

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์
LASER LENGTH FINDER



โดย

นาย พรเพชร ภูบาลชื่น 39014354

นาย รัฐเขต อักษรณรงค์ 39014430

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ

รายงานฉบับนี้ ไม่สามารถใช้อ้างอิงทางวิชาการได้

พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของกาการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขที่.....
เลขทะเบียน 36917
วัน, เดือน, ปี 29 ส.ค. 2543

เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าพนักงานหอสมุดฯ หากมีการนำเอกสารฉบับนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
จากเจ้าพนักงานหอสมุดฯ จะถือว่าผิดกฎหมายและต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานปีการศึกษา 2542

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง เครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์

ผู้จัดทำ

1. นาย พรเพชร ภูบาลชื่น 39014354
2. นาย รัฐเขต อักษรณรงค์ 39014430

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. พลศาสตร์ เติสประเสริฐ

(.....)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการเรื่อง (ภาษาไทย) เครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์
(ภาษาอังกฤษ) LASER LENGTH FINDER

จัดทำโดย

1. นาย พรเพชร ภูบาลชื่น 39014354

2. นาย รัฐเขต อักษรณรงค์ 39014430

โครงการได้ผ่านการตรวจสอบแล้วพร้อมที่จะทำการสอบได้

ลงชื่อ.....

(.....)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์

นาย พรเพชร ภูบาลชื่น
นาย รัฐเขต อักษรณรงค์
อาจารย์พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ
ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

ระบบวัดระยะทางถูกออกแบบให้สามารถวัดหาระยะทางจากวัตถุที่ต้องการจะวัดถึงจุดสังเกตได้โดยใช้แสง รายงานฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการหาเวลาที่แสงเคลื่อนที่ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ ในอันดับแรกจะทำการสร้างสัญญาณฐานเวลาความถี่สูงและทำการผสมสัญญาณเข้ากับแสงที่ยังไปยังวัตถุ จากนั้นจะทำการลดทอนความถี่ลงด้วยวิธี Heterodyne Technics และหาระยะทางจากมุมต่างเฟส เทียบค่าในสมการก็จะสามารถเปลี่ยนค่ามุมต่างเฟสให้เป็นระยะทางได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LASER LENGTH FINDER

Mr. Pornpech Poobanchuen

Mr. Rattakhet Aksornnarong

Mr. Ponlasart Lertprasert (Advisor)

1999

Abstract

LENGTH FINDER is designed to evaluate the object's distance by laser pointer.

In this report , we provide the method that the velocity of light is constant then it uses to calculate for distance .

At first , we generate high frequency wave ,after that we shoot it to the object. So the wave reflect then we have phase shift. We can calculate the object's distance by it with equations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อ	
Abstract	
สารบัญ	
สารบัญรูปภาพ	
สารบัญตาราง	
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 หลักการวิเคราะห์ทางด้วยแสง	4
2.1 หลักการวิเคราะห์การด้วยแสงเบื้องต้น	4
2.2 หลักการวิเคราะห์ทางด้วยแสงที่ออกแบบในโครงงานนี้	6
บทที่ 3 หลักการและการออกแบบ	14
3.1 วงจรออสซิลเลเตอร์ 1 (OSC1)	14
3.2 วงจรออสซิลเลเตอร์ 2 (OSC2)	15
3.3 วงจรออสซิลเลเตอร์ 3 (OSC3)	16
3.4 วงจรภาคส่ง (Transmitter)	16
3.5 วงจรภาครับ (Receiver)	17
3.6 วงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ (Bandpass Filter)	18
3.7 วงจรผสมสัญญาณ (Mixer)	24
3.8 วงจรขยาย (Amplifier)	25
3.9 วงจรซีโรครอสซิงดีเทคเตอร์ (Zero Crossing Detector)	25
3.10 วงจรเฟสคอมพาราเตอร์ (Phase Comparator)	26
3.11 วงจรนับขนาด 16 บิต (16 bits counter)	27
3.12 วงจรเลื่อนเฟส (Phase Shifter)	28
3.13 วงจรส่วนคำนวณและแสดงผล	28
บทที่ 4 ผลการทดลอง	30
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	42
บทที่ 6 ปัญหาในการทดลอง และการแก้ไขปัญหา	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 หลักการทำงานขั้นพื้นฐาน ของเครื่องวัดระยะทางด้วยแสง(Optical Distance Meters)	2
รูปที่ 2.1แสดงขั้นตอนการหาระยะทางด้วยแสง	4
รูปที่ 2.2 หลักการหาระยะทางด้วยแสง	7
รูปที่ 3.1 วงจรออสซิลเลเตอร์ 1	14
รูปที่ 3.2 วงจรออสซิลเลเตอร์ 2	15
รูปที่ 3.3 วงจรออสซิลเลเตอร์ 3	16
รูปที่ 3.4 วงจรภาคส่ง	16
รูปที่ 3.5 วงจรภาครับ	17
รูปที่ 3.6 1เมกะเฮิร์ตซ์ Positive Feedback Filter	18
รูปที่ 3.7 1เมกะเฮิร์ตซ์ Negative Feedback Filter	20
รูปที่ 3.8 125 เมกะเฮิร์ตซ์ Negative Feedback Filter	23
รูปที่ 3.9 วงจรผสมสัญญาณ (MIXER)	24
รูปที่ 3.10 วงจรขยาย	25
รูปที่ 3.11 วงจรซีโรครอสซิงคิเทคเตอร์	25
รูปที่ 3.12 วงจรเฟสคอมพาราเตอร์	26
รูปที่ 3.13 วงจรนับขนาด 16 บิต	27
รูปที่ 3.14 วงจรเลื่อนเฟส	28
รูปที่ 3.15 ส่วนคำนวณและแสดงผล	29
รูปที่ 3.16 แสดงผล โดย 7- Segment	29
รูปที่ 4.1 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรออสซิลเลเตอร์ 1	30
รูปที่ 4.2 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรออสซิลเลเตอร์ 2	31
รูปที่ 4.3 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ 1MHz โดยอินพุตคือออสซิลเลเตอร์ 1	31
รูปที่ 4.4 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ 1MHz โดยอินพุตคือออสซิลเลเตอร์ 2	32
รูปที่ 4.5 สัญญาณอินพุตของวงจรผสมสัญญาณ	32
รูปที่ 4.6 สัญญาณเอาต์พุตของการมอดูเลต โดย MC 1496	33

รูปที่ 4.7 สัญญาณคคร้อมความต้านทาน 50 โอห์มซึ่งอนุกรม กับเลเซอร์ไดโอด	33
รูปที่ 4.8 ผลของการเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุเป็น 15pF ในออสซิลเลเตอร์ 2	34
รูปที่ 4.9 ผลของการเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุเป็น 20pF ในออสซิลเลเตอร์ 2	34
รูปที่ 4.10 สัญญาณเอาต์พุทของวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ 125Hz	35
รูปที่ 4.11 สัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของวงจรขยาย	35
รูปที่ 4.12 สัญญาณแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัลโดยวงจรซีโรครอสซิง	36
รูปที่ 4.13 สัญญาณที่กรองโดยแบนพาสฟิลเตอร์ 1 MHz	36
รูปที่ 4.14 สัญญาณที่กรองโดยแบนพาสฟิลเตอร์ 125 Hz	37
รูปที่ 4.15 สัญญาณเอาต์พุทของวงจรเลื่อนเฟสที่ไม่มีการปรับแต่ง	37
รูปที่ 4.16 สัญญาณเอาต์พุทของวงจรเลื่อนเฟสที่มีการปรับแต่งแล้ว	38
รูปที่ 4.18 สัญญาณแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัลโดย วงจรซีโรครอสซิงที่รับจากภายนอก	38
รูปที่ 4.19 สัญญาณอินพุทของวงจรเทียบเฟส	39
รูปที่ 4.20 สัญญาณมุมต่างเฟส	39

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงผลการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ แบนด์พาสฟิลเตอร์ 1MHz	40
ตารางที่ 2 แสดงผลการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ แบนด์พาสฟิลเตอร์ 125 Hz	41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

การวิเคราะห์ทางเป็นสิ่งที่จำเป็นในเกือบทุกสาขาอาชีพ ไม่ว่าจะเป็น ทางด้านโยธาที่ จำเป็น ต้องมีการสำรวจพื้นที่เพื่อการก่อสร้างอาคาร ทางด้านการทหารที่จำเป็นจะต้องหาระยะทางของฐานที่ตั้งของกองทัพศัตรู ในงานหุ่นยนต์ก็จำเป็นจะต้องทำการหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวาง หุ่นยนต์อยู่ หรือ ในรถยนต์สมัยใหม่ก็อาจจะมีการควบคุมระยะห่างรถคันข้างหน้ากับรถของเราได้อีกด้วย ดังนั้น การพัฒนาเพื่อที่จะทำให้การวิเคราะห์ทางได้ถูกต้องแม่นยำ และรวดเร็วจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น

