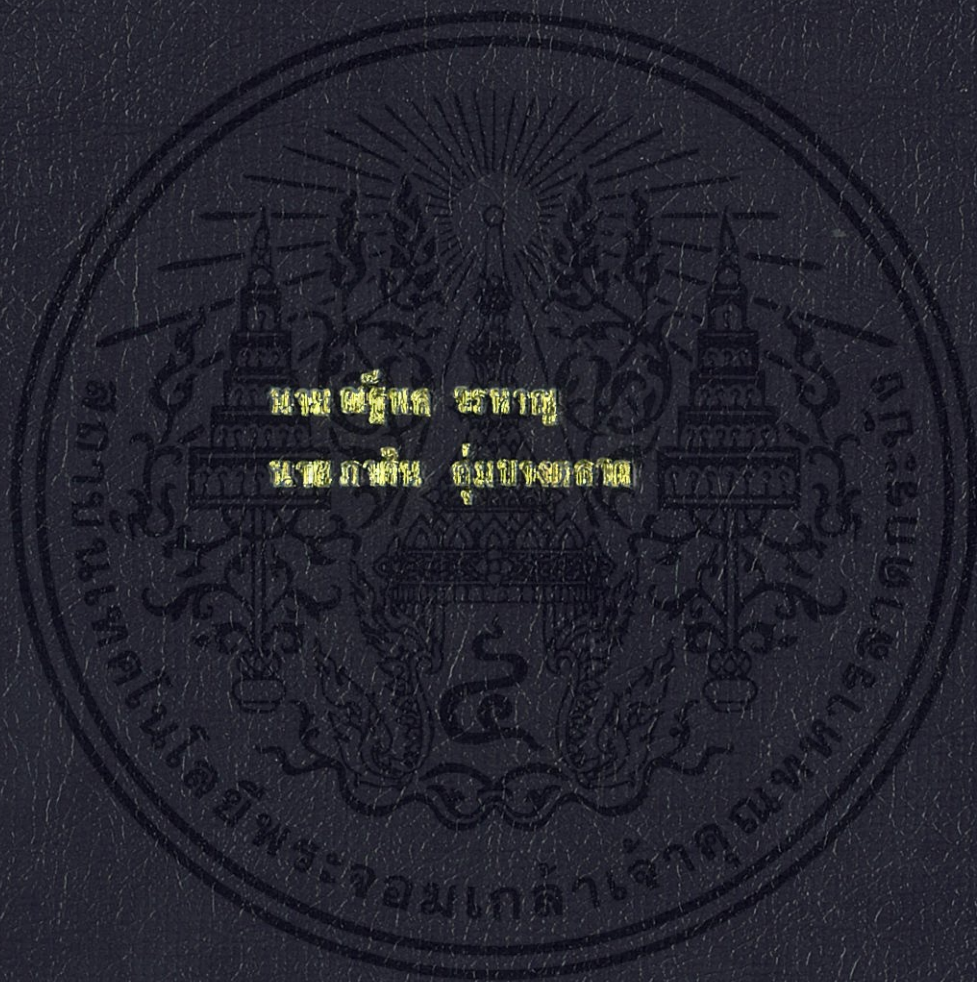


เครื่องบันทึกข้อมูลควบคุมด้วย Zigbee

Data Logger Controlled by Zigbee



โครงการพัฒนาระบบสารสนเทศในการจัดการเรียนการสอนด้วยระบบคอมพิวเตอร์

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๕๖

เครื่องบันทึกข้อมูลควบคุมผ่าน Zigbee
Data Logger Controlled by Zigbee



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

DATA LOGGER CONTROLLED BY ZIGBEE



Mr. Nuttapol Vorahan

Mr. Phakin Umbangtalad

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE**

IN APPLIED PHYSICS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2012

หัวข้อโครงการพิเศษ

เครื่องบันทึกข้อมูลควบคุมผ่าน ZIGBEE

DATA LOGGER CONTROLLED BY ZIGBEE

ชื่อนักศึกษา

นายณัฐพล วรหาญ

นายภาคิน อุ่มบางตลาด

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต





สาขาวิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.วิจิต ศิริโชติ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2555

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ อ.ชรินทร์ ตั้งตั้ง	
กรรมการ อ.ภูมินทร์ จินดาจิราวัฒน์	
กรรมการ อ.กมลปัญญา สุวรรณสุขโข	
กรรมการ รศ.วิจิต ศิริโชติ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแบบลงมือทำ และต้องขออนุญาตเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	เครื่องบันทึกข้อมูลควบคุมผ่าน Zigbee
ชื่อนักศึกษา	นายณัฐพล วรหาญ นายภาคิน อุ่มบางตลาด
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2555
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.วิจิต ศิริโชติ

บทคัดย่อ

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลถูกพัฒนาขึ้นโดยมี Zigbee เป็นตัวควบคุมการเก็บสัญญาณจากเซ็นเซอร์ วงจรประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F45K20 และมี Zigbee เป็นโมดูลรับส่งสัญญาณที่อยู่ในตัวเดียวกัน อุปกรณ์มีความสามารถในการวัดสัญญาณอนาล็อกอินพุต 7 ช่องสัญญาณ และสัญญาณดิจิทัลอินพุต 4 ช่องสัญญาณ ผู้ใช้สามารถกำหนดระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลแบบไร้สายของ Zigbee ได้ ในการทดสอบรับส่งข้อมูลผ่านทาง Zigbee โดยใช้ไพรอนอมิเตอร์ และตัวตรวจวัดอุณหภูมิ ที่ระยะระหว่างตัวรับและตัวส่ง 120 เมตร ผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดอยู่ที่เวลา 6:00 น. และ 14:45 น. ตามลำดับ ความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่เวลา 12.45 น.

คำสำคัญ : ไมโครคอนโทรลเลอร์, เครื่องบันทึกข้อมูล, Zigbee

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	DATA LOGGER CONTROLLED BY ZIGBEE
Students	Mr. Nuttapol Vorahan Mr. Phakin Umbangtalad
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Applied Physics
Academic Year	2012
Advisor	Assoc.Prof.Wichit Sirichote

ABSTRACT

A devices used for recording the signals from sensors controlled by Zigbee has been developed. The circuit is built with a PIC18F45K20 microcontroller and two Zigbee transceiver modules. The device is capable of measuring 7-channel analog input and 4-channel digital input. User can program the sampling interval and transfer the data by the Zigbee wirelessly. The test of data transferring by Zigbee was carried out by using the pyranometer sensor and temperature sensor. The distance between the transmitter and receiver was 120m. The results of the minimum and maximum temperature were at 6:00 and 14:45 respectively. The highest insolation was at 12:45.

Keywords : Microcontroller, Data logger, Zigbee .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากผู้ศึกษาค้นคว้าได้รับความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ วิจิต ศิริโชติ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษฉบับนี้ ซึ่งให้คำแนะนำปรึกษาทางด้านวิชาการ ตลอดจนข้อเสนอแนะข้อสงสัยต่างๆ เพื่อให้คณะผู้จัดทำมีความรู้ความเข้าใจและแนวทางนำไปประยุกต์ใช้จัดทำโครงการพิเศษฉบับนี้ แล้วยังได้สอนและให้คำแนะนำเกี่ยวกับแนวคิดการใช้ชีวิตในสังคม โดยเฉพาะการให้การช่วยเหลือผู้อื่นที่ทุกข์ยากกว่าเพื่อที่ผู้ศึกษาจะได้จับออกไปเป็นคนดีของสังคม ผู้ศึกษาค้นคว้าจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.วรการ นียากร และคณาจารย์สาขาวิชาหลักสูตรพีลิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ และให้คำแนะนำช่วยเหลือผู้ศึกษาค้นคว้าด้วยดีตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ รศ. สาหรัย เล็กชะอุ่ม อาจารย์ภาควิชาพีลิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในการตรวจสอบความถูกต้องเรียบร้อยของรูปเล่มงานวิจัยให้เป็นไปตามแบบฟอร์มที่ถูกต้อง

ขอขอบคุณ เพื่อนนิสิตนักศึกษาและพี่น้องนิสิตนักศึกษาระดับปริญญาโทสาขาวิชาหลักสูตรพีลิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือผู้ศึกษาค้นคว้าเป็นอย่างดี

ประโยชน์และคุณค่าของการศึกษาค้นคว้าโครงการพิเศษฉบับนี้ ผู้ศึกษาค้นคว้าขอขอบเป็นเครื่องแสดงความกตัญญูกตเวทิตา แต่บิดา มารดาและบูรพาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายฉัฐพล วรหาญ

นายภาคิน อุ่มบางตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
คำย่อและสัญลักษณ์	IX

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 แนวทางการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger)	3
2.2 Zigbee	6
2.3 Microcontroller	8
2.4 Analog to Digital Converter	9
2.5 การใช้งาน Real Time Clock ด้วย DS1307	15
2.6 RS232	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 การออกแบบและการสร้างเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger)	23
3.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	35
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 4.1 ผลการทดลองการวัดค่าด้วยเซ็นเซอร์อุณหภูมิในห้องปฏิบัติการ 39 ด้านการคำนวณค่า
 4.2 ผลการทดลองการวัดค่าการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ด้วยไพราเนอมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการ 45 ไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	53
5.2 แนวทางการพัฒนา	53
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวก	56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 Block Diagram การทำงานของ Data Logger	4
2.2 ตัวอย่างความถี่ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล	5
2.3 ตัวอย่างค่าความละเอียดของการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล	5
2.4 ลักษณะเครือข่ายแบบสตาร์	7
2.5 ลักษณะเครือข่ายแบบต้นไม้	7
2.6 ลักษณะเครือข่ายแบบเมฆ	8
2.7 การแปลงค่าสัญญาณจากอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	9
2.8 Analog to Digital แบบ flash	10
2.9 Block diagram ของ ADC แบบ Dual-Slope	10
2.10 สัญญาณ Ramps (มีค่าเป็นลบ) ที่ได้จากวงจร Integrator ของ Analog Input	11
2.11 Block diagram ของ ADC แบบ successive approximation	12
2.12 (ก) แสดงค่าเอาต์พุตของ DAC (ข) ค่าการนับขึ้น-ลงของ register	12
2.13 Block diagram ของ ADC แบบ flash	13
2.14 ภาควินพุตของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลภายใน MCP3201	14
2.15 ตำแหน่งขาของไอซี RTC DS1307	15
2.16 การเชื่อมต่อ DS1307 เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยระบบบัสแบบ I ² C	16
2.17 การรับส่งข้อมูลผ่านบัส I ² C	17
2.18 การเขียนข้อมูลอุปกรณ์ Slave ผ่านบัส I ² C	18
2.19 การอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ Slave ผ่านบัส I ² C	18
2.20 รีจิสเตอร์ภายในไอซีฐานเวลา DS1307	18
2.21 ภาพแสดงแรงดัน TTL และ RS232	20
2.22 การรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมแบบ Half-Duplex และ Full-Duplex	20
2.23 ภาพแสดง Connector ของ RS232	21
2.24 ไคอะแกรมแสดงรูปสัญญาณในการส่งข้อมูลแบบ Synchronous	21
2.25 ไคอะแกรมแสดงรูปสัญญาณในการส่งข้อมูลแบบ Asynchronous	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 วงจรตัวส่งสัญญาณ (Transmitter Circuit)	23
3.2 วงจรจ่ายไฟ +3.3 โวลต์ และ +5 โวลต์ (Power supply +3.3V and +5V)	24
3.3 วงจรอนาลอกอินพุต (Analog input circuit)	24
3.4 วงจรดิจิทัลอินพุต (Digital input circuit)	25
3.5 วงจรฐานเวลาจริง (Real Time Clock)	26
3.6 โมดูลตัวส่งสัญญาณ (Zigbee module coordinator)	26
3.7 หน่วยประมวลผล (Processing Unit)	27
3.8 วงจรตัวรับสัญญาณ (Receiver Circuit)	28
3.9 วงจรจ่ายไฟ +3.3 โวลต์ (Power supply +3.3V)	28
3.10 โมดูลตัวรับสัญญาณ (Zigbee module end device)	29
3.11 วงจรRS-232 (RS-232 circuit)	29
3.12 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของเครื่องบันทึกข้อมูล	31
3.13 การตั้งค่าโปรแกรม X-CTU	32
3.14 การตั้งค่า Zigbee ให้เป็น Coordinator node	33
3.15 การตั้งค่าเพื่อเชื่อมต่อกับโปรแกรม X-CTU	34
3.16 การตั้งค่า Zigbee ให้เป็น End Device node	35
3.17 การเชื่อมต่อบอร์ดตัวรับกับ Com Port	35
3.18 การส่งค่าเข้ามายังโปรแกรมเมื่อมีการจ่ายไฟเลี้ยงแล้ว	36
3.19 การตั้งค่าเวลาและวันที่ให้กับเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger)	36
3.20 การตั้งค่าเวลาในการเก็บบันทึกข้อมูล	37
3.21 วิธีการบันทึกข้อมูลและผลลัพธ์ที่ได้ในไมโครซอฟท์เอ็กเซลล์ (.CSV)	37
3.22 ตัวอย่างการต่อเครื่องบันทึกข้อมูลเข้ากับเซ็นเซอร์ต่างๆเพื่อวัดค่า	38
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา	44
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับเวลา	51
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิกับเวลา	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แนวทางการดำเนินงาน	2
2.1 การควบคุมความถี่ออสซิลเลเตอร์ด้วยการเซตบิต RS1,RS0	19
4.1 แสดงค่าอุณหภูมิที่บันทึกได้จากเครื่องบันทึกข้อมูลในวันที่ 6 มีนาคม 2556	39
4.2 แสดงค่าความเข้มแสงที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
ADC	Analog to Digital Converter
DAC	Digital to Analog Converter
FFD	Full Function Device
RFD	Reduced Function Device
RISC	Reduced Instruction Set Computing
I ² C	Inter IC Communication
SDA	Serial Data line
SCL	Serial Clock line
EIA	Electronics Industry Association
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
V	Voltage
A	Ampere

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันข้อมูลทางสถิติมีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์อย่างมาก ซึ่งในทุกวันนี้หนึ่งในความต้องการของมนุษย์ ยังคงหลีกเลี่ยงไม่ได้คือความต้องการความปลอดภัยทั้งในชีวิตประจำวันและทรัพย์สินของตนเอง มนุษย์ได้พยายามหาวิธีที่จะป้องกันอันตรายต่างๆเหล่านั้นทั้งอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการกระทำของมนุษย์เองและอันตรายที่เกิดขึ้นจากภัยธรรมชาติ

โดยเฉพาะอันตรายที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่คาดเดาได้ยากจึงต้องอาศัยข้อมูลที่ได้จากวันเวลาที่ผ่านไปมากที่สุด เพื่อนำมาวิเคราะห์และทำนายเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นจากภัยธรรมชาติในอนาคต ดังนั้นการเก็บรวบรวมข้อมูลทางสถิติจึงเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยให้มนุษย์เราสามารถหาวิธีหลีกเลี่ยงอันตรายต่างๆเอาไว้ล่วงหน้าได้ โดยการที่จะรวบรวมข้อมูลทางสถิติมาเพื่อทำนายหรือพยากรณ์นั้นต้องใช้ข้อมูลเป็นจำนวนมากและต้องบันทึกติดต่อกันเป็นระยะเวลาอันยาวนานจึงจะสามารถให้ผลการทำนายนั้นออกมาได้อย่างชัดเจน ในการเก็บรวบรวมข้อมูลหลายๆเป็นเวลานานๆโดยมนุษย์นั้นอาจต้องใช้แรงงานคนจำนวนมากทำให้ไม่สะดวกหรือเสี่ยงต่ออันตรายต่างๆที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งอาจเป็นผลให้เกิดความผิดพลาดและความล่าช้าในการบันทึกรวบรวมข้อมูลได้

ดังนั้นผู้จัดทำจึงเล็งเห็นประโยชน์ของเครื่องบันทึกข้อมูลระยะไกล และได้ศึกษาทดลองทำขึ้นมาเพื่อให้การบันทึกข้อมูลมีความปลอดภัย สะดวกสบาย และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยมุ่งเน้นในการบันทึกข้อมูลของ อุณหภูมิ และ ความเข้มแสงโดยใช้ Sensor ในการตรวจวัด และมีอินพุตสำหรับเซ็นเซอร์อนาล็อกและดิจิทัล เป็นจำนวน 7 ช่อง และ 4 ช่องตามลำดับ เมื่อได้รับข้อมูลแล้วจะส่งข้อมูลผ่านทาง Zigbee และนำไปเก็บไว้บนคอมพิวเตอร์เพื่อให้สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในภายภาคหน้าต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

รายงานชิ้นนี้เป็นการนำเอาความรู้ในเรื่องของวงจรรีเลย์เล็ก โทรนิกไมโครคอนโทรลเลอร์ และคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้เข้าด้วยกันเพื่อศึกษาและทดลองออกแบบต้นแบบของ Data logger ให้สามารถเก็บบันทึกข้อมูลระยะไกลได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในอนาคตต่อไปได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สามารถรับข้อมูลจากภาคตรวจจับ ที่เป็นสัญญาณอนาล็อกแบบ 12 บิตได้
2. สามารถตรวจวัดเก็บข้อมูลของอุณหภูมิและความเข้มแสง ได้
3. ลักษณะการเชื่อมโยงกันเป็นเครือข่าย
4. สามารถรับ-ส่งข้อมูลระยะไกลระหว่าง Data logger กับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้
5. สามารถกำหนดระยะเวลาในการรับ-ส่ง ข้อมูลได้

1.4 แนวทางการดำเนินงาน

โครงการมีระยะเวลาในการจัดทำทั้งสิ้น 6 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่เดือน ตุลาคม พ.ศ.2555 ถึงเดือน มีนาคม พ.ศ.2556 ซึ่งมีการดำเนินการดังนี้

จากแนวทางการดำเนินงานข้างต้น สามารถแสดงระยะเวลาดำเนินงานได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แนวทางการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. เสนอ Project						
2. ศึกษาข้อมูล						
3. ออกแบบและเตรียมอุปกรณ์						
4. ทดลอง บันทึกลงและสรุปผล						

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเก็บบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของ อุณหภูมิ และ ความเข้มแสง ระยะไกลได้
2. สามารถเก็บบันทึกข้อมูล ได้เป็นเวลานานและมีประสิทธิภาพ
3. สามารถเป็นต้นแบบและเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger)

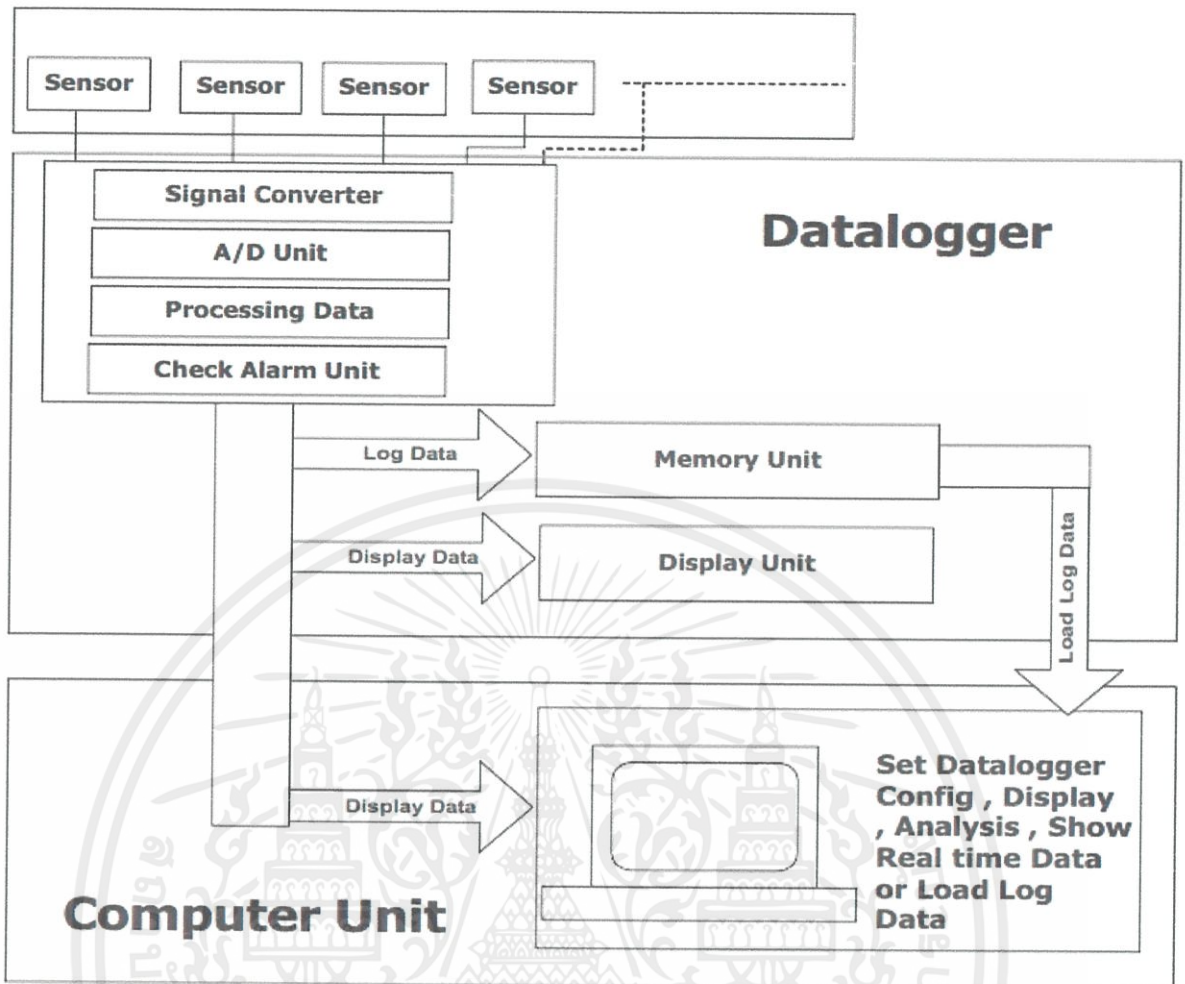
2.1.1 Data Logger คืออะไร

ระบบอุตสาหกรรมการเก็บข้อมูลเพื่อบันทึกสถานะของอุณหภูมิความชื้น ความดัน สถานะเปิด - ปิด ปริมาณกระแสไฟหรือค่าต่างๆที่ได้จากตัวตรวจจับ (Sensor) ถือเป็นเรื่องสำคัญที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์กระบวนการ หรือ สถานะแวดล้อมของระบบที่เราสนใจ ซึ่งข้อมูลที่เราจะต้องทำการบันทึกนั้น อาจจะมีช่วงเวลาของการบันทึก (Period) และการสุ่มตัวอย่าง (Sampling) แตกต่างกัน บางครั้งการเก็บข้อมูลหรือการสุ่มข้อมูลอาจสุ่มเฉพาะบางเวลาขึ้นอยู่กับความจำเป็นของผู้ทำการเก็บข้อมูล ซึ่งต้องใช้อุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่เรียกว่า Data Logger เพื่อทำการบันทึกข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์ Sensor แล้วทำการบันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติสรุปคือ Data Logger เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลที่เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่ได้รับจาก Sensor โดยเครื่องบันทึกข้อมูลจะมีหน่วยความจำ (Memory) สำหรับเก็บค่าที่วัดได้ตามช่วงเวลาการบันทึกที่กำหนดไว้โดยอัตโนมัติ ซึ่งสามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ Data Logger มาแสดงผลในคอมพิวเตอร์ได้

2.1.2 หลักการทำงานของ Data Logger

Data Logger มีไมโครคอนโทรลเลอร์และโปรแกรมที่ทำหน้าที่จัดเก็บเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำภายในหรือภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ และทำหน้าที่รับค่าที่บันทึกจาก Sensor ผ่าน Signal Convertor เพื่อทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลด้วย ADC (Analog to Digital Converter) ของ Data Logger สามารถนำมาแปลงให้เป็นข้อมูลแบบดิจิทัล หลังจากนั้น Data Logger อาจนำข้อมูลดิจิทัลนั้นมาประมวลผลหรือนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อทำการส่งสถานะไปเตือนผู้ใช้งานว่าข้อมูลเป็นอย่างไร แล้วนำข้อมูลที่ได้เก็บบันทึกใน หน่วยความจำแสดงผลทาง LCD หรือทางคอมพิวเตอร์ โดยในปัจจุบันการเชื่อมต่อของ Data Logger ทำได้หลายวิธีไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมต่อผ่านพอร์ต USB , RS232 ระบบเครือข่าย Network หรือแม้กระทั่งการเชื่อมต่อแบบไร้สาย ประเภท Bluetooth ก็สามารถทำได้สะดวกสบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



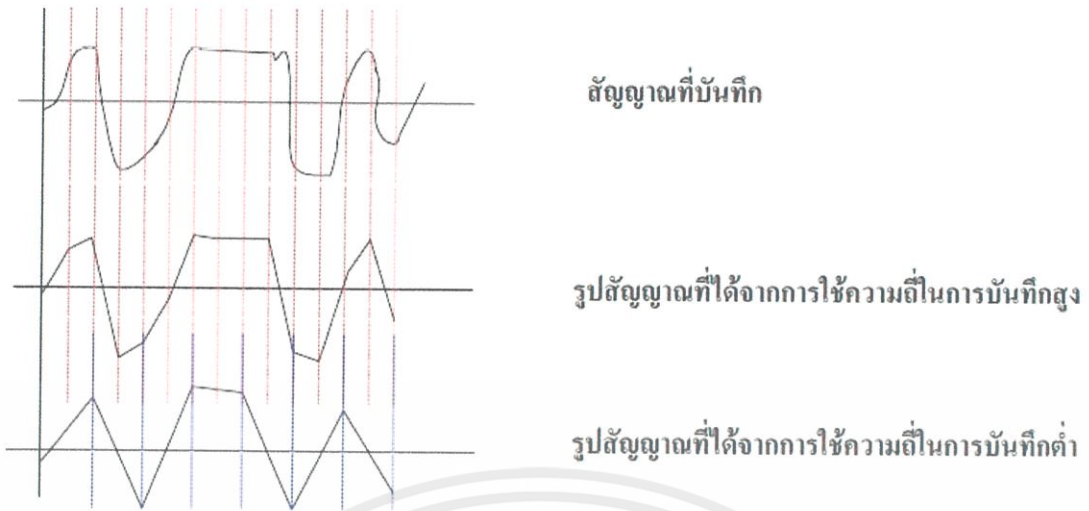
รูปที่ 2.1 Block Diagram การทำงานของ Data Logger

2.1.3 แนวคิดที่ควรรู้ในการออกแบบ Data Logger

แนวคิด หรือแนวทางในการออกแบบเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ซึ่งเป็นรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับส่วน Hardware ของเครื่องบันทึกข้อมูลมีดังนี้ ความถี่ในการเก็บข้อมูล ความละเอียด เพาเวอร์ซัพพาย และรูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่องบันทึกข้อมูล

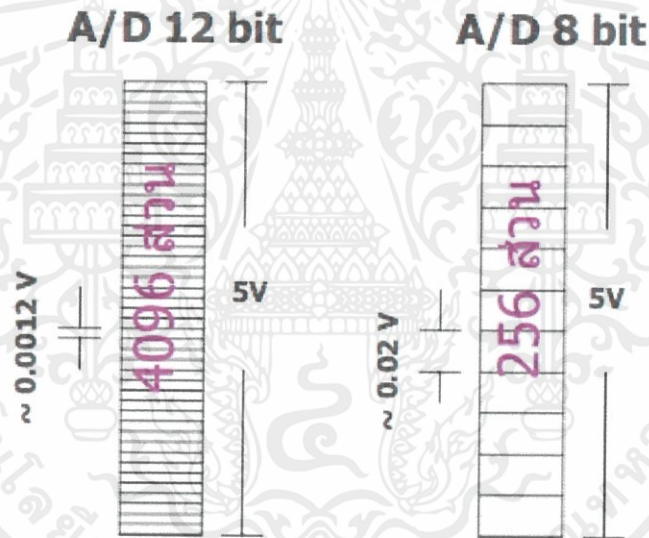
ความถี่ในการเก็บข้อมูลจากรูป 2.2 จะเห็นว่ายิ่งใช้ความถี่ในการบันทึกข้อมูลสูงมากแค่ไหนรูปสัญญาณที่ได้จากการวัดจะใกล้เคียงกับสัญญาณที่วัดจริงมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างความถี่ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล

ความละเอียดของการบันทึกข้อมูล (Resolution) ค่าที่ได้จากการวัดขึ้นอยู่กับ ADC ของ Data Logger ที่เราเลือกใช้โดยจำนวนบิตยิ่งมาก ค่าที่วัดได้ก็就会有ความละเอียดมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างค่าความละเอียดของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

รูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่องบันทึกข้อมูลมีหลายรูปแบบที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่องบันทึกข้อมูล เช่น Zigbee , RS-232 , RS-485, USB , Ethernet , Bluetooth หรือ Modem เป็นต้น ซึ่งแต่ละแบบก็เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้งานแต่ละแบบเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Zigbee

2.2.1 ความเป็นมา

Zigbee เป็นเทคโนโลยีแบบไร้สายที่สื่อสารข้อมูลผ่านเซ็นเซอร์ขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งถูกฝังอยู่ตามส่วนต่างๆ ในอาคาร สำนักงาน โรงงาน หรือแม้แต่ในบ้าน การทำงานจะเป็นการรับ-ส่งคลื่นสัญญาณข้อมูล ผ่านเซ็นเซอร์ขนาดเล็กแบบจุดต่อจุดไปจนถึงปลายทางที่ต้องการส่งผ่านข้อมูลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล ยกตัวอย่างเช่น การวัดอุณหภูมิ จับปริมาณมลพิษในอากาศ ปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์ เป็นต้น

ชื่อ Zigbee ได้มาจากพฤติกรรมการสื่อสารของผึ้ง ผึ้งจะบินแบบซิกแซ็ก ในขณะที่เดียวกันจะมีการรับส่งข้อมูลเกี่ยวกับ ตำแหน่ง ระยะทาง และทิศทางของอาหารไปด้วย Zigbee ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (WPAN) มาตรฐาน IEEE 802.15.4 มาตรฐานนี้ใช้สำหรับการสื่อสารความเร็วต่ำ อุปกรณ์ชิ้นนี้มีราคาถูก และใช้กำลังไฟฟ้าน้อย

2.2.2 ประเภทและลักษณะการทำงาน

ZigBee แบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 3 แบบ

1. Coordinator ทำหน้าที่สื่อสาร และเชื่อมโยงเครือข่าย ระหว่าง End Device กับ Router หรือ Coordinator กับ Coordinator ด้วยกัน หรือ Coordinator กับ Router กำหนด address ให้กับ device ที่อยู่ในวงเครือข่าย และจัดการเส้นทาง routing เทียบได้กับ Full Function Device (FFD)
2. End Device เป็นอุปกรณ์ปลายทาง ทำหน้าที่รับสัญญาณจาก Sensor ที่ปลายทาง โดยเทียบได้กับ Reduced Function Device: (RFD) หรือ FFD ขึ้นอยู่กับ Sensor ที่ใช้งาน
3. Router ทำหน้าที่ รับส่งข้อมูล ในเครือข่าย เปรียบเสมือน FFD

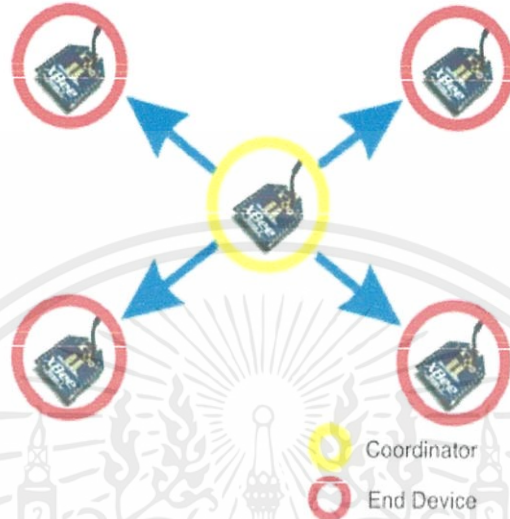
2.2.3 การตั้งค่าโปรโตคอล Zigbee

โปรโตคอล Zigbee สามารถตั้งค่าได้เป็น 2 รูปแบบด้วยกันคือ อุปกรณ์เชื่อมต่อ และ อุปกรณ์ปลายทาง โดยอุปกรณ์เชื่อมต่อของโปรโตคอล Zigbee เป็นอุปกรณ์ประเภท FFD ที่รวมการทำงานของโปรโตคอลจำนวนมาก ซึ่งอุปกรณ์ปลายทางสามารถเป็นได้ทั้ง FFD และ RFD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 เครือข่ายแบบสตาร์ (Star Network)

