

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบตรวจสอบสภาพอากาศในเรือนเพาะปลูกแบบไร้สาย

WIRELESS ENVIRONMENT SENSOR SYSTEM IN GREENHOUSE



โดย
นายธนรัตน์ เดชพล
นางสาวนภา เตรียมปราบศึก

ร.พ.
ค.1528
9550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 82464
วัน,เดือน,ปี..... 11 ก.ค. 2551

**ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550**

41946301
b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจสอบสภาพอากาศในเรือนเพาะปลูกแบบไร้สาย

WIRELESS ENVIRONMENT SENSOR SYSTEM IN GREENHOUSE

โดย

นาย ชนรัตน์ เฉลิม รหัส 47010306

นางสาว นภา เจริญปราบศึก รหัส 47010360

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์

ปริญญานิพนธ์นี้สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2550

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบตรวจสอบสภาพอากาศในเรือนเพาะปลูกแบบไร้สาย

ผู้จัดทำ นาย ธนรัตน์ เดชพละ รหัส 47010306

นางสาว นภา เตรียมปราบศึก รหัส 47010360



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. สุรพันธุ์ เอื้อไพบูรณ์)

วันที่ 14/5/51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจสอบสภาพอากาศในเรือนเพาะปลูกแบบไร้สาย

นาย ชนรัตน์ เดชพละ รหัส 47010306
นางสาว นภา เตรียมปราบศึก รหัส 47010360
รศ.ดร. สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบตรวจสอบสภาพอากาศภายในเรือนเพาะปลูก โดยทำการส่งค่าข้อมูลความชื้นของอากาศ ซึ่งจะส่งข้อมูลโดยวิธีการมอดูเลชันเชิงความถี่โดยใช้ TRW-2.4GHz เป็นโมดูลรับ - ส่งข้อมูลไปยังเครื่องรับ แล้วจะนำไปประมวลผลด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อบันทึกข้อมูล และแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต DB-9 จากนั้น จะนำค่าที่ได้ไปทำการตรวจสอบสภาพความชื้นของอากาศรวมไปถึงอุณหภูมิภายในเรือนเพาะปลูก แล้วทำการปรับสภาพภายในเรือนเพาะปลูกเพื่อให้ความเหมาะสม เช่น สั่งให้รดน้ำแปลง เพาะปลูก ปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมโดยให้พัดลมหมุนระบายอากาศ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WIRELESS ENVIRONMENT SENSOR SYETEM IN GREENHOUSE

Mr. Thanarat Dejphala ID. 47010306

Miss. Napha Triamprabsuk ID. 47010360

Assist. Prof. Dr. Surapan Airphaiboon

Advisor Educational Year 2007

Abstract

This project is designed and constructed wireless environment sensor system in greenhouse. This system is designed for measure and transfer data that compose of humidity and temperature in greenhouse via wireless system. The system will transfer data by Frequency shift keying modulation, using a module TRW 2.4GHz and data processing unit using microcontroller for processing. Then the data will be memorized and displayed on microcomputer via DB-9 port. After that, system will compare the data with a set up standard then change condition of environment by adjusting equipments in greenhouse such as operating the sprinkle or electric fan.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือจากหลายบุคคล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รศ.ดร. สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์ ที่คอยให้คำปรึกษา และคำแนะนำ และเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยช่วยในการปฏิบัติงาน ได้เป็นอย่างดีมาโดยตลอด

จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

ผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อไทย	I
บทคัดย่ออังกฤษ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 การมอดูเลชันแบบดิจิทัล (Digital modulation)	2
2.1.1 การเปลี่ยนความถี่ตามสัญญาณดิจิทัล (Frequency Shift Keying: FSK)	2
2.1.2 การเปลี่ยนความถี่ตามสัญญาณดิจิทัลแบบเกาส์เซียน (Gaussian Frequency shift keying: GFSK)	4
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)	5
2.2.1 ไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์	5
2.2.2 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-52 โดยบริษัทอินเทล เบอร์ 89C52	6
2.2.3 หน่วยความจำภายในชิพ	6
2.2.4 พอร์ตของ 8052	8
2.3 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และความชื้น SHT15	11
2.3.1 วิธีการเชื่อมต่อของเซนเซอร์ SHT15	11
2.3.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้า	13
2.4 การสื่อสารแบบอนุกรม	14
2.4.1 การสื่อสารอนุกรมแบบ RS-232	15
2.4.2 รูปแบบการรับส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส	15
2.4.3 อัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส	17
2.4.4 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ	17
2.4.5 การเชื่อมต่อไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อรับส่งข้อมูลอนุกรม	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6	ลักษณะ สัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของพอร์ต RS-232	19
2.4.7	แอคเครสของพอร์ตอนุกรม	20
2.5	ความชื้นในอากาศ	21
2.5.1	ความชื้นสัมบูรณ์	21
2.5.2	ความชื้นสัมพัทธ์	21
2.6	อุณหภูมิ	21
บทที่ 3	การออกแบบและการสร้างวงจร	22
3.1	วงจรการส่งและการตั้งการของโมดูลในส่วนเครื่องส่ง	22
3.2	ตัวส่ง (Transmitter)	26
3.2.1	โมดูลรับส่งสัญญาณ (TRW-2.4 G Transceiver modules)	26
3.3	เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และความชื้น SHT15	27
3.3.1	การเปลี่ยน Output ให้มีค่าทางกายภาพ	28
3.4	วงจรการรับและการตั้งการของโมดูลในส่วนเครื่องรับ	29
3.5	ส่วนของการแสดงผล ควบคุมและบันทึกข้อมูล (Display Controller and Saving)	32
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง	33
4.1	วงจรเครื่องส่ง	33
4.1.1	โมดูลส่งข้อมูล	33
4.1.2	เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและการควบคุมเนื่องจากอุณหภูมิ	35
4.2	วงจรเครื่องรับ	39
4.2.1	โมดูลตัวรับ	39
4.2.2	ส่วนการตรวจวัดความชื้นของอากาศและการควบคุมแอลอีดีเนื่องจากความชื้นของอากาศ	45
บทที่ 5	สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	48
5.1	สรุปผลการทดลอง	48
5.2	ปัญหาที่พบ	49
5.3	การแก้ปัญหา	49
5.4	แนวทางการนำไปพัฒนาต่อ	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ	51
หนังสืออ้างอิง	52
ภาคผนวก	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

บทที่ 2

รูปที่ 2.1	แสดงหลักการทำงานของ FSK	2
รูปที่ 2.2	รูปคลื่นของการมอดูเลตแบบ FSK	3
รูปที่ 2.3	รูปการมอดูเลตแลคซีมอดูเลตแบบ GFSK	4
รูปที่ 2.3(ก)	แสดงการมอดูเลตแบบ GFSK	4
รูปที่ 2.3(ข)	แสดงการคีมอดูเลตแบบ GFSK	5
รูปที่ 2.4	โครงสร้างภายใน 8052	7
รูปที่ 2.5	การจัดวางขาของ 8052	7
รูปที่ 2.6	แสดงโครงสร้าง พอร์ต 0 (บิต)	8
รูปที่ 2.7	โครงสร้างของพอร์ต 1 (บิต)	9
รูปที่ 2.8	โครงสร้างของพอร์ต 2 (บิต)	9
รูปที่ 2.9	โครงสร้างของพอร์ต 3 (บิต)	10
รูปที่ 2.10	Block Diagram ภายเซนเซอร์ SHT15	11
รูปที่ 2.11	แสดงวิธีการใช้งานของเซนเซอร์ SHT15 โดยทั่วไป	11
รูปที่ 2.12	ลำดับของข้อมูลที่ส่งคำสั่ง	12
รูปที่ 2.13	แสดงการทำงานลำดับขั้นตอนการวัด	12
รูปที่ 2.14	แสดงรูปสัญญาณการเริ่มต้นการเชื่อมต่อ	13
รูปที่ 2.15	แสดงรูปแบบสัญญาณในการทำงานของเซนเซอร์	13
รูปที่ 2.16	แสดงไหม้มีงโคอะแกรม	14
รูปที่ 2.17	รูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอซิงโครนัส	16
รูปที่ 2.18	แสดงการจัดขาสัญญาณของ DB-9 ตัวผู้ และ ตัวเมีย และหน้าที่การทำงาน	17
รูปที่ 2.19	การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมในรูปแบบต่างๆ	18
รูปที่ 2.20	การทำงานภายในของขาสัญญาณต่างๆของพอร์ตอนุกรม	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

รูปที่ 3.1	บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนของเครื่องส่ง	22
รูปที่ 3.2	วงจรตัวส่งสัญญาณ	24
รูปที่ 3.3	แผนภูมิ แสดงโปรแกรมควบคุมการทำงานของ โมดูลฝั่งส่ง	25
รูปที่ 3.4	ลักษณะภายนอกของ โมดูล TRW-2.4G	26
รูปที่ 3.5	แสดงลักษณะ โครงสร้างที่แยกส่วนของช่องสัญญาณ 2 ช่องในตัวเอง	27
รูปที่ 3.6	บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนของเครื่องรับ	29
รูปที่ 3.7	วงจรส่วนเครื่องรับ	30
รูปที่ 3.8	แผนภูมิแสดง โปรแกรมควบคุมการทำงานของ โมดูลฝั่งรับ	31
รูปที่ 3.9	แสดงหน้าต่างแสดงสถานะโปรแกรม	32

บทที่ 4

รูปที่ 4.1	สัญญาณของขา CE ของเครื่องส่ง เมื่อตรวจวัดด้วย Oscilloscope	33
รูปที่ 4.2	สัญญาณของขา CLK1 ของเครื่องส่ง เมื่อตรวจวัดด้วย Oscilloscope	34
รูปที่ 4.3	สัญญาณของขา DATE ของเครื่องส่ง เมื่อตรวจวัดด้วย Oscilloscope	34
รูปที่ 4.4	แสดงรูปภาพที่ได้จากเซ็นเซอร์ครั้งที่ 1	36
รูปที่ 4.5	แสดงรูปภาพที่ได้จากเซ็นเซอร์ครั้งที่ 2	37
รูปที่ 4.6	กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้กับค่าอ้างอิง โดยวัดจากเทอร์โมมิเตอร์	39
รูปที่ 4.7	สัญญาณของขา CS ของเครื่องรับ เมื่อตรวจวัดด้วย Oscilloscope	40
รูปที่ 4.8	สัญญาณของขา CE ของเครื่องรับ เมื่อตรวจวัดด้วย Oscilloscope	41
รูปที่ 4.9	สัญญาณของขา CLK1 ของเครื่องรับ เมื่อตรวจวัดด้วย Oscilloscope	41
รูปที่ 4.10	สัญญาณของขา DATE ของเครื่องรับ เมื่อตรวจวัดด้วย Oscilloscope	42
รูปที่ 4.11	สัญญาณของขา DR1 ของเครื่องรับ เมื่อตรวจวัดด้วย Oscilloscope	42
รูปที่ 4.12	สัญญาณของขา CLK2 ของเครื่องรับ เมื่อตรวจวัดด้วย Oscilloscope	43
รูปที่ 4.13	สัญญาณของขา DOUT2 ของเครื่องรับ เมื่อตรวจวัดด้วย Oscilloscope	43
รูปที่ 4.14	สัญญาณของขา DR2 ของเครื่องรับ เมื่อตรวจวัดด้วย Oscilloscope	44
รูปที่ 4.15	แสดงรูปตัวอย่างหน้าจอแสดงผล	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

บทที่ 2

ตารางที่ 2.1	คุณสมบัติทางไฟฟ้า	13
ตารางที่ 2.2	คุณสมบัติของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต	14
ตารางที่ 2.3	แสดงแอดแครสฐานและหน่วยความจำที่เก็บแอดแครสฐาน ของพอร์ตอนุกรม	20

บทที่ 3

ตารางที่ 3.1	แสดงคุณสมบัติของเซ็นเซอร์	27
--------------	---------------------------	----

บทที่ 4

ตารางที่ 4.1	แสดงผลการทดลองวัดอุณหภูมิ ตั้งแต่ 25 – 40 องศาเซลเซียส	37
ตารางที่ 4.2	แสดงผลการทดลองวัดความชื้นในอากาศที่ได้ค่าจากจอกคอมพิวเตอร์	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

ระบบตรวจสอบสภาพอากาศในเรือนเพาะปลูกแบบไร้สาย

Wireless environment sensor system in greenhouse

บทนำ

เนื่องจากประชากรของประเทศส่วนใหญ่มีอาชีพเกษตรกร การทำเกษตรกรรมจึงเป็นรากฐานที่สำคัญของประเทศไทย เราสามารถนำเทคโนโลยีไร้สาย ซึ่งเป็นที่นิยมแพร่หลายในงานด้านต่างๆ มาประยุกต์ใช้ ช่วยให้การทำการเกษตรมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทุนเวลา และงบประมาณ นอกจากนี้จะเป็นการใช้ความรู้มาพัฒนาอุปกรณ์และระบบทางเทคโนโลยีสื่อสารแล้ว ยังเป็นการช่วยพัฒนาประเทศได้อีกวิธีหนึ่ง ซึ่งเป็นที่มาของโครงการเครื่องตรวจสอบสภาพอากาศในเรือนเพาะปลูกแบบไร้สาย ข้อมูลคุณภาพอากาศนั้นจะ ได้มาจากอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่ประกอบด้วย เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อมภายในเรือนเพาะปลูก และเซ็นเซอร์วัดความชื้นของอากาศ

ในโครงการนี้ผู้พัฒนาได้เลือกใช้ MSC-52 เป็นอุปกรณ์ประมวลผลซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีประสิทธิภาพและราคาข่อมเยา รวมทั้งมีหน่วยความจำโปรแกรมภายในแบบแฟลช ที่สามารถลบและเขียนใหม่ได้หลายพันครั้ง ทำให้สะดวกต่อการพัฒนา โดยผู้พัฒนาใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการเขียนและควบคุมการทำงานของระบบต่างๆ รวมไปถึงควบคุมในส่วนของการแสดงผลและควบคุมระบบทางหน้าจอกอมพิวเตอร์อีกด้วย

การรับส่งสัญญาณแบบไร้สายในโครงการนี้จะใช้วิธีการส่งสัญญาณมอดูเลตแบบ FSK (Frequency Shift Keying) โดยจะใช้โมดูลเป็นตัวส่งสัญญาณ โดยจะทำงานแทนสัญญาณดิจิทัลซึ่งมีค่า 0 กับ 1 โดยในตัวโมดูลจะทำการส่งข้อมูลโดยการจัดข้อมูลที่ได้จากการมอดูเลตให้เป็นเฟรมเพื่อส่งออกไปเป็นแพ็คเก็ตด้วยความเร็วที่เราสามารถโปรแกรมได้คือ 250 kbps หรือ 1 Mbps ซึ่งผู้ทำโครงการนี้เลือกที่จะโปรแกรมให้มีความเร็วเท่ากับ 250 kbps เพื่อใช้ในโครงการนี้เนื่องจากสามารถส่งข้อมูลได้ไกลกว่าความเร็ว 1 Mbps โดยจะเหมาะกับลักษณะงานที่จะนำโครงการนี้ไปใช้

ดังนั้นปริยญาณิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอภาพรวม วิธีการออกแบบและการคำนวณ เครื่องตรวจสอบสภาพอากาศในเรือนเพาะปลูกแบบไร้สาย

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

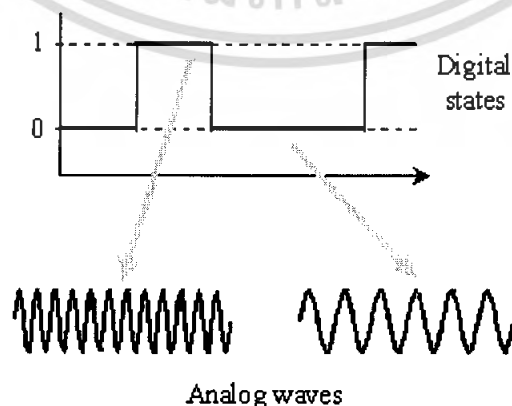
2.1 การมอดูเลชันแบบดิจิทัล (Digital modulation)

คำนำ

การสื่อสารในปัจจุบันได้นิยมนำเอาการมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิทัลมอดูเลชัน (Digital Modulation) มาใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากระบบดิจิทัลให้ค่าความแน่นอนน่าเชื่อถือสูงกว่าระบบอนาล็อก (Analog System) และมีการรบกวนจากสัญญาณรบกวน (Noise) ต่ำ ซึ่งในปัจจุบัน อุปกรณ์ด้านระบบดิจิทัลได้มีการพัฒนาก้าวหน้าไปมาก ทำให้ต้นทุนในการผลิตลดต่ำลง นอกจากนี้ การมอดูเลตแบบดิจิทัลยังสามารถทำการเข้ารหัส (Encoder) ก่อนทำการมอดูเลตแล้วทำการถอดรหัส (Decoder) หลังการมอดูเลตทำให้การส่งข้อมูลมีการผิดพลาดน้อยลง ในการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัล ที่นิยมใช้กันชนิดหนึ่งก็คือ การเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณดิจิทัล (Frequency Shift Keying:FSK)

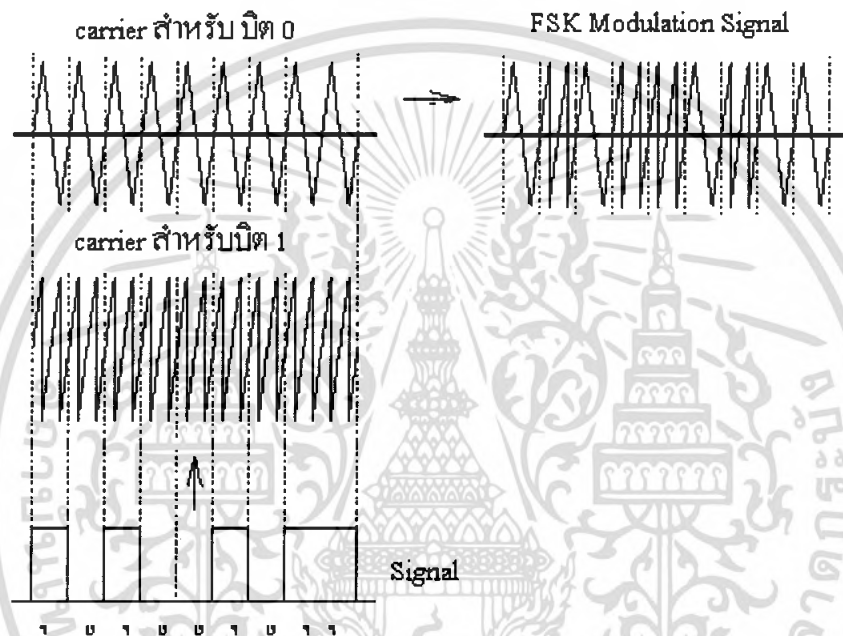
2.1.1 การเปลี่ยนความถี่ตามสัญญาณดิจิทัล (Frequency Shift Keying: FSK)

วิธีการ FSK นี้คือใช้ความถี่ของเสียงสองความถี่สำหรับแทนสัญญาณ ลอจิก “1” และลอจิก “0” ฝ่ายรับก็พยายามจับเอาสองความถี่ที่นำมาแปลงเป็นสัญญาณลอจิกกลับคืน ความถี่ของเสียงทั้งสองเสียงต้องห่างกันพอที่จะแยกออกจากกันได้โดยวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ และก็จะต้องไม่ห่างเกินจนตกขอบของความสามารถของตัวกลางที่จะนำพาไปได้ ดังรูปที่ 2.1 แสดงหลักการทำงานของ FSK



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.1 แสดงหลักการทำงานของ FSK ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากวิธีการนี้สัญญาณดิจิทัลจะควบคุมความถี่ของสัญญาณที่ได้จากวงจรมอดูเลชัน โดยรูปคลื่นจะมีความถี่สูงเมื่อระดับสัญญาณดิจิทัลเป็น “1” และมีความถี่ต่ำเมื่อระดับสัญญาณเป็น “0” ซึ่งมีอัตราการส่งข้อมูลต่ำพอๆกับวิธีการASK - มีข้อดีเหมือนกัน แต่ทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้สูงกว่า



รูปที่ 2.2 รูปคลื่นของการมอดูเลตแบบ FSK

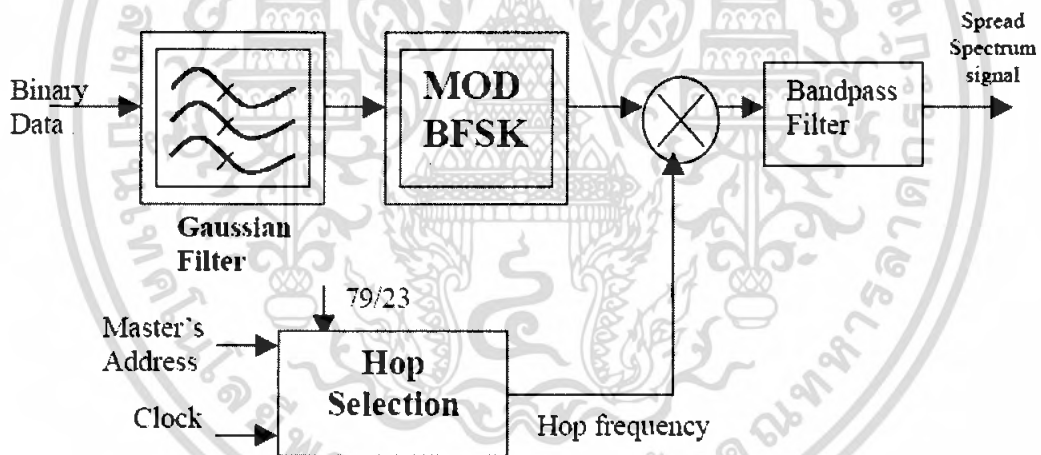
เนื่องจากแถบความถี่คลื่นที่สายโทรศัพท์ยอมให้ผ่านไปได้อยู่ในช่วง 300 เฮิรตซ์ ถึง 3400 เฮิรตซ์ จึงสามารถแบ่งความถี่ในย่านนั้นออกเป็น 4 คลื่นเสียงที่สำคัญ สำหรับสถานีส่งสองเสียง สถานีรับสองเสียงเนื่องจากต้องการให้การติดต่อเป็นแบบฟูลดูเพล็กซ์ คือ ทั้งรับและส่งได้ในเวลาเดียวกัน จำเป็นจะต้องแยกสถานีออกเป็นสองฝ่าย ออร์จินหรือฝ่ายเริ่มการติดต่อ และอีกฝ่ายเรียกว่า คำตอบ (Answer) จะต้องใช้ความถี่อีกสองความถี่ที่แตกต่างไปจากฝ่ายส่ง (เพื่อป้องกันการรบกวนกันเอง) สำหรับแทนสัญญาณลอจิก “0” และ “1” เช่นเดียวกันจะได้รับและส่งในเวลาเดียวกันเป็น ฟูลดูเพล็กซ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การเปลี่ยนความถี่ตามสัญญาณดิจิทัลของแบบเกาต์เซียน(Gaussian Frequency shift keying: GFSK)

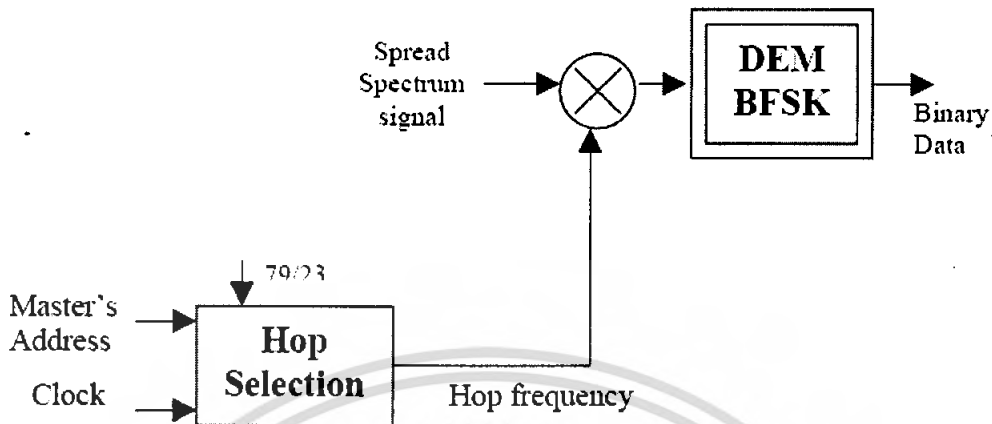
GFSK พัฒนามาจากเทคนิคการมอดูเลตแบบ FSK เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แบนด์วิดท์ โดยข้อเสียของการมอดูเลชันแบบ FSK ก็คือ ในขณะที่ข้อมูลเปลี่ยน จาก 0 เป็น 1 หรือ 1 เป็น 0 จะเกิดการเปลี่ยนเฟสของสัญญาณคลื่นพาห์ อย่างรวดเร็ว อาจจะมีสูงหรือต่ำลง ซึ่งก็จะมีผลทำให้ความถี่คลื่นพาห์ จริงสูงกว่า หรือ ต่ำกว่า f_0 หรือ f_1 ที่กำหนดไว้ นั่นก็คือจะทำให้ bandwidth ที่ได้กว้างขึ้นทำให้ได้ช่องสัญญาณในการส่งที่น้อย

ดังนั้นจึงลดปัญหาดังกล่าวคือการนำเอาสัญญาณข้อมูลที่จะไปทำการมอดูเลตแบบ FSK ผ่านวงจรกรองแบบเกาส์(Gaussian Filter)ก่อน ซึ่งจะทำให้การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณข้อมูล เป็นแบบค่อยๆ ขึ้น หรือ ค่อยๆ ลง โดยมีความโค้งเป็นแบบ Gaussian pulse จากนั้นจึงค่อยนำไปมอดูเลตแบบ FSK ก็ทำให้ bandwidth ที่ได้แคบลงเมื่อเทียบกับการมอดูเลตแบบ FSK และจะทำให้ได้อัตราการส่งข้อมูลสูงขึ้น โดยมีสัญญาณดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3(ก) แสดงการมอดูเลตแบบ GFSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3(ข) แสดงการคิ่มอดคูเลตแบบ GFSK

รูปที่ 2.3 รูปการมอดคูเลตแลคิ่มอดคูเลตแบบ GFSK

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในงานด้านต่างๆเช่น

- เครื่องใช้ในบ้าน เช่น เครื่องซักผ้า เตอบนไมโครเวฟ กล้องถ่ายรูป
- ในสถานที่ทำงานเช่น แฟกซ์, เลเซอร์, พรินเตอร์
- ในรถยนต์ เช่น ถุงลมนิรภัย(Air Bag), เอ บี เอส และกล่องควบคุมหัวฉีด

2.2.1 ไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครโปรเซสเซอร์ หมายถึง จุดประสงค์ทั่วไปของไมโครโปรเซสเซอร์ (General-Purpose Microprocessor) เช่น Z-801,8086,80286,80486 และ เพนเทียม ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วนี้ภายในชิพไม่มี แรม (Random Access Memory : RAM),รอม (Read Only Memory : RAM), พอร์ตอินพุทและเอาต์พุท (I/O Port), ไทม์เมอร์, พอร์ตอนุกรม (Serial Port)

ซึ่งเกิดไมโครคอนโทรลเลอร์ คือการนำเอา แรม, รอม, พอร์ตอินพุทและเอาต์พุท, ไทม์เมอร์, พอร์ตอนุกรม มาใส่เข้าไปในชิพ ทำให้ขนาดเล็กลงมากมีผู้ผลิตออกมาหลายราย เช่น อินเทล, แอตเมล, ฟิลิปส์, ซีเมนส์, คัลลิส เซมิคอนดักเตอร์

2.2.2 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-52 โดยบริษัทอินเทล เบอร์ 89C52

- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ +5 โวลต์
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (Program Memory) ขนาด 4 กิโลไบต์
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data Memory) ขนาด 128 ไบต์
- หน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมและข้อมูลแยกจากกันอย่างละ 64 กิโลไบต์
- มีไทม์เมอร์ และเคาน์เตอร์ ขนาด 16 บิต 2 ชุด (สำหรับ 8052 มี 3 ชุด) ทำงานได้ 4

โหมด

- รับอินเตอร์รัพท์ได้ 6 แหล่ง 5 เวกเตอร์ สำหรับเบอร์ 8052 ขึ้นไปมี 8 แหล่ง 6 เวกเตอร์
- มีพอร์ตรับส่งข้อมูลอนุกรม (UART) 2 พอร์ตแบบ ฟูลดูเพล็กซ์ เลือกรูปแบบได้ 4 โหมด
- มีคำสั่งในการทำ AND, OR หรือ Complement ได้ทั้งแบบ 8 บิต และ 1 บิต

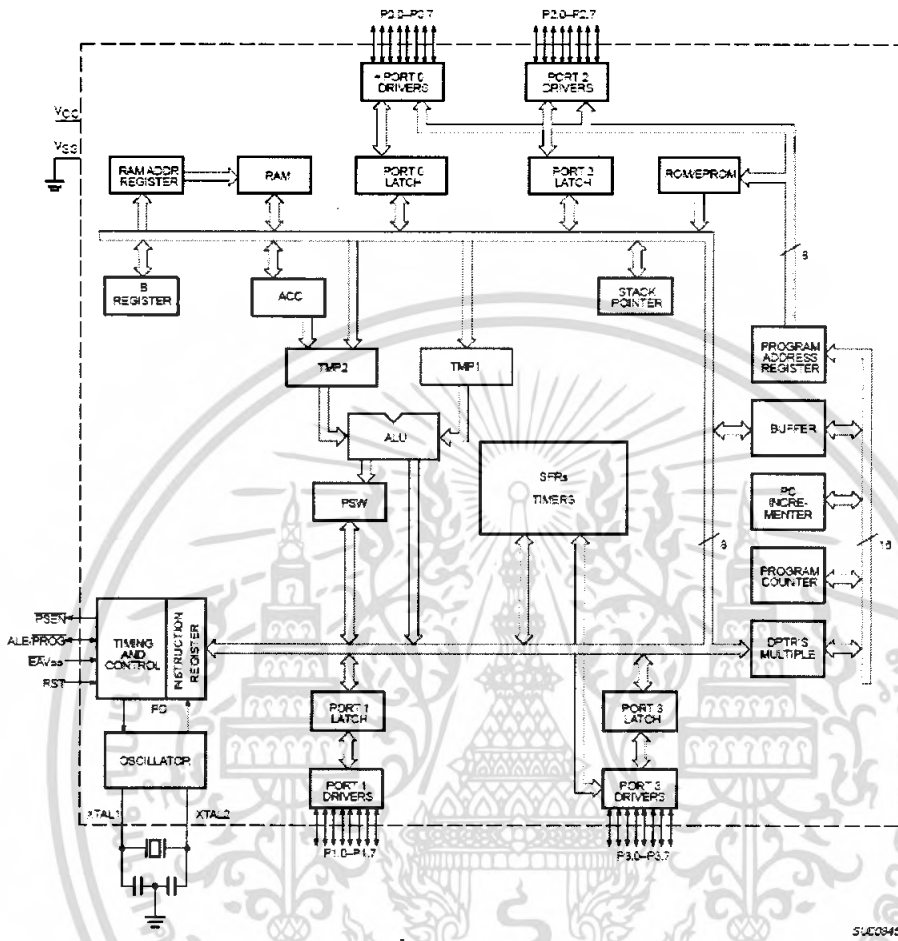
2.2.3 หน่วยความจำภายในชิพ

แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

- หน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรม
- หน่วยความจำข้อมูล 128 ไบต์

ข้อดีของ 89C52 คือเปลี่ยนจาก รอมภายในชิพเป็น 4 กิโลไบต์ สำหรับ ฟิร์มแวร์ สามารถลบ และ โปรแกรมใหม่ได้พันครั้ง

โครงสร้างภายในของ 8052 ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างภายใน 8052

PDIP

P1.0	1	40	VCC
P1.1	2	39	P0.0 (AD0)
P1.2	3	38	P0.1 (AD1)
P1.3	4	37	P0.2 (AD2)
P1.4	5	36	P0.3 (AD3)
P1.5	6	35	P0.4 (AD4)
P1.6	7	34	P0.5 (AD5)
P1.7	8	33	P0.6 (AD6)
RST	9	32	P0.7 (AD7)
(RXD) P3.0	10	31	EA/VPP
(TXD) P3.1	11	30	ALE/PROG
(INT0) P3.2	12	29	PSEN
(INT1) P3.3	13	28	P2.7 (A15)
(T0) P3.4	14	27	P2.6 (A14)
(T1) P3.5	15	26	P2.5 (A13)
(WR) P3.6	16	25	P2.4 (A12)
(RD) P3.7	17	24	P2.3 (A11)
XTAL2	18	23	P2.2 (A10)
XTAL1	19	22	P2.1 (A9)
GND	20	21	P2.0 (A8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในของหน่วยงานนั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 พอร์ตของ 8052

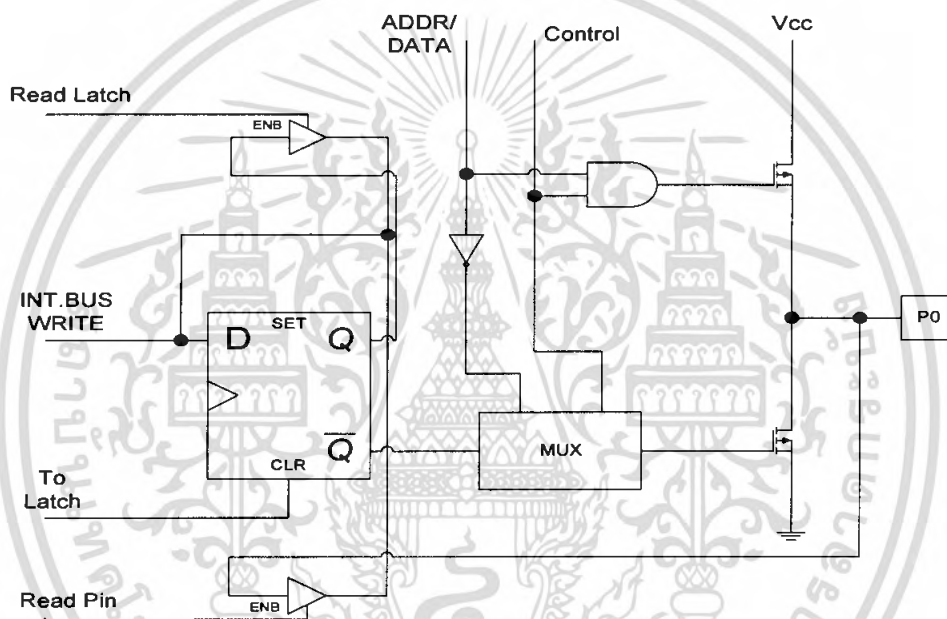
8051 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 40 ขา ซึ่งมีขาต่างๆดังนี้

- Vcc (ขา 40) ต่อกับ + 5 โวลต์

- Vss (ขา 20) เป็นขา GND

- พอร์ต 0 (ขา 32-39) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P0.7-P0.0) มีโครงสร้างแบบ โอเพ่น-เดรน สองทิศทาง (Open-Drain Bi-directional) ไม่มีความต้านทานภายในพูลอัพภายในดังแสดงในรูปที่

2.6



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้าง พอร์ต 0 (บิต)

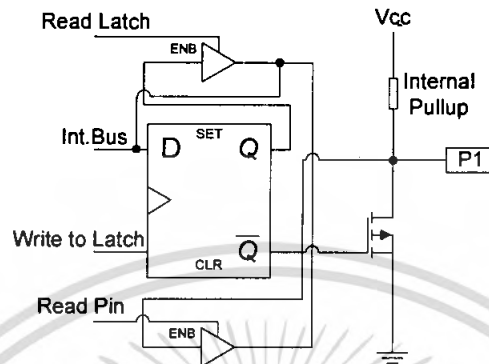
- พอร์ต 0 (ขา 32-39) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P0.7-P0.0) ใช้งานได้ 2 หน้าที่ คือเป็นทางผ่านของแอดเดรสบัสเมื่อต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกหรือเป็นไอโอพอร์ต ถ้าต้องการให้ทำงานเป็นอินพุทพอร์ตต้องส่งลอจิก “1” ไปยังพอร์ตนี้ จะมีผลให้ \bar{Q} ของ ดิเอฟเฟฟ เป็น “0” ทำให้ เฟท ตัวล่างมีสถานะ ออฟสัญญาณที่ใช้อ่านอินพุทพอร์ตแลตช์โดยส่งสัญญาณ ริดแลตช์ ไปกระตุ้นที่ ไตรสเดจบัฟเฟอร์ ตัวบนและการอ่าน พอร์ต (พิน) จะใช้สัญญาณ ริด (พิน) พอร์ตนี้ไม่มีความต้านทานพูลอัพภายใน (Internal Pull-up Resister)

- พอร์ต 1 (ขา 1-8) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P1.0-P1.7) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ต 0 แต่จะใช้ความต้านทานพูลอัพภายในแทน มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.7

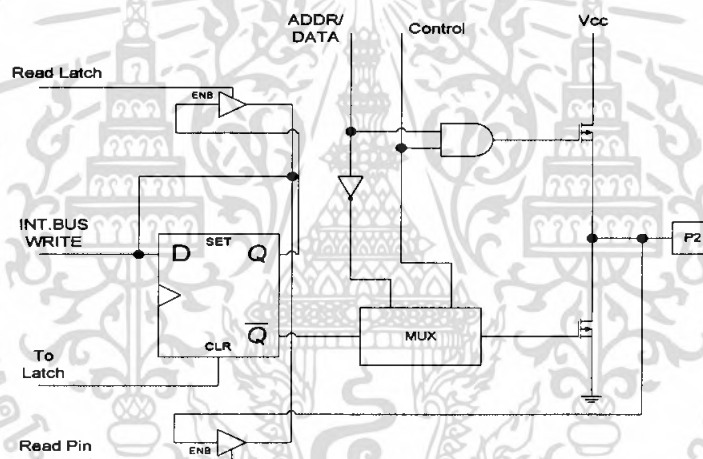
- พอร์ต 2(ขา 21-28) มีทั้งหมด 8 บิต คือขา (P2.7-P2.0) มีโครงสร้างคล้าย พอร์ต 0 โดยมีเฟท ตัวล่างตัวเดียวส่วนด้านบนใช้ความต้านทานพูลอัพ Internal pull up) แทน (พอร์ตนี้ทำงาน 2 หน้าที่คือสามารถใช้เป็นแอดเดรสบัสขนาด 8 บิต (A15-A8) และเป็นไอโอพอร์ตใช้งานทั่วไปเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนลิขสิทธิ์ในเนื้อหา โดยผู้จัดทำเอกสารนี้ไม่มีการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะใช้งานเป็นอินพุทพอร์ตต้องส่งลอจิก “1” มาที่พอร์ตนี้อก่อน เพื่อบังคับให้ เฟท อยู่ในสภาวะ ออฟ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของพอร์ต 1 (บิต)



