

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวัดระยะด้วยเลเซอร์

LASER DISTANCE MEASUREMENT



๒๗.
๑๑๕๒๑
๒๕๔๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 72867
วัน,เดือน,ปี 25 ส.ย. 2550

b. 11๗๖3๖๑๘
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดระยะด้วยเลเซอร์
LASER DISTANCE MEASUREMENT

ผู้จัดทำ นายคมสัน อนันต์วัฒนสุข 46010083
นายศรัณย์ ยุญขานนท์ 46010764
นางสาวอรนรินทร์ ดวงกฤดา 46010931


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดระยะด้วยเลเซอร์

โดย

นายคมสัน	อนันต์วัฒนสุข	46010083
นายศรัณย์	บุญชานนท์	46010764
นางสาวอรนรินทร์	ดวงกฤษณา	46010931

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ วรรณดี เพชรหมณีล้ำค่า

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอทฤษฎีและการออกแบบเครื่องมือวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ชนิดพอยท์เตอร์ โดยโครงสร้างของระบบประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลพีไอซี ชุดวัดมุม(ชุดเฟืองทด) ตัวเลเซอร์พอยต์เตอร์ จอแอลซีดี และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง จุดมุ่งหมายของโครงการนี้คือ สร้างเครื่องมือวัดระยะทางในราคาค้นทุนที่ต่ำโดยใช้เลเซอร์พอยท์เตอร์ในการชี้ตำแหน่งที่ต้องการจะวัด ขอบเขตของการวัดตั้งแต่ 0.1-2.8 เมตร

ขั้นตอนดำเนินการ เริ่มจากการออกแบบและประกอบ โครงสร้างของชุดวัดมุม(ชุดเฟืองทด) และวางตำแหน่งของตัวเลเซอร์พอยต์เตอร์ให้แม่นยำ ศึกษาและออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่จำเป็นสำหรับการแปลงค่าของมุมที่วัดได้จากชุดวัดมุม ประกอบด้วยวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้ภาษาซี เพื่อแปลงค่าของตัวต้านทานเป็นมุม แล้วจึงนำค่ามุมที่ได้มาทำการประมวลผลหาระยะทางที่ต้องการต่อไป

LASER DISTANCE MEASUREMENT

By

Mr. Komson Ananwattanasuk

Mr. Saran Yunchanondh

Miss Onnarin Duangkuna

Advisor

Miss Wandee Petchmaneelumka

Academic Year 2006

ABSTRACT

This thesis presents theory and implementation distance measurement by laser pointer. The system is composed of PIC microcontroller, gear wheels set, laser pointer, LCD screen, and interfacing circuits. The goal is the distance measurement fabrication for low cost. The measuring range is about 0.1-2.8 meters.

The project has been conducted as in the following steps. First, the structure of gear wheels set and position of laser pointer are designed and constructed. Second, necessary electronic circuits including D/A converter are studied and implemented. Then, the computer program written in C language is composed for conversion the resistance value to the angle value. Finally, it is converted to the distance.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปฏิญานិพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก อาจารย์วรรณดี เพชรณณิลำค่า ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำที่ดีมาโดยตลอดตั้งแต่ต้น รวมทั้งเอื้อเฟื้ออุปการะที่จำเป็น และความช่วยเหลืออื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์รัชชัช คำศรี ที่คอยถามถึงความคืบหน้าอยู่ตลอดเวลา และให้คำปรึกษาในส่วนของการเขียนโปรแกรม

ขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ทำให้กำลังใจ สนับสนุนอุปการะที่ขาดเหลือ กระตุ้นเตือน รวมทั้งคอยถามไถ่ความคืบหน้าของโครงการอยู่เสมอ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้

ผู้จัดทำ

นายคมสัน

นายศรัณย์

นางสาวอรนรินทร์

อนันต์วิเศษสุข

บุญชานนท์

ดวงกฤดา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีตรีโกณมิติ	3
2.2 การแปลงสัญญาณ แอนะล็อก เป็น ดิจิตอล ใน พีไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยโปรแกรมภาษาซี	4
2.2.1 ฟังก์ชันเกี่ยวกับการกำหนดค่าพอร์ตแอนะล็อก	4
2.2.2 ฟังก์ชันอ่านค่าแอนะล็อก	5
2.3 เลเซอร์พอยต์เตอร์	6
2.3.1 คุณสมบัติของเลเซอร์	6
2.3.2 ชนิดของเลเซอร์	6
2.3.3 ตัวอย่างการนำเลเซอร์มาประยุกต์ใช้งาน	9
2.4 โมดูลแอลซีดี	10
2.4.1 การควบคุมและการใช้งานโมดูลแอลซีดี ในโหมด 4 บิต	11
2.4.2 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมควบคุมโมดูลแอลซีดี ในโหมด 4 บิต	12
บทที่ 3 โครงสร้างของระบบ และระบบการทำงาน	15
3.1 โครงสร้างของระบบ	15
3.1.1 เลเซอร์พอยต์เตอร์ ตัวที่ 1 และตัวที่ 2	16
3.1.2 ชุดวัดมุม (ชุดเฟืองทด)	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.1.3 ตัวพีไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์	18
3.2 หลักการคำนวณ	19
3.3 วิธีการดำเนินการ	20
3.4 รูปแบบของชิ้นงาน	20
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	24
4.1 การทดลองค่าบิต	24
4.2 การทดลองวัดมุม	26
4.3 การทดลองวัดระยะ	28
บทที่ 5 บทสรุป	31
5.1 สรุป	31
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	31
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ	32
ภาคผนวก ก แผนภูมิแสดงการทำงาน	33
ภาคผนวก ข เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	35
เอกสารอ้างอิง	56

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 เครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์รุ่น เลการ์ เอ 5	1
1.2 เครื่องวัดระยะด้วยเลเซอร์รุ่น พีดี 30 เอ	1
2.1 สมการตรีโกณมิติ	3
2.2 โครงสร้างของเลเซอร์ของแข็ง	7
2.3 โครงสร้างของเลเซอร์ก๊าซ	7
2.4 โครงสร้างของเลเซอร์ของเหลว	8
2.5 โครงสร้างของเลเซอร์ไอโอด	9
2.6 โมดูลเซอร์กิตของจอแอลซีดี	11
3.1 โครงสร้างการทำงานของเครื่องวัดระยะ	15
3.2 ตัวเลเซอร์พอยต์เตอร์ ที่ติดกับแกนแนวระนาบ	16
3.3 ตัวเลเซอร์พอยต์เตอร์ ที่ติดกับตัววัดมุม	17
3.4 ชุดวัดมุมที่อยู่ภายในกล่อง	17
3.5 (ก) วงจรพีไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์	18
3.5 (ข) วงจรพีไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์	19
3.6 หน้าจอ แอลซีดี แสดงมุมและระยะที่วัดได้	21
3.7 อุปกรณ์ภายในเครื่องวัดระยะ	22
3.8 ด้านหน้าเครื่องวัดระยะเมื่อติดตั้งกับขาตั้ง	22
3.9 ด้านข้างเครื่องวัดระยะเมื่อติดตั้งกับขาตั้ง	23
4.1 กราฟเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างค่าบิตที่คำนวณได้กับค่าบิตที่ใช้จริง	25
4.2 กราฟเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างมุมที่เครื่องแสดงกับมุมที่วัดได้จริง	27
4.3 กราฟเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างระยะทางที่เครื่องแสดงและระยะทางจริง	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงการจัดแอดเครสของหน่วยความจำแสดงผลของ โมดุลแอลซีดี	11
2.2 แสดงชุดคำสั่งควบคุมการทำงานของ โมดุลแอลซีดี	13
4.1 ตารางแสดงผลการทดลองระหว่างค่าบิตที่ได้จากการคำนวณกับค่าบิตที่ใช้จริง	24
4.2 ตารางแสดงผลการทดลองระหว่างค่ามุมที่เครื่องแสดงกับมุมที่วัดได้จริง	26
4.3 ตารางแสดงผลการทดลองวัฏระยะทางจากเครื่องวัฏระยะ	28



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

โครงการนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อหาแนวทางใหม่ ในการวัดระยะทางซึ่งในปัจจุบันมีวิธีวัดระยะทางได้หลากหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีก็มีประโยชน์ ความเหมาะสม และความสะดวก ต่อการใช้งานต่าง ๆ กันไป ตามแต่รูปแบบของงานที่ผู้วัดต้องการจะวัด โดยโครงการนี้จะเน้นไปที่การวัดระยะตั้งแต่ 0.1 – 2.8 เมตร ซึ่งสามารถทำการวัดระยะได้ด้วยคนเพียงคนเดียว ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้สามารถวัดระยะได้ประมาณ 0.1 – 2.8 เมตร ส่วนอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เช่น ไม้บรรทัด ไม้เมตร เครื่องมือเหล่านี้ยังขาดความแม่นยำในการวัดระยะ อีกทั้งยังยุ่งยากที่จะทำการวัดได้ด้วยคนเพียงคนเดียว นอกจากนี้ยังมีเครื่องมือวัดระยะชนิดอื่นอีกที่สามารถวัดระยะได้ด้วยคนเพียงคนเดียว เช่น เครื่องวัดระยะด้วยอุลตราโซนิก (ดังรูปที่ 1.1) เครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ (ดังรูปที่ 1.2) แต่เครื่องมือเหล่านี้มีราคาที่สูงเกินไป โครงการนี้จึงมีเป้าหมายที่จะสร้างเครื่องวัดระยะทางที่มีคุณสมบัติเทียบเท่าเครื่องมือเหล่านั้น แต่มีราคาที่ถูกลง และมีหลักการทำงานที่แตกต่างออกไป โดยเครื่องวัดระยะในโครงการนี้ จะใช้หลักตรีโกณมิติในการคำนวณหาระยะทางที่ต้องการ



รูปที่ 1.1 เครื่องวัดระยะทางรุ่น เดการ์ เอ 5



รูปที่ 1.2 เครื่องวัดระยะทางรุ่น พีดี 30 เอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.) เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องวัดระยะทางในราคาต้นทุนที่ต่ำ
- 2.) เพื่อนำเลเซอร์พอยต์เตอร์ (Laser Pointer) มาประยุกต์ใช้งาน
- 3.) ศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลพีไอซี (PIC microcontroller) ในการแปลงสัญญาณแอนะล็อก (Analog) เป็น ดิจิตอล (Digital)

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ศึกษาหลักการวัดระยะทางและการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการประมวลผลสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์ รวมถึงออกแบบและสร้างเครื่องวัดระยะทางจากหลักการที่ได้ทำการศึกษามา พร้อมทั้งพัฒนาให้เครื่องวัดมีความแม่นยำมากขึ้น

1.4 รายละเอียดปฏิญานิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความสำคัญ และที่มาของโครงการ วัตถุประสงค์ของโครงการและขอบเขตของโครงการ พร้อมทั้งรายละเอียดของปฏิญานิพนธ์ในแต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎี กล่าวถึงหลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการวัดระยะ ได้แก่ ทฤษฎีตรีโกณมิติ และการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลพีไอซีด้วยโปรแกรมภาษาซี

บทที่ 3 โครงสร้างของระบบ กล่าวถึง โครงสร้าง หลักการคำนวณ วิธีดำเนินการ และรูปแบบของชิ้นงาน

บทที่ 4 การทดลอง เป็นการทดลองวัดระยะด้วยเครื่องวัดระยะ

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง จะสรุปผลการดำเนินงาน ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางแก้ไขรวมถึงแนวทางในการพัฒนาโครงการนี้ต่อไป

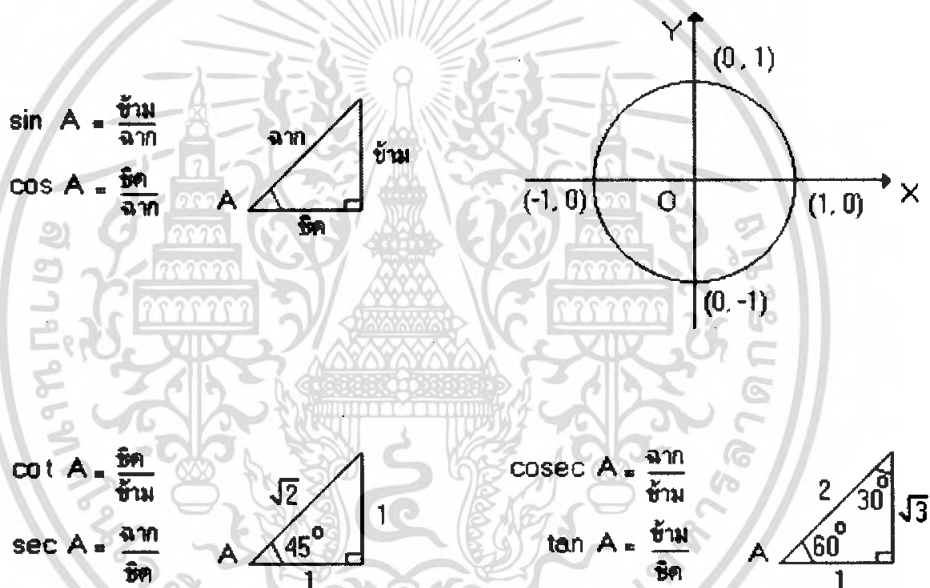
โครงการนี้เป็นการประดิษฐ์เครื่องวัดระยะที่มีขอบเขตในการวัดระยะทางตั้งแต่ 0.1 – 2.8 เมตร โดยอุปกรณ์ชนิดนี้นั้น ผู้วัดสามารถนำไปวัดระยะได้ด้วยตัวเพียงคนเดียว และมีราคาต้นทุนในการผลิตที่ต่ำ

บทที่ 2

ทฤษฎี

ก่อนที่จะมีการออกแบบและสร้างเครื่องวัดระยะนั้น จำเป็นต้องศึกษาองค์ประกอบต่างๆที่จำเป็นให้เข้าใจเสียก่อน และพบว่าการวัดระยะนั้นมีส่วนสำคัญหลายส่วน ดังนั้นในบทนี้จะศึกษาและอธิบายถึงองค์ประกอบต่างๆ ที่จะนำไปใช้งานจริงในการวัดระยะซึ่งประกอบด้วย ทฤษฎีตรีโกณมิติ การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลพีไอซี เกลเซอร์พอยต์เตอร์ และ โมดูลแอลซีดี

2.1 ทฤษฎีตรีโกณมิติ



รูปที่ 2.1 สมการตรีโกณมิติ

จากทฤษฎีตรีโกณมิติดังรูปที่ 2.1 ข้างต้น จะได้สมการที่สามารถนำมาคำนวณหาระยะได้ดังสมการที่ (2.1) สมการที่ (2.2) และสมการที่ (2.3)

$$\sin A = \text{ข้าม} / \text{จาก} \quad (2.1)$$

$$\cos A = \text{ชิด} / \text{จาก} \quad (2.2)$$

$$\tan A = \text{ข้าม} / \text{ชิด} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการทั้ง 3 สมการนี้ เป็นสมการที่มีไว้คำนวณหาด้านที่ต้องการของสามเหลี่ยมมุมฉาก เนื่องจากโครงงานนี้อุปกรณ์ที่เรานำมาทำการวัดระยะทางนั้น จะทราบค่าในแนวระนาบ ซึ่งเป็นค่าซิดมุมของสามเหลี่ยมมุมฉาก และรู้มุมระหว่างแนวระนาบกับแกนเซอร์ตัวที่ 2 คือค่ามุม A ดังรูปที่ 2.1 จากนั้นนำค่าที่ได้มาแทนในสมการตรีโกณมิติโดยเลือกสมการที่ (2.3) เพราะเราทราบระยะด้านซิดมุม และทราบมุม A จึงนำไปคำนวณหาด้านข้ามมุมของสามเหลี่ยมมุมฉากได้

2.2 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลพีไอซี

ด้วยโปรแกรมภาษาซี

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลพีไอซี ในปัจจุบันมักจะผนวกโมดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลไว้ด้วยภายใน ส่วนจำนวนช่องและความละเอียดของการแปลงนั้นจะขึ้นอยู่กับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x จะมีความละเอียด 10 บิต 5 ช่องสำหรับรุ่น 28 ขา และ 8 สำหรับรุ่น 40 ขา โดยขาพอร์ตที่ใช้งานร่วมกับนั้นประกอบด้วย RA0-RA3 และ RA5 ในรุ่น 40 ขา จะมี RE0-RE2 รวมอยู่ด้วย

การใช้งานโมดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลพีไอซีด้วยโปรแกรมภาษาซีนั้น CCS Cคอมไพเลอร์ ได้เตรียมฟังก์ชันพร้อมแล้วไม่จำเป็นส่วนเตรียมความพร้อมและการเรียกใช้งาน โมดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล รวมถึงฟังก์ชันในการอ่านค่าสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลดังนี้

1. ฟังก์ชันเกี่ยวกับการกำหนดขาพอร์ตแอนะล็อก ได้แก่
`set_sdc() , setup_adc_ports() และ set_adc_channel()`
2. ฟังก์ชันในการอ่านค่าสัญญาณแอนะล็อก ได้แก่ `read_adc()`

2.2.1 ฟังก์ชันเกี่ยวกับการกำหนดขาพอร์ตแอนะล็อก

1. `setup_adc ()`

ใช้กำหนดสัญญาณนาฬิกาสำหรับโมดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

รูปแบบการใช้งาน

`setup_adc (mode)`

โดยที่โหมด(mode) เป็นค่าคงที่ ที่ใช้ในการกำหนดโหมดทำงานของโมดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลพีไอซี สามารถเลือกการทำงานของโหมดได้ 4 โหมด โดยการทำงานจะต้องเลือกโหมดใดโหมดหนึ่ง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. โหมด LP ใช้กับคริสตอลหรือเซรามิกเรโซเนเตอร์พลังงานต่ำความถี่ 32 kHz - 200 kHz
2. โหมด XP ใช้กับคริสตอลหรือเซรามิกเรโซเนเตอร์มาตรฐานความถี่ 200 kHz - 4 MHz
3. โหมด HS ใช้กับคริสตอลหรือเซรามิกเรโซเนเตอร์ความถี่สูง 4 MHz - 20 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. โหมด RC สามารถกำหนดค่าความถี่ได้จากค่าของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่ต่อภายนอก