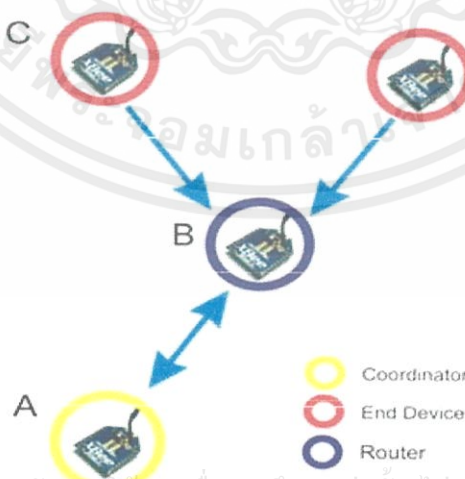
เครือข่ายแบบสตาร์ประกอบด้วยจุดเชื่อมต่อโปรโตคอล 1 จุด และสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ปลายทางได้เป็นจำนวนมากในเครือข่ายแบบสตาร์ โดย Coordinator จะทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทาง โดยอุปกรณ์ปลายทางทำหน้าที่รับข้อมูลเท่านั้น



รูปที่ 2.4 ลักษณะเครือข่ายแบบสตาร์

2.2.5 เครือข่ายแบบต้นไม้ (Cluster Tree)

เครือข่ายประเภทนี้ อุปกรณ์ปลายทางจะสามารถรับและส่งข้อมูลบนเครือข่ายได้ ซึ่งเราที่เตอร์ทำหน้าที่ 2 ลักษณะด้วยกัน คือ เพิ่มจำนวนโหนดเชื่อมต่อบนเครือข่ายและขยายขนาดของเครือข่าย

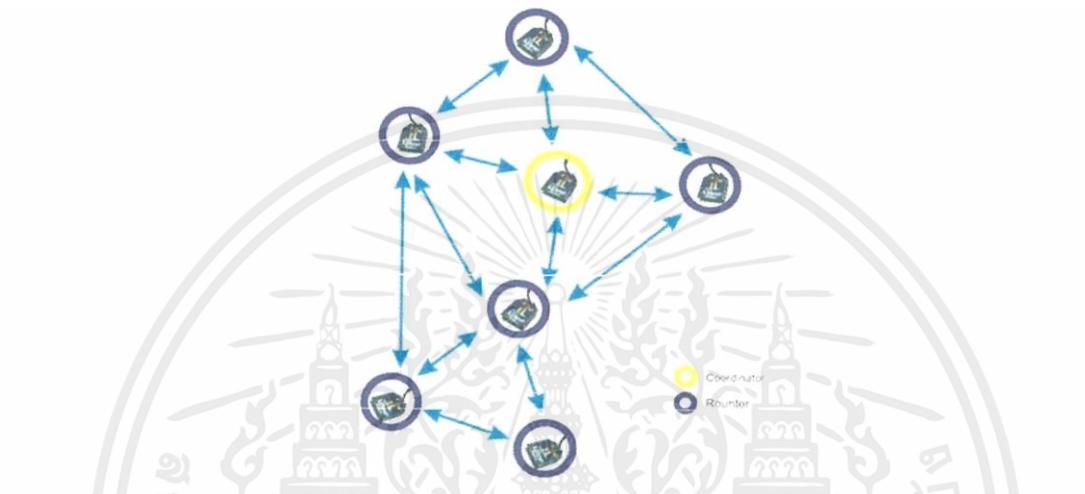


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.5 เครือข่ายแบบต้นไม้

2.2.6 เครือข่ายแบบเมช (Mesh Network)

เครือข่ายแบบเมชใช้กับเครือข่ายแบบต้นไม้ ยกเว้นอุปกรณ์ประเภท FFD สามารถส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ประเภท FFD อื่นได้โดยตรง ไม่ต้องผ่านโครงสร้างต้นไม้ ข้อมูลที่ส่งไปยังอุปกรณ์ประเภท RFD จะต้องผ่านอุปกรณ์ประเภท RFD ก่อนหน้า ข้อดีของการเชื่อมต่อแบบเมชคือ ลดอัตราความล่าช้าของการส่งและเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบ



รูปที่ 2.6 เครือข่ายแบบเมช

เครือข่ายแบบต้นไม้และเครือข่ายแบบเมชเป็นลักษณะเครือข่ายแบบหลายจุด (Multi-hop) ส่วนเครือข่ายแบบสตาร์เป็นเครือข่ายแบบจุดเดียว (single-hop)

2.3 Microcontroller

2.3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC18F45K20

PIC18F45K20 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ของผู้ผลิต Microchip Technology inc. โดยสถาปัตยกรรมแบบ PIC18 นั้น จะมีประสิทธิภาพสูงสุดในกลุ่ม 8 บิตด้วยกัน และมีคุณสมบัติเบื้องต้นดังนี้

2.3.2 คุณสมบัติ

คุณสมบัติ PIC18F45K20 มีดังนี้

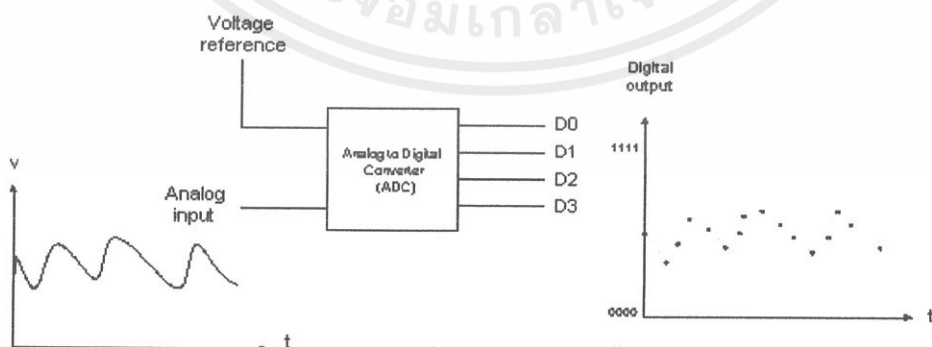
- 1) มีสถาปัตยกรรมแบบ RISC (Reduced Instruction Set Computing)
- 2) ใช้ความถี่ออสซิลเลเตอร์ได้สูงสุด 64 MHz
- 3) แรงดันที่ใช้งาน 1.8V - 3.6V
- 4) มีหน่วยความจำโปรแกรม Flash Memory ขนาด 32 Kbyte
- 5) มีหน่วยความจำข้อมูลแบบ SRAM 1536 byte

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏบนเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) มีหน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM 256 byte
- 7) การจัดการพลังงานต่ำ Nano Watt XLP Technology
 - Sleep mode น้อยกว่า 100 nA ที่ 1.8V
 - Watchdog Timer น้อยกว่า 800 nA 1.8V
 - Timer1 Oscillator น้อยกว่า 800 nA 32 kHz และ 1.8V
- 8) มีโมดูล CCP(Compare/Capture/Pwm) 1 ช่อง
- 9) สามารถเลือกแหล่งสัญญาณนาฬิกาได้หลายโหมด XT RC และออสซิลเลเตอร์พลังงานต่ำ
- 10) มีโมดูล Time/Counter ทั้งหมด 3 ตัว
- 11) มีโมดูล Analog to Digital Converter ความละเอียด 10 บิต 14 ช่อง
- 12) มีพอร์ต I/O จำนวน 5 และแต่ละขา มีกระแสซิงค์และซอร์สได้สูงสุด 25 mA
- 13) มีโมดูลสื่อสารอนุกรมแบบ USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter)

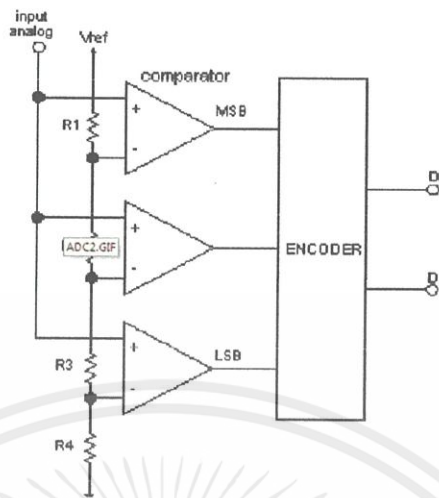
2.4 Analog to Digital Converter

ลักษณะสัญญาณ โดยปกติจะเป็นสัญญาณที่มีความต่อเนื่องทางเวลา และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง เรียกสัญญาณนี้ว่าสัญญาณอนาล็อก (Analog signal) ยกตัวอย่างเช่น สัญญาณเสียง , สัญญาณไฟฟ้าในรูปแบบของกระแสและแรงดันล้วนแล้วแต่เป็นสัญญาณอนาล็อกแทบทั้งสิ้นแต่ในปัจจุบันเครื่องมือและอุปกรณ์บางประเภทที่ต้องใช้สัญญาณอีกรูปแบบหนึ่งที่ไม่สามารถวัดสัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณอนาล็อกได้โดยตรงซึ่งเป็นอุปกรณ์ประเภท microprocessor, microcontroller ที่ต้องการสัญญาณในรูปแบบดิจิทัลเท่านั้นเพื่อนำไปประมวลผลจึงจำเป็นต้องมีวงจรที่แปลงสัญญาณทางอนาล็อกเป็นสัญญาณทางดิจิทัลเรียกว่าวงจร ADC



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกรูปที่ 2.7 การแปลงค่าสัญญาณจากอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการเบื้องต้นของการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแสดงได้ดังนี้

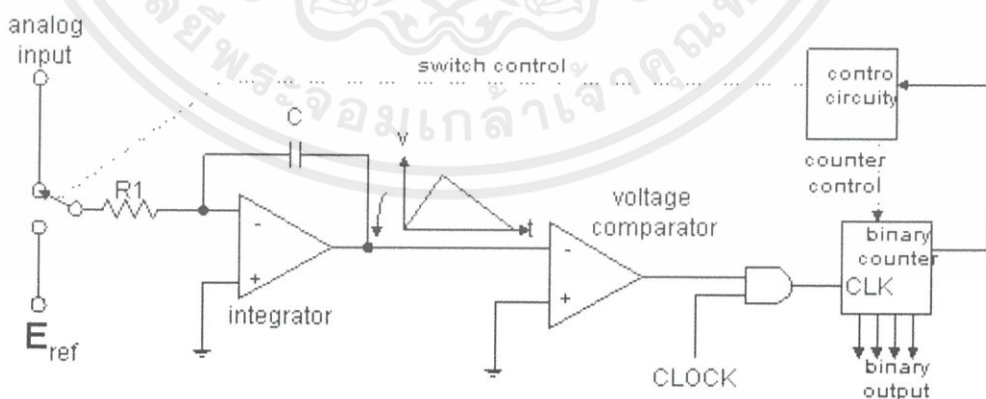


รูปที่ 2.8 Analog to Digital แบบ flash

ระดับสัญญาณ แรงดัน Analog Input จะถูกเปรียบเทียบกับค่าแรงดันอ้างอิง (V_{REF}) ที่จุดต่างๆทางด้าน Input ของวงจร Comparator หรือวงจรเปรียบเทียบแรงดันถ้าค่าแรงดัน Input ทั้งสองเท่ากันที่ Output ของวงจรเปรียบเทียบจะมีค่าเท่ากับ 1 แต่ถ้าไม่เท่ากันจะมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งเป็นระดับสัญญาณทางดิจิทัล โดยวงจร Encoder ถูกใช้ในการเรียงลำดับของสัญญาณจากตัวเปรียบเทียบให้อยู่ในรูปรหัสเลขฐานสอง โดยสามารถแบ่ง ADC ออกตามการใช้งานได้หลายวิธีด้วยกันดังนี้

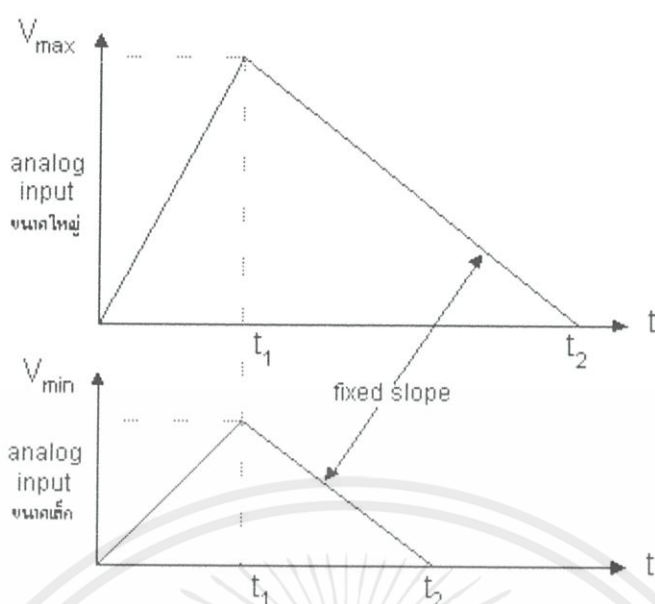
2.4.1 Dual-Slope (Integrating) ADC

เป็น ADC ที่ใช้งานเกี่ยวกับเครื่องมือวัดความเร็วต่ำวงจรภายในประกอบด้วยวงจรแบบอนาล็อกและดิจิทัลรวมกันอยู่ในไอซีตัวเดียวกัน



รูปที่ 2.9 Block diagram ของ ADC แบบ Dual-Slope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

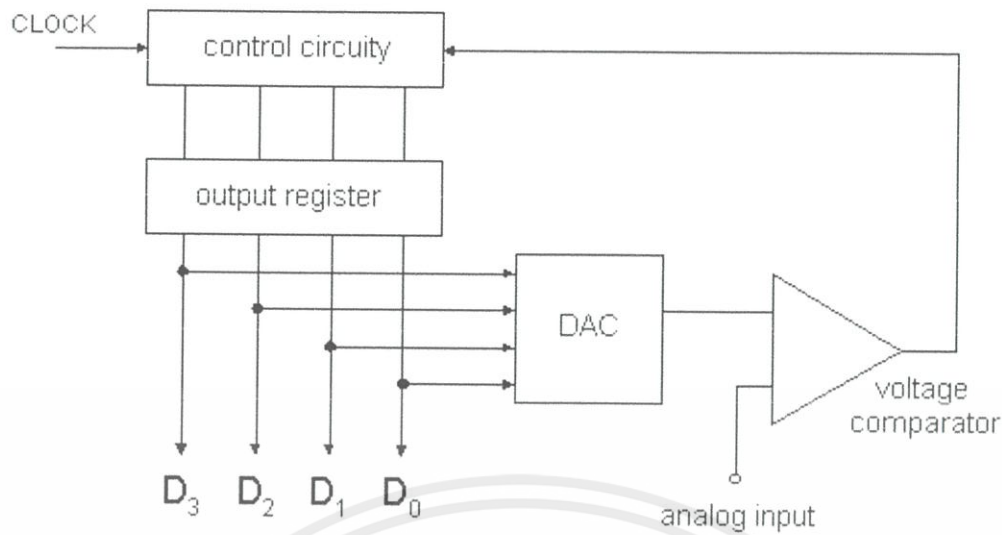


รูปที่ 2.10 สัญญาณ Ramps (มีค่าเป็นลบ) ที่ได้จากวงจร Integrator ของ Analog Input เมื่อป้อนสัญญาณ Analog Input ในช่วงเวลา t_1 เข้ามายัง ADC ผ่านวงจร Integrator ทาง Output ของวงจร Integrator จะมีค่าเป็นลบด้วยแรงดันลบทำให้เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบเป็น “1” จึงไปกระตุ้นให้วงจรนับเริ่มต้นนับขึ้น หลังจากผ่านช่วงเวลา t_1 แล้ววงจรควบคุมจะทำการเคลียร์วงจรนับและทำการเปลี่ยนอินพุตของวงจร Integrator ไปต่อกับแรงดันอ้างอิงวงจรนับจะเริ่มต้นนับใหม่จนกระทั่งเอาต์พุตของวงจร Integrator ตกลงเป็นศูนย์ที่จุดนี้เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบกลายเป็น “0” จะทำให้วงจรนับหยุดลงสัญญาณดิจิทัลที่นับได้ครั้งสุดท้ายนี้จะแทนด้วย Analog Input ที่เข้ามาอัตราการ Integrated จะขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันอินพุต

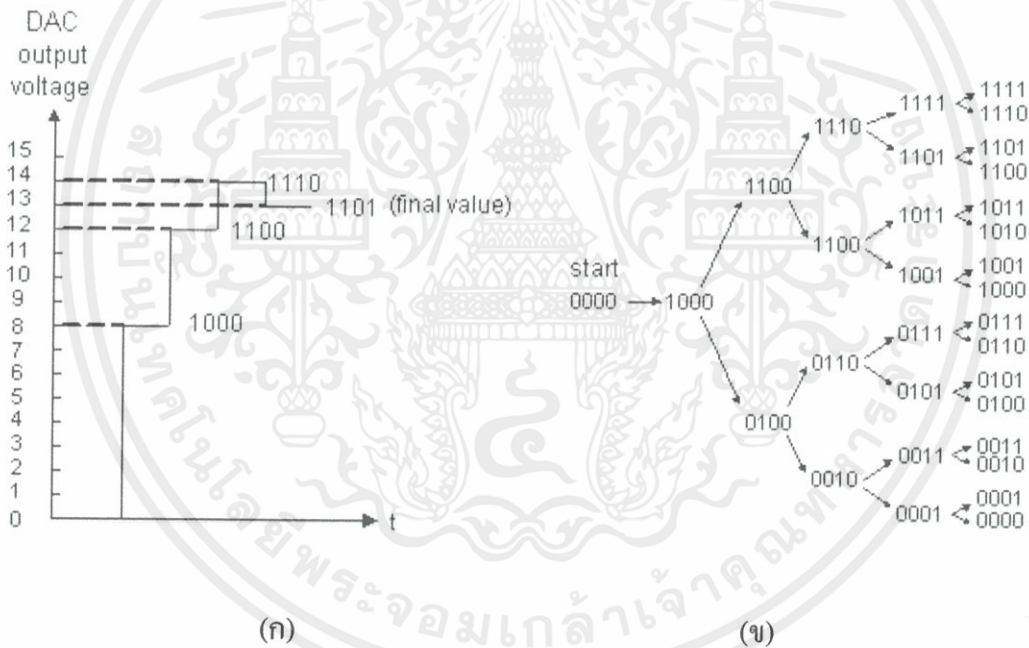
2.4.2 Successive Approximation ADC

เป็น ADC แบบประมาณค่าต่อเนื่อง ซึ่งประกอบด้วยวงจรเปรียบเทียบแรงดันวงจรรีจิสเตอร์แบบ Successive Approximation Register (SAR) ที่ใช้เก็บค่าหลังจากการประมาณค่าสัญญาณอินพุตที่รับเข้ามาโดยวงจร SAR จะมีขาควบคุม 3 ขาคือขาสัญญาณเริ่มแปลงค่าขาสัญญาณบอกจบการแปลงค่าและขาสัญญาณนาฬิกาสำหรับควบคุมกระบวนการแปลงค่าในแต่ละรอบและวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก (Digital to Analog Converter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 Block diagram ADC แบบ successive approximation



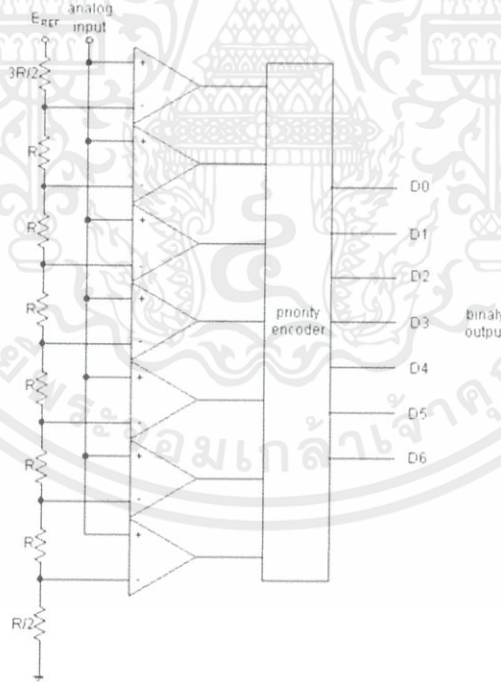
รูปที่ 2.12 (ก) ค่าเอาต์พุตของ DAC (ข) ค่าการนับขึ้น-ลงของ register

จากรูปที่ 2.12 เป็น ADC ขนาด 4 บิตเพราะฉะนั้นเอาต์พุตที่ได้ในรูปแบบของดิจิตอลจะมีระดับสัญญาณอยู่ในช่วง 0000-1111 หรือแทนด้วยฐานสิบที่ตรงกับ 0 -15 สมมุติให้ Analog Input มีค่าเท่ากับแรงดัน 13 โวลต์ สัญญาณ Clock ถูกแรกถูกส่งไปให้วงจร SAR เริ่มกระบวนการแปลงค่า เริ่มต้นการนับค่า Output ของ SAR จะเริ่มที่ 1000 จากนั้นเอาต์พุตที่ DAC จะแปลงค่าให้เท่ากับ 8 โวลต์ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าทาง Analog Input แต่ค่าทาง Analog Input ยังมีค่ามากกว่า จะมีการคำนวณสัญญาณ Clock ถูกถัดไปที่วงจร SAR อีกทำให้ส่งค่าเอาต์พุตที่เพิ่มค่าบิตที่มีนัยสำคัญรองลงมาอีกเท่ากับ 1100 ค่าที่ได้จาก DAC จะมีค่าเท่ากับ 12 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ Analog Input ค่าที่ได้จาก

เอาท์พุท DAC ยังมีค่าน้อยกว่าสัญญาณ clock ถูกถัดไปถูกส่งไปที่วงจร SAR อีก Output ที่ได้จาก SAR จะเพิ่มบิตที่มีนัยสำคัญลงมาอีกเป็น 1110 ค่าที่ได้จากเอาท์พุท DAC จะมีค่าเท่ากับ 14 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าทาง Analog Input แล้วค่าทาง DAC มีค่ามากกว่าสัญญาณ Clock ถูกถัดไปก็ส่งไปที่วงจร SAR อีกแต่ค่าเอาท์พุทที่ได้จะไม่เพิ่มบิตที่มีนัยสำคัญลงมาอีกแต่จะลดค่าเดิมลงไป 1 ซึ่งก็มีค่าเท่ากับ 1101 หรือค่าที่เอาท์พุท DAC เท่ากับ 13 ซึ่งเท่ากับค่าทาง Analog Input ทำให้เอาท์พุทที่วงจรเปรียบเทียบเป็น 1 ส่งค่าให้วงจร SAR จบกระบวนการแปลงค่าแล้วค้างค่าการนับสุดท้ายไว้ที่เอาท์พุทของวงจร SAR แล้วทำการเคลียร์ค่าการนับใหม่เพราะฉะนั้นค่าเอาท์พุทที่ได้จากการแปลงค่าของ ADC แบบนี้มีค่าเท่ากับ 1101

2.4.3 Flash ADC

เป็นรูปแบบ ADC ที่มีความเร็วที่สุดในการแปลงค่าโดยลักษณะการทำงานจะใช้ Comparator หรือตัวเปรียบเทียบต่อขนานกันเพื่อทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นดิจิตอลจากรูปที่ 2.13 ตัวต้านทานที่ต่ออยู่จะแบ่งแรงดันจากแรงดันอ้างอิงที่ตกรวมตัวเปรียบเทียบแต่ละตัว สัญญาณเอาท์พุทที่ตัวเปรียบเทียบแต่ละตัวจะมีค่าเป็น 0 หรือ 1 ขึ้นอยู่กับค่าแรงดัน Analog Input ที่มาเปรียบเทียบ ในส่วนของวงจร Encoder จะทำหน้าที่เป็นตัวเรียงลำดับของสัญญาณจากตัวเปรียบเทียบเอาท์พุทที่ได้จะเป็นรูปแบบของรหัสเลขฐานสองหรือสัญญาณดิจิตอล

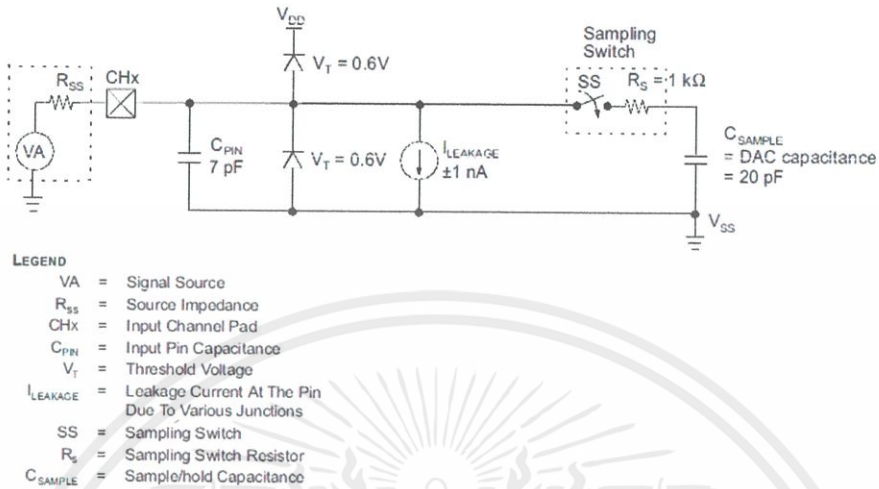


รูปที่ 2.13 Block diagram ของ ADC แบบ flash

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 ภาคอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลเบอร์ MCP3201

ภาคอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลภายใน MCP3201 แสดงด้วยวงจรสมมูลในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 อินพุตของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลภายใน MCP3201

ประกอบด้วยวงจรสุ่มและเก็บสัญญาณ (Sample and Hold) ที่มีตัวเก็บประจุ 20 pF ทำหน้าที่เก็บแรงดันทางอินพุตไว้ให้กับวงจรแปลงดิจิทัลเป็นอนาล็อกและวงจรเปรียบเทียบภายในหรือ C_{HOLD} ในการแปลงนั้นต้องรอให้ C_{HOLD} ประจุแรงดันอินพุตให้เต็มก่อนจึงจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้อง ซึ่งถ้าพิจารณาจากวงจรสมมูลในรูปที่ 2.14 จะเห็นได้ว่าวงจรภายในนอกจาก C_{HOLD} แล้วยังมีตัวต้านทานอีก 2 ตัว ที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการเก็บประจุ นั่นคือ ความต้านทานของแหล่งจ่ายสัญญาณภายนอก หรือ R_{SS} และความต้านทานของสวิตช์สุ่มสัญญาณ หรือ R_S

สมการที่ใช้หาค่าเวลาในการเก็บประจุคือ

$$V_{HOLD} = V_{REF} \times 1 - e^{\left(\frac{-T_C}{R C_{HOLD}}\right)}$$

โดยที่ V_{HOLD} คือ แรงดันของตัวเก็บประจุ C_{HOLD} ภายใน มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

V_{REF} คือ แรงดันอ้างอิงคำนวณได้จากผลลบของแรงดันที่ขา (V_{REF+}) กับขา (V_{REF-}) มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

T_C คือ เวลาในการประจุแรงดันของตัวเก็บประจุ C_{HOLD} มีหน่วยเป็นวินาที

R คือ ค่าความต้านทานรวมของความต้านทานของแหล่งจ่ายสัญญาณภายนอก, ความต้านทานภายในวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลและความต้านทานของสวิตช์สุ่มสัญญาณ หรือ R_S+R_{SS} มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

C_{HOLD} คือ ค่าตัวเก็บประจุของวงจรสุ่มและสัญญาณ หน่วยเป็นฟารัด (F)

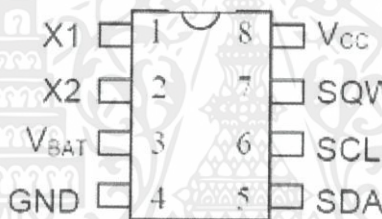
ในการแปลงสัญญาณค่าแรงดันอินพุตต่ำสุดของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลยังคงทำงานได้อย่างถูกต้องนั้นมีค่าเท่ากับ

$$V_{HOLD} = V_{REF} - \frac{V_{REF}}{2^{Re\ solution+1}}$$

2.5 การใช้งาน RealTimeClock ด้วย DS1307

ระบบฐานเวลา เป็นสิ่งสำคัญที่สามารถนำไปใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้หลากหลาย ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีไทมเมอร์เพื่อใช้ในการจับเวลา หรือนำไปใช้เป็นฐานเวลาจริงได้เช่นกัน แต่เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำงานได้ต่อเมื่อมีไฟเลี้ยงเท่านั้น ดังนั้นการใช้ไทมเมอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ สร้างฐานเวลาจริงจึงไม่เหมาะสมในบางแอปพลิเคชัน

DS1307 เป็น IC ฐานเวลาของดัลลัสเซมิคอนดักเตอร์ (Dallas Semiconductor) มีบัสรับส่งข้อมูลแบบ I²C ซึ่งเป็นแบบ 2 wire สามารถสื่อสารได้ 2 ทิศทาง (bi-direction bus) ฐานเวลาของ DS1307 นั้นสามารถเก็บข้อมูล วินาที, นาที, ชั่วโมง, วัน, วันที่, เดือน และปี ได้ ระบบเวลาสามารถทำงานโหมดรูปแบบ 24 ชั่วโมง หรือ 12 ชั่วโมง AM/PM ก็ได้ ภายมีระบบตรวจจับแหล่งจ่ายไฟ โดยถ้าแหล่งจ่ายไฟหลักถูกตัดไป DS1307 สามารถสวิตช์ไปใช้ไฟจากแบตเตอรี่ และทำงานต่อไป โดยที่ยังสามารถรักษาข้อมูลไว้ได้ โครงสร้างมีขาทั้งหมด 8 ขาดังแสดงในรูปที่ 2.15 และมีรายละเอียดการทำงานของขาต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 2.15 ตำแหน่งขาของไอซี RTC DS1307

VCC : ไฟเลี้ยง +5V

GND : กราวด์

VBAT : แบตเตอรี่ 3V เพื่อรักษาการทำงาน ในกรณีที่ไม่มีไฟเลี้ยงจ่าย

SDA : ขารับส่งข้อมูลด้วยระบบบัส I2C

SCL : ขาสัญญาณนาฬิกาสำหรับการรับส่งข้อมูลด้วยระบบบัส I2C

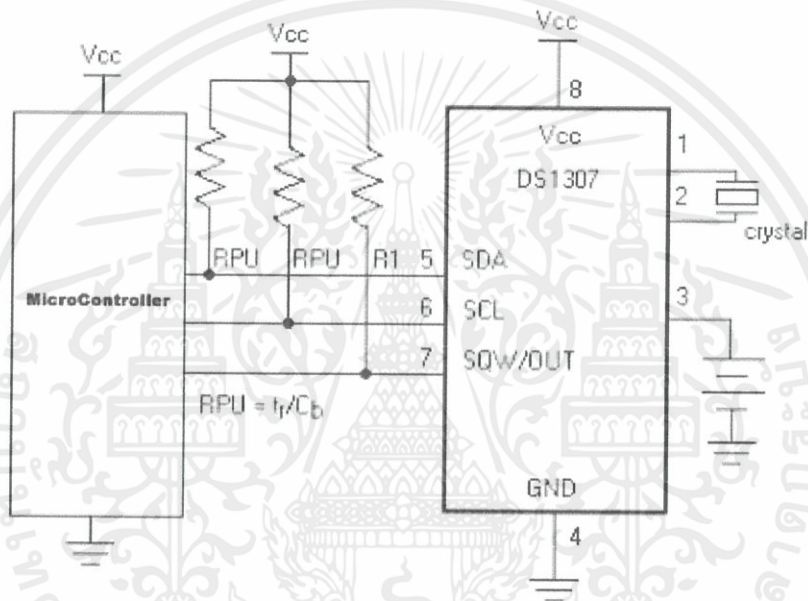
SQW/OUT : ขาเอาต์พุตสัญญาณ Square Wave สามารถเลือกความถี่ได้

X1, X2 : ต่อกับคริสตัลความถี่มาตรฐาน 32.768 kHz เพื่อสร้างฐานเวลาจริงให้กับ IC

ระบบบัสข้อมูลแบบ I²C (Inter IC Communication) ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัทฟิลิปส์ (Phillips) การรับส่งข้อมูลใช้สายสัญญาณเพียงแค่ 2 เส้น คือ สายสัญญาณข้อมูล SDA (Serial Data line) และสายสัญญาณนาฬิกา SCL (Serial Clock line) มีการทำงานเป็นแบบ Master, Slave โดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็น Master (ไมโครคอนโทรลเลอร์) จะควบคุมการรับส่งข้อมูล และควบคุม