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของพอร์ต 2 (บิต)

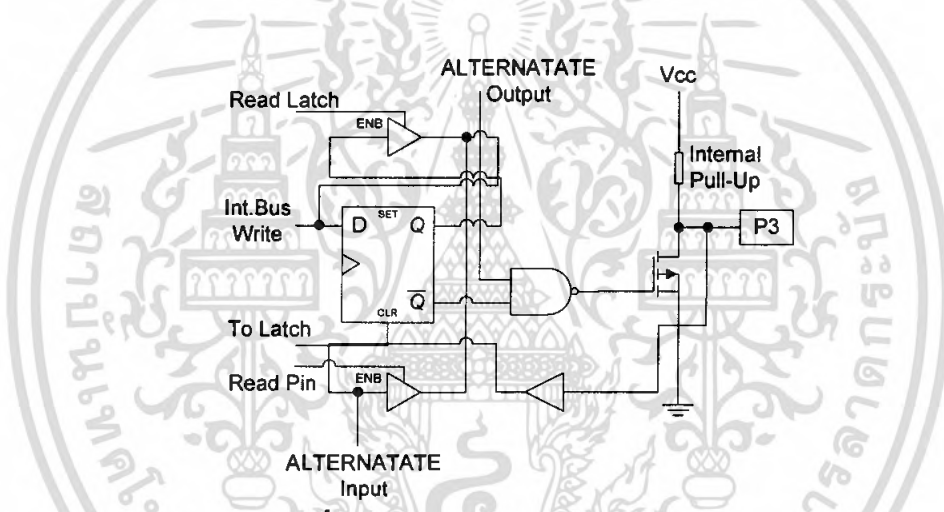
- พอร์ต 3 (ขา 10-17) มีทั้งหมด 8 บิต คือ ขา (P3.7- P3.0) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ต 1 ทำงานได้ 2 หน้าทีคือเป็นไอโอพอร์ต ถ้าจะโปรแกรมให้เป็นอินพุทพอร์ตต้องส่งลอจิก “1” มาที่พอร์ตนี้อก่อน และอีกหน้าที่หนึ่งก็คือใช้ส่งสัญญาณควบคุมออกมา และรับสัญญาณเข้าไปสัญญาณต่างๆมีดังนี้

P3.0 /RXD (Serial Input Port)	เป็นขาที่ใช้รับข้อมูลแบบอนุกรม (UART)
P3.1 /TXD (Serial Output Port)	เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรม (UART)
P3.2 / $\overline{INT0}$ (External Interrupt)	ใช้รับสัญญาณการขัดจังหวะจากภายนอกเบอร์ 0
P3.3 / $\overline{INT1}$ (External Interrupt)	ใช้รับสัญญาณการขัดจังหวะจากภายนอกเบอร์ 1
P3.4 / T0 (Counter 0 External Input)	ขารับสัญญาณพัลส์อินพุตเข้าไปยังวงจร เคาน์เตอร์ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ (เป็นอินพุท โหมดเคาน์เตอร์) ถ้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- P3.5 / T1 (Counter 1 External Input) ขารับสัญญาณพัลส์อินพุตเข้าไปยังวงจร
เคาน์เตอร์ 1
(เป็นอินพุตโหมดเคาน์เตอร์)
- P3.6 / \overline{WR} (External Data Memory Write Strobe) ขาสัญญาณใช้ในการเขียนข้อมูลลง
หน่วยความจำข้อมูลภายนอก
- P3.7 / \overline{RD} (External Data Memory Read Strobe) ขาสัญญาณใช้ในการอ่านข้อมูลจากหน่วย
ความจำข้อมูลภายนอก

โครงสร้างของ (พอร์ต 3) ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของพอร์ต 3 (บิต)

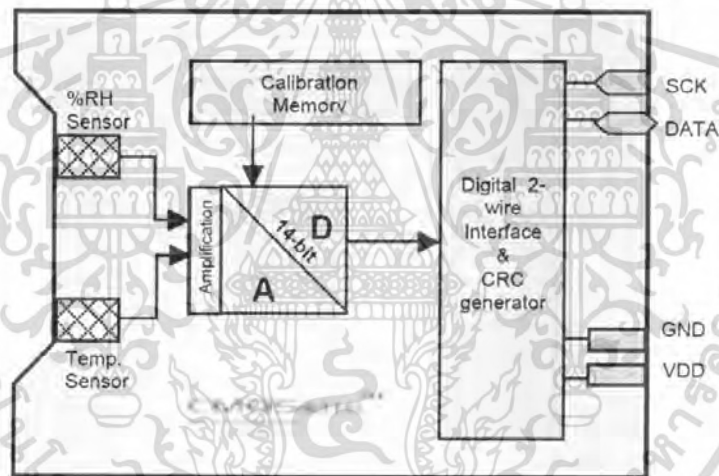
- ALE (ขา 30) เป็นขาส่งสโตรบสำหรับใช้ในการแลตช์แอดเดรสไบต์ต่ำ (A7- A0) ที่ส่งออกมาจาก (พอร์ต 0) สัญญาณนี้จะแอกทีฟทุกๆ 2 ครั้ง ใน 1 แมกซีนไซเคิล
- \overline{PSEN} (ขา 29) เป็นขาสโตรบที่ใช้สำหรับอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม ภายนอกสัญญาณนี้จะส่งออกมา 2 ครั้งในแต่ละแมกซีนไซเคิล แต่ถ้าเป็นการอ่าน โปรแกรมหน่วยความจำภายในจะไม่มีสัญญาณออก
- \overline{EA} (ขา 31) ใช้เลือกหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก
 ป้อน “0” จะอ่านโปรแกรมจากภายนอกชิพ
 ป้อน “1” จะอ่านโปรแกรมจากภายในชิพ
- RST (ขา 9) ขารีเซ็ตจะรีเซ็ตได้ก็ต่อเมื่อป้อนลอจิก “1” เข้าที่ขานี้นานอย่างน้อย 2 แมกซีนไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XTAL 1(ขา 19) ใช้ต่อคริสตัลภายนอกโดยเป็นอินพุตเข้าสู่วงจรรอสซิชิลเลเตอร์ภายใน
 XTAL 2(ขา 18) ใช้ต่อคริสตัลภายนอกโดยเป็นเอาต์พุตของวงจรรอสซิชิลเลเตอร์ภายใน

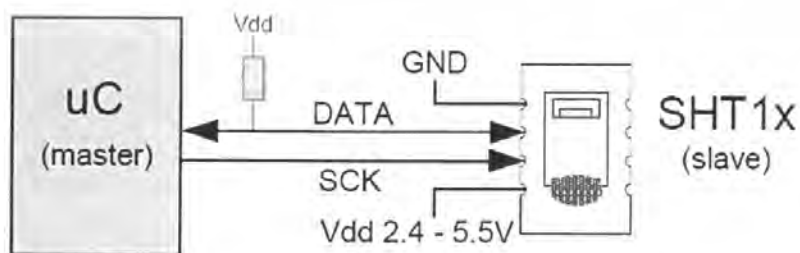
2.3 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และความชื้น SHT15

SHT15 เป็นเซนเซอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิ และความชื้น ได้ภายในตัวเดียว โดยให้ผลการวัดออกมาในรูปของสัญญาณดิจิทัล มีความเที่ยงตรงสูง และมีความเสถียรภาพยาวนาน ภายในประกอบด้วยเซนเซอร์แบบตัวเก็บประจุโพลิเมอร์เพื่อวัดความชื้น และตัววัดอุณหภูมิแบบใช้ช่องว่าง สัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์จะแยกแ่การถูกรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และให้ผลการตอบสนองการวัดที่ไว



รูปที่ 2.10 Block Diagram ภายในเซนเซอร์ SHT15

2.3.1 วิธีการเชื่อมต่อของเซนเซอร์ SHT15



รูปที่ 2.11 แสดงวิธีการใช้งานของเซนเซอร์ SHT15 โดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.1 ไฟเลี้ยง SHT15 ต้องการไฟเลี้ยงมีค่าอยู่ระหว่าง 2.4 ถึง 5.5 โวลต์ หลังจากจ่ายไฟ ต้องการ 11ms ในการเข้าสู่โหมด “Sleep” จะไม่มีการส่งคำสั่งใดๆทั้งสิ้นในช่วงก่อนหน้านี้

2.3.1.2 การติดต่อแบบอนุกรม

- สัญญาณควบคุม ขา SCK เป็นขาที่ใช้ควบคุมการติดต่อกันของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ กับเซ็นเซอร์ SHT15

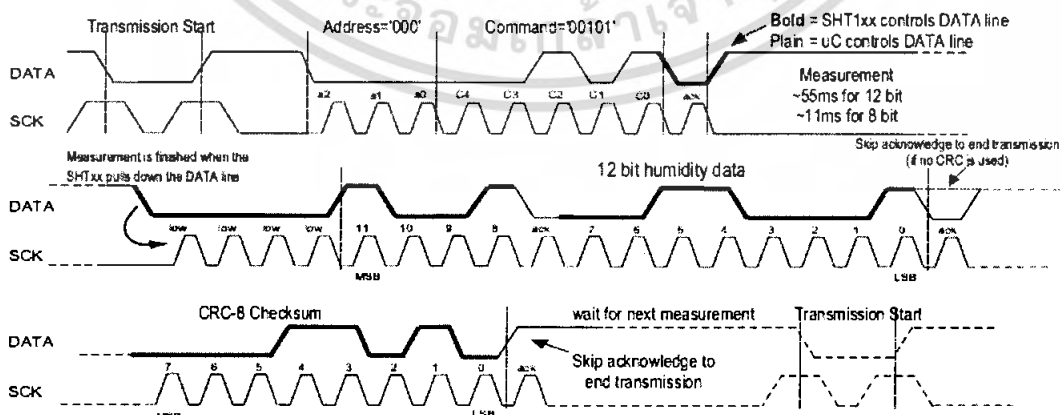
- สัญญาณข้อมูล ขา DATA เป็นขาที่ใช้ในการส่งข้อมูลเข้า-ออก โดยข้อมูลจะเปลี่ยนแปลงเมื่อถึงขอบขาลง และจะสมบูรณ์เมื่อถึงขอบขาขึ้นของสัญญาณคล็อก SCK ในระหว่างการส่งผ่านข้อมูล ข้อมูลต้องมีความเสถียรในขณะที่ สัญญาณ SCK มีค่าเป็น 1

- การส่งคำสั่ง จะส่งคำสั่งในขณะที่สัญญาณควบคุม SCK มีค่า 1



รูปที่ 2.12 ลำดับของข้อมูลที่ส่งคำสั่ง

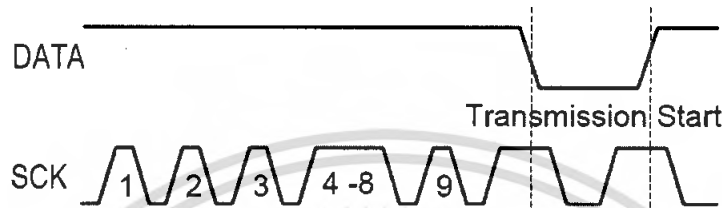
- ในการส่งคำสั่งหนึ่งๆ จะประกอบไปด้วย Address 3 bit และ คำสั่ง 5 bit ในการวัดจะมีการบอกรหัสคำสั่งในการวัดออกมา ('00000101' สำหรับ RH และ '00000011' สำหรับอุณหภูมิ) โดยที่ตัวคอนโทรลจะต้องรอให้มีการวัดเสร็จ ซึ่งเมื่อสัญญาณวัดเสร็จ ตัวเซ็นเซอร์จะทำให้ DATA ลดลง ซึ่งตัวคอนโทรลต้องรอให้ DATA พร้อมก่อน ก่อนที่จะมีการ toggle SCK อีกครั้ง ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงการทำงานลำดับขั้นตอนการวัด

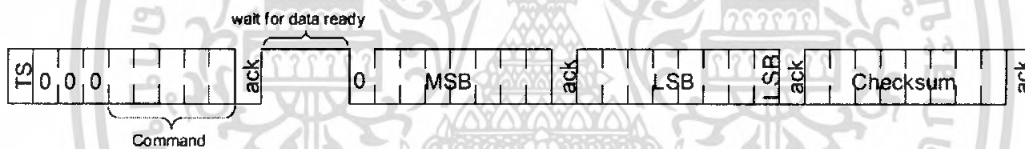
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขั้นตอนการ reset เมื่ออุปกรณ์ขาดการติดต่อหรือไม่มีสัญญาณ จะทำการ reset Serial interface ดังรูปที่ 2.14 เมื่อ Data อยู่ที่ขอบขาขึ้น ที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกาอยู่ที่ 9 หรือเวลามากกว่านั้น จะอยู่ในช่วง transmission start ในคำสั่งต่อไป



รูปที่ 2.14 แสดงรูปสัญญาณการเริ่มต้นการเชื่อมต่อ

- CRC 8 Checksum ในการส่งจะใช้ 8 bit สำหรับ checksum เพื่อประกันความผิดพลาดทาง data และสามารถคักจับและทำลายได้



รูปที่ 2.15 แสดง รูปแบบสัญญาณในการทำงานของเซนเซอร์

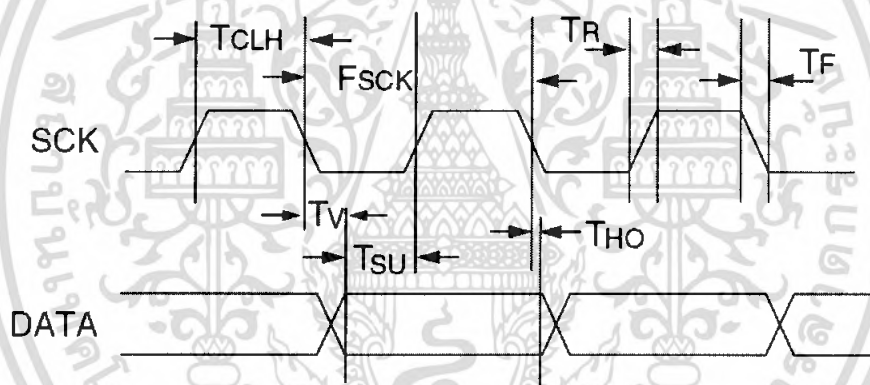
2.3.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้า

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Power supply DC		2.4	5	5.5	V
Supply current	measuring		550		μ A
	average	2 ⁽²⁾	28 ⁽³⁾		μ A
	sleep		0.3	1	μ A
Low level output voltage		0		20%	Vdd
High level output voltage		75%		100%	Vdd
Low level input voltage	Negative going	0		20%	Vdd
High level input voltage	Positive going	80%		100%	Vdd
Input current on pads				1	μ A
Output peak current	on			4	mA
	Tristated (off)		10		μ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในเชิงวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Parameter	Conditions	Min	Typ.	Max.	Unit
F _{SCK}	SCK frequency	VDD > 4.5 V			10	MHz
		VDD < 4.5 V			1	MHz
T _{RFO}	DATA fall time	Output load 5 pF	3.5	10	20	ns
		Output load 100 pF	30	40	200	ns
T _{CLx}	SCK hi/low time		100			ns
T _V	DATA valid time			250		ns
T _{SU}	DATA set up time		100			ns
T _{HO}	DATA hold time		0	10		ns
T _{R/TF}	SCK rise/fall time			200		ns

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต



รูปที่ 2.16 แสดงไทม์มิ่งไดอะแกรม

2.4 การสื่อสารแบบอนุกรม

การสื่อสารมีด้วยกัน 2 รูปแบบคือ การสื่อสารแบบขนานและการสื่อสารแบบอนุกรม การสื่อสารแบบขนาน เป็นการรับหรือส่งข้อมูลคราวละมากกว่า 1 บิตในเวลาเดียวกัน ทำให้การรับและส่งข้อมูลมีความเร็วสูง แต่จำนวนของสายสัญญาณที่ใช้ ในการส่งผ่านข้อมูลต้อง มีมากตามจำนวน บิต ของข้อมูลที่ทำการส่งนอกจากนั้นยังมีสายที่ใช้สำหรับควบคุม และตรวจสอบการรับส่งข้อมูล ด้วยซึ่งอาจต้องใช้สายมากเป็น 2 เท่าของจำนวนบิตข้อมูลก็ได้ในขณะที่การรับส่งข้อมูลต้องมีมาก ตามจำนวนบิตของข้อมูลที่ทำการส่ง นอกจากนี้ยังมีสายที่ใช้สำหรับควบคุมและตรวจสอบการ รับส่งข้อมูลด้วย ซึ่งอาจต้องใช้สายมากเป็น 2 เท่าของจำนวนบิตข้อมูลก็ได้ ในขณะที่การรับส่ง ข้อมูลแบบอนุกรมจะเป็นการรับส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมจึงมีข้อดีใน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้หนาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่องของจำนวนสายสัญญาณที่น้อยมากและไม่แปรตามจำนวนบิตของข้อมูล แต่ความเร็วในการสื่อสารจะลดลงและโปรแกรมควบคุมจะมีความซับซ้อนมากกว่า

การสื่อสารแบบอนุกรมยังแบ่งได้เป็น 2 แบบ -คือ การสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส (Synchronous) และการสื่อสารอนุกรมแบบอซิงโครนัส (Asynchronous) การสื่อสารแบบซิงโครนัสจะมีสัญญาณนาฬิกาสำหรับการรับและส่งสัญญาณด้วย ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสคือคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ หรือบัสแบบ I^2C ซึ่งสายเส้นหนึ่งเป็นสายของสัญญาณนาฬิกา ส่วนสายอีกเส้นเป็นสายของข้อมูล ดังนั้นการติดต่อกันแบบซิงโครนัสนี้จะต้องใช้สายในการเชื่อมต่ออย่างน้อยที่สุด 3 เส้นคือ สัญญาณนาฬิกา, ข้อมูลและกราวด์

การสื่อสารอนุกรมแบบอซิงโครนัสรับและส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกาไปด้วย แต่จะใช้การกำหนดค่าอัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตรความเร็วว่า อัตราบอดเรต (Baud rate) มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (Bit per Second: BPS)

2.4.1 การสื่อสารอนุกรมแบบ RS-232

สมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association : EIA) ได้วางมาตรฐานที่มีชื่อว่า EIA RS-232 เป็นมาตรฐานการสื่อสารอนุกรมแบบอซิงโครนัส 2 ทิศทาง มาตรฐานนี้ในช่วงแรกจะใช้คอนเน็คเตอร์เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสายสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุต ระดับสัญญาณตั้งแต่ -3 โวลต์ จนถึง -12 โวลต์ แสดงว่ามีข้อมูล (Mark) หรือเทียบเท่าลอจิกหนึ่งและ +3 โวลต์ ถึง + 12 โวลต์ แสดงว่าเป็นช่องว่าง (Space) หรือลอจิกศูนย์

มาตรฐาน RS-232 กำหนดรูปแบบการสื่อสารข้อมูลกันระหว่างอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment: DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating: DEC) อุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัว เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือ ไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DEC ทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น

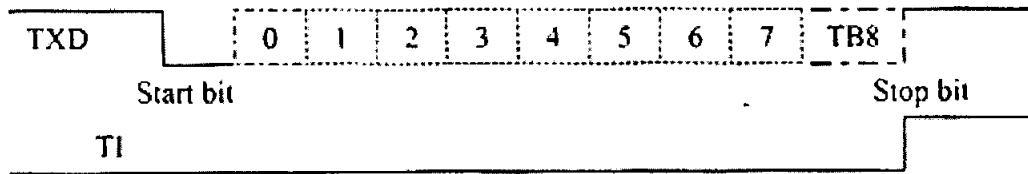
ปัจจุบันมาตรฐานนี้ได้พัฒนาถึงเวอร์ชัน C สำหรับการใช้งานในคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่ พอร์ตอนุกรม RS-232 ถูกใช้เพื่อเชื่อมต่อกับ โมเด็ม (Modem) หรือเมาส์ (Mouse)

2.4.2 รูปแบบการรับส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส

สัญญาณที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส ประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

- บิตเริ่มต้น (Start bit) 1 บิต
- บิตข้อมูลแบบอนุกรม 5,6,7 หรือ 8 บิต
- บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (Stop bit) 1,1.5 หรือ 2 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนสิทธิ์การถือครองโดยผู้ผลิต เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 รูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอซิงโครนัส

รูปที่ 2.17 แสดงรูปแบบการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอซิงโครนัส เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล ขาข้อมูลจะมีสถานะลอจิกหนึ่งเรียกสถานะนี้ว่า สถานะหยุดรอ (Waiting stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูล จะเริ่มจากการให้ขาข้อมูล มีลอจิกศูนย์ ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต เรียกบิตนี้ว่า บิตเริ่มต้น (Start bit) จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไปโดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด (Least Significant Bit : LSB) ตามด้วยบิตพาริตี (Parity bit) ซึ่งในการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล มีสถานะลอจิกหนึ่งอีกครั้งด้วยระยะเวลา 1 บิต, 1.5 บิต หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดไปท์ข้อมูลแล้ว

การตรวจสอบพาริตีสามารถกำหนดให้เป็นพาริตีคี่ (Odd Parity), พาริตีคู่ (Even Parity) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตีก็ได้พาริตีคี่หรือพาริตีคู่แสดงถึงจำนวนลอจิกหนึ่งทั้งหมดภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบท์ รวมบิตพาริตีว่ามีจำนวนเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ ยกตัวอย่าง ข้อมูลที่จะทำการส่งมีขนาด 8 บิต มีค่า 1011001B จะเห็นว่าข้อมูลใน ไบท์นี้มีจำนวนลอจิกหนึ่ง จำนวน 4 ตัว ซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นถ้ากำหนดค่าเป็นพาริตีคู่ ค่าของบิตพาริตีจะต้องมีลอจิกศูนย์ แต่ถ้ากำหนดเป็นพาริตีคี่ค่าของบิตพาริตีจะต้องเป็นหนึ่ง เพื่อให้จำนวนบิตที่เป็นหนึ่งรวมบิตพาริตีมีค่าเป็นคี่

บิตพาริตีถูกสร้างขึ้นจากภาคส่งข้อมูล ซึ่งทางภาครับจะต้องกำหนดคุณสมบัติการตรวจสอบพาริตีที่ตรงกันไว้ด้วย หากเกิดความผิดพลาดหากการส่งสัญญาณ ทางภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดให้ผู้ใช้งานทราบ กระบวนการดังกล่าวเป็นวิธีการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับส่งข้อมูลที่ง่ายที่สุด แต่สามารถตรวจสอบได้เมื่อบิตของข้อมูลที่ทำการรับส่งผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น ถ้าข้อมูลที่ทำการส่งมีบิตที่ผิดพลาดมากกว่า 1 บิต การตรวจสอบด้วยวิธีนี้จะไม่ได้ผล สำหรับการตั้งพาริตีบิตเป็น None นั้นทั้งภาครับและภาคส่ง จะไม่มีการตรวจสอบพาริตี

งานักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

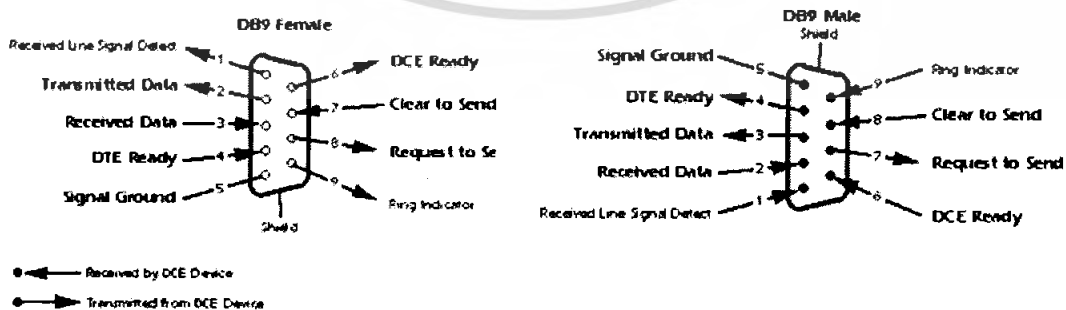
2.4.3 อัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส

อัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัสหรืออัตราบอดหรือบอดเรตที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 มีหลายค่า ได้แก่ 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 และ 19200 บิตต่อวินาที โดยมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์เนื่องจากบอดเรตคือค่าของจำนวนบิตที่สามารถส่งได้ใน 1 วินาที สมมติว่า ข้อมูลอนุกรมมีขนาด 8 บิต ไม่มีการตรวจสอบพาริตี มีบิตเริ่มต้น 1 บิต และบิตปิดท้าย 1 บิต ความยาวของข้อมูล 1 ไบท์จะเท่ากับ 10 บิต ถ้าใช้บอดเรตในการรับส่งข้อมูลเท่ากับ 9,600 บิตต่อวินาที ก็จะสามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 960 ไบท์ต่อวินาที

2.4.4 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 หรือ DB-9 ซึ่งคอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 จะมีขาต่อใช้งานเพียง 9 เส้นเช่นเดียวกับคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 เนื่องจากขาอื่นๆ ที่เคยมีการใช้งานในอดีตไม่ค่อยมีความสำคัญมากนักจึงถูกยกเลิกไป โดยแสดงรูปร่างและตำแหน่งขาในรูปที่ 2.18

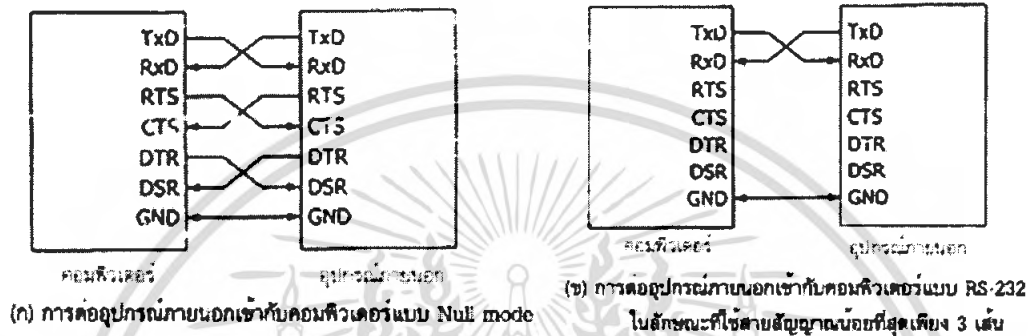
- **Receive Data : RD หรือ RxD** ขานี้ใช้เพื่อรับข้อมูลอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์ โดยจะนำข้อมูลที่อ่านได้ไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์
- **Transmitted Data : TD หรือ TxD** ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลอนุกรมออกจากคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลส่งออกไป
- **Signal Ground : GND** เป็นขากราวด์ของสัญญาณ



รูปที่ 2.18 แสดงการจัดขาสัญญาณของ DB-9 ตัวผู้ และ ตัวเมีย และหน้าที่การทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแบบ 82464 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการเชื่อมต่อสายระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกแสดงดังรูปที่ 2.19 ลูกศร ในรูปแสดงถึงทิศทางของข้อมูล การเชื่อมต่อในรูปที่ 2.19(ก) เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null Modem ส่วนการเชื่อมต่อในรูปที่ 2.19(ข) เป็นการเชื่อมต่อโดยใช้สายสัญญาณน้อยที่สุดเพียง 3 เส้น โดยเส้นหนึ่งสำหรับส่งข้อมูลอีกเส้นหนึ่งสำหรับรับข้อมูล และเส้นสุดท้ายเป็นกราวด์



รูปที่ 2.19 การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมในรูปแบบต่างๆ

2.4.5 การเชื่อมต่อไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อรับส่งข้อมูลอนุกรม (Universal Asynchronous Receiver Transmitter: UART)

UART หมายถึงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส หน้าที่หลักของ UART คือแปลงสัญญาณข้อมูลแบบขนานที่ส่งมาจากหน่วยประมวลผลกลางให้เป็นสัญญาณอนุกรมแบบอซิงโครนัส แล้วทำการส่งออกไปและแปลงสัญญาณอนุกรมแบบอซิงโครนัสที่ป้อนเข้ามายัง UART ให้เป็นแบบขนานก่อนที่จะส่งเข้าสู่หน่วยประมวลผลกลาง ซึ่งนอกจาก UART จะทำหน้าที่แปลงรูปแบบของข้อมูลแล้ว ยังแจ้งรายละเอียดอื่นๆ ของข้อมูลให้คอมพิวเตอร์รับทราบด้วย อาทิ อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลหรือบอดเรต, รูปแบบการส่งข้อมูล, ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งข้อมูล

ภายใน UART จะมีวงจรสร้างบอดเรตที่โปรแกรมได้ (Programmable Baud rate Generator) โดยกำหนดค่าตัวหารให้กับสัญญาณนาฬิกาของ UART โดยตัวหารนี้จะมีขนาด 16 บิต ทำให้สามารถกำหนดตัวหารอยู่ในช่วง 1 ถึง 65,535

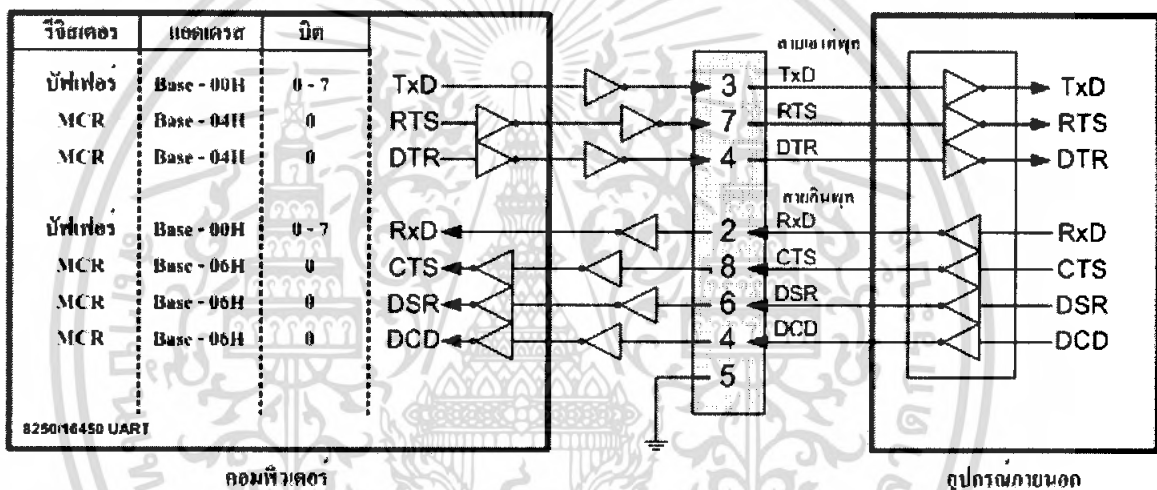
ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปจะมี UART ที่ใช้งานกันอยู่ 2 เบอร์คือ เบอร์ 8250 และ 16550 สำหรับ UART เบอร์ 8250 เป็น UART มาตรฐานที่มีใช้ในคอมพิวเตอร์รุ่น XT โดย UART เบอร์นี้มีบัฟเฟอร์สำหรับรับและส่งข้อมูลเป็นตำแหน่งเดียวกัน ทำให้การรับและส่งข้อมูลถูกจำกัด

ความเร็วอยู่ที่ 57.6 กิโลบิตต่อวินาที สำหรับ UART เบอร์ 16550 ถูกใช้ในคอมพิวเตอร์รุ่น AT จะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มส่วนของชิพรีจิสเตอร์แบบ FIFO (First in First Out) ขนาด 16 ไบท์เข้าไป ทำให้สามารถสนับสนุนความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ระดับ 256 กิโลบิตต่อวินาทีได้

ไอซี UART เหล่านี้มีระดับแรงดันของลอจิกเป็นแบบทีทีแอล (TTL) แต่เพื่อห้ามการรับส่งข้อมูลสามารถทำได้ในระยะทางมากขึ้น ระดับแรงดันทีทีแอลจะถูกแปลงเป็นระดับแรงดันที่สูงขึ้น โดยลอจิกศูนย์จะมีระดับแรงดัน -3 โวลต์ ถึง -12 โวลต์และลอจิกหนึ่งมีระดับแรงดัน +3 โวลต์ จนถึง +12 โวลต์

2.4.6 ลักษณะ สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของพอร์ต RS-232



รูปที่ 2.20 การทำงานภายในของขาสัญญาณต่างๆของพอร์ตอนุกรม

สัญญาณเอาต์พุต RTS และ DTR รวมทั้งสัญญาณแสดงสถานะอินพุต CTS, DSR และ DCD จะถูกกลับสถานะภายในตัว UART ส่วนสัญญาณข้อมูลทั้ง RxD และ TxD จะไม่ถูกกลับสถานะ UART จะให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นแบบทีทีแอล ดังนั้นสัญญาณที่ส่งออกมา จาก UART จะเข้าสู่วงจรขับเพื่อแปลงระดับสัญญาณให้เป็นไปตามมาตรฐาน RS -232 ก่อนส่งออกจาก คอมพิวเตอร์ สำหรับอุปกรณ์ต่อเชื่อมปลายทางก็จะต้องมีวงจรขับในลักษณะนี้เช่นเดียวกันเพื่อให้ ได้สัญญาณในระดับเดียวกัน แต่วงจรขับที่ใช้ภายในคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่อเชื่อมปลายทางนั้น จะกลับสถานะสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 2.20

2.4.7 แอดเดรสของพอร์ตอนุกรม

แอดเดรสฐาน (Base) ของพอร์ตอนุกรมในคอมพิวเตอร์มี 4 ตำแหน่ง เมื่อเริ่มเปิดเครื่องเพื่อใช้งานคอมพิวเตอร์ ไบออส (BIOS) จะทำการตรวจสอบแอดเดรสของพอร์ตอนุกรมทั้งหมด ถ้าไบออสตรวจพบแอดเดรสของพอร์ตอนุกรม ไบออสจะนำแอดเดรสที่ตรวจพบไปเก็บไว้ในหน่วยความจำขนาด 2 ไบต์

นอกจากนั้นบิตที่ 3 ถึง 1 ของหน่วยความจำตำแหน่ง 0000 : 0411H ยังใช้เพื่อแสดงจำนวนของพอร์ตอนุกรมที่มีอยู่ในคอมพิวเตอร์อีกด้วย

พอร์ต	แอดเดรสฐาน	หน่วยความจำที่เก็บแอดเดรสฐาน
COM 1	3F8H	0000:0400Hถึง0000:0401H
COM 2	2F8H	0000:0402Hถึง0000:0403H
COM 3	3E8H	0000:0404Hถึง0000:0405H
COM 4	2E8H	0000:0406Hถึง0000:0407H

ตารางที่ 2.3 แสดงแอดเดรสฐานและหน่วยความจำที่เก็บแอดเดรสฐานของพอร์ตอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ความชื้นในอากาศ

ความชื้นในอากาศ หมายถึง ปริมาณไอน้ำที่สะสมอยู่ในอากาศ ได้มาจากแหล่งน้ำต่างๆ มี 2 แบบ คือ

2.5.1 ความชื้นสัมบูรณ์

ความชื้นสัมบูรณ์ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ กับปริมาตรของอากาศนั้น

สูตร

ความชื้นสัมบูรณ์ = มวลของไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศหารด้วยปริมาตรของอากาศ โดยมีหน่วยวัดเป็น กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.5.2 ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึง ปริมาณเปรียบเทียบระหว่างมวลของไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศขณะนั้นกับมวลของไอน้ำในอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิและปริมาตรเดียวกันนิยมคิดค่าเป็นร้อยละหรือ%

สูตร มีอยู่ 2 สูตร คือ

1. ความชื้นสัมพัทธ์ = $\frac{\text{มวลของไอน้ำที่มีอยู่จริงหารด้วยมวลของไอน้ำอิ่มตัวแล้วคูณด้วย } 100}{100}$
2. ความชื้นสัมพัทธ์ = $\frac{\text{ความชื้นสัมบูรณ์หารด้วยมวลของไอน้ำอิ่มตัวแล้วคูณด้วย } 100}{100}$

2.6 อุณหภูมิ

โดยปกติอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้สิ่งมีชีวิตเจริญเติบโตได้ดีที่สุดคือ 15-40 °C ส่วนอุณหภูมิของดินมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชดังนี้

ก. เกี่ยวข้องกับการสะสมคาร์โบไฮเดรต การสะสมคาร์โบไฮเดรตในต้น ใบและรากพืชจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากพืชจะหายใจเร็วทำให้มีการใช้คาร์โบไฮเดรตมากจึงมีคาร์โบไฮเดรตเหลืออยู่น้อย

ข. เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายอาหารภายในต้นพืช การเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากใบไปยังรากจะเกิดได้เร็วที่อุณหภูมิ 20-30 °C พืชต่างชนิดกันจะมีระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเคลื่อนย้ายอาหารแตกต่างกัน

ค. มีอิทธิพลต่อการคูดน้ำและการคูดกินธาตุอาหารพืช เนื่องจากอุณหภูมิมิผลต่อการหายใจซึ่งจะได้พลังงานมาใช้ในการคูดน้ำและธาตุอาหาร อุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่อการคูดน้ำและธาตุอาหารพืชมากในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ แต่จะมีอิทธิพลต่อการคูดน้ำและธาตุอาหารพืชน้อยในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

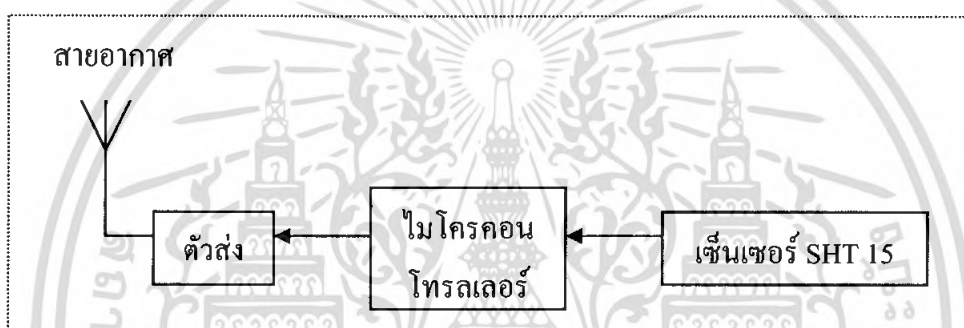
บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

ระบบตรวจสอบสภาพดินแบบไร้สาย แบ่งการทำงานออกเป็นสามส่วนประกอบทั้งหมด 3 ส่วน

- ส่วนเครื่องส่ง
- ส่วนเครื่องรับ
- ตัวตรวจวัด

โดยจะแสดงถึงส่วนการทำงานต่างๆของระบบได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนของเครื่องส่ง