2. setup_adc_ports () (หรือ setup_port_a ())

เป็นการกำหนดคุณสมบัติของขาพอร์ตที่ใช้งานว่าต้องการให้ขาพอร์ตใดบ้างเป็นอินพุต แอนะล็อก และขาพอร์ตใดใช้ในการอ้างอิงหรือกำหนดให้ทำงานกับแรงดันอ้างอิง

รูปแบบการใช้งาน

setup_adc_ports (value)

โดยที่ value เป็นค่าคงที่ที่ใช้ในการกำหนดคุณสมบัติของขาพอร์ตที่ใช้งาน เช่น

ALL_ANALOG กำหนดให้ขาทุกพอร์ตเป็นอินพุตแอนะล็อกใช้แรงดันภายในอ้างอิง

NO_ANALOG กำหนดให้ไม่มีขาพอร์ตเป็นอินพุตแอนะล็อก

ANALOG_RA3_REF กำหนดให้ขา RA3 เป็นแรงดันอ้างอิง

RA0_RA1_RA3_ANALOG กำหนดให้ขาพอร์ต RA0, RA1, RA3 เป็นอินพุตแอนะล็อก นอกนั้นเป็นขาพอร์ตดิจิตอล

3. set_adc_channel()

ใช้กำหนดขาพอร์ตแอนะล็อกที่ต้องการใช้งานและอ่านค่ากลับมาด้วยฟังก์ชัน read_adc()

รูปแบบการใช้งาน

set_adc_channel(chan)

โดยที่ chan คือ ขาพอร์ตแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล โดยมีค่าดังนี้

channel (0) คือกำหนดให้พอร์ต RA0 เป็นอินพุตแอนะล็อก

channel (1) คือกำหนดให้พอร์ต RA1 เป็นอินพุตแอนะล็อก

channel (2) คือกำหนดให้พอร์ต RA2 เป็นอินพุตแอนะล็อก

channel (3) คือกำหนดให้พอร์ต RA3 เป็นอินพุตแอนะล็อก

2.2.2 ฟังก์ชันอ่านค่าแอนะล็อก

มี 1 ฟังก์ชันคือ read_adc() ใช้อ่านค่าจากขาพอร์ตแอนะล็อก

รูปแบบการใช้งาน

value = read_adc()

ค่าที่ส่งกลับ value เป็นข้อมูลดิจิตอลที่ได้จากการแปลงสัญญาณแล้ว จะมีขนาด 8 หรือ 16

บิตขึ้นอยู่กับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้และการกำหนดในโคเรกทิฟ #device ADC = nn

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เลเซอร์พอยต์เตอร์

"เลเซอร์" เป็นคำทับศัพท์ จากภาษาอังกฤษ คือ "LASER" ซึ่งเป็นคำย่อของ "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" จึงหมายถึง การแผ่รังสีของการเปล่งแสงแบบถูกเร้าด้วยการขยายสัญญาณแสง ดังนั้นกลไกพื้นฐานของเลเซอร์จึงได้แก่ การเปล่งแสงแบบถูกเร้า และการขยายสัญญาณแสง กลไกทั้งสองนี้เป็นสาเหตุที่ทำให้เลเซอร์มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น เป็นลำแสงขนานที่มีความเข้มสูง และมีคลื่นแสงที่เป็นระเบียบด้วยค่าความยาวคลื่นที่ตายตัว

เลเซอร์โดยทั่วไปประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่

1. วัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางเลเซอร์ (Laser Medium)
2. การปั๊มพลังงานให้แก่เนื้อวัสดุที่เป็นตัวกลางเลเซอร์ให้มีสภาพถูกกระตุ้น
3. แควิตี้แสงเพื่อขยายสัญญาณแสง

2.3.1 คุณสมบัติของเลเซอร์

คุณสมบัติโคฮีเรนต์ (Coherent) ของแสงเลเซอร์ แสงเลเซอร์เกิดขึ้นจากการเปล่งแสงถูกเร้าโฟตอนจึงมีความเป็นระเบียบสูง คลื่นแสงมีลักษณะที่พร้อมเพรียงกันและเมื่อมีการขยายสัญญาณด้วยแควิตี้แสงโฟตอนจึงมีจำนวนมากหรือแสงมีความเข้มสูง และวิ่งในทิศทางที่แน่นอนมีลักษณะเป็นลำแสงตั้งฉากกับกระจกที่ใช้ทำเป็นแควิตี้เท่านั้น ดังนั้นแสงเลเซอร์จึงมีคุณสมบัติเด่นหลัก ๆ 4 ประการ คือ

1. เป็นแสงสีเดียว (มีค่าความยาวคลื่นเดียว)
2. มีเฟสเดียวกัน (มีหน้าคลื่น)
3. มีทิศทางแน่นอน (เป็นลำแสง)
4. มีความเข้มสูง (จำนวนโฟตอนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่สูง)

คุณสมบัติทั้ง 4 นี้เรียกรวม ๆ กันว่า คุณสมบัติโคฮีเรนต์นั่นเอง เลเซอร์จึงเป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบโคฮีเรนต์ (coherent light source) ซึ่งจุดเด่นทั้งหมดนี้เองที่เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้แสงเลเซอร์เกิดประโยชน์ด้านประยุกต์ เช่น การที่แสงเลเซอร์มีค่าความยาวคลื่นที่แน่นอนจึงทำให้เลเซอร์ถูกใช้เป็นมาตรฐาน และใช้งานที่ต้องการความแม่นยำสูง

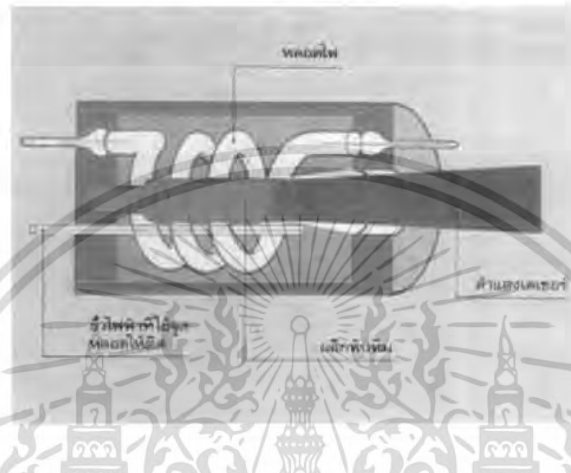
2.3.2 ชนิดของเลเซอร์

1. เลเซอร์ของแข็ง

เลเซอร์ที่ใช้ตัวกลางเป็นของแข็งเช่น เลเซอร์ทับทิม เลเซอร์แฮ็ค เลเซอร์แก้ว ฯลฯ ทับทิม

และแฮ็คเป็นผลึกส่วนแก้วเป็นอะมอร์ฟัส ตัวกลางเหล่านี้ทำหน้าที่เป็น เนื้อวัสดุเจ้าบ้าน (Host) แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

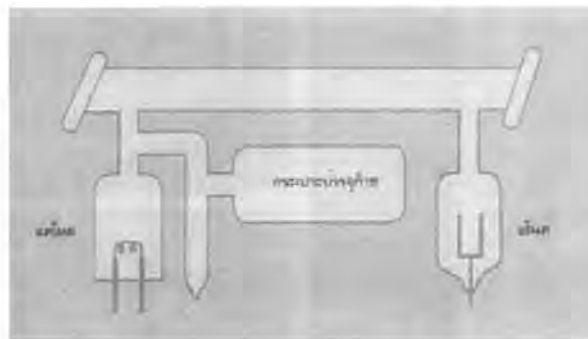
Materials) เท่านั้น เพราะตัวที่ทำให้เกิดการเปล่งแสงนั้นกำหนดจากสารเจือปนที่เติมในเนื้อสารเหล่านี้ ในการป้อนพลังงานแก่ของแข็งเหล่านี้ ต้องใช้วิธีการทางแสงคือใช้หลอดไฟซินอนหรือหลอดไฟทังสเตนฉาย โดยมีตัวสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการป้อนพลังงาน ตัวสะท้อนแสงนี้มีลักษณะเป็นกระบอกที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงรี และมีการวางหลอดไฟและตัวกลางเลเซอร์ไว้ที่ตำแหน่งของจุดโฟกัสของวงรี ซึ่งมีโครงสร้างของเลเซอร์ของแข็ง ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเลเซอร์ของแข็ง

2. เลเซอร์ก๊าซ

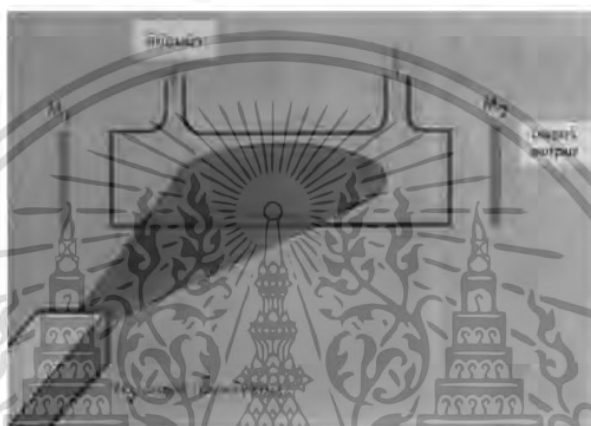
เมื่อใช้ก๊าซเป็นตัวกลางเลเซอร์ การป้อนพลังงานก็จะใช้วิธีการปล่อยประจุในก๊าซด้วยไฟฟ้าแรงสูง กล่าวคือนำก๊าซเหล่านั้นบรรจุในหลอดเลเซอร์ซึ่งมีขั้วไฟฟ้าที่ปลายทั้งสอง เมื่อป้อนไฟฟ้าแรงสูงให้แก่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง อิเล็กตรอนจะวิ่งจากขั้ว แคโทด (ขั้วลบ) ไปยังขั้วแอโนด (ขั้วบวก) ด้วยพลังงานสูง อิเล็กตรอนจะวิ่งชนอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซเหล่านั้น จนแตกตัวเป็นไอออนมีประจุไฟฟ้าขึ้น เรียกว่า พลาสมา (Plasma) ก๊าซที่เป็นพลาสมาเหล่านี้จะพร้อมปล่อยโฟตอน หากมีโฟตอนที่มีลักษณะเหมือนกันมาเร้าจึงเกิดเป็นแสงเลเซอร์ขึ้น มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเลเซอร์ก๊าซ** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เลเซอร์ของเหลว

ตัวกลางเลเซอร์ที่ทำจากของเหลวเช่น ใช้สีย้อมผ้า (Dye) ผสมน้ำหรือแอลกอฮอล์ บรรจุใส่ภาชนะใส การปั๊มพลังงานแก่ ของเหลวเหล่านี้ใช้วิธีทางแสงเช่นเดียวกับตัวกลางเลเซอร์ที่เป็นของแข็ง จุดเด่นที่สำคัญของเลเซอร์ของเหลวคือเป็นเลเซอร์ที่ให้สีที่ตามองเห็น ค่าความยาวคลื่นของแสงสามารถปรับได้จึงเป็น Tunable Laser เพราะโมเลกุลของสีย้อมผ้ามีขนาดโต เนื่องจากเป็นสารอินทรีย์เคมีระดับพลังงานที่ซ้อนหลายชั้นมิได้เป็นชั้นเดี่ยวๆ เหมือนกรณีของก๊าซหรือของแข็ง ซึ่งมีโครงสร้างของเลเซอร์ของเหลว ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเลเซอร์ของเหลว

4. เลเซอร์ไดโอด

เลเซอร์ไดโอดเป็นเลเซอร์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งทำจากสารประกอบ เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) แกลเลียมอะลูมิเนียมอาร์เซไนด์ (GaAlAs), อินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ฟอสไฟด์ (InGaAsP) ซึ่งมีค่าแถบพลังงานต่างกัน จึงเป็นตัวกำหนดค่าความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ เช่น

แกลเลียมอาร์เซไนด์ ให้แสงเลเซอร์ที่ค่าความยาวคลื่น 0.8 μm (อินฟราเรด)

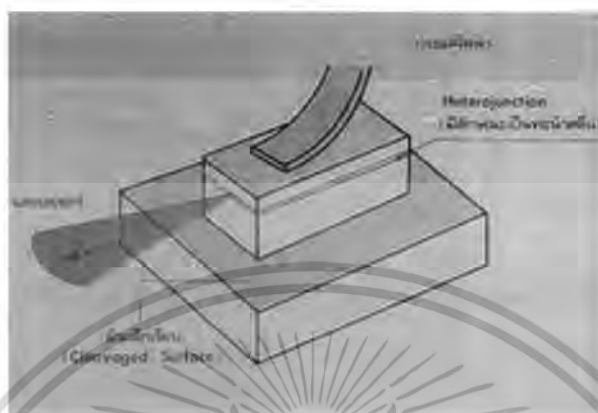
แกลเลียมอะลูมิเนียมอาร์เซไนด์ ให้แสงเลเซอร์ที่ค่าความยาวคลื่น 0.7 μm (สีเขียว)

อินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ฟอสไฟด์ ให้แสงเลเซอร์ที่ค่าความยาวคลื่น 1.3 และ 1.55 μm (อินฟราเรด)

เลเซอร์ไดโอดแต่ละชนิดจึงมีการใช้งานที่แตกต่างกันตามลักษณะ และคุณสมบัติของค่าความยาวคลื่นนั้น ๆ เช่น เลเซอร์ไดโอดที่ให้สีแดงจะใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ ส่วนเลเซอร์ไดโอดที่ให้แสงอินฟราเรดที่ค่าความยาวคลื่น 1.55 μm จะใช้ในระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง เป็นต้น

โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอด ได้แก่ หัวต่อที่เชื่อมแบบเฮเทอโรจังชัน (Heterojunction) เช่น GaAlAs/GaAs ทำให้ประสิทธิภาพของเลเซอร์ไดโอดเริ่มทำงานน้อยลง การฉีดกระแสไฟฟ้าผ่านหัวต่อที่เชื่อมของเลเซอร์ไดโอดเป็นวิธีการปั๊มพลังงาน เพื่อให้เกิดการรวมตัวของพาหะนำไฟฟ้าใน

สารกึ่งตัวนำและนำมาสู่การเปล่งแสง แสงที่เปล่งออกมาจะถูกขยายสัญญาณให้มีความเข้มสูงขึ้นด้วยแควิตี้แสงที่เกิดจากผิวมันสะท้อนแสงของผิวผลึกที่ทำให้แตกโดยธรรมชาติ (Cleaved Surface) ซึ่งมีโครงสร้างของเลเซอร์ไดโอด ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอด

เลเซอร์ไดโอดเป็นเลเซอร์ที่มีขนาดเล็กจิ๋วกินไฟน้อย สามารถผลิตได้จำนวนมากๆ ด้วยเทคโนโลยีด้านสารกึ่งตัวนำ เลเซอร์ไดโอดถูกใช้งาน อย่างกว้างขวางตั้งแต่การใช้เป็นเลเซอร์พอยน์เตอร์ (Laser Pointer) ใช้ในการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ใช้เป็นหัวอ่าน ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ดิสก์ เครื่องวิดีโอเลเซอร์ดิสก์ และเครื่องถ่ายเอกสารประเภทเลเซอร์ พรินเตอร์ (Laser Printer)

เลเซอร์ไดโอดมีกำลังแสงต่ำตั้งแต่ระดับไมโครวัตต์ (uW) จนสูงถึงวัตต์ (W) และเป็นเลเซอร์ที่มีจุดเด่นคือ สามารถโมดูลสัญญาณได้ โดยตรง โดยผ่านเข้าไปทางด้านกระแสไฟฟ้าที่ฉีดผ่านตัวสิ่งประดิษฐ์ จึงสะดวกต่อการใช้งาน โดยเฉพาะการสื่อสารทางด้านแสง

2.3.3 ตัวอย่างการนำเลเซอร์มาประยุกต์ใช้งาน

1. การใช้เลเซอร์ด้านสื่อสาร โทรคมนาคม

เลเซอร์ไดโอดถูกนำมาใช้เป็นตัวส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง เพื่อใช้ถ่ายทอดสัญญาณ โทรทัศน์ โทรศัพท์ ข้อมูลคอมพิวเตอร์ อย่างกว้างขวาง สื่อสาร โทรคมนาคมด้วยแสงเลเซอร์นี้มีจุดเด่นที่จะไม่มีสัญญาณรบกวนเพราะเป็นคลื่นแสง มีความจุข้อมูลสูงมากเพราะมีความถี่สูงกว่าคลื่นวิทยุ ทำให้เส้นใยแก้วนำแสงเส้นหนึ่งสามารถจุคู่สายโทรศัพท์ได้เป็นพัน ๆ คู่สาย

2. การใช้เลเซอร์ในการวัด

เลเซอร์มีค่าความยาวคลื่นคงที่ และเป็นลำแสงขนาน จึงถูกนำมาใช้เป็นมาตรฐานการวัดที่ละเอียดแม่นยำ เช่น การวัดขนาดของสิ่งของการวัดระยะทางทั้งใกล้และไกล โดยอาศัยหลักการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการสอดแทรก เช่น อินเทอร์เฟอเมตรี (Interferometry) หลักการการสะท้อนของ คลื่น แสงที่เป็นพัลส์ และหลักการเกิดการเคลื่อนของเฟส (Phase Shift) ของคลื่นแสงที่ถูกโมดูเลตแล้ว

