งไม่มีสัญญาณพัลส์ และจะใช้พลังงานไม่เกิน 10mA ในขณะที่ตื่นมาทำงานเท่านั้น การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำได้โดยการต่อเข้ากับขั้วของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสอง

ในขณะที่มอดูลรวบรวมข้อมูลสามารถวัดแรงดันรวมที่ปลายสตริง เก็บรวบรวมข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัด และส่งข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS485 ได้

หากมีการนำงานวิจัยนี้ไปใช้จริงจะช่วยให้การผลิตไฟฟ้าจากฟาร์มแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพมากขึ้น และยังลดต้นทุนในการซ่อมแซมและบำรุงรักษาเซลล์แสงอาทิตย์ในฟาร์มได้เป็นจำนวนมาก

#### 8.2 ข้อเสนอแนะ

มอดูลตรวจวัดแต่ละตัวมี Address ที่เกิดจากการกำหนดโดย Firmware ของตัวนั้นๆ ในอนาคตมอดูลรวบรวมข้อมูลควรสามารถแจก Address ให้กับมอดูลตรวจวัดได้ด้วยตัวเองได้ ซึ่งจะช่วยให้สะดวกต่อการผลิตใช้งานจริง

ในการใช้งานจริงมอดูลตรวจวัด และ มอดูลรวบรวมข้อมูล สามารถลดขนาดให้เล็กลงได้ โดยการเปลี่ยนเป็นอุปกรณ์ Through Hole Device (THD) เป็น Surface Mount Device (SMD)

สามารถพัฒนาโปรแกรมตรวจวัดที่มี Graphic User Interface (GUI) ที่ใช้งานง่าย โดยสามารถใช้ได้ทั้งบนคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ Smart phone , tablet เป็นต้น

หากไม่มีการตอบสนองจากมอดูลตรวจวัด สามารถตรวจสอบได้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชำรุดหรือมอดูลตรวจวัดผิดปกติ โดยทุกครั้งในการวัด จะมีการวัดไฟเลี้ยงของมอดูลตรวจวัดด้วย เพื่อตรวจสอบว่ามอดูลตรวจวัดยังมีไฟเลี้ยงอยู่

## รายการอ้างอิง

1. D.Picault, B.R., S.Bacha, *Guidelines for evaluating grid connected PV system topologies*, in *Industrial Technology, ICIT 2009. IEEE International Conference on*. 2009, IEEE: Gippsland, VIC.
2. Nelson, J., *The Physics of Solar Cells*. 2003, London, UK: Imperial College Press. 363.
3. Mostafa, G. and F.K. , *An efficient method of Solar Panel Energy Measurement System*, in *Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET)*. 2009, IEEE: Dhaka.
4. L. Ciani, L.C., M.Faifer, M.Lazzaroni, M.Rossi, , *Design and implementation of a on-board device for photovoltaic panels monitoring*, in *Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2013 IEEE International*. 2013, IEEE: Minneapolis, MN. p. 1599 - 1604.
5. U.B. Mujumdar, D.R.T., *Development of integrated hardware set up for solar photovoltaic system monitoring*, in *India Conference (INDICON), 2013 Annual IEEE*. 2013, IEEE: Mumbai.
6. Hu Yujie , Z.X., *Research and Application of PV Monitoring System Based on ZigBee and GPRS*, in *Distributed Computing and Applications to Business, Engineering and Science (DCABES)*. 2011, IEEE: Wuxi. p. 338 - 342.
7. Zhengming Li, K.L., Yanli Cai, Tianhong Pan, *A Monitoring System of Photovoltaic Array Based on ZigBee Technology*, in *Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2010 6th International Conference on*. 2010, IEEE: Chengdu.
8. F.J. Sánchez-Pacheco, P.J.S.-R., J.R. Heredia-Larrubia, F. Pérez-Hidalgo, M. Sidrach-de-Cardona. *Low cost DC lines PLC based Photovoltaic plants parameters smart monitoring communications and control module* in *Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG)*. 2011. Malaga: IEEE.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวงศกร ลีมีศิริ เกิดเมื่อวันที่ 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2531 ที่จังหวัดสุรินทร์ จบการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนสิรินธร จังหวัดสุรินทร์ พ.ศ. 2549 เข้าศึกษาและสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2553 และได้ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2554

