

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

**แอลซีดีสโกปความถี่ต่ำ**

นายกิริติ อ่อนโฉม  
นายนรเศรษฐ์ ฉัตรพิพัฒนาผล



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... **76655** .....  
วัน,เดือน,ปี..... 3 S.M. 2550

b. 118 50310  
i. ....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Low Frequency LCD Scope



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Bachelor  
of Science

Department of Applied Physics

Faculty of science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง

แอลจีบราโคปความดีค่า

นักศึกษา

นายกิริติ อ่อนโถม

นาย นรเศรษฐ์ ฉัตรพิพัฒนผล

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

สาขาวิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

ปีการศึกษา

2549

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์วิชิต ศิริโชติ

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้ปัญหาพิเศษ/โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

| คณะกรรมการตรวจสอบ  | ลายมือชื่อ   |
|--|--|
| ประธานกรรมการ อ. ชนภรณ์ สีลาวัฒนานนท์<br>กรรมการ อ. กิรยุทธ์ ศรีนวลจันทร์<br>กรรมการ อ. ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง<br>กรรมการ รศ. วิชิต ศิริโชติ |  |

(รองศาสตราจารย์วิชาญ เดชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| โครงการพิเศษ เรื่อง         | แอลซีดีสโคป                                     |
| นักศึกษา                    | นาย กิรติ อ่อนโฉม<br>นาย นรเศรษฐ์ ฉัตรพิพัฒน์ผล |
| ปริญญา                      | วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต                            |
| สาขาวิชา                    | ฟิสิกส์ประยุกต์                                 |
| พ.ศ.                        | 2549  |
| อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ | รศ.ดร. วิจิต ศิริโชติ                           |

#### บทคัดย่อ

เราได้ทำการพัฒนาเครื่องมืออย่างง่ายที่ใช้สำหรับวัดและแสดงผลสัญญาณกระแสสลับ ตัววงจรของบอร์ดนั้นถูกสร้างขึ้นโดยไมโครคอนโทรลเลอร์PICและแอลซีดีกราฟฟิกขนาด 128 x 64 พิกเซล สัญญาณที่สามารถวัดได้นั้นจะอยู่ในช่วง 0 - 5 โวลต์ สัญญาณอนาลอกที่รับเข้ามานั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นข้อมูลดิจิทัลโดยตัวแปลงสัญญาณเป็นอนาลอกเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิต แอลซีดีสโคปสามารถวัดแสดงผลสัญญาณกระแสสลับได้ในช่วง 0 - 100 Hz ในรายงานครั้งนี้เราได้ทดสอบการแสดงผลสัญญาณคลื่นไซน์และคลื่นสี่เหลี่ยมเทียบกับCRTออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                              |                                      |
|------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Special Project Title</b> | <b>Low frequency lcd scope</b>       |
| <b>Student</b>               | <b>Mr.Keelati Oonchom</b>            |
|                              | <b>Mr.Noraset Chatpipatpon</b>       |
| <b>Degree</b>                | <b>Master of Physics</b>             |
| <b>Programme</b>             | <b>Applied Physics</b>               |
| <b>Year</b>                  | <b>2007</b>                          |
| <b>Thesis Advisor</b>        | <b>Assoc. Prof. Wichit Sirichote</b> |

### Abstract

A simple device used for displaying AC signal has been developed. The circuit is built with the PIC microcontroller and the 128x64 pixels graphic LCD. The input signal range is 0-5V. The input signal is digitized with 10-bit analog-to-digital converter. The LCD scope is capable of displaying the AC signal from 0 to 100Hz. The report shows the display of test signals: sine wave and square wave with the CRT oscilloscope.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย   | ก    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                                      | ข    |
| กิตติกรรมประกาศ   | ค    |
| สารบัญ  | ง    |
| สารบัญตาราง   | ฉ    |
| สารบัญรูป   | ช    |
| บทที่ 1 บทนำ  | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ                | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์  | 4    |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย                                   | 4    |
| 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน                      | 5    |
| 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ                                 | 5    |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ                                 | 6    |
| 2.1 ไฟฟ้ากระแส  | 6    |
| 2.1.1 ไฟฟ้ากระแสตรง                                     | 6    |
| 2.1.2 ไฟฟ้ากระแสสลับ                                    | 7    |
| 2.2 ออสซิลโลสโคป  | 8    |
| 2.2.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของออสซิลโลสโคป                 | 9    |
| 2.2.2 หลักการเกิดภาพบนจอออสซิลโลสโคป                    | 11   |
| 2.3 สัญญาณอนาลอกกับสัญญาณดิจิทัล                        | 12   |
| 2.3.1 สัญญาณอนาลอก                                      | 12   |
| 2.3.2 สัญญาณดิจิทัล                                     | 13   |
| 2.3.3 ข้อดีและข้อเสียของระบบอนาลอกและดิจิทัล            | 15   |
| 2.3.4 ความแตกต่างระหว่างลักษณะของสัญญาณอนาลอกและดิจิทัล | 16   |
| 2.3.5 กระบวนการพื้นฐานที่ใช้ในระบบดิจิทัล               | 17   |
| 2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์PIC                                | 18   |
| 2.4.1 ความเร็วของ PIC                                   | 18   |
| 2.4.2 หน่วยความจำของ PIC                                | 18   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

|   | หน้า |
|---|------|
| 2.4.3 สรุป Concept สถาปัตยกรรมของ PIC       | 19   |
| 2.4.4 PIC ชนิดต่างๆ                         | 19   |
| 2.4.5 PIC เบอร์ต่างๆ                        | 21   |
| 2.4.6 คุณสมบัติของ PIC18F2550               | 21   |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย                  | 34   |
| 3.1 หลักการทำงานของแอลซีดีสโปกความถี่ต่ำ    | 34   |
| 3.2 วงจรที่ต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์          | 35   |
| 3.3 อุปกรณ์ที่ใช้รับสัญญาณ                  | 36   |
| 3.4 ส่วนแสดงผลกราฟฟิกแอลซีดี                | 37   |
| 3.5 ไฟร์ซาร์ทแสดงการทำงานของโปรแกรม         | 38   |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล              | 39   |
| 4.1 การทดลองหาช่วงของVolที่เครื่องวัดได้    | 39   |
| 4.2 การวัดเปรียบเทียบกับเครื่องออสซิลโลสโคป | 40   |
| 4.3 หาช่วงที่สามารถเห็นเส้นกราฟได้          | 41   |
| บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ                   | 47   |
| 5.1 สรุป                                    | 47   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา             | 47   |
| เอกสารอ้างอิง                               | 48   |
| ภาคผนวก                                     | 49   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย   | ก    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                                      | ข    |
| กิตติกรรมประกาศ   | ค    |
| สารบัญ  | ง    |
| สารบัญตาราง   | ฉ    |
| สารบัญรูป   | ช    |
| บทที่ 1 บทนำ  | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ                | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์  | 4    |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย                                   | 4    |
| 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน                      | 5    |
| 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ                                 | 5    |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ                                 | 6    |
| 2.1 ไฟฟ้ากระแส  | 6    |
| 2.1.1 ไฟฟ้ากระแสตรง                                     | 6    |
| 2.1.2 ไฟฟ้ากระแสสลับ                                    | 7    |
| 2.2 ออสซิลโลสโคป  | 8    |
| 2.2.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของออสซิลโลสโคป                 | 9    |
| 2.2.2 หลักการเกิดภาพบนจอออสซิลโลสโคป                    | 11   |
| 2.3 สัญญาณอนาลอกกับสัญญาณดิจิทัล                        | 12   |
| 2.3.1 สัญญาณอนาลอก                                      | 12   |
| 2.3.2 สัญญาณดิจิทัล                                     | 13   |
| 2.3.3 ข้อดีและข้อเสียของระบบอนาลอกและดิจิทัล            | 15   |
| 2.3.4 ความแตกต่างระหว่างลักษณะของสัญญาณอนาลอกและดิจิทัล | 16   |
| 2.3.5 กระบวนการพื้นฐานที่ใช้ในระบบดิจิทัล               | 17   |
| 2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์PIC                                | 18   |
| 2.4.1 ความเร็วของ PIC                                   | 18   |
| 2.4.2 หน่วยความจำของ PIC                                | 18   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

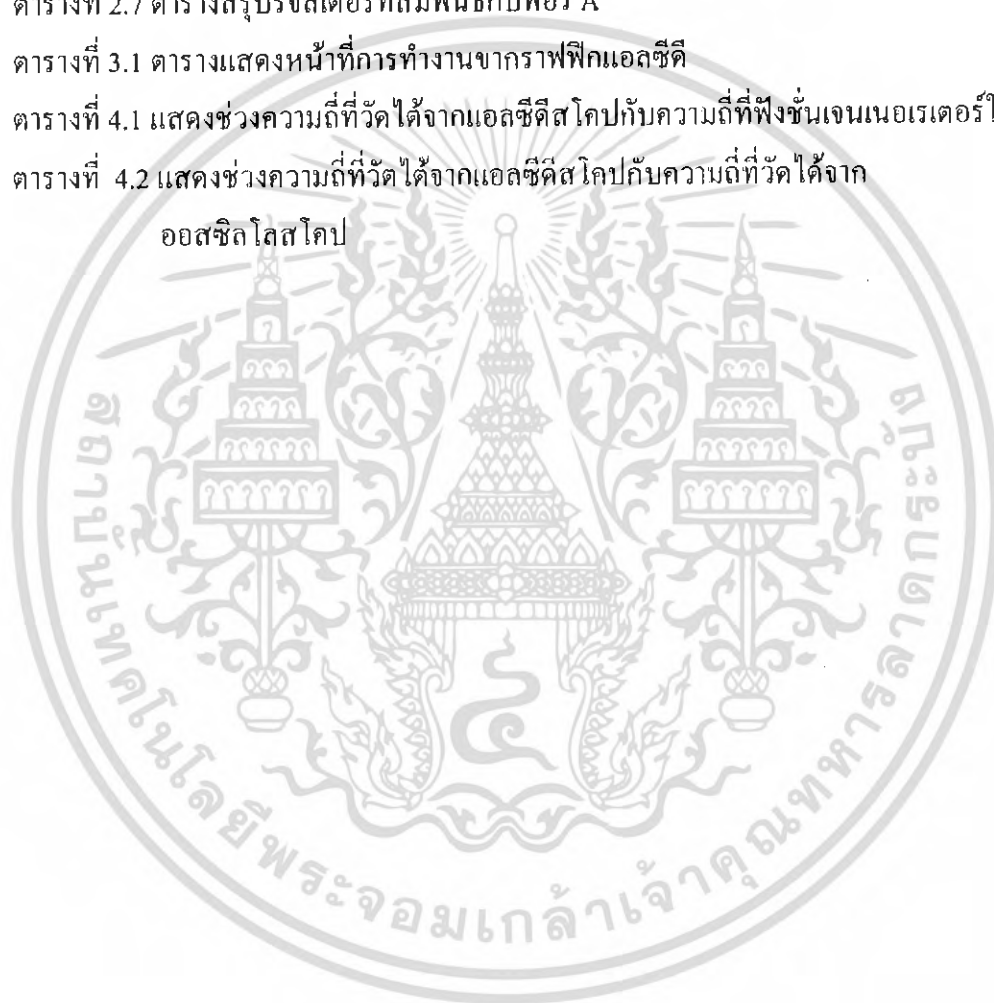
|   | หน้า |
|---|------|
| 2.4.3 สรุป Concept สถาปัตยกรรมของ PIC       | 19   |
| 2.4.4 PIC ชนิดต่างๆ                         | 19   |
| 2.4.5 PIC เบอร์ต่างๆ                        | 21   |
| 2.4.6 คุณสมบัติของ PIC18F2550               | 21   |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย                  | 34   |
| 3.1 หลักการทำงานของแอลซีดีสโปกความถี่ต่ำ    | 34   |
| 3.2 วงจรที่ต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์          | 35   |
| 3.3 อุปกรณ์ที่ใช้รับสัญญาณ                  | 36   |
| 3.4 ส่วนแสดงผลกราฟฟิกแอลซีดี                | 37   |
| 3.5 ไฟร์ซาร์ทแสดงการทำงานของโปรแกรม         | 38   |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล              | 39   |
| 4.1 การทดลองหาช่วงของVolที่เครื่องวัดได้    | 39   |
| 4.2 การวัดเปรียบเทียบกับเครื่องออสซิลโลสโคป | 40   |
| 4.3 หาช่วงที่สามารถเห็นเส้นกราฟได้          | 41   |
| บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ                   | 47   |
| 5.1 สรุป                                    | 47   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา             | 47   |
| เอกสารอ้างอิง                               | 48   |
| ภาคผนวก                                     | 49   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

|  | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของ PIC18F2550   | 23   |
| ตารางที่ 2.2 การเลือกตัวเก็บประจุสำหรับ CRYSTAL OSCILLATOR                               | 25   |
| ตารางที่ 2.3 แสดง REGISTER ที่ควบคุม A/D 0 (ADCON0)                                      | 26   |
| ตารางที่ 2.4 แสดง REGISTER ที่ควบคุม A/D 1 (ADCON1)                                      | 27   |
| ตารางที่ 2.5 แสดง REGISTER ที่ควบคุม A/D 2 (ADCON2)                                      | 28   |
| ตารางที่ 2.6 แสดงรายละเอียดของ PORTA I/O   | 31   |
| ตารางที่ 2.7 ตารางสกรูปรี่สเตอร์ที่สัมพันธ์กับพอร์ A                                     | 32   |
| ตารางที่ 2.7 ตารางสกรูปรี่สเตอร์ที่สัมพันธ์กับพอร์ A                                     | 33   |
| ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงหน้าที่การทำงานจากกราฟฟิคแอลซีดี                                   | 37   |
| ตารางที่ 4.1 แสดงช่วงความถี่ที่วัดได้จากแอลซีดีสโคปกับความถี่ที่ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ให้ | 39   |
| ตารางที่ 4.2 แสดงช่วงความถี่ที่วัดได้จากแอลซีดีสโคปกับความถี่ที่วัดได้จาก                | 40   |

ออสซิลโลสโคป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

|   | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 1.1 รูปของออสซิลโลสโคปแบบอนาลอก                                | 1    |
| รูปที่ 1.2 รูปของออสซิลโลสโคปแบบดิจิตอล                               | 2    |
| รูปที่ 1.3 รูปของ USBscope  | 3    |
| รูปที่ 2.1 รูปกราฟไฟฟ้ากระแสตรง                                       | 7    |
| รูปที่ 2.2 รูปคลื่นของไฟฟ้ากระแสสลับ                                  | 7    |
| รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบภายในของออสซิลโลสโคปอย่างง่าย                    | 9    |
| รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดภาพบนหน้าจอของออสซิลโลสโคป                      | 11   |
| รูปที่ 2.5 รูปแสดงการต่อVRปรับค่ากระแส                                | 12   |
| รูปที่ 2.6 รูปแสดงการเกิดรูปคลื่นความเข้มของแสง                       | 13   |
| รูปที่ 2.7 รูปแสดงการต่อสวิตช์ควบคุมการไหลของกระแส                    | 13   |
| รูปที่ 2.8 รูปแสดงการเกิดรูปคลื่นความเข้มของแสง                       | 14   |
| รูปที่ 2.9 รูปแสดงลักษณะของสัญญาณดิจิตอล                              | 16   |
| รูปที่ 2.10 รูป ไมโครคอนโทรลเลอร์PIC                                  | 18   |
| รูปที่ 2.11 รูป ไมโครคอนโทรลเลอร์PIC ชนิดOTP                          | 19   |
| รูปที่ 2.12 รูป ไมโครคอนโทรลเลอร์PIC ชนิดEPROM                        | 20   |
| รูปที่ 2.13 รูป ไมโครคอนโทรลเลอร์PIC ชนิดEPROM/Flash                  | 21   |
| รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างของ PIC 18F2550 แบบ 28 ขา                    | 23   |
| รูปที่ 2.15 การทำงานของวงจร ที่ใช้ Crystal หรือ ceramic resonator     | 24   |
| รูปที่ 3.1 แสดงการทำงานของแอลซีดีสโคปความถี่ต่ำ                       | 34   |
| รูปที่ 3.2 แสดงวงจรการทำงานของแอลซีดีสโคปความถี่ต่ำ โดยใช้ PIC18F2550 | 35   |
| รูปที่ 3.3 ลักษณะของ PIC18F2550 Project Boar ที่ต่อตามวงจรในรูป 3.2   | 36   |
| รูปที่ 3.4 แสดงการต่อตัวต้านทาน                                       | 36   |
| รูปที่ 3.5 รูปจอแสดงผลกราฟฟิกแอลซีดี                                  | 37   |
| รูปที่ 4.1 แสดงกราฟจากแอลซีดีสโคปช่วงความถี่ 30 Hz                    | 41   |
| รูปที่ 4.2 แสดงกราฟจากแอลซีดีสโคปช่วงความถี่ 70 Hz                    | 41   |
| รูปที่ 4.3 แสดงกราฟจากแอลซีดีสโคปช่วงความถี่ 100 Hz                   | 42   |
| รูปที่ 4.4 แสดงกราฟจากแอลซีดีสโคปช่วงความถี่ 200 Hz                   | 42   |
| รูปที่ 4.5 แสดงกราฟจากแอลซีดีสโคปช่วงความถี่ 300 Hz                   | 43   |