จากรูปที่ 3.1 การทำงานจะแบ่งเป็น 3 ส่วนในส่วนแรกจะเป็นส่วนของตัวตรวจวัด โดยค่าที่ได้จากตัวตรวจวัดจะส่งไปทำการประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นทำการส่งข้อมูลที่ได้ออกไปยังตัวส่งเพื่อทำการส่งออกอากาศไปยังเครื่องรับ โดยเครื่องส่ง มีหลักการทำงาน ในส่วนของข้อมูลนั้น จะเป็นข้อมูลที่มีค่าเป็นอนาล็อกเพราะฉะนั้นจะต้องทำการเปลี่ยนข้อมูลจากอนาล็อกเป็นดิจิทัลก่อนส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์

3.1 วงจรการส่งและการส่งการของโมดูลในส่วนเครื่องส่ง

วงจรการส่งข้อมูลและการส่งการแสดงไว้ดังรูปที่ 3.2 และการทำงานในส่วนนี้จะเป็นส่วนของการส่งข้อมูล ซึ่งรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยผ่านพอร์ตของ AT89C51 เพื่อใช้ในการติดต่อส่งการตัวโมดูล ซึ่งจะมีลักษณะของวงจรดังรูป

ส่วนของวงจรการส่งข้อมูลดังรูปที่ 3.2 เป็นส่วนของเครื่องส่ง โดยเครื่องส่งจะมี 2 ตัวซึ่งทั้งสองจะมีวงจรและการทำงานเหมือนกัน แต่จะต่างกันตรงข้อมูลที่ส่ง ตัวของโมดูลจะถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

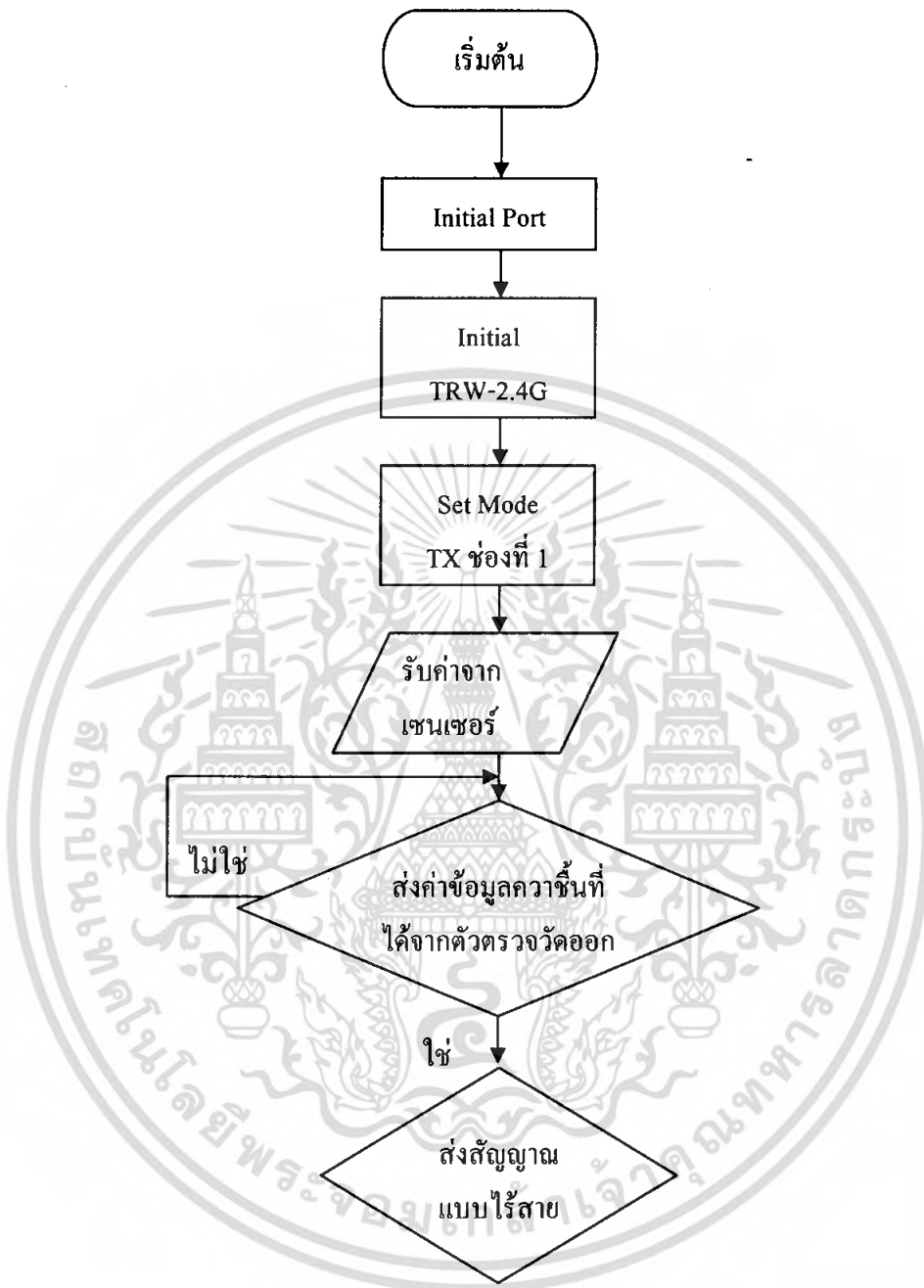
กำหนดให้ทำงานแบบต่างๆ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการควบคุมสั่งการ ซึ่งในส่วนของภาคนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะกำหนดให้ตัวโมดูลอยู่ในสถานะเป็นตัวส่ง

โดยตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะกำหนดข้อมูล และส่งข้อมูลเข้าไปที่ตัวโมดูล เมื่อรับข้อมูลโมดูลจะส่งข้อมูลออกไปยังตัวรับต่อไป

ในส่วนของโปรแกรมควบคุมการทำงานของโมดูล จะแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆตามลักษณะการทำงานภายในของโมดูล โดยสามารถแสดงได้ตามแผนภูมิดังรูปที่ 3.3



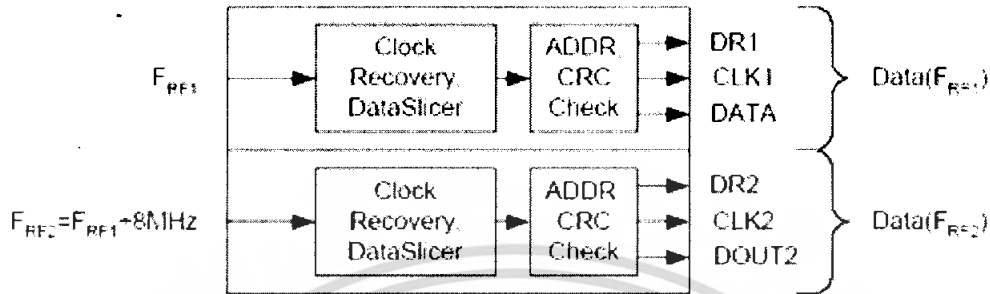
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แผนภูมิ แสดงโปรแกรมควบคุมการทำงานของ โมดูลฝังส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแส 18 มิลลิแอมป์ในทางด้านรับ โดย โมดูล ได้ทำการออกแบบให้ใช้กำลังงานที่ต่ำ เพื่อประหยัดพลังงานในการใช้ตัวโมดูล



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะ โครงสร้างที่แยกส่วนของช่องสัญญาณ 2 ช่องในตัวเอง

3.3 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และความชื้น SHT15

SHT15 เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิ และความชื้น ได้ภายในตัวเดียวโดยให้ผลการวัดออกมาในรูปของสัญญาณดิจิทัล มีความเที่ยงตรงสูง และมีความเสถียรภาพยาวนาน ภายในประกอบด้วยเซนเซอร์แบบตัวเก็บประจุ โพลีเมอร์เพื่อวัดความชื้น และตัววัดอุณหภูมิแบบใช้ช่องว่าง สัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์จะขากแก่การถูกรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และให้ผลการตอบสนองการวัดที่ไว

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Humidity					
Resolution ⁽²⁾		0.5	0.03	0.03	%RH
		8	12	12	bit
Repeatability		±0.1			%RH
Accuracy ⁽¹⁾ Uncertainty	linearized	see figure 1			
Interchangeability		Fully interchangeable			
Nonlinearity	raw data	±3			%RH
	linearized	<<1			%RH
Range		0		100	%RH
Response time	1/e (63%) slowly moving air	4			s
Hysteresis		±1			%RH
Long term stability	typical	< 1			%RH/yr
Temperature					
Resolution ⁽²⁾		0.04	0.01	0.01	°C
		0.07	0.02	0.02	°F
		12	14	14	bit
Repeatability		±0.1			°C
		±0.2			°F
Accuracy		see figure 1			
Range		-40		123.8	°C
		-40		254.9	°F
Response Time	1/e (63%)	5		30	s

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของเซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การเปลี่ยน Output ให้มีค่าทางกายภาพ

3.3.1.1 ค่าความชื้น เพื่อให้เป็น linear

$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \times SO_{RH} = c_3 \times SO_{RH}^2$$

เมื่อ

SO _{RH}	c ₁	c ₂	c ₃
12 bit	-4	0.0405	-2.8 * 10 ⁻⁸
8 bit	-4	0.648	-7.2 * 10 ⁻⁴

เมื่ออุณหภูมิต่างกัน 25 C ค่าคงที่อุณหภูมิ ควรใช้สูตรนี้

$$RH_{true} (T_{oc} - 25) \times (t_1 + t_2 \times SO_{RH}) + RH_{linear}$$

เมื่อ

SO _{RH}	t ₁	t ₂
12 bit	0.01	0.00008
8 bit	0.01	0.00128

3.3.1.2 อุณหภูมิ เพื่อเปลี่ยนค่า digital ให้เป็นค่าอุณหภูมิ จะใช้

$$Temperature = d_1 + d_2 \times SO_T$$

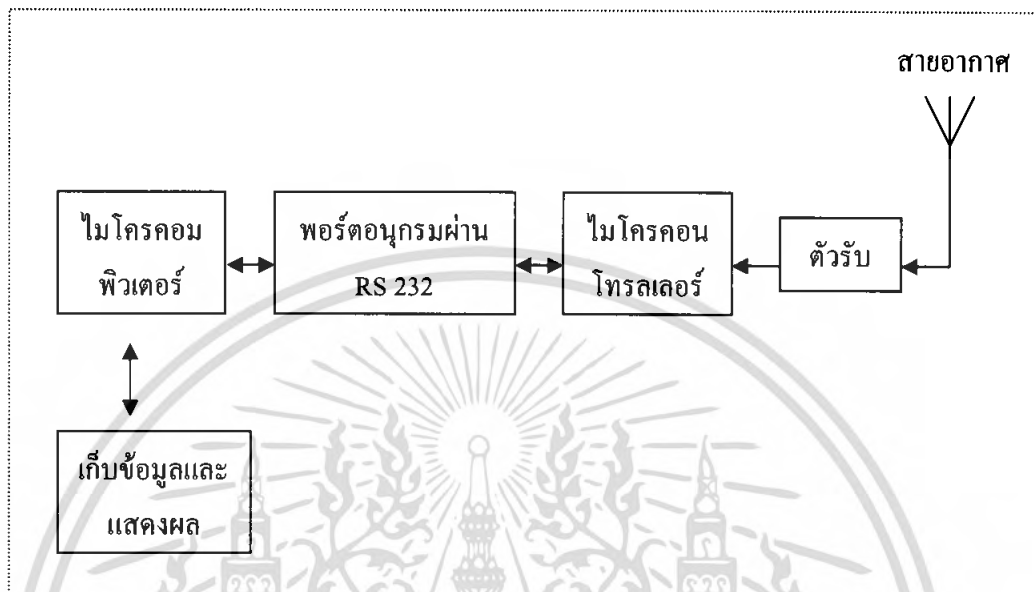
เมื่อ

VDD	d ₁ [°C]	d ₁ [°F]
5V	-40.00	-40.00
4V	-39.75	-39.50
3.5V	-39.66	-39.35
3V	-39.60	-39.28
2.5V	-39.55	-39.23

SO _T	d ₂ [°C]	d ₂ [°F]
14bit	0.01	0.018
12bit	0.04	0.072

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรการรับและการส่งการของโมดูลในส่วนเครื่องรับ



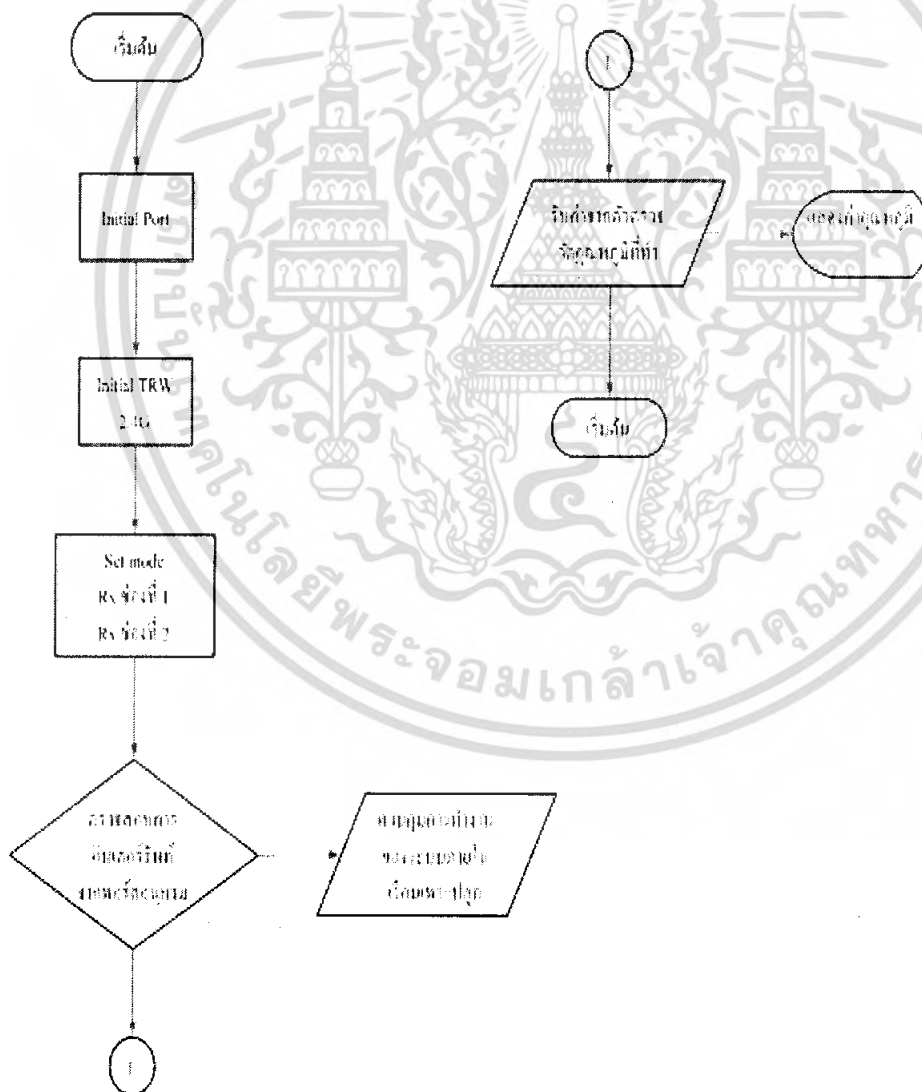
รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนของเครื่องรับ

จากรูปที่ 3.6 การทำงานจะแบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลักคือ ในส่วนของข้อมูลที่เข้ามาในจะรับข้อมูลผ่านทางตัวรับจากนั้นก็ส่งข้อมูลมายังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผลและส่งข้อมูลไปยังไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อทำการแสดงผล เก็บข้อมูล และควบคุม ผ่านพอร์ตอนุกรม

วงจรการรับข้อมูลและการส่งการแสดงไว้ดังรูปที่ 3.7 และการทำงานในส่วนนี้จะเป็นส่วนของการรับข้อมูล และส่งไปแสดงผล โดยผ่านพอร์ตของ AT89C51 เพื่อใช้ในการติดต่อสั่งการตัวโมดูล ซึ่งจะมีลักษณะของวงจรดังรูปที่ 3.7

ส่วนของวงจรการรับข้อมูลดังรูปที่ 3.7 เป็นส่วนของเครื่องรับ ตัวของโมดูลจะถูกกำหนดให้ทำงานแบบต่างๆ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการควบคุมสั่งการ ซึ่งในส่วนของภาคนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะกำหนดให้ตัวโมดูลอยู่ในสถานะเป็นตัวรับ เมื่อได้รับข้อมูลมาจากทางด้านส่ง ที่ส่งข้อมูลเข้ามา ตัวโมดูลก็จะส่งข้อมูลมายังตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นตัวของไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ ส่วนในโหมดการทำงานการส่งข้อมูลไปคอมพิวเตอร์จะสั่งการผ่านขา TXD ของไมโครคอนโทรลเลอร์ และผ่านพอร์ต DB-9

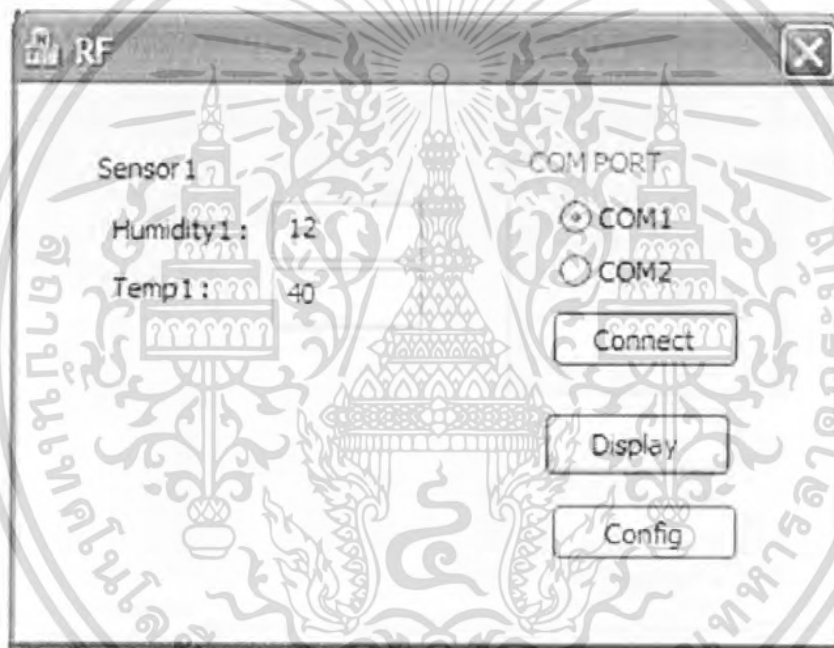
ในส่วนของโปรแกรมควบคุมการทำงานของโมดูล จะแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆตามลักษณะการทำงานภายในของโมดูล โดยสามารถแสดงได้ตามแผนภูมิดังรูปที่ 3.8



เอกสารนี้เป็นเอกสาร **รูปที่ 3.8** แผนภูมิแสดง โปรแกรมควบคุมการทำงานของ โมดูลฝั่งรับ ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ส่วนของการแสดงผล ความคุมและบันทึกข้อมูล (Display Controller and Saving)

เมื่อเราทำการรับค่าที่ได้มาจากเครื่องส่งโดยจะผ่านตัวรับส่งมายัง ไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นจะส่งข้อมูลมายังคอมพิวเตอร์โดยผ่านพอร์ตอนุกรม ซึ่งข้อมูลที่ได้มานั้นเราจะจัดการข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่ได้จัดทำขึ้นมา ในการออกแบบและจัดการข้อมูลซึ่งจะใช้ในการรับข้อมูลที่ได้นั้นมาแสดงผลหน้าจอ รวมทั้งยังใช้ในการควบคุมระบบผ่านหน้าจอ และทำการบันทึกผล ซึ่งหน้าต่างของ โปรแกรมจะแสดงให้เห็นได้ดังรูป 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงหน้าต่างแสดงสถานะ โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 วงจรเครื่องส่ง

4.1.1 โมดูลส่งข้อมูล

จุดประสงค์

- เพื่อส่งสัญญาณที่เป็นข้อมูลไปยังเครื่องรับ

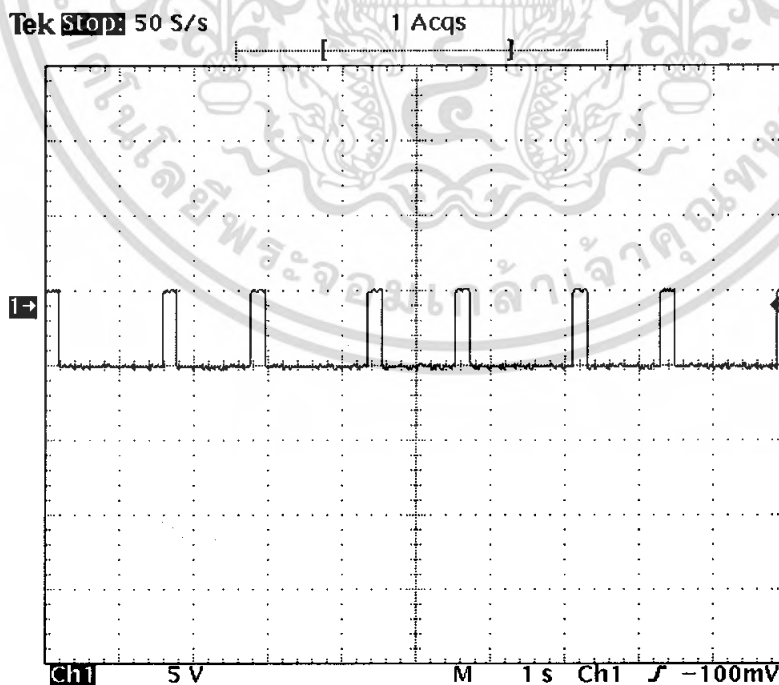
อุปกรณ์

1. Spectrum Analyzer
2. Digital Oscilloscope
3. DC Power Supply

ลำดับขั้นการทดลอง

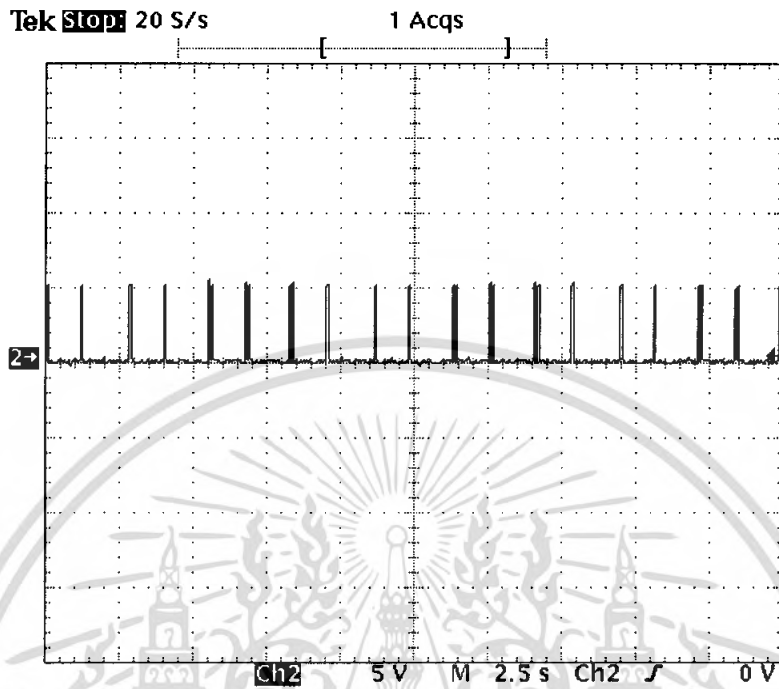
1. ป้อนไฟเลี้ยง +5 โวลต์ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ และป้อน +3.3 โวลต์ให้กับโมดูล TRW-2.4G
2. ใช้ Oscilloscope ตรวจสอบสัญญาณที่ขาต่างๆ ของโมดูล

ผลการทดลอง

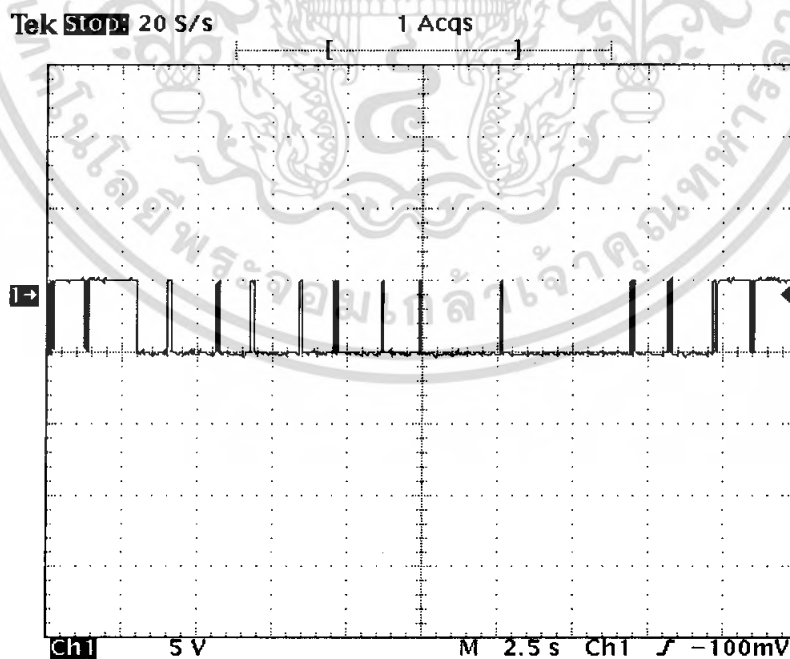


รูปที่ 4.1 สัญญาณของขา CE ของเครื่องส่ง เมื่อตรวจวัดด้วย Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 สัญญาณของขา CLK1 ของเครื่องส่ง เมื่อตรวจวัดด้วย Oscilloscope



รูปที่ 4.3 สัญญาณของขา DATE ของเครื่องส่ง เมื่อตรวจวัดด้วย Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 เป็นการวัดสัญญาณที่ขา CE ของเครื่องส่งโดยขา CE จะมีหน้าที่ในการกำหนดการทำงานของโหมคต่างๆของตัวโมดูล โดยถ้ามีการกำหนดโหมคจะให้ CE มีสถานะเป็น 1 และเมื่อทำการกำหนดโหมคเสร็จ ก็จะทำให้ CE มีสถานะเป็น 0

จากรูปที่ 4.2 เป็นการวัดสัญญาณที่ขา CLK ของเครื่องส่งโดยขา CLK จะมีหน้าที่ในการกำหนดการทำงานเพื่อกำหนดสภาวะต่างๆในการให้จังหวะการทำงานแก่ตัวโมดูล

จากรูปที่ 4.3 เป็นการวัดสัญญาณที่ขา DATE ของเครื่องส่งโดยขา DATE จะเป็นขาที่ทำการส่งข้อมูลของตัวโมดูล โดยลักษณะของสัญญาณจะมีรูปแบบเป็นเฟรมของข้อมูลตาม รูปแบบของเฟรมข้อมูลที่อยู่ในคุณสมบัติของโมดูลนั่นเอง โดยจะประกอบไปด้วยในส่วนหัวข้อมูล ส่วนของตำแหน่งข้อมูล ส่วนของข้อมูล และส่วนของการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล

4.1.2 เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและการควบคุมเนื่องจากอุณหภูมิ

จุดประสงค์

- เพื่อทดสอบการตรวจวัดอุณหภูมิ
- เพื่อทดสอบนำค่าของอุณหภูมิที่ได้ไปทำการควบคุมระบบต่อไป

อุปกรณ์

1. เทอร์โมมิเตอร์ดิจิตอล
2. เรือนเพาะปลูกจำลอง
3. เครื่องระบบตรวจสอบสภาพอากาศในเรือนเพาะปลูกแบบไร้สาย

ลำดับขั้นการทดลอง

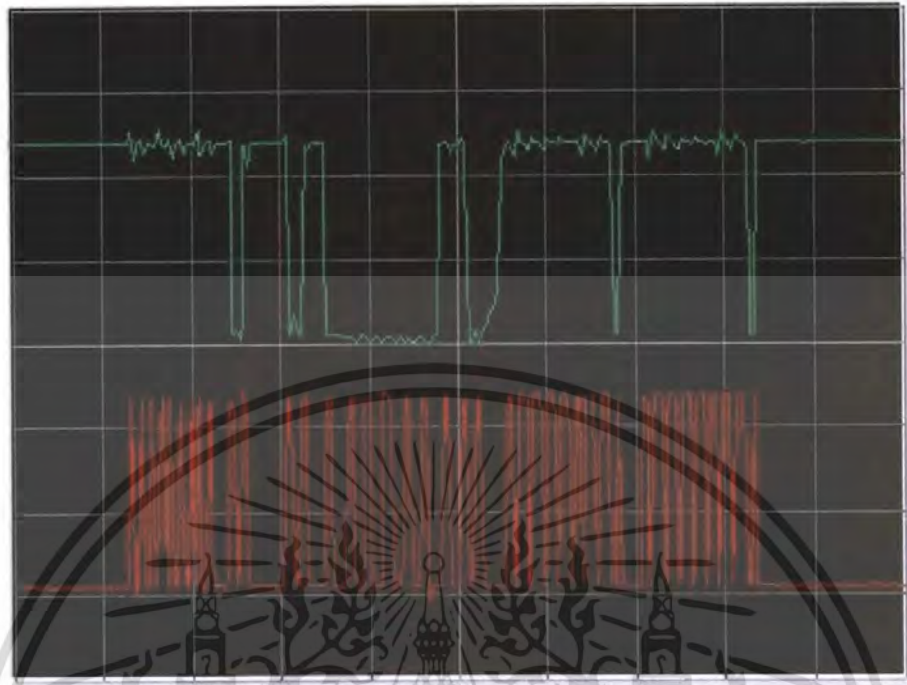
1. ทำการทดลองวัดสัญญาณด้วย oscilloscope
2. ควบคุมอุณหภูมิ แล้วใช้เทอร์โมมิเตอร์กำหนดค่าอ้างอิง
3. ใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

ผลการทดลอง



รูปที่ 4.4 แสดงรูปภาพที่ได้จากเซ็นเซอร์ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงรูปภาพที่ได้จากเซ็นเซอร์ครั้งที่ 2

ผลการทดลองการวัดอุณหภูมิของตัวตรวจวัดอุณหภูมิ

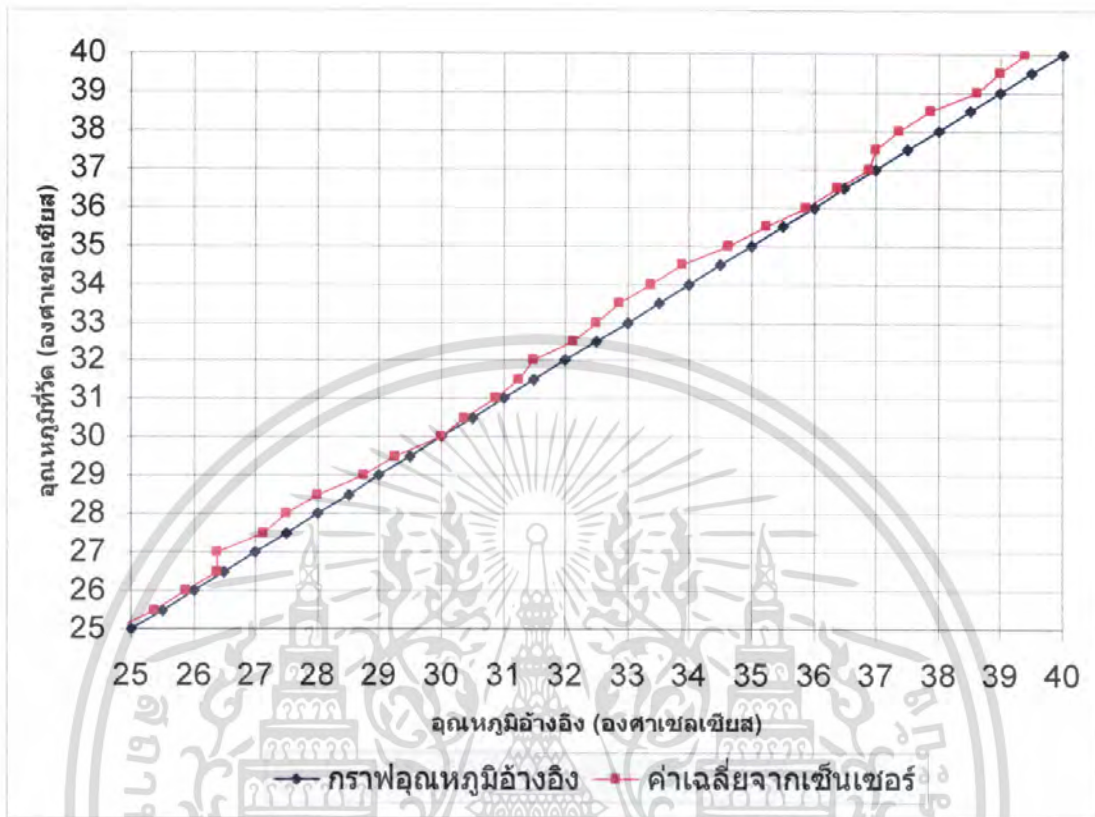
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองวัดอุณหภูมิ ตั้งแต่ 25 – 40 องศาเซลเซียส

ผลที่วัดจากเทอร์โมมิเตอร์ (องศาเซลเซียส)	ผลที่ได้จากตัวตรวจวัด ครั้งที่ 1	ผลที่ได้จากตัวตรวจวัด ครั้งที่ 2	ผลที่ได้จากตัวตรวจวัด ครั้งที่ 3	ผลที่ได้จากตัวตรวจวัด ครั้งที่ 4	ค่าเฉลี่ย	% ความผิดพลาด
25.0	24.5	25.0	25.0	24.5	24.75	1
25.5	25.5	25.5	25.5	25.0	25.375	0.49
26.0	25.5	26.5	25.5	26.0	25.875	0.48
26.5	26.0	26.5	26.5	26.5	26.375	0.47
27.0	26.0	26.5	26.5	26.5	26.375	2.31
27.5	27.5	27.0	27.0	27.0	27.125	1.36
28.0	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	1.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่วัดจากเทอร์โมมิเตอร์ (องศาเซลเซียส)	ผลที่ได้จากตัวตรวจวัด ครั้งที่ 1	ผลที่ได้จากตัวตรวจวัด ครั้งที่ 2	ผลที่ได้จากตัวตรวจวัด ครั้งที่ 3	ผลที่ได้จากตัวตรวจวัด ครั้งที่ 4	ค่าเฉลี่ย	% ความผิดพลาด
28.5	28.0	28.5	28.0	27.5	28	1.75
29.0	29.0	29.0	28.5	28.5	28.75	0.86
29.5	29.5	29.5	29.0	29.0	29.25	0.85
30.0	30.0	30.5	30.0	29.5	30	0
30.5	30.5	30.5	30.5	30.0	30.375	0.41
31.0	31.0	31.0	31.0	30.5	30.875	0.4
31.5	31.0	31.5	31.5	31.0	31.25	0.79
32.0	31.5	31.5	32.0	31.0	31.5	1.56
32.5	32.5	32.0	32.5	31.5	32.125	1.15
33.0	33.0	32.5	32.5	32.0	32.5	1.52
33.5	33.0	33.0	33.0	32.5	32.875	1.87
34.0	33.5	33.5	33.5	33.0	33.375	1.84
34.5	34.0	34.0	33.5	34.0	33.875	1.81
35.0	34.5	35.0	34.5	34.5	34.625	1.07
35.5	35.5	35.5	35.0	35.0	35.25	0.7
36.0	36.0	35.5	36.0	36.0	35.875	0.35
36.5	36.5	36.0	36.5	36.5	36.375	0.34
37.0	36.5	37.0	37.0	37.0	36.875	0.34
37.5	37.0	37.0	37.0	37.0	37	1.33
38.0	37.5	37.0	37.5	37.5	37.375	1.64
38.5	38.0	37.5	38.0	38.0	37.875	1.62
39.0	38.5	39.0	38.5	38.5	38.625	0.96
39.5	39.0	39.0	39.0	39.0	39	1.27
40.0	39.0	39.5	39.5	39.5	39.375	1.56

เอกสารนี้ 40.0 องศาที่สง 39.0 สำหรับภา 39.5 งานเพื่อการ 39.5 มาเท่านั้น 39.5 ญาติให้ 39.375 ประโยชน์ 1.56 การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้กับค่าอ้างอิง โดยวัดจากเทอร์โมมิเตอร์

จากผลการทดลองและดูจากกราฟที่ทำการพล็อตค่าหรือผลที่ได้ก่อนข้างที่จะถูกดึงและแม่นยำมากเมื่อเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์แล้ว และค่าที่ได้เป็นลักษณะของค่าที่เป็นเชิงเส้น

4.2 วงจรเครื่องรับ

4.2.1 โมดูลตัวรับ

จุดประสงค์

1. เพื่อรับสัญญาณที่เป็นข้อมูลจากเครื่องส่ง

อุปกรณ์

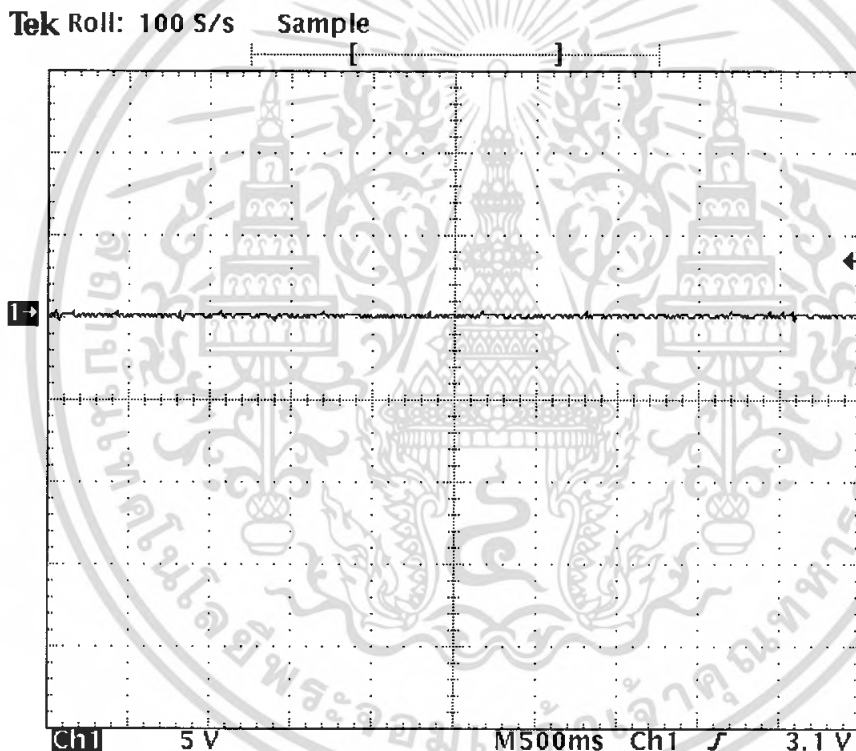
1. Spectrum Analyzer
2. Digital Oscilloscope
3. DC Power Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ป้อนไฟเลี้ยง + 5 โวลต์ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ และป้อน +3.3 โวลต์ให้กับโมดูล TRW-2.4G
2. ใช้ Oscilloscope ตรวจสอบวัดสัญญาณที่ขาต่างๆ ของโมดูล
3. ทำการตัวตรวจวัดด้วย Spectrum Analyzer เพื่อดูสัญญาณในแกนความถี่ของสัญญาณเอาต์พุต