โดยทั่วไป แล้วการวิเคราะห์ทางจะอาศัยเครื่องมือวัด เช่น ตลับเมตร ไม้บรรทัด ฯลฯ ซึ่งเป็นการหาระยะทางที่ต้องสามารถเดินทางไปยังจุดเริ่มต้น และจุดปลายที่ทำการวัดได้ แต่ถ้าหากเราไม่สามารถเดินทางไปยังจุดเริ่มต้นวัดได้ เช่น ต้องการวัดว่าต้นไม้ต้นที่อยู่อีกฝั่งของแม่น้ำกับจุดที่ยืนอยู่ห่างกันเท่าใด ทำให้เครื่องมือวัดดังกล่าวเกิดข้อจำกัดเกิดขึ้น

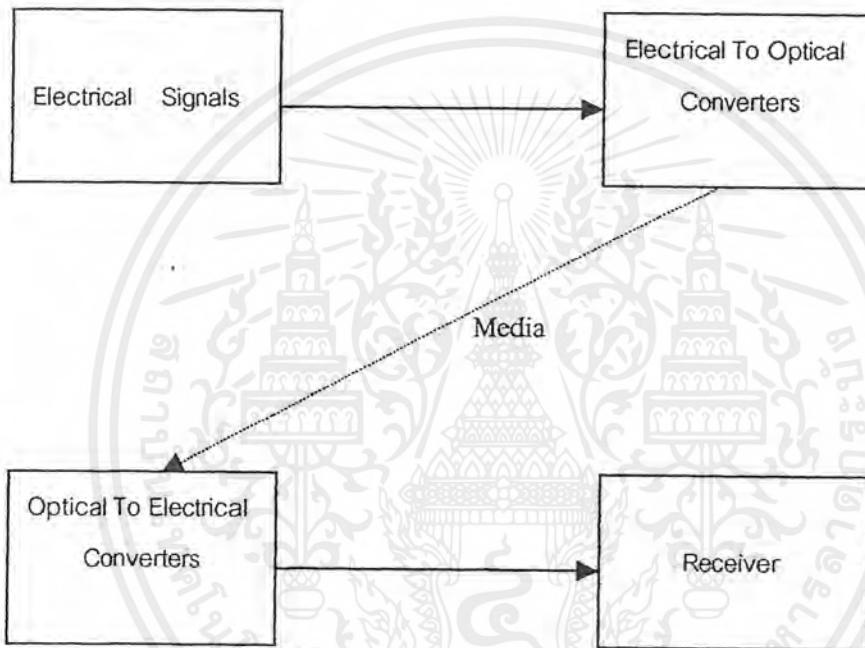
ในปัจจุบันเทคโนโลยีสมัยใหม่ได้ถูกนำมาใช้เพื่อลดข้อจำกัดของเครื่องมือดังกล่าวเช่น นำคลื่นแสง หรือเสียง มาทำการวัดโดยอาศัยคุณสมบัติบางอย่างของมัน เช่น การสะท้อน และความเร็วในการเคลื่อนที่ที่แน่นอน เป็นต้น

ในโครงการนี้ เราจะอาศัย คุณสมบัติของแสงที่เดินทางเป็นเส้นตรงและมีความเร็วที่แน่นอนมาสร้างเป็นชิ้นงานขึ้น เป็นเครื่องวิเคราะห์ทางด้วยแสง โดยนำเลเซอร์พอยเตอร์ เป็นต้นกำเนิดแสงและใช้วงจรมัลติเพล็กซ์ต่าง ๆ เป็นส่วนประกอบช่วยให้การวิเคราะห์ทางมีความถูกต้องและมีความละเอียดมากขึ้น อันที่จะกล่าวถึงในบทต่อ ๆ ไป

เนื่องจากแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมากกว่าความถี่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่วิทยุมากถึงระดับ 10^{14} เฮิรตซ์ จึงทำให้คลื่นแสงมีคุณสมบัติแตกต่างไปจากคลื่นวิทยุต่างๆ ไปอย่างสิ้นเชิง และแสงมีความเร็วในการเคลื่อนที่ประมาณ 299,792,458 เมตรต่อวินาที ในการเดินทางในสุญญากาศ เนื่องจากแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมาก จนวงจรทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ไม่สามารถทำงานได้ในย่านความถี่แสง เพราะอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน จะสามารถทำงานได้ในย่านความถี่สูงสุดเพียงไม่กี่สิบจิกะเฮิรตซ์เท่านั้น ดังนั้นในการรับส่งสัญญาณแสงต่าง ๆ ด้วยวงจรมัลติเพล็กซ์จึงไม่สามารถกระทำได้โดยตรง เนื่องจากเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ฉะนั้นจึงได้มีการนำเอาวิธีการบางอย่างเข้ามา เพื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของสัญญาณที่ได้จากแสง ให้เป็นสัญญาณทางด้านไฟฟ้า ซึ่งก็จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับวงจรทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหลักการทำงานของเครื่องวัดระยะทางด้วยแสง (Optical Distance Meters) จะใช้หลักการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงที่นำมาใช้งานในตัวเครื่องส่ง ให้มีความเข้มแสงมากน้อยเปลี่ยนแปลงตามขนาดของสัญญาณ ไฟฟ้าภายในตัวเครื่องวัด ดังนั้นในตัวเครื่องส่งจึงมีอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณคลื่นแสงและส่วนทางด้านเครื่องรับก็จะมีอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนสัญญาณคลื่นแสงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าดังแผนภาพในรูป ที่ 1.1



รูปที่ 1.1 หลักการทำงานขั้นพื้นฐานของเครื่องวัดระยะทางด้วยแสง(Optical Distance Meters)

จากแผนภาพ หลักการทำงานขั้นพื้นฐานของเครื่องวัด สามารถอธิบายการทำงานของส่วนประกอบต่าง ๆ ขั้นพื้นฐานของระบบได้ดังนี้

- 1.Electrical Signals คือ สัญญาณทางด้าน ไฟฟ้าภายในเครื่องวัดระยะทาง เป็นสัญญาณ ไซน์ เวฟ ความถี่สูง
- 2.Electrical To Optical Converters คือตัวเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าความถี่สูงภายในตัวส่งให้เป็นสัญญาณคลื่นแสง ซึ่งเป็นหลักการทำงานของตัวส่งภายในเครื่องวัด
- 3.Media คือตัวกลางที่คลื่นแสงใช้ในการเคลื่อนที่ในที่นี้คืออากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Optical To Electrical Converters คือตัวเปลี่ยนสัญญาณคลื่นแสงให้กลับไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งเป็นหลักการทำงานของตัวรับภายในเครื่องวัด

5. Receiver คือวงจรทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้า จากตัวรับเพื่อนำเอาสัญญาณที่ได้รับไปทำการประมวลผล ภายในเครื่องวัด



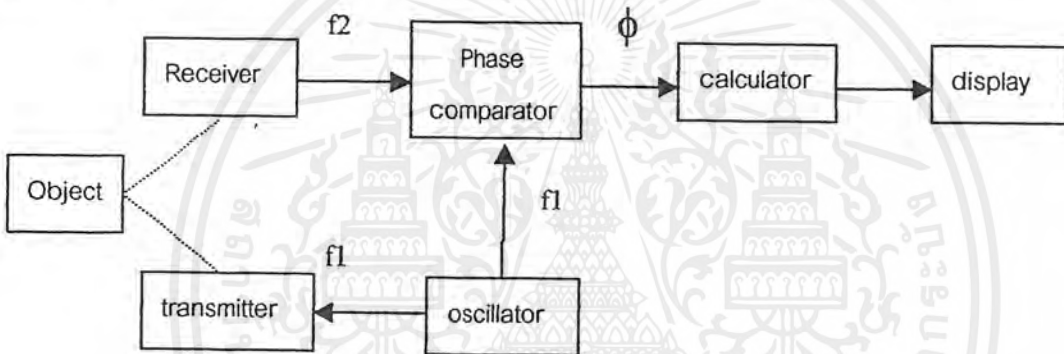
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการวัดระยะทางด้วยแสง

2.1 หลักการวัดระยะการด้วยแสงเบื้องต้น

เนื่องจากแสงมีความเร็วสูงถึงประมาณ 2.998×10^8 เมตรต่อวินาที ดังนั้นจึงเป็นไปได้เลยที่เราจะวัดหาระยะเวลาที่แสงเคลื่อนที่ผ่านอากาศไปกระทบวัตถุแล้วกลับมาถึงจุดสังเกต ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องใช้หลักการทางอิเล็กทรอนิกส์มาช่วยในการหาระยะเวลาที่แสงเคลื่อนที่ดังแผนภาพรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นหลักการอย่างง่ายดังนี้



รูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการหาระยะทางด้วยแสง

เราจะทำการวัดเวลาจากมุมต่างเฟสระหว่างสัญญาณสองสัญญาณที่กำเนิดจากแหล่งกำเนิดสัญญาณเดียวกัน เพียงแต่ว่าสัญญาณหนึ่งจะมีการหน่วงเวลาไปเนื่องจากเป็นเวลาที่แสงใช้เคลื่อนที่ในอากาศไปกระทบวัตถุ โดยเราจะทำการผลิตความถี่ $f_1 = \sin(\omega t)$ แล้วทำการมอดูเลตสัญญาณ f_1 เข้ากับแสง จากนั้นก็ทำการฉายแสงดังกล่าวไปยังวัตถุ ซึ่งจากคุณสมบัติของแสงที่เดินทางเป็นเส้นตรงและมีการสะท้อนของแสง ทำให้เราสามารถรับแสงที่สะท้อนกลับมาเข้าภาครับ (Receiver) โดยแสงที่รับจะถูกการตีมอดูเลตเอาเฉพาะสัญญาณออกมาได้สัญญาณเป็น $f_2 \sin(\omega t - \phi)$ จากนั้นนำสัญญาณ f_1 และ f_2 มาเทียบเฟสกันด้วย ภาคเฟสคอมพาราเตอร์ (Phase Comparator) ดังนั้นจะทำให้เราทราบค่ามุมต่างเฟส จึงสามารถนำไปคำนวณได้โดยเปลี่ยนให้เป็นเวลาก่อน (t_d)

จาก

$$v = \frac{s}{t}$$

เพราะฉะนั้น

$$c = \frac{2L}{t_d}$$

หรือ

$$L = \frac{c \times t_d}{2} \quad (2.1)$$

และจาก

$$f = \frac{1}{T}$$

ซึ่งถ้าหากมุมต่างเฟสไป

360 องศา ใช้เวลา T วินาที

เพราะฉะนั้นถ้าหากมุมเฟสไป

ϕ องศา ใช้เวลา t_d วินาที

ดังนั้น

$$t_d = \frac{\phi \times T}{360}$$

หรือ

$$t_d = \frac{\phi}{360f} \quad (2.2)$$

แทนค่า t_d ในสมการที่ 2.2 ลงไปในสมการที่ 2.1

ได้

$$L = \frac{c \times \phi}{720f_1}$$

หลังจากคำนวณได้ระยะทางแล้วก็จะนำไปแสดงผล (Display)

โดยที่ c : ความเร็วของแสงประมาณ 2.998×10^8 เมตรต่อวินาที

L : ระยะทางจากจุดสังเกตถึงวัตถุ (เมตร)

t_d : เวลาที่ถูกหน่วงเนื่องจากการเคลื่อนที่ของแสง (วินาที)

f_1 : ความถี่ที่ผลิตภายในเครื่องวัด (เฮิร์ตซ์)

T : คาบเวลาของสัญญาณที่ผลิต (วินาที)

ϕ : มุมต่างเฟสที่ได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณ (องศา)

2.2 หลักการวัดระยะทางด้วยแสงที่ออกแบบในโครงการนี้

แต่จากแผนภาพรูปที่ 2.1 นั้นจะพบว่าเป็นการยากสำหรับภาคเฟสคอมพาราเตอร์ ถ้าหากความถี่ f_1 นั้นสูงมากเพราะจะทำให้ทำงานไม่ทันและวัดมุมต่างเฟสที่ถูกต้องได้ลำบากอีกด้วยดังนั้น หลักการทำงานจะถูกแก้ไขดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการเพิ่มวงจรมิกเซอร์เข้าไป ซึ่งมีผลทำให้สะดวกต่อการหาค่ามุมต่างเฟส หลักการของเครื่องวัดนี้ สามารถอธิบายได้ดังนี้

ภาคออสซิลเลเตอร์ 1 (OSC.1) จะผลิตสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) ความถี่ 1 เมกะเฮิร์ตซ์ เป็นสัญญาณฐานเวลาภายในตัวเครื่อง และส่วนหนึ่งจะเป็นสัญญาณที่ถูกส่งออกไปนอกเครื่องวัด สัญญาณฐานเวลา 1 เมกะเฮิร์ตซ์ นี้จะถูกส่งไปยังภาคตัวส่ง (Transmitter) ตัวส่งก็จะทำการเปลี่ยนสัญญาณความถี่ 1 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นสัญญาณไฟฟ้าให้กลายเป็นสัญญาณคลื่นแสงเลเซอร์ ก็จะถูกส่งออกไปจากภาคตัวส่ง ไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการจะทำการวัดระยะทาง และ เมื่อลำแสงเลเซอร์จากภาคตัวส่งไปกระทบกับเป้าหมาย สัญญาณคลื่นแสงที่สะท้อนกลับมาจะผ่านชุดกล้องส่องทางไกลซึ่งประกอบไปด้วย ชุดกระจกเว้า และเลนส์นูน เพื่อให้สามารถดีเทค (Detect) สัญญาณคลื่นแสงได้ง่ายขึ้น สัญญาณแสงจะถูก ดีเทค โดยภาคตัวรับ (Receiver) โดยอาศัยโฟโตไดโอด เป็นอุปกรณ์หลักในการดีเทคสัญญาณแสงเลเซอร์

ภาครับก็จะทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณความเข้มของแสงเลเซอร์ที่ดีเทคเข้ามา ให้กลายเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยอาศัยวงจรทรานส์อิมพีแดนซ์ (Transimpedance) ที่อยู่ในภาคเครื่องรับเป็นตัวเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าที่ได้จากโฟโตไดโอดให้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่ 1 เมกะเฮิร์ตซ์ จะถูกขยายขึ้นให้มีขนาดเพิ่มขึ้นพอเหมาะสำหรับใช้เป็นอินพุทในภาคต่อไป

สัญญาณที่ถูกขยายแล้วนี้ จะมีลักษณะสัญญาณคล้ายคลึงกับสัญญาณที่ถูกผลิตจากภาคออสซิลเลเตอร์ 1 คือมีความถี่เดียวกัน แต่เฟสของสัญญาณเกิดการล่าช้า สัญญาณทั้งสองจะผ่านขบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ที่เหมือนกัน ก่อนที่จะถูกเปรียบเทียบเฟสด้วยวงจรมอดูเลตคอมพาราเตอร์ (Phase Comparator) คือ

สัญญาณสี่เหลี่ยมทั้งสองจะถูกฟิลเตอร์ด้วยวงจรมอดูเลตแบนด์พาสฟิลเตอร์ (Bandpass Filter) ที่มีความถี่กลาง 1 เมกะเฮิร์ตซ์ มีผลทำให้ความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่ประกอบอยู่ในสัญญาณสี่เหลี่ยมถูกลดทอนลงเป็นอย่างมาก และจะเหลือเพียงความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency) เท่านั้น สัญญาณที่ผ่านวงจรมอดูเลตแบนด์พาสฟิลเตอร์นี้ จึงเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (Sinewave Signal) ความถี่ 1 เมกะเฮิร์ตซ์ จากนั้นสัญญาณทั้งสองจะถูกมอดูเลตเข้ากับสัญญาณที่ผลิต โดยออสซิลเลเตอร์ 2 (OSC.2) ที่ผ่านวงจรมอดูเลตแบนด์พาสฟิลเตอร์ 1 เมกะเฮิร์ตซ์แล้ว (มอดูเลตกับสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 0.999 เมกะเฮิร์ตซ์) ทำให้ได้สัญญาณเอาท์พุททั้งหมด 4 ความถี่ คือ 0.999 เมกะเฮิร์ตซ์ , 1 เมกะเฮิร์ตซ์ , 1.999 เมกะเฮิร์ตซ์ และ 125 เฮิร์ตซ์ ในลักษณะผลรวมของสัญญาณทั้ง 4 ความถี่ สัญญาณที่ได้นี้จะถูกกรองอีกทีด้วยวงจรมอดูเลตแบนด์พาสฟิลเตอร์ที่มีความถี่กลางอยู่ที่ประมาณ 125 เฮิร์ตซ์ ซึ่งทำให้ 3 ความถี่ที่เหลือถูกลดทอนหมด เหลือเพียงสัญญาณรูปคลื่นไซน์ความถี่ประมาณ

125 เฮิร์ตซ์ หลังจากนั้นสัญญาณคลื่นรูปซายน์ 125 เฮิร์ตซ์ จะถูกขยายด้วยวงจรถยายอนอินเวอร์ตึง โดยมีการปรับอัตราขยายให้มีขนาดสูงพอเหมาะที่จะสามารถเปลี่ยนเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