3. การใช้เลเซอร์ในอุปกรณ์สำนักงานและใช้ในบ้าน

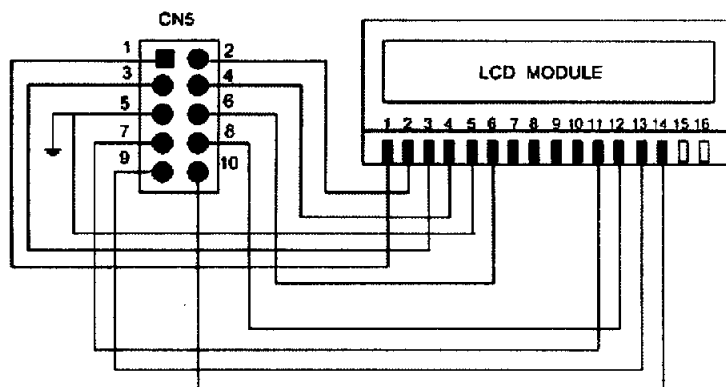
เลเซอร์ไดโอดเป็นเลเซอร์ที่มีขนาดเล็กจิ๋วไม่กินไฟ จึงเหมาะนำมาประยุกต์กับอุปกรณ์สำนักงานและใช้ในบ้าน ได้แก่ การใช้เลเซอร์เป็นเลเซอร์พอยต์เตอร์ ใช้ในเครื่องถ่ายเอกสาร และเครื่องพิมพ์เอกสารแบบ เลเซอร์พรีนเตอร์ ใช้ในเครื่องเสียงคอมพิวเตอร์ ใช้ในเครื่องวิดีโอเลเซอร์ดิสก์ ฯลฯ

2.4 โมดูลแอลซีดี

โมดูลแอล(Liquid Crystal Display module) ซีดีนิยมนำมาใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์มาก เนื่องจากแสดงผลได้หลายรูปแบบ ทั้งยังมีขนาดเล็ก โดยที่โมดูลแอลซีดีที่นำมาใช้ในโครงการนี้มีขนาด 2 บรรทัด 16 ตัวอักษร ในโหมด 4 บิต ซึ่งตำแหน่งขาของจอแอลซีดีนั้นไม่ว่าจะมีขนาดกี่บรรทัด กี่ตัวอักษรก็ตาม จะกำหนดตำแหน่งขาไว้เป็นมาตรฐานเดียวกันคือ

- ขา 1 ต่อกาววนต์
- ขา 2 ต่อไฟเลี้ยง +5 โวลต์
- ขา 3 รับแรงดันอินพุตเพื่อปรับความเข้มของตัวอักษรบนหน้าจอแสดงผล
- ขา 4 เลือกรีจิสเตอร์ โดยแยกชนิดข้อมูลระหว่างคำสั่งกับข้อมูลแสดงผล “0” เป็นคำสั่ง “1” ข้อมูลแสดงผล
- ขา 5 ขาที่ใช้ควบคุมการอ่านและเขียนลงจอแอลซีดี “0” เขียนข้อมูล “1” อ่านข้อมูล (ขา R/W)
- ขา 6 ขา E อินาเบิลเพื่อให้โมดูลทำงาน
- ขา 7-14 เป็นขาสำหรับรับ-ส่งข้อมูล D0-D7 ตามลำดับ
- ขา 15-16 เป็นขาสารองไว้ต่อไฟแบล็คไลต์ สำหรับใช้งานเวลากลางคืน เวลาที่เลือกซื้อต้องระบุด้วยว่าต้องการแบบมีแบล็คไลต์ด้วย เนื่องจากราคาสูงกว่าแบบธรรมดา

จอแอลซีดีมีโมดูลเซอร์กิต ดังรูปที่ 2.6



LCD Module circuit

รูปที่ 2.6 โมดูลเซอร์กิตของจอแอลซีดี

การจัดแอดเดรสของหน่วยความจำแสดงผลจอแอลซีดีดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงการจัดแอดเดรสของหน่วยความจำแสดงผลของโมดูลแอลซีดี

0x00	0x01	0x02	0x03	0x04	0x05	0x06	0x07	0x08	0x09	0x0A	0x0B	0x0C	0x0D	0x0E	0x0F
M	i	c	r	O	c	o	n	t	r	o	l	L	e	R	*
0x40	0x41	0x42	0x43	0x44	0x45	0x46	0x47	0x48	0x49	0x4A	0x4B	0x4C	0x4D	0x4E	0x4F
i	n		C	-	P	r	o	g	r	a	m	m	i	N	g

2.4.1 การควบคุมและการใช้งานโมดูลแอลซีดี ในโหมด 4 บิต

ในการส่งข้อความตัวอักษรเพื่อที่จะให้ไปแสดงผลบน โมดูลแอลซีดีนั้น ในขั้นแรกต้องเขียนชุดคำสั่งควบคุมเพื่อส่งให้กับโมดูลแอลซีดีก่อน จากนั้นจึงตามด้วยข้อมูลข้อความที่ต้องการแสดงผล

ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมสำหรับส่งข้อมูลคำสั่งและแสดงผล

1. เซตบิต RS ด้วยคำสั่ง lcd.rs = 0 ; หรือ เซต lcd.rs = 1 ; (“0” ส่งคำสั่ง “1” ส่งข้อมูลแสดงผล)
2. ป้อนข้อมูลเข้าที่ D0-D7

3. สร้างพัลส์ป้อนที่ขา E ซึ่งจะต้องหน่วงเวลาไม่น้อยกว่า 2 มิลลิวินาที เพื่อให้โมดูล LCD รับคำสั่งไปประมวลได้ทัน

2.4.2 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมควบคุมโมดูลแอลซีดี ในโหมด 4 บิต

ตัวอย่างนี้จะติดต่อกับขาข้อมูลของโมดูลแอลซีดี เพียง 4 บิต คือ บิตที่ D4-D7

```

1   :   void lcd_init () {
2   :       BYTE I ;
3   :       set_tris_lcd (LCD_WRITE) ;
4   :       lcd.rs = 0 ;
5   :       lcd.rw = 0 ;
6   :       lcd.enable = 0 ;
7   :       delay_ms (15) ;
8   :       for ( i = 1 ; I <= 3 ; ++i ) {
9   :           lcd_send_nibble (3) ;
10  :           delay_ms (5) ;
11  :       }
12  :       lcd_send_nibble (2) ;
13  :       for ( i = 0 ; i <= 3 ; ++i )
14  :           lcd_send_byte ( 0 , LCD_INIT_STRING [ i ] ) ;
15  :   }

```

จากโปรแกรมข้างต้น ในบรรทัดที่ 9 และ 12 เป็นการส่งค่า 0x33 และ 0x32 ด้วยฟังก์ชัน `lcd_send_nibble (3)` โดยส่ง 3 ครั้งแล้วต่อด้วยฟังก์ชัน `lcd_send_nibble (2)` เพื่อกำหนดโหมดการทำงานในโหมดการทำงาน 4 บิต จากนั้นจึงส่งคำสั่งในการกำหนดค่าต่างๆ เพื่อกำหนดการทำงานของโมดูลแอลซีดี ด้วยฟังก์ชัน `LCD_Command ()`

ในบรรทัดที่ 14 คำสั่ง `lcd_send_byte (0 , LCD_INIT_STRING [i])` นี้ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ตัวแรกด้วยค่า 0 เพื่อบ่งบอกว่า เป็นการส่งข้อมูลคำสั่ง และพารามิเตอร์ตัวที่สองคือข้อมูลที่จะส่ง ในฟังก์ชันนี้มีการเรียกใช้งาน 4 ครั้งและส่งค่าดังต่อไปนี้

```
#define lcd_type 2 // 0=5x7, 1=5x10, 2=2 line
byte CONST LCD_INIT_STRING [4] = {0x20 | lcd_type << 2), 0xc, 1, 6};
```

ความสามารถแปลความหมายของข้อมูลที่ส่งไปได้ดังนี้

1. LCD_INIT_STRING [0] = 0x28 // กำหนดให้ทำงานในโหมด4บิต/บรรทัด 5x7จุด
2. LCD_INIT_STRING [1] = 0xc // LCD On, & cursor off
3. D_INIT_STRING [2] = 1 // LCD Clear
4. D_INIT_STRING [0] = 6 // กำหนดพอร์ตในการเขียนไปที่พอร์ต B

การควบคุมการทำงานของโมดูลแอลซีดี จะต้องทราบถึงตัวเลขคำสั่งที่ใช้ในการกำหนดรายละเอียดการทำงานซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงชุดคำสั่งควบคุมการทำงานของโมดูลแอลซีดี

คำสั่งการทำงาน	ค่าที่ส่งให้กับโมดูลแอลซีดี(เลขฐานสิบ หก)
เคลียร์จอแสดงผล	0x01
กำหนดให้เคอร์เซอร์อยู่ที่ตำแหน่งเริ่มต้น	0x02
แสดงข้อความแล้วเลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางซ้าย	0x04
เลื่อนตัวอักษรไปทางขวา	0x05
แสดงข้อความแล้วเลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางขวา	0x06
เลื่อนตัวอักษรไปทางซ้าย	0x07
ปิดการแสดงผลและปิดเคอร์เซอร์	0x08
ปิดการแสดงผลและเปิดเคอร์เซอร์	0x0A
เปิดการแสดงผลและปิดเคอร์เซอร์	0x0C
เปิดการแสดงผลและเปิดเคอร์เซอร์	0x0E
เปิดการแสดงผลและเคอร์เซอร์กระพริบ	0x0F
เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางซ้าย	0x10
เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางขวา	0x14
เลื่อนตัวอักษรที่เกิดขึ้นใหม่ไปทางซ้าย	0x18
เลื่อนตัวอักษรที่เกิดขึ้นใหม่ไปทางขวา	0x1C
กำหนดให้เริ่มแสดงผลที่บรรทัดแรก	0x80
กำหนดให้เริ่มแสดงผลที่บรรทัดที่สอง	0x C0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงชุดคำสั่งควบคุมการทำงานของโมดูลแอลซีดี(ต่อ)

กำหนดค่าให้แสดงผลที่บรรทัดที่สองในโหมด4บิต ความละเอียด 5x7 จุด	0x28
กำหนดค่าให้แสดงผลที่บรรทัดที่สองในโหมด4บิต ความละเอียด 5x10 จุด	0x2C

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในโครงการนี้ได้แก่ ทฤษฎีทางตรีโกณมิติ ทฤษฎีการแปลงสัญญาณแอนะล็อก เป็น ดิจิตอล ทฤษฎีของหน้าจอแอลซีดี และทฤษฎีของเลเซอร์พอยต์เตอร์ โดยทฤษฎีทางตรีโกณมิตินี้จะนำมาใช้ในการแปลงค่านวณหาระยะทางที่ต้องการจะวัด ทฤษฎีการแปลงสัญญาณแอนะล็อก เป็น ดิจิตอลจะนำมาใช้ในการประมวลผลใน พีไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทฤษฎีของหน้าจอแอลซีดี ศึกษาเพื่อที่จะนำมาใช้ร่วมกับ พีไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการแสดงค่าที่ทำการวัดออกมาได้ และทฤษฎีของเลเซอร์พอยต์เตอร์ ศึกษาชนิดและการทำงานของเลเซอร์พอยเตอร์เพื่อเลือกใช้เลเซอร์พอยเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด

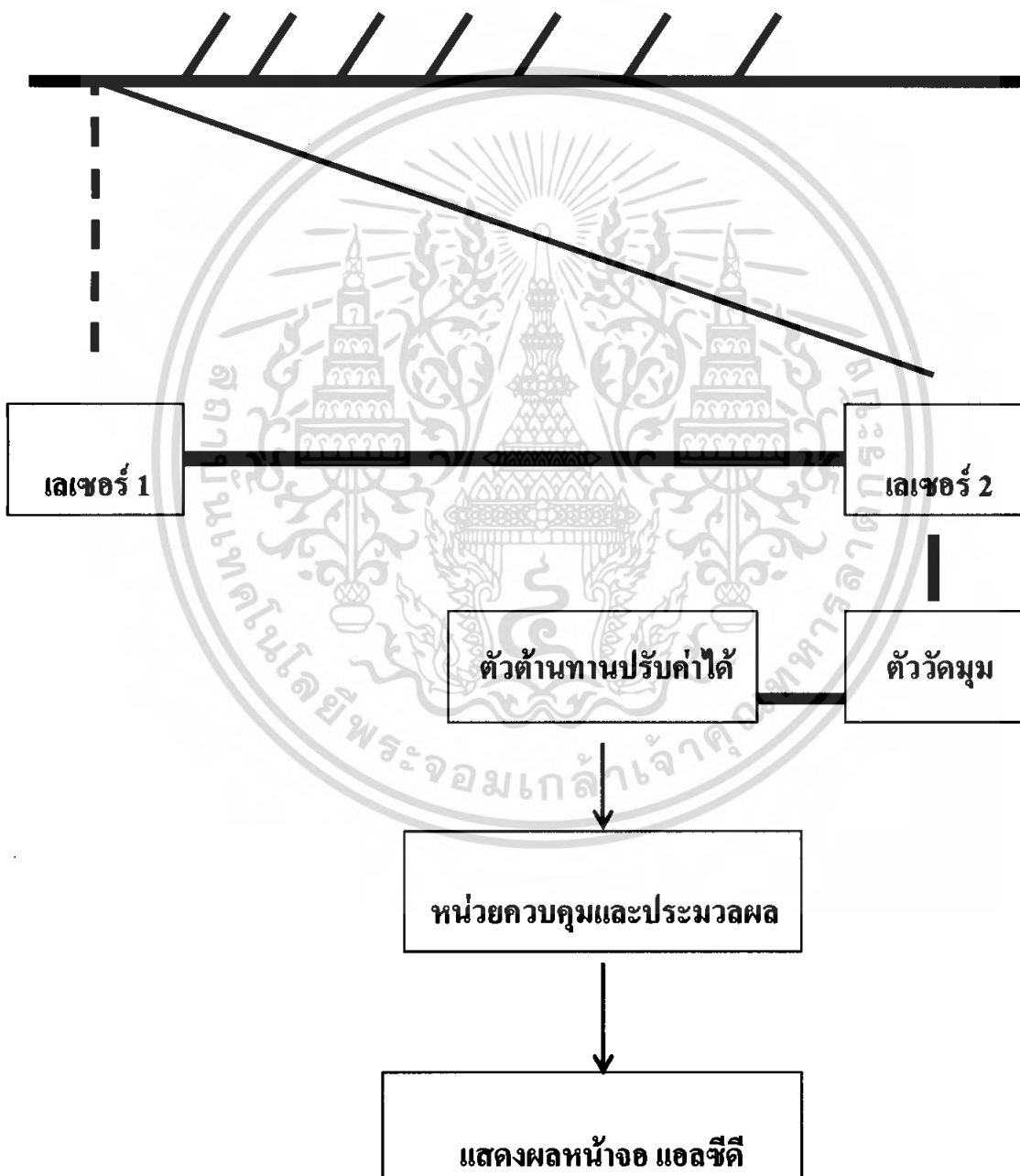


บทที่ 3

โครงสร้างของระบบและระบบการทำงาน

ในการออกแบบเครื่องวัดระยะ เมื่อเข้าใจถึงหลักการและทฤษฎีที่จะใช้ในการวัดแล้ว จึงพิจารณาส่วนย่อยต่างๆ อันประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นโครงสร้างของระบบ ส่วนที่เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ

3.1 โครงสร้างของระบบ



รูปที่ 3.1 โครงสร้างการทำงานของเครื่องวัดระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นภาพไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบนี้จะมีหลักการทำงานคือ เลเซอร์ตัวที่ 1 จะยิงไปยังผนังหรือฉากที่ต้องการจะวัด จากนั้นจะทำการเล็งเลเซอร์ตัวที่ 2 ไปยังจุดเดียวกันกับที่เลเซอร์ตัวที่ 1 ซึ่งอยู่ เราจะทราบค่ามุมที่เปลี่ยนไปจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานที่เราปรับค่าไป จากนั้นค่าความต้านทานก็จะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ทำการประมวลผลจากค่ามุมที่ได้ และแสดงค่าระยะทางออกมาทางจอแอลซีดี ดังรูปที่ 3.1

จากรูปที่ 3.1 เห็นว่าการสร้างเครื่องวัดระยะทางจะประกอบด้วยส่วนหลักๆ ดังนี้คือ

- เลเซอร์พอยต์เตอร์ ตัวที่ 1 และตัวที่ 2
- ชุดวัดมุม (ชุดเฟืองทด)
- ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

3.1.1 เลเซอร์พอยต์เตอร์ ตัวที่ 1 และตัวที่ 2

เลเซอร์พอยต์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอุปกรณ์หนึ่งสำหรับโครงงานนี้เนื่องจาก เลเซอร์พอยต์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบตำแหน่งที่จะทำการวัดค่า เพื่อให้อุปกรณ์วัดมุมสามารถวัดค่ามุมและส่งค่ามุมไปยังตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการสร้างเครื่องวัดระยะทางจะมีการวางตำแหน่งขอเลเซอร์พอยต์เตอร์ 2 ตัว ดังนี้

- เลเซอร์พอยต์เตอร์ ตัวที่ 1 จะเป็นตัวที่วางอยู่กับที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายตำแหน่งได้โดยติดอยู่กับแกนในแนวระนาบ โดยจะยิงแสงเลเซอร์ออกไปยังผนังหรือฉากรับเป็นเส้นตรงตั้งฉากกับแนวระนาบ ซึ่งติดตั้งเลเซอร์พอยต์เตอร์ ตัวที่ 1 แสดง ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตัวเลเซอร์พอยต์เตอร์ที่ติดกับแกนแนวระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

