สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบการวัดและควบคุมกระบวนการแบบไร้สาย

WIRELESS MEASUREMENT AND CONTROL SYSTEM

T055650

โดย

นายเกรียงไกร หวายนำ

นายโฆษิต บุญศรี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 55650
วัน,เดือน,ปี 24 พ.ค. 2548

.b.....
.i.....

ระบบการวัดและควบคุมกระบวนการแบบไร้สาย

WIRELESS MEASUREMENT AND CONTROL SYSTEM

โดย

นายเกรียงไกร หวายนำ

นายโฆษิต บุญศรี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2546

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบการวัดและควบคุมกระบวนการแบบไร้สาย

ผู้จัดทำ

1. นายเกรียงไกร หวายนำ รหัสประจำตัว 44015275
2. นายโฆษิต บุญศรี รหัสประจำตัว 44015295

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการวัดและควบคุมกระบวนการแบบไร้สาย

นายเกรียงไกร หวายนำ
นายโฆษิต บุญศรี
ผศ.ดร.วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบระบบระบบการวัดและควบคุมกระบวนการแบบไร้สาย ระบบการวัดและควบคุมแบบไร้สายที่นำเสนอนี้ สามารถทำการควบคุมกระบวนการที่ต้องการ โดยแสดงผลการทำงานแบบเวลาจริงผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ การควบคุมและประมวลผลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS- 51 จะติดต่อสื่อสารข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางคลื่นความถี่วิทยุ 433 MHz ในที่นี้ได้นำไปประยุกต์ใช้งานในการควบคุมกระบวนการซึ่งเป็นกระบวนการผสมของเหลวในถังผสมซึ่งปรากฏผลการทำงานเป็นไปตามที่ต้องการ

Abstract

The wireless measurement and control system is designed and proposed in this project. The proposed system can be controlled the process parameters, and displayed the status of the process variable via a computer's screen. The communication between microcontroller MCS-51 and computer is based on the use of a radio frequency of 433 MHz. As an application example, the liquid mixer system is used which the control results are closed agreement with the desired valve.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ

หน้า

สารบัญรูปภาพ

สารบัญตาราง

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบเขตโครงงาน 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้น 3

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ I^2C 3

2.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของบัส I^2C 4

2.3 หลักการทำงานของบัส I^2C 5

2.4 การทำงานบนบัส I^2C 7

2.5 อุปกรณ์ที่ใช้การเชื่อมต่อแบบ I^2C 9

2.6 การเขียนโปรแกรมติดต่อบัส I^2C 10

2.7 รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม SCON 12

2.8 การกำหนดอัตรารับส่ง 16

2.9 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ 18

2.10 โครงสร้างภายในของ MCS-51 18

2.11 พอร์ตของ 8051 21

2.12 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาของ 8051 26

2.13 ผังสัญญาณเวลาซีพียู 27

2.14 การแบ่งประเภทของหน่วยความจำ 30

2.15 วงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์ 31

2.16 วงจรขยายอินสทรูเมนท์ 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การออกแบบระบบการวัดและควบคุมกระบวนการแบบไร้สาย 37

3.1 หลักการทำงานโดยรวม 37

3.2 วงจรการรับข้อมูลและสั่งงาน 39

3.3 วงจรส่วนการวัดและควบคุมกระบวนการ 42

บทที่ 4 ผลการทดลอง 49

4.1 การทดลอง 49

4.2 โปรแกรมควบคุมการทำงานของกระบวนการ 52

4.3 ผลการทดลอง 53

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป 61

5.1 บทวิจารณ์และสรุป 61

5.2 ปัญหาในการทำงาน 61

5.3 สรุปผลการทำงาน 61

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก โปรแกรมสั่งงานทางผู้ใช้งาน

ภาคผนวก ข โปรแกรมการส่วนของการควบคุมของกระบวนการจำลอง

ภาคผนวก ค คู่มือไอซี(Data sheet)

- 4N35 ค-1
- IRF510 ค-2
- LF351 ค-4
- MPXV53GC ค-7
- MPX10 ค-9
- BiM2-433 ค-11

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	ผังแสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆบนระบบบัส I^2C	3
รูปที่ 2.2	การต่อตัวต้านทานพูลอัพบนสายสัญญาณในระบบบัส I^2C	4
รูปที่ 2.3	การต่อตัวต้านทาน Rs เพื่อลดสัญญาณรบกวนขนาดใหญ่ที่อาจเข้ามาในบัส I^2C	5
รูปที่ 2.4	ผังสัญญาณเวลาแสดงสถานะต่างๆในบัส I^2C	7
รูปที่ 2.5	รูปแบบของข้อมูลกำหนดแอดเอรสที่ใช้ในการอ้างถึงแบบ 7 บิต	8
รูปที่ 2.6	วงจรตัวอย่างการต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับอุปกรณ์ระบบบัส	10
รูปที่ 2.7	บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51	19
รูปที่ 2.8	ตำแหน่งของรีจิสแตอร์ต่าง ๆ	20
รูปที่ 2.9	การจัดวางขาของ MCS-51	20
รูปที่ 2.10	โครงสร้าง พอร์ท 0 (บิต)	21
รูปที่ 2.11	โครงสร้างของพอร์ท 1 (บิต)	22
รูปที่ 2.12	โครงสร้างของพอร์ท 2 (บิต)	23
รูปที่ 2.13	โครงสร้างของพอร์ท 3 (บิต)	24
รูปที่ 2.14	การต่อขารีเซ็ทให้กับ 8051	25
รูปที่ 2.15	วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาของ 8051	26
รูปที่ 2.16	ผังเวลาการทำงานของคำสั่ง	27
รูปที่ 2.17	แสดงผังเวลาการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก	29
รูปที่ 2.18	ผังเก็บความจำ	30
รูปที่ 2.19	ผลของการปรับความชัน และตำแหน่งศูนย์	32
รูปที่ 2.20	(ก) วงจรปรับความชันและตำแหน่งศูนย์	33
	(ข) กราฟคุณสมบัติของวงจร	33
รูปที่ 2.21	(ก) วงจรขยายสัญญาณอินสทรูเมนท์แบบใช้ออปแอมป์ 3 ตัว	35
	(ข) สัญญาณของวงจร IA	35
รูปที่ 3.1	บล็อคไดอะแกรม แสดการทำงานของระบบควบคุม	38
รูปที่ 3.2	บล็อคไดอะแกรมของส่วนรับข้อมูลและสั่งงาน	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 วงจรที่ใช้ในการติดต่อคอมพิวเตอร์กับ MCS-51 40
รูปที่ 3.4 วงจรรับส่งข้อมูลทางด้านผู้ใช้ 41
รูปที่ 3.5 บล็อคไดอะแกรมของวงจรส่วนการวัดและควบคุมกระบวนการ 44
รูปที่ 3.6 วงจรการต่อไมโครลคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ต่างๆ 45
รูปที่ 3.7 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล 46
รูปที่ 3.8 วงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์ 47
รูปที่ 3.9 วงจรขยายอินสทรูเมนท์ (Instrumentation Amplirier,IA) 47
รูปที่ 3.10 วงจรขับมอเตอร์ 48
รูปที่ 3.11 วงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง +5V และ ±9V 48
รูปที่ 4.1 วงจรการรับข้อมูลและสั่งงานซึ่งติดต่อกับคอมพิวเตอร์ 50
รูปที่ 4.2 วงจรส่วนการวัดและควบคุมกระบวนการ 50
รูปที่ 4.3 โฟลชาร์ทการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงาน 51
รูปที่ 4.4 หน้าต่างการทำงาน 52
รูปที่ 4.5 หน้าต่างผลการทำงาน 53
รูปที่ 4.6 หน้าต่างผลการทำงานกรณีแรก 54
รูปที่ 4.7 หน้าต่างผลการทำงานกรณีแรก 55
รูปที่ 4.8 หน้าต่างผลการทำงานกรณีแรก 55
รูปที่ 4.9 หน้าต่างผลการทำงานกรณีที่สอง 56
รูปที่ 4.10 หน้าต่างผลการทำงานกรณีที่สอง 57
รูปที่ 4.11 หน้าต่างผลการทำงานกรณีที่สอง 57
รูปที่ 4.12 หน้าต่างผลการทำงานกรณีที่สาม 58
รูปที่ 4.13 หน้าต่างผลการทำงานกรณีที่สอง 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงงาน

ในปัจจุบันนี้ไม่ว่าจะเป็นงานด้านอุตสาหกรรมหรือแต่ชีวิตประจำวันของมนุษย์จะมีการสร้างเครื่องอำนวยความสะดวกมากขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ การควบคุมแบบไร้สาย ก็เป็นส่วนหนึ่งในสิ่งที่อำนวยความสะดวกทั้งหลาย ซึ่งสามาดูผลการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ของการวัด และสามารถสั่งการควบคุมจากคอมพิวเตอร์ได้ทันที หรืออาจจะควบคุมให้เป็นไปตามความต้องจากค่าปริมาณที่เราวัดได้ โดยไม่ต้องเดินสายสัญญาณจากตัวควบคุมและเครื่องมือวัดไปยังคอมพิวเตอร์ให้ยุ่งยาก เพราะจะใช้การติดต่อผ่านทางคลื่นวิทยุแทน จึงทำให้มีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน โดยในที่นี้เราจะสร้างกระบวนการจำลองขึ้นมา เพื่อใช้เป็นแบบจำลองในการวัดค่าต่างๆและทำการควบคุมกระบวนการจำลองเพื่อให้เป็นไปตามต้องการได้ ซึ่งการควบคุมแบบไร้สายนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำอีกทั้งเทคโนโยีในการสร้างไม่ได้มีความสับซ้อนมากนัก

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานตลอดจนคุณลักษณะต่างๆ ของ MCS – 51
2. เพื่อศึกษาและออกแบบการอินเตอร์เฟสผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS 232 ของคอมพิวเตอร์
3. เพื่อศึกษาการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานตัวรับส่งข้อมูลและ MCS – 51
4. สามารถควบคุมอุปกรณ์ที่ต้องการได้
5. สามารถแสดงผลการวัดค่าต่างๆ ได้ทางคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตโครงงาน

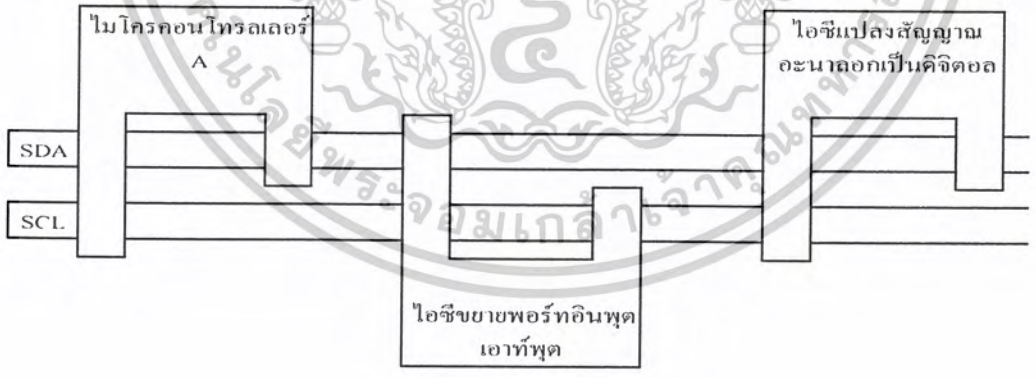
1. สามารถวัดค่าโดยเซนเซอร์และสามารถควบคุมกระบวนการที่ต้องการได้แบบเวลาจริง
2. การติดต่อรับส่งข้อมูลโดยผ่านทางความถี่วิทยุ 433 MHz
3. การควบคุมโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม
4. สามารถแสดงผลการทำงานของกระบวนการจำลองให้เป็นไปตามต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้น

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ I^2C

I^2C ย่อมาจากคำว่า Inter-IC communication ซึ่งหมายถึงการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีโดยได้รับการพัฒนาขึ้นโดยบริษัทฟิลิปส์จำกัดด้วยจุดมุ่งหมายหลักคือ ต้องการให้ไอซีหรือโมดูลสามารถติดต่อสั่งงาน และควบคุมภายใต้สายสัญญาณ 2 เส้นเส้นหนึ่งสายข้อมูลอีกเส้นหนึ่งสายสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดจังหวะการทำงาน การต่อร่วมกันของอุปกรณ์บนบัส I^2C สามารถทำได้ง่ายมากเพียงต่อสายข้อมูลและสายสัญญาณนาฬิกาของอุปกรณ์แต่ละตัวขนานหรือพ่วงกันไป ส่วนการกำหนดแอดเดรสหรือตำแหน่งสำหรับติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัวจะใช้รหัสข้อมูลและการกำหนดสภาวะลอจิกที่ขาแอดเดรสของอุปกรณ์แต่ละตัว สายข้อมูลบนบัส I^2C มีชื่อเรียกอย่างเป็นทางการว่าสายข้อมูลอนุกรมหรือ SDA (Serial Data Line) ส่วนสายสัญญาณนาฬิกามีชื่อเรียกว่าสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมหรือ SCL (Serial Clock Line) ในการอธิบายต่อไปนี้จะเรียกสายสัญญาณทั้งสองว่าสาย SDL และ สาย SCL



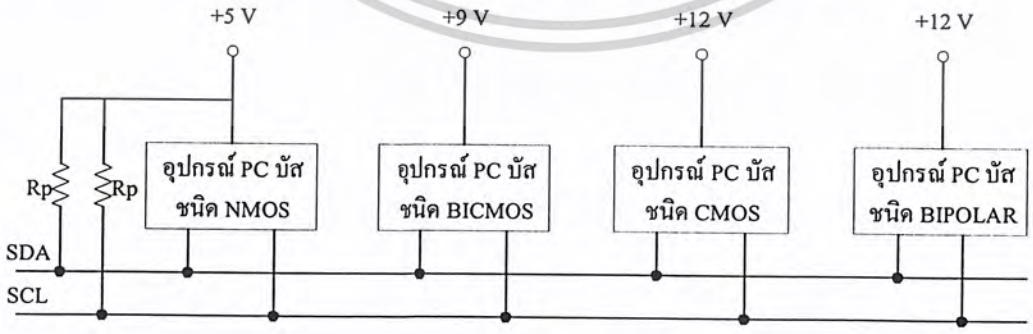
รูปที่ 2.1 ผังแสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆ บนระบบบัส I^2C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.1 แสดงผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆบนบัส I^2C จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ที่ทำการเชื่อมต่อบนบัส I^2C มีหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นไอซีขยายพอร์ตอินพุต-เอาท์พุต (I\O Expander) ไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (Analog-to-Digital Converter, ADC) และแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก (Digital-to-Analog Converter, DAC) หรือไอซีเรียลไทม์ล็อก (Real Time Clock, RTC) เป็นต้น

2.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของบัส I^2C

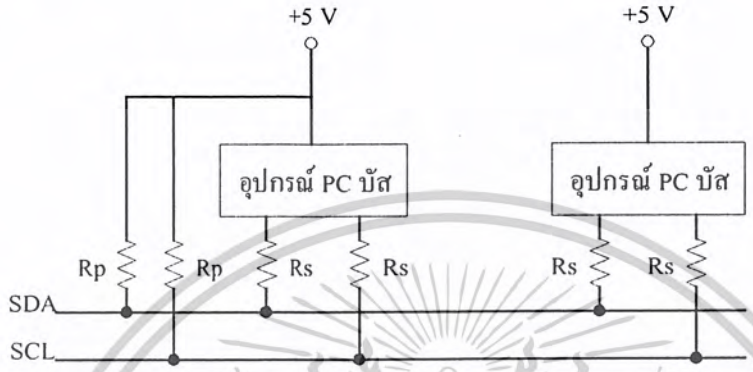
สาย SDA และ SCL เป็นสายสัญญาณ 2 ทิศทาง (bi-directional line) ต้องมีการต่อตัวต้านทานพูลอัพกับแรงดัน +5 V ไว้ตลอดเวลาเพื่อให้สายมีสถานะลอจิกสูงในขณะที่ไม่มีการติดต่อใช้งานทั้งยังช่วยในการป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจมีเข้ามาในสายสัญญาณทั้งสองวงจรเอาท์พุตของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส I^2C ต้องมีลักษณะเป็นวงจรเดรนเปิด (open-drain) หรือคอลเล็กเตอร์เปิด (open-collector) อัตราการถ่ายทอดข้อมูลบนบัส I^2C สูงถึง 100 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดปกติ (standard mode) และสูงถึง 400 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดความเร็วสูง (fast mode) อุปกรณ์ที่ต่อร่วมอยู่บนบัส I^2Cจะต้องมีค่าความจุไฟฟ้ารวมที่เกิดขึ้นระหว่างสาย SDA และ SCL ไม่เกิน 400pF การเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส I^2C ใช้ข้อมูลสำหรับการเข้าถึง 2 ค่าคือ 7 บิต (7-bit addressing) หรือ 10 บิต (10-bit addressing) ข้อดีอีกประการหนึ่งของบัส I^2C คือสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ไฟเลี้ยงไม่เท่ากันให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยอุปกรณ์บนบัส I^2C ตัวหนึ่งอาจใช้ไฟเลี้ยง +5V ในขณะที่อีกตัวหนึ่งใช้ไฟเลี้ยง +12V การต่อร่วมกันบน I^2C สามารถกระทำได้ในลักษณะเดียวกับกรณีที่อุปกรณ์ทั้งสองใช้ไฟเลี้ยงต่างกัน กล่าวคือให้ต่อสาย SDA และ SCL ของอุปกรณ์แต่ละตัวเข้าด้วยกัน และต้องต่อตัวต้านทานพูลอัพ (Rp) เข้ากับแรงดัน +5V ไว้เสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การต่อตัวต้านทานพูลอัพบนสายสัญญาณในระบบบัส I^2C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่อาจจะมีแรงดันไฟกระชากขนาดใหญ่ ปะปนเข้ามาในบัส I^2C ที่ขา SDA และ SCL ของอุปกรณ์แต่ละตัวต้องต่อตัวต้านทาน R_S อนุกรมกับขา SDA และ SCL ก่อนต่อเข้าสู่บัส I^2C ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การต่อตัวต้านทาน Rs เพื่อลดสัญญาณรบกวนขนาดใหญ่ที่อาจเข้ามาในบัส I^2C

2.3 หลักการทำงานของระบบบัส I^2C

ระบบบัส I^2C ประกอบด้วยสายสัญญาณ 2 เส้น ดังที่ได้กล่าวมาแล้วคือ SDA และ SCL อุปกรณ์ที่ต่อพ่วงบนบัสสามารถมีได้มากมาย ดังนั้นจึงมีการกำหนดรูปแบบของการติดต่อบนบัส หรือโปรโตคอล (protocol) เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบว่า ขณะนี้มีอุปกรณ์ใดติดต่อกันอยู่ และอุปกรณ์ตัวใดเป็นตัวรับหรือตัวส่ง ต่อไปนี้จะขออธิบายลักษณะ หน้าที่และนิยามของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนระบบบัส I^2C

อุปกรณ์ที่เป็นผู้สร้างข้อมูลหรือส่งข้อมูล เรียกว่าตัวส่ง (transmitter) อุปกรณ์ที่เป็นผู้รับข้อมูลเรียกว่าตัวรับ (receiver) ในอุปกรณ์บนบัส I^2Cสามารถเป็นได้ทั้งตังรับและตัวส่งบางอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นตังรับอย่างเดียว จะไม่มีอุปกรณ์ใดบนบัส I^2C ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งเพียงอย่างเดียว อุปกรณ์ที่ทำหน้าควบคุมจังหวะการติดต่อบนบัส I^2C เรียกว่า มาสเตอร์ (master) อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรืออุปกรณ์ที่ต่อพ่วงเข้าไปบนบัส I^2C เรียกว่า สเลฟ (slave)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนดที่สำคัญ 2 ปะการสำคัญของการติดต่อบนบัส I^2C คือ

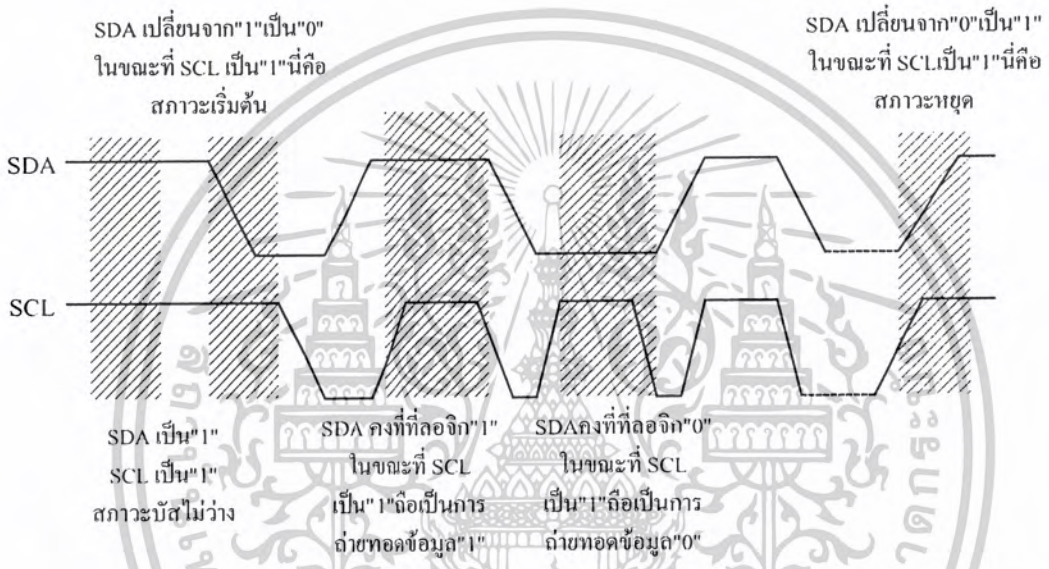
- การถ่ายทอดข้อมูลจะเกิดขึ้นได้เมื่อบัสว่างเท่านั้น
- ในระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล เมื่อใดก็ตามที่สาย SCL มีสถานะเป็นลอจิกสูงสายข้อมูลจะรักษาข้อมูลไว้ อย่าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเด็ดขาด มิฉะนั้น สัญญาณที่เกิดขึ้นจะได้รับการแปลความหมายเป็นสัญญาณควบคุมแทน

สภาวะที่เกิดขึ้นบนบัส I^2C มีด้วยกัน 5 สภาวะ ดังนี้

- บัสว่าง (bus not busy) สภาวะนี้เกิดขึ้นเมื่อสถานะลอจิกบนสาย SDA และ SCLเป็นลอจิกสูงทั้งคู่ นั่นหมายความว่า การถ่ายทอดข้อมูลสามารถเริ่มต้นขึ้นได้
- เริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูล (start data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากสูงไปต่ำ ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่า สภาวะเริ่มต้น(START)
- หยุดการถ่ายทอดข้อมูล (stop data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการแปลงเปลี่ยนระดับลอจิกจากต่ำไปสูง ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะที่เกิดขึ้นว่า สภาวะหยุด (STOP)
- ข้อมูลดำรงอยู่บนบัส (data valid) สภาวะนี้เกิดขึ้นถัดจากสภาพวะเริ่มต้น โดยสถานะลอจิกที่เกิดขึ้นบนสาย SDA ก็คือข้อมูลที่ทำการถ่ายทอด เมื่อสาย SCL เป็นลอจิกสูงสถานะที่สาย SDA ต้องคงที่ เพื่อให้อุปกรณ์รับรู้ข้อมูลในจังหวะนั้นว่า เป็น “0”หรือ “1” ข้อมูลอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในขณะที่สาย SCL เป็นลอจิกต่ำ แต่เมื่อใดก็ตามที่ต้องการให้เกิดการถ่ายทอดข้อมูลอย่างสมบูรณ์ สถานะลอจิกที่ขา SDA ต้องคงที่ตลอดช่วงเวลาที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง หากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกในขณะที่สาย SCL มีลอจิกสูงอยู่นั้น อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ทำการควบคุมการถ่ยทอดข้อมูลจะแปลความหมายเป็นสภาวะหยุดหรือสภาวะเริ่มต้นก็ได้ทำให้ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดอาจผิดพลาดไป
- รับรู้ข้อมูล (acknowledge) เกิดขึ้นหลังจากที่การถ่ายทอดข้อมูลจากตัวส่งมายังตัวรับเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยตัวส่งจะทำการส่งข้อมูลมา 1 บิตเรียกว่าบิตรับรู้ (acknowledge bit) มีสถานะเป็นลอ-จิกสูง หลังจากส่งข้อมูลมาครบถ้วน ส่วนอุปกรณ์มาสเตอร์จะทำการส่งสัญญาณรับรู้พิเศษซึ่งสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกาเพื่อตอบสนองบิตรับรู้ที่ส่งมาจากตัวส่ง ทางด้านตัวรับจะส่งบิตรับรู้ที่มีสถานะลอ-จิกต่ำลงบนบัส อุปกรณ์สเลฟที่ถูกอ้างถึงในการติดต่อหรือกำลังติดต่ออยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะนั้นก็จะกำเนิดบิตรับรู้เพื่อตอบสนองให้ทราบว่าได้รับข้อมูลในแต่ละบิตเรียบร้อยแล้วในรูปที่ 2.3 เป็นไดอะแกรมเวลาที่แสดงถึงการเกิดสภาวะต่างๆบนบัส I^2C ไม่ว่าจะเป็นสภาวะบัสว่าง เริ่มต้น ถ่ายทอดข้อมูล รับรู้ และหยุดการถ่ายทอดข้อมูล



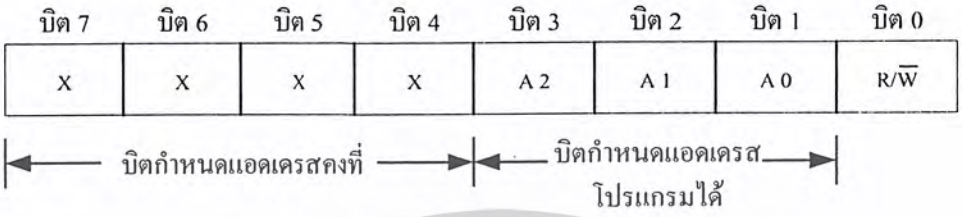
รูปที่ 2.4 ผังสัญญาณเวลาแสดงสถานะต่างๆในบัส I^2C

2.4 การทำงานบนบัส I^2C

ก่อนที่จะเริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูลระหว่างต่างๆที่ต่ออยู่บนบัส ต้องมีการอ้างถึงเสียก่อนโดยการอ้างถึงอุปกรณ์บนบัส I^2C นั้นจะใช้การอ้างถึงแบบ 7 บิตหรือ 10 บิต ในกรณีที่มีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสไม่มาก ใช้การอ้างถึงแบบ 7 บิตก็เพียงพอ แต่ถ้ามีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสมากกว่า 127 – แอดเดรส จำเป็นต้องใช้การอ้างอิงถึงแบบ 10 บิต หลังจากที่ติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัวได้เรียบร้อยแล้วก็จะเริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูลกันต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นหัวใจสำคัญอันดับแรกของการทำงานบนบัส I^2C คือการอ้างถึงอุปกรณ์แต่ละตัว ซึ่งในที่นี้จะอธิบายรายละเอียดของการอ้างถึงทั้ง 2 รูปแบบ



รูปที่ 2.5 รูปแบบของข้อมูลกำหนดแอดเอรสที่ใช้ในการอ้างถึงแบบ 7 บิต

2.4.1 การอ้างถึงแบบ 7 บิต (7-bit addressing)

ข้อมูลไบต์แรกที่เกิดขึ้นหลังจากสภาวะเริ่มต้นคือ ข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงอุปกรณ์ที่ต้างการติดต่อหรือข้อมูลกำหนดแอดเดรส โดยมีรูปแบบแสดงในรูปที่ 2.5 ใน 7 บิตบนรวมทั้งบิต MSB ด้วยจะเป็นข้อมูลแอดเดรสของอุปกรณ์สเลฟที่ต้องการติดต่อ โดยแบ่งเป็น บิตกำหนดแอดเดรสคงที่ (fixed address bit) จำนวน 4 บิต ซึ่งข้อมูลนี้อุปกรณ์แต่ละตัวจะถูกกำหนดมาจากผู้ผลิต ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ ถัดมาอีก 3 บิตเป็นบิตกำหนดแอดเดรสที่สามารถโปรแกรมได้ (programmable address bit) โดยผู้ใช้งานต้องกำหนดสถานะลอจิกให้กับขา A0-A2 ของอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อแบบบัส I^2Cส่วนในแบบ LSB เป็นที่ใช้กำหนดการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวนั้นๆ หากบิต LSB เป็น "0" หมายถึงต้องการเขียนข้อมูลไปยังอุปกรณ์นั้น ถ้าเป็น "1" จะเป็นการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์สเลฟ ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลควบคุม (control byte) ในอุปกรณ์แต่ละตัวมีการกำหนดข้อมูลควบคุมแตกต่างกันไป ยกตัวอย่าง ไอซีขยายพอร์ตมีข้อมูลควบคุมที่ใช้กำหนดว่า บิตใดเป็นอินพุต บิตใดเป็นเอาท์พุต ในขณะที่ไอซี ADC/DAC ต้องการข้อมูลควบคุมเพื่อกำหนดให้ทำงานเป็นวงจร ADC หรือ DAC เป็นต้น ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดจริง (data) หลังจากที่มีการถ่ายทอดข้อมูลในแต่ละไบต์ อุปกรณ์สเลฟที่ได้รับการติดต่อต้องส่งสัญญาณรับรู้ตอบกลับมาทุกครั้ง เพื่อให้กระบวนการถ่ายทอดข้อมูลสามารถดำเนินต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การอ้างถึงแบบ 10 บิต

ในการอ้างถึงแบบนี้ยังคงใช้รูปแบบข้อมูลอนุกรมที่เหมือนกันแบบ 7 บิต หากแต่จะมีข้อมูลอนุกรมที่เหมือนกันแบบ 7 บิตหากแต่ยังมีข้อมูลเพิ่มเติมขึ้นมาเล็กน้อย โดยในข้อมูลไบต์แรกหลังจากเกิดสภาวะเริ่มต้น ต้องกำหนดให้ 5 บิตบนมีข้อมูลเป็น 11110 ส่วนอีก 2 บิตถัดมาเป็นบิตแอดเดรสของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ ในบิต LSB ของข้อมูลไบต์แรกยังคงเป็นการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ต่อมาเป็นข้อมูลแอดเดรสในไบต์ที่ 2 ของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ถัดไปจึงเป็นข้อมูลควบคุม ข้อมูลหลังจากนั้นก้จะเป็นข้อมูลจริงที่ใช้ในการติดต่อ เช่นเดียวกับการอ้างถึงแบบ 7 บิต หลังจากการถ่ายทอดข้อมูลครบทุกไบต์ ต้องมีสภาวะรับรู้เกิดขึ้น เพื่อให้กระบวนการถ่ายทอดข้อมูลสามารถดำเนินต่อไปได้

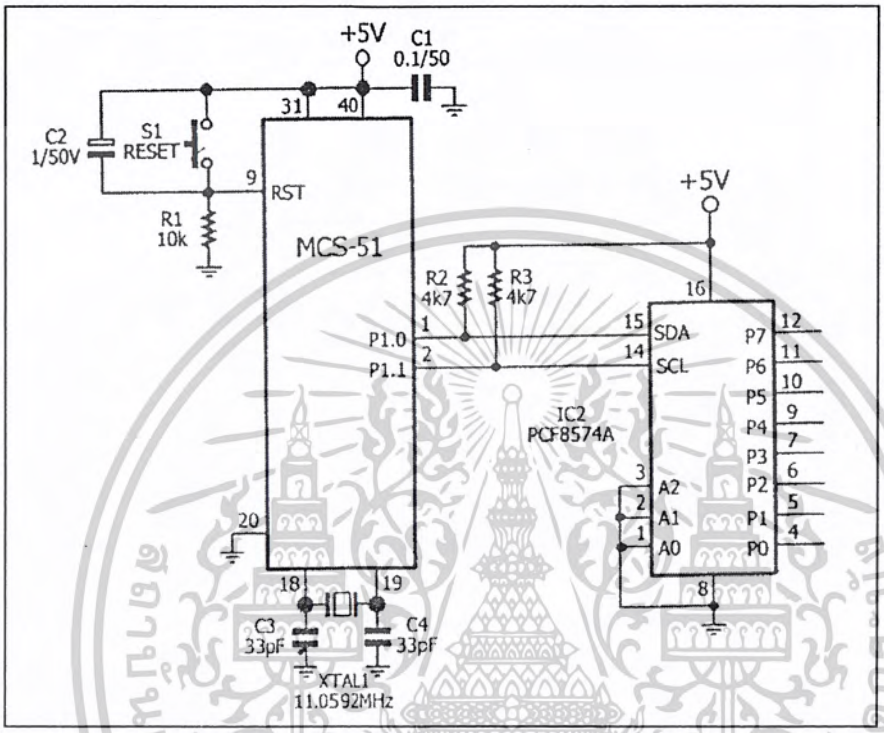
2.5 อุปกรณ์ที่ใช้การเชื่อมต่อแบบ บัส I^2C