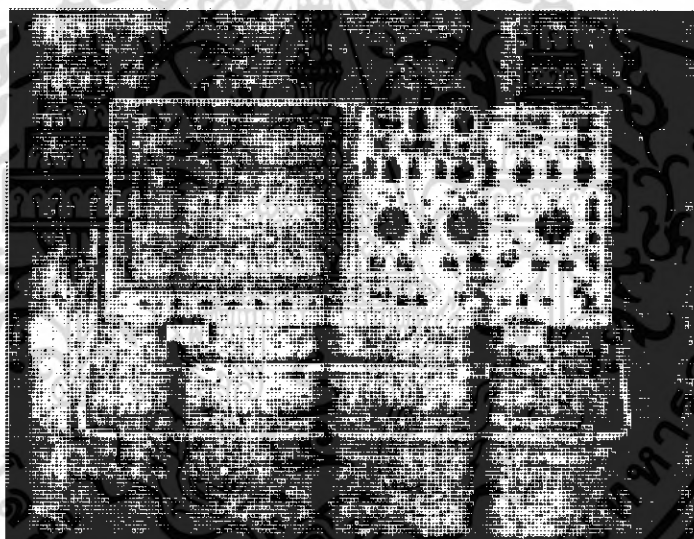
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ

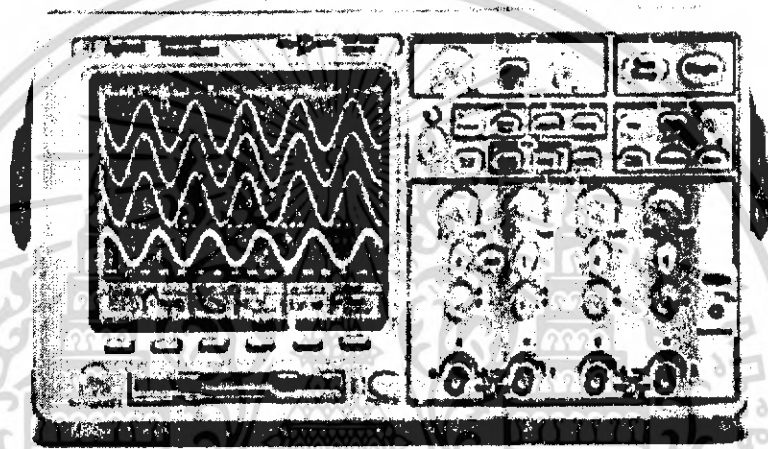
ออสซิลโลสโคปเป็นเครื่องมือสำหรับสร้างรูปคลื่น (waveform) ของสัญญาณไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตามเวลาให้ปรากฏบนจอภาพ และยังวัดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้าเหล่านั้นเทียบกับเวลาได้ ออสซิลโลสโคปในช่วงแรกนั้นจะเป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ มีหลักการทำงานโดยจะยิงลำอิเล็กตรอนผ่านแผ่นเพลตแนวตั้งและแนวนอน ไปตกตรงหน้าจอที่ฉาบด้วยสารเรืองแสง ออกเป็นรูปคลื่นตามสัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้



รูปที่ 1.1 รูปของออสซิลโลสโคปแบบอนาล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

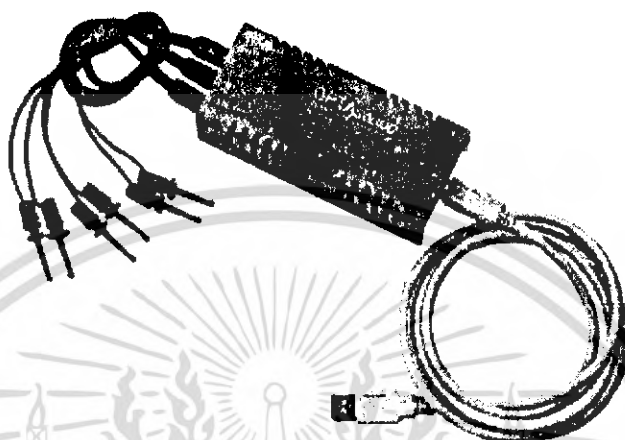
ออสซิลโลสโคปที่กล่าวมานั้นเป็นออสซิลโลสโคปที่ให้สัญญาณออกมาเป็นอนาลอก ต่อมาได้มีการประยุกต์ในการรับสัญญาณไฟฟ้ามาแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลผ่านวงจรแปลงสัญญาณแล้วแสดงผลผ่านหน้าจอ เป็นออสซิลโลสโคปที่ใช้งานง่ายกว่าแบบดิจิทัลและยังสามารถอ่านค่าได้เที่ยงตรงกว่า มีฟังก์ชันที่ช่วยในการวัดหลายอย่าง ทำให้สามารถวัดค่าที่เราต้องการได้อย่าง สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น



รูปที่ 1.2 รูปของออสซิลโลสโคปแบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาของเครื่องวัดชนิดนี้ยังมีต่อไปเรื่อยๆ จนมีการทำ คอมพิวเตอร์ โคป ขึ้น โดยการใช้วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแล้วค้่เข้ากับคอมพิวเตอร์ แล้วเขียนโปรแกรมเพื่อให้แสดงค่าสัญญาณออกผ่านจอคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาC และมีการปรับปรุงให้สามารถเสียบเข้าทาง Port USB และลงโปรแกรมที่เขียนไว้ก็สามารใช้ได้ทันที ออสซิลโลสโคปแบบนี้ในมีขายในกันชื่อว่า USBscope



รูปที่ 1.3 รูปของ USBscope

จากที่กล่าวมาทั้งหมดเราจึงเห็นช่องทางที่จะสามารถทำออสซิลโลสโคปที่มีความกระทัดรัดกว่านี้ได้โดยการสร้างวงจรเชื่อมต่อกับจอ LCD เพื่อแสดงผลของกราฟและค่าต่าง ๆ ที่เราวัดโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์PIC18F2550 ที่สามารถใช้ภาษาC เขียนโปรแกรมเพื่อควบคุม และทำงานภายใต้คำสั่งของ Software ที่เราเขียนขึ้น ซึ่งจะทำให้เราได้ออสซิลโลสโคปแบบพกพา ที่มีขนาดเล็ก และราคาถูกลงกว่าในท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการนำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PLC18F2550 ไปใช้งานได้จริง
2. เพื่อศึกษาการทำงานของ ADC
3. เพื่อฝึกทักษะในการเขียน Software
4. เพื่อเพิ่มทักษะในทางช่าง ในการทำวงจรอิเล็กทรอนิกส์
5. เพื่อสร้างออสซิลอสโคปที่มีราคาถูก และใช้ศึกษาและพัฒนาได้จริง

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PLC18F2550 รับค่าของคลื่นที่จะทำการวัด และให้แสดงผลออกทางจอ GRAPHIC LCD โดยการเขียนโปรแกรมสั่งงาน
2. ผู้ที่มาศึกษาสามารถเขียน Software รับค่ามาพร้อมกราฟได้
3. สร้างออสซิลอสโคปความถี่ต่ำราคาถูกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

|            |    |  |
|------------|----|--|
| มิถุนายน   | 49 | รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับภาษาซีและไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PLC18F2550 |
| กรกฎาคม    | 49 | ซื้ออุปกรณ์ที่ใช้และทำการต่อวงจรบอร์ดadc                         |
| สิงหาคม    | 49 | ศึกษาการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี                                   |
| กันยายน    | 49 | ศึกษาการติดต่อระหว่างบอร์ดadcกับเครื่องคอมพิวเตอร์               |
| พฤศจิกายน  | 49 | ศึกษาการแสดงผลออกทางจอLCD  |
| ธันวาคม    | 49 | เขียนโปรแกรมการทำงานในการวัด ค่าของกระแสและกราฟ                  |
| มกราคม     | 50 | ทดสอบการทำงานและแก้ปัญหา   |
| กุมภาพันธ์ | 50 | ทดสอบการทำงานทั้งระบบ  |

#### 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้เรื่องการทำงานทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์
2. ได้ฝึกทักษะในการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PLC18F2550
3. ได้ฝึกทักษะในการออกแบบ Software
4. ได้นำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PLC18F2550 ในการพัฒนาเครื่องมือวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 ไฟฟ้ากระแส (Current Electricity)

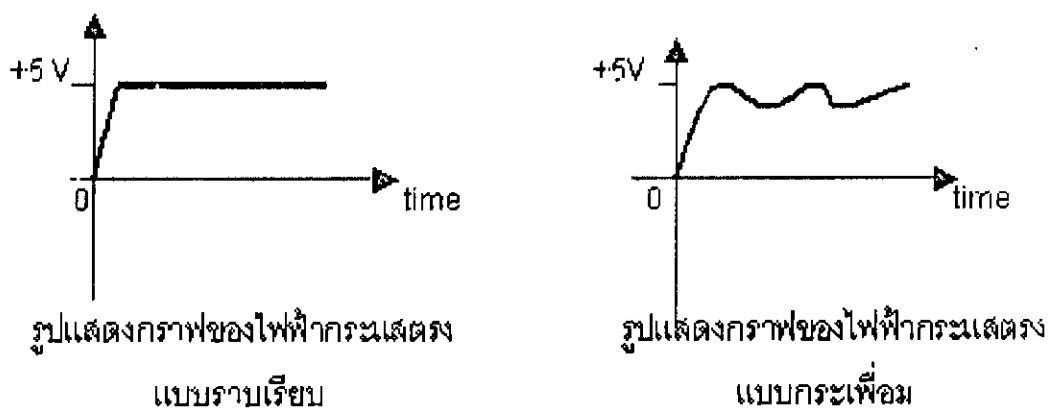
ไฟฟ้ากระแส (current electricity) หมายถึง เป็นไฟฟ้าที่สามารถส่งให้ไหลไปในตัวนำได้ ได้แก่ ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายของการไฟฟ้า แบตเตอรี่ เซลล์ไฟฟ้า เป็นต้น ไฟฟ้ากระแสแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

##### 2.1.1 ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current; D.C)

ไฟฟ้ากระแสตรง หมายถึง กระแสไฟฟ้าที่มีทิศทางไหลไปในทิศทางเดียวเสมอคือไหลจากขั้วบวกไปสู่ขั้วลบ (กระแสสมมติ) กระแสจะไหลจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าผ่านตัวนำเข้าไปทำงานยังอุปกรณ์ไฟฟ้าแล้ว ไหลกลับแหล่งกำเนิดโดยไม่มีการไหลกลับขั้วจากลบไปบวก ซึ่งแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ

- ไฟฟ้ากระแสตรงแบบราบเรียบ (Pure DC) เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ขนาดคงที่สม่ำเสมอ ได้จากแบตเตอรี่ เซลล์ไฟฟ้า เป็นต้น
- ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระเพื่อม (Steady DC) เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีการกระเพื่อมของแรงดัน ซึ่งได้จาก DC-Generator เป็นต้น

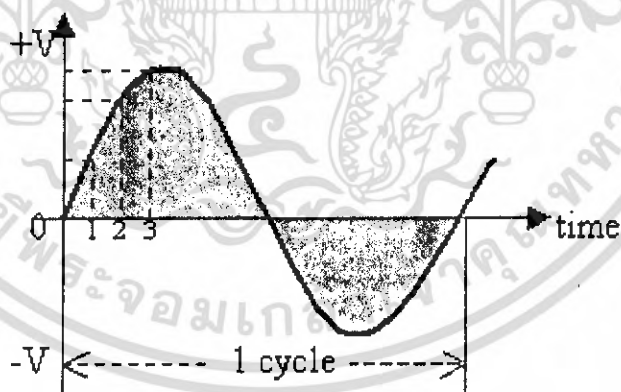
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 รูปกราฟไฟฟ้ากระแสตรง

### 2.1.2 ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating current)

ไฟฟ้ากระแสสลับหมายถึงกระแสไฟฟ้าที่มีการสลับสับเปลี่ยนขั้วอยู่ตลอดเวลาอย่างสม่ำเสมอ ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนสลับ ไปมาจากบวก-ลบ และจากลบ-บวก อยู่ตลอดเวลา ซึ่งไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้าที่ใช้กันตามบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป เมื่อเรานำไฟฟ้ากระแสสลับมาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับมุมที่เปลี่ยนไป เมื่อเวลาผ่านไป ในขณะที่เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าจะ ได้ความสัมพันธ์ของกราฟเป็นเส้นโค้งสลับขึ้นลงไปมา ซึ่งหมายถึง เมื่อเวลาผ่านไปแรงดันไฟฟ้าจะสลับการไหลตลอดเวลา



รูปที่ 2.2 รูปคลื่นของไฟฟ้ากระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

