เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์

LASER RANGE FINDERS

ศิริวรรณ วิสุทธิเสน
SIRIWAN VISUTTISEN

สิตานัน มั่นฟัก
SITANAN MUNFAK

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์

LASER RANGE FINDERS

โดย

ศิริวรรณ วิสุทธิเสน รหัส 55011208

สิตานัน มั่นฟัก รหัส 55011297

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ประภากร สุวรรณะ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 143861
วัน.เดือน.ปี 04 มิ.ย. 2559

b. 12810332
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2558

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์

LASER RANGE FINDERS

ผู้จัดทำ นางสาวศิริวรรณ วิสุทธิเสน รหัส 55011208

นางสาวสิตานัน มั่นฟัก รหัส 55011297

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

(ผศ. ประภากร สุวรรณะ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์
นักศึกษา	นางสาวศิริวรรณ วิสุทธิเสน รหัสประจำตัว 55011208
	นางสาวสิตานัน มั่นฟัก รหัสประจำตัว 55011297
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ผศ. ประภากร สุวรรณะ

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ อธิบายการออกแบบและการสร้างเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ที่สามารถวัดระยะทางได้ไม่เกิน 5 เมตร ใช้การวัดความแตกต่างเฟสระหว่างสัญญาณที่ส่งไปและสัญญาณจะสะท้อนกลับมายังฝั่งรับ

โดยการใช้ทรานซิสเตอร์ขับคลื่นพาห์ที่มีความถี่ขนาด 15 MHz ไปกับเลเซอร์ไดโอด ส่งไปยังวัตถุที่ต้องการวัดระยะทาง และคลื่นจะสะท้อนกลับมายังฝั่งรับ ที่มีโฟโต้ไดโอดรับแสงสะท้อนจากวัตถุมาถึงเครื่องวัด โดยแสงที่สะท้อนกลับมาจะมีเฟสที่เปลี่ยนไปจากเดิม ซึ่งสามารถใช้ความต่างเฟสนี้มาคำนวณหาระยะกระจัดได้ ซึ่งการหาความต่างเฟสด้วยวิธีตรงทำได้ยากในความถี่สูง จึงใช้การผสมความถี่เพื่อลดค่าความถี่พาห์ ซึ่งจะช่วยให้วงจรส่วนที่หาความต่างเฟสซับซ้อนน้อยลงโดยผสมความถี่ F (14.995 MHz) กับความถี่พาห์ และผสมความถี่ F กับความถี่พาห์ที่สะท้อนกลับมาซึ่งมีความต่างเฟสด้วย โดยความถี่ F นี้มีค่าใกล้เคียงกับความถี่พาห์ จากนั้นนำค่าความต่างเฟสไปผ่านวงจรขยายและแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล และเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวณหาค่าระยะทางออกมาแสดงผลบนจอ LCD

วงจรกำเนิดสัญญาณและวงจรรวมสัญญาณจะมีวงจรเฟสล็อกลูปคอยช่วยควบคุมให้ความถี่เป็นไปตามที่ต้องการ เพื่อให้การวัดระยะกระจัดนั้นมีความแม่นยำมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Laser Rangefinder		
Student	Ms.Siriwan	Visuttisen	Student ID 55011208
	Ms.Sitanan	Munfak	Student ID 55011297
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Electronics Engineering		
Year	2015		
Thesis Advisor	Asst.Prof. Prapakorn Suwanna		

ABSTRACT

This thesis describes the design and construction of a laser rangefinder that can measure distance below 5 meters by using method of measure the phase difference. This device has carrier wave 15 MHz which calculated by the distance that can be measured.

The Operating Principles of the machine is first; using transistor driver carriers wave 15 MHz with laser diode and send to an object to measure the distance. Then, photodiode received the light reflected from the object. The light reflected back has phase difference from the original. This phase difference can be used to calculate the displacement. However, determination of the phase difference with the direct method is difficult in high frequency. So using a mixer circuit to reduce the frequency carrier. This will allow the circuit to determine the phase difference less complicated. By mixed frequency F (14.995 MHz) with carrier frequency, and mixed frequency F with carrier frequencies reflected back from an object. After that, betake phase difference signal through the amplifier and comparator to converted analog signal into digital signals. Finally, signal came to microcontroller which can determine the displacement to an object and display on LCD.

Oscillator circuit and mixer circuit have Phase Lock Loop circuit. This assist control frequency as needed to provide more accuracy of measurement.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำปริญญานิพนธ์เรื่องเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ ของนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประภากร สุวรรณะ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน และอาจารย์ชินภัทร ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ มาโดยตลอด จนปริญญานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณพ่อ คุณแม่ และผู้ปกครอง ที่ให้คำปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา และ ขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ช่วยให้คำแนะนำดี ๆ เกี่ยวกับการทดสอบวงจร การเขียนโปรแกรม จนทำให้โครงงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ ที่ช่วยเอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆที่จำเป็นต่อการทำชิ้นงานและการทำรายงาน รวมถึงเงินทุนสำหรับสนับสนุนบางส่วนในการทำโครงงานนี้

น.ส. ศิริวรรณ วิสุทธิเสน

น.ส. สิตานัน มั่นฟัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II
กิตติกรรมประกาศ..... III
สารบัญ..... IV
สารบัญตาราง..... VI
สารบัญรูป..... VII
บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ..... 1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา..... 1
1.4 ขอบเขตการวิจัย..... 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 3
2.1 เลเซอร์ไดโอด..... 3
2.2 โฟโตไดโอด..... 4
2.3 วงจรขยายสัญญาณ..... 5
2.3.1 วงจรขยายกำลัง..... 7
2.4 วงจรเรโซแนนท์..... 11
2.4.1 วงจรเรโซแนนท์แบบขนาน..... 11
2.4.2 วงจรเรโซแนนท์แบบอนุกรม..... 12
2.5 Matching Impedance..... 13
2.6 วงจรรวมความถี่..... 14
2.7 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ..... 14
2.7.1 การเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ขั้วบวก..... 17
2.7.2 การเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ขั้วลบ..... 18
2.7.3 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่มีฮิสเตอรีซิส..... 19
2.8 วงจรเลื่อนเฟส..... 21
2.9 ลอจิกเกตที่เกี่ยวข้อง..... 22
2.9.1 NAND Gate..... 22
2.9.2 R-S Flip Flop..... 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 23
2.10.1 Architecture Overview 23
2.10.2 ARM registers 24
2.10.3 สถานะการทำงาน 25
2.10.4 ARM Instruction set 26
บทที่ 3 การออกแบบวงจรและการคำนวณ 27
3.1 คุณสมบัติของเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ 27
3.2 การออกแบบเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ 27
3.2.1 การออกแบบวงจรเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ 27
3.2.2 วงจร Laser Driver 29
3.2.3 วงจร Receiver 30
3.2.4 วงจร Phase Detector 31
3.3 การออกแบบโปรแกรมส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ 33
บทที่ 4 วิธีการทดสอบและผลการทดสอบเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ 41
4.1 การทดลองที่ 1 ทดสอบการทำงานของวงจร 41
4.2 การทดลองที่ 2 ทดสอบการทำงานของวงจร 44
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 62
5.1 สรุปผลการวิจัย 62
5.2 ปัญหาและอุปสรรค 62
5.2 ข้อเสนอแนะ 62
หนังสืออ้างอิง 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ประเภทของวงจรขยายสัญญาณในรูปแบบอุดมคติ.....6
ตารางที่ 2.2 ความต้านทานอินพุทและความต้านทานเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณในรูปแบบอุดมคติ.....6
ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของวงจรขยายแบบต่างๆ.....8
ตารางที่ 4.1 ตารางผลการทดลองการประมวลผลระยะทาง.....44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเลเซอร์ไอโอด 3
รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของโฟโต้ไดโอด 4
รูปที่ 2.3 การขยายกำลังของสัญญาณ 7
รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างการขยายสัญญาณ 9
รูปที่ 2.5 วงจรเรโซแนนท์แบบขนาน 11
รูปที่ 2.6 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม 12
รูปที่ 2.7 (ก) วงจรเสมือนประกอบด้วยตัวเก็บประจุและตัวต้านทาน 12
(ข) วงจรเสมือนประกอบด้วยตัวต้านทาน 12
(ค) วงจรเสมือนประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำและตัวต้านทาน 12
รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์แสดงการทำงานของ Mixer 13
รูปที่ 2.9 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณอย่างง่าย 14
รูปที่ 2.10 วงจรเปรียบเทียบแรงดันที่มีการป้องกันอินพุต 14
รูปที่ 2.11 วงจรตรวจจับผ่านศูนย์ 15
รูปที่ 2.12 วงจรคอมพาราเตอร์แบบที่มีระดับสัญญาณแรงดันอ้างอิงปรับค่าได้ 16
รูปที่ 2.14 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ขั้วบวก 17
รูปที่ 2.15 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ขั้วลบ 18
รูปที่ 2.16 ผลของสัญญาณรบกวนต่อการทำงานของวงจร 19
รูปที่ 2.17 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่มีฮิสเตอรีซิส 19
รูปที่ 2.18 กราฟ V_{in} - V_{out} ของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่มีฮิสเตอรีซิส 19
รูปที่ 2.19 แสดงวงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบไม่กลับเฟสที่มีการป้อนกลับแบบบวก 19
รูปที่ 2.20 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบไม่กลับเฟสที่มีการป้อนกลับแบบบวก 20
รูปที่ 2.21 แสดงวงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบกลับเฟสที่มีการป้อนกลับแบบบวก 20
รูปที่ 2.22 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบกลับเฟสที่มีการป้อนกลับแบบบวก 20
รูปที่ 2.23 วงจร phase-shift 21
รูปที่ 2.24 วงจร NAND Gate 21
รูปที่ 2.25 ตารางค่าความจริงของ NAND Gate 21
รูปที่ 2.26 วงจร R-S Flip Flop 22
รูปที่ 2.27 ตารางค่าความจริงของ R-S Flip Flop 22
รูปที่ 2.28 โครงสร้างการทำงานของ ARM 23
รูปที่ 2.29 ARM Cortex-M3 23
รูปที่ 2.30 Program status register 24
รูปที่ 2.31 Register organizations 25
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ 28
รูปที่ 3.2 วงจร Laser Driver 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.3 วงจร Receiver 30
รูปที่ 3.4 Block diagram ของวงจร Receiver.....30
รูปที่ 3.5 วงจร Phase Detector.....31
รูปที่ 3.6 วงจร Phase Shift.....31
รูปที่ 3.7 วงจร Comparator.....32
รูปที่ 3.8 วงจรสร้าง V_{ref}.....32
รูปที่ 3.9 สัญญาณ clock และ สัญญาณความต่างเฟส.....33
รูปที่ 3.10 flowchart ของระบบการประมวลผลระยะทาง.....34
รูปที่ 4.1 สัญญาณจาก Oscillator ความถี่ 15.000MHz.....41
รูปที่ 4.2 สัญญาณจาก Mixer ที่ความถี่ 5kHz $\angle 0$.....42
รูปที่ 4.3 สัญญาณจาก Mixer ที่ความถี่ 5kHz $\angle \phi$.....42
รูปที่ 4.4 วัดสัญญาณจาก Phase-shift detector board ที่ inputและ LM358 ขาที่ 1 เพื่อดู สัญญาณ sine wave 5kHz $\angle 0$ และ 5kHz $\angle \Phi$.....43
รูปที่ 4.5 วัดสัญญาณจาก Phase-shift detector board ที่ LM393 ขาที่ 1 ของทั้ง 2 ตัว เพื่อดู สัญญาณลักษณะคลื่น pulse 5kHz $\angle 0$ และ 5kHz $\angle \Phi$.....43
รูปที่ 4.6 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 16 เซนติเมตร.....45
รูปที่ 4.7 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 20 เซนติเมตร.....46
รูปที่ 4.8 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 34 เซนติเมตร.....47
รูปที่ 4.9 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 45 เซนติเมตร.....48
รูปที่ 4.10 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 50 เซนติเมตร.....49
รูปที่ 4.11 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 66 เซนติเมตร.....50
รูปที่ 4.12 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 75 เซนติเมตร.....51
รูปที่ 4.13 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 84 เซนติเมตร.....52
รูปที่ 4.14 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 95 เซนติเมตร.....53
รูปที่ 4.15 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 104 เซนติเมตร.....54
รูปที่ 4.16 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 120 เซนติเมตร.....55
รูปที่ 4.17 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 130 เซนติเมตร.....56
รูปที่ 4.18 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 145 เซนติเมตร.....57
รูปที่ 4.19 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 155 เซนติเมตร.....58
รูปที่ 4.20 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 166 เซนติเมตร.....59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.21 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 173 เซนติเมตร.....60
รูปที่ 4.22 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 187 เซนติเมตร.....61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันการวัดระยะทางสามารถทำได้หลากหลายวิธี และมีเครื่องมืออุปกรณ์วัดแตกต่างกันหลายแบบที่สามารถเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ และหนึ่งในเครื่องมือวัดที่น่าสนใจคือเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ (Laser Rangefinder)

เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่เพิ่มความสะดวกในการวัดระยะให้แก่ผู้ใช้งาน โดยเครื่องวัดระยะจะใช้ลำแสงเลเซอร์ฉายส่งในลักษณะของสัญญาณรูปไซน์ (sine wave) ไปยังจุดที่ต้องการวัด เพื่อคำนวณระยะทาง หลักการวัดระยะทางนั้นทำโดยการคำนวณความต่างเฟสระหว่างสัญญาณที่ส่งไปและสัญญาณที่กระทบวัตถุกลับมายังเครื่องวัดระยะ จากนั้นทำการประมวลผล และแสดงค่าระยะทางที่วัดได้ทางหน้าจอ

เครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์มีข้อดีคือความสะดวก โดยผู้วัดสามารถวัดระยะโดยไม่ต้องเดินไปหาวัตถุ ไม่ต้องใช้เทปวัดระยะ และสามารถวัดระยะไปยังเป้าที่ไม่สามารถลากสายวัดไปได้หรือลากสายวัดลำบาก แต่มีข้อเสียคือความละเอียด เนื่องจากวิธีการวัดนั้นใช้การประมวลผลความต่างเฟส ดังนั้นช่วงความละเอียดของเครื่องวัดระยะแสงเลเซอร์จะแตกต่างกันไปตามวิธีที่ใช้วัด

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะการออกแบบและการสร้างเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ที่สามารถนำมาใช้งานได้จริง

1) วงจรส่วนออสซิลเลเตอร์และเลเซอร์ไดโอดสามารถส่งแสงเลเซอร์ที่มีความถี่ 15.000 MHz ได้
2) วงจรส่วนออสซิลเลเตอร์ที่จะนำเอาท์พุทมาเข้ามิกเซอร์ให้สัญญาณความถี่ 14.990 MHz
3) วงจรคอมพาราเตอร์สามารถสร้างสัญญาณพัลซ์ได้
4) ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถแสดงระยะทางที่วัดได้ถูกต้อง

1.2.2 เพื่อนำความรู้ความสามารถที่มีมาใช้ในการแก้ไขปัญหาและพัฒนาชิ้นงานให้สามารถใช้ได้ตรงตามคุณสมบัติที่ตั้งเป้าหมายไว้

1.2.3 เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้ไปเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ในอนาคต

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์สามารถนำมาใช้งานได้จริง

1) วงจรส่วนออสซิลเลเตอร์และเลเซอร์ไดโอดส่งแสงเลเซอร์ที่มีความถี่ 15.000 MHz ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) วงจรส่วนออสซิลเลเตอร์ที่จะนำเอาท์พุทมาเข้ามิกเซอร์ให้สัญญาณความถี่ 14.995 MHz

3) วงจรคอมพาราเตอร์สามารถสร้างสัญญาณพัลซ์

4) ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถแสดงระยะทางที่วัดได้ถูกต้อง

1.3.2 ผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปพัฒนาต่อไปได้ในอนาคต

1.4 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้จัดทำขึ้นโดยกลุ่มนักศึกษา 2 คน ชั้นปีที่ 4 จากภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และทำการสร้าง ทดสอบวงจร ทำการเก็บผลการทดลอง และประกอบวงจรเข้าด้วยกันเป็นชิ้นงาน ที่อาคารภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้เวลา 1 ปีการศึกษา คือตั้งแต่ สิงหาคม 2558 – เมษายน 2559

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้รับความรู้เพิ่มเติมจากการสร้างวงจรซึ่งเป็นส่วนประกอบของเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์

2) ได้ฝึกการปฏิบัติงานในด้านการสร้างชิ้นงานจริงเพื่อนำมาใช้งาน

3) ได้เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ที่สามารถใช้งานได้จริงใน

4) ได้ฝึกการทำงานร่วมกับผู้อื่น

5) ได้ฝึกความรับผิดชอบและการจัดการรวมทั้งการบริหารเวลาในการทำงานที่ได้รับมอบหมายให้เสร็จในเวลาที่กำหนด

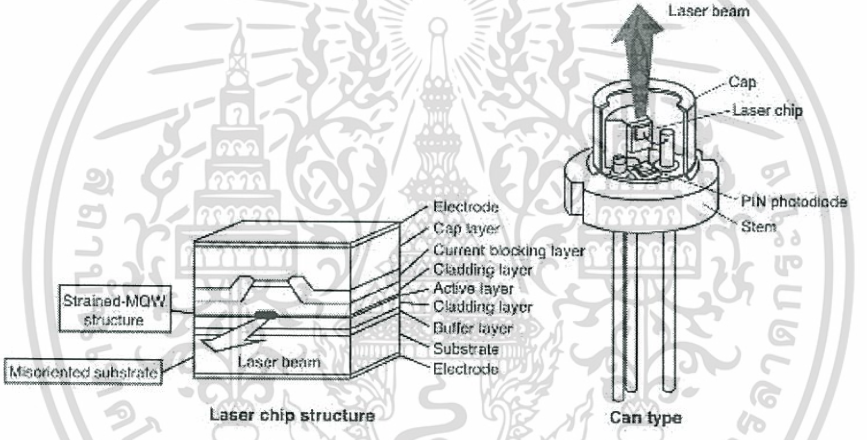
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เลเซอร์ไดโอด

เลเซอร์ไดโอด (Laser Diode; LD) เป็นเลเซอร์ที่มีขนาดกลางที่เกิดขึ้นจากรอยต่อ p-n ของสารกึ่งตัวนำที่คล้ายกันกับที่พบในไดโอดเปล่งแสงที่มีใช้งานกันอยู่ เลเซอร์ไดโอดจะเกิดขึ้นได้จากการฉีดกระแสไฟฟ้าเข้าไป เลเซอร์ไดโอดควรจะแตกต่างจากเลเซอร์ไดโอดปั๊มออปติกส์ (optically pumped laser diodes), ซึ่งจะให้กำลังขับ (ปั๊ม) ด้วยลำแสงซึ่งมักจะกระตุ้นให้เกิดขึ้นได้โดยเลเซอร์ไดโอด

ทฤษฎีการทำงาน



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเลเซอร์ไอโอด

เลเซอร์ไดโอดถูกสร้างโดยการเจือสารกระตุ้น (doping) เป็นชั้นบางมากบนพื้นผิวของแผ่นเวเฟอร์ของผลึก ผลึกจะถูกเจือเพื่อผลิตบริเวณของสารชนิด n และบริเวณของสารชนิด p (n-type region and a p-type region), หนึ่งในผลลัพธ์ข้างต้นก็คือ ทำให้เกิดรอยต่อของสาร p-n หรือไดโอดนั่นเอง

เลเซอร์ไดโอดสร้างจากส่วนย่อยของการจัดหมวดหมู่ขนาดใหญ่ของไดโอดสารกึ่งตัวนำรอยต่อ p-n การไบแอสกระแสไฟฟ้าไปข้างหน้าข้ามผ่านเลเซอร์ไดโอดจะทำให้ประจุสื่อนำไฟฟ้าสองชนิดคือ โฮลและอิเล็กตรอน จะ "ถูกฉีด" จากแต่ละอีกฝั่งที่อยู่ด้านตรงข้ามกันของรอยต่อ p-n เข้ามาในบริเวณเขตการพร่อง โฮลจะถูกฉีดจากบริเวณของสารกึ่งตัวนำที่เป็นสารเจือชนิด P และอิเล็กตรอนจากบริเวณของสารเจือชนิด n (คือ บริเวณของการพร่องปราศจากประจุสื่อนำทางไฟฟ้าใด ๆ ในรูปแบบที่เป็นผลมาจากความแตกต่างทางความต่างศักย์ไฟฟ้าที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิด n (n-type) และสารชนิด p (p-type) เมื่อใดก็ตามที่พวกมันอยู่ในสถานะของการสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

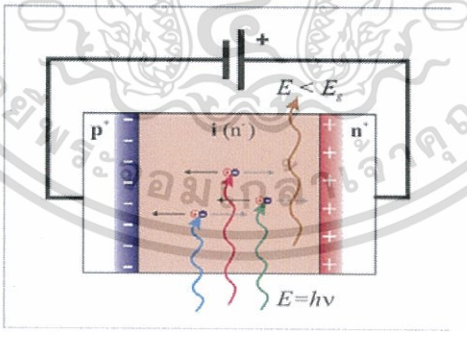
ติดต่อกันทางกายภาพกันอยู่) เนื่องจากเป็นการใช้การฉีดของประจุในการสร้างกำลังแก่เลเซอร์ไดโอดมากที่สุด, ประเภทของเลเซอร์แบบนี้บางครั้งเรียกว่า "เลเซอร์ฉีด" หรือ "เลเซอร์ไดโอดฉีด" (ILD) เป็นเลเซอร์ไดโอดที่เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่พวกมันอาจถูกจัดจำแนกได้ว่าเป็นเลเซอร์สารกึ่งตัวนำ ซึ่งเป็นการกำหนดคุณลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งที่มีความแตกต่างจากเลเซอร์สถานะของแข็ง

2.2 โฟโตไดโอด

โฟโตไดโอด (Photo Diode) เป็นอุปกรณ์เชิงแสงชนิดหนึ่ง ที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N รอยต่อจะถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุที่แสงผ่านได้ เช่น กระจกใส โฟโต้ไดโอดจะมีอยู่ 2 แบบ คือแบบที่ตอบสนองต่อแสงที่เรามองเห็น และแบบที่ตอบสนองต่อแสงในย่านอินฟาเรด (IR Photo Diode) ในการรับใช้งานจะต้องต่อโฟโตไดโอดในลักษณะไบอัสกลับ (Reverse Bias)

โฟโตไดโอดเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็น สัญญาณไฟฟ้า เมื่อแสงตกกระทบอิเล็กตรอนที่ยึดติดอยู่กับอะตอมในย่ายผลึกจะแตกหลุด เกิด เป็นอิเล็กตรอนอิสระ และโฮลอิสระขึ้น อิเล็กตรอน และโฮลเหล่านี้จะเคลื่อนที่เข้าไปในเขตปลอดพาหะ เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าย้อนด้วยปริมาณที่แปรเปลี่ยนตามความเข้มแสง เรียกว่า กระแสโฟโต

โฟโตไดโอดจะยอมให้กระแสไหลผ่านได้มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสง เมื่อโฟโต้ไดโอดได้รับไบอัสกลับ ด้วยแรงดันค่าหนึ่งและมีแสงมาตกกระทบที่บริเวณรอยต่อ ถ้าแสงที่มาตกกระทบมีความยาวคลื่นหรือแลมด้าที่เหมาะสมจะมีกระแสไหลในวงจร โดยกระแสที่ไหลในวงจร จะแปรผกผันกับความเข้มของแสงที่มาตกกระทบ ลักษณะทั่วไปขณะไบอัสตรง (Forward Bias) จะยังคงเหมือนกับไดโอดธรรมดาคือยอมให้กระแสไหลผ่านได้



รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของโฟโต้ไดโอด

<u>โฟโตไดโอดใช้ประโยชน์ในงาน</u>

- วัดความเข้มแสง
- ชัตเตอร์แสง
- กำหนดตำแหน่งของเครื่องมือกล
- การวัดระยะทางไกลด้วยแสงอินฟาเรด
- ตรวจจับสัญญาณแสงที่ความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟโต้ไดโอดเมื่อเทียบกับ LDR (ตัวต้านทานที่แปรค่าตามแสง) แล้วโฟโต้ไดโอดมีการตอบสนองเร็วกว่า LDR มาก จึงนิยมนำไปประยุกต์งานในวงจรที่ต้องการความเร็วสูง เช่น เครื่องนับสิ่งของ, ตัวรับรีโมทคอนโทรล, วงจรกันขโมยอินฟาเรดเป็นต้น

เนื่องจากโฟโต้ไดโอดให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อแสงต่ำ คืออยู่ในช่วง 1-10 mA เท่านั้น ดังนั้นการใช้งานโฟโต้ไดโอดจึงต้องมีตัวขยายกระแสเพิ่มเติม ผู้ผลิตจึงหันมาใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวขยายกระแสเพิ่มเติมอยู่ในตัวถังเดียวกัน ซึ่งเรียก ว่าโฟโต้ทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor)

2.3 วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier)

วงจรขยายสัญญา เป็นอุปกรณ์หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ช่วยเพิ่มขนาดของสัญญาณ โดยการใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟและการควบคุมสัญญาณเอาต์พุตให้มีรูปร่างเหมือนสัญญาณอินพุท แต่มีขนาดใหญ่กว่า ในความหมายนี้ ตัวขยายทำการ modulates เอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟ

ตัวขยายอิเล็กทรอนิกส์มีหลายประเภทที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะอย่างในการนำไปใช้งานต่างๆ ตัวขยายอาจหมายถึงอะไรก็ได้ที่เป็นวงจรไฟฟ้าที่ใช้อุปกรณ์ชิ้นเดียว จนถึงระบบที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น ชุดเครื่องขยายเสียง Hi-Fi

คุณภาพของตัวขยายขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติดังต่อไปนี้

- Gain คืออัตราส่วนระหว่างขนาดของสัญญาณที่เอาต์พุตกับสัญญาณที่อินพุท
- แบนด์วิดธ์ คือความกว้างของช่วงความถี่ที่ใช้งานได้
- ประสิทธิภาพ หมายถึงอัตราส่วนระหว่างกำลังของการส่งออกและการบริโภคพลังงานทั้งหมด
- ความเป็นเชิงเส้น หมายถึงระดับของสัดส่วนระหว่าง input และ output
- Noise หมายถึงการวัดการรบกวนที่ไม่พึงประสงค์ที่ผสมเข้าไปในเอาต์พุต
- ช่วงเอาต์พุตแบบไดนามิก หมายถึงอัตราส่วนของสัญญาณเอาต์พุตที่ใหญ่ที่สุดและที่เล็กที่สุด
- Slew rate หมายถึงอัตราสูงสุดของการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุต
- Rise time, settling time, ringing และ overshoot ที่บอกลักษณะการตอบสนองเป็นขั้นตอน
- เสถียรภาพ หมายถึงความสามารถในการหลีกเลี่ยง การ Oscillation ในวงจร

การจำแนกประเภทหลายทางเลือกได้กล่าวถึงมุมมองที่แตกต่างกันของการออกแบบโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกี่ยวข้องระหว่างพารามิเตอร์การออกแบบกับวัตถุประสงค์ของวงจร การออกแบบวงจรขยายสัญญาณจะต้องประนีประนอมอยู่เสมอกับปัจจัยหลายอย่าง เช่นค่าใช้จ่าย การใช้พลังงาน, ความไม่สมบูรณ์ของอุปกรณ์ในโลกแห่งความจริง และ ความหลากหลายของ คุณสมบัติของความสามารถในการทำงาน ด้านล่างนี้เป็นวิธีการที่แตกต่างกันหลายประการในการจัดหมวดหมู่ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขยายสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ใช้ตัวแปรหนึ่งตัวที่แสดงเป็นทั้งกระแสและแรงดัน ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งอินพุทและเอาต์พุต นำไปสู่สี่ประเภทของวงจรขยายสัญญาณ ในรูปแบบอุดมคติ ประเภทเหล่านี้จะเป็นตัวแทนของแต่ละประเภทของสี่แหล่งจ่ายไม่อิสระที่ใช้ในการวิเคราะห์เชิงเส้น ดังแสดงในรูปกล่าวคือ

ตารางที่ 2.1 ประเภทของวงจรขยายสัญญาณในรูปแบบอุดมคติ

Input	Output	Dependent source	Amplifier type
I	I	Current controlled current source CCCS	Current amplifier
I	V	Current controlled voltage source CCVS	Transresistance amplifier
V	I	Voltage controlled current source VCCS	Transconductance amplifier
V	V	Voltage controlled voltage source VCVS	Voltage amplifier

แต่ละประเภทของวงจรขยายสัญญาณในรูปแบบอุดมคติของมันจะมีความต้านทานอินพุทและความต้านทานเอาต์พุตในอุดมคติ ที่เป็นเช่นเดียวกับของแหล่งจ่ายไม่อิสระที่สอดคล้องกัน

ตารางที่ 2.2 ความต้านทานอินพุทและความต้านทานเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณในรูปแบบอุดมคติ

Amplifier type	Dependent source	Input impedance	Output impedance
Current	CCCS	0	∞
Transresistance	CCVS	0	0
Transconductance	VCCS	∞	∞
Voltage	VCVS	∞	0

ในทางปฏิบัติ อิมพีแดนซ์ในอุดมคติจะมีค่าโดยประมาณเท่านั้น สำหรับวงจรใด การวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็ก มักจะถูกใช้เพื่อหาค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จริง กระแสสลับ Ix ขนาดเล็กเพื่อทดสอบจะถูกป้อนเข้าที่อินพุทหรือเอาต์พุต, ทุกแหล่งจ่ายภายนอกจะถูกตั้งค่าไปที่ AC ศูนย์, และแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สลับ V_x ที่ตกคร่อมแหล่งจ่ายกระแสที่ถูกทดสอบจะเป็นตัวกำหนดค่าอิมพีแดนซ์ที่โหนดนั้น ซึ่งจะมีค่า $R = V_x / I_x$.

