

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

วงจรแสดงเส้นกราฟบนจอ VGA ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

DISPLAY WAVEFORM VIA VGA USING MICROCONTROLLER



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 61509
วัน,เดือน,ปี 18.0.ค. 2549

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชา วิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง วงจรแสดงเส้นกราฟบนจอ VGA ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

Display waveform via VGA using Microcontroller

ผู้จัดทำ

- | | | |
|--------------------------|--------------|-----------|
| 1. นาย กิตติชัย แสงสาตร์ | รหัสประจำตัว | 455015310 |
| 2. นาย อูคร สุวรรณเพชร | รหัสประจำตัว | 455015350 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแสดงเส้นกราฟบนจอ VGA ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

Display waveform via VGA using Microcontroller

นายกิตติชัย แสงสาตร์ 45015310

นายอุคร สุวรรณเพชร 45015350

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ วรรณดี เพชรหมณีล้ำค่า

ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอการแสดงผลข้อมูลบนจอ VGA ด้วยวงจรแสดงเส้นกราฟบนจอ VGA ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการแสดงผลในรูปแบบของเส้นกราฟบนจอภาพในรูปแบบต่าง ๆ ตามค่าหรือลักษณะของข้อมูลที่ได้รับเข้ามาโดยข้อมูลของเส้นกราฟจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำ (RAM)

มาตรฐานของจอ VGA จะแสดงผลข้อมูลบนจอภาพแบบ CRT โดยจอภาพต้องการข้อมูลที่อยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งสัญญาณเหล่านี้ได้แก่ สัญญาณ RGB สัญญาณ H.SYNC และสัญญาณ V.SYNC การแสดงสีบนจอภาพจะใช้สัญญาณ RGB ซึ่งเป็นสัญญาณขนาด 3 บิต และเป็น 3 เม็ดสีหลัก

โครงการนี้นำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล PIC เบอร์ PIC16F877 มาทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการเชื่อมต่อข้อมูล การประมวลผลจากหน่วยความจำและเป็นตัวกำเนิดสัญญาณ H.SYNC กับสัญญาณ V.SYNC

Abstract

This thesis presents the VGA monitor is used to display waveform via VGA using microcontroller with any data received to display for any information. The information is registered in RAM.

To VGA standard display visual information on a screen correctly – whether it is a CRT monitor. The monitor need to convert the information to a sequence to electrical signals and send the signals in and orderly and timed way to the display device. There is usually one sequence each for RED, GREEN, BLUE and H.SYNC, V.SYNC intensity. The screen mode settings are general targeted for three bit modes.

This project by using microcontroller PIC 16F877 number for interfacing information and generated H.SYNC with V.SYNC signal pulses.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
สารบัญ	II
สารบัญรูปภาพ	IV
สารบัญตาราง	V
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 โครงสร้างทางกายภาพของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x	3
2.1.1 การจัดสรรหน่วยความจำของ PIC16F87x	4
2.1.2 พอร์ตอินพุตเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x	6
2.2 โปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์	13
2.2.1 การใช้งานไทมเมอร์ / เคาน์เตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์	13
2.2.2 การใช้งานโมดูล CCP ในไมโครคอนโทรลเลอร์	13
2.3 หน่วยความจำชั่วคราว RAM (Random Access Memory)	18
2.3.1 สถาปัตยกรรมของหน่วยความจำชั่วคราว	18
2.3.2 กระบวนการอ่าน(Read Operation)	19
2.3.3 กระบวนการเขียน(Write Operation)	19
2.4 จอภาพ (Monitor)	21
2.4.1 การทำงานของจอภาพ	22
2.4.2 คีอพิช(Dot Pitch (Phosphor Pitch))	22
2.4.3 อัตราการสแกนภาพ	23
2.4.4 การกระจายรังสีต่ำ(Low - Radiation)	24
2.4.5 ความละเอียด(Resolution)	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบ

3.1 โครงสร้างของวงจรแสดงเส้นกราฟบนจอ VGA ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	26
3.2 การสร้างสัญญาณ H.SYNC	27
3.3 การสร้างสัญญาณ V.SYNC	30
3.4 การสร้างสัญญาณ RGB	32
3.5 การคำนวณหาค่าตำแหน่งของหน่วยความจำ	32
3.6 การออกแบบวงจรนับเลขฐานสอง(Binary counter)	33
3.7 การเขียนโปรแกรมลงบนหน่วยความจำ	33

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองของสัญญาณ H.SYNC	35
4.2 ผลการทดลองของสัญญาณ V. SYNC	36
4.3 ผลการทดลองของการแสดงเส้นกราฟบนจอภาพ	38
4.4 สรุปผลการทดลอง	40

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป

5.1 บทวิจารณ์	41
5.2 บทสรุป	42
5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาในอนาคต	42

กิตติกรรมประกาศ

บรรณานุกรม

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงการทำงานของจอ VGA	1
รูปที่ 2.1 ไดอะแกรมแสดงรูปแบบสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์วาร์ด	3
รูปที่ 2.2 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x	5
รูปที่ 2.3 แสดงสถาปัตยกรรมของหน่วยความจำ	18
รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการอ่านของหน่วยความจำ	19
รูปที่ 2.5 แสดงกระบวนการเขียนของหน่วยความจำ	20
รูปที่ 2.6 แสดงการเกิดสีของจอภาพ	21
รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานของจอภาพ	22
รูปที่ 2.8 แสดงการสแกนของจอภาพ	23
รูปที่ 2.9 แสดงตารางเวลาของสัญญาณ H. SYNC และสัญญาณ V. SYNC	24
รูปที่ 2.10 แสดงพอร์ตเชื่อมต่อข้อมูลแสดงผลของจอ VGA	25
รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรแสดงเส้นกราฟบนจอ VGA ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	26
รูปที่ 3.2 โฟลวชาร์ตแสดงการเขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณ H.SYNC	29
รูปที่ 3.3 โฟลวชาร์ตแสดงการเขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณ V.SYNC	31
รูปที่ 3.4 โฟลวชาร์ตแสดงการเขียนโปรแกรมลงบนหน่วยความจำ	34
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟรูปสัญญาณ H. SYNC ที่เวลาสแกนเส้น(Scanline time)	35
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟรูปสัญญาณ H. SYNC ที่เวลาซิงค์พัลส์(Sync pulse)	35
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟรูปสัญญาณ H. SYNC ที่เวลาแบล็กพอร์ช(Black porch)	36
แยกที่วีดีโอ(Active video) และ ฟรอนท์พอร์ช(Front porch)	36
รูปที่ 4.4 แสดงกราฟรูปสัญญาณ V.SYNC ที่เวลาเฟลมรวม(Total flame)	36
รูปที่ 4.5 แสดงกราฟรูปสัญญาณ V. SYNC ที่เวลาซิงค์เลงซ์(Sync length)	37
รูปที่ 4.6 แสดงการเชื่อมต่อวงจรแสดงเส้นกราฟบนจอ VGA ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	37
ที่ออกแบบไว้เพื่อสร้างสัญญาณ H. SYNC กับ V. SYNC	37
รูปที่ 4.7 แสดงผลในรูปแบบของเส้นแถบสีบนจอภาพ	38
รูปที่ 4.8 แสดงผลในรูปแบบของกราฟรูปคลื่นสี่เหลี่ยม	38
รูปที่ 4.9 แสดงผลในรูปแบบของกราฟรูปคลื่นไซน์	39
รูปที่ 4.10 แสดงผลในรูปแบบของกราฟรูปคลื่นสามเหลี่ยม	39
รูปที่ 4.11 แสดงรูปวงจรแสดงเส้นกราฟบนจอ VGA ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สรุปหน้าที่การทำงานของขาพอร์ต C ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x	9
ตารางที่ 2.2 แสดงหน้าที่การทำงานของพอร์ต E ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x	12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

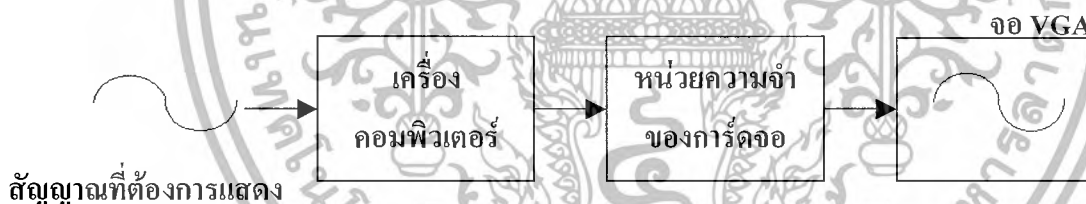
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

จอภาพทำงานโดยการแสดงภาพ ซึ่งอาจเป็นภาพกราฟิกหรือตัวอักษร ซึ่งเกิดจากการประมวลผลของการ์ดจอ(VGA Card) จอภาพแบ่งเป็น 2 ประเภท คือจอภาพสีเดียวหรือจอภาพ โมโน โครม (Monochrome) และจอสี(Color Monitor) ปัจจุบันจอภาพสีเดียวนั้นไม่เป็นที่นิยมใช้กับคอมพิวเตอร์ หากจะมีใช้ก็เฉพาะงานเฉพาะอย่างเท่านั้น ส่วนที่นิยมใช้ก็คือจอสี โดยแบ่งได้อีกเป็น 3 ประเภท คือจอสีวีจีเอ (VGA = Video Graphics Array) จอสีซูเปอร์วีจีเอ(SVGA = Super Video Graphics Array) และจอ LCD(Liquid Crystal Display) จอภาพที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันจอ SVGA เนื่องจากสามารถแสดงภาพได้คมชัดและราคาไม่แพงมากนัก

ปกติการแสดงผลบนจอ VGA นี้ จะต้องประกอบด้วยชุดคอมพิวเตอร์ซึ่งทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่จะแสดงผลบนจอ VGA ให้เป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปที่ 1.1 ชุดแสดงผลหรือการ์ดจอสามารถนำไปแสดงผลบนจอ VGA โดยปกติแล้วข้อมูลที่ถูกแปลงนั้นจะถูกเก็บลงในหน่วยความจำของการ์ดจอดังรูป



รูปที่ 1.1 แสดงการทำงานของจอ VGA

จากรูปกระบวนการแสดงผลบนจอ VGA นั้นเราสามารถประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาทำหน้าที่เสมือนส่วนคอมพิวเตอร์ร่วมกับการ์ดจอ สำหรับแสดงผลของภาพที่ไม่ต้องการความละเอียดของภาพมากนัก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อเป็นการนำเอาจอภาพคอมพิวเตอร์แบบ จอวีจีเอ (VGA = Video Graphics Array) มาใช้ในการแสดงผลในรูปแบบของเส้นกราฟบนจอภาพในรูปแบบต่าง ๆ ตามค่าหรือลักษณะของข้อมูลที่ได้รับเข้ามา โดยโครงการนี้จะทำหน้าที่ในการอินเตอร์เฟซ (Inter Facing) สัญญาณอินพุตให้เป็นสัญญาณที่อยู่ในรูปของสัญญาณ VGA

โครงการนี้จะนำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล PIC เบอร์ PIC16F877 มาใช้ควบคุมการทำงาน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อข้อมูลกับหน่วยความจำและเป็นตัวประมวลผล

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ภาคเรียนที่ 1

1. ศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ 16F877 และศึกษาการทำงานของจอภาพคอมพิวเตอร์ เช่น การสแกนจอภาพ การกำเนิดสีของจอภาพ
2. ศึกษาการเชื่อมต่อข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์
3. ออกแบบและประกอบวงจร

ภาคเรียนที่ 2

4. เขียน โปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์และทำการทดลองการทำงานของวงจร
5. สังเกตผลแล้วทำการปรับแต่งพร้อมทั้งแนวทางแก้ปัญหาและทำการประเมินผล

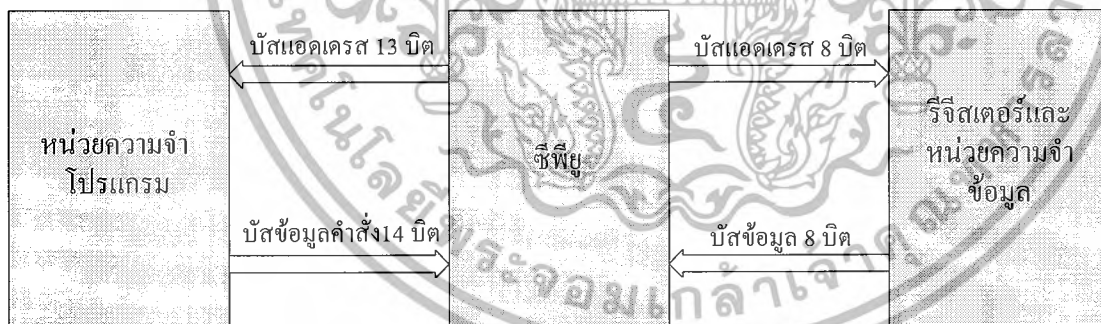
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 โครงสร้างทางกายภาพ(Hard ware) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC มีสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด (Harvard architecture) กล่าวคือมีการแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกัน โดยมีบัสสำหรับต่อแยกกันด้วย ดังแสดงในรูปที่ 1 จะเห็นว่าซีพียูภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมด้วยบัสแอดเดรส 13 บิต และบัสข้อมูลหน่วยความจำโปรแกรม 14 บิต ในขณะที่บัสสำหรับติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลและรีจิสเตอร์ภายในเป็นแบบ 8 บิต ทั้งบัสแอดเดรสและบัสข้อมูล

การจัดสถาปัตยกรรมแบบนี้จะมีการกระทำคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ที่ใช้กระบวนการที่เรียกว่า ไปป์ไลน์ (pipeline) ทำให้สามารถเฟตช์คำสั่งถัดไป ในขณะที่กำลังเอ็กซีคิวต์คำสั่ง ในปัจจุบัน ส่งผลให้ความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพิ่มมากขึ้นนั่นจึงเป็นที่มาของความสามารถในการกระทำคำสั่ง 1 คำสั่งภายในสัญญาณนาฬิกา 1 ลูก (เฟตช์ (Fetch) เป็นกระบวนการเรียกคำสั่งออกจากหน่วยความจำโปรแกรมแล้วแปลเป็นเลขฐานสิบหกเพื่อให้ซีพียูเข้าใจส่วนกระบวนการเอ็กซีคิวต์ (execute) เป็นการกระทำคำสั่งให้เกิดผลลัพธ์ตามที่คำสั่งนั้น ๆ กำหนด)



รูปที่ 2.1 ไดอะแกรมแสดงรูปแบบสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์วาร์ด

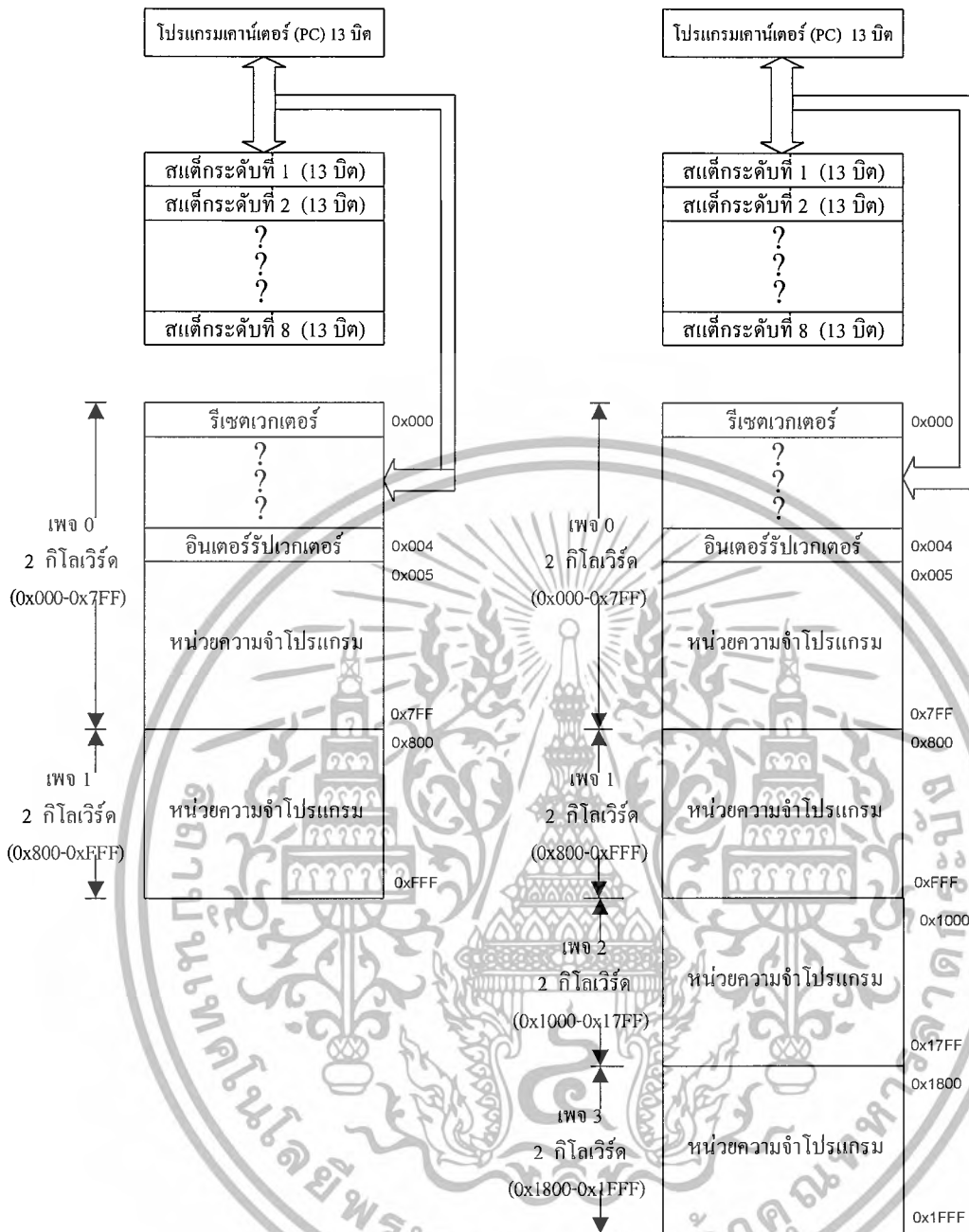
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 การจัดสรรหน่วยความจำของ PIC16F87x

หน่วยความจำโปรแกรม (Program memory) เป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญมากเพราะเป็นที่เก็บข้อมูลคำสั่งทั้งหมดซึ่งใช้ในการกำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน หน่วยความจำโปรแกรมของ PIC16F87x เป็นแบบแฟลช (Flash memory) ทำให้สามารถลบและเขียนใหม่ได้นับแสนครั้ง แต่อย่างไรก็ตามโดยปกติ หน่วยความจำโปรแกรมหลังจากที่ทำการเขียนในขั้นตอนของการโปรแกรมแล้ว ก็จะมีไว้สำหรับอ่านออกมาได้เพียงทางเดียว

PIC16F87x มีโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC) ขนาด 13 บิตเพื่อกำหนดการเข้าถึงหน่วยความจำโปรแกรม โดยใน PIC16F873/874 จะมีขนาดของหน่วยความจำโปรแกรม 4K x 14 บิต (หรือ 4 กิโลเวิร์ด โดย 1 เวิร์ดมีขนาด 14 บิต) ส่วน PIC16F876/877 จะมีขนาด 8K x 14 บิต (หรือ 8 กิโลเวิร์ด) เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ในอนุกรมนี้มีขนาดหน่วยความจำโปรแกรมที่ค่อนข้างใหญ่มากจึงต้องมีการจัดสรรเป็นเพจ (Page) หรือเป็นหน้า โดยในแต่ละเพจจะมีขนาด 2 กิโลเวิร์ด ทั้งนี้เนื่องจากชุดคำสั่งเกี่ยวกับการกระโดดของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC สามารถอ้างถึงตำแหน่งของหน่วยความจำได้สูงสุด 2,048 ตำแหน่ง

แสดงการจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำโปรแกรมของ PIC16F87x ทั้ง 2 ขนาด การจัดสรรดังกล่าวเป็นการจัดสรรปกติ ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x

ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมที่ดีจึงควรกระโดดมาเริ่มต้นทำงานที่ตำแหน่ง 0x0005 จะเหมาะสมมากที่สุดแต่ถ้าหากผู้เขียนโปรแกรมคาดว่าไม่มีการใช้งานอินเตอร์รัปต์อย่างแน่นอน ก็สามารถละเลยเรื่องอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์นี้ไปได้ จุดที่จะต้องให้ความสำคัญอย่างยิ่งคือ การติดต่อกันระหว่างเพจของหน่วยความจำโปรแกรม ผู้เขียนโปรแกรมจำเป็นต้องกำหนดให้เกิดการกระโดดอยู่ในขอบเขต 2,048 ตำแหน่ง และถ้าหากมีการข้ามเพจเกิดขึ้นจะต้องแบ่งช่วงการกระโดดระหว่างเพจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ PIC16F877 ซึ่งมีขนาดหน่วยความจำ 8 กิโลเวิร์ด มีการจัดสรรพื้นที่ดังในรูปที่ 2.2 มีการสงวนตำแหน่ง 0x0000 และ 0x0004 ไว้เช่นกัน หรืออาจกล่าวได้ว่า เป็นรูปแบบมาตรฐานของการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ สำหรับ PIC16F877 มีการแบ่งหน่วยความจำโปรแกรมออกเป็น 4 เฟจ ดังนี้

เฟจ 0 มีตำแหน่งในช่วง 0x0000-0x07FF (โดยควรสงวนตำแหน่ง 0x0000 และ 0x0004 ไว้)

เฟจ 1 มีตำแหน่งในช่วง 0x0800-0x0FFF

เฟจ 2 มีตำแหน่งในช่วง 0x1000-0x17FF

เฟจ 3 มีตำแหน่งในช่วง 0x1800-1x1FFF

นอกจากนั้นใน PIC16F87x ยังมีพื้นที่หน่วยความจำพิเศษสำหรับเก็บค่าของโปรแกรมเคาน์เตอร์ชั่วคราวขนาด 13 บิต เรียกว่า สแต็ก (stack) ซึ่งจะมีบทบาทมากในการกระโดดไปทำงานยังโปรแกรมย่อยของ PIC16F87x โดยเมื่อกระทำคำสั่งให้กระโดดไปทำงานยังโปรแกรมย่อย ซีพียูจะทำการเก็บค่าโปรแกรมเคาน์เตอร์หรือ PC ในขณะนั้นไว้ในสแต็ก จากนั้นจึงกระโดดไปทำงานยังโปรแกรมย่อย เมื่อทำงานเรียบร้อยแล้ว ซีพียูจะไปอ่านค่า PC จากสแต็ก แล้วทำงานตามกระบวนการในโปรแกรมหลักต่อไป สำหรับสแต็กใน PIC16F87x มีขนาด 13 บิต สามารถเก็บค่าของ PC ได้ 8 ระดับ

2.1.2 พอร์ตอินพุตเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x

PIC16F87x มีพอร์ตให้ใช้งานตั้งแต่ 3-5 พอร์ต จำนวน 20-33 บิต ขึ้นอยู่กับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ และด้วยความสามารถของพอร์ตใน PIC16F87x ที่สามารถทำงานได้หลายอย่าง จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ใช้งานต้องทำความเข้าใจถึง โครงสร้างทางกายภาพและการกำหนดหรือเลือกฟังก์ชันการทำงานให้แก่ขาพอร์ตแต่ละขาด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถใช้งานพอร์ตทั้งหมดของ PIC16F87x ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

ภาพรวมของพอร์ตทั้งหมด ตั้งแต่พอร์ต A ถึง E โดยจะเน้นที่โครงสร้างทางกายภาพและฟังก์ชันการทำงานในภาพรวม สำหรับหน้าที่หรือฟังก์ชันพิเศษที่ขาพอร์ตนั้นๆ สามารถทำได้จะกล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป

2.1.2.1 พอร์ต A

มีทั้งสิ้น 6 ช่องหรือ 6 บิต กำหนดชื่อขาเป็น RA0-RA5 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ PORT A มีตำแหน่งอยู่ที่ 0x05 (แแบงก์ 0) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต แต่ใช้งานจริงเพียง 6 บิต ที่เหลือ 2 บิตต้องกำหนดให้เป็น “0” ส่วนการกำหนดทิศทางของพอร์ตนี้กระทำผ่านรีจิสเตอร์ TRISA ซึ่งมีแอดเดรสอยู่ที่ 0x85 (แแบงก์ 1) มีขนาด 8 บิตและใช้เพียง 6 บิตเช่นกัน 2 บิตบนคือบิต 6 และบิต 7 ต้องกำหนดให้เป็น “0” บิต 0 ของ TRISA ใช้กำหนดทิศทางของขาพอร์ต RA0 ไล่เรียงลำดับจนถึงบิต 5 ของ TRISA ใช้กำหนดทิศทางของขาพอร์ต RA5 หากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตในบิตใดเป็นอินพุตต้องเขียนข้อมูล “1” ไปยังบิตนั้น และในทางตรงข้ามหากต้องการกำหนดให้เป็นขาเอาต์พุตให้เขียนข้อมูล “0” ไปยังบิต

นั้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างทางกายภาพ

พอร์ต A สามารถทำงานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติและเป็นขาอินพุตสัญญาณอนาลอกสำหรับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิตภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยขา RA0-RA3 จะมีการทำงานที่เหมือนกัน ส่วน RA4 จะแตกต่างตรงที่ขานี้นอกจากเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติแล้ว ยังใช้เป็นขาอินพุตสำหรับ ไทเมอร์ 0 ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยและขา RA4 นี้ไม่สามารถใช้งานเป็นขาอินพุตรับสัญญาณอนาลอกได้

พอร์ต A ในบิต RA0-RA3 ที่ขาพอร์ตจะมีแอนด์เกตทำหน้าที่เลือกลักษณะการทำงานของขาพอร์ตเมื่อเป็นขาอินพุต หากเลือกให้ขาพอร์ตนี้เป็นขาพอร์ตอินพุตดิจิตอลสัญญาณเลือกโหมดอินพุตอนาลอกจะต้องเป็นลอจิก “0” แต่ถ้าหากต้องการกำหนดให้เป็นขาอินพุตสัญญาณอนาลอก สัญญาณเลือกโหมดต้องเป็นลอจิก “1” สัญญาณอนาลอกที่ป้อนเข้ามาอย่างขานี้ จะผ่านเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลหรือวงจรเปรียบเทียบแรงดันอนาลอก (เฉพาะในอนุกรม PIC16F87xA) โดยตรง

เมื่อขาพอร์ต RA0-RA3 ทำงานเป็นขาพอร์ตอินพุตดิจิตอล จะสามารถรับสัญญาณดิจิตอลระดับที่ทีแอล (0-5V) ได้โดยตรง หากทำงานเป็นเอาต์พุตจะสามารถขับ โหลดที่ต้องการกระแส 20mA ได้หากนำมาขับ LED ต้องต่อตัวต้านทานจำกัดกระแส หรือถ้าใช้ไฟเลี้ยง 3V ก็จะสามารถขับ LED ได้โดยตรง

ขาพอร์ต RA4/T0CKI โดยขานี้จะเป็นขาพอร์ตอินพุต เอาต์พุตปกติและขาอินพุตรับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกของ โมดูล ไทเมอร์ 0 วงจรอินพุตบัฟเฟอร์ที่ขาพอร์ตนี้เป็นแบบซิมิตต์ทริกเกอร์ ทั้งนี้เพื่อจัดการให้สัญญาณอินพุตที่เข้ามา มีความสมบูรณ์มากที่สุดและจะต้องต่อตัวต้านทานพูลอัปค่าประมาณ 4.7k-10k ที่ขานี้เสมอเมื่อใช้งานเป็นอินพุต

สำหรับใน PIC16F87xA ขาพอร์ต RA4 ยังใช้เป็นขาเอาต์พุตของ โมดูลเปรียบเทียบแรงดันอนาลอกชุดที่ 1 (C1OUT) ด้วย โครงสร้างภายในจึงมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมไปเล็กน้อย

ในกรณีที่ใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต วงจรเอาต์พุตจะเป็นแบบเดรนเปิด (open drain) ถ้าหากเทียบกับวงจรทรานซิสเตอร์ก็คือ วงจรคอลเล็กเตอร์เปิด (open collector) นั่นเอง ในการใช้งานจึงต่อตัวต้านทานอนุกรมกับ โหลดและไฟเลี้ยงของ โหลด โดยปกติถ้าหากไม่มีความจำเป็นควรกำหนดให้ขา RA4/T0CKI นี้เป็นอินพุตจะดีที่สุด โดยต้องต่อตัวต้านทานพูลอัปเสมอหรือถ้าหากจำเป็นต้องใช้เป็นเอาต์พุตก็ต้องไม่ลืมว่าขานี้เป็นเอาต์พุตแบบเดรนเปิดต้องต่อขับ โหลดในแบบกระแสซิงก์เท่านั้น