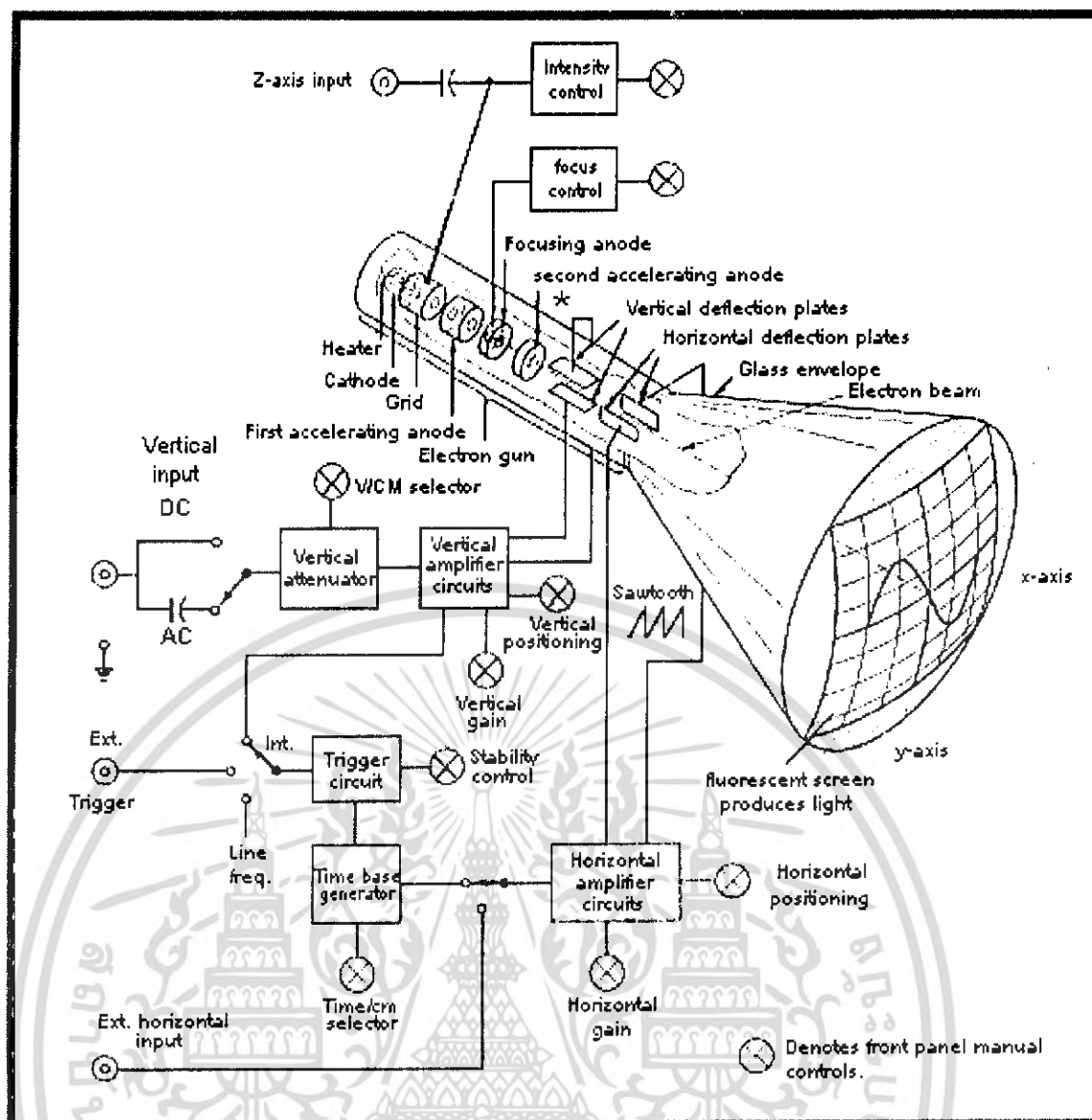
จากรูปจะเห็นว่าแต่ละเวลา (time ที่ 0,1,2,3,...) ที่ผ่านไปขนาดของแรงดัน จะเปลี่ยนไปตลอดเวลา คือจะเปลี่ยนจาก 0 Volt ที่ time 0 แรงดันจะเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ จนสูงสุดทางบวก ที่ time 3 แล้วก็ลดลงมาที่ 0 Volt อีก ขณะเดียวกันก็จะกลับขั้วการไหล (กระแสจะไหลย้อนกลับ) และมีแรงดันเพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน (ทางขั้วลบ) สลับหมุนเวียนอยู่เช่นนี้เรื่อย ๆ

การเปลี่ยนแปลงของแรงดันในทางบวกหนึ่งครั้งและทางลบหนึ่งครั้ง รวมเรียกว่า 1 Cycle การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้จะเกิดขึ้นหลาย ๆ ครั้ง (Cycle) ใน 1 วินาที สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับที่เราใช้กันอยู่ตามอาคารบ้านเรือน จะเปลี่ยนแปลง 50 Cycle ต่อวินาที เราเรียกจำนวนการเปลี่ยนแปลงนี้ว่า ความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับ (Frequency) 50 cycle/sec หรือ 50 Herze (Hz)

## 2.2 Oscilloscope

ออสซิลโลสโคปเป็นเครื่องมือสำหรับสร้างรูปคลื่น (waveform) ของสัญญาณไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตามเวลาให้ปรากฏบนจอภาพ ซึ่งปกติจะไม่สามารถเห็นสัญญาณไฟฟ้าเหล่านั้นได้ ออสซิลโลสโคปยังสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้าเหล่านั้นเทียบกับเวลาได้ ออสซิลโลสโคปยังใช้แสดงคลื่นคลและเป็นเครื่องมือสำคัญในการตรวจสอบเครื่องมือใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น วิทยุ โทรทัศน์ เครื่องเสียง นอกจากนี้ยังใช้เป็นเครื่องแสดงผลของเครื่องมือวัดบางชนิดอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.3 ส่วนประกอบภายในของออสซิลโลสโคปอย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของออสซิลโลสโคป

- หลอดรังสีแคโทดเป็นหลอดสุญญากาศชนิดหนึ่ง มีโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน เรียงลำดับดังนี้

1. ปืนอิเล็กตรอน (electron gun) ทำหน้าที่ผลิตลำอิเล็กตรอนที่มีความเร็วสูงและมีขนาดเล็กมาก
2. ระบบเบี่ยงเบนลำอิเล็กตรอน ทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้า เมื่อลำอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านจะทำให้ลำอิเล็กตรอนเปลี่ยนแนวการเคลื่อนที่ไป ระบบเบี่ยงเบนประกอบด้วยแผ่นเบี่ยงเบน 2 ชุด ชุดแรกเรียกว่า แผ่นเบี่ยงเบนทางแนวตั้ง (vertical deflection plates) ซึ่งต่ออยู่กับส่วนควบคุมสัญญาณทางแนวตั้ง (vertical control) ทำหน้าที่เบี่ยงเบนลำอิเล็กตรอนในแนวตั้ง (แกน y) อีกชุดเรียกว่า แผ่นเบี่ยงเบนทางแนวนอน (horizontal deflection plates) ต่ออยู่กับส่วนควบคุมสัญญาณทางแนวนอน (horizontal control) ทำหน้าที่เบี่ยงเบนลำอิเล็กตรอนในแนวนอน (แกน x)
3. จอภาพ (screen) เมื่อลำอิเล็กตรอนผ่านระบบเบี่ยงเบนจะไปตกบนจอภาพที่ฉาบสารเรืองแสงไว้ พลังงานของอิเล็กตรอนจะถูกถ่ายโอนให้กับสารเรืองแสง ทำให้บริเวณที่อิเล็กตรอนตกกระทบเรืองแสงขึ้น
  - ส่วนควบคุมสัญญาณทางแนวตั้ง ประกอบด้วยวงจรที่สำคัญ 2 วงจรคือ วงจรลดทอนสัญญาณ (vertical attenuator) และวงจรขยายทางแนวตั้ง (vertical amplifier) เมื่อสัญญาณไฟฟ้าที่ต้องการดูถูกป้อนเข้าที่ขั้วต่อ input จะถูกส่งผ่านไปยังวงจรลดทอนสัญญาณ สัญญาณที่ออกมาจะมีขนาดเล็กลง จากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังวงจรขยาย แล้วป้อนเข้าสู่แผ่นเบี่ยงเบนทางแนวตั้ง เพื่อสร้างสนามไฟฟ้าไปเบี่ยงเบนลำอิเล็กตรอนในแนวตั้งต่อไป
  - ส่วนควบคุมสัญญาณทางแนวนอนมีวงจรที่สำคัญคือ วงจรกำเนิดความถี่การกวาด (sweep หรือ time base generator) ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณรูปฟันเลื่อย (sawtooth) สัญญาณนี้จะถูกป้อนไปยังแผ่นเบี่ยงเบนทางแนวนอน ทำให้ลำอิเล็กตรอนเบี่ยงเบนหรือกวาดในแนวนอน ถ้าความถี่ของสัญญาณรูปฟันเลื่อยไม่สัมพันธ์กับสัญญาณที่จะดู (ซึ่งถูกป้อนเข้าที่ขั้ว input) จะทำให้ได้รูปคลื่นของสัญญาณที่จะดูไม่ซ้อนทับกันและไม่นิ่ง แต่ถ้าสามารถปรับความถี่การกวาดให้ตรงกันแล้วจะได้รูปคลื่นที่นิ่ง วิธีการนี้เรียกว่า การเข้าจังหวะ (synchronization)

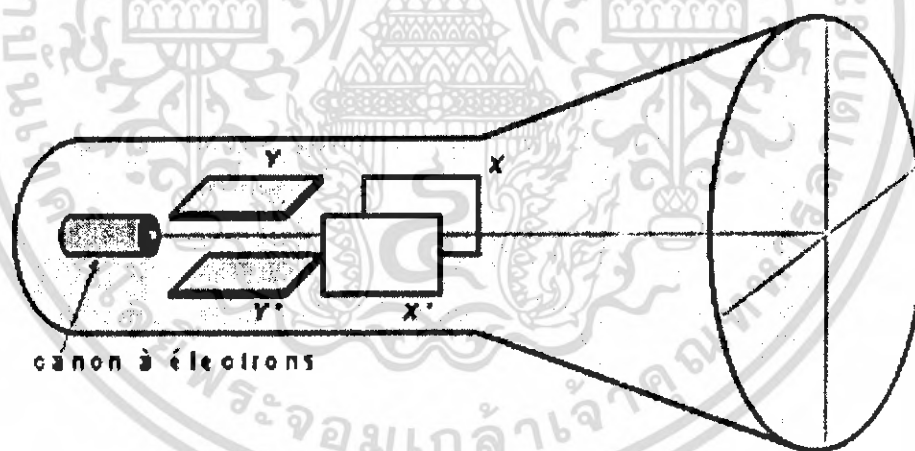
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 หลักการเกิดภาพบนจอออสซิลโลสโคป

การเกิดรูปสัญญาณที่จอออสซิลโลสโคป (หลอด CRT) อาศัยหลักการทำงานของ 2 ภาค ใหญ่ๆ คือ

1. การบ่ายเบนสัญญาณทางแนวตั้ง (Vertical deflection)
2. การบ่ายเบนสัญญาณทางแนวนอน (Horizontal deflection)

การป้อนสัญญาณเข้าที่ขั้วแผ่นเพลตบ่ายเบนทั้งแนวตั้ง และ แนวนอนโดยตรงจะต้องมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่สูงมาก เพื่อให้ลำอิเล็กตรอนเกิดบ่ายเบนไปถึงหน้าจอที่ฉาบด้วยสารเรืองแสง ดังนั้นถ้ากรณีที่สัญญาณเข้าเป็นแรงดันไฟฟ้าค่าต่ำๆ ก่อนเข้าแผ่นเพลตบ่ายเบนทั้ง 2 ขั้ว โดยการขยายสัญญาณดังกล่าวเสียก่อน เรียกว่าวงจรขยายสัญญาณทางแนวตั้งและวงจขยายสัญญาณทางแนวนอนจะเห็นการสแกน (Scan) ของรูปคลื่นไซน์ที่ป้อนเข้าทางแนวตั้งและรูปคลื่นฟันเลื่อยเข้าทางแนวนอน ภาพที่จะปรากฏจะเป็นการเริ่มต้นสแกนของจุดลำแสงอิเล็กตรอนที่จอหลอดภาพวิ่งจากซ้ายไปขวา เริ่มจากตำแหน่งศูนย์เหมือนกันจนกระทั่งถึงจุดสูงสุด (เลข 8) ของสัญญาณคลื่นไซน์และฟันเลื่อย จากนั้นจุดลำแสงอิเล็กตรอนบนจอหลอด CRT จะวิ่งกลับจากตำแหน่งสูงสุด (ขวาสุด) มายังซ้ายสุดด้วยความเร็วที่สูงมากเราจึงเห็นรูปสัญญาณคลื่นไซน์ปรากฏหน้าจอ



รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดภาพบนหน้าจอของออสซิลโลสโคป

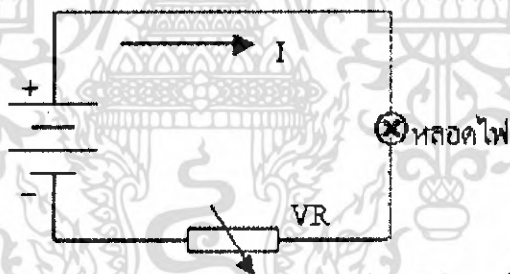
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3 สัญญาณอนาลอกกับสัญญาณดิจิทัล

การทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะเกี่ยวข้องกับสัญญาณที่เป็นพื้นฐาน 2 ชนิดคือ สัญญาณอนาลอก กับสัญญาณดิจิทัล

#### 2.3.1 สัญญาณอนาลอก

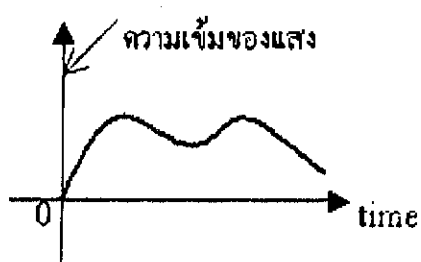
คำว่า อนาลอก (analog) มาจากคำว่า อนาโลกัส (analogus) หมายถึงปริมาณใด ๆ ที่แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องจากค่าต่ำสุดจนถึงค่าอนันต์ จากรูป (a) เป็นวงจรไฟฟ้าเบื้องต้นที่ประกอบด้วย หลอดไฟฟ้า และตัวต้านทานปรับค่าได้ (VR) ต่อเป็นแบบอันดับกับแหล่งจ่ายไฟตรง เมื่อมีการปรับค่าความต้านทานจะทำให้มีกระแสไหล ในวงจรเปลี่ยนไป ทำให้ความเข้มของแสงที่หลอดไฟฟ้าเปลี่ยนไปด้วย เมื่อเขียนแทนความเข้มของแสงด้วยสัญญาณจะได้ตามรูปที่ (b) โดยให้แกนในแนวนอนแทนเวลา ส่วนแกนในแนวตั้งแทนความเข้มของแสงที่เกิดจากความสว่างของหลอดไฟฟ้า สัญญาณอนาลอก นำไปใช้แทนปริมาณต่าง ๆ เช่น เสียง ความเร็ว ความยาว น้ำหนัก อุณหภูมิ ระยะทาง แรงดัน และความเข้มของแสง เป็นต้น สัญญาณอนาลอกที่ได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ใช้ตรวจสอบการทำงาน หรือใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยใช้แทนปริมาณของแรงดัน ไฟฟ้า หรือกระแสไฟฟ้า ในวงจรต่าง ๆ



(a) รูปแสดงการต่อ VR ปรับค่ากระแสให้ไหลมากหรือน้อย

รูปที่ 2.5 รูปแสดงการต่อ VR ปรับค่ากระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

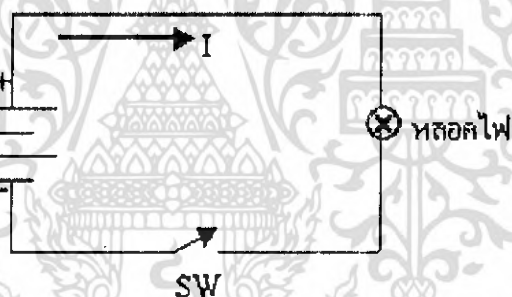


(b) รูปแสดงการเกิดรูปคลื่นความเข้มของแสง

รูปที่ 2.6 รูปแสดงการเกิดรูปคลื่นความเข้มของแสง

### 2.3.2 สัญญาณดิจิทัล

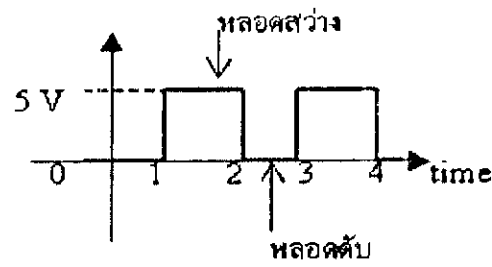
เป็นสัญญาณที่ใช้แทนระดับของแรงดันไฟฟ้า 2 ระดับ เช่น 0 โวลต์ กับ +5 โวลต์ โดยกำหนดให้ระดับแรงดัน +5 โวลต์ เป็นสถานะ 1 หรือลอจิก 1 และ 0 โวลต์ เป็นสถานะ 0 หรือลอจิก 0 ตามรูป (a)