วงจรขยายสัญญาณที่ออกแบบมาเพื่อแนบไปกับสายส่งที่อินพุทและ/หรือเอาต์พุต, โดยเฉพาะอย่างยิ่ง RF แอมป์, ไม่อยู่ในวิธีการจัดหมวดหมู่แบบนี้ แทนที่จะจัดการกับแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าเป็นรายตัว แอมป์แบบนี้จะจับคู่อินพุทและ/หรือเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ให้เข้ากันได้ดีกับอิมพีแดนซ์ของสายส่ง นั่นคือ แมทช์อัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าเข้ากับกระแส หลาย RF แอมป์ตัวจริงสามารถทำได้ใกล้เคียงกับอุดมคตินี้ ถึงแม้ว่า RF แอมป์สามารถถูกจัดว่ามีคุณสมบัติที่ขยายแรงดันหรือกระแสได้ ถ้าให้แหล่งจ่ายและโหลดอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสม, โดยพื้นฐานแล้ว แอมป์ RF เป็นพาวเวอร์แอมป์

วิธีการ coupling ระหว่างขั้นตอน

วงจรขยายสัญญาณบางครั้งถูกจำแนกโดยวิธีการเชื่อมโยงสัญญาณที่ขั้นตอนอินพุท ขั้นตอนเอาต์พุต หรือระหว่างขั้นตอนนั้น มีหลายชนิดที่แตกต่างกัน รวมถึง

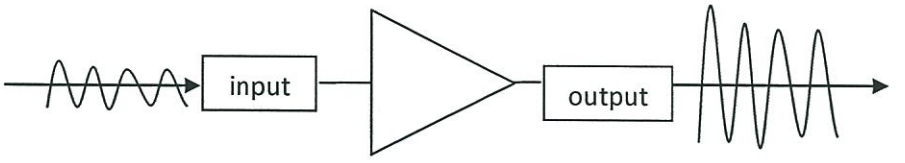
- Resistive-capacitive coupled amplifier โดยใช้เครือข่ายของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ โดยการออกแบบ วงจรขยายสัญญาณเหล่านี้ไม่สามารถขยายสัญญาณ DC เพราะตัวเก็บประจุจะบล็อคองค์ประกอบ DC ของสัญญาณอินพุท วงจรแบบนี้ถูกนำมาใช้ในวงจรหลอดสุญญากาศหรือทรานซิสเตอร์เป็นชิ้นส่วนแยก ในสมัยของวงจรรวมทรานซิสเตอร์ไม่กี่ตัวบนชิปจะถูกกว่าและมีขนาดเล็กกว่าตัวเก็บประจุเสียอีก
- Inductive-capacitive (LC) coupled amplifier ใช้เครือข่ายของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ วงจรขยายสัญญาณชนิดนี้จะถูกใช้บ่อยที่สุดในวงจรเลือกคลื่นความถี่วิทยุ
- Transformer coupled amplifier ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อแมทช์ impedances หรือเพื่อแยกบางส่วนของวงจรค่อนข้างบ่อย วงจรขยาย LC-coupled และ transformer-coupled ไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ เพราะหม้อแปลงไฟฟ้าก็เป็นตัวเหนี่ยวนำชนิดหนึ่ง
- Direct coupled amplifier ไม่ใช้อิมพีแดนซ์ และชิ้นส่วนที่ bias matching วงจรขยายสัญญาณแบบนี้เป็นเรื่องไม่ปกติในวันหลอดสุญญากาศ เมื่อแรงดันที่แอโนด (output) สูงกว่าหลายร้อยโวลต์และแรงดันที่กริด (อินพุท) เป็นลบไม่กี่โวลต์ ดังนั้นวงจรพวกนี้จึงถูกนำมาใช้เฉพาะถ้าอัตราการขยายถูกระบุลงไปที่ DC (เช่นในสโคป) ในบริบทของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทันสมัย มีการส่งเสริมให้นักพัฒนาใช้วงจรแบบนี้ เมื่อใดก็ตามที่เป็นไปได้

2.3.1 วงจรขยายกำลัง (Power Amplifier)

2.3.1.1 หลักการทำงานของวงจรขยายกำลัง

เป็นส่วนที่ขยายสัญญาณเพื่อให้สัญญาณที่ถูกส่งออกไปในอากาศมีกำลังการส่งความที่ต้องการ และเพื่อให้สัญญาณที่ถูกส่งสามารถเดินทางไปได้ในระยะทางที่ไกลๆ และมีความสามารถในการทะลุผ่านผนังต่างๆได้ โดยที่สัญญาณยังสมารถไปถึงตัวรับได้ และไม่เกิดความผิดพลาดของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การขยายกำลังของสัญญาณ

จากรูปที่ 2.3 เป็นการขยายสัญญาณในอุดมคติ คือ เมื่อมีสัญญาณส่งเข้าถูกส่งมาที่เครื่องขยายกำลังของสัญญาณเครื่องขยายกำลังของสัญญาณจะทำการขยายกำลังของสัญญาฯที่ได้รับมาให้มีกำลังสัญญาณมากกว่าเดิม หรือหากมองในรูปที่ 1จะพบว่าแอมพลิจุดของสัญญาณมีความสูงเพิ่มมากขึ้น แต่ในทางปฏิบัติจะไม่เป็นอย่างในรูปที่ 4 เพรามีปัจจัยอย่างอื่นที่มีส่วนทำให้ output ของสัญญาณเปลี่ยนไป วิธีการวัดอัตราขยายคือการเปรียบเทียบกำลังของสัญญาณที่ส่งออกต่อสัญญาณที่ส่งเข้าสมารถแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Gain} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \qquad (2.1)$$

Gain = อัตราขยาย

P_{out} = กำลังของสัญญาณที่ส่งออก

P_{in} = กำลังของสัญญาณที่ส่งเข้า

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของวงจรขยายแบบต่างๆ

	คลาสเอ	คลาสเอบี	คลาสบี	คลาสซี
ประสิทธิภาพ	50%	ระหว่างคลาสเอและบี	78.5%	100%
มุมการนำกระแส	180°	ระหว่างคลาสเอและบี	180°	น้อย(ประมาน 90°)
ความเพี้ยน	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
ไบอัส	ฟอร์เวิร์ด (จุดกึ่งกลางของเส้นโหลด)	ฟอร์เวิร์ด (ใกล้จุดคัดออฟ)	ศูนย์ (ที่จุดคัตออฟ)	รีเวิร์ส (เหนือจุดคัตออฟ)
การประยุกต์ใช้งาน	ส่วนใหญ่ใช้เป็นวงจรขยายขนาดเล็กส่วนน้อยใช้เป็นเพาเวอร์แอมป์ขนาดกลางในเครื่องเสียง	ภาคจ่ายกำลังสูงทั้งในงานความถี่เสียงและงานความถี่วิทยุ	ภาคจ่ายกำลังสูงโดยทั่วไปไม่ใช้ในงานความถี่เสียงเนื่องจากความเพี้ยนของสัญญาณ	โดยทั่วไป จำกัดการใช้งานความถี่วิทยุวงจรจูนช่วยขจัดความเพี้ยนมากของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 การวัดประสิทธิภาพของ Power Amplifiers

2.3.1.2.1 Output Gain

อัตราการขยายของสัญญาณและการวัดประสิทธิภาพของเครื่องขยายสัญญาณส่วนมากจะวัดในหน่วย dBm สามารถอยู่อธิบายในรูปสมการได้ดังนี้

$$G=10\log_{10}(P) \tag{2.2}$$

G คือ กำลังในหน่วย dB

P คือ กำลังในหน่วย W

ส่วน dBm คือ อัตราการขยายกำลังของสัญญาณเทียบกับ 1 mW

$$A = G/G_{1mW} \tag{2.3}$$

เมื่อ A มีหน่วยเป็น dBm

เมื่อ G_{1mW}= G at 1mw

ตัวอย่าง G at 1 mW

$G = 10\log_{10}(0.01)$

$G = -3$ dB

เมื่อแทนค่าใน (2.3) จะได้ $A = 10\log_{10}(0.01)/10\log_{10}(0.01)$

$A = 0$ dBm

หรือสามารถหา $A = 10\log_{10}(1000P)$

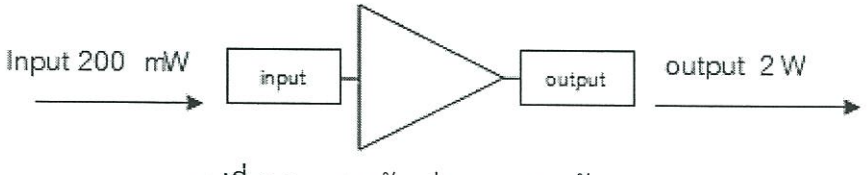
ตัวอย่างเมื่อสัญญาณมีกำลัง 100 mWจะมีค่าเท่ากับ 20 dBmแสดงตามคำนวณได้ต่อไปนี้

$A = 10\log_{10}(1000P)$

$A = 10\log_{10}(1000\times100\times10^{-3})$

$A = 20$ dBm

ดังนั้นจึงใช้หน่วย dBm ในการวัดประสิทธิภาพของ output gain โดยเครื่องขยายสัญญาณที่ดีต้องมีความแตกต่างระหว่างของสัญญาณส่งออกและสัญญาณส่งเข้าที่มีค่าสูง กำลังในหน่วย dBm ดังแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างการขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.4 เมื่อสัญญาณส่งเข้ามีกำลัง 200 mWและสัญญาณส่งออกมีกำลัง 2 Wเมื่อเปลี่ยนให้อยู่ในหน่วย dBmคือ 23 dBmและ 33 dBmตามลำดับ แสดงว่าเครื่องขยายมีกำลังขยายเท่ากับ 10 dBm

สามารถคำนวณดังสังการต่อไปนี้

$$\text{Gain (dBm)} = \text{Output (dBm)} - \text{Input (dBm)} \quad (2.4)$$

2.3.1.2.2 Power add efficiency

เป็นวัดประสิทธิภาพของการขยายสัญญาณที่เพิ่มขึ้น สามารถอธิบายดังสามารถต่อไปนี้

$$n_{PA} = \left(\frac{P_o - P_i}{V_{supply}^2}\right) \times 100\% \quad (2.5)$$

n_{PA} คือ Power add efficiency

P_o คือ กำลังสัญญาณส่งออก dBm

P_i คือ กำลังสัญญาณส่งเข้า dBm

V_{Supply} คือ ค่าความต่างศักย์ที่ป้อนให้เครื่องขยายสัญญาณ

Power add efficiency เป็นการวัดในส่วนกำลังที่เพิ่มขึ้นจากเดิมเปรียบกับความต่างศักย์ที่ป้อนให้วงจร ซึ่งในวงจร RF ซึ่งมีขนาดเล็กและเป็นวงจรที่ใช้กำลังไฟฟ้าในการทำงานต่ำ ดังนั้น ความต่างศักย์ที่ป้อนให้วงจร (V_{Supply}) เพื่อให้วงจรทำงาน จึงมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องขยายด้วย วงจรที่มีประสิทธิภาพควรมีค่า Power add efficiency ที่มีค่าสูง

2.3.1.2.3 Total efficiency

เป็นการวัดประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องขยายกำลังของสัญญาณ สามารถอธิบายได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$N_{tot} = \left(\frac{P_0}{V_{supply}^2}\right) \times 100\% \quad (2.6)$$

N_{tot} คือ Total efficiency

P_o คือ กำลังสัญญาณส่งออก dBm

V_{Supply} คือ ค่าความต่างศักย์ที่ป้อนให้เครื่องขยายสัญญาณ

Total efficiency เป็นการวัดประสิทธิภาพของสัญญาณที่ส่งออก เทียบกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้เครื่องขยายสัญญาณ วงจรที่มีประสิทธิภาพควรมีค่าTotal efficiency ที่มีค่าสูง

<u>การออกแบบวงจรขยาย Wideband</u>

การเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ผ่านแบนด์วิดธ์ขนาดใหญ่เป็นเรื่องยาก ดังนั้นวงจรขยายที่มีแบนด์วิดธ์ขนาดใหญ่ส่วนมากจะใช้โหลดที่เอาท์พุท 50Ω พลังงานของเอาท์พุทวงจรจะถูกจำกัดตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{out} \leq \frac{(V_{br} - V_k)^2}{8Z_o} \quad (2.7)$$

V_{br} คือ Breakdown Voltage

V_k คือ Knee Voltage (จุดของแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เส้นกราฟชันขึ้นอย่างรวดเร็ว)

Z_o โดยปกติใช้ที่ 50Ω

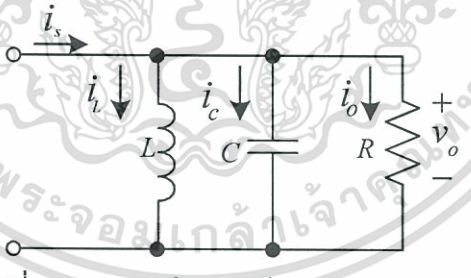
2.4 วงจรเรโซแนนท์ (Resonance)

เงื่อนไขการเกิดเรโซแนนท์ ทำได้โดยการปรับค่าตัวเหนี่ยวนำ หรือตัวเก็บประจุ หรือการปรับความถี่ของแหล่งจ่ายกระแสที่ป้อนให้กับวงจร ในที่นี้กำหนดให้ความถี่เป็นตัวแปรที่ปรับค่าได้

สภาวะเรโซแนนท์ (Resonance) ทำการปรับค่าความถี่ของแหล่งจ่ายแรงดันที่ความถี่ค่าหนึ่ง ทำให้ค่ารีแอคแตนซ์ X_L เท่ากับ X_C ได้ค่าอิมพิแดนซ์ $Z = R$ แรงดันและกระแสในวงจรมีเฟสตรงกัน ตัวคูณกำลังของวงจรมีค่าเป็นหนึ่งตามทฤษฎี

ความถี่เรโซแนนท์ (Resonant frequency) คือความถี่ที่ทำให้เกิดสภาวะเรโซแนนท์ ผลรวมของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุมีค่าเป็นศูนย์ วงจรเรโซแนนท์แบบขนานอิมพิแดนซ์มีค่าสูงสุดกระแสไหลในวงจรมีค่าต่ำสุด ส่วนวงจรเรโซแนนท์แบบอนุกรมอิมพิแดนซ์ของวงจรมีค่าต่ำสุดกระแสที่ไหลในวงจรจะมีค่าสูงสุด ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรในวงจร จะใช้เฟสเซอร์ในการวิเคราะห์

2.4.1 วงจรเรโซแนนท์แบบขนาน



รูปที่ 2.5 วงจรเรโซแนนท์แบบขนาน

ค่าแอดมิดแตนซ์

$$Y = \frac{1}{R} = j\omega C = j\frac{\mathbf{1}}{\omega L})$$
$$= \frac{1}{R} + j(\omega C - \frac{\mathbf{1}}{\omega L}) \quad (2.8)$$

การเกิดเรโซแนนท์เมื่อแรงดันและกระแสที่ขั้วอินพุทมีเฟสตรงกัน มีค่าแอดมิดแตนซ์เฉพาะส่วนจริงเท่านั้นเป็นค่าความนำ (Conductance)

$$Y = \frac{1}{R} = G \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนจินตภาพของแอดมิดแตนซ์มีค่าเป็นศูนย์

$$\omega C - \frac{1}{\omega L} = 0$$

$$\omega C = \frac{1}{\omega L}, \quad \omega^2 CL = 1, \quad \omega^2 = \frac{1}{CL} \tag{2.10}$$

ความถี่เรโซแนนท์กำหนด

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ rad/s}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ Hz}$$

$$\omega_0 = 2\pi f_0 \tag{2.11}$$

เกิดการเรโซแนนท์ จะต้องกำหนดให้ค่าแอดมิดแตนซ์เท่ากับค่าความนำ Y = G

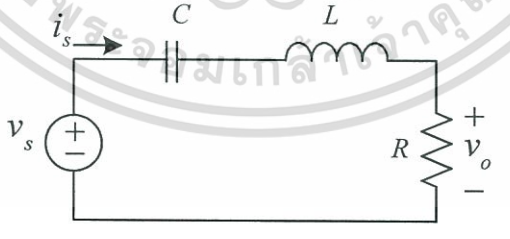
ส่วนค่า Susceptance จะมีค่าเป็นศูนย์ วงจรจะเกิดการเรโซแนนท์เมื่อขนาดของแอดมิดแตนซ์มีค่าต่ำที่สุด $\frac{1}{R}$

ขนาดของอิมพิแดนซ์มีค่าสูงสุด R

แรงดันที่ตกคร่อมวงจรเป็น $V_o = RI_s$

โดยที่กระแสจะไหลจากแหล่งจ่ายเข้าสู่ตัวต้านทานเพียงตัวเดียว โดยไม่ไหลเข้าสู่ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C)

2.4.2 วงจรเรโซแนนท์แบบอนุกรม



รูปที่ 2.6 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

ฟังก์ชันโครงข่าย

กำหนดให้แรงดันตกคร่อมตัวต้านทานเป็นเอาท์พุทและแหล่งจ่ายแรงดันเป็นอินพุท

$$H(j\omega) = \frac{V_o(j\omega)}{V_s(j\omega)} = \frac{R}{R + j\omega L - j\left(\frac{1}{\omega C}\right)} = \frac{1}{1 + j\left(\frac{\omega L}{R} - \frac{1}{\omega RC}\right)} \tag{2.12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิมพิแดนซ์

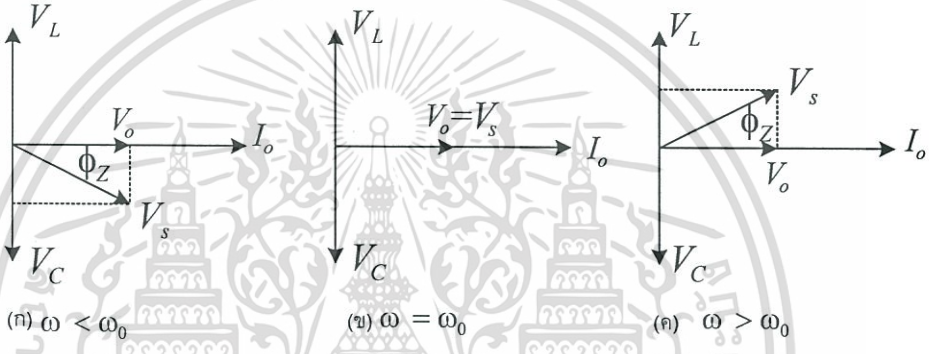
$$Z(j\omega) = R + j\omega L - j\left(\frac{1}{\omega C}\right) = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \qquad (2.13)$$

การเกิดเรโซแนนท์เมื่อส่วนจินตภาพของอิมพิแดนซ์มีค่าเป็นศูนย์วงจรเรโซแนนท์แบบขนาน ความถี่เรโซแนนท์

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} \qquad (2.14)$$

เฟสเซอร์ไดอะแกรมของวงจรอนุกรม



รูปที่ 2.7 (ก) วงจรเสมือนประกอบด้วยตัวเก็บประจุและตัวต้านทาน
(ข) วงจรเสมือนประกอบด้วยตัวต้านทาน
(ค) วงจรเสมือนประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำและตัวต้านทาน

2.5 Matching Impedance

วงจรขยายความถี่สูงสามารถทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพภายใต้เงื่อนไขค่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิดและอิมพีแดนซ์ของโหลดที่เหมาะสม การแมทชิ่งอิมพิแดนซ์ ทำให้การถ่ายทอดพลังงานจากต้นกำเนิด ถ่ายทอดไปสู่โหลดได้ดีที่สุด การถ่ายทอดกำลังงานจะมากที่สุดเมื่อ อิมพิแดนซ์ของโหลด เท่ากับอิมพิแดนซ์ของแหล่งจ่ายสัญญาณ

วงจรแมทชิ่งเป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรหรือโครงข่าย เพื่อให้วงจรมีค่าอิมพีแดนซ์ตามที่เราต้องการ เพื่อทำให้วงจรมีการถ่ายทอดกำลังงานสูงสุด มีสามแบบ คือ วงจรที่ใช้ตัวความต้านทาน วงจรที่ใช้หม้อแปลง วงจรที่ใช้ L-C

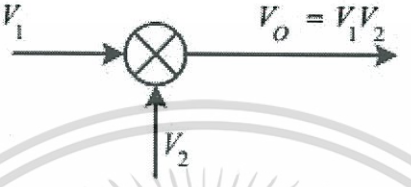
ในการส่งสัญญาณวิทยุนั้น นอกเหนือจากการถ่ายทอดกำลังงานไปสู่โหลดได้สูงสุดแล้ว ณ จุดที่อิมพิแดนซ์แมทช์กันนั้น จะไม่มี Standing wave เกิดขึ้นในสายสัญญาณที่ต่อระหว่างแหล่งกำเนิดสัญญาณและโหลด ทำให้ไม่มีการแพร่กระจายคลื่นออกมาจากสายสัญญาณ ซึ่งเป็นสิ่งที่เราไม่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เกิดขึ้นในการใช้งาน แต่สัญญาณจะถูกแพร่ออกไปที่โหลดหรือสายอากาศเพียงจุดเดียวตามความต้องการ

2.6 วงจรรวมความถี่ (Mixer)

มิกเซอร์ความถี่ ส่วนใหญ่แล้วในระบบหรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้งานเกี่ยวกับความถี่ มักจะต้องมีวงจรรวมความถี่ หรือที่เรียกกันว่า Mixer



รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์แสดงการทำงานของ Mixer

Mixer จะรวมเอาสัญญาณ 2 สัญญาณ เข้าด้วยกัน เช่นในกรณีที่สัญญาณซายน์เป็นอินพุต มิกเซอร์ในทางอุดมคติก็จะให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาดังสมการ

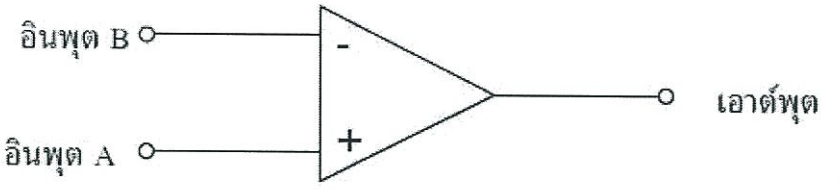
$$\begin{aligned} V_o &= (A_1 \sin\omega_1 t)(A_1 \sin\omega_1 t) \\ &= \frac{A_1 A_2}{2}[\cos(\omega_1 - \omega_2)t - \cos(\omega_1 + \omega_2)t] \end{aligned} \qquad (2.15)$$

สัญญาณเอาต์พุตที่ได้สามารถเป็นได้ทั้งผลรวมและผลต่างของสัญญาณทั้งสอง โดยที่จะมีสัญญาณที่เราต้องการเพียงสัญญาณเดียวเท่านั้น และอีกสัญญาณนึงจะถูกนำออกเมื่อผ่านวงจรกรองความถี่ ซึ่งการทำงานร่วมกันของมิกเซอร์และวงจรกรองความถี่จะเรียกว่า single sideband mixer อย่างไรก็ตามมิกเซอร์ในทางอุดมคตินั้นก็ไม่สามารถนำมาใช้ในทางปฏิบัติได้ แต่ก็ยังมีวงจรแบบอื่นที่นำมาใช้ทดแทนกันได้และมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ซึ่งมีทั้งวงจรแบบแอคทีฟและพาสซีฟโดยที่วงจรแบบแอคทีฟจะมีอัตราขยายในตัวเอง แต่วงจรแบบพาสซีฟจะไม่มีอัตราขยาย และอาจจะลดทอนสัญญาณด้วย

2.7 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator Circuit)

วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) เป็นวงจรที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมการทำงานของระบบในงานวิจัยนี้ ดังนั้นในบทนี้จึงได้นำ วงจรเปรียบเทียบสัญญาณมาอธิบายหลักการทำงานด้วยพอสังเขป ในการเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันนี้ โดยมากจะใช้ออปแอมป์ (Op-Amp) มาเป็นตัวแสดงผลซึ่งสภาวะเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณจะสามารถบอกได้ว่าสัญญาณอินพุตสองสัญญาณ สัญญาณใดมีค่ามากหรือน้อยกว่ากัน ดังนั้นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณจึงเป็นวงจรที่มีอินพุตเป็นสัญญาณอนาลอก(Analog) และมีเอาต์พุตเป็นสัญญาณดิจิตอล (Digital) ลักษณะของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณอย่างง่ายแสดงดังในรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณอย่างง่าย