สำหรับในอนุกรม PIC16F87xA ขาพอร์ต RA4 ยังใช้เป็นขาเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดันอนาลอกชุดที่ 1 ด้วย โดยโครงสร้างของเอาต์พุตนี้ก็ยังคงเป็นแบบเดรนเปิดเช่นเดียวกับการใช้ขา RA4 เป็นพอร์ตดิจิตอลเอาต์พุตปกติ

พอร์ต RA5 ขานี้ก็มีความพิเศษไม่น้อย โดยนอกจากเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลแล้วยังสามารถเลือกให้ทำงานเป็นขาพอร์ตอินพุตสัญญาณอนาลอกสำหรับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลในช่อง 4 และเป็นขาเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดันอนาลอกชุดที่ 2 ในไมโครคอนโทรลเลอร์อนุกรม PIC16F87xA นอกจากนั้นยังใช้เป็นขา Slave Select (SS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดต่อเพื่อกำหนดการทำงานและเขียนข้อมูลไปยังพอร์ต A

ในขั้นแรกต้องทำการเตรียมความพร้อมให้เกร็จิสเตอร์ PORTA โดยการเลือกแบงก์สำหรับติดต่อกับรีจิสเตอร์ PORTA จากนั้นส่งข้อมูล “0” เพื่อเคลียร์ข้อมูลทั้งหมด และเนื่องจากพอร์ต A ทำงานกับสัญญาณอะนาลอกได้ และค่าเริ่มต้นของพอร์ต A ที่ทำงานกับสัญญาณอนาลอกจะถูกกำหนดให้เป็นอินพุตอะนาลอกทั้งหมด ดังนั้นหากต้องการใช้งานเป็นพอร์ตดิจิตอลต้องกำหนดข้อมูล 0x06 หรือ 0x07 แล้วเขียนลงในรีจิสเตอร์ ADCON1 เพื่อคิสเอเบิลการทำงานกับสัญญาณอนาลอกจากนั้นจึงเลือกแบงก์ใหม่เพื่อติดต่อกับรีจิสเตอร์ TRISA แล้วเขียนข้อมูลเพื่อกำหนดทิศทางของขาพอร์ตตามที่ต้องการลงในรีจิสเตอร์ TRISA

2.1.2.2 พอร์ต B

มี 8 บิต กำหนดชื่อขาเป็น RB0-RB7 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ PORTB มีตำแหน่งอยู่ที่ 0x06 (แบงก์ 0) และ 0x106 (แบงก์ 2) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ส่วนการกำหนดทิศทางของพอร์ตนี้กระทำผ่านรีจิสเตอร์ TRISB ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ที่ 0x86 (แบงก์ 1) และ 0x186 (แบงก์ 3) มีขนาด 8 บิต เช่นเดียวกับพอร์ต A บิต 0 ของ TRISB ใช้กำหนดทิศทางของขาพอร์ต RB0 ไปเรียงลำดับจนถึงบิต 7 ของ TRISB ใช้กำหนดทิศทางของขาพอร์ต RB7 หากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตในบิตใดเป็นอินพุตต้องเขียนข้อมูล “1” ไปยังบิตนั้น ในทางตรงข้ามหากต้องการกำหนดให้เป็นขาเอาต์พุตให้เขียนข้อมูล “0” ไปยังบิตนั้น

โครงสร้างทางกายภาพ

พอร์ต B สามารถใช้งานในลักษณะต่าง ๆ ได้ 5 แบบคือ

1. เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ
2. เป็นขาอินพุตสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอก โดยใช้ขา RB0/INT
3. เป็นขาพอร์ตอินพุตสำหรับรับแรงดันโปรแกรมระดับต่ำ (low voltage programming) โดยใช้ขา RB3/PGM
4. เป็นขาข้อมูลอนุกรมและสัญญาณนาฬิกาอนุกรมสำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งใช้ 2 ขาคือ RB7/PGD และ RB6/PGC
5. ใช้เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์แบบตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงข้อมูลหรือระดับสัญญาณที่ขา RB4-RB7

2.1.2.3 พอร์ต C

มีทั้งสิ้น 8 บิต กำหนดชื่อขาเป็น RC0-RC7 รีจิสเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูลคือ PORTC มีตำแหน่งอยู่ที่ 0x07 (แบนก์ 0) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ส่วนการกำหนดทิศทางของพอร์ตนี้กระทำผ่านรีจิสเตอร์ TRISC มีตำแหน่งอยู่ที่ 0x87 (แบนก์ 1) มีขนาด 8 บิต เช่นเดียวกับพอร์ต A และ B บิต 0 ของ TRISC ใช้กำหนดทิศทางของขาพอร์ต RC0 ไล่เรียงลำดับจนถึงบิต 7 ของ TRISC ใช้กำหนดทิศทางของขาพอร์ต RC7 หากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตในบิตใดเป็นอินพุตต้องเขียนข้อมูล “1” ไปยังบิตนั้น และในทางตรงข้ามหากต้องการกำหนดให้เป็นขาเอาต์พุต ให้เขียนข้อมูล “0” ไปยังบิตนั้น

โครงสร้างทางกายภาพ

พอร์ต C สามารถใช้งานในลักษณะต่าง ๆ ได้หลายรูปแบบ และเป็นขาพอร์ตที่มีความสามารถสูงมาก ไม่ว่าจะเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ, ขาอินพุตเอาต์พุตออสซิลเลเตอร์ของโมดูลไทมเมอร์ 1, ขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณนาฬิกาของโมดูลไทมเมอร์ 1, ขาเชื่อมต่อระบบบัส I²C, ขาเชื่อมต่อแบบ SPI (Serial Peripheral Interface), ขาเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมแบบ USART, ขาคินพุตวงจรถ่ายเก็บ (capture) หรือวงจรถววจับสัญญาณ ขาเอาต์พุตของวงจรถ่ายเก็บสัญญาณ (compare) และขาเอาต์พุตวงจรถ่ายเก็บสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) หรืออาจกล่าวได้ว่าพอร์ต C เป็นพอร์ตสำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก (peripheral function port) ที่มีความสมบูรณ์แบบมากที่สุด สามารถสรุปหน้าที่และการทำงานที่หลากหลายของขาพอร์ต C ดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สรุปหน้าที่การทำงานของขาพอร์ต C ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x

ชื่อขา	การทำงาน
RC0/T1OSO/T1CKI	<ul style="list-style-type: none"> - ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตบิต 0 ของพอร์ต C - เอาต์พุตวงจรถ่ายเก็บสัญญาณของไมโครเมอร์ 1 (T1OSO) - อินพุตรับสัญญาณนาฬิกาของไทมเมอร์ 1 (T1CKI)
RC1/T1OSI/CCP2	<ul style="list-style-type: none"> - ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตบิต 1 ของพอร์ต C - อินพุตวงจรถ่ายเก็บสัญญาณของไทมเมอร์ 1 (T1OSI) - อินพุตแคปเจอร์หรือวงจรถววจับสัญญาณของโมดูล CCP2 - เอาต์พุตวงจรถ่ายเก็บสัญญาณของโมดูล CCP2 - เอาต์พุต PWM ของ โมดูล CCP2
RC2/CCP1	<ul style="list-style-type: none"> - ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตบิต 2 ของพอร์ต C - อินพุตแคปเจอร์หรือวงจรถววจับสัญญาณของ โมดูล CCP1 - เอาต์พุตวงจรถ่ายเก็บสัญญาณของ โมดูล CCP1 - เอาต์พุต PWM ของ โมดูล CCP1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนสิทธิ์ในเชิงการค้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RC3/SCK/SCL	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตบิต 3 ของพอร์ต C - ขาสัญญาณนาฬิกาอนุกรมของระบบ SPI (SCK) - ขาสัญญาณนาฬิกาอนุกรมของระบบบัส I ² C (SCL)
RC4/SDI/SDA	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตบิต 4 ของพอร์ต C - ขาข้อมูลอินพุตอนุกรมของระบบ SPI (SDI) - ขาข้อมูลอนุกรมของระบบบัส I ² C (SDA)
RC5/SD0	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตบิต 5 ของพอร์ต C - ขาข้อมูลเอาต์พุตอนุกรมของระบบ SPI (SD0)
RC6/TxD/CK	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตบิต 6 ของพอร์ต C - ขาส่งข้อมูลพอร์ตอนุกรม USART (TxD) - ขาสัญญาณนาฬิกาซิงโครไนส์ (CK)
RC7/RxD/DT	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตบิต 7 ของพอร์ต C - ขารับข้อมูลพอร์ตอนุกรม USART (RxD) - ขาสัญญาณข้อมูลซิงโครไนส์ (DT)

2.1.2.4 พอร์ต D

มี 8 บิต กำหนดชื่อว่าเป็น RD0-RD7 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ PORTD มีตำแหน่งอยู่ที่ 0x88 (แบงก์ 1) มีขนาด 8 บิต ส่วนการกำหนดทิศทางของพอร์ตนี้กระทำผ่านรีจิสเตอร์ TRISD มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x88 (แบงก์ 1) มีขนาด 8 บิต หากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตในบิตใดเป็นอินพุตต้องเขียนข้อมูล “1” ไปยังบิตนั้น และในทางตรงข้ามหากต้องการกำหนดให้เป็นขาเอาต์พุตให้เขียนข้อมูล “0” ไปยังบิตนั้น สำหรับพอร์ต D นี้จะมีเฉพาะในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC รุ่น 40 ขาเท่านั้น สำหรับในอนุกรม PIC16F87x จะมีในเบอร์ PIC16F871, PIC16F874(A) และ PIC16F877(A)

โครงสร้างทางกายภาพ

พอร์ต D สามารถใช้งานได้ 2 โหมดคือ เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติและเป็นส่วนขยายพอร์ตแบบขนาน (Parallel Slave Port : PSP) สำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกที่มีการจัดระบบบัสแบบไมโครโปรเซสเซอร์คือ มีสายข้อมูล 8 เส้น สายสัญญาณควบคุม 3 เส้น คือ สายสัญญาณควบคุมการอ่าน (RD : Read), เขียน (WR : Write) และเลือกอุปกรณ์ (CS : Chip Select)

การเลือกโหมดทำงานของพอร์ต D นี้ขึ้นกับบิต PSPMODE (บิต 4 ในรีจิสเตอร์ TRISE) ถ้าเป็น “0” เป็นการกำหนดให้พอร์ต D เป็นพอร์ตปกติ และถ้าเป็น “1” พอร์ต D จะทำงานในโหมด PSP

2.1.2.5 พอร์ต E

มี 3 บิต กำหนดชื่อขาเป็น RE0-RE2 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ PORTE มีตำแหน่งอยู่ที่ 0x09 (แแบงก์ 0) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต แต่ใช้งานเพียง 3 บิตล่างคือ บิต 0- บิต 2 เท่านั้น ที่เหลือกำหนดให้เป็น “0” ส่วนการกำหนดทิศทางของพอร์ตนี้กระทำผ่านรีจิสเตอร์ TRISE ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ที่ 0x89 (แแบงก์ 1) มีขนาด 8 บิต โดยใช้สามบิตล่างในการกำหนดทิศทางของพอร์ต E ส่วนที่เหลือใช้ควบคุมการทำงานในโหมด PSP ของพอร์ต D

พอร์ต E สามารถใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต เอาต์พุตปกติ, ขาอินพุตอนาลอกของโมดูลแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล และขาควบคุมการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกแบบ PSP ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดข้อมูลของรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของพอร์ตนี้ เช่นเดียวกับพอร์ต D พอร์ต E จะมีเฉพาะในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC รุ่น 40 ขาเท่านั้น สำหรับในอนุกรม PIC16F87x จะมีในเบอร์ PIC16F871, PIC16F874(A) และ PIC16F877(A)

รีจิสเตอร์ TRISE

เมื่อมีการกำหนดให้พอร์ต D ทำงานใน โหมด PSP 4 บิตบนของรีจิสเตอร์ TRISE จะใช้เป็นบิตแสดงสถานะของวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ใช้ในการถ่ายทอดข้อมูลของส่วนขยายพอร์ตแบบขนานหรือ PSP ส่วน 3 บิตล่างใช้ในการเลือกโหมดการทำงานของพอร์ต D

ถ้าหากพอร์ต E ทำงานเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ 3 บิตล่างของรีจิสเตอร์ TRISE จะใช้ในการกำหนดทิศทางการถ่ายทอดสัญญาณข้อมูลของพอร์ต ดังมีรายละเอียดการทำงานของแต่ละบิตของรีจิสเตอร์ TRISE ดังนี้

	บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
TRISE	IBF	OBF	IBOV	PSPMODE	—	DIR-RE2	DIR-RE1	DIR-RE0
	R-0	R-0	R/W-0	R/W-0		R/W-1	R/w-1	R/W-1

ปกติ IBF (Input Buffer Full status bit) : บิตแสดงสถานะบัฟเฟอร์ทางอินพุตของ PSP

“0” แสดงว่า ไม่มีข้อมูลรับเข้ามาในบัฟเฟอร์

“1” แสดงว่า มีข้อมูลเข้ามาแล้วและกำลังรอการอ่านจากซีพียู

OBF (Output Buffer Full status bit) : บิตแสดงสถานะบัฟเฟอร์ทางเอาต์พุตของ PSP

“0” แสดงว่า ข้อมูลในบัฟเฟอร์ถูกส่งออกไปแล้ว

“1” แสดงว่า ยังคงมีข้อมูลเดิมอยู่ในบัฟเฟอร์ทางเอาต์พุต

IBOV (Input Buffer Overflow Detect bit) : บิตแสดงการรับข้อมูลเกินของบัฟเฟอร์อินพุต

“0” แสดงว่า ไม่มีการรับข้อมูลเกินหรือโอเวอร์โฟลวเกิดขึ้น

“1” แสดงว่า เกิดการเขียนข้อมูลมายังบัฟเฟอร์อินพุต ทั้งที่ยังคงมีข้อมูลเดิมอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PSPMODE (Parallel Slave Port Mode select bit): บิตเลือกการทำงาน PSP ของพอร์ต D และ E

“0” กำหนดให้ทำงานในโหมดพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ

“1” กำหนดให้ทำงานในโหมด PSP

บิต 3 : ไม่มีการใช้งาน กำหนดค่าเป็น “0”

DIR-RE2 ถึง DIR-RE0 (Direction control bit for RE2-RE0) : บิตควบคุมทิศทางของพอร์ต E เมื่อทำงานในโหมดพอร์ตอินพุต เอาต์พุต

โครงสร้างทางกายภาพ

ในบิต RE0-RE2 เมื่อทำงานในโหมดพอร์ตอินพุต เอาต์พุตปกติ จะเห็นได้ว่ามีความคล้ายคลึงกับขาพอร์ตอื่น ๆ ของ PIC16F87x ถ้าหากทำงานในโหมดพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ วงจรอินพุตของพอร์ตนี้จะเป็นแบบขมิตต์ทริกเกอร์ ในขณะที่หากทำงานในโหมดการแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลวงจรอินพุตจะเปลี่ยนเป็นแบบทีทีแอล(TTL)

ถึงแม้ว่าพอร์ต E ใน PIC16F87x มีจำนวนเพียง 3 บิต แต่สามารถเลือกรูปแบบการทำงานได้มากถึง 3 แบบคือเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ, อินพุตสำหรับวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิตในไมโครคอนโทรลเลอร์ และพอร์ตสัญญาณควบคุมสำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ในโหมด PSP ดังนั้นในการเลือกรูปแบบการทำงานต้องระมัดระวังเช่นเดียวกับพอร์ต C ที่ได้กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้

ในตารางที่ 2.2 แสดงการทำงานอย่างละเอียดของขาพอร์ต E โหมดต่าง ๆ

ตารางที่ 2.2 แสดงหน้าที่การทำงานของพอร์ต E ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x

ชื่อขา	การทำงาน
RE0/RD/AN5	<ul style="list-style-type: none"> - ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตบิต 0 ของพอร์ต E - ขาควบคุมการอ่านข้อมูลสำหรับส่วนขยายพอร์ตแบบขนานหรือโหมด PSP (RD) <ul style="list-style-type: none"> “0” = มีการอ่านข้อมูลเกิดขึ้น โดยทำการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ PORTD ในกรณีที่มีการเลือกอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อด้วย (ขา CS = “0”) “1” = ไม่มีการอ่านข้อมูลเกิดขึ้น - อินพุตรับสัญญาณอะนาลอกช่อง 5
RE1/WR/AN6	<ul style="list-style-type: none"> - ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตบิต 1 ของพอร์ต E - ขาควบคุมการอ่านข้อมูลสำหรับส่วนขยายพอร์ตแบบขนานหรือโหมด PSP (RD) <ul style="list-style-type: none"> “0” = มีการอ่านข้อมูลเกิดขึ้น โดยทำการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ PORTD ในกรณีที่มีการเลือกอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อด้วย (ขา CS = “0”) “1” = ไม่มีการอ่านข้อมูลเกิดขึ้น - อินพุตรับสัญญาณอะนาลอกช่อง 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในนามของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RE2/CS/AN7	<ul style="list-style-type: none"> - ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตบิต 2 ของพอร์ต E - ขาควควบคุมการอ่านข้อมูลสำหรับส่วนขยายพอร์ตแบบขนานหรือโหมด PSP (CS) <ul style="list-style-type: none"> “0” = มีการเลือกอุปกรณ์ “1” = ไม่มีการเลือกอุปกรณ์ - อินพุตรับสัญญาณอะนาล็อกช่อง 7
------------	---

2.2 โปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

2.2.1 การใช้งานไทเมอร์ / เคาน์เตอร์(Timer/Counter) ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ เป็นส่วนสำคัญสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เพื่อนำมาสร้างฐานเวลา โดยไทเมอร์หรือตัวตั้งเวลาและเคาน์เตอร์หรือตัวนับ มีทั้งขนาด 8 และ 16 บิต สามารถใช้กำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์เมื่อเกิดการนับค่าเกินหรือโอเวอร์โฟลว(Overflow) นอกจากนี้ยังนำมาใช้งานเป็นตัวสร้างฐานเวลาให้กับโมดูลตรวจจับสัญญาณ/เปรียบเทียบ/สร้างสัญญาณ PWM หรือ โมดูล CCP (Capture/Compare/Pulse width modulation module)เมื่อกำหนดให้ทำงานในโหมดกำเนิดสัญญาณ PWM

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ PIC16F877 จะมีไทเมอร์/เคาน์เตอร์ให้นำมาใช้งานได้มากถึง 3 ตัวคือ ไทเมอร์ 0 (timer 0) ไทเมอร์ 1 (timer 1) และ ไทเมอร์ 2 (timer 2) รายละเอียดการทำงานของไทเมอร์ทั้งสามตัวมีดังนี้

1. ไทเมอร์ 0 เป็นตัวตั้งเวลาและตัวนับ ขนาด 8 บิต และมีสปีดเคิลเลอร์ขนาด 8 บิต
2. ไทเมอร์ 1 เป็นตัวตั้งเวลาและตัวนับ ขนาด 16 บิต และมีสปีดเคิลเลอร์ขนาด 16 บิต ที่พิเศษ คือ เมื่อทำงานอยู่ในโหมดสลีป(Sleep) ไทเมอร์ 1 ก็ยังคงทำงานอยู่ กำหนดให้ทำงานแบบซิงโครนัสและอะซิงโครนัสได้และกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์เนื่องจากโอเวอร์โฟลวได้
3. ไทเมอร์ 2 มีขนาด 2 บิต มีทั้ง ไทเมอร์, ปริสเคิลเลอร์ (prescaler), โพสต์สเคิลเลอร์

(postscaler) และรีจิสเตอร์คาบเวลา (period register) นอกจากนี้ยังเป็นตัวกำหนดสร้างฐานเวลาของโมดูล CCP เมื่อทำงานในโหมด PWM

การกำหนดให้ไทเมอร์ทำงานในโหมดไทเมอร์หรือเคาน์เตอร์จะขึ้นอยู่กับการนับสัญญาณถ้าเป็นการนับสัญญาณนาฬิกาจากภายในก็จะทำงานเป็นตัวตั้งเวลาหรือ ไทเมอร์ แต่ถ้าเป็นการนับสัญญาณจากภายนอกก็จะเป็นตัวนับหรือเคาน์เตอร์

2.2.2 การใช้งานโมดูล CCP ในไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ได้เตรียมโมดูล CCP (Capture/Compare/PWM) สำหรับใช้ในการตรวจจับสัญญาณ, เปรียบเทียบข้อมูล และสร้างสัญญาณ PWM (Pulse-width modulation) มาให้พร้อมใช้งาน โดยในเบอร์ PIC16F877 จะมีโมดูล CCP มาให้สองชุดด้วยกันคือ CCP ที่ขาพอร์ต RC2/CCP1 และ CCP2 ที่ขาพอร์ต RC1/CCP2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยโมดูล CCP จะมีรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิตเพื่อใช้งานการทำงานในแต่ละโหมด แต่การใช้งานต้องกำหนดให้ทำงานครั้งละโหมดไม่สามารถทำงานพร้อมกันได้โดยรีจิสเตอร์จะใช้ในการเก็บข้อมูลของสัญญาณที่ตรวจจับได้ (Capture register), เก็บข้อมูลสำหรับเปรียบเทียบ (Compare register) และเก็บข้อมูลตัวชี้ไขเกิลเพื่อสร้างสัญญาณมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์หรือที่เรียกว่า PWM โดยที่การทำงานทั้ง 3 ส่วนนี้จะเกี่ยวข้องกับไทมเมอร์ 1 และ 2 ดังนี้

โหมดการทำงานของโมดูล	ไทมเมอร์ที่ใช้งาน
โหมดตรวจจับสัญญาณ (Capture)	ไทมเมอร์ 1
โหมดเปรียบเทียบข้อมูล (Compare)	ไทมเมอร์ 1
โหมดสร้างสัญญาณความกว้างของพัลส์ (PWM)	ไทมเมอร์ 2

2.2.2.1 การทำงานในโหมด PWM

ในโหมดนี้โมดูล CCP จะกำเนิดสัญญาณ PWM ความละเอียด 10 บิต ลักษณะของสัญญาณ PWM รวมถึงค่าพารามิเตอร์ที่สัญญาณ PWM ที่สร้างขึ้นจะส่งออกทางขา CCPx หลักการสร้างสัญญาณมีดังนี้

1. กำหนดค่าให้รีจิสเตอร์ PR2 เพื่อกำหนดคาบเวลาของสัญญาณ PWM ที่ต้องการกำหนดค่าตัวชี้ไขเกิลโดยเขียนข้อมูลลงในรีจิสเตอร์ CCPRxL ร่วมกับบิต 5 และ 4 ในรีจิสเตอร์ CCPRxCON
2. กำหนดให้ขาพอร์ต CCPx เป็นเอาต์พุต โดยการเคลียร์บิต 2 หรือบิต 1 ของรีจิสเตอร์ TRISC
3. กำหนดค่าปริสเกลเลอร์ของ TMR2 และเอ็นเอเบิลการทำงานของไทมเมอร์ 2
4. กำหนดให้โมดูล CCP ทำงานในโหมด PWM

ทันทีที่โมดูล CCP เริ่มทำงานค่าของ TMR2 จะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับ PR2 ที่ขาพอร์ต CCPx จะเกิดลอจิก “1” และคงสถานะเช่นนั้น หลังจากนั้นค่าของ TMR2 จะเคลียร์ พร้อมกันนั้นค่าตัวชี้ไขเกิลที่กำหนดไว้ในรีจิสเตอร์ CCPRxCON จะถูกถ่ายทอดไปยัง CCPRxH และ 2 บิตในหน่วยความจำพิเศษ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าใน TMR2 และบิตปริสเกลเลอร์ 2 บิต ซึ่งเริ่มต้นเพิ่มค่าใหม่จนกระทั่งเมื่อข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มเท่ากัน จะส่งสัญญาณไปทำให้ขา CCPx กลับมาเป็นลอจิก “0” และคงสถานะอยู่เช่นนั้นจนกระทั่งค่าของ TMR2 เท่ากับ PR2 อีกครั้ง ก็จะทำให้เกิดสัญญาณลอจิก “1” เป็นการเริ่มต้นรอบใหม่ของสัญญาณและจะทำงานวนเช่นนี้จนกระทั่งมีการคิสเอเบิล

ค่าตัวชี้ไขเกิลของสัญญาณ PWM ที่สร้างขึ้นนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา แต่ค่าของคาบเวลาหรือความถี่จะไม่เปลี่ยนแปลง จนกว่าจะหยุดการทำงาน แล้วกำหนดค่าของคาบเวลาลงในรีจิสเตอร์ PR2 ใหม่ ดังนั้นสัญญาณ PWM ที่สร้างขึ้นจึงอาจมีทั้งช่วงตัวชี้ไขเกิลสูงหรือต่ำสลับไปมาได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

ประโยชน์ของสัญญาณ PWM ที่สร้างขึ้นนี้คือ นำไปใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟตรง ควบคุมความสว่างของหลอดไฟหรือใช้ในวงจรหรีไฟนั่นเอง ใช้ในการปรับแรงดัน โดยต้องมีการต่อวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่เอาต์พุตของขาพอร์ต CCPx เป็นต้น

2.2.2.2 การกำหนดคาบเวลาของสัญญาณ PWM

สามารถกำหนดโดยการเขียนข้อมูลลงในรีจิสเตอร์ PR2 (รีจิสเตอร์คาบเวลาของไทเมอร์2) แล้วนำค่าของ PR2 มาคำนวณค่าคาบเวลาของสัญญาณ PWM ได้จากสูตร

คาบเวลาของสัญญาณ PWM = (ค่ารีจิสเตอร์ PR2 + 1) * 4 * T_{osc} * ค่าปริสเกลเลอร์ของ TMR2 โดยที่ T_{osc} คือคาบเวลาของสัญญาณนาฬิกาหลัก มีหน่วยเป็นวินาที และค่าในรีจิสเตอร์ทั้งหมดคำนวณในรูปแบบของเลขฐานสิบ

ส่วนความถี่ของสัญญาณ PWM สามารถคำนวณได้จาก 1 ส่วนคาบเวลาของสัญญาณ PWM

เมื่อค่าของ TMR2 เท่ากับ PR2 จะเกิดเหตุการณ์ขึ้น 3 เหตุการณ์ ในไซเคิลการทำงานถัดไป ดังนี้

1. เกิดการเคลียร์ค่าของ TMR2
2. เกิดจากลอจิก “1” ขึ้นที่ขา CCPx ยกเว้นในกรณีที่กำหนดค่าดิวตี้ไซเคิลของสัญญาณ PWM เท่ากับ 0% ที่ขา CCPx นี้จะไม่เกิดการเซตเป็นลอจิก “1”
3. ค่าดิวตี้ไซเคิลของสัญญาณ PWM จะถูกแลตช์เก็บไว้ โดยถ่ายทอข้อมูลจาก CCPRxL ไปยัง CCPRxH

การกำหนดค่าความถี่ของสัญญาณ PWM จะไม่ใช่โพสต์สเกลเลอร์ภายในไทเมอร์ 2

2.2.2.3 การกำหนดค่าดิวตี้ไซเคิลของสัญญาณ PWM

กำหนดโดยเขียนข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์ CCPRxL ร่วมกับบิต 5 และ 4 ของรีจิสเตอร์ CCPxCON ทำให้สามารถกำหนดความละเอียดของสัญญาณ PWM ได้สูงถึง 10 บิต โดย 8 บิตบนจะใช้ข้อมูลในรีจิสเตอร์ CCPRxL ส่วน 2 บิตล่างใช้ข้อมูลในบิต 5 และ 4 ของรีจิสเตอร์ CCPxCON สามารถคำนวณค่าดิวตี้ไซเคิลได้จากสูตร

ดิวตี้ไซเคิลของสัญญาณ PWM = ค่าในรีจิสเตอร์ CCPRxL (8 บิต) ร่วมกับข้อมูลบิต 5 และ 4 ของรีจิสเตอร์ CCPxCON (2บิต)*T_{osc}

โดยที่ ค่าของ คือคาบเวลาของสัญญาณนาฬิกาหลัก มีหน่วยเป็นวินาที และค่าในรีจิสเตอร์ทั้งหมดคำนวณในรูปแบบของเลขฐานสิบ