สัญญาณนาฬิกาบน SCL ส่วนอุปกรณ์ Slave (DS1307) นั้นจะทำงานภายใต้การควบคุมของอุปกรณ์ Master

การใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยระบบบัส I²C สามารถทำได้โดยต่อตัวต้านทาน Pull up ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ในกรณีที่ต้องการต่อร่วมกับอุปกรณ์ Slave หลายตัว ก็ สามารถทำได้โดยต่ออุปกรณ์ Slave ขนานกันไป การติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ Master กับ Slave แต่ละตัวถูกแยกโดย Address ของอุปกรณ์ Slave ซึ่งจะถูกส่งจากอุปกรณ์ Master ไปยัง อุปกรณ์ Slave ก่อนเริ่มการรับส่งข้อมูล



รูปที่ 2.16 การเชื่อมต่อ DS1307 เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยระบบบัสแบบ I²C การรับส่งข้อมูลแบบ I²C มีข้อกำหนดอยู่ 2 ประการด้วยกันคือ

1. การรับส่งข้อมูลจะเริ่มขึ้นเมื่อบัสมีสถานะว่างเท่านั้น
2. ช่วงที่ทำการรับส่งข้อมูล สายสัญญาณ SDA ต้องไม่เปลี่ยนสถานะในช่วงที่ SCL มีสถานะเป็นลอจิก “1” ถ้า SDA มีการเปลี่ยนสถานะในช่วงที่ SCL เป็นลอจิก “1” จะถือว่าเป็นสัญญาณควบคุมการรับส่งข้อมูล

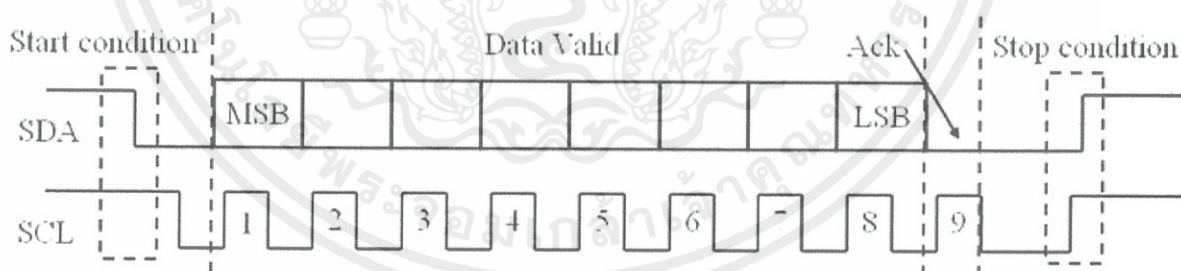
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานะของการรับส่งข้อมูลแบบ I²C สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 สถานะ ดังแสดงในรูปที่ 2.17 มีรายละเอียดดังนี้

1. สถานะว่าง (Bus not busy): สัญญาณ SDA และ SCL มีระดับสัญญาณเป็น High
2. เริ่มส่งข้อมูล (Start data transfer): มีการเปลี่ยนระดับสัญญาณของ SDA จาก High เป็น Low ในขณะที่ SCL มีระดับสัญญาณเป็น High ค้างไว้
3. หยุดส่งข้อมูล (Stop data transfer): มีการเปลี่ยนระดับสัญญาณของ SDA จาก Low เป็น High ในขณะที่ SCL มีระดับสัญญาณเป็น High ค้างไว้
4. รับส่งข้อมูล (Data valid): มีการรับส่งข้อมูลผ่านสายสัญญาณ SDA โดยข้อมูลแต่ละบิตจะถูกส่งในช่วงที่ SCL มีระดับเป็น High โดยในช่วงที่ SCL มีสถานะเป็น High อยู่ SDA จะต้องไม่เกิดการเปลี่ยนระดับสัญญาณ

SDA จะเปลี่ยนระดับของสัญญาณ ในช่วงที่ SCL มีระดับสัญญาณเป็น Low เท่านั้น ตามมาตรฐานการส่งข้อมูล แบบ I²C นี้สามารถส่งข้อมูลด้วยความถี่สัญญาณนาฬิกาสูงสุด 100 kHz ที่โหมดการทำงานธรรมดา และ 400 kHz ที่โหมดการทำงานแบบเร็ว แต่สำหรับ DS1307 สามารถทำงานได้ในโหมดธรรมดาเท่านั้น

ตอบรับ (Acknowledge): เกิดขึ้นหลังจากที่มีการรับส่งข้อมูลครบแล้ว โดยอุปกรณ์ Master ต้องสร้างสัญญาณ Clock บน SCL เพิ่มอีกลูก อุปกรณ์ที่เป็นตัวรับข้อมูลจะดึงระดับสัญญาณบน SDA ให้เป็น Low เพื่อให้ตัวส่งรับรู้ว่าตัวรับได้รับข้อมูลครบแล้ว

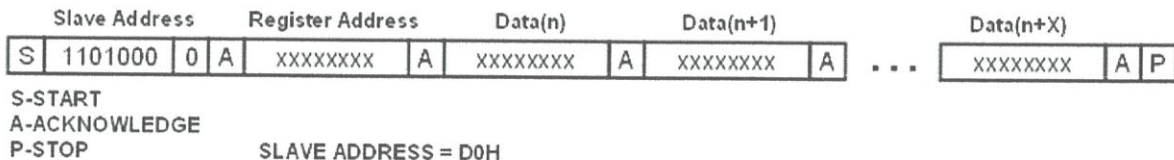


รูปที่ 2.17 การรับส่งข้อมูลผ่านบัส I²C

ในการรับส่งข้อมูลผ่านบัส I²C อุปกรณ์ Master จะเป็นผู้สร้างสัญญาณ Clock บน SDA และเป็นตัวควบคุมสถานะ Start และ Stop เพื่อควบคุมการรับส่งข้อมูลทั้งหมด

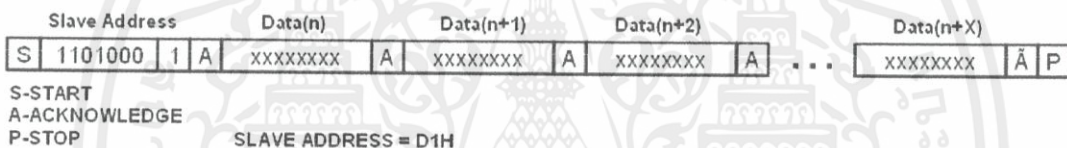
การส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ DS1307 ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องสร้างสถานะ Start ก่อน จากนั้นต้องส่ง Address ของ DS1307 ขนาด 7 บิตซึ่งมีค่าเป็น 1101000 และตามด้วยบิตระบุทิศทางของข้อมูล ในกรณีที่เป็นการเขียนข้อมูลลง DS1307 จะต้องเป็น “0” จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องส่งตำแหน่ง Address ภายในรีจิสเตอร์ของ DS1307 ที่ต้องการเขียน

ข้อมูลลง แล้วจึงค่อยเขียนข้อมูลลง โดยในการส่งข้อมูลแต่ละไบต์จะต้องรอบิต Ack จาก DS1307 ทุกไบต์ เมื่อส่งจนครบแล้ว ถึงจะสร้างสถานะ Stop เพื่อกลับสู่สถานะว่าง



รูปที่ 2.18 การเขียนข้อมูลอุปกรณ์ Slave ผ่านบัส I²C

การรับข้อมูลจากอุปกรณ์ Slave ดังแสดงในรูปที่ 2.19 เริ่มแรกไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องสร้างสถานะ Start ก่อน จากนั้นต้องส่ง Address ของ DS1307 ขนาด 7 บิตซึ่งมีค่าเป็น 1101000 และตามด้วยบิตระทิศทางของข้อมูล ในกรณีที่เป็นการอ่านข้อมูลจาก DS1307 จะต้องเป็น “1” จากนั้นจึงค่อยรับข้อมูลจากอุปกรณ์ Slave ทีละไบต์ โดยตำแหน่งที่อ่านเข้ามาจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งรีจิสเตอร์พอยท์เตอร์ ซึ่งจะเป็นตำแหน่งท้ายสุดที่ได้ทำการเขียนข้อมูลไว้ เมื่ออ่านข้อมูลครบแต่ละไบต์ อุปกรณ์ Master ต้องส่ง Acknowledge บิตกลับไปให้อุปกรณ์ Slave ด้วย ในกรณีที่ เป็นไบต์สุดท้าย อุปกรณ์ Master ต้องส่ง “Not Acknowledge” กลับไป



รูปที่ 2.19 การอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ Slave ผ่านบัส I²C

ภายใน DS1307 มีรีจิสเตอร์ภายในใช้เก็บข้อมูลเวลาขนาด 7 ไบต์ 00H-06H ดังแสดงในรูปที่ 2.20 ข้อมูลค่าเวลา และวันที่จะถูกเก็บอยู่ในรูปของเลขฐาน 10 สามารถเลือกได้ว่าให้ทำงานแบบ 12 ชั่วโมง หรือ 24 ชั่วโมง โดยกำหนดที่บิตที่ 6 ที่แอดเดรส 02H โดยถ้าเป็น “1” จะเป็นการทำงานในโหมด 12 ชั่วโมง และเมื่อเลือกแบบ 12 ชั่วโมง ที่บิต 5 ในแอดเดรส 02H นั้นจะใช้แสดงค่า AM/PM โดยถ้าบิตนี้เป็น “1” จะเป็น PM ในกรณีที่แสดงแบบ 24 ชั่วโมง บิตนี้จะใช้ในการแสดงค่าของหลักสิบในของหน่วยชั่วโมงด้วย

BIT ⁷										BIT ⁰	
00H	CH	10 SECONDS				SECONDS				00-59	
	0	10 MINUTES				MINUTES				00-59	
	0	12 / 24	10 HR / AP	10 HR		HOURS				01-12 / 00-23	
	0	0	0	0	0	DAY				1-7	
	0	0	10 DATE		DATE						
	0	0	0	10 MONTH	MONTH				01-12		
		10 YEAR		YEAR				00-99			
07H	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0			

รูปที่ 2.20 รีจิสเตอร์ภายในไอซีฐานเวลา DS1307

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีลิขสิทธิ์สงวนไว้ด้วย กรุณาแจ้งทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่แอดเดรส 07H เป็นรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของ SQW/OUT โดยมีรายละเอียดดังนี้

OUT (Out control) : ใช้ควบคุมเอาต์พุต

SQWE (Square Wave Enable) : ใช้ควบคุมออสซิลเลเตอร์ภายใน DS1307 โดยถ้าบิตนี้เป็น “1” จะเป็นการเปิดออสซิลเลเตอร์

RS (Rate Select) : ใช้ควบคุมความถี่ของ Square Wave เมื่อเปิดการทำงานในส่วนของ ออสซิลเลเตอร์ โดยสามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้ 4 ความถี่ด้วยกันดังแสดงในตารางที่ 2.1

RS1	RS0	SQW OUTPUT FREQUENCY
0	0	1 Hz
0	1	4.096 kHz
1	0	8.192 kHz
1	1	32.768 kHz

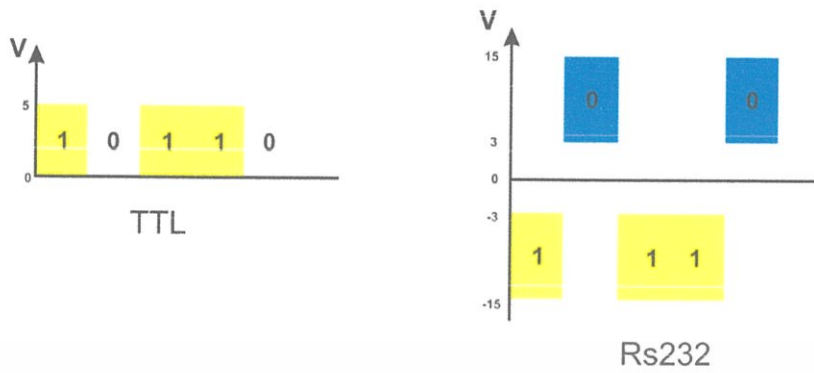
ตารางที่ 2.1 การควบคุมความถี่ออสซิลเลเตอร์ด้วยการเซตบิต RS1,RS0

2.6 RS232

2.6.1 ที่มาของ RS232

ย่อมาจาก Recommended Standard-232 เป็นมาตรฐานในการเชื่อมต่อข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Port) ซึ่งกำหนดโดย Electronics Industry Association (EIA) สามารถทำงานแบบ Full-duplex หรือ Half-duplex จำกัดความยาวสายที่ 50 ฟุต หรือประมาณ 15 เมตร สำหรับการส่ง สัญญาณที่ความเร็ว 19,200 bps โดยที่ความยาวของสายจะต้องสั้นลง ถ้าต้องการสื่อสารด้วยความเร็วที่สูงขึ้น

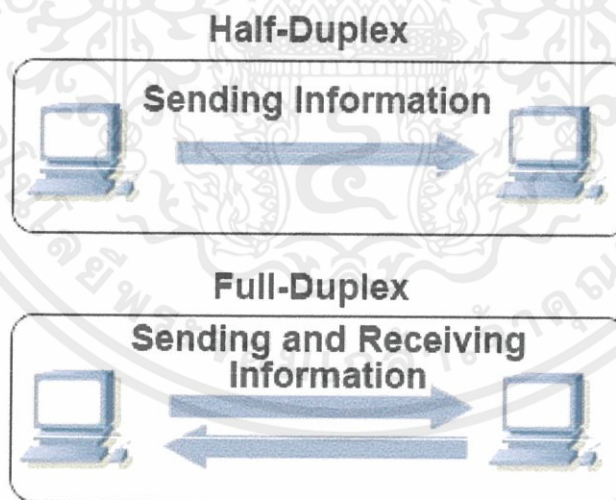
โดยทั่วไป การส่งสัญญาณ Digital ไม่สามารถส่งผ่านสายที่มีระยะทางไกลได้ เพราะเกิดการสูญเสียระดับสัญญาณในสาย ยิ่งสายมีความยาวมาก ระดับของสัญญาณก็จะยิ่งลดต่ำลง จึงมีการสร้างวงจรแปลงแรงดันจากต้นทางซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ให้มีระดับแรงดันที่สูงขึ้นเพื่อให้ส่งได้ในระยะทางที่ไกลขึ้น และทางด้านฝ่ายรับก็จะต้องมีวงจรแปลงระดับแรงดันในสายให้กลับมาเป็นสัญญาณ TTL อีกครั้งหนึ่ง ถ้าต้องการระยะไกลมากขึ้นก็อาจจะต้องใช้ระดับแรงดันที่สูงขึ้น แต่ถ้าส่งข้อมูลในระยะสั้นๆ ก็อาจจะใช้ระดับแรงดันที่สูงกว่าระดับ TTL เพียงเล็กน้อย ดังนั้นวงจรแปลงแรงดันที่นำมาใช้จึงอาจจะมีแรงดันอยู่หลายระดับ ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบวงจรจะกำหนดขึ้น จึงเป็นปัญหาให้ผู้ใช้งานที่ซื้ออุปกรณ์ต่างผู้ผลิตกัน ทำให้ต่อเข้าด้วยกันไม่ได้ จึงได้มีการกำหนดเป็นมาตรฐานของระดับสัญญาณขึ้นมาเพื่อใช้เป็นข้อกำหนดให้กับผู้ผลิตออกแบบและสร้างวงจรที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งมาตรฐานหนึ่งที่เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปคือ RS232



รูปที่ 2.21 ภาพแสดงแรงดัน TTL และ RS232

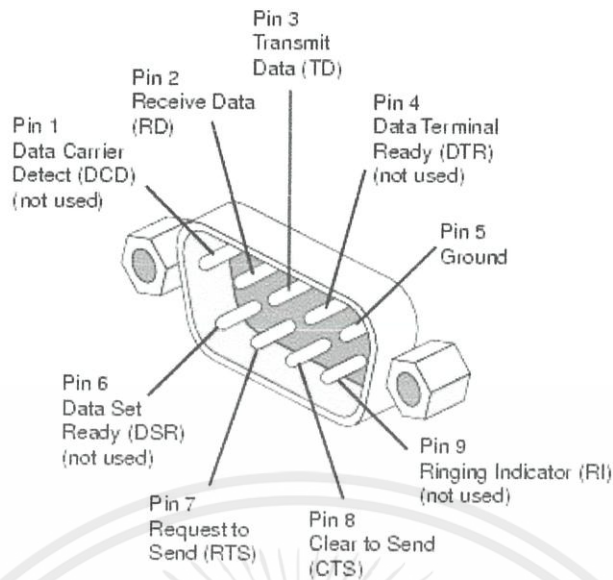
RS232 เกิดขึ้นมาจากความต้องการที่จะกำหนดมาตรฐานในการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ในสมัยนั้น โดยสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แห่งสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีคุณสมบัติที่ถูกกำหนดไว้เป็นมาตรฐานด้วยกันทั้งหมด 4 หัวข้อ ดังนี้

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าของสัญญาณ
2. คุณสมบัติทางกลของการเชื่อมต่อ
3. การทำงานของวงจรสำหรับแลกเปลี่ยนข้อมูล
4. การเชื่อมต่อสำหรับระบบสื่อสารเฉพาะอย่าง



รูปที่ 2.22 การรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมแบบ Half-Duplex และ Full-Duplex

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 ภาพแสดง Connector ของ RS232

TX = ขาส่งข้อมูล

RX = ขารับข้อมูล

RTS = ขาที่ส่งสถานะไปยังตัวรับ ว่าต้องการส่งข้อมูล เมื่อต้องการส่งข้อมูล จะ ON จนกระทั่งส่ง Data ออกทางขา TX จนเสร็จจึงจะ OFF

CTS = ขาที่รอรับสถานะ จาก RTS ของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ด้วย

DTR = ขาที่แสดงสถานะว่า Port นั้นเปิดอยู่หรือไม่

DSR = ขาที่ใช้ตรวจสอบสถานะ DTR ของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่ด้วย

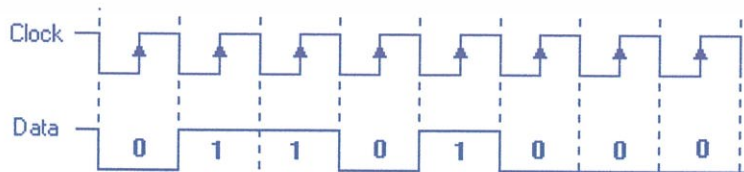
GND = Signal Ground

2.6.2 รูปแบบการสื่อสารแบบอนุกรม

สำหรับ RS232 จะมีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 2 แบบคือ Synchronous และ Asynchronous

2.6.2.1 Synchronous

การสื่อสารอนุกรมแบบ Synchronous เป็นรูปแบบที่ใช้วิธีส่งข้อมูลโดยใช้สัญญาณ Clock เป็นตัวกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูล การส่งข้อมูลแบบนี้เป็นการรับส่งที่ค่อนข้างมีคุณภาพและส่งได้ด้วยความเร็วสูง มีโอกาสที่ข้อมูลจะสูญหายระหว่างการส่งน้อย

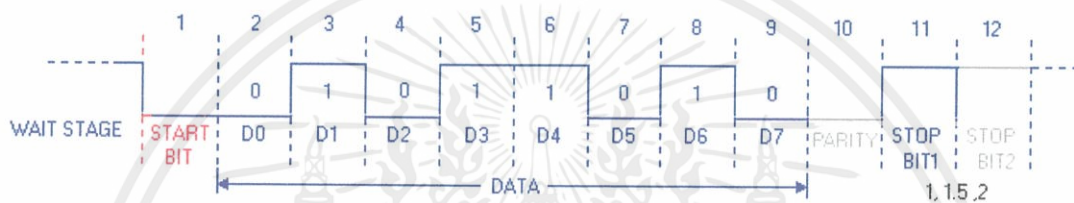


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.24 ไคอะแกรมแสดงรูปสัญญาณในการส่งข้อมูลแบบ Synchronous

2.6.2.2 Asynchronous

การสื่อสารอนุกรมแบบ Asynchronous เป็นการส่งข้อมูลที่ไม่ต้องใช้สัญญาณ Clock มาเป็นตัวกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูลแต่จะใช้วิธีกำหนดรูปแบบ Format การรับส่งข้อมูลขึ้นมาแทนและอาศัยการกำหนดความเร็วของการรับและส่งที่เท่ากัน ซึ่งเป็นรูปแบบมาตรฐานในการส่งข้อมูลที่เรียกว่า UART(Universal Asynchronous Receiver Transmitter) ข้อดีของการใช้ Asynchronous คือสามารถสื่อสารแบบ Full Duplex รับ และ ส่งได้ในเวลาเดียวกัน แต่ Asynchronous มีโอกาสที่ข้อมูลจะสูญหายขณะรับส่งข้อมูล หรือ รับส่งข้อมูลผิดพลาดได้มากกว่าแบบ Synchronous



รูปที่ 2.25 ไดอะแกรมแสดงรูปสัญญาณในการส่งข้อมูลแบบ Asynchronous รูปแบบข้อมูลแบบ Asynchronous ประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

1. บิตเริ่มต้น (Start bit): มีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูล (Data): มีขนาด 5, 6, 7 หรือ 8 บิต
3. ตรวจสอบพาริตี (Parity bit): มีขนาด 1 บิตหรือไม่มี
4. บิตหยุด (Stop bit): มีขนาด 1, 1.5, 2 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

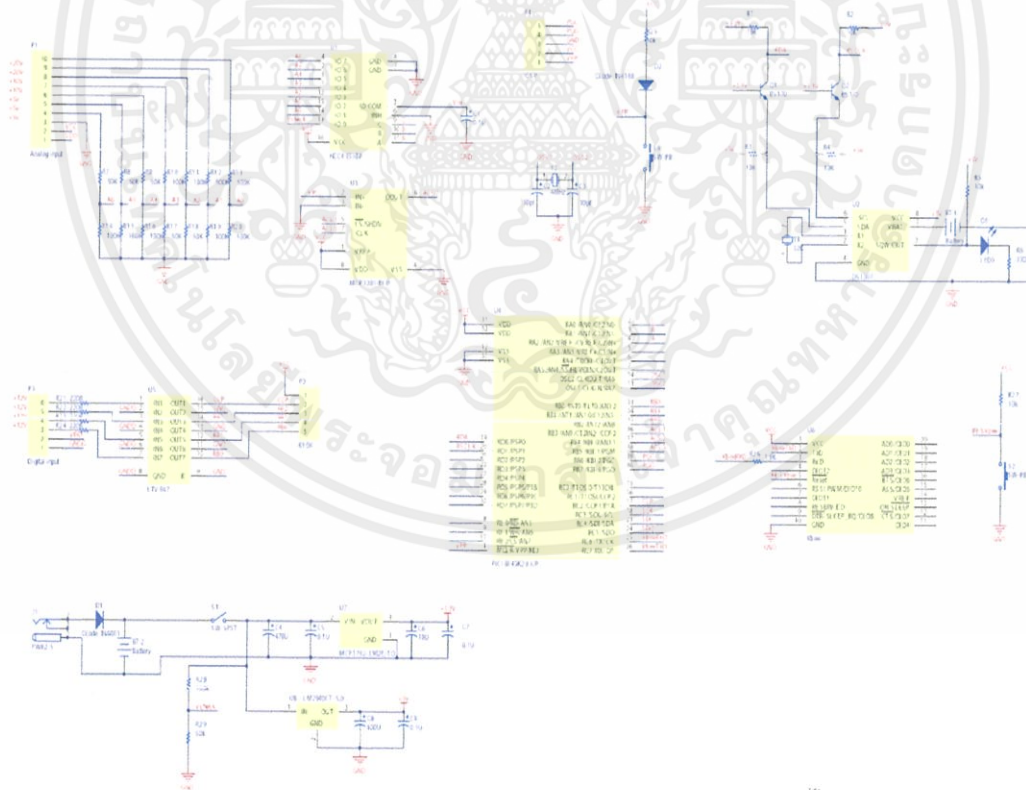
การดำเนินงาน โครงการงานเรื่องเครื่องบันทึกข้อมูลควบคุมผ่าน Zigbee มีขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาและการวิจัยดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบและการสร้างเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger)

ขั้นตอนที่ 2 การใช้เครื่องบันทึกข้อมูลในการทดลอง

3.1 การออกแบบและการสร้างเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger)

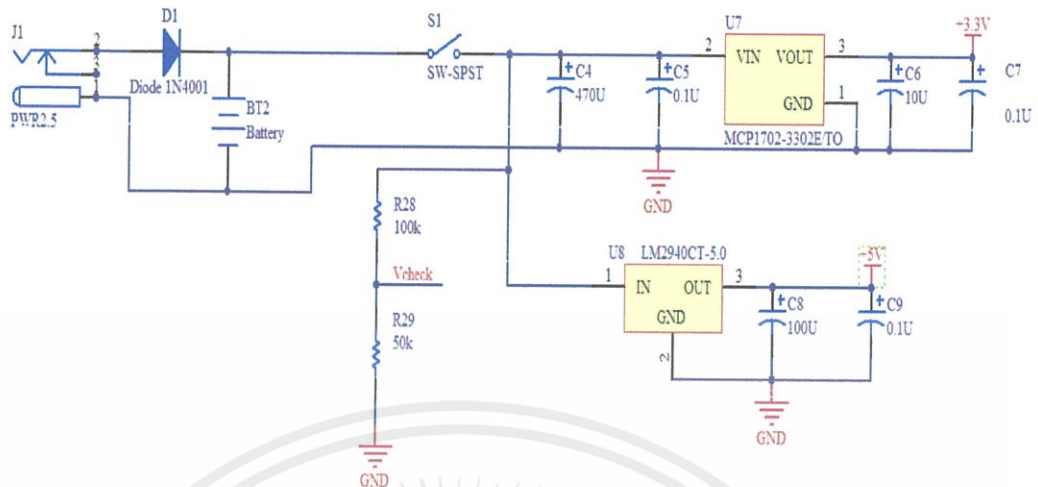
3.1.1 วงจรตัวส่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

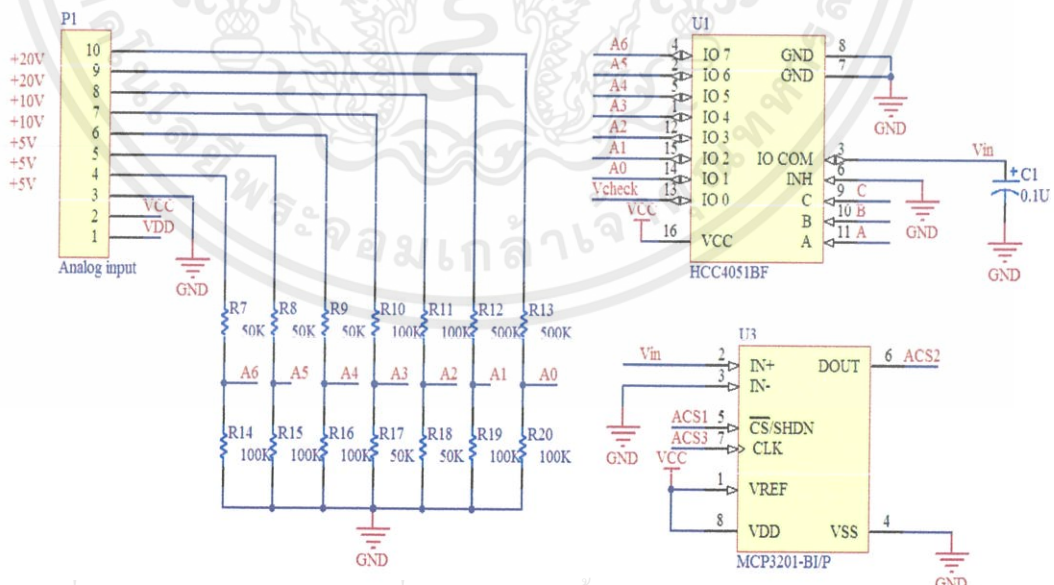
รูปที่ 3.1 วงจรตัวส่งสัญญาณ (Transmitter Circuit)

โดยสามารถแบ่งการทำงานของวงจรตัวส่งได้ดังนี้



รูปที่ 3.2 วงจรจ่ายไฟ +5 โวลต์ และ +3 โวลต์ (Power supply +3.3V and +5V)

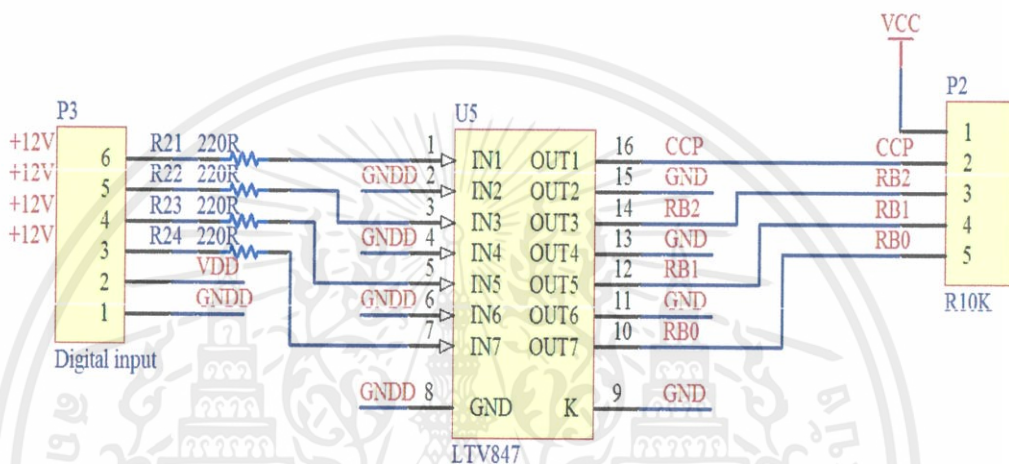
1. วงจรจ่ายไฟ +5 โวลต์ และ +3.3 โวลต์ โดยในที่นี้จะใช้แบตเตอรี่ 2A 4 ก้อนเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน ผ่านวงจรกรองไฟด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor) C4, C5 และแยกเข้าไอซีรักษาแรงดัน U7 (Voltage Regulator) +3.3 โวลต์ เบอร์ MCP1702 ทำให้แรงดันเอาต์พุตออกมาคงที่ +3.3V ซึ่งเป็นชนิด Low Dropout ถัดจากนั้นจะมีตัวเก็บประจุ C6 และ C7 ทำให้ไฟ +3.3 โวลต์ที่ออกมาเรียบ เช่นเดียวกับไอซีรักษาแรงดัน U6 เบอร์ LM2940 ทำให้แรงดันเอาต์พุตออกมาคงที่ +5 โวลต์ จากนั้นตัวเก็บประจุ C8 และ C9 จะให้ไฟ +5 โวลต์ ออกมาเรียบ โดยส่วนนี้จะมีตัวต้านทาน 2 ตัวแบ่งแรงดัน จากแบตเตอรี่ +6 โวลต์ เหลือประมาณ +3 โวลต์ เข้าสู่วงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัลต่อไป



รูปที่ 3.3 วงจรอนาล็อกอินพุต (Analog input circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

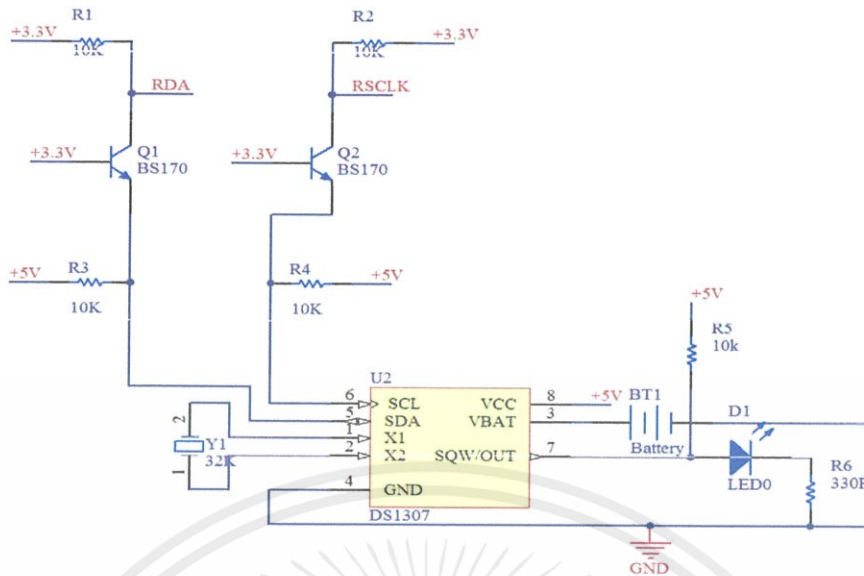
2. วงจรอนาล็อกอินพุตจะมีช่องสัญญาณอนาล็อกทั้งหมด 7 ช่องสัญญาณ แบ่งเป็น ช่องสัญญาณแรงดัน +20 โวลต์ 2 ช่อง +10 โวลต์ 2 ช่อง +5 โวลต์ 3 ช่อง โดยทุกช่องจะถูกแบ่งแรงดันให้เหลือ +3.3 โวลต์ เข้าสู่ไอซีอนาล็อกมัลติเพล็กซ์เซอร์(Analog multiplexer) U1 เบอร์ 4051 ซึ่งใช้ไฟเลี้ยง +3.3 โวลต์ โดยไอซีอนาล็อกมัลติเพล็กซ์เซอร์ จะทำการเลือกสัญญาณที่ได้เข้าสู่ไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล U3 เบอร์ MCP3201 ใช้ไฟเลี้ยง +3.3 โวลต์ โดยไอซีตัวนี้มีความละเอียดในการแปลง 12 บิตซึ่งจะมีความละเอียด $\frac{3.3 \text{ V}}{2^{12}} = 0.856$ มิลลิโวลต์ ต่อการเปลี่ยนแปลง 1 บิต