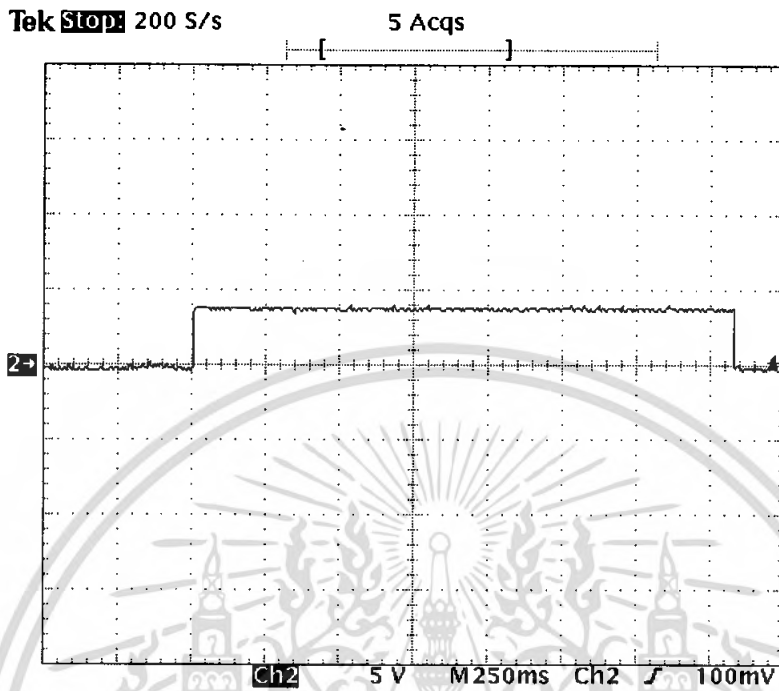
ผลการทดลอง



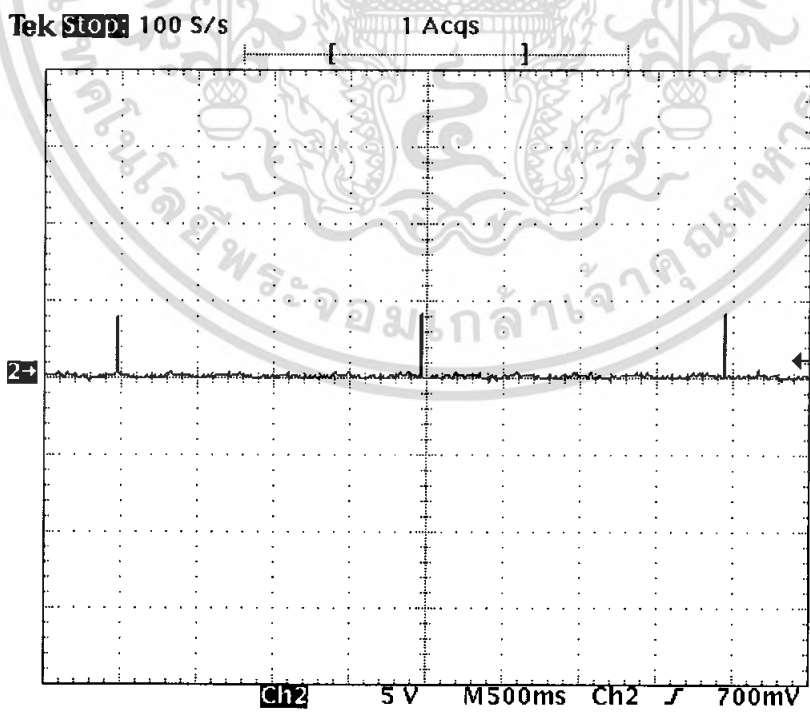
รูปที่ 4.7 สัญญาณของขา CS ของเครื่องรับ เมื่อตรวจวัดด้วย Oscilloscope

จากรูปที่ 4.7 เป็นการวัดสัญญาณที่ขา CS ของเครื่องรับโดยขา CS จะมีหน้าที่ในการค่าต่างๆ ให้กับโมดูล โดยการทำงานถ้ามีการกำหนดสถานะต่างๆ หรือในขณะนั้น โมดูลมีการทำงาน สัญญาณที่ขา CS ของโมดูลจะมีสถานะเป็น 1 ตลอดจนกว่าจะมีการหยุดการทำงานของโมดูล สัญญาณที่ขา CS ของโมดูลก็จะมีสถานะเป็น 0 ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

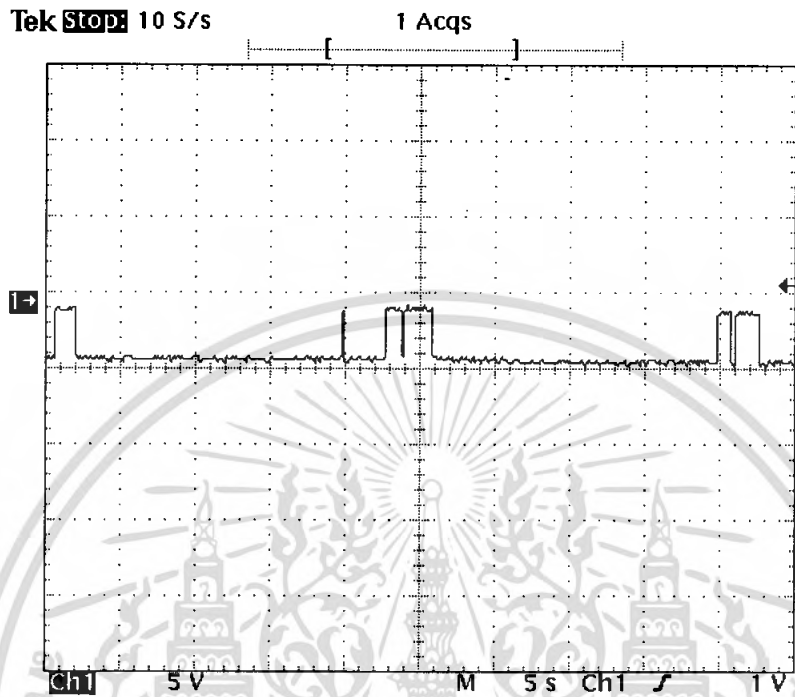


รูปที่ 4.8 สัญญาณของขา CE ของเครื่องรับ เมื่อตรวจวัดด้วย Oscilloscope

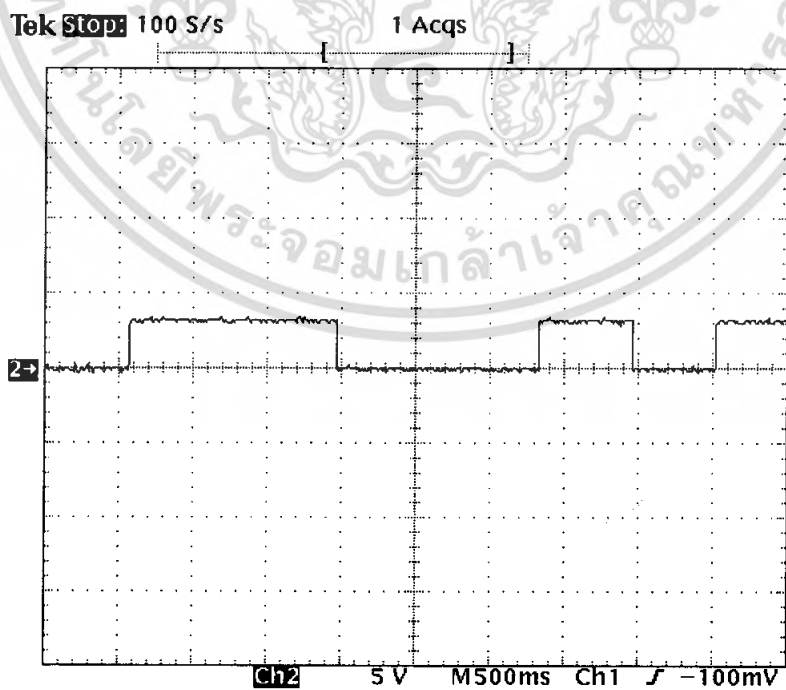


รูปที่ 4.9 สัญญาณของขา CLK1 ของเครื่องรับ เมื่อตรวจวัดด้วย Oscilloscope

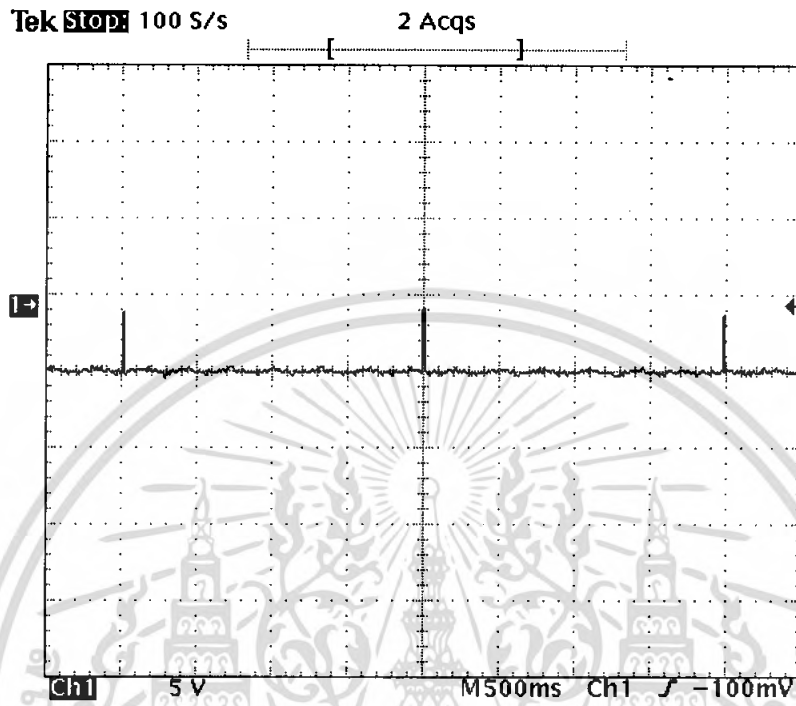
เอกสารนี้เป็นเอกสารของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



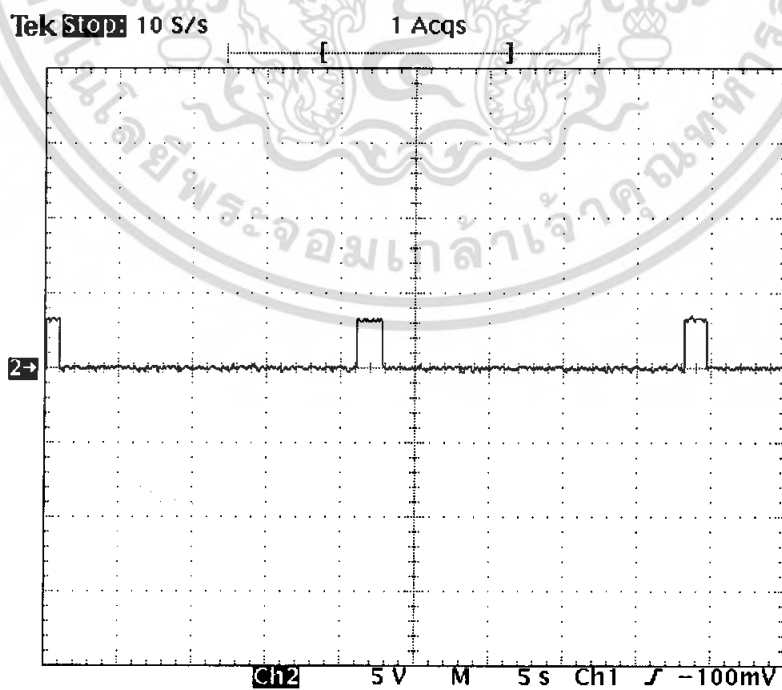
รูปที่ 4.10 สัญญาณของขา DATE ของเครื่องรับ เมื่อตรวจวัดด้วย Oscilloscope



เอกสารนี้เป็นเอกสาร **รูปที่ 4.11** สัญญาณของขา DR1 ของเครื่องรับ เมื่อตรวจวัดด้วย Oscilloscope นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

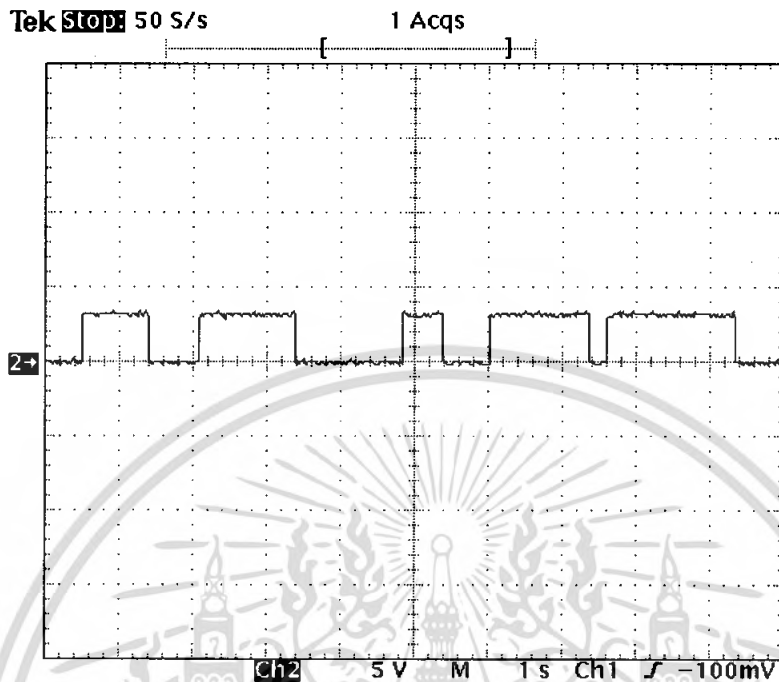


รูปที่ 4.12 สัญญาณของขา CLK2 ของเครื่องรับ เมื่อตรวจวัดด้วย Oscilloscope



รูปที่ 4.13 สัญญาณของขา DOUT2 ของเครื่องรับ เมื่อตรวจวัดด้วย Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับอาจารย์เท่านั้น เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 สัญญาณของขา DR2 ของเครื่องรับ เมื่อตรวจวัดด้วย Oscilloscope

จากรูปที่ 4.8 เป็นการวัดสัญญาณที่ขา CE ของเครื่องรับโดยขา CE จะมีหน้าที่ในการกำหนดการทำงานของโหมดต่างๆของตัวโมดูล โดยถ้ามีการกำหนดโหมดจะให้ CE มีสถานะเป็น 1 และเมื่อทำการกำหนดโหมดเสร็จ ก็จะทำให้ CE มีสถานะเป็น 0

จากรูปที่ 4.9 เป็นการวัดสัญญาณที่ขา CLK1 ของเครื่องรับ โดยขา CLK1 จะมีหน้าที่ในการกำหนดการทำงานเพื่อกำหนดสถานะต่างๆ ในการให้จังหวะการทำงานแก่ตัวโมดูลซึ่งจะเป็นสถานะของช่องที่ 1 ของโมดูล

จากรูปที่ 4.10 เป็นการวัดสัญญาณที่ขา DATE ของเครื่องรับ ซึ่งเป็นสถานะของช่องที่ 1 ของโมดูล โดยขา DATE จะเป็นขาที่ทำการส่งข้อมูลของตัวโมดูล โดยลักษณะของสัญญาณจะมีรูปแบบเป็นเฟรมของข้อมูลตาม รูปแบบของเฟรมข้อมูลที่อยู่ในคุณสมบัติของ โมดูลนั่นเอง โดยจะประกอบไปด้วยในส่วนหัวข้อมูล ส่วนของตำแหน่งข้อมูล ส่วนของข้อมูล และส่วนของการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล

จากรูปที่ 4.11 สัญญาณของขา DR1 ของเครื่องรับ เป็นสถานะแสดงการรับข้อมูลช่องที่ 1 ของโมดูลโดยถ้าโมดูลมีการรับข้อมูล สถานะสัญญาณของขา DR1 นี้จะมีสถานะเป็น 1 และพอไม่มีการรับข้อมูลสถานะจะเป็น 0

จากรูปที่ 4.12 เป็นการวัดสัญญาณที่ขา CLK1 ของเครื่องรับโดยขา CLK2 จะมีหน้าที่ในการกำหนดการทำงานเพื่อกำหนดสถานะต่างในการให้จังหวะการทำงานแก่ตัวโมดูลซึ่งจะเป็นสถานะของช่องที่ 2 ของโมดูล

จากรูปที่ 4.13 เป็นการวัดสัญญาณที่ขา DOUT2 ของเครื่องรับ ซึ่งเป็นสถานะของช่องที่ 2 ของโมดูลโดยขา DOUT2 จะเป็นขาที่ทำภารกิจส่งข้อมูลของตัวโมดูล โดยลักษณะของสัญญาณจะมีรูปแบบเป็นเฟรมของข้อมูลตาม รูปแบบของเฟรมข้อมูลที่อยู่ในคุณสมบัติของโมดูลนั่นเอง โดยจะประกอบไปด้วยในส่วนหัวข้อมูล ส่วนของตำแหน่งข้อมูล ส่วนของข้อมูล และส่วนของการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล

จากรูปที่ 4.14 สัญญาณของขา DR2 ของเครื่องรับ เป็นสถานะแสดงการรับข้อมูลช่องที่ 2 ของโมดูลโดยถ้าโมดูลมีการรับข้อมูล สถานะสัญญาณของขา DR2 นี้จะมีสถานะเป็น 1 และพอไม่มีการรับข้อมูลสถานะจะเป็น 0

4.2.2 ส่วนการตรวจวัดความชื้นของอากาศและการควบคุมแอลอีดีเนื่องจากความชื้นของอากาศ

จุดประสงค์

- เพื่อทดสอบการตรวจวัดความชื้นอากาศในเรือนเพาะปลูก
- เพื่อทดสอบนำค่าของความชื้นอากาศที่ได้ไปทำการควบคุมระบบต่อไป

อุปกรณ์

1. เครื่องระบบตรวจสอบสภาพอากาศในเรือนเพาะปลูกแบบไร้สาย
2. เรือนเพาะปลูกจำลอง
3. คอมพิวเตอร์
4. โปรแกรมแสดงผลและควบคุมหน้าจอกอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อเครื่องระบบตรวจสอบสภาพอากาศในเรือนเพาะปลูกแบบไร้สายเข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต DB-9
2. นำตัวตรวจวัดความชื้นอากาศที่สร้างขึ้นวัดภายในโรงเรือน
3. เปิดโปรแกรมแสดงผลและควบคุมหน้าจอคอมพิวเตอร์

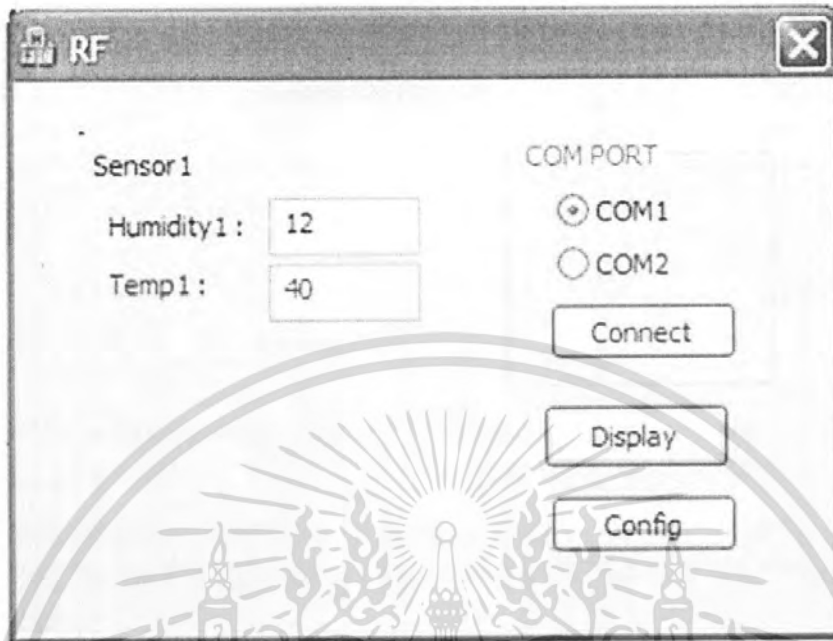
ผลการทดลอง

ผลการทดลองการวัดอุณหภูมิของตัวตรวจวัดความชื้นในอากาศ

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองวัดความชื้นในอากาศที่ได้ค่าจากจอคอมพิวเตอร์

ค่าที่วัดได้จากตัว ตรวจวัด ครั้งที่ 1	ค่าที่วัดได้จากตัว ตรวจวัด ครั้งที่ 2	ค่าที่วัดได้จากตัว ตรวจวัด ครั้งที่ 3	ค่าที่วัดได้จากตัว ตรวจวัด ครั้งที่ 4
1	0	2	1
16	15	16	16
22	20	21	21
28	27	26	29
33	34	33	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงรูปตัวอย่างหน้าจอแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และบทสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่ผ่านมาดังได้นำเสนอไปแล้วเป็นการทดลอง สร้างในส่วนของตัวรับ และตัวส่งโดยใช้ โมดูลย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ ทั้งในส่วนของตัวรับและตัวส่ง ตัวส่งจะมี 1 ตัว ตัวรับมี 1 ตัว รวมถึงตรวจวัดความชื้นอากาศ ซึ่งในโครงการชิ้นนี้ จะทำการออกแบบและมีการทำงานคือสามารถที่จะแสดงผลของความชื้นในอากาศในเวลาช่วงขณะที่ทำการวัด ซึ่งสามารถสรุปรายละเอียดได้ดังนี้

เครื่องส่ง

- เครื่องส่งสามารถปรับความถี่ได้ในช่วง 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์
- เครื่องส่งมีอัตราบิตเรต 250 กิโลบิตต่อวินาที
- สามารถส่งข้อมูลโดยใช้การมอดูเลตแบบ GFSK
- ส่งข้อมูลในรูปแบบของเฟรม
- สามารถปรับเปลี่ยนช่องสัญญาณได้โดยแต่ละช่องสัญญาณห่างกัน 8 เมกกะเฮิร์ตซ์
- เครื่องส่งใช้แรงดัน 3.3 โวลต์
- ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการกำหนดและสั่งการทำงาน
- มีเสาอากาศในตัว

เครื่องรับ

- เครื่องรับมีความไว (Sensitivity) สูงสุด -90 dBm
- เครื่องรับสามารถรับได้ที่ละ 2 ช่องสัญญาณ
- เครื่องรับมีอัตราบิตเรต 250 กิโลบิตต่อวินาที
- เครื่องรับใช้แรงดัน 3.3 โวลต์
- มีเสาอากาศในตัว

ตัวตรวจวัดชื้น

- ความละเอียด 2 เซนติบาร์
- สามารถวัดความชื้นได้ตั้งแต่ 0 ถึง 100 เซนติบาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ

- ความละเอียด 0.4 องศาเซลเซียส
- สามารถวัดอุณหภูมิได้ -40 องศาเซลเซียส ถึง 123.8 องศาเซลเซียส หรือ -40 องศาฟาเรนไฮต์ ถึง 254.9 องศาฟาเรนไฮต์

เซ็นเซอร์ SHT15 ทำการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น แล้วทำการส่งค่าที่ได้ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยข้อมูลที่เข้ามานั้นจะถูกส่งต่อไปให้ตัวโมดูลเพื่อส่งสัญญาณแบบไร้สาย ผ่านอากาศไปเข้าเครื่องรับ เครื่องรับจะรับสัญญาณด้วยโมดูล TRW 2.4GHz แล้วส่งผ่านเข้าตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะแปลงรหัสแล้วส่งเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ ผลการทดลองสามารถวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิภายในโรงเรือน แล้วส่งข้อมูลผ่านเข้าคอมพิวเตอร์ได้ และเมื่อทำการปรับแต่ง เช่นการตั้งเปิดน้ำจากคอมพิวเตอร์ก็สามารถส่งสัญญาณกลับมาให้ออกทางพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยค่าที่ออกเป็นค่า 1 ดังนั้นเราสามารถนำการคอบสนองนั้นไปเชื่อมต่อกับวงจรรดน้ำเพื่อสั่งรดน้ำ

5.2 ปัญหาที่พบ

1. เนื่องจากตัวส่งเป็นโมดูลที่มีความถี่ในย่านเดียวกับย่านของโครงข่ายไร้สาย ทำให้การส่งในลักษณะสภาพแวดล้อมโดยรอบที่มีโครงข่ายไร้สาย เกิดการรบกวนสัญญาณอย่างมาก
2. ในการรับข้อมูลเกิดการรับข้อมูลไม่ได้ทำให้ในบางครั้งข้อมูลที่ส่งมาเกิดการสูญหาย
3. ในการออกแบบแบบส่วนของเครื่องรับนั้นส่วนที่ติดต่อระหว่างโมดูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นออกแบบให้ใช้พืด 1 จึงทำให้ติดต่อกันไม่ได้
4. ในการแปลงสัญญาณที่ได้จากอนาล็อกเป็นดิจิทัลยังมีปัญหาเรื่องการแกว่งของสัญญาณหรือมีสัญญาณที่ไม่นิ่งอยู่

5.3 การแก้ปัญหา

1. ทำการทดลองโดยใช้สถานที่ที่ไม่มีโครงข่ายไร้สาย เพื่อที่จะตัดการรบกวนออกไป
2. ในการส่งข้อมูลได้ทำการเขียนโปรแกรมให้ส่งข้อมูลเดิมซ้ำกัน 2 ครั้ง เพื่อทางด้านรับจะสามารถรับข้อมูลที่ทางด้านส่งส่งมาได้โดยข้อมูลจะไม่สูญหาย
3. นำเอาตัวความต้านทานมาทำการต่อเป็นตัวความต้านทาน पुलอัฟเพื่อกำหนดพอร์ตให้เป็นพอร์ตอินพุท
4. ก่อนที่จะทำการส่งข้อมูลผ่านออกพอร์ตอนุกรมไปแสดงยังหน้าจอ แล้วจึงทำการส่งออกไปแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำตัวคาปาซิเตอร์มาต่อแหล่งจ่ายในส่วนของวงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัลเพื่อให้มีไฟที่เรียบหรือนิ่งขึ้น

5.4 แนวทางการนำไปพัฒนาต่อ

ในส่วนโครงการชิ้นนี้ได้ออกแบบให้สามารถควบคุมให้ระบบของเรือนเพาะปลูกสามารถปรับสภาพอากาศภายในและรดน้ำได้อย่างอัตโนมัติ แต่ในที่นี้เราทำเพียงแค่สามารถส่งและรับสัญญาณแบบไร้สายและแสดงผลที่จอคอมพิวเตอร์ได้เท่านั้น จึงต้องทำการควบคุมการรดน้ำโดยโปรแกรมต่อไปโดยต่อกับอุปกรณ์ตัวรับที่สร้างขึ้นที่ต้องใช้แบตเตอรี่ในการต่อแทนไฟสลับ 220 โวลต์ เพื่อสั่งให้มีการรดน้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. รศ.สมยศ จุณณะปิยะ, “การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์”, ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546
2. อุดม รานอก, “ภาษา C สำหรับงานควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์”, บริษัท ไอดีซี อินโฟดิสทริบิวเตอร์ เซ็นเตอร์ จำกัด , 2548
3. มานัส สุพันธ์, “วงจรพัลส์และสวิตชิง” ,แผนกอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคพายัพ, 2546
4. อ.พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์, “ทฤษฎีเครื่องเสียง”, สำนักพิมพ์ ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ, 2545



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

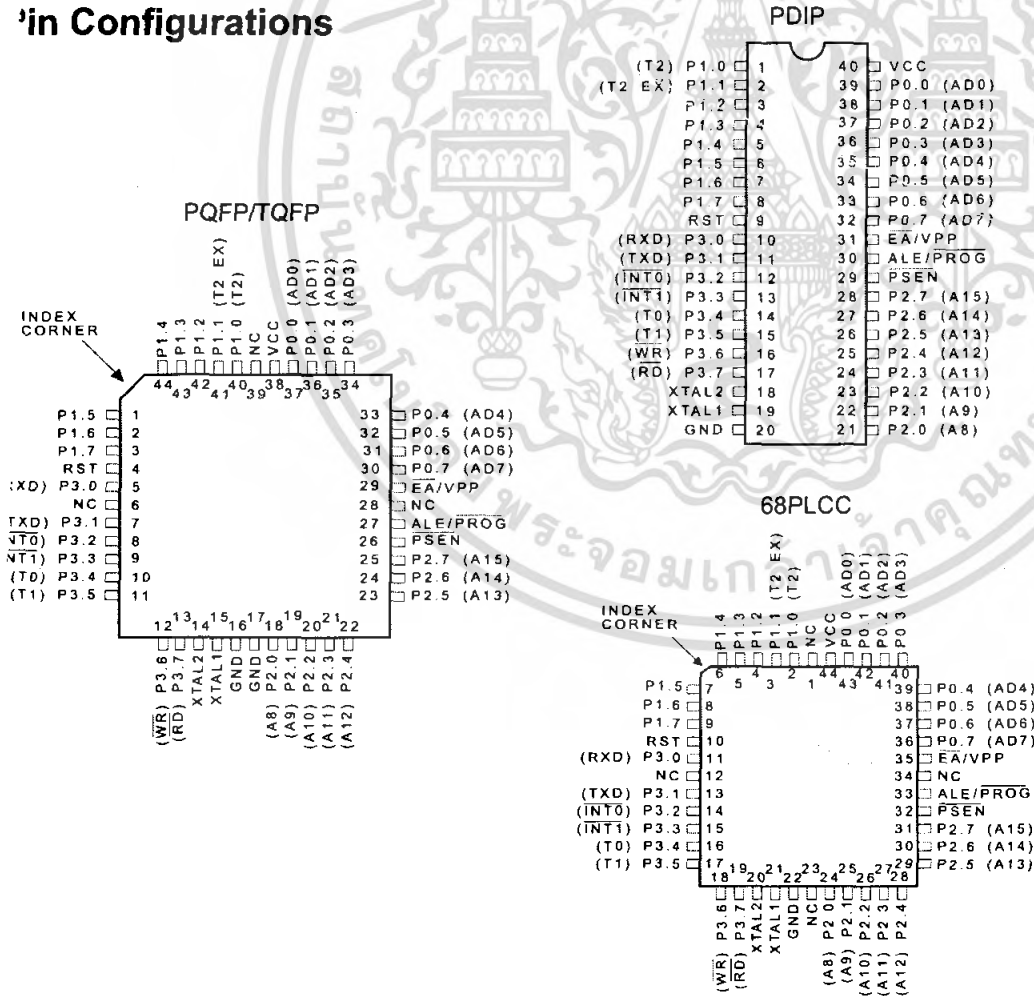
- Compatible with MCS-51™ Products
- 8K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
 - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-Level Program Memory-Lock
- 256 x 8-Bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Three 16-Bit Timer/Counters
- Eight Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low Power Idle and Power Down Modes

Description

The AT89C52 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 8K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry standard 80C51 and 80C52 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C52 is a powerful microcomputer which provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

(continued)

Pin Configurations



8-Bit Microcontroller with 8K Bytes Flash

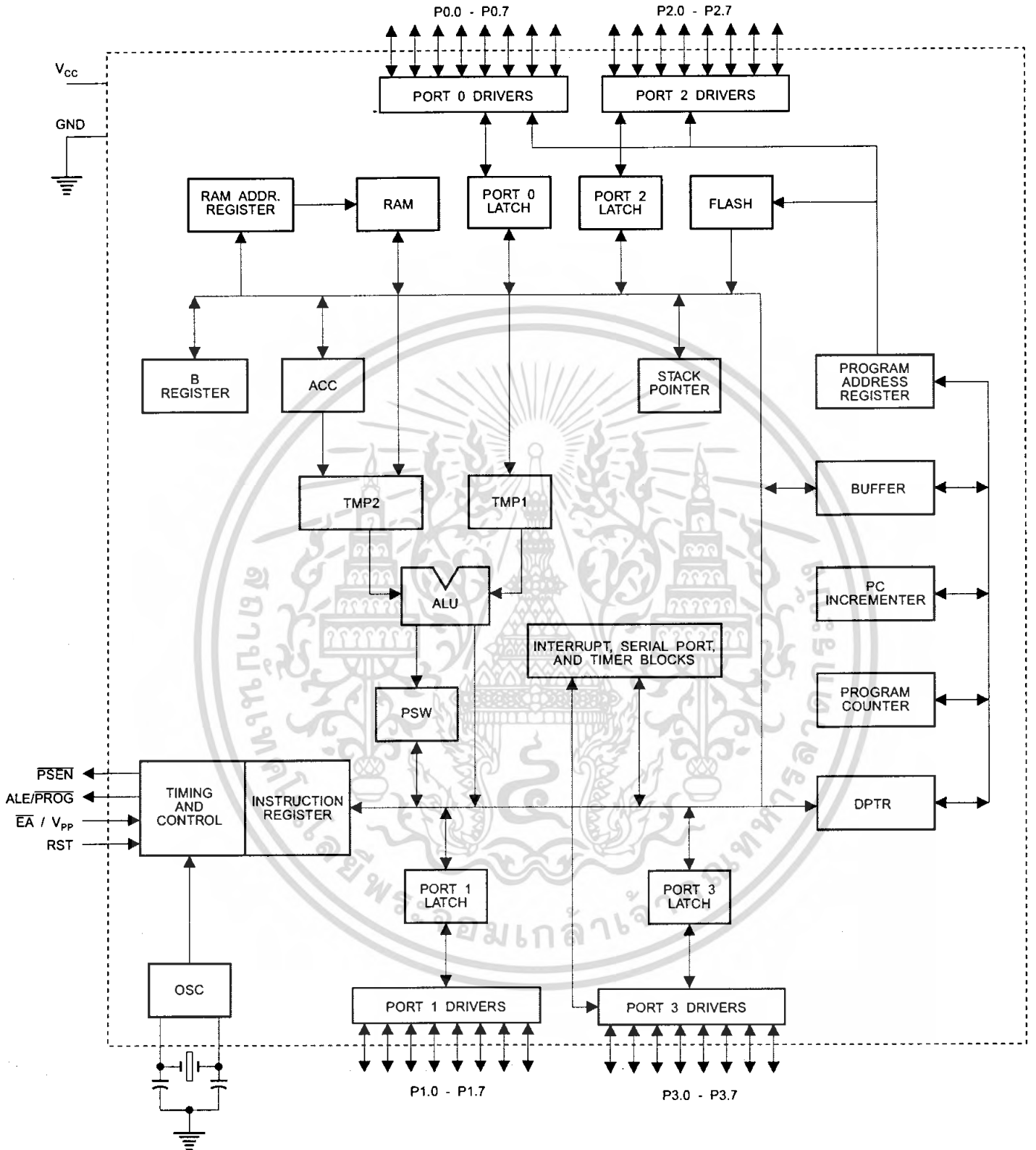
AT89C52

0313F-A-12/97



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



The AT89C52 provides the following standard features: 8K bytes of Flash, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, three 16-bit timer/counters, a six-vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, the AT89C52 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power Down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Description

V_{CC}
Supply voltage.

GND
Ground.

Port 0
Port 0 is an 8-bit open drain bidirectional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 can also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode, P0 has internal pullups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

Port 1
Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

In addition, P1.0 and P1.1 can be configured to be the timer/counter 2 external count input (P1.0/T2) and the timer/counter 2 trigger input (P1.1/T2EX), respectively, as shown in the following table.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port Pin	Alternate Functions
P1.0	T2 (external count input to Timer/Counter 2), clock-out
P1.1	T2EX (Timer/Counter 2 capture/reload trigger and direction control)

Port 2
Port 2 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, Port 2 uses strong internal pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

Port 3
Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51, as shown in the following table.

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{INT0}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{INT1}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	\overline{WR} (external data memory write strobe)
P3.7	\overline{RD} (external data memory read strobe)

RST
Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

ALE/PROG
Address Latch Enable is an output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input (\overline{PROG}) during Flash programming.

In normal operation, ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE



pulse is skipped during each access to external data memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

PSEN

Program Store Enable is the read strobe to external program memory.

When the AT89C52 is executing code from external program memory, PSEN is activated twice each machine cycle, except that two PSEN activations are skipped during each access to external data memory.

EA/V_{PP}

External Access Enable. EA must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed, EA will be internally latched on reset.

EA should be strapped to V_{CC} for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V_{PP}) during Flash programming when 12-volt programming is selected.

XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Table 1. AT89C52 SFR Map and Reset Values

0F8H								0FFH
0F0H	B 00000000							0F7H
0E8H								0EFH
0E0H	ACC 00000000							0E7H
0D8H								0DFH
0D0H	PSW 00000000							0D7H
0C8H	T2CON 00000000	T2MOD XXXXXX00	RCAP2L 00000000	RCAP2H 00000000	TL2 00000000	TH2 00000000		0CFH
0C0H								0C7H
0B8H	IP XX000000							0BFH
0B0H	P3 11111111							0B7H
0A8H	IE 0X000000							0AFH
0A0H	P2 11111111							0A7H
98H	SCON 00000000	SBUF XXXXXXXX						9FH
90H	P1 11111111							97H
88H	TCON 00000000	TMOD 00000000	TL0 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000		8FH
80H	P0 11111111	SP 00000111	DPL 00000000	DPH 00000000			PCON 0XXX0000	87H

Special Function Registers

A map of the on-chip memory area called the Special Function Register (SFR) space is shown in Table 1.

Note that not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Read accesses to these addresses will in general return random data, and write accesses will have an indeterminate effect.

User software should not write 1s to these unlisted locations, since they may be used in future products to invoke

new features. In that case, the reset or inactive values of the new bits will always be 0.

Timer 2 Registers: Control and status bits are contained in registers T2CON (shown in Table 2) and T2MOD (shown in Table 4) for Timer 2. The register pair (RCAP2H, RCAP2L) are the Capture/Reload registers for Timer 2 in 16-bit capture mode or 16-bit auto-reload mode.

Interrupt Registers: The individual interrupt enable bits are in the IE register. Two priorities can be set for each of the six interrupt sources in the IP register.