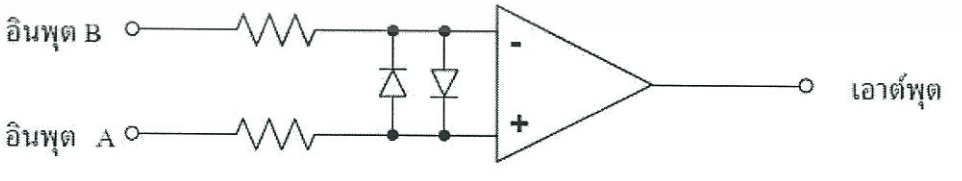
จากรูปที่ 2.9 จะได้ว่าแรงดันเอาต์พุตของวงจร (V_o) จะมีค่าเป็น

$$V_o = (V_{inA} - V_{inB}) A_{vol} \quad (2.16)$$

โดยที่ A_{vol} คืออัตราขยายแรงดันเปิดลูป (Open-loop voltage gain) ของออปแอมป์ส่วน V_{inA} และ V_{inB} เป็นค่าแรงดันจากอินพุต A และ B ตามลำ ดับ เมื่อเทียบกับจุดกราวด์จะได้ว่า ถ้า V_{inA} มีค่ามากกว่า V_{inB} เทอมในวงเล็บในสมการ (2.16) จะมีค่าเป็นบวกและออปแอมป์ในอุดมคติจะให้แรงดันเอาต์พุตเป็นค่าบวกอนันต์ (Infinity) ถ้า V_{inA} มีค่าน้อยกว่า V_{inB} แล้ว เทอมในวงเล็บของสมการตัวนี้จะมีค่าเป็นลบ และออปแอมป์ในอุดมคติจะให้แรงดันเอาต์พุตเป็นค่าลบอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติแรงดันเอาต์พุตนี้ถูกจำ กัดโดยแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงและวงจรภายในของออปแอมป์ซึ่งค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้ จะมีค่าน้อยกว่าแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงประมาณ 1 โวลต์ และเรียกค่าแรงดันนี้ว่า แรงดันอิ่มตัว (Saturation voltage : V_{SAT}) ดังนั้นถ้าสมมติว่า แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงมีค่าเป็น 15 โวลต์ V_{SAT} ที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 14 โวลต์ และ V_{SAT} จะมีค่าเท่ากับ –14 โวลต์ แต่ในกรณีที่แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงมีขั้วเดียว(Unipolar) เช่น +30 โวลต์ จะได้ค่า V_{SAT} ประมาณ +29 โวลต์ และจะมีค่า V_{SAT} ประมาณ +1 โวลต์ ดังนั้นจากที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่าค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณจึงมีสองสภาวะคือ

$$V_{out} = \begin{cases} V_{SAT^+} ; & V_{inA} > V_{inB} \\ V_{SAT^-} ; & V_{inA} < V_{inB} \end{cases} \quad (2.17)$$

รูปแบบหนึ่งของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน ที่นำมาใช้งานมีลักษณะดังรูปที่ 2.10 วงจรตามรูปนี้มีการนำความต้านทานและไดโอดต่อเพิ่มเข้ามาที่ขาอินพุตของวงจรเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายกับวงจรภาคอินพุตของออปแอมป์ เมื่อผลต่างแรงดันอินพุตมีค่ามากเกินไป

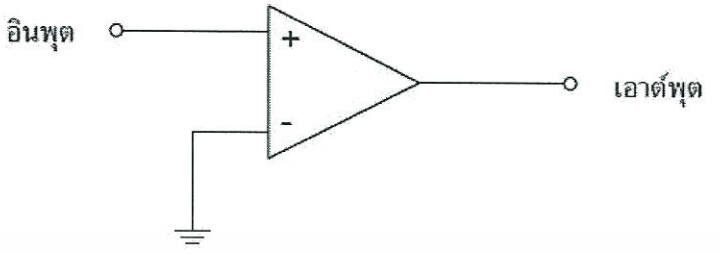


รูปที่ 2.10 วงจรเปรียบเทียบแรงดันที่มีการป้องกันอินพุต

การประยุกต์ใช้วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่พบบ่อยๆ เช่น นำ มาใช้เพื่อแสดงว่าสัญญาณอินพุตที่เข้ามามีค่ามากหรือน้อยกว่าศูนย์ โดยวงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่ทำ งานหน้าที่เช่นนี้เรียกว่า วงจรตรวจจับผ่านศูนย์ (Zero crossing detector) ซึ่งการต่อวงจรมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.11

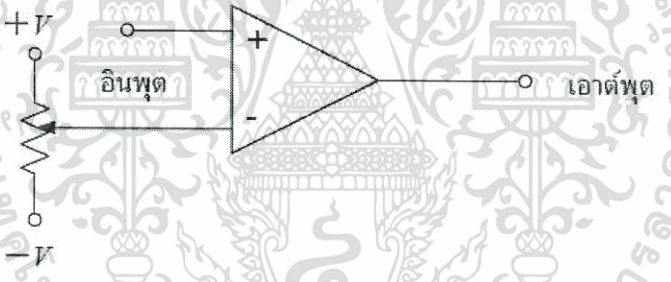
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือจะมีขั้วอินพุตขั้วใดขั้วหนึ่งถูกป้อนอินพุตให้มีค่าระดับสัญญาณเป็นศูนย์หรือต่อลงกราวด์นั่นเอง เพื่อใช้เป็นระดับสัญญาณแรงดันอ้างอิง(Voltage reference : V_{ref}) ให้กับวงจรเปรียบเทียบนี้



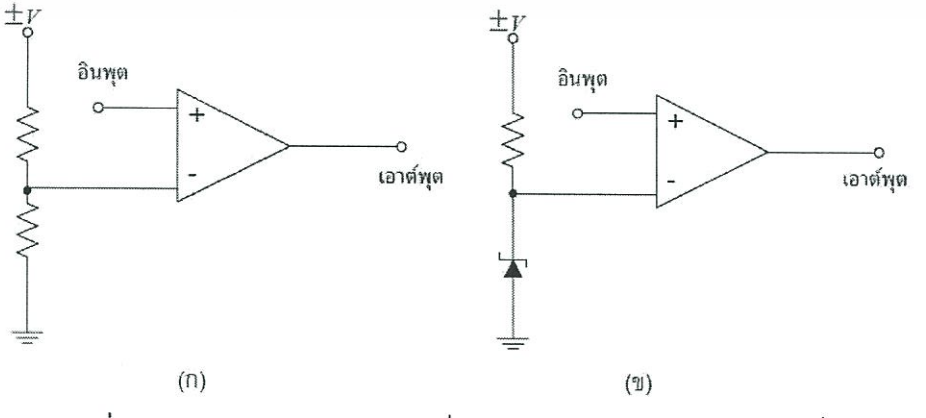
รูปที่ 2.11 วงจรตรวจจับผ่านศูนย์

ปกติโดยทั่วไปแล้วค่าระดับแรงดันอินพุตที่ใช้สำหรับอ้างอิง ไม่จำเป็นจะต้องมีค่าเท่ากับ 0 โวลต์เสมอไป ทั้งนี้อาจจะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าศูนย์ก็ได้ และอาจจะเป็นระดับแรงดันอ้างอิงที่มีค่าคงที่ หรือมีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาก็ได้ สำหรับวงจรเปรียบเทียบที่มีแรงดันอ้างอิงเป็นสัญญาณที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาได้นี้เรียกว่า วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบผลต่างหรือ ดิฟเฟอร์เรนเชียล คอมพาราเตอร์ (Differential Comparator) ซึ่งวงจรมีลักษณะดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 วงจรคอมพาราเตอร์แบบที่มีระดับสัญญาณแรงดันอ้างอิงปรับค่าได้

ส่วนในกรณีที่สัญญาณแรงดันมีค่าเป็นศูนย์ หรือเป็นระดับใดๆ ที่มีค่าคงที่ เรียกว่า วงจรเปรียบเทียบแบบซิงเกิลเอ็น (Single-ended Comparator) ตัวอย่างวงจรในกรณีนี้มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 วงจรเปรียบเทียบแบบที่มีระดับสัญญาณแรงดันอ้างอิงคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสาร[illegible]ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

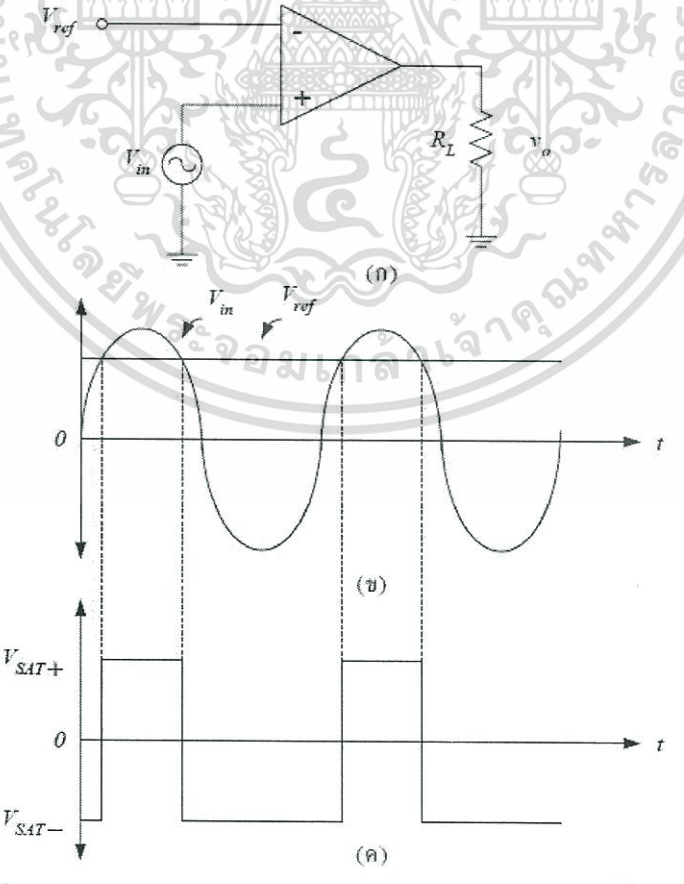
สำหรับวงจรเปรียบเทียบสัญญาณในรูปที่ 2.13 (ก) จะนำ ความต้านทานมาแบ่งแรงดันเพื่อใช้เป็นระดับสัญญาณอ้างอิง ส่วนวงจรตามรูปที่ 2.13 (ข) ระดับสัญญาณแรงดันอ้างอิงได้มาจากแรงดันที่ตกคร่อมซีเนอร์ไดโอด (Zener diode) นั่นเอง

ในการเปรียบเทียบสัญญาณของวงจรเปรียบเทียบสามารถพิจารณาได้ 2 ลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนี้คือ

- การเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ขั้วบวก
- การเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ขั้วลบ

2.7.1 การเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ขั้วบวก

ลักษณะของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ขั้วบวก แสดงดังในรูปที่ 2.14(ก) ซึ่งเป็นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่ใช้แรงดันอ้างอิง V_{ref} ป้อนเข้าที่อินพุตขั้วลบ ส่วยสัญญาณที่มาจากแหล่งกำเนิด V_{in} ป้อนเขาที่อินพุตขั้วบวก ถ้าสมมุติให้สัญญาณอินพุตและสัญญาณ V_{ref} มีลักษณะดังรูปที่ 2.14(ข) จะทำ ให้ได้สัญญาณเอาต์พุตมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.14(ค) จากรูปนี้จะพบว่าแรงดันเอาต์พุตมีการเปลี่ยนสภาวะจาก V_{SAT}^- ไปเป็น V_{SAT}^+ หรือจาก V_{SAT}^+ ไปเป็น V_{SAT}^- ตรงจุดที่แรงดันอินพุต V_{in} มีค่าเท่ากับสัญญาณแรงดัน V_{ref} และเมื่อสังเกตสัญญาณเอาต์พุตจะพบว่าเมื่อ $V_{in} > V_{ref}$ จะให้ค่าเอาต์พุตเป็น V_{SAT}^+ และเมื่อ $V_{in} < V_{ref}$ จะให้ค่าเอาต์พุตเป็น V_{SAT}^- ดังนั้นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณในกรณีนี้จึงเรียกว่า วงจรตรวจจับผ่านศูนย์แบบไม่กลับเฟส (Non-inverting zero crossing detector)



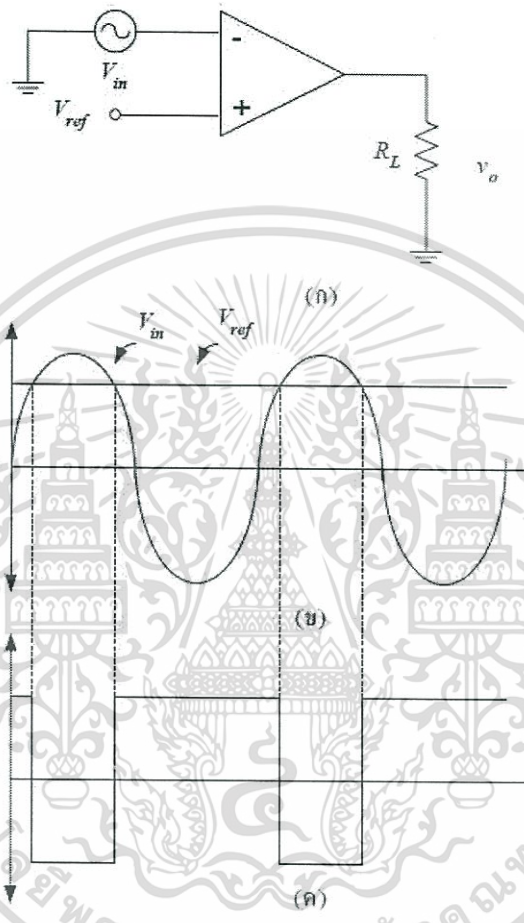
รูปที่ 2.14 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ขั้วบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

143861

2.7.2 การเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ขั้วลบ

ลักษณะของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ขั้วลบแสดงดังในรูปที่ 2.15(ก) ซึ่งเป็นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่ใช้แรงดันอ้างอิง V_{ref} ป้อนเข้าที่อินพุตขั้วบวก ส่วนสัญญาณที่มาจากแหล่งกำ เนิด V_{in} ป้อนเข้าที่อินพุตขั้วลบ ถ้าสมมติให้สัญญาณอินพุต และสัญญาณ V_{ref} มีลักษณะดังรูปที่ 2.15(ข) จะทำ ให้ได้สัญญาณเอาต์พุตมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.15(ค)



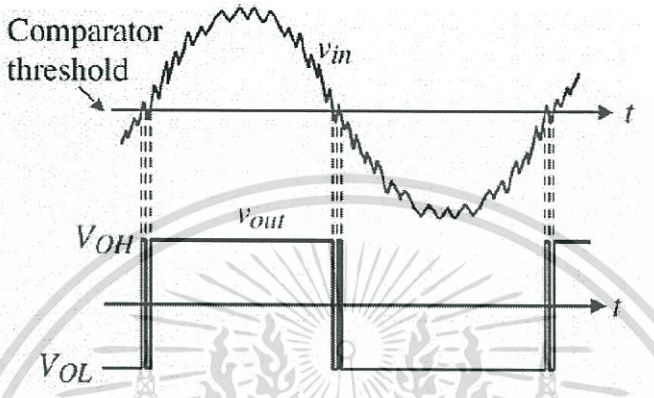
รูปที่ 2.15 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ขั้วลบ

จากรูปนี้จะพบว่าแรงดันเอาต์พุตมีการเปลี่ยนสภาวะจาก V_{SAT}^{+} ไปเป็น V_{SAT}^{-} หรือจาก V_{SAT}^{-} ไปเป็น V_{SAT}^{+} ตรงจุดที่แรงดันอินพุต V_{in} มีค่าเท่ากับสัญญาณแรงดัน V_{ref} และเมื่อสังเกตสัญญาณเอาต์พุตจะพบว่าเมื่อ $V_{in} > V_{ref}$ จะให้ค่าเอาต์พุตเป็น V_{SAT}^{-} และเมื่อ $V_{in} < V_{ref}$ จะให้ค่าเอาต์พุตเป็น V_{SAT}^{+} ดังนั้นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณในกรณีนี้จึงเรียกว่า วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบกลับเฟส (Inverting comparator) และในกรณีนี้ถ้าหากให้สัญญาณแรงดันอ้างอิง V_{ref} มีค่าเป็น 0 โวลต์ วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบนี้จะเรียกว่า วงจรตรวจจับผ่านศูนย์แบบกลับเฟส (Inverting zero crossing detector) ในการนำ วงจรเปรียบเทียบสัญญาณหรือวงจรคอมพาราเตอร์ไปประยุกต์ใช้งานนั้น จะนำวงจรลักษณะใดไปใช้ก็ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ออกแบบวงจรด้วย

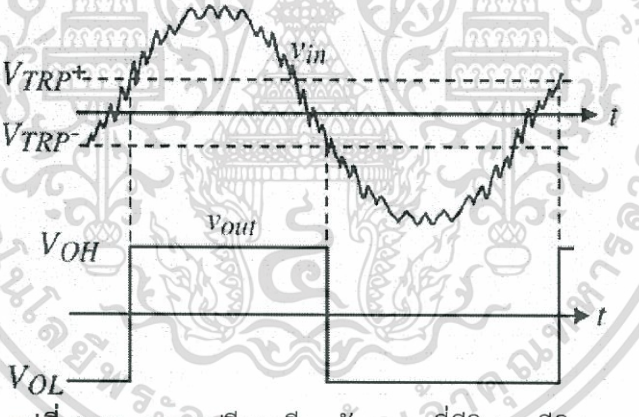
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่มีฮิสเตอรีซิส

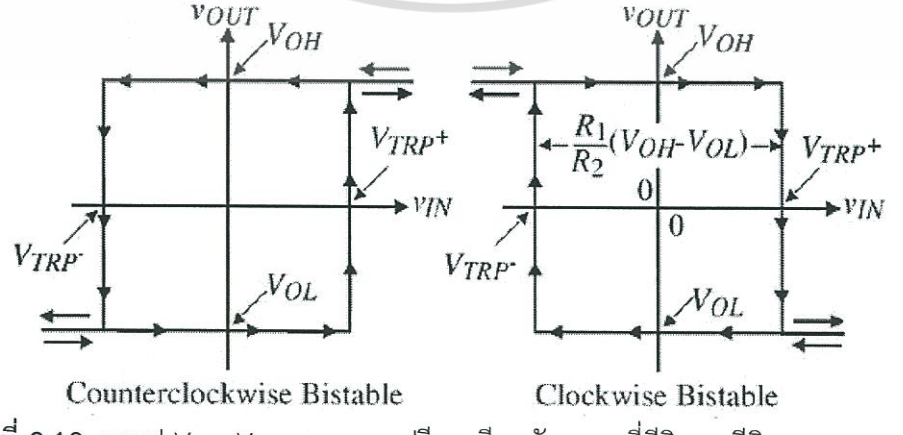
สัญญาณรบกวนสามารถทำให้วงจรเปรียบเทียบสัญญาณทำงานผิดพลาดได้ ดังรูปที่ 2.16 ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการทำให้จุดเปลี่ยน (trip point) ของแรงดันเอาท์พุทขาขึ้น (V_{TRP+}) และขาลง (V_{TRP-}) มีค่าไม่เท่ากัน หรือที่เรียกว่าการสร้างฮิสเตอรีซิสดังรูปที่
เราสามารถสร้างฮิสเตอรีซิสได้โดยการป้อนกลับแบบบวก



รูปที่ 2.16 ผลของสัญญาณรบกวนต่อการทำงานของวงจร



รูปที่ 2.17 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่มีฮิสเตอรีซิส



รูปที่ 2.18 กราฟ V_{in} - V_{out} ของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่มีฮิสเตอรีซิส

รูปที่ 2.19 แสดงวงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบไม่กลับเฟสที่มีการป้อนกลับแบบบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมุติให้ $V_{out} = V_{OL}$ ดังนั้นจุดเปลี่ยนขาขึ้นจะเกิดขึ้น เมื่อ

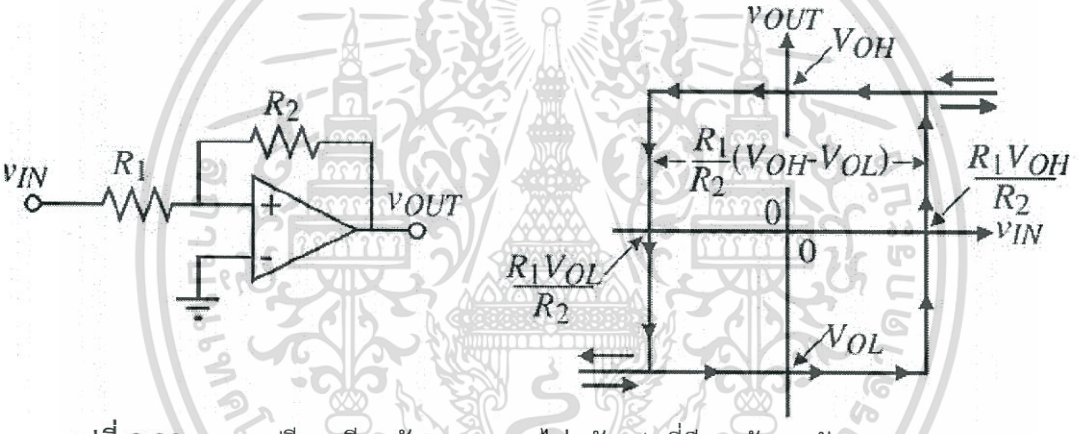
$$0 = \left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right)V_{OL} + \left(\frac{R_2}{R_1+R_2}\right)V_{TRP^+} \quad \Rightarrow \quad V_{TRP^+} = -\frac{R_1}{R_2}V_{OL} \tag{2.18}$$

สมมุติให้ $V_{out} = V_{OH}$ ดังนั้นจุดเปลี่ยนขาลงจะเกิดขึ้น เมื่อ

$$0 = \left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right)V_{OH} + \left(\frac{R_2}{R_1+R_2}\right)V_{TRP^-} \quad \Rightarrow \quad V_{TRP^-} = -\frac{R_1}{R_2}V_{OH} \tag{2.19}$$

ดังนั้นช่วงกว้างฮิสเตอริซิส

$$\Delta V_{in} = V_{TRP^+} - V_{TRP^-} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)(V_{OH} - V_{OL}) \tag{2.20}$$



รูปที่ 2.20 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบไม่กลับเฟสที่มีการป้อนกลับแบบบวก

รูปที่ 2.21 แสดงวงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบกลับเฟสที่มีการป้อนกลับแบบบวก

สมมุติให้ $V_{out} = V_{OL}$ ดังนั้นจุดเปลี่ยนขาขึ้นจะเกิดขึ้น เมื่อ

$$V_{TRP^+} = \left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right)V_{OH} \tag{2.21}$$

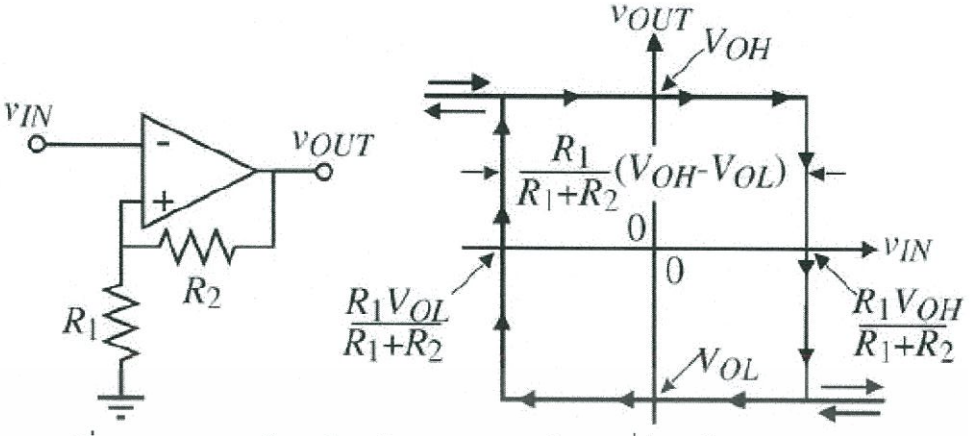
สมมุติให้ $V_{out} = V_{OH}$ ดังนั้นจุดเปลี่ยนขาลงจะเกิดขึ้น เมื่อ

$$V_{TRP^-} = \left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right)V_{OL} \tag{2.22}$$

ดังนั้นช่วงกว้างฮิสเตอริซิส

$$\Delta V_{in} = V_{TRP^+} - V_{TRP^-} = \left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right)(V_{OH} - V_{OL}) \tag{2.23}$$

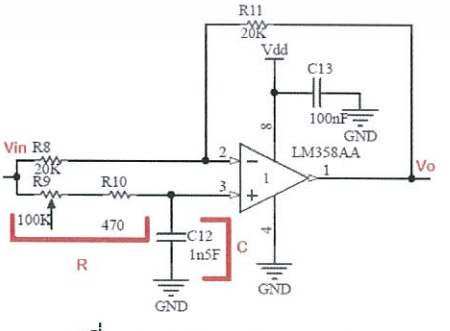
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบกลับเฟสที่มีการป้อนกลับแบบบวก

2.8 วงจรเลื่อนเฟส (Phase-shifter)

วงจรเลื่อนเฟส (Phase-shifter) หรือบางทีเรียกว่าวงจรกรองทั้งหมดผ่าน (All-pass filter) เป็นวงจรที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายในวงจรประมวลผลทางสัญญาณแอนะล็อก และยังใช้งานในวงจรสื่อสารต่างๆ อีกมากมาย โดยวงจรจะทำหน้าที่เลื่อนเฟสให้นำหน้า (Lead) หรือล้าหลัง (Lag) ขณะที่ขนาด(Amplitude) ของสัญญาณไม่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าความถี่ แต่เดิมวงจรเลื่อนเฟสมีการออกแบบขึ้นจากออปแอมป์ที่เป็นอุปกรณ์แอคทีฟ (Active element) ต่อร่วมกับอุปกรณ์พาสซีฟ (Passive element)ที่เป็นตัวต้านทานและตัวเก็บประจุจำนวนมาก ทำให้วงจรมีขนาดใหญ่และไม่สะดวกต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน ซึ่งในปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางวงจรรวม (Integrated Circuit หรือ IC) มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วและมีการออกแบบ IC ขึ้นมาใช้งานที่หลากหลาย พบว่าในการเลือกนำเอา ICที่สามารถใช้การควบคุมวงจรได้แบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronically tunable) มักจะได้รับความสนใจมากเป็นพิเศษ เนื่องจากว่าการใช้กระแสหรือแรงดันจากภายนอกสามารถนำไปควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในวงจรได้แล้วยังทำให้การปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ทำได้ง่าย มีความรวดเร็วและแม่นยำกว่ารูปแบบเดิม ๆ ที่ใช้การปรับเปลี่ยนแบบเชิงกล (Mechanically tunable) เช่นการปรับที่ตัวต้านทานเป็นต้น



รูปที่ 2.23 วงจร phase-shift

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ลอจิกเกตที่เกี่ยวข้อง (Logic gate)