ในปัจจุบันบัสI^2Cได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆด้วยข้อดีที่ชัดเจนคือใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้นเท่านั้น และการขยายระบบไมโครคอลโทรลเลอร์ ที่มีจำนวนอินพุตเอาท์พุตและหน่วยความจำจำกัดสามารถทำได้ง่ายขึ้นด้วยระบบบัส I^2C เมื่อเป็นเช่นนี้จึงมีอุปกรณ์เพอริเฟอรัลที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบบัส I^2C มากมายจากหลายผู้ผลิตออกมาให้ได้ใช้งาน ดังมีตัวอย่างต่อไปนี้

- ไอซีขยายพอร์ตอินพุต-เอาท์พุต (I/O expander) : PCF8574, PCF8582, PCF8584
- ไอซีหน่วยความจำอีพรอมอนุกรม (serial EEPROM) : 24Cxx, PCF8570, PCF72/73, PCF8582
- ไอซี ADC/DAC : PCF8591
- ไอซีเรียลไทม์คล็อก (Real-time clock, RTC) : PCF8583, PCF8593, PCF8598, 41T56c
- ไอซีขับ LCD (LCD driver) : PCF8466, PCF8576, PCF8577/78, PCF8579, SAA1064
- ไอซีกำเนิดสัญญาณ DTMF (DTMF generator) : PCD3311/12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เข้ากับระบบบัส I^2C นั้นสามารถทำได้ เพียงใช้ขาพอร์ต 2 ขา โดยกำหนดให้ขาหนึ่งเป็น SDA อีกขาหนึ่งเป็น SCL และต่อตัวต้านทานค่าประมาณ 4.7kΩ พูลอัพที่ขาพอร์ตทั้งสองขา เพียงเท่านี้ก็สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ระบบบัส I^2C ได้แล้ว



รูปที่ 2.6 วงจรตัวอย่างการต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับอุปกรณ์ระบบบัส

รูปที่ 2.6 แสดงวงจรตัวอย่างการต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เข้ากับระบบบัส I^2C จากวงจรจะใช้ขาพอร์ต P1.0 เป็นขา SDA และ P1.1 เป็นขา SCL อุปกรณ์ที่ทำการติดต่อด้วยคือไอซีขยายพอร์ตอินพุทเอาท์พุทเบอร์ PCF8574

2.6 การเขียนโปรแกรมติดต่อบัส I^2C

เริ่มต้นด้วยการสร้างสภาวะมาตรฐานของบัส I^2C อันประกอบด้วย สภาวะเริ่มต้น สภาวะสิ้นสุดการส่งข้อมูล สภาวะหยุด และสัญญาณนาฬิกาบนขา SCL การสร้างสภาวะหยุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อต้องการหยุดส่งข้อมูลจะต้องส่งสภาวะหยุดออกไป โดย

1. ต้องกำหนดให้ขา SCL และ SDA เป็นลอจิก “0” ทั้งคู่ก่อน
2. กำหนดให้ขา SCL มีลอจิกเป็น “1” โดย SDA ยังคงมีลอจิกเป็น “0”
3. จากนั้นทำให้ขา SDA มีลอจิกเป็น “1” ซึ่งจะทำให้ระบบบัสกลับเข้าสู่บัสว่างอีกครั้ง พร้อมที่จะรับหรือส่งข้อมูลต่อไป

<u>การส่งข้อมูลลอจิก “0” และลอจิก “1”</u>

หลังจากที่ทำการส่งบิตเริ่มต้นแล้ว ลำดับต่อไปคือ จะต้องส่งข้อมูลควบคุมซึ่งจะเป็นขบวนของลอจิก “0” และลอจิก “1” สำหรับการส่งข้อมูลลอจิก “0” ต้องดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. ทำให้ขา SDA เป็น “0” สำหรับการส่งข้อมูลลอจิก “0”
2. ทำให้ขา SCL เป็น “1” สำหรับการป้อนสัญญาณนาฬิกา ในขณะที่ขา SDA ยังคงเป็น “0” อยู่
3. จากนั้นทำให้ขา SCL กลับมามีสถานะเป็นลอจิก “0”เหมือนเดิม

<u>ในขณะที่การส่งข้อมูลลอจิก “1” มีขั้นตอนดังนี้</u>

1. ทำให้ขา SDA มีลอจิกเป็น “1” สำหรับการส่งข้อมูลลอจิก “1”
2. ทำให้ขา SCL เป็น “1” สำหรับการส่งสัญญาณนาฬิกา ในขณะที่ขา SDA ยังคงเป็น “1” อยู่
3. จากนั้นทำให้ขา SCL เป็น “1” กลับมามีสถานะเป็นลอจิก “0” เหมือนเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม SCON (Serial Port Control Register)

รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม SCON เป็นรีจิสเตอร์เฉพาะที่ทำหน้าที่ควบคุมโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรม และเป็นที่เก็บข้อมูลบิตที่ 9 ของการรับส่งข้อมูล (บิต TB8 และ RB8) และมีแฟลกของการร้องขออินเตอร์รัพของพอร์ตอนุกรมรวมอยู่ด้วย การควบคุมการทำงานเราจะกำหนดบิตต่างๆในรีจิสเตอร์ตัวนี้ด้วยคำสั่งการโอนย้ายข้อมูลหรือใช้คำสั่งการเซตหรือเคลียร์บิตก็ได้เนื่องจากรีจิสเตอร์ SCON อ้างตำแหน่งแบบบิตได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1

bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	T1	R1

SCON : Serial Port Control Register

ความหมายของบิตต่างๆในรีจิสเตอร์ SCON เป็นดังนี้

SM0 และ SM1 : เป็นบิตกำหนดโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมซึ่งมี 4 โหมดดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2

SM0	SM1	โหมด	การทำงาน	อัตรารับส่ง
0	0	0	shift register	$f_{osc}/12$
0	1	1	8 bit UART	Variable
1	0	2	9 bit UART	$f_{osc}/32$ หรือ $f_{osc}/64$
1	1	3	9 bit UART	Variable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SM2 : เป็นบิตควบคุมให้ทำงานในลักษณะการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์หลายตัวเข้าด้วยกัน สำหรับการใช้งานในโหมด 2 หรือโหมด 3 เป็นดังนี้

SM2 = 1 จะทำให้มีแฟลกอินเตอร์รัพต์ทางด้านรับ (RI) ไม่ถูกเซตเมื่อรับข้อมูลเข้ามาแล้วมีค่าบิตที่ 9 เป็น 0 (อยู่ในบิต RB8) สำหรับการทำงานในโหมด 1 ถ้าเซต SM2 = 1 แฟลกอินเตอร์รัพต์

ทางด้านรับ (แฟลกRI) จะไม่ถูกเซตหากข้อมูลที่รับเข้ามาไม่มี STOP BIT การใช้งานในโหมด 0 ต้องกำหนดให้ SM2 = 0

REN : เซตหรือรีเซตด้วยซอฟต์แวร์เป็นตัวควบคุมการรับข้อมูลของพอร์ตอนุกรมดังนี้

1 = ให้มีการรับข้อมูล

0 = ไม่ให้มีการรับข้อมูล

TB8 : เป็นบิตข้อมูลบิตที่ 9 ที่ต้องการส่งในโหมด 2 และ 3 สามารถเซตหรือเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์

RB8 : เป็นบิตเก็บข้อมูลที่รับเข้ามาบิตที่ 9 ในโหมด 2 และ 3 สำหรับการทำงานในโหมด 1 หากกำหนดให้บิต SM2 = 0 บิต RB8 จะเป็นค่าของ STOP BITที่รับเข้ามา สำหรับโหมด 0 ไม่มีการใช้ RB8

T1 : แฟลกของการอินเตอร์รัพต์ด้านส่งข้อมูล แฟลกนี้จะถูกเซตด้วยฮาร์ดแวร์เมื่อจบการส่งข้อมูลบิตที่ 8 ในโหมด 0 หรือเมื่อเริ่มต้นส่ง STOP BIT ในโหมด 1,2 หรือ 3 เราต้องเคลียแฟลกนี้ด้วยซอฟต์แวร์ เมื่อจบโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัพต์ของการส่งข้อมูลแล้ว

R1 : แฟลกอินเตอร์รัพต์ด้านรับข้อมูล ถูกเซตด้วยฮาร์ดแวร์ เมื่อข้อมูลบิตที่ 8 ในโหมด 0 ถูกรับเข้ามาหรือเมื่อ STOP BIT ถูกรับเข้ามาในครึ่งเวลาแรกในโหมด 1,2 หรือ 3 เราต้องเคลียแฟลกนี้ด้วยโปรแกรม เมื่อจบโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัพต์ของการส่งข้อมูลแล้ว การเลือกโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรม สามารถกำหนดโหมดต่างๆ ได้ดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3

MODE	รีจิสเตอร์ SCON	บิต SM2 Variable
0	10 H	Single Mode Environment (SM2 = 0)
1	50 H	
2	90 H	
3	D0 H	
0	NA	Multiprocessor Environment (SM2 = 1)
1	70 H	
2	B0 H	
3	F0 H	

การส่งและรับข้อมูลของพอร์ตอนุกรมจะมีรีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลอยู่1ตัวคือรีจิสเตอร์ SBUF การส่งข้อมูลออกไปยังพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ทำโดยการใส่ข้อมูลลงในรีจิสเตอร์ SBUF การอ่านข้อมูลจากภายนอกที่รับเข้ามาทางพอร์ตอนุกรมจะอ่านจากรีจิสเตอร์ SBUF เช่นกัน วงจรด้านรับจะมีบัฟเฟอร์ขนาด 1 ไบต์ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่รับเข้ามาประกอบอยู่ภายใน (การมีบัฟเฟอร์รับข้อมูลทำให้ด้านรับสามารถรับข้อมูลไบต์ที่ 2 เข้ามาได้ทันทีหลังจากข้อมูลไบต์แรกเข้ามาแล้วแม้ยังไม่ถูกอ่านออกไปแต่ถ้าข้อมูลไบต์แรกยังไม่ถูกอ่านก่อนที่ข้อมูลไบต์ที่ 2 จะเข้ามาครบข้อมูลไบต์ที่ 2 จะถูกยกเลิก)

<u>โหมด 1</u>

ใช้การรับส่งข้อมูลแบบ 10 บิต ซึ่งข้อมูลอนุกรม 10 บิต เข้ามาทางขา RXD และข้อมูลขนาด 10 บิต ส่งออกแบบอนุกรมทางขา TXD โดยข้อมูล 10 บิตประกอบด้วย 1 Strat bit (ค่า 0), 8 บิตข้อมูล (การรับ/ส่งจะเริ่มจากบิตต่ำก่อน) และ 1 Stop bit (ค่า 1) ด้านรับข้อมูลจะนำค่า Stop bit ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับเข้ามาไปในบิต RB8 ที่อยู่ในรีจิสเตอร์ SCON อัตราการรับส่งข้อมูลในโหมดนี้สามารถกำหนดได้ตามต้องการ

<u>การรับส่งข้อมูลในโหมด 1</u>

การส่งข้อมูลจำนวน 10 บิต จะส่งออกไปที่ขา TXD และรับข้อมูลเข้ามาทางขา RXD ข้อมูล 10 บิต ประกอบด้วย 1 Start bit (ค่าลอจิก 0) ข้อมูลจำนวน 8 บิต (LSB ส่งหรือรับก่อน) และ 1 Stop bit (ค่าลอจิก 1)

ในกรณีของการรับข้อมูล Stop bit จะถูกนำเข้าไปเก็บในบิต RB8 ที่อยู่ในรีจิสเตอร์ SCON ความเร็วในการรับส่งข้อมูลจะกำหนดโดยโอเวอร์โฟลวของ Timer1 หรือ Timer2 หรือกำหนดจากทั้ง 2 ตัว (ตัวหนึ่งสำหรับด้านส่ง ตัวหนึ่งสำหรับด้านรับ)

การส่งข้อมูลจะเริ่มต้นหลังจากกำหนดค่าลงในรีจิสเตอร์ข้อมูล SBUF ด้านส่งนะมีสัญญาณ Write to SBUF ควบคุมให้มีการใส่ค่า 1 ลงในตำแหน่งของบิตที่ 9 ของ SHIFT REGISTER ด้านส่ง และเริ่มทำการส่งข้อมูลของ TX CONTROL UNIT การส่งข้อมูลออกจะเริ่มต้นในช่วงเวลา S1P1 ของแมชชีนไซเกิลและบิตต่อไปตามจังหวะของตัวกำหนดอัตราส่งที่มาจากโอเวอร์โฟลวของ Timer1 หรือ Timer2 ที่หารด้วย 16

การส่งข้อมูลจะเริ่มด้วยการส่งสัญญาณ SEND ให้แอคทีฟ เมื่อเริ่มต้นการส่งข้อมูลบิตแรกออกไปที่ TXD และบิตของข้อมูลจะถูกส่งตามออกไปโดยการทำงานของ SHIFT REGISTER ซึ่งจะทำการ

เลื่อนข้อมูลไป 1 ตำแหน่งตามจังหวะของอัตราส่งที่เข้ามายัง TX CLOCK เมื่อบิตข้อมูลทั้งหมดถูกเลื่อนออกไปทางขวา จะมี 01 เข้ามาทางด้านซ้าย จนกระทั่งบิตข้อมูลสูงสุด (MSB) ออกไปอยู่ที่เอาต์พุตของ SHIFT REGISTER จะทำให้บิตที่ 1 ที่ได้โหลดเข้าไปตอนเริ่มต้นในตำแหน่งที่ 9 ซึ่งอยู่ทางซ้ายมือของ MSB และมีบิตต่างๆที่อยู่ทางซ้ายของบิตที่ 9 เป็น 0 ทั้งหมด เมื่อเกิดเงื่อนไขดังกล่าวจะทำให้ TX CONTROL UNIT ทำการเลื่อนข้อมูลออกไปทางขวาอีก 1 ครั้ง เป็นครั้งสุดท้าย แล้วเลิกส่งสัญญาณ SEND และเซตแฟลก TI = 1 เวลาการส่งข้อมูลจะจบในช่วง CLOCK ลูกที่ 10 ของสัญญาณการส่งข้อมูล หลังจากมีสัญญาณ Write to SBUF

การรับรับข้อมูลจะเริ่มต้นเมื่อสัญญาณที่ขา RXD เปลี่ยนจาก 1 ไป 0 โดยซีพียูจะมีการตรวจสอบด้วยความเร็ว 16 เท่า ของอัตราความเร็วในการรับข้อมูล เมื่อซีพียูตรวจสอบได้ว่ามีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งข้อมูลเข้ามา จะทำการรีเซตวงจรหาร 16 ทันทีเพื่อเริ่มต้นใหม่ให้สัมพันธ์กับข้อมูลที่เข้ามาและค่า 1FFH จะถูกกำหนดให้กับ SHIFT REGISTER ด้านรับ

การรับรับข้อมูลจะทำการตรวจสอบบิตข้อมูลที่ขา RXD 3 ครั้งในช่วงบิต RCLK ที่ 7, 8 และ 9 เข้ามาในวงจรหาร 16 โดยจะใช้ค่าที่อ่านได้จาก 2 มน 3 ครั้งเป็นข้อมูล การทำเช่นนี้ก็เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนออก หาก ตรวจสอบว่าในช่วงบิตที่ 0 ของ RCLK ข้อมูลที่ RXD ไม่เป็น 0 วงจรด้านรับจะรีเซตกลับไปรอการเปลี่ยนค่าที่ขา RXD จาก 1 ไป 0 ใหม่ การทำเช่นนี้เพื่อป้องกันการผิดพลาดของ Start bit หากค่า Start bit ถูกต้อง จะทำการเลื่อนข้อมูลเข้าไปใน SHIFT REGISTER และรอรับบิตต่อๆไป โดยบิตข้อมูลจะเข้ามาทางขวาของ SHIFT REGISTER และค่า 1 ที่กำหนดไปตอนเริ่มจะถูกเลื่อนไปทางซ้ายตามลำดับ เมื่อ Start bit ที่เข้ามาถูกเลื่อนไปทางซ้ายมือสุดของ SHIFT REGISTER จะทำให้ RX CONTROL BOX ทำการเลื่อนอีก 1 ครั้ง เป็นครั้งสุดท้าย และนำค่าใน SHIFT REGISTER ไปเก็บในรีจิสเตอร์ SBUF และ RB8 และการเซตแฟลก RI จะเกิดขึ้นหลังจากเลื่อนข้อมูลครั้งสุดท้ายแล้วก็ต่อเมื่อเราได้กำหนด

1) RI = 0 (จะต้องเคลียร์ RI หลังจากทำโปรแกรมอ่านข้อมูลไปแล้ว) และ
2) SM2 = 0 หรือได้รับ STOP BIT = 1

หากเงื่อนไขทั้ง 2 ไม่จริง ข้อมูลที่รับเข้ามาจะถูกยกเลิก ถ้าเงื่อนไขทั้ง 2 เป็นจริง STOP BIT จะถูกนำไปเก็บใน SBUF และ RB8 ถูกเซต วงจรรับข้อมูลจะกลับไปตรวจสอบค่าที่ขา RXD ต่อ เพื่อรับข้อมูลไบต์ใหม่ต่อไป

2.8 การกำหนดอัตรารับส่ง (Baud Rate Generator)

อัตรารับส่งข้อมูลเป็นความเร็วในการส่งข้อมูลในหน่วย บิต/วินาที ซึ่งเราสามารถกำหนดอัตรารับส่งที่แตกต่างกันได้ในโหมด 1 และโหมด 3 สำหรับอัตรารับส่งในโหมด 0 จะคงที่ส่วนในโหมด 2 เลือกได้ 2 อัตราความเร็ว

อัตรารับส่งข้อมูลในโหมด 0 จะใช้สัญญาณนาฬิกาของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นฐานคือ

อัตรารับส่งโหมด 0 = ความถี่ใช้สัญญาณนาฬิกาของไมโครคอนโทรลเลอร์/12

อัตรารับส่งโหมด 2 เลือกได้ 2 อัตราความเร็ว ขึ้นอยู่กับบิต SMOD ที่อยู่ในรีจิสเตอร์ PCON เป็นตัวเลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ถ้าบิต SMOD = 0 (เป็นค่าหลังจากรีเซต)

อัตรารับส่งโหมด 2 = 1/64 เท่าของสัญญาณนาฬิกา

ถ้าบิต SMOD = 1

อัตรารับส่งโหมด 2 = 1/32 เท่าของสัญญาณนาฬิกา

สำหรับอัตราการรับและส่งข้อมูลในโหมด 1 และโหมด 3 จะกำหนดได้ตามต้องการ โดยใช้อัตราการเกิดโอเวอร์โฟลวของ Timer1 หรือ Timer2 เป็นตัวกำหนด (8052 มี Timer2 เพิ่มขึ้นมา) อัตราการรับและส่งข้อมูลสามารกำหนดได้จาก Timer2 หรือจากทั้ง 2 ตัว (ตัวหนึ่งสำหรับส่งอีกตัวสำหรับรับข้อมูล) ความเร็วในการรับและส่งข้อมูลอาจกำหนดไม่เท่ากันได้

<u>การใช้ Timer1 สร้างอัตรารับส่ง</u>

เมื่อใช้ Timer1 เป็นตัวสร้างอัตราการรับส่งข้อมูลของพอร์ตอนุกรมในโหมด 1 หรือโหมด 3 ต้องควบคุมไม่ให้ Timer1 ส่งสัญญาณอินเตอร์รัพต์อัตราการรับและส่งข้อมูลจะมาจากอัตราการเกิดโอ-เวอร์โฟลวของ Timer1 และค่าของบิต SMOD ที่อยู่ในรีจิสเตอร์ PCON (รีจิสเตอร์ PCON ไม่สามารถอ้างตำแหน่งแบบบิต การเซตค่าให้ใช้คำสั่งทางลอจิกของการ OR เช่น ORL PCON,#01111111B เท่ากับการเคลียร์บิต 7 ของ PCON) เราคำนวณอัตรารับส่งข้อมูลได้ดังนี้

$$\text{อัตรารับส่งในโหมด 1 และ 3} = \frac{2^{SMOD}}{32} * (\text{Timer1 Overflow rate})$$

เมื่อใช้ Timer1 สร้างอัตราการรับและส่งข้อมูลจะต้องทำให้ไม่มีการร้องขออินเตอร์รัพต์ที่เกิดจาก Timer1 (โดยการควบคุมที่รีจิสเตอร์ IE) เราจะใช้ Timer1 ทำงานในลักษณะของตัวจับเวลาหรือตัวนับอย่างใดอย่างหนึ่งในโหมดต่างๆทั้ง 3 โหมด สำหรับการใช้งานทั่วไปเราจะกำหนดให้ Timer1 ทำงานในลักษณะของตัวจับเวลาในโหมด Auto-relode (มีค่าการควบคุมใน TMOD = 0010XXXX) ซึ่งจะได้อัตราการรับส่งข้อมูลดังนี้

$$\text{อัตราการรับส่งของโหมด 1 และโหมด 3} = \frac{2^{SMOD}}{32} * \frac{Oscillator}{12 * [256 - (TH)]}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

55650

หากเราต้องการให้ Timer1 มีอัตรารับส่งต่ำมกๆเราทำได้โดยใช้ให้ Timer1 ทำงานในลักษณะของตัวจับเวลาแบบ 16 บิต (มีค่าของการควบคุมใน TMOD = 0001XXXX) และให้มีการอินเตอร์รัพต์จาก Timer1 ทำการกำหนดค่าเริ่มต้นใหม่ (Relode) ให้กับตัวจับเวลา ซึ่งเป็นการทำงานที่เป็นแบบ 16 บิต

2.9 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์

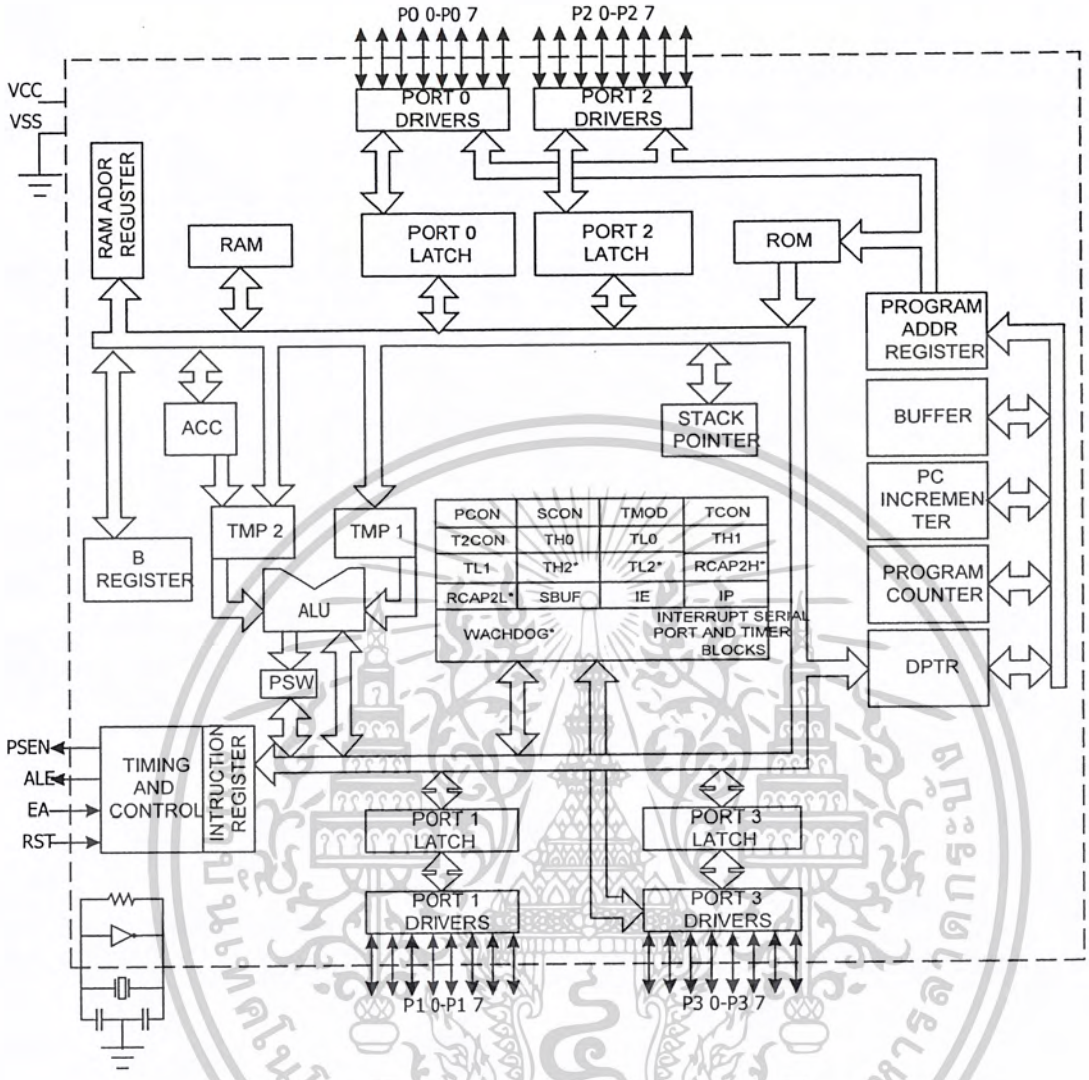
คุณสมบัติทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ มีรายละเอียดสำคัญดังต่อไปนี้

- แหล่งจ่ายไฟ + 5 V
- มีหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) ขนาด 4 กิโลไบต์สำหรับเบอร์ 8051 8031 และ 8032 ไม่มีหน่วยความจำชุดนี้ ส่วน 8032 มีหน่วยความจำถึง 8 กิโลไบต์
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data Memory) ขนาด 128 ไบต์ สำหรับ 8052 มีถึง 256 ไบต์
- หน่วยความจำสำหรับโปรแกรมและดาต้า (Program Memory และ Data Memory แยกจากกันอย่างละ 64 กิโลไบต์)
- คำสั่งที่ใช้เวลาน้อยที่สุดประมาณ 1 μs เมื่อทำงานที่ความถี่ 12 MHz
- มี Timer/Counter ขนาด 16 บิต 2 ชุด (สำหรับ 8052 มี 3 ชุด) ทำงานได้ 4 โหมด
- รับอินเตอร์รัพท์ได้ 6 แหล่ง 5 เวกเตอร์
- มีพอร์ทรับส่งข้อมูลอนุกรม (UART) 2 พอร์ท ทั้งรับและส่งในเวลาเดียวกันได้ (Full Duplex) เลือกการรับส่งได้ 4 โหมด
- มีคำสั่งในการทำ AND, OR หรือ COMPLEMENT ได้ทั้งแบบ 8 บิตและ 1 บิต

2.10 โครงสร้างภายในของ MCS-51

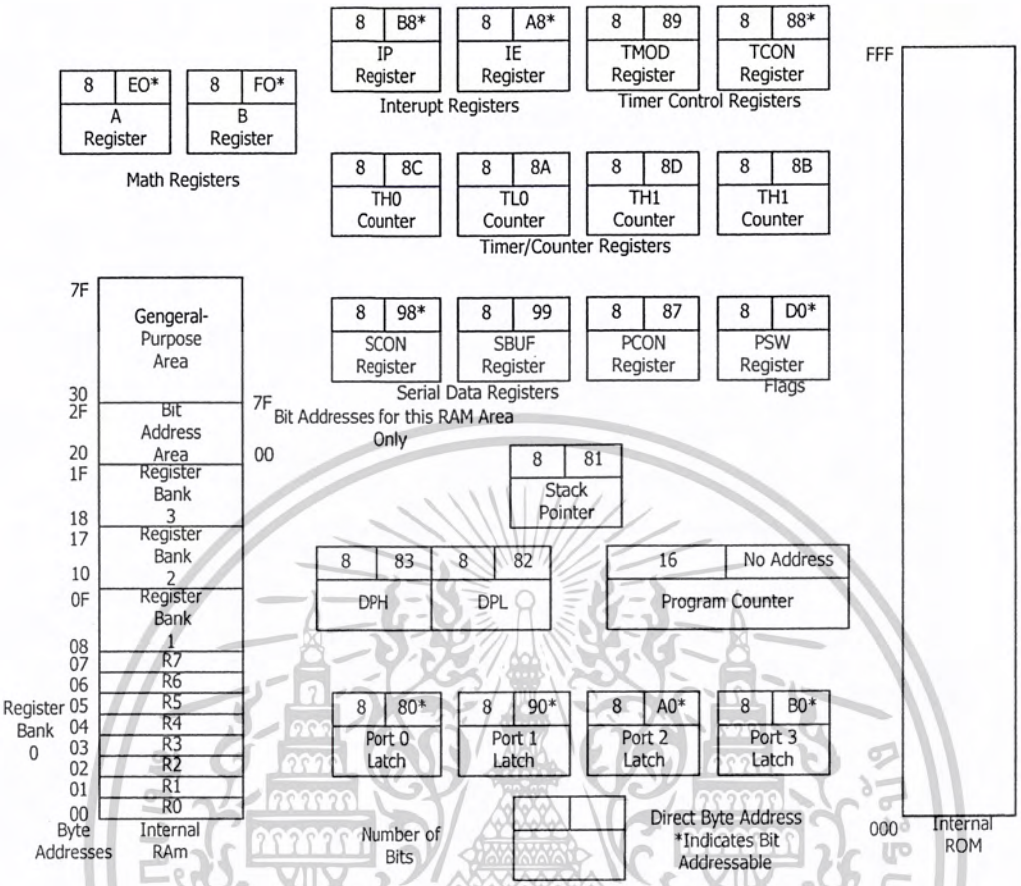
MCS-51 ใช้เทคโนโลยีในการผลิตแบบ NMOS และ CMOS เบอร์ 8032 และ 8052 จะมี ROM BASIC อยู่ภายในจึงสะดวก สำหรับโปรแกรมเมอร์ที่จะเขียนโปรแกรมด้วยภาษาเบสิก โครงสร้างสำหรับ เบอร์ 8051 ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

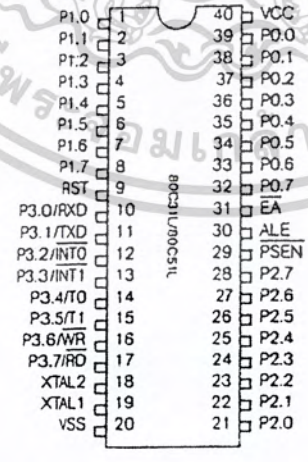


รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ตำแหน่งของรีจิสเตอร์ต่าง ๆ



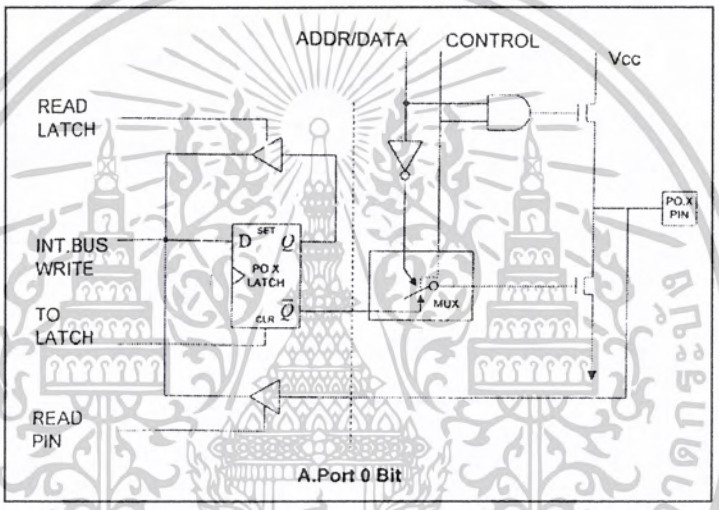
รูปที่ 2.9 การจัดวางขาของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 พอร์ทของ 8051