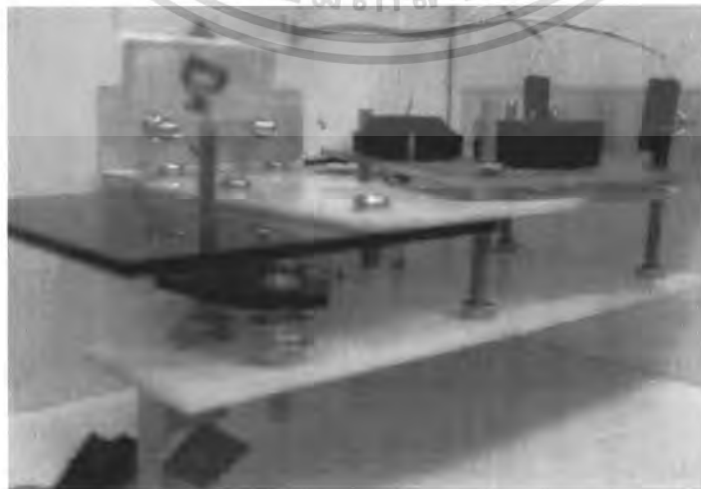
- เลเซอร์พอยต์เตอร์ตัวที่ 2 จะวางเชื่อมติดกับชุดวัดมุมในแนวเดียวกันกับเลเซอร์พอยต์เตอร์ตัวที่ 1 โดยจะยิงแสงเลเซอร์ออกไปให้ทำมุมกับแนวระนาบ มุมที่วัดได้จะเปลี่ยนแปลงไปตามการหมุนปรับค่าที่ชุดวัดมุม โดยการติดตั้งเลเซอร์พอยต์เตอร์ ตัวที่ 2 แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ตัวเลเซอร์พอยต์เตอร์ ที่ติดกับตัววัดมุม

3.1.2 ชุดวัดมุม (ชุดเฟืองทด)

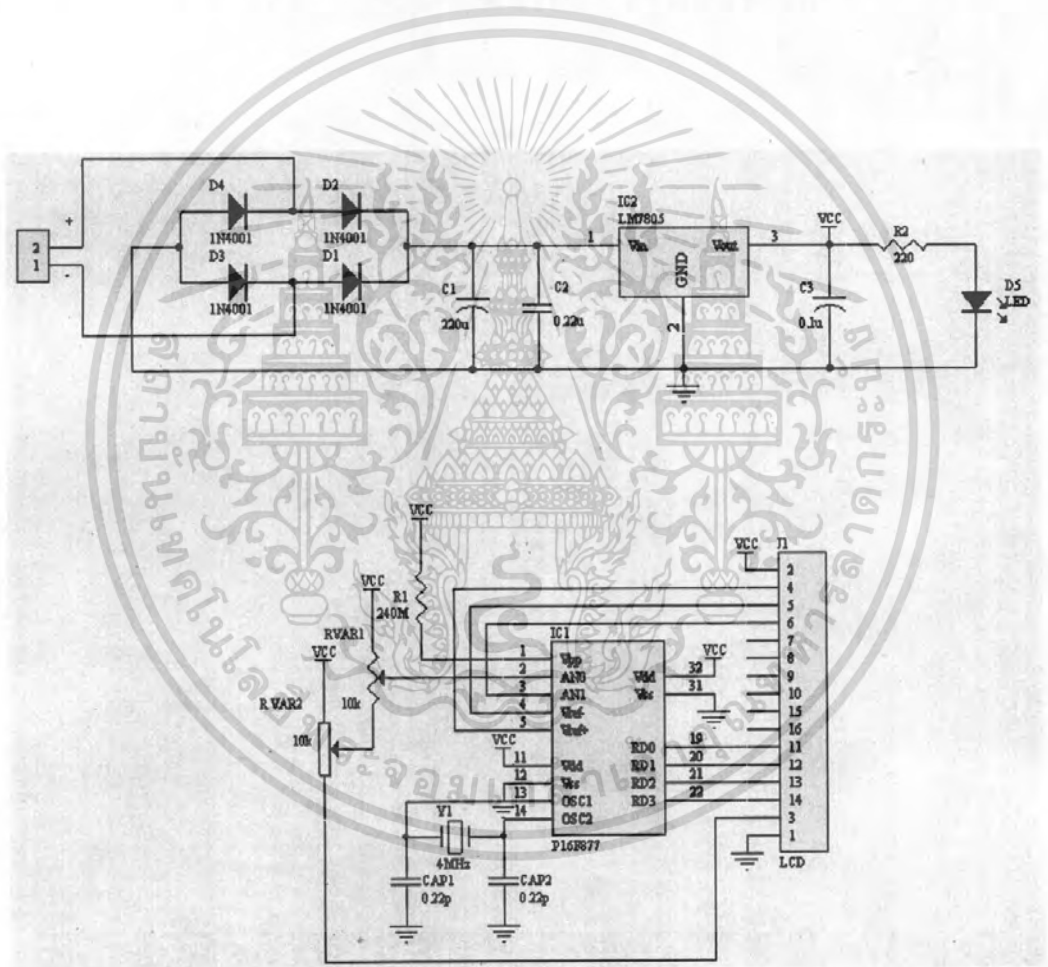
ชุดวัดมุมเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอีกอุปกรณ์หนึ่งที่ใช้ในการหาระยะทางเพราะความแม่นยำในการวัดระยะนั้นขึ้นอยู่กับความแม่นยำในการวัดมุมด้วย (ในการวัดมุมจะสร้างอุปกรณ์วัดมุมขึ้นมาเองโดยมีอุปกรณ์หลัก ๆ ที่ใช้) โดยอุปกรณ์หลักๆ ที่ใช้ในการสร้างชุดวัดมุมคือเฟืองทดกับตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยมีการวางรูปแบบของเฟืองทด ดังรูปที่ 3.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.4 ชุดวัดมุมที่อยู่ภายในกล่อง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

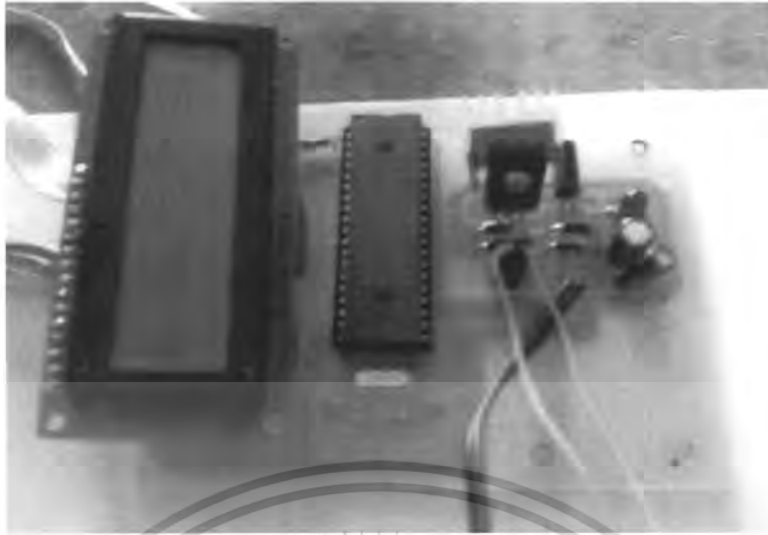
3.1.3 ตัว พีไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์

ตัว ไมโครคอนโทรลเลอร์ นั้นมีหลายชนิดเช่น แซด-80(Z-80) เอ็มซีเอส-51(MCS-51) พีไอซี(PIC) โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่กล่าวมานั้นมีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นตามลำดับ ในโครงการนี้ได้เลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลพีไอซี จำนวน 40 ขามาใช้ในการประมวลผล เนื่องจากการควบคุมต้องการวงจรในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลซึ่งถ้าใช้ ตระกูลแซด-80 หรือ เอ็มซีเอส-51 จำเป็นจะต้องมีวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแต่ ตระกูลพีไอซี มีวงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอล ในตัวเองแล้วจึงสะดวกต่อการใช้งานสำหรับการนำ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลพีไอซีไปใช้งานนั้นมีวงจร ดังรูปที่ 3.5(ก) และรูปที่ 3.5(ข)



รูปที่ 3.5 (ก) วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลพีไอซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

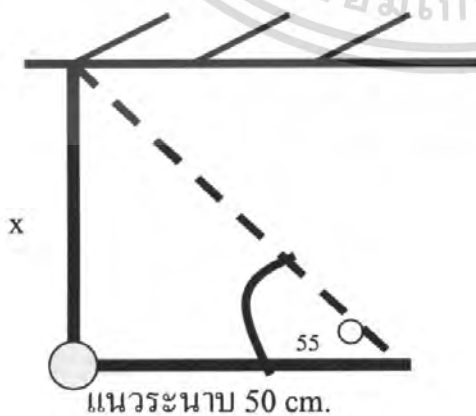


รูปที่ 3.5(ข) วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลพีไอซี

3.2 หลักการคำนวณ

เมื่อเราทำการปรับค่าตัวต้านทานเพื่อหาค่ามุมระหว่าง เลเซอร์พอยต์เตอร์ ตัวที่ 2 กับแนวระนาบ(50 ซม.) จะได้ค่าแรงดันที่เกิดจากการปรับค่าความต้านทาน จากนั้นนำค่าแรงดันที่ได้ผ่าน วงจรแปลงสัญญาณ แอนะล็อก เป็น สัญญาณดิจิทัล แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่ามุมที่แท้จริง จากนั้นเมื่อเราทราบค่ามุมที่แท้จริงแล้วก็จะนำค่าของมุนนั้น มาแทนเข้าไปใน สมการตรีโกณมิติ ข้างต้น คือสมการที่ $2.3 \tan a = \text{ข้าม} / \text{ชิด}$ ก็จะได้ค่าของระยะทางที่เราต้องการหาออกมา ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสัญญาณดิจิตอลที่หาได้เมื่อนำไปเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์แปลงค่าจากแอนะล็อกเป็นดิจิตอล แล้วได้ค่ามุมเท่ากับ 55 องศา จากนั้นแทนสูตร

$$\tan A = \text{ข้าม} / \text{ชิด}$$

$$\tan 55 = x / 50$$

$$x = 1.428 * 50$$

$$x = 71.41 \text{ ซม.}$$

จะได้ระยะทางที่วัดได้ เท่ากับ 71.41 ซม.

3.3 วิธีการดำเนินการ

หลังจากที่ศึกษาข้อมูลต่างๆ มาแล้ว มีวิธีการดำเนินการดังนี้

- 1.) หาข้อมูลและศึกษาการใช้ เลเซอร์พอยต์เตอร์ ที่จะใช้ในการเล็งเฟืองทดที่จะใช้ในการทำตัววัดมุมไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลพีไอซี ที่ใช้ในการประมวลผลและทฤษฎีต่างๆที่ต้องใช้
- 2.) สร้างชุดวัดมุมจากเฟืองทด และตัวด้านทานปรับค่าได้
- 3.) เมื่อสร้างชุดวัดมุมแล้ว เริ่มทำการเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการแปลงหาค่ามุม และโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาระยะทาง
- 4.) นำเลเซอร์พอยต์เตอร์ ชุดวัดมุม วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ มาประกอบกันเป็นเครื่องวัดระยะ
- 5.) แก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นและปรับปรุงให้วัดระยะได้มีความแม่นยำมากที่สุด

3.4 รูปแบบของชิ้นงาน

จากการทำโครงการเครื่องวัดระยะด้วยเลเซอร์ ท้ายที่สุดรูปแบบของชิ้นงานจะออกมาในลักษณะของกล่องเครื่องมือขนาด 30 x 14.5 x 10.5 ซม เลเซอร์พอยต์เตอร์ ทั้ง 2 ตัวจะมีระยะห่างกัน 50 ซม. โดยมีอุปกรณ์ในการช่วยวัดได้แก่

1. แกนต่อกับแนวระนาบยาวไปอีก 20 ซม. เพื่อเพิ่มแนวระนาบ

2. ขาดัง ดังรูปที่ 3.8และรูปที่ 3.9 เป็นอุปกรณ์ไว้สำหรับช่วยในการตั้งกล่องเครื่องวัดระยะให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อยู่ในสภาพที่นิ่ง เพื่อช่วยให้ค่าที่วัดได้นิ่งและลดค่าความคลาดที่อาจจะเกิดจากการถือของผู้ทำการวัด เพราะถ้าใช้มือผู้ทำการวัดถือ อาจทำให้การวัดคลาดเคลื่อนได้
3. จอแอลซีดี ดังรูปที่ 3.6 ไว้ใช้สำหรับแสดงผลค่ามุมและค่าระยะทางที่วัดได้
 4. แบตเตอรี่ 12 โวลต์ ไว้จ่ายไฟให้กับวงจร ดังรูป 3.7
 5. ชุดวัดมุม ประกอบด้วยเฟืองทดรอบและตัวต้านทานปรับค่าได้ ดังรูป 3.7
 6. วงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลพีไอซี วงจรแปลงไฟ 5 โวลต์ วงจรแสดงผลทางจอแอลซีดีไว้ใช้ในการประมวลผลและแสดงผล

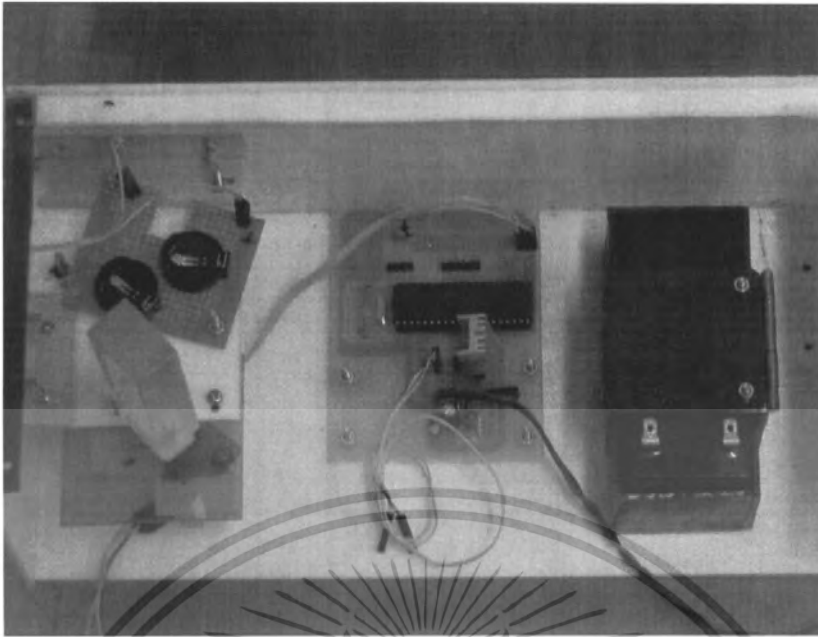
ในส่วนของโครงสร้างของระบบจะประกอบด้วย เลเซอร์ ตัวที่ 1 และ ตัวที่ 2 ชุดวัดมุม (ชุดเฟืองทด) ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลพีไอซี และในส่วนของระบบการทำงานนั้นจะใช้เลเซอร์ตัวที่ 2 ในการปรับมุมที่ตรงกับตำแหน่งที่เลเซอร์ตัวที่ 1 ชี้อยู่ จากนั้นจะนำค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปตามค่ามุมที่เปลี่ยนไปมาทำการคำนวณหาระยะทางที่ต้องการโดยอาศัยการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลพีไอซี จากนั้นจะแสดงผลออกทางหน้าจอแอลซีดี

วิธีการดำเนินงานนั้นจะเริ่มจากการศึกษาหาข้อมูลการใช้เลเซอร์ ข้อมูลการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลพีไอซี และข้อมูลการใช้งานจอแอลซีดี จากนั้นก็ทำการสร้างชุดวัดมุม(ชุดเฟืองทด) และทำการประกอบวงจรต่างๆรวมทั้งตัวเลเซอร์ทั้ง 2 ตัว เข้าด้วยกันก็จะได้ชิ้นงานเป็นกล่องอุปกรณ์ขนาด 30 x 14.5 x 10.5 เซนติเมตร



รูปที่ 3.6 หน้าจอแอลซีดีแสดงผลมุมและระยะที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

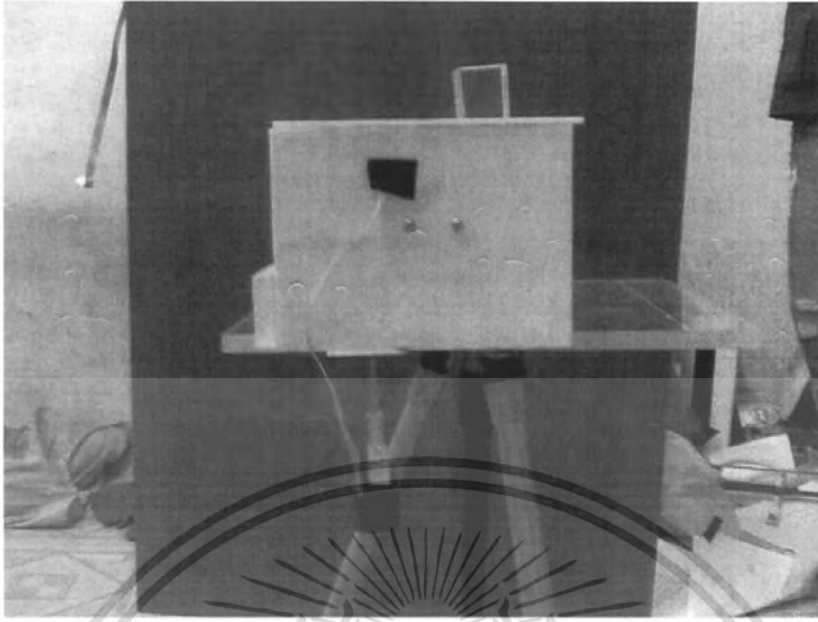


รูปที่ 3.7 อุปกรณ์ภายในเครื่องวัดระยะ



รูปที่ 3.8 ด้านหน้าเครื่องวัดระยะเมื่อติดตั้งกับขาตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ด้านข้างเครื่องวัดระยะเมื่อติดตั้งกับขาตั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง

ในบทนี้ จะกล่าวถึงการทดลองวัดระยะจากเครื่องวัดระยะเครื่องนี้ โดยมีรายละเอียดในการทดลองดังนี้