2.9.1 NAND Gate

เกต NAND คือเกตที่ให้สัญญาณขาออกเป็น 0 เมื่อสัญญาณขาเข้าทุกตัวเป็น 1 และจะให้สัญญาณขาออกเป็น 1 เมื่อสัญญาณขาเข้าตัวใดตัวหนึ่งเป็น 0 หรือเป็นส่วนเติมเต็มของเกต AND นั่นเอง ตารางค่าความจริงของเกต NAND เป็นดังนี้

รูปที่ 2.24 วงจร NAND Gate

A	B	$Y=\overline{A \cdot B}$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

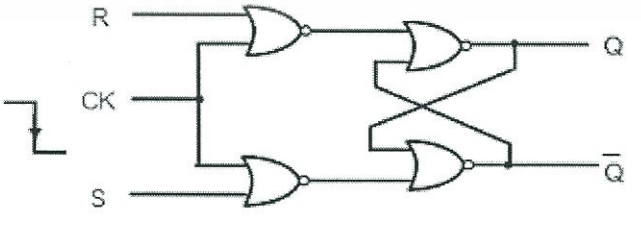
รูปที่ 2.25 ตารางค่าความจริงของ NAND Gate

2.9.2 R-S Flip Flop

R-S Flip Flop มีอินพุต 2 อินพุตคือ R (Reset) และ S (Set) และมีเอาต์พุต 2 เอาต์พุตคือ Q และ Qซึ่งเอาต์พุต Q จะเป็นตรงกันข้ามกับ Q เสมอ จะเหมือนกันไม่ได้ การสร้าง R-S Flip Flop โดยใช้ NAND Gate แสดงดังรูป โดยห้ามใช้งานในสภาวะที่ S และ R เป็น 0 ทั้งคู่

ทฤษฎีการทำงาน

ถ้าให้ขา SET ได้รับลอจิก 1 และขา Reset ได้ลอจิก 0 จะเรียกว่า สถานะเซต ซึ่งทำให้ค่า Q มีค่าเป็น 1 และ ~Q มีค่าเป็น 0 และเมื่อให้ขา SET ได้รับลอจิกเป็น 0 ค่าของ Q จะไม่มีการเปลี่ยนแลง จะเรียกสถานะนี้ว่า Latch คือ ไม่มีการเปลี่ยนค่าของ Q กลับกันหาให้ขา Reset มีค่าเป็น 1 และขา Set มีค่าเป็น 0 จะเรียกว่าสถานะ Reset และหากให้อินพุต Set และ Reset มีค่าเป็น 1 ทั้งคู่ สภาวะนี้จะไม่มีการนำมาใช้งาน



รูปที่ 2.26 วงจร R-S Flip Flop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R	S	Q	$\overline{Q}$
0	0	Q เดิม	$\overline{Q}$ เดิม
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	ไม่ใช้	ไม่ใช้

รูปที่ 2.27 ตารางค่าความจริงของ R-S Flip Flop

2.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ARM (Advanced RISC Machine)

2.10.1 Architecture Overview

Arm เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ที่ออกแบบโดยแนวความคิด RISC (Reduce Instruction Set Computer) หมายความว่าหน่วยประมวลผลที่ถูกออกแบบ โดยแนวความคิดที่จะทำให้สามารถลดจำนวนคำสั่งให้เหลือน้อยที่สุด เพื่อให้เกิดประมวลที่มีประสิทธิภาพและรวดเร็ว เพราะกำหนดให้ตัวประมวลผลแบบจุลภาค (microprocessor) แต่ละตัวทำงานจำกัดเฉพาะบางอย่าง โดยทั่วไปมีคุณสมบัติดังนี้

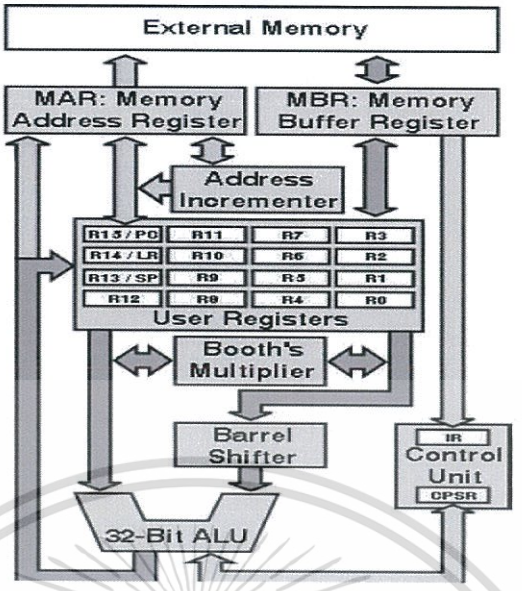
1. จะต้องมีรีจิสเตอร์ให้สามารถใช้งานได้มากเพียงพอ
2. ใช้รูปแบบคำสั่งแบบ load and store หมายความว่าก่อนการประมวลผลจะต้องทำการโหลดข้อมูลจากรีจิสเตอร์หรือหน่วยความจำก่อนหลังจากนั้นจึงการประมวลผลซึ่งผลลัพธ์ที่ได้อาจจะเก็บอยู่ในรีจิสเตอร์เพื่อไปสู่กระบวนการถัดไปหรืออาจจะบันทึกกลับลงสู่หน่วยความจำ
3. มีโหมดของการอ้างตำแหน่งแอดเดรสที่ไม่มากนักโดยสามารถกระทำได้โดยอ้างตำแหน่งจากรีจิสเตอร์และคำสั่งเพียงคำสั่งเดียวเท่านั้น
4. ขนาดของคำสั่งมีขนาดคงที่ (32 บิต)

สำหรับ ARM แล้วได้เพิ่มความสามารถเพิ่มเติม คือ

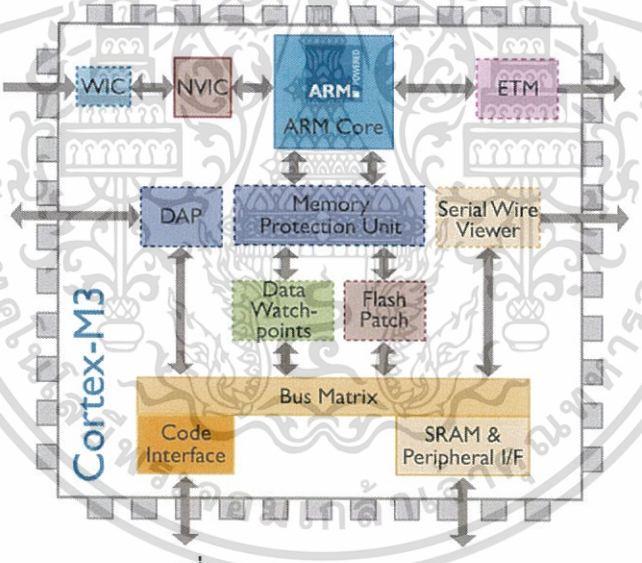
1. มี shifter หรือตัวเลื่อนบิตแยกต่างหากก่อนที่จะเข้า ALU (Arithmetic Logic Unit) เพื่อเพิ่มความเร็วในการประมวลผล
2. มีโหมดการอ้างตำแหน่งแบบ Auto-increment และ Auto-decrement เพื่อช่วยให้การทำงานแบบลูปง่ายขึ้น
3. สามารถเพิ่มเงื่อนไขภายในแต่ละคำสั่งเพื่อลดการสูญเสียจากการทำงานของ pipeline ซึ่งจะส่งผลให้การทำงานเร็วขึ้น

จะเห็นว่า สถาปัตยกรรมของ ARM จะเพิ่มความสามารถของสถาปัตยกรรม RISC ทั่วๆไป เช่น ประสิทธิภาพสูงกว่า กินพลังงานต่ำกว่า และ มีขนาดของ die เล็กมาก นิยมใช้ในระบบคอมพิวเตอร์ฝังตัวในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 โครงสร้างการทำงานของ ARM



รูปที่ 2.29 ARM Cortex-M3

2.10.2 ARM registers

ARM มีรีจิสเตอร์ทั้งหมด 37 ตัวเป็นแบบ 32 บิต แบ่งเป็น

1) รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป 30 ตัว
2) รีจิสเตอร์แสดงสถานะ 6 ตัว
3) program counter 1 ตัว

ผู้ใช้สามารถใช้ได้ทั้งหมด 16 ตัว ตัวอื่นๆมีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำเอกเซปชั่น (exception processing) พอสรุปได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **Stack pointer** รีจีสเตอร์ **R13** ทำหน้าที่เก็บข้อมูลชั่วคราว เช่น เวลาจะเรียกโปรแกรมย่อยเราจะทำการบันทึกค่าของรีจิสเตอร์เก็บไว้ในแสตก เพื่อป้องกันการเปลี่ยนค่าในรีจิสเตอร์ขณะประมวลผลโปรแกรมย่อยนั้น ดังนั้น เมื่อออกจากโปรแกรมย่อยก็จะนำค่าในแสตกคืนมาที่รีจิสเตอร์ใหม่

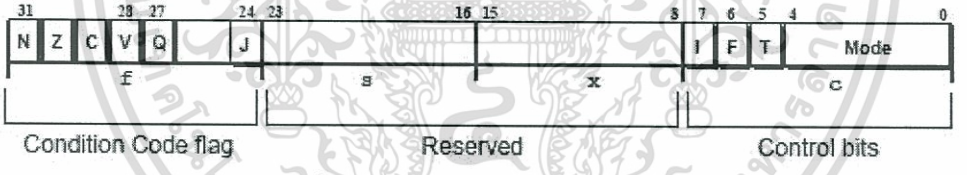
- **Link register** รีจีสเตอร์ **R14** ทำหน้าที่ในการเก็บค่าที่อยู่ของคำสั่งถัดไปหลังจากคำสั่ง Branch with Link (BL) ที่ใช้เวลาเรียกโปรแกรมย่อยของ ARM

- **Program counter** รีจีสเตอร์ **R15** ทำหน้าที่เป็น Program Counter ซึ่งใช้กับคำสั่งทุกคำสั่งในการชี้ไปที่คำสั่งนั้น ใน ARM คำสั่งหนึ่งๆจะมีขนาด 32 บิต

- **Other registers** รีจีสเตอร์ที่เหลือไม่มีหน้าที่พิเศษโดยเฉพาะ เมื่อเกิดเอกเซปชั่น รีจีสเตอร์บางตัวจะถูกกำหนดให้เป็นรีจีสเตอร์ซึ่งเก็บค่าเฉพาะของเอกเซปชั่น ในทุกๆโหมดค่า R13 และ R14 เป็นของตัวเอง โดย R13 เก็บ stack pointer และ R14 เก็บ link register

- CPSR (Current Program Status Register) เก็บค่า
  - 4 condition code flags (Negative, Zero, Carry and Overflow)
  - 2 interrupt disable bits (one for each type of interrupt)
  - 5 bits which encode the current processor mode

- SPSR (Saved Program Status Register) เก็บค่าของ CPSR ก่อนจะเกิดเอกเซปชั่น ซึ่งในแต่ละโหมดจะมีรีจีสเตอร์ SPSR เป็นของตัวเองโดยใช้ CPSR ร่วมกัน



รูปที่ 2.30 Program status register

2.10.3 สถานะการทำงาน (Modes)

การทำงานของ ARM จะต้องอยู่ภายในสภาวะใดสภาวะหนึ่งกล่าวคือ เมื่อเกิดเอกเซปชั่นขึ้น ARM จะหยุดการทำงานของคำสั่งปัจจุบันและย้ายตำแหน่งไปทำงานตาม เอกเซปชั่นเวกเตอร์ (exception vector) โดยระบบปฏิบัติการจะใส่การจัดการของแต่ละเอกเซปชั่นไว้ ซึ่งการที่จะเปลี่ยนสถานะสามารถทำได้โดยโปรแกรมหรือการเกิดอินเตอร์รัปท์ แบ่งเป็น 6 mode ได้แก่

1. User mode (usr)/System (sys) สำหรับโปรแกรมปรกติ ในโหมดนี้จะจำกัดสิทธิ์บางอย่างเช่นไม่สามารถดิสเอเบิลอินเตอร์รัปท์ได้

2. FIQ mode (fiq) สำหรับโปรแกรมอินเตอร์รัปท์ที่ต้องการความเร็วในการบริการสูง เนื่องจากลำดับความสำคัญของ FIQ จะสูงกว่าตัวอื่น

3. IRQ mode (irq) สำหรับโปรแกรมอินเตอร์รัปท์ทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Supervisor (svc) สำหรับระบบปฏิบัติการ เนื่องจากในโหมดนี้จะไม่มีข้อจำกัดในการเข้าถึงระบบ เราสามารถเข้าถึงโหมดนี้ได้โดยทางซอฟท์แวร์อินเตอร์รัปท์ (SWI)

5. Abort (abt) เมื่อมีการการเข้าถึงหน่วยความจำที่ไม่มีอยู่จริงเพื่อป้องกันการทำงานของระบบ

6. Undefined (und) เมื่อมีการใช้คำสั่งที่ ARM ไม่รู้จัก เรามักนำคำสั่งส่วนนี้ไปใช้ในการติดต่อกับ co-processor

ในแต่ละโหมดจะมีรีจิสเตอร์บางตัวที่มีการใช้งานร่วมกันแต่บางรีจิสเตอร์ก็จะแยกเป็นของใครของมัน ดังรูป

Modes					
	Exception Modes				
User/System	Supervisor	Abort	Undefined	Interrupt	Fast Interrupt
R0	R0	R0	R0	R0	R0
R1	R1	R1	R1	R1	R1
R2	R2	R2	R2	R2	R2
R3	R3	R3	R3	R3	R3
R4	R4	R4	R4	R4	R4
R5	R5	R5	R5	R5	R5
R6	R6	R6	R6	R6	R6
R7	R7	R7	R7	R7	R7
R8	R8	R8	R8	R8	R8_fiq
R9	R9	R9	R9	R9	R9_fiq
R10	R10	R10	R10	R10	R10_fiq
R11	R11	R11	R11	R11	R11_fiq
R12	R12	R12	R12	R12	R12_fiq
R13	R13_svc	R13_abt	R13_und	R13_irq	R13_fiq
R14	R14_svc	R14_abt	R14_und	R14_irq	R14_fiq
PC	PC	PC	PC	PC	PC
CPSR	CPSR	CPSR	CPSR	CPSR	CPSR
	SPSR_svc	SPSR_abt	SPSR_und	SPSR_irq	SPSR_fiq

รูปที่ 2.31 Register organizations

2.10.4 ARM Instruction set

แบ่งได้ 4 ประเภทคือ

2.10.4.1 Branch Instruction

- General branch instruction
- Branch with Link
- Software interrupt (SWI) ใช้เรียกเพื่อเข้าสู่การทำงานของระบบปฏิบัติการ
- THUMB instruction (16 บิต)

2.10.4.2 Data - processing Instruction

- Arithmetic/logic instructions มี 16คำสั่ง ซึ่งมีรูปแบบร่วมกัน
- Multiply instructions มีแบบ 32 บิต และ 64 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• Status register transfer instruction โหลดหรือเก็บค่าจาก SPSR หรือ CPSR

2.10.4.3 Load - store Instruction แบ่งเป็น 3 ประเภทคือ

1. Load or store the value of a single register คือ ในการโหลดค่ามาเก็บไว้ในรีจีสเตอร์สามารถทำได้ครั้งละ 32 บิต, 16 บิต หรือ 8 บิต จาก memory ในการstore ก็เช่นเดียวกัน โดยแบ่งตาม addressing Mode ได้ 3 ประเภท คือ

1.1 offset

1.2 pre-indexed

1.3 post-indexed

ในการอ้างแอดเดรสแบบ pre หรือ post – indexed จะแก้ไขข้อมูลใน base registerด้วยค่าออฟเซ็ตที่เพิ่มเข้าไป

2. Load and store multiple register values สามารถโหลดหรือเก็บค่าในช่วงของ Memory โดยเพิ่มหรือลด address ได้โดยอัตโนมัติโดยแบ่งตาม addressing Mode ได้ 3 ประเภท

1.1 pre – increment

1.2 post – increment

1.3 pre – decrement

1.4 post – decrement

ในการอ้างแอดเดรสแบบ Increment หรือ decrement จะเป็นสิ่งที่ระบุว่าค่าของ pointer จะเลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลง และในส่วนของ pre หรือ post จะระบุว่าขณะนั้น pointer ชี้ในจุดที่มีข้อมูลอยู่หรือไม่ ถ้ามีอยู่ต้องเลื่อนpoint ก่อนแล้วค่อยใส่ค่าลงไป หรือถ้าไม่มีข้อมูลอยู่จะใส่ค่าก่อนแล้วจึงเลื่อน pointer ไป

3. Swap a register with the value of a memory location คือการสลับค่าระหว่าง registerโดยผ่าน memory หรือสลับค่าระหว่าง memory กับ register ได้

2.10.4.4 Co – processor Instruction

1. Data-processing instructions ใช้จัดการการจัดการภายในของโปรเซสเซอร์ร่วม

2. Register transfers ย้ายค่าภายในโปรเซสเซอร์ร่วมมายัง ARM รีจีสเตอร์ หรือจากARM รีจีสเตอร์ออกไป

3. Data-transfer instructions ย้ายข้อมูลของโปรเซสเซอร์ร่วมมายังหรือออกจาก memory โดยตำแหน่งจะถูกคำนวณโดย ARM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบวงจรและการคำนวณ

3.1 คุณสมบัติของเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์

เครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ (Laser Range-Finder) เป็นอุปกรณ์ที่เพิ่มความสะดวกในการวัดระยะให้แก่ผู้ใช้งาน โดยเครื่องวัดระยะจะใช้ลำแสงเลเซอร์ฉายส่งในลักษณะของสัญญาณไซน์ (sine wave)ไป ยังจุดที่ต้องการวัดเพื่อคำนวณระยะทาง หลักการวัดระยะทางนั้นทำโดยการคำนวณความต่างเฟสระหว่างสัญญาณที่ส่งไปและสัญญาณที่กระทบวัตถุกลับมายังเครื่องวัดยะ โดยระยะที่วัดได้จะเป็นระยะขจัดคือระยะเส้นตรงจากเครื่องวัดไปยังเป้า

ข้อดี ของเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์คือสะดวกมาก โดยผู้วัดสามารถวัดระยะโดยไม่ต้องเดินไปหาวัตถุ ไม่ต้องใช้เทปวัดระยะ และสามารถวัดระยะไปยังเป้าที่ไม่สามารถลากสายวัดไปได้หรือลากสายวัดลำบาก เช่นวัดระยะข้ามแม่น้ำ ข้ามหุบเขาเป็นต้น แต่ข้อเสีย ของเครื่องวัดวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์คือความละเอียด เนื่องจากวิธีการวัดนั้นใช้การประมวลผลความต่างเฟส

3.2 การออกแบบเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์

3.2.1 การออกแบบวงจรเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์

การออกแบบเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์นั้น เริ่มจากการกำหนดขอบเขตของระยะการรับส่งก่อน โดยเลือกระยะทางคือ 1.8 , 3.6 , และ 5 เมตร เหตุผลที่เลือก 1.8 และ 3.6 เมตร เนื่องมาจากการตรวจสอบระยะทางสามารถทำได้ง่าย เพราะครึ่งไซเคิลของเฟสที่ใช้วัดระยะทางมีค่า 180 องศา ทำให้การคำนวณง่าย เมื่อกำหนดระยะทางแล้ว คำนวณหาความถี่ที่ต้องใช้มอดูเลชั่นจากสมการ

$$L = ct = c\ \frac{\phi}{2\pi f_m} \qquad (3.1)$$

L คือ ระยะทางที่แสงเดินทางทั้งหมด

C คือ ความเร็วแสง

Ø คือ เฟสที่ใช้

f_m คือ ความถี่ที่ใช้มอดูเลชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสามารถคำนวณความถี่ที่ใช้มอดูเลชั่นในระยะทางต่างๆได้ดังนี้

1.8 เมตร;

$$3.6 = \frac{\pi \times 3 \times 10^8}{2\pi f_m} \quad (3.2)$$

$$f_m = 41.667 \text{ MHz}$$

3.6 เมตร;

$$7.2 = \frac{\pi \times 3 \times 10^8}{2\pi f_m} \quad (3.3)$$

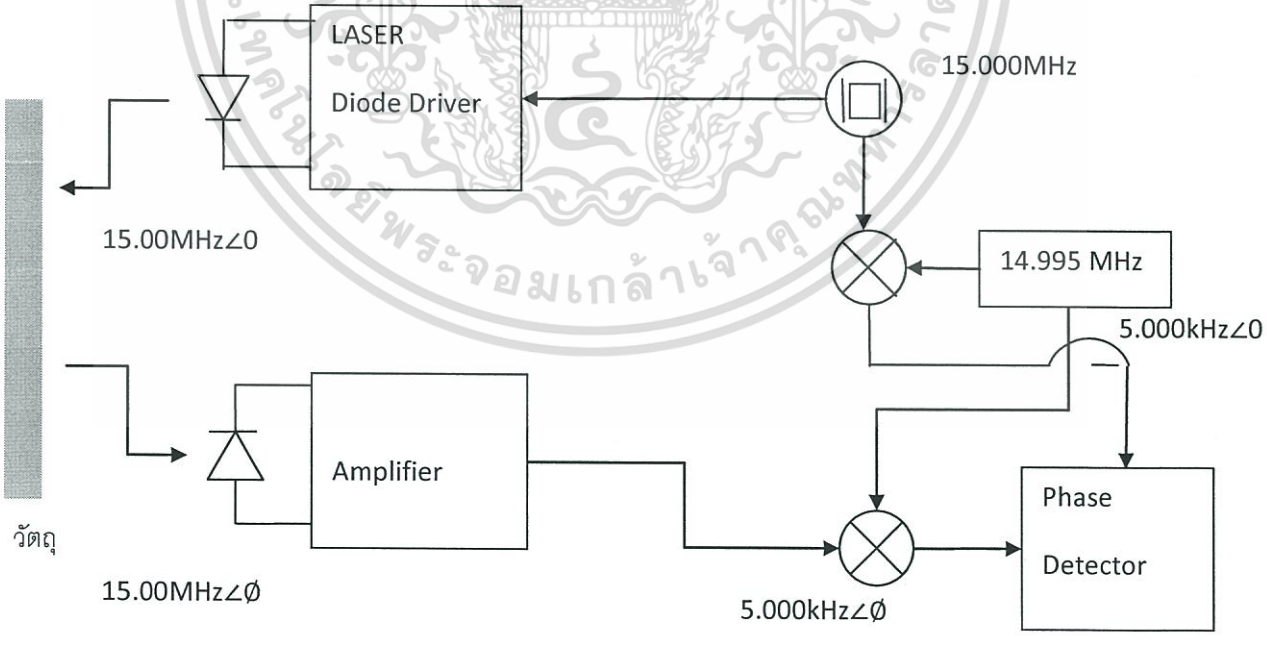
$$f_m = 20.833 \text{ MHz}$$

5 เมตร;

$$10 = \frac{\pi \times 3 \times 10^8}{2\pi f_m} \quad (3.4)$$

$$f_m = 15 \text{ MHz}$$

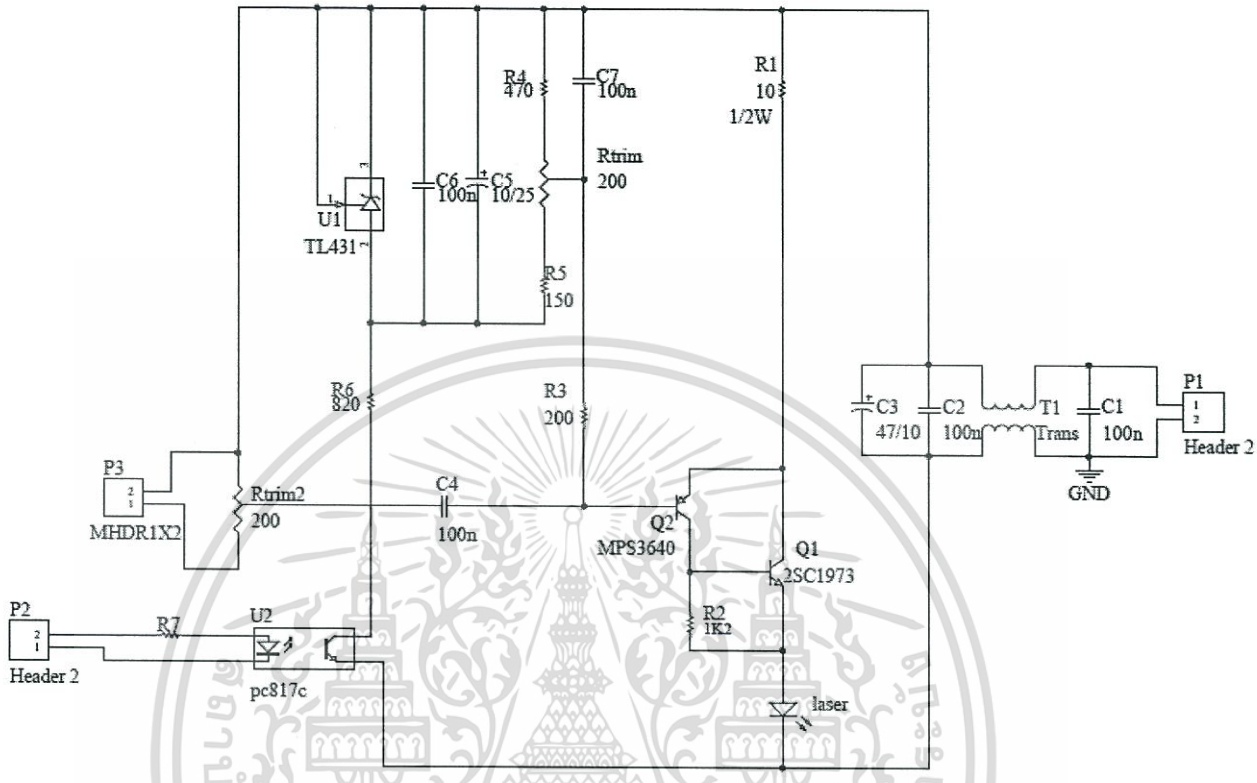
เพราะฉะนั้นเลือกทำเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ที่วัดระยะทางได้ 5 เมตร



รูปที่3.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 วงจร Laser Driver



รูปที่3.2 วงจร Laser Driver

การคำนวณค่าของ Gain การขยายจากการต่อทรานซิสเตอร์แบบดาลิงตัน

$$\beta = \beta_1\beta_2 \qquad (3.5)$$

ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2SC1973 (Q_1) มี β_1 = 30-120 และทรานซิสเตอร์เบอร์ MPS3640 (Q_2) มี β_2 = 20-200

คำนวณค่าของความต้านทาน R_E

$$\text{จาก} \qquad R_E \approx \beta\left(\frac{V_B - 0.7}{I_C}\right) \qquad (3.6)$$