Table 2. T2CON—Timer/Counter 2 Control Register

T2CON Address = 0C8H				Reset Value = 0000 0000B				
Bit Addressable								
Bit	TF2	EXF2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	C/ $\overline{T}2$	CP/ $\overline{RL}2$
	7	6	5	4	3	2	1	0

Symbol	Function
TF2	Timer 2 overflow flag set by a Timer 2 overflow and must be cleared by software. TF2 will not be set when either RCLK = 1 or TCLK = 1.
EXF2	Timer 2 external flag set when either a capture or reload is caused by a negative transition on T2EX and EXEN2 = 1. When Timer 2 interrupt is enabled, EXF2 = 1 will cause the CPU to vector to the Timer 2 interrupt routine. EXF2 must be cleared by software. EXF2 does not cause an interrupt in up/down counter mode (DCEN = 1).
RCLK	Receive clock enable. When set, causes the serial port to use Timer 2 overflow pulses for its receive clock in serial port Modes 1 and 3. RCLK = 0 causes Timer 1 overflow to be used for the receive clock.
TCLK	Transmit clock enable. When set, causes the serial port to use Timer 2 overflow pulses for its transmit clock in serial port Modes 1 and 3. TCLK = 0 causes Timer 1 overflows to be used for the transmit clock.
EXEN2	Timer 2 external enable. When set, allows a capture or reload to occur as a result of a negative transition on T2EX if Timer 2 is not being used to clock the serial port. EXEN2 = 0 causes Timer 2 to ignore events at T2EX.
TR2	Start/Stop control for Timer 2. TR2 = 1 starts the timer.
C/ $\overline{T}2$	Timer or counter select for Timer 2. C/ $\overline{T}2$ = 0 for timer function. C/ $\overline{T}2$ = 1 for external event counter (falling edge triggered).
CP/ $\overline{RL}2$	Capture/Reload select. CP/ $\overline{RL}2$ = 1 causes captures to occur on negative transitions at T2EX if EXEN2 = 1. CP/ $\overline{RL}2$ = 0 causes automatic reloads to occur when Timer 2 overflows or negative transitions occur at T2EX when EXEN2 = 1. When either RCLK or TCLK = 1, this bit is ignored and the timer is forced to auto-reload on Timer 2 overflow.

Data Memory

The AT89C52 implements 256 bytes of on-chip RAM. The upper 128 bytes occupy a parallel address space to the Special Function Registers. That means the upper 128 bytes have the same addresses as the SFR space but are physically separate from SFR space.

When an instruction accesses an internal location above address 7FH, the address mode used in the instruction specifies whether the CPU accesses the upper 128 bytes of RAM or the SFR space. Instructions that use direct addressing access SFR space.

For example, the following direct addressing instruction accesses the SFR at location 0A0H (which is P2).

```
MOV 0A0H, #data
```

Instructions that use indirect addressing access the upper 128 bytes of RAM. For example, the following indirect addressing instruction, where R0 contains 0A0H, accesses the data byte at address 0A0H, rather than P2 (whose address is 0A0H).

```
MOV @R0, #data
```

Note that stack operations are examples of indirect addressing, so the upper 128 bytes of data RAM are available as stack space.

Timer 0 and 1

Timer 0 and Timer 1 in the AT89C52 operate the same way as Timer 0 and Timer 1 in the AT89C51.

Timer 2

Timer 2 is a 16-bit Timer/Counter that can operate as either a timer or an event counter. The type of operation is selected by bit $C/T2$ in the SFR T2CON (shown in Table 2). Timer 2 has three operating modes: capture, auto-reload (up or down counting), and baud rate generator. The modes are selected by bits in T2CON, as shown in Table 3.

Timer 2 consists of two 8-bit registers, TH2 and TL2. In the Timer function, the TL2 register is incremented every machine cycle. Since a machine cycle consists of 12 oscillator periods, the count rate is $1/12$ of the oscillator frequency.

Table 3. Timer 2 Operating Modes

RCLK + TCLK	CP/RL2	TR2	MODE
0	0	1	16-Bit Auto-Reload
0	1	1	16-Bit Capture
1	X	1	Baud Rate Generator
X	X	0	(Off)

In the Counter function, the register is incremented in response to a 1-to-0 transition at its corresponding external input pin, T2. In this function, the external input is sampled during S5P2 of every machine cycle. When the samples

show a high in one cycle and a low in the next cycle, the count is incremented. The new count value appears in the register during S3P1 of the cycle following the one in which the transition was detected. Since two machine cycles (24 oscillator periods) are required to recognize a 1-to-0 transition, the maximum count rate is $1/24$ of the oscillator frequency. To ensure that a given level is sampled at least once before it changes, the level should be held for at least one full machine cycle.

Capture Mode

In the capture mode, two options are selected by bit EXEN2 in T2CON. If EXEN2 = 0, Timer 2 is a 16-bit timer or counter which upon overflow sets bit TF2 in T2CON. This bit can then be used to generate an interrupt. If EXEN2 = 1, Timer 2 performs the same operation, but a 1-to-0 transition at external input T2EX also causes the current value in TH2 and TL2 to be captured into RCAP2H and RCAP2L, respectively. In addition, the transition at T2EX causes bit EXF2 in T2CON to be set. The EXF2 bit, like TF2, can generate an interrupt. The capture mode is illustrated in Figure 1.

Auto-Reload (Up or Down Counter)

Timer 2 can be programmed to count up or down when configured in its 16-bit auto-reload mode. This feature is invoked by the DCEN (Down Counter Enable) bit located in the SFR T2MOD (see Table 4). Upon reset, the DCEN bit is set to 0 so that timer 2 will default to count up. When DCEN is set, Timer 2 can count up or down, depending on the value of the T2EX pin.

Figure 1. Timer in Capture Mode

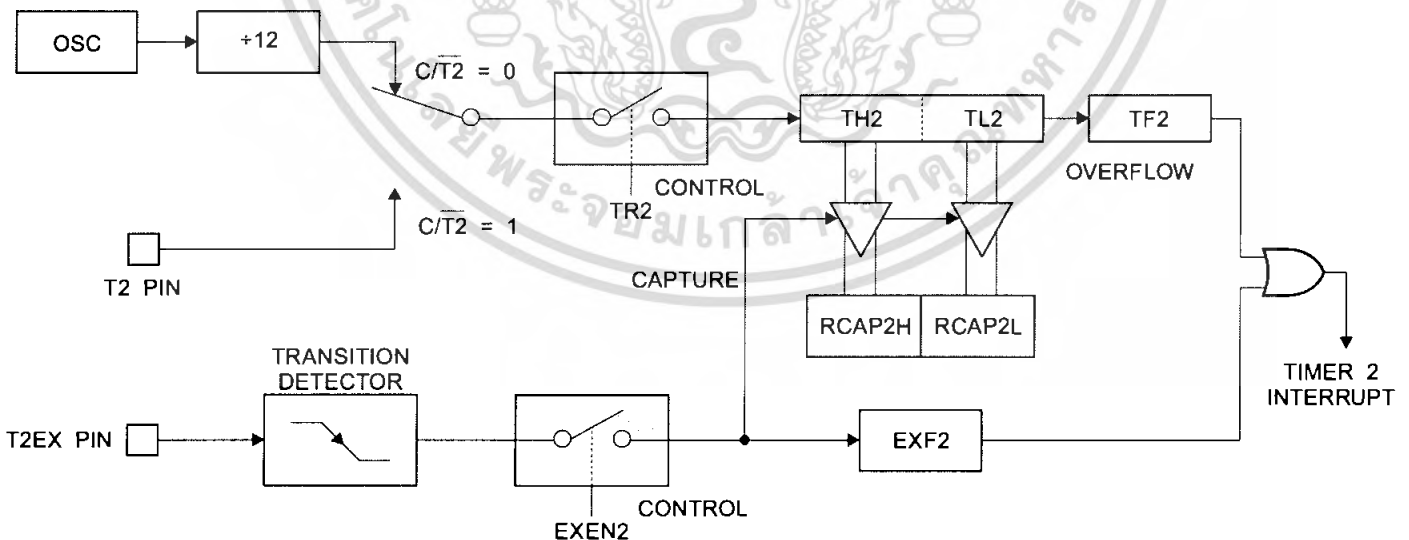


Figure 2 shows Timer 2 automatically counting up when DCEN = 0. In this mode, two options are selected by bit EXEN2 in T2CON. If EXEN2 = 0, Timer 2 counts up to 0FFFFH and then sets the TF2 bit upon overflow. The overflow also causes the timer registers to be reloaded with the 16-bit value in RCAP2H and RCAP2L. The values in Timer in Capture Mode RCAP2H and RCAP2L are preset by software. If EXEN2 = 1, a 16-bit reload can be triggered either by an overflow or by a 1-to-0 transition at external input T2EX. This transition also sets the EXF2 bit. Both the TF2 and EXF2 bits can generate an interrupt if enabled.

Setting the DCEN bit enables Timer 2 to count up or down, as shown in Figure 3. In this mode, the T2EX pin controls

the direction of the count. A logic 1 at T2EX makes Timer 2 count up. The timer will overflow at 0FFFFH and set the TF2 bit. This overflow also causes the 16-bit value in RCAP2H and RCAP2L to be reloaded into the timer registers, TH2 and TL2, respectively.

A logic 0 at T2EX makes Timer 2 count down. The timer underflows when TH2 and TL2 equal the values stored in RCAP2H and RCAP2L. The underflow sets the TF2 bit and causes 0FFFFH to be reloaded into the timer registers.

The EXF2 bit toggles whenever Timer 2 overflows or underflows and can be used as a 17th bit of resolution. In this operating mode, EXF2 does not flag an interrupt.

Figure 2. Timer 2 Auto Reload Mode (DCEN = 0)

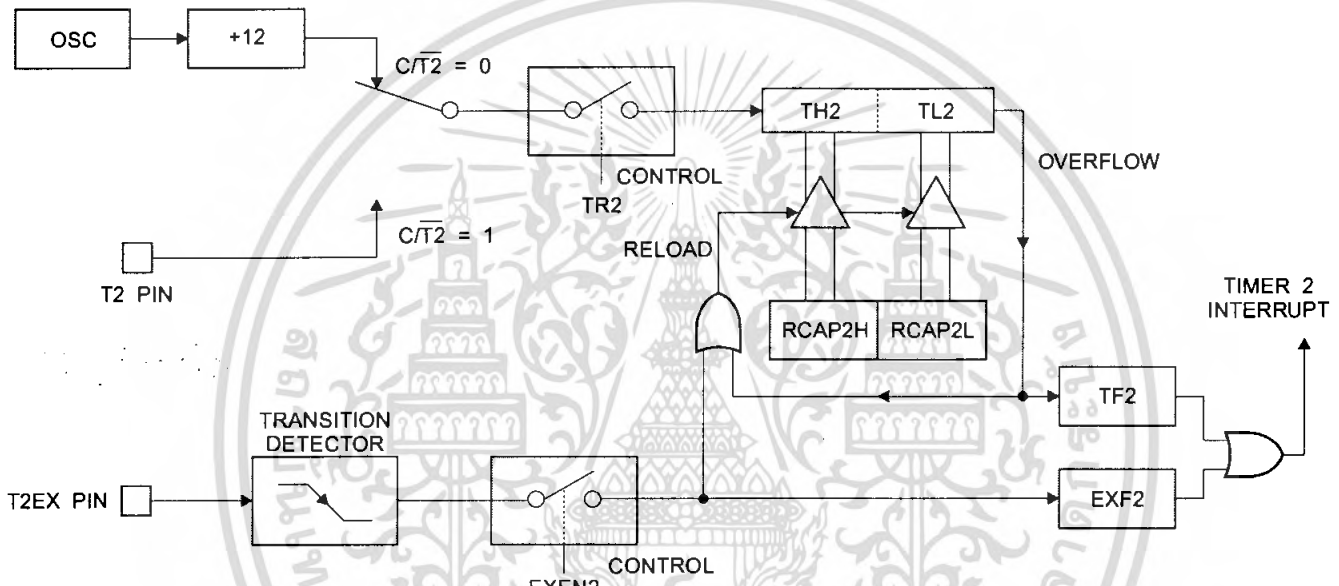


Table 4. T2MOD—Timer 2 Mode Control Register

T2MOD Address = 0C9H							Reset Value = XXXX XX00B	
Not Bit Addressable								
Bit	7	6	5	4	3	2	T2OE	DCEN
	—	—	—	—	—	—	1	0

Symbol	Function
—	Not implemented, reserved for future
T2OE	Timer 2 Output Enable bit.
DCEN	When set, this bit allows Timer 2 to be configured as an up/down counter.

Figure 3. Timer 2 Auto Reload Mode (DCEN = 1)

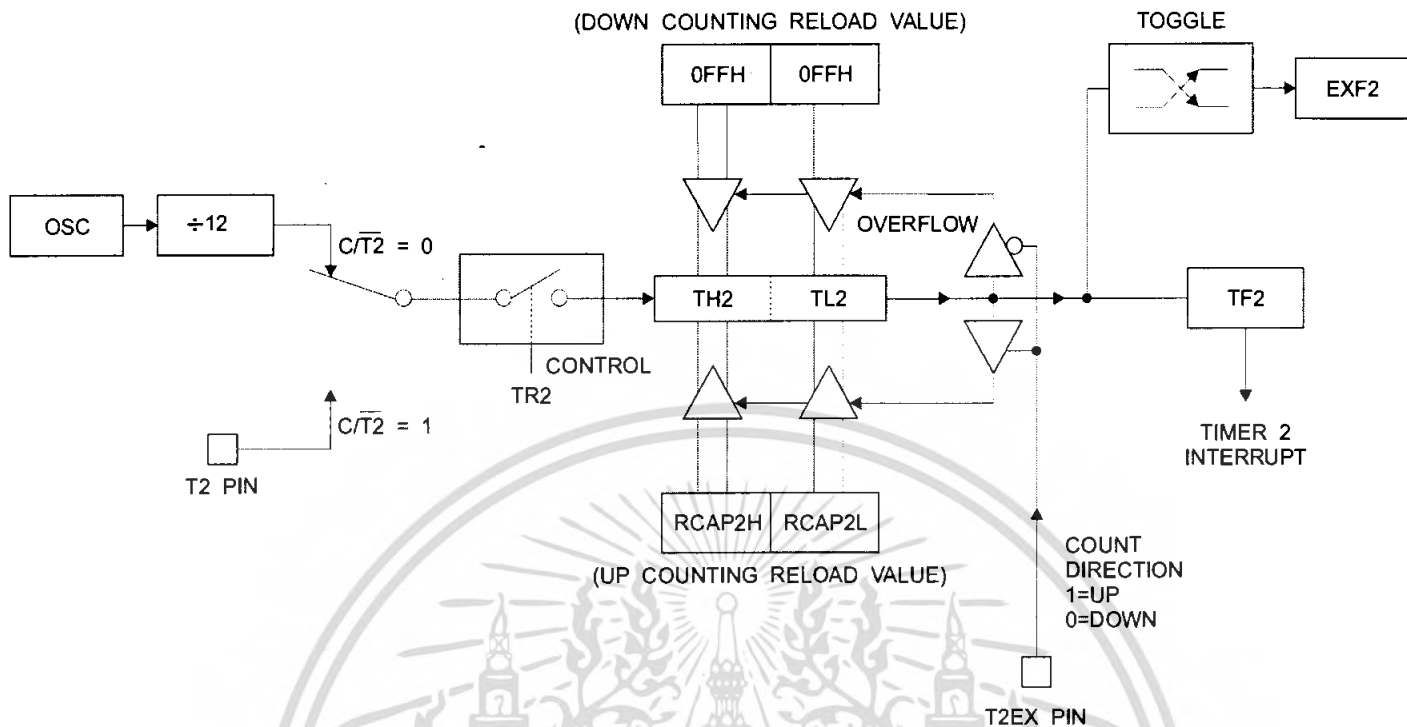
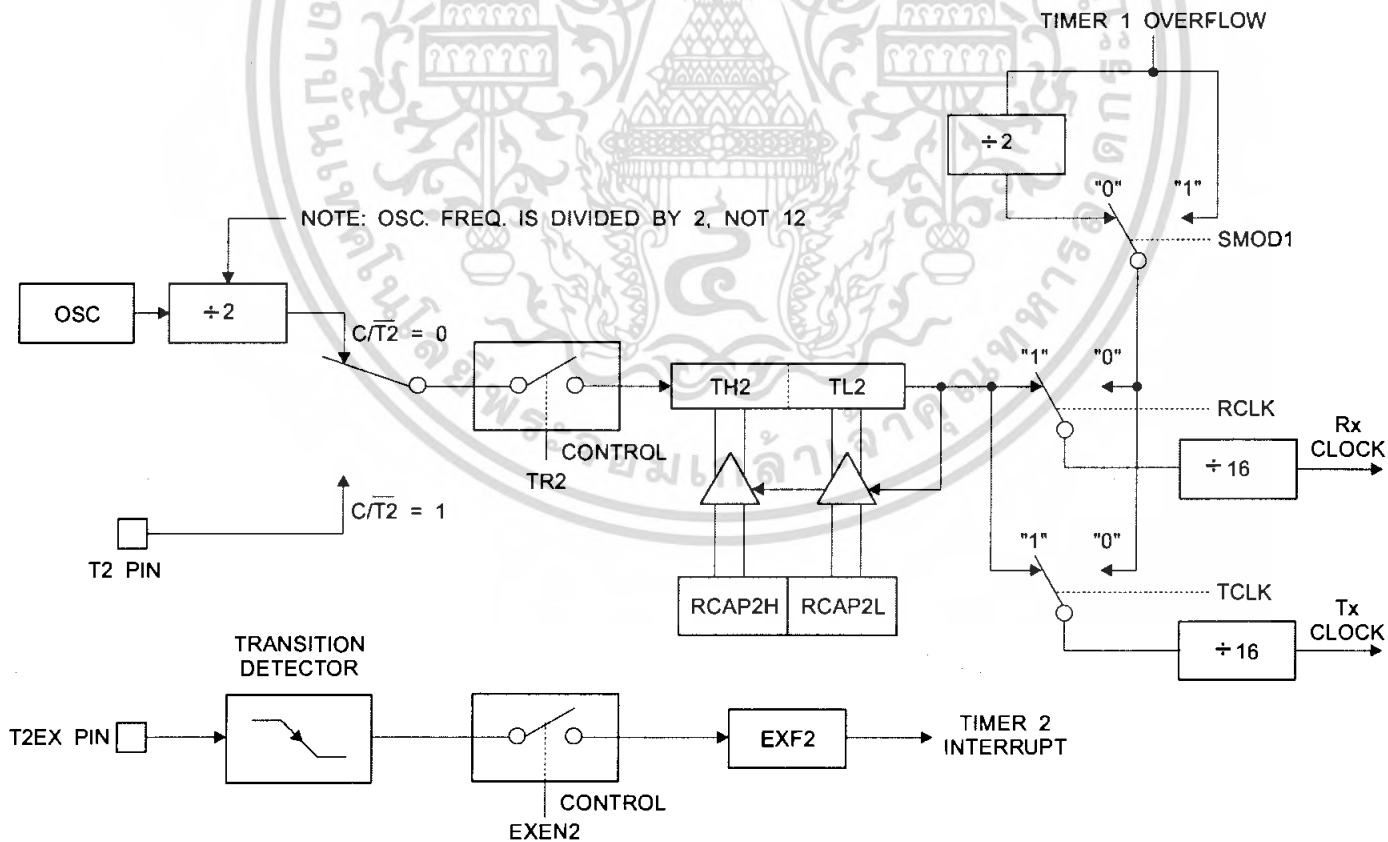


Figure 4. Timer 2 in Baud Rate Generator Mode



Baud Rate Generator

Timer 2 is selected as the baud rate generator by setting TCLK and/or RCLK in T2CON (Table 2). Note that the baud rates for transmit and receive can be different if Timer 2 is used for the receiver or transmitter and Timer 1 is used for the other function. Setting RCLK and/or TCLK puts Timer 2 into its baud rate generator mode, as shown in Figure 4.

The baud rate generator mode is similar to the auto-reload mode, in that a rollover in TH2 causes the Timer 2 registers to be reloaded with the 16-bit value in registers RCAP2H and RCAP2L, which are preset by software.

The baud rates in Modes 1 and 3 are determined by Timer 2's overflow rate according to the following equation.

$$\text{Modes 1 and 3 Baud Rates} = \frac{\text{Timer 2 Overflow Rate}}{16}$$

The Timer can be configured for either timer or counter operation. In most applications, it is configured for timer operation ($CP/\overline{T2} = 0$). The timer operation is different for Timer 2 when it is used as a baud rate generator. Normally, as a timer, it increments every machine cycle (at 1/12 the oscillator frequency). As a baud rate generator, however, it

increments every state time (at 1/2 the oscillator frequency). The baud rate formula is given below.

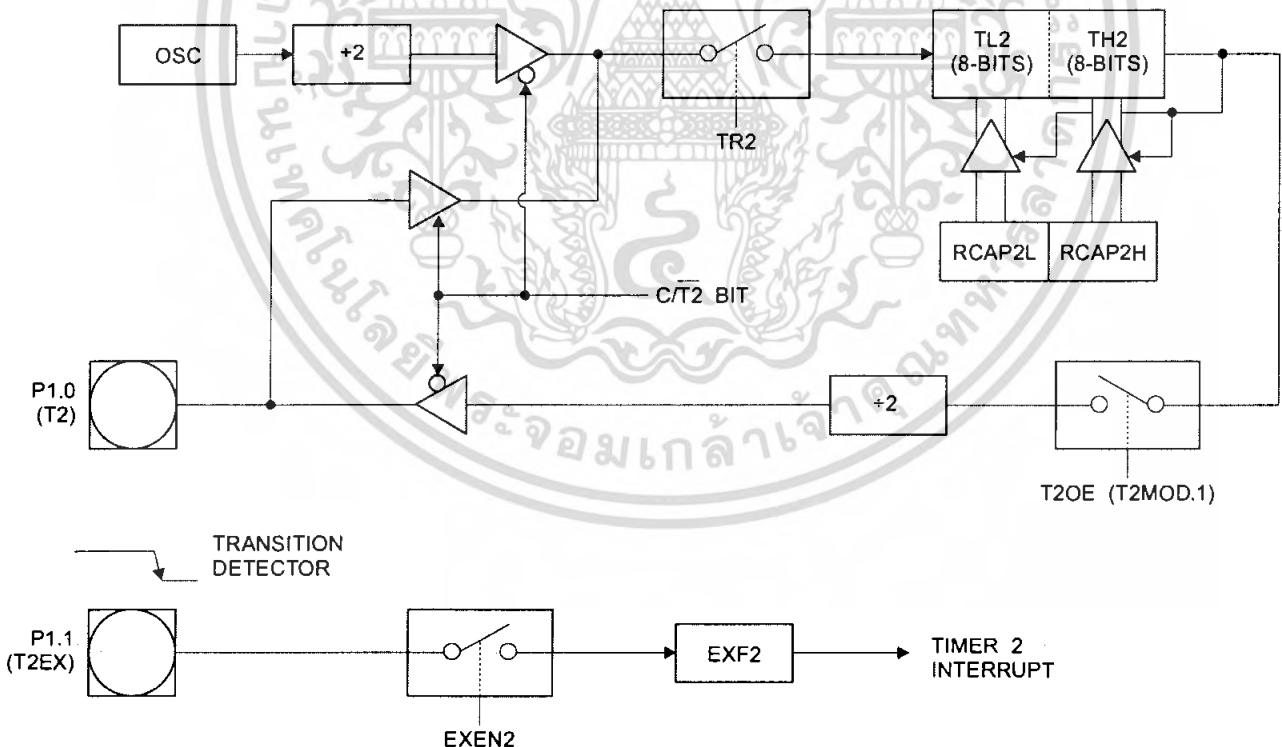
$$\frac{\text{Modes 1 and 3}}{\text{Baud Rate}} = \frac{\text{Oscillator Frequency}}{32 \times [65536 - (\text{RCAP2H}, \text{RCAP2L})]}$$

where (RCAP2H, RCAP2L) is the content of RCAP2H and RCAP2L taken as a 16-bit unsigned integer.

Timer 2 as a baud rate generator is shown in Figure 4. This figure is valid only if RCLK or TCLK = 1 in T2CON. Note that a rollover in TH2 does not set TF2 and will not generate an interrupt. Note too, that if EXEN2 is set, a 1-to-0 transition in T2EX will set EXF2 but will not cause a reload from (RCAP2H, RCAP2L) to (TH2, TL2). Thus when Timer 2 is in use as a baud rate generator, T2EX can be used as an extra external interrupt.

Note that when Timer 2 is running ($TR2 = 1$) as a timer in the baud rate generator mode, TH2 or TL2 should not be read from or written to. Under these conditions, the Timer is incremented every state time, and the results of a read or write may not be accurate. The RCAP2 registers may be read but should not be written to, because a write might overlap a reload and cause write and/or reload errors. The timer should be turned off (clear TR2) before accessing the Timer 2 or RCAP2 registers.

Figure 5. Timer 2 in Clock-Out Mode



Oscillator Characteristics

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier that can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 7. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected while XTAL1 is driven, as shown in Figure 8. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Idle Mode

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

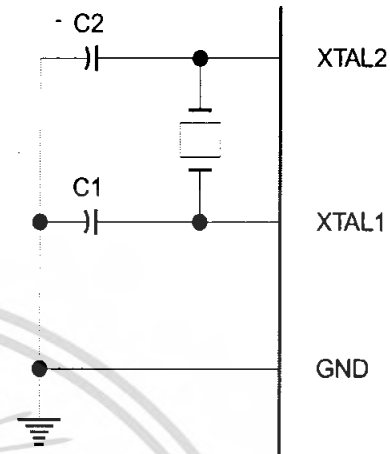
Note that when idle mode is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when idle mode is terminated by a reset, the instruction following the one that invokes idle mode should not write to a port pin or to external memory.

Power Down Mode

In the power down mode, the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the power down mode is terminated. The only exit from power down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V_{CC} is

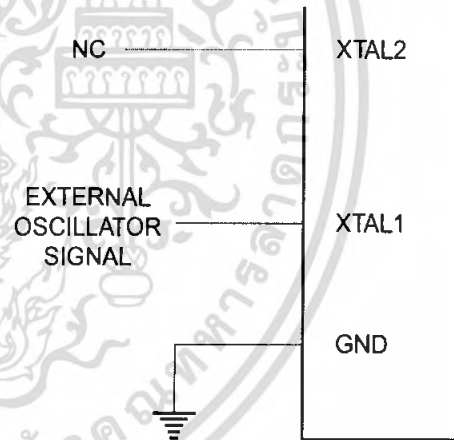
restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

Figure 7. Oscillator Connections



Note: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals
= 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

Figure 8. External Clock Drive Configuration



Status of External Pins During Idle and Power Down Modes

Mode	Program Memory	ALE	PSEN	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power Down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power Down	External	0	0	Float	Data	Data	Data

Program Memory Lock Bits

The AT89C52 has three lock bits that can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the following table.

Lock Bit Protection Modes

Program Lock Bits				Protection Type
LB1	LB2	LB3		
1	U	U	U	No program lock features.
2	P	U	U	MOVC instructions executed from external program memory are disabled from fetching code bytes from internal memory, \overline{EA} is sampled and latched on reset, and further programming of the Flash memory is disabled.
3	P	P	U	Same as mode 2, but verify is also disabled.
4	P	P	P	Same as mode 3, but external execution is also disabled.

When lock bit 1 is programmed, the logic level at the \overline{EA} pin is sampled and latched during reset. If the device is powered up without a reset, the latch initializes to a random value and holds that value until reset is activated. The latched value of \overline{EA} must agree with the current logic level at that pin in order for the device to function properly.

Programming the Flash

The AT89C52 is normally shipped with the on-chip Flash memory array in the erased state (that is, contents = FFH) and ready to be programmed. The programming interface accepts either a high-voltage (12-volt) or a low-voltage (V_{CC}) program enable signal. The low voltage programming mode provides a convenient way to program the AT89C52 inside the user's system, while the high-voltage programming mode is compatible with conventional third-party Flash or EPROM programmers.

The AT89C52 is shipped with either the high-voltage or low-voltage programming mode enabled. The respective top-side marking and device signature codes are listed in the following table.

	$V_{PP} = 12V$	$V_{PP} = 5V$
Top-Side Mark	AT89C52 xxxx yyww	AT89C52 xxxx-5 yyww
Signature	(030H)=1EH (031H)=52H (032H)=FFH	(030H)=1EH (031H)=52H (032H)=05H

The AT89C52 code memory array is programmed byte-by-byte in either programming mode. *To program any non-blank byte in the on-chip Flash Memory, the entire memory must be erased using the Chip Erase Mode.*

Programming Algorithm: Before programming the AT89C52, the address, data and control signals should be set up according to the Flash programming mode table and Figures 9 and 10. To program the AT89C52, take the following steps.

1. Input the desired memory location on the address lines.
2. Input the appropriate data byte on the data lines.
3. Activate the correct combination of control signals.
4. Raise \overline{EA}/V_{PP} to 12V for the high-voltage programming mode.
5. Pulse $\overline{ALE}/\overline{PROG}$ once to program a byte in the Flash array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes no more than 1.5 ms. Repeat steps 1 through 5, changing the address and data for the entire array or until the end of the object file is reached.

Data Polling: The AT89C52 features Data Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written data on PO.7. Once the write cycle has been completed, true data is valid on all outputs, and the next cycle may begin. Data Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/Busy: The progress of byte programming can also be monitored by the RDY/BSY output signal. P3.4 is pulled low after \overline{ALE} goes high during programming to indicate BUSY. P3.4 is pulled high again when programming is done to indicate READY.

Program Verify: If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed, the programmed code data can be read back via the address and data lines for verification. The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

Chip Erase: The entire Flash array is erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding $\overline{\text{ALE/PROG}}$ low for 10 ms. The code array is written with all 1s. The chip erase operation must be executed before the code memory can be reprogrammed.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 030H, 031H, and 032H, except that P3.6 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

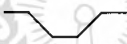
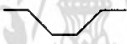



- (030H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
- (031H) = 52H indicates 89C52
- (032H) = FFH indicates 12V programming
- (032H) = 05H indicates 5V programming

Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written, and the entire array can be erased, by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

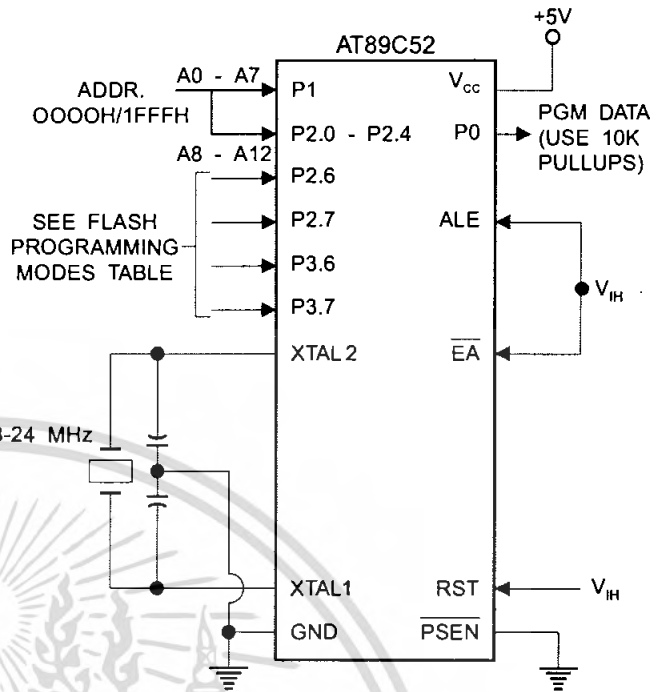
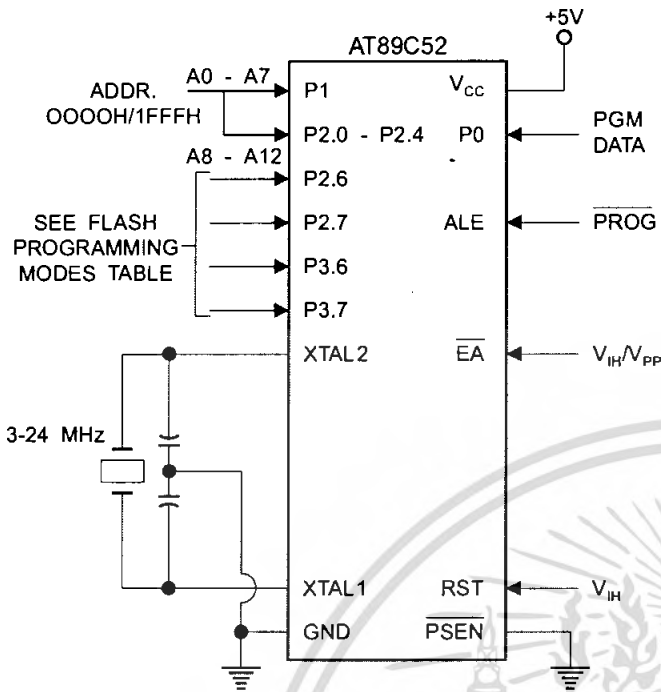
Flash Programming Modes

Mode		RST	PSEN	ALE/PROG	$\overline{\text{EA/V}}_{\text{PP}}$	P2.6	P2.7	P3.6	P3.7
Write Code Data		H	L		H/12V	L	H	H	H
Read Code Data		H	L	H	H	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1	H	L		H/12V	H	H	H	H
	Bit - 2	H	L		H/12V	H	H	L	L
	Bit - 3	H	L		H/12V	H	L	H	L
Chip Erase		H	L	 (1)	H/12V	H	L	L	L
Read Signature Byte		H	L	H	H	L	L	L	L

Note: 1. Chip Erase requires a 10-ms $\overline{\text{PROG}}$ pulse.

Figure 9. Programming the Flash Memory

Figure 10. Verifying the Flash Memory



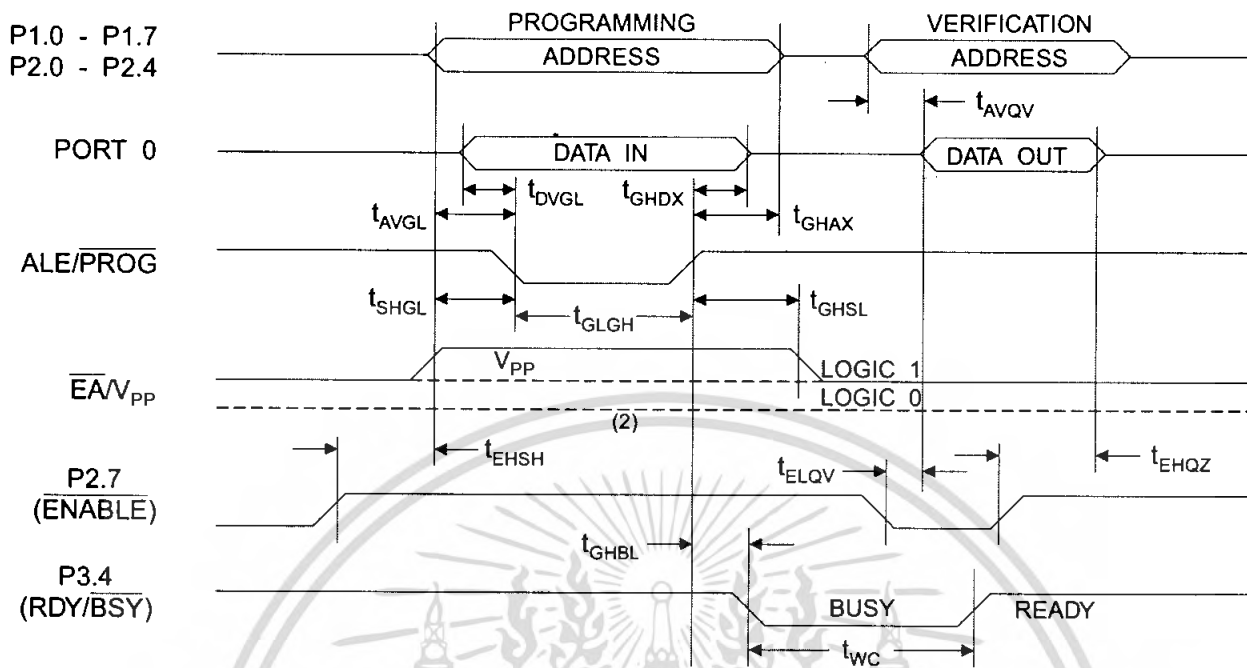
Flash Programming and Verification Characteristics

$T_A = 0^\circ\text{C}$ to 70°C , $V_{CC} = 5.0 \pm 10\%$

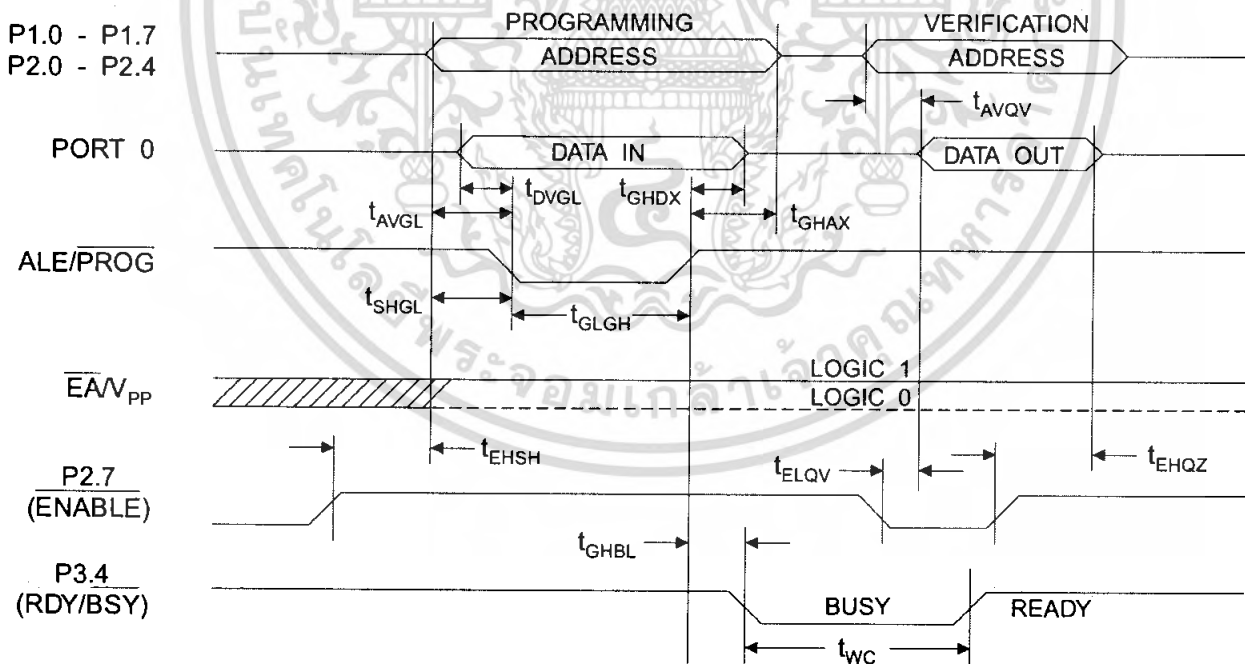
Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$V_{PP}^{(1)}$	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
$I_{PP}^{(1)}$	Programming Enable Current		1.0	mA
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	3	24	MHz
t_{AVGL}	Address Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	$48t_{CLCL}$		
t_{GHAX}	Address Hold After $\overline{\text{PROG}}$	$48t_{CLCL}$		
t_{DVGL}	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	$48t_{CLCL}$		
t_{GHDX}	Data Hold After $\overline{\text{PROG}}$	$48t_{CLCL}$		
t_{EHSB}	P2.7 ($\overline{\text{ENABLE}}$) High to V_{PP}	$48t_{CLCL}$		
t_{SHGL}	V_{PP} Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		μs
$t_{GHSL}^{(1)}$	V_{PP} Hold After $\overline{\text{PROG}}$	10		μs
t_{GLGH}	$\overline{\text{PROG}}$ Width	1	110	μs
t_{AVQV}	Address to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
t_{ELQV}	$\overline{\text{ENABLE}}$ Low to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
t_{EHQZ}	Data Float After $\overline{\text{ENABLE}}$	0	$48t_{CLCL}$	
t_{GHBL}	$\overline{\text{PROG}}$ High to $\overline{\text{BUSY}}$ Low		1.0	μs
t_{WC}	Byte Write Cycle Time		2.0	ms

Note: 1. Only used in 12-volt programming mode.