รูปที่ 3.4 วงจรดิจิทัลอินพุต (Digital input circuit)

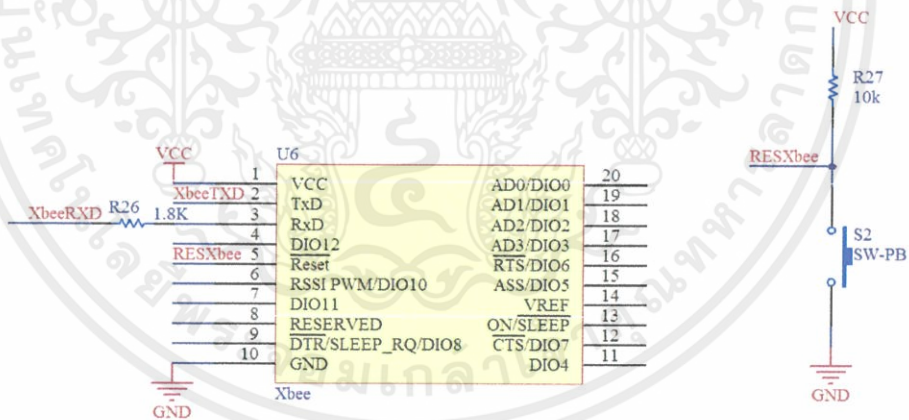
3. วงจรดิจิทัลอินพุตจะมีช่องสัญญาณดิจิทัลทั้งหมด 4 ช่องต่อเข้ากับไอซีออปโต ไอโซเรเตอร์ (Optoisolator) เบอร์ U5 เบอร์ LTV847 ซึ่งจะใช้สำหรับการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์กับส่วนของสัญญาณดิจิทัลที่เข้ามา ซึ่งสามารถรับแรงดันได้ถึง +12 โวลต์ ทั้ง 4 ช่อง โดยช่องที่ 1 สำหรับวัดค่าความถี่สามารถวัดความถี่ในช่วง 1- 10000 เฮิรตซ์(HZ) ช่องที่ 2,3 สำหรับวัดค่าสถานะของสัญญาณ และช่องสุดท้าย ช่องที่4 สำหรับวัดจำนวนพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจรฐานเวลาจริง (Real Time Clock)

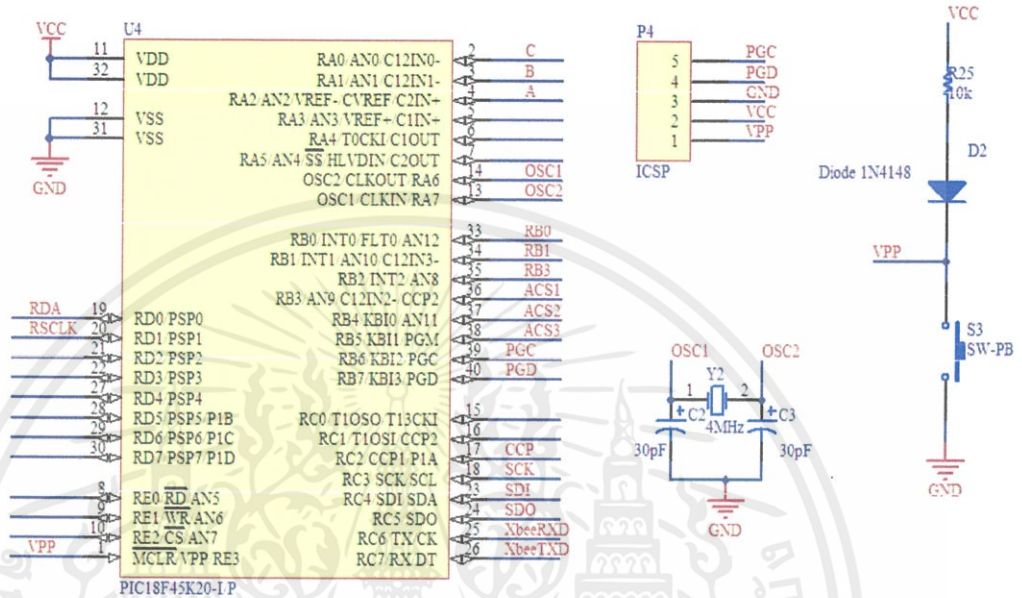
4. วงจรไอซีให้ฐานเวลาในที่นี้จะใช้ไอซีฐานเวลา (Real time clock) U2 เบอร์ DS1307 จะมีการติดต่อสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์รูปแบบ I²C ซึ่งกล่าวในบทที่ 2 โดยจะมีวงจรเชื่อมต่อระหว่างไอซีฐานเวลากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวงจรไบไดเรกชันเลเวลชิฟ(BiDirectional Level Shift) ด้วยมอสเฟตเอ็นแชนแนล (Mosfet n-channel)



รูปที่ 3.6 โมดูลตัวส่งสัญญาณ (Zigbee module coordinator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. วงจรตัวส่งจะประกอบไปด้วย โมดูล Zigbee U6 ใช้ไฟเลี้ยง +3.3 โวลต์ โดยเชื่อมต่อขา TX และขา RX ของโมดูลเอ็กซ์บี ไขว้สลับต่อเข้ากับขา RX และขา TX ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตามลำดับ

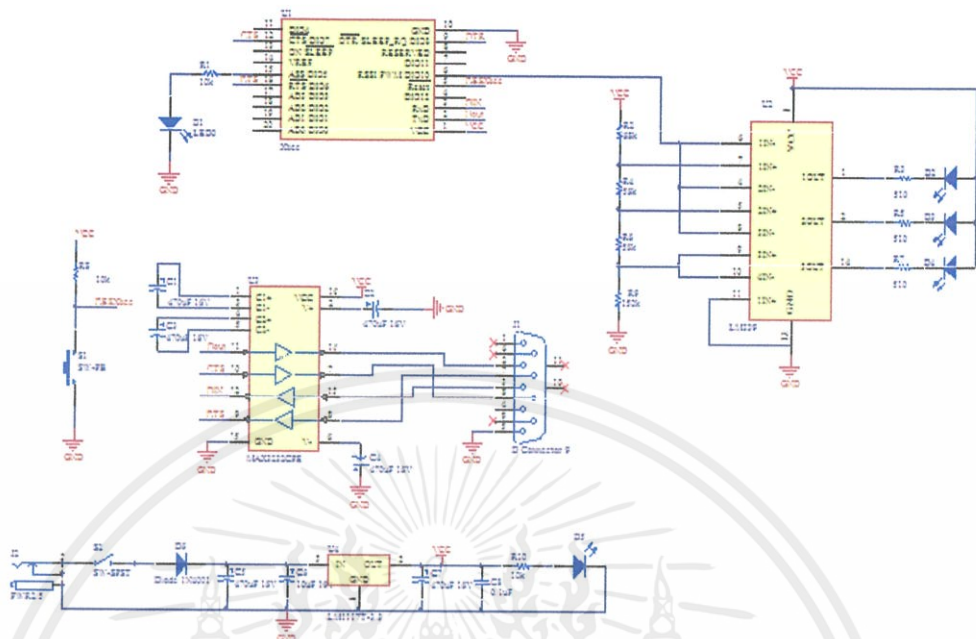


รูปที่ 3.7 หน่วยประมวลผล (Processing Unit)

6. หน่วยประมวลผล (Processing unit) ซึ่งในที่นี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 18f45k20 เทคโนโลยีนาโนวัตต์เอ็กซ์แอลที (Nano watt xlp technology) ที่ใช้ไฟเลี้ยง +3.3 โวลต์ โดยใช้ออสซิลเลเตอร์ 4 เมกะเฮิร์ตซ์ เปิดการใช้งานของวอตช์ด็อก ไทเมอร์ (Watchdog Timer) เพื่อการตรวจสอบความผิดพลาดของไมโครคอนโทรลเลอร์ และใช้สำหรับการปลุกไมโครคอนโทรลเลอร์ในขณะหลับ (Sleep mode) ให้ตื่นขึ้นมาทำงาน เปิดการกำหนดการใช้งานวงจรบราวเอาต์รีเซต (Brown-out reset) เมื่อกรณีไฟเลี้ยงต่ำกว่าที่กำหนดไว้จะทำการรีเซตไมโครคอนโทรลเลอร์

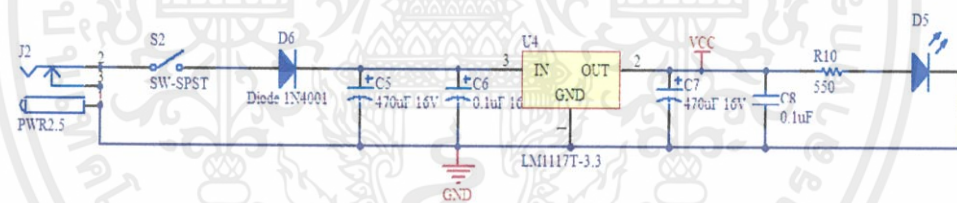
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 วงจรตัวรับ



รูปที่ 3.8 วงจรตัวรับสัญญาณ (Receiver Circuit)

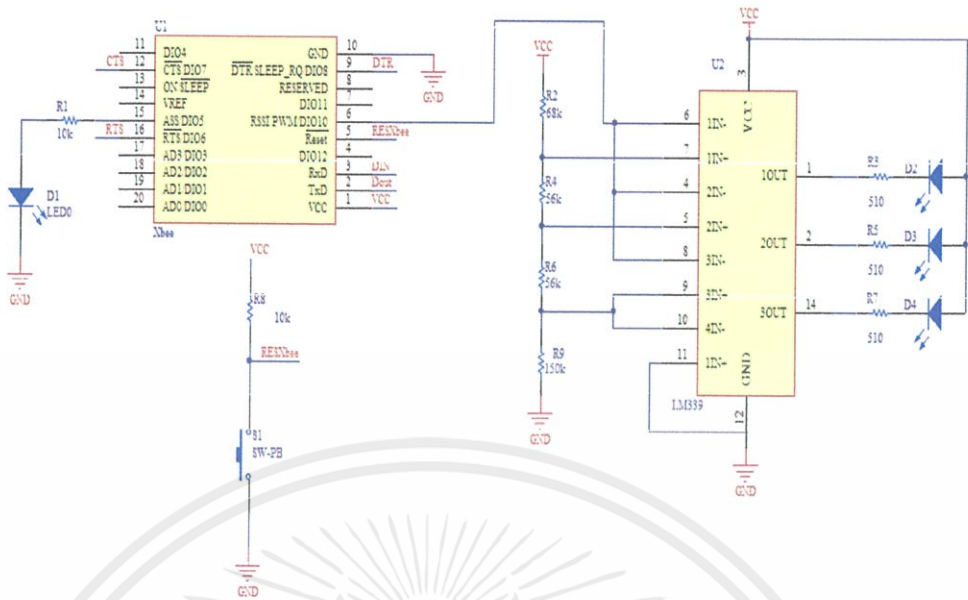
โดยสามารถแบ่งการทำงานของวงจรตัวรับได้ดังนี้



รูปที่ 3.9 วงจรจ่ายไฟ +3.3 โวลต์ (Power supply +3.3V)

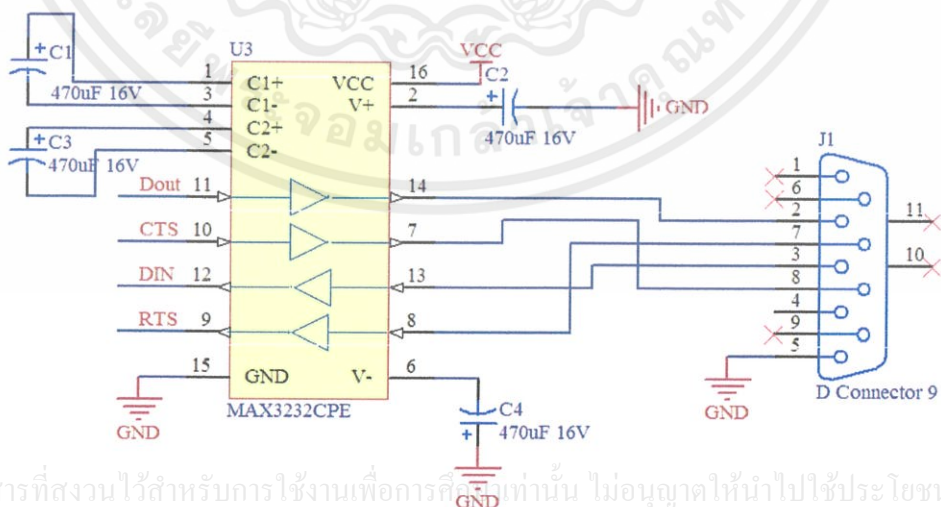
1. วงจรจ่ายไฟ +3.3 โวลต์ โดยในที่นี้จะใช้แหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ 6-12 โวลต์ ผ่านไดโอดป้องกันไฟลบทที่ต่อผิขั้ว ผ่านวงจรกรองไฟ ด้วยค่าตัวเก็บประจุ C5, C6 เข้าที่ไอซีรักษาแรงดัน U4 เบอร์ LM1117T ทำให้แรงดันเอาต์พุตออกมาคงที่ +3.3 โวลต์ ซึ่งเป็นชนิด Low Dropout ถัดนั้นจะมีตัวเก็บประจุ C7 และ C8 ทำให้ไฟ +3.3 โวลต์ ที่ออกมาเรียบ ซึ่งจ่ายให้อิซี U3 โมดูล Zigbee

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 โมดูลตัวรับสัญญาณ (Zigbee module end device)

2. โมดูล Zigbee U3 โดยขาที่ 15 จะกำหนดการทำงานว่าทำงานอยู่หรือไม่ด้วย ไดโอดเปล่งแสง D1 ส่วนขาที่ 6 ต่อเข้าไอซีเปรียบเทียบ (Comparator) U2 เบอร์ LM339 ซึ่งขานี้จะกำหนดความแรงของสัญญาณออกมาในรูปแบบของแรงดัน โดยจะมีการกำหนดแรงดันดังต่อไปนี้ ถ้าแรงดันมากกว่าแต่ไม่น้อยกว่า +2.62 โวลต์ แสดงว่าระดับสัญญาณของตัวรับตัวส่งอยู่ในช่วง 40 เมตร ไดโอดเปล่งแสง D2,D3,D4 จะติด และถ้าระดับสัญญาณมากกว่าแต่ไม่น้อยกว่า +2.06 โวลต์ แสดงว่าระดับสัญญาณของตัวรับตัวส่งอยู่ในช่วง 80 เมตร ไดโอดเปล่งแสง D3,D4 จะติดและถ้าระดับสัญญาณมากกว่าแต่ไม่น้อยกว่า +1.5 โวลต์แสดงว่าระดับสัญญาณของตัวรับตัวส่งอยู่ในช่วง 120 เมตร ไดโอดเปล่งแสง D4 จะติด



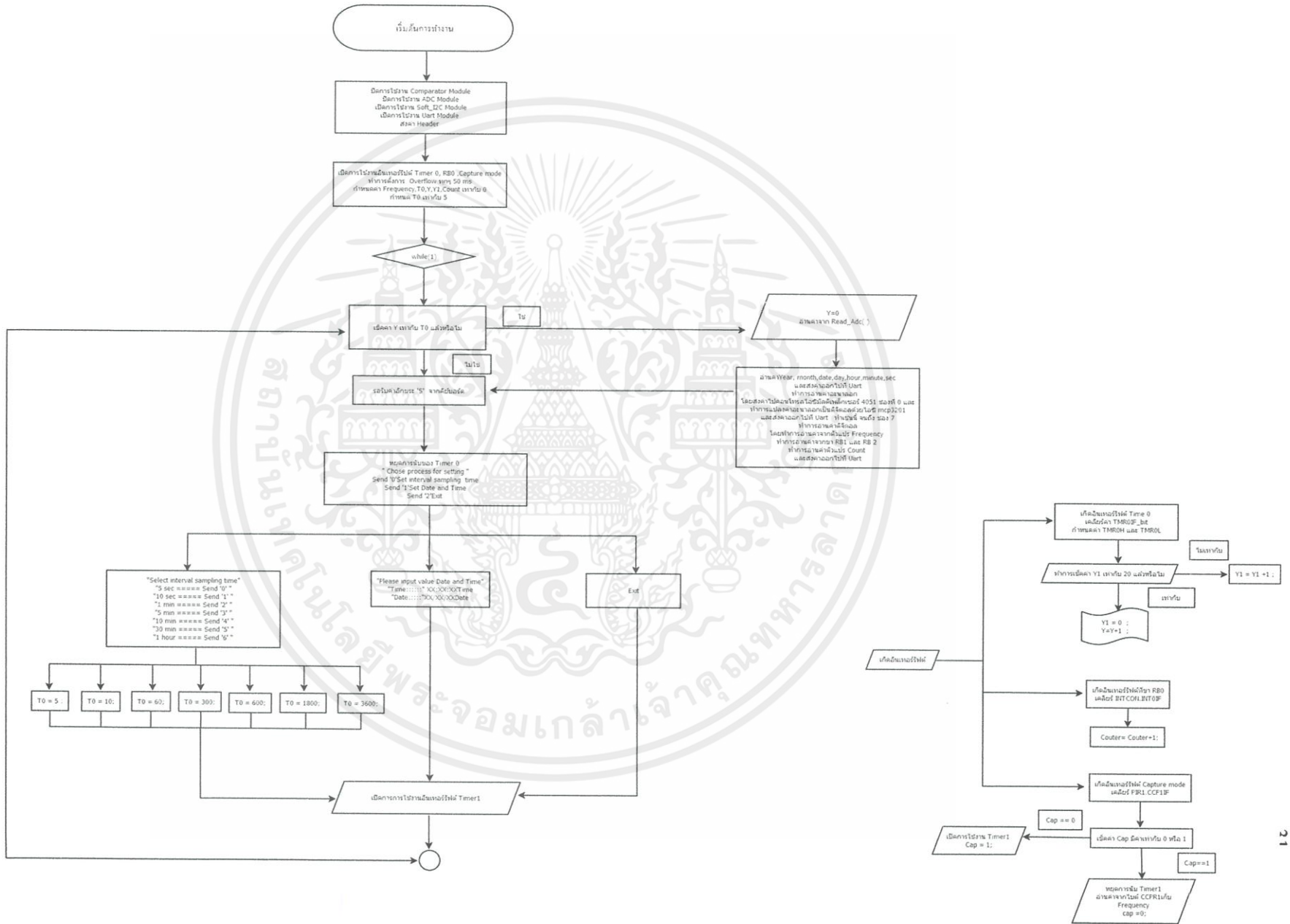
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 3.11 วงจร RS-232 (RS-232 circuit) เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ส่วนของวงจรการเชื่อมต่อโมดูล Zigbee U3 กับ RS-232 นั้นจะใช้ตัวกลางการเชื่อมต่อด้วยไอซีที่แปลงระดับสัญญาณ U2 เบอร์ max 3232 เพื่อปรับแรงดันของ RS232 ให้อยู่ในระดับ TTL 0 โวลต์ ถึง 3.3 โวลต์ และในทางกลับกันก็จะปรับแรงดันจาก TTL ให้อยู่ในระดับ RS232 -15 โวลต์ ถึง +15 โวลต์เช่นกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 ไฟล์การทำงานของเครื่องบันทึกข้อมูล

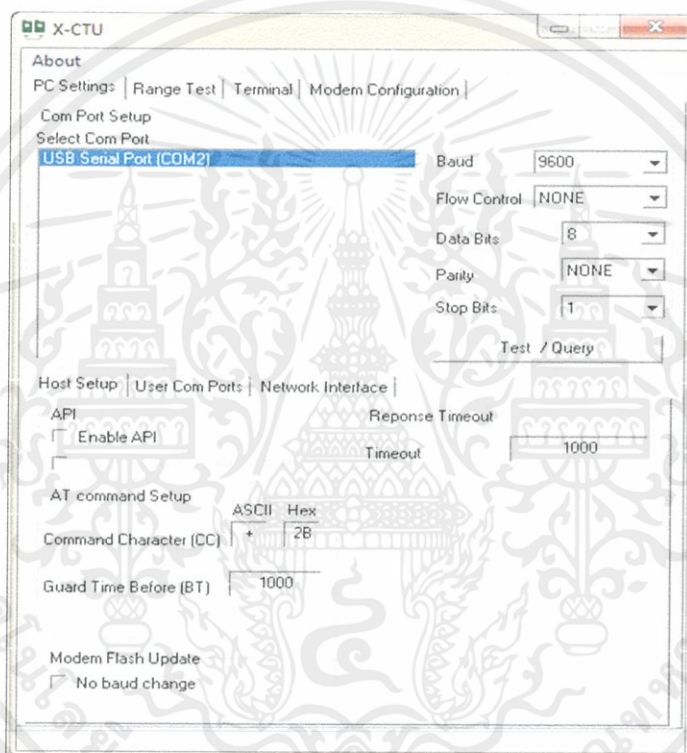


3.1.3 การตั้งค่า Zigbee แบบ Point To Point

จะประกอบด้วย Zigbee 2 ตัว ตัวแรกทำหน้าที่เป็น Coordinator node และตัวที่สองทำหน้าที่เป็น Router/End Device node ติดตั้งโปรแกรม X-CTU เวอร์ชันล่าสุดจากเว็บไซต์ www.digi.com

การตั้งค่า Zigbee : Coordinator node

1. การติดตั้ง โมดูล Zigbee Coordinator node บนบอร์ดตัวรับ เมื่อทำการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะเห็น LED ในตำแหน่ง USB ติด และตำแหน่ง ASS กระพริบ
2. เมื่อทำการเปิดโปรแกรม X-CTU เลือกพอร์ตที่ทำการเชื่อมต่อ กำหนดอัตราบอดเรตเป็น 9600, Data 8 บิต, Parity ไม่มี การตรวจสอบ Stop เป็น 1 บิต



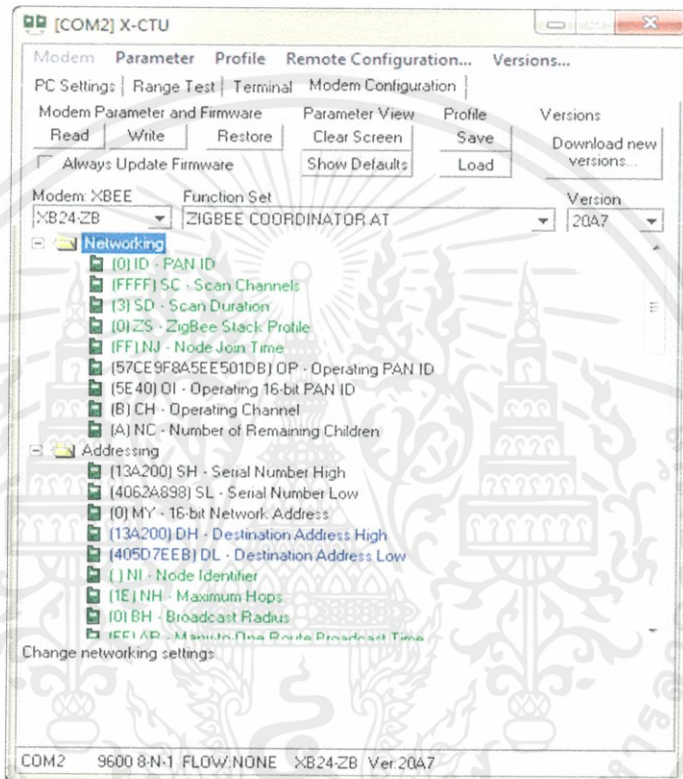
รูปที่ 3.13 การตั้งค่าโปรแกรม X-CTU

3. กดปุ่ม Test เพื่อทำการเชื่อมต่อ XBee กับ X-CTU
4. จากนั้นทำการสลับแท็บ Modem Configuration แล้วกดปุ่ม Read ในกรอบ Modem Parametres and firmware จะปรากฏข้อมูลชื่อรุ่นของโมดูล Zigbee ชื่อฟังก์ชันหมายเลขฟังก์ชันของซอฟต์แวร์
5. ทำการเปลี่ยนค่าคอนฟิกูเรชันของ Zigbee โดยเราจะกำหนด Zigbee ตัวแรกเป็น

Coordinator node จากนั้นเปลี่ยน Firmware Function "set : ZIGBEE COORDINATOR" การตั้งค่า ไม่ว่าจะเป็นใครก็ตามที่ AT และเลือกกด White และกด Read อีกครั้ง เลือกรหัสชื่อ Serial interfacing คลิกเลือกบรรทัด BD Interface Data Rate เลือกอัตราบอดเรตเป็น 9600 บิตต่อวินาที จากนั้นเลือก

Networking เป็น PAN ID/Personal Area Network ID หมายเลขเครือข่าย สามารถกำหนด เป็น 0X0000 ถึง 0XFFFF FFFF FFFF กำหนดค่าให้เป็น 0 กำหนด SC-scan กำหนดเป็น 0xFFFF

6. เลือกกรีจิสเตอร์ DH และ DL (Destination Address High/Low) กำหนดแอดเดรสของโมดูล ตัวรับ โดยในที่นี้เราจะกำหนดเป็น SH/SL ของโมดูล Zigbee ของ Router/End Device node จากนั้นทำการกด white จะได้ Zigbee: Coordinator node พร้อมใช้งาน

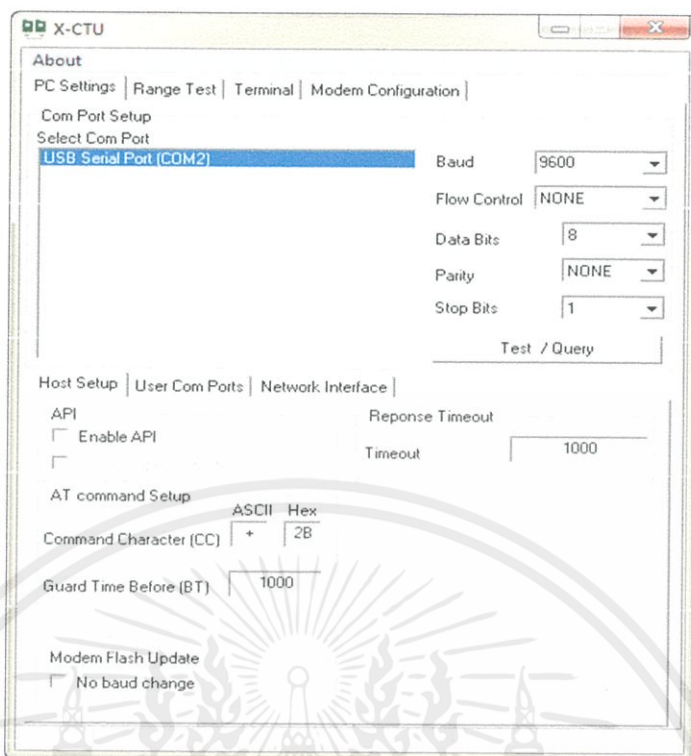


รูปที่ 3.14 การตั้งค่า Zigbee แบบ Coordinator node

การตั้งค่า Zigbee : End Devicenode

- 1.1 การติดตั้งโมดูล Zigbee:End Devicenode ของบอร์ดตัวรับ และทำการเชื่อมต่อ PC จะเห็น LED ในตำแหน่ง USB ติด และตำแหน่ง ASS กระพริบ
- 1.2 ทำการเซตโมดูล Zigbee : End Device node โดยเปิดโปรแกรม X-CTU โดยทำการเลือกพอร์ตที่ทำการเชื่อมต่อ อัตราบอดเรตเป็น 9600, Data 8 บิต, Parity ไม่มีการตรวจรอบ และ Stop เป็น 1บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 การตั้งค่าเพื่อเชื่อมต่อกับ โปรแกรม X-CTU

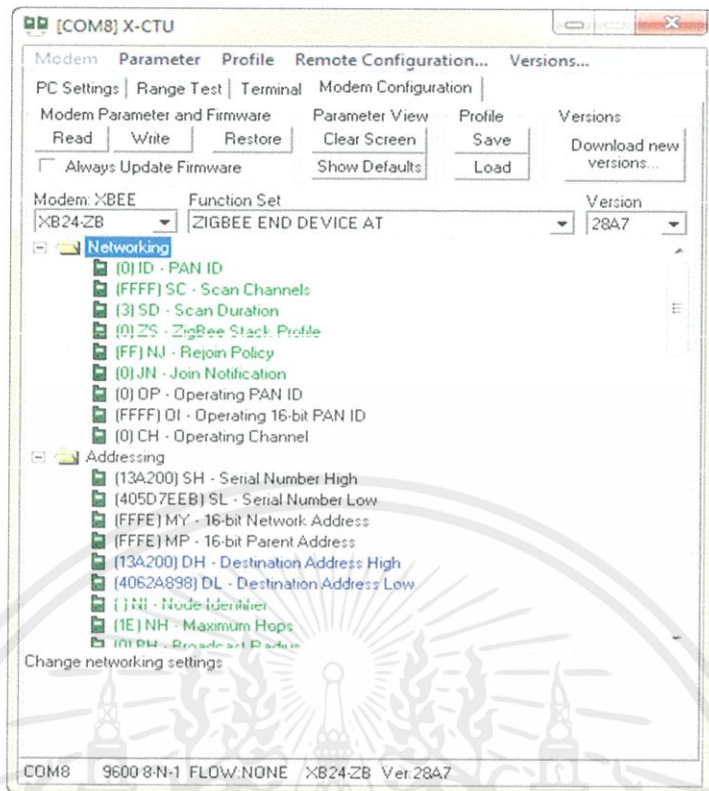
1.3 กดปุ่ม Test เพื่อทำการเชื่อมต่อ Zigbee กับ X-CTU

1.4 จากนั้นทำการสลับแท็บ Modem Configuration แล้วกดปุ่ม Read ในกรอบ Modem Parameters and firmware จะปรากฏข้อมูลชื่อรุ่นของโมดูล Zigbee ชื่อฟังก์ชันหมายเลขฟังก์ชันของซอฟต์แวร์

1.5 ทำการเปลี่ยนค่าคอนฟิกูเรชันของ Zigbee โดยกำหนด Zigbee เป็น End Device node จากนั้นเปลี่ยน Firmware Function set : ZIGBEE END DEVICE AT และเลือกกด white และกด Read อีกครั้ง เลือกหัวข้อ Serial interfacing คลิกเลือกบรรทัด BD Interface Data Rate เลือกอัตราบอดเรตเป็น 9600 บิตต่อวินาที จากนั้นเลือกมาที่หัวข้อ Networking เลือก PAN ID/Personal Area Network ID หมายเลขเครือข่าย สามารถกำหนดได้ 0X0000 ถึง 0XFFFF FFFF FFFF กำหนดค่าให้เป็น 0 เลือก SC-scan เป็น 0xFFFF

1.6 เลือกคลิกมาที่รีจิสเตอร์ DH และ DL (Destination Address High/Low) กำหนดแอดเดรสของโมดูลตัวส่ง โดยกำหนดเป็น SH/SL ของโมดูล Zigbee ของ Coordinator node จากนั้นทำการกด white จะได้ Zigbee: End Device node พร้อมใช้งาน