สัญญาณรูปคลื่นซายน์ 125 เฮิร์ตซ์ ทั้งสองหลังจากถูกขยายแล้ว สัญญาณหนึ่งจะต้องผ่าน วงจรเฟสชิฟเตอร์ (Phase Shifter) เพื่อเลื่อนสัญญาณให้มีเฟสเดียวกันที่ระยะทาง 0 เมตร หรือเป็นการปรับแต่งชดเชยค่าหน่วงเวลา (Delay time) ในตัวอุปกรณ์ทั้งหมด หลังจากนั้นสัญญาณทั้งสอง จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมโดยวงจรถวายโรครอสดีเทคเตอร์ (Zero Cross Detector) ที่ใช้ออปแอมป์คอมพาราเตอร์ (Comparator Op-amp) ความเร็วสูงเป็นคิ้ว เปรียบเทียบขนาดของสัญญาณซายน์กับแรงดันอ้างอิง 0 โวลต์ สัญญาณที่ได้หลังจากภาคชิโรครอสดีเทคเตอร์ จะเป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมความถี่ 125 เฮิร์ตซ์ ที่มีขนาด 0-3.3 โวลต์ ซึ่งมีขนาดพอเหมาะสำหรับเป็นอินพุทให้กับคิจิตอลลอจิกเกต โดยคิจิตอลลอจิกเกตนี้จะเป็นชุดเฟสคอมพาราเตอร์ในเครื่องวัด ซึ่งอาศัยแอนด์เกต (AND gate) และ นอทเกต (NOT gate) โดยที่ $A \cdot \bar{B}$ จะเป็นสมการลอจิกของภาคเฟสคอมพาราเตอร์ นี้ สัญญาณที่ได้จะถูกแอนด์กับสัญญาณคล็อกความถี่สูง 20 เมกะเฮิร์ตซ์

ภาคนับ (16 bits Counter) จะทำการนับสัญญาณคล็อกเฉพาะที่อยู่ในช่วง $A \cdot \bar{B}$ เท่านั้น ซึ่งจำนวนคล็อกที่นับได้ จะแปรผันตรงกับขนาดของมุมต่างเฟส และจำนวนคล็อกนี้เองที่เป็นตัวบ่งบอระยะเวลาหรือระยะทางที่แสงเคลื่อนที่ไปและกลับ โดยภาคนับนี้จะประกอบไปด้วย ชิงโครนัสเคาน์เตอร์ ขนาด 4 บิต จำนวน 4 ตัว เบอร์ 74ALS163 เป็นตัวนับคล็อก และมีดีฟลิปฟลอป (D-Flipflop) ทำหน้าที่เป็นแรม (RAM) ชั่วคราวให้กับภาคนับ จากนั้นMS-51 จะทำการดึงข้อมูล (Data) จำนวนคล็อกเข้าไปเก็บไว้ในหน่วยความจำภายในจำนวน 17 ข้อมูล (1 ข้อมูลมี 16 บิต) เพื่อใช้ในการคำนวณ โดยการนำเฉพาะ 16 ข้อมูลหลังมาหาค่าเฉลี่ย และเปลี่ยนค่าเฉลี่ยที่เป็นเลขไบนารี (Binary) ให้เป็นเลขไบนารี โคดเดซิมาล (Binary Code Decimal)

ภาคแสดงผล (Display) จะประกอบไปด้วย ไอซีขับตัวแสดงผล จำนวน 5 ตัว ซึ่งทำการเข้ารหัส (Encoder) เลขไบนารี โคดเดซิมาลให้เป็นสัญญาณขับเซเวน-เซกเมนต์ (Seven-Segment) 5 ตัว สัญญาณที่คำนวณได้จะถูกแสดงผลเป็นระยะทางที่วัดได้ที่เซเวน-เซกเมนต์นี้เอง

เทคนิคการมอดูเลตแบบเฮทเทอร์โรไดอัน และการคำนวณหาระยะทาง

การมอดูเลตแบบเฮทเทอร์โรไดอัน มีประโยชน์มากในเครื่องวัดระยะทางนี้ เนื่องจากจะทำให้สามารถวัดขนาดของมุมต่างเฟสได้ง่ายยิ่งขึ้น ซึ่งการมอดูเลตแบบนี้ หากเขียนในเชิงคณิตศาสตร์ก็คือ การนำสัญญาณ 2 สัญญาณมาทำการคูณกัน เขียนได้ดังนี้

$$\text{สมมติว่าสัญญาณแรกเป็น} \quad S_1 = A_1 \sin(\omega_1 t - \phi_1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสัญญาณที่สองเป็น $S_2 = A_2 \sin(\omega_2 t - \phi_2)$

$$S_1 \cdot S_2 = A_1 A_2 [\sin(\omega_1 t - \phi_1) \sin(\omega_2 t - \phi_2)]$$

ให้ $S_1 \cdot S_2 = S$ และ $A_1 \cdot A_2 = A$

$$\therefore S = \frac{A}{2} [\cos\{(\omega_1 - \omega_2)t - (\phi_1 - \phi_2)\} + \cos\{(\omega_1 + \omega_2)t - (\phi_1 + \phi_2)\}]$$

และการเลือกใช้เราจะเลือกใช้เพียงซิงเกิลไซด์แบนด์ (Single Side Band) ดังนั้นเราจะต้องกรองความถี่เฉพาะส่วนที่ต้องการคั่นเดียวเท่านั้น เช่น $\omega_1 - \omega_2$ หรือ $\omega_1 + \omega_2$ เป็นต้น

หากกรองใช้เพียงด้านความถี่ $\omega_1 - \omega_2$ ก็จะได้

$$S = \frac{A}{2} [\cos\{(\omega_1 - \omega_2)t - (\phi_1 - \phi_2)\}]$$

และ หากกรองใช้ทางด้านความถี่ $\omega_1 + \omega_2$ ก็จะได้

$$S = \frac{A}{2} [\cos\{(\omega_1 + \omega_2)t - (\phi_1 + \phi_2)\}]$$

ที่นี้ลองมาพิจารณากับเครื่องวัดระยะทางใน โครงการนี้บ้างดังนี้

สัญญาณที่ผลิต โดยออสซิลเลเตอร์ 1 และถูกแบนด์พาสฟิลเตอร์แล้วสมมติเป็น

$$S_{01} = A_{01} \sin(\omega_{01} t - \phi_{01})$$

สัญญาณที่ผลิต โดยออสซิลเลเตอร์ 2 และถูกแบนด์พาสฟิลเตอร์แล้วสมมติเป็น

$$S_{02} = A_{02} \sin(\omega_{02} t - \phi_{02})$$

สัญญาณที่รับได้โดยภาครับ เป็นสัญญาณที่ถูกส่งมาจากออสซิลเลเตอร์ แต่มีเฟสล่าหลัง φ อันเนื่องมาจากแสงเคลื่อนที่ไปและกลับ จะได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S_{0R} = A_{0R} \sin(\omega_{0R} t - \phi_{0R} - \varphi)$$

จากบล็อกไดอะแกรมข้างต้นนั้น S_{01} จะถูกมอดูเลตกับ S_{02} และ S_{0R} จะถูกมอดูเลตกับ S_{02} จากนั้น ทั้งสองสัญญาณก็ถูกกรองเอาเฉพาะความถี่ด้านต่ำ

$$\therefore S_{01} \cdot S_{02} = \frac{A_{01} A_{02}}{2} [\cos(\omega_{01} - \omega_{02})t - (\phi_1 - \phi_2)]$$

$$\therefore S_{0R} \cdot S_{02} = \frac{A_{0R} A_{02}}{2} [\cos(\omega_{01} - \omega_{02})t - (\phi_1 - \phi_2 + \varphi)]$$

และ

$$= \frac{A_{0R} A_{02}}{2} [\cos(\omega_{01} - \omega_{02})t - (\phi_1 - \phi_2) - \varphi]$$

จัดรูปแบบใหม่โดยให้

$$S_{01} \cdot S_{02} = S_A$$

$$S_{0R} \cdot S_{02} = S_B$$

$$\frac{A_{01} \cdot A_{02}}{2} = K_1$$

$$\frac{A_{0R} \cdot A_{02}}{2} = K_2$$

$$\omega_{01} - \omega_{02} = \omega_m$$

$$\phi_1 - \phi_2 = \phi_m$$

จะได้ว่า

$$S_A = K_1 [\cos(\omega_m t - \phi_m)]$$

$$S_B = K_2 [\cos(\omega_m t - \phi_m - \varphi)]$$

สังเกตได้ว่ารูปแบบของสมการคลื่นระหว่าง S_{01} กับ S_A และ S_{0R} กับ S_B จะคล้ายกัน แต่ต่าง

กันตรงที่ $\omega_m < \omega_{01}$ และ S_B จะมีมุมต่างเฟส φ เช่นเดียวกับ S_{0R}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

∴ สรุปได้ว่าถ้าหากนำ S_{01} มาเปรียบเทียบกับ S_{OR} หรือ S_A มาเปรียบเทียบกับ S_B ล้วนแต่ได้มุมต่างเฟสเป็น ϕ ทั้งสิ้น เพียงแต่ ถ้าหากพิจารณาในด้านเวลาแล้ว ϕ ที่ความถี่สูง ๆ จะมีเวลาที่น้อยกว่า ϕ ที่มีความถี่ต่ำ ๆ มากทำให้ตรวจวัดได้ยาก การใช้มอดูเลตแบบ เฮเทอร์โรไดน์ นี้จึงเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าวนั่นเอง