4.1 การทดลองค่าบิต

ในส่วนนี้จะเป็นการทดลองว่าเมื่อเราใช้แรงดัน 5 โวลต์เทียบกับค่าบิต 1023 บิต แล้วคำนวณดังสูตร $1023 \text{ บิต} / 5 \text{ โวลต์} = X \text{ บิต} / (\text{เพิ่มทีละ} 0.2 \text{ โวลต์})$ บิตจะเพิ่มขึ้นเท่าไร เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นทีละ 0.2 โวลต์ และเมื่อทำการทดลองจริงจะได้ค่าบิตดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตัวอย่างการคำนวณ

$$1023 \text{ บิต} / 5 \text{ โวลต์} = X \text{ บิต} / 0.2 \text{ โวลต์}$$

$$X \text{ บิต} = (1023 \text{ บิต} / 5 \text{ โวลต์}) * 0.2 \text{ โวลต์}$$

$$X = 40.92 \text{ บิต} \text{ เป็นต้น}$$

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดลองระหว่างค่าบิตที่ได้จากการคำนวณกับค่าบิตที่ใช้จริง

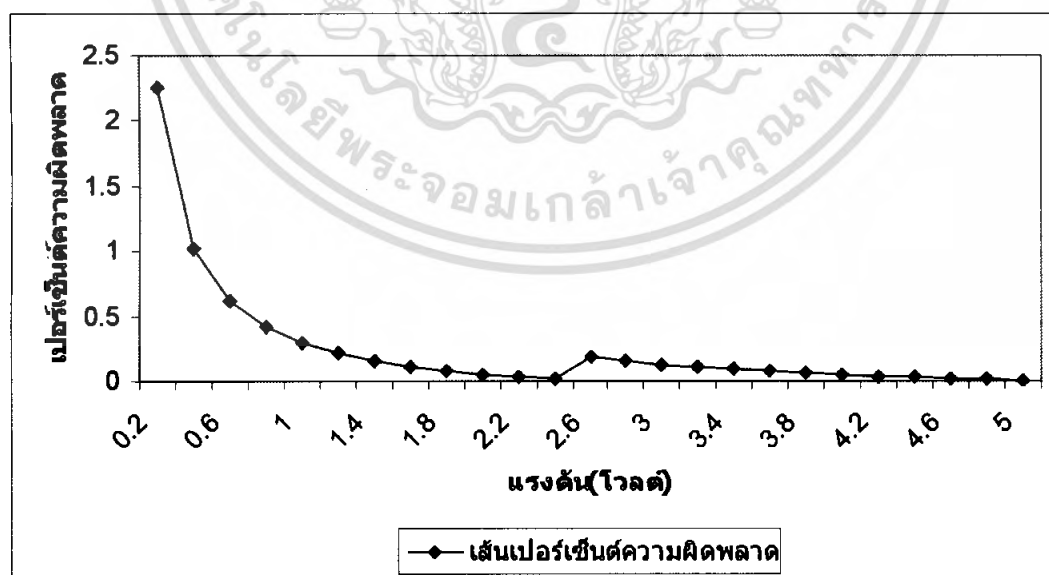
แรงดัน(โวลต์)	ค่าบิตที่ได้จากการคำนวณ	ค่าบิตที่ใช้จริง	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
0.2	40.92	40	2.248
0.4	81.84	81	1.026
0.6	122.76	122	0.619
0.8	163.68	163	0.415
1.0	204.60	204	0.293
1.2	245.52	245	0.211
1.4	286.44	286	0.154
1.6	327.36	327	0.11
1.8	368.28	368	0.076
2.0	409.20	409	0.049
2.2	450.12	450	0.027
2.4	491.04	491	0.008
2.6	531.96	531	0.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดลองระหว่างค่าบิตที่ได้จากการคำนวณกับค่าบิตที่แท้จริง (ต่อ)

แรงดัน(โวลต์)	ค่าบิตที่ได้จากการคำนวณ	ค่าบิตที่แท้จริง	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
2.8	572.88	572	0.153
3.0	613.80	613	0.130
3.2	654.72	654	0.110
3.4	695.64	695	0.092
3.6	736.56	736	0.076
3.8	777.48	777	0.062
4.0	818.40	818	0.049
4.2	859.32	859	0.037
4.4	900.24	900	0.027
4.6	941.15	941	0.017
4.8	982.08	982	0.008
5.0	1023	1023	0

จากตารางที่ 4.1 นำมาพล็อตเป็นกราฟเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างบิตที่ได้จากการคำนวณและบิตที่แท้จริงได้ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างค่าบิตที่คำนวณได้กับค่าบิตที่แท้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่ได้ทำให้ทราบว่าเมื่อเราทำการปรับค่าแรงดันไปที่ละ 0.2 โวลต์จะทำให้ค่าบิตเปลี่ยนแปลงไป 40.92 บิตตามการคำนวณ แต่ตามความเป็นจริงแล้วนั้นค่าบิตที่ได้จะไม่คิดจุดทศนิยม โดยมีค่าความผิดพลาดสูงสุดเกิดขึ้นที่แรงดัน 0.2 โวลต์ มีค่าความผิดพลาดสูงสุด 2.248 เปอร์เซ็นต์

4.2 การทดลองวัดมุม

ในส่วนนี้จะเป็นการทดลองวัดมุมจากเครื่องวัดระยะ ว่ามุมที่วัดได้จริงตรงตามที่เครื่องแสดงหรือไม่ โดยเปรียบเทียบมุมที่เครื่องแสดงซึ่งได้จากการคำนวณ และมุมที่วัดได้จริงดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการทดลองระหว่างค่ามุมที่เครื่องแสดงกับมุมที่วัดได้จริง

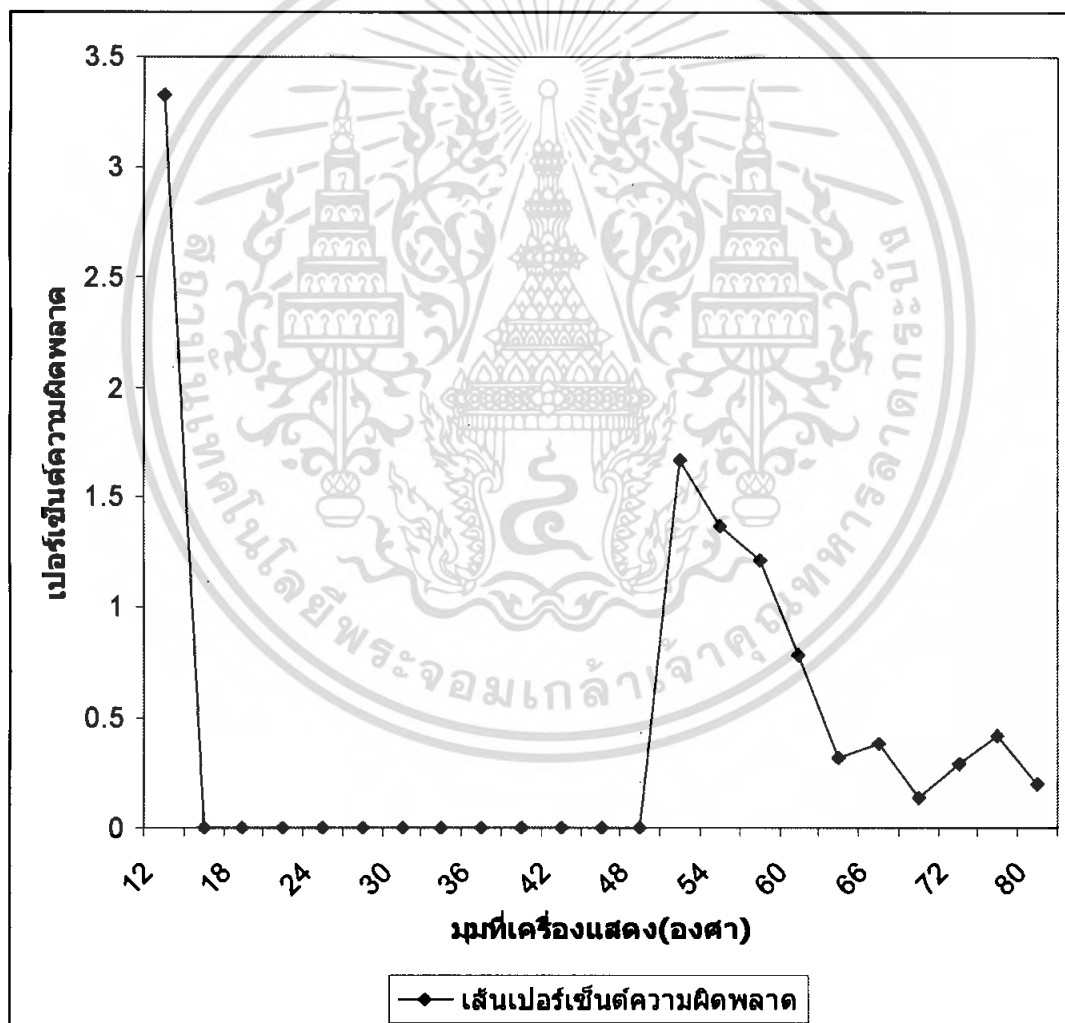
มุมที่เครื่องแสดง(องศา)	มุมที่วัดได้จริง(องศา)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
12	12.4	3.33
15	15	0
18	18	0
21	21	0
24	24	0
27	27	0
30	30	0
33	33	0
36	36	0
39	39	0
42	42	0
45	45	0
48	48	0
51	50.19	1.67
54	53.26	1.37
57	56.31	1.21
60	59.55	0.78
63	63.2	0.32
66	65.75	0.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปตีพิมพ์หรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการทดลองระหว่างค่ามุมที่เครื่องแสดงกับมุมที่วัดได้จริง (ต่อ)

มุมที่เครื่องแสดง(องศา)	มุมที่วัดได้จริง(องศา)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
69	69.10	0.14
72	71.79	0.29
76	75.68	0.42
80	79.84	0.20

จากตารางที่ 4.2 นำมาพล็อตเป็นกราฟเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างมุมที่เครื่องแสดงกับมุมที่วัดได้จริงได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างมุมที่เครื่องแสดงกับมุมที่วัดได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลอง ทำให้ทราบว่าค่ามุมที่เครื่องแสดงนั้นมีค่าความผิดพลาดสูงสุดที่มุม 12 องศา มีค่าความผิดพลาด 3.33 เปอร์เซ็นต์

4.3 การทดลองวัดระยะ

ในส่วนนี้จะเป็นการทดลองวัดระยะจากเครื่องวัดระยะว่าระยะที่วัดได้จริงตรงตามที่เครื่องแสดงหรือไม่ โดยเปรียบเทียบระยะที่เครื่องแสดงซึ่งได้จากการคำนวณ และระยะทางที่วัดได้จริงดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลการทดลองวัดระยะทางจากเครื่องวัดระยะ

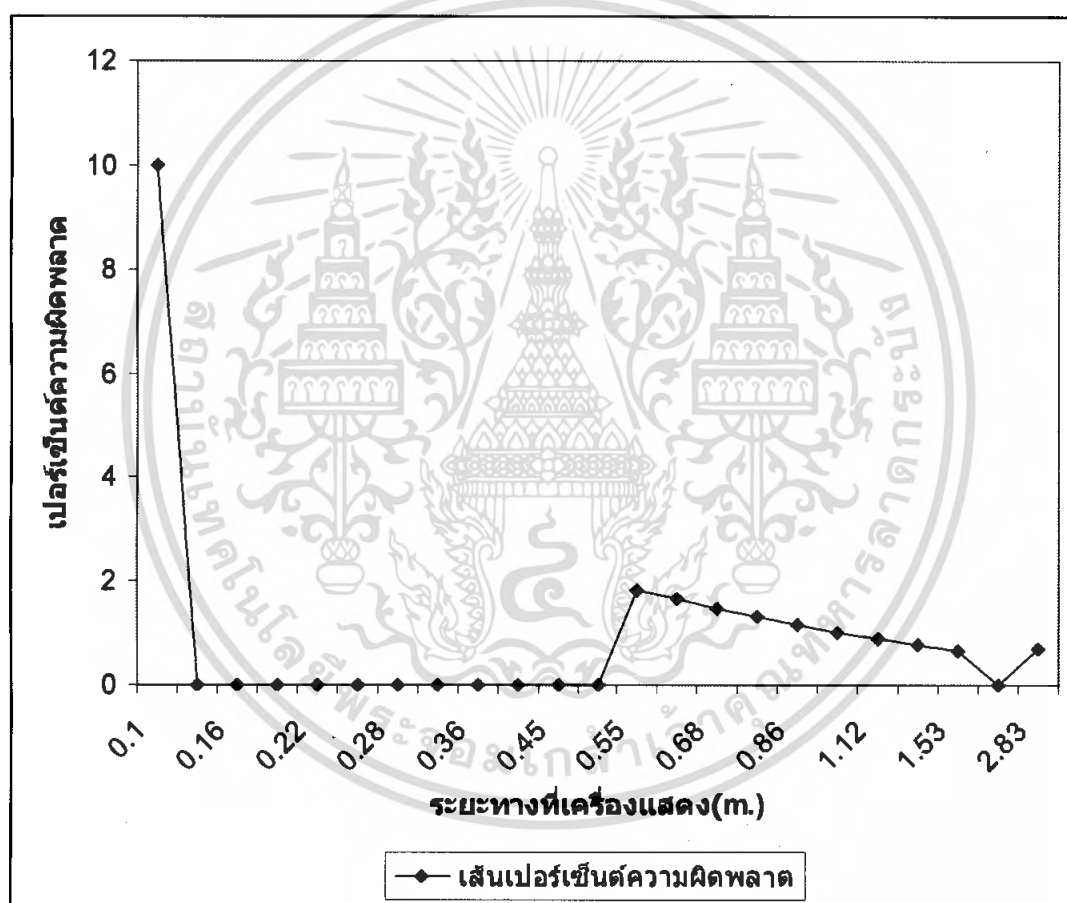
ระยะทางที่เครื่องแสดง(m.)	ระยะทางจริง(m.)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
0.10	0.11	10
0.13	0.13	0
0.16	0.16	0
0.19	0.19	0
0.22	0.22	0
0.25	0.25	0
0.28	0.28	0
0.32	0.32	0
0.36	0.36	0
0.40	0.4	0
0.45	0.45	0
0.49	0.49	0
0.55	0.54	1.81
0.61	0.60	1.67
0.68	0.67	1.47
0.76	0.75	1.31
0.86	0.85	1.16
0.98	0.99	1.02
1.12	1.11	0.89
1.30	1.31	0.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลการทดลองวัดระยะทางจากเครื่องวัดระยะ (ต่อ)

ระยะทางที่เครื่องแสดง(ม.)	ระยะทางจริง(ม.)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
1.53	1.52	0.65
2.00	2	0
2.83	2.81	0.7

จากตารางที่ 4.3 นำมาพล็อตเป็นกราฟเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างระยะทางที่เครื่องแสดงกับระยะทางจริงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างระยะทางที่เครื่องแสดงและระยะทางจริง

จากการทดลองวัดระยะทางทำให้ทราบว่าค่าระยะทางที่เครื่องแสดงมีค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ระยะ 0.1 เมตร มีค่าความผิดพลาด 10 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองวัดระยะจะเห็นว่าค่าความผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ระยะ 0.1 เมตร ซึ่งมีผลมาจากการที่ตัววัดมุมและค่ามิติที่อยู่ในตำแหน่งเดียวกันนั้นมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูง และในช่วงระยะตั้งแต่ 0.55 ถึง 2.83 เมตรค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีผลมาจากการที่ตัววัดมุมเกิดความคลาดเคลื่อนทำให้การวัดระยะทางเกิดความคลาดเคลื่อนตาม

แนวทางการแก้ไข ควรจะเปลี่ยนตัววัดมุมให้มีความละเอียดในการวัดที่มากขึ้นโดยใช้เฟืองที่ทำเป็นตัววัดมุมให้มีขนาดของฟันเฟืองที่เล็กลงและมีความถี่ของฟันเฟืองมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุป

โครงการนี้เป็นโครงการที่ทำการสร้างเครื่องมือวัดระยะทาง ที่มีขอบเขตในการวัดตั้งแต่ 0.1-2.8 เมตร โดยใช้เงินต้นทุนที่ต่ำในการสร้างเครื่องมือ วิธีในการดำเนินงานนั้นจะเริ่มจากการศึกษาการทำงานของ วงจร พีไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์ ชุดวัดมุม(ชุดเฟืองทด) ตัวเลเซอร์พอยต์เตอร์ และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ จากนั้นก็จะทำการนำ อุปกรณ์และวงจรเหล่านี้มาประกอบขึ้นรูปเป็นกล่องเครื่องมือ ขนาด 30x14.5x10.5 เซนติเมตร โดยมีระบบการทำงานดังนี้ เริ่มแรกเลเซอร์พอยต์เตอร์ ตัวที่ 1 จะยิงไปยังผนังหรือฉากที่ต้องการจะวัดจากนั้นจะทำการปรับตัวเลเซอร์พอยต์เตอร์ตัวที่ 2 และเล็งไปยังจุดเดียวกันกับที่ เลเซอร์พอยต์เตอร์ตัวที่ 1 ชี้อยู่ ผลจากการปรับค่า เลเซอร์พอยต์เตอร์ตัวที่ 2 จะทำให้เราทราบค่ามุมที่เปลี่ยนไปจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความด้านทานที่เราปรับค่าไป จากนั้นค่าความด้านทานก็จะถูกส่งไปยัง พีไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้ทำการประมวลผลจากค่ามุมที่ได้ จากนั้นจะแสดงค่าระยะทางและมุมออกมาทางจอ แอลซีดี

เมื่อนำเครื่องมือวัดระยะทางมาทำการทดลองวัดระยะจริง จะเห็นว่าเครื่องมือวัดระยะสามารถวัดมุมได้ที่ละ 3 องศา ทำให้มีความละเอียดในการวัดน้อย เมื่อทำการวัดระยะในระยะ 30 ซม. ถึงระยะ 60 ซม. ระยะที่เครื่องมือวัดได้กับระยะทางจริงมีความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย แต่ที่ระยะตั้งแต่ 65 ซม. ถึงระยะ 283 ซม. ระยะที่เครื่องมือวัดได้กับระยะทางจริงยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่มาก ซึ่งเกิดจากการวัดมุมระหว่าง เลเซอร์ที่ติดกับเครื่องมือวัดมุม กับแนวระนาบมีความละเอียดไม่พอทำให้การวัดมุมออกมาค่อนข้างหยาบ และส่งผลต่อการคำนวณระยะทางที่วัดได้

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

- 1.) หัวเลเซอร์ทั้ง 2 ตัว ยิงแสงเลเซอร์ออกมาไม่เป็นแนวเส้นตรง
การแก้ไข ต้องทำการยึดหัวเลเซอร์ให้แน่น และทำการเล็งให้ยิงแสงเลเซอร์ให้เป็นแนวตรง
- 2.) การวัดมุมระหว่างเลเซอร์ที่ติดกับเครื่องมือวัดมุม กับแนวระนาบมีความละเอียดไม่พอ โดยสามารถวัดได้ที่ละ 3 องศา เท่านั้น ทำให้การวัดมุมออกมาหยาบ และส่งผลต่อการคำนวณระยะทางที่วัดได้

การแก้ไข สร้างอุปกรณ์การวัดมุมให้มีความละเอียดมากขึ้น โดยอาจจะทำการเลือกใช้เฟืองที่มีขนาดฟันเฟืองที่มีขนาดเล็กลงและมีจำนวนฟันเฟืองที่ถี่และละเอียดขึ้นก็จะทำให้การวัดมีความแม่นยำมากขึ้นและอาจจะสามารถวัดได้ที่ละ 1 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

โดยเครื่องวัดระยะด้วยเลเซอร์ในโครงการนี้สามารถวัดระยะได้ 1 แนว และกำหนดระยะระหว่าง เลเซอร์ตัวที่ 1 กับ ตัวที่ 2 เป็นระยะที่คงที่ ควรมีการพัฒนาเครื่องวัดระยะด้วยเลเซอร์ของโครงการนี้ ให้สามารถวัดระยะได้ 2 แนว และสามารถเปลี่ยนแปลงระยะระหว่าง เลเซอร์ตัวที่ 1 กับ ตัวที่ 2 ให้ได้หลากหลายค่ามากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ประจัน พลังสันติกุล. “เรียนรู้และใช้งาน CCS C คอมไพเลอร์ เขียนโปรแกรมภาษา C ควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC.” ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร-บัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2549.
- [2] <http://th.wikipedia.org/wiki> . “ทฤษฎีทางตรีโกณมิติ” ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร-บัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2549.
- [3] <http://kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK20/chapter5/120-5-12.htm#sect1>. “สามสัมพัทธ์เบื้องต้น วัฒนธรรม ประเทศไทย เรื่องเทคโนโลยีด้านเลเซอร์ในสันติภาพและสงคราม.” ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร-บัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2549.