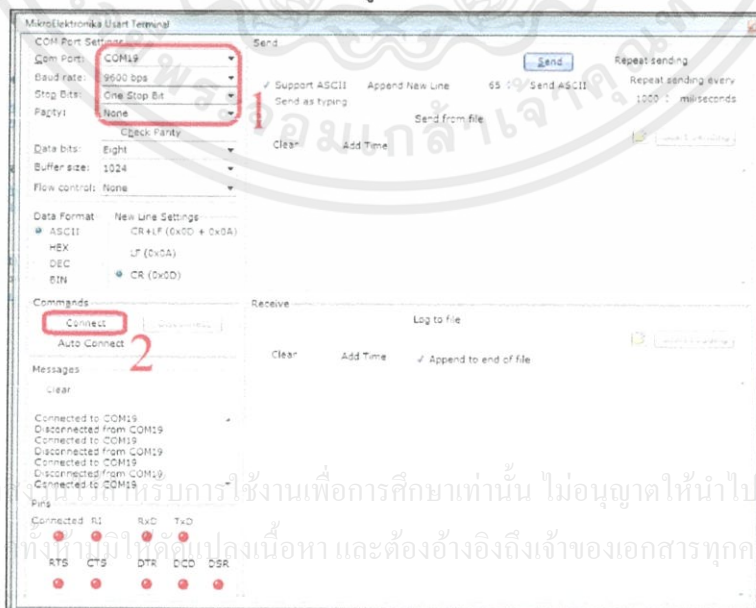
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 การตั้งค่า Zigbee แบบ End Device node

3.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

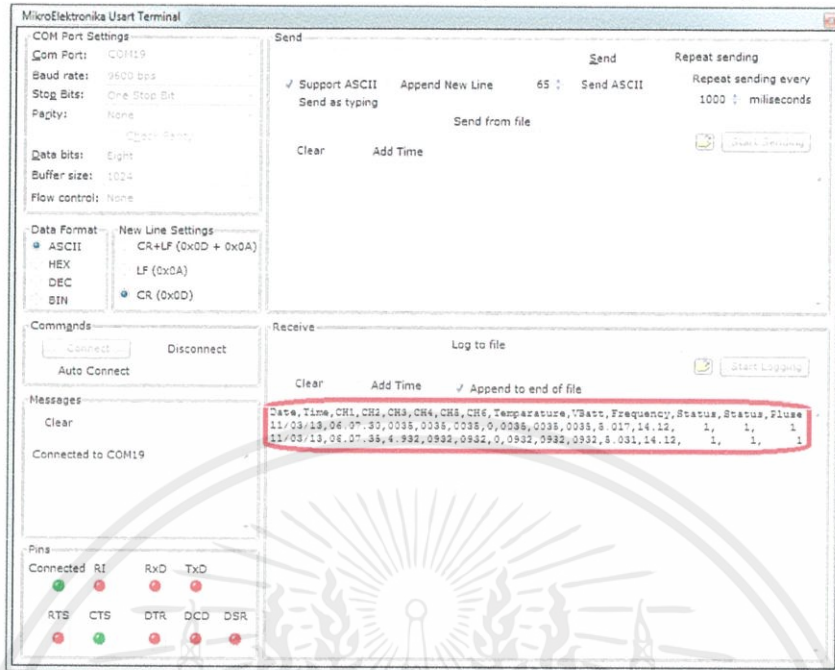
1. นำ Hex code ที่ได้จากการเขียน โปรแกรมข้างต้น โปรแกรมลงบนบอร์ดตัวส่ง จากนั้น เปิดโปรแกรม Mikroc for pic เลือกไปยัง Tool และเลือก Usart Terminal
2. ทำการเซต Com Port ที่มีการเชื่อมต่อบอร์ดตัวรับ, Baud rate: 9600 bps, Stop bit : One Stop Bit, Parity : None และทำการ Connect ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 การเชื่อมต่อบอร์ดตัวรับกับ Com Port

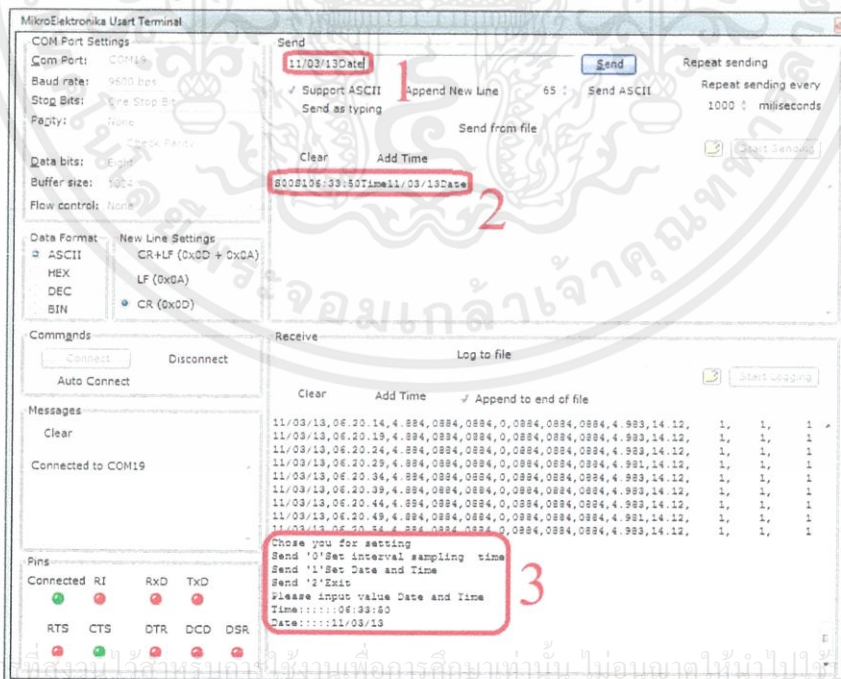
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดูและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ดตัวส่ง รอกการส่งข้อมูลมายังบอร์ดตัวรับ ดังรูป 3.18



รูปที่ 3.18 การส่งข้อมูลเข้ามายังโปรแกรมเมื่อมีการจ่ายไฟเลี้ยง

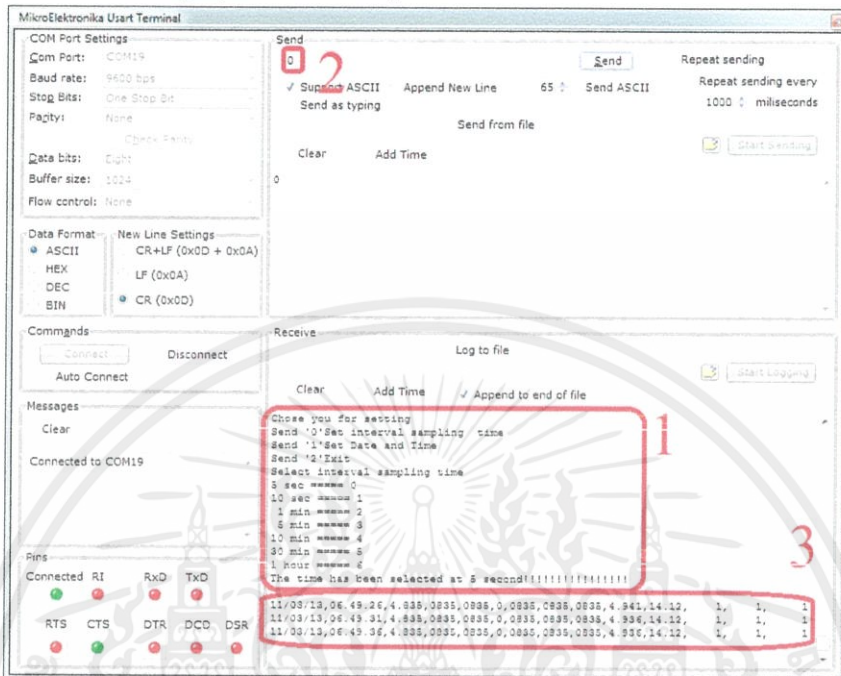
4. จากนั้นทำการตั้งเวลาโดยการส่งอักษร S ในช่อง Send จะปรากฏข้อความ Chose you for Setting จากนั้นทำการส่งอักษร 1 เพื่อทำการตั้งวัน และเวลาจะมีข้อความขึ้นมาเป็น Time:..... ให้ทำการใส่ตัวเลขดังนี้ XX:XX:XXTime และกด Send จากนั้นจะปรากฏ Date:..... กำหนดวันที่ ดังนี้ XX/XX/XXDate ดังรูป 3.19



รูปที่ 3.19 การตั้งค่าเวลาและวันที่ให้กับเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) มีการนำไปใช้

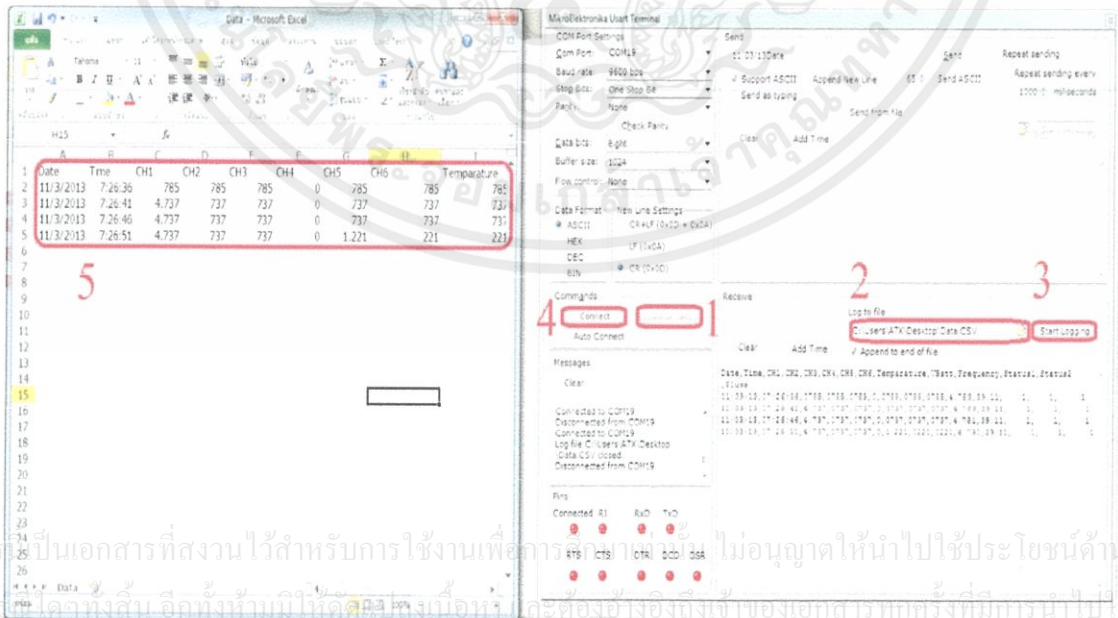
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่ขอเอาตไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

5. เลือกเวลาการสุ่มเก็บข้อมูล โดยส่งอักษร S ในช่อง Send จะปรากฏข้อความ Chose for Setting ถัดจากนั้นทำการส่งตัวเลข 0 จะปรากฏช่วงเวลาในการสุ่มเก็บข้อมูลขึ้นมา ทดลองส่งค่าตัวเลข 0 เพื่อทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 5 วินาทีดังรูป 3.20



รูปที่ 3.20 การตั้งค่าการเก็บบันทึกข้อมูล

6. จากนั้นทำการ Disconnect และ Save สำหรับบันทึกข้อมูลที่เก็บมาได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้ ทำการสร้างไฟล์ชื่อ Data.CSV ไว้หน้าเดสทอป เลือก Usart Terminal และทำการ Log to file กด Start Logging จากนั้นทำการรีเซต CPU และทำการ Connect โดยข้อความทั้งหมดจะบันทึกลงบนไฟล์ Data.CSV ดังรูป 3.21



รูปที่ 3.21 วิธีการบันทึกข้อมูลเพื่อแสดงผลในรูปแบบของไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ (.CSV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม มิฉะนั้นจะถือว่าผิดกฎหมาย และต้องชำระค่าลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ปิดสวิทช์บอร์ดตัวส่ง และทำการต่อเซ็นเซอร์ เบอร์ LM35 2 ตัวเข้าช่องที่ 6 และ 7 ตามลำดับเข้ากับบอร์ดตัวส่ง และ นำไพรานอมิเตอร์เบอร์ CM11 ต่อเข้ากับวงจรขยายไม่กลับเฟส ขยาย 1000 เท่า ต่อเข้าเซนแนลที่ 4 ดังรูป 3.22



รูปที่ 3.22 ตัวอย่างการต่อเครื่องบันทึกข้อมูลเข้ากับเซ็นเซอร์

8. ทดลองเก็บค่าจากห้องปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ และ ด้านฟ้าชั้น 6 เป็นเวลาตั้ง 6.00 น - 18.00 น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการทดลองการวัดค่าด้วยเซ็นเซอร์อุณหภูมิ

4.1.1 ผลการทดลองการวัดอุณหภูมิด้านฟ้าชั้น 6

การทดลองเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ที่สร้างขึ้น ทดลองวัดค่าอุณหภูมิเพื่อสังเกตคุณลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปของอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาของวัน โดยในการเก็บบันทึกข้อมูลจะเป็นข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิวันพุธที่ 6 มีนาคม 2556 โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่ 6.00-18.00 น. เซ็นเซอร์ที่เลือกมาใช้ในการทดลอง คือเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เบอร์ LM 35 เป็นตัวทดสอบ 2 ตัว และได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าอุณหภูมิที่บันทึกได้จากเครื่องบันทึกข้อมูลในวันที่ 6 มีนาคม 2556

Date	Time	Temperature	Temperature	Voltbatt	Frequency	Status	Status	Pulse
		CH6(°C)	CH7(°C)			1	2	
6/3/2013	6:00:02	24.29	25.51	5.802	-9.04	1	1	1
6/3/2013	6:05:42	24.29	25.39	5.794	-9.04	1	1	1
6/3/2013	6:10:12	24.29	25.39	5.781	-9.04	1	1	1
6/3/2013	6:15:32	24.29	25.39	5.776	-9.04	1	1	1
6/3/2013	6:20:22	24.42	25.51	5.769	-9.04	1	1	1
6/3/2013	6:25:12	24.42	25.51	5.761	-9.04	1	1	1
6/3/2013	6:30:52	24.42	25.64	5.749	-9.04	1	1	1
6/3/2013	6:35:32	24.54	25.64	5.747	-9.04	1	1	1
6/3/2013	6:40:12	24.42	25.64	5.736	-9.04	1	1	1
6/3/2013	6:45:32	24.42	25.51	5.729	-9.04	1	1	1
6/3/2013	6:50:22	24.54	25.64	5.719	-9.04	1	1	1
6/3/2013	6:55:12	24.54	25.76	5.718	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:00:12	24.66	25.76	5.711	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:05:12	24.78	25.88	5.703	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:10:12	24.9	26	5.697	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:15:02	25.03	26.25	5.687	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:20:02	25.03	26.25	5.686	-9.04	1	1	1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าอุณหภูมิที่บันทึกได้จากเครื่องบันทึกข้อมูลในวันที่ 6 มีนาคม 2556 (ต่อ)

Date	Time	Temperature	Temperature	Voltbatt	Frequency	Status	Status	Pulse
		CH6(°C)	CH7(°C)			1	2	
6/3/2013	7:25:02	25.15	26.37	5.678	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:30:02	25.15	26.37	5.673	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:35:32	24.78	26	5.67	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:40:32	24.9	26.12	5.663	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:45:52	25.03	26.25	5.655	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:50:52	25.51	26.61	5.65	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:55:22	25.76	26.98	5.65	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:00:22	25.88	26.98	5.645	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:05:52	25.88	27.1	5.642	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:10:52	26	26.98	5.642	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:15:22	26.12	27.22	5.628	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:20:22	26	27.22	5.626	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:25:22	26.49	27.71	5.624	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:30:52	27.22	28.44	5.615	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:35:22	27.96	29.3	5.615	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:40:22	28.93	30.4	5.61	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:45:22	29.18	30.64	5.61	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:50:22	28.44	29.79	5.607	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:55:22	28.44	29.67	5.603	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:00:22	27.59	29.05	5.599	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:05:52	28.69	29.67	5.599	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:10:22	28.2	29.3	5.597	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:15:22	27.47	28.81	5.592	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:20:22	28.08	29.3	5.591	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:25:52	28.2	29.3	5.589	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:30:42	27.96	29.05	5.583	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:35:12	28.69	29.67	5.581	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:40:12	28.81	29.79	5.579	-9.04	1	1	1

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าอุณหภูมิที่บันทึกได้จากเครื่องบันทึกข้อมูลในวันที่ 6 มีนาคม 2556 (ต่อ)

Date	Time	Temperature	Temperature	Voltbatt	Frequency	Status	Status	Pulse
		CH6(°C)	CH7(°C)			1	2	
6/3/2013	9:45:42	29.05	30.15	5.574	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:50:12	29.18	30.28	5.573	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:55:42	29.91	30.89	5.568	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:00:12	29.3	30.28	5.563	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:05:42	29.67	30.64	5.574	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:10:42	29.79	30.76	5.56	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:15:42	30.15	30.89	5.557	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:20:12	30.4	31.25	5.555	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:24:42	30.15	31.13	5.55	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:30:12	30.28	31.13	5.55	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:35:42	29.91	30.89	5.549	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:40:12	30.03	31.01	5.544	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:45:12	30.76	31.5	5.541	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:50:42	30.76	31.62	5.536	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:55:42	30.52	31.62	5.534	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:00:42	31.01	31.99	5.531	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:05:42	30.64	31.62	5.526	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:10:12	30.76	31.86	5.524	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:15:12	31.13	32.23	5.523	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:20:12	31.62	32.47	5.518	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:25:42	32.11	32.96	5.516	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:30:12	32.11	32.84	5.512	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:35:12	31.37	32.23	5.515	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:40:12	31.37	32.35	5.512	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:45:42	33.82	34.43	5.5	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:50:42	32.11	33.08	5.502	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:55:42	31.74	32.72	5.5	-9.04	1	1	1
6/3/2013	12:00:12	33.08	33.82	5.497	-9.04	1	1	1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าอุณหภูมิที่บันทึกได้จากเครื่องบันทึกข้อมูลในวันที่ 6 มีนาคม 2556 (ต่อ)

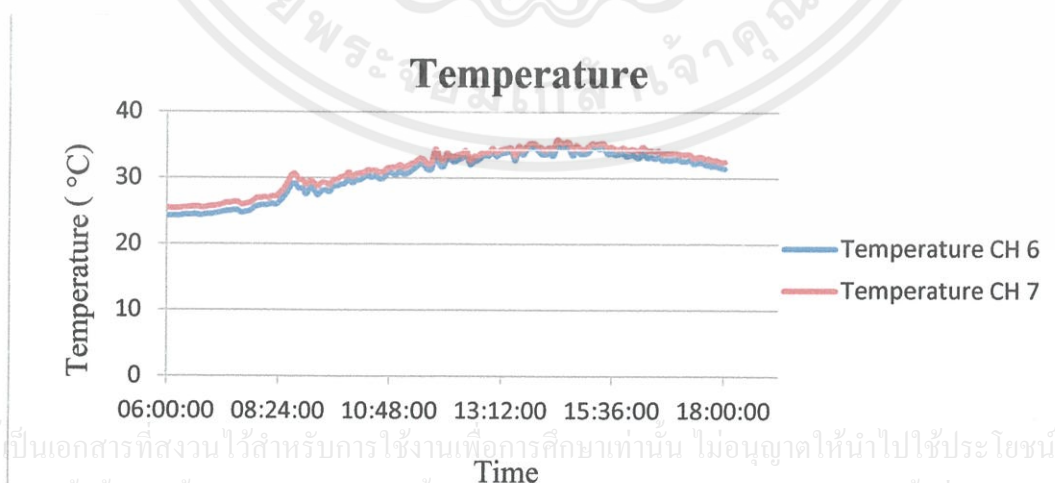
Date	Time	Temperature	Temperature	Voltbatt	Frequency	Status	Status	Pulse
		CH6(°C)	CH7(°C)			1	2	
6/3/2013	12:05:02	32.84	33.33	5.497	-9.04	1	1	1
6/3/2013	12:10:02	32.47	33.33	5.494	-9.04	1	1	1
6/3/2013	12:15:32	32.84	33.57	5.491	-9.04	1	1	1
6/3/2013	12:20:32	33.08	33.69	5.487	-9.04	1	1	1
6/3/2013	12:25:02	33.69	34.18	5.486	-9.04	1	1	1
6/3/2013	12:30:32	32.11	32.72	5.483	-9.04	1	1	1
6/3/2013	12:35:02	32.47	33.33	5.481	-9.04	1	1	1
6/3/2013	12:40:32	32.72	33.33	5.476	-9.04	1	1	1
6/3/2013	12:45:32	33.21	33.82	5.471	-9.04	1	1	1
6/3/2013	12:50:32	33.45	33.94	5.471	-9.04	1	1	1
6/3/2013	12:55:32	33.45	33.94	5.473	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:00:32	34.06	34.55	5.466	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:05:32	33.33	33.94	5.465	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:10:32	33.69	34.31	5.462	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:15:02	33.82	34.43	5.46	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:20:02	33.94	34.55	5.455	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:25:32	34.18	34.55	5.458	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:30:02	32.72	33.45	5.454	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:35:02	34.43	34.92	5.447	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:40:32	33.57	34.31	5.447	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:45:32	34.43	34.92	5.442	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:50:02	34.55	35.28	5.441	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:56:02	34.55	35.28	5.436	-9.04	1	1	1
6/3/2013	14:00:32	34.18	34.92	5.433	-9.04	1	1	1
6/3/2013	14:05:02	33.69	34.67	5.434	-9.04	1	1	1
6/3/2013	14:10:02	33.57	34.31	5.425	-9.04	1	1	1
6/3/2013	14:15:02	33.82	34.67	5.429	-9.04	1	1	1
6/3/2013	14:20:32	33.45	34.55	5.428	-9.04	1	1	1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าอุณหภูมิที่บันทึกได้จากเครื่องบันทึกข้อมูลในวันที่ 6 มีนาคม 2556 (ต่อ)

Date	Time	Temperature	Temperature	Voltbatt	Frequency	Status	Status	Pulse
		CH6(°C)	CH7(°C)			1	2	
6/3/2013	14:25:32	35.16	35.89	5.425	-9.04	1	1	1
6/3/2013	14:30:32	34.67	35.4	5.42	-9.04	1	1	1
6/3/2013	14:35:02	34.79	35.4	5.418	-9.04	1	1	1
6/3/2013	14:40:02	34.55	35.53	5.415	-9.04	1	1	1
6/3/2013	14:45:32	33.45	34.43	5.416	-9.04	1	1	1
6/3/2013	14:50:02	34.31	35.04	5.412	-9.04	1	1	1
6/3/2013	14:55:32	33.69	34.55	5.413	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:00:02	33.69	34.43	5.41	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:05:32	33.94	34.79	5.404	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:10:32	34.79	35.28	5.404	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:15:32	34.67	35.16	5.399	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:20:02	34.43	35.28	5.4	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:25:02	34.55	35.28	5.394	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:30:32	33.69	34.67	5.399	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:35:02	33.82	34.79	5.381	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:40:32	33.57	34.43	5.371	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:45:32	33.69	34.43	5.386	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:50:02	33.69	34.67	5.381	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:55:02	33.33	34.31	5.381	-9.04	1	1	1
6/3/2013	16:01:02	33.57	34.43	5.383	-9.04	1	1	1
6/3/2013	16:05:32	33.33	34.31	5.376	-9.04	1	1	1
6/3/2013	16:10:02	33.08	34.18	5.378	-9.04	1	1	1
6/3/2013	16:15:02	33.94	34.79	5.371	-9.04	1	1	1
6/3/2013	16:20:32	33.08	34.18	5.37	-9.04	1	1	1
6/3/2013	16:25:32	33.21	34.18	5.363	-9.04	1	1	1
6/3/2013	16:30:32	32.96	34.06	5.363	-9.04	1	1	1
6/3/2013	16:35:32	33.21	34.18	5.362	-9.04	1	1	1
6/3/2013	16:40:02	32.72	33.69	5.36	-9.04	1	1	1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าอุณหภูมิที่บันทึกได้จากเครื่องบันทึกข้อมูลในวันที่ 6 มีนาคม 2556 (ต่อ)

Date	Time	Temperature	Temperature	Voltbatt	Frequency	Status	Status	Pulse
		CH6(°C)	CH7(°C)			1	2	
6/3/2013	16:45:32	32.84	33.82	5.357	-9.04	1	1	1
6/3/2013	16:50:02	32.72	33.69	5.349	-9.04	1	1	1
6/3/2013	16:55:02	32.84	33.82	5.35	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:00:32	32.84	33.69	5.349	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:05:02	32.6	33.57	5.346	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:10:32	32.6	33.57	5.344	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:15:02	32.72	33.57	5.342	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:20:32	32.23	33.08	5.339	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:25:32	32.35	33.21	5.328	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:30:32	32.35	33.21	5.331	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:35:02	32.11	32.96	5.341	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:40:02	31.99	32.96	5.336	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:45:02	31.86	32.72	5.325	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:50:02	31.86	32.72	5.325	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:55:32	31.62	32.47	5.321	-9.04	1	1	1
6/3/2013	18:00:32	31.5	32.47	5.313	-9.04	1	1	1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา

จากกราฟผลการทดลองรูปที่ 4.1 พบว่าอุณหภูมิที่บันทึกจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแต่ละตัวนั้นจะมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งเกิดจากเซ็นเซอร์แต่ละตัวมีค่าประสิทธิภาพในการตอบสนองไม่เท่ากัน แต่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยจากผลการทดลองค่าอุณหภูมิต่ำสุดของเซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ช่องที่ 6 มีค่าเท่ากับ 24.29°C ที่เวลา 6.00 น. และค่าอุณหภูมิสูงสุดมีค่าเท่ากับ 35.16°C ที่เวลา 14.25 น. และค่าอุณหภูมิต่ำสุดของเซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ช่องที่ 7 มีค่าเท่ากับ 25.51°C ที่เวลา 6.00 น. และค่าอุณหภูมิสูงสุดมีค่าเท่ากับ 35.89°C ที่เวลา 14.25 น. วันพุธที่ 6 มีนาคม 2556

4.2 ผลการทดลองวัดค่าการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ด้วยไพรานอมิเตอร์

4.2.1 ผลการทดลองการวัดความเข้มแสงอาทิตย์

ในการทดลองนี้ได้นำไพรานอมิเตอร์มาทำการทดลองกับเครื่องบันทึกข้อมูล(Data Logger) ที่ได้สร้างขึ้น ทดลองเก็บบันทึกข้อมูลการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ในช่อง Pyranometer CH4 โดยมีความไวต่อการตอบสนอง (Sensitivity) เท่ากับ 5.10×10^{-6} V/W/m² และนำข้อมูลที่ได้ออกไปคำนวณเพื่อหาความเข้มแสงอาทิตย์ในช่อง Irradiance ด้วยสมการ

$$\text{Irradiance (1 kW/m}^2\text{)} = \frac{\text{Pyranometer CH4}}{5.10 \times 10^{-6} \times 1000}$$

โดยได้ใช้ระยะเวลาการเก็บบันทึกข้อมูลวันพุธที่ 6 มีนาคม 2556 ตั้งแต่เวลา 6.00 – 18.00 น. ซึ่งได้ทำการตั้งค่าไว้ให้เก็บข้อมูลทุกๆ 5 นาที และได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.2 ดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเข้มแสงที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์

Date	Time	Pyranometer CH4 (V)	Irradiance (1kw/m ²)	Frequency (HZ)	Status1	Status2	Pulse
6/3/2013	6:00:02	1.798535	352.65392	-9.04	1	1	1
6/3/2013	6:05:42	1.803419	353.61157	-9.04	1	1	1
6/3/2013	6:10:12	1.803419	353.61157	-9.04	1	1	1
6/3/2013	6:15:32	1.800977	353.13275	-9.04	1	1	1
6/3/2013	6:20:22	1.800977	353.13275	-9.04	1	1	1
6/3/2013	6:25:12	1.798535	352.65392	-9.04	1	1	1
6/3/2013	6:30:52	1.796093	352.1751	-9.04	1	1	1
6/3/2013	6:35:32	1.796093	352.1751	-9.04	1	1	1

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเข้มแสงที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์ (ต่อ)

Date	Time	Pyranometer CH4(V)	Voltbatt (V)	Frequency (HZ)	Status1	Status2	Pulse
6/3/2013	6:40:12	1.796093	352.1751	-9.04	1	1	1
6/3/2013	6:45:32	1.793651	351.69627	-9.04	1	1	1
6/3/2013	6:50:22	1.796093	352.1751	-9.04	1	1	1
6/3/2013	6:55:12	1.796093	352.1751	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:00:12	1.793651	351.69627	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:05:12	1.798535	352.65392	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:10:12	1.796093	352.1751	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:15:02	1.796093	352.1751	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:20:02	1.796093	352.1751	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:25:02	1.798535	352.65392	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:30:02	1.796093	352.1751	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:35:32	1.796093	352.1751	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:40:32	1.796093	352.1751	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:45:52	1.796093	352.1751	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:50:52	1.796093	352.1751	-9.04	1	1	1
6/3/2013	7:55:22	1.798535	352.65392	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:00:22	1.796093	352.1751	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:05:52	1.798535	352.65392	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:10:52	1.798535	352.65392	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:15:22	1.798535	352.65392	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:20:22	1.803419	353.61157	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:25:22	1.803419	353.61157	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:30:52	1.805861	354.09039	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:35:22	1.805861	354.09039	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:40:22	1.805861	354.09039	-9.04	1	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่สามารถให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งนี้ไปและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเข้มแสงที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์ (ต่อ)

Date	Time	Pyranometer CH4(V)	Voltbatt (V)	Frequency (HZ)	Status1	Status2	Pulse
6/3/2013	8:45:22	1.810745	355.04804	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:50:22	1.808303	354.56922	-9.04	1	1	1
6/3/2013	8:55:22	1.808303	354.56922	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:00:22	1.808303	354.56922	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:05:52	1.808303	354.56922	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:10:22	1.808303	354.56922	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:15:22	1.805861	354.09039	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:20:22	1.808303	354.56922	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:25:52	1.808303	354.56922	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:30:42	1.808303	354.56922	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:35:12	1.808303	354.56922	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:40:12	1.808303	354.56922	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:45:42	1.808303	354.56922	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:50:12	1.813187	355.52686	-9.04	1	1	1
6/3/2013	9:55:42	1.818071	356.48451	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:00:12	1.818071	356.48451	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:05:42	1.818071	356.48451	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:10:42	1.820513	356.96333	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:15:42	1.822955	357.44216	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:20:12	1.822955	357.44216	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:25:42	1.822955	357.44216	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:30:12	1.822955	357.44216	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:35:42	1.825397	357.92098	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:40:12	1.844933	361.75157	-9.04	1	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งนี้ และต้องแจ้งไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเข้มแสงที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์ (ต่อ)

Date	Time	Pyranometer CH4(V)	Voltbatt (V)	Frequency (HZ)	Status1	Status2	Pulse
6/3/2013	10:45:12	1.852259	363.18804	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:50:42	1.881563	368.93392	-9.04	1	1	1
6/3/2013	10:55:42	1.886447	369.89157	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:00:42	1.927961	378.03157	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:05:42	1.927961	378.03157	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:10:12	1.964591	385.21392	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:15:12	1.971917	386.65039	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:20:12	1.942613	380.90451	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:25:42	2.018314	395.74784	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:30:12	2.003662	392.8749	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:35:12	2.040292	400.05725	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:40:12	2.045176	401.0149	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:45:42	2.035408	399.09961	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:50:42	2.067155	405.32451	-9.04	1	1	1
6/3/2013	11:55:42	2.069597	405.80333	-9.04	1	1	1
6/3/2013	12:00:12	2.040292	400.05725	-9.04	1	1	1
6/3/2013	12:05:02	2.042734	400.53608	-9.04	1	1	1
6/3/2013	12:10:02	2.054944	402.9302	-9.04	1	1	1
6/3/2013	12:15:32	2.035408	399.09961	-9.04	1	1	1
6/3/2013	12:20:32	2.091575	410.11275	-9.04	1	1	1
6/3/2013	12:25:02	2.094017	410.59157	-9.04	1	1	1
6/3/2013	12:30:32	2.091575	410.11275	-9.04	1	1	1
6/3/2013	12:35:02	2.103785	412.50686	-9.04	1	1	1
6/3/2013	12:40:32	2.101343	412.02804	-9.04	1	1	1

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเข้มแสงที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์ (ต่อ)