Flash Programming and Verification Waveforms - High Voltage Mode ($V_{PP}=12V$)



Flash Programming and Verification Waveforms - Low Voltage Mode ($V_{PP}=5V$)



Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage.....	6.6V
DC Output Current.....	15.0 mA

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

DC Characteristics

The values shown in this table are valid for $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C and $V_{CC} = 5.0\text{V} \pm 20\%$, unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
V_{IL}	Input Low Voltage	(Except \overline{EA})	-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.1$	V
V_{IL1}	Input Low Voltage (\overline{EA})		-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.3$	V
V_{IH}	Input High Voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC} + 0.9$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{IH1}	Input High Voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{OL}	Output Low Voltage ⁽¹⁾ (Ports 1,2,3)	$I_{OL} = 1.6 \text{ mA}$		0.45	V
V_{OL1}	Output Low Voltage ⁽¹⁾ (Port 0, ALE, \overline{PSEN})	$I_{OL} = 3.2 \text{ mA}$		0.45	V
V_{OH}	Output High Voltage (Ports 1,2,3, ALE, \overline{PSEN})	$I_{OH} = -60 \mu\text{A}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -25 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -10 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
V_{OH1}	Output High Voltage (Port 0 in External Bus Mode)	$I_{OH} = -800 \mu\text{A}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -300 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -80 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
I_{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 0.45\text{V}$		-50	μA
I_{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 2\text{V}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$		-650	μA
I_{LI}	Input Leakage Current (Port 0, \overline{EA})	$0.45 < V_{IN} < V_{CC}$		± 10	μA
RRST	Reset Pulldown Resistor		50	300	$\text{K}\Omega$
C_{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF
I_{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		25	mA
		Idle Mode, 12 MHz		6.5	mA
	Power Down Mode ⁽¹⁾	$V_{CC} = 6\text{V}$		100	μA
		$V_{CC} = 3\text{V}$		40	μA

- Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:
 Maximum I_{OL} per port pin: 10 mA
 Maximum I_{OL} per 8-bit port:
 Port 0: 26 mA Ports 1, 2, 3: 15 mA
 Maximum total I_{OL} for all output pins: 71 mA
 If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.
2. Minimum V_{CC} for Power Down is 2V.

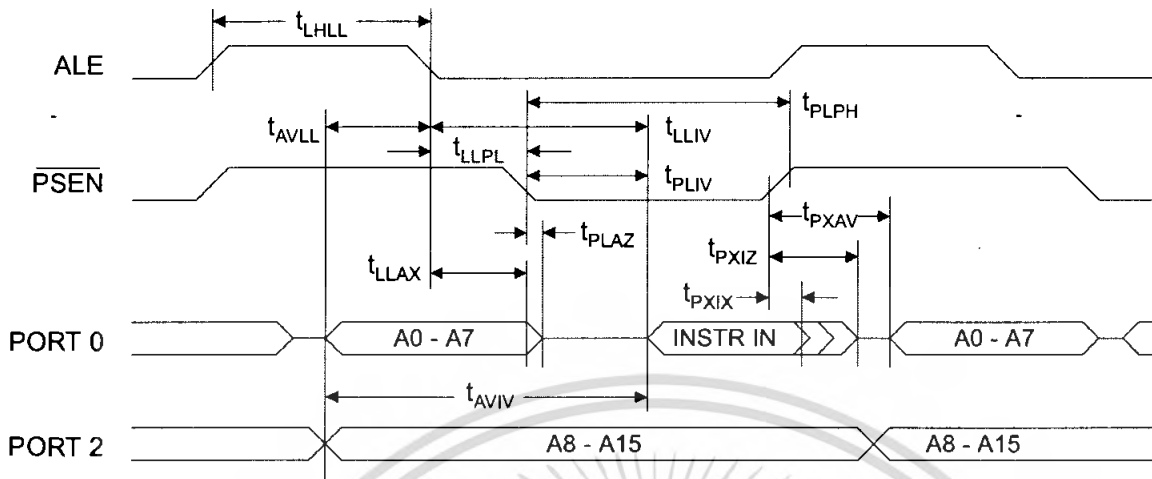
AC Characteristics

Under operating conditions, load capacitance for Port 0, ALE/ $\overline{\text{PROG}}$, and $\overline{\text{PSEN}}$ = 100 pF; load capacitance for all other outputs = 80 pF.

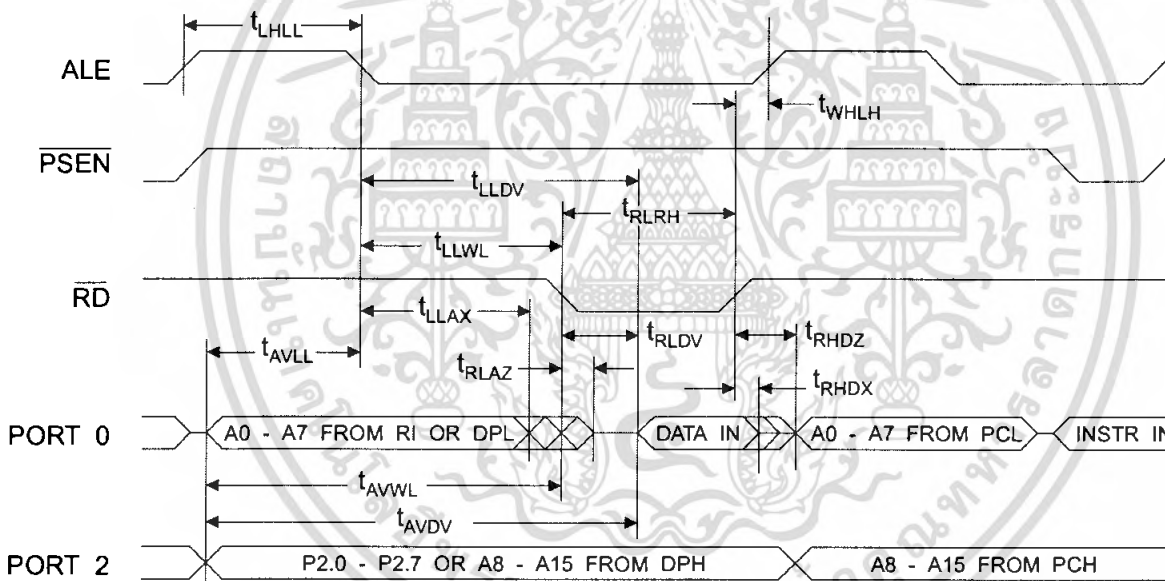
External Program and Data Memory Characteristics

Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{\text{CLCL}}$	Oscillator Frequency			0	24	MHz
t_{LHLL}	ALE Pulse Width	127		$2t_{\text{CLCL}}-40$		ns
t_{AVLL}	Address Valid to ALE Low	43		$t_{\text{CLCL}}-13$		ns
t_{LLAX}	Address Hold After ALE Low	48		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{LLIV}	ALE Low to Valid Instruction In		233		$4t_{\text{CLCL}}-65$	ns
t_{LLPL}	ALE Low to $\overline{\text{PSEN}}$ Low	43		$t_{\text{CLCL}}-13$		ns
t_{PLPH}	$\overline{\text{PSEN}}$ Pulse Width	205		$3t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{PLIV}	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Valid Instruction In		145		$3t_{\text{CLCL}}-45$	ns
t_{PXIX}	Input Instruction Hold After $\overline{\text{PSEN}}$	0		0		ns
t_{PXIZ}	Input Instruction Float After $\overline{\text{PSEN}}$		59		$t_{\text{CLCL}}-10$	ns
t_{PXAV}	$\overline{\text{PSEN}}$ to Address Valid	75		$t_{\text{CLCL}}-8$		ns
t_{AVIV}	Address to Valid Instruction In		312		$5t_{\text{CLCL}}-55$	ns
t_{PLAZ}	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Address Float		10		10	ns
t_{RLRH}	$\overline{\text{RD}}$ Pulse Width	400		$6t_{\text{CLCL}}-100$		ns
t_{WLWH}	$\overline{\text{WR}}$ Pulse Width	400		$6t_{\text{CLCL}}-100$		ns
t_{RLDV}	$\overline{\text{RD}}$ Low to Valid Data In		252		$5t_{\text{CLCL}}-90$	ns
t_{RHDX}	Data Hold After $\overline{\text{RD}}$	0		0		ns
t_{RHDZ}	Data Float After $\overline{\text{RD}}$		97		$2t_{\text{CLCL}}-28$	ns
t_{LLDV}	ALE Low to Valid Data In		517		$8t_{\text{CLCL}}-150$	ns
t_{AVDV}	Address to Valid Data In		585		$9t_{\text{CLCL}}-165$	ns
t_{LLWL}	ALE Low to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	200	300	$3t_{\text{CLCL}}-50$	$3t_{\text{CLCL}}+50$	ns
t_{AVWL}	Address to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	203		$4t_{\text{CLCL}}-75$		ns
t_{QVWX}	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ Transition	23		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{QVWH}	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ High	433		$7t_{\text{CLCL}}-120$		ns
t_{WHQX}	Data Hold After $\overline{\text{WR}}$	33		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{RLAZ}	$\overline{\text{RD}}$ Low to Address Float		0		0	ns
t_{WHLH}	$\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ High to ALE High	43	123	$t_{\text{CLCL}}-20$	$t_{\text{CLCL}}+25$	ns

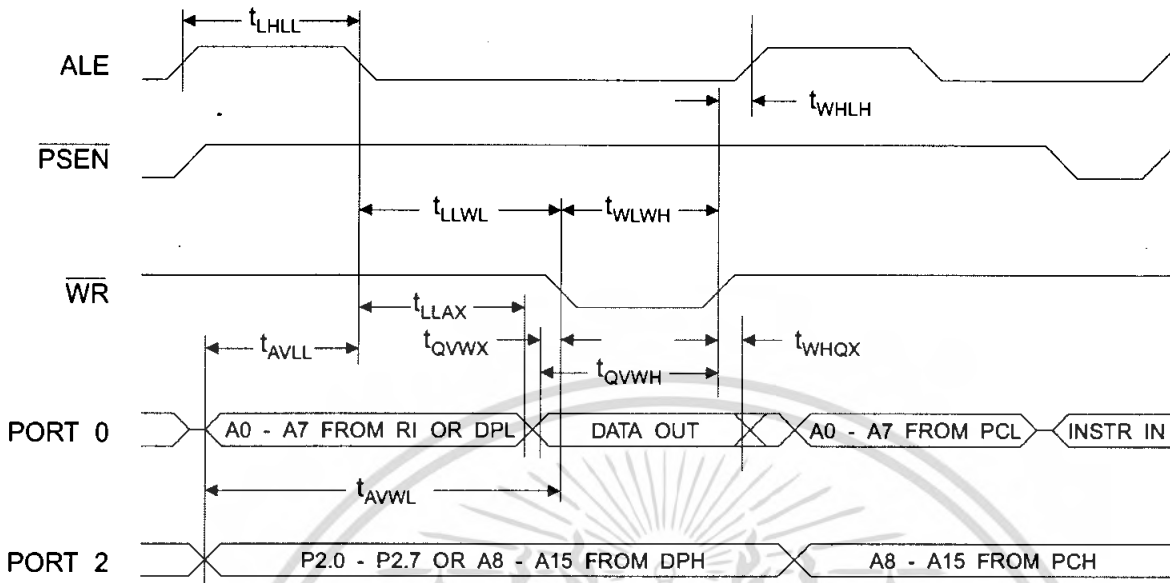
External Program Memory Read Cycle



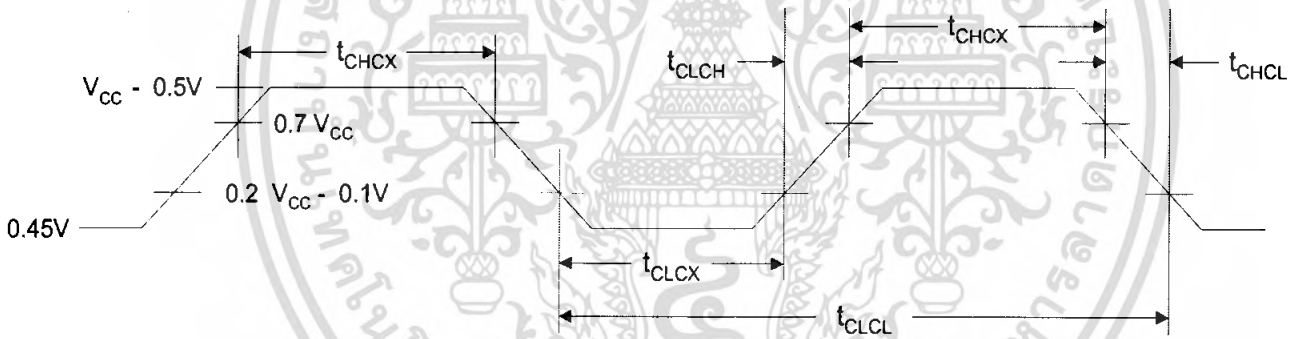
External Data Memory Read Cycle



External Data Memory Write Cycle



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

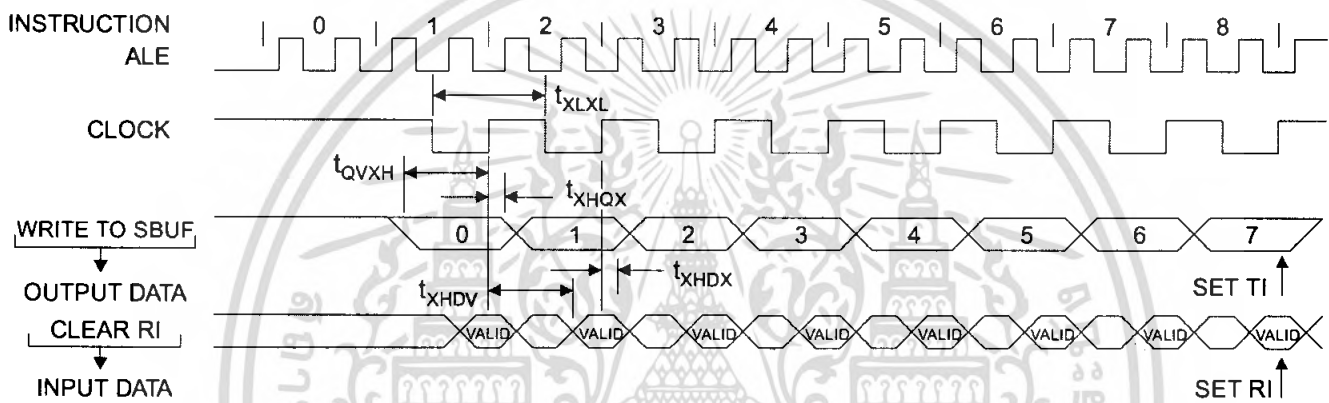
Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	24	MHz
t_{CLCL}	Clock Period	41.6		ns
t_{CHCX}	High Time	15		ns
t_{CLCX}	Low Time	15		ns
t_{CLCH}	Rise Time		20	ns
t_{CHCL}	Fall Time		20	ns

Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

The values in this table are valid for $V_{CC} = 5.0V \pm 20\%$ and Load Capacitance = 80 pF.

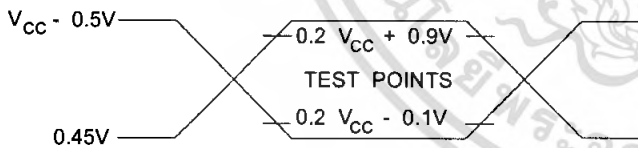
Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t_{XLXL}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12t_{CLCL}$		μs
t_{QVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10t_{CLCL}-133$		ns
t_{XHGX}	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		$2t_{CLCL}-117$		ns
t_{XHDX}	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
t_{XHDX}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10t_{CLCL}-133$	ns

Shift Register Mode Timing Waveforms

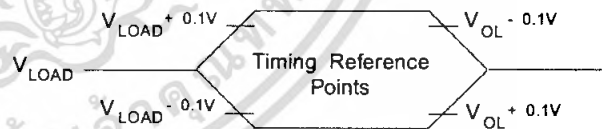


AC Testing Input/Output Waveforms (1)

Float Waveforms (1)



Note: 1. AC Inputs during testing are driven at $V_{CC} - 0.5V$ for a logic 1 and $0.45V$ for a logic 0. Timing measurements are made at V_{IH} min. for a logic 1 and V_{IL} max. for a logic 0.



Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when a 100 mV change from the loaded V_{OH}/V_{OL} level occurs.

Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range	
12	5V ± 20%	AT89C52-12AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C52-12JC	44J		
		AT89C52-12PC	40P6		
		AT89C52-12QC	44Q		
			AT89C52-12AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
			AT89C52-12JI	44J	
			AT89C52-12PI	40P6	
			AT89C52-12QI	44Q	
			AT89C52-12AA	44A	Automotive (-40°C to 105°C)
			AT89C52-12JA	44J	
			AT89C52-12PA	40P6	
			AT89C52-12QA	44Q	
16	5V ± 20%	AT89C52-16AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C52-16JC	44J		
		AT89C52-16PC	40P6		
		AT89C52-16QC	44Q		
			AT89C52-16AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
			AT89C52-16JI	44J	
			AT89C52-16PI	40P6	
			AT89C52-16QI	44Q	
			AT89C52-16AA	44A	Automotive (-40°C to 105°C)
			AT89C52-16JA	44J	
			AT89C52-16PA	40P6	
			AT89C52-16QA	44Q	
20	5V ± 20%	AT89C52-20AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C52-20JC	44J		
		AT89C52-20PC	40P6		
		AT89C52-20QC	44Q		
			AT89C52-20AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
			AT89C52-20JI	44J	
			AT89C52-20PI	40P6	
			AT89C52-20QI	44Q	

Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
24	5V ± 20%	AT89C52-24AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C52-24JC	44J	
		AT89C52-24PC	40P6	
		AT89C52-24QC	44Q	
		AT89C52-24AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C52-24JI	44J	
		AT89C52-24PI	40P6	
		AT89C52-24QI	44Q	



Package Type	
44A	44 Lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
44J	44 Lead, Plastic J-Leaded Chip Carrier (PLCC)
40P6	40 Lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
44Q	44 Lead, Plastic Gull Wing Quad Flatpack (PQFP)

WENSHING

TRW-2.4GHz Radio Transceiver

Conditions: VDD = +3V, VSS = 0V, TA = -40°C to +85°C

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
Operating conditions						
VDD	Supply voltage		1.9	3.0	3.6	V
TEMP	Operating Temperature		-40	+27	+85	°C
Digital input pin						
V _{IH}	HIGH level input voltage		VDD-0.3		VDD	V
V _{IL}	LOW level input voltage		V _{SS}		0.3	V
Digital output pin						
V _{OIH}	HIGH level output voltage (I _{OIH} =-0.5mA)		VDD-0.3		VDD	V
V _{OIL}	LOW level output voltage (I _{OIL} =0.5mA)		V _{SS}		0.3	V
General RF conditions						
f _{OP}	Operating frequency	1)	2400		2524	MHz
Δf	Frequency deviation			±156		kHz
R _{GSK}	Data rate ShockBurst™		≥0		1000	kbps
F _{CHANNEL}	Channel spacing			1		MHz
Transmitter operation						
P _{RF}	Maximum Output Power	4)		0	+4	dBm
P _{RFc}	RF Power Control Range		16	20		dB
P _{RFcR}	RF Power Control Range Resolution				±3	dB
P _{BW}	20dB Bandwidth for Modulated Carrier				1000	kHz
P _{RF2}	2 nd Adjacent Channel Transmit Power 2MHz				-20	dBm
P _{RF3}	3 rd Adjacent Channel Transmit Power 3MHz				-40	dBm
I _{VDD}	Supply current @ 0dBm output power	5)		13		mA
I _{VDD}	Supply current @ -20dBm output power	5)		8.8		mA
I _{VDD}	Average Supply current @ -5dBm output power, ShockBurst™	6)		0.8		mA
I _{VDD}	Average Supply current in stand-by mode	7)		12		μA
I _{VDD}	Average Supply current in power down			1		μA
Receiver operation						
I _{VDD}	Supply current one channel 250kbps			18		mA
I _{VDD}	Supply current one channel 1000kbps			19		mA
I _{VDD}	Supply current two channels 250kbps			23		mA
I _{VDD}	Supply current two channels 1000kbps			25		mA
RX _{SENS}	Sensitivity at 0.1%BER (@250kbps)			-90		dBm
RX _{SENS}	Sensitivity at 0.1%BER (@1000kbps)			-80		dBm
C/I _{CO}	C/I Co-channel			6		dB
C/I _{1ST}	1 st Adjacent Channel Selectivity C/I 1MHz			-1		dB
C/I _{2ND}	2 nd Adjacent Channel Selectivity C/I 2MHz			-16		dB
C/I _{3RD}	3 rd Adjacent Channel Selectivity C/I 3MHz			-26		dB
RX _p	Blocking Data Channel 2			-41		dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ShockBurst™

The ShockBurst™ technology uses on-chip FIFO to clock in data at a low data rate and transmit at a very high rate thus enabling extremely power reduction.

When operating the TRW-2.4G in ShockBurst™, you gain access to the high data rates (1 Mbps) offered by the 2.4 GHz band without the need of a costly, high-speed micro controller (MCU) for data processing.

By putting all high speed signal processing related to RF protocol on-chip, the TRW-2.4G offers the following benefits:

- Highly reduced current consumption
- Lower system cost (facilitates use of less expensive micro controller)
- Greatly reduced risk of 'on-air' collisions due to short transmission time

The TRW-2.4G can be programmed using a simple 3-wire interface where the data rate is decided by the speed of the micro controller.

By allowing the digital part of the application to run at low speed while maximizing the data rate on the RF link, the nRF ShockBurst™ mode reduces the average current consumption in applications considerably.

ShockBurst™ principle

When the TRW-2.4G is configured in ShockBurst™, TX or RX operation is conducted in the following way (10 kbps for the example only).

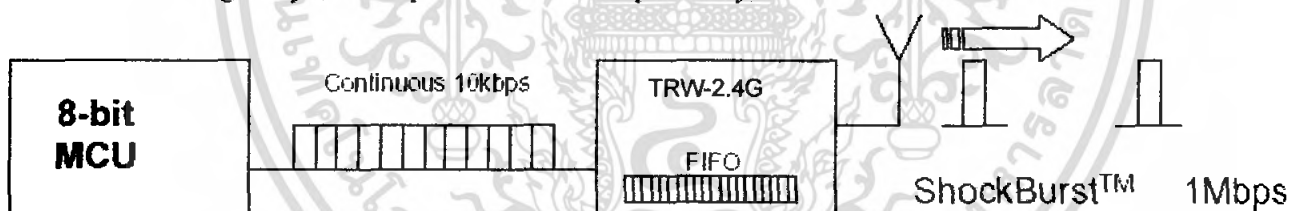
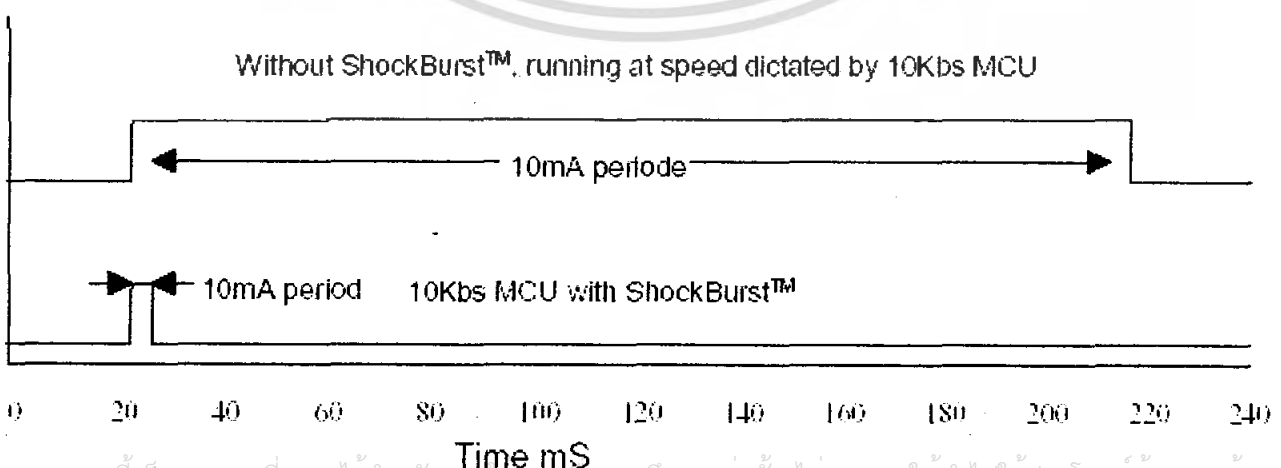


Figure 4 Clocking in data with MCU and sending with ShockBurst™ technology



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 4 Current consumption with & without ShockBurst™ technology

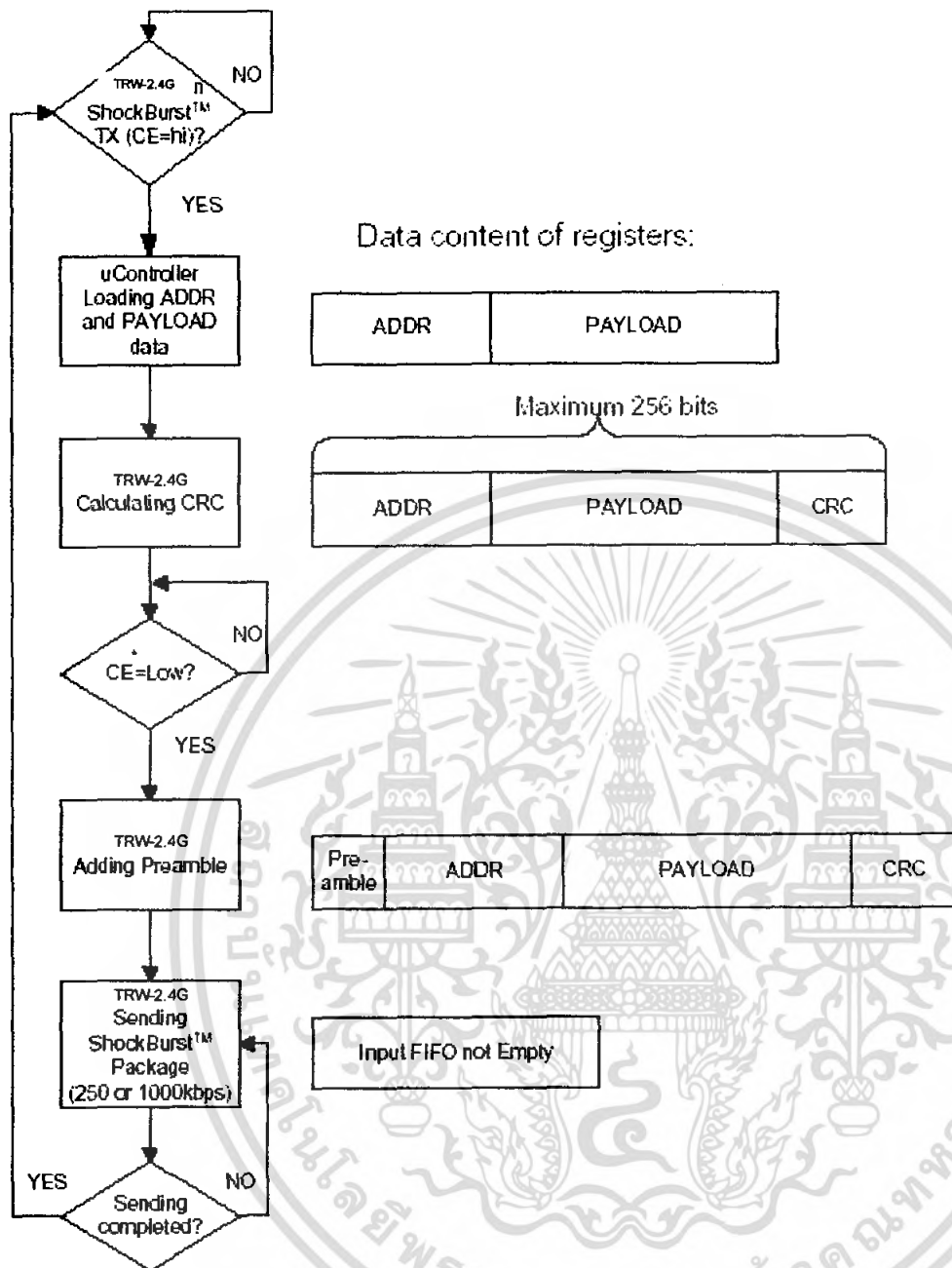


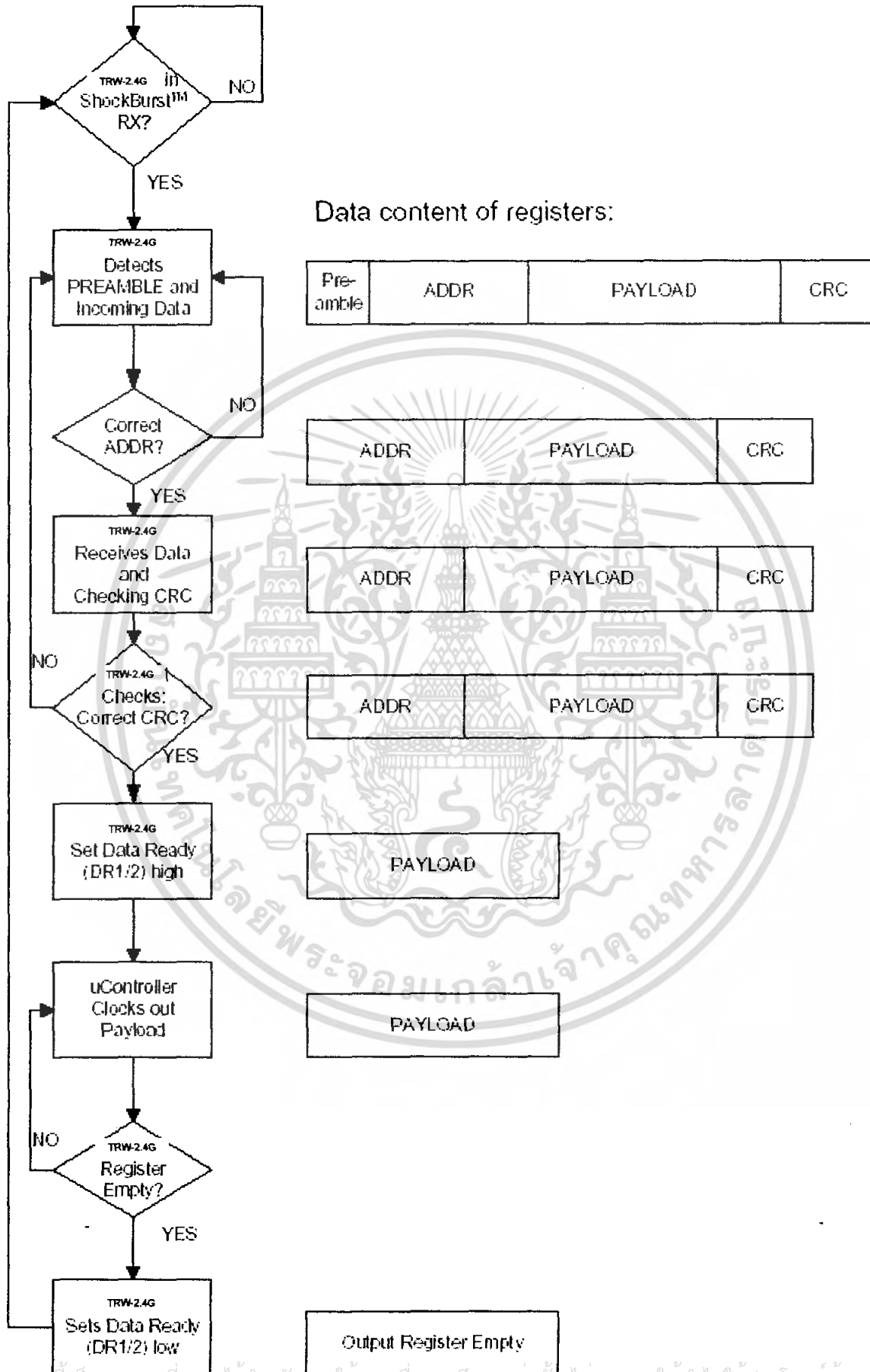
Figure 2 Flow Chart ShockBurst™ Transmit of TRW-2.4G

nRF2401 ShockBurst™ Transmit:

MCU interface pins: CE, CLK1, DATA

1. When the application MCU has data to send, set CE high. This activates TRW-2.4G on-board data processing.
2. The address of the receiving node (RX address) and payload data is clocked into the TRW-2.4G. The application protocol or MCU sets the speed <1Mbps (ex: 10kbps).
3. MCU sets CE low, this activates a TRW-2.4G ShockBurst™ transmission.
4. TRW-2.4G ShockBurst™:
 - RF front end is powered up
 - RF package is completed (preamble added, CRC calculated)
 - Data is transmitted at high speed (250 kbps or 1 Mbps configured by user).
 - TRW-2.4G return to stand-by when finished

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัท WENSHING และสงวนลิขสิทธิ์ของเอกสารนี้ไว้ทั้งหมด ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ผู้สืบทอดที่มีหน้าที่ดูแลและดูแลเรื่องลิขสิทธิ์ของเอกสารฉบับนี้ให้ถูกต้องและถูกต้อง
 Figure 3 Flow Chart ShockBurst™ Receive of TRW-2.4G

TRW-2.4G ShockBurst™ Receive:

MCU interface pins: CE, DR1, CLK1 and DATA (one RX channel receive)

1. Correct address and size of payload of incoming RF packages are set when TRW-2.4G is configured to ShockBurst™ RX.
2. To activate RX, set CE high.
3. After 200 μ s settling, TRW-2.4G is monitoring the air for incoming communication.
4. When a valid package has been received (correct address and CRC found), TRW-2.4G removes the preamble, address and CRC bits.
5. TRW-2.4G then notifies (interrupts) the MCU by setting the DR1 pin high.
6. MCU may (or may not) set the CE low to disable the RF front end (low current mode).
7. The MCU will clock out just the payload data at a suitable rate (ex. 10 kbps).
8. When all payload data is retrieved, TRW-2.4G sets DR1 low again, and is ready for new incoming data package if CE is kept high during data download. If the CE was set low, a new start up sequence can begin, see Figure 12

DuoCeiver™ Simultaneous Two Channel Receive Mode

In both ShockBurst™ and Direct™ modes the TRW-2.4G can facilitate simultaneous reception of two parallel independent frequency channels at the maximum data rate. This means:

- TRW-2.4G can receive data from two 1 Mbps transmitters (ex: TRW-2.4G or TRW-2.4G_) 8 MHz (8 frequency channels) apart through one antenna interface.
- The output from the two data channels is fed to two separate MCU interfaces.
 - Data channel 1: CLK1, DATA, and DR1
 - Data channel 2: CLK2, DOUT2, and DR2
 - DR1 and DR2 are available only in ShockBurst™.

The TRW-2.4G DuoCeiver™ technology provides 2 separate dedicated data channels for RX and replaces the need for two, stand alone receiver systems.

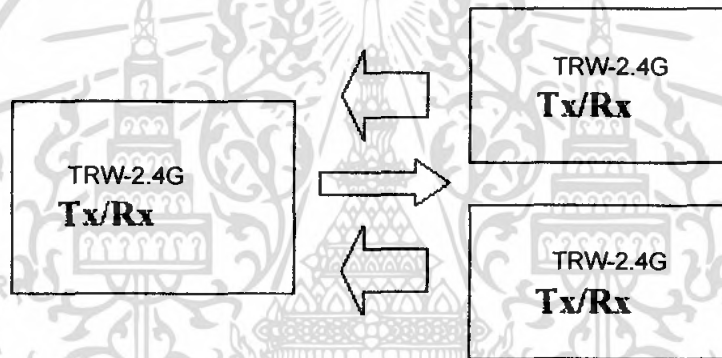


Figure 4 Simultaneous 2 channel receive on TRW-2.4G

There is one absolute requirement for using the second data channel. For the TRW-2.4G to be able to receive at the second data channel the frequency channel must be 8MHz higher than the frequency of data channel 1. The TRW-2.4G must be programmed to receive at the frequency of data channel 1. No time multiplexing is used in TRW-2.4G to fulfil this function. In direct mode the MCU must be able to handle two simultaneously incoming data packets if it is not multiplexing between the two data channels. In ShockBurst™ it is possible for the MCU to clock out one data channel at a time while data on the other data channel waits for MCU availability, without any lost data packets, and by doing so reduce the needed performance of the MCU.

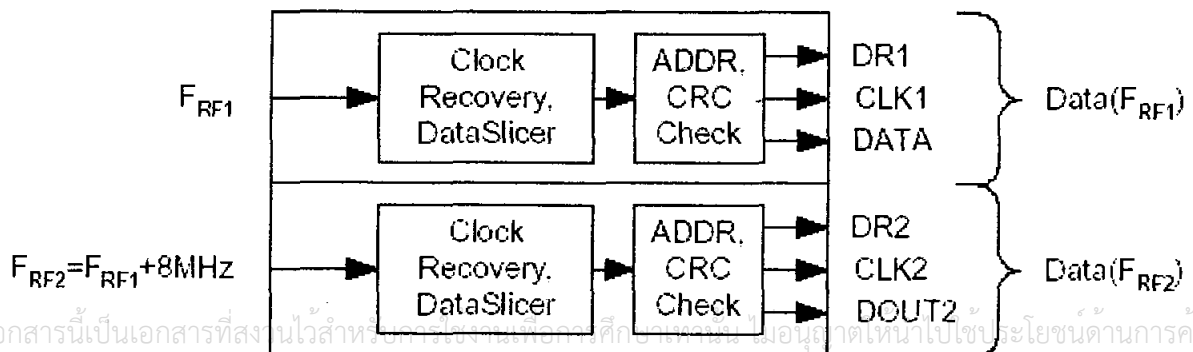


Figure 5 DuoCeiver™ with two simultaneously independent receive channels.