(a) รูปแสดงการต่อสวิตช์ควบคุมการไหลของกระแส

รูปที่ 2.7 รูปแสดงการต่อสวิตช์ควบคุมการไหลของกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) รูปแสดงการเกิดรูปคลื่นความเข้มของแสง

รูปที่ 2.8 รูปแสดงการเกิดรูปคลื่นความเข้มของแสง

ตัวอย่างการแทนความสว่างของหลอดไฟฟ้าด้วยสัญญาณดิจิทัลตามรูป (b) เป็น วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น เมื่อกดสวิตช์ต่อวงจร จะทำให้เข็มของแอมมิเตอร์ค่อย ๆ เคลื่อนที่ไปทางขวา หลอดไฟจะสว่างขึ้น แทนด้วยสถานะ 1 เมื่อปิดสวิตช์ หลอดไฟดับ แทนด้วยสถานะ 0 สัญญาณอนาลอกใช้แทนปริมาณที่เป็นสัดส่วนอย่างต่อเนื่อง ส่วนสัญญาณดิจิทัลใช้แทนสัญญาณที่มีเพียง 2 อย่าง หรือ 2 สถานะ เช่น จริง เท็จ, ใซ้ ไม่ใซ้, เปิด ปิด, 1 กับ 0 การนำสถานะทางดิจิทัลไปใช้แทนข้อมูลข่าวสารจะไม่ใซ้แสดงเพียงตัวเดียว เพราะแทนข่าวสารได้จำกัด จึงจัดเป็นกลุ่ม ๆ เพื่อให้แทนข่าวสารได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 ข้อดีและข้อเสียของระบบอนาล็อกและดิจิทัล

การพัฒนาเทคโนโลยีของไอซี ทำให้มีการพัฒนาทางด้านดิจิทัล และนำมาใช้ในเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ มากขึ้น อุปกรณ์ดิจิทัล มีข้อดีหลายประการดังต่อไปนี้

- การแสดงผลทำให้เข้าใจได้ง่าย ตัวอย่างเช่น การแสดงผลของแรงดันไฟฟ้าเป็นตัวเลขจากเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า

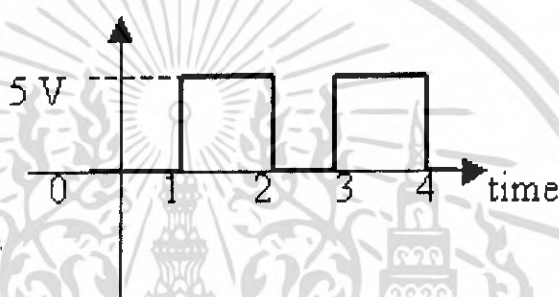
- ความเที่ยงตรง วงจรอนาล็อก ทำให้มีความเที่ยงตรงสูงได้ยาก เพราะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่มีค่าผิดพลาด และมีความไวต่อสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น จึงทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ มีคุณสมบัติเปลี่ยนไป เหมือนกับว่าปัญหาที่เกิดขึ้นในวงจรอนาล็อกเป็นเพราะแรงดันไฟฟ้า ส่วนอุปกรณ์ในวงจรดิจิทัลก็มีปัญหาเช่นเดียวกัน แต่วงจรสามารถควบคุมการทำงานได้ ถึงแม้ว่าสัญญาณจะผิดเพี้ยนไปบ้าง ก็ไม่มีผลต่อการทำงานของวงจรเพราะสภาวะ 1 กับ 0 กำหนดจากระดับแรงดัน

- ผลกระทบต่อการส่งในระยะไกล เมื่อมีการส่งสัญญาณออกไปในระยะไกล ๆ ตามสายส่งหรือเป็นคลื่นวิทยุ จะมีการรบกวนเกิดขึ้นได้ง่าย เรียกว่า นอยส์ (noise) ตัวอย่างเช่น การส่งสัญญาณไปยัง ดาวเทียมจะมีการรบกวนเนื่องจากการแผ่รังสี จากฟ้าแลบ หรือจุดดับบนดวงอาทิตย์ทำให้สัญญาณผิดเพี้ยนได้ง่าย ถ้าเป็นวงจรอนาล็อก ความเชื่อถือได้ ขึ้นกับแรงดันที่ปลายทางว่าเบี่ยงเบนไปจากต้นทางมากน้อยแค่ไหน เป็นปัญหาที่เกี่ยวกับความต่างศักย์ ถ้าส่งเป็นสัญญาณดิจิทัลจะไม่มีปัญหา เพราะสัญญาณอาจผิดไปจากต้นทางได้บ้างแต่ยังคงสภาวะ 1 หรือ 0

- ความเชื่อมั่น สัญญาณดิจิทัลมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่าสัญญาณอนาล็อก ทำให้วงจรที่ทำงานด้วยสัญญาณดิจิทัล มีความเชื่อถือได้มากกว่า เมื่อใช้แทนปริมาณต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น การบวกสัญญาณ ถ้าทำงานในลักษณะอนาล็อก

### 2.3.4 ความแตกต่างระหว่างลักษณะของสัญญาณอนาล็อกและดิจิทัล

สัญญาณดิจิทัลมีลักษณะพิเศษที่แตกต่างจากสัญญาณอนาล็อกเป็นอย่างมาก กล่าวคือ สัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่อง แต่มีลักษณะเป็นขั้น ๆ หรือเป็นท่อน ๆ ซึ่งเรามีสัพท์เรียก ลักษณะดังกล่าวว่า ดิสครีต (Discrete) และสัญญาณจะมีค่าได้เฉพาะค่าที่กำหนดไว้ตายตัวเท่านั้น เช่น ในระบบดิจิทัลที่ใช้กันทั่วไปนั้นใช้สัญญาณระบบเลขฐานสอง (Binary) ซึ่งมีค่าเพียงสองระดับเท่านั้น จากรูป แสดงลักษณะของสัญญาณดิจิทัล ในกรณีนี้สัญญาณสามารถมีค่าที่กำหนดไว้สองระดับคือ 0 กับ 5 โวลต์ ตามรูปนี้สัญญาณมีค่า 5 โวลต์ ในช่วงเวลาระหว่าง  $t = 1$  ถึง 2 กับในช่วงเวลาระหว่าง  $t = 3$  ถึง 4 นอกจากช่วงเวลาทั้งสองดังกล่าวสัญญาณมีค่า 0 โวลต์



รูปแสดงลักษณะของสัญญาณดิจิทัล

รูปที่ 2.9 รูปแสดงลักษณะของสัญญาณดิจิทัล

ถ้าส่งสัญญาณนี้ไปตามสายหรือไปกับคลื่นวิทยุเมื่อไปถึงปลายทางขนาดและรูปร่างของคลื่นอาจผิดเพี้ยนไปบ้างในทางปฏิบัติเรากำหนดค่าขั้นต่ำของสัญญาณระดับสูง (VH min) และค่าขั้นสูงของสัญญาณระดับต่ำ (VL max) ไว้ เพื่อให้สามารถแยกแยะระดับแรงดันไฟฟ้า ทั้งสองจากสัญญาณดิจิทัลที่ผิดเพี้ยนไปได้ โดยวิธีนี้ระบบที่รับสัญญาณดิจิทัลก็ยังสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม้ว่าสัญญาณที่รับเข้ามาจะมีความผิดเพี้ยนค่อนข้างมากซึ่งเป็นจุดเด่นของระบบดิจิทัลที่เหนือกว่าระบบอนาล็อก

**2.3.5 กระบวนการพื้นฐานที่ใช้ในระบบดิจิทัล**

กระบวนการที่ใช้ระบบดิจิทัลนั้น เป็นกระบวนการที่ง่ายกว่าที่ใช้ในระบบอนาลอกมาก เพราะประกอบด้วยกระบวนการพื้นฐานง่าย ๆ เพียงไม่กี่อย่างนำมาใช้ผสมผสานกันให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ได้ กระบวนการพื้นฐานทางดิจิทัลได้แก่

- ปฏิบัติการตรรกะ (Logic Operation)
- การเก็บความจำ (Memory Storage)
- การนับ (Counting)

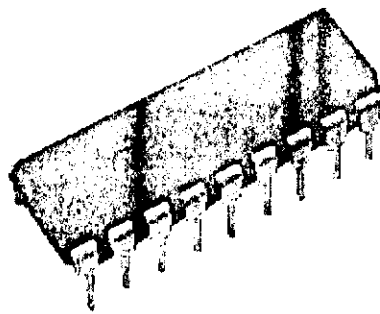
เราสามารถนำกระบวนการพื้นฐานเหล่านี้มาใช้ร่วมกับ ทำให้เกิดกระบวนการที่มีความซับซ้อนสูงขึ้น เช่น

- การบวกเลขฐานสอง (Binary Addition)
- การถอดรหัสและการแจกจ่ายสัญญาณ (Decoding and Demultiplexing)
- การเลือกรับข้อมูลและการรวมสัญญาณ (Data Selection and Multiplexing)
- การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Conversion)
- การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก (Digital to Analog Conversion)

76655

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC



รูปที่ 2.10 รูป ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

PIC คือ microcontroller อีกตระกูลหนึ่ง ย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller ซึ่ง concept ของเจ้า microcontroller ตระกูลนี้ก็คือ พยายามรวมเอาทุกอย่างเอาไว้ในตัวของมัน ไม่ว่าจะเป็น PROGRAM MEMORY, RAM, EEPROM, SERIAL, I2C, PWM, A/D ฯลฯ โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก ในตัวของ PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผล รวมทั้งหน่วยความจำ ซึ่งทำให้มันเหมือนกับ CPU ตัวหนึ่งเลยทีเดียว

### 2.4.1 ความเร็วของ PIC

ภาคของความถี่สัญญาณนาฬิกา ปัจจุบันสามารถทำสัญญาณนาฬิกาได้ที่ 20 MHz ซึ่งทำให้หนึ่งคำสั่งของ PIC ใช้เวลาเพียง 0.25 uSec แต่อย่างไรก็ตาม ได้มีบริษัทอื่นได้ซื้อลิขสิทธิ์ PIC จาก microchip และได้สร้าง chip ที่มีความเร็วได้มากกว่าเดิมขึ้นไปอีก

### 2.4.2 หน่วยความจำของ PIC

ในอดีตหน่วยความจำของ PIC จะค่อนข้างน้อย คืออยู่ระหว่าง 512 words ถึง 4K words แต่ในปัจจุบัน บริษัท microchip ซึ่งเป็นเจ้าของ PIC ได้พัฒนาจนทำให้ memory ของ PIC มีขนาดเป็นหลายสิบกิโลไบต์ และมีที่ท่าว่าจะขยายได้ใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ในเรื่องของกานับขนาดของหน่วยความจำของ PIC จะนับไม่เหมือนปกติ โดยที่หนึ่งคำสั่งของ PIC จะมีขนาด 14 bits ดังนั้นเราจะเรียกว่า 1 word ของ PIC จะมีขนาด 14 bits เช่น PIC16F84A ระบุว่าหน่วยความจำ 1 K (ซึ่งหมายถึง 1 Kword ถ้าคำนวณให้เป็นแบบ 1 byte = 8 bit จะได้ว่า  $1 \times 1,024 \times 14 = 14,336$  bits ดังนั้นก็คือ  $14,336 / (8 \times 1,024) = 1.75K$  bytes นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 สรุป Concept สถาปัตยกรรมของ PIC

PIC จะยึดถือการออกแบบที่ว่ารวมทุกอย่างไว้ใน chip ตัวเดียวโดยไม่ต้องต่ออุปกรณ์ใดๆ เพิ่มเติม ผลที่ตามมาก็คือแผ่นวงจรจะมีขนาดเล็ก และอุปกรณ์ที่ใช้จะไม่มาก บางงานอาจจะใช้แค่ PIC เพียงตัวเดียวโดยไม่ต้องใช้ chip อื่นมาเพิ่มเติมเลย นี่ก็คือคุณสมบัติพิเศษของ PIC ครับ ซึ่งปัจจุบันหลายบริษัทที่ผลิต microcontroller ก็เริ่มจะหันมาเลียนแบบแนวทางนี้ครับ แต่ทุกอย่างย่อมมีข้อเสีย เนื่องจาก concept ที่จะรวมทุกอย่างไว้ใน chip เดียว ทำให้ program memory และ data memory ไม่สามารถขยายโดยใช้กับ memory ภายนอกได้ (ในทางทฤษฎี นะครับ ของจริงนี้ทำได้ แต่ต้องใช้เทคนิคนิดหน่อยครับ ซึ่งไม่นิยม ต้องบอกกันไว้ก่อน) PIC จึงเหมาะสำหรับงานเล็กๆ ไม่ใช่งานใหญ่ๆ ที่ต้องใช้การคำนวณ และ memory เยอะๆ สำหรับผม PIC ก็คือมดครับ แมลงที่สามารถยกของที่มีน้ำหนักมากกว่ามันได้หลายสิบเท่า ครับ

### 2.4.4 PIC ชนิดต่างๆ

MCU ในตระกูล PIC ถ้าแบ่งออกตามชนิดของ PROGRAM MEMORY แบ่งได้เป็น 3 แบบคือ

- OTP เป็น chip ที่มีราคาถูกที่สุด ในสามประเภท สาเหตุก็มาจากว่า chip แบบ OTP จะสามารถทำการโปรแกรมได้แค่ครั้งเดียวเท่านั้น หลัง จาก chip ได้ถูกโปรแกรมไปแล้วจะไม่สามารถโปรแกรมเข้าไปใหม่ได้อีก ดังนั้น chip ประเภทนี้จะนิยมใช้หลังจากได้พัฒนาโปรแกรมจนกระทั่งจุดบกพร่องต่างๆ ในโปรแกรม ไม่มีอีกแล้ว เพราะจะมีต้นทุนต่ำเมื่อเทียบตัว memory ประเภทอื่น จะมีตัวอักษร C แสดงบนตัว chip เช่น 16C84,16C74



รูปที่ 2.11 รูป ไมโครคอนโทรลเลอร์PIC ชนิดOTP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- EPROM เป็น chip ที่มี program memory ที่เมื่อเขียนโปรแกรมเข้าไปแล้วสามารถโปรแกรมใหม่ด้วยการลบโปรแกรมเดิมโดยให้แสง uV (ultra Violet) ส่องผ่านเข้าไปยัง chip ประมาณ 5-10 นาที ดังนั้นที่ด้านบนของ chip จะมีกรอบกระจกเพื่อให้เห็นแสง uV สามารถส่องผ่านเข้าไปในตัว chip ได้ แต่ก็มีจำนวนครั้งในการลบโปรแกรมเช่นกัน เมื่อลบโปรแกรมด้วยแสง uV มากๆ เข้าก็จะเกิดอาการด้าน คือโปรแกรมไม่เข้านั่นเอง จะมีตัวอักษร JW หรือว่าดูเอาว่ามีกรอบกระจกอยู่บน chip หรือไม่



40-LEAD CERDIP  
"JW"

รูปที่ 2.12 รูป ไมโครคอนโทรลเลอร์PIC ชนิดEPROM

- EEPROM / Flash เป็น chip ที่ออกมาไม่กี่ปีนี้เอง ส่วนของ program memory สามารถอ่านหรือเขียนด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า ใช้เวลาในการ ลบข้อมูลไม่กี่วินาที และสามารถลบ และเขียนใหม่ได้หลายพันครั้ง ทำให้เป็นที่นิยมที่สุดใน 3 ประเภท มีตัวอักษร F เป็นตัวบอก เช่น 16F84, 16F877



40-LEAD PDIP  
"P" OR "PL"

รูปที่ 2.13 รูป ไมโครคอนโทรลเลอร์PIC ชนิดEPROM/Flash

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ|การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.5 PIC เบอร์ต่างๆ