การกำหนดค่าของรีจิสเตอร์ CCPRxL และบิต 5 และ 4 ของรีจิสเตอร์ CCPxCON ซึ่งเป็นค่าดิวตี้ไซเคิลของสัญญาณ PWM สามารถทำได้ตลอดเวลา แต่ค่าดิวตี้ไซเคิลนี้จะไม่ถูกถ่ายทอไปยังรีจิสเตอร์ CCPRxH จนกว่าค่าของรีจิสเตอร์ PR2 จะเท่ากับ TMR2 ซึ่งเมื่อเท่า แล้วค่าของ CCPRxH จะได้รับการเขียนโดยอัตโนมัติ ผู้ใช้งานจะอออานค่าได้เพียงอย่างเดียวและไม่สามารถเขียนได้โดยตรง

รีจิสเตอร์ CCPRxH และหน่วยความจำพิเศษภายในอีก 2 บิต (รวมเป็น 10 บิต) ถูกใช้เป็นฟลิปเฟลอร์สำหรับเก็บค่าดิวตี้ไซเคิลของสัญญาณ PWM เพื่อแก้ไขความผิดพลาดของสัญญาณ PWM ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อค่ารีจิสเตอร์ CCPRxH และหน่วยความจำพิเศษภายในอีก 2 บิตเท่ากับค่าของ TMR2 ที่เชื่อมต่อกับบิตปีสเกลเลอร์ 2 บิตของไทมเมอร์ 2 (บิต T2CKPS1 และ T2PKPS0 ในรีจิสเตอร์ T2CON) ซึ่งทำให้สถานะลอจิกที่ขา CCPx กลายเป็น “0”

ความละเอียดของสัญญาณ PWM

ความละเอียดต่ำสุดของสัญญาณ PWM จะขึ้นอยู่กับบิตปีสเกลเลอร์ของไทมเมอร์ 2 ในขณะที่ความละเอียดสูงสุดของสัญญาณ PWM จะสัมพันธ์กับความถี่ที่กำหนด, ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา และค่า

$$\text{ของปีสเกลเลอร์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากความละเอียด(บิต)} = \frac{\log \left[\frac{f_{\text{osc}}}{f_{\text{PWM}} \times N} \right]}{\log 2}$$

โดยที่ f_{osc} คือความถี่ของสัญญาณนาฬิกาหลักในหน่วย Hz

f_{PWM} คือความถี่ของสัญญาณ PWM ในหน่วย Hz

N คือ ค่าของปีสเกลเลอร์ในไทมเมอร์ 2

สัญญาณ PWM จะมีความละเอียดสูงสุดเมื่อปีสเกลเลอร์เท่ากับ 1 ทำให้สูตรการคำนวณเป็น

$$\text{ความละเอียด (บิต)} = \frac{\log \left[\frac{f_{\text{osc}}}{f_{\text{PWM}}} \right]}{\log 2}$$

ยกตัวอย่าง ความถี่สัญญาณนาฬิกาเท่ากับ 20 MHz ส่วนความถี่ของสัญญาณ PWM เท่ากับ 78.125 kHz และปีสเกลเลอร์เท่ากับ 1 ดังนั้น

$$\text{ความละเอียดสูงสุด} = \frac{\log \left[\frac{20 \times 10^6}{78.125 \times 10^3} \right]}{\log 2} = \frac{\log 256}{\log 2} = 8 \text{ บิต}$$

สูตรการคำนวณที่เกี่ยวข้องในการสร้างสัญญาณ PWM

มีด้วยกัน 4 สูตร คือ

$$PR2 = \frac{PWM_{PERIOD}}{4 \times T_{OSC} \times PERSCALER} - 1 \dots\dots\dots(1)$$

$$CCPR2L:CCP2X:CCP2Y = \frac{PWM_{duty\ cycle}}{T_{OSC} \times PRESCALER} \dots\dots\dots(2)$$

$$PWM_{duty\ cycle} = \frac{DUTYCYCLE(\%) \times PWM_{PERIOD}}{100} \dots\dots\dots(3)$$

$$V_{PWM} = \frac{DUTYCYCLE(\%) \times V_{DD}}{100} \dots\dots\dots(4)$$

โดยที่

PR2 เป็นตัวแปรที่ใช้กำหนดคาบเวลา ต้องมีค่าเป็นจำนวนเต็มและไม่เกิน 255

PWM_{PERIOD} เป็นค่าคาบเวลาของสัญญาณ PWM มีค่าเท่ากับ $1/F_{PWM}$ (ความถี่ของสัญญาณ PWM)

T_{OSC} เป็นค่าคาบเวลาของสัญญาณนาฬิกาหลัก มีค่าเท่ากับ $1/F_{OSC}$ (ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา

หลักจากคริสตอล กรณีที่ทำงานในโหมด LP/XT/HS)

PRESCALER เป็นค่าของปริสเกลเลอร์

(CCPR2L:CCP2X:CCP2Y) เป็นตัวแปรขนาด 10 บิต ที่ใช้กำหนดค่าควิต์ไซเคิล โดย 8 บิตบน

เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ CCPR2L และ 2 บิตล่างเก็บไว้ในบิต CCO2X และ CCP2Y ในรีจิสเตอร์ CCP2CON

V_{PWM} เป็นค่าแรงดันเฉลี่ยของสัญญาณ PWM

2.3 หน่วยความจำชั่วคราว RAM (Random Access Memory)

หน่วยความจำชั่วคราว เป็นหน่วยความจำที่สามารถเข้าถึงข้อมูลในตำแหน่งใดๆ ได้โดยตรง ทำจากสารกึ่งตัวนำเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า หน่วยความจำอ่าน/เขียน (Read/Write) RAM ใช้เป็นหน่วยความจำสำหรับอ่านและเขียน RAM มีใช้ในคอมพิวเตอร์สำหรับเป็นที่เก็บ โปรแกรมและข้อมูลชั่วคราว หน่วยความจำชั่วคราวเก็บข้อมูลได้ไม่ถาวรข้อมูลจะสูญเสียบ้างเมื่อไม่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าเลี้ยงแต่ RAM สามารถอ่านและเขียนจากตำแหน่งเดียวกันได้

หน่วยความจำ แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1. สแตติกแรม SRAM (Static RAM)

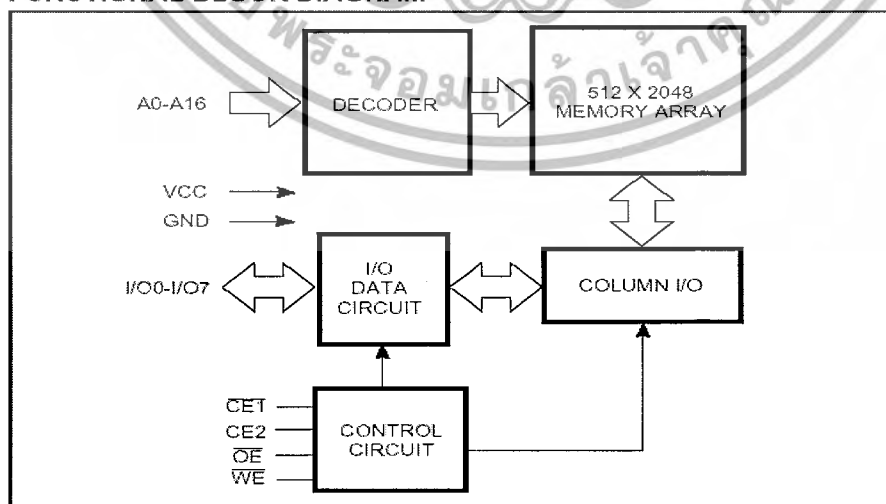
หน่วยความจำชั่วคราวชนิดที่เรียกว่า สแตติกแรม แต่ละเซลล์ (cell) ทำขึ้นจากฟลิปฟล็อป (Flip-Flop) ดังนั้นเมื่อไม่มีการเขียนข้อมูลเข้าไปใหม่ข้อมูลจะยังคงอยู่เมื่อเชื่อมต่อแรมเข้ากับซีพียู (CPU) จึงต้องพิจารณาเกี่ยวกับลักษณะสมบัติทางเวลาของ RAM ด้วย

2. ไดนามิกแรม DRAM (Dynamic RAM) หน่วยความจำชั่วคราวชนิดนี้ ใช้การเก็บประจุที่ขาเกตของมอสเฟต (MOSFET) เพื่อเป็นการเก็บข้อมูล แรมชนิดนี้จะต้องมีการรีเฟรช (Refresh) เพื่อให้ข้อมูลยังคงอยู่

2.3.1 สถาปัตยกรรมของหน่วยความจำชั่วคราว

1. วงจรถอดรหัส (Decoder) ทำหน้าที่ในการถอดรหัสของตำแหน่งเพื่อเลือกแถวและหลักของรีจิสเตอร์สำหรับอ่านหรือเขียนหน่วยความจำ
2. ส่วนจัดเรียงหน่วยความจำ (Memory Array) ทำหน้าที่ในการจัดเรียงหน่วยความจำ
3. ส่วนอินพุต/เอาต์พุต (Input/Output Buffer) ทำหน้าที่ในการติดต่อข้อมูลกับ ซีพียู
4. ส่วนควบคุม (Control Circuit) ทำหน้าที่ในการควบคุมการอ่านหรือเขียนหน่วยความจำ

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



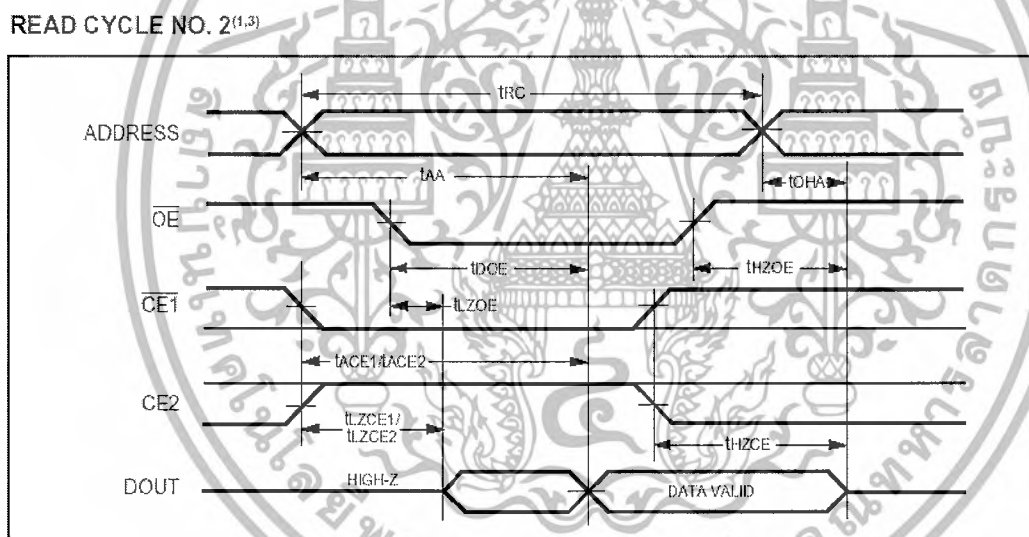
รูปที่ 2.3 แสดงสถาปัตยกรรมของหน่วยความจำชั่วคราว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 กระบวนการอ่าน (Read Operation)

กระบวนการอ่านของหน่วยความจำ หน่วยความจำจะส่งสัญญาณตำแหน่งออกมาสำหรับเลือก รีจิสเตอร์(Register) 1 ตัวในชิพความจำ จะถูกเลือกก่อนสำหรับอ่านหรือเขียน ถ้าจะทำการอ่านจากรีจิสเตอร์ ตัวที่ถูกเลือกจะต้องให้ขา Read/Write มี Logic เป็น '1' เช่นเดียวกับขา Chip select จะต้องมีลอจิก เป็น '0' จะทำให้เอาต์พุตบัฟเฟอร์(Output buffers) มีค่าของรีจิสเตอร์ที่ถูกเลือกและไปปรากฏที่เอาต์พุตจะเห็นได้ว่าเมื่อขา Read/Write มี Logic เป็น '1' ทำให้อินพุตบัฟเฟอร์ (Input buffers) ไม่ทำงาน เป็นผลให้ข้อมูลอินพุตไม่มีผลกับหน่วยความจำขณะทำการอ่าน

เวลาของรอบการอ่าน t_{AC} และเวลาของรอบการเขียน t_{WC} มีความสำคัญมากจะกำหนดความเร็วของแรมที่สามารถทำได้ ตัวอย่างเช่นในการประยุกต์ในงานจริง ซีพียู อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำถ้าหน่วยความจำมี t_{RC} เท่ากับ 50ns ซีพียู สามารถอ่าน 1 คำ ทุก ๆ 50 ns หรือ 20 ล้านคำ/วินาที แต่ถ้า $t_{RC} = 10$ ns CPU สามารถอ่านได้ 100 ล้านคำ/วินาที ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการอ่านของหน่วยความจำ

2.3.3 กระบวนการเขียน (Write Operation)

กระบวนการเขียนของหน่วยความจำ เมื่อขา Read /Write = '0' และขา chip select = '0' ข้อมูลที่ขา ดาต้าอินพุต(Data Inputs) จะไหลผ่านอินพุตจะไหลผ่านอินพุตบัฟเฟอร์ไปยังรีจิสเตอร์ที่ถูกเลือกเมื่อขา Read /Write = '0' ทำให้เอาต์พุตบัฟเฟอร์ มีสถานะความต้านทานสูง (High Impedance) การเขียนจะทำลายข้อมูลเดิมที่เก็บไว้ในตำแหน่งที่เขียนเข้าไปใหม่

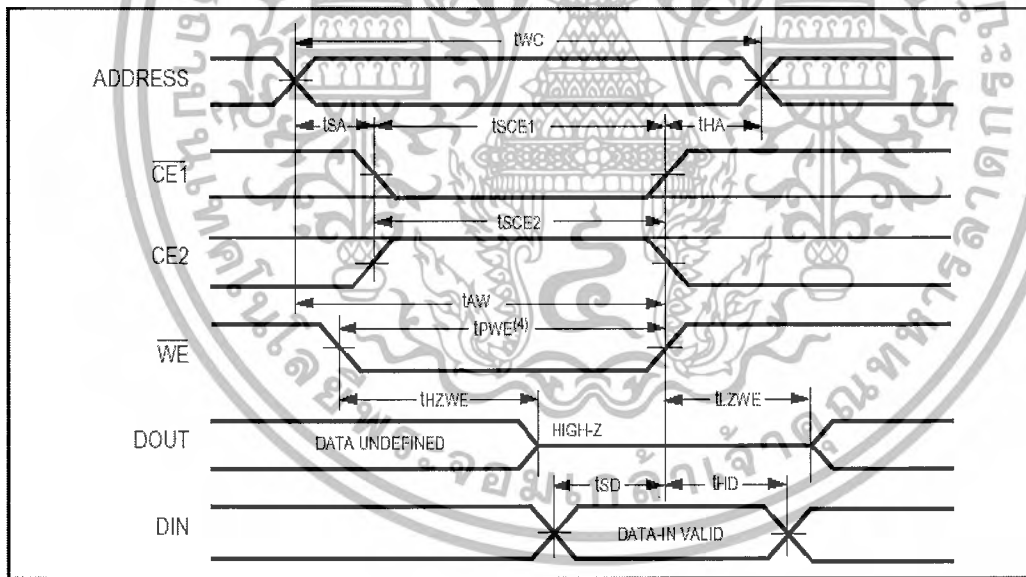
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกชิพซีเล็ก (Chip Select) ชิพจะมีชิพซีเล็กอยู่ 1 ขาหรือมากกว่าสำหรับควบคุมให้ชิพ ทำงานหรือไม่ทำงาน เมื่อชิพถูกควบคุมไม่ให้ทำงานทุกอินพุตและเอาต์พุตมีสถานะความต้านทานสูงบางที่เรียก ขานี้ว่า ชิพเอนเบิล(Chip Enable) (CE)

ปกติจากโรงงานผลิต ไอซี (IC) จะรวมขา คาต้าอินพุตและเอาต์พุตเข้าด้วยกันเป็นแบบไบไดเร็กชันนอล(Bi-directional) ซึ่งจะถูกควบคุมโดย Read /Write แรม ที่มีการวางโครงสร้างแบบเมทริกซ์(matrix) การถอดรหัสของตำแหน่งเลือกแถวและหลักของริจิสเตอร์เพื่อเข้าไมสำหรับอ่านหรือเขียนสถาปัตยกรรมที่เป็นแบบเมทริกซ์จะช่วยลดขนาดของวงจรตัวถอดรหัส

แสดงสัญญาณสำหรับรอบการเขียน โดยแรมต้นเมื่อ ซีพียู ส่ง ตำแหน่งมาให้ยัง RAM ที่เวลา t_0 ซีพียูจะส่งสัญญาณมายังขาชิพซีเล็ก เป็น '0' หลังจากเวลา t_{AS} เรียกเวลานี้ว่า เวลาเซตอัปตำแหน่ง(Address Setup Time) ซึ่งเวลานี้ ตำแหน่งถอดรหัส(address decoder) จะตอบสนองต่อตำแหน่งใหม่ขา ชิพซีเล็กและ ชิพซีเล็กเป็น '0' เป็นเวลา t_w เรียกว่าเวลาการเขียน(Write Time) ดังแสดงในรูปที่ 2.5

WRITE CYCLE NO. 2 (CE1, CE2 Controlled)^(1,2)



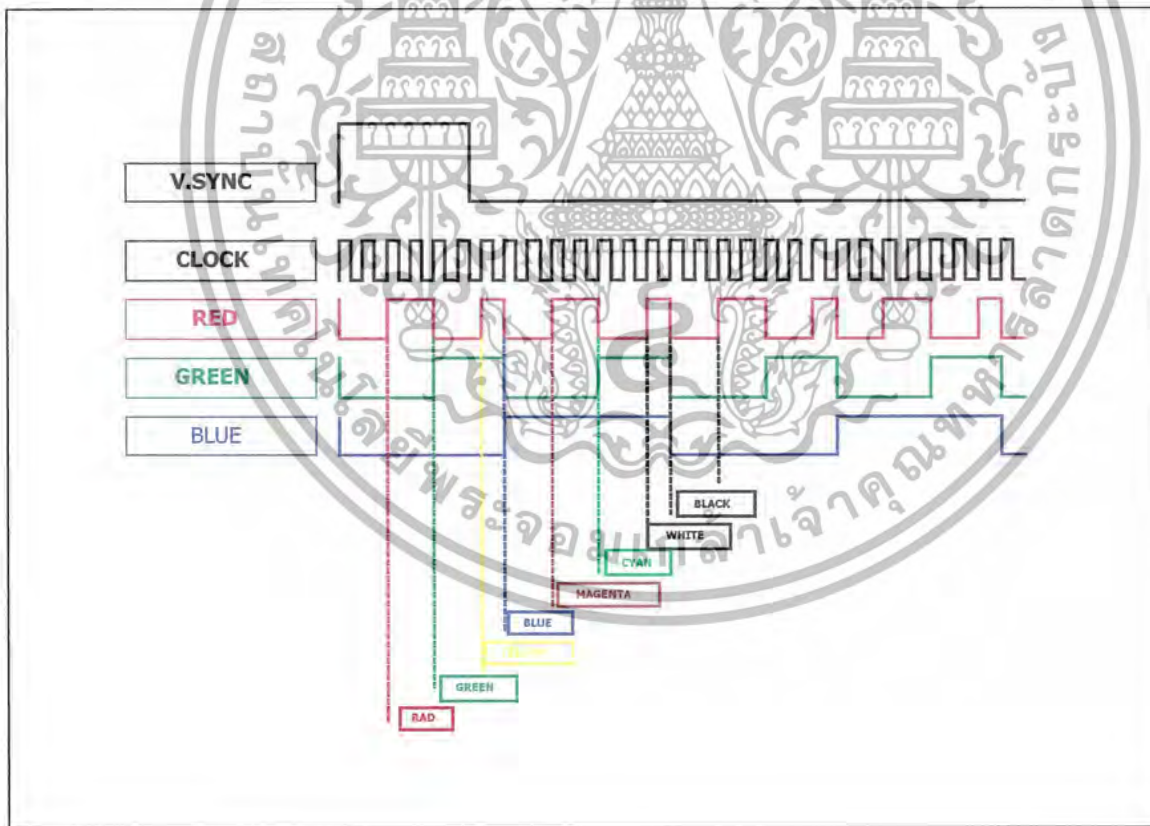
รูปที่ 2.5 แสดงกระบวนการเขียนของหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 จอภาพ (Monitor)

จอภาพทำงานโดยการแสดงภาพ ซึ่งอาจเป็นภาพกราฟิกหรือตัวอักษร ซึ่งเกิดจากการประมวลผลของการ์ด วีจีเอ ซึ่งจอภาพแบ่งเป็น 2 ประเภท โมโน โครมคือจอภาพสีเดียวหรือจอภาพ (Monochrome) และจอสี (Color Monitor) ปัจจุบันจอภาพสีเดียวนั้นไม่เป็นที่นิยมใช้กับคอมพิวเตอร์ หากจะมีใช้ก็เฉพาะงานเฉพาะอย่างเท่านั้น ส่วนที่นิยมใช้ก็คือจอสี โดยแบ่งได้อีกเป็น 3 ประเภท คือจอสีวีจีเอ (VGA = Video Graphics Array) และจอสีซูปเปอร์วีจีเอ (SVGA = Super Video Graphics Array) และจอ LCD (Liquid Crystal Display) ซึ่งประเภทหลังนี้มีราคาแพงมาก จอภาพที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันจอ SVGA เนื่องจากมีราคาไม่แพงมากนัก และเหมาะกับการใช้งานที่ออกแบบให้มีความสามารถแสดงภาพกราฟิกมากขึ้น นอกจากนี้การใช้งานประเภทมัลติมีเดียหรือเกมส์ต่างๆ ก็ต้องการจอภาพที่มีความละเอียดสูง (High Resolution) สามารถแสดงสีได้หลายสี

การแสดงสีของจอภาพเกิดจากการกำหนดค่าสัญญาณทางไฟฟ้าให้กับขา RGB ของจอภาพความแตกต่างของสัญญาณทางไฟฟ้าที่ขา RGB จะหมายถึงการเปลี่ยนไปของสีที่แสดงออกมาบนจอภาพดังแสดงในรูปที่ 2.6

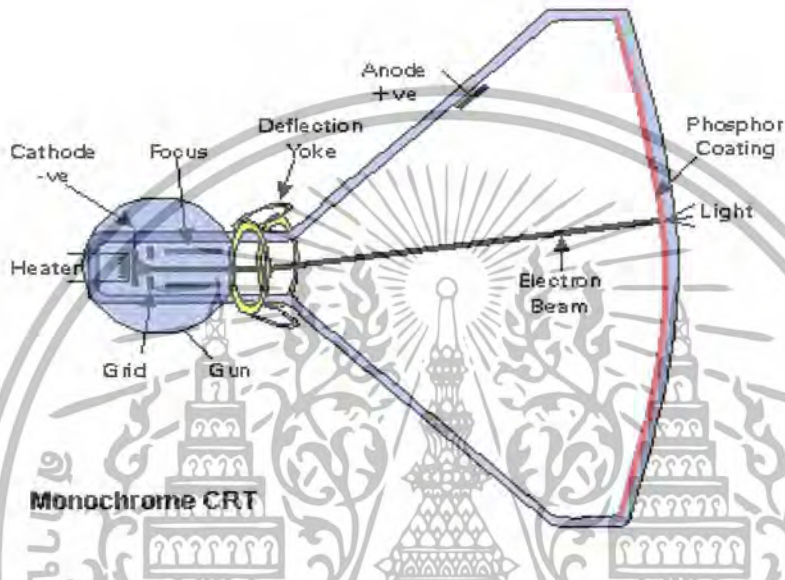


รูปที่ 2.6 แสดงการเกิดสีของจอภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 การทำงานของจอภาพ

จอภาพมีหลักการทำงานแบบเดียวกับจอโทรทัศน์โดยจะมีกระแสไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage) คอยกระตุ้นให้อิเล็กตรอนภายในหลอดภาพแตกตัว อิเล็กตรอนดังกล่าวจะทำให้เกิดลำแสงอิเล็กตรอนไปกระตุ้นฟอสฟอรัสที่ฉาบอยู่บนหลอดภาพ เมื่อฟอสฟอรัสถูกกระตุ้นจากอิเล็กตรอนจะเกิดการเรืองแสงและปรากฏเป็นจุดสีต่างๆ (RGB Color) ซึ่งรวมเป็นภาพบนจอภาพนั่นเอง



รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานของจอภาพ

2.4.2 ด้อยพิช (Dot Pitch)

ด้อยพิช คือความห่างระหว่างจุดของฟอสฟอรัสที่ฉาบอยู่บนหลอดภาพ ถ้าจุดแต่ละจุดห่างกันน้อยก็จะทำให้ภาพละเอียดมากขึ้นขนาดระหว่างจุดของฟอสฟอรัสนั้นมีหลายขนาด เช่น 0.25, 0.26, 0.28, 0.29, 0.31 ฯลฯ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ตัวเลขดังกล่าวนี้ยิ่งน้อยยิ่งดี เพราะแสดงว่าความห่างระหว่างฟอสฟอรัสซึ่งน้อยจะยิ่งแสดงภาพได้ละเอียดมากขึ้น เมื่อนำขนาดของความห่างและความละเอียดของการแสดงภาพมากำหนดประเภทของจอภาพจะได้ประเภทของจอภาพดังต่อไปนี้

จอสีวีจีเอ ขนาด 14 นิ้ว (640 x 480) สามารถแสดงรูปขนาด 11.2 x 8.4 นิ้ว จะมีขนาดพิกเซลประมาณ 0.018 นิ้วหรือ 0.44 มิลลิเมตร (ต้องไม่มากกว่านี้)

จอสีซูเปอร์วีจีเอ ขนาด 14 นิ้ว (1024 x 768) จะมีขนาดของพิกเซล 0.28 มิลลิเมตร (ต้องไม่มากกว่านี้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 อัตราการสแกนภาพ

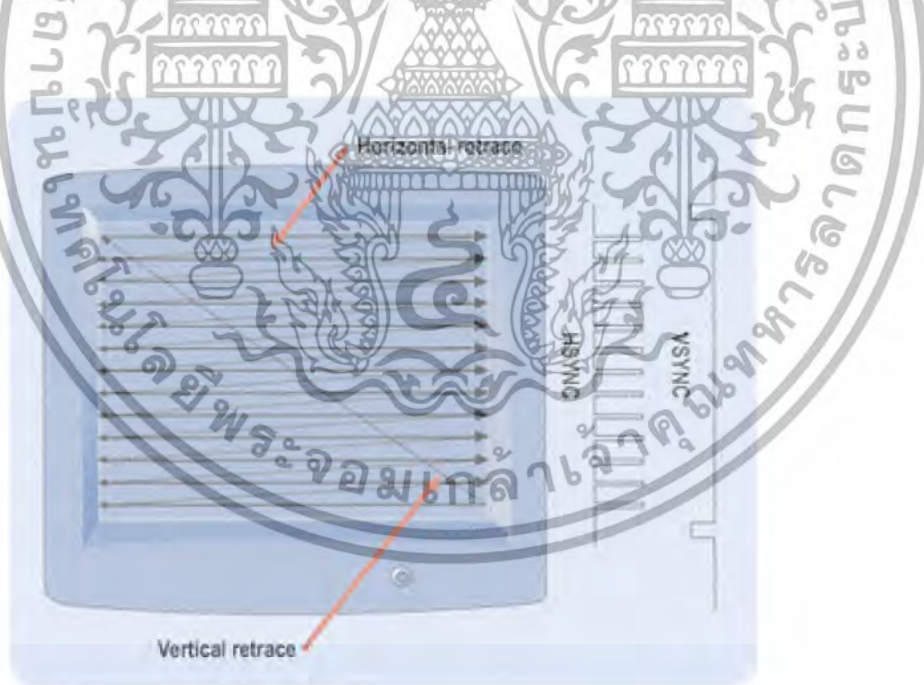
อัตราการสแกนภาพ หรืออัตราการกวาดสัญญาณ (Refresh Rate) หมายถึง ความเร็วในการกวาดสัญญาณเพื่อสร้างภาพบนจอ โดยอาศัยการกวาดสัญญาณทั้งแนวตั้ง และแนวนอนแบ่งเป็น

อินเตอร์เล็ซ (Interlaced) ระบบการแสดงผลบนจอภาพที่ใช้การยิงอิเล็กตรอนเพื่อการสร้างภาพในความละเอียดสูง โดยไม่ต้องใช้ความถี่ในแนวนอนมากนัก นั่นหมายถึงต้นทุนการผลิตมอนิเตอร์ย่อมลดลงไปด้วย แต่ภาพที่ได้จะมีการสั่นไหวเล็กน้อย และมีผลกับผู้ที่ต้องทำงานกับจอเป็นเวลานานๆ การแสดงภาพจะมีการสแกนบรรทัดเว้นบรรทัด โดยรอบแรกสแกนบรรทัดเลขคี่ รอบสองสแกนบรรทัดเลขคู่ ดังนั้นความถี่ในการสแกนจึงไม่จำเป็นต้องครบรอบ ภาพที่ได้จึงไม่ค่อยชัดเท่าที่ควร