วิธีการคำนวณหาระยะทางจริงในเครื่องวัดนี้

จากสมการการหาระยะทางที่ได้พิสูจน์มาแล้วข้างต้นคือ

$$L = \frac{\phi \times c}{720f_{01}}$$

ตั้งแต่ว่าค่าของ C และ f ด้านข้างเป็นค่าคงที่ที่ทราบค่าแล้ว คือ $C = 2.98 \times 10^8$ เมตรต่อวินาที และ $f = 1 \times 10^6$ เฮิร์ตซ์ ดังนั้นสิ่งที่ยังไม่ทราบค่าในขณะนี้ก็คือ ค่าของมุม ϕ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดตามระยะทางที่วัด

วิธีการหาค่ามุม ϕ นั้น เมื่อพิจารณาจากการพิสูจน์ในหัวข้อเทคนิคมอดูเลตแบบเฮเทอร์โรไดน์แล้วพบว่า มุม ϕ ที่ความถี่ต่ำๆ หลังจากการมอดูเลตจะหาค่าได้ง่ายกว่าที่ความถี่สูงๆ ดังนั้น เราจะทำการหาค่ามุม ϕ นี้ในความถี่ f_m โดยวิธีบัญญัติใครยงศ์ได้ดังนี้

คลื่นเคลื่อนที่ไป 360 องศา ใช้เวลา $\frac{1}{f_m}$ วินาที

และถ้าคลื่นเคลื่อนที่ไป ϕ องศา ใช้เวลา $\frac{\phi}{360 \times f_m}$ วินาที

ตามบล็อควิเคราะห์เราได้ทำการ แอนด์คล็อกความถี่สูง f_{c1} เฮิร์ตซ์ เข้ากับลูกคลื่นมุมต่างเฟสด้วย

ซึ่ง 1 คล็อก จะใช้เวลาเท่ากับ $\frac{1}{f_{c1}}$ วินาที

หรือ เวลา $\frac{1}{f_{c1}}$ วินาที จะมีจำนวนคล็อก 1 ลูก

เวลา $\frac{\phi}{360f_m}$ วินาที จะมีจำนวนคล็อก n ลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore n = \frac{\varphi \times f_{c1}}{360 f_m}$$

$$\varphi = \frac{360 n \times f_m}{f_{c1}}$$

แทนค่าในสมการ

$$L = \frac{n \times c \times f_m}{2 \times f_{c1} \times f_{01}}$$

f_m คือ ผลต่างความถี่ระหว่างออสซิลเลเตอร์ 1 กับออสซิลเลเตอร์ 2

f_{c1} คือความถี่ค็อกออสซิลเลเตอร์ 3

n คือจำนวนค็อกที่นับได้ (ลูก)

c คือความเร็วแสง 2.98×10^8 เมตรต่อวินาที

f_{01} คือความถี่ออสซิลเลเตอร์ 1 ที่มอดูเลตกับแสงเลเซอร์ (1 เมกะเฮิรตซ์)

เมื่อลองแทนค่าที่ใช้จริงในวงจรลงในสมการ จะได้

$$L = \frac{n \times 3 \times 10^8 \times 125}{2 \times 20 \times 10^6 \times 1 \times 10^6}$$

$$L = 9.375 \times 10^{-4} n \quad \text{เมตร}$$

$$\therefore L \approx n \quad \text{mm.}$$

หรือค็อก 1 ลูกจะวัดระยะทางได้ประมาณ 1 มิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่าเครื่องวัดระยะทางนี้มีความละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

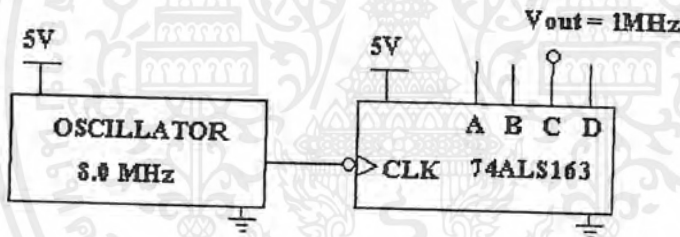
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการการทำงานและการออกแบบ

การออกแบบวงจรจะทำได้โดยการออกแบบเป็นส่วน ๆ ตามบล็อกไดอะแกรมในบทที่ 2 จากนั้นก็นำวงจรส่วนต่าง ๆ เหล่านั้นมาเชื่อมต่อกัน พร้อมทั้งปรับแต่งวงจรให้เข้ากันได้กับวงจรก่อน และวงจรถัดไปของทั้งระบบ อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงขีดจำกัดของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บ้างตัวในด้านความถี่ใช้งาน และความสามารถในการหาซื้อได้ในท้องตลาดอีกด้วย เพราะนั่นจะเป็นตัวบ่งบอกว่าเครื่องวัฏระยะทางจะใช้เวลาเท่าไร คำนึง

3.1 วงจรออสซิลเลเตอร์ 1 (OSC1)



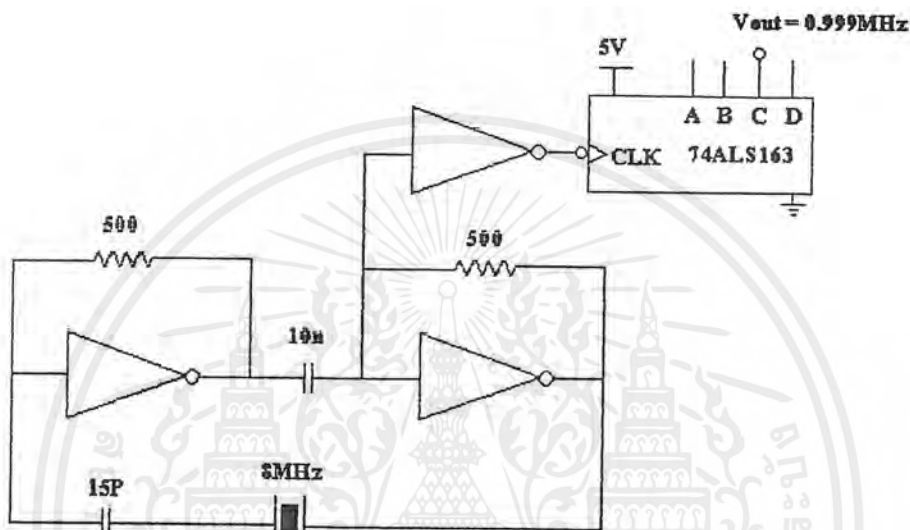
รูปที่ 3.1 วงจรออสซิลเลเตอร์ 1

วงจรออสซิลเลเตอร์ 1 เป็นวงจรที่ผลิตสัญญาณเวลาภายในเครื่องวัด ซึ่งความถี่ของวงจรออสซิลเลเตอร์ 1 จะต้องคำนึงถึงความเร็วที่ตัวส่งส่ง ได้ ก็คือความเร็วของเลเซอร์ไดโอด ในที่นี้เมื่อเปรียบเทียบความเร็วของเลเซอร์ไดโอดและความเร็วที่ตัวรับจะรับได้ก็คือความเร็วของโฟโอดีไดโอด ในที่นี้เมื่อเปรียบเทียบความเร็วของเลเซอร์ไดโอดกับโฟโอดีไดโอดที่หาซื้อได้แล้วความเร็วของโฟโอดีไดโอดจะน้อยกว่าเลเซอร์ไดโอด ฉะนั้นเราจึงต้องใช้ความเร็วของโฟโอดีไดโอดเป็นข้อจำกัดในการออกแบบ และจากการทดลองปรับเปลี่ยนความถี่ที่มอดูเลตกับแสงเลเซอร์ หลาย ๆ ค่าพบว่า ความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์ เป็นความถี่สูงสุดที่โฟโอดีไดโอดรับได้ และมีคุณภาพที่ดี ดังนั้นจึงเลือกความถี่เวลาของเครื่องระยะทางนี้ไว้ที่ 1 เมกะเฮิรตซ์ ถ้าสืบค้นต่อไปก็คือพิจารณาเสถียรภาพทางความถี่ของออสซิลเลเตอร์ 1 จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงความถี่น้อยที่สุด ด้วยเหตุผลที่ได้กล่าวมาทำให้เลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออสซิลเลเตอร์ถ้าเรีจรูป ที่ผลิตถูกคลื่นสี่เหลี่ยม ความถี่ 8 เมกะเฮิร์ตซ์ แล้วจึงนำไปเป็นสัญญาณ คล็อกให้แก่ไอซีนับเบอร์ 74ALS163 เพื่อทำการหารความถี่ 8 เมกะเฮิร์ตซ์ ลง 8 เท่า ทำให้ได้ความถี่ ฐานเวลา 1 เมกะเฮิร์ตซ์ อนึ่งการใช้ 74ALS163 หารความถี่ถึง 8 เท่า นอกจากจะได้ความถี่ที่ต้องการ แล้ว ยังเป็นการเพิ่มเสถียรภาพทางความถี่ให้กับวงจรออสซิลเลเตอร์อีกด้วย