โดยค่า กำหนดให้ต้องการกระแส I_C = 100 mA

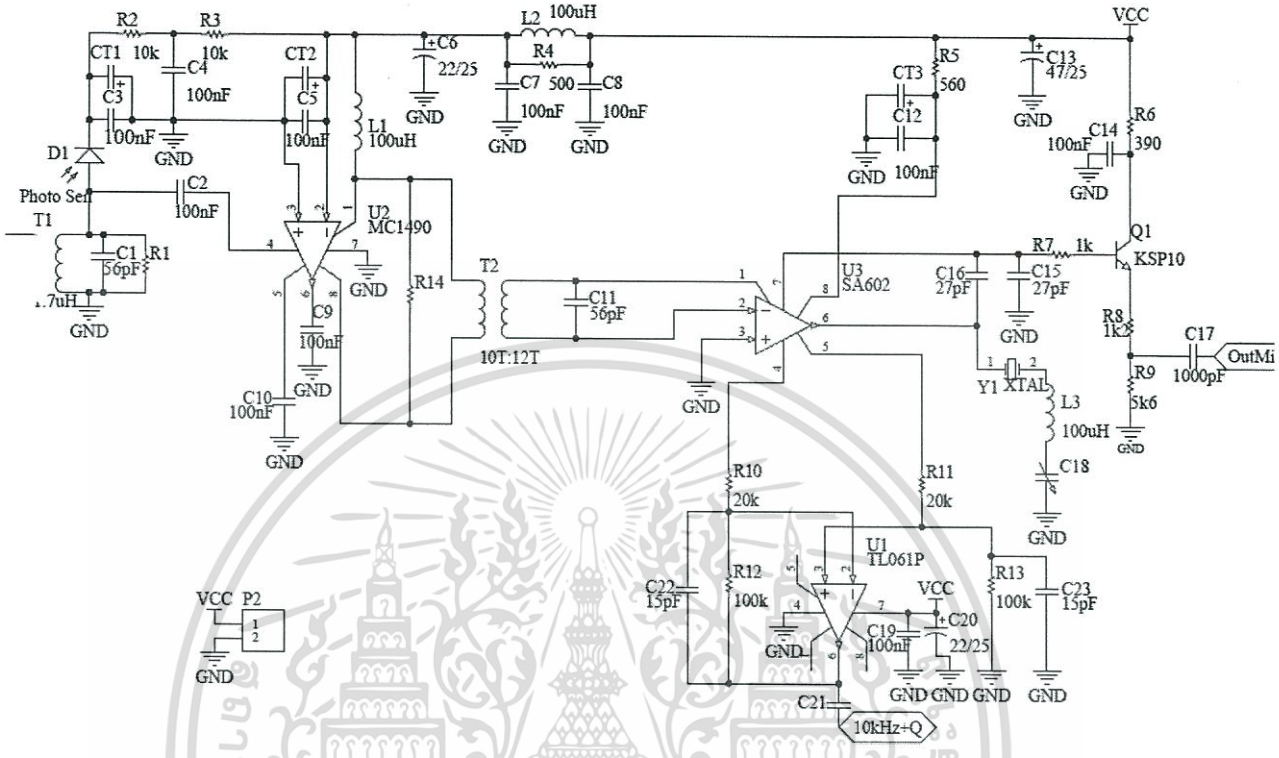
β ได้จากสมการที่ 3.5

I_C คือ กระแสที่ขาคอลเล็กเตอร์

V_B คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขาเบสและACกราวด์

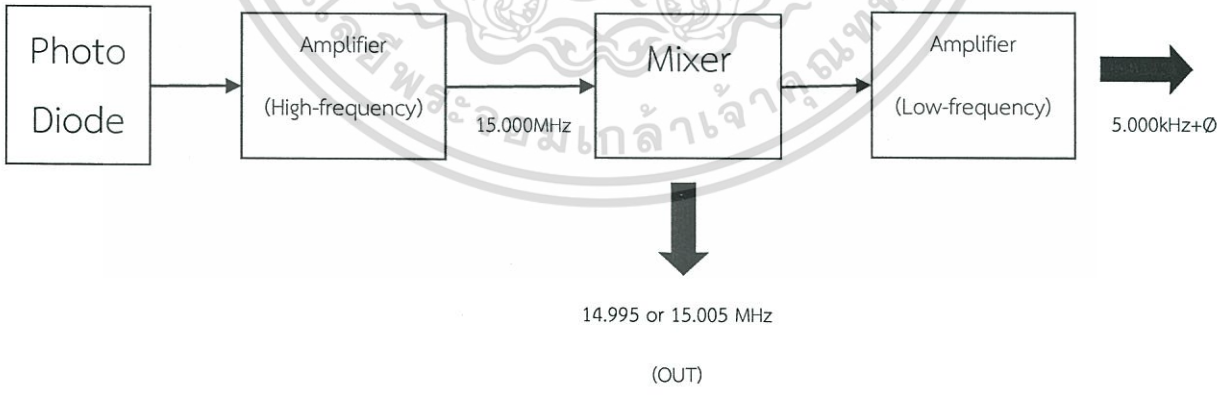
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 วงจร Receiver



รูปที่3.3 วงจร Receiver

การออกแบบส่วน Receiver ตามบล๊อคไดอะแกรม ดังนี้

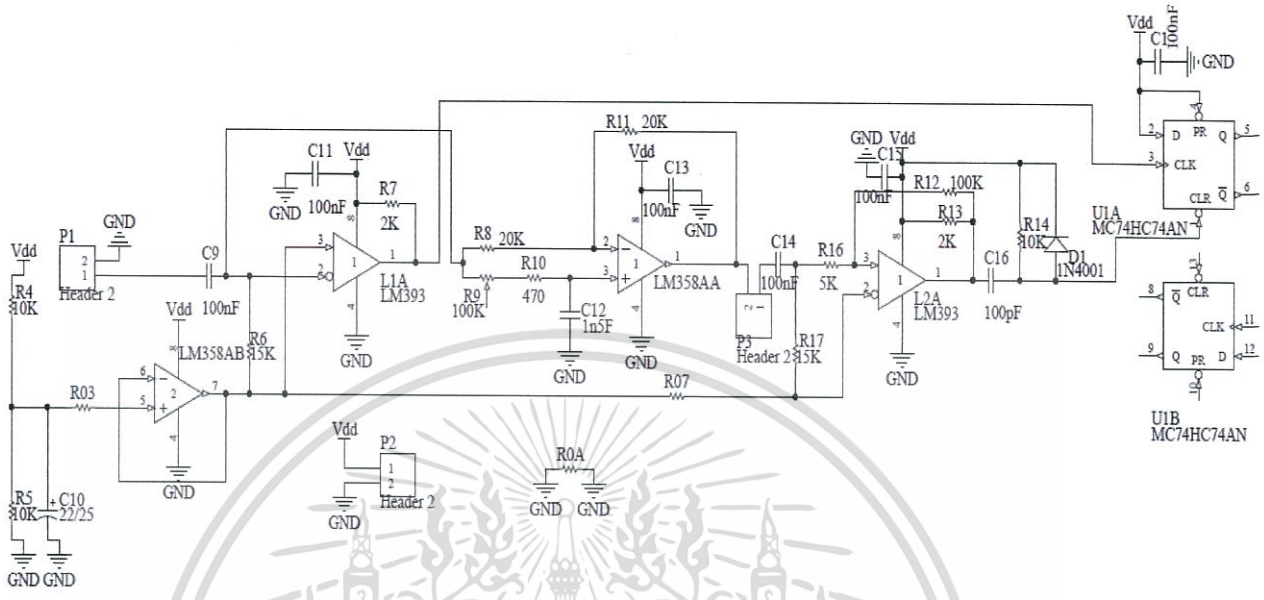


รูปที่3.4 Block diagram ของวงจร Receiver

เลือก IC ที่เป็นวงจรขยายสำหรับสัญญาณความถี่สูง คือ MC1490
IC ที่เป็นวงจรผสมสัญญาณ คือ SA602
และ วงจรขยายความถี่ต่ำ TL061

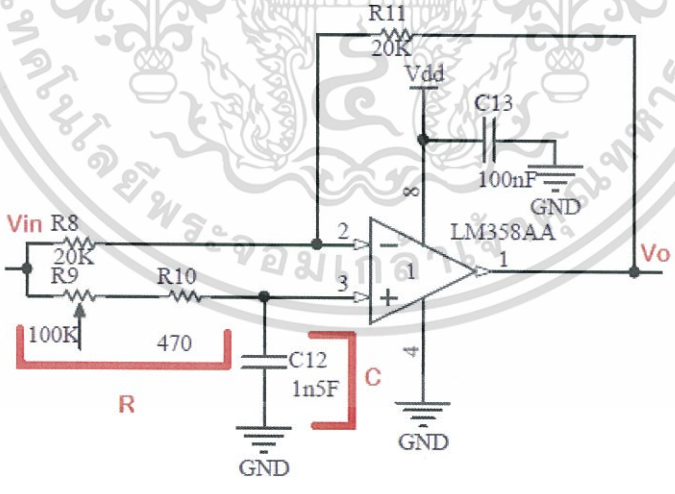
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 วงจร Phase Detector



รูปที่3.5 วงจร Phase Detector

3.2.4.1 วงจร phase shift



รูปที่3.6 วงจร Phase Shift

คำนวณหาค่าของ R และ C ที่ความที่ 10.00kHz

กำหนดให้วงจรมีอัตราขยายเท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

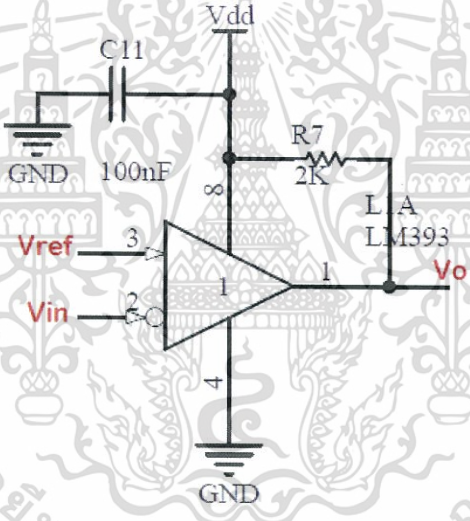
จะได้ $R_8 = R_9 = 20k\Omega$

จากสมการ: $$\frac{v_o}{v_{in}} = \frac{1-j\omega RC}{1+j\omega RC} \quad (3.7)$$

จากสมการ 3.1 จะได้ $$\emptyset = -2tan^{-1}(2\pi fRC) \quad (3.8)$$

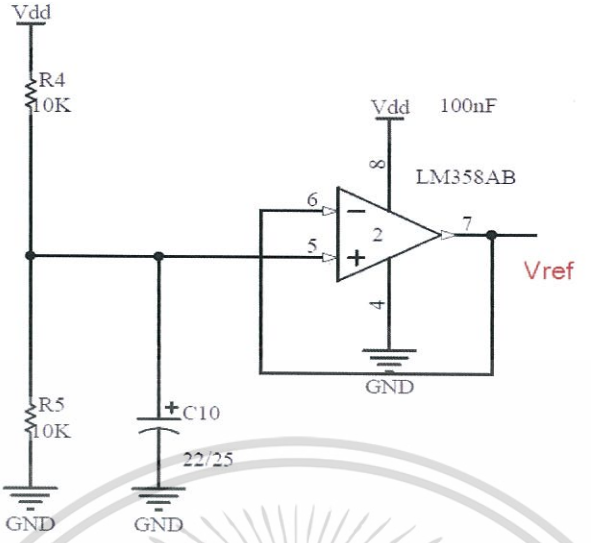
ดังนั้น $$R = \frac{\tan(\frac{\emptyset}{2})}{2\pi fC} \quad (3.9)$$

3.2.4.2 วงจร comparator และวงจรสร้าง V_{ref}



รูปที่3.7 วงจร Comparator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.8 วงจรสร้าง V_{ref}

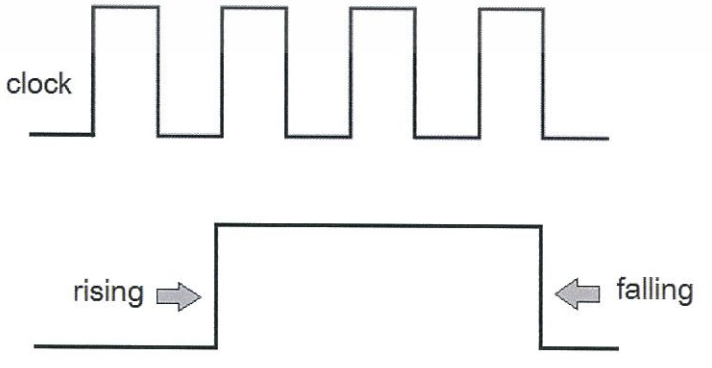
เนื่องจากวงจรมีสัญญาณ input ขนาด 5 V_{pp} จึงสร้าง V_{ref} เป็นกระแสไฟตรงขนาด 2.5V

จากสมการ: $$V_{ref} = \frac{R_5}{R_4+R_5}V_{DD} \quad (3.7)$$

โดย V_{DD} = 5V

3.3 การออกแบบโปรแกรมส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์

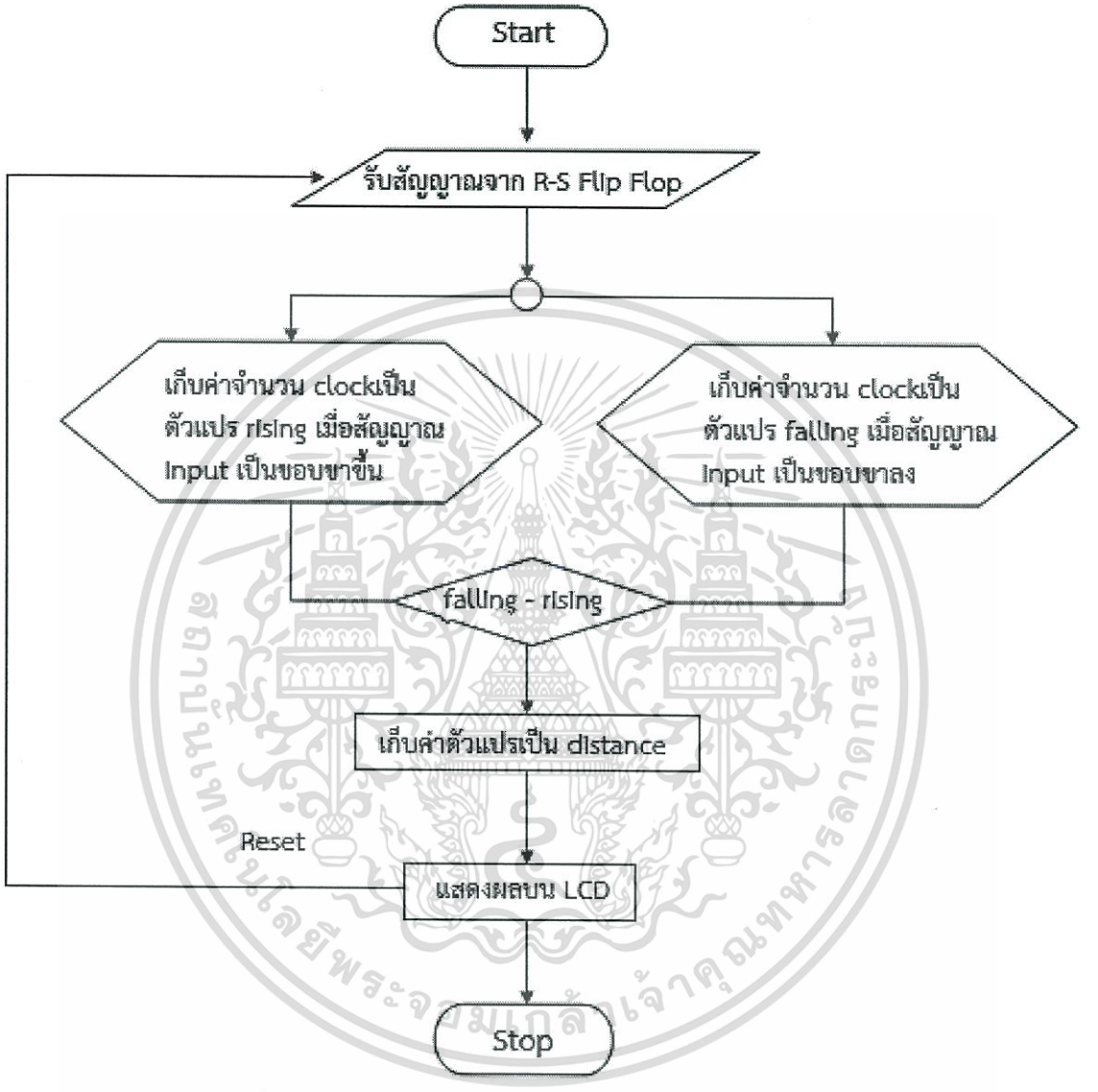
ในการออกแบบอาศัยหลักการการวัดความกว้างของสัญญาณ pulse ซึ่งก็คือสัญญาณความต่างเฟสที่ประมวลได้ของวงจรวัดระยะทางด้วยเลเซอร์นั่นเอง โดยจะทำการจับจำนวนของสัญญาณ clock เมื่อสัญญาณความต่างเฟสมีขอบขาขึ้น (rising) และจับจำนวนของสัญญาณ clock เมื่อสัญญาณความต่างเฟสมีขอบขาลง (falling) จากนั้นนำจำนวน clock ของขอบขาขึ้นลบด้วยจำนวน clock ของขอบขาลง จะได้ความต่างเฟสที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.9 สัญญาณ clock และ สัญญาณความต่างเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีการเขียนโปรแกรมตาม flowchart ดังนี้