ปัจจุบัน MCU ของ PIC มีหลากหลายเบอร์ จนแทบจะเลือกใช้ไม่ถูก แต่ในความเป็นจริงแล้ว การออกเบอร์ใหม่ๆ ออกมาได้มีการกำหนดทิศทางที่แน่นอน ซึ่งเราสามารถ แบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม ได้แก่

- PIC12CXXX, PIC12FXXX (FLASH MCUs)
- PIC16C5X
- PIC16CXXX
- PIC17CXXX
- PIC16FXXX (FLASH MCUs)
- PIC18CXXX, PIC18FXXX (FLASH MCUs)

### 2.4.6 คุณสมบัติของ PIC18F2550

Universal Serial Bus Features:

- สามารถต่อ USB V2.0 ได้
- แบบ Low Speed (1.5 Mb/s) และ แบบ Full Speed (12 Mb/s)
- สนับสนุนการควบคุม การInterrupt, การสื่อสารข้อมูลแบบ Isochronous และ Bulk
- สนับสนุน ถึง 32 Endpoints (16 bidirectional)
- เข้าถึง RAM แบบ Dual ได้ 1-Kbyte สำหรับ USB
- รับส่ง USB แบบ On-Chip ด้วย Voltage Regulator
- การเชื่อมต่อ แบบ Off-Chip สำหรับการรับส่ง USB
- การส่งข้อมูล แบบ Streaming Parallel Port (SPP) สำหรับ USB

โหมดการจัดการพลังงาน (Power-Managed Modes)

- Run: CPU on, อุปกรณ์ภายนอก on
- Idle: CPU off, อุปกรณ์ภายนอก on
- Sleep: CPU off, อุปกรณ์ภายนอก off
- Idle mode กระแสจะลดลงถึง 5.8  $\mu A$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Sleep mode กระแสจะลดลงถึง  $0.1 \mu A$
- Timer1 Oscillator:  $1.1 \mu A$ , 32 kHz, 2V
- Timer ที่ควบคุม:  $2.1 \mu A$
- การเริ่มต้นของ Oscillator แบบ Two-Speed

โหมดสร้างของ Oscillator ที่สามารถยืดหยุ่นได้ (Flexible Oscillator Structure)

- Four Crystal modes, รวมไปถึง PLL ความแม่นยำสูง สำหรับ USB
- โหมด Two External Clock จนถึง 48 MHz
- Internal Oscillator Block:
  - สามารถเลือกได้ 8 ความถี่ ตั้งแต่ 31 kHz ถึง 8 MHz
  - ผู้ใช้สามารถปรับ ให้เท่ากับความถี่ที่เลื่อนไปได้
- Secondary ทูตียกมี โดยการใช้ Timer1 @ 32 kHz
- microcontroller ขอมให้ทางเลือกแบบDual Oscillator และ USB โมดูล เมื่อ run speed ของสัญญาณนาฬิกาต่างๆ
- Fail-Safe Clock Monitor:
  - Allows for safe shutdown if any clock stops

ไฮไลท์ของอุปกรณ์ภายนอก (Peripheral highlights)

- กระแส Sink/Source สูงสุด: 25 mA/25 mA
- มี Interrupts ภายนอก 3 ตัว
- มี โมดูล Timer 4 ตัว (Timer0 to Timer3)
- มีโมดูล ในการ Capture 2 ตัว/ ตัว Compare/ ตัว PWM (CCP)
  - Capture สูงสุด 16-bit มี resolution 5.2 ns (TCY/16)
  - Compare สูงสุด 16-bit มี resolution 83.3 ns (TCY)
  - PWM output: มี resolution 1 ถึง 10-bit
- โมดูลของ Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) ที่เสริมขึ้นมา คือ
  - Multiple output modes
  - Selectable polarity
  - Programmable dead time
  - Auto-shutdown and auto-restart
- โมดูล USART ที่เสริมคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สนับสนุน LIN bus

- โมดูล Master Synchronous Serial Port (MSSP) module สนับสนุน 3 สาย SPI (ทั้ง 4 modes) และ I<sup>2</sup>C โหมด Master และ Slave
- โมดูล Analog-to-Digital Converter มากถึง 13-channel 10-bit
- Dual Analog Comparators with Input Multiplexing

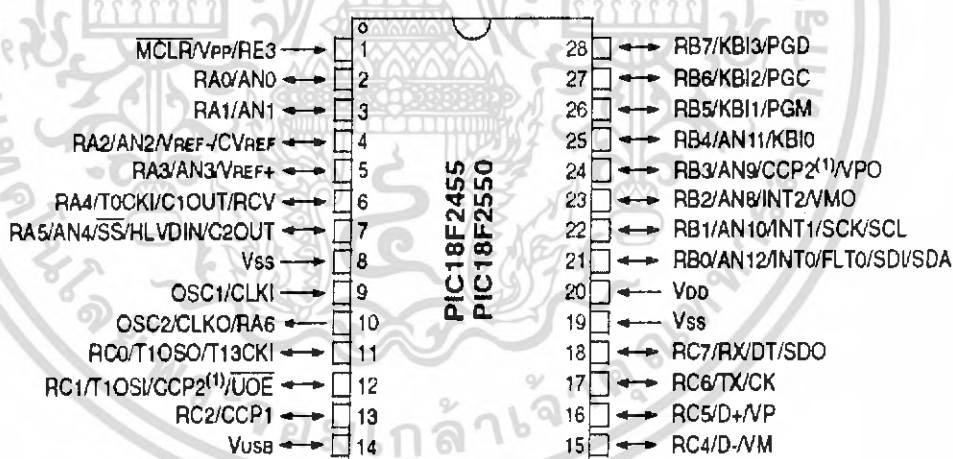
ลักษณะพิเศษของ Microcontroller (Special Microcontroller Features)

- ใช้ C Compiler เขียนโปรแกรม ด้วย option ของคำสั่งที่เพิ่มขึ้น
- ย่านของ Voltage Range ค่อนข้างกว้าง (2.0V to 5.5V)
- สามารถโปรแกรมตัวเองได้ ภายใต้การควบคุมของ software

| Device     | Program Memory |                            | Data Memory  |                | I/O | 10-Bit A/D (ch) | CCP/ECCP (PWM) | SPP | MSSP |                          | EAUSART | Comparators | Timers 8/16-Bit |
|------------|----------------|----------------------------|--------------|----------------|-----|-----------------|----------------|-----|------|--------------------------|---------|-------------|-----------------|
|            | Flash (bytes)  | # Single-Word Instructions | SRAM (bytes) | EEPROM (bytes) |     |                 |                |     | SPI  | Master I <sup>2</sup> C™ |         |             |                 |
| PIC18F2455 | 24K            | 12288                      | 2048         | 256            | 24  | 10              | 2/0            | No  | Y    | Y                        | 1       | 2           | 1/3             |
| PIC18F2550 | 32K            | 16384                      | 2048         | 256            | 24  | 10              | 2/0            | No  | Y    | Y                        | 1       | 2           | 1/3             |
| PIC18F4455 | 24K            | 12288                      | 2048         | 256            | 35  | 13              | 1/1            | Yes | Y    | Y                        | 1       | 2           | 1/3             |
| PIC18F4550 | 32K            | 16384                      | 2048         | 256            | 35  | 13              | 1/1            | Yes | Y    | Y                        | 1       | 2           | 1/3             |

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของ PIC18F2550

### 28-Pin PDIP, SOIC



รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างของ PIC 18F2550 แบบ 28 ขา

## OSCILLATOR CONFIGURATIONS

### ชนิดของ Oscillator (Oscillator Types)

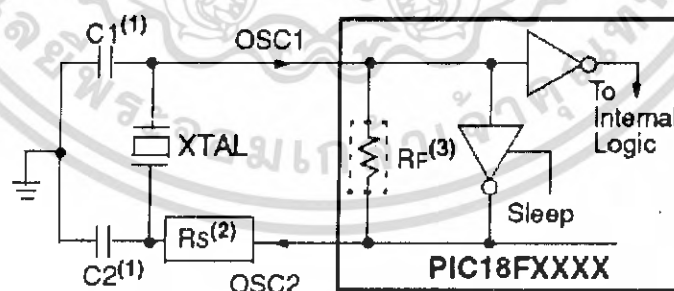
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ PIC18F2455/2550/4455/4550 สามารถทำงานได้ 12 โหมด

1. XT Crystal/Resonator
2. XTPLL Crystal/Resonator with PLL enabled
3. HS High-Speed Crystal/Resonator
4. HSPLL High-Speed Crystal/Resonator with PLL enabled
5. EC External Clock with FOSC/4 output
6. ECIO External Clock with I/O on RA6
7. ECPLL External Clock with PLL enabled and FOSC/4 output on RA6
8. ECPIO External Clock with PLL enabled, I/O on RA6
9. INTHS Internal Oscillator used as microcontroller clock source, HS Oscillator used as USB clock source
10. INTXT Internal Oscillator used as microcontroller clock source, XT Oscillator used as USB clock source
11. INTIO Internal Oscillator used as microcontroller clock source, EC Oscillator used as USB clock source, digital I/O on RA6
12. INTCKO Internal Oscillator used as microcontroller clock source, EC Oscillator used as USB clock source, FOSC/4 output on RA6

#### CRYSTAL OSCILLATOR/CERAMIC RESONATORS

ภายใน HS, HSPLL, XT และ XTPLL ของ Oscillator ทั้ง CRYSTAL หรือ CERAMIC resonator จะถูกเชื่อมต่อกับขา OSC1 และ OSC2 ในรูปที่ 2.2 จะแสดงการเชื่อมต่อ



รูปที่ 2.15 การทำงานของวงจร ที่ใช้ Crystal หรือ ceramic resonator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Osc Type | Crystal Freq | Typical Capacitor Values Tested: |       |
|----------|--------------|----------------------------------|-------|
|          |              | C1                               | C2    |
| XT       | 4 MHz        | 27 pF                            | 27 pF |
| HS       | 4 MHz        | 27 pF                            | 27 pF |
|          | 8 MHz        | 22 pF                            | 22 pF |
|          | 20 MHz       | 15 pF                            | 15 pF |

**Capacitor values are for design guidance only.**

These capacitors were tested with the crystals listed below for basic start-up and operation. These values are not optimized.

Different capacitor values may be required to produce acceptable oscillator operation. The user should test the performance of the oscillator over the expected VDD and temperature range for the application.

See the notes following this table for additional information.

**Crystals Used:**

|        |
|--------|
| 4 MHz  |
| 8 MHz  |
| 20 MHz |

ตารางที่ 2.2 การเลือกตัวเก็บประจุสำหรับ CRYSTAL OSCILLATOR

## 10-BIT ANALOG-TO-DIGITAL

### 10-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER (A/D) MODULE

โมดูลของ Analog-to-Digital (A/D) มี 10 inputs สำหรับในอุปกรณ์ 28 ขา ซึ่งโมดูลนี้ จะทำการแปลงสัญญาณ Analog input ได้สัมพันธ์กับ Digital 10 bit

โมดูลจะมี Registers 5 ตัว ได้แก่

- A/D Result High Register (ADRESH)
- A/D Result Low Register (ADRESL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- A/D Control Register 0 (ADCON0) ดังแสดงในรูปที่ 2.9
- A/D Control Register 1 (ADCON1)
- A/D Control Register 2 (ADCON2)

Register ของ ADCON0 ที่แสดงในรูปที่ 2.9 เป็นการทำงานของ A/D โมดูล และ ADCON1 แสดงในรูปที่ 2.10 แสดงองค์ประกอบและฟังก์ชันการทำงาน ส่วน Register ของ ADCON2 แสดงในรูปที่ 2.11 องค์ประกอบของ Clock source ของ A/D สามารถโปรแกรมเวลาที่ทำให้ได้มาและการโอนตัวเลข

|       |     |       |       |       |       |         |       |
|-------|-----|-------|-------|-------|-------|---------|-------|
| U-0   | U-0 | R/W-0 | R/W-0 | R/W-0 | R/W-0 | R/W-0   | R/W-0 |
| —     | —   | CHS3  | CHS2  | CHS1  | CHS0  | GO/DONE | ADON  |
| bit 7 |     |       |       |       |       |         | bit 0 |

|                   |                  |                                    |                    |
|-------------------|------------------|------------------------------------|--------------------|
| <b>Legend:</b>    |                  |                                    |                    |
| R = Readable bit  | W = Writable bit | U = Unimplemented bit, read as '0' |                    |
| -n = Value at POR | '1' = Bit is set | '0' = Bit is cleared               | x = Bit is unknown |

ตารางที่ 2.3 แสดง REGISTER ที่ควบคุม A/D 0 (ADCON0)

bit 7-6 Unimplemented: Read as '0'

bit 5-2 CHS3:CHS0; Analog Channel Select bits

0000 = Channel 0 (AN0)

0001 = Channel 1 (AN1)

0010 = Channel 2 (AN2)

0011 = Channel 3 (AN3)

0100 = Channel 4 (AN4)

0101 = Channel 5 (AN5)<sup>(1,2)</sup>

0110 = Channel 6 (AN6)<sup>(1,2)</sup>

0111 = Channel 7 (AN7)<sup>(1,2)</sup>

1000 = Channel 8 (AN8)

1001 = Channel 9 (AN9)

1010 = Channel 10 (AN10)

1011 = Channel 11 (AN11)

1100 = Channel 12 (AN12)

1101 = Unimplemented<sup>(2)</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1110 = Unimplemented <sup>(2)</sup>

1111 = Unimplemented <sup>(2)</sup>

bit 1 GO/DONE: A/D Conversion Status bit

When ADON = 1:

1 = A/D conversion in progress

0 = A/D Idle

bit 0 ADON: A/D On bit

1 = A/D converter module is enabled

0 = A/D converter module is disabled

Note 1: These channels are not implemented on 28-pin devices.

2: Performing a conversion on unimplemented channels will return a floating

Input measurement.

|       |     |       |       |                      |                    |                    |                    |
|-------|-----|-------|-------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| U-0   | U-0 | R/W-0 | R/W-0 | R/W-0 <sup>(1)</sup> | R/W <sup>(1)</sup> | R/W <sup>(1)</sup> | R/W <sup>(1)</sup> |
| —     | —   | VCFG0 | VCFG0 | PCFG3                | PCFG2              | PCFG1              | PCFG0              |
| bit 7 |     |       |       |                      |                    |                    | bit 0              |

Legend:

R = Readable bit

W = Writable bit

U = Unimplemented bit, read as '0'

-n = Value at POR

'1' = Bit is set

'0' = Bit is cleared

x = Bit is unknown

ตารางที่ 2.4 แสดง REGISTER ที่ควบคุม A/D 1 (ADCON1)

bit 7-6 Unimplemented: Read as '0'

bit 5 VCFG0: Voltage Reference Configuration bit (VREF- source)

1 = VREF- (AN2) 0 = VSS

bit 4 VCFG0: Voltage Reference Configuration bit (VREF+ source)

1 = VREF+ (AN3)

0 = VDD

bit 3-0 PCFG3:PCFG0: A/D Port Configuration Control bits:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| PCFG3:<br>PCFG0     | AN12 | AN11 | AN10 | AN9 | AN8 | AN7 <sup>(2)</sup> | AN6 <sup>(2)</sup> | AN5 <sup>(2)</sup> | AN4 | AN3 | AN2 | AN1 | AN0 |
|---------------------|------|------|------|-----|-----|--------------------|--------------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0000 <sup>(1)</sup> | A    | A    | A    | A   | A   | A                  | A                  | A                  | A   | A   | A   | A   | A   |
| 0001                | A    | A    | A    | A   | A   | A                  | A                  | A                  | A   | A   | A   | A   | A   |
| 0010                | A    | A    | A    | A   | A   | A                  | A                  | A                  | A   | A   | A   | A   | A   |
| 0011                | D    | A    | A    | A   | A   | A                  | A                  | A                  | A   | A   | A   | A   | A   |
| 0100                | D    | D    | A    | A   | A   | A                  | A                  | A                  | A   | A   | A   | A   | A   |
| 0101                | D    | D    | D    | A   | A   | A                  | A                  | A                  | A   | A   | A   | A   | A   |
| 0110                | D    | D    | D    | D   | A   | A                  | A                  | A                  | A   | A   | A   | A   | A   |
| 0111 <sup>(1)</sup> | D    | D    | D    | D   | D   | A                  | A                  | A                  | A   | A   | A   | A   | A   |
| 1000                | D    | D    | D    | D   | D   | D                  | A                  | A                  | A   | A   | A   | A   | A   |
| 1001                | D    | D    | D    | D   | D   | D                  | D                  | A                  | A   | A   | A   | A   | A   |
| 1010                | D    | D    | D    | D   | D   | D                  | D                  | D                  | A   | A   | A   | A   | A   |
| 1011                | D    | D    | D    | D   | D   | D                  | D                  | D                  | D   | A   | A   | A   | A   |
| 1100                | D    | D    | D    | D   | D   | D                  | D                  | D                  | D   | D   | A   | A   | A   |
| 1101                | D    | D    | D    | D   | D   | D                  | D                  | D                  | D   | D   | D   | A   | A   |
| 1110                | D    | D    | D    | D   | D   | D                  | D                  | D                  | D   | D   | D   | D   | A   |
| 1111                | D    | D    | D    | D   | D   | D                  | D                  | D                  | D   | D   | D   | D   | D   |

A = Analog input

D = Digital I/O

Note 1: The POR value of the PCFG bits depends on the value of the PBADEN

Configuration bit. When PBADEN = 1, PCFG<3:0> = 0000; when PBADEN = 0, PCFG<3:0> = 0111.