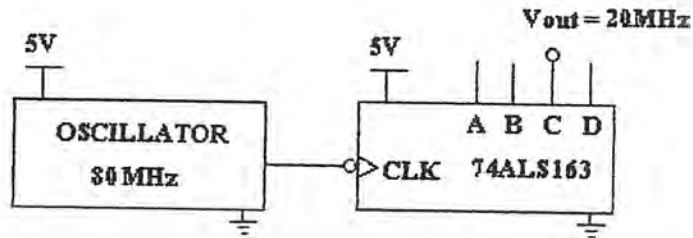
3.2 วงจรออสซิลเลเตอร์ 2 (OSC.2)



รูปที่ 3.2 วงจรออสซิลเลเตอร์ 2

วงจรออสซิลเลเตอร์ 2 เป็นวงจรที่ผลิตสัญญาณคลื่น เพื่อนำไปมอดูเลตกับสัญญาณ ที่ถูกผลิตโดยวงจรออสซิลเลเตอร์ 1 เพื่อให้ได้ความถี่ f_m ดังนั้นเสถียรภาพทางความถี่ก็ยังคงเป็นสิ่งที่ ต้องคำนึงถึงเช่นเดียวกับวงจรออสซิลเลเตอร์ 1 แต่มีอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมก็คือ ควรจะเป็นวงจรที่สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ที่เสถียรภาพได้ เพื่อให้ความถี่ของออสซิลเลเตอร์ 2 ใกล้เคียงกับออสซิลเลเตอร์ 1 มากที่สุด อันจะทำให้ความถี่ f_m มีค่าน้อยที่สุด หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็น ประโยชน์ในการหมุนต่างเฟสได้ง่ายขึ้น วงจรจึงประกอบไปด้วยคริสตอลความถี่ 8 เมกะเฮิร์ตซ์ เป็นต้นกำเนิดสัญญาณให้กับน็อดเกตที่ทำหน้าที่ขยาย โดยมีตัวต้านทาน 500 โอห์ม และตัวเก็บ ประจุ 10 นาโนฟารัด เป็นตัวหน่วงเวลา สัญญาณที่ได้จะถูกปรับแต่งได้ โดยการเพิ่มตัวเก็บประจุค่า น้อย ๆ อนุกรมกับคริสตอล 8 เมกะเฮิร์ตซ์ ในวงจรนี้ได้เลือกค่าตัวเก็บประจุนี้นเท่ากับ 15 พิโคฟารัด จากการทดลอง จากนั้นนำสัญญาณนี้ไปหาร 8 เท่าด้วยไอซี 74ALS163 เช่นเดียวกับวงจรออสซิลเล เตอร์ 1 ซึ่งจะทำให้ได้ความถี่หลังจากการมอดูเลต (f_m) = 125 เฮิร์ตซ์

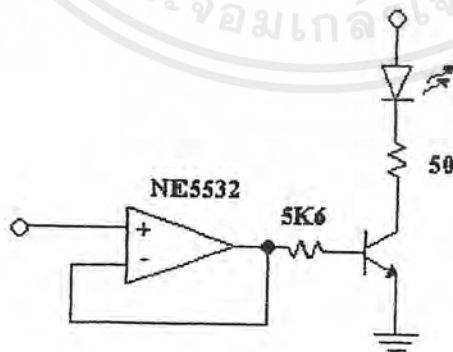
3.3 วงจรออสซิลเลเตอร์ 3 (OSC.3)



รูปที่ 3.3 วงจรออสซิลเลเตอร์ 3

วงจรรออสซิลเลเตอร์ 3 เป็นวงจรผลิตสัญญาณคล็อกความถี่สูง เพื่อนำไปแอนด์กับสัญญาณมูมต่างเฟสและเมื่อนับสัญญาณคล็อกที่แอนด์แล้วนี้ ก็จะทำให้ทราบถึงค่าของมูมเฟส ดังนั้นสัญญาณคล็อกนี้ควรมีความถี่ที่คงที่แน่นอน หรือมีเสถียรภาพทางความถี่ดีเช่นเดียวกับวงจรรออสซิลเลเตอร์ 1 และ 2 และจะต้องมีความถี่ที่แอนด์เกดยังสามารถทำการแอนด์ได้อย่างถูกต้อง จากการทดลองพบว่าความถี่ 20 เมกะเฮิร์ตซ์ คือความถี่ที่เหมาะสม ดังนั้นจึงนำออสซิลเลเตอร์สำเร็จรูป 80 เมกะเฮิร์ตซ์ มาทำการหาร 4 เท่าด้วยไอซี 74ALS5163 ทำให้ได้สัญญาณคล็อกความถี่ 20 เมกะเฮิร์ตซ์ตามต้องการ

3.4 วงจรภาคส่ง (Transmitter)

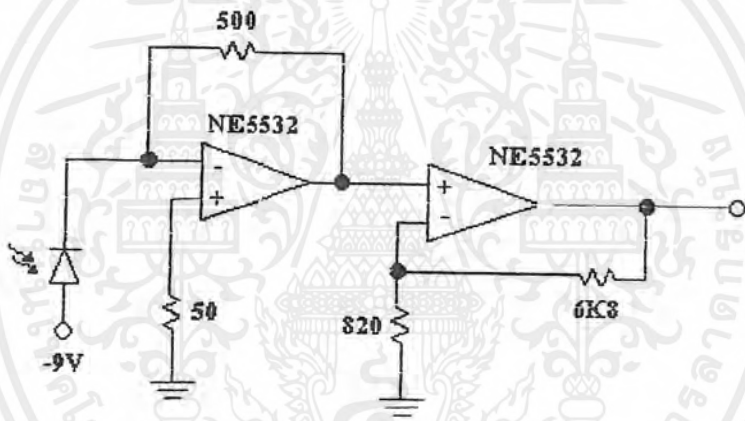


รูปที่ 3.4 วงจรภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรภาคส่งเป็นวงจรที่ทำการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงเลเซอร์ ในลักษณะการมอดูเลตทางขนาด (Amplitude Modulate) ของสัญญาณไฟฟ้าที่กำเนิดจากออสซิลเลเตอร์ 1 ความถี่ 1 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นลูกคลื่นสี่เหลี่ยม เข้ากับแสงเลเซอร์ โดยใช้หลักการการควบคุมกระแสที่ไหลผ่านเลเซอร์ไดโอดให้มีปริมาณเพิ่มขึ้นหรือลดลง วงจรที่ใช้จะใช้ออปแอมป์เบอร์ NE5532 1 ตัวเป็น บัฟเฟอร์ (Buffer) ระหว่าง วงจรออสซิลเลเตอร์ 1 กับทรานซิสเตอร์ความถี่สูงเบอร์ 2N3866 ที่ทำหน้าที่ขับกระแสสูงลูกคลื่นสี่เหลี่ยมความถี่ 1 เมกะเฮิร์ตซ์ 100 มิลลิแอมป์ พิก-พิก โดยมีตัวต้านทาน 50 โอห์มเป็นตัวจำกัดกระแสที่ขับเลเซอร์ไดโอด และตัวต้านทาน 5600โอห์มเป็นตัวจำกัดกระแสเบสของทรานซิสเตอร์

3.5วงจรภาครับ (Receiver)



รูปที่ 3.5 วงจรภาครับ

วงจรภาครับเป็นวงจรที่ใช้เปลี่ยนคลื่นแสงเลเซอร์ให้กลายเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าอีกครั้ง โดยมีโฟโต้ไดโอดเป็นอุปกรณ์หลักในการรับแสง กระแสโฟโต้ไดโอดที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนเป็นแรงดัน ด้วยวงจรออปแอมป์ในด้านซ้ายที่มีทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน (Transfer Function)

$$\frac{V_0}{i_{Photo}} \approx \frac{-R_f}{1 + \frac{SR_f C_T}{G}}$$

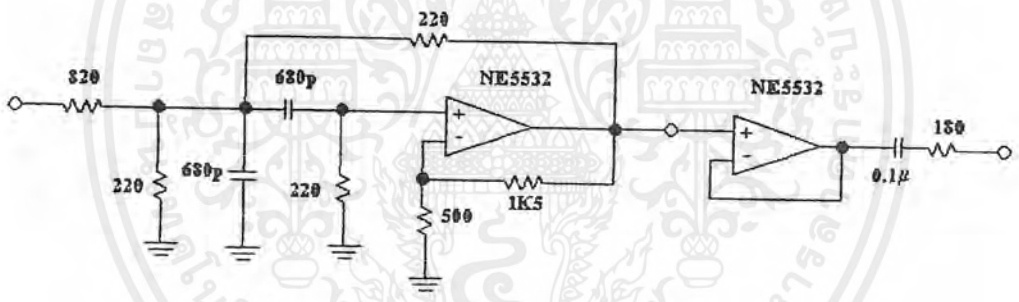
ที่มีแบนด์วิดท์ (Bandwidth) เท่ากับ $\frac{G}{2\pi R_f C_T}$ เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นแบนด์วิดท์ที่สูงมาก