นอนอินเตอร์เล็ซ (Non-interlaced) ระบบการแสดงผลจอภาพ ที่ใช้ความถี่สูงขึ้นเป็นสองเท่า จากปกติในการยิงลำอิเล็กตรอนกวาดไปบนจอภาพ ช่วยให้สามารถได้ภาพที่มีความนิ่ง ไม่สั่นไหวทำให้มองดูแล้วสบายตา และไม่เป็นอุปสรรคในการทำงานเมื่อจ้องจอเป็นเวลานานๆ

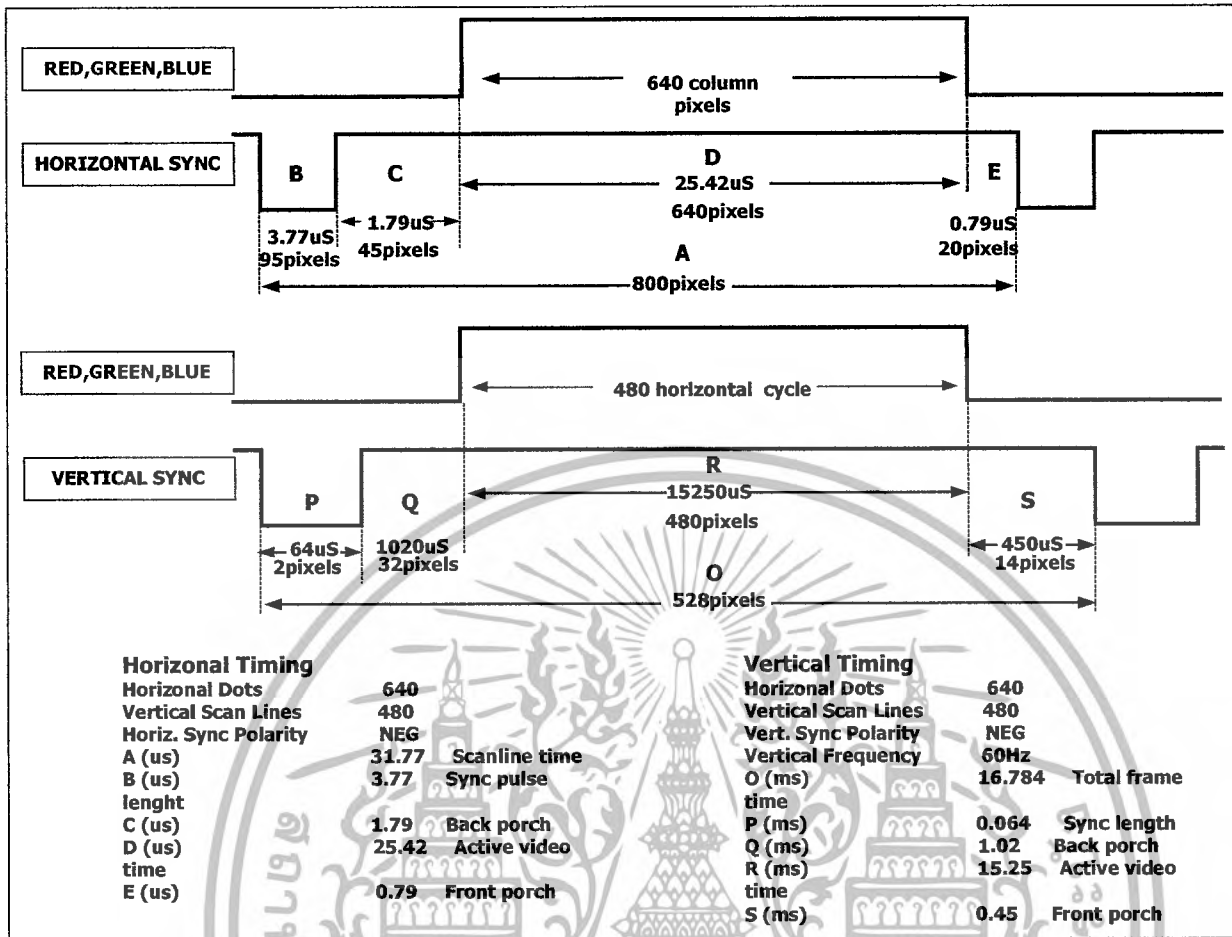
ความถี่ในการสแกนภาพตามแนวนอน จะมีหน่วยวัดเป็น kHz ซึ่งจะเป็นค่าที่บอกให้ทราบว่า เวลาที่ใช้ในการสแกนภาพ ความแนวนอน ของแต่ละเส้นนั้น ใช้เวลาเท่าใด

ความถี่ในการสแกนภาพตามแนวตั้ง จะมีหน่วยวัดเป็น Hz เป็นค่าที่บอกให้ทราบว่า จอมอนิเตอร์ มีการแสดงภาพซ้ำไปกี่ครั้งใน 1 วินาที โดยถ้าค่านี้ต่ำกว่า 60Hz จะทำให้เกิดการกระพริบของภาพบนจอ



รูปที่ 2.8 แสดงการสแกนของจอภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงตารางเวลาของสัญญาณ H.SYNC และสัญญาณ V.SYNC

2.4.4 การกระจายรังสีต่ำ (Low - Radiation)

จอภาพที่มีการกระจายรังสีจะช่วยลดอันตราย เนื่องจากการทำงานบนคอมพิวเตอร์นาน ๆ การทดสอบว่าจอภาพมีการกระจายรังสีต่ำหรือไม่นั้นทดสอบได้โดยเปิดสวิทซ์จอภาพแล้วลองเอามือหรือช่วงแขนไว้ใกล้จอภาพให้มากที่สุด ถ้ารู้สึกถึง ไฟฟ้าสถิตย์ แสดงว่าเป็นจอภาพแบบธรรมดา (หรือจะทดลองกับจอโทรทัศน์ก่อนก็ได้เพื่อจำความรู้สึก ยกเว้นว่าโทรทัศน์ก็เป็นแบบการกระจายรังสีต่ำคือมีการกระจายรังสีตามมาตรฐาน MPR-II ของ SSI (Swedish National Institute Low Radiation) ถ้าเป็นจอภาพ การกระจายรังสีต่ำจะแทบไม่รู้สึกเกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตย์เลย

2.4.5 ความละเอียด (Resolution)

ความละเอียด คือค่าความละเอียดของการแสดงภาพหรือสแกนภาพออกมาได้ความละเอียดมากเท่าไร ความสามารถในการแสดงภาพได้ละเอียดมากขนาดไหนนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของจอภาพ VGA จะแสดงภาพได้ละเอียดน้อยกว่าจอภาพ SVGA ยิ่งกำหนดความละเอียดในการแสดงสีมากเท่าไร ภาพจะละเอียดมากขึ้น แต่ตัวอักษรบนจอภาพจะเล็กลง โดยจะบอกเป็นค่าสองค่า อย่างเช่น 1024 x 768 ซึ่งเมื่อคำนวณออกมาแล้วก็คือจำนวนจุดที่จอภาพสามารถผลิตออกมาได้ ในกรณีนี้ เลขตัวแรกคือ เวกอร์ติคอล (Vertical) คือจำนวนเส้นในแนวตั้งเท่ากับ 1024 เส้น เลขตัวต่อมาก็คือ ฮอริซอลคอล (Horizontal) คือจำนวนเส้นในแนวนอนเท่ากับ 768 เส้น เมื่อเอาตัวเลข 2 ตัว มาคูณกัน ผลลัพธ์ก็คือจำนวนจุดบนจอภาพซึ่งก็คือ ความละเอียด

พอร์ตเชื่อมต่อข้อมูลแสดงผล (Display data port) จะเป็นพอร์ตแบบ DB 15 ดังแสดงรายละเอียดของขาต่างๆ ในรูปที่ 2.10

Analogue RGB (VGA, SVGA, VESA)

Pins layout

Connector : female DB15c



Connector : female DB9



Pin	VGA	VESA DDC (Display Data Channel)	Description
1	R-out	R-out	Red out
2	G-out	G-out	Green out
3	B-out	B-out	Blue out
4	ID 2	Reserved	Monitor ID bit 2
5	GND	GND	Ground
6	R-return	R-GND	Red return/ground
7	G-return	G-GND	Green return/ground
8	B-return	B-GND	Blue return/ground
9	Key (no pin)	+5V	Power +5V
10	Sync-return	SGND	Sync return/ground
11	ID 0	ID 0	Monitor ID bit 0
12	ID 1	SDA	Monitor ID bit 1 / DDC Serial Data Line
13	H-Sync	H-Sync / CSYNC	Horizontal Sync (/ Composite Sync)
14	V-Sync	V-Sync	Vertical Sync
15	Reserved	SCL	DDC Data Clock Line

Pin	VGA 9	Description
1	R-out	Red out
2	G-out	Green out
3	B-out	Blue out
4	H-Sync	Horizontal Sync
5	V-Sync	Vertical Sync
6	R-GND	Red ground
7	G-GND	Green ground
8	B-GND	Blue ground
9	SGND	Sync Ground

Note : This connector have been used in the beginning of VGA displays and is now replaced by the DB15c.

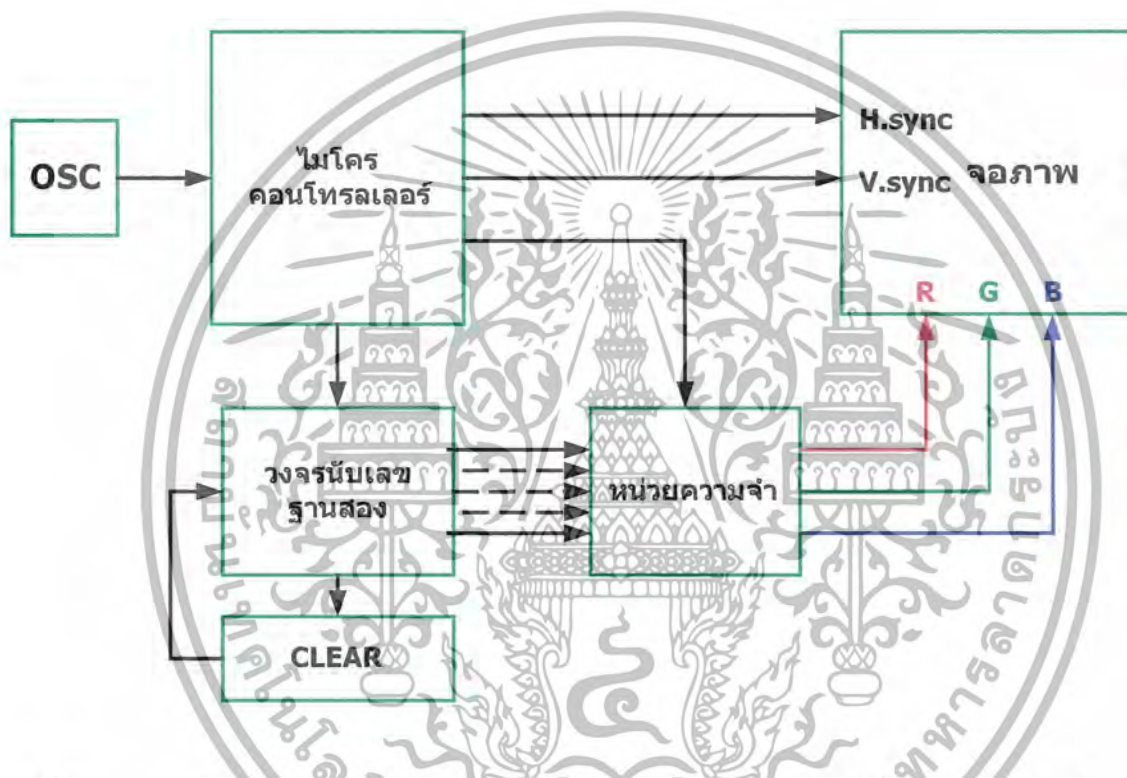
รูปที่ 2.10 แสดงพอร์ตเชื่อมต่อข้อมูลแสดงผลของจอ VGA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

3.1 โครงสร้างของวงจรแสดงเส้นกราฟบนจอ VGA ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรแสดงเส้นกราฟบนจอ VGA ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรแสดงเส้นกราฟบนจอ VGA ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์

ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อข้อมูลกับหน่วยความจำ การประมวลผลและเป็นตัวกำเนิดสัญญาณ H.SYNC กับ V.SYNC โดยมีออสซิลเลเตอร์(Oscillator) เป็นตัวกำเนิดความถี่ป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หน่วยความจำ

ทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลของสัญญาณเส้นกราฟจากภายนอกเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวเขียนหรืออ่านข้อมูลแล้วนำข้อมูลไปประมวลผล

3. วงจรนับเลขฐานสอง

ทำหน้าที่ในการกำหนดค่าตำแหน่งของหน่วยความจำเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เขียนหรืออ่านข้อมูลได้ถูกต้องตามตำแหน่งของข้อมูล

4. จอภาพ

ทำหน้าที่ในการแสดงผลในรูปแบบของเส้นกราฟบนจอภาพในรูปแบบต่าง ๆ ตามค่าข้อมูลหรือลักษณะของข้อมูลที่ได้รับเข้ามา

3.2 การสร้างสัญญาณ H.SYNC

ขั้นตอนการสร้างสัญญาณ PWM สามารถสร้างได้ดังนี้

1. กำหนดให้ขา RC1/CCP2 เป็นเอาต์พุต
2. กำหนดค่าคาบเวลาของสัญญาณให้กับรีจิสเตอร์ PR1
3. กำหนดค่าควิตซ์ไซ้ที่เกิดลงในรีจิสเตอร์ CCPR2L และบิต CCPX, CCP2Y ในรีจิสเตอร์ CCPCON
4. เลือกโหมดของสัญญาณ PWM โดยกำหนดข้อมูล 4 บิตล่างของรีจิสเตอร์ CCP2CON เท่ากับ 11xx

สูตรการคำนวณที่เกี่ยวข้องในการสร้างสัญญาณ PWM

มีด้วยกัน 4 สูตร คือ

$$PR2 = \frac{PWM_{PERIOD}}{4 \times T_{OSC} \times PERSCALER} - 1 \dots \dots \dots (1)$$

$$CCPR2L:CCP2X:CCP2Y = \frac{PWM_{duty}}{T_{OSC} \times PRESCALER} \dots \dots \dots (2)$$

$$PWM_{duty} = \frac{DUTYCYCLE(\%) \times PWM_{PERIOD}}{100} \dots \dots \dots (3)$$

$$V_{PWM} = \frac{DUTYCYCLE(\%) \times V_{DD}}{100} \dots \dots \dots (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณโดยเทียบผลจากรูปที่ 2.9 จะได้คาบเวลาของสัญญาณดังนี้

$$\begin{aligned} PR2 &= \frac{PWM_{PERIOD}}{4 \times T_{OSC} \times PERSCALER} - 1 \\ &= \frac{31.77 \times 10^{-6} \times 20 \times 10^6}{4 \times 1} - 1 = 155.85 \\ &= 156 \end{aligned}$$

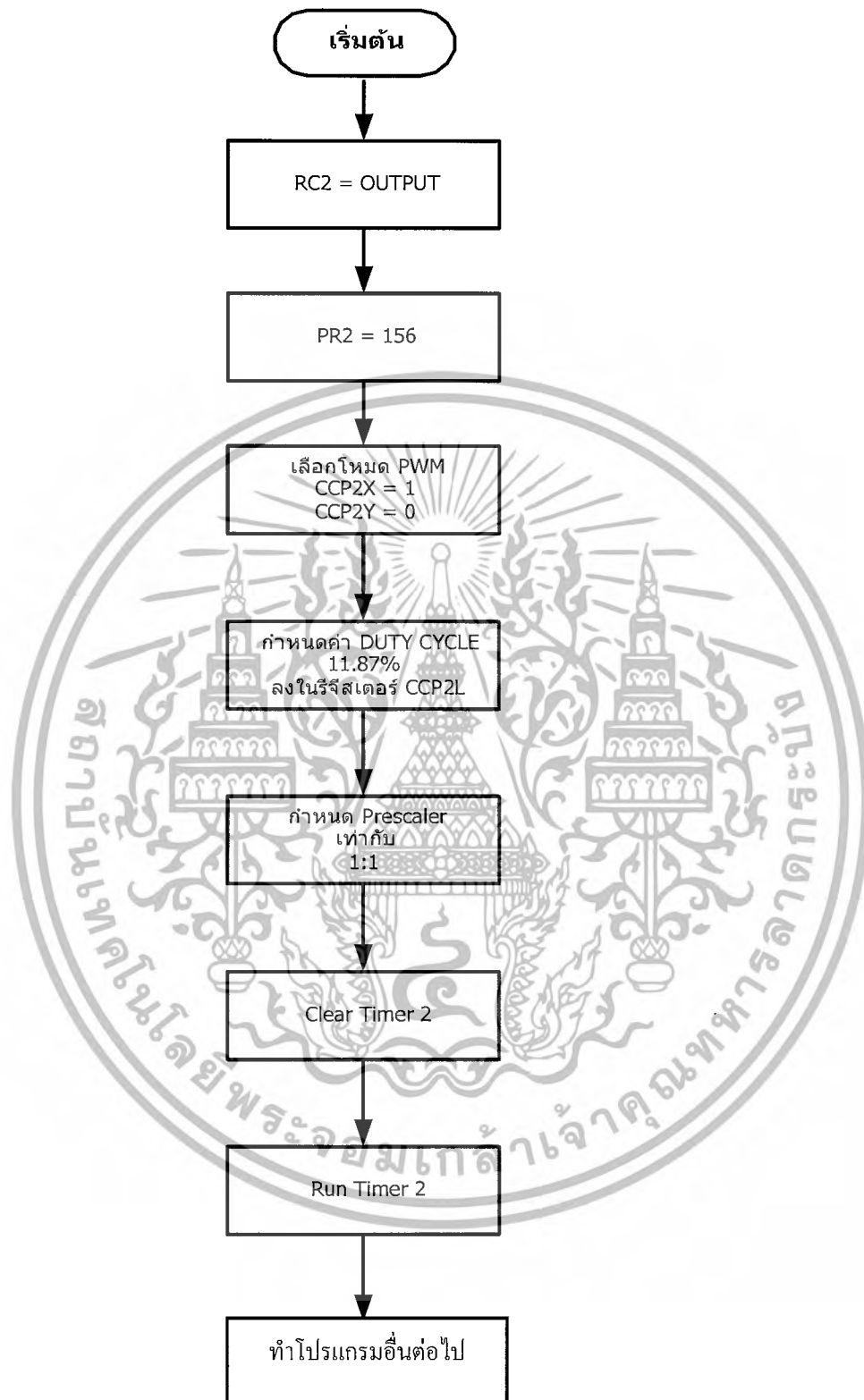
$$DT = T_{ON} \times T_{OSC} \times T2DIV$$

$$\begin{aligned} &= \frac{(28 \times 10^{-6} \times 1)}{20 \times 10^6} \\ &= 560 \end{aligned}$$

เมื่อได้ค่า PR2 และค่า DT แล้วนำค่าที่ได้มาใช้ในการเขียนโฟลวชาร์ตดังรูปที่ 3.2

ขั้นตอนการทำงานของโฟลวชาร์ต

1. กำหนดให้ขา RC2/CCP1 เป็นเอาต์พุต
2. กำหนดค่าคาบเวลาของสัญญาณให้กับรีจิสเตอร์ PR2 เท่ากับ 156
3. เลือกโหมดของสัญญาณ PWM โดยกำหนดข้อมูล 4 บิตล่างของรีจิสเตอร์ CCP2CON เท่ากับ 11xx
4. กำหนดค่าดีวตี้ไซเคิลลงในรีจิสเตอร์ CCPR2L และบิต CCPX, CCP2Y ในรีจิสเตอร์ CCPCON โดยกำหนดไว้ที่ 11.87 เปอร์เซ็นต์เพื่อให้มีค่าเท่ากับ 560
5. กำหนดค่าปริสเกลเลอร์ให้มีค่าเท่ากับ 1:1
6. สั่งให้ไทมเมอร์ 2 ทำงาน
7. ทำโปรแกรมอื่นต่อไป



รูปที่ 3.2 โฟลวชาร์ตแสดงการเขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณ H.SYNC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสร้างสัญญาณ V.SYNC

สร้างจากการใช้คำสั่งทาง อินพุต /เอาต์พุต ของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้ฟังก์ชัน ควบคุมพอร์ตที่ขา C1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับคำสั่ง หน่วงเวลา(Delay)

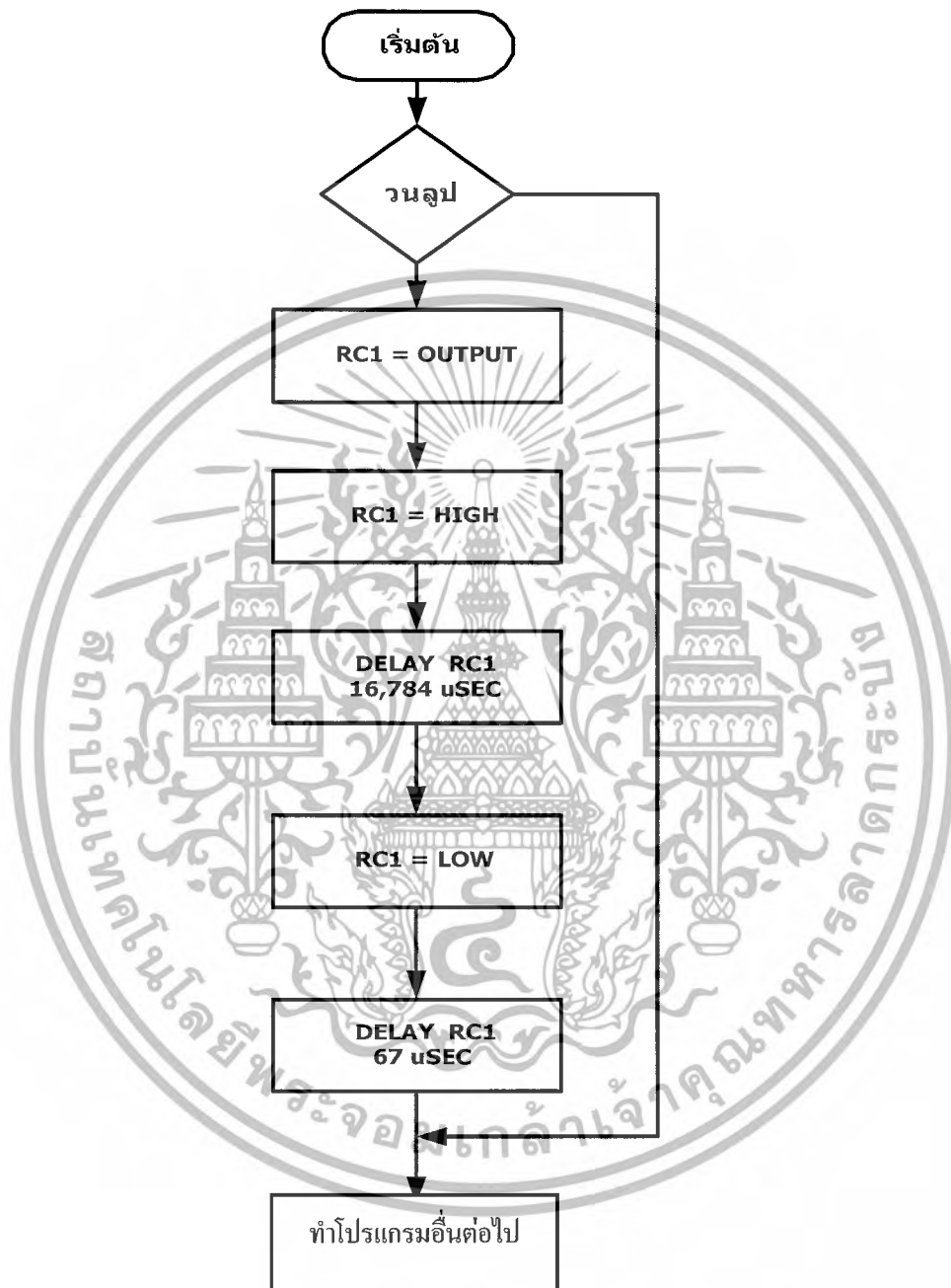
จากผลการคำนวณโดยเทียบผลจากรูปที่ 2.9 จะได้คาบเวลาของสัญญาณดัง โพลวชาร์ตรูปที่ 3.3

ขั้นตอนการทำงานของโพลวชาร์ต

1. กำหนดให้ขา RC1 เป็นเอาต์พุต
2. กำหนดให้ขา RC1 เป็นลอจิก “ 1 ”
3. หน่วงเวลาให้เท่ากับ 16,784 ไมโครวินาที
4. กำหนดให้ขา RC1 เป็นลอจิก “ 0 ”
5. หน่วงเวลาให้เท่ากับ 64 ไมโครวินาที
6. สั่งให้วนลูปการทำงาน
7. ทำโปรแกรมอื่นต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 โฟลวชาร์ตแสดงการเขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณ V.SYNC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การสร้างสัญญาณ RGB

การคำนวณค่าความถี่ของสัญญาณ RGB (Clock frequency) ได้เปรียบเทียบโดยการนำเอาค่าเวลาของ V.SYNC และ H.SYNC หนึ่งลูกคลื่นมาคูณกันแล้วคูณกับอัตราการ Refreshes rate จะได้สมการ

$$\text{Clock frequency} = \text{H.SYNC} \times \text{V.SYNC} \times \text{refresh rate}$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} \text{Clock frequency} &= 800 \text{ pixels} \times 528 \text{ pixels} \times 59.60 \text{ Hz} \\ &= 25.175 \text{ MHz} \end{aligned}$$

แต่ในโครงการนี้เลือกที่จะเป็นความถี่ (Clock frequency) ที่ความถี่ลดลงเป็น 5 เท่าของความถี่เดิมซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.035 MHz

จากนั้นนำค่าที่ได้มากำหนดความถี่ให้กับวงจรนับเลขฐานสอง

3.5 การคำนวณหาค่าตำแหน่งของหน่วยความจำ

สามารถคำนวณได้จากการนำเอาค่า พิกเซล(Pixel) ของข้อมูล ฮอริซอลตอล กับ เวอร์ติคอล มาคูณกันแต่เนื่องจากเราป้อนความถี่ลดลงเป็น 5 เท่าของความถี่(Clock frequency) จึงสามารถคำนวณหาค่าตำแหน่งของหน่วยความจำได้จากสูตร

$$\text{ADD} = \frac{\text{Horizontal} \times \text{Vertical}}{5}$$

แทนค่า

$$\text{ADD} = \frac{640 \times 480}{5} = 61,440 \text{ ตำแหน่ง}$$

ดังนั้นในหน่วยความจำ 1 ตำแหน่งจึงเก็บข้อมูลค่าพิกเซล ไว้ 5 พิกเซล

3.6 การออกแบบวงจรนับเลขฐานสอง (Binary counter)

วงจรรับเลขฐานสองนำมาใช้ในการกำหนดค่าตำแหน่งให้กับหน่วยความจำโดยความถี่มีค่าเท่ากับ 5.035 MHz

แต่เนื่องจากให้หน่วยความจำ 128 K ซึ่งมีค่าตำแหน่งเท่ากับ 131,072 ตำแหน่งแต่เราใช้เพียง 61,440 ตำแหน่ง ดังนั้นจึงต้องมีวงจรเคลียร์ตำแหน่ง (Clear Address) ในการเคลียร์ตำแหน่งเมื่อวงจรรับเลขฐานสองนับถึงตำแหน่งที่ 61,440