8051 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 40 ขาดังรูปที่ 2.9 ซึ่งมีขาต่าง ๆ ดังนี้

- Vcc (ขา 40) ต่อกับ + 5 V
- Vss (ขา 20) เป็นขา GND
- PORT 0 (ขา 32-39) มีทั้งหมด 8 บิตคือ (P0.0-P0.7) มีโครงสร้างแบบ Open Drain Bi-directional ดังแสดงในรูปที่ 2.10

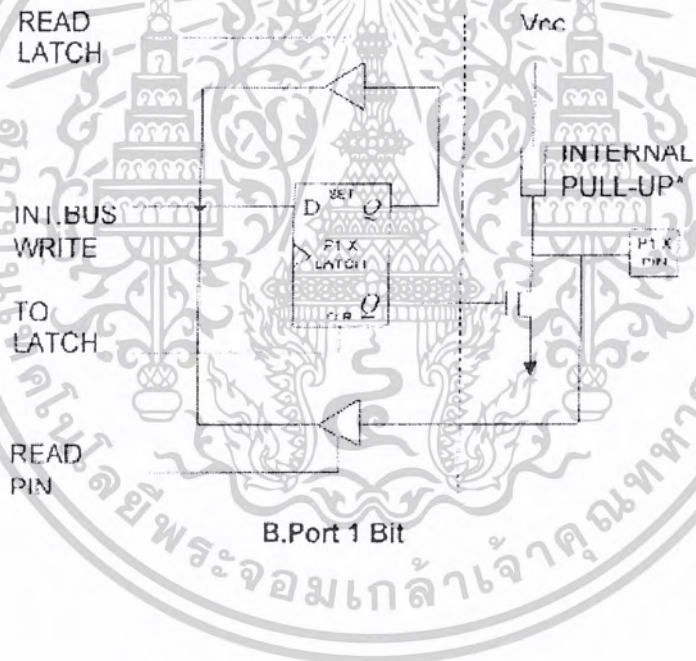


รูปที่ 2.10 โครงสร้าง พอร์ท 0 (บิต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พอร์ท 0 (ขา 32-39) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P0.0-P0.7) ใช้งานได้ 2 หน้าที่คือ ส่งแอดเดรสและดาต้าออกให้หน่วยความจำภายนอกเมื่อทำการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำภายนอกควบคุมด้วยขา Control ดังรูปที่ 2.10 ประกอบและอีกหน้าที่หนึ่งหน้าที่ก็คือ เป็นพอร์ท I/O ถ้าต้องการให้ทำงานเป็นอินพุตพอร์ทต้องส่งลอจิก " 1 " ไปยังพอร์ทนี้ จะมีผลให้ $\overline{Q}$ ของ D-FF เป็น " 0 " ทำให้ FET ตัวล่างมีสถานะ OFF สัญญาณที่ใช้อ่านอินพุทพอร์ท PIN (พอร์ท P0.X PIN) จะใช้สัญญาณ READ LATCH เมื่อถูกกระตุ้นที่ Tri-State Buffer ตัวบน

- พอร์ท 1 (ขา 1-8) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P1.0-P1.7) มีโครงสร้างคล้าย พอร์ท 0 แต่จะใช้ความต้านทานภายในพูลอัพแทน (Internal Pull Up Reggister) มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.11

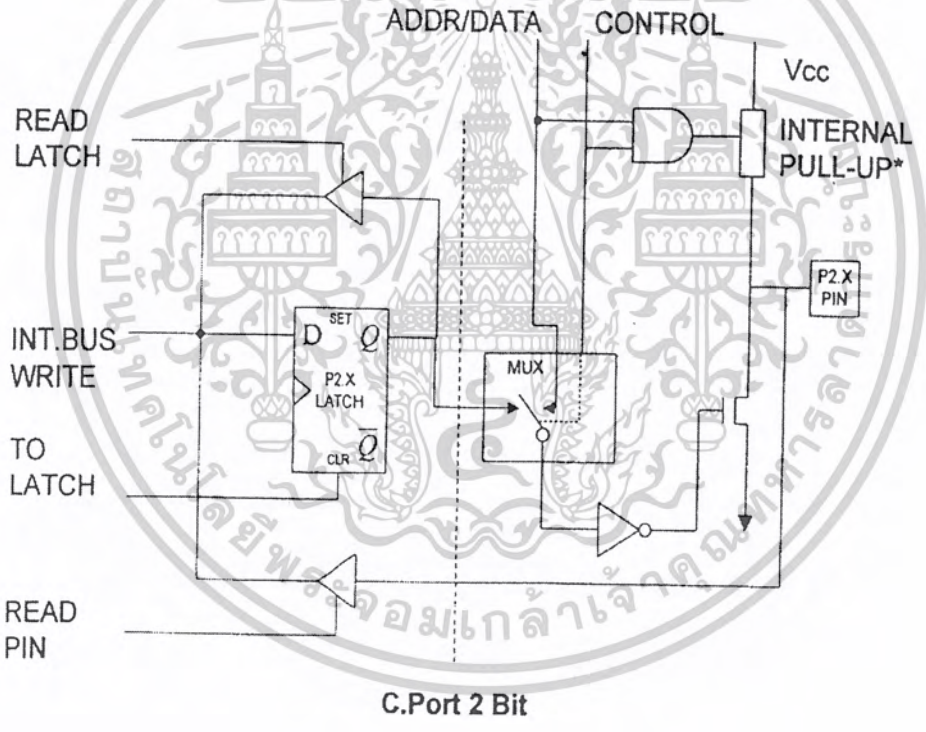


รูปที่ 2.11 โครงสร้างของพอร์ท 1 (บิต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พอร์ท 2 (ขา 21-28) มีทั้งหมด 8 บิต คือขา (P2.0-P2.7) มีโครงสร้างคล้าย PORT 0 โดยมี FET ตัวล่างตัวเดียวส่วนตัวด้านบนใช้ความต้านทานพูลอัพแทน (Internal Pull up) พอร์ทนี้ทำงาน 2 หน้าที่คือ สามารถใช้เป็นพอร์ทสำหรับส่งแอดเดรส 8 บิตบน (A8-A15) และเป็น I/O พอร์ทใช้งานทั่วไป เมื่อจะใช้งานเป็นอินพุตพอร์ท ต้องส่งลอจิก " 1 " มาที่พอร์ทนี้ก่อนเพื่อบังคับให้ FET อยู่ในสภาวะ OFF ดังแสดงในรูปที่ 2.11.3

- พอร์ท 3 (ขา 10-17) มีทั้งหมด 8 บิต คือขา (P3.0-P3.7) มีโครงสร้างคล้าย พอร์ท 1 พอร์ทนี้ทำหน้าที่เป็น I/O พอร์ท ถ้าจะให้พอร์ทนี้เป็น I/O PORT ก็ส่งลอจิก " 1 " มาที่พอร์ทนี้และอีกหน้าที่หนึ่งคือ ส่งสัญญาณควบคุมออกมา และรับสัญญาณเข้าไป สัญญาณต่าง ๆ มีดังนี้

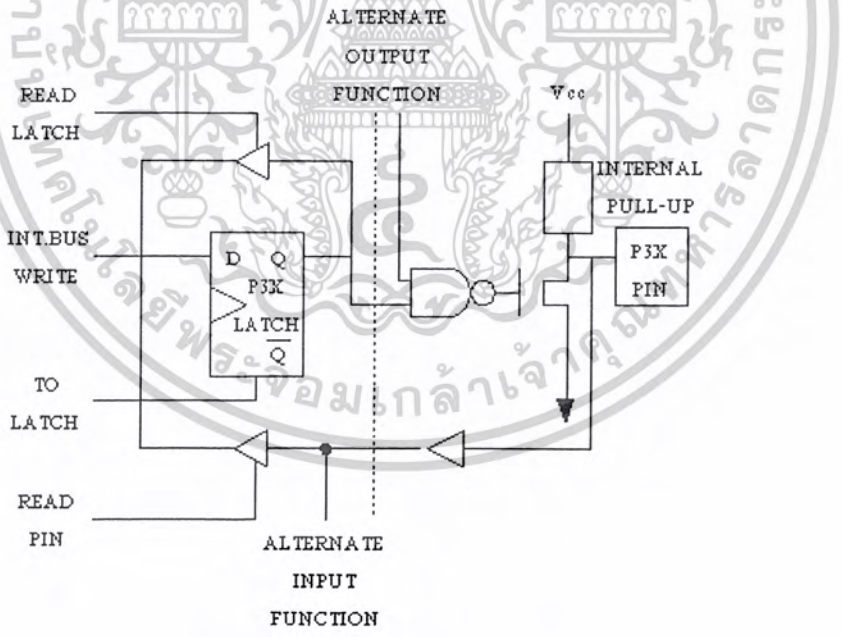


รูปที่ 2.12 โครงสร้างของพอร์ท 2 (บิต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- P3.0/RXD (Serial Input Port) เป็นขาที่ใช้รับข้อมูลแบบอนุกรม
- P3.1/RXD (Serial Output Port) เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรม
- P3.2/$\overline{INT\ 0}$ (External Interrupt) ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก
- P3.3/$\overline{INT\ 1}$ (External Interrupt) ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก
- P3.4/T0 (Timer/Counter 0 External Input) ขารับสัญญาณเข้าไปยังวงจร Timer/Counter 0 ที่ทำหน้าที่นับสัญญาณไซเคิลของสัญญาณ T1 นี้หรือสัญญาณนาฬิกาก็ได้
- P3.5/T1 (Timer/Counter 1 External Input) ขารับสัญญาณเข้าไปยัง Timer/Counter 1 ซึ่งมีการทำงานเหมือน T0
- P3.6/$\overline{W\ R}$ (External Data Memory Write Strobe) ขาสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก 8051
- P3.7/$\overline{R\ D}$ (External Data Memory Read Strobe) ขาสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก

โครงสร้างของ พอร์ต 3 แสดงได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของพอร์ต 3 (บิต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ALE (ขา 30) เป็นขาส่งสโตรบสำหรับใช้ในการแลตซ์แอดเดรสไบร์ต่ำ (A0-A7) ที่ส่งออกมาจาก (พอร์ท 0) สัญญาณนี้จะแอคทีฟทุก ๆ 2 ครั้ง ใน 1 แมชชีนไซเคิล (1/6 ของสัญญาณนาฬิกา)

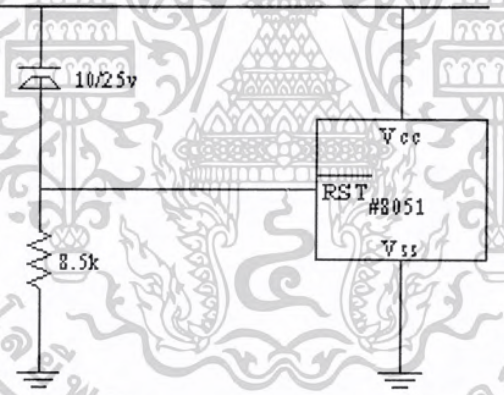
PESN (ขา 29) เป็นขาที่ใช้ส่งสโตรบสำหรับอ่านข้อมูลจาก Program Memory ภายนอก (หน่วยความจำประเภท ROM EPROM) สัญญาณนี้จะส่งออกมา 2 ครั้งในแต่ละแมชชีนไซเคิลแต่ถ้าเป็นการอ่าน Internal Program Memory จะไม่มีสัญญาณออกที่ขานี้

EA (ขา 30) ถ้าป้อนลอจิก " 0 " เข้ามาที่ขานี้ซีพียูจะอ่านค่าจาก Program Memory ภายนอกชิพเท่านั้น แต่ถ้าถูกป้อนด้วยลอจิก " 1 " ก็จะอ่านโปรแกรมภายในชิพ

RST(ขา 9) เป็นขารีเซ็ตซีพียูจะรีเซ็ตได้ก็ต่อเมื่อ ป้อนลอจิก " 1 " เข้ามาที่ขานี้อย่างน้อย 2 - แมชชีนไซเคิล เมื่อซีพียูถูกรีเซ็ตค่าต่าง ๆ ในรีจิสเตอร์ใด ๆ

XTAL1 (ขา 19) ใช้ต่อคริสตอลภายนอกโดยเป็นอินพุตเข้าสู่วงจรออสซิเลเตอร์

XTAL2 (ขา 18) ใช้ต่อคริสตอลภายนอกโดยเป็นอินพุตเข้าสู่วงจรออสซิเลเตอร์

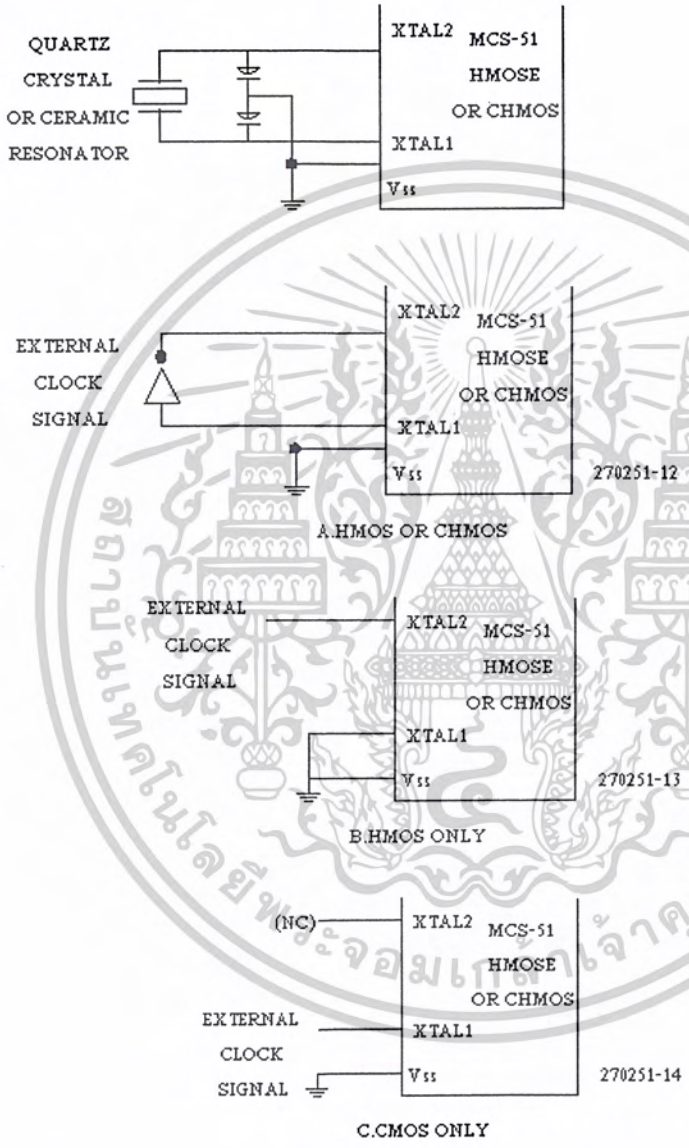


รูปที่ 2.14 การต่อขารีเซ็ทให้กับ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาของ 8051

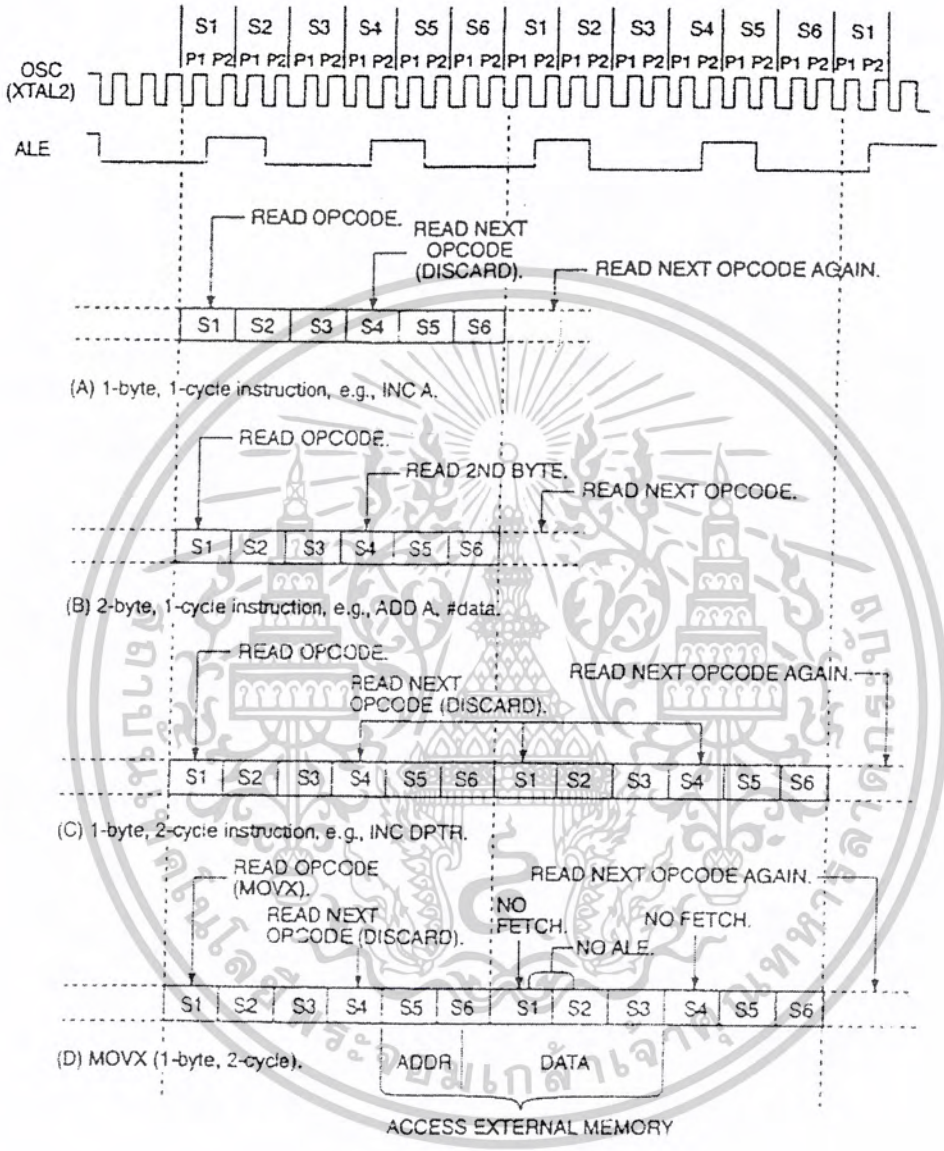
การต่อวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกามีอยู่ด้วยกัน 2 รูปแบบ คือแบบภายในและแบบภายนอก แสดงดังได้รูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาของ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 ผังสัญญาณเวลาซีพียู (CPU Timming)



รูปที่ 2.16 ผังเวลาการทำงานของคำสั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีพียูจะ RUN ด้วยความเร็วเท่ากับ 12 MHz ดังนั้น คล็อก12 ลูกจะกินเวลาเท่ากับ (1/12)*12 = 1 μS) ว่า 1 แมชีนไซเคิล คือช่วงการทำงานตั้งแต่ S1 จนถึง S6

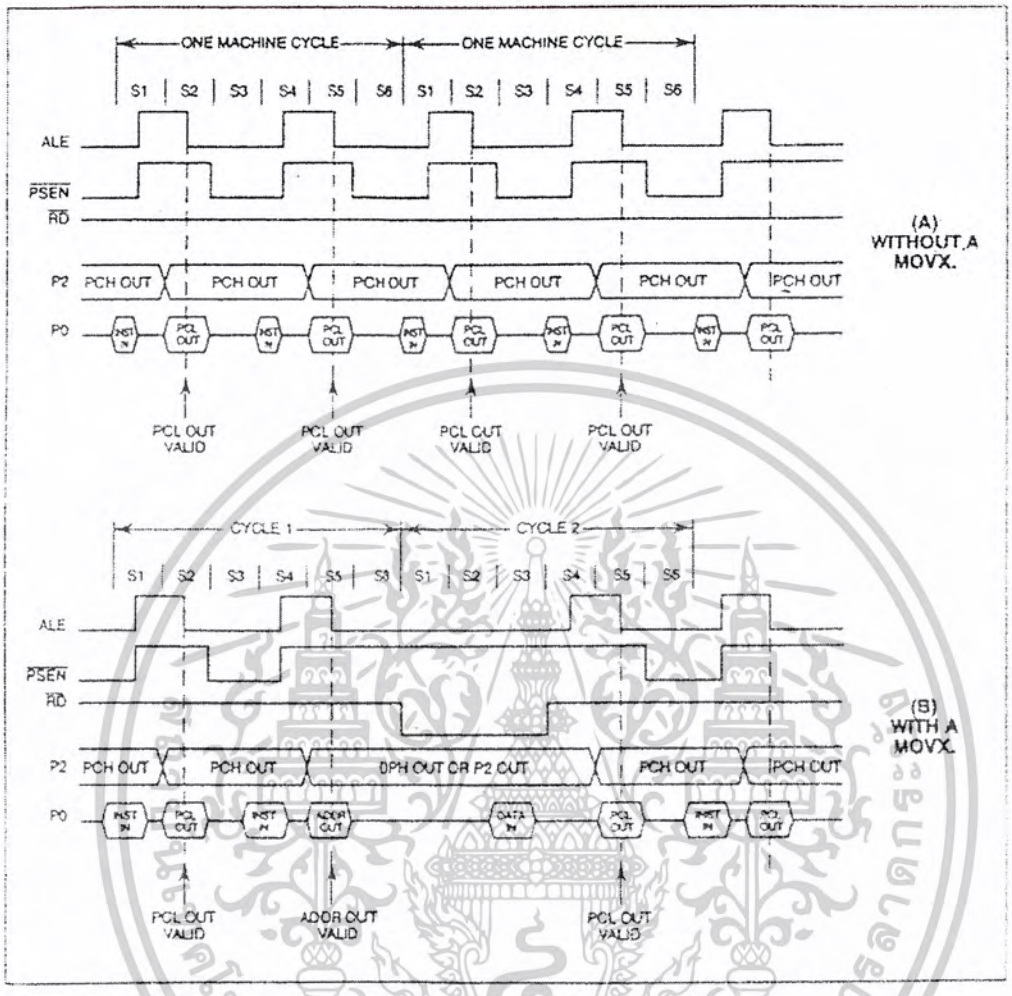
รูปที่ 2.16 (ก) แสดงการทำงานของคำสั่ง INT A ซึ้งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ทำงาน เสร็จ ภายใน 1 แมชีนไซเคิล

รูปที่ 2.16 (ข) แสดงการทำงานของคำสั่ง ADD A.#Data ซึ่งเป็นคำสั่ง 2 ไบต์ทำงานเสร็จใน 1 แมชีนไซเคิล

รูปที่ 2.16(ค) แสดงการทำงานของคำสั่ง INC DPTR ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ แต่ทำงานเสร็จใน 2 แมชีนไซเคิล

รูปที่ 2.16 (ง) แสดงการทำงานของคำสั่ง MOVX ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ แต่ทำงานเสร็จใน - 2 แมชีนไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงผังเวลาการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก

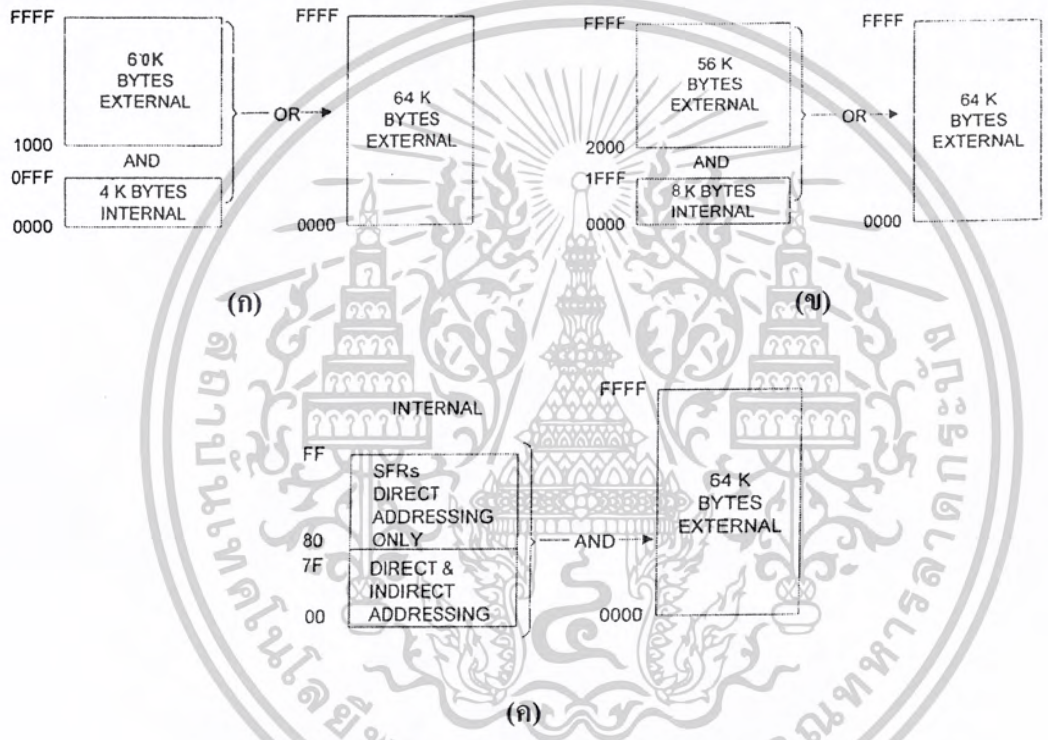
รูปที่ 2.17 (ก) เป็นผังเวลาของสัญญาณซึ่งเกี่ยวข้องกับเฟิทซ์เมื่อส่วนของ Program Memory อยู่ภายนอก ดังนั้น สัญญาณที่จะนำมาใช้อ่าน OP-Code จาก Program Memory ก็คือ $\overline{PSEN}$ ซึ่งจะ-แอคทีฟ 2 ครั้งใน 1 แมชีนไซเคิล ดังนั้นสัญญาณที่ใช้อ่านข้อมูลจาก Program Memory จะใช้สัญญาณ $\overline{PSEN}$

รูปที่ 2.17 (ข) เป็นผังเวลาของสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับการอ่านข้อมูลจาก Data Memory โดยใช้สัญญาณ $\overline{RD}$ (อาจสรุปได้ง่าย ๆ ว่าการอ่านข้อมูลจาก Program Memory จะใช้สัญญาณ $\overline{PSEN}$ และการอ่านข้อมูลจาก Data Memory จะใช้สัญญาณ $\overline{RD}$ ส่วนสัญญาณ ALE คือสัญญาณที่ใช้ในการ Latch Address A0-A7 นั่นเอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 การแบ่งประเภทของหน่วยความจำ

หน่วยความจำที่ใช้กับ MCS-51 มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ หน่วยความจำสำหรับโปรแกรม (Program Memory) และหน่วยความจำสำหรับข้อมูล (Data Memory) ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บโปรแกรมสั่งงานบรรจุอยู่ในชิพ 8051 ส่วนที่เป็นก็คือ ROM ขนาด 4 กิโลไบต์นั่นเอง แต่ถ้าเป็นเบอร์ 8052 ก็คือ ROM ขนาด 8 กิโลไบต์ ดังแสดงในรูปที่2.18(ก) และ ที่ 2.18(ข)



รูปที่ 2.18 ผังเก็บความจำ

(ก) สำหรับโปรแกรมของเบอร์ 8051

(ข) สำหรับโปรแกรมของเบอร์ 8052

(ค) สำหรับข้อมูลของเบอร์ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำสำหรับใช้เก็บข้อมูลหน่วยความจำนี้ สามารถเขียนข้อมูลลงไป และอ่านข้อมูลออกมาได้ ซึ่งเป็นหน่วยความจำภายในชิปมีเพียง 128 ไบต์ สำหรับเบอร์ 8051 และ 256 ไบต์ สำหรับเบอร์ 8052 ส่วนหน่วยความจำภายนอกชิพมี 64 กิโลไบต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.18(ค)

2.15 วงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์ (Zero and Span CirCuit)

วงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์เป็นวงจรที่มีความสำคัญวงจรหนึ่งในระบบเครื่องมือวัดและคุมค่ากระบวนการโดยทำหน้าที่ส่งผ่าน และปรับแต่งสัญญาณระหว่างสัญญาณเอาท์พุตกับอินพุทให้มีความสัมพันธ์เป็นไปตามเงื่อนไขที่ระบบต้องการ ซึ่งจงจรนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงความชัน และปรับตำแหน่งศูนย์ ของความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเอาท์พุทกับสัญญาณอินพุท ดังแสดงในกราฟคุณสมบัติรูปที่ 2.19

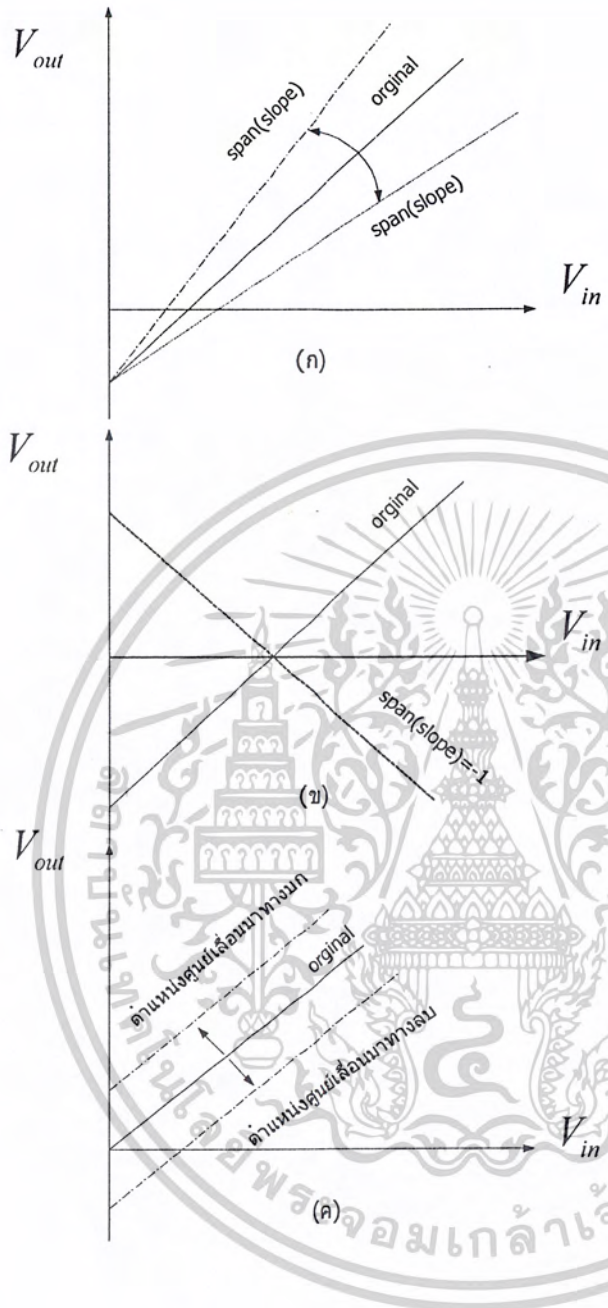
วงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศุณย์และกราฟคุณสมบัติระหว่างแรงดันเอาท์พุท V_{out} กับแรงดันอินพุท V_{in} ของวงจร แสดงได้ดังรูปที่ 2.20 ซึ่งประกอบด้วยวงจรรวมสัญญาณ A_1 และวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส A_2 ที่มีอัตราขยายเป็น –1 ดังนั้นแรงดันเอาท์พพุทของ A_2 มีค่าเท่ากับ

$$V_{01} = -\left(\frac{R_f}{R_i}V_{in} + \frac{R_f}{R_{os}}V\right) \qquad (2.1)$$

จากสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จาก A_1 จะถูฟป้อนให้เป็นสัญญาณอินพุทให้กับ A_2 ซึ่งต่อเป็นวงจรขยายที่มีอัตราขยายเท่ากับ –1 ทำให้แรงดันเอาท์พุทของ A_1 ได้เท่ากับ

$$V_{out} = V_{02} = (-1)V_{01} = \left(\frac{R_f}{R_i}V_{in} + \frac{R_f}{R_{os}}V\right) \qquad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



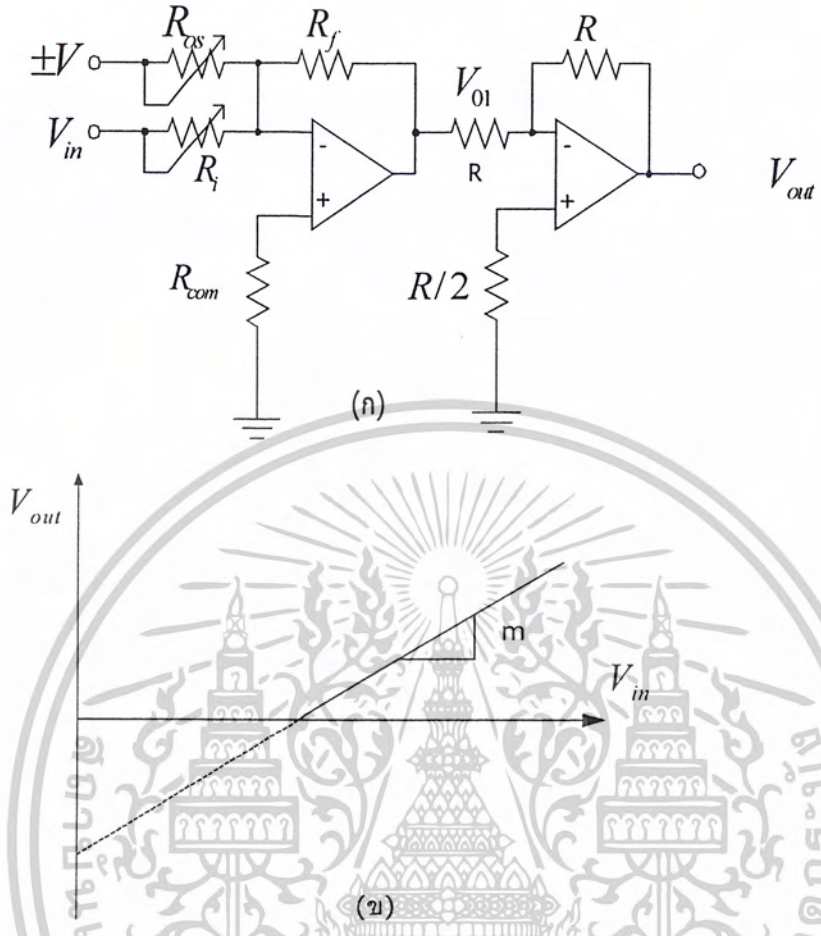
รูปที่ 2.19 : ผลของการปรับความชัน และตำแหน่งศูนย์

(ก) การเปลี่ยนแปลงความชัน

(ข) ค่าความชันเท่ากับลบ

(ค) การปรับตำแหน่งศูนย์(จุดตัดแกน y)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 (ก) วงจรปรับความชันและตำแหน่งศูนย์
(ข) กราฟคุณสมบัติของวงจร

สมการที่ (2.2) แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่าง Vout กับ Vin ของวงจรนั้นอยู่ในรูปของสมการเส้นตรง และจากรูปแบบทั่วไปของสมการเส้นตรง

$$y = mx + b \tag{2.3}$$

ดังนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบสมการที่ (2.2) กับสมการที่ (2.3) แล้วจะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$m = \frac{R_f}{R_i}$ คือค่าความชันของกราฟ หรืออัตราขยายของวงจร

และ $b = \frac{R_f}{R_i}(\pm V)$ คือจุดตัดแกน y ของกราฟ หรือตำแหน่งศูนย์

นั้นคือการปรับค่าความชันสามารถทำการปรับแต่งได้จากค่าความต้านทาน R_f กับ R_i ของวงจร ในขณะที่ตำแหน่งศูนย์ของกราฟความสัมพันธ์จะปรับค่าได้ที่ค่าความต้านทาน R_{os} หรือแรงดันอ้างอิง V

2.16 วงจรขยายอินสทรูเมนท์(Instrumentation Amplifiers, IAs)

วงจรขยายสัญญาณอินสทรูเมนท์หรือเรียกย่อๆว่าวงจร IA นั้นเป็นวงจรทำหน้าที่ขยายสัญญานผลต่างของสัญญาณอินพุททั้งสองของวงจรซึ่งพัฒนามาจากหลักการของวงจรขยายสัญญานผลต่างพื้นฐาน เพื่อปรับปรุงให้สมรรถนะของวงจรให้ดีขึ้น โดยแรงดันเอาท์พุทของวงจรจะมีความสัมพันธ์เป็นสมการดังนี้คือ

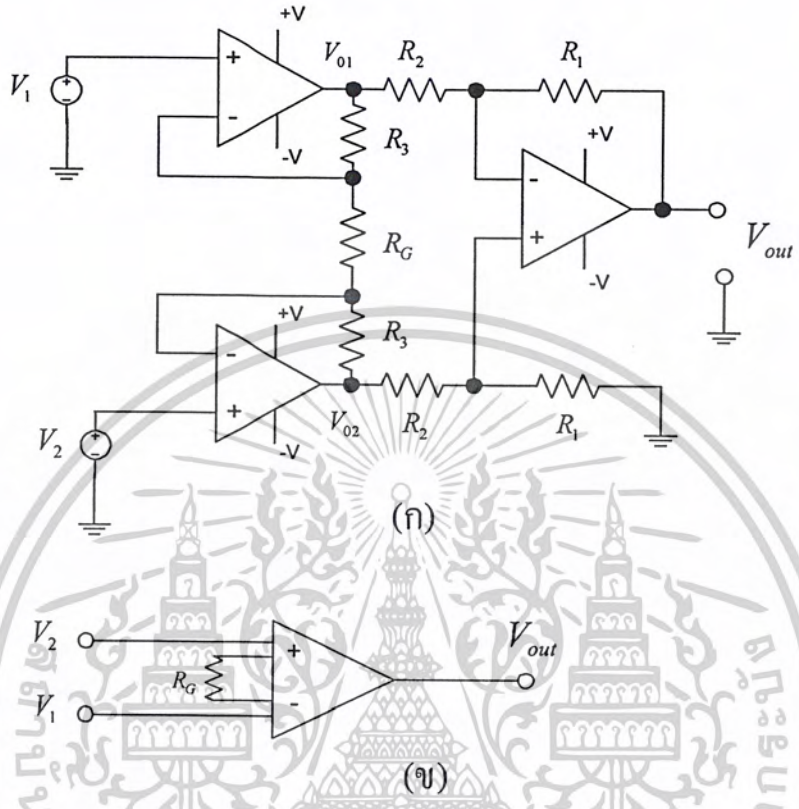
$$V_{out} = A(V_2 - V_1) \qquad (2.4)$$

โดยที่ A คืออัตราขยายสัญญานของวงจร วงจร IA ซึ่งถูกปรับปรุงขึ้นมีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรขยายสัญญาณผลต่าง ก็คือ มีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ อัตราขยายสัญญาณของวงจรและความสามารถในการขจัดสัญญาณรบกวน สูงมาก ดั้งนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าคุณสมบัติของวงจร IA ให้ผลใกล้เคียงกับวงจรขยายสัญญาณผลต่างในทางอุดมคติมากที่สุดวงจรหนึ่ง

2.17 วงจร IA แบบใช้ออปแอมป์ 3 ตัว

วงจรขยายอินสทรูเมนท์แบบใช้ออปแอมป์ 3 ตัวแสดงดังรูปที่ 2.16 โดยที่ออปแอมป์ A_1 และ A_2 ทำหน้าที่เป็นวงจรภาคอินพุทส่วนหน้า ขณะที่ออปแอมป์ A_3 จะเป็นวงจรภาคเอาท์พุทส่วนที่สองของวงจร ถ้าให้ V_{01} และ V_{02} เป็นแรงดันเอาท์พุทของ A1 และ A2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.21 (ก) วงจรขยายสัญญาณอินสทรูเมนท์แบบใช้ออปแอมป์ 3 ตัว

(ข) สัญลักษณ์ของวงจร IA

ดังนั้นจากสมการ $I_L = \frac{V_{in}}{R}$ แรงดันเอาท์พุทของ A3 หรือแรงดันเอาท์พุทของวงจร V_{out} มีค่าเท่ากับ

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1}\left(V_{02} - V_{01}\right) \qquad (2.4)$$

และเนื่องจากเนื่องจากคุณสมบัติของออปแอมป์ทำให้กระแสที่ไหลผ่าน R_G และ R_3 มีค่าเท่ากัน $\left(I_{R3} \cong I_{RG}\right)$ ซึ่งจากกฎของโอหม์จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{01} - V_{02} = \left(2R_3 + R_G\right) I_{RG} \tag{2.5}$$

เมื่อ $V_i = 0$ แล้ว กระแสที่ไหลผ่าน R_3 มีค่าเท่ากับ

$$I_{RG} = \frac{V_1 - V_2}{R_G} \tag{2.6}$$

ทำการแทนค่าสมการที่(2.6) ลงในสมการที่(2.5)และ(2.4)จะได้

$$V_{out} = A\left(V_2 - V_1\right) \tag{2.7}$$

โดยที่

$$A = \left(1 + \frac{2R_3}{R_G}\right)\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \tag{2.8}$$

เนื่องจากแรงดันอินพุท V_1 และ V_2 ของวงจรนั้นถูกป้อนโดยตรงเข้าขาอินพุทไม่กลับเฟสของออปแอมป์จึงทำให้วงจร IA นี้มีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของวงจรสูงมาก (ประมาณเท่ากับอินพุทอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์นั้นเอง) นอกจากนี้อัตราขยายสัญญาณ A ของวงจรสามารถปรับค่าได้สะดวกและอิสระด้วยการปรับค่าของ R_G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

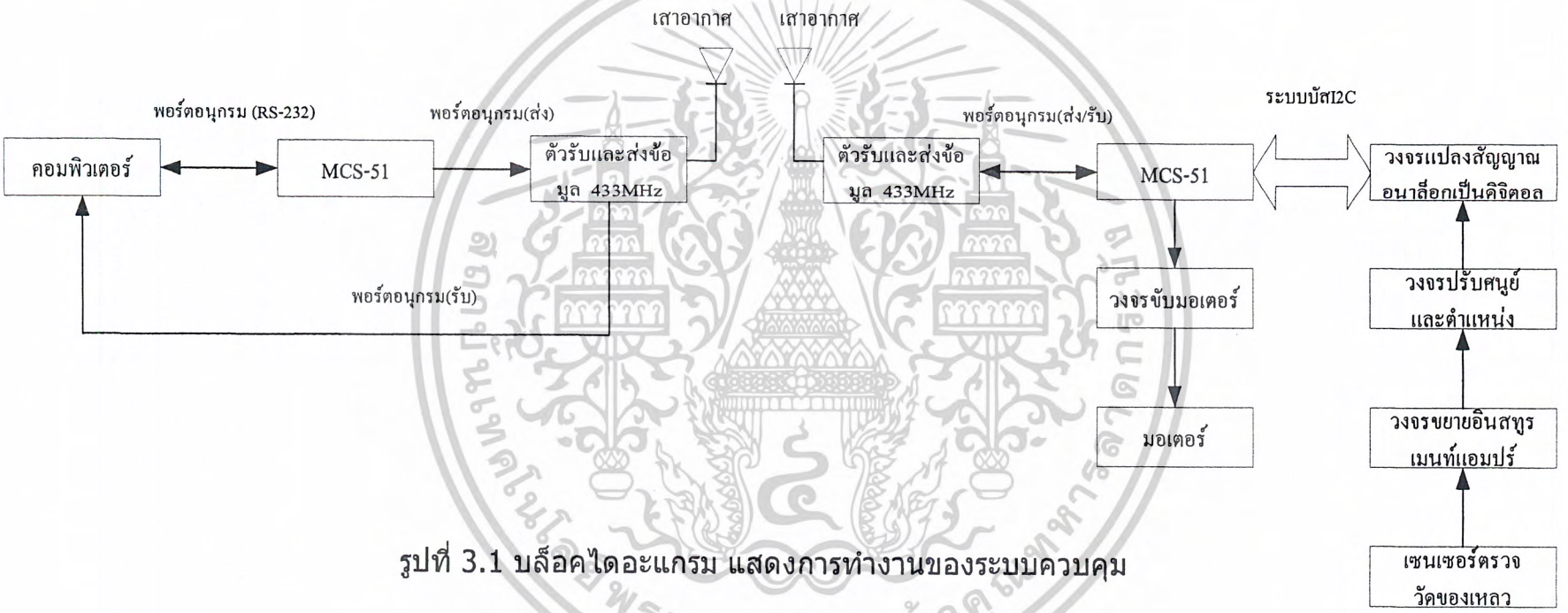
บทที่ 3
การออกแบบระบบการวัดและควบคุมกระบวนการแบบไร้สาย

3.1 หลักการทำงานโดยรวม

หลักการทำงานของระบบควบคุมไร้สายแสดงไว้ดังรูปที่ 3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ในส่วนต่างๆได้แก่ มอเตอร์สูบน้ำ, อุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาลอกจากเป็นสัญญาณดิจิตอล,อุปกรณ์รับส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ และการคำนวณทางคณิตศาสตร์

เมื่อมีการเริ่มทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะทำการรับค่าต่างๆ ที่ผู้ใช้ส่งมา ในที่นี้เป็นการควบคุมอัตราการผสมของเหลว จึงจำเป็นต้องส่งค่าอัตราส่วนผสมที่ต้องการควบคุม ต่อมาตัวควบคุมและตัว MCS-51 จะทำการเตรียมของเหลวให้พร้อมที่จะผสมเมื่อพร้อมแล้ว MCS-51 จะส่งสัญญาณไปยังมอเตอร์เพื่อให้มอเตอร์สูบของเหลวลงในภาชนะที่จะผสม ขณะในเวลาเดียวกันตัวควบคุมและตัวประมวลผลส่วนกลาง จะทำวัดค่าและทำการคำนวณอัตราส่วนให้เป็นไปตามค่าที่ส่งมาครั้งแรกพร้อมทั้งส่งค่าที่วัดได้จากอัตราการผสมของแพลนจำลองไปแสดงผลยังคอมพิวเตอร์ผู้ใช้งาน เมื่อตัว MCS-51 ของเหลวได้เป็นไปตามต้องการแล้ว ของเหลวก็จะถูกถ่ายเทไปยังภาชนะอื่นเมื่อเสร็จแล้วก็จะถือเป็นการจบการทำงานไปแล้วหนึ่งรอบของการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

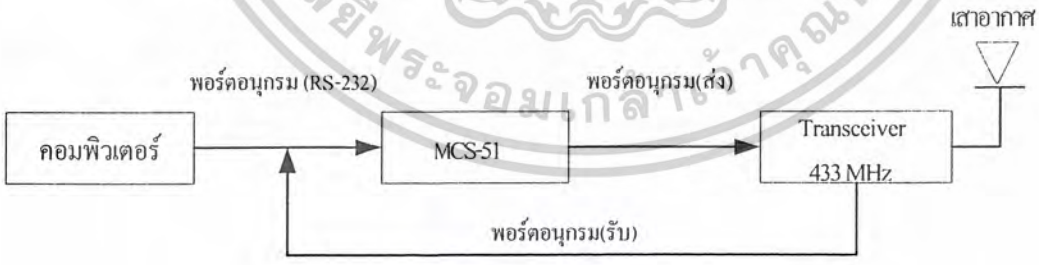


รูปที่ 3.1 บล็อคไดอะแกรม แสดงการทำงานของระบบควบคุม

3.2 วงจรการรับข้อมูลและสั่งงาน

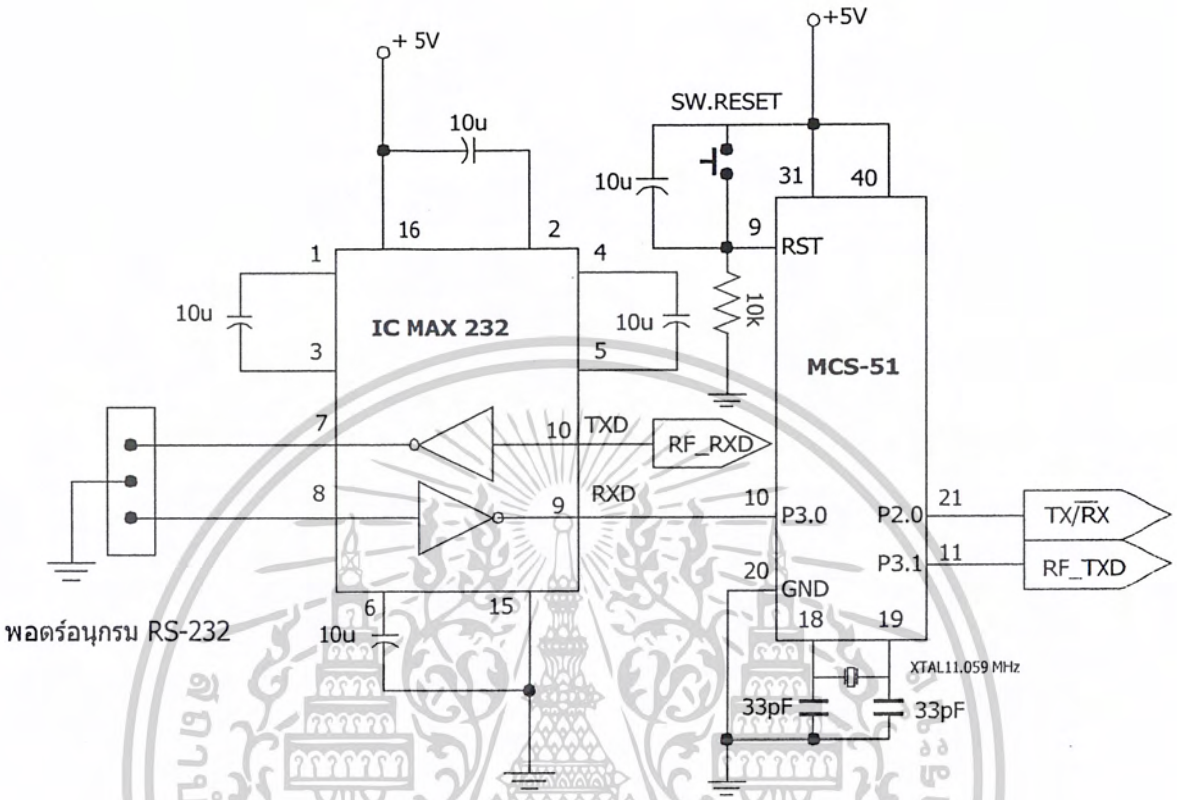
วงจรการรับข้อมูลและสั่งงานแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 ในส่วนนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนในการทำงานติดต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยแบ่งออกเป็น ส่วนรับข้อมูลและส่วนส่งข้อมูล โดยผ่านพอร์ตอนุกรม RS232 เพื่อใช้ในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 3.3 ผู้ใช้งานสามารถสั่งงานผ่านงานทางคีย์บอร์ดและดูข้อมูลต่างๆได้ทางหน้าจอ โดยใช้โปรแกรม Visual Basic ที่เขียนขึ้นมาควบคุมกระบวนการจำลอง(Plant) โดยเฉพาะวงจรในส่วนนี้จะใช้ไอซีสำเร็จรูป MAX232 ในการอินเวอร์เตอร์ แต่เนื่องจากสัญญาณที่ได้รับจากพอร์ต RS232 มีแรงดันประมาณ ± 12 โวลต์ ซึ่งเกินกว่าแรงดันที่อินเวอร์เตอร์จะรับได้ คือ 0-5 โวลต์ จึงมีการต่อไอซีสำเร็จรูป MAX232 ไว้เพื่อควบคุมแรงดันของสัญญาณที่ขาอินพุตของอินเวอร์เตอร์ไม่ให้มากเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหายแก่วงจรได้ รวมทั้งยังเป็นการเพิ่มความมีเสถียรภาพในการรับส่งข้อมูอีกด้วย

ส่วนของวงจรการรับส่งข้อมูลดังรูปที่3.4 ข้อมูลจะถูกส่งจากคอมพิวเตอร์โดยผ่าน MCS-51ไปยังอุปกรณ์รับส่งข้อมูล ซึ่งในขณะนั้นอุปกรณ์รับส่งข้อมูลจะถูกทำให้อยู่ในสถานะเป็นตัวส่ง เมื่อข้อมูลทำการส่งเรียบร้อยแล้ว ก็จะทำการเปลี่ยนสถานะอุปกรณ์รับส่งข้อมูลเป็นตัวรับทันที เพื่อจะทำการรับรหัสจากกระบวนการที่ส่งมา รหัสจากกระบวนการที่ส่งมาเป็นการบอกว่ากระบวนการได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว หากกระบวนการยังไม่ได้รับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์ก็จะทำการส่งค่าไปใหม่อีกครั้งในลักษณะวนลูป ซึ่งในที่นี้ MCS-51 จะเป็นตัวเลือกที่จะเปลี่ยนแปลงสถานะของอุปกรณ์รับส่งข้อมูล ว่าจะเปลี่ยนเป็นตัวรับหรือตัวส่ง



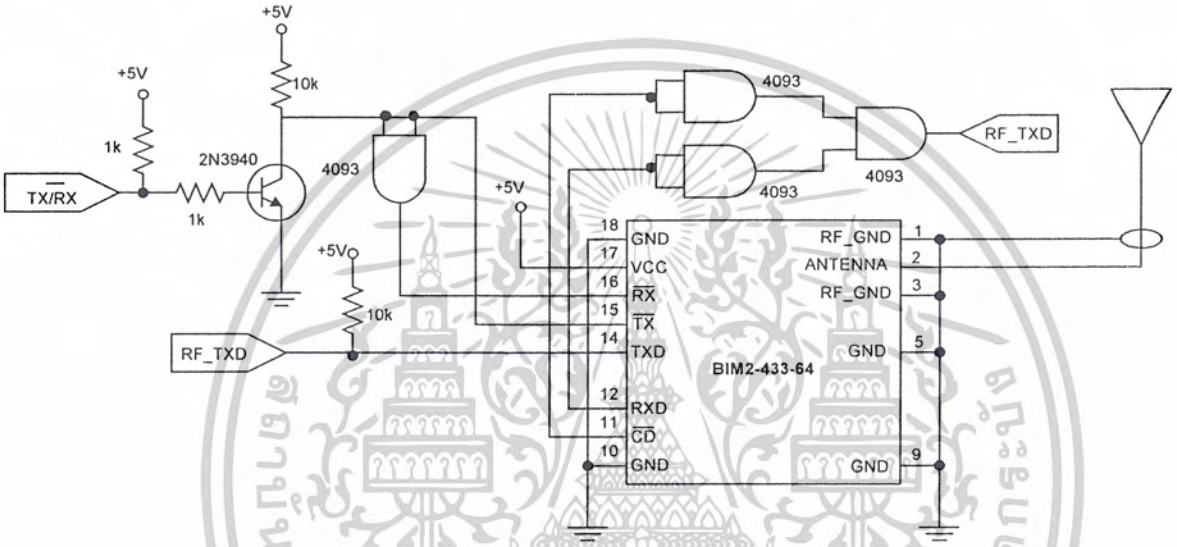
รูปที่ 3.2 บล็อคไดอะแกรมของส่วนรับข้อมูลและสั่งงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วงจรที่ใช้ในการติดต่อคอมพิวเตอร์กับ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรรับส่งข้อมูลทางด้านผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรส่วนการวัดและควบคุมกระบวนการ

การติดต่อกับอุปกรณ์ต่างๆที่กล่าวมานั้นจะใช้รูปแบบการติดต่อแบบบัสข้อมูลอนุกรมเพื่อลดจำนวนของสายสัญญาณในระบบ เนื่องจากต้องการให้บอร์ดมีขนาดเล็กกระทัดรัด เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน อีกทั้งอุปกรณ์ที่ใช้การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมเหล่านี้ นอกจากจะมีข้อดีในเรื่องของขนาดอุปกรณ์ที่เล็กแล้ว ในปัจจุบันยังได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถในด้านการประหยัดพลังงาน คือ ใช้กระแสไฟฟ้าต่ำอีกด้วย

วงจรสมบูรณ์ดังรูปที่ 3.5 ตัวควบคุมและตัวประมวลผลส่วนกลางจะใช้ไมโครลคอนโทรลเลอร์ MCS51 เบอร์ AT-89C4051 ซึ่งมีหน่วยความจำโปรแกรมภายในขนาด 4 กิโลไบต์ ทำงานที่ความถี่ 11.059 MHz ควบคุมอุปกรณ์ต่างๆผ่านทางบัสข้อมูลอนุกรม อุปกรณ์ต่างๆเหล่านี้ได้แก่ อุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลสื่อสารข้อมูลโดยใช้การติดต่อผ่านบัส I^2C วงจรควบคุมมอเตอร์ อุปกรณ์รับส่งข้อมูล

วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลดังรูปที่ 3.7 เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงสัญญาณ อนาล็อกจากวงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์เพื่อแปลงสัญญาณดังกล่าวให้เป็นสัญญาณดิจิตอล โดยสัญญาณดังกล่าวจะถูกส่งเข้าไปประมวลผลในตัวควบคุมและตัวประมวลผลส่วนกลางโดยวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลจะใช้ไอซีเบอร์ PCF8591 ซึ่งมีช่องแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลถึง 4 ช่องสัญญาณ และช่องแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อกอีก 1 ช่องสัญญาณมีขนาดควบละเอียด 8 บิต

วงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์ดังรูปที่ 3.8 วงจรที่ทำการปรับแต่งสัญญาณจากภาควงจรขยายสัญญาณเพื่อป้อนให้เป็นสัญญาณอินพุตของอุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยสัญญาณที่ทำการปรับแต่งนี้จะอยู่ในช่วง 1-5V เหตุที่ใช้ 1V เป็นสัญญาณศูนย์เพราะสามารถตรวจสอบสัญญาณได้หากมีปัญหา ส่วนสัญญาณ 5V จะเป็นสัญญาณสูงสุดที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถประมวลผลได้ วงจรนี้จะใช้ออปแอมป์เบอร์ LF351 ในการต่อวงจรเพราะมีความต้านทานอินพุตสูง

วงจรขยายอินสทรูเมนท์ (Instrumentation Amplirier,IA) ดังรูปที่ 3.9 เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากเซ็นเซอร์ ซึ่งสัญญาณที่ได้รับจากเซนเซอร์วัดระดับของเหลวมีค่าน้อยและช่วงย่านของความเปลี่ยนแปลงต่ำมากทำให้วงจรนี้ต้องขยายสัญญาณเซนเซอร์ให้อยู่ในค่าที่เหมาะสมสามารถตรวจวัดได้ วงจรนี้จะใช้ออปแอมป์เบอร์ LF351 ในการต่อวงจรเพราะมีความต้านทานอินพุตสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ดังรูปที่ 3.10 เป็นวงจรที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ให้สูบของแหล่งจากกระบวนการจำลอง โดยจะใช้สัญญาณจากไมโครคอลโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมผ่านออปโต้ไปยังมอสเฟตเพื่อให้มอเตอร์ทำงานตามต้องการได้ วงจรนี้จะประกอบด้วยออปโต้เบอร์ 4N35 ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวแยกวงจรภาคควบคุมออกจากภาคขับมอเตอร์เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดจากมอเตอร์ ซึ่งภาคขับมอเตอร์จะใช้มอสเฟตเบอร์ IRF510 เป็นสวิตซ์ในการขับมอเตอร์

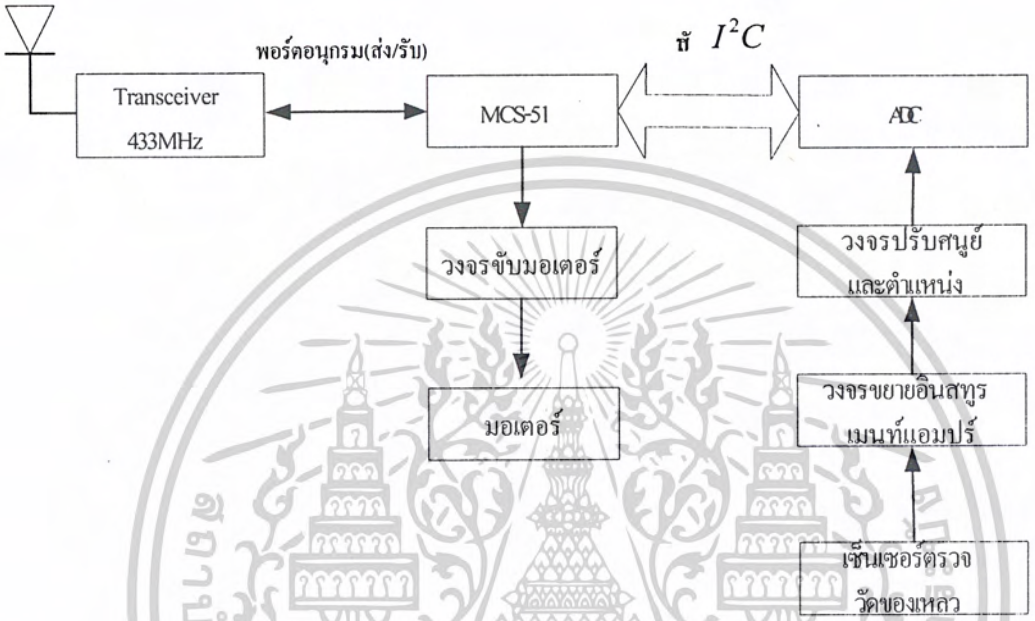
วงจรรับส่งข้อมูลดังรูปที่ 3.3 จะทำหน้าที่รับส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังกระบวนการโดยใช้ความถี่วิทยุ 433 MHz ซึ่งประกอบไปด้วยโมดูลรับส่งสัญญาณเบอร์ BIM2-433-64 ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3940 แนนเกต 4039 และ LED เพื่อแสดงผลการทำงานว่าขณะนี้เป็นตัวรับหรือตัวส่งข้อมูล

ไฟเลี้ยงวงจร +5V ดังรูปที่ 3.11 จะใช้จ่ายให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ อุปกรณ์แปลงสัญญาณ และเซ็นเซอร์วัดระดับของเหลว โดยจะใช้ไอซีเรกกูเลเตอร์เบอร์ 78L05 เป็นตัวสร้างแรงดันไฟเลี้ยง 5V ให้กับวงจร

ไฟเลี้ยงวงจร +9V ดังรูปที่ 3.11 จะใช้จ่ายให้กับวงจรขยายอินสทรูเมนท์ วงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์ ซึ่งวงจรดังกล่าวจะใช้ไอซีเรกกูเลเตอร์เบอร์ 78L09 เป็นตัวรักษาระดับแรงดันไฟเลี้ยงวงจร+9 โวลต์ให้กับวงจร