2: AN5 through AN7 are available only on 40/44-pin devices.

| R/W-0 | U-0 | R/W-0 | R/W-0 | R/W-0 | R/W-0 | R/W-0 | R/W-0 |
|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ADFM  | —   | ACQT2 | ACQT1 | ACQT0 | ADCS2 | ADCS1 | ADCS0 |
| bit 7 |     |       |       |       |       |       | bit 0 |

**Legend:**

R = Readable bit

W = Writable bit

U = Unimplemented bit, read as '0'

-n = Value at POR

'1' = Bit is set

'0' = Bit is cleared

x = Bit is unknown

ตารางที่ 2.5 แสดง REGISTER ที่ควบคุม A/D 2 (ADCON2)

ADFM: A/D Result Format Select bit

1 = Right justified

0 = Left justified

bit 6 Unimplemented: Read as '0'

bit 5-3 ACQT2:ACQT0: A/D Acquisition Time Select bits

111 = 20 TAD

110 = 16 TAD

101 = 12 TAD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100 = 8 TAD

011 = 6 TAD

010 = 4 TAD

001 = 2 TAD

000 = 0 TAD(1)

bit 2-0 ADCS2:ADCS0: A/D Conversion Clock Select bits

111 = FRC (clock derived from A/D RC oscillator)(1)

110 = FOSC/64

101 = FOSC/16

100 = FOSC/4

011 = FRC (clock derived from A/D RC oscillator)(1)

010 = FOSC/32

001 = FOSC/8

000 = FOSC/2

Note 1: If the A/D FRC clock source is selected, a delay of one TCY (instruction cycle) is added before the A/D

clock starts. This allows the SLEEP instruction to be executed before starting a conversion.

โวลต์อ้างอิงของสัญญาณ Analog ที่เป็น software สามารถเลือกเป็น  $V_{DD}$  และ  $V_{SS}$  หรือ ระดับแรงดันที่ขา RA3/AN3/ $V_{REF+}$  และ RA2/AN2/ $V_{REF-}/CV_{REF}$

A/D Convert มีลักษณะพิเศษที่แตกต่างจากสิ่งอื่น คือ สามารถที่จะทำงานขณะที่อุปกรณ์อยู่ใน sleep โหมด โดยการต่อสัญญาณนาฬิกาของ A/D Conversion จะต้องได้มาจาก RC Oscillator ภายใน A/D

Output ของตัวอย่าง และ โชล คือ Input ของ converter ซึ่งจะให้ผลลัพธ์โดยผ่าน Successive approximation

ค่าในรีจิสเตอร์ ADRESH: ADRESL จะไม่ถูกเปลี่ยนแปลงสำหรับ Power-on Reset และ รีจิสเตอร์ ADRESH: ADRESL จะบรรจุข้อมูลที่ไม่ทราบค่า หลังจาก Power-on Reset โมดูลของ A/D ออกแบบไว้ตามความต้องการจะเลือก Channel ก่อนที่จะเริ่มการเปลี่ยนแปลงค่า โดย Channel ของ Analog อินพุตจะต้องเหมือนกับ Channel ที่เลือก โดย bit ของ TRIS เลือกเป็น input และ กำหนด acquisition time หลังจากเวลาของ acquisition time ผ่านไป acquisition time สามารถ โปรแกรมไปที่บิต GO/DONE และเริ่มเปลี่ยนแปลงตามจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 I/O PORTS

I/O PORTS ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์และลักษณะการ Enabled ซึ่งมันมีถึง port 5 แต่ละ port มี Register ในการทำงานของตัวเอง 3 ตัว ได้แก่

- TRIS register (data direction register)
- PORT register (reads the levels on the pins of the device)
- LAT register (output latch)

โดย Data Latch register (LATA) จะใช้สำหรับการคำนวณในการ read modify-Write โดยค่าที่ได้ถูกจับไปยัง ขา I/O

#### 2.3.3.1 PORTA, TRISA and LATA Registers

PORTA มีขนาด 8 bit เป็น Port แบบ 2 ทิศทาง และ Register ข้อมูลโดยตรง คือ TRISA การตั้งค่า Bit TRISA (=1) จะทำให้มีความสัมพันธ์กับขา input ของ PORTA การเคลียร์ TRISA (=0) จะทำให้มีความสัมพันธ์กับขา Output ของ PORTA การอ่าน Register ของ PORTA จะอ่านสถานะของขา การเขียนมันจะเขียนที่ Port latch

LATA คือ การสร้างความสัมพันธ์ไว้ในหน่วยความจำ Read-modify-write จะมีการทำงานตามการอ่านค่าของ LATA Register และ เขียนค่า Output ไปที่ latch สำหรับ PORTA

ขา RA4 จะถูกมัลติพลีด้วยโมดูลของ Timer0 อินพุทของ clock จะกลายเป็นขา RA4/T0CKI ขา RA6 จะถูก multiplex ด้วยขา main oscillator มันจึงอาจถูกเลือกเป็นขา oscillator หรือ ขา I/O โดยการเลือกของ main oscillator ในโครงสร้างของ Register 1H

หลายๆ ขาของ PORTA จะถูก multiplex ด้วย analog inputs,  $V_{REF+}$  และ  $V_{REF-}$  inputs เป็น Output ของแรงดันอ้างอิงใน comparator การทำงานของขา RA5 และ RA3:RA0 เหมือน input ของ A/D converter จะเลือก โดยการ clearing/setting บิตที่ใช้ควบคุมใน ADCON1 register (A/D Control Register 1) ขาอื่นๆ ของ PORTA ทุกขา มีระดับอินพุท TTL และ full output ที่จับ CMOS

| Pin                         | Function | TRIS Setting | I/O | I/O Type | Description   |
|-----------------------------|----------|--------------|-----|----------|---|
| RA0/AN0                     | RA0      | 0            | OUT | DIG      | LATA<0> data output; not affected by analog input.  |
|                             |          | 1            | IN  | TTL      | PORTA<0> data input; disabled when analog input enabled.  |
|                             | AN0      | 1            | IN  | ANA      | A/D input channel 0 and Comparator C1- input. Default configuration on POR; does not affect digital output. |
| RA1/AN1                     | RA1      | 0            | OUT | DIG      | LATA<1> data output; not affected by analog input.  |
|                             |          | 1            | IN  | TTL      | PORTA<1> data input; reads '0' on POR.  |
|                             | AN1      | 1            | IN  | ANA      | A/D input channel 1 and Comparator C2- input. Default configuration on POR; does not affect digital output. |
| RA2/AN2/<br>VREF-/CVREF     | RA2      | 0            | OUT | DIG      | LATA<2> data output; not affected by analog input. Disabled when CVREF output enabled.                      |
|                             |          | 1            | IN  | TTL      | PORTA<2> data input. Disabled when analog functions enabled; disabled when CVREF output enabled.            |
|                             | AN2      | 1            | IN  | ANA      | A/D input channel 2 and Comparator C2+ input. Default configuration on POR; not affected by analog output.  |
|                             | VREF-    | 1            | IN  | ANA      | A/D and comparator voltage reference low input.   |
|                             | CVREF    | x            | OUT | ANA      | Comparator voltage reference output. Enabling this feature disables digital I/O.                            |
| RA3/AN3/<br>VREF+           | RA3      | 0            | OUT | DIG      | LATA<3> data output; not affected by analog input.  |
|                             |          | 1            | IN  | TTL      | PORTA<3> data input; disabled when analog input enabled.  |
|                             | AN3      | 1            | IN  | ANA      | A/D input channel 3 and Comparator C1+ input. Default configuration on POR.                                 |
|                             | VREF+    | 1            | IN  | ANA      | A/D and comparator voltage reference high input.  |
| RA4/T0CKI/<br>C1OUT/RCV     | RA4      | 0            | OUT | DIG      | LATA<4> data output; not affected by analog input.  |
|                             |          | 1            | IN  | ST       | PORTA<4> data input; disabled when analog input enabled.  |
|                             | T0CKI    | 1            | IN  | ST       | Timer0 clock input.   |
|                             | C1OUT    | 0            | OUT | DIG      | Comparator 1 output; takes priority over port data.   |
|                             | RCV      | x            | IN  | TTL      | External USB transceiver RCV input.   |
| RA5/AN4/SS/<br>HLVDIN/C2OUT | RA5      | 0            | OUT | DIG      | LATA<5> data output; not affected by analog input.  |
|                             |          | 1            | IN  | TTL      | PORTA<5> data input; disabled when analog input enabled.  |
|                             | AN4      | 1            | IN  | ANA      | A/D input channel 4. Default configuration on POR.  |
|                             | SS       | 1            | IN  | TTL      | Slave select input for SSP (MSBP module).   |
|                             | HLVDIN   | 1            | IN  | ANA      | High/Low-Voltage Detect external trip point input.  |
|                             | C2OUT    | 0            | OUT | DIG      | Comparator 2 output; takes priority over port data.   |
| OSC2/CLKO/<br>RA6           | OSC2     | x            | OUT | ANA      | Main oscillator feedback output connection (all XT and HS modes).   |
|                             | CLKO     | x            | OUT | DIG      | System cycle clock output (FOSC/4); available in EC, ECPLL and INTCKO modes.                                |
|                             | RA6      | 0            | OUT | DIG      | LATA<6> data output. Available only in ECIO, ECPIO and INTIO modes; otherwise, reads as '0'.                |
|                             |          | 1            | IN  | TTL      | PORTA<6> data input. Available only in ECIO, ECPIO and INTIO modes; otherwise, reads as '0'.                |

ตารางที่ 2.6 แสดงรายละเอียดของ PORTA I/O

Legend: OUT = Output, IN = Input, ANA = Analog Signal, DIG = Digital Output, ST = Schmitt Buffer Input, TTL = TTL Buffer Input, x = Don't care (TRIS bit does not affect port direction or is overridden for this option)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Name   | Bit 7 | Bit 6                 | Bit 5  | Bit 4  | Bit 3  | Bit 2  | Bit 1  | Bit 0  | Reset Values on page |
|--------|-------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------------|
| PORTA  | —     | RA6 <sup>(1)</sup>    | RA5    | RA4    | RA3    | RA2    | RA1    | RA0    | 54                   |
| LATA   | —     | LATA6 <sup>(1)</sup>  | LATA5  | LATA4  | LATA3  | LATA2  | LATA1  | LATA0  | 54                   |
| TRISA  | —     | TRISA6 <sup>(1)</sup> | TRISA5 | TRISA4 | TRISA3 | TRISA2 | TRISA1 | TRISA0 | 54                   |
| ADCON1 | —     | —                     | VCFG1  | VCFG0  | PCFG3  | PCFG2  | PCFG1  | PCFG0  | 52                   |
| CMCON  | C2OUT | C1OUT                 | C2INV  | C1INV  | CIS    | CM2    | CM1    | CM0    | 53                   |
| CVRCON | CVREN | CVROE                 | CVRH   | CVRSS  | CVR3   | CVR2   | CVR1   | CVR0   | 53                   |
| UCON   | —     | PPBRST                | SE0    | PKTDIS | USBEN  | RESUME | SUSPND | —      | 55                   |

### ตารางที่ 2.7 ตารางสตรูปัตยกรรมที่สัมพันธ์กับพอร์ A

คำอธิบายรูปภาพ: — = ไม่มีอุปกรณ์ซึ่งจะอ่านได้ค่า '0' และในเซลล์ที่มีสีทึบจะไม่ใช้ในพอร์ A

Note 1: RA6 and its associated latch and data direction bits are enabled as I/O pins based on oscillator configuration; otherwise, they are read as '0'.

#### PORTB, TRISB และ LATB Register

PORTB มี 8-bit เป็น Port 2 ทิศทาง TRISB คือ Register ที่ข้อมูลโดยตรง การตั้งค่า TRISB = 1 จะทำให้ขาของ PORTB เป็น Input และการเคลียร์ bit ของ TRISB bit (= 0) จะทำให้ PORTB เหมือนเป็น Output

Data Latch register (LATB) คือ การส่งข้อมูลไปที่ memory การทำงานของ Read-modify-write ของ LATB จะอ่านและเขียนค่าของ Output ที่ถูกเลขสำหรับ PORTB แต่ละขาของ PORTB มี pull-up ภายในอ่อนๆ bit ที่ควบคุมแบบเดี่ยวสามารถเปิด can pull-up ทั้งหมด นี่คือการทำงานโดยการเคลียร์บิต RBPU (INTCON2<7>) weak pull-up is จะถูกปิดโดยอัตโนมัติเมื่อขาของ Port ถูกกำหนดให้เป็นเหมือน Output โดย pull-up จะไม่ทำงานเมื่อ Power-on Reset