Date	Time	Pyranometer CH4(V)	Voltbatt	Frequency (HZ)	Status1	Status2	Pulse
6/3/2013	12:45:32	2.123321	416.33745	-9.04	1	1	1
6/3/2013	12:50:32	2.086691	409.1551	-9.04	1	1	1
6/3/2013	12:55:32	2.135531	418.73157	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:00:32	2.072039	406.28216	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:05:32	2.089133	409.63392	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:10:32	2.072039	406.28216	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:15:02	2.06227	404.36667	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:20:02	2.042734	400.53608	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:25:32	2.02564	397.18431	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:30:02	2.01343	394.7902	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:35:02	1.964591	385.21392	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:40:32	1.947497	381.86216	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:45:32	1.971917	386.65039	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:50:02	1.940171	380.42569	-9.04	1	1	1
6/3/2013	13:55:02	1.874237	367.49745	-9.04	1	1	1
6/3/2013	14:00:32	1.871795	367.01863	-9.04	1	1	1
6/3/2013	14:05:02	1.901099	372.76451	-9.04	1	1	1
6/3/2013	14:10:02	1.842491	361.27275	-9.04	1	1	1
6/3/2013	14:15:02	1.847375	362.23039	-9.04	1	1	1
6/3/2013	14:20:32	1.832723	359.35745	-9.04	1	1	1
6/3/2013	14:25:32	1.835165	359.83627	-9.04	1	1	1
6/3/2013	14:30:32	1.832723	359.35745	-9.04	1	1	1
6/3/2013	14:35:02	1.835165	359.83627	-9.04	1	1	1
6/3/2013	14:40:02	1.835165	359.83627	-9.04	1	1	1

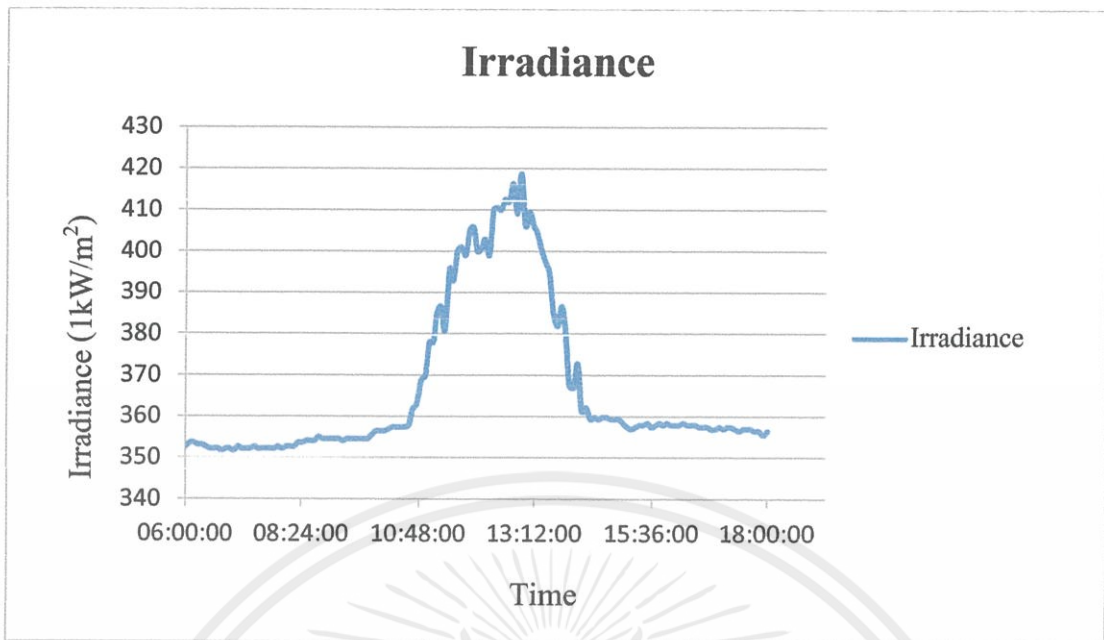
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเข้มแสงที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์ (ต่อ)

Date	Time	Pyranometer CH4(V)	Voltbatt (V)	Frequency (HZ)	Status1	Status2	Pulse
6/3/2013	14:45:32	1.832723	359.35745	-9.04	1	1	1
6/3/2013	14:50:02	1.832723	359.35745	-9.04	1	1	1
6/3/2013	14:55:32	1.832723	359.35745	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:00:02	1.827839	358.3998	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:05:32	1.822955	357.44216	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:10:32	1.820513	356.96333	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:15:32	1.822955	357.44216	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:20:02	1.825397	357.92098	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:25:02	1.825397	357.92098	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:30:32	1.827839	358.3998	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:35:02	1.822955	357.44216	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:40:32	1.825397	357.92098	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:45:32	1.827839	358.3998	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:50:02	1.825397	357.92098	-9.04	1	1	1
6/3/2013	15:55:02	1.827839	358.3998	-9.04	1	1	1
6/3/2013	16:00:02	1.825397	357.92098	-9.04	1	1	1
6/3/2013	16:05:32	1.825397	357.92098	-9.04	1	1	1
6/3/2013	16:10:02	1.825397	357.92098	-9.04	1	1	1
6/3/2013	16:15:02	1.827839	358.3998	-9.04	1	1	1
6/3/2013	16:20:32	1.825397	357.92098	-9.04	1	1	1
6/3/2013	16:25:32	1.825397	357.92098	-9.04	1	1	1
6/3/2013	16:30:32	1.825397	357.92098	-9.04	1	1	1
6/3/2013	16:35:32	1.822955	357.44216	-9.04	1	1	1
6/3/2013	16:40:02	1.822955	357.44216	-9.04	1	1	1

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเข้มแสงที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์ (ต่อ)

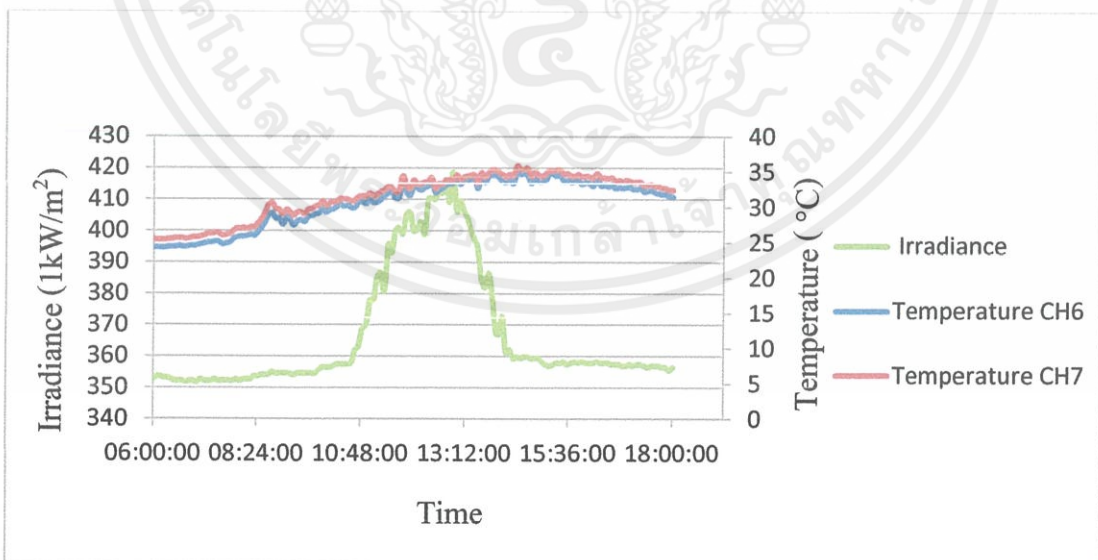
Date	Time	Pyranometer CH4(V)	Voltbatt (V)	Frequency (HZ)	Status1	Status2	Pulse
6/3/2013	16:45:32	1.822955	357.44216	-9.04	1	1	1
6/3/2013	16:50:02	1.820513	356.96333	-9.04	1	1	1
6/3/2013	16:56:02	1.820513	356.96333	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:00:32	1.822955	357.44216	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:06:02	1.820513	356.96333	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:10:32	1.822955	357.44216	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:15:02	1.822955	357.44216	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:20:32	1.820513	356.96333	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:25:32	1.818071	356.48451	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:30:32	1.820513	356.96333	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:35:02	1.820513	356.96333	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:40:02	1.820513	356.96333	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:45:02	1.818071	356.48451	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:50:02	1.818071	356.48451	-9.04	1	1	1
6/3/2013	17:55:32	1.813187	355.52686	-9.04	1	1	1
6/3/2013	18:00:32	1.818071	356.48451	-9.04	1	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับเวลา

จากกราฟผลการทดลองรูปที่ 4.2 นี้จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มแสงที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์นั้นจะมีค่า Irradiance สูงสุด 418.73 ($1\text{kW}/\text{m}^2$) ที่เวลา 12.55 น. จากนั้นจึงเริ่มลดลงเรื่อยๆ ซึ่งถ้านำมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิในวันเดียวกันจะได้กราฟดังรูปที่ 4.3 โดยจะสังเกตจากกราฟได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดๆหนึ่ง อุณหภูมินั้นจะค่อยๆลดลงอย่างช้าๆ ซึ่งมีอัตราการลดลงของอุณหภูมิช้ากว่าอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ อันเนื่องมาจากการสะสมความร้อนภายในอาคารที่กักความร้อนจากแสงแดดและค่อยๆคายความร้อนออกมาอย่างช้าๆ



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 0-2259-9000

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาและการทดลอง โดยใช้ Zigbee เป็นตัวควบคุมการเก็บบันทึกข้อมูลระยะไกล จากเซ็นเซอร์ที่ต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูลแบบไร้สาย ซึ่ง Zigbee นี้จะทำงานอยู่ในย่านความถี่ 2.4 GHz ระยะทางสูงสุดที่สามารถรับส่งข้อมูล 120 เมตรและเครื่องบันทึกข้อมูลนี้มีความสามารถในการวัดสัญญาณอนาล็อกอินพุต 7 ช่อง และสามารถรับสัญญาณอินพุตที่ 20 โวลต์ 2 ช่อง ,10 โวลต์ 2 ช่อง และ 5 โวลต์ 3 ช่อง โดยมีความละเอียดของ ADC 12 บิต และสามารถวัดสัญญาณดิจิทัลอินพุต 4 ช่องสัญญาณ ซึ่งสามารถวัดสัญญาณอินพุตสูงสุด 12 โวลต์ ที่เป็นรูปแบบสัญญาณพัลส์ ความถี่และสถานะของสัญญาณ ทั้งนี้ผู้ใช้ยังสามารถกำหนดระยะเวลาในการเก็บข้อมูลที่ 5 วินาที 10 วินาที 1 นาที 5 นาที 10 นาที 30 นาที และ 1 ชั่วโมง ตามลักษณะของการทำงาน โดยข้อมูลจะถูกส่งผ่าน Zigbee แบบอัด โนมัติ หลังจากนั้นข้อมูลจะถูกบันทึกลงบนไฟล์เอ็กเซล (.CSV) และแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยการทดลองนี้ได้นำเครื่องบันทึกข้อมูลควบคุมผ่าน Zigbee ทดสอบการบันทึกข้อมูลด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิเบอร์ LM 35 2 ตัวและ ความเข้มแสงแสงอาทิตย์ ด้วยไพรานอมิเตอร์เบอร์ CM11 วันพุธที่ 6 มีนาคม 2556 ตั้งแต่เวลา 6.00 – 18.00 น.

จากผลการทดลองวัดเซ็นเซอร์อุณหภูมิเบอร์ LM 35 ทั้ง 2 ตัว พบว่าอุณหภูมิที่บันทึกจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแต่ละตัวนั้นจะมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งเกิดจากเซ็นเซอร์แต่ละตัวมีค่าประสิทธิภาพในการตอบสนองไม่เท่ากันแต่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยจากผลการทดลองค่าอุณหภูมิต่ำสุดของเซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ช่องที่ 6 มีค่าเท่ากับ 24.29°C ที่เวลา 6.00 น. และค่าอุณหภูมิสูงสุดมีค่าเท่ากับ 35.16°C ที่เวลา 14.25 น. และค่าอุณหภูมิต่ำสุดของเซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ช่องที่ 7 มีค่าเท่ากับ 25.51°C ที่เวลา 6.00 น. และค่าอุณหภูมิสูงสุดมีค่าเท่ากับ 35.89°C และ ผลทดลองวัดความเข้มแสงแสงอาทิตย์ด้วยไพรานอมิเตอร์เบอร์ CM11พบว่ามีความ Irradiance สูงสุดที่ 418.73 (1kW/m²) ณ เวลา 12.55 น.

5.2 แนวทางการพัฒนา

เครื่องบันทึกข้อมูลที่จัดทำขึ้นในโครงการนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่หลายอย่าง เช่น รูปแบบการติดต่อสื่อสาร ระยะทางของการติดต่อสื่อสาร และค่าความละเอียดในการแปลงสัญญาณของเครื่องบันทึกข้อมูล เป็นต้น ทั้งนี้ที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องบันทึกข้อมูลได้อีก ดังนี้

1. พัฒนาความละเอียดในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลให้มีความละเอียดที่สูงขึ้น
2. พัฒนาการติดต่อสื่อสารระหว่าง Zigbee ให้สามารถรับส่งในรูปแบบเครือข่ายต่างๆ ได้

3. พัฒนาระยะทางของการติดต่อสื่อสารให้ไกลยิ่งขึ้น โดยสามารถเปลี่ยนรุ่นการใช้งานของ Zigbee เป็นรุ่น โปรเพื่อเพิ่มระยะทางให้ไกลยิ่งขึ้น

4. พัฒนาการเก็บข้อมูลให้อยู่ในรูปของฐานข้อมูล และสามารถนำข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูลไปแสดงบนเว็บไซต์ เพื่อเพิ่มความสะดวกรบายในการเก็บข้อมูลมากยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์.การแปลงสัญญาณอนาล็อก-ดิจิตอล.วันที่ค้นข้อมูล 3 ตุลาคม 2555,
จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เว็บไซต์: <http://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/conversion/ad/>

BlogGang.ไมโครคอนโทรลเลอร์.วันที่ค้นข้อมูล 3 ตุลาคม 2555, จาก เว็บไซต์:
<http://www.bloggang.com/mainblog.php?id=uten-microcontroller&month=11-02-2012&group=7&gblog=1>

BlogGang.Zigbeeเบื้องต้น. วันที่ค้นข้อมูล 3 ตุลาคม 2555, จากเว็บไซต์:
<http://www.bloggang.com/viewblog.php?id=zol&date=11-02-2011&group=24&gblog=11>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

sbit Soft_I2C_Scl          at RA3_bit;
sbit Soft_I2C_Sda          at RA2_bit;
sbit Soft_I2C_Scl_Direction  at TRISA3_bit;
sbit Soft_I2C_Sda_Direction  at TRISA2_bit;
sbit CS11  at RB3_bit;
sbit OUT  at RB4_bit;
sbit CLK  at RB5_bit;

int i,as,set,flag;
int k,cap,Count,m,y=0 ,y1 ;
float temp ;
int  couter =0,*name;
bit check_bit ;
char t;
char output1[15],output3[15],output2[7];
int Shour,Smin,Ssec,Cday,Sday,Smmonth,Syear;
unsigned int long T0;
unsigned char sec ;
unsigned char minute;
unsigned char hour;
unsigned char day;
unsigned char datee;
unsigned char month;
unsigned char year;
unsigned char dat;
unsigned char word1[5];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

unsigned char word[5];
unsigned char TEM[7];
unsigned char TEM1[7];
void Interrupt(){

```

```

    if(PIR1.CCP1IF)

```

```

    {

```

```

        if(cap==0)

```

```

        {

```

```

            TMR1H =0;

```

```

            TMR1L =0;

```

```

            CCP1CON = 0x05;

```

```

            PIR1.CCP1IF = 0;

```

```

            T1CON.TMR1ON = 1;

```

```

            cap =1;

```

```

        }

```

```

    else

```

```

    {

```

```

        T1CON.TMR1ON = 0 ;

```

```

        CCP1CON = 0 ;

```

```

        PIR1.CCP1IF = 0;

```

```

        Count = CCPR1;

```

```

        CCP1CON = 0x05;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ cap=0; ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }

```

```

if(INTCON.INT0IF)
{
    INTCON.INT0IF = 0;

    cout= cout+1;
}

```

```

if (TMR0IF_bit){
    TMR0IF_bit = 0;

    TMR0H = 0x3C;
    TMR0L = 0xAE;
    if(y1>=20)
    {
        y=y+1;
        y1=0;
    }
    y1=y1+1;
}
}

```

```

int mcp3202(){
    CS11 =1;
    CLK =0 ;
    CS11=1 ;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น `for(i=1;i<=15;i++)` และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
```

```

        CLK =0 ;

        CS11=0;

        CLK =1 ;

        k<<=1;

        if(OUT){k |= 1;}

        else k &= ~1;

    }

    CS11=1;

    return k&0xff;

}

void Check_day(){

    if(Sday==1||Sday==3||Sday==5||Sday==7||Sday==8||Sday==10||Sday==12)

    {

        Cday=31;

    }

    else if(Sday==4||Sday==6||Sday==9||Sday==11)

    {

        Cday=30;

    }

    else if(Sday==2)

    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        Cday=29;

```

```

    }

    else if (((2000+Syear)%4)>0)
    {

        Cday=28;

    }

}

}

void set_Time(unsigned char dat,unsigned char address)
{
soft_I2C_Start();
soft_I2C_Write(0xd0);
soft_I2C_Write(address);
soft_I2C_Write(dat);
soft_I2C_Stop();
}

void bcdtoDec(unsigned char time)
{
word[0]=(bcd2dec(time)/10)+0x30;
word[1]=(bcd2dec(time)%10)+0x30;
}

```

```

unsigned char read_ds1307(unsigned char address)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม ห้ามนำไปตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Soft_I2C_Start();

```

```

Soft_I2C_Write(0xd0);

```

```
Soft_I2C_Write(address);
```

```
Soft_I2C_Start();
```

```
Soft_I2C_Write(0xd1);
```

```
dat = Soft_I2C_Read(0);
```

```
Soft_I2C_Stop();
```

```
return(dat);
```

```
}
```

```
void Header() {
```

```
    UART1_Write_Text("Date");
```

```
    UART1_Write(44);
```

```
    UART1_Write_Text("Time");
```

```
    UART1_Write(44);
```

```
    UART1_Write_Text("CH1");
```

```
    UART1_Write(44);
```

```
    UART1_Write_Text("CH2");
```

```
    UART1_Write(44);
```

```
    UART1_Write_Text("CH3");
```

```
    UART1_Write(44);
```

```
    UART1_Write_Text("CH4");
```

```
    UART1_Write(44);
```

```
    UART1_Write_Text("CH5");
```

```
    UART1_Write(44);
```

```
    UART1_Write_Text("CH6");
```

```
    UART1_Write(44);
```

```
    UART1_Write_Text("Temperature");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

```

UART1_Write(44);

UART1_Write_Text("VBatt");

UART1_Write(44);

UART1_Write_Text("Frequency");

UART1_Write(44);

UART1_Write_Text("Status1");

UART1_Write(44);

UART1_Write_Text("Status2 ");

UART1_Write(44);

UART1_Write_Text("Pluse");

UART1_Write(13);
}

void Read_Time(){
year = read_ds1307(6);
month= read_ds1307(5);
datee = read_ds1307(4);
day = read_ds1307(3);
hour = read_ds1307(2);
minute = read_ds1307(1);
sec = read_ds1307(0);

bcdtodec(datee);

UART1_Write(word[0]);

UART1_Write(word[1]);

UART1_Write('/');

bcdtodec(month);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้ขอสงวนสิทธิ์ในฉบับนี้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

UART1_Write(word[0]);

UART1_Write(word[1]);

UART1_Write('/');

bcdtoDec(year);

UART1_Write(word[0]);

UART1_Write(word[1]);

UART1_Write(44);

bcdtoDec(hour);

UART1_Write(word[0]);

UART1_Write(word[1]);

UART1_Write(':');

bcdtoDec(minute);

UART1_Write(word[0]);

UART1_Write(word[1]);

UART1_Write(':');

bcdtoDec(sec);

UART1_Write(word[0]);

UART1_Write(word[1]);

UART1_Write(44);

LATD = 0x80;          //CH1

delay_ms(4);

temp = ((mcp3202()*20.00)/4095);

sprintf(TEM,"%0.4f",temp);

UART1_Write_Text(TEM);

UART1_Write(44);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ผู้อื่นดูหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

```

    LATD = 0x40;          //CH2

    delay_ms(4);

    temp =((mcp3202()*20.00)/4095) ;

    sprintf(TEM,"%0.4f",temp);

    UART1_Write_Text(TEM);

    UART1_Write(44);

    LATD = 0xC0;          //CH3

    delay_ms(4);

    temp =((mcp3202()*10.00)/4095) ;

    sprintf(TEM,"%0.4f",temp);

    UART1_Write_Text(TEM);

    UART1_Write(44);

    LATD = 0x20;          //CH4

    delay_ms(4);

    temp =((mcp3202()*10.00)/4095.0) ;

    sprintf(TEM,"%0.4f",temp);

    UART1_Write_Text(TEM);

    UART1_Write(44);

    LATD = 0xA0;          //CH5

    delay_ms(4);

    temp =((mcp3202()*5.000)/4095.0) ;

    sprintf(TEM,"%0.4f",temp);

    UART1_Write_Text(TEM);

    UART1_Write(44);

    LATD = 0x60;          //CH6 Tem

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังห้ามนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delay_ms(4);

temp =((mcp3202()*5.0)/4095.0) ;

sprintf(TEM,"%0.4f",temp);

UART1_Write_Text(TEM);

UART1_Write(44);

LATD = 0xE0;    //CH7  Tem

delay_ms(4);

temp =((mcp3202()*5.0)/4095)*1 ;

sprintf(TEM,"%0.4f",temp);

UART1_Write_Text(TEM);

UART1_Write(44);

LATD = 0x00;    //vbatt  CH0

delay_ms(4);

temp =((mcp3202()*6.6)/4095) ;

sprintf(TEM,"%0.4f",temp);

UART1_Write_Text(TEM);

UART1_Write(44);

inttostr(1/(Count*0.000004),word);

UART1_Write_Text(word);

UART1_Write(44);

check_bit = RA4_bit ;

wordtostr(check_bit,word);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

UART1_Write(word[t]);

```

```

    }

    UART1_Write(44);

    check_bit = RB1_bit ;

    wordtostr(check_bit,word);

    for(t=0;t<5;t++)

    {

        UART1_Write(word[t]);

    }

    UART1_Write(44);

    inttostr(couter-1,word);

    UART1_Write_Text(word);

    UART1_Write(13);

}

void InitTimer0(){
T0CON    = 0x80;
TMR0H    = 0x3C;
TMR0L    = 0xAE;
GIE_bit   = 1;
TMR0IE_bit   = 1;
}

void Send_Time(){

    set_Time(Dec2Bcd(Syear),6);

    set_Time(Dec2Bcd(Smonth),5);

    set_Time(Dec2Bcd(Sday),4);

    set_Time(Dec2Bcd(Shour),2);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ set_Time(Dec2Bcd(Smonth),5); ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
set_Time(Dec2Bcd(Smin),1);
```

```
set_Time(Dec2Bcd(Ssec),0);
```

```
}
```

```
void main()
```

```
{
```

```
Trisa = 0x10 ;
```

```
Trisc=0;
```

```
Trisb = 0x12;
```

```
Trisd = 0x00;
```

```
adcon1 = 0x0f;
```

```
cmcon = 0x07;
```

```
Portd = 0x20;
```

```
Soft_I2C_Init();
```

```
set_Time(0x90,7);
```

```
UART1_Init(9600);
```

```
Delay_ms(100);
```

```
Header();
```

```
cap = 0;
```

```
Trisb |= 0x01;
```

```
TRISC |= 0x04;
```

```
INTCON.GIE = 1;
```

```
INTCON.PEIE = 1;
```

```
T1CON = 0xB0;
```

```
InitTimer0();
```

```
PIE1.CCP1IE = 1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆที่ผู้ถือลิขสิทธิ์นี้ให้มีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PIR1.CCP1IF = 0;

CCP1CON = 0x05;

PIR1.CCP1IF = 0;

    couter=0;

    T0 =5 ;

while(1)
{

    if(y>=T0)
    {
        Read_Time();
        y=0;
    }

    if(UART1_Data_Ready() {
        if(UART1_Read()=='S') {
            T0CON = 0x00;

            UART1_Write_Text("Select number for setting");

            UART1_Write(10);

            UART1_Write(13);

            UART1_Write_Text("Send '0'Set interval sampling time ");

            UART1_Write(10);

            UART1_Write(13);

            UART1_Write_Text("Send '1'Set Date and Time");

            UART1_Write(10);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้ขอสงวนสิทธิ์ในข้อนี้ให้ด้วยและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        UART1_Write(13);

UART1_Write_Text("Send '2'Exit ");

        UART1_Write(10);

        UART1_Write(13);

while(!UART1_Data_Ready());

while(UART1_Read() != '0' && UART1_Read() != '1' && UART1_Read() !=
'2') ;

if(UART1_Read() == '0')
{
UART1_Write_Text("Select interval sampling time");
        UART1_Write(10);
        UART1_Write(13);

UART1_Write_Text(" 5 sec = Send 'A'") ;

        UART1_Write(10);
        UART1_Write(13);

UART1_Write_Text("10 sec = Send 'B'") ;

        UART1_Write(10);
        UART1_Write(13);

UART1_Write_Text(" 1 min = Send 'C'") ;

        UART1_Write(10);
        UART1_Write(13);

UART1_Write_Text(" 5 min = Send 'D'") ;

        UART1_Write(10);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดูแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        UART1_Write(13);
    UART1_Write_Text("10 min = Send 'E'")    ;
        UART1_Write(10);
        UART1_Write(13);
    UART1_Write_Text("30 min = Send 'F' ")    ;
        UART1_Write(10);
        UART1_Write(13);
    UART1_Write_Text(" 1 hour = Send 'G'")    ;
        UART1_Write(10);
        UART1_Write(13);
        UART1_Write(10);
        UART1_Write(13);
        while(!UART1_Data_Ready());
        while(UART1_Read() != 'A' && UART1_Read() !=
'B' && UART1_Read() != 'C' && UART1_Read() != 'D' && UART1_Read() !=
'E' && UART1_Read() != 'F' && UART1_Read() != 'G') ;
        if(UART1_Read() == 'A')
        {
            T0 = 5;
            name = "The time has been selected at 5 second!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!";
        }
        else if(UART1_Read() == 'B')

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้อัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

            T0 = 10;
            name = "The time has been selected at 10 second!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!";

```

```

    }

    else if(UART1_Read() == 'C')
    {
        T0 = 60;

        name = "The time has been selected at 1 minute!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!";

    }

    else if(UART1_Read() == 'D')
    {
        T0 = 300;

        name = "The time has been selected at 5 minute!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!";

    }

    else if(UART1_Read() == 'E')
    {
        T0 = 600;

        name = "The time has been selected at 10 minute!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!";

    }

    else if(UART1_Read() == 'F')
    {

        T0 = 1800;

        name = "The time has been selected at 30 minute!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!";

    }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    T0 = 3600;

```

```

name = "The time has been selected at 1 hour !!!!!!!!!!!!!!!!";
}

UART1_Write_Text(name);

UART1_Write(10);

UART1_Write(13);

```

```

}

if(UART1_Read() == '1')
{

UART1_Write_Text("Please input value Date and Time");
UART1_Write(10);
UART1_Write(13);
UART1_Write_Text("Time:::");
do{
while(UART1_Data_Ready());
UART1_Read_Text(output1,"Time",12);
Shour = (output1[0]-48)*10;
Shour = (output1[1]-48)+Shour;

Smin = (output1[3]-48)*10;

Smin = (output1[4]-48)+Smin;

Ssec = (output1[6]-48)*10;

Ssec = (output1[7]-48)+Ssec;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม จีเอชไอบีไอได้รับแจ้งเรื่องและตั้งเงินรางวัลเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

while((Shour<0||Shour>23)||((output1[2]!=0x3A)||((Smin<0||Smin>59)||((output1[5]!=0x
3A)||((Ssec<0||Ssec>59)));

```

```

        UART1_Write_Text(output1);

        UART1_Write(10);

        UART1_Write(13);

        UART1_Write_Text("Date:");

    do{

        while(UART1_Data_Ready());

        UART1_Read_Text(output3,"Date",12);

        Sday = (output3[0]-48)*10;
        Sday = (output3[1]-48)+Sday;
        Smonth = (output3[3]-48)*10;
        Smonth = (output3[4]-48)+Smonth;
        Syear = (output3[6]-48)*10;
        Syear = (output3[7]-48)+Syear;
        Check_day();
    }

    while((Sday<1||Sday>Cday)||((output3[2]!=0x2F)||((Smonth<0||Smonth>12)||((output3[5]
    !=0x2F)||((Syear<0||Syear>99)));

        UART1_Write_Text(output3);

        UART1_Write(10);

        UART1_Write(13);

        Send_Time();

    }

    UART1_Write(10);

    UART1_Write(13);

    Header();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ UART1_Write(10); ยานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UART1_Write(13);