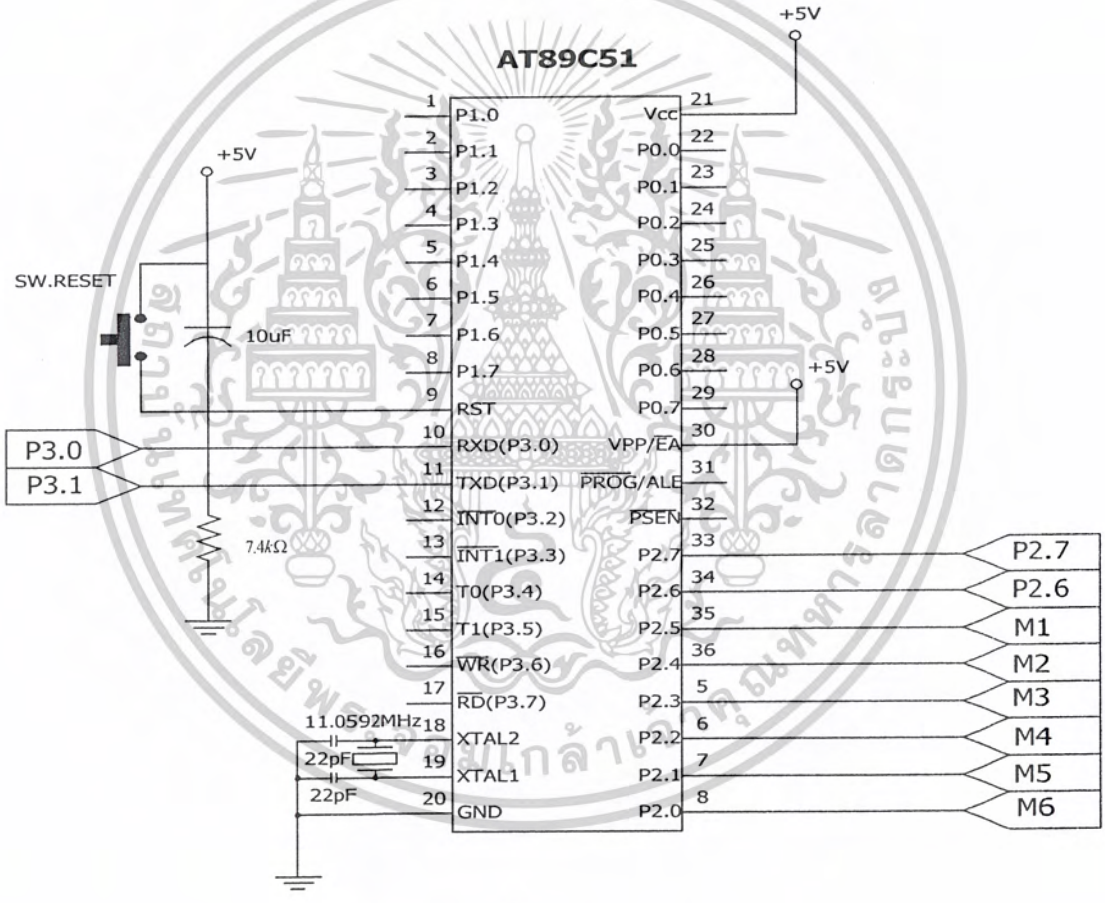
ไฟเลี้ยงวงจร -9V ดังรูปที่ 3.11 จะใช้จ่ายไฟให้กับวงจรขยายอินสทรูเมนท์ วงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์ และยังใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงในสมการคณิตศาสตร์ของวงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์อีกด้วย ซึ่งวงจรดังกล่าวจะใช้ไอซีเรกกูเลเตอร์เบอร์ 79L09 เป็นตัวรักษาระดับแรงดันไฟเลี้ยงวงจร - 9V ให้กับวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



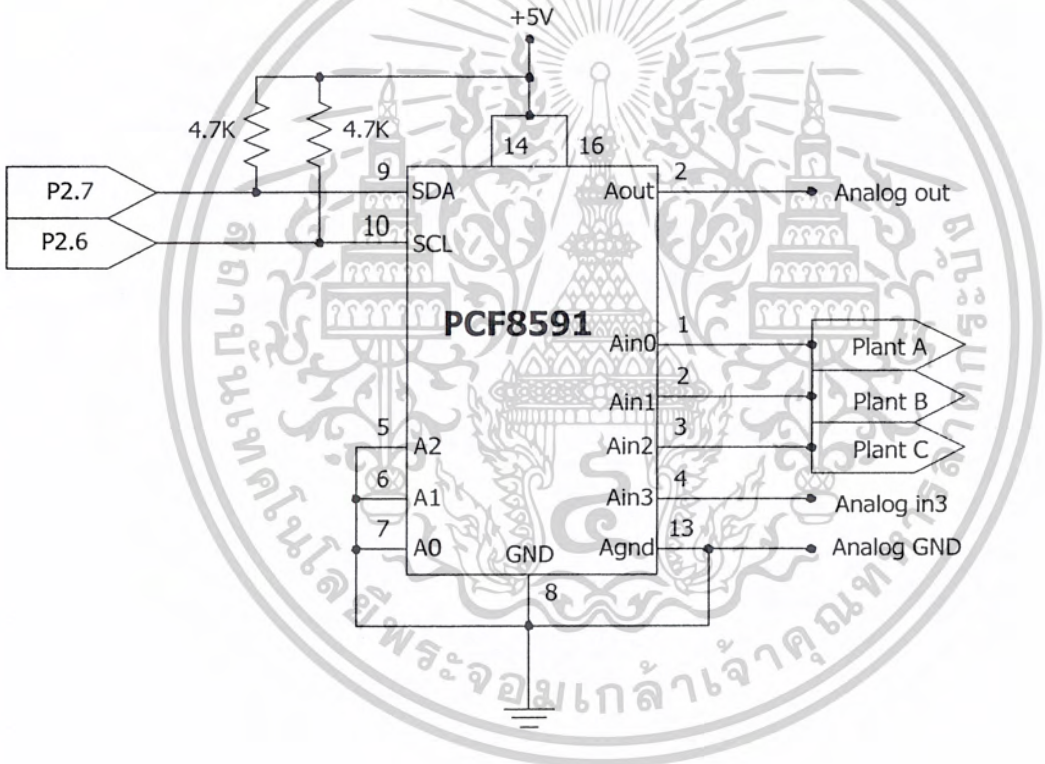
รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของวงจรส่วนการวัดและควบคุมกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



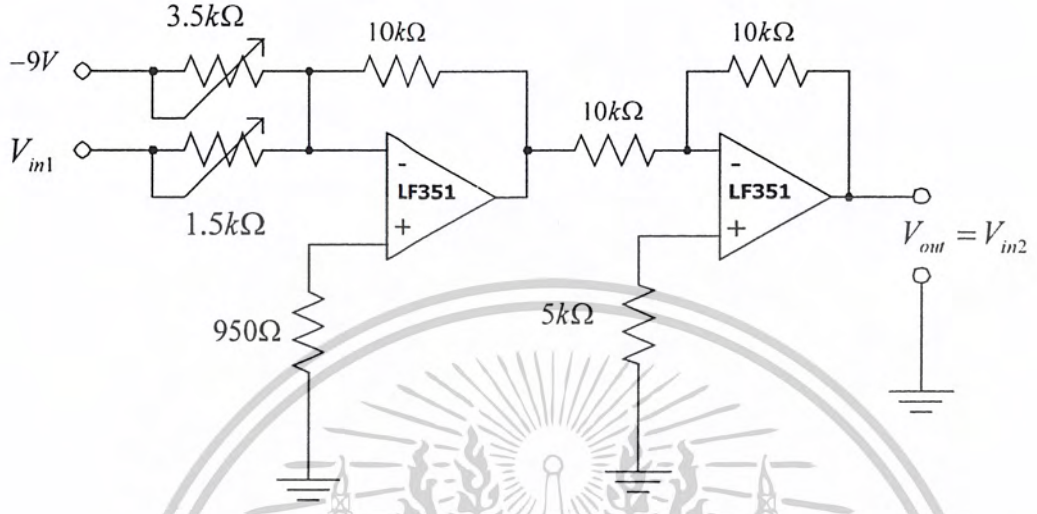
รูปที่ 3.6 วงจรการต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

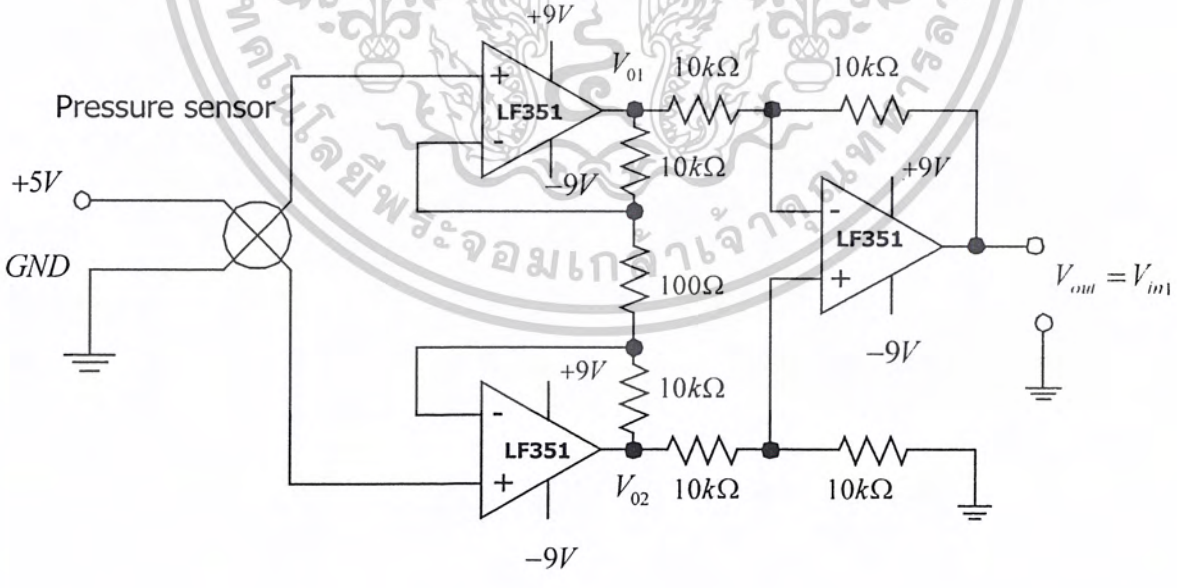


รูปที่ 3.7 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

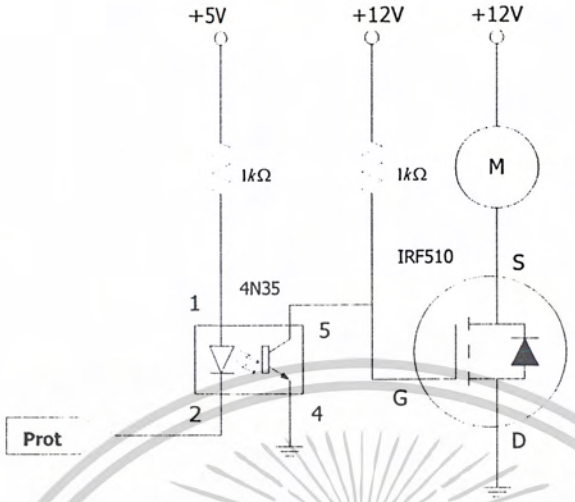


รูปที่ 3.8 วงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์

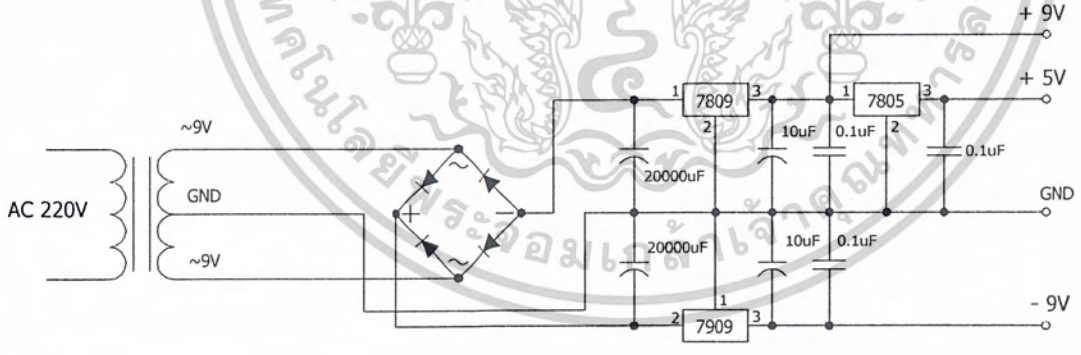


รูปที่ 3.9 วงจรขยายอินสทรูเมนท์ (Instrumentation Amplirier,IA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 วงจรขับมอเตอร์



รูปที่ 3.11 วงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง +5V และ 9V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

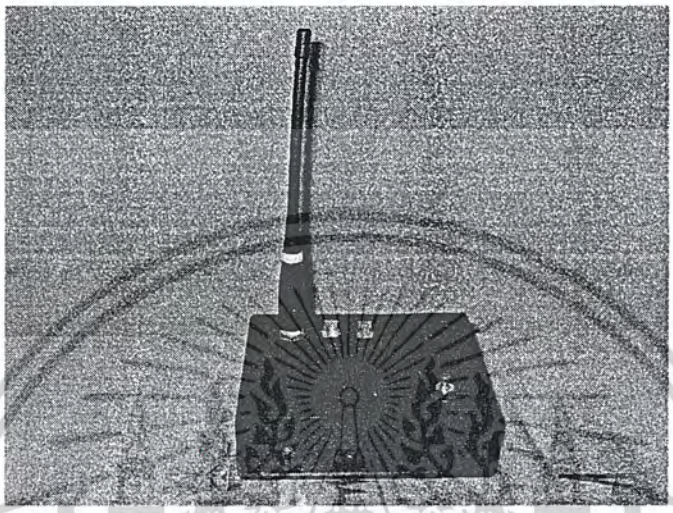
บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 การทดลอง

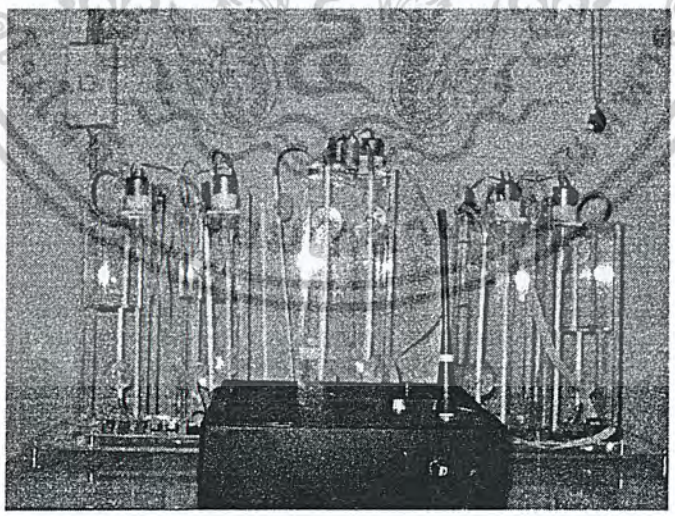
วงจรที่ใช้ควบคุมการทำงานจะใช้ MCS-51ในการควบคุมและติดต่อกับคอมพิวเตอร์โดยที่ส่วนของตัวควบคุมกระบวนการ จะใช้การติดต่อระหว่างอุปกรณ์ด้วยกันด้วยระบบบัส I²C และจะติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 เพื่อลดจำนวนสายและขนาดของบอร์ดให้มีขนาดเล็กกระทัดรัดเพื่อความสดวกในการใช้งานอีกทั้งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีให้มีความสามารถในด้านการประหยัดพลัง คือใช้กระแสไฟฟ้าต่ำอีกด้วย

ในการทำเซตค่าอัตราส่วนผสมของๆเหลวในการควบคุมระดับน้ำและการส่งค่าข้อมูลการทำงานมาแสดงผลการทำงานยังคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรมควบคุมจะกำหนดอัตราการรับส่งข้อมูลอยู่ที่ 9600 bit/sec โดยสามารถเลือกการรับส่งข้อมูลผ่านได้ทั้ง COM1 และ COM2 และจะรับส่งข้อมูลครั้งละ 8 bit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

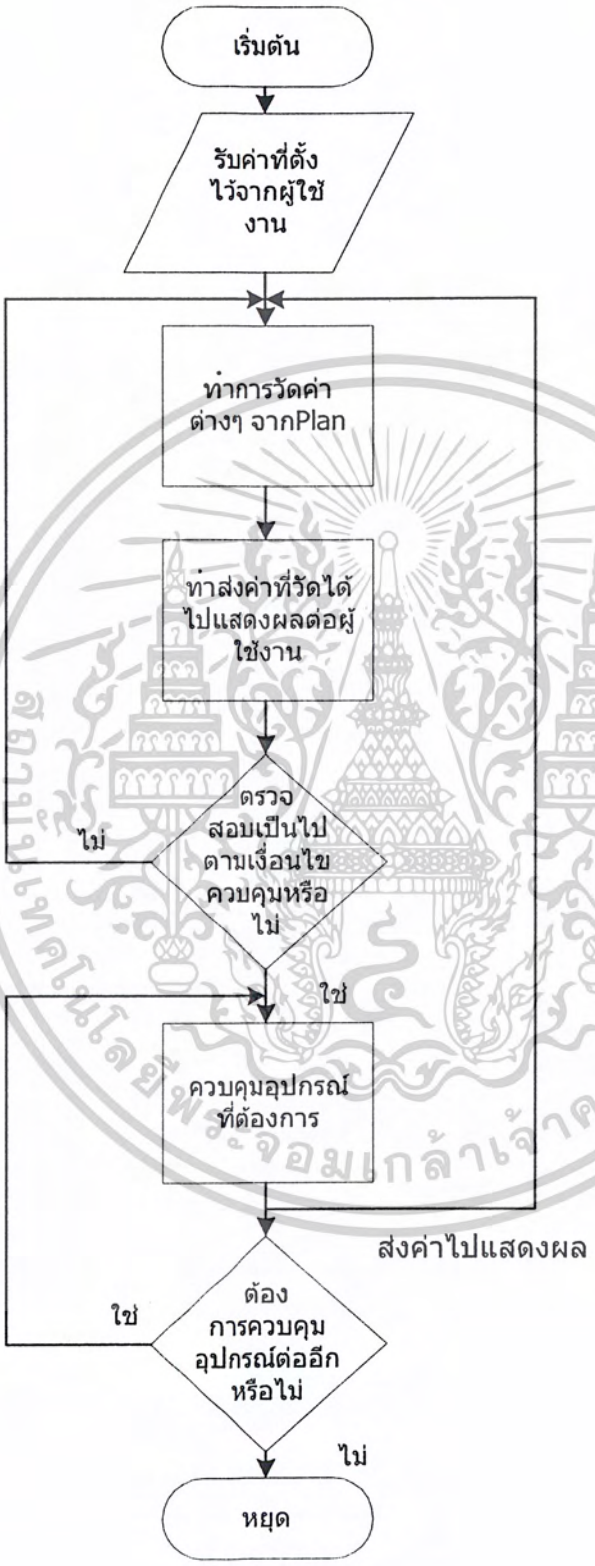


รูปที่ 4.1 วงจรการรับข้อมูลและสั่งงานซึ่งติดต่อกับคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.2 วงจรส่วนการวัดและควบคุมกระบวนการ

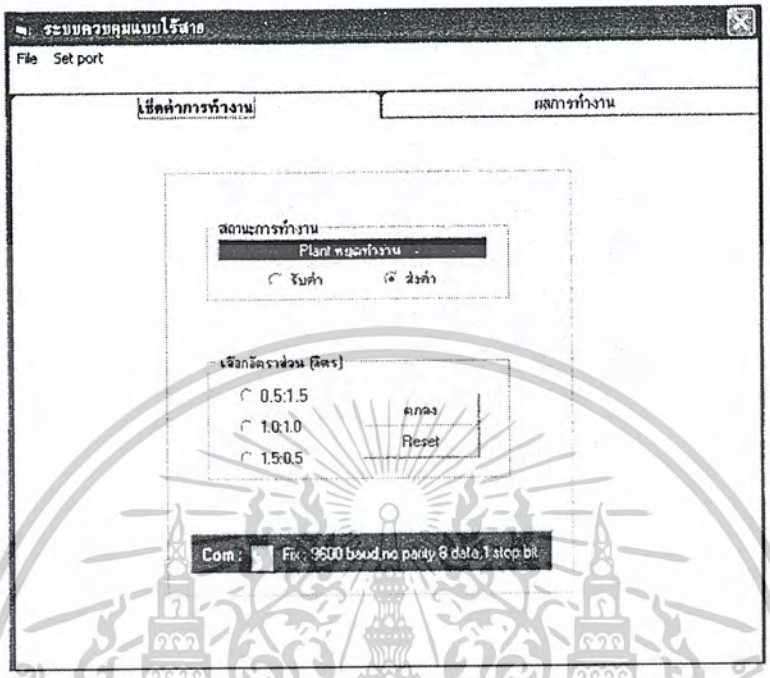
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 โฟลชาร์ทการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 โปรแกรมควบคุมการทำงานของกระบวนการ



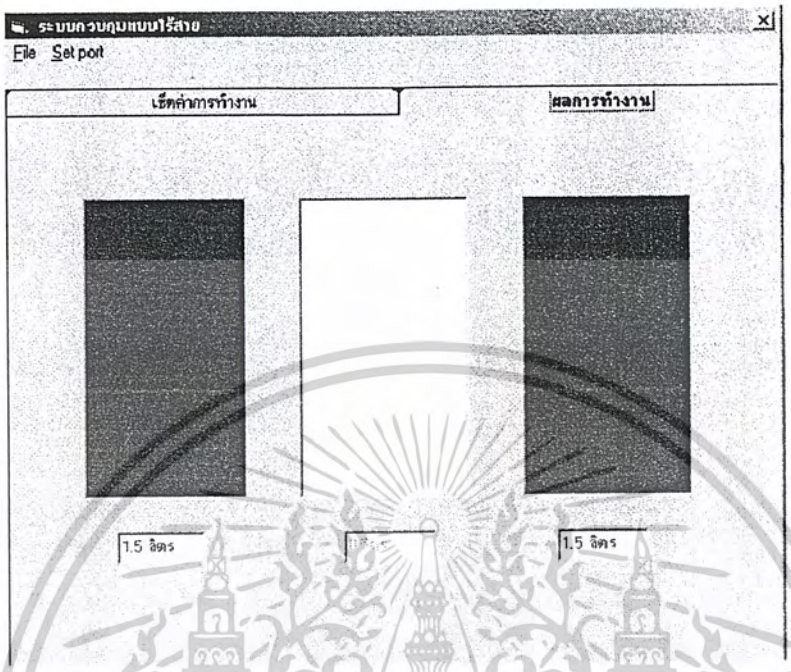
รูปที่ 4.4 หน้าต่างการทำงาน

การใช้งานการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานจองกระบวนการจะมีวิธีการทำงานดังนี้คือ

1) ไปที่Set port เพื่อทำการเลือก COM1 หรือ COM2 ที่ต้องการทำการติดต่อหรือใช้งานโดยปกติเมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมา โปรแกรมจะเซตการติดต่อข้อมูลผ่าน COM1 เสมอ
2) ไปเลือกอัตราส่วนผสมในส่วนของการเลือกอัตราส่วนตามที่ต้องการแล้วกดปุ่ม ตกลง
3) ถ้าหากกระบวนการได้รับข้อมูลก็จะส่งข้อมูลการทำงานกลับมาทำให้ช่องแสดงสถานะการทำงานของกระบวนการจะกระพริบเป็นสีแดง
4) ถ้าหากกระบวนการไม่ได้รับข้อมูลที่ส่งไปแล้วในช่องแสดงสถานะการทำงานก็จะเป็นสีดำเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลง ก็ให้ไป กดปุ่มResetแล้วก็กดปุ่มตกลงอีกครั้ง
5) เราสามารถดูว่าขณะนี้เราติดต่อผ่าน COM ไหนก็จะดูได้จากแถบสีน้ำเงินด้านล้าง
6) หลังจากSetค่าต่างๆเรียบร้อยแล้วก็ไปกดที่หน้าต่างของผลการทำงานเพื่อดูระดับของๆเหลวที่กระบวนการกำลังทำงานอยู่ โดยผลที่แสดงมาจะเป็นแบบเวลาจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลอง

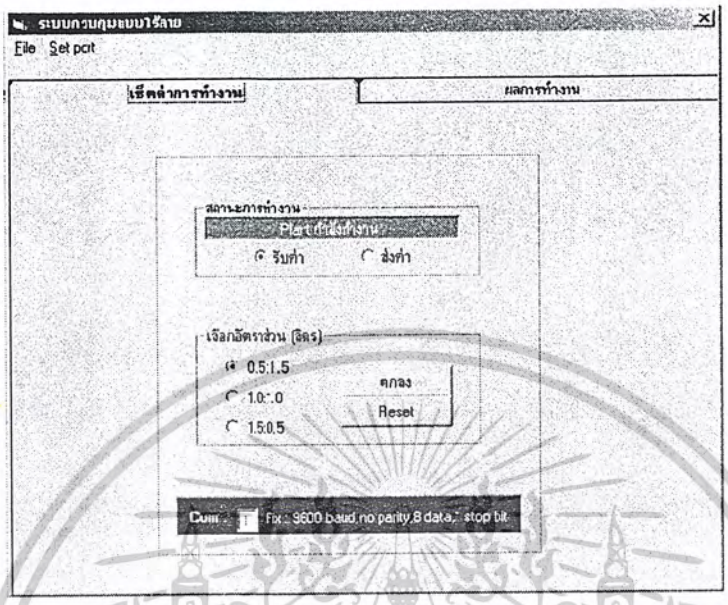


รูปที่ 4.5

จากรูปที่ 4.5 ในช่วงเริ่มต้นการทำงานทุกครั้ง MCS-51 ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการจะทำการวัดระดับของเหลวว่าเต็มถังหรือไม่ ถ้าไม่เต็มก็จะสูบของเหลวให้เต็มถังก่อนที่จะทำการผสมของเหลวในอัตราส่วนต่างๆที่ได้กำหนดจากผู้ใช้งานโดยผลการทดลองจะแบ่งเป็นสามกรณีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ผลการทำงานกรณีแรก

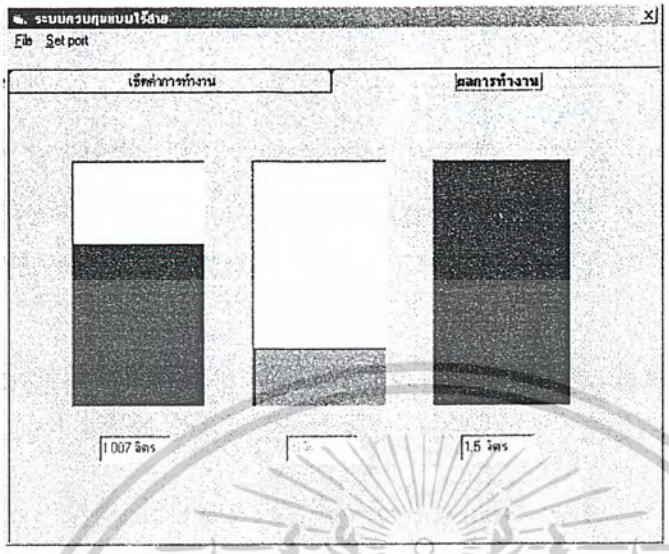


รูปที่ 4.6

จากรูปที่ 4.6 จะเป็นการเซ็ตค่าการทำงานโดยจะทำการเลือกเซ็ตค่าที่กรณีแรกคืออัตราส่วนผสมระหว่างถังใบแรกกับถังใบที่สองที่ 0.5 ลิตร ต่อ 1.5 ลิตร จากนั้นก็กดปุ่มตกลงเมื่อทำการกดที่ปุ่มตกลงเรียบร้อยแล้วก็ให้ไปที่หน้าต่างผลการทำงาน โดยจะได้ผลการทำงานของกรณีแรกดังต่อไปนี้คือ

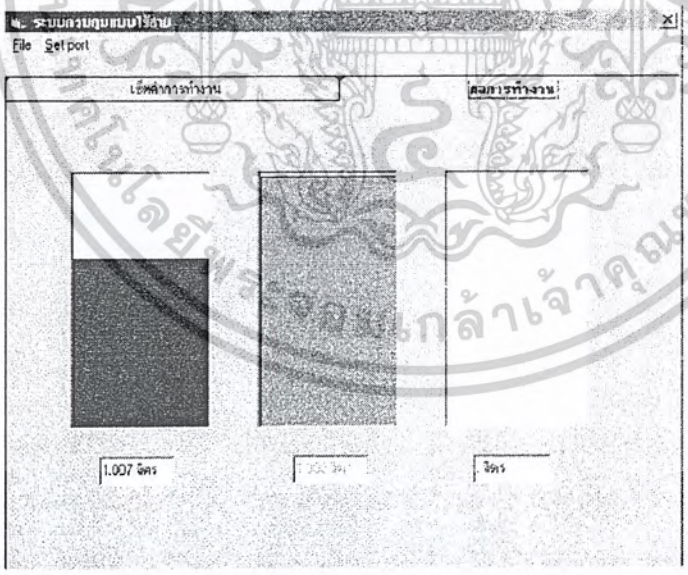
- เมื่อมีของเหลวเต็มทั้งสองถังแล้ว โปรแกรมที่ทำการควบคุมการทำงานก็จะทำการสูบน้ำจากถังใบแรกมาใส่ไว้ในถังผสมในปริมาณ 0.5 ลิตร โดยจะมีผลการทำงานเป็นดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7

- เมื่อทำการสูบของเหลวจากถังใบแรกได้ครบตามกำหนดมาแล้วก็จะทำการสูบของเหลวจากถังใบที่สองต่อในปริมาณที่กำหนดไว้ในกรณี แรกคือ 1.5 ลิตร โดยจะมีผลการทำงานดังรูปที่ 4.8



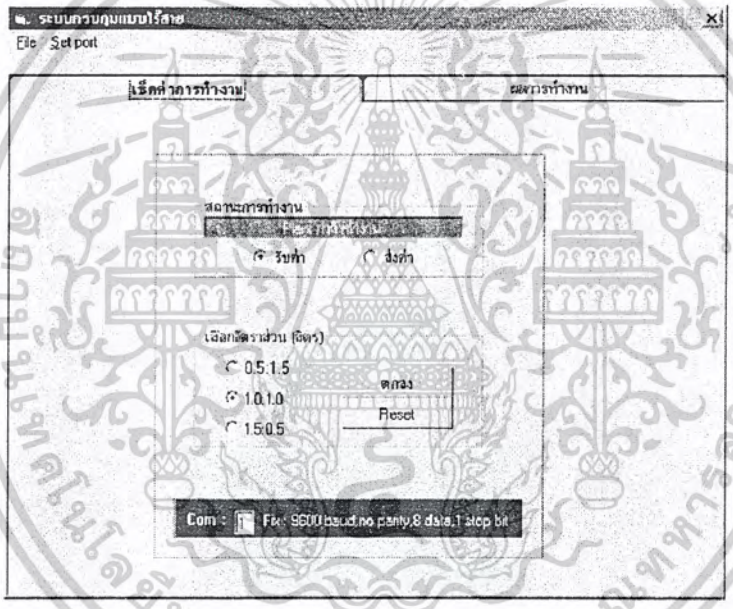
รูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขั้นตอนสุดท้ายเมื่อทำการผสมของเหลวลงในถังผสมเรียบร้อยแล้วโปรแกรมที่ทำการควบคุมการทำงานก็จะทำการหมุนใบพัดเพื่อทำการผสมของเหลวให้เข้ากันจากนั้นก็จะทำการถ่ายน้ำออกจากถังผสมจนหมดก็กปั่นอันเสร็จขั้นตอนการทำงาน

4.3.2 ผลการทำงานกรณีที่สอง

การทำงานในกรณีที่สองนี้ขั้นตอนการทำงานต่างๆก็จะเหมือนกับกรณีแรกและจะมีผลการทำงานดังนี้