ทำการแปลงเลข 61,440 เป็นเลขฐาน 16 และเลขฐาน 2 จะได้ค่าเท่ากับ

$$61,440 = F000H = 1111000000000000$$

จากนั้นนำค่าที่ได้มาทำการต่อวงจรและการทำงานของวงจรแสดงไว้ในภาคผนวก ก.1

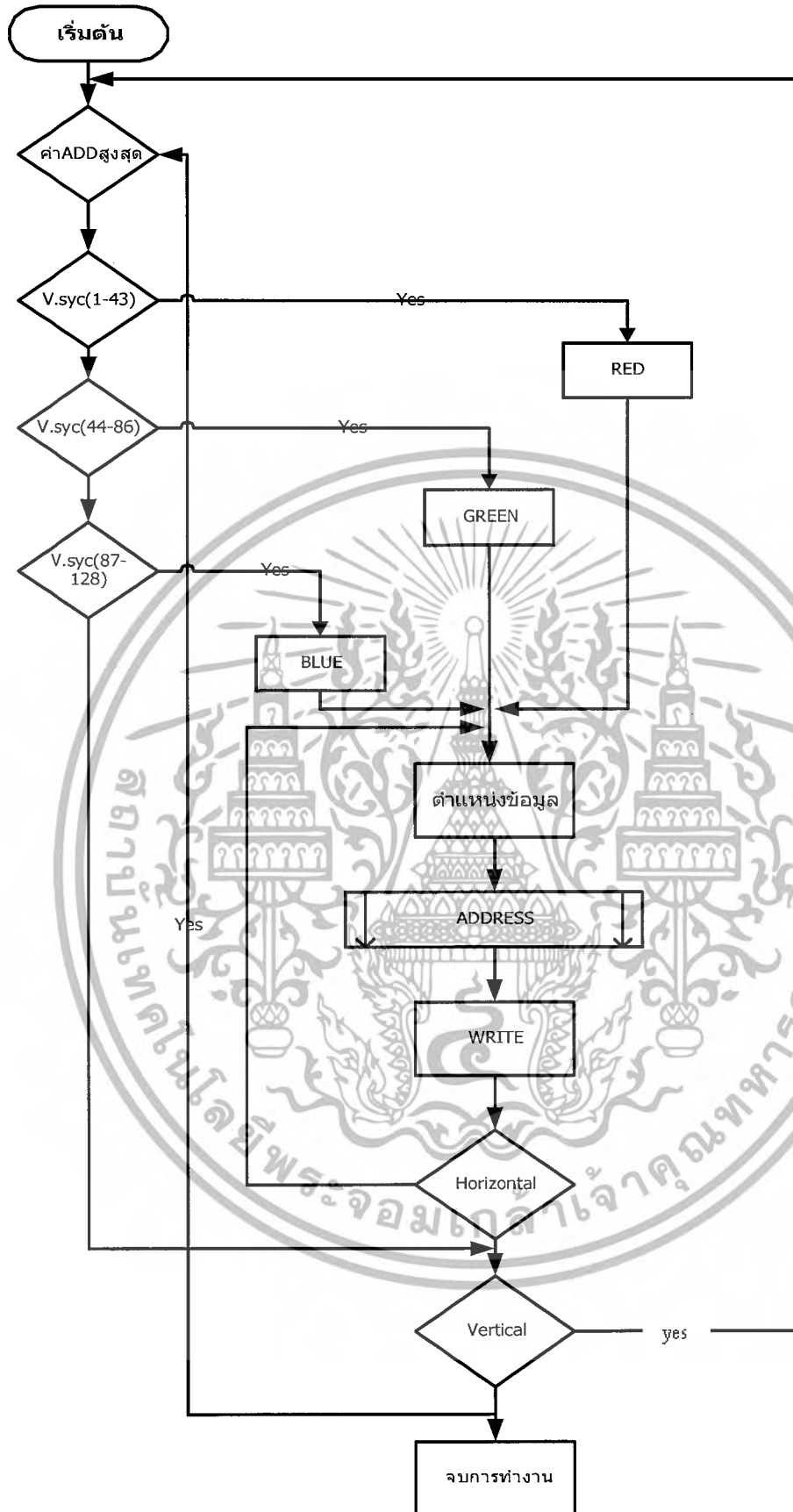
3.7 การเขียนโปรแกรมลงบนหน่วยความจำ

เมื่อมีการรับข้อมูลจากภายนอกเข้ามาจำเป็นจะต้องมีการจัดเก็บข้อมูลไว้ที่หน่วยความจำก่อนแล้วจึงทำการนำข้อมูลดังกล่าวมาแสดงผลบนจอภาพอีกที ดังนั้นจึงต้องมีการเขียนโปรแกรมลงบนหน่วยความจำก่อนแล้วจึงอ่านข้อมูลบนหน่วยความจำ

การเขียนโปรแกรมลงบนหน่วยความจำแสดงไว้ในโฟลวชาร์ตรูปที่ 3.4

ขั้นตอนการทำงานของโฟลวชาร์ต

1. กำหนดค่าตำแหน่งสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 61,440 ตำแหน่ง
2. กำหนดรูปแบบของข้อมูลที่จะทำการการเขียนโปรแกรมลงบนหน่วยความจำ เช่น โฟลวชาร์ตนี้จะกำหนดข้อมูลเป็นแถบสี แดง เขียว และน้ำเงิน ในแนวตั้งตามลำดับ
3. เรียกใช้โปรแกรมน้อย ADDRESS
4. ทำการเขียนข้อมูลลงบนหน่วยความจำ
5. เปรียบเทียบค่าของตำแหน่ง สอริซอลตอล กับ เวอร์ติคอล เพื่อใช้ในการวนลูป
6. สั่งให้วนลูปการทำงาน
7. จบการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 3.4 โฟลวชาร์ตแสดงการเขียนโปรแกรมลงบนหน่วยความจำ

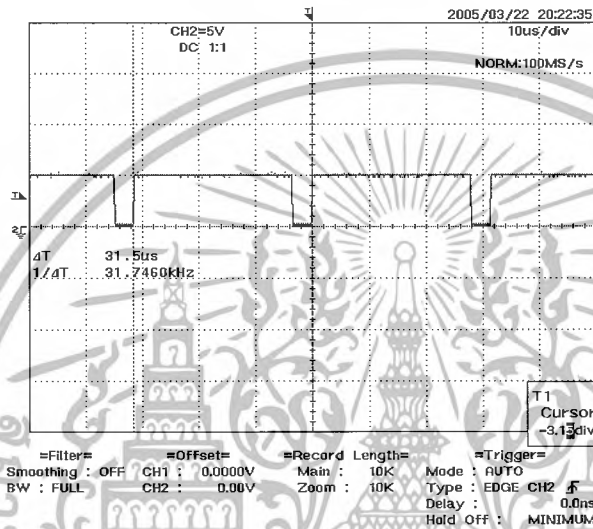
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

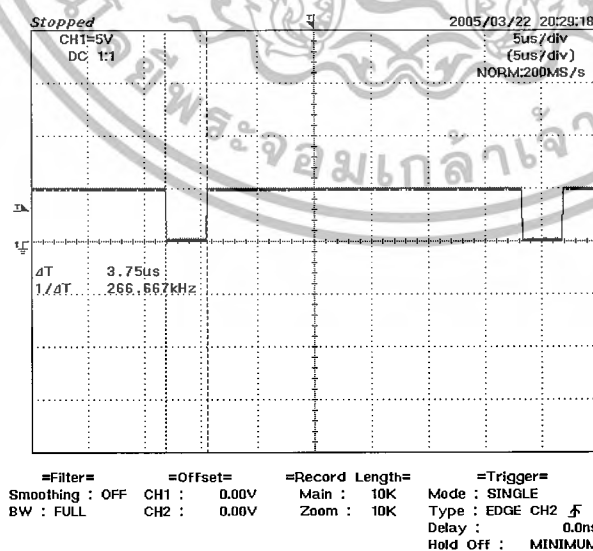
4.1 ผลการทดลองของสัญญาณ H.SYNC

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงรูปสัญญาณ H. SYNC ที่เวลาสแกนเส้น(Scanline time) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 31.476 kHz ได้จากการเขียนโปรแกรมตามโฟลวชาร์ตในรูปที่ 3.2 โดยเปรียบเทียบได้จากรูปที่ 2.9



รูปที่ 4.1 แสดงกราฟรูปสัญญาณ H. SYNC ที่เวลาสแกนเส้น(Scanline time)

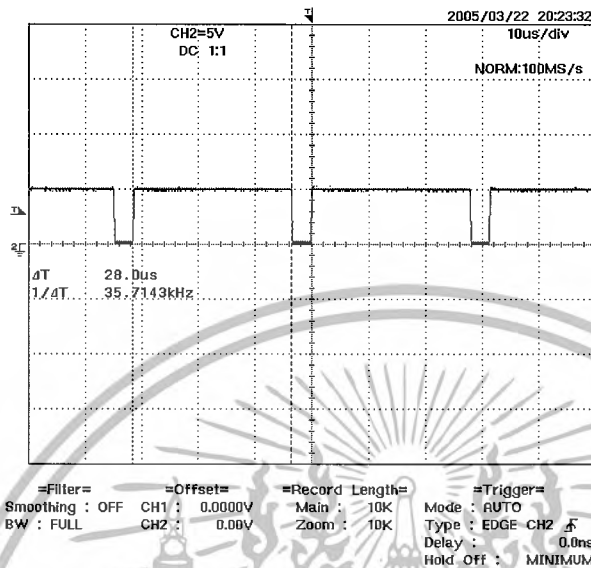
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงรูปสัญญาณ H. SYNC ที่ความถี่ ซิงค์พัลส์(Sync pulse) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.77 us ได้จากการเขียนโปรแกรมตามโฟลวชาร์ตในรูปที่ 3.2 โดยเปรียบเทียบได้จากรูปที่ 2.9



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟรูปสัญญาณ H. SYNC ที่เวลาซิงค์พัลส์(Sync pulse)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

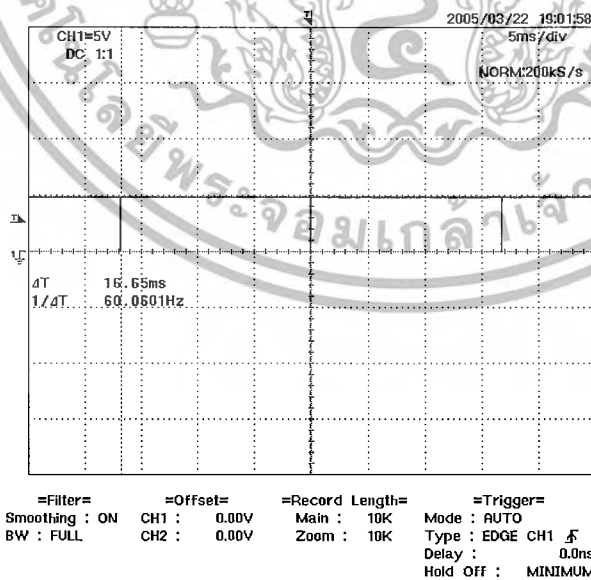
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงรูปสัญญาณ H. SYNC ที่เวลาแบล็กพอร์ช(Black porch) แอกทีฟวิดีโอ (Active video) และ ฟรอนท์พอร์ช(Front porch) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 28 ns ได้จากการเขียนโปรแกรมตาม โพลวชาร์ตในรูปที่ 3.2 โดยเปรียบเทียบได้จากรูปที่ 2.9



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟรูปสัญญาณ H. SYNC ที่เวลาแบล็กพอร์ช (Black porch) แอกทีฟวิดีโอ(Active video) และ ฟรอนท์พอร์ช(Front porch)

4.2 ผลการทดลองของสัญญาณ V.SYNC

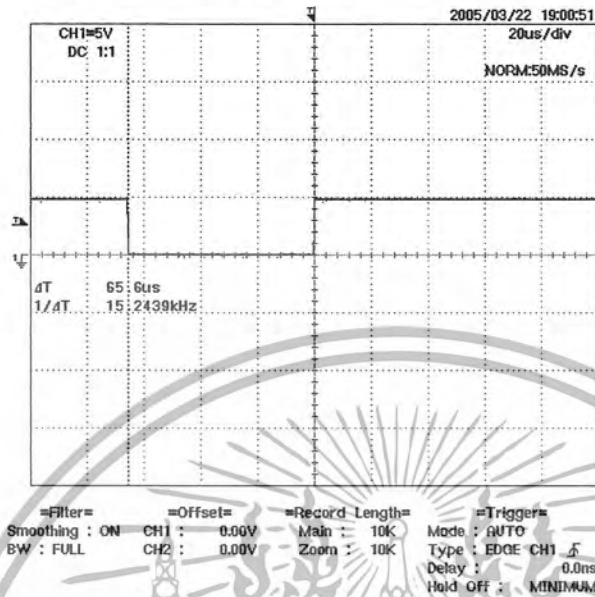
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงรูปสัญญาณ V. SYNC ที่เวลาเฟลมรวม(Total flame) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 16.784 ms ได้จากการเขียนโปรแกรมตาม โพลวชาร์ตในรูปที่ 3.3 โดยเปรียบเทียบได้จากรูปที่ 2.9



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟรูปสัญญาณ V.SYNC ที่เวลาเฟลมรวม(Total flame)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงรูปสัญญาณ V. SYNC ที่เวลาซิงค์เล็งซ์(Sync length) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 64 μ S ได้จากการเขียนโปรแกรมตามโฟลวชาร์ตในรูปที่ 3.3 โดยเปรียบเทียบได้จากรูปที่ 2.9



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟรูปสัญญาณ V. SYNC ที่เวลาซิงค์เล็งซ์(Sync length)

รูปที่ 4.6 แสดงการเชื่อมต่อวงจรแสดงเส้นกราฟบนจอ VGA ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ออกแบบไว้เพื่อสร้างสัญญาณ H. SYNC กับ V. SYNC

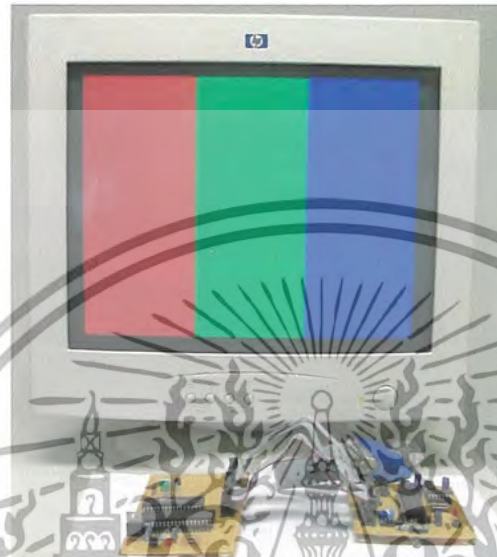


รูปที่ 4.6 แสดงการเชื่อมต่อวงจรแสดงเส้นกราฟบนจอ VGA ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ออกแบบไว้เพื่อสร้างสัญญาณ H. SYNC กับ V. SYNC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองของการแสดงเส้นกราฟบนจอภาพ

รูปที่ 4.7 แสดงผลในรูปแบบของเส้นแถบสีบนจอภาพที่เกิดจากการผสมสีของสัญญาณ RGB จึงได้สีที่เกิดขึ้นเป็น 8 สี ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.6



รูปที่ 4.7 แสดงผลในรูปแบบของเส้นแถบสีบนจอภาพ

รูปที่ 4.8 แสดงผลในรูปแบบของกราฟรูปคลื่นสี่เหลี่ยม โดยทำการเก็บข้อมูลของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมไว้ในหน่วยความจำแล้วจึงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำออกมาแสดงผลบนจอภาพ



รูปที่ 4.8 แสดงผลในรูปแบบของกราฟรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 แสดงผลในรูปแบบของกราฟรูปคลื่นไซน์ โดยทำการเก็บข้อมูลของรูปคลื่นไซน์ไว้ในหน่วยความจำ แล้วจึงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำออกมาแสดงผลบนจอภาพ



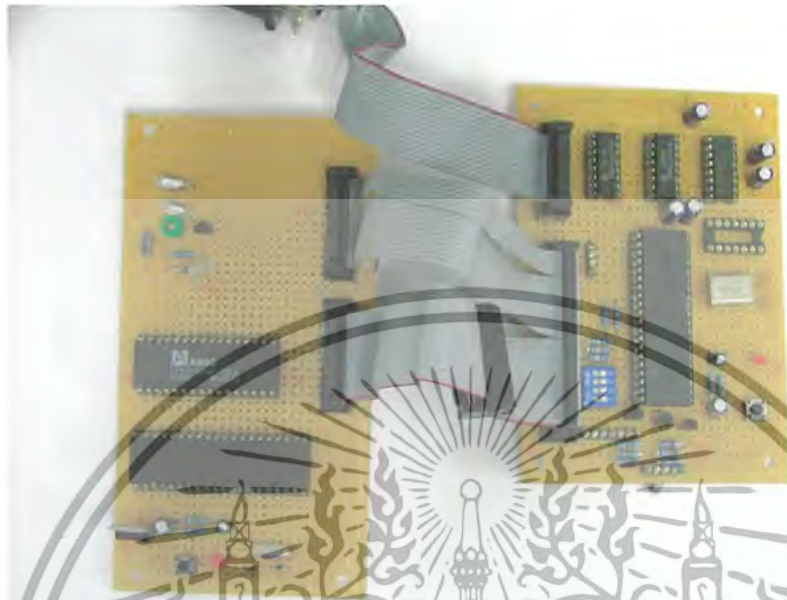
รูปที่ 4.9 แสดงผลในรูปแบบของกราฟรูปคลื่นไซน์

รูปที่ 4.10 แสดงผลในรูปแบบของกราฟรูปคลื่นสามเหลี่ยม โดยทำการเก็บข้อมูลของรูปคลื่นสามเหลี่ยมไว้ในหน่วยความจำ แล้วจึงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำออกมาแสดงผลบนจอภาพ

รูปที่ 4.10 แสดงผลในรูปแบบของกราฟรูปคลื่นสามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.11 แสดงรูปวงจรที่ต่อใช้งานในการทดลองวงจรแสดงเส้นกราฟบนจอ VGA ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 4.11 แสดงรูปวงจรแสดงเส้นกราฟบนจอ VGA ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

4.4 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้จะพบว่าวงจรแสดงเส้นกราฟบนจอ VGA ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถที่จะใช้งานได้จริง โดยสามารถที่จะแสดงเส้นกราฟหรือว่าจะเป็น การแสดงเส้นแถบสีและสามารถที่จะกำหนดสีบนจอภาพได้ โดยเราสามารถกำหนดรูปแบบของข้อมูลลงบนหน่วยความจำแล้วจึงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่เป็นตัวอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำแล้วนำข้อมูลนั้นมาแสดงผลบนจอภาพ

ความละเอียดในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ในส่วนของเลขทศนิยมมีขีดจำกัดทำให้ผลิตความถี่ของสัญญาณ H. SYNC กับ V. SYNC เกิดความคลาดเคลื่อนซึ่งจากผลการทดลองที่ได้จะพบว่าความถี่ของสัญญาณ H. SYNC กับ V. SYNC ไม่เท่ากับค่ามาตรฐานความถี่ที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.9 ส่งผลให้การแสดงผลบนจอภาพไม่คมชัดเท่าที่ควร

ข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำนั้นสามารถที่จะกำหนดให้แสดงสีต่างๆ ได้ 8 สี ซึ่งได้แก่ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน สีเหลือง สีม่วงเข้ม สีเขียวอ่อน สีขาว และสีดำ ดังนั้นจึงสามารถเลือกสีที่จะใช้ได้โดยการกำหนดข้อมูลทางลอจิกที่ป้อนให้กับหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และบทสรุป

5.1 บทวิจารณ์

วงจรแสดงเส้นกราฟบนจอ VGA ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถที่จะใช้งานได้จริงโดยสามารถที่จะแสดงเส้นกราฟหรือว่าจะเป็นการแสดงเส้นแถบสีและสามารถที่จะกำหนดสีบนจอภาพได้ โดยเราสามารถกำหนดรูปแบบของข้อมูลลงบนหน่วยความจำแล้วจึงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่เป็นตัวอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำแล้วนำข้อมูลนั้นมาแสดงผลบนจอภาพ

เมื่อถูกนำมาใช้งานพบว่ายังคงมีข้อจำกัดในการประมวลผล การเขียน และการอ่านข้อมูล ซึ่งสามารถจำแนกออกมาได้ดังนี้

1. การใช้ความถี่ที่สูงในการสแกนจอภาพมีผลต่อการทำงานในการประมวลผลข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้
2. ความละเอียดในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ในส่วนของเลขทศนิยมมีขีดจำกัด ทำให้ผลิตความถี่ของสัญญาณ H. SYNC กับ V. SYNC คลาดเคลื่อน ส่งผลให้การแสดงผลบนจอภาพไม่คมชัดเท่าที่ควร
3. ความละเอียดในการแสดงผลบนจอภาพมีค่าน้อยเกิดจากขนาดของพิกเซลที่ใหญ่ซึ่งมีผลมาจากข้อจำกัดของค่าความเร็วในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่งผลให้การแสดงผลบนจอภาพไม่คมชัดและบางครั้งรูปสัญญาณที่ได้มีความไม่ต่อเนื่องโดยสังเกตได้จากรูปคลื่นไซน์ในรูปที่ 4.9
4. ข้อจำกัดในการเข้าถึงข้อมูลของหน่วยความจำที่มีค่าความเร็วเพียง 70 nS ส่งผลให้ต้องลดความถี่ในการอ่านและเขียนข้อมูลจากหน่วยความจำ

วงจรวงจรแสดงเส้นกราฟบนจอ VGA ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ถูกสร้างและออกแบบส่วนของโปรแกรมควบคุมนั้น สามารถที่จะนำมาใช้งานได้จริงในระดับความถูกต้องประมาณร้อยละ 80 ซึ่งยังคงเป็นความผิดพลาดจากบางประการ เช่น ความคมชัดของจอภาพ หรือวิธีการที่อ่านข้อมูลออกมาแสดงผล แต่หากพัฒนาเพิ่มความถี่ในวิธีการอ่านหรือเขียนข้อมูลลงบนหน่วยความจำ อาจจะช่วยให้อรรถภาพของวงจรดีขึ้นพร้อมทั้งสามารถแสดงผลได้ละเอียดและชัดเจนยิ่งขึ้น

5.2 บทสรุป

ชิ้นงาน โครงสร้างของวงจรแสดงเส้นกราฟบนจอ VGA ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถที่จะนำไปใช้งานได้จริงซึ่งการใช้งานอาจจะเหมาะกับรูปแบบงานที่ง่ายไม่สิ้นเปลืองงบประมาณ ซึ่งการใช้งานจะเน้นในการแสดงผลเป็นแนวของเส้นกราฟและจำกัดสีไว้ที่ 8สี ถ้าดูไปแล้วการทำงานในขั้นตอนต่างๆดูคล้ายการแสดงผลของออสซิลโลสโคปซึ่งออสซิลโลสโคปถือเป็นเครื่องมือที่จำเป็นในการออกแบบหรือซ่อมแซมอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งจะแสดงรูปสัญญาณทางไฟฟ้า

5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาในอนาคต

วงจรวงจรแสดงเส้นกราฟนี้สามารถที่จะเพิ่มความสามารถได้หลากหลายทางดังนี้

1. เพิ่มความสามารถในการแสดงสีหลายๆ สีและความคมชัดของจอภาพหรือแสดงผลออกมาในรูปแบบความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน
2. เพิ่มความสามารถในการประมวลผลการเขียนและการอ่านข้อมูลให้เร็วขึ้นแม่นยำขึ้นค่าผิดพลาดน้อยลง เพื่อความถูกต้องในการนำข้อมูลไปประมวลผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา สำหรับคำแนะนำและความกรุณาที่ให้ความรู้ในการทำโครงการ

ขอขอบคุณ อาจารย์รัชชัชชัย คำศรี สำหรับคำแนะนำและคำวิจารณ์ที่เป็นประโยชน์ต่อปริญญาานิพนธ์

ขอขอบคุณ พี่ที่ห้องปฏิบัติการสำหรับคำแนะนำในการใช้เครื่องมือวัด

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนสำหรับความช่วยเหลือต่างๆ และให้กำลังใจตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณ กิตติชัย แสงสาตร์ คุณ อุดร สุวรรณเพชร ที่ทำให้ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จ ลุล่วงได้ด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์นี้ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

กิตติชัย แสงสาตร์

อุดร สุวรรณเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. นัฐพล วงศ์สุนทรชัย ,ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, “ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16X87x”, บริษัท อินโนเวตีฟอิเล็กทรอนิกส์ จำกัด, 383 หน้า
2. ประจัน พลังสันติกุล, “เรียนรู้และใช้งาน CCS C คอมไพเลอร์”, บริษัท อินโนเวตีฟอิเล็กทรอนิกส์ จำกัด, 385 หน้า



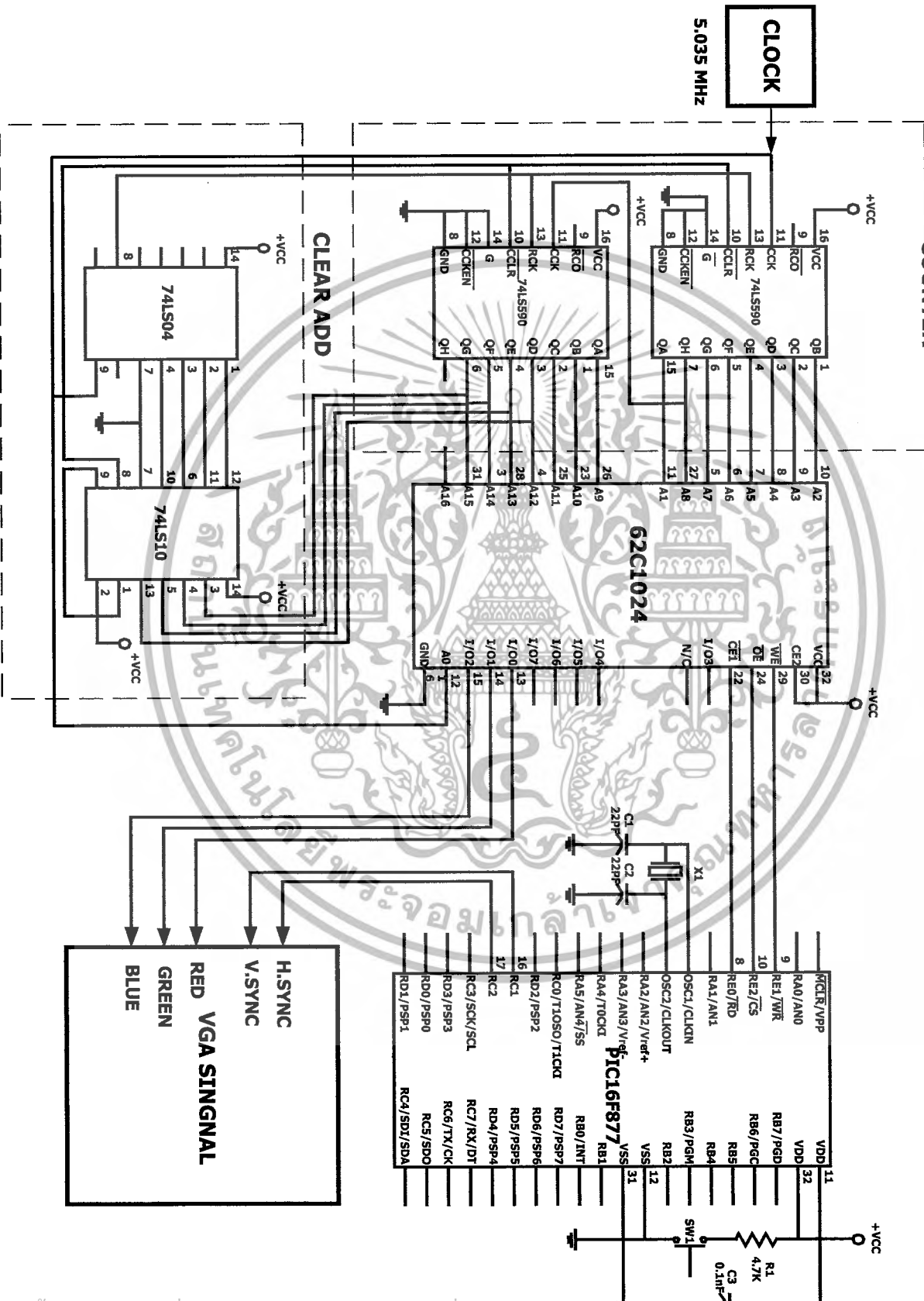
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแสดงเส้นกราฟบนจอ