รูปที่ 3.10 flowchart ของระบบการประมวลผลระยะทาง

จะได้สมการดังนี้

$$Distance = rising - falling \tag{3.8}$$

โดย Distance คือ ความต่างเฟส

Rising คือ จำนวน clock ที่ขอบขาขึ้น

Falling คือ จำนวน clock ที่ขอบขาลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งโปรแกรมที่ออกแบบมีดังนี้

```
/**
  ******************************************************************************
  * File Name          : main.c
  * Description        : Main program body
  * Laser Rangefinder
  ******************************************************************************
/* Includes ------------------------------------------------------------------*/
#include "stm32f4xx_hal.h"
/* USER CODE BEGIN Includes */
#include "stm32f4xx_hal_tim.h"
#include "C:\Keil_v5\PROJECT\distance\MDK-ARM\LCD\LCD.h"
/* USER CODE END Includes */
/* Private variables ---------------------------------------------------------*/
TIM_HandleTypeDef htim2;
/* USER CODE BEGIN PV */
/* Private variables ---------------------------------------------------------*/
        long rising;
        long falling;
        int distance;
/* USER CODE END PV */
/* Private function prototypes -----------------------------------------------*/
        void SystemClock_Config(void);
        static void MX_GPIO_Init(void);
        static void MX_TIM2_Init(void);
int main(void)
{ /* USER CODE BEGIN 1 */
        char BUFF[20];
        int p;
        int a=500;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    int b=1;
/* USER CODE END 1 */
/* MCU Configuration--------------------------------------------------------*/
/* Reset of all peripherals, Initializes the Flash interface and the Systick. */
    HAL_Init();
/* Configure the system clock */
    SystemClock_Config();
/* Initialize all configured peripherals */
    MX_GPIO_Init();
    MX_TIM2_Init();
/* USER CODE BEGIN 2 */
    HAL_TIM_Base_Start(&htim2);
    HAL_TIM_Base_Start_IT(&htim2);
    HAL_TIM_IC_Start_IT (&htim2,TIM_CHANNEL_3);
    HAL_TIM_IC_Start_IT (&htim2,TIM_CHANNEL_4);
    InitialLCD();              //Set LCD
WriteLCDCmd(LCD_ENTRY_MODE|INCREMENTS_LCD|NO_SCROLL_LCD);
WriteLCDCmd(DISPLAY_LCD|LCD_ON|LCD_CURSOR_OFF|LCD_BLINK_OFF);
WriteLCDCmd(LCD_FUNCTION_SET|LCD8BIT_MODE|LCD_LINE2|LCD_FONT_5X7);
WriteLCDCmd(LCD_CLEAR_SCREEN);
  LCDGotoXY(2,1);
   /* USER CODE END 2 */
/* Infinite loop */
/* USER CODE BEGIN WHILE */
  while(1)
  {       rising = HAL_TIM_ReadCapturedValue(&htim2,TIM_CHANNEL_3);
          falling = HAL_TIM_ReadCapturedValue(&htim2,TIM_CHANNEL_4);
          if (falling>rising)
                  {
                          distance = (falling - rising)-2;
                  }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            sprintf(BUFF,"Distance = %dcm",distance);
            Puts_LCD(BUFF);
            HAL_Delay(1000);
            WriteLCDCmd(LCD_CLEAR_SCREEN);
  /* USER CODE END WHILE */
  /* USER CODE BEGIN 3 */
  }
  /* USER CODE END 3 */
}
/** System Clock Configuration
*/
void SystemClock_Config(void)
{
  RCC_OscInitTypeDef RCC_OscInitStruct;
  RCC_ClkInitTypeDef RCC_ClkInitStruct;
  __PWR_CLK_ENABLE();
  __HAL_PWR_VOLTAGESCALING_CONFIG(PWR_REGULATOR_VOLTAGE_SCALE1);
  RCC_OscInitStruct.OscillatorType = RCC_OSCILLATORTYPE_HSI;
  RCC_OscInitStruct.HSIState = RCC_HSI_ON;
  RCC_OscInitStruct.HSICalibrationValue = 16;
  RCC_OscInitStruct.PLL.PLLState = RCC_PLL_ON;
  RCC_OscInitStruct.PLL.PLLSource = RCC_PLLSOURCE_HSI;
  RCC_OscInitStruct.PLL.PLLM = 10;
  RCC_OscInitStruct.PLL.PLLN = 200;
  RCC_OscInitStruct.PLL.PLLP = RCC_PLLP_DIV4;
  RCC_OscInitStruct.PLL.PLLQ = 4;
  HAL_RCC_OscConfig(&RCC_OscInitStruct);
  RCC_ClkInitStruct.ClockType = RCC_CLOCKTYPE_HCLK|RCC_CLOCKTYPE_SYSCLK
                              |RCC_CLOCKTYPE_PCLK1;
  RCC_ClkInitStruct.SYSCLKSource = RCC_SYSCLKSOURCE_PLLCLK;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  RCC_ClkInitStruct.AHBCLKDivider = RCC_SYSCLK_DIV8;
  RCC_ClkInitStruct.APB1CLKDivider = RCC_HCLK_DIV2;
  RCC_ClkInitStruct.APB2CLKDivider = RCC_HCLK_DIV1;
  HAL_RCC_ClockConfig(&RCC_ClkInitStruct, FLASH_LATENCY_0);
  HAL_SYSTICK_Config(HAL_RCC_GetHCLKFreq()/1000);
  HAL_SYSTICK_CLKSourceConfig(SYSTICK_CLKSOURCE_HCLK);
  /* SysTick_IRQn interrupt configuration */
  HAL_NVIC_SetPriority(SysTick_IRQn, 0, 0);
}
/* TIM2 init function */
void MX_TIM2_Init(void)
{
  TIM_ClockConfigTypeDef sClockSourceConfig;
  TIM_MasterConfigTypeDef sMasterConfig;
  TIM_IC_InitTypeDef sConfigIC;
  htim2.Instance = TIM2;
  htim2.Init.Prescaler = 1;
  htim2.Init.CounterMode = TIM_COUNTERMODE_UP;
  htim2.Init.Period = 1000000000;
  htim2.Init.ClockDivision = TIM_CLOCKDIVISION_DIV1;
  HAL_TIM_Base_Init(&htim2);
  sClockSourceConfig.ClockSource = TIM_CLOCKSOURCE_INTERNAL;
  HAL_TIM_ConfigClockSource(&htim2, &sClockSourceConfig);
  HAL_TIM_IC_Init(&htim2);
  sMasterConfig.MasterOutputTrigger = TIM_TRGO_RESET;
  sMasterConfig.MasterSlaveMode = TIM_MASTERSLAVEMODE_DISABLE;
  HAL_TIMEx_MasterConfigSynchronization(&htim2, &sMasterConfig);
  sConfigIC.ICPolarity = TIM_INPUTCHANNELPOLARITY_RISING;
  sConfigIC.ICSelection = TIM_ICSELECTION_DIRECTTI;
  sConfigIC.ICPrescaler = TIM_ICPSC_DIV1;
  sConfigIC.ICFilter = 0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  HAL_TIM_IC_ConfigChannel(&htim2, &sConfigIC, TIM_CHANNEL_3);