Header();

```
InitTimer0();
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XBee®/XBee-PRO® ZB RF Modules

ZigBee RF Modules by Digi International

Models: XBEE2, XBEEPRO2, PRO S2B

Hardware: S2 and S2B

Firmware Versions:

- 20xx - Coordinator - AT/Transparent Operation
- 21xx - Coordinator - API Operation
- 22xx - Router - AT/Transparent Operation
- 23xx - Router - API Operation
- 28xx - End Device - AT/Transparent Operation
- 29xx - End Device - API Operation



Interchangeable



Digi International Inc.
11001 Bren Road East
Minnetonka, MN 55343

877 912-3444 or 952 912-3444
<http://www.digi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัท Digi International Inc. สำหรับใช้ภายในเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่ให้ภายนอกบริษัทโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

90000976_G
11/15/2010

1. Overview

This manual describes the operation of the XBee/XBee-PRO ZB RF module, which consists of ZigBee firmware loaded onto XBee S2 and S2B hardware, models: XBEE2, XBEEPRO2 and PRO S2B. The XBee/XBee-PRO ZB RF Modules are designed to operate within the ZigBee protocol and support the unique needs of low-cost, low-power wireless sensor networks. The modules require minimal power and provide reliable delivery of data between remote devices.



The modules operate within the ISM 2.4 GHz frequency band and are compatible with the following:

- XBee RS-232 Adapter
- XBee RS-485 Adapter
- XBee Analog I/O Adapter
- XBee Digital I/O Adapter
- XBee Sensor
- XBee USB Adapter
- XStick
- ConnectPort X Gateways
- XBee Wall Router.

The XBee/XBee-PRO ZB firmware release can be installed on XBee ZNet or ZB modules. The XBee ZB firmware is based on the EmberZNet 3.x ZigBee PRO Feature Set mesh networking stack, while the XBee ZNet 2.5 firmware is based on Ember's proprietary "designed for ZigBee" mesh stack (EmberZNet 2.5.x). ZB and ZNet 2.5 firmware are similar in nature, but not over-the-air compatible. Devices running ZNet 2.5 firmware cannot talk to devices running the ZB firmware.

What's New in 2x7x

Firmware

XBee/XBee-PRO ZB firmware includes the following new features (compared with 2x6x):

- Using Ember stack version 3.4.1.
- Support for the PRO S2B with temperature compensation and an overvoltage check. Within 15 seconds of the supply voltage exceeding 3.9V, the API will emit a 0x08 modem status (Overvoltage) message, and then the AT/API versions will do a watchdog reset.
- ZDO pass-through added. If AO=3, then ZDO requests which are not supported by the stack will be passed out the UART.
- An attempt to send an oversized packet (256+ bytes) will result in a Tx Status message with a status code of 0x74.
- End devices have two speed polling. 7.5 seconds is the slow rate, which switches to the fast rate to transact with its parent. When transactions are done, it switches back to the slow rate.
- A new receive option bit (0x40) indicates if the packet came from an end device.
- Added extended timeout option since end devices need more time than routers to ack their packets.
- An option bit (0x01) was added to disable APS retries.
- If an end device has not had its polls answered for 5 secs, it will leave and attempt to rejoin the network.
- XBee S2B has a new TP command which returns the temperature compensation sensor reading in units of Celsius degrees.
- The PP command returns the power dBm setting when PL4 is selected.
- The PO command sets the slow polling rate on end devices. Range is 1-0x1770 in units of 10 msec (10 msec to 60 sec). Default is 0 which invokes a 100 msec delay.
- Rejoining now can proceed without a NR or NRO command after a Mgmt_Leave_req is processed.
- Command ranges were changed for the SC, IR, and LT commands.
- A PAN ID corruption problem was fixed.

See the 2x7x release notes for a complete list of new features and bug fixes at www.digi.com/support.

Manual

The XBee/XBee-PRO/S2B ZB 2x7x manual includes the following corrections over the 2x6x manual:

- Descriptions and specification for the PRO S2B.
- SIF Header Interface, pin 8 relabeled as pin 10.
- Pin mappings for pins 22 and 24 updated.
- New modem status codes were added.
- Corrections to the ZigBee Receive Packet description.
- Description changes for the SC, PL, PP, AO, IR, %V, and PO commands.
- Updates to Appendix B.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Key Features

High Performance, Low Cost

XBee

- Indoor/Urban: up to 133' (40 m)
- Outdoor line-of-sight: up to 400' (120 m)
- Transmit Power: 2 mW (3 dBm)
- Receiver Sensitivity: -96 dBm

XBee-PRO (S2)

- Indoor/Urban: up to 300' (90 m), 200' (60 m) for International variant
- Outdoor line-of-sight: up to 2 miles (3200 m), 5000' (1500 m) for International variant
- Transmit Power: 50mW (17dBm), 10mW (10dBm) for International variant
- Receiver Sensitivity: -102 dBm

XBee-PRO (S2B)

- Indoor/Urban: up to 300' (90 m), 200' (60 m) for International variant
- Outdoor line-of-sight: up to 2 miles (3200 m), 5000' (1500 m) for International variant
- Transmit Power: 63mW (18dBm), 10mW (10dBm) for International variant
- Receiver Sensitivity: -102 dBm

Advanced Networking & Security

Retries and Acknowledgements
 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
 Each direct sequence channel has over 65,000 unique network addresses available
 Point-to-point, point-to-multipoint and peer-to-peer topologies supported
 Self-routing, self-healing and fault-tolerant mesh networking

Low Power

XBee

- TX Peak Current: 40 mA (@3.3 V)
- RX Current: 40 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 1 µA

XBee-PRO (S2)

- TX Peak Current: 295mA (170mA for international variant)
- RX Current: 45 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: 3.5 µA typical @ 25 degrees C

XBee-PRO (S2B)

- TX Peak Current: 205mA (117mA for international variant)
- RX Current: 47 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: 3.5 µA typical @ 25 degrees C

Easy-to-Use

No configuration necessary for out-of box RF communications
 AT and API Command Modes for configuring module parameters
 Small form factor
 Extensive command set
 Free X-CTU Software (Testing and configuration software)
 Free & Unlimited Technical Support

Worldwide Acceptance

FCC Approval (USA) Refer to Appendix A for FCC Requirements. Systems that contain XBee®/XBee-PRO® ZB RF Modules inherit Digi Certifications.

ISM (Industrial, Scientific & Medical) 2.4 GHz frequency band

Manufactured under ISO 9001:2000 registered standards

XBee®/XBee-PRO® ZB RF Modules are optimized for use in US, Canada, Europe, Australia, and Japan (contact Digi for complete list of agency approvals).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications

Specifications of the XBee®/XBee-PRO® ZB RF Module

Specification	XBee	XBee-PRO (S2)	XBee-PRO (S2B)
Performance			
Indoor/Urban Range	up to 133 ft. (40 m)	Up to 300 ft. (90 m), up to 200 ft (60 m) international variant	Up to 300 ft. (90 m), up to 200 ft (60 m) international variant
Outdoor RF line-of-sight Range	up to 400 ft. (120 m)	Up to 2 miles (3200 m), up to 5000 ft (1500 m) international variant	Up to 2 miles (3200 m), up to 5000 ft (1500 m) international variant
Transmit Power Output	2mW (+3dBm), boost mode enabled 1.25mW (+1dBm), boost mode disabled	50mW (+17 dBm) 10mW (+10 dBm) for International variant	63mW (+18 dBm) 10mW (+10 dBm) for International variant
RF Data Rate	250,000 bps	250,000 bps	250,000 bps
Data Throughput	up to 35000 bps (see chapter 4)	up to 35000 bps (see chapter 4)	up to 35000 bps (see chapter 4)
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 bps - 1 Mbps (non-standard baud rates also supported)	1200 bps - 1 Mbps (non-standard baud rates also supported)	1200 bps - 1 Mbps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-96 dBm, boost mode enabled -95 dBm, boost mode disabled	-102 dBm	-102 dBm
Power Requirements			
Supply Voltage	2.1 - 3.6 V	3.0 - 3.4 V	2.7 - 3.6 V
Operating Current (Transmit, max output power)	40mA (@ 3.3 V, boost mode enabled) 35mA (@ 3.3 V, boost mode disabled)	295mA (@3.3 V) 170mA (@3.3 V) international variant	205mA, up to 220 mA with programmable variant (@3.3 V) 117mA, up to 132 mA with programmable variant (@3.3 V), International variant
Operating Current (Receive)	40mA (@ 3.3 V, boost mode enabled) 38mA (@ 3.3 V, boost mode disabled)	45 mA (@3.3 V)	47 mA, up to 62 mA with programmable variant (@3.3 V)
Idle Current (Receiver off)	15mA	15mA	15mA
Power-down Current	< 1 uA @ 25°C	3.5 uA typical @ 25°C	3.5 uA typical @ 25°C
General			
Operating Frequency Band	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960 x 1.297 (2.438cm x 3.294cm)	0.960 x 1.297 (2.438cm x 3.294cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip, RPSMA, or U.FL Connector	Integrated Whip, Chip, RPSMA, or U.FL Connector	Integrated Whip,PCB Embedded Trace, RPSMA, or U.FL Connector
Networking & Security			
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to-multipoint, Peer-to-peer, and Mesh	Point-to-point, Point-to-multipoint, Peer-to-peer, and Mesh	Point-to-point, Point-to-multipoint, Peer-to-peer, and Mesh
Number of Channels	16 Direct Sequence Channels	14 Direct Sequence Channels	15 Direct Sequence Channels
Channels	11 to 26	11 to 24	11 to 25
Addressing Options	PAN ID and Addresses, Cluster IDs and Endpoints (optional)	PAN ID and Addresses, Cluster IDs and Endpoints (optional)	PAN ID and Addresses, Cluster IDs and Endpoints (optional)
Agency Approvals			
United States (FCC Part 15.247)	FCC ID: OUR-XBEE2	FCC ID: MCQ-XBEEPRO2	FCC ID: MCQ-PROS2B
Industry Canada (IC)	IC: 4214A-XBEE2	IC: 1846A-XBEEPRO2	IC: 1846A-PROS2B
Europe (CE)	ETSI	ETSI (International variant)	ETSI (10 mW max)

Specifications of the XBee®/XBee-PRO® ZB RF Module

Specification	XBee	XBee-PRO (S2)	XBee-PRO (S2B)
Australia	C-Tick	C-Tick	C-Tick
Japan	R201WW07215215	R201WW08215142 (international variant)	R201WW10215062 (international variant)
RoHS	Compliant	Compliant	Compliant

Hardware Specs for Programmable Variant

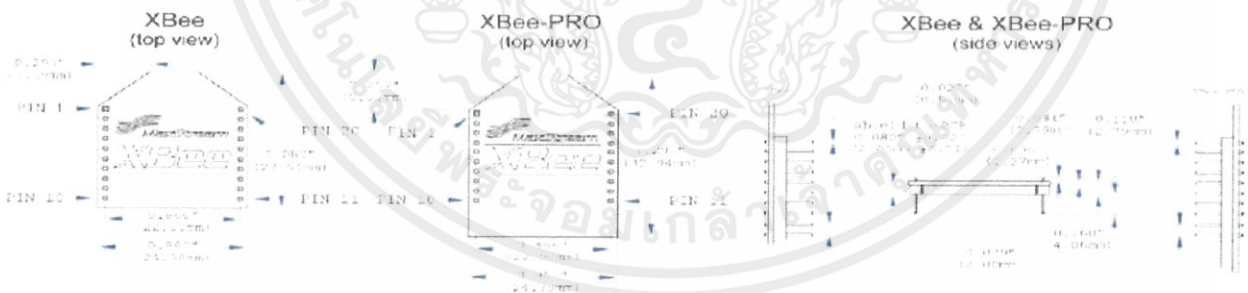
The following specifications need to be added to the current measurement of the previous table if the module has the programmable secondary processor. For example, if the secondary processor is running and constantly collecting DIO samples at a rate while having the RF portion of the XBEE sleeping the new current will be $I_{total} = I_{r2} + I_s$. Where I_{r2} is the runtime current of the secondary processor and I_s is the sleep current of the RF portion of the module of the XBEE-PRO (S2B) listed in the table below.

Specifications of the programmable secondary processor

Optional Secondary Processor Specification	These numbers add to S2B specifications (Add to RX, TX, and sleep currents depending on mode of operation)
Runtime current for 32k running at 20MHz	+14mA
Runtime current for 32k running at 1MHz	+1mA
Sleep current	+0.5uA typical
For additional specifications see Freescale Datasheet and Manual	MC9S08QE32
Minimum Reset low pulse time for EM250	+50 nS (additional resistor increases minimum time)
VREF Range	1.8VDC to VCC

Mechanical Drawings

Mechanical drawings of the XBee®/XBee-PRO® ZB RF Modules (antenna options not shown)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MICROCHIP

**PIC18F23K20/24K20/25K20/26K20/
43K20/44K20/45K20/46K20**

Data Sheet

28/40/44-Pin Flash Microcontrollers
with nanoWatt XLP Technology

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Note the following details of the code protection feature on Microchip devices:

- Microchip products meet the specification contained in their particular Microchip Data Sheet.
- Microchip believes that its family of products is one of the most secure families of its kind on the market today, when used in the intended manner and under normal conditions.
- There are dishonest and possibly illegal methods used to breach the code protection feature. All of these methods, to our knowledge, require using the Microchip products in a manner outside the operating specifications contained in Microchip's Data Sheets. Most likely, the person doing so is engaged in theft of intellectual property.
- Microchip is willing to work with the customer who is concerned about the integrity of their code.
- Neither Microchip nor any other semiconductor manufacturer can guarantee the security of their code. Code protection does not mean that we are guaranteeing the product as "unbreakable."

Code protection is constantly evolving. We at Microchip are committed to continuously improving the code protection features of our products. Attempts to break Microchip's code protection feature may be a violation of the Digital Millennium Copyright Act. If such acts allow unauthorized access to your software or other copyrighted work, you may have a right to sue for relief under that Act.

Information contained in this publication regarding device applications and the like is provided only for your convenience and may be superseded by updates. It is your responsibility to ensure that your application meets with your specifications. MICROCHIP MAKES NO REPRESENTATIONS OR WARRANTIES OF ANY KIND WHETHER EXPRESS OR IMPLIED, WRITTEN OR ORAL, STATUTORY OR OTHERWISE, RELATED TO THE INFORMATION, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ITS CONDITION, QUALITY, PERFORMANCE, MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR PURPOSE. Microchip disclaims all liability arising from this information and its use. Use of Microchip devices in life support and/or safety applications is entirely at the buyer's risk, and the buyer agrees to defend, indemnify and hold harmless Microchip from any and all damages, claims, suits, or expenses resulting from such use. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any Microchip intellectual property rights.

Trademarks

The Microchip name and logo, the Microchip logo, dsPIC, KEELOQ, KEELOQ logo, MPLAB, PIC, PICmicro, PICSTART, rfPIC and UNI/O are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

FilterLab, Hampshire, HI-TECH C, Linear Active Thermistor, MXDEV, MXLAB, SEEVAL and The Embedded Control Solutions Company are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

Analog-for-the-Digital Age, Application Maestro, CodeGuard, dsPICDEM, dsPICDEM.net, dsPICworks, dsSPEAK, ECAN, ECONOMONITOR, FanSense, HI-TIDE, In-Circuit Serial Programming, ICSP, Mindi, MiWi, MPASM, MPLAB Certified logo, MPLIB, MPLINK, mTouch, Octopus, Omniscient Code Generation, PICC, PICC-18, PICDEM, PICDEM.net, PICKit, PICtail, PIC³² logo, REAL ICE, rfLAB, Select Mode, Total Endurance, TSHARC, UniWinDriver, WiperLock and ZENA are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

SQTP is a service mark of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

All other trademarks mentioned herein are property of their respective companies.

© 2010, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.

 Printed on recycled paper.

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM

CERTIFIED BY DNV

== ISO/TS 16949:2002 ==

Microchip received ISO/TS-16949:2002 certification for its worldwide headquarters, design and wafer fabrication facilities in Chandler and Tempe, Arizona; Gresham, Oregon and design centers in California and India. The Company's quality system processes and procedures are for its PIC[®] MCUs and dsPIC[®] DSCs, KEELOQ[®] code hopping devices, Serial EEPROMs, microperipherals, nonvolatile memory and analog products. In addition, Microchip's quality system for the design and manufacture of development systems is ISO 9001:2000 certified.



MICROCHIP

PIC18F2XK20/4XK20

**28/40/44-Pin Flash Microcontrollers
with nanoWatt XLP Technology**

High-Performance RISC CPU:

- C Compiler Optimized Architecture:
 - Optional extended instruction set designed to optimize re-entrant code
- Up to 1024 bytes Data EEPROM
- Up to 64 Kbytes Linear Program Memory Addressing
- Up to 3936 bytes Linear Data Memory Addressing
- Up to 16 MIPS Operation
- 16-bit Wide Instructions, 8-bit Wide Data Path
- Priority Levels for Interrupts
- 31-Level, Software Accessible Hardware Stack
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier

Flexible Oscillator Structure:

- Precision 16 MHz Internal Oscillator Block:
 - Factory calibrated to $\pm 1\%$
 - Software selectable frequencies range of 31 kHz to 16 MHz
 - 64 MHz performance available using PLL – no external components required
- Four Crystal modes up to 64 MHz
- Two External Clock modes up to 64 MHz
- 4X Phase Lock Loop (PLL)
- Secondary Oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Fail-Safe Clock Monitor:
 - Allows for safe shutdown if peripheral clock stops
 - Two-Speed Oscillator Start-up

Special Microcontroller Features:

- Operating Voltage Range: 1.8V to 3.6V
- Self-Programmable under Software Control
- Programmable 16-Level High/Low-Voltage Detection (HLVD) module:
 - Interrupt on High/Low-Voltage Detection
- Programmable Brown-out Reset (BOR):
 - With software enable option
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 4 ms to 131s
- Single-Supply 3V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via Two Pins
- In-Circuit Debug (ICD) via Two Pins

**Extreme Low-Power Management
with nanoWatt XLP:**

- Sleep mode: < 100 nA @ 1.8V
- Watchdog Timer: < 800 nA @ 1.8V
- Timer1 Oscillator: < 800 nA @ 32 kHz and 1.8V

Analog Features:

- Analog-to-Digital Converter (ADC) module:
 - 10-bit resolution, 13 External Channels
 - Auto-acquisition capability
 - Conversion available during Sleep
 - 1.2V Fixed Voltage Reference (FVR) channel
 - Independent input multiplexing
- Analog Comparator module:
 - Two rail-to-rail analog comparators
 - Independent input multiplexing
- Voltage Reference (CVREF) module:
 - Programmable (% VDD), 16 steps
 - Two 16-level voltage ranges using VREF pins

Peripheral Highlights:

- Up to 35 I/O Pins plus 1 Input-only Pin:
 - High-Current Sink/Source 25 mA/25 mA
 - Three programmable external interrupts
 - Four programmable interrupt-on-change
 - Eight programmable weak pull-ups
 - Programmable slew rate
- Capture/Compare/PWM (CCP) module
- Enhanced CCP (ECCP) module:
 - One, two or four PWM outputs
 - Selectable polarity
 - Programmable dead time
 - Auto-Shutdown and Auto-Restart
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module
 - 3-wire SPI (supports all 4 modes)
 - I²C™ Master and Slave modes with address mask
- Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (EUSART) module:
 - Supports RS-485, RS-232 and LIN
 - RS-232 operation using internal oscillator
 - Auto-Wake-up on Break
 - Auto-Baud Detect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC18F2XK20/4XK20

Device	Program Memory		Data Memory		I/O ⁽¹⁾	10-bit A/D (ch) ⁽²⁾	CCP/ ECCP (PWM)	MSSP		EUSART	Comp.	Timers 8/16-bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)				SPI	Master I ² C™			
PIC18F23K20	8K	4096	512	256	25	11	1/1	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F24K20	16K	8192	768	256	25	11	1/1	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F25K20	32K	16384	1536	256	25	11	1/1	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F26K20	64k	32768	3936	1024	25	11	1/1	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F43K20	8K	4096	512	256	36	14	1/1	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F44K20	16K	8192	768	256	36	14	1/1	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F45K20	32K	16384	1536	256	36	14	1/1	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F46K20	64k	32768	3936	1024	36	14	1/1	Y	Y	1	2	1/3

Note 1: One pin is input only.

Note 2: Channel count includes internal fixed voltage reference channel.

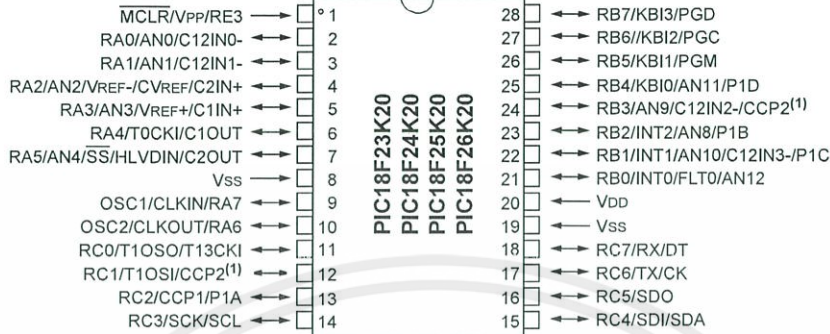


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

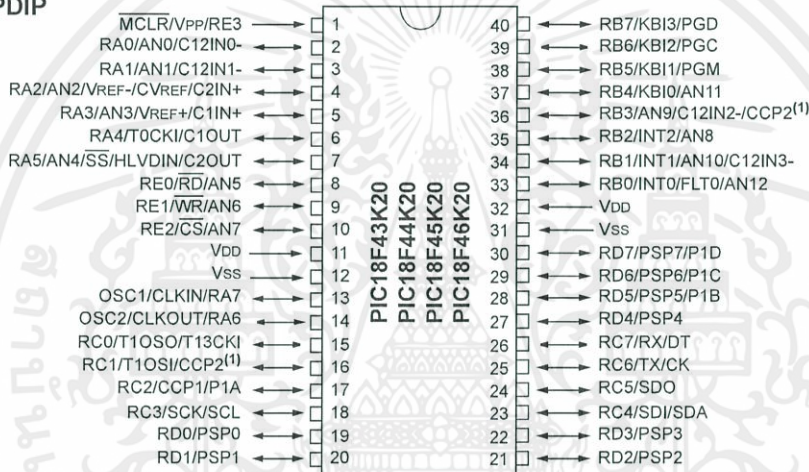
PIC18F2XK20/4XK20

Pin Diagrams

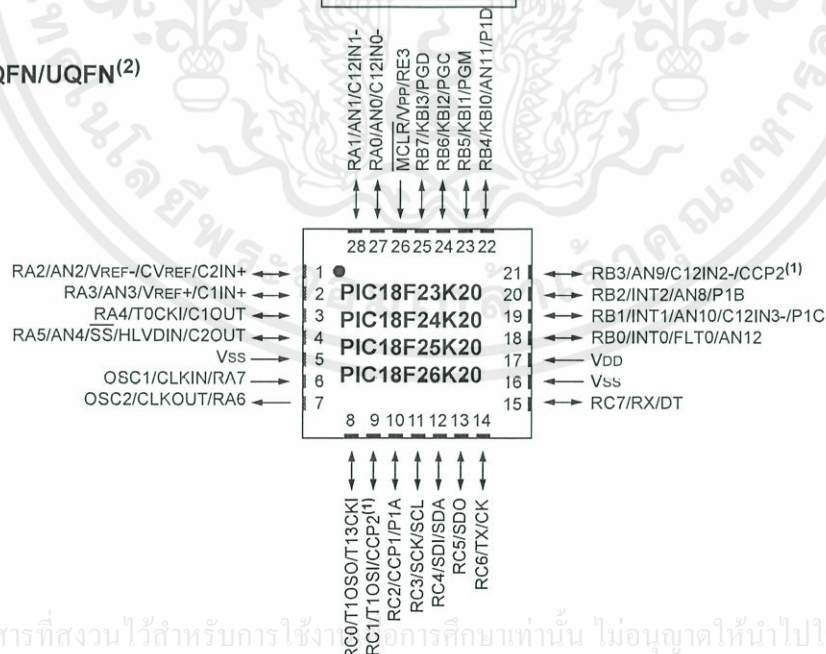
28-pin PDIP, SOIC, SSOP



40-pin PDIP



28-pin QFN/UQFN⁽²⁾



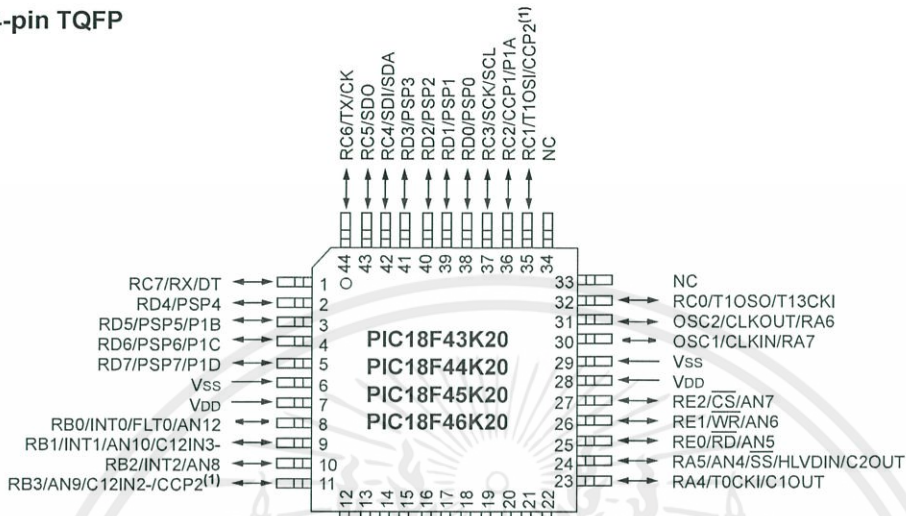
Note 1: RB3 is the alternate pin for CCP2 multiplexing.

Note 2: UQFN package availability applies only to PIC18F23K20.

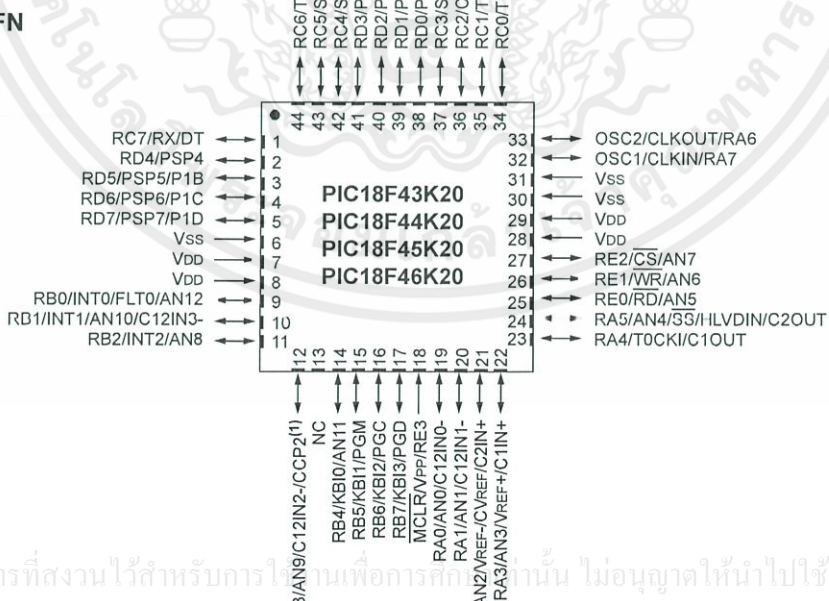
PIC18F2XK20/4XK20

Pin Diagrams (Cont.'d)

44-pin TQFP



44-pin QFN



Note 1: RB3 is the alternate pin for CCP2 multiplexing.

PIC18F2XK20/4XK20

TABLE 1: PIC18F4XK20 PIN SUMMARY

DIL Pin	TQFP Pin	QFN Pin	I/O	Analog	Comparator	Reference	ECCP	EUSART	MSSP	Timers	Slave	Interrupts	Pull-up	Basic
2	19	19	RA0	AN0	C12IN0-	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	20	20	RA1	AN1	C12IN1-	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	21	21	RA2	AN2	C2IN+	VREF-/ CVREF	—	—	—	—	—	—	—	—
5	22	22	RA3	AN3	C1IN+	VREF+	—	—	—	—	—	—	—	—
6	23	23	RA4	—	C1OUT	—	—	—	—	T0CKI	—	—	—	—
7	24	24	RA5	AN4	C2OUT	HLVDIN	—	—	SS	—	—	—	—	—
14	31	33	RA6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC2/ CLKOUT
13	30	32	RA7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC1/CLKIN
33	8	9	RB0	AN12	—	—	FLT0	—	—	—	—	INT0	Yes	—
34	9	10	RB1	AN10	C12IN3-	—	—	—	—	—	—	INT1	Yes	—
35	10	11	RB2	AN8	—	—	—	—	—	—	—	INT2	Yes	—
36	11	12	RB3	AN9	C12IN2-	—	CCP2 ⁽¹⁾	—	—	—	—	—	Yes	—
37	14	14	RB4	AN11	—	—	—	—	—	—	—	KBIO	Yes	—
38	15	15	RB5	—	—	—	—	—	—	—	—	KB11	Yes	PGM
39	16	16	RB6	—	—	—	—	—	—	—	—	KB12	Yes	PGC
40	17	17	RB7	—	—	—	—	—	—	—	—	KB13	Yes	PGD
15	32	34	RC0	—	—	—	—	—	—	T1OSO/ T13CKI	—	—	—	—
16	35	35	RC1	—	—	—	CCP2 ⁽²⁾	—	—	T1OSI	—	—	—	—
17	36	36	RC2	—	—	—	CCP1/ P1A	—	—	—	—	—	—	—
18	37	37	RC3	—	—	—	—	—	SCK/ SCL	—	—	—	—	—
23	42	42	RC4	—	—	—	—	—	SDI/ SDA	—	—	—	—	—
24	43	43	RC5	—	—	—	—	—	SDO	—	—	—	—	—
25	44	44	RC6	—	—	—	—	TX/CK	—	—	—	—	—	—
26	1	1	RC7	—	—	—	—	RX/DT	—	—	—	—	—	—
19	38	38	RD0	—	—	—	—	—	—	—	PSP0	—	—	—
20	39	39	RD1	—	—	—	—	—	—	—	PSP1	—	—	—
21	40	40	RD2	—	—	—	—	—	—	—	PSP2	—	—	—
22	41	41	RD3	—	—	—	—	—	—	—	PSP3	—	—	—
27	2	2	RD4	—	—	—	—	—	—	—	PSP4	—	—	—
28	3	3	RD5	—	—	—	P1B	—	—	—	PSP5	—	—	—
29	4	4	RD6	—	—	—	P1C	—	—	—	PSP6	—	—	—
30	5	5	RD7	—	—	—	P1D	—	—	—	PSP7	—	—	—
8	25	25	RE0	AN5	—	—	—	—	—	—	RD	—	—	—
9	26	26	RE1	AN6	—	—	—	—	—	—	WR	—	—	—
10	27	27	RE2	AN7	—	—	—	—	—	—	CS	—	—	—
1	18	18	RE3 ⁽³⁾	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	MCLR/VPP
11	7	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
32	28	28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
12	6	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
31	29	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	NC	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	NC	29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	NC	31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS

Note 1: CCP2 multiplexed with RB3 when CONFIG3H<0> = 0
 2: CCP2 multiplexed with RC1 when CONFIG3H<0> = 1
 3: Input-only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC18F2XK20/4XK20

TABLE 2: PIC18F2XK20 PIN SUMMARY

Pin DIL	Pin QUAD	I/O	Analog	Comparator	Reference	ECCP	EUSART	MSSP	Timers	Slave	Interrupts	Pull-up	Basic
2	27	RA0	AN0	C12IN0-									
3	28	RA1	AN1	C12IN1-									
4	1	RA2	AN2	C2IN+	VREF-/ CVREF								
5	2	RA3	AN3	C1IN+	VREF+								
6	3	RA4		C1OUT					TOCKI				
7	4	RA5	AN4	C2OUT	HLVDIN			SS					
10	7	RA6											OSC2/ CLKOUT
9	6	RA7											OSC1/ CLKIN
21	18	RB0	AN12			FLT0					INT0	Yes	
22	19	RB1	AN10	C12IN3-		P1C					INT1	Yes	
23	20	RB2	AN8			P1B					INT2	Yes	
24	21	RB3	AN9	C12IN2-		CCP2 ⁽¹⁾						Yes	
25	22	RB4	AN11			P1D					KBIO	Yes	
26	23	RB5									KB11	Yes	PGM
27	24	RB6									KB12	Yes	PGC
28	25	RB7									KB13	Yes	PGD
11	8	RC0							T1OSO/ T13CKI				
12	9	RC1				CCP2 ⁽²⁾			T1OSI				