DEVICE CONFIGURATION

All configuration of the TRW-2.4G is done via a 3-wire interface to a single configuration register. The configuration word can be up to 15 bytes long for ShockBurst™

Configuration for ShockBurst™ operation

The configuration word in ShockBurst™ enables the TRW-2.4G to handle the RF protocol. Once the protocol is completed and loaded into TRW-2.4G only one byte, bit[7:0], needs to be updated during actual operation.

The configuration blocks dedicated to ShockBurst™ is as follows:

- Payload section width: Specifies the number of payload bits in a RF package. This enables the TRW-2.4G to distinguish between payload data and the CRC bytes in a received package.
- Address width: Sets the number of bits used for address in the RF package. This enables the TRW-2.4G to distinguish between address and payload data.
- Address (RX Channel 1 and 2): Destination address for received data.
- CRC: Enables nRF2401 on-chip CRC generation and de-coding.

NOTE:

These configuration blocks, with the exception of the CRC, are dedicated for the packages that a TRW-2.4G is to receive.

In TX mode, the MCU must generate an address and a payload section that fits the configuration of the TRW-2.4G that is to receive the data.

When using the TRW-2.4G on-chip CRC feature ensure that CRC is enabled and uses the same length for both the TX and RX devices.

PRE-AMBLE	ADDRESS	PAYLOAD	CRC
-----------	---------	---------	-----

Figure 10 Data packet set-up

Configuration Word overview

	Bit position	Number of bits	Name	Function
ShockBurst™ configuration	143:120	24	TEST	Reserved for testing
	119:112	8	DATA2_W	Length of data payload section RX channel 2
	111:104	8	DATA1_W	Length of data payload section RX channel 1
	103:64	40	ADDR2	Up to 5 byte address for RX channel 2
	63:24	40	ADDR1	Up to 5 byte address for RX channel 1
	23:18	6	ADDR_W	Number of address bits (both RX channels).
	17	1	CRC_L	8 or 16 bit CRC
	16	1	CRC_EN	Enable on-chip CRC generation/checking.
General device configuration	15	1	RX2_EN	Enable two channel receive mode
	14	1	CM	Communication mode (Direct or ShockBurst™)
	13	1	RFDR_SB	RF data rate (1Mbps requires 16MHz crystal)
	12:10	3	XO_F	Crystal frequency
	9:8	2	RF_PWR	RF output power
	7:1	7	RF_CH#	Frequency channel
	0	1	RXEN	RX or TX operation

Table 1 Table of configuration words.

The configuration word is shifted in MSB first on positive CLK1 edges. New configuration is enabled on the falling edge of CS.

NOTE.

On the falling edge of CS, the TRW-24G updates the number of bits actually shifted in during the last configuration.

Ex:

If the TRW-24G is to be configured for 2 channel RX in ShockBurst™, a total of 120 bits must be shifted in during the first configuration after VDD is applied.

Once the wanted protocol, modus and RF channel are set, only one bit (RXEN) is shifted in to switch between RX and TX.

Configuration Word Detailed Description

The following describes the function of the 144 bits (bit 143 = MSB) that is used to configure the TRW-2.4G

General Device Configuration: bit[15:0]

ShockBurst™ Configuration: bit[119:0]

Test Configuration: bit[143:120]

MSB	TEST							
D143	D142	D141	D140	D139	D138	D137	D136	
Reserved for testing								
1	0	0	0	1	1	1	0	Default

MSB	TEST															
D135	D134	D133	D132	D131	D130	D129	D128	D127	D126	D125	D124	D123	D122	D121	D120	
Reserved for testing														Close PLL on TX		
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	Default

DATA2 W								
D119	D118	D117	D116	D115	D114	D113	D112	
Data width channel#2 in # of bits excluding addr/crc								
0	0	1	0	0	0	0	0	Default

DATA1 W								
D111	D110	D109	D108	D107	D106	D105	D104	
Data width channel#1 in # of bits excluding addr/crc								
0	0	1	0	0	0	0	0	Default

ADDR2												
D103	D102	D101	D71	D70	D69	D68	D67	D66	D65	D64	
Channel#2 Address RX (up to 40bit)												
0	0	0	...	1	1	1	0	0	1	1	1	Default

ADDR1												
D63	D62	D61	D31	D30	D29	D28	D27	D26	D25	D24	
Channel#1 Address RX (up to 40bit)												
0	0	0	...	1	1	1	0	0	1	1	1	Default

ADDR_W						
D23	D22	D21	D20	D19	D18	
Address width in # of bits (both channels)						
0	0	1	0	0	0	Default

CRC		
D17	D16	
CRC Mode 1 - 16bit, 0 - 8bit	CRC 1 - enable, 0 - disable	
0	1	Default

RF-Programming													1SB			
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
Two Ch.							RF Power		Channel selection					RXEN		
0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	Default

Table 2 Configuration data word

The MSB bit should be loaded first into the configuration register. ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
Default configuration word: h5E08_1C20_2000_0000_00E7_0000_0000_E721_0F04.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ShockBurst™ configuration:

The section B[119:16] contains the segments of the configuration register dedicated to ShockBurst™ operational protocol. After VDD is turned on ShockBurst™ configuration is done once and remains set whilst VDD is present. During operation only the first byte for frequency channel and RX TX switching need to be changed.

PLL_CTRL

PLL_CTRL		
D121	D120	PLL
0	0	Open TX/Closed RX
0	1	Open TX/Open RX
1	0	Closed TX/Closed RX
1	1	Closed TX/Open RX

Table 10 PLL setting.

Bit 121-120:

PLL_CTRL: Controls the setting of the PLL for test purposes. With closed PLL in TX no deviation will be present.

DATAx_W

DATA2_W							
119	118	117	116	115	114	113	112

DATA1_W							
111	110	109	108	107	106	105	104

Table 4 Number of bits in payload.

Bit 119 – 112:

DATA2_W: Length of RF package payload section for receive-channel 2.

Bit 111 – 104:

DATA1_W: Length of RF package payload section for receive-channel 1.

NOTE:

The total number of bits in a ShockBurst™ RF package may not exceed 256! Maximum length of payload section is hence given by:

$$DATAx_W(bits) = 256 - ADDR_W - CRC$$

Where:

ADDR_W: length of RX address set in configuration word B[23:18]

CRC: check sum, 8 or 16 bits set in configuration word B[17]

PRE: preamble, 4 or 8 bits are automatically included

Shorter address and CRC leaves more room for payload data in each package.

ADDRx

ADDR2											
103	102	101	...	71	70	69	68	67	66	65	64

ADDR1											
63	62	61	...	31	30	29	28	27	26	25	24

Table 5: Address of receiver #2 and receiver #1.

Bit 103 – 64:

ADDR2: Receiver address channel 2, up to 40 bit.

Bit 63 – 24: ADDR1

ADDR1: Receiver address channel 1, up to 40 bit.

NOTE:

Bits in ADDR_x exceeding the address width set in ADDR_W are redundant and can be set to logic 0.

ADDR_W & CRC

ADDR_W						CRC_L	CRC_EN
23	22	21	20	19	18	17	16

Table 6 Number of bits reserved for RX address + CRC setting.

Bit 23 – 18:

ADDR_W: Number of bits reserved for RX address in ShockBurst™ packages.

NOTE:

Maximum number of address bits is 40 (5 bytes). Values over 40 in ADDR_W are not valid.

Bit 17:

CRC_L: CRC length to be calculated by TRW-2.4G in ShockBurst™.
 Logic 0: 8 bit CRC
 Logic 1: 16 bit CRC

Bit: 16:

CRC_EN: Enables on-chip CRC generation (TX) and verification (RX).
 Logic 0: On-chip CRC generation/checking disabled
 Logic 1: On-chip CRC generation/checking enabled

NOTE:

An 8 bit CRC will increase the number of payload bits possible in each ShockBurst™ data packet, but will also reduce the system integrity.

General device configuration:

This section of the configuration word handles RF and device related parameters.

Modes:

RX2 EN	CM	RFDR SB	XO F			RF PWR	
15	14	13	12	11	10	9	8

Table 7 RF operational settings.

Bit 15:

RX2_EN:

Logic 0: One channel receive
Logic 1: Two channels receive

NOTE:

In two channels receive, the TRW-2.4G receives on two, separate frequency channels simultaneously. The frequency of receive channel 1 is set in the configuration word B[7-1], receive channel 2 is always 8 channels (8 MHz) above receive channel 1.

Bit 14:

Communication Mode:

Logic 1: nRF2401 operates in ShockBurst™ mode

Bit 13:

RF Data Rate:

Logic 0: 250 ^{TRW-2.4G} kbps
Logic 1: 1 Mbps

NOTE:

Utilizing 250 kbps instead of 1Mbps will improve the receiver sensitivity by 10 dB. 1Mbps requires 16MHz crystal.

Bit 12-10:

D12	D11	D10
0	1	1

Table 8

Bit 9-8:

RF_PWR: Sets TRW-2.4G RF output power in transmit mode:

RF OUTPUT POWER		
D9	D8	P [dBm]
0	0	-20
0	1	-10
1	0	-5
1	1	0

Table 9 · RF output power setting.

RF channel & direction

RF CH#							RXEN
7	6	5	4	3	2	1	0

Table 10 · Frequency channel + RX / TX setting.

Bit 7 – 1:

RF_CH#: Sets the frequency channel the nRF2401 operates on.

The channel frequency in *transmit* is given by:

$$Channel_{TX} = 2400 \text{ MHz} + RF_CH\# \cdot 1.0 \text{ MHz}$$

RF_CH #: between 2400MHz and 2527MHz may be set.

The channel frequency in *data channel 1* is given by:

$$Channel_{D1} = 2400 \text{ MHz} + RF_CH\# \cdot 1.0 \text{ MHz} \text{ (Receive at PIN\#8)}$$

RF_CH #: between 2400MHz and 2524MHz may be set.

NOTE:

The channels above 83 can only be utilized in certain territories (ex: Japan)

The channel frequency in *data channel 2* is given by:

$$Channel_{D2} = 2400 \text{ MHz} + RF_CH\# \cdot 1.0 \text{ MHz} + 8\text{MHz} \text{ (Receive at PIN\#4)}$$

RF_CH #: between 2408MHz and 2524MHz may be set.

Bit 0:

Set active mode

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ และสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการค้า
 ไม่สามารถลอกเลียนแบบได้ ทั้งนี้ หากมีผู้ใดต้องการนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA PACKAGE DESCRIPTION



Figure 7 Data Package Diagram

The data packet for both ShockBurst™ mode and direct mode communication is divided into 4 sections. These are:

1. PREAMBLE	<ul style="list-style-type: none">· The preamble field is required in ShockBurst.
2. ADDRESS	<ul style="list-style-type: none">· The address field is required in ShockBurst. mode.· 8 to 40 bits length.· Address automatically removed from received packet in ShockBurst.mode
3. PAYLOAD	<ul style="list-style-type: none">· The data to be transmitted· In Shock-Burst mode payload size is 256 bits minus the following:(Address: 8 to 40 bits. + CRC 8 or 16 bits).
4. CRC	<ul style="list-style-type: none">· 8 or 16 bits length· The CRC is stripped from the received output data.

IMPORTANT TIMING DATA

The following timing applies for operation of the nRF2401 TRW-2.4G

TRW-2.4G Timing Information

nRF2401 timing	Max.	Min.	Name
VDD OFF → ST_BY mode	3ms		Tpd2sby
VDD OFF → Active mode (RX/TX)	3ms		Tpd2a
ST_BY → TX ShockBurst™	195µs		Tsby2txSB
ST_BY → TX Direct Mode	202µs		Tsby2txDM
ST_BY → RX mode	202µs		Tsby2rx
Minimum delay from CS to data.		5µs	Tcs2data
Minimum delay from CE to data.		5µs	Tce2data
Minimum delay from DRF12 to clk.		50ns	Tdr2clk
Maximum delay from clk to data.	50ns		Tclk2data
Delay between edges		50ns	Td
Setup time		500ns	Ts
Hold time		500ns	Th
Delay to finish internal GFSK data		1 data rate	Tfd
Minimum input clock high		500ns	Thmin
Set-up of data in Direct Mode	50ns		Tsdm
Minimum clock high in Direct Mode		300ns	Thdm
Minimum clock low in Direct Mode		230ns	Tldm

Table 11 Switching times for nRF2401 TRW-2.4G

When the nRF2401 is in power down it must always settle in stand-by (Tpd2sby) before it can enter configuration or one of the active modes.

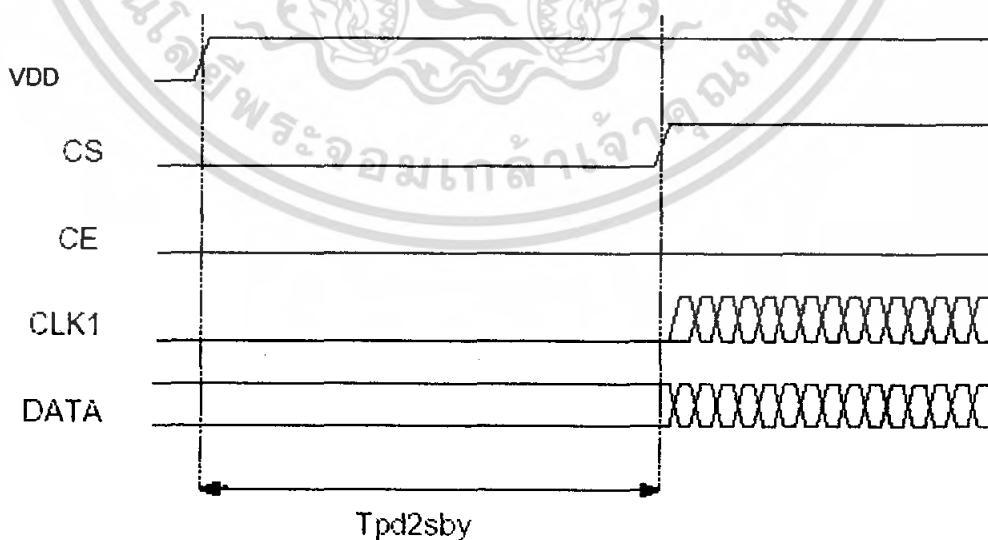


Figure 8 Timing diagram for nRF2401 (or VDD off) to stand by mode for TRW-2.4G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WENSHING

TRW -2.4GHz Radio Transeceiver

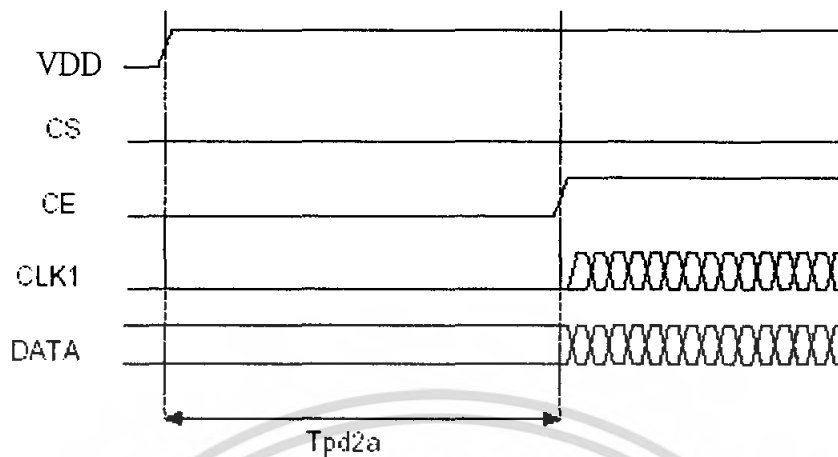


Figure 9 VDD off to active mode

Note that the configuration word will be lost when VDD is turned off and that the device then must be configured before going to one of the active modes. If the device is configured one can go directly from power down to the wanted active mode.

Note:

CE and CS may not be high at the same time. Setting one or the other decides whether configuration or active mode is entered.

Configuration mode timing

When one or more of the bits in the configuration word needs to be changed the following timing apply.

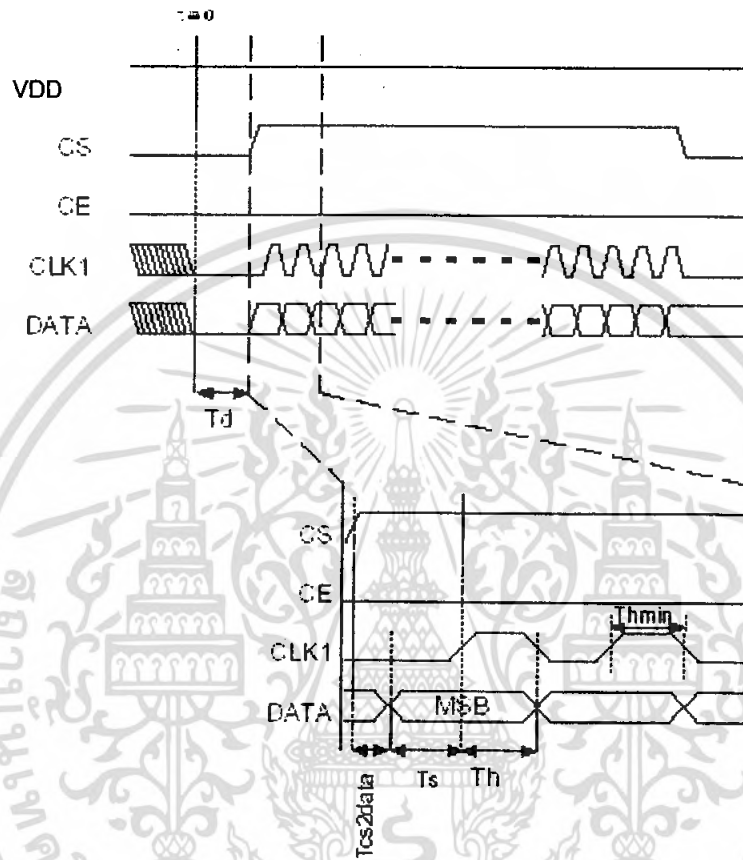


Figure 10 Timing diagram for configuration of TRW-2.4G

If configuration mode is entered from power down, CS can be set high after T_{pd2sby} as shown in Figure 8

ShockBurst™ Mode timing

ShockBurst™ TX:

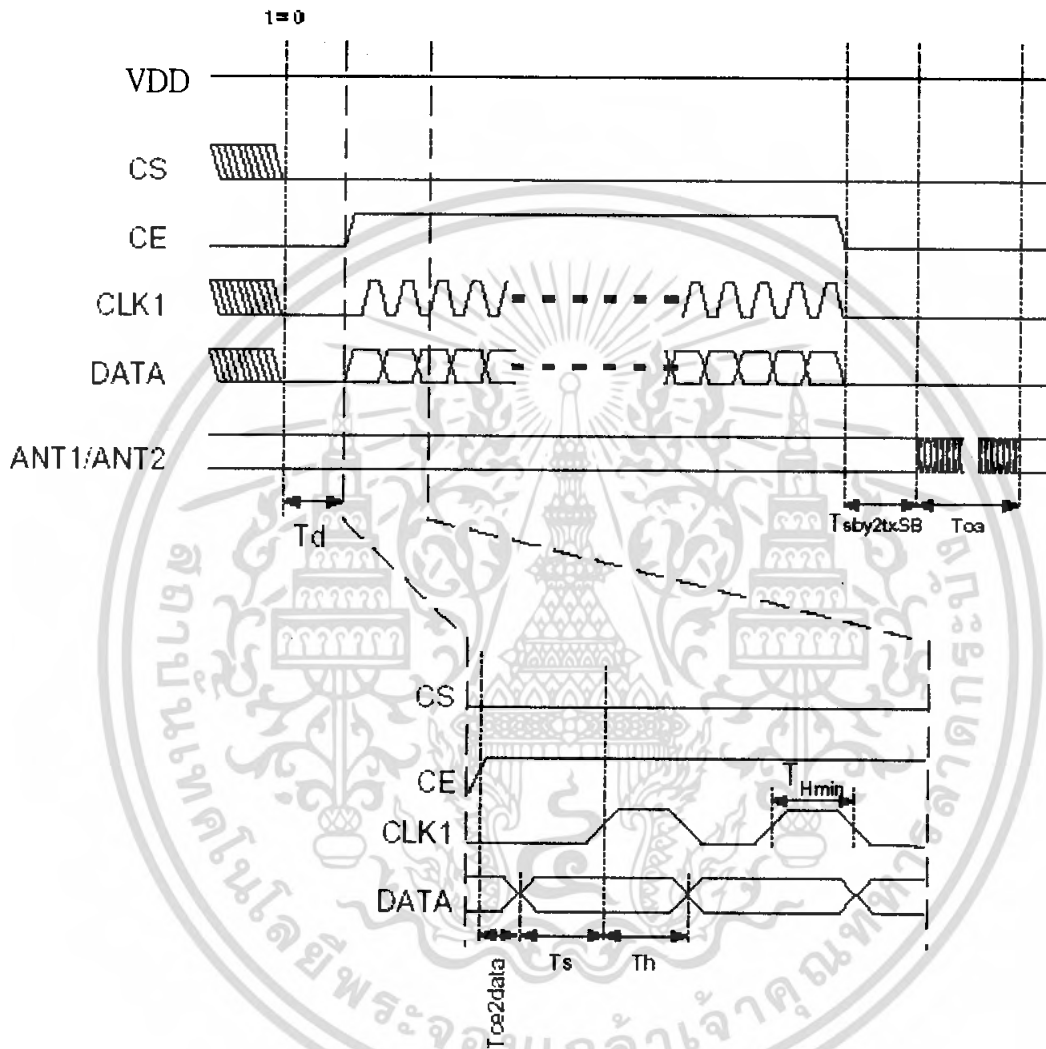
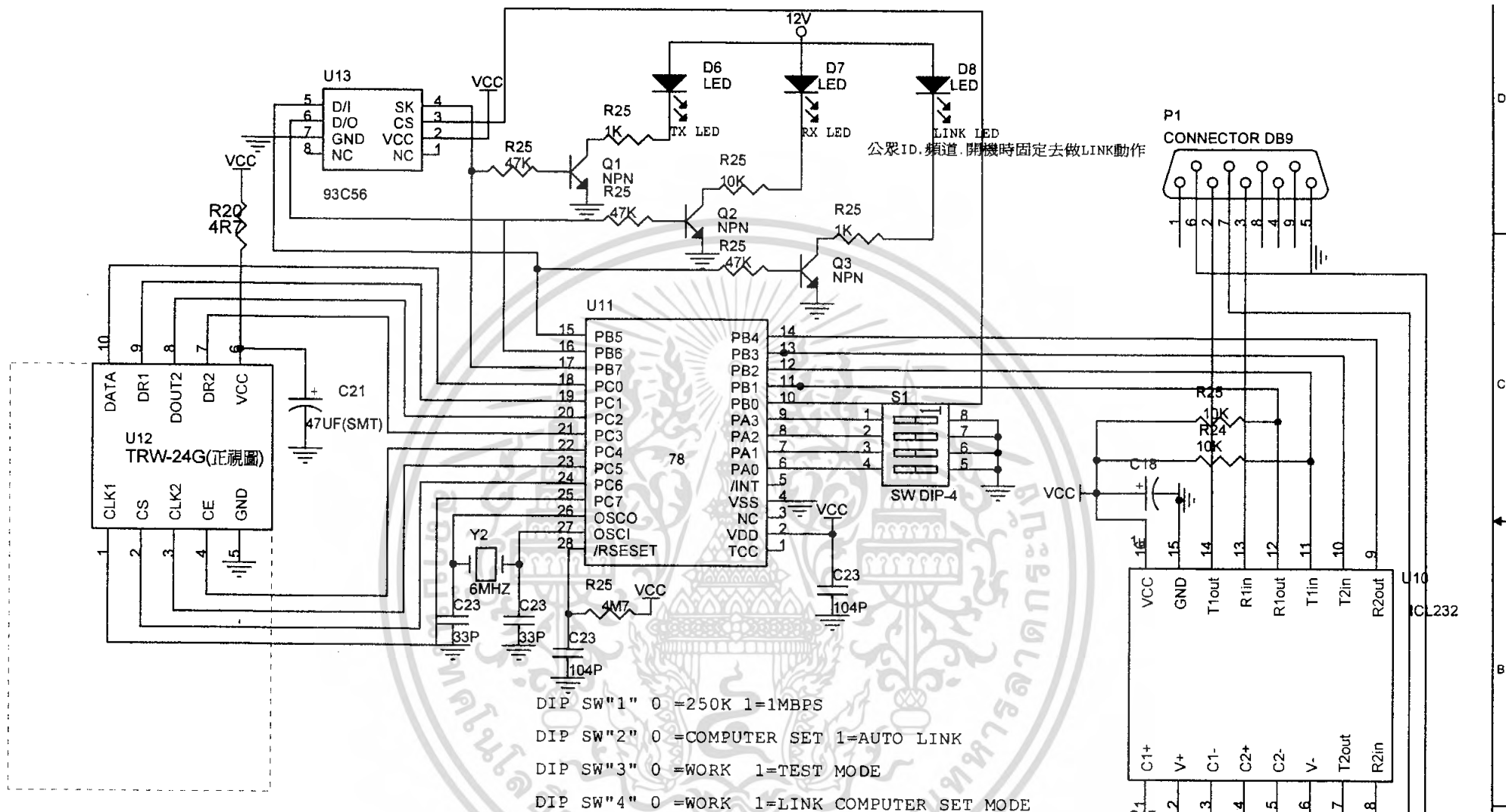


Figure 11 Timing of ShockBurst™ in TX

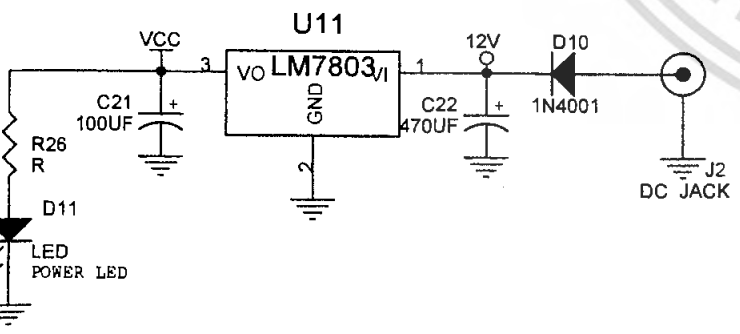
The package length and the data rate give the delay T_{oa} (time on air), as shown in the equation.

$$T_{oa} = 1 / \text{datarate} \cdot (= \text{databits} + 1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DIP SW"1" 0 =250K 1=1MBPS
 DIP SW"2" 0 =COMPUTER SET 1=AUTO LINK
 DIP SW"3" 0 =WORK 1=TEST MODE
 DIP SW"4" 0 =WORK 1=LINK COMPUTER SET MODE



Title		
wenshing electro		
Size	Document Number	Rev
A	<Doc>	Code = A
Date:	Wednesday, August 27, 2003	Sheet 1 of 1

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVER/RECEIVER

SLLS047G – FEBRUARY 1989 – REVISED AUGUST 1998

- Operates With Single 5-V Power Supply
- LinBiCMOS™ Process Technology
- Two Drivers and Two Receivers
- $\pm 30\text{-V}$ Input Levels
- Low Supply Current . . . 8 mA Typical
- Meets or Exceeds TIA/EIA-232-F and ITU Recommendation V.28
- Designed to be Interchangeable With Maxim MAX232

- Applications
 - TIA/EIA-232-F
 - Battery-Powered Systems
 - Terminals
 - Modems
 - Computers

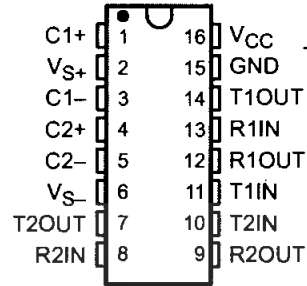
- ESD Protection Exceeds 2000 V Per MIL-STD-883, Method 3015
- Package Options Include Plastic Small-Outline (D, DW) Packages and Standard Plastic (N) DIPs

description

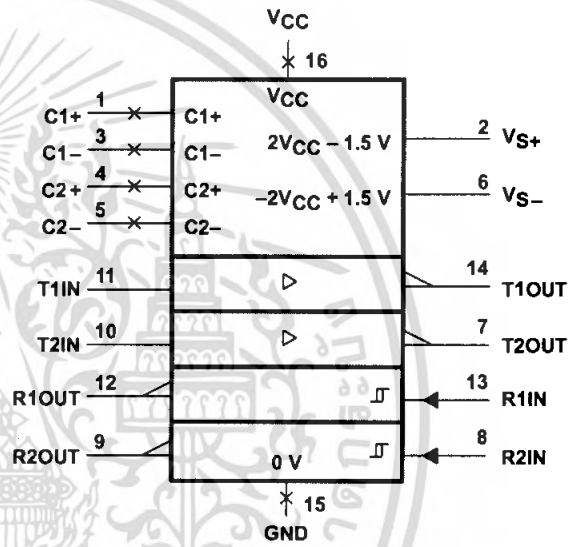
The MAX232 device is a dual driver/receiver that includes a capacitive voltage generator to supply EIA-232 voltage levels from a single 5-V supply. Each receiver converts EIA-232 inputs to 5-V TTL/CMOS levels. These receivers have a typical threshold of 1.3 V and a typical hysteresis of 0.5 V, and can accept $\pm 30\text{-V}$ inputs. Each driver converts TTL/CMOS input levels into EIA-232 levels. The driver, receiver, and voltage-generator functions are available as cells in the Texas Instruments LinASIC™ library.

The MAX232 is characterized for operation from 0°C to 70°C. The MAX232I is characterized for operation from -40°C to 85°C.

D, DW, OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



logic symbol



† This symbol is in accordance with ANSI/IEEE Std 91-1984 and IEC Publication 617-12.

AVAILABLE OPTIONS

T _A	PACKAGED DEVICES		
	SMALL OUTLINE (D)	SMALL OUTLINE (DW)	PLASTIC DIP (N)
0°C to 70°C	MAX232D†	MAX232DW†	MAX232N
-40°C to 85°C	MAX232ID†	MAX232IDW†	MAX232IN

† This device is available taped and reeled by adding an R to the part number (i.e., MAX232DR).



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

LinASIC and LinBiCMOS are trademarks of Texas Instruments Incorporated.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



Copyright © 1998, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า 1

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAX232, MAX232I

DUAL EIA-232 DRIVER/RECEIVER

SLLS047G – FEBRUARY 1989 – REVISED AUGUST 1998

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Input supply voltage range, V_{CC} (see Note 1)	–0.3 V to 6 V
Positive output supply voltage range, V_{S+}	$V_{CC} - 0.3$ V to 15 V
Negative output supply voltage range, V_{S-}	–0.3 V to –15 V
Input voltage range, V_I : Driver	–0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Receiver	±30 V
Output voltage range, V_O : T1OUT, T2OUT	$V_{S-} - 0.3$ V to $V_{S+} + 0.3$ V
R1OUT, R2OUT	–0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Short-circuit duration: T1OUT, T2OUT	Unlimited
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2): D package	113°C/W
DW package	105°C/W
N package	78°C/W
Storage temperature range, T_{stg}	–65°C to 150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C

† Stresses beyond those listed under “absolute maximum ratings” may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under “recommended operating conditions” is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTE 1: All voltage values are with respect to network ground terminal.

2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51, except for through-hole packages, which use a trace length of zero.

recommended operating conditions

	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	5.5	V
High-level input voltage, V_{IH} (T1IN, T2IN)	2			V
Low-level input voltage, V_{IL} (T1IN, T2IN)			0.8	V
Receiver input voltage, R1IN, R2IN			±30	V
Operating free-air temperature, T_A	MAX232	0	70	°C
	MAX232I	–40	85	

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVER/RECEIVER

SLLS047G – FEBRUARY 1989 – REVISED AUGUST 1998

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP†	MAX	UNIT
V _{OH}	High-level output voltage	T1OUT, T2OUT	R _L = 3 kΩ to GND	5	7		V
		R1OUT, R2OUT	I _{OH} = -1 mA	3.5			
V _{OL}	Low-level output voltage‡	T1OUT, T2OUT	R _L = 3 kΩ to GND		-7	-5	V
		R1OUT, R2OUT	I _{OL} = 3.2 mA			0.4	
V _{IT+}	Receiver positive-going input threshold voltage	R1IN, R2IN	V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C		1.7	2.4	V
V _{IT-}	Receiver negative-going input threshold voltage	R1IN, R2IN	V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C	0.8	1.2		V
V _{hys}	Input hysteresis voltage	R1IN, R2IN	V _{CC} = 5 V	0.2	0.5	1	V
r _i	Receiver input resistance	R1IN, R2IN	V _{CC} = 5, T _A = 25°C	3	5	7	kΩ
r _o	Output resistance	T1OUT, T2OUT	V _{S+} = V _{S-} = 0, V _O = ±2 V	300			Ω
I _{OS} §	Short-circuit output current	T1OUT, T2OUT	V _{CC} = 5.5 V, V _O = 0		±10		mA
I _{IS}	Short-circuit input current	T1IN, T2IN	V _I = 0			200	μA
I _{CC}	Supply current		V _{CC} = 5.5 V, T _A = 25°C, All outputs open,		8	10	mA

† All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.

‡ The algebraic convention, in which the least positive (most negative) value is designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels only.

§ Not more than one output should be shorted at a time.

switching characteristics, V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
t _{PLH(R)}	Receiver propagation delay time, low- to high-level output	See Figure 1		500		ns
t _{PHL(R)}	Receiver propagation delay time, high- to low-level output	See Figure 1		500		ns
SR	Driver slew rate	R _L = 3 kΩ to 7 kΩ, See Figure 2			30	V/μs
SR(tr)	Driver transition region slew rate	See Figure 3		3		V/μs



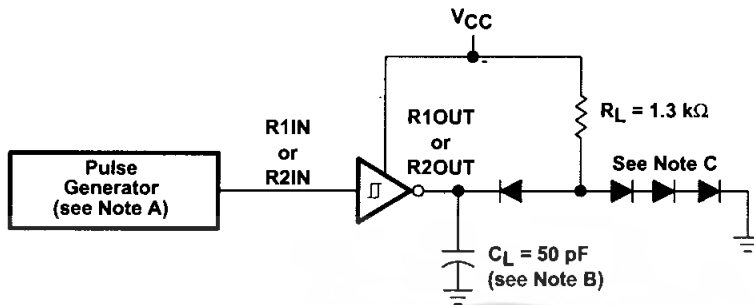
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า 3

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

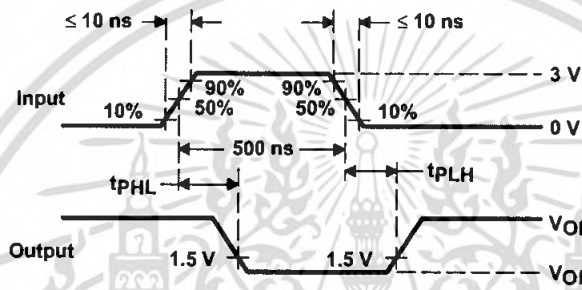
MAX232, MAX232I
DUAL EIA-232 DRIVER/RECEIVER

SLLS047G – FEBRUARY 1989 – REVISED AUGUST 1998

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



TEST CIRCUIT



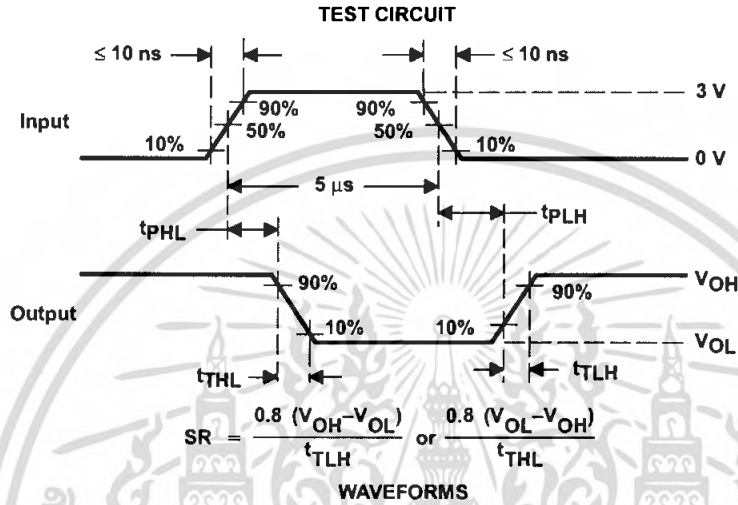
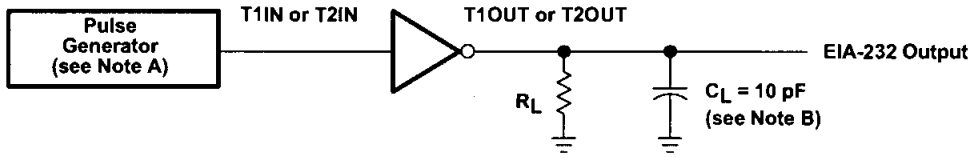
WAVEFORMS

- NOTES: A. The pulse generator has the following characteristics: $Z_O = 50 \Omega$, duty cycle $\leq 50\%$.
 B. C_L includes probe and jig capacitance.
 C. All diodes are 1N3064 or equivalent.

Figure 1. Receiver Test Circuit and Waveforms for t_{pHL} and t_{pLH} Measurements

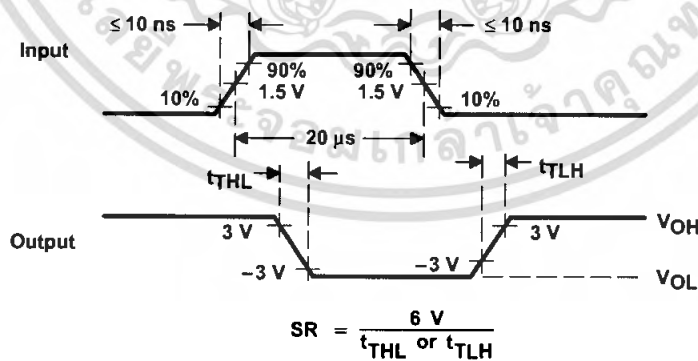
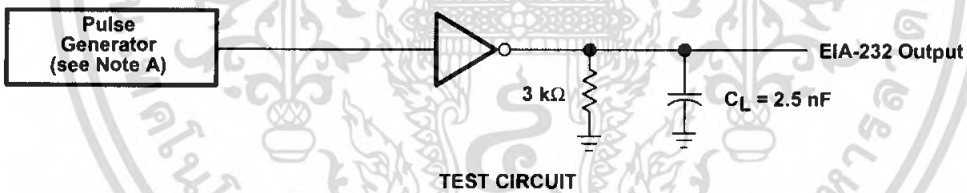


PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



NOTES: A. The pulse generator has the following characteristics: $Z_O = 50 \Omega$, duty cycle $\leq 50\%$.
B. C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 2. Driver Test Circuit and Waveforms for t_{PHL} and t_{PLH} Measurements (5- μ s input)



NOTE A: The pulse generator has the following characteristics: $Z_O = 50 \Omega$, duty cycle $\leq 50\%$.