  sConfigIC.ICPolarity = TIM_INPUTCHANNELPOLARITY_FALLING;
  HAL_TIM_IC_ConfigChannel(&htim2, &sConfigIC, TIM_CHANNEL_4);
}
/** Configure pins as
        * Analog
        * Input
        * Output
        * EVENT_OUT
        * EXTI
*/
void MX_GPIO_Init(void)
{
  GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStruct;
  /* GPIO Ports Clock Enable */
  __GPIOA_CLK_ENABLE();
  __GPIOC_CLK_ENABLE();
  __GPIOE_CLK_ENABLE();
  __GPIOD_CLK_ENABLE();
  /*Configure GPIO pins : PC4 PC5 */
  GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_4|GPIO_PIN_5;
  GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
  GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
  GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_LOW;
  HAL_GPIO_Init(GPIOC, &GPIO_InitStruct);
  /*Configure GPIO pins : PE8 PE9 PE10 PE11
                         PE12 PE13 PE14 PE15 */
  GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_8|GPIO_PIN_9|GPIO_PIN_10|GPIO_PIN_11
                        |GPIO_PIN_12|GPIO_PIN_13|GPIO_PIN_14|GPIO_PIN_15;
  GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
  GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_LOW;
  HAL_GPIO_Init(GPIOE, &GPIO_InitStruct);
}
#ifdef USE_FULL_ASSERT
/**
   * @brief Reports the name of the source file and the source line number
   * where the assert_param error has occurred.
   * @param file: pointer to the source file name
   * @param line: assert_param error line source number
   * @retval None
   */
void assert_failed(uint8_t* file, uint32_t line)
{
  /* USER CODE BEGIN 6 */
  /* User can add his own implementation to report the file name and line number,
     ex: printf("Wrong parameters value: file %s on line %d\r\n", file, line) */
  /* USER CODE END 6 */
}
#endif
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
วิธีการทดสอบและผลการทดสอบเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์

4.1 การทดลองที่ 1 ทดสอบการทำงานของวงจร

วิธีการทดลอง

4.1.1 จ่ายไฟเลี้ยง 7.2V ให้วงจร

4.1.2 ใช้ Digital Oscilloscope วัดสัญญาณจาก Oscillator ความถี่ 15.000MHz ที่ไปขับ laser diode ดังรูปที่ 4.1

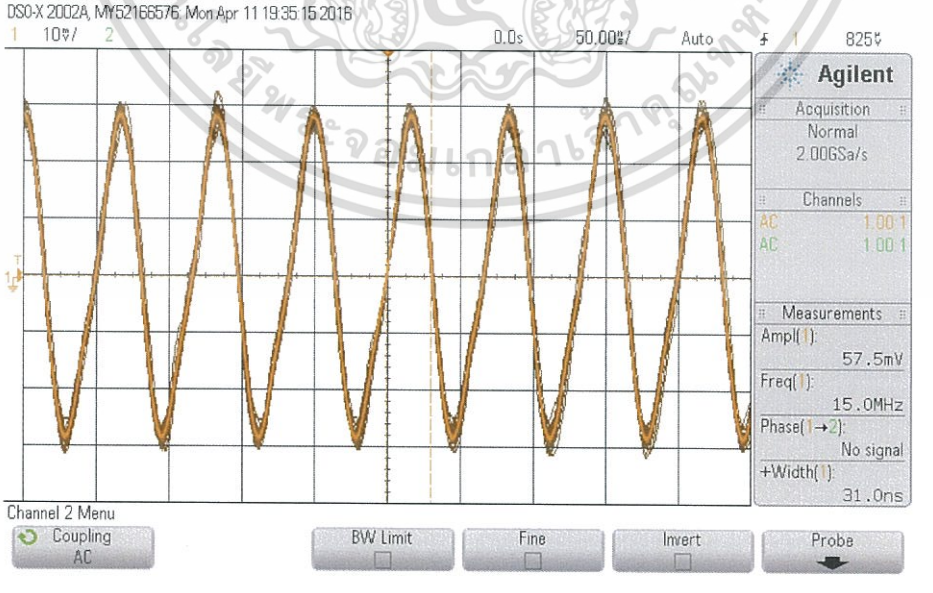
4.1.3 ใช้ Digital Oscilloscope วัดสัญญาณจาก Mixer ที่ความถี่ 5kHz $\angle 0$ และ 5kHz $\angle \emptyset$ ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3

4.1.4 ใช้ Digital Oscilloscope วัดสัญญาณจาก Phase-shift detector board ที่ inputและ LM358 ขาที่ 1 เพื่อดูสัญญาณ sine wave 5kHz $\angle 0$ และ 5kHz $\angle \emptyset$ ดังรูปที่ 4.4

4.1.5 ใช้ Digital Oscilloscope วัดสัญญาณจาก Phase-shift detector board ที่ LM393 ขาที่ 1 ของทั้ง 2 ตัว เพื่อดูสัญญาณลักษณะคลื่น pulse 5kHz $\angle 0$ และ 5kHz $\angle \emptyset$ดังรูปที่ 4.5

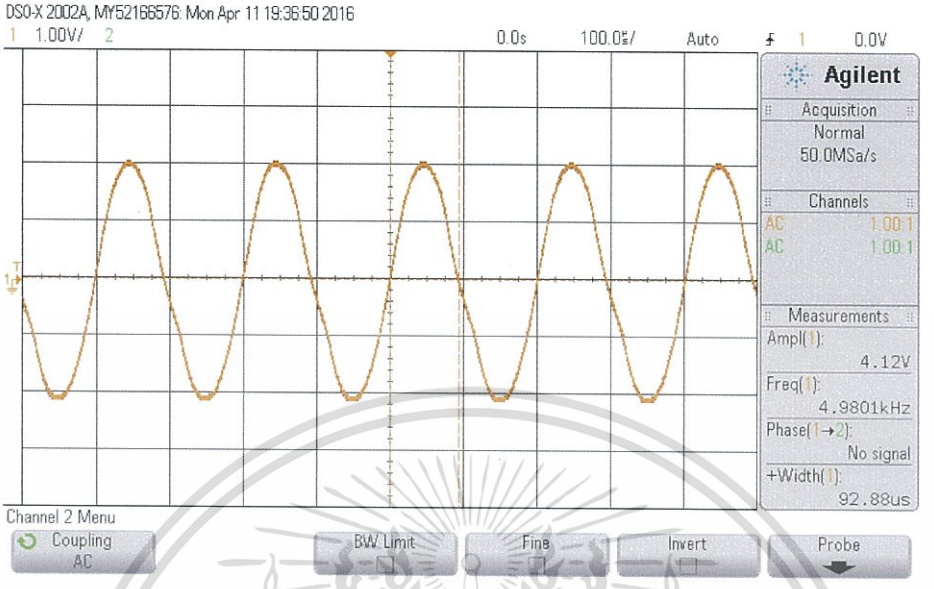
4.1.6 ใช้ Digital Oscilloscope วัดที่ IC HC7474 ขาที่ 5 เพื่อดูสัญญาณความต่างเฟสเกิดขึ้น ดังรูปที่ 4.6

4.1.7 บันทึกค่าระยะทางจากการแสดงผลบนจอ LCD

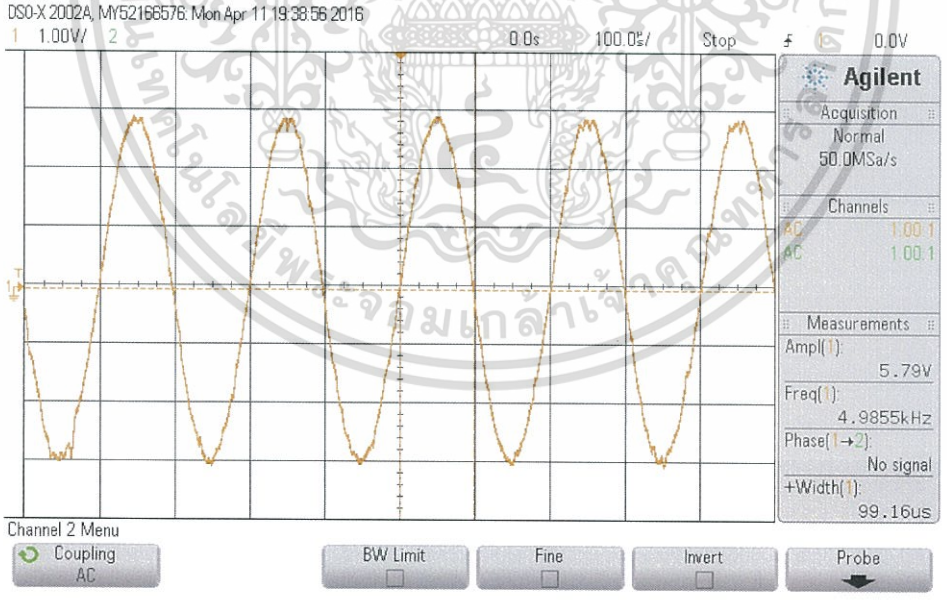


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 สัญญาณจาก Oscillator ความถี่ 15.000MHz

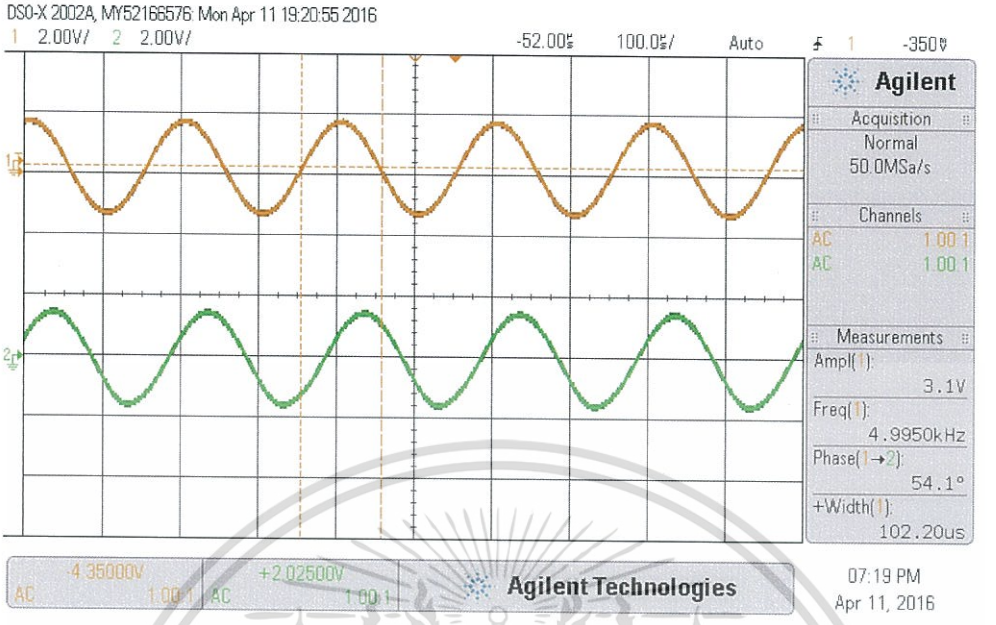


รูปที่ 4.2 สัญญาณจาก Mixer ที่ความถี่ 5kHz $\angle$ 0

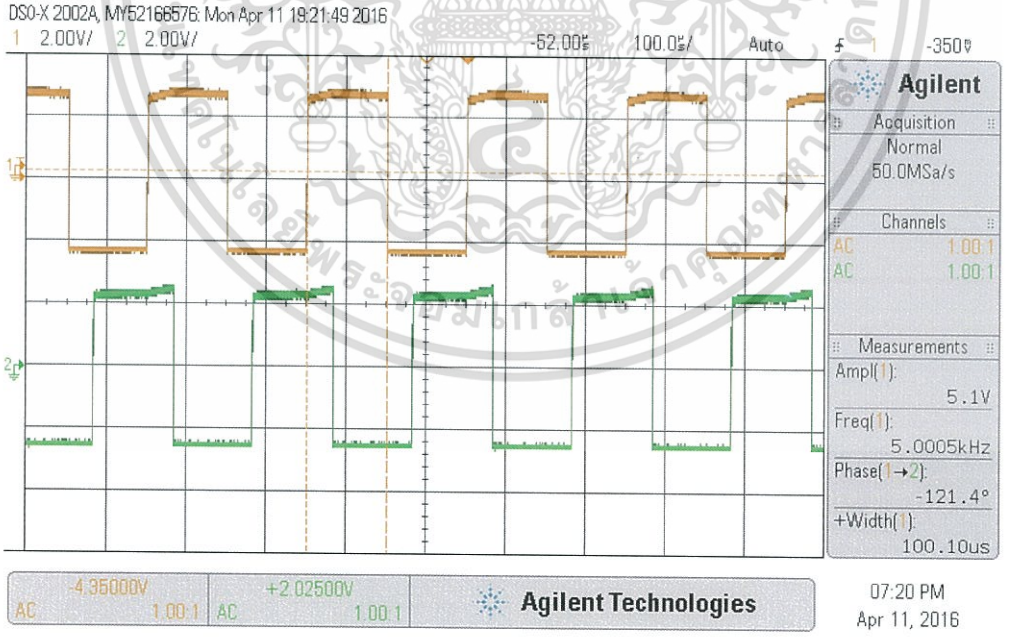


รูปที่ 4.3 สัญญาณจาก Mixer ที่ความถี่ 5kHz $\angle$ Ø

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 วัดสัญญาณจาก Phase-shift detector board ที่ inputและ LM358 ขาที่ 1 เพื่อดูสัญญาณ sine wave 5kHz $\angle 0$ และ 5kHz $\angle \emptyset$



รูปที่ 4.5 วัดสัญญาณจาก Phase-shift detector board ที่ LM393 ขาที่ 1 ของทั้ง 2 ตัว เพื่อดูสัญญาณลักษณะคลื่น pulse 5kHz $\angle 0$ และ 5kHz $\angle \emptyset$ดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองที่ 2 ทดสอบการทำงานของวงจร

วิธีการทดลอง

4.2.1 จ่ายไฟเลี้ยง 7.2V ให้วงจร

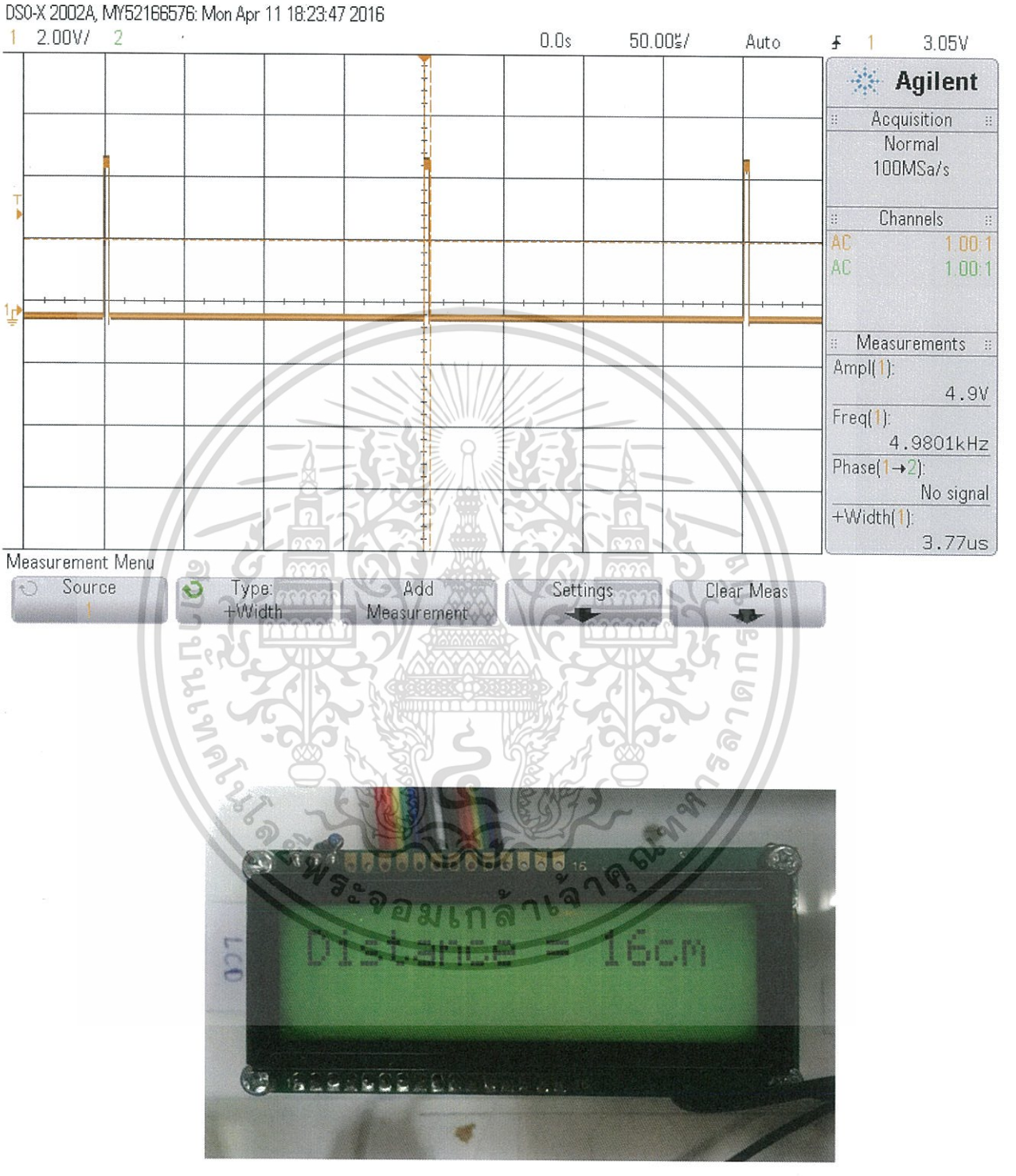
4.2.2 ใช้ Digital Oscilloscope วัดที่ IC HC7474 ขาที่ 5

4.2.3 อ่านค่าระยะทางที่แสดงผลบนจอ LCD

ความต่างเฟส(μS)	ระยะทาง (cm)
3.77	20
4.35	34
6.73	45
9.15	50
10.28	66
13.58	75
15.54	83
16.50	95
19.27	104
21.11	120
23.67	130
26.25	145
28.82	155
21.13	166
32.74	173
34.48	187

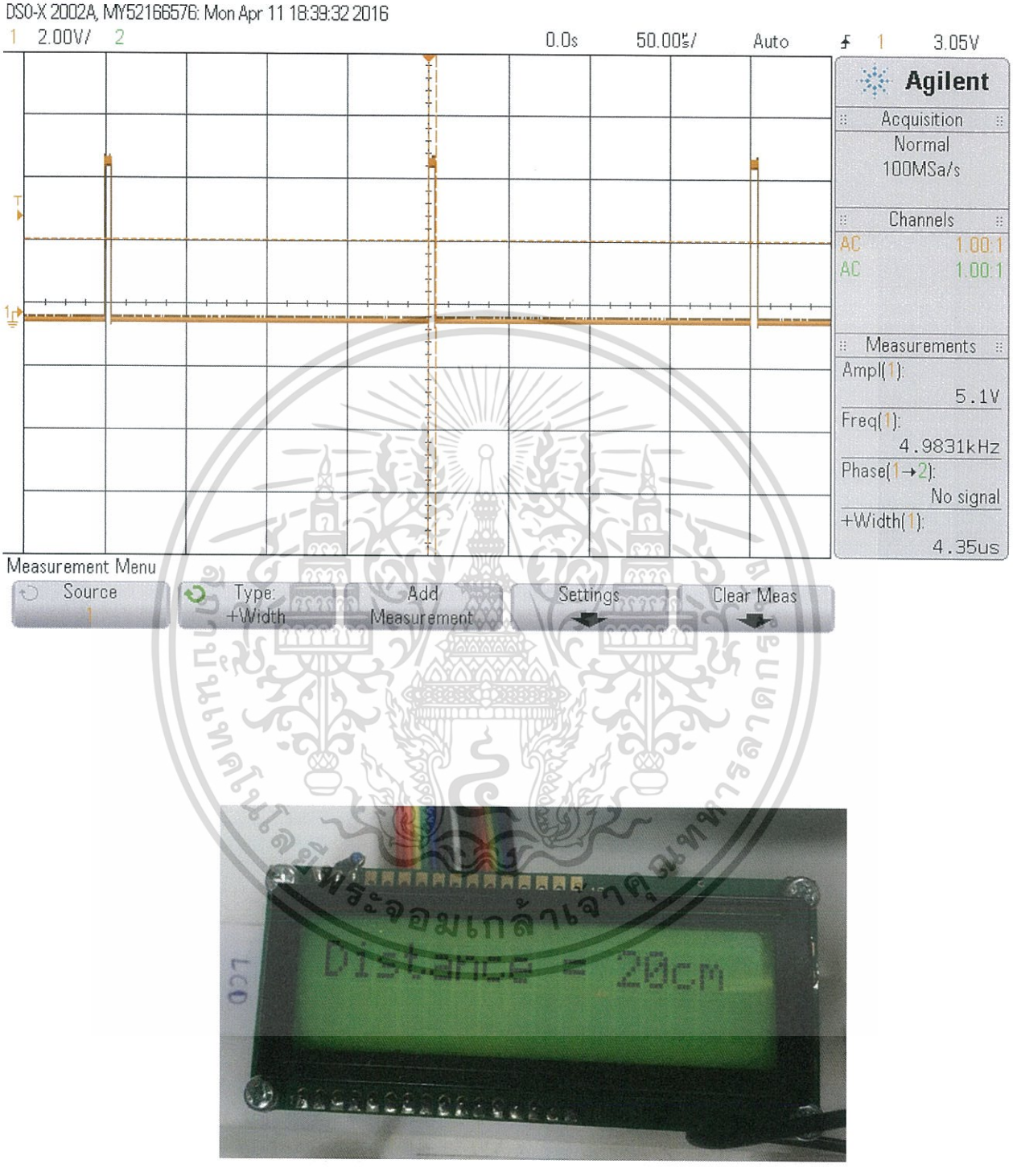
ตารางที่ 4.1 ตารางผลการทดลองการประมวลผลระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



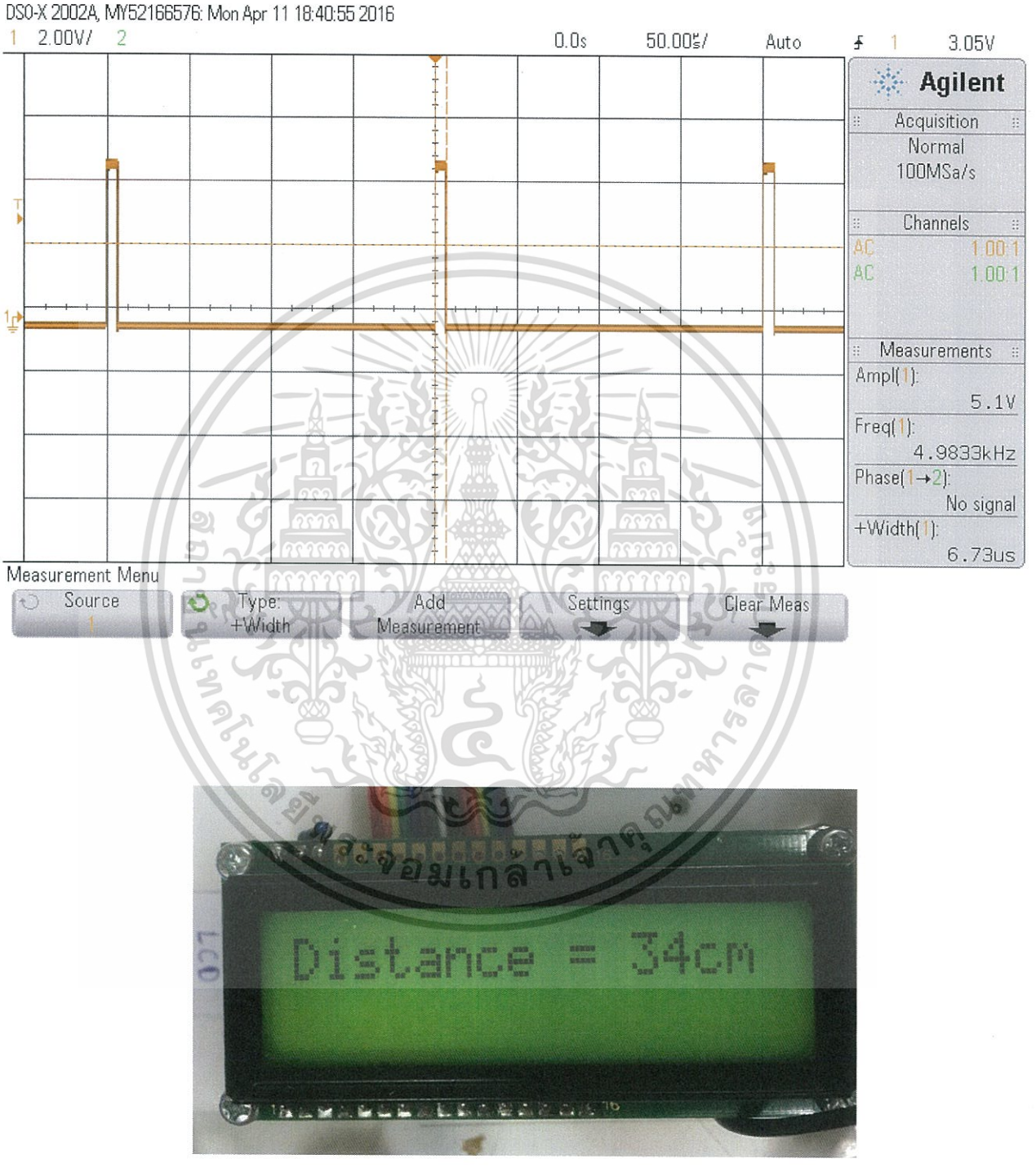
รูปที่ 4.6 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 16 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



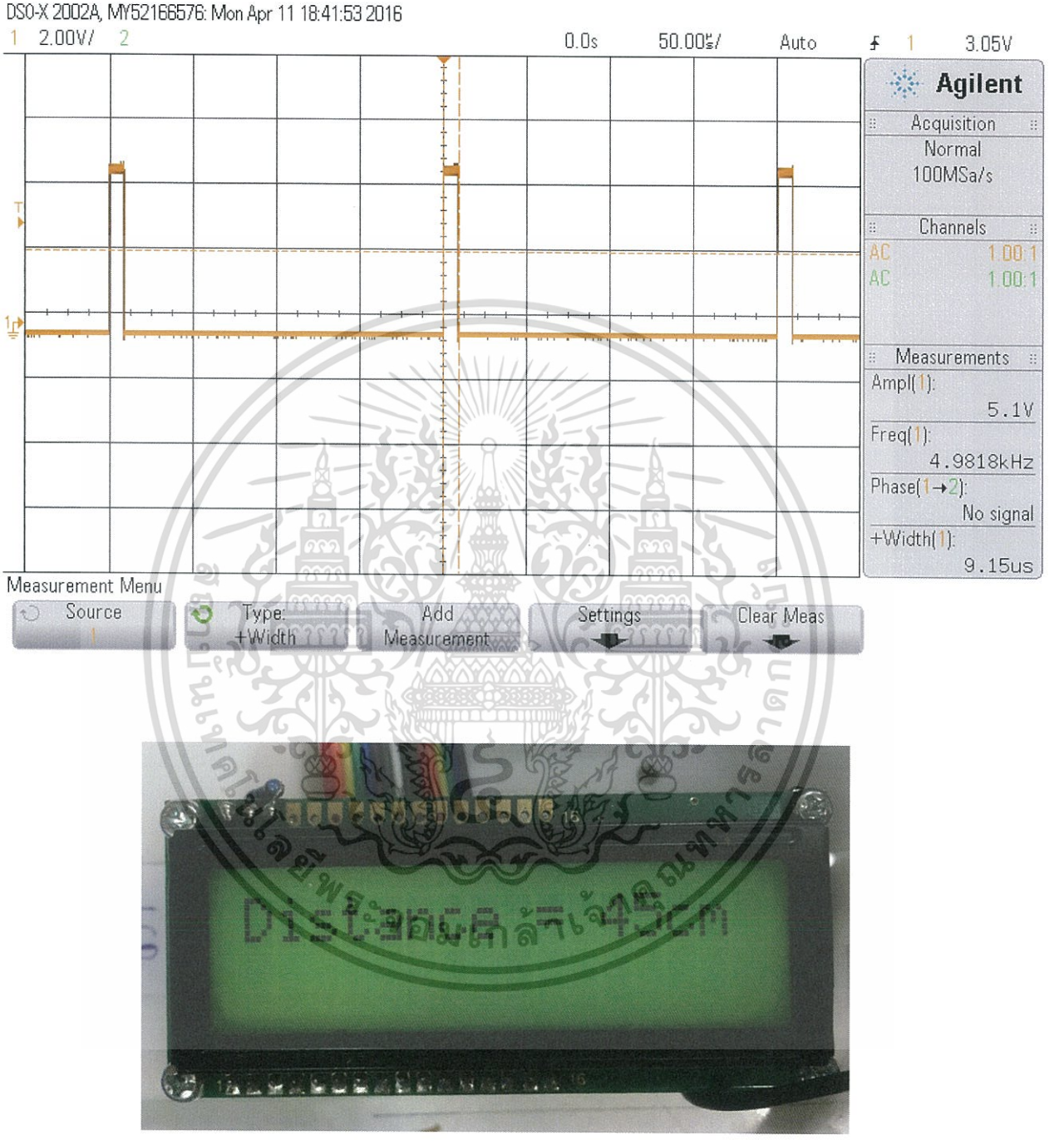
รูปที่ 4.7 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 20 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



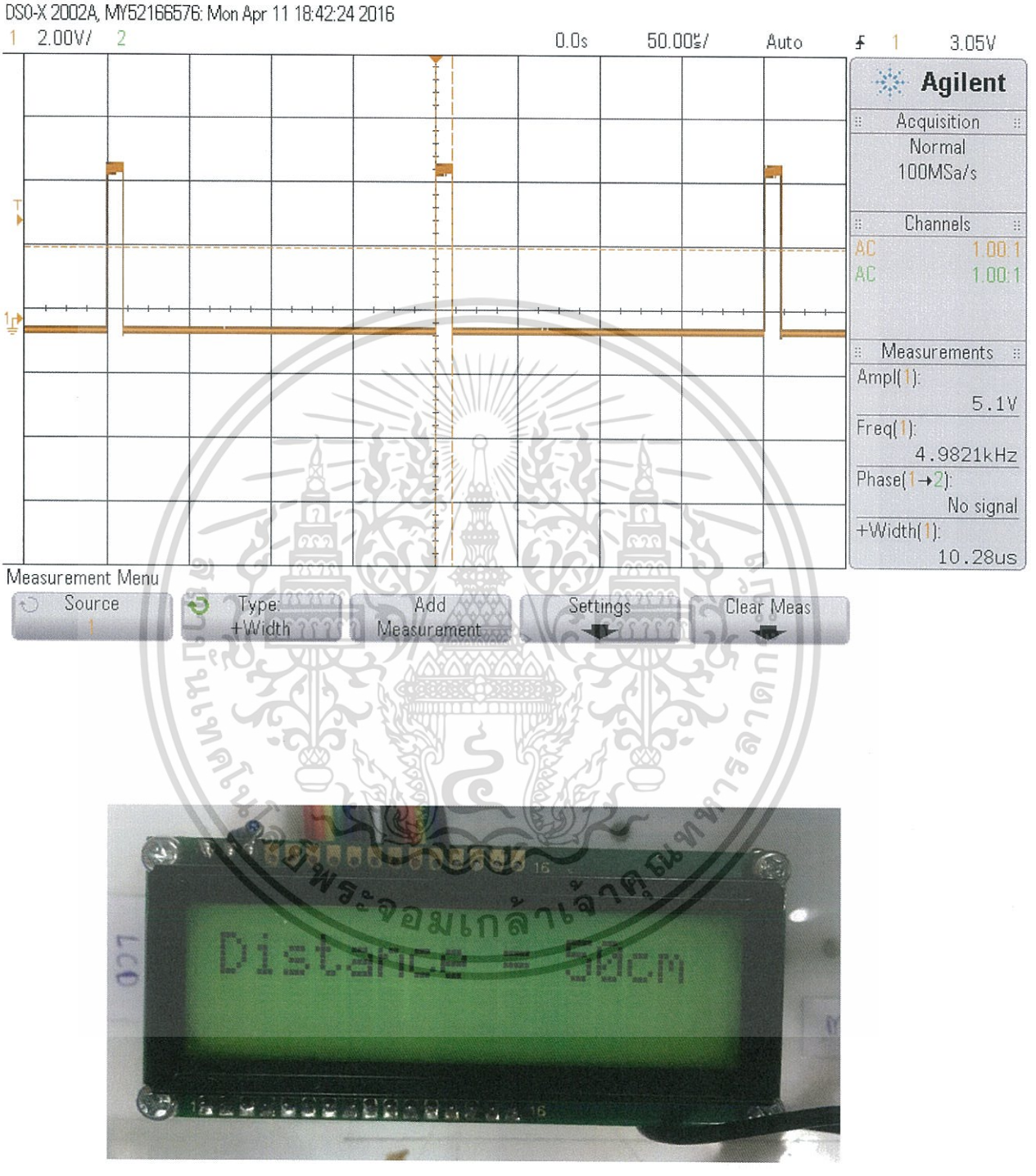
รูปที่ 4.8 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 34 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



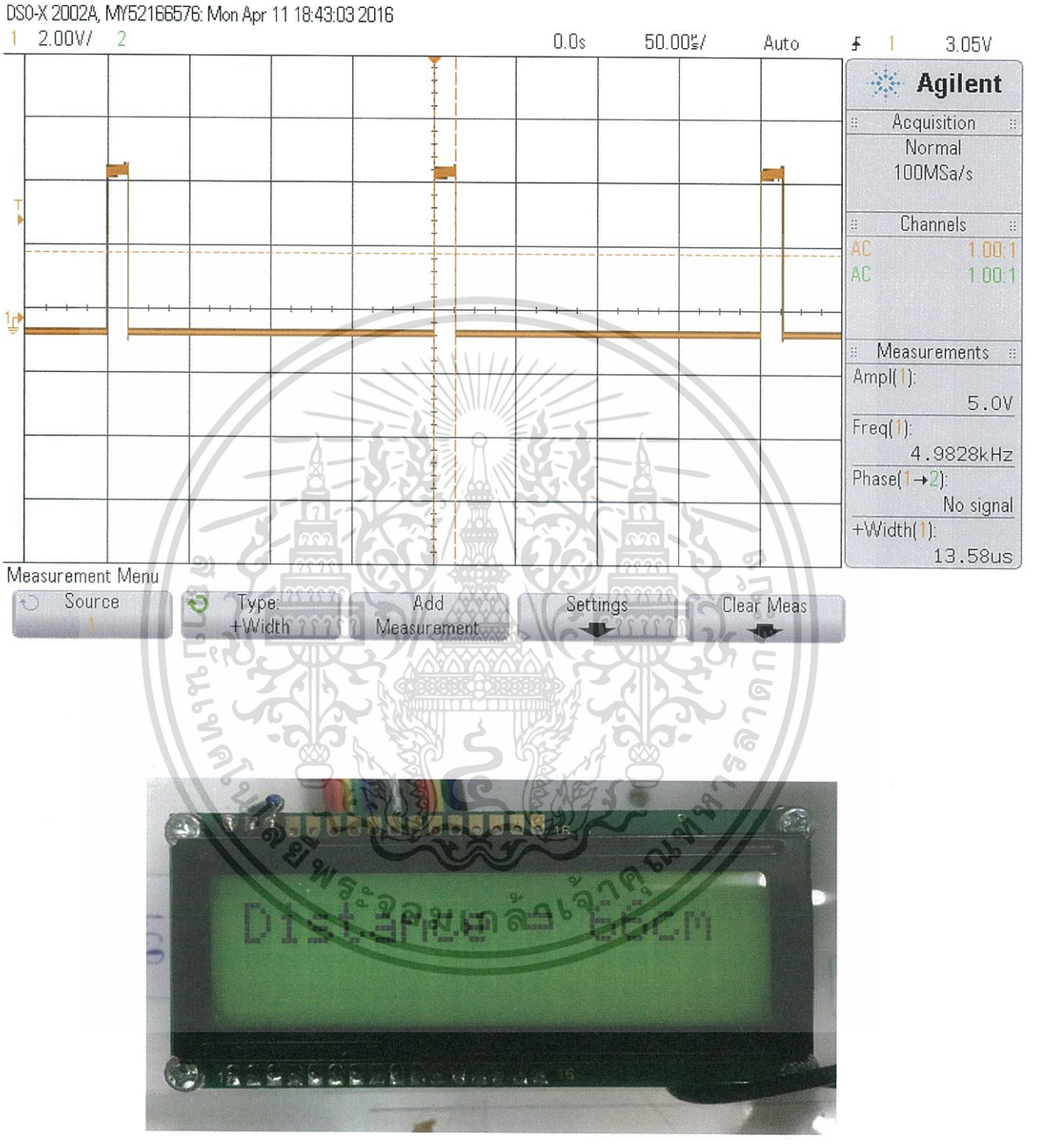
รูปที่ 4.9 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 45 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



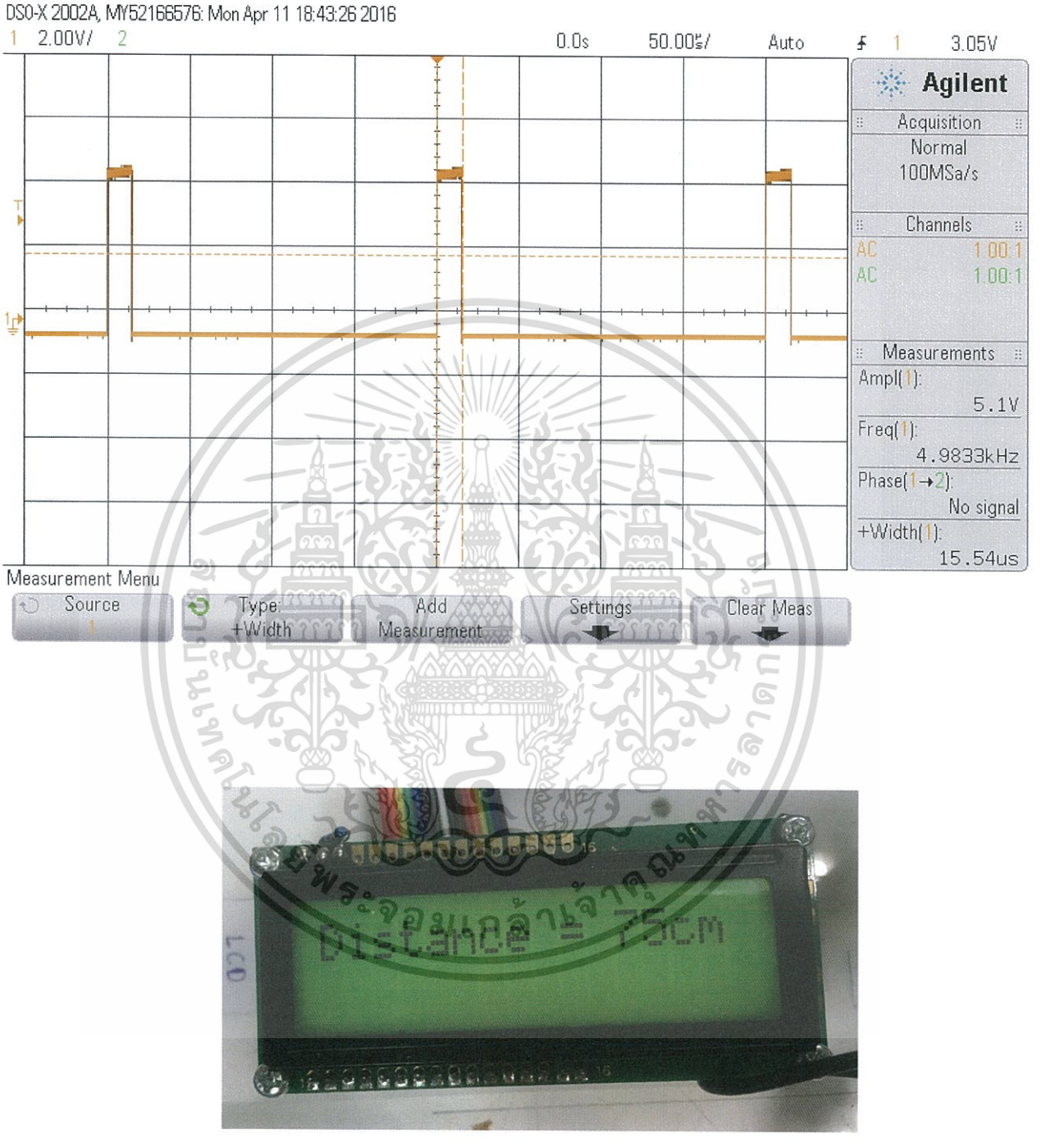
รูปที่ 4.10 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 50 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



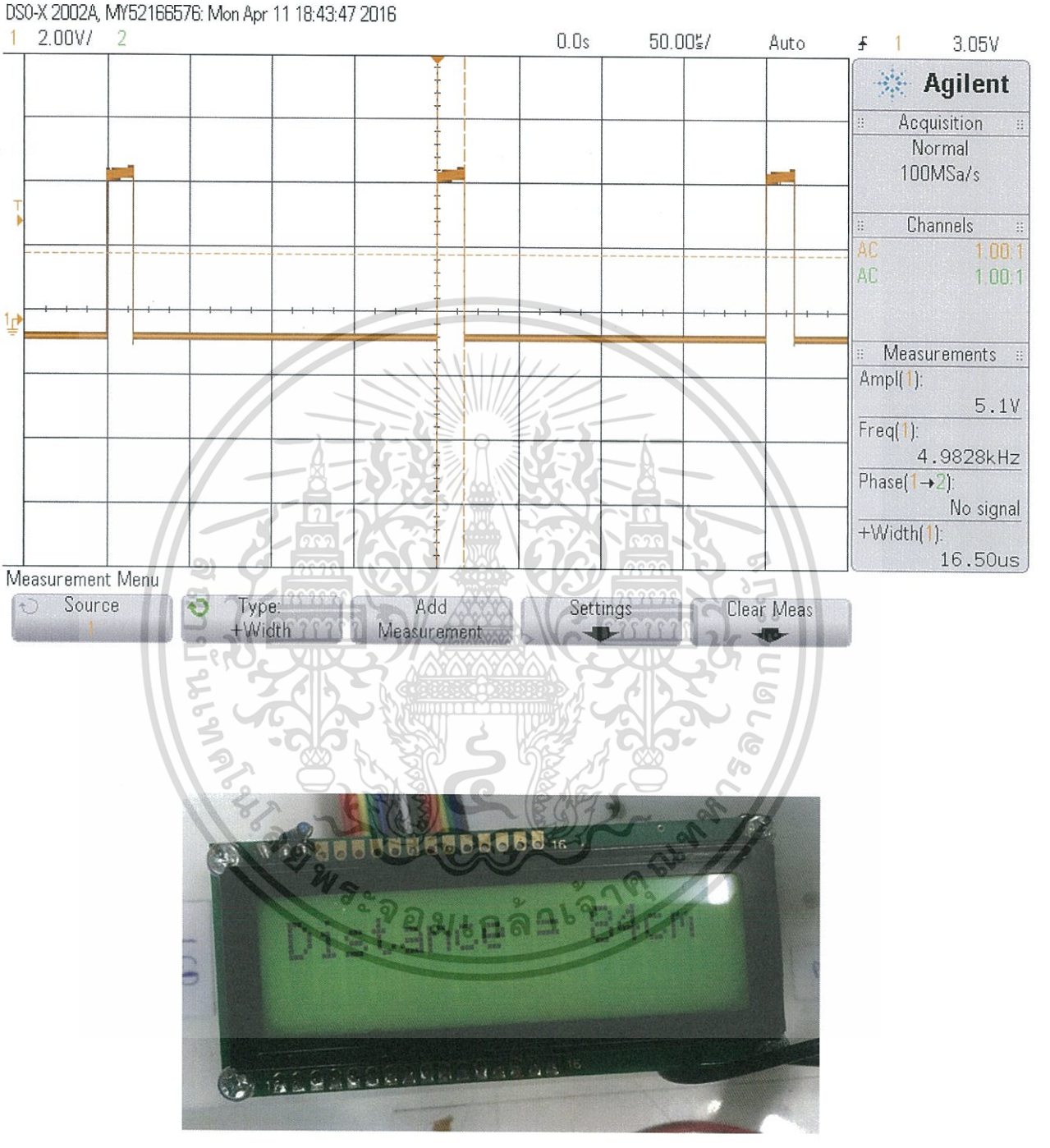
รูปที่ 4.11 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 66 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



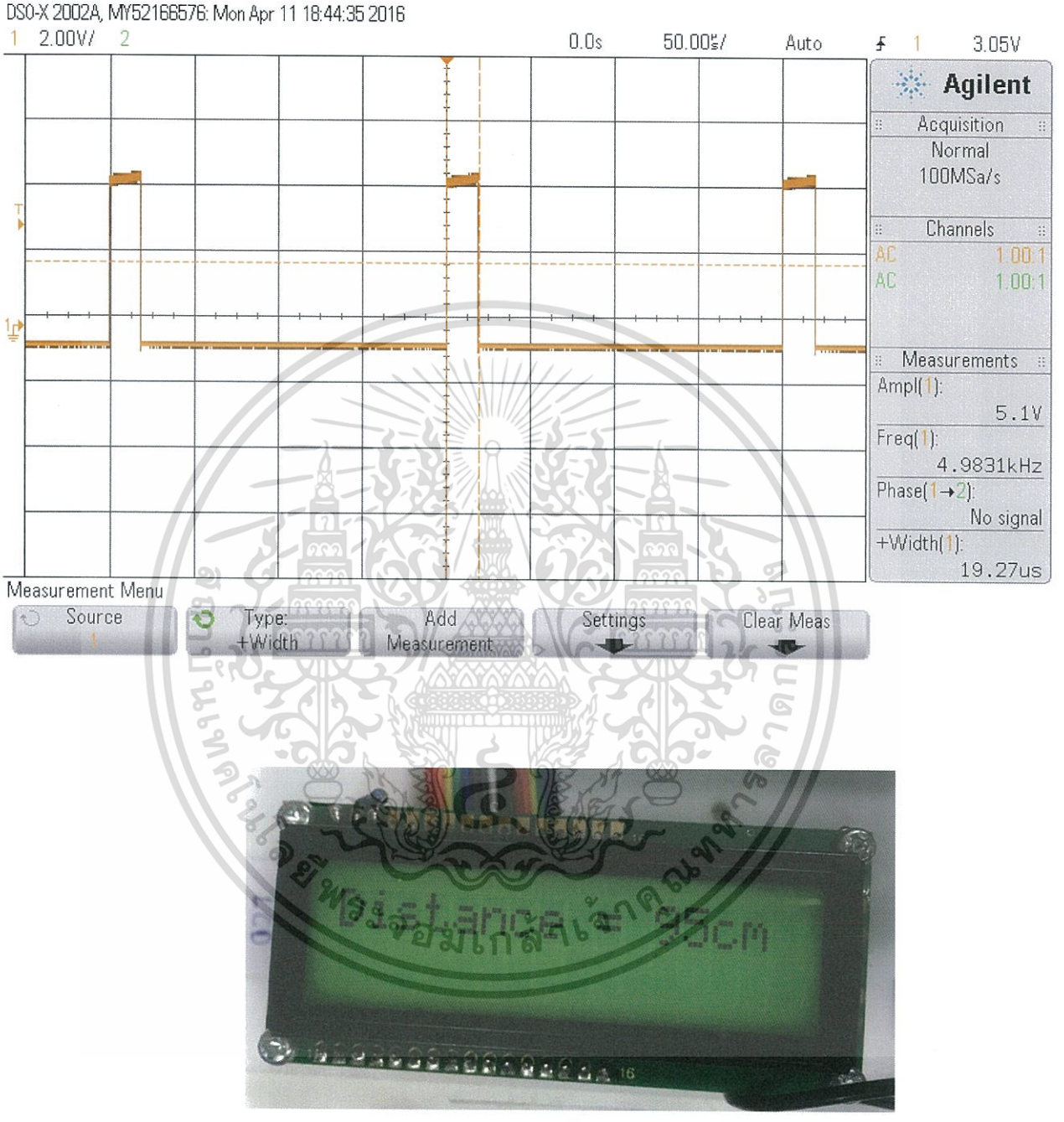