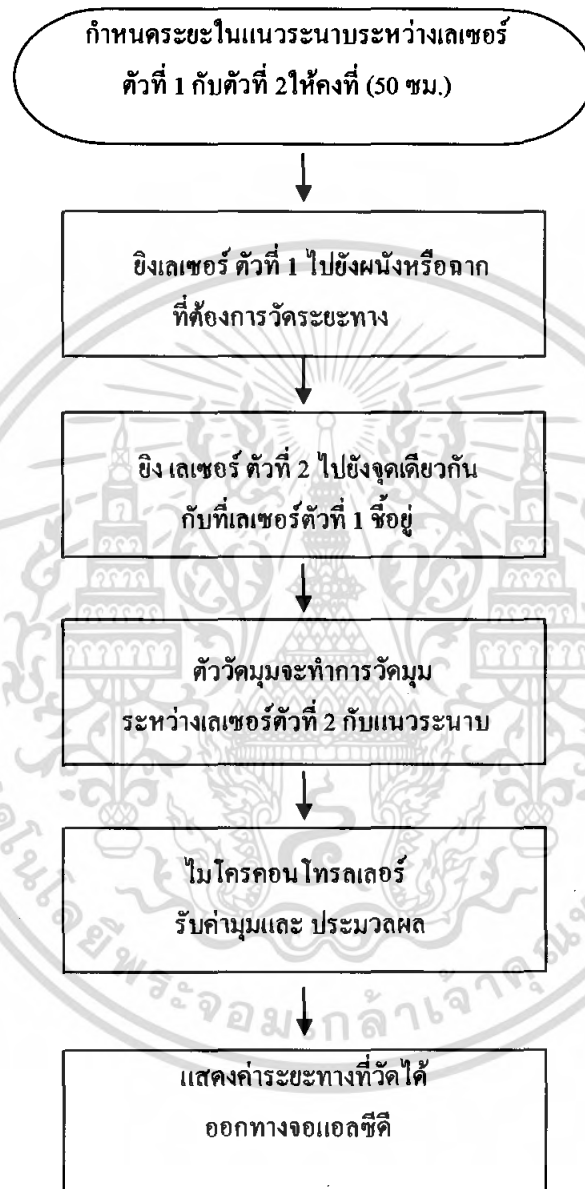
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

Flow Chart แสดงระบบการทำงาน



แผนภาพการทำงานของเครื่องวัดระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์



SEMICONDUCTOR

7805

FORWARD INTERNATIONAL ELECTRONICS LTD.

TECHNICAL DATA

LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

3-TERMINAL POSITIVE VOLTAGE
REGULATOR

2

FEATURES

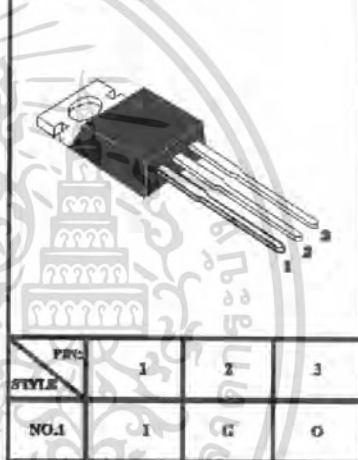
- *Output current in Excess Of 1A
- *Fixed output voltage of 5V available
- *Thermal overload shutdown protection
- *Short circuit current limiting
- *Output transistor SOA protection

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

(Operating temperature range applies unless otherwise specified)

Characteristic	Symbol	Rating	Unit
Input voltage	V_I	35	V
Output Current	I_O	1.5	A
Power Dissipation	P_D	limited	mW
Operating Junction Temperature Range	T_{OJK}	-20~150	$^{\circ}C$
Storage Temperature Range	T_{STG}	-55~150	$^{\circ}C$

Package: TO-220

ELECTRICAL CHARACTERISTICS at $T_{amb}=25^{\circ}C$ $(V_I=10V, I_O=0.5A, 0^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C, C_I=0.33\mu F, C_O=0.1\mu F, \text{ unless otherwise specified})(\text{Note 1})$

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions
Output Voltage	V_O	4.8	5	5.2	V	$T_J=25^{\circ}C$
Output Voltage	V_O	4.75		5.25	V	$8V \leq V_I \leq 20V, I_O=5mA-1.0A, PD < 15W$
Load Regulation	ΔV_O		1.3	100	mV	$T_J=25^{\circ}C, I_O=5mA-1.5A$
Load Regulation	ΔV_O		0.15	50	mV	$T_J=25^{\circ}C, I_O=0.25A-0.75A$
Line Regulation	ΔV_O		5	100	mV	$7V \leq V_I \leq 25V, T_J=25^{\circ}C$
Line Regulation	ΔV_O		1.3	50	mV	$8V \leq V_I \leq 12V, T_J=25^{\circ}C$
Quiescent Current	I_q		3.2	8	mA	$T_J=25^{\circ}C$
Quiescent Current Change	ΔI_q			1.3	mA	$8V \leq V_I \leq 25V$
Quiescent Current Change	ΔI_q			0.5	mA	$5mA \leq I_O \leq 1.0A$
Output Noise Voltage	V_N		10		μV	$10Hz \leq f \leq 100kHz$
Temperature coefficient of V_O	$\Delta V_O / \Delta T$		-0.30		mV/ $^{\circ}C$	
Ripple Rejection	RR		68		dB	$8V \leq V_I \leq 18V, f=120Hz, T_J=25^{\circ}C$
Peak Output Current	I_{pk}		2.2		A	$T_J=25^{\circ}C$
Short-Circuit Current	I_{sc}		200		mA	$V_I=35V, T_J=25^{\circ}C$
Dropout Voltage	V_D		2.0		V	$T_J=25^{\circ}C, I_O=1A$

Note1: The maximum steady state usable output current is dependent on input voltage, heat sinking, lead length of the package and copper pattern of PCB. The data above represent pulse test conditions with junction temperatures specified at the initiation of test.



Section 23. 10-bit A/D Converter

HIGHLIGHTS

This section of the manual contains the following major topics:

23.1	Introduction	23-2
23.2	Control Register	23-3
23.3	Operation	23-5
23.4	A/D Acquisition Requirements	23-6
23.5	Selecting the A/D Conversion Clock	23-8
23.6	Configuring Analog Port Pins	23-9
23.7	A/D Conversions	23-10
23.8	Operation During Sleep	23-14
23.9	Effects of a Reset	23-14
23.10	A/D Accuracy/Error	23-15
23.11	Connection Considerations	23-16
23.12	Transfer Function	23-16
23.13	Initialization	23-17
23.14	Design Tips	23-18
23.15	Related Application Notes	23-19
23.16	Revision History	23-20

Note 1: At present NO released mid-range MCLD devices are available with this module. Devices are planned, but there is no schedule for availability. Please refer to Microchip's Web site or BBS for release of Product Briefs which detail the features of devices.

If your current design requires a 10-bit A/D, please look at the PIC17C756 which has a 12-channel 10-bit A/D. This A/D has characteristics which are identical to this module's description.

PRELIMINARY

PICmicro MID-RANGE MCU FAMILY

23.1 Introduction

The analog-to-digital (A/D) converter module can have up to eight analog inputs for a device.

The analog input charges a sample and hold capacitor. The output of the sample and hold capacitor is the input into the converter. The converter then generates a digital result of this analog level via successive approximation. This A/D conversion, of the analog input signal, results in a corresponding 10-bit digital number.

The analog reference voltages (positive and negative supply) are software selectable to either the device's supply voltages (AVDD, AVSS) or the voltage level on the AN3/VREF+ and AN2/VREF- pins.

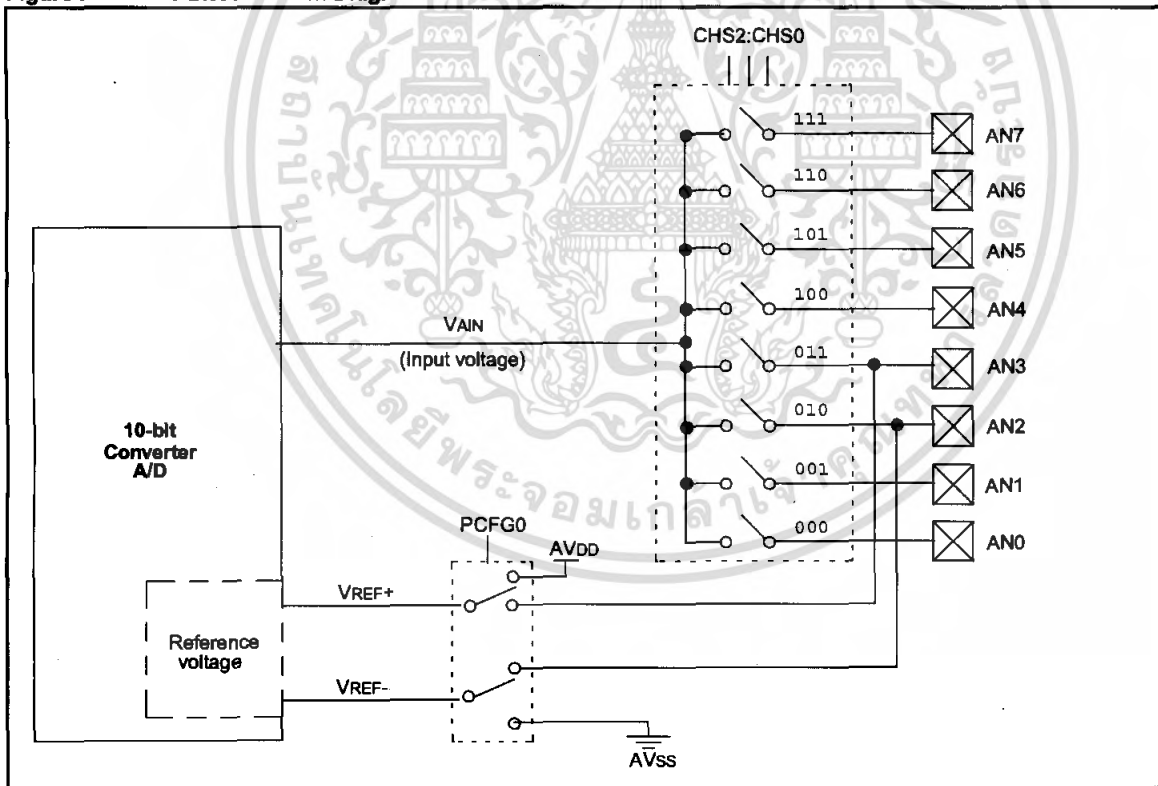
The A/D converter has a unique feature of being able to operate while the device is in SLEEP mode.

The A/D module has four registers. These registers are:

- A/D Result High Register (ADRESH)
- A/D Result Low Register (ADRESL)
- A/D Control Register0 (ADCON0)
- A/D Control Register1 (ADCON1)

The ADCON0 register, shown in Figure 23-1, controls the operation of the A/D module. The ADCON1 register, shown in Figure 23-2, configures the functions of the port pins. The port pins can be configured as analog inputs (AN3 and AN2 can also be the voltage references) or as digital I/O.

Figure 23-1: 10-bit A/D Block Diagram



Section 23. 10-bit A/D Converter

23.2 Control Register

Register 23-1: ADCON0 Register

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON
						bit 7	bit 0

bit 7:6 **ADCS1:ADCS0:** A/D Conversion Clock Select bits

- 00 = Fosc/2
- 01 = Fosc/8
- 10 = Fosc/32
- 11 = FRC (clock derived from the internal A/D RC oscillator)

bit 5:3 **CHS2:CHS0:** Analog Channel Select bits

- 000 = channel 0, (AN0)
- 001 = channel 1, (AN1)
- 010 = channel 2, (AN2)
- 011 = channel 3, (AN3)
- 100 = channel 4, (AN4)
- 101 = channel 5, (AN5)
- 110 = channel 6, (AN6)
- 111 = channel 7, (AN7)

Note: For devices that do not implement the full 8 A/D channels, the unimplemented selections are reserved. Do not select any unimplemented channel.

bit 2 **GO/DONE:** A/D Conversion Status bit

When ADON = 1

- 1 = A/D conversion in progress (setting this bit starts the A/D conversion which is automatically cleared by hardware when the A/D conversion is complete)
- 0 = A/D conversion not in progress

bit 1 **Unimplemented:** Read as '0'

bit 0 **ADON:** A/D On bit

- 1 = A/D converter module is powered up
- 0 = A/D converter module is shut off and consumes no operating current

Legend

R = Readable bit W = Writable bit

U = Unimplemented bit, read as '0' - n = Value at POR reset

PICmicro MID-RANGE MCU FAMILY

Register 23-2: ADCON1 Register

U-0	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	—	ADFM	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7				bit 0			

- bit 7:6 **Unimplemented: Read as '0'**
- bit 5 **ADFM:** A/D Result format select (also see Figure 23-6).
1 = Right justified. 6 Most Significant bits of ADRESH are read as '0'.
0 = Left justified. 6 Least Significant bits of ADRESL are read as '0'.
- bit 4 **Unimplemented: Read as '0'**
- bit 3:0 **PCFG3:PCFG0:** A/D Port Configuration Control bits

PCFG	AN7	AN6	AN5	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0	VREF+	VREF-	C / R
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	AVDD	AVss	8 / 0
0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	AVss	7 / 1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	AVDD	AVss	5 / 0
0011	D	D	D	A	VREF+	A	A	A	AN3	AVss	4 / 1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	AVDD	AVss	3 / 0
0101	D	D	D	D	VREF+	D	A	A	AN3	AVss	2 / 1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	—	—	0 / 0
1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	6 / 2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	AVDD	AVss	6 / 0
1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	AVss	5 / 1
1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	4 / 2
1100	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	3 / 2
1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	2 / 2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	AVDD	AVss	1 / 0
1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	AN3	AN2	1 / 2

A = Analog input D = Digital I/O
C/R = # of analog input channels / # of A/D voltage references

<p>Legend R = Readable bit W = Writable bit U = Unimplemented bit, read as '0' - n = Value at POR reset</p>

Note 1: On any device reset, the port pins that are multiplexed with analog functions (ANx) are forced to be an analog input.

Section 23. 10-bit A/D Converter

23.3 Operation

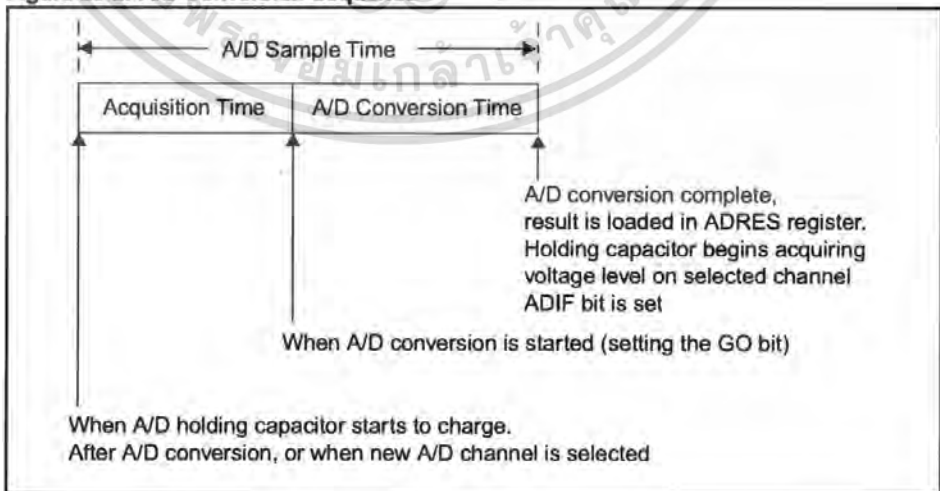
The ADRESH:ADRESL registers contains the 10-bit result of the A/D conversion. When the A/D conversion is complete, the result is loaded into this A/D result register pair, the GO/DONE bit (ADCON0<2>) is cleared, and A/D interrupt flag bit, ADIF, is set. The block diagrams of the A/D module are shown in Figure 23-1.