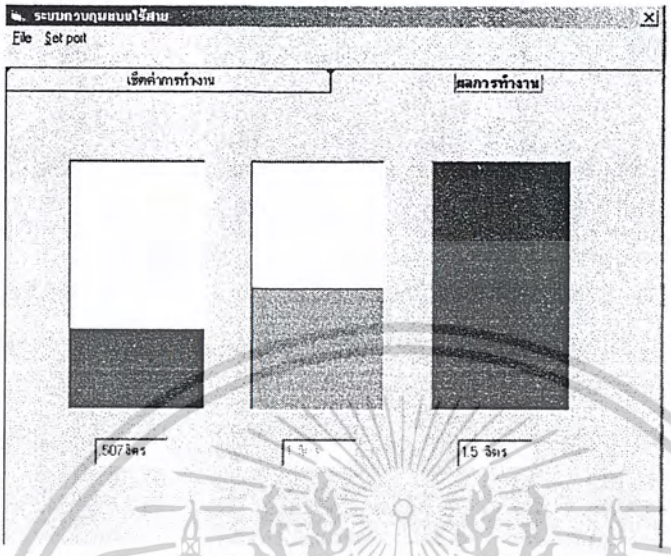


รูปที่ 4.9

จากรูปที่ 4.9 จะเป็นการเซ็ตค่าการทำงานโดยจะทำการเลือกเซ็ตค่ากรณีที่สองคืออัตราส่วนผสมระหว่างถังใบแรกกับถังใบที่สองที่ 1.0 ลิตร ต่อ 1.0 ลิตร จากนั้นก็กดปุ่มตกลงเมื่อทำการกดที่ปุ่มตกลงเรียบร้อยแล้วก็ให้ไปที่หน้าต่างผลการทำงานโดยจะได้ผลการทำงานของกรณีที่สองดังต่อไปนี้คือ

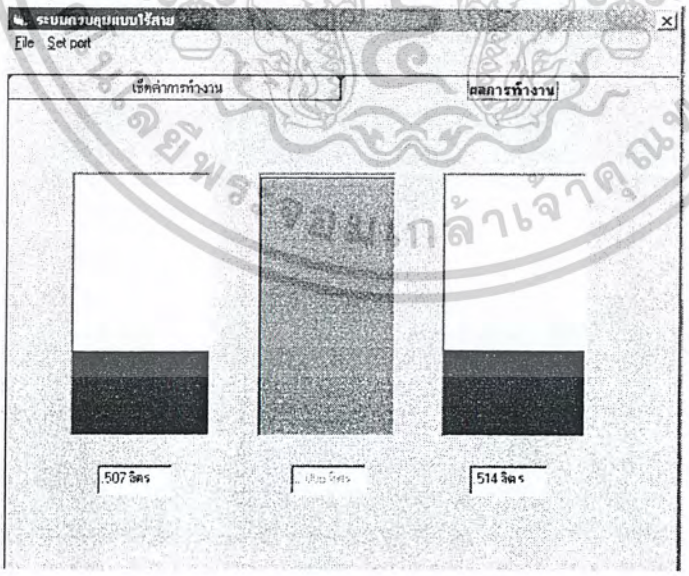
- เมื่อมีของเหลวเต็มทั้งสองถังแล้ว โปรแกรมที่ทำการควบคุมการทำงานก็จะทำการสูบน้ำจากถังใบแรกมาใส่ไว้ในถังผสมในปริมาณ 1.0 ลิตร โดยจะมีผลการทำงานเป็นดังรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10

- เมื่อทำการสูบของเหลวจากถังใบแรกได้ครบตามกำหนดมาแล้วโปรแกรมที่ทำการควบคุมก็จะทำการสูบของเหลวจากถังใบที่สองต่อในปริมาณที่กำหนดไว้ในกรณีที่สองคือ 1.0 ลิตร โดยจะมีผลการทำงานดังรูปที่ 4.11



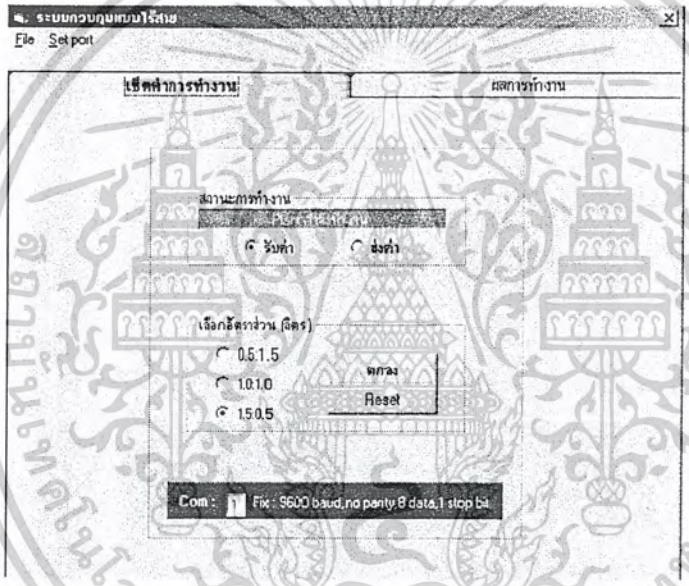
รูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขั้นตอนสุดท้ายก็เหมือนกับกรณีแรกคือเมื่อทำการผสมของเหลวลงในถังผสมเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมที่ทำการควบคุมการทำงานก็จะทำการหมุนใบพัดเพื่อทำการผสมของเหลวให้เข้ากันจากนั้นก็จะทำการถ่ายน้ำออกจากถังผสมจนหมดก็กป็นอันเสร็จขั้นตอนการทำงาน

4.3.3 ผลการทำงานในกรณีที่สาม

การทำงานในกรณีที่สามนี้ขั้นตอนการทำงานต่างๆก็จะเหมือนกับกรณีแรกและกรณีที่สอง โดยจะมีผลการทำงานดังนี้

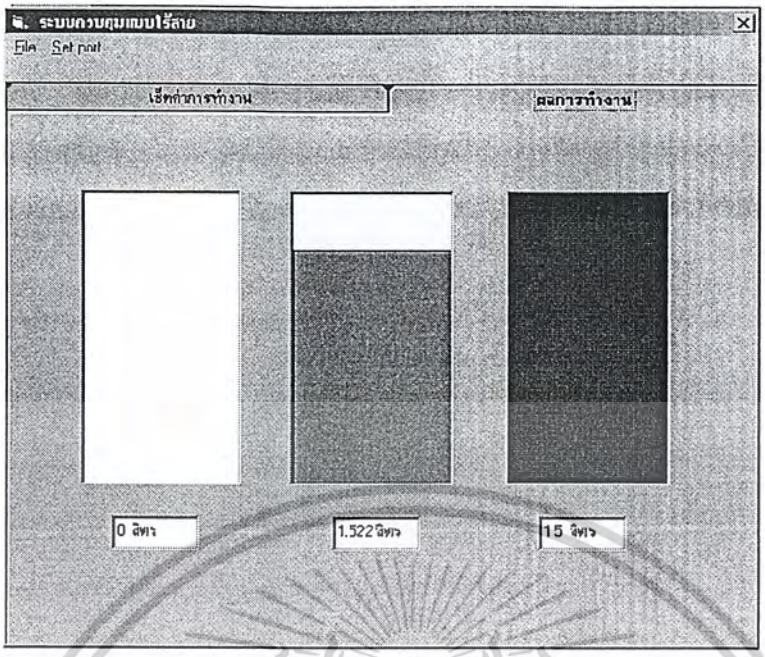


รูปที่ 4.12

จากรูปที่ 4.12 จะเป็นการเซ็ตค่าการทำงาน โดยจะทำการเลือกเซ็ตค่ากรณีที่สามคืออัตราส่วนผสมระหว่างถังใบแรกกับถังใบที่สองที่ 1.5 ลิตร ต่อ 0.5 ลิตร จากนั้นก็กดปุ่มตกลงเมื่อทำการกดที่ปุ่มตกลงเรียบร้อยแล้วก็ให้ไปที่หน้าต่างผลการทำงานเหมือนเดิมโดยจะได้ผลการทำงานของกรณีที่สาม ดังต่อไปนี้คือ

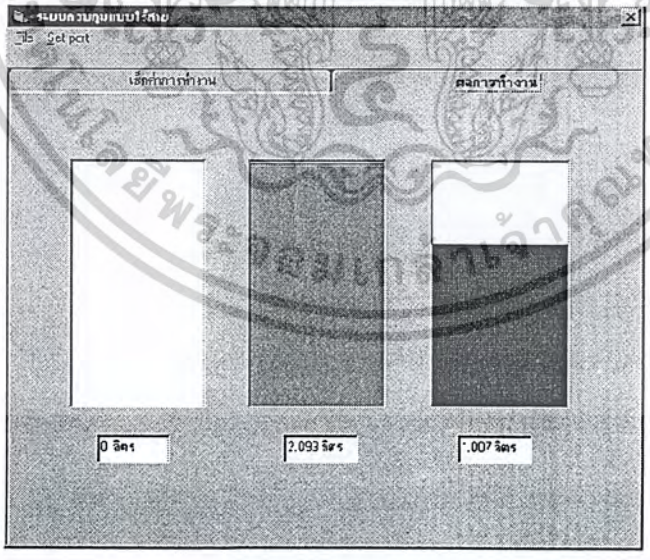
- เมื่อมีของเหลวเต็มทั้งสองถังแล้ว โปรแกรมที่ทำการควบคุมการทำงานก็จะทำการสูบน้ำจากถังใบแรกมาใส่ไว้ในถังผสมในปริมาณ 1.5 ลิตร โดยจะมีผลการทำงานเป็นดังรูปที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13

- เมื่อทำการสูบของเหลวจากถังใบแรกได้ครบตามกำหนดมาแล้วโปรแกรมที่ทำการควบก็จะทำการสูบของเหลวจากถังใบที่สองต่อในปริมาณที่กำหนดไว้ในกรณีที่สามคือ 1.0 ลิตรโดยจะมีผลการทำงานดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขั้นตอนสุดท้ายก็เหมือนกับกรณีแรกและกรณีที่สองคือเมื่อทำการผสมของเหลวลงในถังผสมเรียบร้อยแล้วโปรแกรมที่ทำการควบคุมการทำงานก็จะทำการหมุนใบพัดเพื่อทำการผสมของเหลวให้เข้ากันจากนั้นก็จะทำการถ่ายน้ำออกจากถังผสมจนหมดก็กปั่นอันเสร็จขั้นตอนการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุป

5.1 บทวิจารณ์และสรุป

ในการทำวิยานิพนธ์ในครั้งนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อแสดงถึงแนวทางในการทำเครื่องมือวัดและควบคุมที่สามารถบันทึกข้อมูลที่ได้ทำการวัดซึ่งจะทำการส่งข้อมูลแบบไร้สาย โดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ 433 MHz มีการรับส่งค่าและควบโดยสั่งการจากคอมพิวเตอร์ได้

ในการสั่งงานจากคอมพิวเตอร์ โดยใช้พอร์ตอนุกรม RS-232 ติดต่อผ่าน MCS-51 อัตราการรับส่งข้อมูล 9600 บิตต่อวินาที จากนั้นข้อมูลการสั่งงานจะถูกส่งไปยัง โมดูลสร้างความถี่เพื่อส่งไปยังภาครับสัญญาณ ต่อจากนั้นข้อมูลจะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสร้างเงื่อนไขในการตัดสินใจในการวัดและควบคุมต่อไป

บทวิจารณ์ เนื่องจากโมดูลสร้างความถี่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ส่งผลให้มีราคาแพง เครื่องมือวัดและควบคุมไร้สายนี้ถ้าต้องการความถูกต้องสูงจำเป็นต้องใช้ลักษณะของไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลที่มีความละเอียดสูงคือมีจำนวนบิตของข้อมูลมาก และถ้าหากต้องการความมีเสถียรภาพสูงจำเป็นต้องใช้ตัวประมวลผลกลางที่มีเสถียรภาพสูง เพื่อป้องกันสิ่งรบกวนจากภายนอก ที่กล่าวมากทั้งหมดนี้จะเห็นว่ามีความยุ่งยากในการออกแบบและราคาจะสูงด้วย ดังนั้นในการออกแบบการทำงานจะต้องดูเสถียรภาพและความถูกต้องว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่

5.2 ปัญหาในการทำงาน

1. เนื่องจากการส่งผ่านข้อมูลเป็นความถี่ อาจทำให้มีสัญญาณรบกวนเข้ามาในระบบการรับส่งข้อมูล โดยสัญญาณรบกวนอาจเกิดขึ้นได้จากสภาวะแวดล้อม สภาพอากาศ
2. การวัดสัญญาณบางครั้งอาจมีความผิดพลาดของข้อมูล เนื่องจากตัวอุปกรณ์วัดเองหรือการแกว่งของสัญญาณที่จะวัด จึงทำให้ผลที่แสดงค่าทางคอมพิวเตอร์มีความผิดพลาดไปด้วย

5.3 สรุปผลการทำงาน

โครงงานการควบคุมไร้สายสามารถปฏิบัติงานได้ตามวัตถุประสงค์ โดยการวัดระดับของเหลวจากแพลนจำลองและสามารถควบคุมมอเตอร์จากแพลนทำงานได้ โดยส่งค่าข้อมูลผ่านมาทางความถี่ ทำให้ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องเดินสายให้ยุ่งยาก ซึ่งจากแนวความคิดนี้เราสามารถประยุกต์และพัฒนาเพื่อให้เกิดประโยชน์ในงานระบบควบคุมในด้านอื่น ๆ อีกมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โปรแกรมการสั่งงานทางผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมส่วนสั่งการและการแสดงผล

สjวนที่เขียนด้วยโปรแกรม Visual Basic

```
Dim n As Integer
Public num As Double
Public totle As Double
Public data As Variant
Public a As Double
Public m As Double
Public w As Double
Public v As Double
Public x As Double
Public y As Double
Public data1 As Double
Public data2 As Double
Public data3 As Double
Public data4 As Double
Public data5 As Double
Public data6 As Double
Public inv As Double
Dim D(1 To 3) As Double
Dim loop1 As Integer
Dim loop2 As Integer
Dim loop3 As Integer
Dim loop4 As Integer
Dim loop5 As Integer
Dim control As Double
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Command1_Click()
Text3.Text = 0
If Option1.Value = True Then
num = 0
Do
MSComm1.Output = Chr(&H5)
num = num + 1
Loop Until num = 20
Option6.Value = True
Timer1.Enabled = True
Timer2.Enabled = True
Timer3.Enabled = True
ElseIf Option2.Value = True Then
num = 0
Do
MSComm1.Output = Chr(&H7)
num = num + 1
Loop Until num = 200
Option6.Value = True
Timer1.Enabled = True
Timer2.Enabled = True
Timer3.Enabled = True
ElseIf Option3.Value = True Then
num = 0
Do
MSComm1.Output = Chr(&H9)
num = num + 1
Loop Until num = 200
Option6.Value = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Timer1.Enabled = True
Timer2.Enabled = True
Timer3.Enabled = True
Else
a = MsgBox("กรุณาเลือกข้อมูลก่อน", 68, "โปรดทราบ")
End If
End Sub

Private Sub Command4_Click()
num = 0
Do
MSComm1.InBufferCount = 0
MSComm1.OutBufferCount = 0
num = num + 1
Loop While num = 2
Shape1.Top = 3240
Shape2.Top = 3240
Shape3.Top = 3240
Shape1.Height = 15
Shape2.Height = 15
Shape3.Height = 15
Text2.Text = "กระบวนการหยุดทำงาน"
Text2.ForeColor = vbWhite
Text2.BackColor = vbBlack
Option5.Value = True
loop1 = 0
n = 1
loop4 = 0
x = 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
loop5 = 0
y = 1
Text4.Text = 0# & "ลิตร"
Text6.Text = 0# & "ลิตร"
Text10.Text = 0# & "ลิตร"
Text7.Text = 1
Text15.Text = "A"
Text3.Text = 0
Text5.Text = 0
Text8.Text = ""
Text14.Text = ""
Text17.Text = ""
Text20.Text = ""
Text9.Text = 0
Text11.Text = 0
Text13.Text = 0
Text12.Text = 0
Text16.Text = 0
Text18.Text = 0
Text19.Text = 0
Text21.Text = 0
Text23.Text = 0
Text25.Text = 0
End Sub

Private Sub Form_Load()
Text1.Visible = False
Text3.Visible = False
Text5.Visible = False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Text8.Visible = False
Text9.Visible = False
Text11.Visible = False
Text12.Visible = False
Text13.Visible = False
Text14.Visible = False
Text15.Visible = False
Text16.Visible = False
Text17.Visible = False
Text18.Visible = False
Text19.Visible = False
Text20.Visible = False
Text21.Visible = False
Text23.Visible = False
Text24.Visible = False
Text25.Visible = False
loop1 = 0
n = 1
loop4 = 0
x = 1
loop5 = 0
y = 1
Text4.Text = 0# & "ลิตร"
Text6.Text = 0# & "ลิตร"
Text10.Text = 0# & "ลิตร"
Text7.Text = 1
Text15.Text = "A"
Text3.Text = 0
Text9.Text = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Text11.Text = 0
Text13.Text = 0
Text12.Text = 0
Text16.Text = 0
Text18.Text = 0
Text19.Text = 0
Text21.Text = 0
Text23.Text = 0
Text25.Text = 0
MSComm1.CommPort = 1
MSComm1.Settings = "9600,n,8,1"
MSComm1.PortOpen = True
Option5.Value = True
MSComm2.CommPort = 2
menuCOM1.Checked = True
If Not MSComm1.PortOpen Then
MSComm1.CommPort = 1
MSComm1.Settings = "9600,n,8,1"
MSComm1.PortOpen = True
MSComm1.InBufferCount = 0
Option5.Value = True
ElseIf MSComm2.PortOpen Then
MSComm2.PortOpen = False
End If
End Sub

Private Sub menuCOM1_Click()
menuCOM2.Checked = False
menuCOM1.Checked = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Text7.Text = 1
If Not MSComm1.PortOpen Then
MSComm1.Settings = "9600,n,8,1"
MSComm1.CommPort = 1
MSComm1.PortOpen = True
Text7.Text = 1
Else
a = MsgBox("COM1 เปิดเรียบร้อยแล้ว", 64, "โปรดทราบ")
End If
If MSComm2.PortOpen Then
MSComm2.PortOpen = False
End If
End Sub

Private Sub menuCOM2_Click()
menuCOM1.Checked = False
menuCOM2.Checked = True
If Not MSComm2.PortOpen Then
MSComm2.Settings = "9600,n,8,1"
MSComm2.CommPort = 2
MSComm2.PortOpen = True
Text7.Text = 2
Else
a = MsgBox("COM2 เปิดเรียบร้อยแล้ว", 64, "โปรดทราบ")
End If
If MSComm1.PortOpen Then
MSComm1.PortOpen = False
End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub

Private Sub menuexit_Click()
Unload Me
End Sub

Private Sub Option5_Click()
MSComm1.InBufferCount = 0
MSComm1.OutBufferCount = 0
MSComm1.Output = Chr(&H33)
End Sub

Private Sub Option6_Click()
MSComm1.InBufferCount = 0
MSComm1.OutBufferCount = 0
MSComm1.Output = Chr(&H22)
End Sub

Private Sub Text1_Change()
If Text1.Text = "B" Then
loop2 = 0
w = 1
Shape3.Top = 0
Shape3.Height = 3255
Text4.Text = Format(1.5, "###.###") & "ลิตร"
Text9.Text = Text9.Text + 1
End If
If Text1.Text = "C" Then
loop3 = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
v = 1
Shape1.Top = 0
Shape1.Height = 3255
Text6.Text = Format(1.5, "###.###") & "ลิตร"
Text9.Text = Text9.Text + 1
End If
If Text1.Text = "D" Then
loop4 = 0
x = 1
If Option1.Value = True Then
Shape2.Top = 2430
Shape2.Height = 825
Text10.Text = Format(0.5, "###.###") & "ลิตร"
Text9.Text = Text9.Text + 1
End If
If Option2.Value = True Then
Shape2.Top = 1620
Shape2.Height = 1635
Text10.Text = Format(1#, "###.###") & "ลิตร"
Text9.Text = Text9.Text + 1
End If
If Option3.Value = True Then
Shape2.Top = 810
Shape2.Height = 2445
Text10.Text = Format(1.5, "###.###") & "ลิตร"
Text9.Text = Text9.Text + 1
End If
End If
If Text1.Text = "E" Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
If Option1.Value = True Then
Text9.Text = Text9.Text + 1
End If
If Option2.Value = True Then
Text9.Text = Text9.Text + 1
End If
If Option3.Value = True Then
Text9.Text = Text9.Text + 1
End If
End If
If Text1.Text = "F" Then
Shape2.Top = 3240
Shape2.Height = 15
Text10.Text = 0# & " ÅÔµÃ"
Text9.Text = Text9.Text + 1
End If
End Sub

Private Sub Text13_Change()
w = w + 1
If w = 13 Then   '// Sampling
If loop2 = 0 Then
Text14.Text = Text13.Text
data3 = Text14.Text
loop2 = 1
End If
End If
If loop2 = 1 Then
      If data3 < Text13.Text Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            If (data3 + 8) >= Text13.Text Then  '//  Up LEVEL
                data3 = Text13.Text
                Text14.Text = data3
               Text12.Text = "UP"
              End If
ElseIf data3 > Text13.Text Then
          If (data3 - 2) <= Text13.Text Then '//  DOWN  LEVEL
              data3 = Text13.Text
              Text14.Text = data3
              Text12.Text = "Down"
           End If
         End If
End If
End Sub

Private Sub Text14_Change()
If Text14.Text <> "" Then
If Text14.Text >= 248 Then
Text15.Text = "C"
Shape1.Top = 0
Shape1.Height = 3255
Text6.Text = 1.5 & "ลิตร"
End If
End If
End Sub

Private Sub Text15_Change()
Text1.Text = Text15.Text
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub

Private Sub Text16_Change()
v = v + 1
If v = 13 Then   '// Sampling
If loop3 = 0 Then
Text17.Text = Text16.Text
data4 = Text17.Text
loop3 = 1
End If
End If
If loop3 = 1 Then
        If data4 < Text16.Text Then
            If (data4 + 2) >= Text16.Text Then  '// Up LEVEL
                data4 = Text16.Text
                Text17.Text = data4
              Text18.Text = "UP"
            End If
ElseIf data4 > Text16.Text Then
           If (data4 - 9) <= Text16.Text Then '// DOWN LEVEL
                data4 = Text16.Text
                Text17.Text = data4
                Text18.Text = "Down"
            End If
          End If
End If
If v >= 255 Then
v = 0
End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
num = 0
End Sub

Private Sub Text17_Change()
If Text17.Text <> "" Then
If Option1.Value = True Then
If Text17.Text <= 185 Then
Text15.Text = "D"
End If
End If
If Option2.Value = True Then
If Text17.Text <= 115 Then
Text15.Text = "D"
End If
End If
If Option3.Value = True Then
If Text17.Text <= 50 Then
Text15.Text = "D"
End If
End If
End If
End Sub

Private Sub Text19_Change()
x = x + 1
If x = 13 Then   '// Sampling
If loop4 = 0 Then
Text20.Text = Text19.Text
data5 = Text20.Text
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
loop4 = 1
End If
End If
If loop4 = 1 Then
        If data5 < Text19.Text Then
            If (data5 + 2) >= Text19.Text Then '//  Up LEVEL
                data5 = Text19.Text
                Text20.Text = data5
              Text21.Text = "UP"
            End If
ElseIf data5 > Text19.Text Then
          If (data5 - 9) <= Text19.Text Then '//  DOWN  LEVEL
              data5 = Text19.Text
              Text20.Text = data5
              Text21.Text = "Down"
          End If
        End If
End If
If x >= 255 Then
x = 0
End If
num = 0
End Sub

Private Sub Text20_Change()
If Text20.Text <> "" Then
If Option1.Value = True Then
If Text20.Text <= 50 Then
Text15.Text = "E"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End If
End If
If Option2.Value = True Then
If Text20.Text <= 115 Then
Text15.Text = "E"
End If
End If
If Option3.Value = True Then
If Text20.Text <= 185 Then
Text15.Text = "E"
End If
End If
End If
End Sub

Private Sub Text23_Change()
y = y + 1
If y = 13 Then   '// Sampling
If loop5 = 0 Then
Text24.Text = Text23.Text
data6 = Text24.Text
loop5 = 1
End If
End If
If loop5 = 1 Then
    If data6 < Text23.Text Then
        If (data6 + 2) >= Text23.Text Then '//  Up LEVEL
            data6 = Text23.Text
            Text24.Text = data6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Text25.Text = "UP"
          End If
ElseIf data6 > Text23.Text Then
          If (data6 - 9) <= Text23.Text Then '// DOWN LEVEL
            data6 = Text23.Text
            Text24.Text = data6
            Text25.Text = "Down"
          End If
        End If
End If
If y >= 255 Then
y = 0
End If
num = 0
End Sub

Private Sub Text24_Change()
If Text24.Text <= 50 Then
Text15.Text = "F"
Shape2.Top = 3240
Shape2.Height = 15
Text10.Text = 0# & "ลิตร"
End If
End Sub

Private Sub Text3_Change()
n = n + 1
If n = 6 Then  '// Sampling
If loop1 = 0 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Text8.Text = Text3.Text
data1 = Text8.Text
loop1 = 1
End If
End If
If loop1 = 1 Then
        If data1 < Text3.Text Then
            If (data1 + 8) >= Text3.Text Then '// Up LEVEL
                data1 = Text3.Text
                Text8.Text = data1
               Text11.Text = "UP"
             End If
ElseIf data1 > Text3.Text Then
           If (data1 - 2) <= Text3.Text Then '// DOWN LEVEL
               data1 = Text3.Text
               Text8.Text = data1
               Text11.Text = "Down"
           End If
         End If
End If
If n >= 255 Then
n = 0
End If
num = 0
End Sub

Private Sub Text8_Change()
If Text8.Text <> "" Then
If Text8.Text >= 250 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Text15.Text = "B"
Shape3.Top = 0
Shape3.Height = 3255
Text4.Text = 1.5 & "ลิตร"
End If
End If
End Sub

Private Sub Text9_Change()
If Option1.Value = True Then
If Text9.Text = 4 Then
Text6.Text = 0# & "ลิตร"
Shape2.Top = 0
Shape2.Height = 3255
End If
End If
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
Dim j As Variant
Dim m As Variant
Dim o As Variant
If MSComm1.InBufferCount Then
MSComm1.InputLen = 0
data = MSComm1.Input
Text5.Text = data
j = (Mid(Text5.Text, 1, 1))
o = (Mid(Text5.Text, 2, 1))
m = (Mid(Text1.Text, 1, 1))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
If o = "A" Then
Text15.Text = "A"
End If
If o = "B" Then
Text15.Text = "B"
End If
If m = "A" Then
Select Case j
Case "0"
Text3.Text = Text5.Text
Case "1"
Text3.Text = Text5.Text
Case "2"
Text3.Text = Text5.Text
End Select
End If
If m = "B" Then
Select Case j
Case "0"
Text13.Text = Text5.Text
Case "1"
Text13.Text = Text5.Text
Case "2"
Text13.Text = Text5.Text
End Select
End If
If m = "C" Then
Select Case j
Case "0"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Text16.Text = Text5.Text
Case "1"
Text16.Text = Text5.Text
Case "2"
Text16.Text = Text5.Text
End Select
End If
If m = "D" Then
Select Case j
Case "0"
Text19.Text = Text5.Text
Case "1"
Text19.Text = Text5.Text
Case "2"
Text19.Text = Text5.Text
End Select
End If
If m = "E" Then
Select Case j
Case "0"
Text23.Text = Text5.Text
Case "1"
Text23.Text = Text5.Text
Case "2"
Text23.Text = Text5.Text
End Select
End If
End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub

Private Sub Timer2_Timer()
If MSComm1.InBufferCount Then
Text2.Text = "กระบวนการกำลังทำงาน"
Text2.ForeColor = vbWhite
Text2.BackColor = vbRed
Else
Text2.Text = "กระบวนการหยุดทำงาน"
Text2.ForeColor = vbWhite
Text2.BackColor = vbBlack
End If
End Sub

Private Sub Timer3_Timer()
Dim lavel As Variant
Dim lavel1 As Variant
Dim num As Variant
If Text8.Text <> "" Then
'-------shape3 option1----------------
If Text9.Text = 0 Then
Shape3.Top = 0 + ((255 - Text8.Text) * 15.65)
Shape3.Height = 3255 - (15.65 * (255 - Text8.Text))
lavel = (1.5 - ((255 - Text8.Text) / 138))
Text4.Text = Format(lavel, "###.###") & "ลิตร"
If lavel <= 0.025 Then
Text4.Text = 0# & "ลิตร"
End If
End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End If
End Sub

Private Sub Timer4_Timer()
Dim lavel As Variant
Dim lavel1 As Variant
Dim num As Variant
If Text14.Text <> "" Then
'-------shape3 option1----------
If Text9.Text = 1 Then
'If (255 - Text14.Text) >= 0 Then
Shape1.Top = 0 + ((255 - Text14.Text) * 17.5)
Shape1.Height = 3255 - (17.5 * (255 - Text14.Text))
lavel = (1.5 - ((255 - Text14.Text) / 144.667))
Text6.Text = Format(lavel, "###.###") & "ลิตร"
If lavel <= 0.025 Then
Text6.Text = Format(0, "###.###") & " ลิตร"
End If
End If
End If
End Sub

Private Sub Timer5_Timer()
Dim lavel As Variant
Dim lavel1 As Variant
Dim num As Variant
If Text17.Text <> "" Then
'-------shape3 option1----------
If Text9.Text = 2 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Shape3.Top = 0 + ((255 - Text17.Text) * 15.7246)
Shape3.Height = 3255 - (15.7246 * (255 - Text17.Text))
lavel = (1.5 - ((255 - Text17.Text) / 138))
Text4.Text = Format(lavel, "###.###") & "ลิตร"
Shape2.Top = 3240 - ((255 - Text17.Text) * 12.85)
Shape2.Height = 15 + (12.85 * (255 - Text17.Text))
lavel1 = (0 + ((255 - Text17.Text) / 134))
Text10.Text = Format(lavel1, "###.###") & "ลิตร"
If lavel <= 0.025 Then
Text4.Text = 0 & "ลิตร"
End If
End If
End If
End Sub

Private Sub Timer6_Timer()
Dim lavel As Variant
Dim lavel1 As Variant
Dim num As Variant
If Text20.Text <> "" Then
If Text9.Text = 3 Then
Shape1.Top = 0 + ((255 - Text20.Text) * 15.7246)
Shape1.Height = 3255 - (15.7246 * (255 - Text20.Text))
lavel = (1.5 - ((255 - Text20.Text) / 138))
Text6.Text = Format(lavel, "###.###") & "ลิตร"
If Option1.Value = True Then
Shape2.Top = 2430 - ((255 - Text20.Text) * 11.74)
Shape2.Height = 825 + (11.74 * (255 - Text20.Text))
lavel1 = (0 + ((255 - Text17.Text) / 134))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Text10.Text = Format((0.5 + (1.52 - lavel)), "###.###") & " ลิตร"
End If
If Option2.Value = True Then
Shape2.Top = 1620 - ((255 - Text20.Text) * 11.74)
Shape2.Height = 1635 + (11.74 * (255 - Text20.Text))
lavel1 = (0 + ((255 - Text17.Text) / 134))
Text10.Text = Format((1 + (1.52 - lavel)), "###.###") & " ลิตร"
End If
If Option3.Value = True Then
Shape2.Top = 810 - ((255 - Text20.Text) * 11.74)
Shape2.Height = 2445 + (11.74 * (255 - Text20.Text))
lavel1 = (0 + ((255 - Text17.Text) / 134))
Text10.Text = Format((1.5 + (1.6 - lavel)), "###.###") & " ลิตร"
End If
If lavel <= 0.025 Then
Text6.Text = Format(0, "###.###") & " ลิตร"
End If
End If
End If
End Sub

Private Sub Timer7_Timer()
Dim lavel As Variant
Dim lavel1 As Variant
Dim num As Variant
If Text24.Text <> "" Then
'-------shape3 option1----------
If Text9.Text = 4 Then
Shape2.Top = 0 + ((255 - Text24.Text) * 15.6)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Shape2.Height = 3255 - (15.6 * (255 - Text24.Text))
lavel = (2 - ((255 - Text24.Text) / 103.5))
Text10.Text = Format(lavel, "###.###") & " ลิตร"
End If
End If
End Sub
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่เป็นโปรแกรม Assembly

```
TX BIT P1.6
RX BIT P1.7
************************************
            ORG   0000H
            MOV   TMOD,#20H
            MOV   TH1,#-3
            MOV   SCON,#50H
            SETB  TR1