จากนั้นออปแอมป์ในด้านขวาจะทำการขยายแรงดันที่ได้จากวงจร เครื่องรับทรานส์อิมพีแดนซ์ ให้มีขนาดพอเหมาะ ด้วยวงจรขยายอนอินเวอร์ตึงที่มีอัตราขยาย 9.3 เท่า

3.6 วงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ (Bandpass Filter)

คามทฤษฎีของวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์นั้น แบนด์พาสฟิลเตอร์จะสามารถสร้างได้ 2 แบบ ตามการป้อนกลับ คือ แบนด์พาสฟิลเตอร์ ป้อนกลับเป็นแบบบวก และแบนด์พาสฟิลเตอร์ แบบป้อนกลับเป็นแบบลบ

ในเครื่องวัดระยะทางนี้เราได้ใช้ทั้ง 2 แบบ โดยป้อนกลับแบบบวกจะถูกใช้กรองความถี่สัญญาณลูกคลื่นสี่เหลี่ยม 1 เมกะเฮิรตซ์ ที่กำเนิดจากวงจรออสซิลเลเตอร์ 1 และออสซิลเลเตอร์ 2 ให้เป็นสัญญาณซายน์ และป้อนกลับแบบลบ (รูปที่ 3.7) จะใช้กรองความถี่และสัญญาณรบกวนจากสัญญาณที่ได้จากภาครับ ซึ่งมีความถี่กลางอยู่ที่ 1เมกะเฮิรตซ์ ส่วนวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ 125 เฮิรตซ์ นั้นก็จะใช้การป้อนกลับแบบลบเช่นกัน ดังนี้



รูปที่ 3.6 1เมกะเฮิรตซ์ Positive Feedback Filter

จากวงจรข้างบนเป็นวงจร Sallen and Key bandpass filter ที่มีทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันเป็น

$$\frac{V_0}{V_{in}} = \frac{k_s / R_1 C_1}{S^2 + S \left(\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_3 C_2} + \frac{1}{R_3 C_1} + \frac{1}{R_2 C_1} + \frac{1-k}{R_2 C_1} \right) + \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 R_3 C_1 C_2}}$$

ซึ่งทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันทั่วไปของวงจรกรองความถี่แบนด์พาสอันดับ2 เป็น

$$\frac{V_0}{V_{in}} = K \frac{s}{s^2 + \frac{\omega_p}{Q_p} s + \omega_p^2}$$

และเพื่อการหาค่าตัวต้านทานและตัวเก็บประจุต่างๆในวงจรจะต้องสมมติให้

$$C_1 = C_2 = 1 \text{ F และ } R_1 = R_2 = R_3 = R$$

ทำให้ได้ค่า

$$R = R_1 = R_2 = R_3 = \frac{\sqrt{2}}{\omega_p}$$

$$k = 1 + \frac{r_2}{r_1} = 4 - \frac{\sqrt{2}}{Q_p}$$

$$K = \frac{k}{R_1 C_1} = \omega_p \left(2\sqrt{2} - \frac{1}{Q_p} \right)$$

โดยวงจรที่ใช้งานนี้ถูกออกแบบให้ความถี่กลางอยู่ที่ 1 เมกะเฮิร์ตซ์ และมีค่า $Q = 1000$

จะได้

$$R = R_1 = R_2 = R_3 = \frac{\sqrt{2}}{2\pi \times 1 \times 10^6} = 2.25 \times 10^{-7} \Omega$$

และ

$$C = C_1 = C_2 = 1 \text{ F, } \frac{r_2}{r_1} \approx 3$$

ทำการอิมพีแดนซ์สเตลถึงด้วย 10^9

จะได้

$$R = R_1 = R_2 = R_3 = 225 \Omega$$

และ

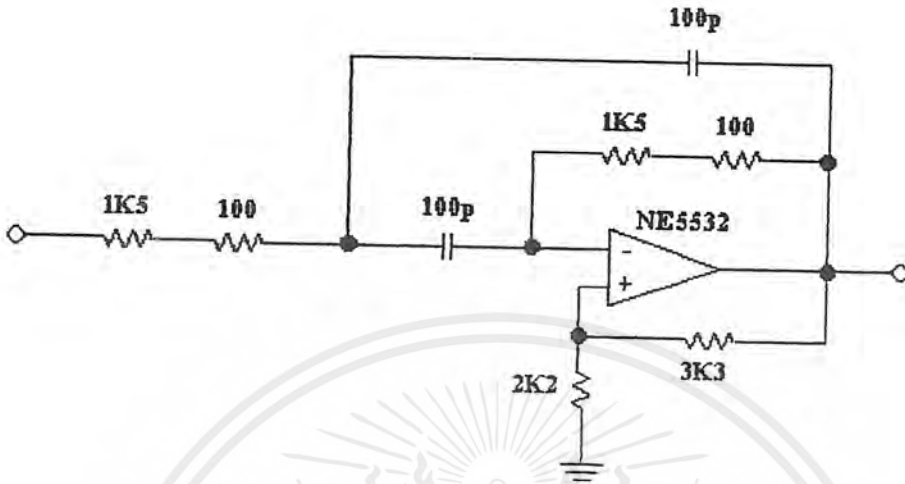
$$C_1 = C_2 = 1 \text{ nF}$$

และถ้าเลือก

$$r_1 = 500 \Omega$$

$$\therefore r_2 = 1500 \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 1เมกะเฮิรตซ์ Negative Feedback Filter

จากวงจรข้างบนเป็นวงจร Delvianis bandpass filter ที่มีสมการทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน เป็น

$$\frac{V_0}{V_{in}} = \frac{-s/R_1C_1(1-1/k)}{s^2 + s\left(\frac{1}{R_2C_1} + \frac{1}{R_2C_2} - \frac{1}{(K-1)R_1C_2}\right) + \frac{1}{R_1R_2C_1C_2}}$$

ซึ่งสมการทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันทั่วไปของวงจรกรองความถี่แบนด์พาสอันดับที่ 2

คือ

$$\frac{V_0}{V_{in}} = K \frac{s}{s^2 + \frac{\omega_p}{Q_p}s + \omega_p^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเพื่อการหาค่าตัวเก็บประจุและตัวต้านทานต่าง ๆ จะต้องสมมติให้

$$C_1 = C_2 = 1 \text{ F และ } \frac{r_2}{r_1} = \beta$$

$$\text{ทำให้ได้ } R_1 = \frac{1}{\sqrt{\beta}\omega_p} \text{ และ } R_2 = \frac{\sqrt{\beta}}{\omega_p}$$

$$k = \frac{Q_p(\beta+2) - \sqrt{\beta}}{2Q_p - \sqrt{\beta}}$$

โดยที่วงจรใช้งานวงจรแรกถูกออกแบบให้ความถี่กลางอยู่ที่ 1 เมกะเฮิรตซ์ มีค่า $Q=1000$

$$\text{และ } \frac{R_2}{R_1} = 1 \text{ จะได้}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{1}{2\pi \times 1 \times 10^6} = 1.6 \times 10^{-7} \Omega$$

และ

$$C_1 = C_2 = 1 \text{ F, } k = \frac{1000(1+2) - 1}{(2 \times 1000) - 1} \approx \frac{3}{2}$$

$$\text{ทำให้ } \frac{r_2}{r_1} = \frac{1}{2}$$

ทำการอิมพีแดนซ์สมมูลถึงด้วย 10^{10}

$$\text{ดังนั้น } R_1 = R_2 = 1600 \Omega$$

$$C_1 = C_2 = 100 \text{ pF}$$

ถ้าเลือก โดยที่วงจรใช้งานวงจรแรกถูกออกแบบให้ความถี่กลางอยู่ที่ 1 เมกะเฮิรตซ์ มีค่า

$$Q=1000 \text{ และ } \frac{R_2}{R_1} = 1$$

จะได้

$$R_1 = R_2 = \frac{1}{2\pi \times 1 \times 10^6} = 1.6 \times 10^{-7} \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ $C_1 = C_2 = 1 \text{ F}$, $k = \frac{1000(1+2)-1}{(2 \times 1000)-1} \approx \frac{3}{2}$