4 ขาของ PORTB (RB7:RB4) มีลักษณะเฉพาะเป็น interrupt on-change มีเพียงขาที่มีโครงสร้างเป็น Input ก็สามารถทำให้เกิด interrupt ได้ แต่ขาใดๆ ใน RB7:RB4 เป็น Output ก็จะถูกแยกออกจาก interrupt on-change เป็นตัวเปรียบเทียบแทน โดยขาที่ถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลที่อ่านคือ ORed เข้าด้วยกัน เมื่อทำให้เกิด RB Port Change Interrupt ด้วย with Flag bit, RBIF (INTCON<0>)

| Pin                                | Function             | TRIS Setting | IO                   | IO Type   | Description   |
|------------------------------------|----------------------|--------------|----------------------|---|---|
| RB0/AN12/<br>INT0/FLT0/<br>SDI/SDA | RB0                  | 0            | OUT                  | DIG   | LATB<0> data output; not affected by analog input.  |
|                                    |                      | 1            | IN                   | TTL   | PORTB<0> data input; weak pull-up when $\overline{RBPU}$ bit is cleared. Disabled when analog input enabled. <sup>(1)</sup> |
|                                    | AN12                 | 1            | IN                   | ANA   | A/D input channel 12. <sup>(1)</sup>  |
|                                    | INT0                 | 1            | IN                   | ST  | External interrupt 0 input.   |
|                                    | FLT0                 | 1            | IN                   | ST  | Enhanced PWM Fault input (ECCP1 module); enabled in software.   |
|                                    | SDI                  | 1            | IN                   | ST  | SPI data input (MSSP module).   |
|                                    | SDA                  | 1            | OUT                  | DIG   | I <sup>2</sup> C™ data output (MSSP module); takes priority over port data.   |
|                                    |                      | 1            | IN                   | I <sup>2</sup> C/SMB  | I <sup>2</sup> C data input (MSSP module); input type depends on module setting.  |
| RB1/AN10/<br>INT1/SCK/<br>SCL      | RB1                  | 0            | OUT                  | DIG   | LATB<1> data output; not affected by analog input.  |
|                                    |                      | 1            | IN                   | TTL   | PORTB<1> data input; weak pull-up when $\overline{RBPU}$ bit is cleared. Disabled when analog input enabled. <sup>(1)</sup> |
|                                    | AN10                 | 1            | IN                   | ANA   | A/D input channel 10. <sup>(1)</sup>  |
|                                    | INT1                 | 1            | IN                   | ST  | External interrupt 1 input.   |
|                                    | SCK                  | 0            | OUT                  | DIG   | SPI clock output (MSSP module); takes priority over port data.  |
|                                    |                      | 1            | IN                   | ST  | SPI clock input (MSSP module).  |
|                                    | SCL                  | 0            | OUT                  | DIG   | I <sup>2</sup> C clock output (MSSP module); takes priority over port data.   |
| 1                                  |                      | IN           | I <sup>2</sup> C/SMB | I <sup>2</sup> C clock input (MSSP module); input type depends on module setting. |   |
| RB2/AN8/<br>INT2/VMO               | RB2                  | 0            | OUT                  | DIG   | LATB<2> data output; not affected by analog input.  |
|                                    |                      | 1            | IN                   | TTL   | PORTB<2> data input; weak pull-up when $\overline{RBPU}$ bit is cleared. Disabled when analog input enabled. <sup>(1)</sup> |
|                                    | AN8                  | 1            | IN                   | ANA   | A/D input channel 8. <sup>(1)</sup>   |
|                                    | INT2                 | 1            | IN                   | ST  | External interrupt 2 input.   |
|                                    | VMO                  | 0            | OUT                  | DIG   | External USB transceiver VMO data output.   |
| RB3/AN9/<br>CCP2/VPO               | RB3                  | 0            | OUT                  | DIG   | LATB<3> data output; not affected by analog input.  |
|                                    |                      | 1            | IN                   | TTL   | PORTB<3> data input; weak pull-up when $\overline{RBPU}$ bit is cleared. Disabled when analog input enabled. <sup>(1)</sup> |
|                                    | AN9                  | 1            | IN                   | ANA   | A/D input channel 9. <sup>(1)</sup>   |
|                                    | CCP2 <sup>(2)</sup>  | 0            | OUT                  | DIG   | CCP2 Compare and PWM output.  |
|                                    |                      | 1            | IN                   | ST  | CCP2 Capture input.   |
|                                    | VPO                  | 0            | OUT                  | DIG   | External USB transceiver VPO data output.   |
| RB4/AN11/<br>KBI0/CSSPP            | RB4                  | 0            | OUT                  | DIG   | LATB<4> data output; not affected by analog input.  |
|                                    |                      | 1            | IN                   | TTL   | PORTB<4> data input; weak pull-up when $\overline{RBPU}$ bit is cleared. Disabled when analog input enabled. <sup>(1)</sup> |
|                                    | AN11                 | 1            | IN                   | ANA   | A/D input channel 11. <sup>(1)</sup>  |
|                                    | KBI0                 | 1            | IN                   | TTL   | Interrupt-on-pin change.  |
|                                    | CSSPP <sup>(4)</sup> | 0            | OUT                  | DIG   | SPP chip select control output.   |
| RB5/KBI1/                          | RB5                  | 0            | OUT                  | DIG   | LATB<5> data output.  |
| RB6/KBI2/<br>PGC                   | RB6                  | 0            | OUT                  | DIG   | LATB<6> data output.  |
|                                    |                      | 1            | IN                   | TTL   | PORTB<6> data input; weak pull-up when $\overline{RBPU}$ bit is cleared.  |
|                                    | KBI2                 | 1            | IN                   | TTL   | Interrupt-on-pin change.  |
| PGC                                | x                    | IN           | ST                   | Serial execution (ICSP™) clock input for ICSP and ICD operation. <sup>(2)</sup>   |   |
| RB7/KBI3/<br>PGD                   | RB7                  | 0            | OUT                  | DIG   | LATB<7> data output.  |
|                                    |                      | 1            | IN                   | TTL   | PORTB<7> data input; weak pull-up when $\overline{RBPU}$ bit is cleared.  |
|                                    | KBI3                 | 1            | IN                   | TTL   | Interrupt-on-pin change.  |
|                                    | PGD                  | x            | OUT                  | DIG   | Serial execution data output for ICSP and ICD operation. <sup>(2)</sup>   |
| x                                  |                      | IN           | ST                   | Serial execution data input for ICSP and ICD operation. <sup>(2)</sup>            |   |

ตารางที่ 2.7 ตารางสรุปรีจิสเตอร์ที่สัมพันธ์กับพอร์ A

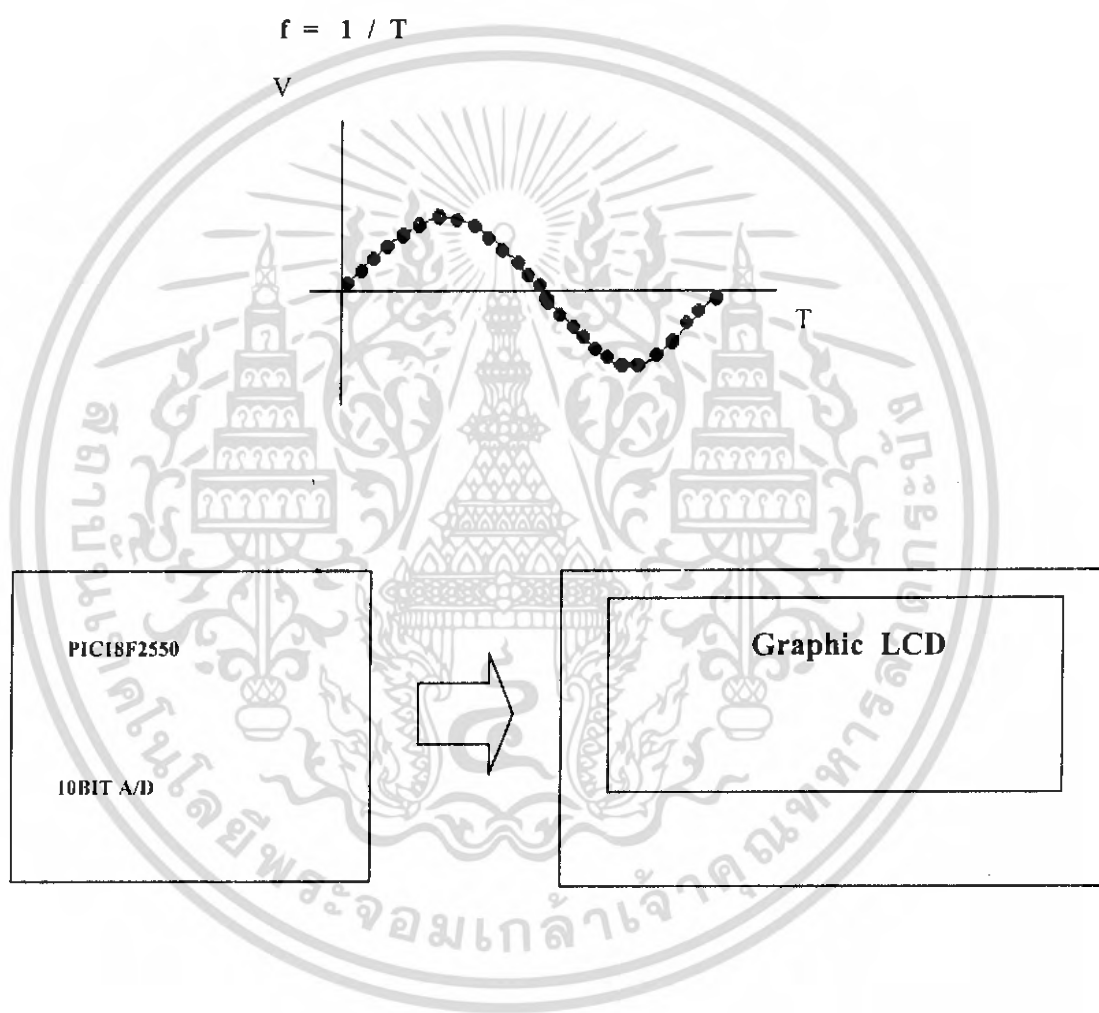
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 หลักการทำงานของแอสซีสโตสโคปความถี่ต่ำ

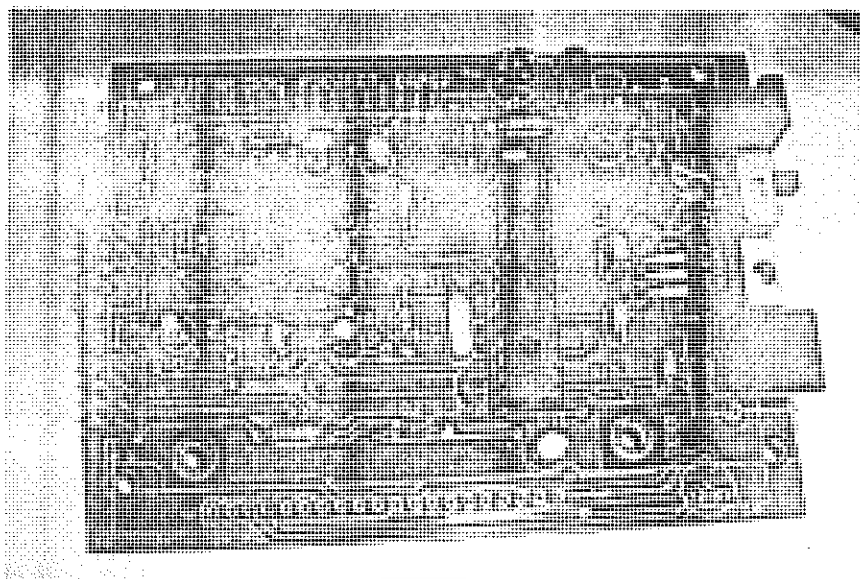
การทำงานของแอสซีสโตสโคปความถี่ต่ำ จะรับค่าของแรงดันเข้ามาทางพอร์ต RA0 ของชิพ PIC18F2550 แล้วใช้ A/D แปลงจากสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแล้วใช้โปรแกรมคำนวณผล และแสดงผลออกมาทาง Graphic LCD ซึ่งแต่ละจุดที่แสดงออกมาเป็นรูปคลื่นจะแทนค่าของแรงดันที่รับเข้ามา แล้วนำมาคำนวณโดยใช้สูตร



รูปที่ 3.1 แสดงการทำงานของแอสซีสโตสโคปความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 3.3 ลักษณะของ PIC18F2550 Project Boar ที่ต่อตามวงจรในรูป 3.2

### 3.3 อุปกรณ์ที่ใช้รับสัญญาณ

อุปกรณ์ที่ใช้รับสัญญาณนี้เราจะนำตัวต้านทานขนาด 10 โอห์มมาต่อกันดังรูปที่ 3.3 โดยจุดที่ 1 จะเป็นจุดที่ใช้รับสัญญาณ จุดที่ 2 เป็นจุดที่ต่ออยู่กับขา 10 ของcon10ap จุดที่ 3เป็นจุดที่ต่ออยู่กับขา 2 ของcon10ap ซึ่งต่ออยู่กับขาRA0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์pic18F2550



รูปที่ 3.3 แสดงการต่อตัวต้านทาน

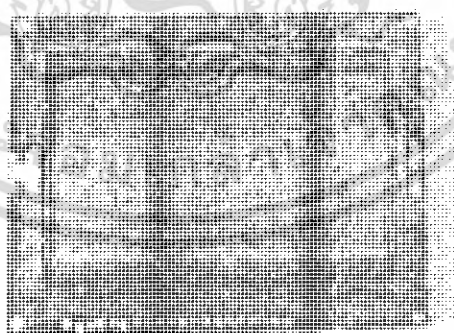
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 ส่วนแสดงผลกราฟฟิคแอลซีดี

จอแสดงผลที่เราใช้แสดงรูปคลื่น และค่าต่าง ๆ เราใช้กราฟฟิคแอลซีดีขนาด 128 x 64 มีพอร์ตการเชื่อมต่อขนาด 8 บิต สามารถมองเห็นการแสดงผลได้ในเวลากลางคืน มีราคาที่ไม่แพงมากสามารถซื้อหาได้ง่ายและมีพื้นที่การแสดงผลดีพอควรที่สามารถมองเห็นรูปคลื่นและค่าต่าง ๆ ที่วัดออกมาได้ ตารางด้านล่างแสดงการทำงานของขาต่าง ๆ บนกราฟฟิคแอลซีดี

| ขาที่  | ชื่อขา  | หน้าที่การทำงาน   |
|--------|---------|---|
| 1      | VSS     | ต่อกับกราวด์ของวงจร   |
| 2      | VDD     | ต่อกับไฟเลี้ยง +5v  |
| 3      | V0      | เป็นขาสำหรับป้อนแรงดันเพื่อปรับความสว่างของจอแสดงผลกราฟฟิคแอลซีดี |
| 4      | D/I     | ใช้รับส่งข้อมูลเข้าออก  |
| 5      | R/W     | เป็นขาที่เลือกการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ ไมโคร                     |
| 6      | E       | Enable signal   |
| 7 - 14 | DB0-DB7 | Data bus ขนาด 8 bit   |
| 15,16  | CS1,CS2 | Chip selection  |
| 17     | RESETB  | เป็นขารีเซ็ตสัญญาณ  |
| 18     | VEE     | ไฟเลี้ยง +5 v   |
| 19     | A       | Back-light anode  |
| 20     | K       | Back-light cathode  |