BINARY COUNTER



ก.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

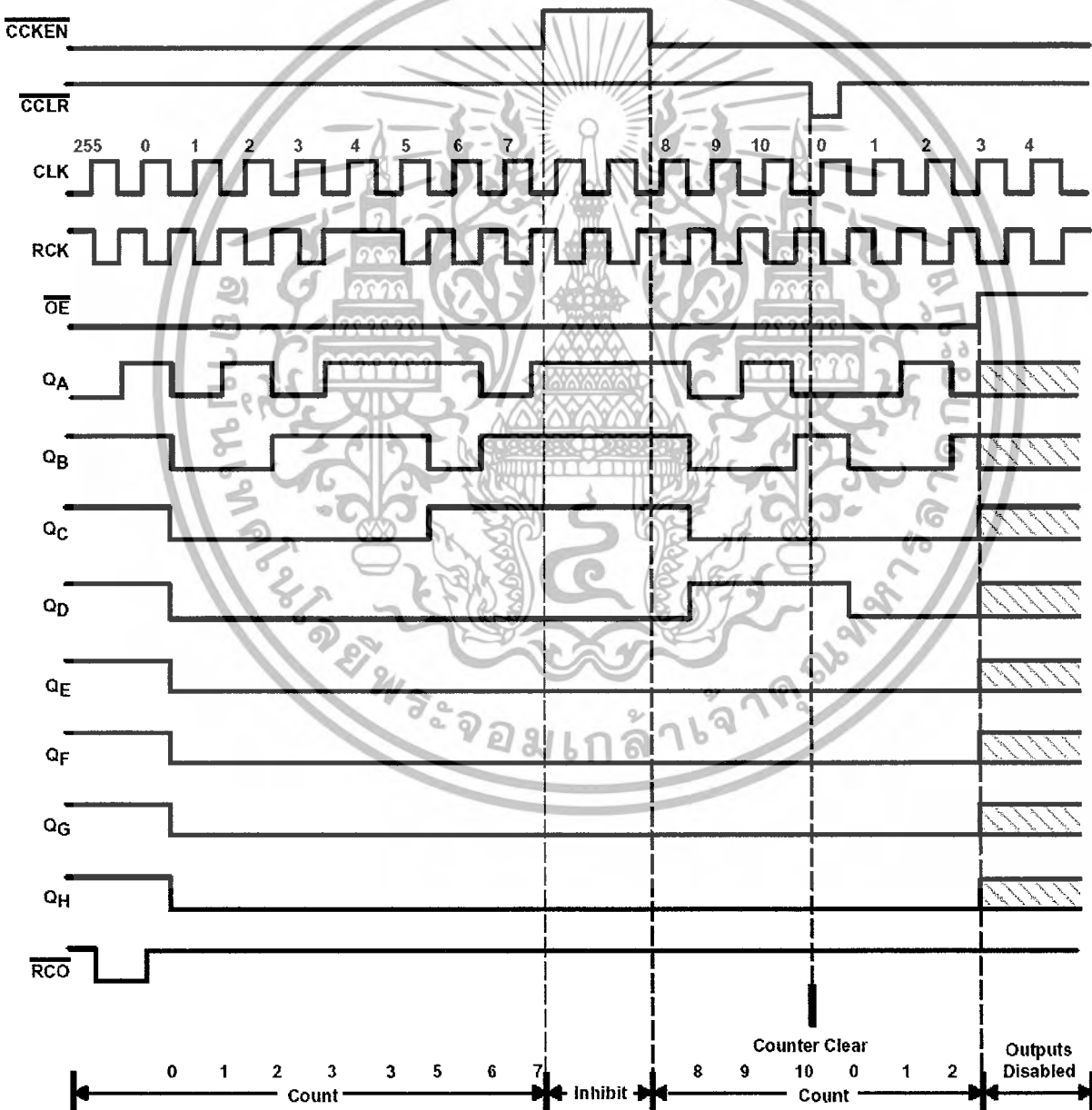
ก.3

Timing diagram ของวงจร Binary counter

8-BIT BINARY COUNTER WITH REGISTERED 3-STATE OUTPUTS

SCAS195 – D3989, MARCH 1992 – REVISED APRIL 1993

typical operating sequence



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0000: GOTO 027C

.....	0094: ADDWF 23,F	00D6: BCF 0E.0
005E: NOP(FFFF)	0096: BTFSC FD8.0	00D8: GOTO 00DE
.....	0098: INCF 24,F	00DC: BSF 0E.0
0060: CLRF 05	009A: BTFSC FD8.2	.....
0062: CLRF 06	009C: INCF 25,F	.....
0064: MOVLW 03	009E: BTFSC FD8.2	00DE: MOVF 26,F
0066: MOVWF 07	00A0: INCF 26,F	00E0: BTFSS FD8.2
.....	00A2: GOTO 0070	00E2: GOTO 0100
0068: CLRF 26	.....	00E6: MOVF 25,F
006A: CLRF 25	00A6: MOVFF 2A,03	00E8: BTFSS FD8.2
006C: CLRF 24	00AA: MOVFF 29,02	00EA: GOTO 0100
006E: CLRF 23	00AE: MOVFF 28,01	00EE: MOVF 24,F
0070: MOVF 26,F	00B2: MOVFF 27,00	00F0: BTFSS FD8.2
0072: BTFSS FD8.2	00B6: MOVF 23,W	00F2: GOTO 0100
0074: GOTO 00A6	00B8: MOVWF 33	00F6: MOVF 23,W
0078: MOVF 25,F	00BA: BTFSC FD8.2	00F8: SUBLW 05
007A: BTFSS FD8.2	00BC: GOTO 00D0	00FA: BTFSC FD8.0
007C: GOTO 00A6	00C0: BCF FD8.0	00FC: GOTO 0100
0080: MOVF 24,F	00C2: RRCF 03,F	.....
0082: BTFSS FD8.2	00C4: RRCF 02,F	.....
0084: GOTO 00A6	00C6: RRCF 01,F	0100: MOVLW 00
0088: MOVF 23,W	00C8: RRCF 00,F	0102: BTFSC 0E.0
008A: SUBLW 10	00CA: DECFSZ 33,F	0104: MOVLW 01
008C: BTFSS FD8.0	00CC: GOTO 00C0	0106: SUBLW 01
008E: GOTO 00A6	00D0: BTFSC 00.0	0108: BTFSS FD8.2
0092: MOVLW 01	00D2: GOTO 00DC	010A: GOTO 012E
	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

010E: MOVLW 0	014E: ADDWF 05,F	.....
0110: MOVWF 00	..... }	0194: MOVLW 00
0112: MOVF 05,W	.....	0196: BTFSC 0E.0
0114: MOVWF 01	0150: MOVF 26,F	0198: MOVLW 01
0116: BTFSC FD8.2	0152: BTFSS FD8.2	019A: SUBLW 01
0118: GOTO 0126	0154: GOTO 0172	019C: BTFSS FD8.2
011C: BCF FD8.0	0158: MOVF 25,F	019E: GOTO 01C2
011E: RLCF 00,F	015A: BTFSS FD8.2	.....
0120: DECFSZ 01,F	015C: GOTO 0172	01A2: MOVLW 01
0122: GOTO 011C	0160: MOVF 24,F	01A4: MOVWF 00
0126: MOVF 00,W	0162: BTFSS FD8.2	01A6: MOVF 06,W
0128: IORWF 0B,F	0164: GOTO 0172	01A8: MOVWF 01
.....	0168: MOVF 23,W	01AA: BTFSC FD8.2
012A: GOTO 014C	016A: SUBLW 05	01AC: GOTO 01BA
.....	016C: BTFSC FD8.0	01B0: BCF FD8.0
012E: MOVLW 01	016E: GOTO 0194	01B2: RLCF 00,F
0130: MOVWF 00	0172: MOVF 26,F	01B4: DECFSZ 01,F
0132: MOVF 05,W	0174: BTFSS FD8.2	01B6: GOTO 01B0
0134: MOVWF 01	0176: GOTO 0194	01BA: MOVF 00,W
0136: BTFSC FD8.2	017A: MOVF 25,F	01BC: IORWF 0C,F
0138: GOTO 0146	017C: BTFSS FD8.2	.....
013C: BCF FD8.0	017E: GOTO 0194	01BE: GOTO 01E0
013E: RLCF 00,F	0182: MOVF 24,F	.....
0140: DECFSZ 01,F	0184: BTFSS FD8.2	01C2: MOVLW 01
0142: GOTO 013C	0186: GOTO 0194	01C4: MOVWF 00
0146: MOVF 00,W	018A: MOVF 23,W	01C6: MOVF 06,W
0148: XORLW FF	018C: SUBLW 0D	01C8: MOVWF 01
014A: ANDWF 0B,F	018E: BTFSC FD8.0	01CA: BTFSC FD8.2
.....	0190: GOTO 0194	01CC: GOTO 01DA
014C: MOVLW 01	.....	01D0: BCF FD8.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

01D2: RLCF 00,F	0216: MOVF 24,F	.....
01D4: DECFSZ 01,F	0218: BTFSS FD8.2	0256: MOVLW 01
01D6: GOTO 01D0	021A: GOTO 0228	0258: MOVWF 00
01DA: MOVF 00,W	021E: MOVF 23,W	025A: MOVF 07,W
01DC: XORLW FF	0220: SUBLW 10	025C: MOVWF 01
01DE: ANDWF 0C,F	0222: BTFSC FD8.0	025E: BTFSC FD8.2
.....	0224: GOTO 0228	0260: GOTO 026E
01E0: MOVLW 01	.....	0264: BCF FD8.0
01E2: ADDWF 05,F	.....	0266: RLCF 00,F
.....	0228: MOVLW 00	0268: DECFSZ 01,F
.....	022A: BTFSC 0E.0	026A: GOTO 0264
01E4: MOVF 26,F	022C: MOVLW 01	026E: MOVF 00,W
01E6: BTFSS FD8.2	022E: SUBLW 01	0270: XORLW FF
01E8: GOTO 0206	0230: BTFSS FD8.2	0272: ANDWF 0D,F
01EC: MOVF 25,F	0232: GOTO 0256	.....
01EE: BTFSS FD8.2	.....	0274: MOVLW 01
01F0: GOTO 0206	0236: MOVLW 01	0276: ADDWF 07,F
01F4: MOVF 24,F	0238: MOVWF 00	.....
01F6: BTFSS FD8.2	023A: MOVF 07,W	.....
01F8: GOTO 0206	023C: MOVWF 01	0278: GOTO 04B6
01FC: MOVF 23,W	023E: BTFSC FD8.2	.....
01FE: SUBLW 0D	0240: GOTO 024E	.....
0200: BTFSC FD8.0	0244: BCF FD8.0	027C: NOP(FFFF)
0202: GOTO 0228	0246: RLCF 00,F	027E: CLRF FF8
0206: MOVF 26,F	0248: DECFSZ 01,F	0280: BCF FD0.7
0208: BTFSS FD8.2	024A: GOTO 0244	0282: CLRF FEA
020A: GOTO 0228	024E: MOVF 00,W	0284: CLRF FE9
020E: MOVF 25,F	0250: IORWF 0D,F	0286: MOVLW 07
0210: BTFSS FD8.2	.....	0288: MOVWF FC1
0212: GOTO 0228	0252: GOTO 0274	028A: CLRF 05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

028C: CLRf 06	02BC: ANDLW 38	.....
028E: MOVLW 03	02BE: MOVWF FC2	02EA: MOVLW B7
0290: MOVWF 07	.....	02EC: ANDWF FB1,F
0292: CLRf 1B	02C0: BCF F96.4	02EE: BCF F94.2
0294: CLRf 1C	.....	02F0: BCF F8B.2
0296: CLRf 1D	02C2: BCF FC6.5	02F2: MOVLW 0C
0298: CLRf 1E	02C4: BCF F94.5	02F4: MOVWF FBD
029A: CLRf 1F	02C6: BSF F94.4	.....
029C: CLRf 20	02C8: BCF F94.3	.....
029E: CLRf 21	02CA: MOVLW 00	.....
02A0: CLRf 22	02CC: MOVWF FC6	.....
02A2: CLRf 27	02CE: MOVWF FC7	02F6: CLRf FD7
02A4: CLRf 28	.....	02F8: CLRf FD6
02A6: CLRf 29	02D0: BCF FD1.0	.....
02A8: CLRf 2A	.....	.....
.....	02D2: MOVLW 80	.....
.....	02D4: MOVWF FD5	02FA: MOVF 2A,F
02AA: MOVLW 00	.....	02FC: BTFSS FD8.2
02AC: MOVWF F92	02D6: CLRf FCD	02FE: GOTO 051E
.....	.....	0302: MOVF 29,F
02AE: MOVWF F93	02D8: MOVLW 00	0304: BTFSS FD8.2
.....	02DA: MOVWF 01	0306: GOTO 051E
02B0: MOVLW C3	02DC: IORLW 04	030A: MOVF 28,W
02B2: MOVWF F94	02DE: MOVWF FCA	030C: SUBLW EF
.....	02E0: MOVLW 01	030E: BTFSS FD8.0
02B4: MOVLW 06	02E2: MOVWF FCB	0310: GOTO 051E
02B6: MOVWF FC1	.....	.....
.....	02E4: MOVF FB1,W	.....
02B8: BCF FC1.6	02E6: ANDLW 48	0314: CLRf 32
02BA: MOVF FC2,W	02E8: MOVWF FB1	0316: CLRf 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0318: CLRf 30	0360: MOVf 2F,W	039A: BTFSS FD8.2
031A: MOVLW 01	0362: SUBLW 00	039C: GOTO 03BA
031C: MOVWF 2F	0364: BTFSC FD8.0	03A0: MOVf 31,F
031E: MOVf 32,F	0366: GOTO 0398	03A2: BTFSS FD8.2
0320: BTFSS FD8.2	036A: MOVf 32,F	03A4: GOTO 03BA
0322: GOTO 051A	036C: BTFSS FD8.2	03A8: MOVf 30,F
0326: MOVf 31,F	036E: GOTO 0398	03AA: BTFSS FD8.2
0328: BTFSS FD8.2	0372: MOVf 31,F	03AC: GOTO 03BA
032A: GOTO 051A	0374: BTFSS FD8.2	03B0: MOVf 2F,W
032E: MOVf 30,W	0376: GOTO 0398	03B2: SUBLW A0
0330: SUBLW 01	037A: MOVf 30,F	03B4: BTFSC FD8.0
0332: BTFSS FD8.0	037C: BTFSS FD8.2	03B6: GOTO 03F0
0334: GOTO 051A	037E: GOTO 0398	03BA: MOVf 32,F
0338: BTFSS FD8.2	0382: MOVf 2F,W	03BC: BTFSS FD8.2
033A: GOTO 0348	0384: SUBLW A0	03BE: GOTO 03F0
033E: MOVf 2F,W	0386: BTFSS FD8.0	03C2: MOVf 31,F
0340: SUBLW E0	0388: GOTO 0398	03C4: BTFSS FD8.2
0342: BTFSS FD8.0	.....	03C6: GOTO 03F0
0344: GOTO 051A	.....	03CA: MOVf 30,W
.....	038C: BCF F95.0	03CC: SUBLW 01
.....	038E: BSF F8C.0	03CE: BTFSS FD8.0
0348: MOVf 32,F	.....	03D0: GOTO 03F0
034A: BTFSS FD8.2	0390: BCF F95.1	03D4: BTFSS FD8.2
034C: GOTO 036A	0392: BCF F8C.1	03D6: GOTO 03E4
0350: MOVf 31,F	.....	03DA: MOVf 2F,W
0352: BTFSS FD8.2	0394: BCF F95.2	03DC: SUBLW 40
0354: GOTO 036A	0396: BCF F8C.2	03DE: BTFSS FD8.0
0358: MOVf 30,F	.....	03E0: GOTO 03F0
035A: BTFSS FD8.2	.....	.....
035C: GOTO 036A	0398: MOVf 32,F	.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

03E4: BCF F95.0	0424: MOVF 31,F	045C: MOVF 2E,F
03E6: BCF F8C.0	0426: BTFSS FD8.2	045E: BTFSS FD8.2
.....	0428: GOTO 0452	0460: GOTO 0506
03E8: BCF F95.1	042C: MOVF 30,W	0464: MOVF 2D,F
03EA: BSF F8C.1	042E: SUBLW 01	0466: BTFSS FD8.2
.....	0430: BTFSS FD8.0	0468: GOTO 0506
03EC: BCF F95.2	0432: GOTO 0452	046C: MOVF 2C,F
03EE: BCF F8C.2	0436: BTFSS FD8.2	046E: BTFSS FD8.2
.....	0438: GOTO 0446	0470: GOTO 0506
.....	043C: MOVF 2F,W	0474: MOVF 2B,W
03F0: MOVF 32,F	043E: SUBLW E0	0476: SUBLW 80
03F2: BTFSS FD8.2	0440: BTFSS FD8.0	0478: BTFSS FD8.0
03F4: GOTO 041C	0442: GOTO 0452	047A: GOTO 0506
03F8: MOVF 31,F	.....	.....
03FA: BTFSS FD8.2	.....	.....
03FC: GOTO 041C	0446: BCF F95.0	047E: MOVFF 2E,36
0400: MOVF 30,W	0448: BCF F8C.0	0482: MOVFF 2D,35
0402: SUBLW 00	.....	0486: MOVFF 2C,34
0404: BTFSC FD8.0	044A: BCF F95.1	048A: MOVFF 2B,33
0406: GOTO 0452	044C: BCF F8C.1	048E: MOVFF 32,3A
040A: XORLW FF	.....	0492: MOVFF 31,39
040C: BTFSS FD8.2	044E: BCF F95.2	0496: MOVFF 30,38
040E: GOTO 041C	0450: BSF F8C.2	049A: MOVFF 2F,37
0412: MOVF 2F,W	.....	049E: GOTO 0004
0414: SUBLW 40	.....	04A2: MOVFF 03,2A
0416: BTFSC FD8.0	0452: CLRF 2E	04A6: MOVFF 02,29
0418: GOTO 0452	0454: CLRF 2D	04AA: MOVFF 01,28
041C: MOVF 32,F	0456: CLRF 2C	04AE: MOVFF 00,27
041E: BTFSS FD8.2	0458: MOVLW 01	.....
0420: GOTO 0452	045A: MOVWF 2B	04B2: GOTO 005E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.....	04E2: ADDWFC 1D,F	.....
04B6: MOVFF 0B,05	04E4: ADDWFC 1E,F	.....
.....
04BA: MOVFF 0C,06	04E6: MOVF FD6,W	.....
.....	04E8: MOVFF FD7,03	.....
04BE: MOVFF 0D,07	04EC: MOVWF 19	.....
.....	04EE: MOVFF 03,1A	.....
.....	.....	051E: CLRf 1E
04C2: MOVLW 00	04F2: MOVLW 01	0520: CLRf 1D
04C4: MOVWF F95	04F4: ADDWF 2B,F	0522: CLRf 1C
.....	04F6: BTFSC FD8.0	0524: CLRf 1B
.....	04F8: INCF 2C,F	.....
04C6: BCF F96.0	04FA: BTFSC FD8.2	0526: CLRf 18
04C8: BSF F8D.0	04FC: INCF 2D,F	0528: CLRf 17
.....	04FE: BTFSC FD8.2	052A: MOVF 18,W
04CA: BCF F96.1	0500: INCF 2E,F	052C: SUBLW 01
04CC: BCF F8D.1	0502: GOTO 045C	052E: BTFSS FD8.0
.....	.....	0530: GOTO 065A
04CE: BCF F96.2	0506: MOVLW 01	0534: BTFSS FD8.2
04D0: BCF F8D.2	0508: ADDWF 2F,F	0536: GOTO 0544
.....	050A: BTFSC FD8.0	053A: MOVF 17,W
04D2: MOVLW 08	050C: INCF 30,F	053C: SUBLW DF
04D4: MOVWF 00	050E: BTFSC FD8.2	053E: BTFSS FD8.0
04D6: DECFSZ 00,F	0510: INCF 31,F	0540: GOTO 065A
04D8: BRA 04D6	0512: BTFSC FD8.2	.....
.....	0514: INCF 32,F	.....
04DA: MOVLW 01	0516: GOTO 031E	.....
04DC: ADDWF 1B,F	.....	.....
04DE: MOVLW 00	051A: GOTO 02FA	0544: CLRf 0A
04E0: ADDWFC 1C,F	.....	0546: MOVF 0A,W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0548: SUBLW 01	057C: BTFSS FD8.2	05C0: BCF F94.3
054A: BTFSS FD8.0	057E: GOTO 0634	.....
054C: GOTO 0650	0582: MOVF 11,W	05C2: MOVFF 11,05
.....	0584: SUBLW 3F	.....
.....	0586: BTFSS FD8.0	05C6: MOVFF 13,06
0550: CLRF 09	0588: GOTO 0634	.....
0552: MOVF 0A,W	.....	05CA: MOVLW FF
0554: SUBLW 01	.....	05CC: MOVWF F95
0556: BTFSS FD8.0	058C: MOVF 0A,F	.....
0558: GOTO 064A	058E: BTFSS FD8.2	.....
.....	0590: GOTO 059A	05CE: BCF F96.0
.....	0594: BCF F8B.5	05D0: BCF F8D.0
055C: CLRF 08	0596: GOTO 059C	.....
055E: MOVF 08,W	059A: BSF F8B.5	05D2: BCF F96.1
0560: SUBLW 01	059C: BCF F94.5	05D4: BSF F8D.1
0562: BTFSS FD8.0	.....	.....
0564: GOTO 0644	059E: MOVF 09,F	05D6: BCF F96.2
.....	05A0: BTFSS FD8.2	05D8: BCF F8D.2
.....	05A2: GOTO 05AC	.....
0568: CLRF 14	05A6: BCF F8B.4	.....
056A: CLRF 13	05A8: GOTO 05AE	05DA: CLRF 10
056C: MOVF 14,W	05AC: BSF F8B.4	05DC: MOVFF 08,0F
056E: SUBLW 00	05AE: BCF F94.4	.....
0570: BTFSS FD8.0	.....	05E0: MOVLW 08
0572: GOTO 063E	05B0: MOVF 08,F	05E2: MOVWF 00
.....	05B2: BTFSS FD8.2	05E4: DECFSZ 00,F
.....	05B4: GOTO 05BE	05E6: BRA 05E4
0576: CLRF 12	05B8: BCF F8B.3	.....
0578: CLRF 11	05BA: GOTO 05C0	05E8: MOVLW 01
057A: MOVF 12,F	05BE: BSF F8B.3	05EA: ADDWF 1B,F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

05EC: MOVLW 00	0626: MOVWF 14	.....
05EE: ADDWFC 1C,F	0628: CLRF 13	065E: SLEEP
05F0: ADDWFC 1D,F	.....
05F2: ADDWFC 1E,F	.....	Configuration Fuses:
.....	062A: INCF 11,F	Word 1: 2200 HS
05F4: MOVF 1B,F	062C: BTFSC FD8.2	NOOSCSN
05F6: BTFSS FD8.2	062E: INCF 12,F	Word 2: 000F
05F8: GOTO 062A	0630: GOTO 057A	BROWNOUT WDT1
05FC: MOVF 1C,W	.....	NOWDT BORV20
05FE: SUBLW F0	0634: INCF 13,F	NOPUT
0600: BTFSS FD8.2	0636: BTFSC FD8.2	Word 3: 0100 CCP2C1
0602: GOTO 062A	0638: INCF 14,F	Word 4: 0085
0606: MOVF 1D,F	063A: GOTO 056C	STVREN NODEBUG
0608: BTFSS FD8.2	.....	LVP
060A: GOTO 062A	063E: INCF 08,F	Word 5: C00F
060E: MOVF 1E,F	0640: GOTO 055E	NOPROTECT NOCPD
0610: BTFSS FD8.2	.....	NOCPB
0612: GOTO 062A	0644: INCF 09,F	Word 6: E00F
.....	0646: GOTO 0552	NOWRT NOWRTD
.....	.....	NOWRTB NOWRTC
0616: MOVLW 02	064A: INCF 0A,F	Word 7: 400F
0618: MOVWF 08	064C: GOTO 0546	NOEBTR NOEBTRB
061A: MOVWF 09	.....
061C: MOVWF 0A	0650: INCF 17,F	
.....	0652: BTFSC FD8.2	
061E: CLRF 12	0654: INCF 18,F	
0620: MOVLW 40	0656: GOTO 052A	
0622: MOVWF 11	.....
.....	065A: GOTO 051E	
0624: MOVLW 01	.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MICROCHIP

PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

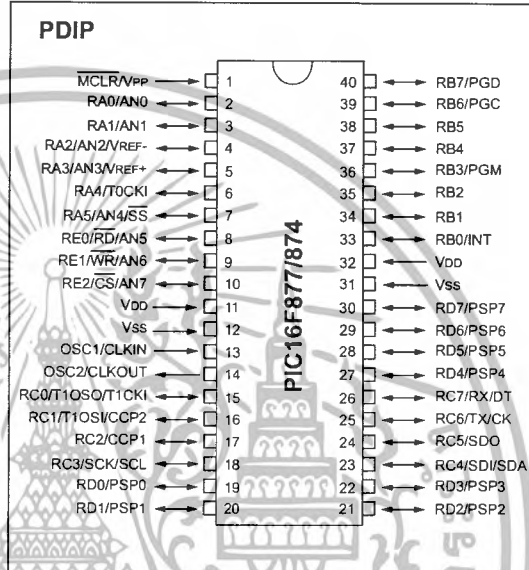
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F876
- PIC16F874
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature
ranges
- Low-power consumption:
 - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram

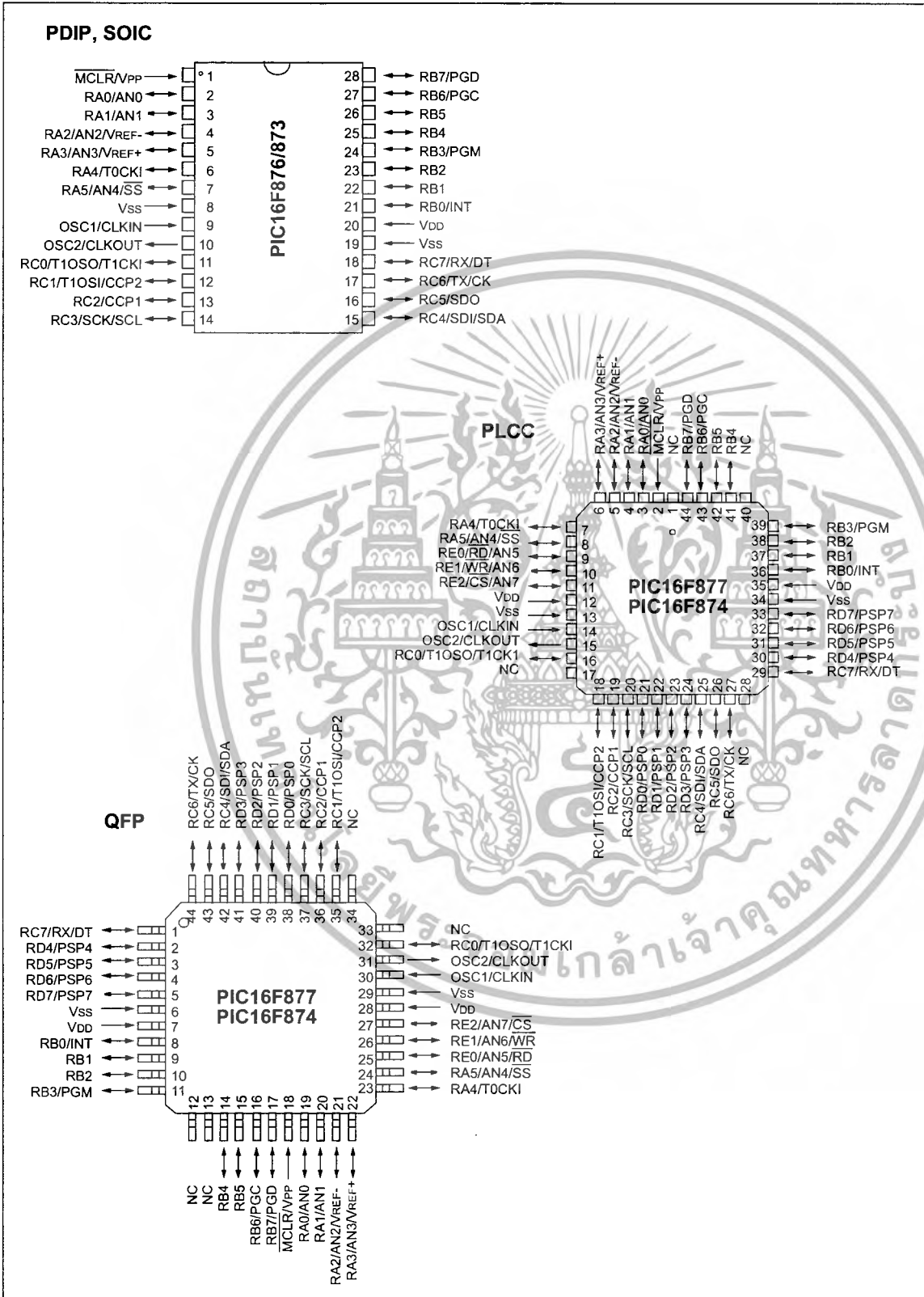


Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during SLEEP via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master
mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

PIC16F87X

Pin Diagrams



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87X

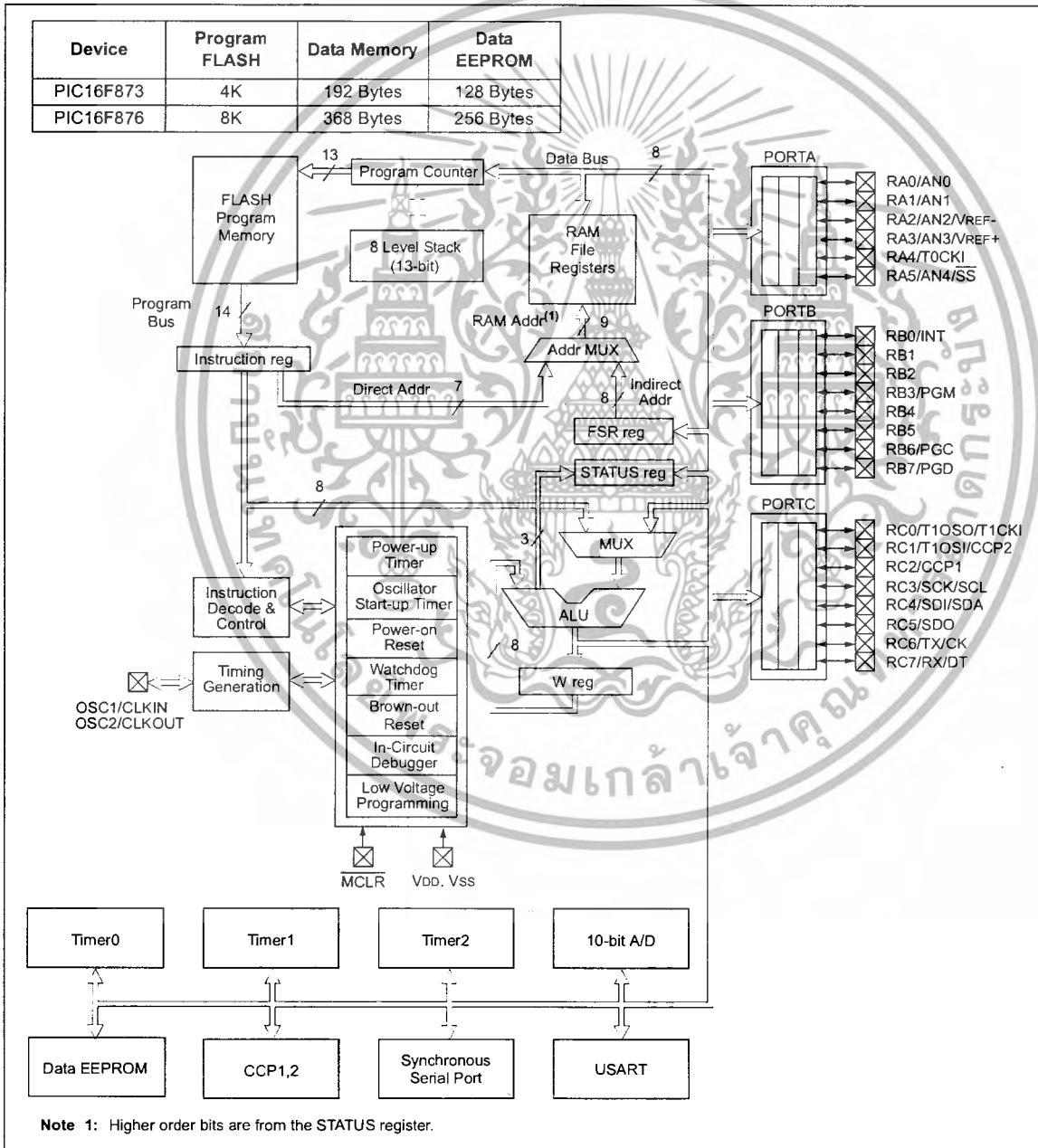
1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information. Additional information may be found in the PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023), which may be obtained from your local Microchip Sales Representative or downloaded from the Microchip website. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet, and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

There are four devices (PIC16F873, PIC16F874, PIC16F876 and PIC16F877) covered by this data sheet. The PIC16F876/873 devices come in 28-pin packages and the PIC16F877/874 devices come in 40-pin packages. The Parallel Slave Port is not implemented on the 28-pin devices.