รูปที่ 4.12 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 75 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



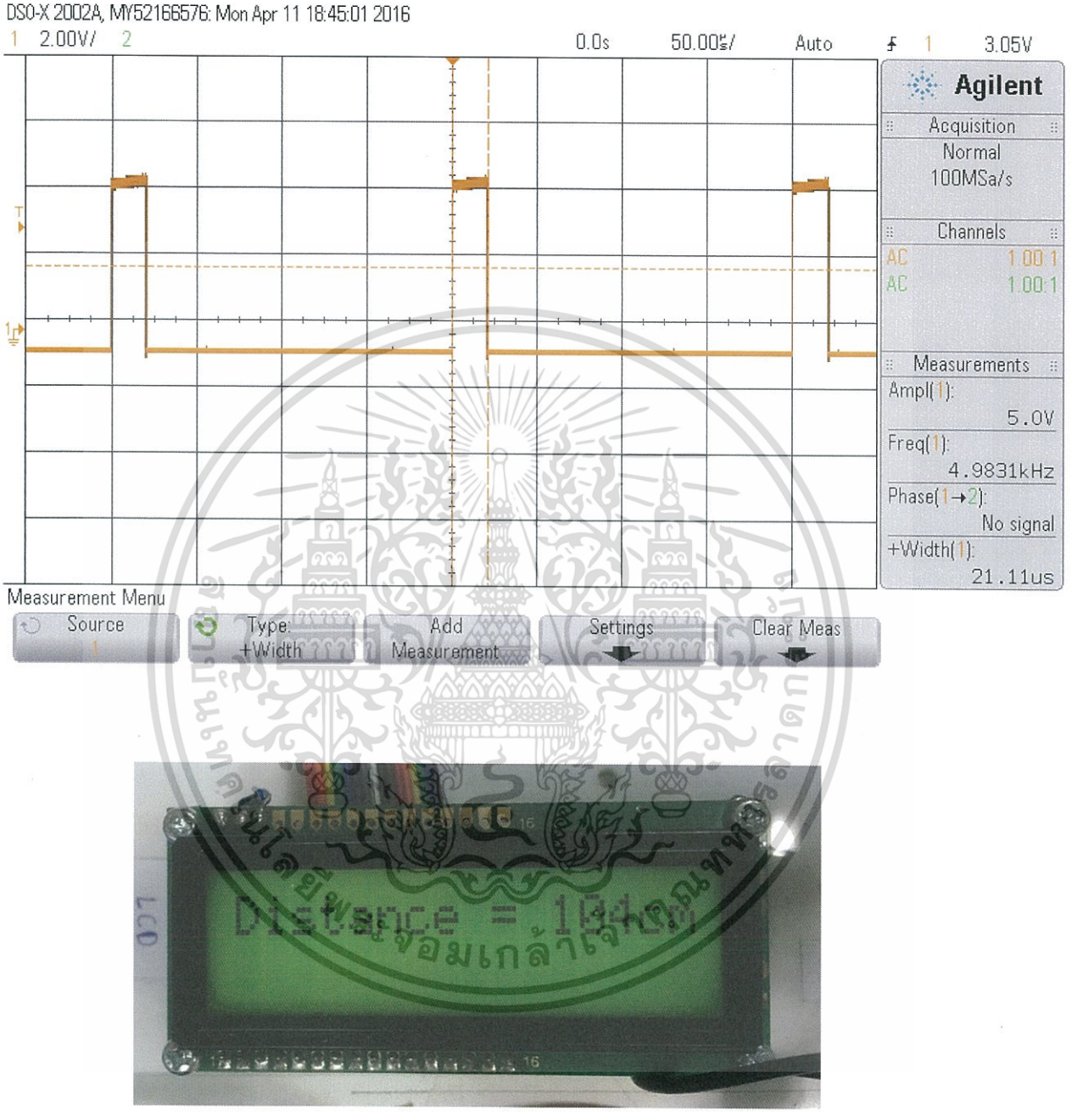
รูปที่ 4.13 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 84 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



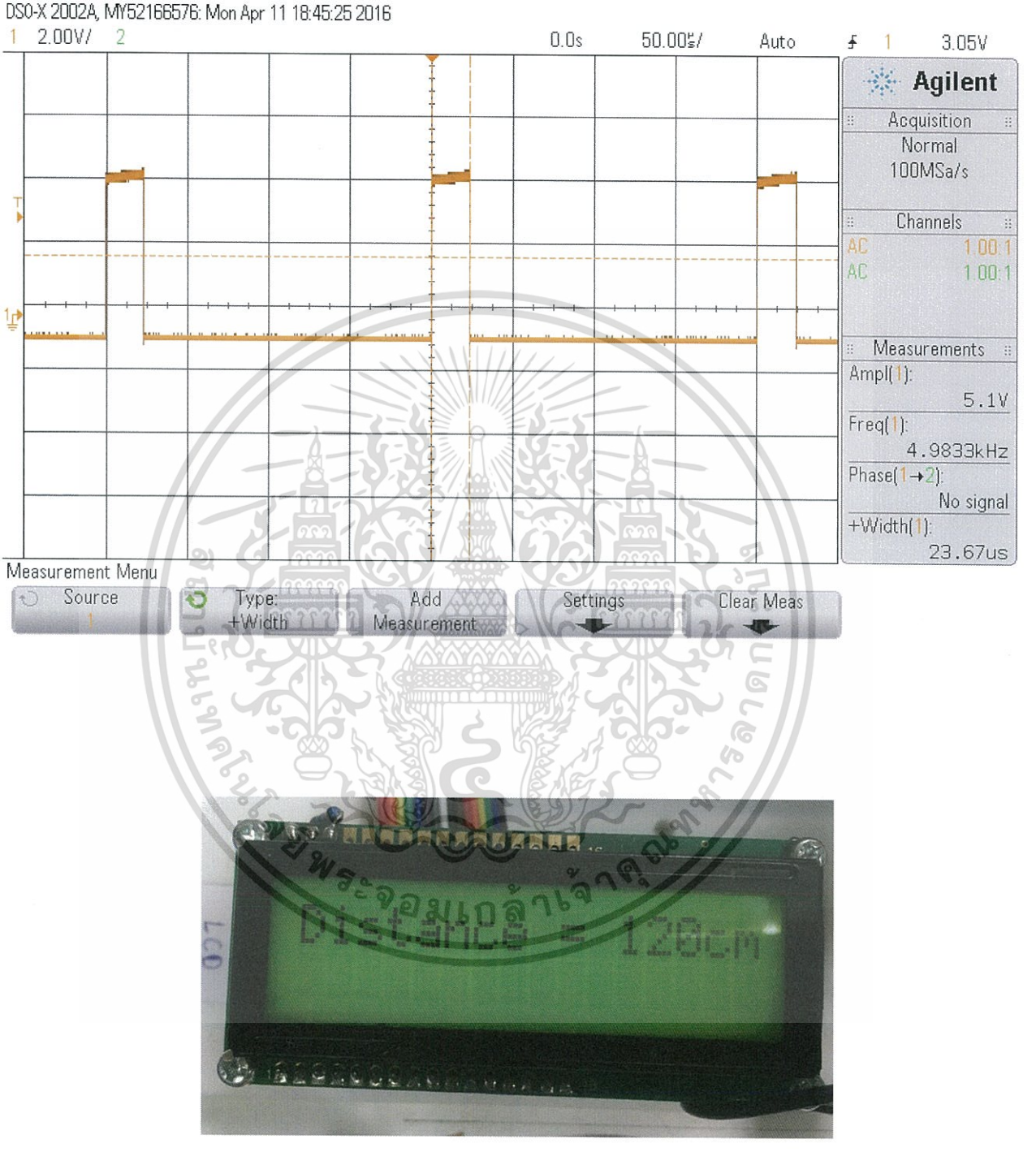
รูปที่ 4.14 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 95 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



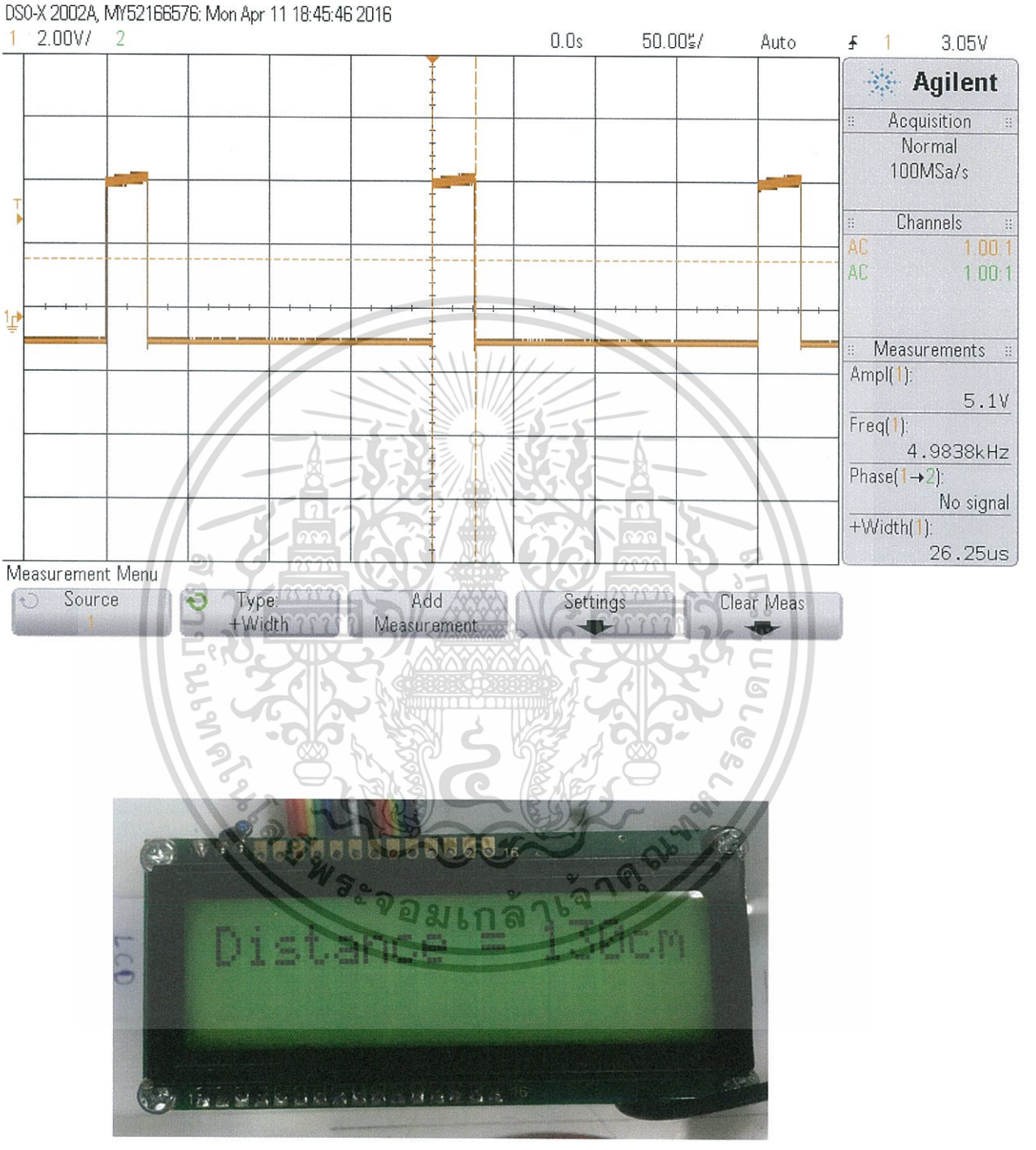
รูปที่ 4.15 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 104 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



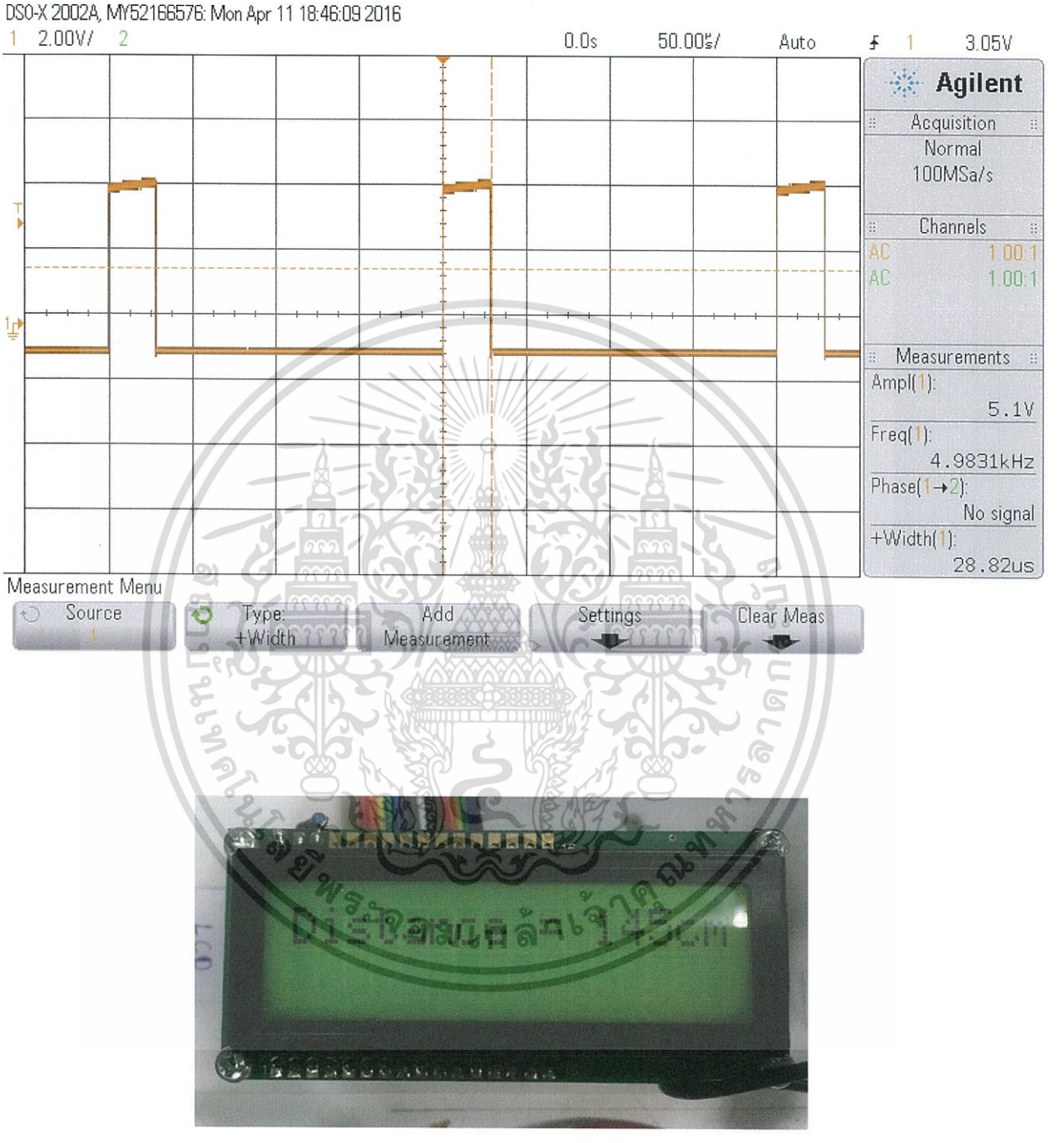
รูปที่ 4.16 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 120 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



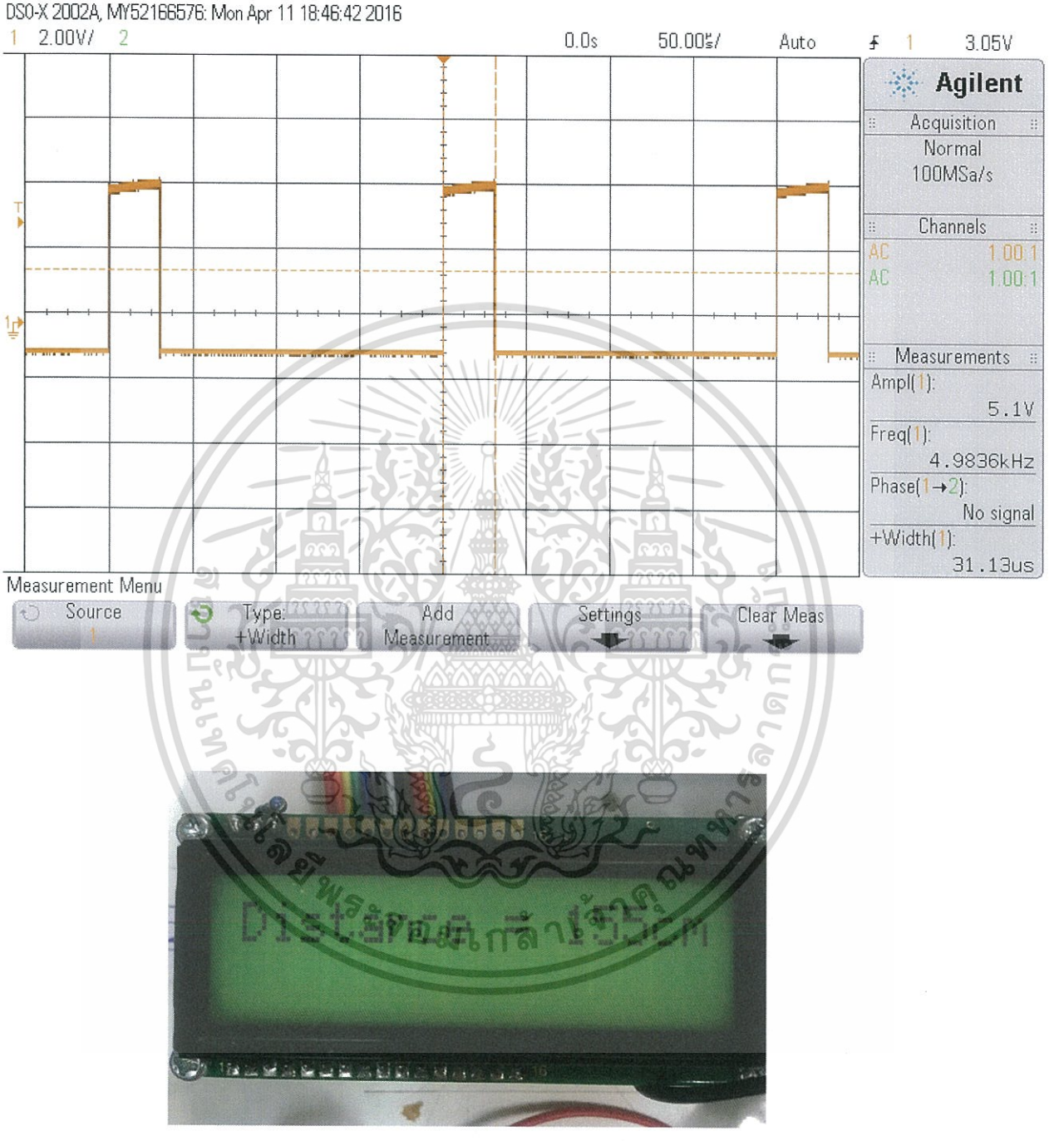
รูปที่ 4.17 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 130 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



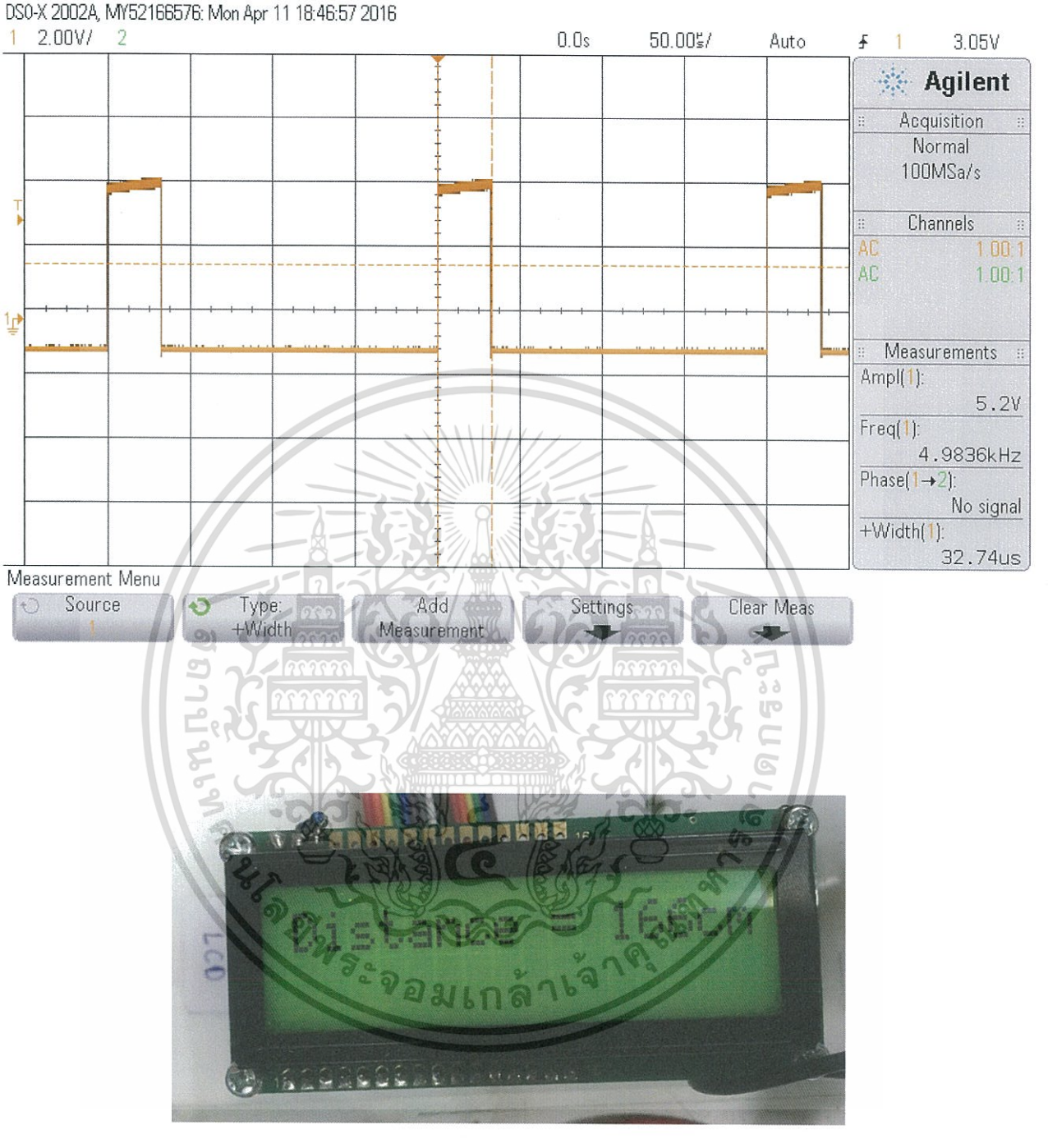
รูปที่ 4.18 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 145 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



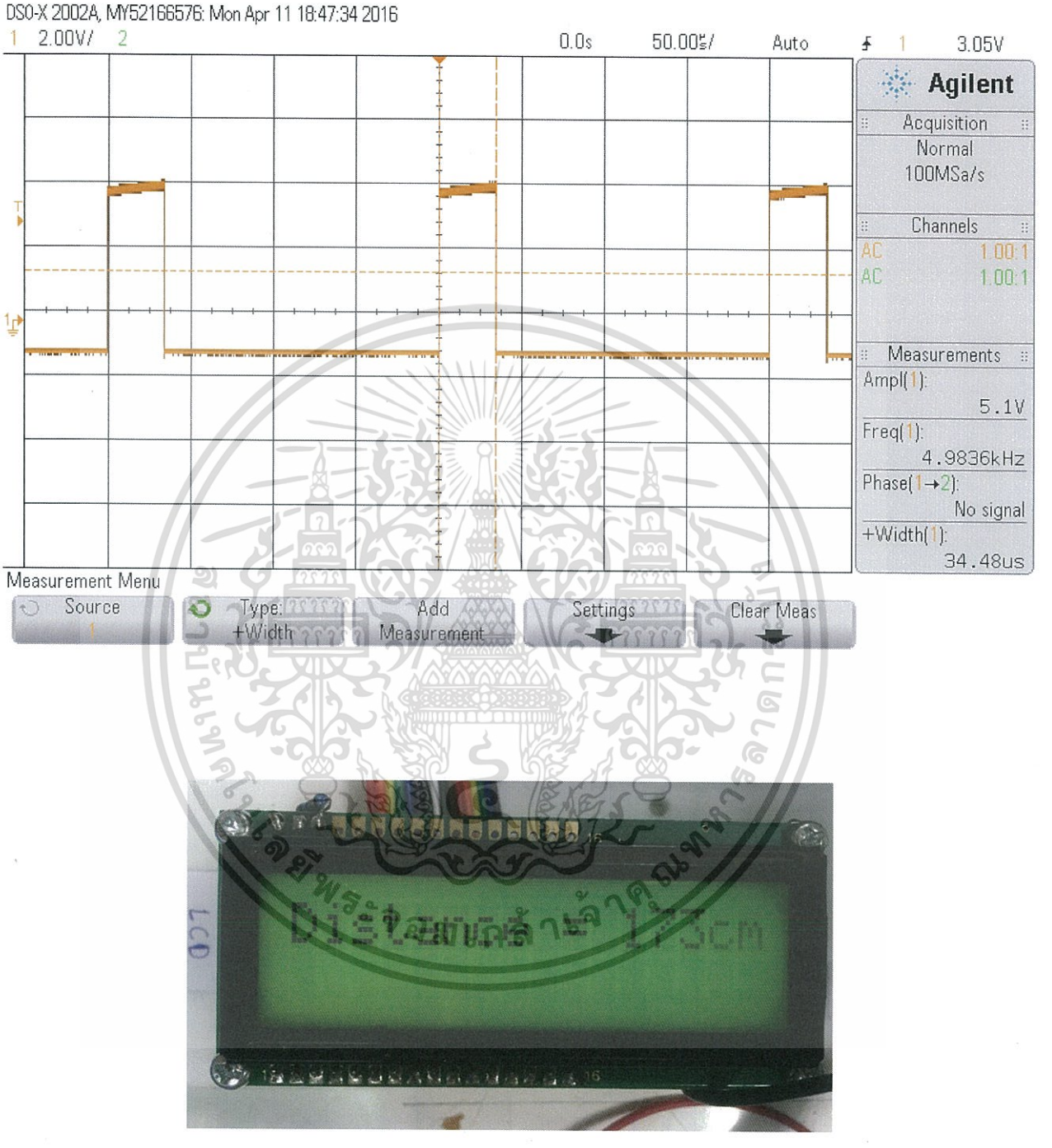
รูปที่ 4.19 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 155 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



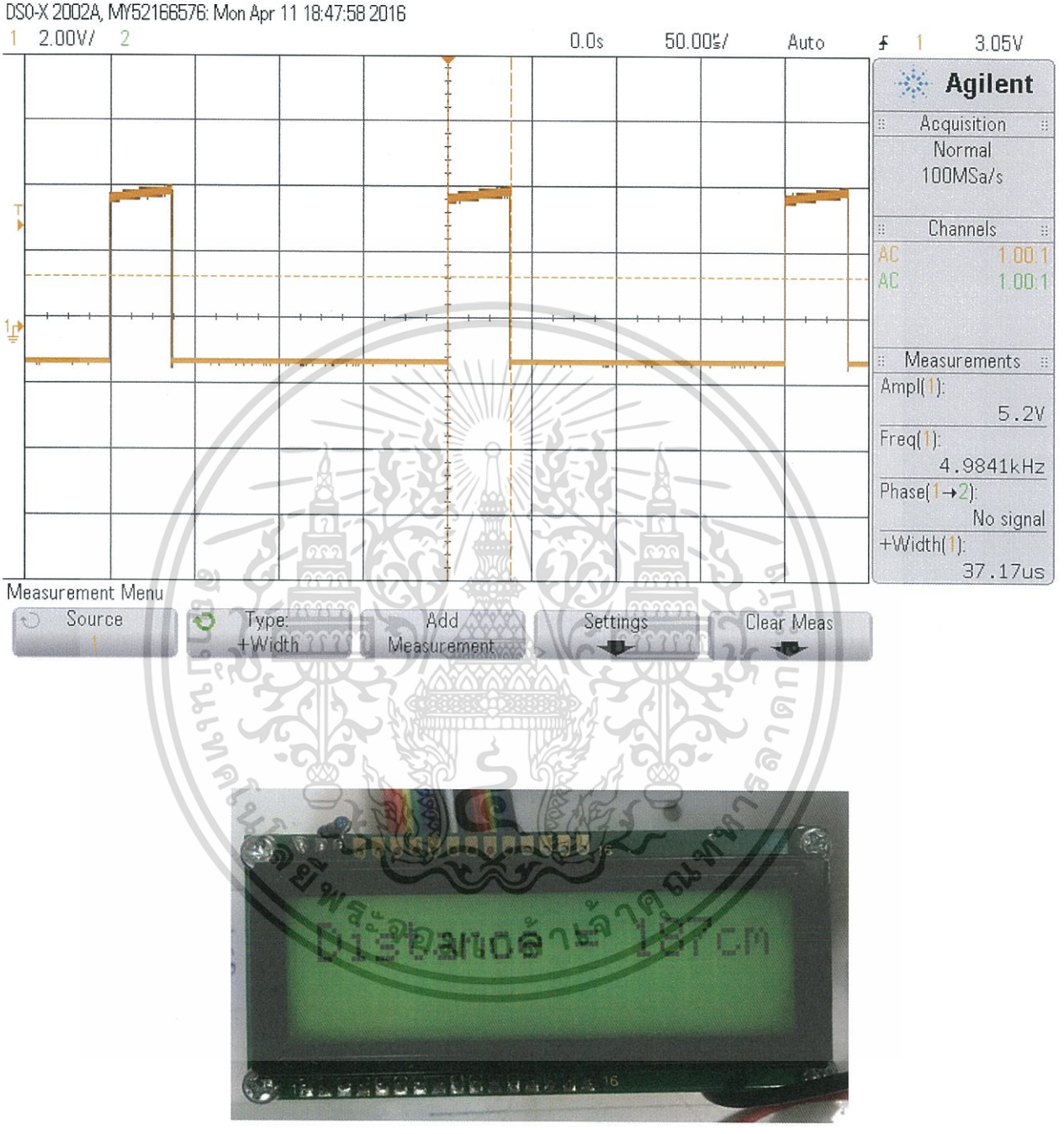
รูปที่ 4.20 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 166 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 173 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 ผลการทดลองการประมลผลระยะทางที่ 187 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ อธิบายการออกแบบและการสร้างเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ที่สามารถวัดระยะทางได้ไม่เกิน 5 เมตร โดยใช้วิธีวัดความแตกต่างของเฟส ซึ่งมีความถี่คลื่นพาห์ที่คำนวณได้จากระยะทางที่สามารถวัดได้ 15.000 MHz มีองค์ประกอบหลัก 7 ส่วน คือวงจรสร้างสัญญาณความถี่ 15.000 MHz วงจรส่วนขับสัญญาณเลเซอร์ไดโอด วงจรส่วนรับสัญญาณ วงจรส่วนผสมความถี่ วงจรส่วนประมวลผลค่าความต่างเฟส ส่วนไมโครคอนโทรเลอร์ และส่วนแสดงผล

จากการทดลองเพื่อทดสอบความสามารถในการใช้งานจริงของวงจร โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน คือตรวจสอบสัญญาณจากส่วนของวงจรต่างๆ ได้แก่ สัญญาณขับเลเซอร์ไดโอด สัญญาณหลังการผสมความถี่ และ สัญญาณหลังการประมวลผลค่าความต่างเฟส พบว่า เมื่อวัดค่าสัญญาณต่างๆจากแต่ละส่วนของวงจรได้สัญญาณตามที่ออกแบบ จากนั้นนำสัญญาณความต่างเฟสมาต่อในส่วนที่ 2 คือ ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำการประมวลผล และแสดงระยะทางได้ 20 cm – 187 cm ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ออกแบบไว้

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ไม่สามารถวัดระยะทางได้ต่ำกว่า 20 cm เนื่องจากตัวรับสัญญาณไม่อยู่ในมุมของการรับสัญญาณ และไม่สามารถวัดระยะทางได้สูงกว่า 187 cm เนื่องจากตัวรับสัญญาณรับค่าสัญญาณที่สะท้อนกลับมาไม่ได้

2. ในการประมวลผลระยะทางจากความต่างเฟสที่เกิดขึ้น จะเกิดค่าความผิดพลาดขึ้น ในหน่วยมิลลิเมตร คิดเป็นไม่เกิน 0.1%

3. เลเซอร์ไดโอดมีโอกาสพังเสียหายได้ง่าย เนื่องจาก ไฟฟ้าสถิต และความร้อนจากการทำงานของเลเซอร์ไดโอด

4. เลเซอร์ไดโอดมีมุมกระจายแสงเลเซอร์ที่กว้างมาก จึงต้องนำเลนส์นูนมาใส่เพิ่มเพื่อรวมแสง

5. ตัวรับสัญญาณ รับค่าสัญญาณได้น้อยมาก จึงต้องนำเลนส์นูนมาช่วยในการรวมแสง เข้าสู่ตัวรับสัญญาณ ทำให้รับสัญญาณได้ดีขึ้น

6. เนื่องจากสัญญาณที่มีความถี่สูง ทำให้การออกแบบลายวงจรยาก และต้องระมัดระวังอย่างมากเพื่อป้องกันสัญญาณเกิดการรบกวนกัน ระหว่างสัญญาณความถี่สูงและความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการพัฒนาเพิ่มเติม โดยการทำให้ตัวรับสัญญาณ รับค่าสัญญาณที่สะท้อนกลับมาได้มากขึ้น รวมถึงสามารถรับค่าสัญญาณในระยะไกลได้มากขึ้น และควรมีการป้องกันเลเซอร์ไดโอดจากไฟฟ้าสถิต และความร้อนจากการทำงาน นอกจากนี้ควรมีการนำวงจรทั้งหมดประกอบลงในกล่องโลหะเพื่อช่วยป้องกันการรบกวนจากสัญญาณภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

[1] ผศ.ดร.พูลศักดิ์ โกษียาภรณ์, พล จะสูงเนิน, เรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7ด้วยภาษาซี, ห้างหุ้นส่วนสามัญสมาร์ทเลิร์นนิ่ง. สืบค้นวันที่ 20 ตุลาคม 2558

[2] Joseph Yiu. Pressman, The Definitive Guide to the ARM Cortex-M3, Newnes. สืบค้นวันที่ 20 ตุลาคม 2558

[3] "Double-balanced mixer and oscillator", SA602 Application note, NXP Semiconductors, สืบค้นจาก http://www.nxp.com/documents/data_sheet/SA602A.pdf สืบค้นวันที่ 15 ตุลาคม 2558

[4] August 2014, "Dual D Flip-Flop with Set and Reset" MM74HC74AN Application note, ON Semiconductors, สืบค้นจาก http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MC74HC74A-D.PDF สืบค้นวันที่ 30 ตุลาคม 2558

[5] "Low-Power JFET-Input Operational Amplifiers ", TL062 Application note, Texas Instruments Inc. สืบค้นจาก http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm158-n.pdf สืบค้นวันที่ 17 พฤศจิกายน 2558

[6] "Dual-Operational Amplifiers", LM358 Application note, Texas Instruments Inc. สืบค้นจาก http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl064.pdf สืบค้นวันที่ 20 มกราคม 2558

[7] "Monolithic IF Amplifier", MC1350 Application note, Motorola Inc. สืบค้นจาก http://people.wallawalla.edu/~Rob.Frohne/R-4C/mc1350rev3.pdf สืบค้นวันที่ 20 มกราคม 2558

[8] March 2015, "Low Offset Voltage Dual Comparators", LM393 Application note, ON Semiconductors, สืบค้นจาก http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/LM393-D.PDF สืบค้นวันที่ 20 มกราคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้