Figure 3. Test Circuit and Waveforms for t_{THL} and t_{TLH} Measurements (20- μ s input)



MAX232, MAX232I
DUAL EIA-232 DRIVER/RECEIVER

SLLS047G – FEBRUARY 1989 – REVISED AUGUST 1998

APPLICATION INFORMATION

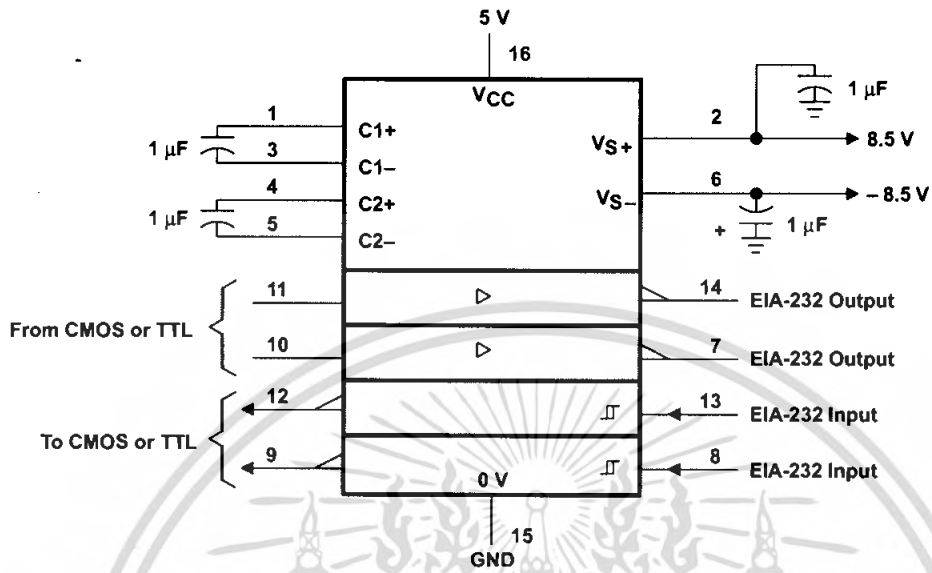


Figure 4. Typical Operating Circuit



IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments and its subsidiaries (TI) reserve the right to make changes to their products or to discontinue any product or service without notice, and advise customers to obtain the latest version of relevant information to verify, before placing orders, that information being relied on is current and complete. All products are sold subject to the terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgement, including those pertaining to warranty, patent infringement, and limitation of liability.

TI warrants performance of its semiconductor products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are utilized to the extent TI deems necessary to support this warranty. Specific testing of all parameters of each device is not necessarily performed, except those mandated by government requirements.

CERTAIN APPLICATIONS USING SEMICONDUCTOR PRODUCTS MAY INVOLVE POTENTIAL RISKS OF DEATH, PERSONAL INJURY, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE ("CRITICAL APPLICATIONS"). TI SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS OR OTHER CRITICAL APPLICATIONS. INCLUSION OF TI PRODUCTS IN SUCH APPLICATIONS IS UNDERSTOOD TO BE FULLY AT THE CUSTOMER'S RISK.

In order to minimize risks associated with the customer's applications, adequate design and operating safeguards must be provided by the customer to minimize inherent or procedural hazards.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right of TI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used. TI's publication of information regarding any third party's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

Copyright © 1998, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Copyright © Each Manufacturing Company.

All Datasheets cannot be modified without permission.

This datasheet has been download from :

www.AllDataSheet.com

100% Free DataSheet Search Site.

Free Download.

No Register.

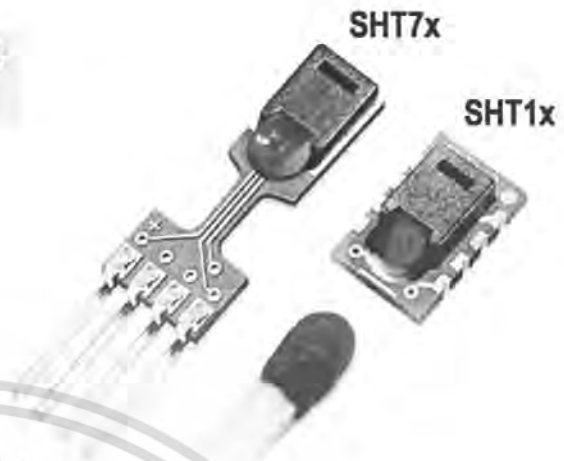
Fast Search System.

www.AllDataSheet.com

SHT1x / SHT7x

Humidity & Temperature Sensor

Evaluation Kit Available



- Relative humidity and temperature sensors
- Dew point
- Fully calibrated, digital output
- Excellent long-term stability
- No external components required
- Ultra low power consumption
- Surface mountable or 4-pin fully interchangeable
- Small size
- Automatic power down

SHT1x / SHT7x Product Summary

The SHTxx is a single chip relative humidity and temperature multi sensor module comprising a calibrated digital output. Application of industrial CMOS processes with patented micro-machining (CMOSens® technology) ensures highest reliability and excellent long term stability. The device includes a capacitive polymer sensing element for relative humidity and a bandgap temperature sensor. Both are seamlessly coupled to a 14bit analog to digital converter and a serial interface circuit on the same chip. This results in superior signal quality, a fast response time and insensitivity to external disturbances (EMC) at a very competitive price. Each SHTxx is individually calibrated in a precision humidity chamber. The calibration coefficients are programmed into

the OTP memory. These coefficients are used internally during measurements to calibrate the signals from the sensors.

The 2-wire serial interface and internal voltage regulation allows easy and fast system integration. Its tiny size and low power consumption makes it the ultimate choice for even the most demanding applications.

The device is supplied in either a surface-mountable LCC (Leadless Chip Carrier) or as a pluggable 4-pin single-in-line type package. Customer specific packaging options may be available on request.

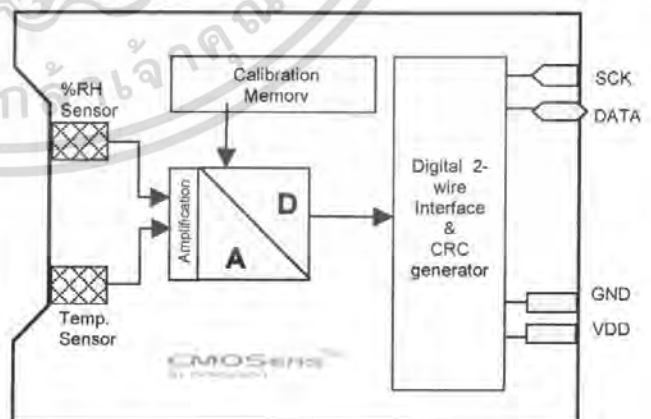
Applications

- _ HVAC
- _ Automotive
- _ Consumer Goods
- _ Weather Stations
- _ Humidifiers
- _ Dehumidifiers
- _ Test & Measurement
- _ Data Logging
- _ Automation
- _ White Goods
- _ Medical

Ordering Information

Part Number	Humidity accuracy [%RH]	Temperature accuracy [K] @ 25 °C	Package
SHT10	±4.5	±0.5	SMD (LCC)
SHT11	±3.0	±0.4	SMD (LCC)
SHT15	±2.0	±0.3	SMD (LCC)
SHT71	±3.0	±0.4	4-pin single-in-line
SHT75	±1.8	±0.3	4-pin single-in-line

Block Diagram



1 Sensor Performance Specifications

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Humidity					
Resolution ⁽²⁾		0.5	0.03	0.03	%RH
		8	12	12	bit
Repeatability			±0.1		%RH
Accuracy ⁽¹⁾	linearized	see figure 1			
Uncertainty					
Interchangeability		Fully interchangeable			
Nonlinearity	raw data		±3		%RH
	linearized		<<1		%RH
Range		0		100	%RH
Response time	1/e (63%) slowly moving air		4		s
Hysteresis			±1		%RH
Long term stability	typical		< 0.5		%RH/yr
Temperature					
Resolution ⁽²⁾		0.04	0.01	0.01	°C
		0.07	0.02	0.02	°F
		12	14	14	bit
Repeatability			±0.1		°C
			±0.2		°F
Accuracy		see figure 1			
Range		-40		123.8	°C
		-40		254.9	°F
Response Time	1/e (63%)	5		30	s

Table 1 Sensor Performance Specifications

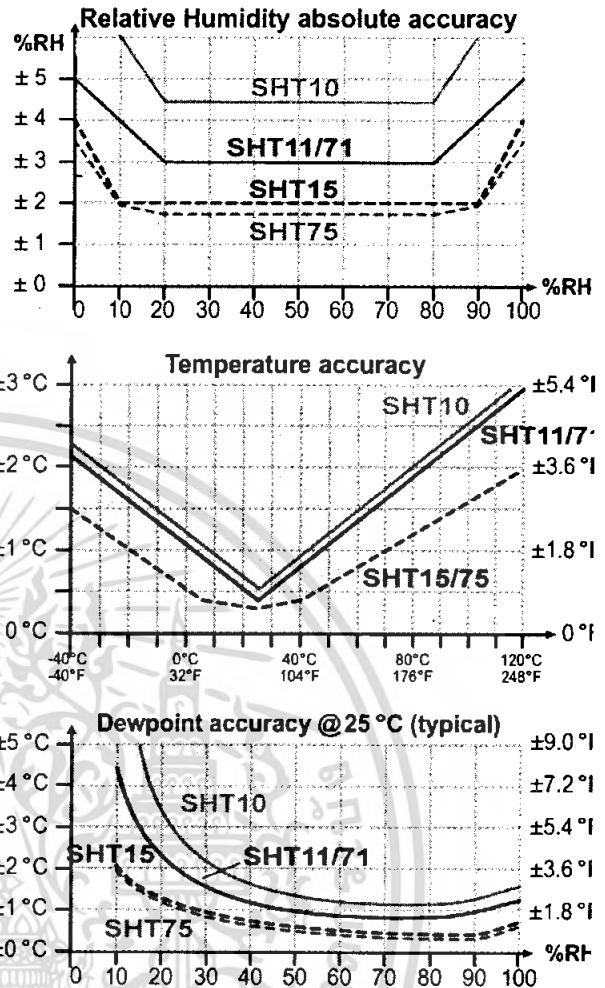


Figure 1 Rel. Humidity, Temperature and Dewpoint accuracies

2 Interface Specifications

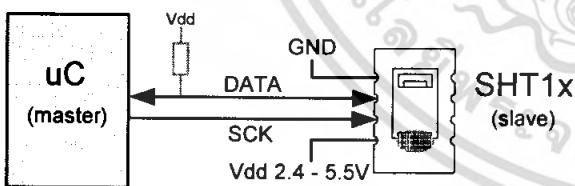


Figure 2 Typical application circuit

2.1 Power Pins

The SHTxx requires a voltage supply between 2.4 and 5.5 V. After powerup the device needs 11ms to reach its "sleep" state. No commands should be sent before that time. Power supply pins (VDD, GND) may be decoupled with a 100 nF capacitor.

2.2 Serial Interface (Bidirectional 2-wire)

The serial interface of the SHTxx is optimized for sensor readout and power consumption and is not compatible with I²C interfaces, see FAQ for details.

2.2.1 Serial clock input (SCK)

The SCK is used to synchronize the communication between a microcontroller and the SHTxx. Since the interface consists of fully static logic there is no minimum SCK frequency.

2.2.2 Serial data (DATA)

The DATA tristate pin is used to transfer data in and out of the device. DATA **changes after the falling edge** and is **valid on the rising edge** of the serial clock SCK. During transmission the DATA line must remain stable while SCK is high. To avoid signal contention the microcontroller should only drive DATA low. An external pull-up resistor (e.g. 10 kΩ) is required to pull the signal high. (See Figure 2) Pull-up resistors are often included in I/O circuits of microcontrollers. See Table 5 for detailed IO characteristics.

⁽¹⁾ Each SHTxx is tested to be fully within RH accuracy specifications at 25 °C (77 °F) and 48 °C (118.4 °F)

⁽²⁾ The default measurement resolution of 14bit (temperature) and 12bit (humidity) can be reduced to 12 and 8 bit through the status register.

2.2.3 Sending a command

To initiate a transmission, a "Transmission Start" sequence has to be issued. It consists of a lowering of the DATA line while SCK is high, followed by a low pulse on SCK and raising DATA again while SCK is still high.

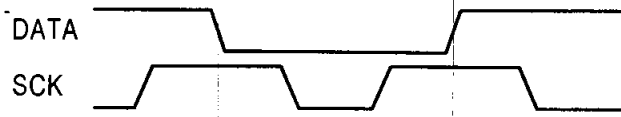


Figure 3 "Transmission Start" sequence

The subsequent command consists of three address bits (only "000" is currently supported) and five command bits. The SHTxx indicates the proper reception of a command by pulling the DATA pin low (ACK bit) after the falling edge of the 8th SCK clock. The DATA line is released (and goes high) after the falling edge of the 9th SCK clock.

Command	Code
Reserved	0000x
Measure Temperature	00011
Measure Humidity	00101
Read Status Register	00111
Write Status Register	00110
Reserved	0101x-1110x
Soft reset , resets the interface, clears the status register to default values wait minimum 11 ms before next command	11110

Table 2 SHTxx list of commands

2.2.4 Measurement sequence (RH and T)

After issuing a measurement command ('00000101' for RH, '00000011' for Temperature) the controller has to wait for the measurement to complete. This takes approximately 11/55/210 ms for a 8/12/14bit measurement. The exact time varies by up to ±15% with the speed of the internal oscillator. To signal the completion of a measurement, the SHTxx pulls down the data line and enters idle mode. The controller **must** wait for this "data ready" signal before restarting SCK to readout the data. Measurement data is stored until readout,

therefore the controller can continue with other tasks and readout as convenient.

Two bytes of measurement data and one byte of CRC checksum will then be transmitted. The uC must acknowledge each byte by pulling the DATA line low. All values are MSB first, right justified. (e.g. the 5th SCK is MSB for a 12bit value, for a 8bit result the first byte is not used). Communication terminates after the acknowledge bit of the CRC data. If CRC-8 checksum is not used the controller may terminate the communication after the measurement data LSB by keeping ack high.

The device automatically returns to sleep mode after the measurement and communication have ended.

Warning: To keep self heating below 0.1 °C the SHTxx should not be active for more than 10% of the time (e.g. max. 2 measurements / second for 12bit accuracy).

2.2.5 Connection reset sequence

If communication with the device is lost the following signal sequence will reset its serial interface:

While leaving DATA high, toggle SCK 9 or more times. This must be followed by a "Transmission Start" sequence preceding the next command. This sequence resets the interface only. The status register preserves its content.

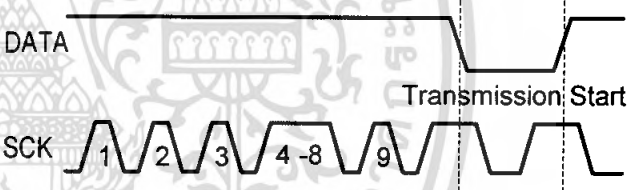


Figure 4 Connection reset sequence

2.2.6 CRC-8 Checksum calculation

The whole digital transmission is secured by a 8 bit checksum. It ensures that any wrong data can be detected and eliminated.

Please consult application note "CRC-8 Checksum Calculation" for information on how to calculate the CRC.

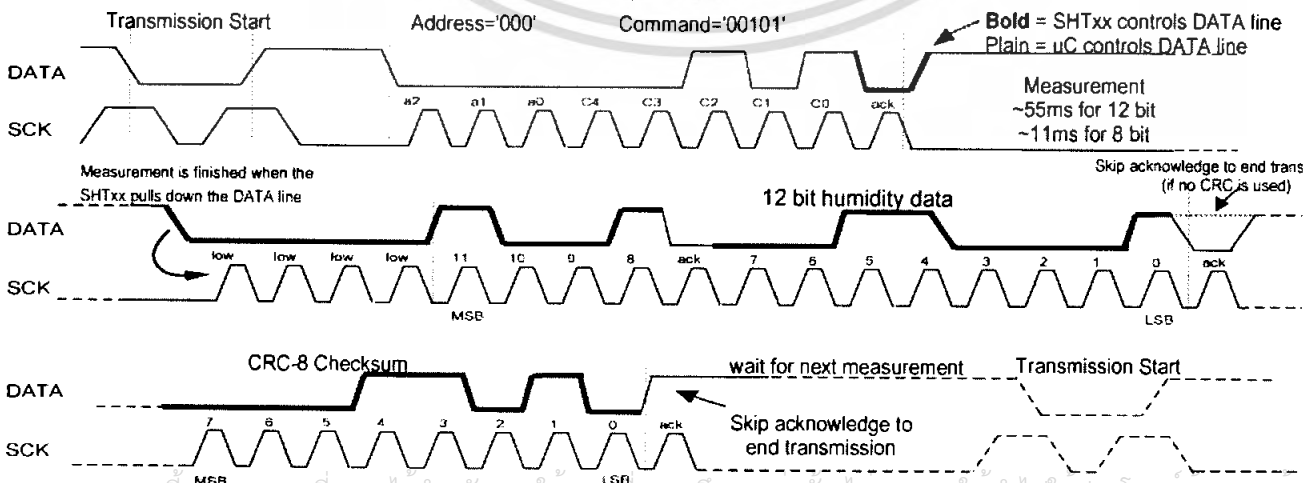


Figure 5 Example RH measurement sequence for value "0000'1001' 0011'0001" = 2353 = 75.79 %RH (without temperature compensation)

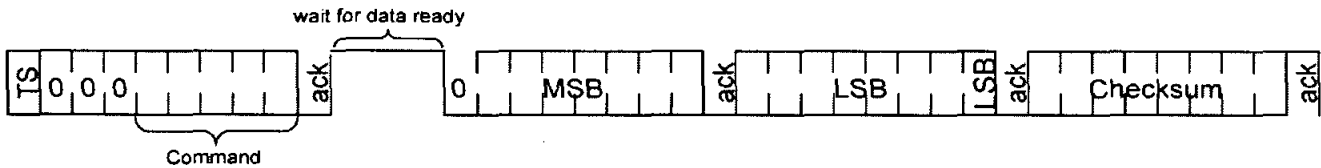


Figure 6 Overview of Measurement Sequence (TS = Transmission Start)

2.3 Status Register

Some of the advanced functions of the SHTxx are available through the status register. The following section gives a brief overview of these features. A more detailed description is available in the application note "Status Register"

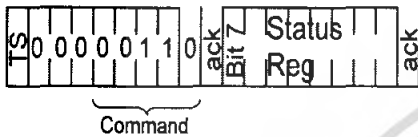


Figure 7 Status Register Write

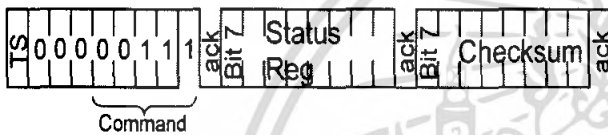


Figure 8 Status Register Read

Bit	Type	Description	Default
7		reserved	0
6	R	End of Battery (low voltage detection) '0' for Vdd > 2.47 '1' for Vdd < 2.47	X No default value, bit is only updated after a measurement
5		reserved	0
4		reserved	0
3		For Testing only, do not use	0
2	R/W	Heater	0 off
1	R/W	no reload from OTP	0 reload
0	R/W	'1' = 8bit RH / 12bit Temperature resolution '0' = 12bit RH / 14bit Temperature resolution	0 12bit RH 14bit Temp.

Table 3 Status Register Bits

2.3.1 Measurement resolution

The default measurement resolution of 14bit (temperature) and 12bit (humidity) can be reduced to 12 and 8bit. This is especially useful in high speed or extreme low power applications.

2.3.2 End of Battery

The "End of Battery" function detects VDD voltages below 2.47 V. Accuracy is ±0.05 V

2.3.3 Heater

An on chip heating element can be switched on. It will increase the temperature of the sensor by 5-15 °C (9-27 °F). Power consumption will increase by ~8 mA @ 5 V.

Applications:

By comparing temperature and humidity values before and

after switching on the heater, proper functionality of both sensors can be verified.

- In high (>95 %RH) RH environments heating the sensor element will prevent condensation, improve response time and accuracy

Warning: While heated the SHTxx will show higher temperatures and a lower relative humidity than with no heating.

2.4 Electrical Characteristics⁽¹⁾

VDD=5V, Temperature = 25 °C unless otherwise noted

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Power supply DC		2.4	5	5.5	V
Supply current	measuring		550		µA
	average	2 ⁽²⁾	28 ⁽³⁾		µA
	sleep		0.3	1	µA
Low level output voltage		0		20%	Vdd
High level output voltage		75%		100%	Vdd
Low level input voltage	Negative going	0		20%	Vdd
High level input voltage	Positive going	80%		100%	Vdd
Input current on pads				1	µA
Output peak current	on			4	mA
	Tristated (off)		10		µA

Table 4 SHTxx DC Characteristics

Parameter	Conditions	Min	Typ.	Max.	Unit	
F _{SCK}	SCK frequency	VDD > 4.5 V		10	MHz	
		VDD < 4.5 V		1	MHz	
T _{RF0}	DATA fall time	Output load 5 pF	3.5	10	20	ns
		Output load 100 pF	30	40	200	ns
T _{CLx}	SCK hi/low time		100		ns	
T _v	DATA valid time		250		ns	
T _{SU}	DATA set up time		100		ns	
T _{HO}	DATA hold time		0	10	ns	
T _{R/TF}	SCK rise/fall time		200		ns	

Table 5 SHTxx I/O Signals Characteristics

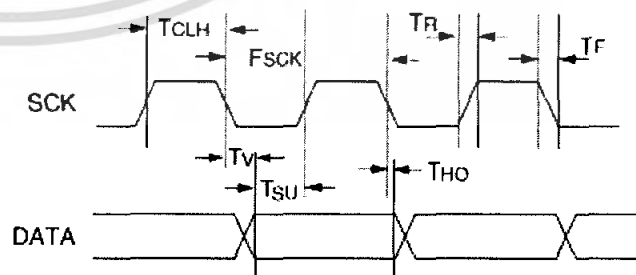


Figure 9 Timing Diagram

¹⁾ Parameters are periodically sampled and not 100% tested
²⁾ With one measurement of 8 bit accuracy without OTP reload per second
³⁾ With one measurement of 12bit accuracy per second

4 Applications Information

4.1 Operating and Storage Conditions

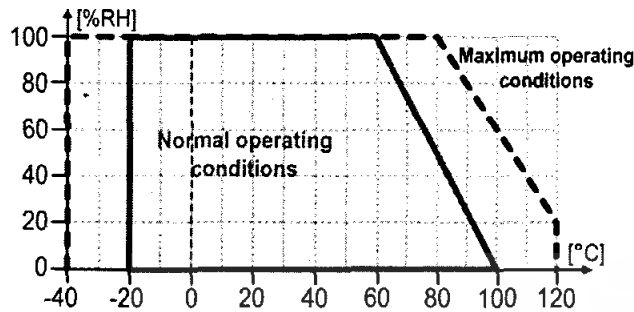


Figure 11 Recommended operating conditions

Conditions outside the recommended range may temporarily offset the RH signal up to ± 3 %RH. After return to normal conditions it will slowly return towards calibration state by itself. See 4.3 “Reconditioning Procedure” to accelerate this process. Prolonged exposure to extreme conditions may accelerate ageing.

4.2 Exposure to Chemicals

Chemical vapors may interfere with the polymer layers used for capacitive humidity sensors. The diffusion of chemicals into the polymer may cause a shift in both offset and sensitivity. In a clean environment the contaminants will slowly outgas. The reconditioning procedure described below will accelerate this process. High levels of pollutants may cause permanent damage to the sensing polymer.

4.3 Reconditioning Procedure

The following reconditioning procedure will bring the sensor back to calibration state after exposure to extreme conditions or chemical vapors.

80-90 °C (176-194°F) at < 5 %RH for 24h (baking) followed by 20-30 °C (70-90°F) at > 74 %RH for 48h (re-hydration)

4.4 Temperature Effects

The relative humidity of a gas strongly depends on its temperature. It is therefore essential to keep humidity sensors at the same temperature as the air of which the relative humidity is to be measured.

If the SHTxx shares a PCB with electronic components that give off heat it should be mounted far away and below the heat source and the housing must remain well ventilated.

To reduce heat conduction copper layers between the SHT1x and the rest of the PCB should be minimized and a slit may be milled in between (see figure 13).

4.5 Membranes

A membrane may be used to prevent dirt from entering the housing and to protect the sensor. It will also reduce peak concentrations of chemical vapors. For optimal response times air volume behind the membrane must be kept to a minimum. For the SHT1x package Sensirion recommends the SF1 filter cap for optimal IP67 protection.

(1) The temperature sensor passed all tests without any detectable drift. Package and electronics also passed 100%

4.6 Light

The SHTxx is not light sensitive. Prolonged direct exposure to sunshine or strong UV radiation may age the housing.

4.7 Materials Used for Sealing / Mounting

Many materials absorb humidity and will act as a buffer, increasing response times and hysteresis. Materials in the vicinity of the sensor must therefore be carefully chosen. Recommended materials are: All Metals, LCP, POM (Delrin), PTFE (Teflon), PE, PEEK, PP, PB, PPS, PSU, PVDF, PVF. For sealing and gluing (use sparingly): High filled epoxy for electronic packaging (e.g. glob top, underfill), and Silicone. Outgassing of these materials may also contaminate the SHTxx (cf. 4.2). Store well ventilated after manufacturing or bake at 50°C for 24h to outgas contaminants before packing.

4.8 Wiring Considerations and Signal Integrity

Carrying the SCK and DATA signal parallel and in close proximity (e.g. in wires) for more than 10cm may result in cross talk and loss of communication. This may be resolved by routing VDD and/or GND between the two data signals. Please see the application note “ESD, Latchup and EMC” for more information.

Power supply pins (VDD, GND) should be decoupled with a 100 nF capacitor if wires are used.

4.9 Qualifications

Extensive tests were performed in various environments. Please contact SENSIRION for detailed information.

Environment	Norm	Results ⁽¹⁾
Temperature Cycles	JESD22-A104-B -40 °C / 125 °C, 1000 cy	Within Specifications
HAST Pressure Cooker	JESD22-A110-B 2.3 bar 125 °C 85 %RH	Reversible shift by +2 %RH
High Temperature and Humidity	JESD22-A101-B 85 °C 85 %RH 1250h	Reversible shift by +2 %RH
Salt Atmosphere	DIN-50021ss	Within Spec.
Condensing Air	-	Within Spec.
Freezing cycles fully submerged	-20 / +90 °C, 100 cy 30min dwell time	Reversible shift by +2 %RH
Various Automotive Chemicals	DIN 72300-5	Within Specifications

Table 9 Qualification tests (excerpt)

4.10 ESD (Electrostatic Discharge)

ESD immunity is qualified according to MIL STD 883E, method 3015 (Human Body Model at ± 2 kV).

Latch-up immunity is provided at a force current of ± 100 mA with $T_{amb} = 80$ °C according to JEDEC 17. See application note “ESD, Latchup and EMC” for more information.

5 Package Information

5.1 SHT1x (surface mountable)

Pin	Name	Comment
1	GND	Ground
2	DATA	Serial data, bidirectional
3	SCK	Serial clock, input
4	VDD	Supply 2.4 - 5.5 V
	NC	Remaining pins must be left unconnected

Table 10 SHT1x Pin Description

5.1.1 Package type

The SHT1x is supplied in a surface-mountable LCC (Leadless Chip Carrier) type package. The sensors housing consists of a Liquid Crystal Polymer (LCP) cap with epoxy glob top on a standard 0.8 mm FR4 substrate. The device is free of Pb, Cd and Hg. (Fully ROHS, WEEE compliant)
Device size is 7.42 x 4.88 x 2.5 mm (0.29 x 0.19 x 0.1 inch)
Weight 100 mg

The production date is printed onto the cap in white numbers in the form wwy, e.g. "351" = week 35, 2001.

5.1.2 Delivery Conditions

The SHT1x are shipped in 12mm tape at 100pcs or 400pcs. (SHT10 at 2000pcs only). Reels are individually labelled with barcode and human readable labels. The lot numbers allow full traceability through production, calibration and test.



Figure 12 Tape configuration and unit orientation

5.1.3 Soldering Information

Standard reflow soldering ovens may be used. For details please see application note "soldering procedure".

For manual soldering contact time must be limited to 5 seconds at up to 350 °C.

After soldering the devices should be stored at >74 %RH for at least 24h to allow the polymer to rehydrate.

Please consult the application note "Soldering procedure" for more information.

5.1.4 Mounting Examples

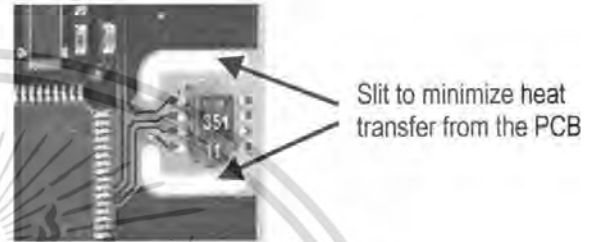


Figure 13 SHT1x PCB Mounting example

The SF1 membrane filter cap is available for optimal IP67 protection. When mounted through a housing the interior can be protected from the environment while still allowing high quality humidity measurements (see example below).

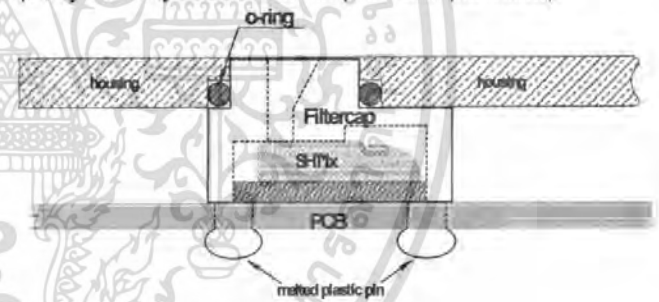


Figure 14 SF1 IP67 filter cap mounting example

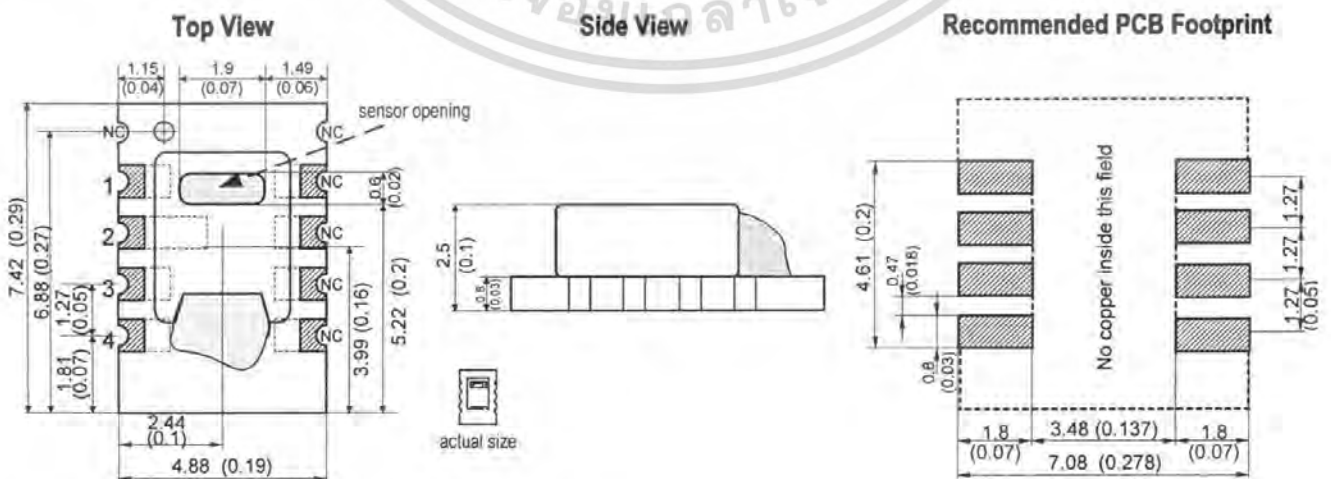


Figure 15 SHT1x drawing and footprint dimensions in mm (inch)

5.2 SHT7x (4-pin single-in-line)

Pin	Name	Comment
1	SCK	Serial clock input
2	VDD	Supply 2.4 - 5.5 V
3	GND	Ground
4	DATA	Serial data bidirectional

Table 11 SHT7x Pin Description

5.2.1 Package type¹

The device is supplied in a single-in-line pin type package. The sensor housing consists of a Liquid Crystal Polymer (LCP) cap with epoxy glob top on a standard 0.6 mm FR4 substrate. The device is Cd and Hg free.

The sensor head is connected to the pins by a small bridge to minimize heat conduction and response times. The gold plated back side of the sensor head is connected to the GND pin.

A 100nF capacitor is mounted on the back side between VDD and GND.

All pins are gold plated to avoid corrosion. They can be soldered or mate with most 1.27 mm (0.05") sockets

e.g.: Preci-dip / Mill-Max 851-93-004-20-001 or similar
Total weight: 168 mg, weight of sensor head: 73 mg

The production date is printed onto the cap in white numbers in the form ww.y. e.g. "351" = week 35, 2001.

5.2.2 Delivery Conditions

The SHT7x are shipped in 32 mm tape. These reeled parts in standard option are shipped with 500 units per 13 inch diameter reel. Reels are individually labelled with barcode and human readable labels.

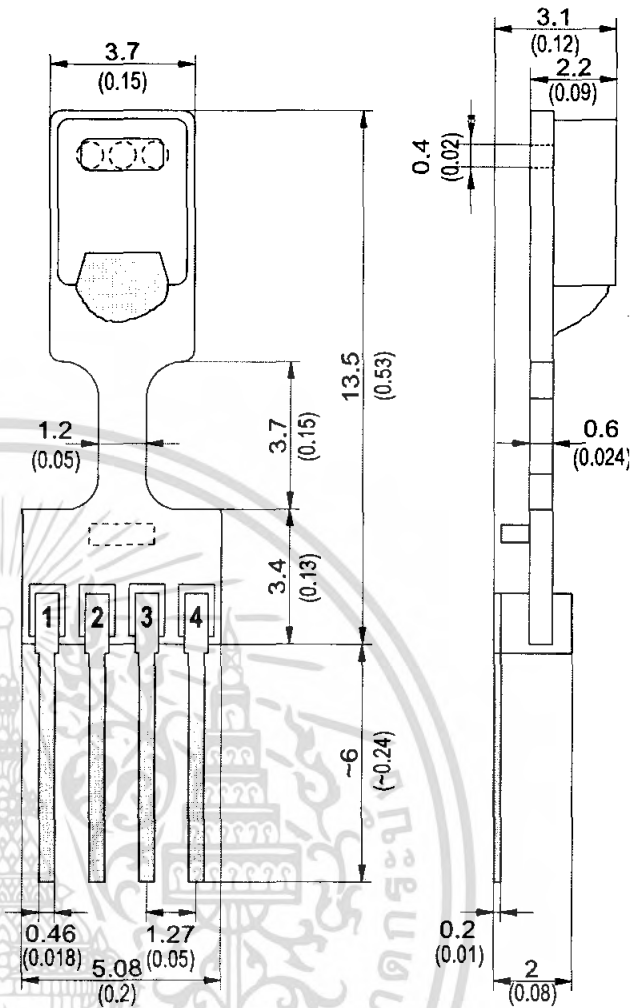


Figure 17 SHT7x dimensions in mm (inch)

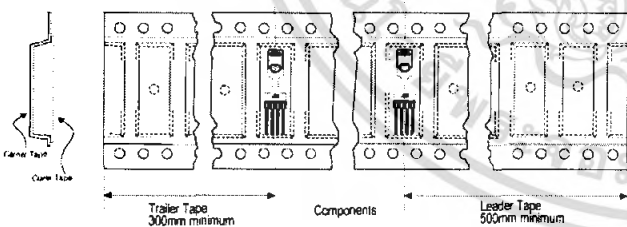


Figure 16 Tape configuration and unit orientation

5.2.3 Soldering Information²

Standard wave SHT7x soldering ovens may be used at maximum 235 °C for 20 seconds.

For manual soldering contact time must be limited to 5 seconds at up to 350 °C.

After wave soldering the devices should be stored at >74 %RH for at least 24 h to allow the polymer to rehydrate.

Please consult the application note "Soldering procedure" for more information.

¹ Other packaging options may be available on request. ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

² For maximum accuracy do not solder SHT75!

6 Revision history

Date	Version	Page(s)	Changes
February 2002	Preliminary	1-9	First public release
June 2002	Preliminary		Added SHT7x information
March 2003	Final v2.0	1-9	Major remake, added application information etc. Various small modifications
	V2.01	1-9	Typos, Graph labeling
July 2004	V2.02	1-9	Improved specifications, added SF1 information, improved wording
April 2005	V2.03	1-2	Added SHT10 information
May 2005	V2.04	1-9	Changed company address

The latest version of this document and all application notes can be found at:

www.sensirion.com/humidity

7 Important Notices

7.1 Warning, personal injury

Do not use this product as safety or emergency stop devices or in any other application where failure of the product could result in personal injury. Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.

Should buyer purchase or use SENSIRION AG products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SENSIRION AG and its officers, employees, subsidiaries, affiliates and distributors harmless against all claims, costs, damages and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SENSIRION AG was negligent regarding the design or manufacture of the part.

7.2 ESD Precautions

The inherent design of this component causes it to be sensitive to electrostatic discharge (ESD). To prevent ESD-induced damage and/or degradation, take normal ESD precautions when handling this product.

See application note "ESD, Latchup and EMC" for more information.

7.3 Warranty

SENSIRION AG makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its product for any particular purpose, nor does SENSIRION AG assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typical" must be validated for each customer applications by customer's technical experts.

SENSIRION AG reserves the right, without further notice, to change the product specifications and/or information in this document and to improve reliability, functions and design.

Copyright© 2001-2005, SENSIRION AG.
All rights reserved.

Headquarters and Sales Office

SENSIRION AG Phone: + 41 (0)44 306 40 00
 Laubisrütistr. 50 Fax: + 41 (0)44 306 40 30
 CH-8712 Stäfa ZH e-mail: info@sensirion.com
 Switzerland <http://www.sensirion.com/>

Sensirion humidity sensors are available from:

find your local representative at:

www.sensirion.com/reps หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า