The following device block diagrams are sorted by pin number; 28-pin for Figure 1-1 and 40-pin for Figure 1-2. The 28-pin and 40-pin pinouts are listed in Table 1-1 and Table 1-2, respectively.

FIGURE 1-1: PIC16F873 AND PIC16F876 BLOCK DIAGRAM



PIC16F87X

2.0 MEMORY ORGANIZATION

There are three memory blocks in each of the PIC16F87X MCUs. The Program Memory and Data Memory have separate buses so that concurrent access can occur and is detailed in this section. The EEPROM data memory block is detailed in Section 4.0.

Additional information on device memory may be found in the PICmicro™ Mid-Range Reference Manual, (DS33023).

2.1 Program Memory Organization

The PIC16F87X devices have a 13-bit program counter capable of addressing an 8K x 14 program memory space. The PIC16F877/876 devices have 8K x 14 words of FLASH program memory, and the PIC16F873/874 devices have 4K x 14. Accessing a location above the physically implemented address will cause a wraparound.

The RESET vector is at 0000h and the interrupt vector is at 0004h.

FIGURE 2-1: PIC16F877/876 PROGRAM MEMORY MAP AND STACK

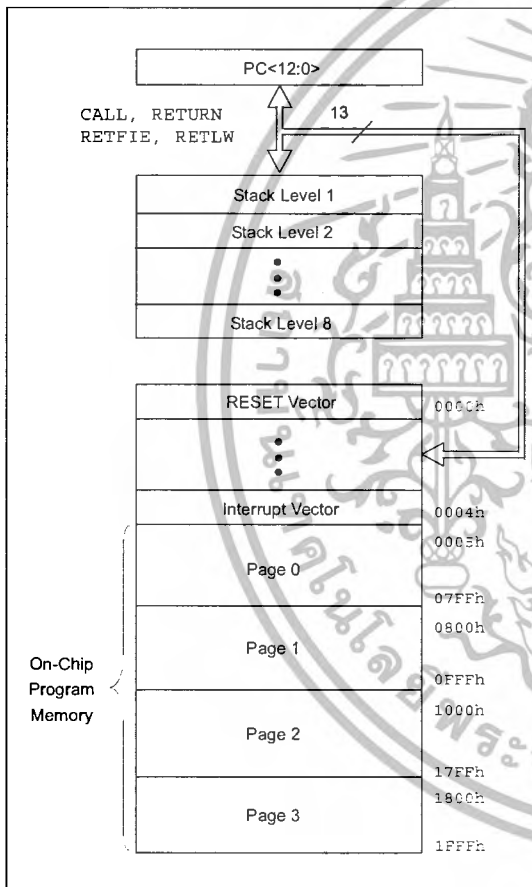
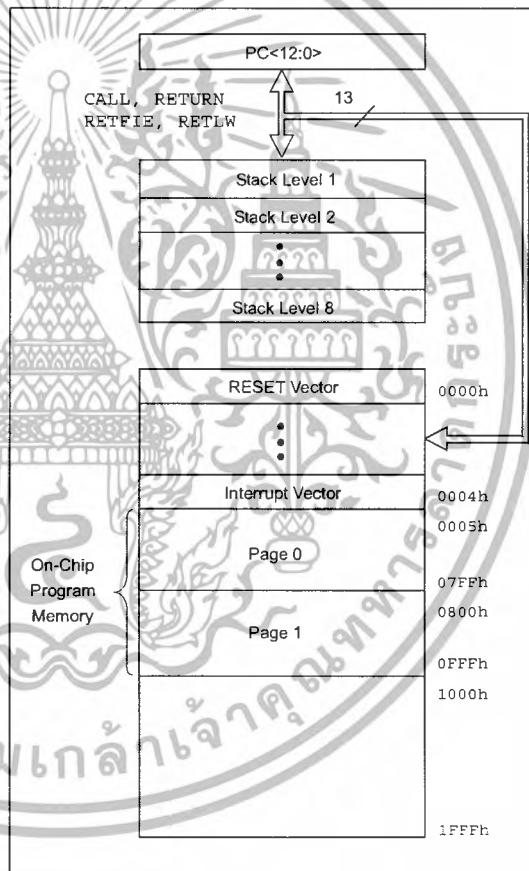


FIGURE 2-2: PIC16F874/873 PROGRAM MEMORY MAP AND STACK



8.3 PWM Mode (PWM)

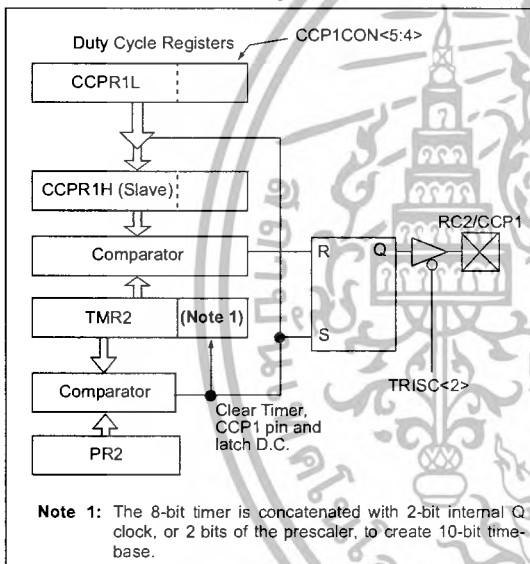
In Pulse Width Modulation mode, the CCPx pin produces up to a 10-bit resolution PWM output. Since the CCP1 pin is multiplexed with the PORTC data latch, the TRISC<2> bit must be cleared to make the CCP1 pin an output.

Note: Clearing the CCP1CON register will force the CCP1 PWM output latch to the default low level. This is not the PORTC I/O data latch.

Figure 8-3 shows a simplified block diagram of the CCP module in PWM mode.

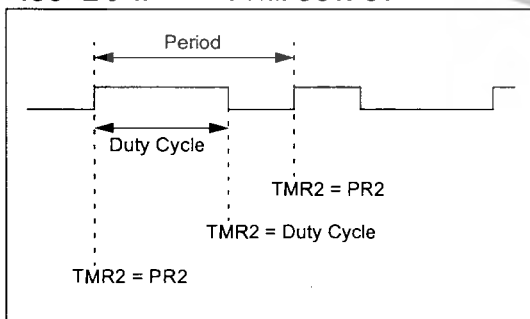
For a step-by-step procedure on how to set up the CCP module for PWM operation, see Section 8.3.3.

FIGURE 8-3: SIMPLIFIED PWM BLOCK DIAGRAM



A PWM output (Figure 8-4) has a time-base (period) and a time that the output stays high (duty cycle). The frequency of the PWM is the inverse of the period (1/period).

FIGURE 8-4: PWM OUTPUT



8.3.1 PWM PERIOD

The PWM period is specified by writing to the PR2 register. The PWM period can be calculated using the following formula:

$$\text{PWM period} = [(PR2) + 1] \cdot 4 \cdot T_{osc} \cdot (\text{TMR2 prescale value})$$

PWM frequency is defined as $1 / [\text{PWM period}]$.

When TMR2 is equal to PR2, the following three events occur on the next increment cycle:

- TMR2 is cleared
- The CCP1 pin is set (exception: if PWM duty cycle = 0%, the CCP1 pin will not be set)
- The PWM duty cycle is latched from CCPR1L into CCPR1H

Note: The Timer2 postscaler (see Section 7.1) is not used in the determination of the PWM frequency. The postscaler could be used to have a servo update rate at a different frequency than the PWM output.

8.3.2 PWM DUTY CYCLE

The PWM duty cycle is specified by writing to the CCPR1L register and to the CCP1CON<5:4> bits. Up to 10-bit resolution is available. The CCPR1L contains the eight MSBs and the CCP1CON<5:4> contains the two LSbs. This 10-bit value is represented by CCPR1L:CCP1CON<5:4>. The following equation is used to calculate the PWM duty cycle in time:

$$\text{PWM duty cycle} = (\text{CCPR1L:CCP1CON<5:4>}) \cdot T_{osc} \cdot (\text{TMR2 prescale value})$$

CCPR1L and CCP1CON<5:4> can be written to at any time, but the duty cycle value is not latched into CCPR1H until after a match between PR2 and TMR2 occurs (i.e., the period is complete). In PWM mode, CCPR1H is a read-only register.

The CCPR1H register and a 2-bit internal latch are used to double buffer the PWM duty cycle. This double buffering is essential for glitch-free PWM operation.

When the CCPR1H and 2-bit latch match TMR2, concatenated with an internal 2-bit Q clock, or 2 bits of the TMR2 prescaler, the CCP1 pin is cleared.

The maximum PWM resolution (bits) for a given PWM frequency is given by the formula:

$$\text{Resolution} = \frac{\log\left(\frac{F_{osc}}{F_{PWM}}\right)}{\log(2)} \text{ bits}$$

Note: If the PWM duty cycle value is longer than the PWM period, the CCP1 pin will not be cleared.

PIC16F87X

8.3.3 SETUP FOR PWM OPERATION

The following steps should be taken when configuring the CCP module for PWM operation:

1. Set the PWM period by writing to the PR2 register.
2. Set the PWM duty cycle by writing to the CCPR1L register and CCP1CON<5:4> bits.
3. Make the CCP1 pin an output by clearing the TRISC<2> bit.
4. Set the TMR2 prescale value and enable Timer2 by writing to T2CON.
5. Configure the CCP1 module for PWM operation.

TABLE 8-3: EXAMPLE PWM FREQUENCIES AND RESOLUTIONS AT 20 MHz

PWM Frequency	1.22 kHz	4.88 kHz	19.53 kHz	78.12kHz	156.3 kHz	208.3 kHz
Timer Prescaler (1, 4, 16)	16	4	1	1	1	1
PR2 Value	0xFFh	0xFFh	0xFFh	0x3Fh	0x1Fh	0x17h
Maximum Resolution (bits)	10	10	10	8	7	5.5

TABLE 8-4: REGISTERS ASSOCIATED WITH CAPTURE, COMPARE, AND TIMER1

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other RESETS
0Bh, 8Bh, 10Bh, 18Bh	INTCON	GIE	PEIE	T0IE	INTE	RBIE	T0IF	INTF	RBIF	0000 000x	0000 000u
0Ch	PIR1	PSPIF ⁽¹⁾	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	0000 0000	0000 0000
0Dh	PIR2	—	—	—	—	—	—	—	CCP2IF	---- --0	---- --0
8Ch	PIE1	PSPIE ⁽¹⁾	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	0000 0000	0000 0000
8Dh	PIE2	—	—	—	—	—	—	—	CCP2IE	---- --0	---- --0
87h	TRISC	PORTC Data Direction Register								1111 1111	1111 1111
0Eh	TMR1L	Holding Register for the Least Significant Byte of the 16-bit TMR1 Register								xxxx xxxx	uuuu uuuu
0Fh	TMR1H	Holding Register for the Most Significant Byte of the 16-bit TMR1 Register								xxxx xxxx	uuuu uuuu
10h	T1CON	—	—	T1CKPS1	T1CKPS0	T1OSCEN	T1SYNC	TMR1CS	TMR1ON	--00 0000	--uu uuuu
15h	CCPR1L	Capture/Compare/PWM Register1 (LSB)								xxxx xxxx	uuuu uuuu
16h	CCPR1H	Capture/Compare/PWM Register1 (MSB)								xxxx xxxx	uuuu uuuu
17h	CCP1CON	—	—	CCP1X	CCP1Y	CCP1M3	CCP1M2	CCP1M1	CCP1M0	--00 0000	--00 0000
1Bh	CCPR2L	Capture/Compare/PWM Register2 (LSB)								xxxx xxxx	uuuu uuuu
1Ch	CCPR2H	Capture/Compare/PWM Register2 (MSB)								xxxx xxxx	uuuu uuuu
1Dh	CCP2CON	—	—	CCP2X	CCP2Y	CCP2M3	CCP2M2	CCP2M1	CCP2M0	--00 0000	--00 0000

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used by Capture and Timer1.

Note 1: The PSP is not implemented on the PIC16F873/876; always maintain these bits clear.

IS62C1024

ISSI[®]

128K x 8 HIGH-SPEED CMOS STATIC RAM

MARCH 2002

FEATURES

- High-speed access time: 35, 45, 55, 70 ns
- Low active power: 450 mW (typical)
- Low standby power: 500 μ W (typical) CMOS standby
- Output Enable (\overline{OE}) and two Chip Enable ($\overline{CE1}$ and $\overline{CE2}$) inputs for ease in applications
- Fully static operation: no clock or refresh required
- TTL compatible inputs and outputs
- Single 5V ($\pm 10\%$) power supply

DESCRIPTION

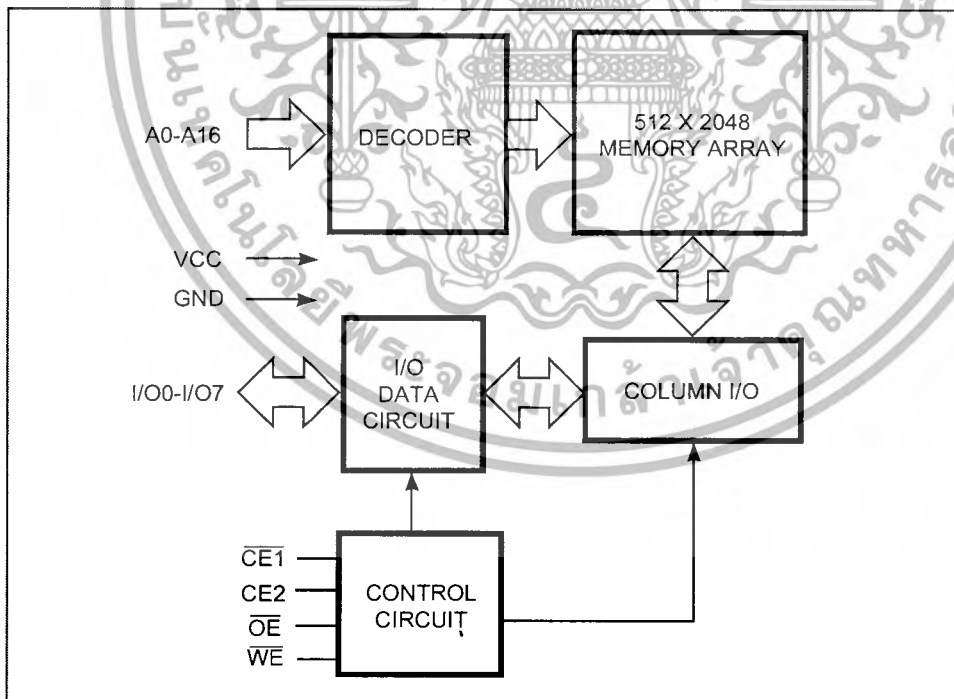
The *ISSI* IS62C1024 is a low power, 131,072-word by 8-bit CMOS static RAM. It is fabricated using *ISSI*'s high-performance CMOS technology. This highly reliable process coupled with innovative circuit design techniques, yields higher performance and low power consumption devices.

When $\overline{CE1}$ is HIGH or $\overline{CE2}$ is LOW (deselected), the device assumes a standby mode at which the power dissipation can be reduced by using CMOS input levels.

Easy memory expansion is provided by using two Chip Enable inputs, $\overline{CE1}$ and $\overline{CE2}$. The active LOW Write Enable (\overline{WE}) controls both writing and reading of the memory.

The IS62C1024 is available in 32-pin plastic SOP and TSOP (type 1) packages.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



ISSI reserves the right to make changes to its products at any time without notice in order to improve design and supply the best possible product. We assume no responsibility for any errors which may appear in this publication. © Copyright 2000, Integrated Silicon Solution, Inc.

Integrated Silicon Solution, Inc. — 1-800-379-4774

Rev. H

03/06/02

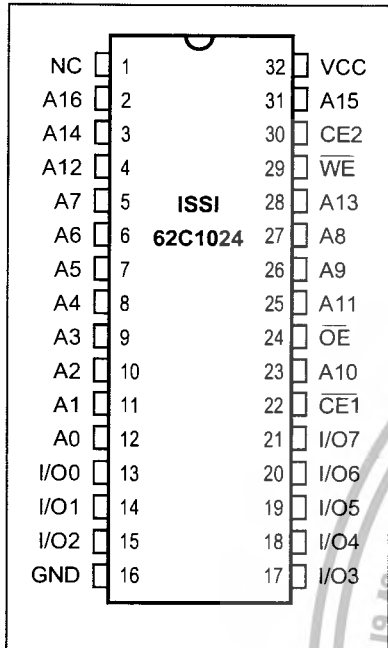
1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

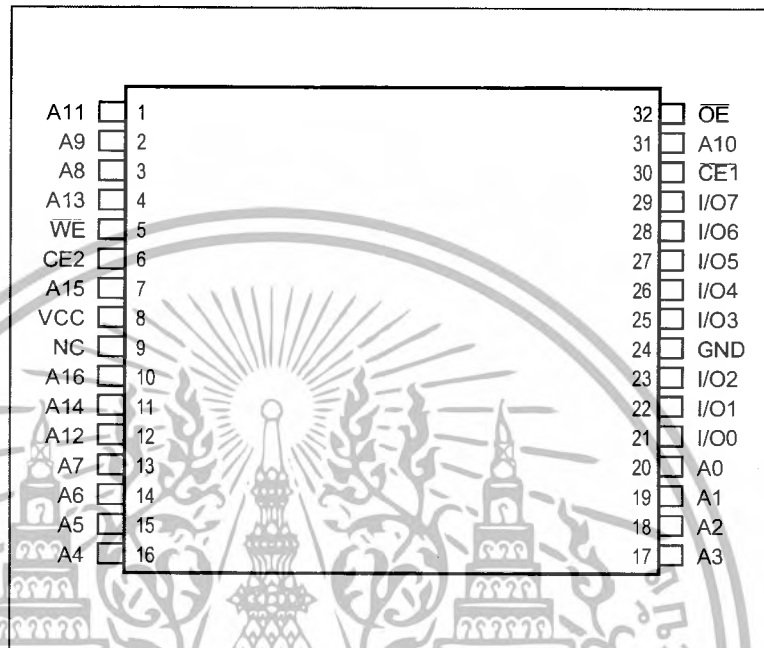
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN CONFIGURATION

32-Pin SOP



32-Pin TSOP (Type 1)



PIN DESCRIPTIONS

A0-A16	Address Inputs
CE1	Chip Enable 1 Input
CE2	Chip Enable 2 Input
OE	Output Enable Input
WE	Write Enable Input
I/O0-I/O7	Input/Output
Vcc	Power
GND	Ground

OPERATING RANGE

Range	Ambient Temperature	Vcc
Commercial	0°C to +70°C	5V ± 10%
Industrial	-40°C to +85°C	5V ± 10%

TRUTH TABLE

Mode	\overline{WE}	$\overline{CE1}$	CE2	\overline{OE}	I/O Operation	Vcc Current
Not Selected	X	H	X	X	High-Z	I _{SB1} , I _{SB2}
(Power-down)	X	X	L	X	High-Z	I _{SB1} , I _{SB2}
Output Disabled	H	L	H	H	High-Z	I _{CC}
Read	H	L	H	L	D _{OUT}	I _{CC}
Write	L	L	H	X	D _{IN}	I _{CC}

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{TERM}	Terminal Voltage with Respect to GND	-0.5 to +7.0	V
T _{BIAS}	Temperature Under Bias	-10 to +85	°C
T _{STG}	Storage Temperature	-65 to +150	°C
P _T	Power Dissipation	1.5	W
I _{OUT}	DC Output Current (LOW)	20	mA

Notes:

1. Stress greater than those listed under ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect reliability.

CAPACITANCE^(1,2)

Symbol	Parameter	Conditions	Max.	Unit
C _{IN}	Input Capacitance	V _{IN} = 0V	6	pF
C _{OUT}	Output Capacitance	V _{OUT} = 0V	8	pF

Notes:

1. Tested initially and after any design or process changes that may affect these parameters.
2. Test conditions: T_A = 25°C, f = 1 MHz, V_{CC} = 5.0V.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Over Operating Range)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Max.	Unit
V _{OH}	Output HIGH Voltage	V _{CC} = Min., I _{OH} = -1.0 mA	2.4	—	V
V _{OL}	Output LOW Voltage	V _{CC} = Min., I _{OL} = 2.1 mA	—	0.4	V
V _{IH}	Input HIGH Voltage		2.2	V _{CC} + 0.5	V
V _{IL}	Input LOW Voltage ⁽¹⁾		-0.3	0.8	V
I _{LI}	Input Leakage	GND ≤ V _{IN} ≤ V _{CC}	Com. Ind.	-5 10	μA
I _{LO}	Output Leakage	GND ≤ V _{OUT} ≤ V _{CC}	Com. Ind.	-5 10	μA

Notes:

1. V_{IL} = -3.0V for pulse width less than 10 ns.

POWER SUPPLY CHARACTERISTICS⁽¹⁾ (Over Operating Range)

Symbol	Parameter	Test Conditions	-35		-45		-55		-70		Unit
			Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
I _{CC}	V _{CC} Dynamic Operating Supply Current	V _{CC} = Max., $\overline{CE} = V_{IL}$ I _{OUT} = 0 mA, f = f _{MAX}	Com.	150	—	135	—	120	—	90	mA
			Ind.	160	—	145	—	130	—	100	
I _{SB1}	TTL Standby Current (TTL Inputs)	V _{CC} = Max., V _{IN} = V _{IH} or V _{IL} , $\overline{CE1} \geq V_{IH}$, or CE2 ≤ V _{IL} , f = 0	Com.	40	—	40	—	40	—	40	mA
			Ind.	60	—	60	—	60	—	60	
I _{SB2}	CMOS Standby Current (CMOS Inputs)	V _{CC} = Max., CE1 ≤ V _{CC} - 0.2V, CE2 ≤ 0.2V, V _{IN} ≥ V _{CC} - 0.2V, or V _{IN} ≤ 0.2V, f = 0	Com.	30	—	30	—	30	—	30	mA
			Ind.	40	—	40	—	40	—	40	

Notes:
 1. At f = f_{MAX}, address and data inputs are cycling at the maximum frequency, f = 0 means no input lines change.

AC TEST CONDITIONS

Parameter	Unit
Input Pulse Level	0V to 3.0V
Input Rise and Fall Times	5 ns
Input and Output Timing and Reference Level	1.5V
Output Load	See Figures 1a and 1b

AC TEST LOADS

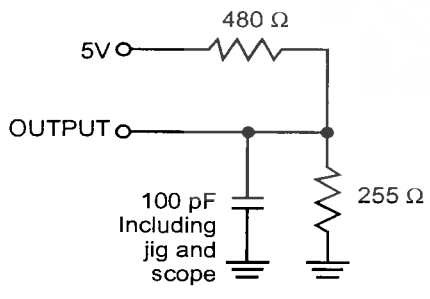


Figure 1a.

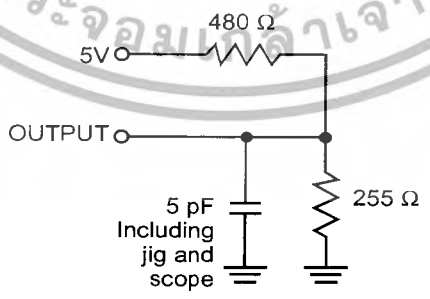


Figure 1b.