RECEIVE:    JNB   RI,RECEIVE
            MOV   A,SBUF
            MOV   R0,A
            CLR   RI
MAIN:       CJNE  R0,#33H,MAIN1   ;TX
            SETB  RX
            CLR   TX
            JMP   RECEIVE

MAIN1:      CJNE  R0,#22H,RECEIVE ;Rx
            SETB  TX
            CLR   RX
            JMP   RECEIVE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
โปรแกรมการส่วนของการควบคุมของกระบวนการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมส่วนควบคุมการทำงานของกระบวนการ

```
**********************************
;CASE_1 0.5:1.5
;CASE_2 1:1
;CASE_3 1.5:0.5
**********************************
I2C_ACK          EQU      7FH
I2C_ADDR         EQU      033H        ; For keep I2C Address
I2C_DATA         EQU      034H        ; For keep I2C Data
RF_DATA          EQU      035H        ; For keep RS DATA SEND RS32
PCF8591_ID       EQU      10010000B   ; Slave Address
CONTROL          EQU      036H
SDA              BIT      P2.7        ; SDA I2C Bus
SCL              BIT      P2.6        ; SCL I2C Bus
TXD              BIT      P1.6
RXD              BIT      P1.7
A_MOTOR_IN       BIT      P1.0
A_MOTOR_OUT      BIT      P1.1
B_MOTOR_IN       BIT      P2.2
B_MOTOR_OUT      BIT      P2.3
C_MOTOR_ROTED    BIT      P2.1
C_MOTOR_OUT      BIT      P2.0
**********************************
                 ORG      0000
                 CLR      A_MOTOR_IN
                 CLR      A_MOTOR_OUT
                 CLR      B_MOTOR_IN
                 CLR      B_MOTOR_OUT
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            CLR     C_MOTOR_ROTED
            CLR     C_MOTOR_OUT
MAIN:       CALL    RECEIVE_RF      ;FOR RECEIVE FORM COM
            ACALL   RF_LOWDOWN
            LCALL   CASE_1
**********************************
; SECLEC  CASE
**********************************
CASE_1:     CJNE    A,#05H,CASE_2
            CALL    W_FULL_PLAN_A
            CALL    W_FULL_PLAN_B
            CALL    LOW_CASE_1
            CALL    LOW_CASE_4
            CALL    ROTED
            CALL    OUT_WATER
            SJMP    MAIN
CASE_2:     CJNE    A,#07H,CASE_3
            CALL    W_FULL_PLAN_A
            CALL    W_FULL_PLAN_B
            CALL    LOW_CASE_2
            CALL    LOW_CASE_5
            CALL    ROTED
            CALL    OUT_WATER
            SJMP    MAIN
CASE_3:     CJNE    A,#09H,NEXT
            CALL    W_FULL_PLAN_A
            CALL    W_FULL_PLAN_B
            CALL    LOW_CASE_3
            CALL    LOW_CASE_6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CALL        ROTED
                CALL        OUT_WATER
                SJMP        MAIN
NEXT:           JMP         MAIN
**********************************
;  PLAN_A
**********************************
**********************************
;  PLANA  WATER_FULL_TANK
**********************************
W_FULL_PLAN_A:  LCALL   MAIN_A
                MOV         R1,I2C_DATA
                CJNE        R1,#0FFH,MOTORIN1
                CLR         A_MOTOR_IN
                RET
MOTORIN1:       SETB        A_MOTOR_IN
                JMP         W_FULL_PLAN_A
**********************************
;  PLAN_A  WATER_LOW_TANK
**********************************
LOW_CASE_1: LCALL       MAIN_A
                MOV         R1,I2C_DATA
                CJNE        R1,#0B4H,NEXT1
                CLR         A_MOTOR_OUT
                MOV         RF_DATA,#1000001B
                LCALL       SEND_RF
                RET
NEXT1:          SETB        A_MOTOR_OUT
                LJMP        LOW_CASE_1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
**********************************
LOW_CASE_2: LCALL       MAIN_A
            MOV         R1,I2C_DATA
            CJNE        R1,#6EH,NEXT2
            CLR         A_MOTOR_OUT
            RET
NEXT2:      SETB        A_MOTOR_OUT
            LJMP        LOW_CASE_2
**********************************
LOW_CASE_3: LCALL       MAIN_A
            MOV         R1,I2C_DATA
            CJNE        R1,#2DH,NEXT3
            CLR         A_MOTOR_OUT
            RET
NEXT3:      SETB        A_MOTOR_OUT
            LJMP        LOW_CASE_3
**********************************
;  PLAN_B
**********************************
**********************************
;  PLAN_B    WATER_FULL_TANK
**********************************
W_FULL_PLAN_B:LCALL     MAIN_B
            MOV         R1,I2C_DATA
            CJNE        R1,#0FFH,MOTORIN2
            CLR         B_MOTOR_IN
            MOV         RF_DATA,#1000010B
            LCALL       SEND_RF
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                RET
MOTORIN2:       SETB        B_MOTOR_IN
                JMP         W_FULL_PLAN_B
*********************************
;  PLAN_B   WATER_LOW_TANK
*********************************
LOW_CASE_4: LCALL       MAIN_B
            MOV         R1,I2C_DATA
            CJNE        R1,#2DH,NEXT4
            CLR         B_MOTOR_OUT
            RET
NEXT4:      SETB        B_MOTOR_OUT
            LJMP        LOW_CASE_4
*********************************
LOW_CASE_5: LCALL       MAIN_B
            MOV         R1,I2C_DATA
            CJNE        R1,#6EH,NEXT5
            CLR         B_MOTOR_OUT
            RET
NEXT5:      SETB        B_MOTOR_OUT
             LJMP       LOW_CASE_5
*********************************
LOW_CASE_6: LCALL       MAIN_B
            MOV         R1,I2C_DATA
            CJNE        R1,#0B4H,NEXT6
            CLR         B_MOTOR_OUT
            RET
NEXT6:      SETB        B_MOTOR_OUT
            LJMP        LOW_CASE_6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
**********************************
; PLAN_C
**********************************
ROTED:      SETB    C_MOTOR_ROTED
            ACALL   DELAY_100ms
            ACALL   DELAY_100ms
            ACALL   DELAY_100ms
            ACALL   DELAY_100ms
            ACALL   DELAY_100ms
            ACALL   DELAY_100ms
            ACALL   DELAY_100ms
            ACALL   DELAY_100ms
            ACALL   DELAY_100ms
            ACALL   DELAY_100ms
            ACALL   DELAY_100ms
            ACALL   DELAY_100ms
            ACALL   DELAY_100ms
            CLR     C_MOTOR_ROTED
            RET
OUT_WATER:  LCALL   MAIN_C
            MOV     R1,I2C_DATA
            CJNE    R1,#31H,MORTER_OUT
            CLR     C_MOTOR_OUT
            RET
MORTER_OUT:SETB     C_MOTOR_OUT
            JMP     OUT_WATER
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
*********************************
; A2D READ    PLANT_A
*********************************
MAIN_A:     MOV         CONTROL,#01000001B
            ACALL       TX_D
            SETB        SDA
            SETB        SCL
            ACALL       MAIN_A2D
            ACALL       RF_LOWDOWN
            ACALL       DELAY_100ms
            RET
*********************************
; A2D READ    PLANT_B
*********************************
MAIN_B:     MOV         CONTROL,#01000010B
            ACALL       TX_D
            SETB        SDA
            SETB        SCL
            ACALL       MAIN_A2D
            ACALL       RF_LOWDOWN
            ACALL       DELAY_100ms
            RET
*********************************
; A2D READ    PLANT_C
*********************************
MAIN_C:     MOV         CONTROL,#01000011B
            ACALL       TX_D
            SETB        SDA
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                SETB        SCL
                ACALL       MAIN_A2D
                ACALL       RF_LOWDOWN
                ACALL       DELAY_100ms
                RET
**********************************
; MAIN A2D SEMD VAVLUA TO COMPUTER
**********************************
MAIN_A2D:       ACALL       A2DC_WR
                ACALL       A2DC_RD
                MOV         RF_DATA,I2C_DATA
                ACALL       HEX_ASCII
                MOV         RF_DATA,#00AH
                ACALL       SEND_RF
                MOV         RF_DATA,#00DH
                ACALL       SEND_RF
                RET
**********************************
;    WRITE  A2D   CONVERTOR
**********************************
A2DC_WR:        MOV         A,#PCF8591_ID
                ACALL       I2C_SLAVE
                MOV         A,CONTROL
                ACALL       I2C_DATA_WR
                ACALL       I2C_STOP
                RET
**********************************
;    READ  A2D   CONVERTOR
**********************************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
A2DC_RD:MOV     A,#PCF8591_ID+1
        ACALL   I2C_SLAVE
        ACALL   I2C_DATA_RD
        ACALL   I2C_NACK_BIT
        ACALL   I2C_STOP
        RET
**********************************
; I2C Data Write
; I/P:      I2C_DATA
; Reserve:  R5
**********************************
I2C_DATA_WR:PUSH    ACC                 ; Push ACC.
        SETB    I2C_ACK                 ; Set ACK. bit
        MOV     R5,#008                 ; Set loop 8 times
I2C_DATA_WR_1:RLC   A                   ; Rotate ACC. to Left with Carry
        MOV     SDA,C                   ; Move Carry Flag to SDA
        ACALL   I2C_CLK                 ; Pulse I2C Clock
        DJNZ    R5,I2C_DATA_WR_1        ; Do until 8 times
        SETB    SDA                     ; Set SDA
        ACALL   I2C_DELAY               ; Delay
        SETB    SCL                     ; Set SCL
        ACALL   I2C_DELAY               ; Delay
        JB      SDA,I2C_DATA_WR_2       ; Check Acknowledge from Slave
        CLR     I2C_ACK                 ; Clear ACK. bit
I2C_DATA_WR_2:CLR   SCL                 ; Clear SCL
        POP     ACC                     ; Pop ACC.
        RET                             ; Return
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
**********************************
; I2C Data Read
; O/P:       I2C_DATA
; Reserve:   R5
**********************************
I2C_DATA_RD:PUSH        ACC             ; Push ACC.
            CLR         A               ; Clear ACC.
            MOV         R5,#008         ; Set loop 8 times
I2C_DATA_RD_1:ACALL     I2C_DELAY       ; Delay
            SETB        SCL             ; Set SCL
            ACALL       I2C_DELAY       ; Delay
            MOV         C,SDA           ; Get SDA to Carry Flag
            RLC         A               ; Rotate ACC. to Left with Carry
            CLR         SCL             ; Clear SCL
            DJNZ        R5,I2C_DATA_RD_1  ; Do until 8 times
            MOV         I2C_DATA,A      ; Move Data to I2C_DATA
            POP         ACC             ; Pop ACC.
            RET                         ; Return
**********************************
; I2C Slave Connect
; I/P:       I2C_ADDR
; O/P Flag:  I2C_ACK
; Reserve:   R5
**********************************
I2C_SLAVE:  PUSH        ACC             ; Push ACC.
            SETB        I2C_ACK         ; Set ACK. bit
            ACALL       I2C_START       ; Send Start Condition
            MOV         R5,#008         ; Set loop 8 times
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
I2C_SLAVE_1: RLC     A                  ; Rotate ACC. to Left with Carry
             MOV     SDA,C              ; Move Carry Flag to SDA
             ACALL   I2C_CLK            ; Pulse I2C Clock
             DJNZ    R5,I2C_SLAVE_1     ; Do until 8 times
             SETB    SDA                ; Set SDA
             ACALL   I2C_DELAY          ; Delay
             SETB    SCL                ; Set SCL
             ACALL   I2C_DELAY          ; Delay
             JB      SDA,I2C_SLAVE_2    ; Check Acknowledge from Slave
             CLR     I2C_ACK            ; Clear ACK.
I2C_SLAVE_2: CLR     SCL                ; Clear SCL
             POP     ACC                ; Pop ACC.
             RET                        ; Return
*********************************
; I2C Start Condition
*********************************
I2C_START:   JNB     SCL,I2C_START_1    ; Check current SCL set?
             CLR     SCL                ; Clear SCL
I2C_START_1: SETB    SDA                ; Set SDA
             SETB    SCL                ; Set SCL
             ACALL   I2C_DELAY          ; Delay
             CLR     SDA                ; Clear SDA during SCL set
             ACALL   I2C_DELAY          ; Delay
             CLR     SCL                ; Clear SCL
             RET                        ; Return
*********************************
; I2C Stop Condition
*********************************
I2C_STOP:    JNB     SCL,I2C_STOP_1     ; Check current SCL set?
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CLR         SCL             ; Clear SCL
I2C_STOP_1:     CLR         SDA             ; Clear SDA
                ACALL       I2C_DELAY       ; Delay
                SETB        SCL             ; Set SCL
                ACALL       I2C_DELAY       ; Delay
                SETB        SDA             ; Set SDA during SCL set
                RET                         ; Return
**********************************
; I2C Clock
**********************************
I2C_CLK:        ACALL       I2C_DELAY       ; Pulse SCL
                SETB        SCL
                ACALL       I2C_DELAY
                CLR         SCL
                RET                         ; Return
**********************************
; I2C Acknowledge
**********************************
I2C_ACK_BIT:    CLR         SDA             ; Clear SDA
                ACALL       I2C_DELAY       ; Delay
                ACALL       I2C_CLK         ; Pulse I2C Clock
                SETB        SDA
                RET                         ; Return
**********************************
; I2C Not Acknowledge
**********************************
I2C_NACK_BIT:SETB           SDA             ; Set SDA
                ACALL       I2C_DELAY       ; Delay
                ACALL       I2C_CLK         ; Pulse I2C Clock
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                SETB            SCL
                RET
**********************************
; HEX Code to show ASCII&PC   FOR  A2D
; I/P:  RS 232
**********************************
HEX_ASCII:      PUSH            ACC             ; Push ACC.
                MOV             A,RF_DATA       ; Get Data
                MOV             B,#100
                DIV             AB              ; Divide by 100
                ADD             A,#030H         ; Convert to ASCII
                CJNE            A,#030H,HEX2_NX ; Check x100 = 0 ?
HEX2_NX:        MOV             RF_DATA,A
                ACALL           SEND_RF
                MOV             A,B
                MOV             B,#10
                DIV             AB              ; Divide by 10
                ADD             A,#030H         ; Convert to ASCII
                MOV             RF_DATA,A
                ACALL           END_RF          ; Write Lower HEX Code
                MOV             A,B             ; Get Remainder x1
                ADD             A,#030H         ; Convert to ASCII
                MOV             RF_DATA,A
                ACALL           SEND_RF
                POP             ACC             ; Pop ACC.
                RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
**********************************
; SEND_RF  TO COMPUTOR
**********************************
SEND_RF:    MOV         TMOD,#021H
            MOV         TH1,#0FDH
            MOV         TL1,#0FDH
            SETB        TR1
            MOV         SCON,#050H
            CLR         TI
            MOV         SBUF,RF_DATA
            JNB         TI,$
            RET
**********************************
;RECEIVE_RF  TO COMPUTER
**********************************
RECEIVE_RF:  MOV        TMOD,#20H
            MOV         TH1,#-3
            MOV         SCON,#50H
            SETB        TR1
            LCALL       RX_D
RECEIVE:    JNB         RI,RECEIVE
            MOV         A,SBUF
            CLR         RI
            RET
**********************************
;  SET RF IS  TXD
**********************************
TX_D:       NOP
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CLR             TXD
                NOP
                SETB            RXD
                NOP
                RET
**********************************
; SET RF IS  RXD
**********************************
RX_D:           NOP
                SETB            TXD
                NOP
                CLR             RXD
                NOP
                RET
**********************************
; SET RF IS  LOWDOWN
**********************************
RF_LOWDOWN:NOP
                SETB            TXD
                NOP
                SETB            RXD
                NOP
                RET
**********************************
;DEYAY  <  10 MIRCOSEC
**********************************
I2C_DELAY:      PUSH            20H
                MOV             R2,#20H
                DJNZ            R2,$
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                POP             20H
                RET
*********************************
;DELAY_100ms
*********************************
DELAY_100ms:MOV         R7,#100         ; Do 100 times
DELAY_100ms_1:MOV       R6,#0E6H        ; Each loop = 1 ms
DELAY_100ms_2:NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                DJNZ        R6,DELAY_100ms_2
                DJNZ        R7,DELAY_100ms_1
                RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

คู่มือไอซี(Data sheet)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

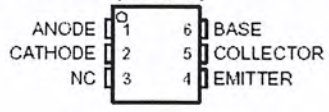
4N35, 4N36, 4N37
OPTOCOUPLERS

SOES021C – NOVEMBER 1981 – REVISED APRIL 1998

COMPATIBLE WITH STANDARD TTL INTEGRATED CIRCUITS

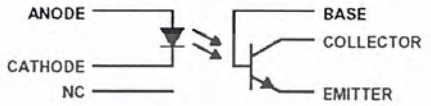
- Gallium-Arsenide-Diode Infrared Source Optically Coupled to a Silicon npn Phototransistor
- High Direct-Current Transfer Ratio
- High-Voltage Electrical Isolation
  1.5-kV, 2.5-kV, or 3.55-kV Rating
- High-Speed Switching
  t_r = 7 µs, t_f = 7 µs Typical
- Typical Applications Include Remote Terminal Isolation, SCR and Triac Triggers, Mechanical Relays and Pulse Transformers
- Safety Regulatory Approval
  UL/CUL, File No. E65085

DCJ† OR 6-TERMINAL DUAL-IN-LINE PACKAGE
(TOP VIEW)



†4N35 only
NC – No internal connection

schematic



absolute maximum ratings at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)†

Input-to-output peak voltage (8-ms half sine wave):	4N35	3.55 kV
	4N36	2.5 kV
	4N37	1.5 kV
Input-to-output root-mean-square voltage (8-ms half sine wave):	4N35	2.5 kV
	4N36	1.75 kV
	4N37	1.05 kV
Collector-base voltage		70 V
Collector-emitter voltage (see Note 1)		30 V
Emitter-base voltage		7 V
Input-diode reverse voltage		6 V
Input-diode forward current: Continuous		60 mA
Peak (1 µs, 300 pps)		3 A
Phototransistor continuous collector current		100 mA
Continuous total power dissipation at (or below) 25°C free-air temperature:		
Infrared-emitting diode (see Note 2)		100 mW
Phototransistor (see Note 3)		300 mW
Continuous power dissipation at (or below) 25°C lead temperature:		
Infrared-emitting diode (see Note 4)		100 mW
Phototransistor (see Note 5)		500 mW
Operating temperature range, T_A		−55°C to 100°C
Storage temperature range, T_{stg}		−55°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 conditions is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTES: 1. This value applies when the base-emitter diode is open-circuited.
2. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 1.33 mW/°C.
3. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 4 mW/°C.
4. Derate linearly to 100°C lead temperature at the rate of 1.33 mW/°C. Lead temperature is measured on the collector lead 0.8 mm (1/32 inch) from the case.
5. Derate linearly to 100°C lead temperature at the rate of 6.7 mW/°C.

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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

intersil

IRF510

Data Sheet | June 1999 | File Number 1573.3

5.6A, 100V, 0.540 Ohm, N-Channel Power MOSFET

This N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistor is an advanced power MOSFET designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching convertors, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA17441.

Features

- 5.6A, 100V
- $r_{DS(ON)} = 0.540\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
  - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

Ordering Information

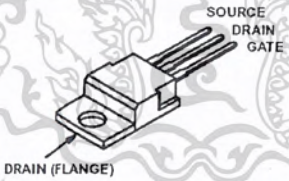
PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRF510	TO-220AB	IRF510

NOTE: When ordering, include the entire part number.

Symbol

Packaging

JEDEC TO-220AB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^oC$, Unless Otherwise Specified

		IRF510	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1)	V_{DS}	100	V
Drain to Gate Voltage (R_{GS} = 20kΩ) (Note 1)	V_{DGR}	100	V
Continuous Drain Current	I_D	5.6	A
$T_C = 100^oC$	I_D	4	A
Pulsed Drain Current (Note 3)	I_{DM}	20	A
Gate to Source Voltage	V_{GS}	±20	V
Maximum Power Dissipation	P_D	43	W
Linear Derating Factor		0.29	W/°C
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4)	E_{AS}	19	mJ
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_{STG}	-55 to 175	°C
Maximum Temperature for Soldering			
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s	T_L	300	°C
Package Body for 10s, See Techbrief 334	T_{pkg}	260	°C

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

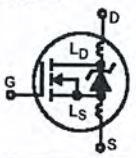
NOTE:

1. $T_J = 25^oC$ to 150^oC.

Electrical Specifications $T_C = 25^oC$, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	V_{GS} = 0V, I_D = 250μA, (Figure 10)	100	-	-	V
Gate to Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}$, I_D = 250μA	2.0	-	4.0	V
Zero-Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	V_{DS} = Rated BV_{DSS}, V_{GS} = 0V	-	-	25	μA
		V_{DS} = 0.8 x Rated BV_{DSS}, V_{GS} = 0V, $T_J = 150^oC$	-	-	250	μA
On-State Drain Current (Note 2)	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}$, V_{GS} = 10V (Figure 7)	5.6	-	-	A
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}	V_{GS} = ±20V	-	-	±100	nA
Drain to Source On Resistance (Note 2)	$r_{DS(ON)}$	V_{GS} = 10V, I_D = 3.4A (Figures 8, 9)	-	0.4	0.54	Ω
Forward Transconductance (Note 2)	g_{fs}	V_{GS} = 50V, I_D = 3.4A (Figure 12)	1.3	2.0	-	S
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	$I_D \simeq 5.6A$, R_{GS} = 24Ω, V_{DD} = 50V, R_L = 9Ω, V_{DD} = 50V, V_{GS} = 10V MOSFET switching times are essentially independent of operating temperature	-	8	11	ns
Rise Time	t_r		-	25	36	ns
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	15	21	ns
Fall Time	t_f		-	12	21	ns
Total Gate Charge (Gate to Source + Gate to Drain)	$Q_{g(TOT)}$	V_{GS} = 10V, I_D = 5.6A, V_{DS} = 0.8 x Rated BV_{DSS}, $I_{G(REF)}$ = 1.5mA (Figure 14) Gate charge is essentially independent of operating temperature.	-	5.0	7.7	nC
Gate to Source Charge	Q_{gs}		-	2.0	-	nC
Gate to Drain "Miller" Charge	Q_{gd}		-	3.0	-	nC
Input Capacitance	C_{ISS}	V_{GS} = 0V, V_{DS} = 25V, f = 1.0MHz (Figure 11)	-	135	-	pF
Output Capacitance	C_{OSS}		-	80	-	pF
Reverse-Transfer Capacitance	C_{RSS}		-	20	-	pF
Internal Drain Inductance	L_D	Measured From the Contact Screw On Tab To Center of Die	-	3.5	-	nH
		Measured From the Drain Lead, 6mm (0.25in) From Package to Center of Die	-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	L_S	Measured From The Source Lead, 6mm (0.25in) From Header to Source Bonding Pad	-	7.5	-	nH
Junction to Case	$R_{\theta JC}$		-	-	3.5	°C/W
Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	Free air operation	-	-	80	°C/W

Modified MOSFET Symbol Showing the Internal Devices Inductances



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

December 1995

LF351 Wide Bandwidth JFET Input Operational Amplifier

General Description

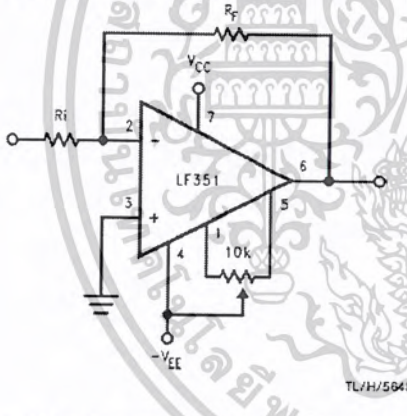
The LF351 is a low cost high speed JFET input operational amplifier with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET II™ technology). The device requires a low supply current and yet maintains a large gain bandwidth product and a fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The LF351 is pin compatible with the standard LM741 and uses the same offset voltage adjustment circuitry. This feature allows designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM741 designs.

The LF351 may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample-and-hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The device has low noise and offset voltage drift, but for applications where these requirements are critical, the LF356 is recommended. If maximum supply current is important, however, the LF351 is the better choice.

Features

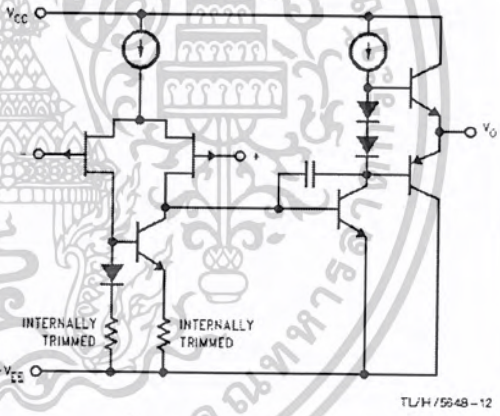
■ Internally trimmed offset voltage	10 mV
■ Low input bias current	50 pA
■ Low input noise voltage	25 nV/$\sqrt{Hz}$
■ Low input noise current	0.01 pA/$\sqrt{Hz}$
■ Wide gain bandwidth	4 MHz
■ High slew rate	13 V/μs
■ Low supply current	1.8 mA
■ High input impedance	$10^{12}\Omega$
■ Low total harmonic distortion $A_V = 10$, $R_L = 10k$, $V_O = 20$ Vp-p, BW = 20 Hz–20 kHz	<0.02%
■ Low 1/f noise corner	50 Hz
■ Fast settling time to 0.01%	2 μs

Typical Connection



TL/H/5648–11

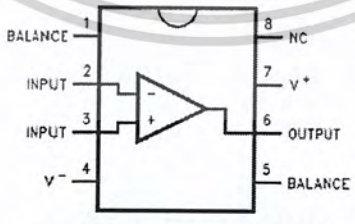
Simplified Schematic



TL/H/5648–12

Connection Diagrams

Dual-In-Line Package



TL/H/5648–13

Order Number LF351M or LF351N
See NS Package Number M08A or N08E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

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

Supply Voltage	±18V
Power Dissipation (Notes 1 and 6)	670 mW
Operating Temperature Range	0°C to +70°C
$T_{J(MAX)}$	115°C
Differential Input Voltage	±30V
Input Voltage Range (Note 2)	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C
Lead Temp. (Soldering, 10 sec.)	
Metal Can	300°C
DIP	260°C

θ_{JA}	
N Package	120°C/W
M Package	TBD
Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 sec.)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

ESD rating to be determined.

DC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF351			Units
			Min	Typ	Max	
V_{OS}	Input Offset Voltage	$R_S = 10\ k\Omega$, $T_A = 25°C$		5	10	mV
		Over Temperature			13	mV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Average TC of Input Offset Voltage	$R_S = 10\ k\Omega$		10		μV/°C
I_{OS}	Input Offset Current	$T_j = 25°C$, (Notes 3, 4)		25	100	pA
		$T_j \leq 70°C$			4	nA
I_B	Input Bias Current	$T_j = 25°C$, (Notes 3, 4)		50	200	pA
		$T_j \leq +70°C$			8	nA
R_{IN}	Input Resistance	$T_j = 25°C$		10^{12}		Ω
A_{VOL}	Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15V$, $T_A = 25°C$	25	100		V/mV
		$V_O = \pm 10V$, $R_L = 2\ k\Omega$				
		Over Temperature	15			V/mV