13	10	RC2				CCP1/ P1A							
14	11	RC3						SCK/ SCL					
15	12	RC4						SDI/ SDA					
16	13	RC5						SDO					
17	14	RC6											
18	15	RC7											
1	26	RE3 ⁽³⁾											MCLR/ VPP
8	5												VSS
19	16												VSS
20	17												VDD

Note 1: CCP2 multiplexed with RB3 when CONFIG3H<0> = 0
 2: CCP2 multiplexed with RC1 when CONFIG3H<0> = 1
 3: Input-only

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7V 12-Bit A/D Converter with SPI™ Serial Interface

Features

- 12-bit resolution
- ± 1 LSB max DNL
- ± 1 LSB max INL (MCP3201-B)
- ± 2 LSB max INL (MCP3201-C)
- On-chip sample and hold
- SPI™ serial interface (modes 0,0 and 1,1)
- Single supply operation: 2.7V - 5.5V
- 100ksps max. sampling rate at $V_{DD} = 5V$
- 50ksps max. sampling rate at $V_{DD} = 2.7V$
- Low power CMOS technology
- 500 nA typical standby current, 2 μA max.
- 400 μA max. active current at 5V
- Industrial temp range: $-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$
- 8-pin MSOP, PDIP, SOIC and TSSOP packages

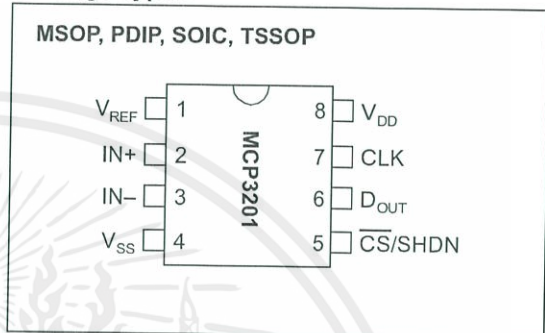
Applications

- Sensor Interface
- Process Control
- Data Acquisition
- Battery Operated Systems

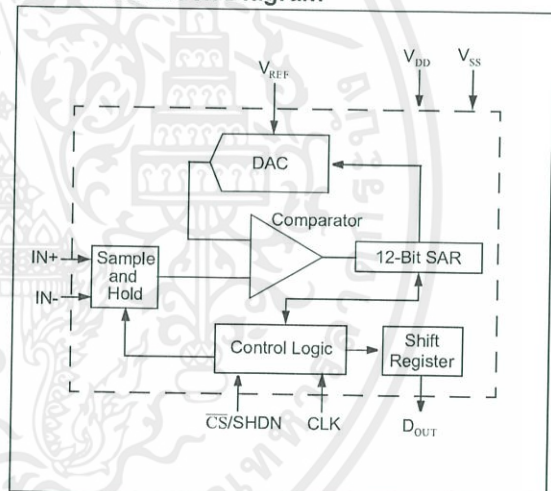
Description

The Microchip Technology Inc. MCP3201 is a successive approximation 12-bit Analog-to-Digital (A/D) Converter with on-board sample and hold circuitry. The device provides a single pseudo-differential input. Differential Nonlinearity (DNL) is specified at ± 1 LSB, and Integral Nonlinearity (INL) is offered in ± 1 LSB (MCP3201-B) and ± 2 LSB (MCP3201-C) versions. Communication with the device is done using a simple serial interface compatible with the SPI protocol. The device is capable of sample rates of up to 100 ksps at a clock rate of 1.6 MHz. The MCP3201 operates over a broad voltage range (2.7V - 5.5V). Low current design permits operation with typical standby and active currents of only 500 nA and 300 μA , respectively. The device is offered in 8-pin MSOP, PDIP, TSSOP and 150 mil SOIC packages.

Package Types



Functional Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP3201

1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

1.1 Maximum Ratings*

V_{DD}7.0V

All inputs and outputs w.r.t. V_{SS} -0.6V to V_{DD} +0.6V

Storage temperature -65°C to +150°C

Ambient temp. with power applied -65°C to +125°C

ESD protection on all pins (HBM)..... > 4 kV

***Notice:** Stresses above those listed under "Maximum ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

PIN FUNCTION TABLE

Name	Function
V_{DD}	+2.7V to 5.5V Power Supply
V_{SS}	Ground
IN+	Positive Analog Input
IN-	Negative Analog Input
CLK	Serial Clock
D_{OUT}	Serial Data Out
CS/SHDN	Chip Select/Shutdown Input
V_{REF}	Reference Voltage Input

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

All parameters apply at $V_{DD} = 5V$, $V_{SS} = 0V$, $V_{REF} = 5V$, $T_{AMB} = -40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$, $f_{SAMPLE} = 100$ ksp/s, and $f_{CLK} = 16 * f_{SAMPLE}$ unless otherwise noted.

Parameter	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Conversion Rate:						
Conversion Time	t_{CONV}	—	—	12	clock cycles	
Analog Input Sample Time	t_{SAMPLE}	—	1.5	—	clock cycles	
Throughput Rate	f_{SAMPLE}	—	—	100 50	ksp/s ksp/s	$V_{DD} = V_{REF} = 5V$ $V_{DD} = V_{REF} = 2.7V$
DC Accuracy:						
Resolution		—	12	—	bits	
Integral Nonlinearity	INL	—	± 0.75 ± 1	± 1 ± 2	LSB LSB	MCP3201-B MCP3201-C
Differential Nonlinearity	DNL	—	± 0.5	± 1	LSB	No missing codes over temperature
Offset Error		—	± 1.25	± 3	LSB	
Gain Error		—	± 1.25	± 5	LSB	
Dynamic Performance:						
Total Harmonic Distortion	THD	—	-82	—	dB	$V_{IN} = 0.1V$ to $4.9V@1$ kHz
Signal to Noise and Distortion (SINAD)	SINAD	—	72	—	dB	$V_{IN} = 0.1V$ to $4.9V@1$ kHz
Spurious Free Dynamic Range	SFDR	—	86	—	dB	$V_{IN} = 0.1V$ to $4.9V@1$ kHz
Reference Input:						
Voltage Range		0.25	—	V_{DD}	V	Note 2
Current Drain		—	100 .001	150 3	μA μA	$\overline{CS} = V_{DD} = 5V$
Analog Inputs:						
Input Voltage Range (IN+)	IN+	IN-	—	$V_{REF}+IN-$	V	
Input Voltage Range (IN-)	IN-	$V_{SS}-100$	—	$V_{SS}+100$	mV	
Leakage Current		—	0.001	± 1	μA	
Switch Resistance	R_{SS}	—	1K	—	W	See Figure 4-1
Sample Capacitor	C_{SAMPLE}	—	20	—	pF	See Figure 4-1

Note 1: This parameter is established by characterization and not 100% tested.

2: See graph that relates linearity performance to V_{REF} level.

3: Because the sample cap will eventually lose charge, effective clock rates below 10 kHz can affect linearity performance, especially at elevated temperatures. See Section 6.2 for more information.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONTINUED)

All parameters apply at $V_{DD} = 5V$, $V_{SS} = 0V$, $V_{REF} = 5V$, $T_{AMB} = -40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$, $f_{SAMPLE} = 100$ ksp/s, and $f_{CLK} = 16 * f_{SAMPLE}$ unless otherwise noted.						
Parameter	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Digital Input/Output:						
Data Coding Format		Straight Binary				
High Level Input Voltage	V_{IH}	$0.7 V_{DD}$	—	—	V	
Low Level Input Voltage	V_{IL}	—	—	$0.3 V_{DD}$	V	
High Level Output Voltage	V_{OH}	4.1	—	—	V	$I_{OH} = -1$ mA, $V_{DD} = 4.5V$
Low Level Output Voltage	V_{OL}	—	—	0.4	V	$I_{OL} = 1$ mA, $V_{DD} = 4.5V$
Input Leakage Current	I_{LI}	-10	—	10	μA	$V_{IN} = V_{SS}$ or V_{DD}
Output Leakage Current	I_{LO}	-10	—	10	μA	$V_{OUT} = V_{SS}$ or V_{DD}
Pin Capacitance (all inputs/outputs)	C_{IN}, C_{OUT}	—	—	10	pF	$V_{DD} = 5.0V$ (Note 1) $T_{AMB} = 25^{\circ}C$, $f = 1$ MHz
Timing Parameters:						
Clock Frequency	f_{CLK}	—	—	1.6 0.8	MHz MHz	$V_{DD} = 5V$ (Note 3) $V_{DD} = 2.7V$ (Note 3)
Clock High Time	t_{HI}	312	—	—	ns	
Clock Low Time	t_{LO}	312	—	—	ns	
\overline{CS} Fall To First Rising CLK Edge	t_{SUCS}	100	—	—	ns	
CLK Fall To Output Data Valid	t_{DO}	—	—	200	ns	See Test Circuits, Figure 1-2
CLK Fall To Output Enable	t_{EN}	—	—	200	ns	See Test Circuits, Figure 1-2
\overline{CS} Rise To Output Disable	t_{DIS}	—	—	100	ns	See Test Circuits, Figure 1-2 (Note 1)
\overline{CS} Disable Time	t_{CSH}	625	—	—	ns	
D_{OUT} Rise Time	t_R	—	—	100	ns	See Test Circuits, Figure 1-2 (Note 1)
D_{OUT} Fall Time	t_F	—	—	100	ns	See Test Circuits, Figure 1-2 (Note 1)
Power Requirements:						
Operating Voltage	V_{DD}	2.7	—	5.5	V	
Operating Current	I_{DD}	—	300 210	400 —	μA μA	$V_{DD} = 5.0V$, D_{OUT} unloaded $V_{DD} = 2.7V$, D_{OUT} unloaded
Standby Current	I_{DDs}	—	0.5	2	μA	$\overline{CS} = V_{DD} = 5.0V$
Temperature Ranges:						
Specified Temperature Range	T_A	-40	—	+85	$^{\circ}C$	
Operating Temperature Range	T_A	-40	—	+85	$^{\circ}C$	
Storage Temperature Range	T_A	-65	—	+150	$^{\circ}C$	
Thermal Package Resistance:						
Thermal Resistance, 8L-PDIP	θ_{JA}	—	85	—	$^{\circ}C/W$	
Thermal Resistance, 8L-SOIC	θ_{JA}	—	163	—	$^{\circ}C/W$	
Thermal Resistance, 8L-MSOP	θ_{JA}	—	206	—	$^{\circ}C/W$	
Thermal Resistance, 8L-TSSOP	θ_{JA}	—	124	—	$^{\circ}C/W$	

Note 1: This parameter is established by characterization and not 100% tested.

2: See graph that relates linearity performance to V_{REF} level.

3: Because the sample cap will eventually lose charge, effective clock rates below 10 kHz can affect linearity performance, especially at elevated temperatures. See Section 6.2 for more information.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP3201

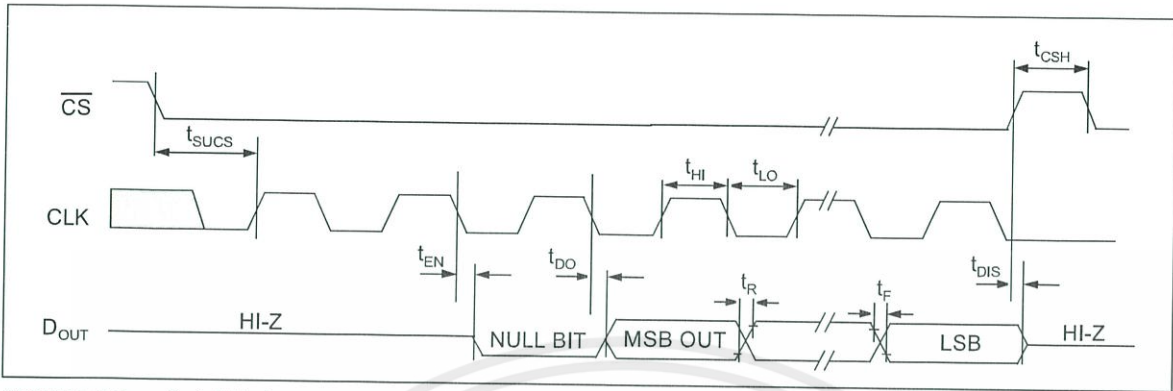


FIGURE 1-1: Serial Timing.

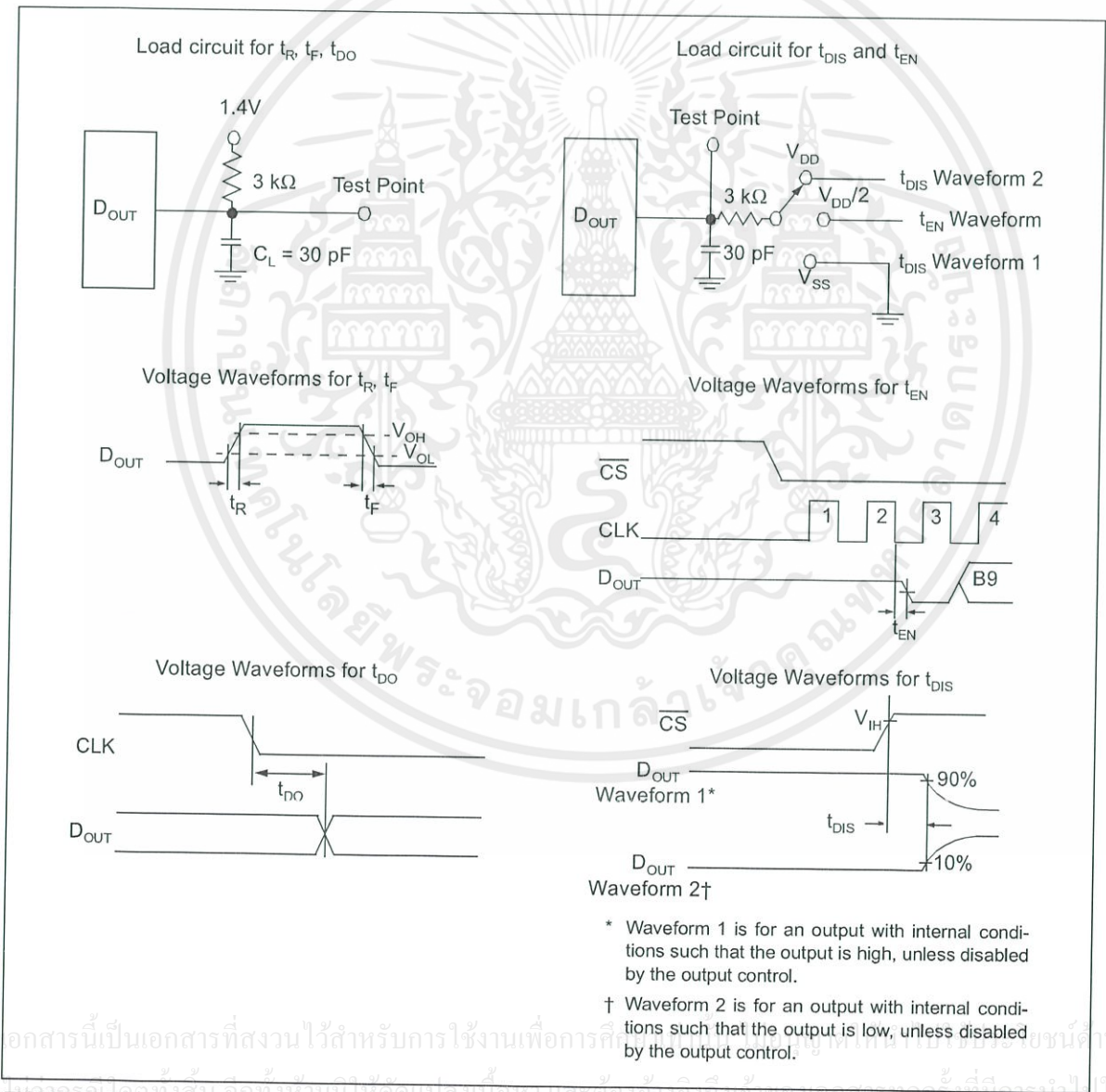


FIGURE 1-2: Test Circuits.

Features

- Wide Range of Digital and Analog Signal Levels
 - Digital 3V to 20V
 - Analog $\leq 20V_{P-P}$
- Low ON Resistance, 125 Ω (Typ) Over 15V_{P-P} Signal Input Range for V_{DD}-V_{EE} = 18V
- High OFF Resistance, Channel Leakage of $\pm 100\text{pA}$ (Typ) at V_{DD}-V_{EE} = 18V
- Logic-Level Conversion for Digital Addressing Signals of 3V to 20V (V_{DD}-V_{SS} = 3V to 20V) to Switch Analog Signals to 20V_{P-P} (V_{DD}-V_{EE} = 20V)
- Matched Switch Characteristics, r_{ON} = 5 Ω (Typ) for V_{DD}-V_{EE} = 15V
- Very Low Quiescent Power Dissipation Under All Digital-Control Input and Supply Conditions, 0.2 μW (Typ) at V_{DD}-V_{SS} = V_{DD}-V_{EE} = 10V
- Binary Address Decoding on Chip
- 5V, 10V, and 15V Parametric Ratings
- 100% Tested for Quiescent Current at 20V
- Maximum Input Current of 1 μA at 18V Over Full Package Temperature Range, 100nA at 18V and 25 $^{\circ}\text{C}$
- Break-Before-Make Switching Eliminates Channel Overlap

Applications

- Analog and Digital Multiplexing and Demultiplexing
- A/D and D/A Conversion
- Signal Gating

CMOS Analog Multiplexers/Demultiplexers with Logic Level Conversion

The CD4051B, CD4052B, and CD4053B analog multiplexers are digitally-controlled analog switches having low ON impedance and very low OFF leakage current. Control of analog signals up to 20V_{P-P} can be achieved by digital signal amplitudes of 4.5V to 20V (if V_{DD}-V_{SS} = 3V, a V_{DD}-V_{EE} of up to 13V can be controlled; for V_{DD}-V_{EE} level differences above 13V, a V_{DD}-V_{SS} of at least 4.5V is required). For example, if V_{DD} = +4.5V, V_{SS} = 0V, and V_{EE} = -13.5V, analog signals from -13.5V to +4.5V can be controlled by digital inputs of 0V to 5V. These multiplexer circuits dissipate extremely low quiescent power over the full V_{DD}-V_{SS} and V_{DD}-V_{EE} supply-voltage ranges, independent of the logic state of the control signals. When a logic "1" is present at the inhibit input terminal, all channels are off.

The CD4051B is a single 8-Channel multiplexer having three binary control inputs; A, B, and C, and an inhibit input. The three binary signals select 1 of 8 channels to be turned on, and connect one of the 8 inputs to the output.

The CD4052B is a differential 4-Channel multiplexer having two binary control inputs, A and B, and an inhibit input. The two binary input signals select 1 of 4 pairs of channels to be turned on and connect the analog inputs to the outputs.

The CD4053B is a triple 2-Channel multiplexer having three separate digital control inputs, A, B, and C, and an inhibit input. Each control input selects one of a pair of channels which are connected in a single-pole, double-throw configuration.

When these devices are used as demultiplexers, the "CHANNEL IN/OUT" terminals are the outputs and the "COMMON OUT/IN" terminals are the inputs.

Ordering Information

PART NUMBER	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE
CD4051BF3A, CD4052BF3A, CD4053BF3A	-55 to 125	16 Ld CERAMIC DIP
CD4051BE, CD4052BE, CD4053BE	-55 to 125	16 Ld PDIP
CD4051BM, CD4051BMT, CD4051BM96, CD4052BM, CD4052BMT, CD4052BM96, CD4053BM, CD4053BMT, CD4053BM96	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD4051BNSR, CD4052BNSR, CD4053BNSR	-55 to 125	16 Ld SOP
CD4051BPW, CD4051BPWR, CD4052BPW, CD4052BPWR, CD4053BPW, CD4053BPWR	-55 to 125	16 Ld TSSOP

NOTE: When ordering, use the entire part number. The suffixes 96 and R denote tape and reel. The suffix T denotes a small-quantity reel of 250.

TRUTH TABLES

INPUT STATES				"ON" CHANNEL(S)
INHIBIT	C	B	A	
CD4051B				
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	X	X	X	None
CD4052B				
INHIBIT	B	A		
0	0	0	0x, 0y	
0	0	1	1x, 1y	
0	1	0	2x, 2y	
0	1	1	3x, 3y	
1	X	X	None	
CD4053B				
INHIBIT	A OR B OR C			
0	0		ax or bx or cx	
0	1		ay or by or cy	
1	X		None	

X = Don't Care

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CD4051B, CD4052B, CD4053B

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage (V+ to V-)
 Voltages Referenced to V_{SS} Terminal -0.5V to 20V
 DC Input Voltage Range -0.5V to V_{DD} +0.5V
 DC Input Current, Any One Input ±10mA

Operating Conditions

Temperature Range -55°C to 125°C

Thermal Information


Package Thermal Impedance, θ_{JA} (see Note 1):
 E (PDIP) package 67°C/W
 M (SOIC) package 73°C/W
 NS (SOP) package 64°C/W
 PW (TSSOP) package 108°C/W
 Maximum Junction Temperature (Ceramic Package) 175°C
 Maximum Junction Temperature (Plastic Package) 150°C
 Maximum Storage Temperature Range -65°C to 150°C
 Maximum Lead Temperature (Soldering 10s) 265°C
 (SOIC - Lead Tips Only)

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

- The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

Electrical Specifications Common Conditions Here: If Whole Table is For the Full Temp. Range, V_{SUPPLY} = ±5V, A_V = +1, R_L = 100Ω, Unless Otherwise Specified (Note 3)

PARAMETER	CONDITIONS				LIMITS AT INDICATED TEMPERATURES (°C)							UNITS	
	V _{IS} (V)	V _{EE} (V)	V _{SS} (V)	V _{DD} (V)	-55	-40	85	125	25				
									MIN	TYP	MAX		
SIGNAL INPUTS (V_{IS}) AND OUTPUTS (V_{OS})													
Quiescent Device Current, I _{DD} Max	-	-	-	5	5	5	150	150	-	0.04	5	μA	
	-	-	-	10	10	10	300	300	-	0.04	10	μA	
	-	-	-	15	20	20	600	600	-	0.04	20	μA	
	-	-	-	20	100	100	3000	3000	-	0.08	100	μA	
Drain to Source ON Resistance r _{ON} Max 0 ≤ V _{IS} ≤ V _{DD}	-	0	0	5	800	850	1200	1300	-	470	1050	Ω	
	-	0	0	10	310	330	520	550	-	180	400	Ω	
	-	0	0	15	200	210	300	320	-	125	240	Ω	
Change in ON Resistance (Between Any Two Channels), Δr _{ON}	-	0	0	5	-	-	-	-	-	15	-	Ω	
	-	0	0	10	-	-	-	-	-	10	-	Ω	
	-	0	0	15	-	-	-	-	-	5	-	Ω	
OFF Channel Leakage Current: Any Channel OFF (Max) or ALL Channels OFF (Common OUT/IN) (Max)	-	0	0	18	±100 (Note 2)		±1000 (Note 2)		-	±0.01	±100 (Note 2)	nA	
Capacitance:	-	-5	5-	5									
Input, C _{IS}					-	-	-	-	-	5	-	pF	
Output, C _{OS}													
CD4051					-	-	-	-	-	30	-	pF	
CD4052					-	-	-	-	-	18	-	pF	
CD4053					-	-	-	-	-	9	-	pF	
Feedthrough C _{IOS}					-	-	-	-	-	0.2	-	pF	
Propagation Delay Time (Signal Input to Output)		R _L = 200kΩ, C _L = 50pF, t _r , t _f = 20ns	5	30	60	ns							
			10	15	30	ns							
			15	10	20	ns							

CD4051B, CD4052B, CD4053B

Electrical Specifications Common Conditions Here: If Whole Table is For the Full Temp. Range, $V_{SUPPLY} = \pm 5V$, $A_V = +1$, $R_L = 100\Omega$, Unless Otherwise Specified **(Continued)** (Note 3)

PARAMETER	CONDITIONS				LIMITS AT INDICATED TEMPERATURES (°C)							UNITS
	V_{IS} (V)	V_{EE} (V)	V_{SS} (V)	V_{DD} (V)	-55	-40	85	125	25			
									MIN	TYP	MAX	
CONTROL (ADDRESS OR INHIBIT), V_C												
Input Low Voltage, V_{IL} , Max	$V_{IL} = V_{DD}$ through 1k Ω ; $V_{IH} = V_{DD}$ through 1k Ω	$V_{EE} = V_{SS}$, $R_L = 1k\Omega$ to V_{SS} , $I_{IS} < 2\mu A$ on All OFF Channels	5	1.5	1.5	1.5	1.5	-	-	1.5	V	
			10	3	3	3	3	-	-	3	V	
			15	4	4	4	4	-	-	4	V	
Input High Voltage, V_{IH} , Min			5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	-	-	V	
			10	7	7	7	7	7	-	-	V	
			15	11	11	11	11	11	-	-	V	
Input Current, I_{IN} (Max)	$V_{IN} = 0, 18$		18	± 0.1	± 0.1	± 1	± 1	-	$\pm 10^{-5}$	± 0.1	μA	
Propagation Delay Time: Address-to-Signal OUT (Channels ON or OFF) See Figures 10, 11, 14	$t_r, t_f = 20ns$, $C_L = 50pF$, $R_L = 10k\Omega$	0	0	5	-	-	-	-	-	450	720	ns
		0	0	10	-	-	-	-	-	160	320	ns
		0	0	15	-	-	-	-	-	120	240	ns
		-5	0	5	-	-	-	-	-	225	450	ns
Propagation Delay Time: Inhibit-to-Signal OUT (Channel Turning ON) See Figure 11	$t_r, t_f = 20ns$, $C_L = 50pF$, $R_L = 1k\Omega$	0	0	5	-	-	-	-	-	400	720	ns
		0	0	10	-	-	-	-	-	160	320	ns
		0	0	15	-	-	-	-	-	120	240	ns
		-10	0	5	-	-	-	-	-	200	400	ns
Propagation Delay Time: Inhibit-to-Signal OUT (Channel Turning OFF) See Figure 15	$t_r, t_f = 20ns$, $C_L = 50pF$, $R_L = 10k\Omega$	0	0	5	-	-	-	-	-	200	450	ns
		0	0	10	-	-	-	-	-	90	210	ns
		0	0	15	-	-	-	-	-	70	160	ns
		-10	0	5	-	-	-	-	-	130	300	ns
Input Capacitance, C_{IN} (Any Address or Inhibit Input)				-	-	-	-	-	5	7.5	pF	

NOTE:

- Determined by minimum feasible leakage measurement for automatic testing.

Electrical Specifications

PARAMETER	TEST CONDITIONS			LIMITS	UNITS		
	V_{IS} (V)	V_{DD} (V)	R_L (k Ω)			TYP	
Cutoff (-3dB) Frequency Channel ON (Sine Wave Input)	5 (Note 3)	10	1	V_{OS} at Common OUT/IN	CD4053	30	MHz
	$V_{EE} = V_{SS}$, $20 \log \frac{V_{OS}}{V_{IS}} = -3dB$				CD4052	25	MHz
					CD4051	20	MHz
				V_{OS} at Any Channel	60	MHz	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CD4051B, CD4052B, CD4053B

Electrical Specifications

PARAMETER	TEST CONDITIONS			LIMITS			
	V _{IS} (V)	V _{DD} (V)	R _L (kΩ)	TYP	UNITS		
Total Harmonic Distortion, THD	2 (Note 3)	5	10	0.3	%		
	3 (Note 3)	10		0.2	%		
	5 (Note 3)	15	0.12	%			
	V _{EE} = V _{SS} , f _{IS} = 1kHz Sine Wave			%			
-40dB Feedthrough Frequency (All Channels OFF)	5 (Note 3)	10	1	V _{OS} at Common OUT/IN	CD4053	8	MHz
	V _{EE} = V _{SS} , 20Log $\frac{V_{OS}}{V_{IS}} = -40\text{dB}$			V _{OS} at Any Channel	CD4052	10	MHz
					CD4051	12	MHz
						8	MHz
-40dB Signal Crosstalk Frequency	5 (Note 3)	10	1	Between Any 2 Channels		3	MHz
	V _{EE} = V _{SS} , 20Log $\frac{V_{OS}}{V_{IS}} = -40\text{dB}$			Between Sections, CD4052 Only	Measured on Common	6	MHz
					Measured on Any Channel	10	MHz
				Between Any Two Sections, CD4053 Only	In Pin 2, Out Pin 14	2.5	MHz
					In Pin 15, Out Pin 14	6	MHz
Address-or-Inhibit-to-Signal Crosstalk	-	10	10 (Note 4)			65	mV _{PEAK}
	V _{EE} = 0, V _{SS} = 0, t _r , t _f = 20ns, V _{CC} = V _{DD} - V _{SS} (Square Wave)					65	mV _{PEAK}

NOTES:

- Peak-to-Peak voltage symmetrical about $\frac{V_{DD} - V_{EE}}{2}$
- Both ends of channel.

Typical Performance Curves

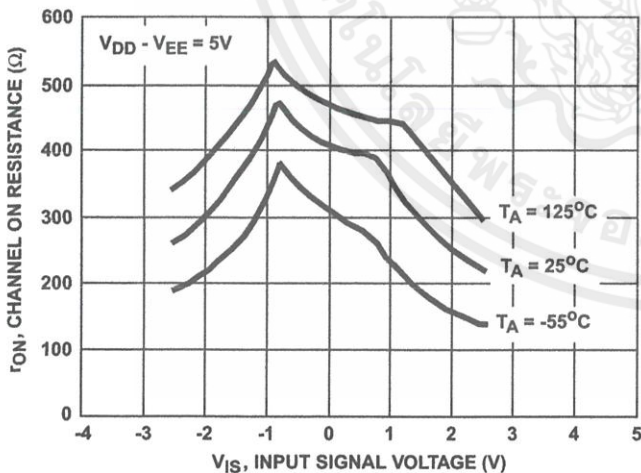


FIGURE 1. CHANNEL ON RESISTANCE vs INPUT SIGNAL VOLTAGE (ALL TYPES)

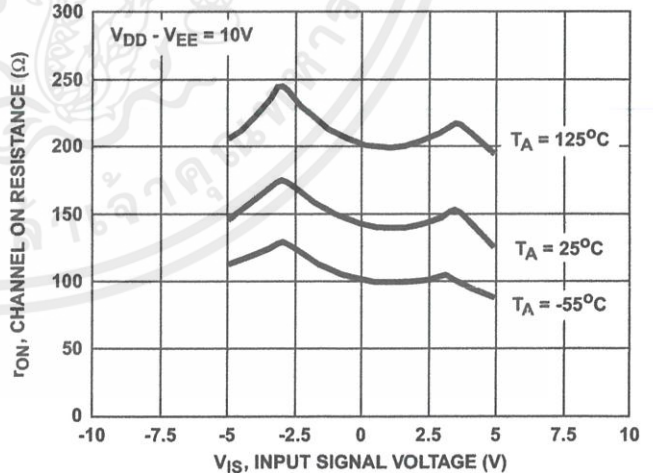


FIGURE 2. CHANNEL ON RESISTANCE vs INPUT SIGNAL VOLTAGE (ALL TYPES)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear $+ 10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55° to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for $1\ \text{mA}$ load

Typical Applications

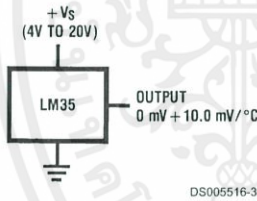
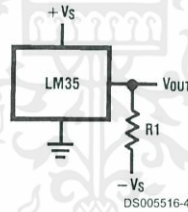


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor ($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)



Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.:	
TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C

Lead Temp.:	
TO-46 Package,	300°C
(Soldering, 10 seconds)	

TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	$+10.0$	$+9.9,$ $+10.1$		$+10.0$		$+9.9,$ $+10.1$	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.5		± 3.0	± 0.5		± 3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4V \leq V_S \leq 30V$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_S = +5V$	105		131	91		114	μA
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_S = +30V$	105.5		133	91.5		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	$4V \leq V_S \leq 30V$	0.5		2.0	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		$+0.39$		$+0.5$	$+0.39$		$+0.5$	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of <i>Figure 1</i> , $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.5			± 0.5		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	± 0.8	± 1.5		± 0.8		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.8		± 1.5	± 0.8		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				± 0.6	± 1.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.3		± 0.5	± 0.2		± 0.5	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	+10.0	+9.8, +10.2		+10.0		+9.8, +10.2	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 2.0		± 0.4	± 2.0		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.5		± 5.0	± 0.5		± 5.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.1		± 0.01	± 0.1		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± 0.02		± 0.2	± 0.02		± 0.2	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	80		56	80		μA
	$V_S = +5\text{V}$	105		158	91		138	μA
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82		μA
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		161	91.5		141	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		μA
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		3.0	0.5		3.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.7	+0.39		+0.7	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of <i>Figure 1</i> , $I_L = 0$	$+1.5$		$+2.0$	$+1.5$		$+2.0$	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}$ for the LM35D. $V_S = +5\text{Vdc}$ and $I_{\text{LOAD}} = 50 \mu\text{A}$, in the circuit of *Figure 2*. These specifications also apply from $+2^\circ\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of *Figure 1*. Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is 400°C/W , junction to ambient, and 24°C/W junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is 180°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is 220°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is 90°C/W junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and $10\text{mv}/^\circ\text{C}$ times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in $^\circ\text{C}$).

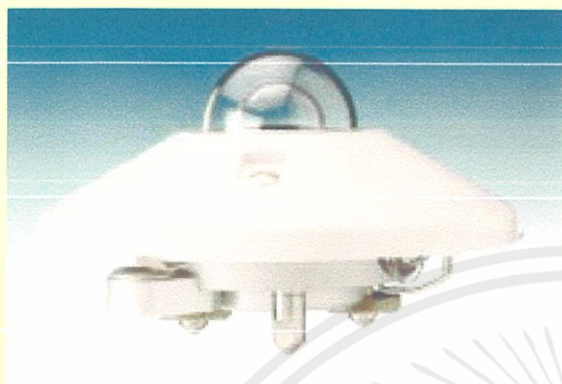
Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of *Figure 1*.

Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a $1.5 \text{ k}\Omega$ resistor.

Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.



***For high accuracy solar
radiation measurement
research ...***

The CM11 pyranometer is intended for high accuracy total global, or diffuse sky, solar radiation measurement research on a plane/level surface.

The CM11 is fully compliant with the ISO-9060 Secondary Standard pyranometer performance category (highest ISO performance criteria for a pyranometer). Instrument cosine response and temperature dependence are verified and documented upon instrument manufacture. Extremely high mechanical tolerances are maintained during manufacture to ensure optimal measurement performance in the field.

The CM11 houses a second built-in complimentary sensing element (temperature compensation element), in addition to the black receiving element/detector. Calibrated to identical sensitivity as the receiving detector, the compensation element is connected in anti-series to the receiving detector. Instrument output signal is measured across the entire anti-series circuit. Any change in body temperature, due to thermal shock or temperature gradient effect, are quickly detected by the built-in compensation element, and an offset correction signal is applied to the instrument output signal.

The receiving element is coated with a highly stable carbon based non-organic coating, which delivers excellent spectral absorption and long term stability characteristics. The sensing element is housed under two concentric fitting Schott K5 glass domes.

Additional CM11 features include an integrated built-in bubble level, reusable desiccant drying cartridge, white sunscreen, and a permanently attached shielded output signal cable.

The CM11 can be used in conjunction with the optional Kipp & Zonen CV2 ventilation system, for enhanced measurement performance and overall reduced instrument maintenance.

CM11 Features & Benefits

- low dome thermal offset error
- excellent cosine/directional response
- excellent long term stability of sensitivity
- excellent linearity performance

CM11 Pyranometer Specifications:

Spectral range	305 – 2800 nm (50% points)
Sensitivity	4 - 6 $\mu\text{V/W/m}^2$
Impedance (nominal)	700 - 1500 Ω
Response time (95%)	15 sec.
Non-linearity	$< \pm 0.6\%$ ($< 1000 \text{ W/m}^2$)
Temp. dependence of sensitivity	$< \pm 1\%$ (-10 to +40°C)
Directional error	$< \pm 10 \text{ W/m}^2$ (beam 1000 W/m^2)
Tilt error	None
Zero-offset due to temp. changes	$< \pm 2 \text{ W/m}^2$ at 5 K/h temp. change
Operating temperature	-40°C to +80°C
ISO-9060 Class	Secondary Standard
Dimensions W x H	150.0 mm x 91.5 mm
Weight	850 grams
Cable length	10 m