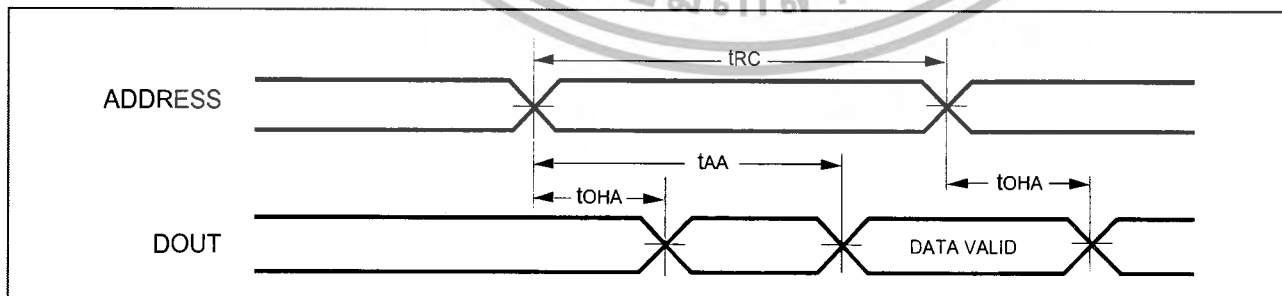
READ CYCLE SWITCHING CHARACTERISTICS⁽¹⁾ (Over Operating Range)

Symbol	Parameter	-35		-45		-55		-70		Unit
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
t _{RC}	Read Cycle Time	35	—	45	—	55	—	70	—	ns
t _{AA}	Address Access Time	—	35	—	45	—	55	—	70	ns
t _{OHA}	Output Hold Time	3	—	3	—	3	—	3	—	ns
t _{ACE1}	$\overline{CE1}$ Access Time	—	35	—	45	—	55	—	70	ns
t _{ACE2}	CE2 Access Time	—	35	—	45	—	55	—	70	ns
t _{DOE}	\overline{OE} Access Time	—	10	—	20	—	25	—	35	ns
t _{LZOE} ⁽²⁾	\overline{OE} to Low-Z Output	0	—	0	—	0	—	0	—	ns
t _{HZOE} ⁽²⁾	\overline{OE} to High-Z Output	0	10	0	15	0	20	0	25	ns
t _{LZCE1} ⁽²⁾	$\overline{CE1}$ to Low-Z Output	3	—	5	—	7	—	10	—	ns
t _{LZCE2} ⁽²⁾	CE2 to Low-Z Output	3	—	5	—	7	—	10	—	ns
t _{HZCE} ⁽²⁾	$\overline{CE1}$ or CE2 to High-Z Output	0	10	0	15	0	20	0	25	ns

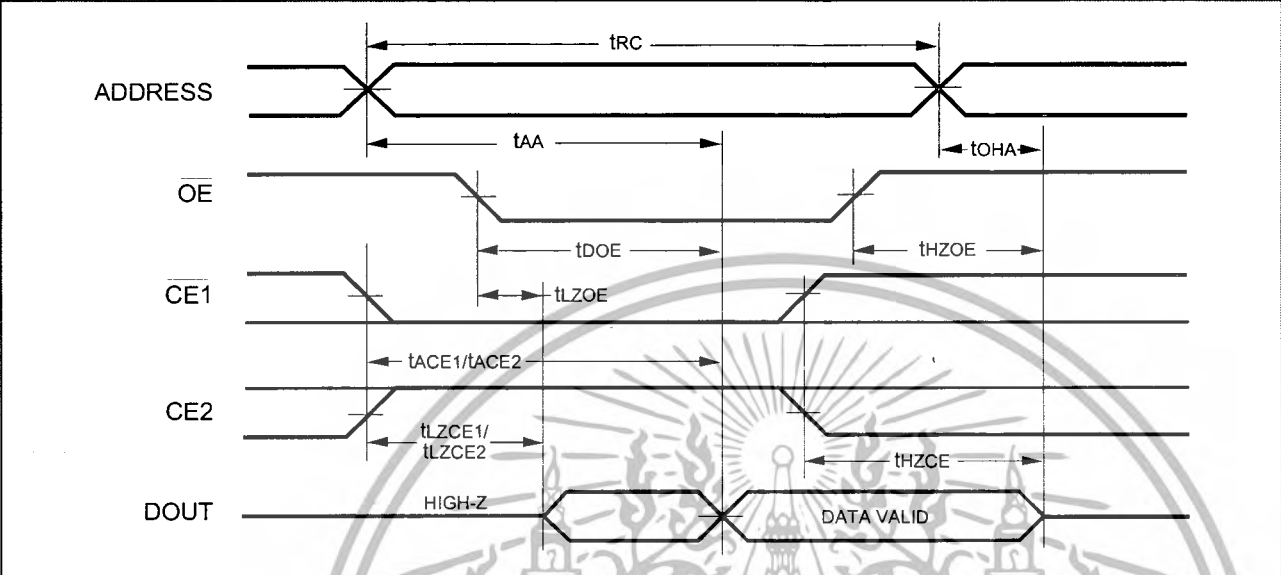
Notes:

1. Test conditions assume signal transition times of 5 ns or less, timing reference levels of 1.5V, input pulse levels of 0 to 3.0V and output loading specified in Figure 1a.
2. Tested with the load in Figure 1b. Transition is measured ± 500 mV from steady-state voltage. Not 100% tested.

AC WAVEFORMS

READ CYCLE NO. 1^(1,2)

READ CYCLE NO. 2^(1,3)



- Notes:**
1. WE is HIGH for a Read Cycle.
 2. The device is continuously selected. OE, CE1 = V_{IL}, CE2 = V_{IH}.
 3. Address is valid prior to or coincident with CE1 LOW and CE2 HIGH transitions.

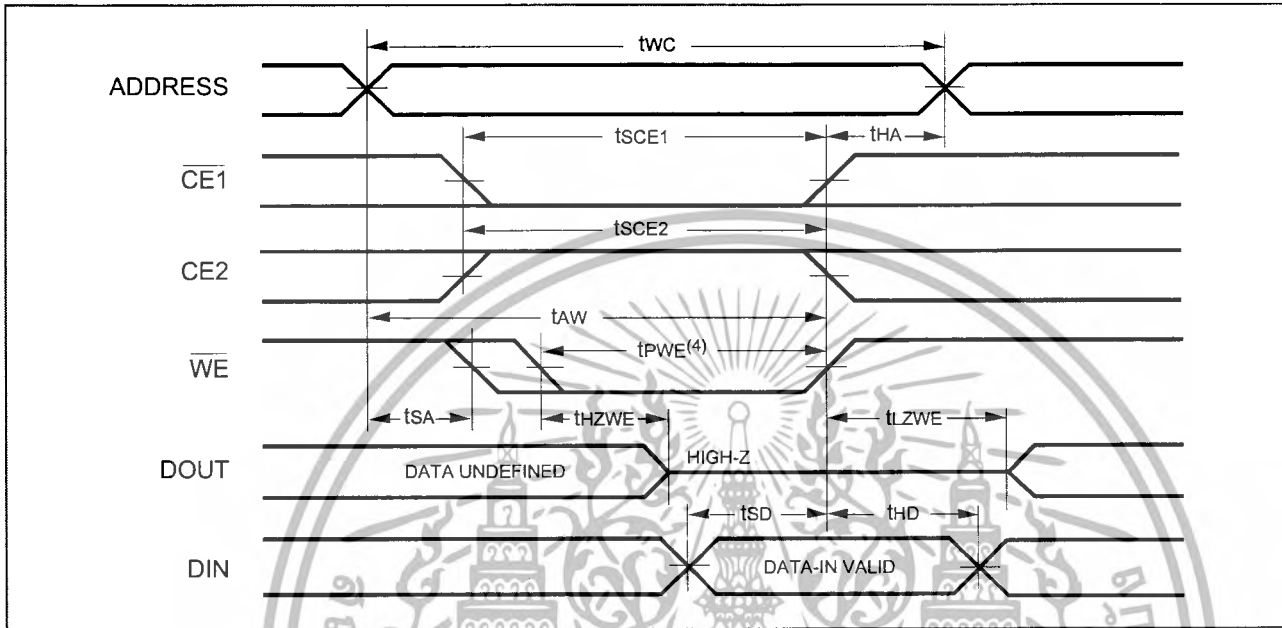
WRITE CYCLE SWITCHING CHARACTERISTICS^(1,3) (Over Operating Range, Standard and Low Power)

Symbol	Parameter	-35		-45		-55		-70		Unit
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
t _{wc}	Write Cycle Time	35	—	45	—	55	—	70	—	ns
t _{sce1}	CE1 to Write End	25	—	35	—	50	—	60	—	ns
t _{sce2}	CE2 to Write End	25	—	35	—	50	—	60	—	ns
t _{aw}	Address Setup Time to Write End	25	—	35	—	45	—	60	—	ns
t _{ha}	Address Hold from Write End	0	—	0	—	0	—	0	—	ns
t _{sa}	Address Setup Time	0	—	0	—	0	—	0	—	ns
t _{pwe} ⁽⁴⁾	WE Pulse Width	25	—	35	—	40	—	50	—	ns
t _{sd}	Data Setup to Write End	20	—	25	—	25	—	30	—	ns
t _{hd}	Data Hold from Write End	0	—	0	—	0	—	0	—	ns
t _{hze} ⁽²⁾	WE LOW to High-Z Output	—	10	—	15	—	20	—	25	ns
t _{lze} ⁽²⁾	WE HIGH to Low-Z Output	3	—	5	—	5	—	5	—	ns

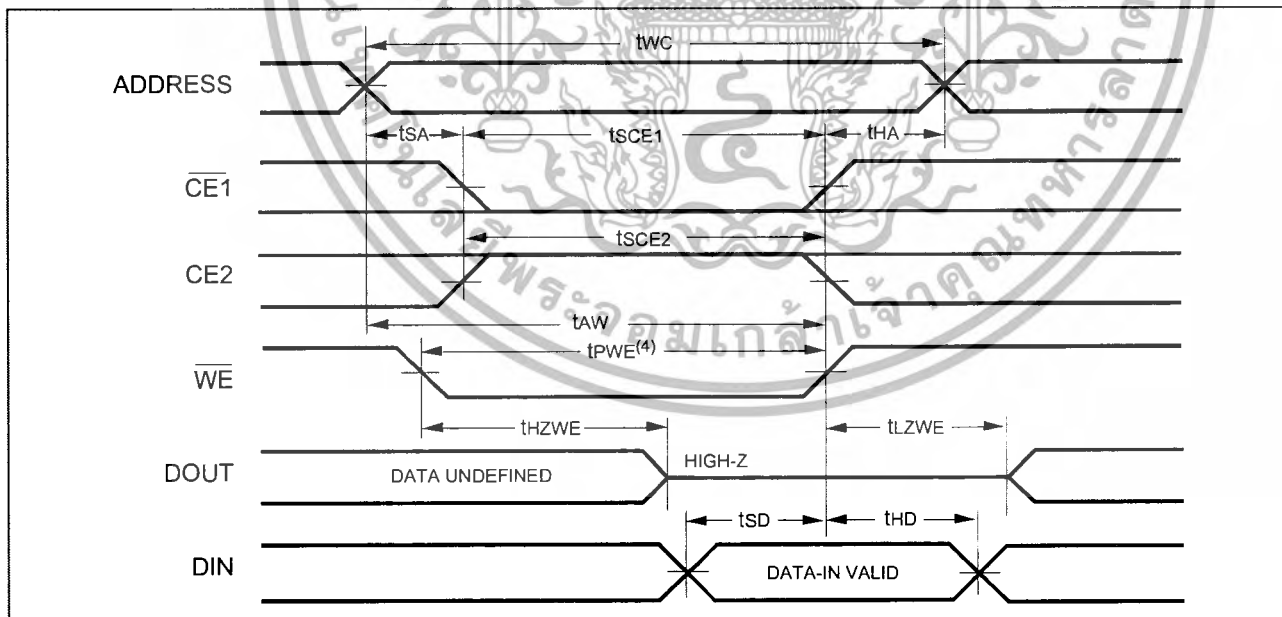
- Notes:**
1. Test conditions assume signal transition times of 5 ns or less, timing reference levels of 1.5V, input pulse levels of 0 to 3.0V and output loading specified in Figure 1a.
 2. Tested with the load in Figure 1b. Transition is measured ±500 mV from steady-state voltage. Not 100% tested.
 3. The internal write time is defined by the overlap of CE1 LOW, CE2 HIGH and WE LOW. All signals must be in valid states to initiate a Write, but any one can go inactive to terminate the Write. The Data Input Setup and Hold timing are referenced to the rising or falling edge of the signal that terminates the Write.
 4. Tested with OE HIGH.

AC WAVEFORMS

WRITE CYCLE NO. 1 (\overline{WE} Controlled)^(1,2)



WRITE CYCLE NO. 2 ($\overline{CE1}$, $\overline{CE2}$ Controlled)^(1,2)



- Notes:**
1. The internal write time is defined by the overlap of $\overline{CE1}$ LOW, $\overline{CE2}$ HIGH and \overline{WE} LOW. All signals must be in valid states to initiate a Write, but any one can go inactive to terminate the Write. The Data Input Setup and Hold timing are referenced to the rising or falling edge of the signal that terminates the Write.
 2. I/O will assume the High-Z state if $\overline{OE} = V_{IH}$.

ORDERING INFORMATION**Commercial Range: 0°C to +70°C**

Speed (ns)	OrderPartNo.	Package
35	IS62C1024-35Q	PlasticSOP
35	IS62C1024-35T	TSOP, Type 1
45	IS62C1024-45Q	PlasticSOP
45	IS62C1024-45T	TSOP, Type 1
55	IS62C1024-55Q	PlasticSOP
55	IS62C1024-55T	TSOP, Type 1
70	IS62C1024-70Q	PlasticSOP
70	IS62C1024-70T	TSOP, Type 1

Industrial Range: -40°C to +85°C

Speed (ns)	OrderPartNo.	Package
35	IS62C1024-35QI	PlasticSOP
35	IS62C1024-35TI	TSOP, Type 1
45	IS62C1024-45QI	PlasticSOP
45	IS62C1024-45TI	TSOP, Type 1
55	IS62C1024-55QI	PlasticSOP
55	IS62C1024-55TI	TSOP, Type 1
70	IS62C1024-70QI	PlasticSOP
70	IS62C1024-70TI	TSOP, Type 1

ISSI®

Integrated Silicon Solution, Inc.

2231 Lawson Lane
 Santa Clara, CA 95054
 Tel: 1-800-379-4774
 Fax: (408) 588-0806
 E-mail: sales@issi.com
www.issi.com

SN54LS590, SN54LS591, SN74LS590, SN74LS591 8-BIT BINARY COUNTERS WITH OUTPUT REGISTERS

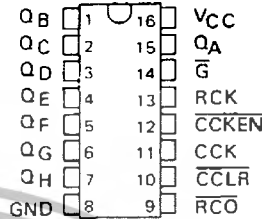
SDLS003

D2632, JANUARY 1981 — REVISED MARCH 1988

- 8-Bit Counter with Register
- Parallel Register Outputs
- Choice of 3-State ('LS590) or Open-Collector ('LS591) Register Outputs
- Guaranteed Counter Frequency: DC to 20 MHz

SN54LS590, SN54LS591 . . . J OR W PACKAGE
SN74LS590, SN74LS591 . . . N PACKAGE

(TOP VIEW)



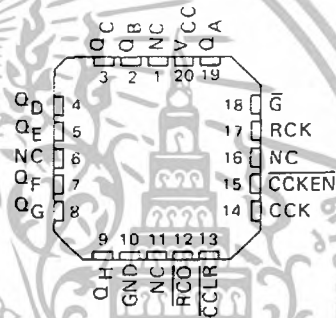
description

These devices each contain an 8-bit binary counter that feeds an 8-bit storage register. The storage register has parallel outputs. Separate clocks are provided for both the binary counter and storage register. The binary counter features a direct clear input \overline{CCLR} and a count enable input \overline{CCKEN} . For cascading, a ripple carry output \overline{RCO} is provided. Expansion is easily accomplished for two stages by connecting \overline{RCO} of the first stage to \overline{CCKEN} of the second stage. Cascading for larger count chains can be accomplished by connecting \overline{RCO} of each stage to CCK of the following stage.

Both the counter and register clocks are positive-edge triggered. If the user wishes to connect both clocks together, the counter state will always be one count ahead of the register. Internal circuitry prevents clocking from the clock enable.

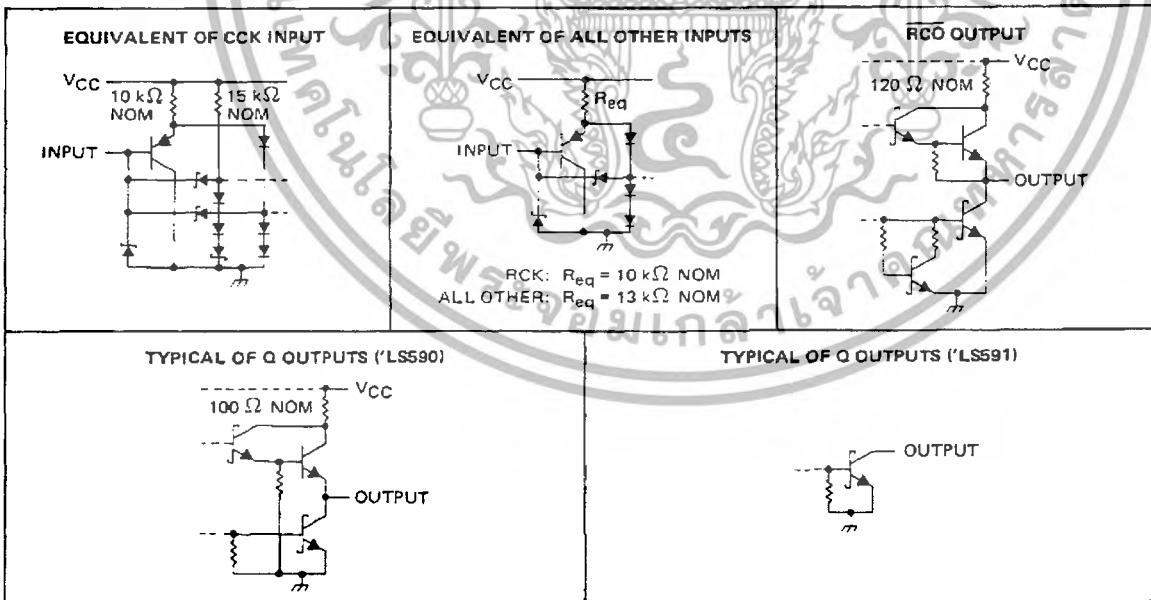
SN54LS590, SN54LS591 . . . FK PACKAGE

(TOP VIEW)



NC — No internal connection

schematics of inputs and outputs



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

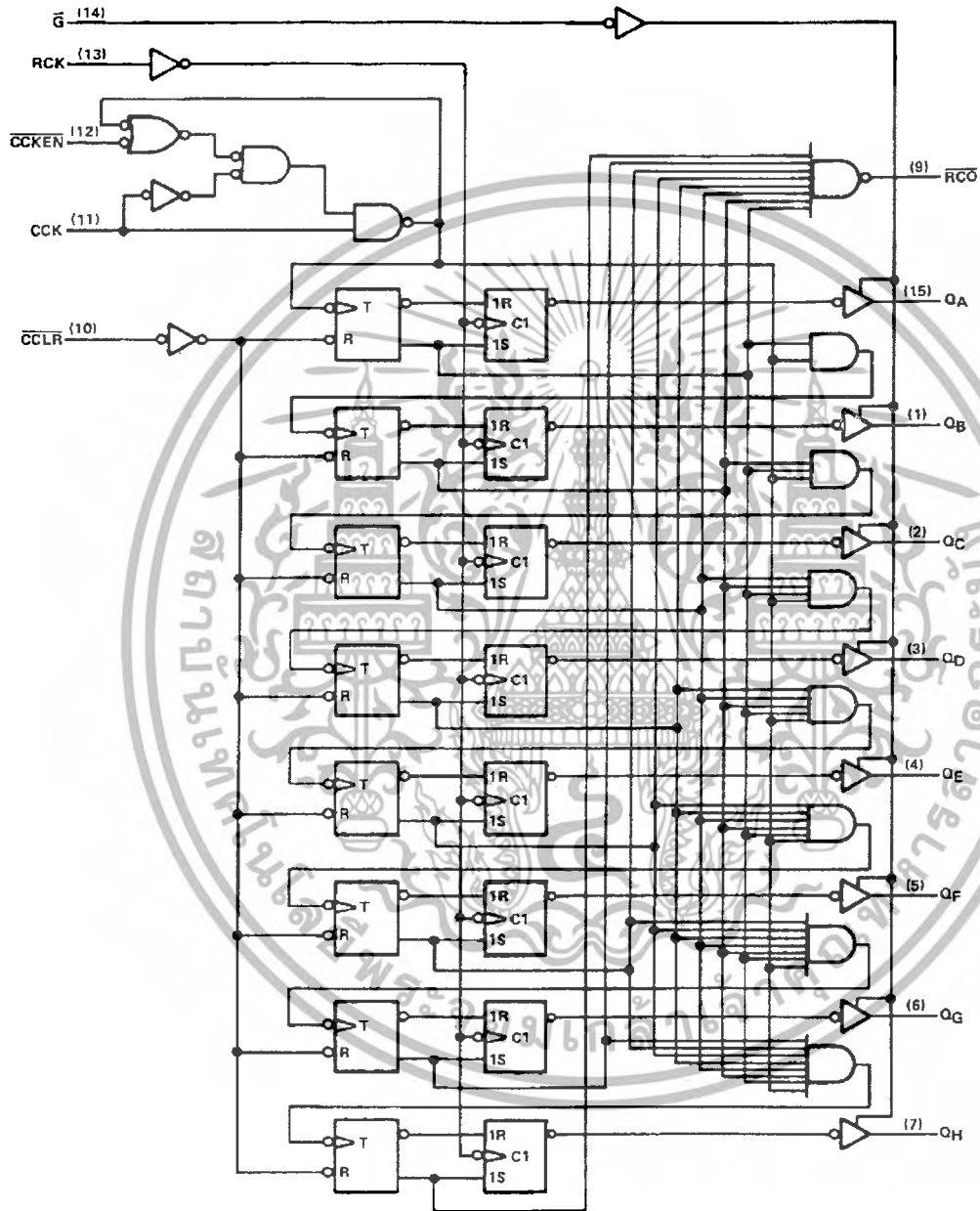
TEXAS
INSTRUMENTS

POST OFFICE BOX 655012 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54LS590, SN54LS591, SN74LS590, SN74LS591
8-BIT BINARY COUNTERS WITH OUTPUT REGISTERS

logic diagram (positive logic)



Pin numbers shown are for J, N and W packages.

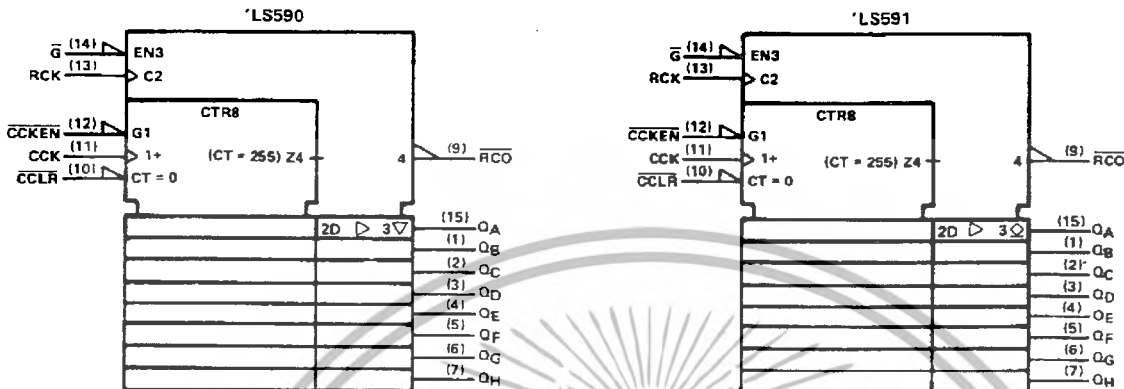
TEXAS
INSTRUMENTS

POST OFFICE BOX 655012 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54LS590, SN54LS591, SN74LS590, SN74LS591 8-BIT BINARY COUNTERS WITH OUTPUT REGISTERS

logic symbols †



†These symbols are in accordance with ANSI/IEEE Std. 91-1984 and IEC Publication 617-12. Pin numbers shown are for J, N, and W packages.

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

Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)	7 V
Input voltage	7 V
Off-state output voltage	5.5 V
Operating free-air temperature range: SN54LS590, SN54LS591	-55°C to 125°C
SN74LS590, SN74LS591	0°C to 70°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C

NOTE 1: Voltage values are with respect to the network ground terminal.

recommended operating conditions

		SN54LS*			SN74LS*			UNIT
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
V_{CC}	Supply voltage	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
V_{IH}	High-level input voltage	2			2			V
V_{IL}	Low-level input voltage			0.7			0.8	V
V_{OH}	High-level output voltage			5.5			5.5	V
I_{OH}	High-level output current	RCO, †LS591 only		-1	Q, †LS590 only		-2.6	mA
		RCO		-1	Q		-2.6	mA
I_{OL}	Low-level output current	RCO		8	Q		16	mA
		Q		12	Q		24	mA
f_{CCK}	Counter clock frequency	0		20	0		20	MHz
f_{RCK}	Register clock frequency	0		25	0		25	MHz
$t_{w(CCK)}$	Duration of counter clock pulse	25			25			ns
$t_{w(CCLR)}$	Duration of counter clear pulse	20			20			ns
$t_{w(RCK)}$	Duration of register clock pulse	20			20			ns
t_{su}	Setup time	CCKEN low before CCK*		20	CCLR inactive before CCK†		20	ns
		CCLR inactive before CCK†		20	CCK before RCK† (see NOTE 2)		40	
		CCK before RCK† (see NOTE 2)		40	CCK before RCK† (see NOTE 2)		40	
t_h	Hold time	CCKEN low after CCK†		0	CCK before RCK† (see NOTE 2)		0	ns
T_A	Operating free-air temperature	-55		125	0		70	°C

NOTE 2: This setup time ensures the register will see stable data from the counter outputs. The clocks may be tied together in which case the register state will be one clock pulse behind the counter.

**TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 555012 • DALLAS, TEXAS 75255

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54LS590, SN54LS591, SN74LS590, SN74LS591
8-BIT BINARY COUNTERS WITH OUTPUT REGISTERS

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	SN54LS*		SN74LS*		UNIT			
		MIN	TYP‡	MAX	MIN		TYP‡	MAX	
V _{IK}	V _{CC} = MIN, I _I = -18 mA			-1.5		V			
V _{OH}	'LS590 Q RCO	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2 V, V _{IL} = MAX	I _{OH} = -1 mA	2.4	3.2		V		
			I _{OH} = -2.6 mA			2.4		3.1	
			I _{OH} = -7 mA	2.4	3.2	2.4		3.2	
I _{OH}	'LS591 Q	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2 V, V _{IL} = MAX	V _{IH} = 2 V, V _{OH} = 5.5 V,	0.1		0.1	mA		
V _{OL}	Q RCO	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2 V, V _{IL} = MAX	V _{IH} = 2 V,	I _{OL} = 12 mA	0.25	0.4	0.25	0.4	V
				I _{OL} = 24 mA			0.35	0.5	
				I _{OL} = 8 mA	0.25	0.4	0.25	0.4	
				I _{OL} = 16 mA			0.35	0.5	
I _{OZH}	'LS590 Q	V _{CC} = MAX, V _O = 2.7 V	V _{IH} = 2 V, V _{IL} = MAX,	20		20	μA		
I _{OZL}	'LS590 Q	V _{CC} = MAX, V _O = 0.4 V	V _{IH} = 2 V, V _{IL} = MAX,	-20		-20	μA		
I _I		V _{CC} = MAX, V _I = 7 V		0.1		0.1	mA		
I _{IH}		V _{CC} = MAX, V _I = 2.7 V		20		20	μA		
I _{IL}	CCK	V _{CC} = MAX, V _I = 0.4 V		-0.8		-0.8	mA		
	All others			-0.2		-0.2			
I _{OS} §	'LS590 Q	V _{CC} = MAX, V _O = 0 V		-30	-130	-30	-130	mA	
	RCO			-20	-100	-20	-100		
I _{CC}	'LS590	V _{CC} = MAX, All possible inputs grounded, All outputs open	I _{CCH}	33	55	33	55	mA	
			I _{CCL}	44	65	44	65		
	I _{CCZ}		46	65	46	65			
	'LS591		I _{CCH}	35	55	35	55		
I _{CCL}		42	65	42	65				

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

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

§ Not more than one output should be shorted at a time and the duration of the short-circuit should not exceed one second.

switching characteristics, V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C (see note 3)

PARAMETER	FROM (INPUT)	TO (OUTPUT)	TEST CONDITIONS	'LS590			'LS591			UNIT
				MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
f _{max}	RCK	Q	R _L = 667 Ω, C _L = 45 pF	20	35		20	35		MHz
t _{PLH}	CCK↑	RCO	R _L = 1 kΩ, C _L = 30 pF	14	22		16	24		ns
t _{PHL}	CCK↓	RCO		20	30		25	38		ns
t _{PLH}	CCLR↓	RCO		30	45		32	48		ns
t _{PLH}	RCK↑	Q		12	18		25	38		ns
t _{PHL}	RCK↓	Q		22	33		28	42		ns
t _{PZH}	G ₊	Q	R _L = 667 Ω, C _L = 45 pF	25	38					ns
t _{PZL}	G ₋	Q		30	45					ns
t _{PHZ}	G ₊	Q		20	30					ns
t _{P LZ}	G ₋	Q	R _L = 667 Ω, C _L = 5 pF	25	38					ns
t _{PLH}	G ₊	Q					34	50		ns
t _{PHL}	G ₋	Q	R _L = 667 Ω, C _L = 45 pF				32	48		ns

NOTE 3: Load circuits and voltage waveforms are shown in Section 1.



POST OFFICE BOX 655012 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้