V_O	Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15V$, $R_L = 10\ k\Omega$	±12	±13.5		V
V_{CM}	Input Common-Mode Voltage Range	$V_S = \pm 15V$	±11	+15		V
				−12		V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	$R_S \leq 10\ k\Omega$	70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 5)	70	100		dB
I_S	Supply Current			1.8	3.4	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF351			Units
			Min	Typ	Max	
SR	Slew Rate	$V_S = \pm 15V$, $T_A = 25°C$		13		$V/\mu s$
GBW	Gain Bandwidth Product	$V_S = \pm 15V$, $T_A = 25°C$		4		MHz
e_n	Equivalent Input Noise Voltage	$T_A = 25°C$, $R_S = 100\Omega$, $f = 1000$ Hz		25		$nV/\sqrt{Hz}$
i_n	Equivalent Input Noise Current	$T_J = 25°C$, $f = 1000$ Hz		0.01		$pA/\sqrt{Hz}$

Note 1: For operating at elevated temperature, the device must be derated based on the thermal resistance, θ_{JA}.

Note 2: Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

Note 3: These specifications apply for $V_S = \pm 15V$ and $0°C \le T_A \le +70°C$. V_{OS}, I_B and I_{OS} are measured at $V_{CM} = 0$.

Note 4: The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature, T_J. Due to the limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation, P_D. $T_J = T_A + \theta_{JA} P_D$ where θ_{JA} is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

Note 5: Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously in accordance with common practice. From $\pm 15V$ to $\pm 5V$.

Note 6: Max. Power Dissipation is defined by the package characteristics. Operating the part near the Max. Power Dissipation may cause the part to operate outside guaranteed limits.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by MPX53/D

50 kPa Uncompensated Silicon Pressure Sensors

MPX53
MPXV53GC
SERIES

0 to 50 kPa (0–7.25 psi)
60 mV FULL SCALE SPAN
(TYPICAL)

The MPX53/MPXV53GC series silicon piezoresistive pressure sensors provide a very accurate and linear voltage output — directly proportional to the applied pressure. These standard, low cost, uncompensated sensors permit manufacturers to design and add their own external temperature compensating and signal conditioning networks. Compensation techniques are simplified because of the predictability of Motorola's single element strain gauge design.

Features

- Low Cost
- Patented Silicon Shear Stress Strain Gauge Design
- Ratiometric to Supply Voltage
- Easy to Use Chip Carrier Package Options
- 60 mV Span (Typ)
- Differential and Gauge Options

Application Examples

- Air Movement Control
- Environmental Control Systems
- Level Indicators
- Leak Detection
- Medical Instrumentation
- Industrial Controls
- Pneumatic Control Systems
- Robotics

Figure 1 shows a schematic of the internal circuitry on the stand–alone pressure sensor chip.

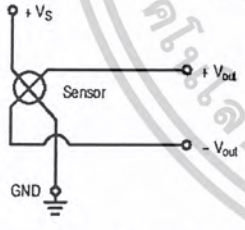


Figure 1. Uncompensated Pressure Sensor Schematic

SMALL OUTLINE PACKAGE

MPXV53GC6U
CASE 482A

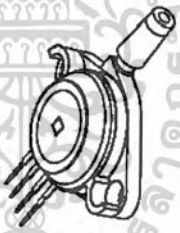
MPXV53GC7U
CASE 482C

NOTE: Pin 1 is the notched pin.

PIN NUMBER			
1	Gnd	5	N/C
2	$+V_{out}$	6	N/C
3	V_S	7	N/C
4	$-V_{out}$	8	N/C

UNIBODY PACKAGE

MPX53D
CASE 344



MPX53GP
CASE 344B

MPX53DP
CASE 344C

NOTE: Pin 1 is the notched pin.

PIN NUMBER			
1	Gnd	3	V_S
2	$+V_{out}$	4	$-V_{out}$

VOLTAGE OUTPUT versus APPLIED DIFFERENTIAL PRESSURE

The differential voltage output of the sensor is directly proportional to the differential pressure applied.

The output voltage of the differential or gauge sensor increases with increasing pressure applied to the pressure side (P1) relative to the vacuum side (P2). Similarly, output voltage increases as increasing vacuum is applied to the vacuum side (P2) relative to the pressure side (P1).

Replaces MPX50/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MPX53 MPXV53GC SERIES

MAXIMUM RATINGS(NOTE)

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Pressure (P1 > P2)	P_{max}	200	kPa
Storage Temperature	T_{stg}	–40 to +125	°C
Operating Temperature	T_A	–40 to +125	°C

NOTE: Exposure beyond the specified limits may cause permanent damage or degradation to the device.

OPERATING CHARACTERISTICS (V_S = 3.0 Vdc, T_A = 25°C unless otherwise noted, P1 > P2)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Pressure Range(1)	P_{OP}	0	—	50	kPa
Supply Voltage(2)	V_S	—	3.0	6.0	Vdc
Supply Current	I_o	—	6.0	—	mAdc
Full Scale Span(3)	V_{FSS}	45	60	90	mV
Offset(4)	V_{off}	0	20	35	mV
Sensitivity	$\Delta V/\Delta P$	—	1.2	—	mV/kPa
Linearity(5)	—	–0.6	—	0.4	$\%V_{FSS}$
Pressure Hysteresis(5) (0 to 50 kPa)	—	—	± 0.1	—	$\%V_{FSS}$
Temperature Hysteresis(5) (–40°C to +125°C)	—	—	± 0.5	—	$\%V_{FSS}$
Temperature Coefficient of Full Scale Span(5)	TCV_{FSS}	–0.22	—	–0.16	$\%V_{FSS}$/°C
Temperature Coefficient of Offset(5)	TCV_{off}	—	± 15	—	µV/°C
Temperature Coefficient of Resistance(5)	TCR	0.31	—	0.37	$\%Z_{in}$/°C
Input Impedance	Z_{in}	355	—	505	Ω
Output Impedance	Z_{out}	750	—	1875	Ω
Response Time(6) (10% to 90%)	tR	—	1.0	—	ms
Warm–Up	—	—	20	—	ms
Offset Stability(7)	—	—	± 0.5	—	$\%V_{FSS}$

NOTES:

1. 1.0 kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi.
2. Device is ratiometric within this specified excitation range. Operating the device above the specified excitation range may induce additional error due to device self–heating.
3. Full Scale Span (V_{FSS}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
4. Offset (V_{off}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
5. Accuracy (error budget) consists of the following:
   - Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure, using end point method, over the specified pressure range.
   - Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.
   - Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from the minimum or maximum rated pressure, at 25°C.
   - TcSpan: Output deviation at full rated pressure over the temperature range of 0 to 85°C, relative to 25°C.
   - TcOffset: Output deviation with minimum rated pressure applied, over the temperature range of 0 to 85°C, relative to 25°C.
   - TCR: Z_{in} deviation with minimum rated pressure applied, over the temperature range of –40°C to +125°C, relative to 25°C.
6. Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.
7. Offset stability is the product's output deviation when subjected to 1000 hours of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by MPX10/D

sensēon

10 kPa Uncompensated Silicon Pressure Sensors

MPX10 SERIES

0 to 10 kPa (0–1.45 psi)
35 mV FULL SCALE SPAN
(TYPICAL)

The MPX10 series device is a silicon piezoresistive pressure sensor providing a very accurate and linear voltage output — directly proportional to the applied pressure. This standard, low cost, uncompensated sensor permits manufacturers to design and add their own external temperature compensating and signal conditioning networks. Compensation techniques are simplified because of the predictability of Motorola's single element strain gauge design.

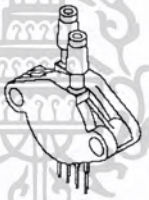
Features

- Low Cost
- Patented Silicon Shear Stress Strain Gauge Design
- Ratiometric to Supply Voltage
- Easy to Use Chip Carrier Package Options
- Differential and Gauge Options

Application Examples

- Air Movement Control
- Environmental Control Systems
- Level Indicators
- Leak Detection
- Medical Instrumentation
- Industrial Controls
- Pneumatic Control Systems
- Robotics

BASIC CHIP CARRIER ELEMENT CASE 344–15, STYLE 1



DIFFERENTIAL PORT OPTION CASE 344C–01, STYLE 1

NOTE: Pin 1 is the notched pin.

PIN NUMBER			
1	Gnd	3	V_S
2	$+V_{out}$	4	$-V_{out}$

Figure 1 shows a schematic of the internal circuitry on the stand–alone pressure sensor chip.

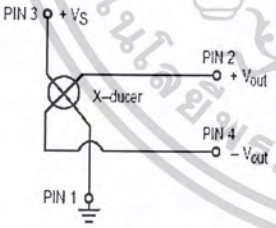


Figure 1. Uncompensated Pressure Sensor Schematic

VOLTAGE OUTPUT versus APPLIED DIFFERENTIAL PRESSURE

The differential voltage output of the X–ducer is directly proportional to the differential pressure applied.

The output voltage of the differential or gauge sensor increases with increasing pressure applied to the pressure side (P1) relative to the vacuum side (P2). Similarly, output voltage increases as increasing vacuum is applied to the vacuum side (P2) relative to the pressure side (P1).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MPX10 SERIES

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Overpressure(8) (P1 > P2)	P_{max}	75	kPa
Burst Pressure(8) (P1 > P2)	P_{burst}	100	kPa
Storage Temperature	T_{stg}	−40 to +125	°C
Operating Temperature	T_A	−40 to +125	°C

OPERATING CHARACTERISTICS (V_S = 3.0 Vdc, T_A = 25°C unless otherwise noted, P1 > P2)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Differential Pressure Range(1)	P_{OP}	0	—	10	kPa
Supply Voltage(2)	V_S	—	3.0	6.0	Vdc
Supply Current	I_o	—	6.0	—	mAdc
Full Scale Span(3)	V_{FSS}	20	35	50	mV
Offset(4)	V_{off}	0	20	35	mV
Sensitivity	$\Delta V/\Delta P$	—	3.5	—	mV/kPa
Linearity(5)	—	−1.0	—	1.0	$\%V_{FSS}$
Pressure Hysteresis(5) (0 to 10 kPa)	—	—	±0.1	—	$\%V_{FSS}$
Temperature Hysteresis(5) (−40°C to +125°C)	—	—	±0.5	—	$\%V_{FSS}$
Temperature Coefficient of Full Scale Span(5)	TCV_{FSS}	−0.22	—	−0.16	$\%V_{FSS}$/°C
Temperature Coefficient of Offset(5)	TCV_{off}	—	±15	—	µV/°C
Temperature Coefficient of Resistance(5)	TCR	0.21	—	0.27	$\%Z_{in}$/°C
Input Impedance	Z_{in}	400	—	550	Ω
Output Impedance	Z_{out}	750	—	1250	Ω
Response Time(6) (10% to 90%)	t_R	—	1.0	—	ms
Warm-Up	—	—	20	—	ms
Offset Stability(9)	—	—	±0.5	—	$\%V_{FSS}$

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Weight (Basic Element, Case 344–15)	—	—	2.0	—	Grams
Common Mode Line Pressure(7)	—	—	—	690	kPa

NOTES:

1. 1.0 kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi.
2. Device is ratiometric within this specified excitation range. Operating the device above the specified excitation range may induce additional error due to device self–heating.
3. Full Scale Span (V_{FSS}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
4. Offset (V_{off}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
5. Accuracy (error budget) consists of the following:
   - Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure, using end point method, over the specified pressure range.
   - Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.
   - Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from the minimum or maximum rated pressure, at 25°C.
   - TcSpan: Output deviation at full rated pressure over the temperature range of 0 to 85°C, relative to 25°C.
   - TcOffset: Output deviation with minimum rated pressure applied, over the temperature range of 0 to 85°C, relative to 25°C.
   - TCR: Z_{in} deviation with minimum rated pressure applied, over the temperature range of −40°C to +125°C, relative to 25°C.
6. Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.
7. Common mode pressures beyond specified may result in leakage at the case–to–lead interface.
8. Exposure beyond these limits may cause permanent damage or degradation to the device.
9. Offset stability is the product's output deviation when subjected to 1000 hours of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NEW

Radiometrix

Issue 0144-2-1WU | BiM2-433 | 12 February 2002

433MHz high speed FM radio transceiver module

The BiM2 transceiver is an enhanced replacement for our original BiM module. It offers greater transmit power, higher data rates, greatly improved receiver interference rejection and a lower profile. The module is ideal for enabling bi-directional wireless connectivity in battery powered or handheld applications

BiM2 Transceiver

Features

- CE Certified by independent Notified Body according to the R&TTE Directive (1999/5/EC)
- Verified to comply with Radio standard ETSI EN 300 220-3 by UKAS accredited Test Laboratory
- Verified to comply with EMC standard ETSI EN 301 489-3 by UKAS accredited Test Laboratory
- Usable range to 200 metres external, 50 metres in building
- Data rates up to 160kbps
- SAW controlled 10mW FM transmitter
- Double conversion FM superhet receiver
- SAW front end filter and full screening
- Plug in replacement for Radiometrix BiM-433-40
- 3V or 5Volt supply at < 20mA

The BiM2 is a half duplex radio transceiver module for use in high-speed bi-directional data transfer applications at ranges up to 200metres. The module operates on the European licence exempt frequency of 433.92MHz. The small footprint of 23 x 33mm and low profile of 4mm together with low power requirements of <20mA @ 3 to 5 Volts enable convenient PCB installation. The high raw data rate capability of 64kbps and fast state change times will support high data throughput of up to 3 kbyte/s in 'streaming' applications or alternatively allows very short air time utilization in multi-node scanning networks.

Applications

- PDA's, organizers and laptops
- Handheld terminals
- EPOS equipment, barcode scanners, belt clip printers
- Data loggers
- Audience response systems
- In Building environmental monitoring and control
- High end security and fire alarms
- Restaurant ordering systems
- Vehicle data up/download

Further information will be available imminently, however, BiM-433-F data sheets contains applications information that is equally applicable to the new BiM2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional overview

The transmit section of the BiM2 comprises of a SAW stabilised and FM modulated 433.92MHz oscillator feeding a 10mW buffer/output stage. Operation is controlled by a TX select line, the output achieving full power within 100µs of this line being pulled low. Modulation is applied at the TXD input and may be either a serial digital stream at the same levels as the module's supply rails (digital drive) or a high level analogue waveform with a pk to pk amplitude close to the modules supply level (linear drive). Modulation shaping is performed internally by a 2nd order 44kHz LPF to minimize spectral spreading. The RF output is filtered to meet the requirements of EN 300-220-3 and fed via a fast antenna changeover switch to the 50Ω antenna pin.

The receive section of the BiM2 is a double conversion FM superhet with IF's of 16MHz and 150kHz. The dual gate MOSFET LNA is followed by a 750kHz bandwidth SAW filter to provide >60 dB's rejection of all out of band signals. The receiver is controlled by an active low select line and will power up in <1ms. A post-detection 2nd order 35kHz LPF establishes the signal bandwidth and ensures the clean operation of the subsequent adaptive data slicer. The slicer has a 2ms averaging time constant and is optimised for balanced data, e.g. bi-phase codes. A fast acting carrier detect output will indicate the presence of any RF signals.

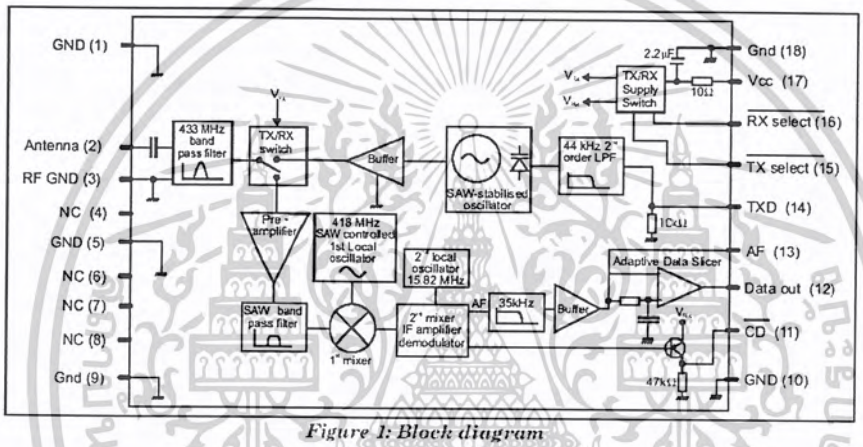


Figure 1: Block diagram

Pin description:

RF GND *pin 1 & 3*
RF ground pin, internally connected to the module screen and pin 5, 9, 10, 18 (0 Volt). This pin should be connected to the RF return path (e.g. coax braid, main PCB ground plane etc.)

Antenna *pin 2*
50Ω RF input from the antenna, it is DC isolated internally. (*see* antenna for suggested antenna/feeds).

0Volt *pins 5, 9, 10, 18*
Supply ground connection and screen.

CD *pin 11*
Carrier Detect - When the receiver is enabled, a low indicates a signal above the detection threshold is being received. The output is high impedance (50kΩ) and should only be used to drive a CMOS logic input.

RXD *pin 12*
This digital output from the internal data slicer is a squared version of the signal on pin 13 (AF). It may be used to drive external decoders. The data is true data, i.e. as fed to the transmitter. Load impedance should be >1kΩ and <1nF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AF *pin 13*
This is a buffered and filtered analogue output from the FM demodulator. It has a standing DC bias of 1.2 volts and 400mV p-p base band signal. It is useful as a test point or to drive linear decoders. Load impedance should be >2kΩ and <100pF.

TXD *pin 14*
This DC coupled modulation input will accept either serial digital data (0V to Vcc levels) or High level linear signals. Input impedance is 10kΩ.

TX select *pin 15*
Active low transmit select. 10kΩ internal pull up to Vcc.

RX select *pin 16*
Active low receive select. 10kΩ internal pull up to Vcc.

Pin 15 TX	Pin 16 RX	Function
1	1	power down (<1μA)
1	0	receiver enabled
0	1	transmitter enabled
0	0	self test loop back

Note: Loop test allows the receivers to monitor the transmitted signal. The receiver will not receive external signals whilst the TX of the module is enabled.

Vcc *pin 17*
+ve supply pin. +3.0 to +5.5 volts @ <20mA . The supply must be clean < 20mVp-p ripple. A 2.2μF decoupling capacitor and 10Ω series resistor are used internally to filter the supply.

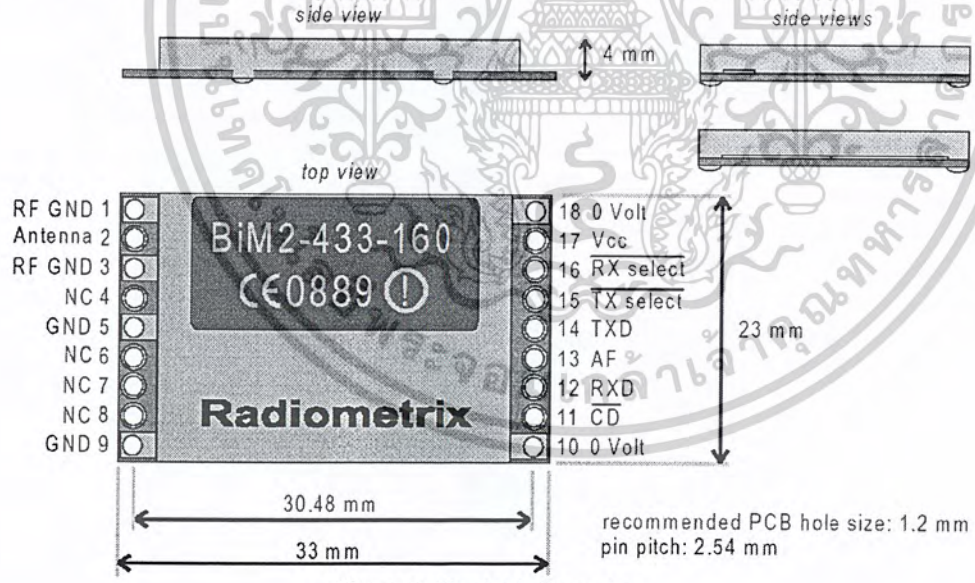


Figure 2: Physical dimension

Weight: 5g (typical with pins)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Survival Maximums:

Operating temperature: -10°C to + 55°C
Extended operation at -20°C to + 70°C
Reduced specification
Storage temperature : -40°C to + 100°C

Vcc (pin 17) -0.1V to +10.0 V
All other pins -0.1V to +Vcc+0.6V
Antenna (pin 2) ±50 V @ <10MHz , +20dBm @ > 10MHz

Note: Operation of the BiM2 above 5.5 volt with efficient antenna may result in radiated power levels above the licensed power level.

Figures apply to 5V versions unless otherwise noted
Temperature 20° C unless noted

Electrical Performance	pin	min.	typ.	max.	units	notes
DC Levels						
supply voltage, Vcc *(std. version)*	17	4.0	5	5.5	V	
supply voltage, Vcc *(3V version)*	17	3.0	3.3	4.0	V	
TX supply current, Vcc *(std)*	17	10	14	16	mA	
TX supply current, Vcc *(3.3V)*	17	6	8	10	mA	3.3V supply
RX supply current, Vcc *(std)*	17	12	18	21	mA	
RX supply current, Vcc *(3.3V)*	17	10	14	17	mA	3.3V supply
supply ripple allowed	17	-	-	20	mV_{pk-pk}	below 1MHz
AF output DC level	13	1.0	1.25	1.5	V	
load capacitance on AF / Data	12,13	-	-	100	pF	
CD output load resistance	11	220	-	-	kΩ	
Interface levels						
data output high, 100µA source	12	-	Vcc-0.6	-	V	RXD high
data output low, 100µA sink	12	-	0.4	-	V	RXD low
TX & RX select, high *(deselect)*	15, 16	Vcc-0.5		Vcc	V	
low *(select)*	15, 16	0		0.5	V	
Internal select pull-ups	15,16	-	10	-	kΩ	
TXD, high	14	Vcc-0.5		Vcc	V	
low	14	0		0.5	V	

RF Parameters	pin	min.	typ.	max.	units	notes
Antenna pin impedance	2	-	50	-	Ω	TX or RX
RF centre frequency	-	-	433.92	-	MHz	
Transmitter						
RF power output, Vcc std	2	+7	+10	+12	dBm	5V
RF power output, Vcc 3.3V	2	+3	+6	+8	dBm	3.3V
Initial frequency accuracy	-	-50	0	+50	kHz	
Overall frequency accuracy	-	-100	0	+100	kHz	
FM deviation	-	20	30	40	kHz	
Modulation bandwidth	-	DC	-	32	kHz	
Modulation bandwidth		DC	-	80	kHz	160kpbs
Modulation distortion	-	-	-	15	%	
Receiver						
RF sensitivity, 10dB S/N	2, 13	-95	-101		dBm	
RF sensitivity, 10dB S/N	2, 13	-91	-96		dBm	3.3V
RF sensitivity, 10dB S/N	2, 13		-94		dBm	160kbps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RF Parameters	pin	min.	typ.	max.	units	notes
RF sensitivity, 1ppm BER	2, 12	-87	-93		dBm	5V
RF sensitivity, 1ppm BER	2, 12	-82	-88		dBm	3.3V
RF sensitivity, 1ppm BER	2, 12		-90		dBm	160kbps
CD threshold	2, 11	-98	-104		dBm	5V
CD threshold	2, 11	-92	-98		dBm	3.3V
CD threshold	2, 11		-96		dBm	160kbps
IF bandwidth	-	-	500	-	kHz	
CD bandwidth	2, 11	-	400	-	kHz	
Ultimate (S+N)/N, -70dBm input	13	-	>40	-	dB	
Ultimate (S+N)/N, -70dBm input	13		30		dB	160kbps
maximum operating RF input	2	-	+10	-	dBm	
AF output level	13	-	400	-	mV	peak to peak
Initial frequency accuracy	-	-50	0	+50	kHz	CD centre

EMC Parameters	pin	min.	typ.	max.	units	notes
Rejections: rejection figures are relative to a 15dB (S+N)/N wanted signal						
Co-channel rejection	2	-	-10	-	dB	
Image rejection (f_{RF}-$2f_{IF}$)	2	-	64	-	dB	402.0MHz
Out of band rejection	2	-	>70	-	dB	DC to 2GHz
AM rejection	2	-	>30	-	dB	
Out of band blocking level	2	-	>-15	-	dBm	
Out of band IP_3	2	-	+1	-	dBm	
Radiations						
RX LO leakage, conducted	2	-	-60	-57	dBm	
RX LO leakage, radiated	-	-	-70	-	dBm	
TX 2nd harmonic	2	-	-42	-36	dBm	
TX harmonics >1GHz	2	-	-40	-30	dBm	
TX spectral bandwidth @-40dBc	2	-	-	250	kHz	worst case

Baseband Transfer Performance	pin	min.	typ.	max.	units	notes
TX→ RX						
Linear baseband BW @-3dB	13	0.08	-	34	kHz	TXD to AF
Linear baseband BW @-3dB	13	0.08	-	80	kHz	TXD to AF
Balance code bit rate	12	-	64	-	kbps	
Time between code transitions	14	15.6	-	1000	µs	
Time between code transitions	14	15.6	-	120	µs	S version
Time between code transitions	14	6.25	-	100	µs	160kbps
Averaged code mark:space	14	30	50	70	%	in any 2ms
preamble duration	14	3	-	-	ms	01010101 pattern
preamble duration	14	1	-	-	ms	S version
link delay	14, 12	-	15	-	µs	TXD to RXD
Dynamic Timing						
Power up with signal present						
Power up to valid CD. t_{PU-CD}	11	-	0.7	1	ms	
Power up to stable AF. t_{PU-AF}	13	-	0.5	1	ms	
Power up to stable data, $t_{PU-data}$	12	-	3	5	ms	
Power up to stable data, $t_{PU-data}$	12	-		1	ms	1, S version
Power up to stable data, $t_{PU-data}$	12	-	-	0.8	ms	160kbps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Baseband Transfer Performance	pin	min.	typ.	max.	units	notes
Signal applied with supply on						
Signal to valid CD, t_{sig-CD}	11	-	0.25	0.5	ms	
Signal to stable data, $t_{sig-data}$	12	-	3	4	ms	
Signal to stable data, $t_{sig-data}$	12	-	-	1	ms	1. S version
Signal to stable data, $t_{sig-data}$	12	-	-	0.5	ms	160kbps
TX power up to full RF	2	-	100	-	µs	

Note 1: from 45% to 55% duty cycle

Antenna requirements

Three types of integral antenna are recommended and approved for use with the module:

A) ***Helical*** Wire coil, connected directly to pin 2, open circuit at other end. This antenna is very efficient given it's small size (20mm x 4mm dia.). The helical is a high Q antenna, trim the wire length or expand the coil for optimum results. The helical de-tunes badly with proximity to other conductive objects.

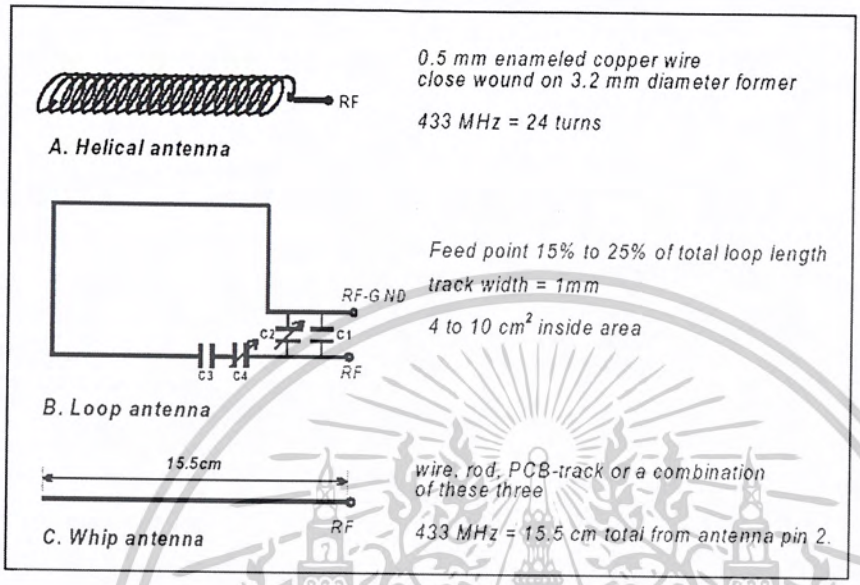
B) ***Loop*** A loop of PCB track tuned by a fixed or variable capacitor to ground at the 'hot' end and fed from pin 2 at a point 20% from the ground end. Loops have high immunity to proximity de-tuning.

C) ***Whip*** This is a wire, rod ,PCB track or combination connected directly to pin 2 of the module. Optimum total length is 16cm (1/4 wave @ 433MHz). Keep the open circuit (hot) end well away from metal components to prevent serious de-tuning. Whips are ground plane sensitive and will benefit from internal 1/4 wave earthed radial(s) if the product is small and plastic cased.

	A *helical*	B *loop*	C *whip*
Ultimate performance	**	*	***
Easy of design set-up	**	*	***
Size	***	**	*
Immunity proximity effects	**	***	*
Range open ground to similar antenna			200m

The antenna choice and position directly controls the system range. Keep it clear of other metal in the system, particularly the 'hot' end. The best position by far, is sticking out the top of the product. This is often not desirable for practical/ergonomic reasons thus a compromise may need to be reached. If an internal antenna must be used, try to keep it away from other metal components, particularly large ones like transformers, batteries and PCB tracks/earth plane. The space around the antenna is as important as the antenna itself.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Ordering information

The standard BiM2, order code BiM2-433-64 is supplied with pins fitted for operation on 5 volt supplies (4 to 5.5v)

Versions and Variants

BiM2-433-64-3V

A 3 volt version is available, BiM-433-64-3V for operation at 3.3volts (3.0 to 4.0 V) it is identical to the standard version but has been tested and aligned for operation at 3.3v.

BiM2-433-64-S

This is intended for RPC or Manchester code only and has fast settling time (maximum 1ms)

Additionally, for volume orders, Radiometrix can supply the BiM2 to the customers' PCB pin requirements or even without any pins.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของ Sensorเบอร์ MPX 100P

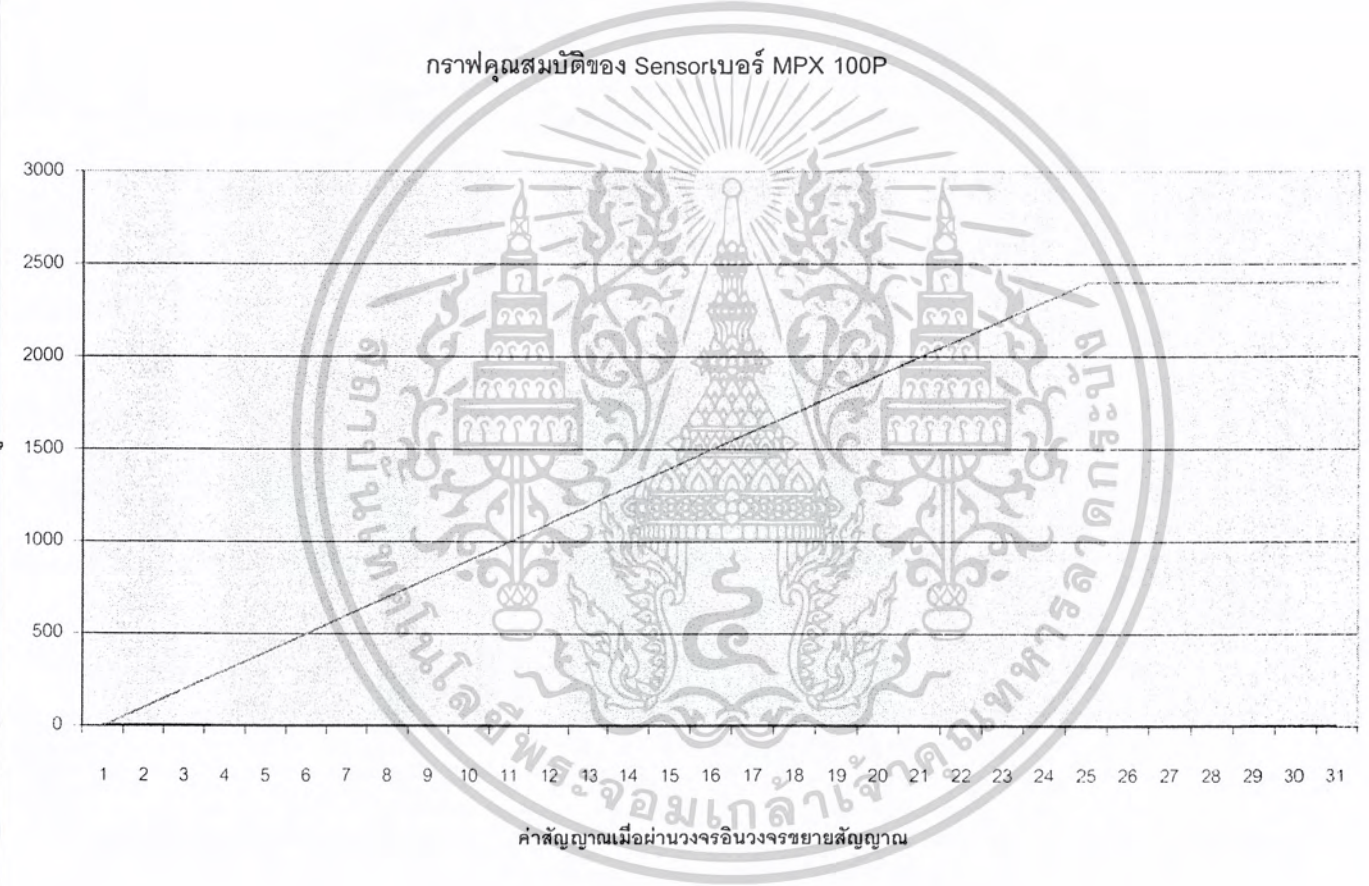
เมื่อทำการวัดระดับน้ำในถังที่มี ความกวาง 10 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร และความสูง 30 เซนติเมตร โดยจะได้ค่าของสัญญาณ output ดังตารางต่อไปนี้

ความสูงของระดับน้ำ	สัญญาณ โดยตรงจากขา Sensor	สัญญาณเมื่อผ่านวงจรอินวงจรขยายสัญญาณ	ปริมาตรของเหลว (ลูกบาตรเซนติเมตร)
0	0.027	3.922	0
1	0.027	3.986	100
2	0.028	4.055	200
3	0.028	4.119	300
4	0.029	4.185	400
5	0.029	4.233	500
6	0.029	4.337	600
7	0.030	4.386	700
8	0.030	4.440	800
9	0.031	4.532	900
10	0.032	4.595	1000
11	0.032	4.686	1100
12	0.033	4.747	1200
13	0.033	4.854	1300
14	0.034	4.865	1400
15	0.034	4.927	1500
16	0.034	4.991	1600
17	0.035	5.071	1700
18	0.035	5.129	1800
19	0.036	5.230	1900
20	0.037	5.285	2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสูงของระดับน้ำ	สัญญาณ โดยตรงจากขา Sensor	สัญญาณเมื่อผ่านวงจรอินวงจรขยายสัญญาณ	ปริมาตรของเหลว
21	0.037	5.356	2100
22	0.037	5.413	2200
23	0.037	5.482	2300
24	0.038	5.545	2400
25	0.038	5.618	2500
26	0.039	5.686	2600
27	0.040	5.750	2700
28	0.040	5.816	2800
29	0.041	5.889	2900
30	0.041	5.953	3000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานระบบการวัดและควบคุมกระบวนการแบบไร้สายนี้ ได้พบอุปสรรคบ้างเช่นกันแต่สุดท้ายก็สำเร็จไปได้ด้วยดี ทั้งนี้ก็เพราะได้รับคำปรึกษา คำเสนอแนะ และความช่วยเหลือต่าง ๆ จากท่านอาจารย์วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์ ตลอดจนความรู้พื้นฐานต่าง ๆ ที่สำคัญที่นำมาใช้ในการใช้ในการทำโครงงานนี้จากท่านคณาจารย์ทั้งหลายที่ถ่ายทอดผ่านความรู้ในทางวิชาการต่าง ๆ รวมไปถึงเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกทางด้านอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงงานนี้ และกำลังใจจากเพื่อน ๆ ทุกคน ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณทุกท่านไว้ ณ ที่นี้ด้วย และจะนำความรู้ที่ได้จากการทำโครง-งานชิ้นนี้ไปประยุกต์ใช้งานอื่น ๆ ต่อไป

เกรียงไกร หวายนำ

โฆษิต บุญศรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ผศ.ดร.วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์, "ออปแอมป์และการประมวลผลสัญญาณอนาลอก", บริษัท ว. เพ็ ชรสกุล จำกัด 278 หน้า, 2545
2 ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, "ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช", บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์, 399 หน้า, 2544
3 อภิชาต ภู่พลับ, "เริ่มต้นการเขียนโปรแกรมติดต่อและควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วย Visual Basic", Infopress Developer Book, 226 หน้า, 2546
4 ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, "ระบบดาต้าแอกควิซิชั่น", บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์, 82 หน้า, 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้