After the A/D module has been configured as desired, the selected channel must be acquired before the conversion is started. The analog input channels must have their corresponding TRIS bits selected as inputs. To determine sample time, see Subsection 23.4 "A/D Acquisition Requirements." After this acquisition time has elapsed the A/D conversion can be started. The following steps should be followed for doing an A/D conversion:

1. Configure the A/D module:
 - Configure analog pins / voltage reference/ and digital I/O (ADCON1)
 - Select A/D input channel (ADCON0)
 - Select A/D conversion clock (ADCON0)
 - Turn on A/D module (ADCON0)
2. Configure A/D interrupt (if desired):
 - Clear the ADIF bit
 - Set the ADIE bit
 - Set the GIE bit
3. Wait the required acquisition time.
4. Start conversion:
 - Set the GO/DONE bit (ADCON0)
5. Wait for A/D conversion to complete, by either:
 - Polling for the GO/DONE bit to be cleared or ADIF bit to be set
 - OR
 - Waiting for the A/D interrupt
6. Read A/D Result register pair (ADRESH:ADRESL), clear the ADIF bit, if required.
7. For next conversion, go to step 1 or step 2 as required.

Figure 23-2 shows the conversion sequence, and the terms that are used. Acquisition time is the time that the A/D module's holding capacitor is connected to the external voltage level. Then there is the conversion time of 12 TAD, which is started when the GO bit is set. The sum of these two times is the sampling time. There is a minimum acquisition time to ensure that the holding capacitor is charged to a level that will give the desired accuracy for the A/D conversion.

Figure 23-2: A/D Conversion Sequence



PICmicro MID-RANGE MCU FAMILY

23.4 A/D Acquisition Requirements

For the A/D converter to meet its specified accuracy, the charge holding capacitor (CHOLD) must be allowed to fully charge to the input channel voltage level. The analog input model is shown in Figure 23-3. The source impedance (R_s) and the internal sampling switch (R_{ss}) impedance directly affect the time required to charge the capacitor CHOLD. The sampling switch (R_{ss}) impedance varies over the device voltage (V_{DD}), Figure 23-3. **The maximum recommended impedance for analog sources is 10 k Ω .** As the impedance is decreased, the acquisition time may be decreased. After the analog input channel is selected (changed) this acquisition must be done before the conversion can be started.

To calculate the minimum acquisition time, Equation 23-1 may be used. This equation assumes that 1/2 LSB error is used (1024 steps for the A/D). The 1/2 LSB error is the maximum error allowed for the A/D to meet its specified resolution.

Equation 23-1: Acquisition Time

$$\begin{aligned} T_{ACQ} &= \text{Amplifier Settling Time} + \\ &\quad \text{Holding Capacitor Charging Time} + \\ &\quad \text{Temperature Coefficient} \\ &= T_{AMP} + T_C + T_{COFF} \end{aligned}$$

Equation 23-2: A/D Minimum Charging Time

$$\begin{aligned} V_{HOLD} &= (V_{REF} - (V_{REF}/2048)) \cdot (1 - e^{-(T_c/CHOLD)(R_{IC} + R_{SS} + R_s)}) \\ \text{or} \\ T_c &= -(120 \text{ pF})(1 \text{ k}\Omega + R_{SS} + R_s) \ln(1/2047) \end{aligned}$$

Example 23-1 shows the calculation of the minimum required acquisition time T_{ACQ} . This calculation is based on the following application system assumptions.

CHOLD	=	120 pF
R_s	=	10 k Ω
Conversion Error	\leq	1/2 LSB
V_{DD}	=	5V \rightarrow $R_{SS} = 7 \text{ k}\Omega$ (see graph in Figure 23-3)
Temperature	=	50°C (system max.)
V_{HOLD}	=	0V @ time = 0

Example 23-1: Calculating the Minimum Required Acquisition Time (Case 1)

$$\begin{aligned} T_{ACQ} &= T_{AMP} + T_C + T_{COFF} \\ \text{Temperature coefficient is only required for temperatures} &> 25^\circ\text{C}. \\ T_{ACQ} &= 2 \mu\text{s} + T_c + [(Temp - 25^\circ\text{C})(0.05 \mu\text{s}/^\circ\text{C})] \\ T_C &= -CHOLD (R_{IC} + R_{SS} + R_s) \ln(1/2047) \\ &= -120 \text{ pF} (1 \text{ k}\Omega + 7 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega) \ln(0.0004885) \\ &= -120 \text{ pF} (18 \text{ k}\Omega) \ln(0.0004885) \\ &= -2.16 \mu\text{s} (-7.6241) \\ &= 16.47 \mu\text{s} \\ T_{ACQ} &= 2 \mu\text{s} + 16.47 \mu\text{s} + [(50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})(0.05 \mu\text{s}/^\circ\text{C})] \\ &= 18.47 \mu\text{s} + 1.25 \mu\text{s} \\ &= 19.72 \mu\text{s} \end{aligned}$$

Section 23. 10-bit A/D Converter

Now to get an idea what happens to the acquisition time when the source impedance is a minimal value ($R_s = 50 \Omega$). Example 23-2 shows the same conditions as in Example 23-1 with only the source impedance made a minimal value ($R_s = 50 \Omega$).

Example 23-2: Calculating the Minimum Required Acquisition Time (Case 2)

$$T_{ACQ} = T_{AMP} + T_C + T_{COFF}$$

Temperature coefficient is only required for temperatures $> 25^\circ\text{C}$.

$$T_{ACQ} = 2 \mu\text{s} + T_c + [(\text{Temp} - 25^\circ\text{C})(0.05 \mu\text{s}/^\circ\text{C})]$$

$$T_C = -\text{CHOLD} (R_{IC} + R_{SS} + R_s) \ln(1/2047)$$

$$= -120 \text{ pF} (1 \text{ k}\Omega + 7 \text{ k}\Omega + 50 \Omega) \ln(0.0004885)$$

$$= -120 \text{ pF} (8050 \Omega) \ln(0.0004885)$$

$$= -0.966 \mu\text{s} (-7.6241)$$

$$= 7.36 \mu\text{s}$$

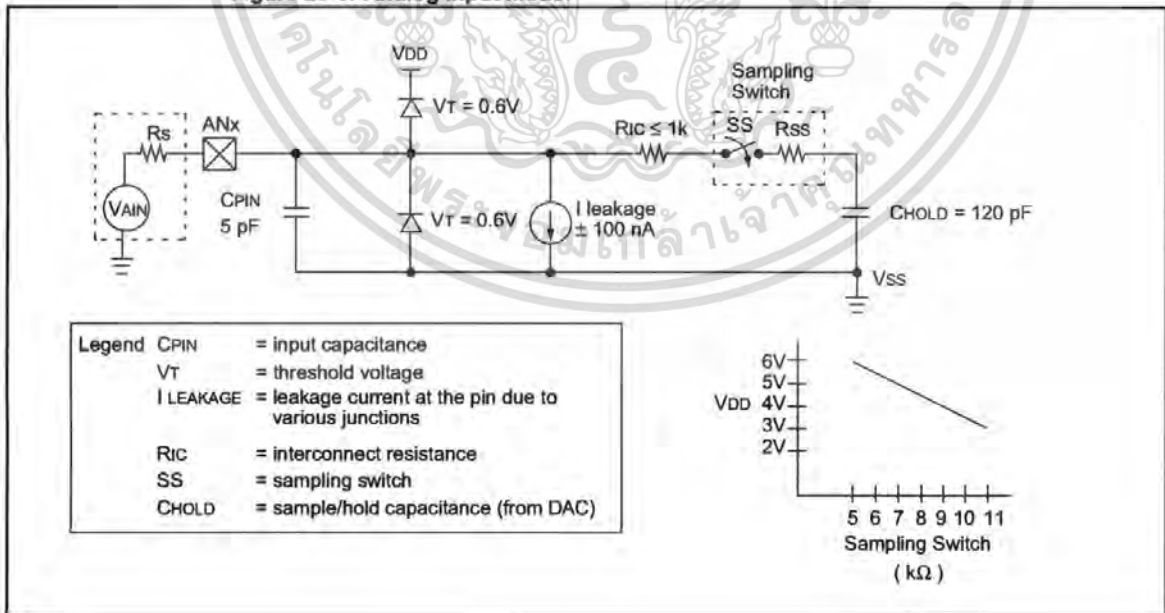
$$T_{ACQ} = 2 \mu\text{s} + 16.47 \mu\text{s} + [(50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})(0.05 \mu\text{s}/^\circ\text{C})]$$

$$= 9.36 \mu\text{s} + 1.25 \mu\text{s}$$

$$= 10.61 \mu\text{s}$$

- Note 1:** The reference voltage (V_{REF}) has no effect on the equation, since it cancels itself out.
- Note 2:** The charge holding capacitor (CHOLD) is not discharged after each conversion.
- Note 3:** The maximum recommended impedance for analog sources is $10 \text{ k}\Omega$. This is required to meet the pin leakage specification.
- Note 4:** After a conversion has completed, a $2.0T_{AD}$ delay must complete before acquisition can begin again. During this time the holding capacitor is not connected to the selected A/D input channel.

Figure 23-3: Analog Input Model



PICmicro MID-RANGE MCU FAMILY

23.5 Selecting the A/D Conversion Clock

The A/D conversion time per bit is defined as TAD. The A/D conversion requires 11.5TAD per 10-bit conversion. The source of the A/D conversion clock is software selected. The four possible options for TAD are:

- 2TOSC
- 8TOSC
- 32TOSC
- Internal RC oscillator

For correct A/D conversions, the A/D conversion clock (TAD) must be selected to ensure a minimum TAD time of 1.6 μ s as shown in parameter 130 of the "Electrical Specifications" section.

Table 23-1 show the resultant TAD times derived from the device operating frequencies and the A/D clock source selected. These times are for standard voltage range devices.

Table 23-1: TAD vs. Device Operating Frequencies (for Standard, C, Devices)

AD Clock Source (TAD)		Device Frequency			
Operation	ADCS1:ADCS0	20 MHz	5 MHz	1.25 MHz	333.33 kHz
2TOSC	00	100 ns ⁽²⁾	400 ns ⁽²⁾	1.6 μ s	6 μ s
8TOSC	01	400 ns ⁽²⁾	1.6 μ s	6.4 μ s	24 μ s ⁽³⁾
32TOSC	10	1.6 μ s	6.4 μ s	25.6 μ s ⁽³⁾	96 μ s ⁽³⁾
RC	11	2 - 6 μ s ^(1,4)	2 - 6 μ s ^(1,4)	2 - 6 μ s ^(1,4)	2 - 6 μ s ⁽¹⁾

Legend: Shaded cells are outside of recommended range.

Note 1: The RC source has a typical TAD time of 4 μ s.

2: These values violate the minimum required TAD time.

3: For faster conversion times, the selection of another clock source is recommended.

4: For device frequencies above 1 MHz, the device must be in SLEEP for the entire conversion, or the A/D accuracy may be out of specification.

Table 23-2: TAD vs. Device Operating Frequencies (for Extended, LC, Devices)

AD Clock Source (TAD)		Device Frequency			
Operation	ADCS1:ADCS0	4 MHz	2 MHz	1.25 MHz	333.33 kHz
2TOSC	00	500 ns ⁽²⁾	1.0 μ s ⁽²⁾	1.6 μ s ⁽²⁾	6 μ s
8TOSC	01	2.0 μ s ⁽²⁾	4.0 μ s	6.4 μ s	24 μ s ⁽³⁾
32TOSC	10	8.0 μ s	16.0 μ s	25.6 μ s ⁽³⁾	96 μ s ⁽³⁾
RC	11	3 - 9 μ s ^(1,4)	3 - 9 μ s ^(1,4)	3 - 9 μ s ^(1,4)	3 - 9 μ s ^(1,4)

Legend: Shaded cells are outside of recommended range.

Note 1: The RC source has a typical TAD time of 6 μ s.

2: These values violate the minimum required TAD time.

3: For faster conversion times, the selection of another clock source is recommended.

4: For device frequencies above 1 MHz, the device must be in SLEEP for the entire conversion, or the A/D accuracy may be out of specification.

Section 23. 10-bit A/D Converter

23.6 Configuring Analog Port Pins

The ADCON1 and TRIS registers control the operation of the A/D port pins. The port pins that are desired as analog inputs must have their corresponding TRIS bits set (input). If the TRIS bit is cleared (output), the digital output level (VOH or VOL) will be converted.

The A/D operation is independent of the state of the CHS2:CHS0 bits and the TRIS bits.

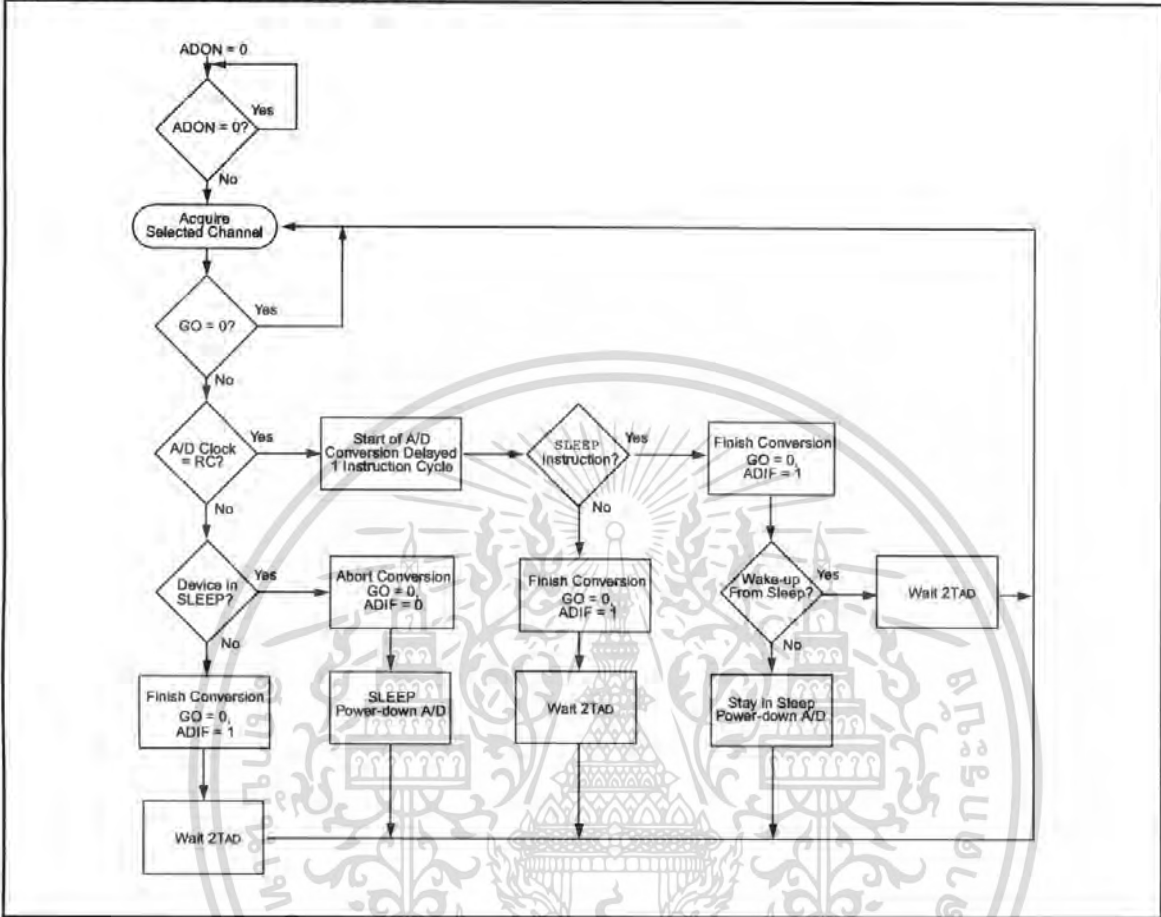
Note 1: When reading the port register, any pin configured as an analog input channel will read as cleared (a low level). Pins configured as digital inputs, will convert an analog input. Analog levels on a digitally configured input will not affect the conversion accuracy.

Note 2: Analog levels on any pin that is defined as a digital input (including the AN7:AN0 pins), may cause the input buffer to consume current that is out of the devices specification.



Section 23. 10-bit A/D Converter

Figure 23-5: Flowchart of A/D Operation



PICmicro MID-RANGE MCU FAMILY

23.7 A/D Conversions

Example 23-3 shows how to perform an A/D conversion for the PIC17C756. The PORTF and lower four PORTG pins are configured as analog inputs. The analog references (VREF+ and VREF-) are the device AVDD and AVSS. The A/D interrupt is enabled, and the A/D conversion clock is FRC. The conversion is performed on the AN0 pin (channel 0).

Note: The GO/DONE bit should NOT be set in the same instruction that turns on the A/D, due to the required acquisition time requirement.