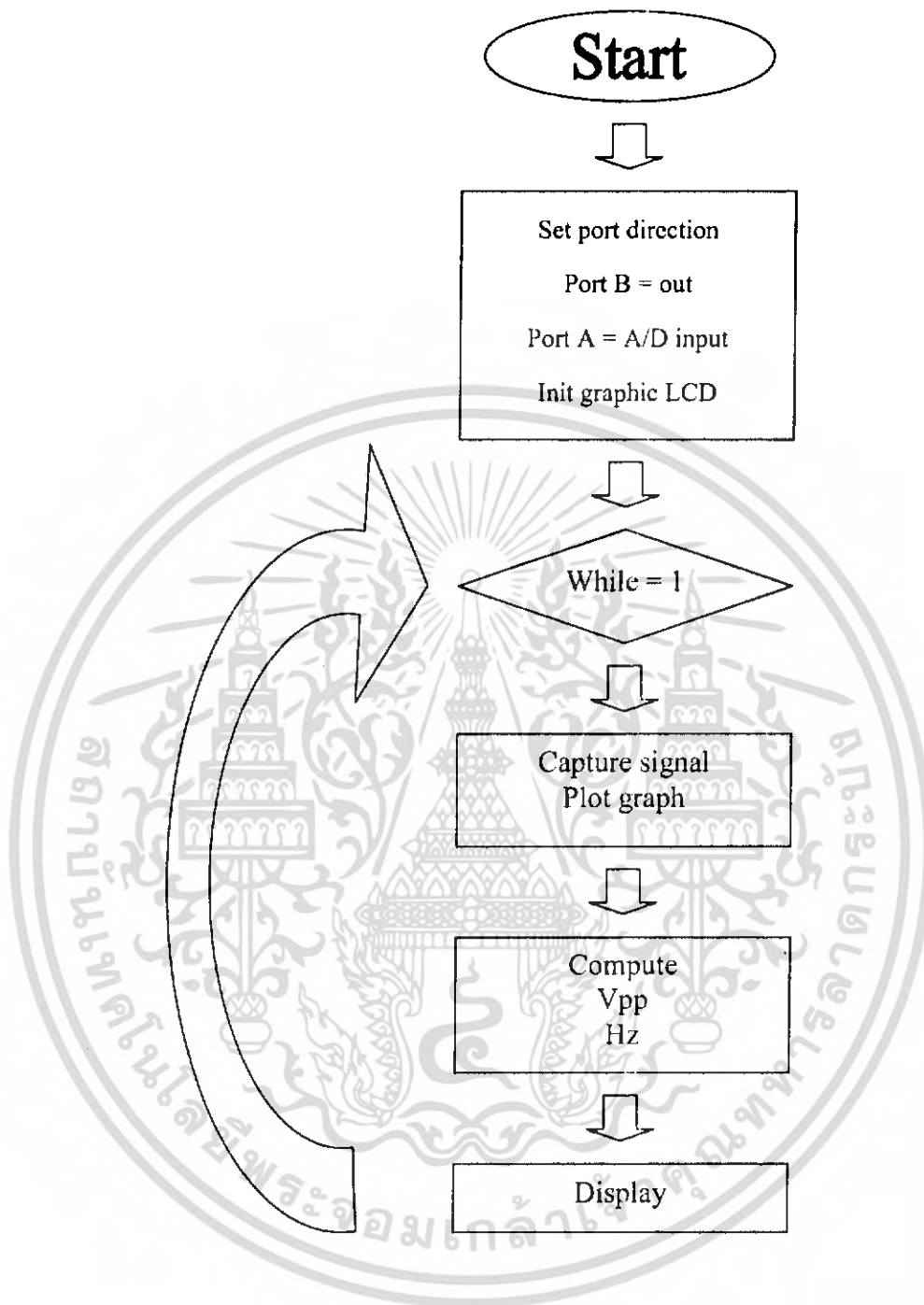
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงหน้าที่การทำงานขากราฟฟิคแอลซีดี



รูปที่ 3.5 รูปจอแสดงผลกราฟฟิคแอลซีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 ไฟร์ซาร์ทแสดงการทำงานของโปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 4.1 การทดลองหาช่วงของVolที่เครื่องวัดได้

หลังจากใส่โปรแกรมแล้ว เราจึงนำมาวัดที่ความถี่ในช่วงต่างๆเพื่อหาช่วงความถี่ที่วงจรสามารถจะทำงานได้ โดยการวัดความถี่ที่ตัวแอลซีดีสโคปวัดจากการจ่ายความถี่ด้วยฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

| ความถี่ที่จ่าย (Hz) | วัดด้วยLCDscope (Hz) |
|---------------------|----------------------|
| 10                  | 25                   |
| 15                  | 25                   |
| 20                  | 25                   |
| 25                  | 25                   |
| 30                  | 29                   |
| 40                  | 39                   |
| 50                  | 49                   |
| 60                  | 59                   |
| 70                  | 69                   |
| 80                  | 78                   |
| 90                  | 89                   |
| 100                 | 100                  |
| 150                 | 147                  |
| 200                 | 192                  |
| 250                 | 250                  |
| 300                 | 277                  |
| 400                 | 357                  |
| 500                 | 500                  |
| 600                 | 500                  |

ตารางที่ 4.1 แสดงช่วงความถี่ที่วัดได้จากแอลซีดีสโคปกับความถี่ที่ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 การวัดเปรียบเทียบกับเครื่องออสซิลโลสโคป

หลังจากที่เรารู้ช่วงความถี่ที่แอลซีดีสโคปสามารถวัดค่าได้แล้วเราจึงเอาชวงความถี่นั้นมาเทียบกับค่าที่เครื่องออสซิลโลสโคปวัดได้เพื่อทำมาเปรียบเทียบกัน

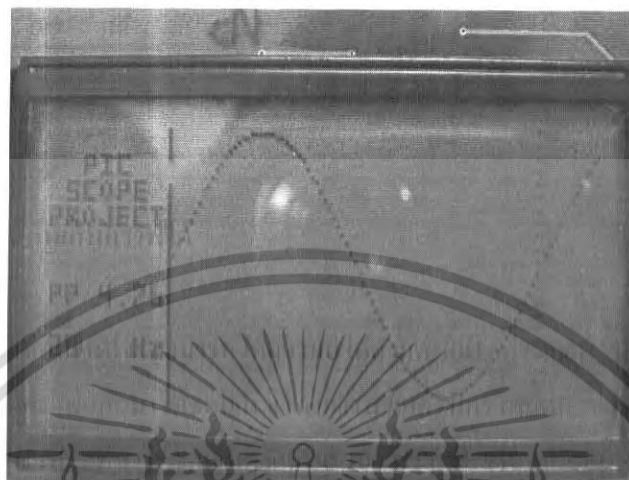
| ความถี่ที่จ่าย<br>(Hz) | วัดด้วยOC<br>(Hz) | วัดด้วยLCDscope<br>(Hz) | ค่าความคลาดเคลื่อน<br>(%) |
|------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------------|
| 30                     | 29.2              | 29                      | 0.68493                   |
| 40                     | 39.09             | 39                      | 0.23023                   |
| 50                     | 48.78             | 49                      | 0.45100                   |
| 60                     | 59.22             | 59                      | 0.37150                   |
| 70                     | 69.08             | 69                      | 0.11581                   |
| 80                     | 79.62             | 78                      | 2.03467                   |
| 90                     | 89.75             | 89                      | 0.83566                   |
| 100                    | 101.2             | 100                     | 1.18577                   |
| 150                    | 149.5             | 147                     | 1.67224                   |
| 200                    | 197.5             | 192                     | 2.78481                   |
| 250                    | 244.9             | 250                     | 2.08248                   |
| 300                    | 294.9             | 277                     | 6.06985                   |
| 400                    | 390               | 357                     | 8.46154                   |
|                        | รวม               |                         | 1.65866                   |

ตารางที่ 4.2 แสดงช่วงความถี่ที่วัดได้จากแอลซีดีสโคปกับความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 หาช่วงที่สามารถเห็นเส้นกราฟได้

ถึงแม้ว่าแอลซีดีสโคปจะสามารถวัดความถี่ได้ตั้งแต่ 30Hz ถึง 400Hz แต่ก็รู้ว่าแอลซีดีสโคปจะสามารถแสดงกราฟออกมาได้ชัดเจน จึงทำการสังเกตรูปภาพแต่ละช่วงความถี่ ซึ่งผมที่ได้ก็คือ แอลซีดีจะแสดงกราฟออกมาได้ชัดเจนตั้งแต่ 30-100 Hz แต่หลังจาก 100Hz ขึ้นไป กราฟที่แสดงออกมามีจุดของกราฟที่หาออกไปมาจนยากที่จะมองออก ดังรูป

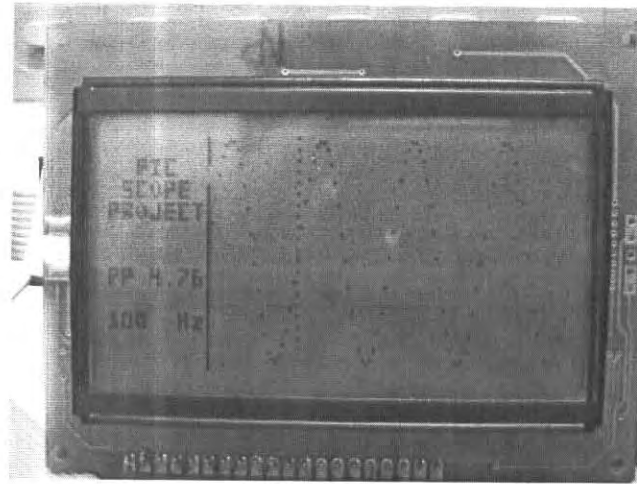


รูปที่ 4.1 แสดงกราฟจากแอลซีดีสโคปช่วงความถี่ 30 Hz



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟจากแอลซีดีสโคปช่วงความถี่ 70 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

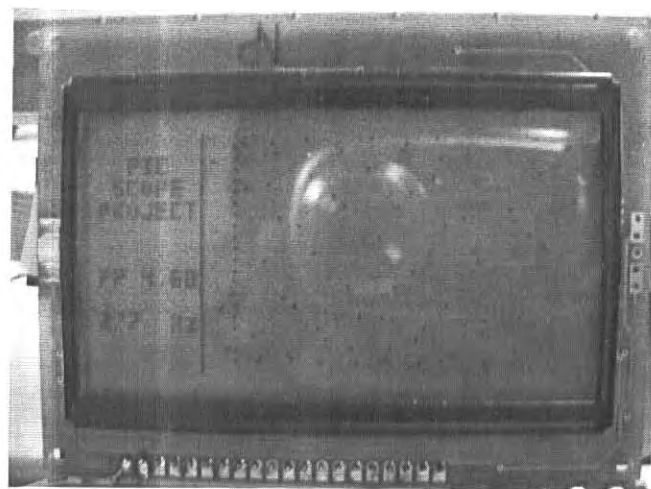


รูปที่ 4.3 แสดงกราฟจากแอลซีดีสโคปช่วงความถี่ 100 Hz



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟจากแอลซีดีสโคปช่วงความถี่ 200 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

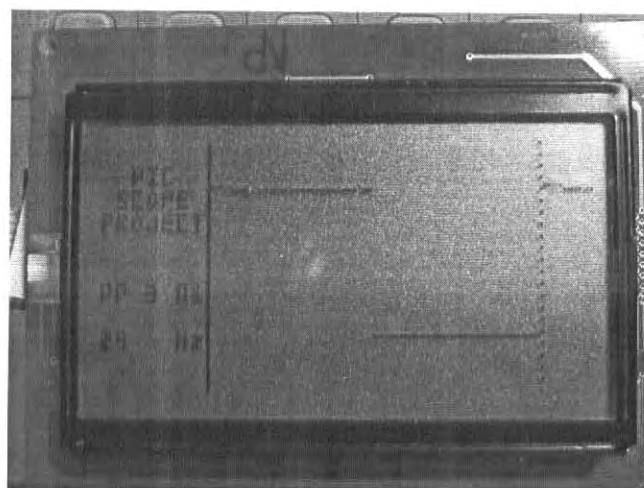


รูปที่ 4.5 แสดงกราฟจากแอลซีดีสโคปช่วงความถี่ 300 Hz



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟจากแอลซีดีสโคปช่วงความถี่ 400 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

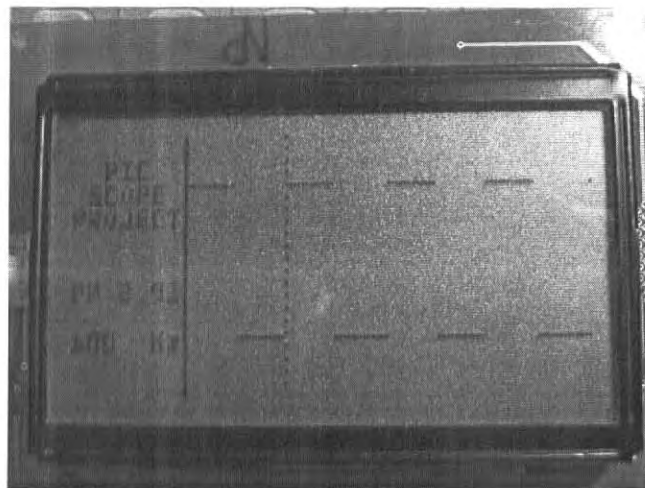


รูปที่ 4.7 แสดงกราฟสแควร์จากแอลซีดีสโคปช่วงความถี่ 30 Hz

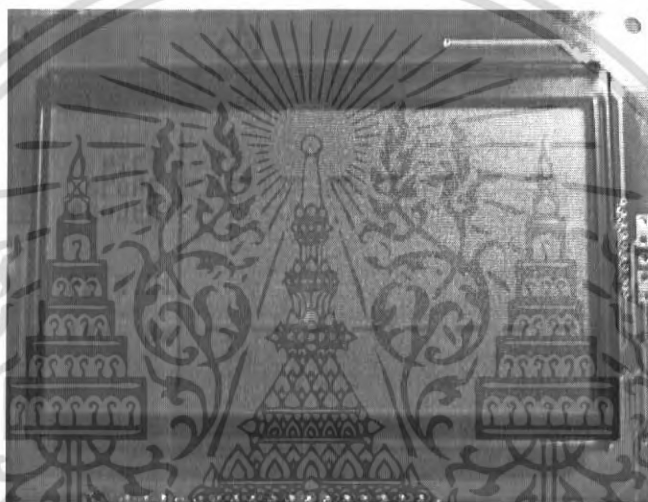


รูปที่ 4.8 แสดงกราฟสแควร์จากแอลซีดีสโคปช่วงความถี่ 70 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

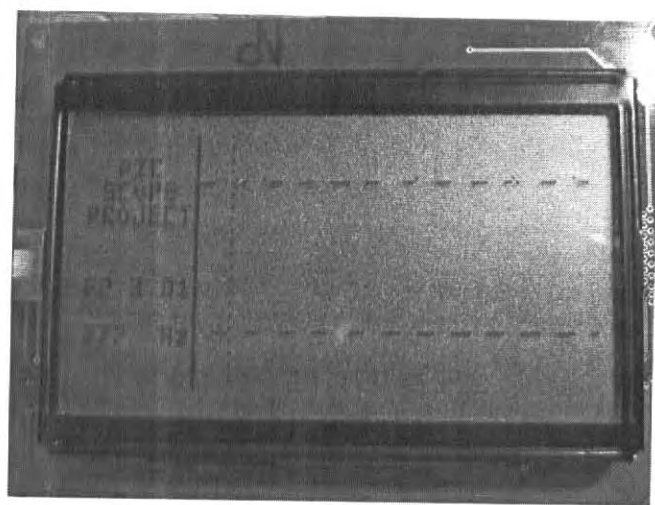


รูปที่ 4.9 แสดงกราฟสแควร์จากแอลซีดีส โคม่วงความถี่ 100 Hz



รูปที่ 4.10 แสดงกราฟสแควร์จากแอลซีดีส โคม่วงความถี่ 200 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงกราฟสแควร์จากแอลซีดีสโคปช่วงความถี่ 300 Hz



รูปที่ 4.12 แสดงกราฟสแควร์จากแอลซีดีสโคปช่วงความถี่ 400 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุป

จากการทดลองที่ได้ทำไปแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแอลซีดีสโคป ซึ่งช่วงที่สามารถวัดสัญญาณและแสดงผลออกมาได้อย่างถูกต้องคือช่วงความถี่ระหว่าง 30 – 100 Hz ถึงว่าประสบความสำเร็จในระดับหนึ่ง และมีนำค่าความถี่ในช่วงที่วัดได้ ไปเทียบกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป แล้วหาค่าความคลาดเคลื่อนมีค่า 1.69% พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่ตัว LCDscope ยังไม่สามารถอ่านค่าความถี่ออกมาละเอียดถึงหลักทศนิยมได้

#### 5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

1. พัฒนาและเพิ่มโปรแกรมลงไปให้ LCDscope สามารถวัดค่าได้ละเอียดถึงหลักทศนิยม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวัดยิ่งขึ้น
2. เพิ่มฟังก์ชันลงไปโปรแกรมให้สามารถแสดงค่าได้หลากหลายกว่าเดิม
3. หาทางทำให้สามารถเพิ่มช่วงความถี่ในการวัดและการแสดงผลของกราฟให้ดีขึ้น
4. นำตัววงจรมาบรรจุลงกล่องเพื่อลดโอกาสการชำรุดของอุปกรณ์หากเกิดการกระแทกขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้