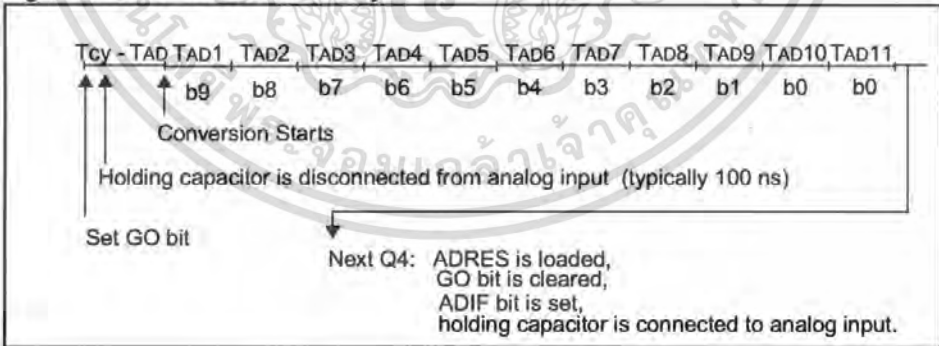
Clearing the GO/DONE bit during a conversion will abort the current conversion. The A/D result register pair will NOT be updated with the partially completed A/D conversion sample. That is, the ADRESH:ADRESL registers will continue to contain the value of the last completed conversion (or the last value written to the ADRESH:ADRESL registers). After the A/D conversion is aborted, a 2TAD wait is required before the next acquisition is started. After this 2TAD wait, acquisition on the selected channel is automatically started.

Example 23-3: A/D Conversion

```

BSF STATUS, RP0 ; Select Bank1
CLRF ADCON1 ; Configure A/D inputs,
; result is left justified
BSF PIE1, ADIE ; Enable A/D interrupts
BCF STATUS, RP0 ; Select Bank0
MOVLW 0xC1 ; RC Clock, A/D is on, Channel 0 is selected
MOVWF ADCON0 ;
BCF PIR1, ADIF ; Clear A/D interrupt flag bit
BSF INTCON, PEIE ; Enable peripheral interrupts
BSF INTCON, GIE ; Enable all interrupts
;
; Ensure that the required sampling time for the selected input
; channel has elapsed. Then the conversion may be started.
BSF ADCON0, GO ; Start A/D Conversion
; The ADIF bit will be set and the GO/DONE
; bit is cleared upon completion of the
; A/D Conversion.
    
```

Figure 23-4: A/D Conversion TAD Cycles



PICmicro MID-RANGE MCU FAMILY

23.7.1 Faster Conversion - Lower Resolution Trade-off

Not all applications require a result with 10-bits of resolution, but may instead require a faster conversion time. The A/D module allows users to make the trade-off of conversion speed to resolution. Regardless of the resolution required, the acquisition time is the same. To speed up the conversion, the clock source of the A/D module may be switched so that the TAD time violates the minimum specified time (see the applicable electrical specification). Once the TAD time violates the minimum specified time, all the following A/D result bits are not valid (see A/D Conversion Timing in the Electrical Specifications section). The clock sources may only be switched between the three oscillator versions (cannot be switched from/to RC). The equation to determine the time before the oscillator can be switched is as follows:

$$\begin{aligned} \text{Conversion time} &= \text{TAD} + N \cdot \text{TAD} + (11 - N)(2\text{TOSC}) \\ \text{Where: } N &= \text{number of bits of resolution required.} \end{aligned}$$

Since the TAD is based from the device oscillator, the user must use some method (a timer, software loop, etc.) to determine when the A/D oscillator may be changed. Example 23-4 shows a comparison of time required for a conversion with 4-bits of resolution, versus the 10-bit resolution conversion. The example is for devices operating at 20 MHz (The A/D clock is programmed for 32Tosc), and assumes that immediately after 6TAD, the A/D clock is programmed for 2Tosc.

The 2Tosc violates the minimum TAD time since the last 4 bits will not be converted to correct values.

Example 23-4: 4-bit vs. 8-bit Conversion Times

	Freq. (MHz) ⁽¹⁾	Resolution	
		4-bit	10-bit
TAD	20	1.6 μ s	1.6 μ s
TOSC	20	50 ns	50 ns
2TAD + N \cdot TAD + (11 - N)(2TOSC)	20	8.7 μ s	17.6 μ s

Note 1: A minimum TAD time of 1.6 μ s is required.

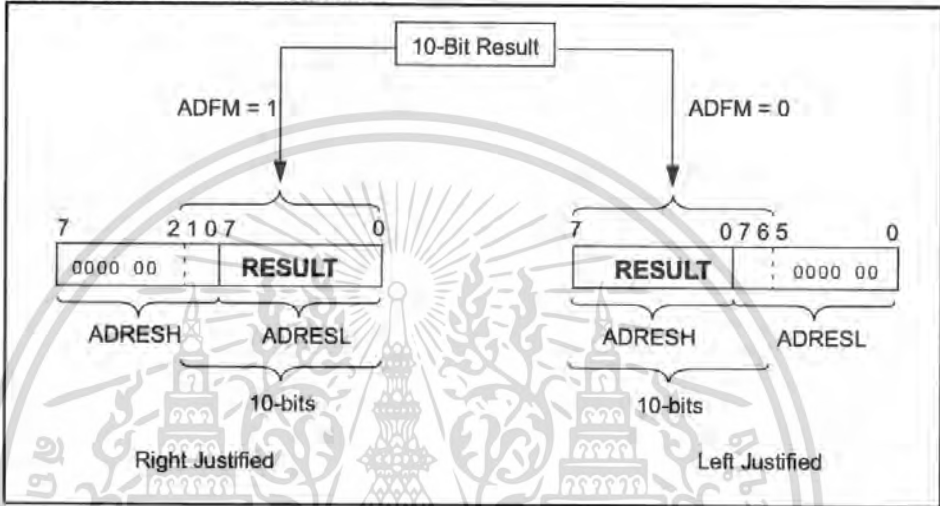
2: If the full 8-bit conversion is required, the A/D clock source should not be changed.

Section 23. 10-bit A/D Converter

23.7.2 A/D Result Registers

The ADRESH:ADRESL register pair is the location where the 10-bit A/D result is loaded at the completion of the A/D conversion. This register pair is 16-bits wide. The A/D module gives the flexibility to left or right justify the 10-bit result in the 16-bit result register. The A/D Format Select bit (ADFM) controls this justification. Figure 23-6 shows the operation of the A/D result justification. The extra bits are loaded with '0's'. When an A/D result will not overwrite these locations (A/D disable), these registers may be used as two general purpose 8-bit registers.

Figure 23-6: A/D Result Justification



PICmicro MID-RANGE MCU FAMILY

23.8 Operation During Sleep

The A/D module can operate during SLEEP mode. This requires that the A/D clock source be set to RC (ADCS1:ADCS0 = 11). When the RC clock source is selected, the A/D module waits one instruction cycle before starting the conversion. This allows the SLEEP instruction to be executed, which eliminates all internal digital switching noise from the conversion. When the conversion is completed the GO/DONE bit will be cleared, and the result is loaded into the ADRES register. If the A/D interrupt is enabled, the device will wake-up from SLEEP. If the A/D interrupt is not enabled, the A/D module will then be turned off, although the ADON bit will remain set.

When the A/D clock source is another clock option (not RC), a SLEEP instruction will cause the present conversion to be aborted and the A/D module to be turned off (to conserve power), though the ADON bit will remain set.

Turning off the A/D places the A/D module in its lowest current consumption state.

Note: For the A/D module to operate in SLEEP, the A/D clock source must be set to RC (ADCS1:ADCS0 = 11). To allow the conversion to occur during SLEEP, ensure the SLEEP instruction immediately follows the instruction that sets the GO/DONE bit.

23.9 Effects of a Reset

A device reset forces all registers to their reset state. This forces the A/D module to be turned off, and any conversion is aborted.

The value that is in the ADRESH:ADRESL registers is not modified for a Power-on Reset. The ADRESH:ADRESL registers will contain unknown data after a Power-on Reset.

Section 23. 10-bit A/D Converter

23.10 A/D Accuracy/Error

In systems where the device frequency is low, use of the A/D RC clock is preferred. At moderate to high frequencies, TAD should be derived from the device oscillator.

The absolute accuracy specified for the A/D converter includes the sum of all contributions for quantization error, integral error, differential error, full scale error, offset error, and monotonicity. It is defined as the maximum deviation from an actual transition versus an ideal transition for any code. The absolute error of the A/D converter is specified at $< \pm 1$ LSB for $V_{DD} = V_{REF}$ (over the device's specified operating range). However, the accuracy of the A/D converter will degrade as V_{DD} diverges from V_{REF} .

For a given range of analog inputs, the output digital code will be the same. This is due to the quantization of the analog input to a digital code. Quantization error is typically $\pm 1/2$ LSB and is inherent in the analog to digital conversion process. The only way to reduce quantization error is to increase the resolution of the A/D converter.

Offset error measures the first actual transition of a code versus the first ideal transition of a code. Offset error shifts the entire transfer function. Offset error can be calibrated out of a system or introduced into a system through the interaction of the total leakage current and source impedance at the analog input.

Gain error measures the maximum deviation of the last actual transition and the last ideal transition adjusted for offset error. This error appears as a change in slope of the transfer function. The difference in gain error to full scale error is that full scale error does not take offset error into account. Gain error can be calibrated out in software.

Linearity error refers to the uniformity of the code changes. Linearity errors cannot be calibrated out of the system. Integral non-linearity error measures the actual code transition versus the ideal code transition adjusted by the gain error for each code.

Differential non-linearity measures the maximum actual code width versus the ideal code width. This measure is unadjusted.

The maximum pin leakage current is specified in the Device Data Sheet electrical specification parameter D060.

In systems where the device frequency is low, use of the A/D RC clock is preferred. At moderate to high frequencies, TAD should be derived from the device oscillator. TAD must not violate the minimum and should be minimized to reduce inaccuracies due to noise and sampling capacitor bleed off.

In systems where the device will enter SLEEP mode after the start of the A/D conversion, the RC clock source selection is required. In this mode, the digital noise from the modules in SLEEP are stopped. This method gives high accuracy.

PICmicro MID-RANGE MCU FAMILY

23.11 Connection Considerations

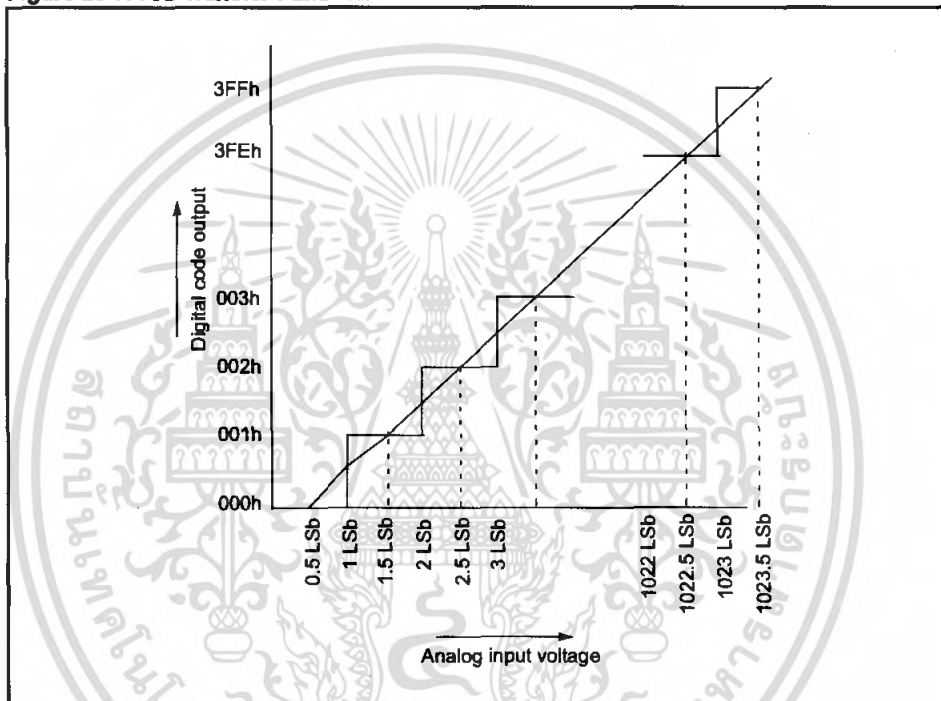
If the input voltage exceeds the rail values (V_{SS} or V_{DD}) by greater than 0.3V, then the accuracy of the conversion is out of specification.

An external RC filter is sometimes added for anti-aliasing of the input signal. The R component should be selected to ensure that the total source impedance is kept under the 10 k Ω recommended specification. Any external components connected (via hi-impedance) to an analog input pin (capacitor, zener diode, etc.) should have very little leakage current at the pin.

23.12 Transfer Function

The ideal transfer function of the A/D converter is as follows: the first transition occurs when the analog input voltage (V_{AIN}) is 1 LSB (or Analog $V_{REF} / 1024$) (Figure 23-7).

Figure 23-7: A/D Transfer Function



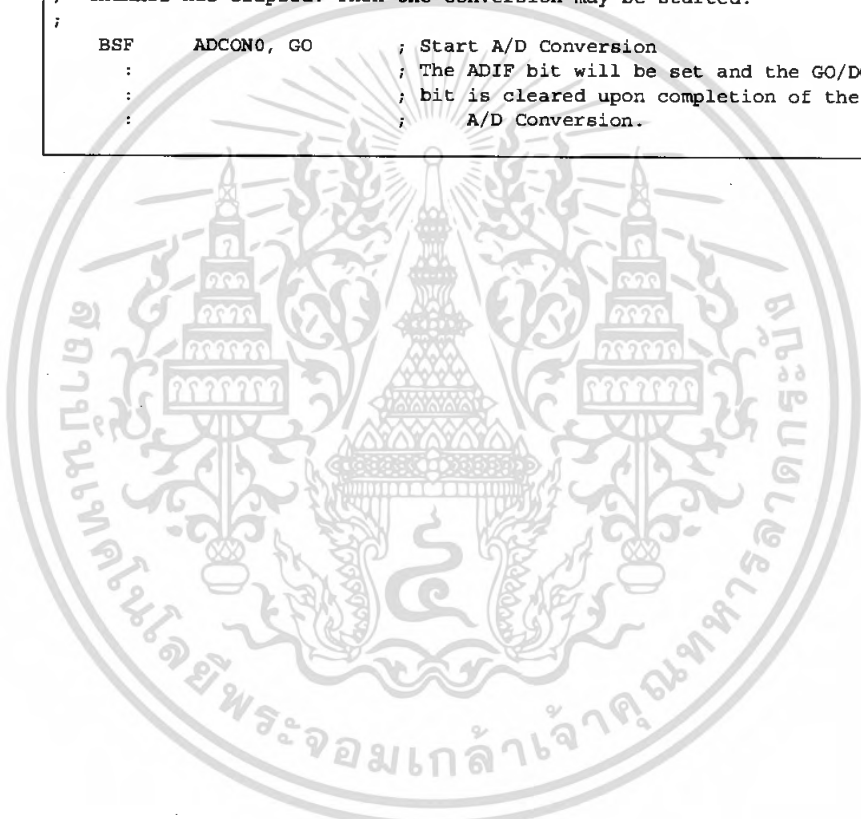
Section 23. 10-bit A/D Converter

23.13 Initialization

Example 23-5 shows an initialization of the A/D module.

Example 23-5: A/D Initialization

```
BSF STATUS, RPO ; Select Bank1
CLRf ADCON1 ; Configure A/D inputs
BSF PIR1, ADIF ; Enable A/D interrupts
BCF STATUS, RPO ; Select Bank0
MOVLW 0xC1 ; RC Clock, A/D is on, Channel 0 is selected
MOVWF ADCON0 ;
BCF PIR1, ADIF ; Clear A/D interrupt flag bit
BSF INTCON, PEIE ; Enable peripheral interrupts
BSF INTCON, GIE ; Enable all interrupts
;
; Ensure that the required sampling time for the selected input
; channel has elapsed. Then the conversion may be started.
;
BSF ADCON0, GO ; Start A/D Conversion
: ; The ADIF bit will be set and the GO/DONE
: ; bit is cleared upon completion of the
: ; A/D Conversion.
```



PICmicro MID-RANGE MCU FAMILY

23.14 Design Tips

Question 1: *I find that the Analog to Digital Converter result is not always accurate. What can I do to improve accuracy?*

Answer 1:

1. Make sure you are meeting all of the timing specifications. If you are turning the module off and on, there is a minimum delay you must wait before taking a sample. If you are changing input channels, there is a minimum delay you must wait for this as well, and finally there is TAD, which is the time selected for each bit conversion. This is selected in ADCON0 and should be between 1.6 and 6 μ s. If TAD is too short, the result may not be fully converted before the conversion is terminated, and if TAD is made too long the voltage on the sampling capacitor can droop before the conversion is complete. These timing specifications are provided in the "Electrical Specifications" section. See the device data sheet for device specific information.
2. Often the source impedance of the analog signal is high (greater than 1k ohms) so the current drawn from the source to charge the sample capacitor can affect accuracy. If the input signal does not change too quickly, try putting a 0.1 μ F capacitor on the analog input. This capacitor will charge to the analog voltage being sampled and supply the instantaneous current needed to charge the 120 pF internal holding capacitor.
3. Finally, straight from the data book: "In systems where the device frequency is low, use of the A/D clock derived from the device oscillator is preferred...this reduces, to a large extent, the effects of digital switching noise." and "In systems where the device will enter SLEEP mode after start of A/D conversion, the RC clock source selection is required. This method gives the highest accuracy."

Question 2: *After starting an A/D conversion may I change the Input channel (for my next conversion)?*

Answer 2:

After the holding capacitor is disconnected from the input channel, typically 100 ns after the GO bit is set, the input channel may be changed.

Question 3: *Do you know of a good reference on A/D's?*

Answer 3:

A very good reference for understanding A/D conversions is the "Analog-Digital Conversion Handbook" third edition, published by Prentice Hall (ISBN 0-13-03-2848-0).

Section 23. 10-bit A/D Converter

23.15 Related Application Notes

This section lists application notes that are related to this section of the manual. These application notes may not be written specifically for the Mid-Range MCU family (that is they may be written for the Base-Line, or High-End families), but the concepts are pertinent, and could be used (with modification and possible limitations). The current application notes related to the 10-bit A/D module are:

Title	Application Note #
Using the Analog to Digital Converter	AN546
Four Channel Digital Voltmeter with Display and Keyboard	AN557



PICmicro MID-RANGE MCU FAMILY

23.16 Revision History

Revision A

This is the initial released revision of the 10-bit A/D module description.