ทำให้ $\frac{r_2}{r_1} = \frac{1}{2}$

ทำการอิมพีแดนซ์สเกลถึงด้วย 10^{10}

ดังนั้น $R_1 = R_2 = 1600 \text{ } \Omega$

$C_1 = C_2 = 100 \text{ pF}$

ถ้าเลือก โดยที่วงจรใช้งานวงจรแรกถูกออกแบบให้ความถี่กลางอยู่ที่ 1 เมกะเฮิรตซ์ มีค่า

$Q=1000$ และ $\frac{R_2}{R_1} = 1$

จะได้

$$R_1 = R_2 = \frac{1}{2\pi \times 1 \times 10^6} = 1.6 \times 10^{-7} \text{ } \Omega$$

และ $C_1 = C_2 = 1 \text{ F}$, $k = \frac{1000(1+2)-1}{(2 \times 1000)-1} \approx \frac{3}{2}$

ทำให้ $\frac{r_2}{r_1} = \frac{1}{2}$

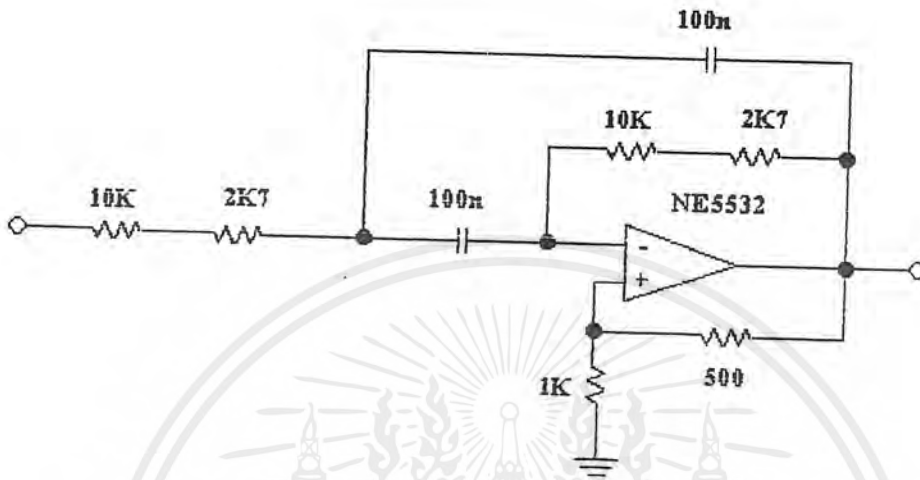
ทำการอิมพีแดนซ์สเกลถึงด้วย 10^{10}

ดังนั้น $R_1 = R_2 = 1600 \text{ } \Omega$

$C_1 = C_2 = 100 \text{ pF}$

ถ้าเลือก $r_1 = 500 \text{ } \Omega$

จะได้ $r_2 = 1000 \text{ } \Omega$



รูปที่ 3.8 125 เฮิรตซ์ Negative Feedback Filter

จากวงจรข้างบนก็เป็นวงจร Delviannis bandpass filter ที่มีความถี่กลางที่ 125 เฮิรตซ์ มีค่า Q เท่ากับ 1000 และกำหนด $\frac{R_2}{R_1} = 1$

จะได้
$$R_1 = R_2 = \frac{1}{2\pi \times 125} = 1.27 \times 10^{-3} \Omega$$

และ
$$C_1 = C_2 = 100 \text{ nF}$$

ซึ่งทำให้
$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{1}{2}$$

ทำอิมพีแดนซ์สเตจถึงด้วย 10^7

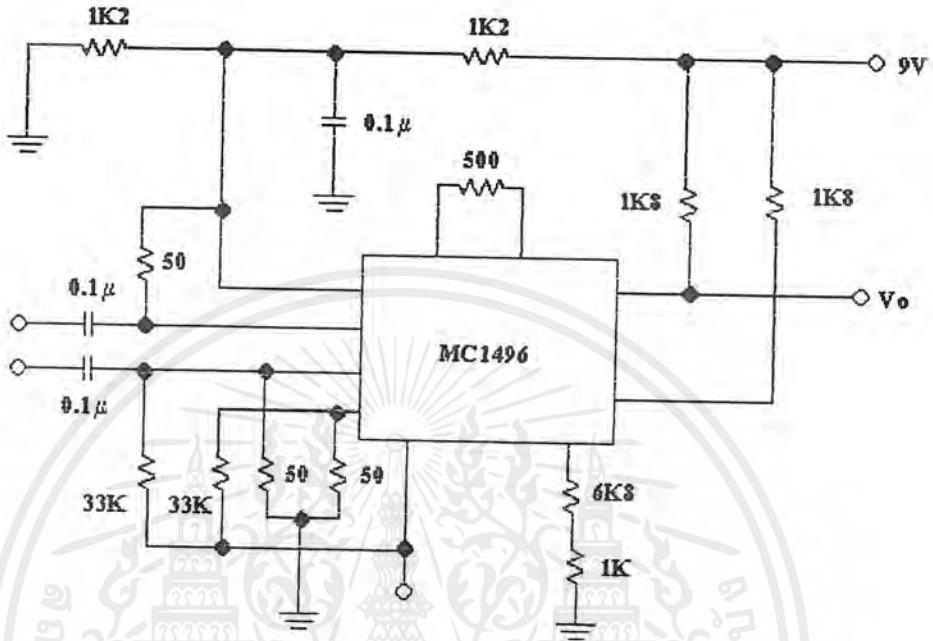
ดังนั้น
$$R_1 = R_2 = 12700 \Omega$$

และ
$$C_1 = C_2 = 100 \text{ nF}$$

และถ้าเลือก $r_1 = 500 \Omega$ จะได้ $r_2 = 1000 \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

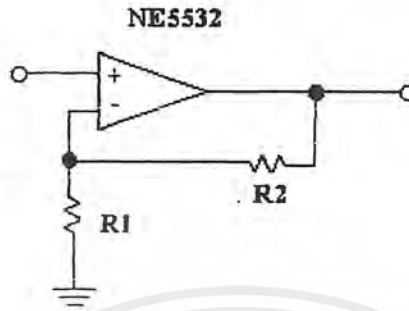
3.7 วงจรผสมสัญญาณ (Mixer)



รูปที่ 3.9 วงจรผสมสัญญาณ (MIXER)

วงจรผสมสัญญาณเป็นวงจรที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณความถี่สูง 1 เมกะเฮิรตซ์ ให้เป็นสัญญาณความถี่ต่ำ 123 เฮิรตซ์ โดยอาศัยหลักการเฮเทอโรไดนามิก ภายในเครื่องวัดระยะทางจะมีวงจรผสมสัญญาณอยู่ 2 ชุด ซึ่งใช้ไอซี เบอร์ MC1496 เป็นอุปกรณ์หลักในการคูณสัญญาณระหว่างวงจรออสซิลเลเตอร์ 1 กับออสซิลเลเตอร์ 2 และระหว่างวงจรภาครับ กับวงจรออสซิลเลเตอร์ 2 โดยมีตัวต้านทาน 500 โอห์ม เป็นตัวปรับอัตราขยายของวงจร และตัวต้านทาน 6800 โอห์ม อนุกรมกับ 1000 โอห์มทำหน้าที่ควบคุมกระแสคงที่ในตัวไอซีให้ได้ 1 มิลลิแอมแปร์ ส่วนตัวต้านทานที่เหลือจะเป็นตัวต้านทานที่ใช้ไบอัสตัวไอซีให้สามารถใช้งานได้

3.8 วงจรขยาย (Amplifier)



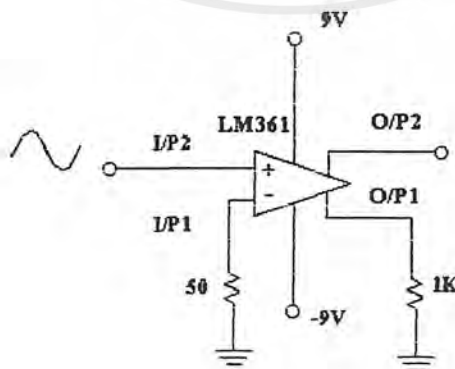
รูปที่ 3.10 วงจรขยาย

วงจขยายเป็นวงจรที่ใช้เพิ่มขนาดแรงดันสัญญาณ ให้มีขนาดที่เหมาะสมที่จะต่อเป็นอินพุทของวงจรถัดไป ซึ่งในเครื่องวัดนี้นิยมใช้ วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amp) ที่มีอัตราขยาย

$$\frac{V_0}{V_{in}} = 1 + \frac{r_2}{r_1}$$

โดยที่ค่า r_2 และ r_1 จะไม่เจาะจงว่าเป็นเท่าใด ขึ้นอยู่กับว่าวงจรส่วนนั้นต้องเพิ่มสัญญาณมากน้อยแค่ไหนก็นำค่าดังกล่าวไปคำนวณเพื่อหาค่า r_2 และ r_1

3.9 วงจรซีโรครอสซิงดีเทกเตอร์ (Zero Crossing Detector)

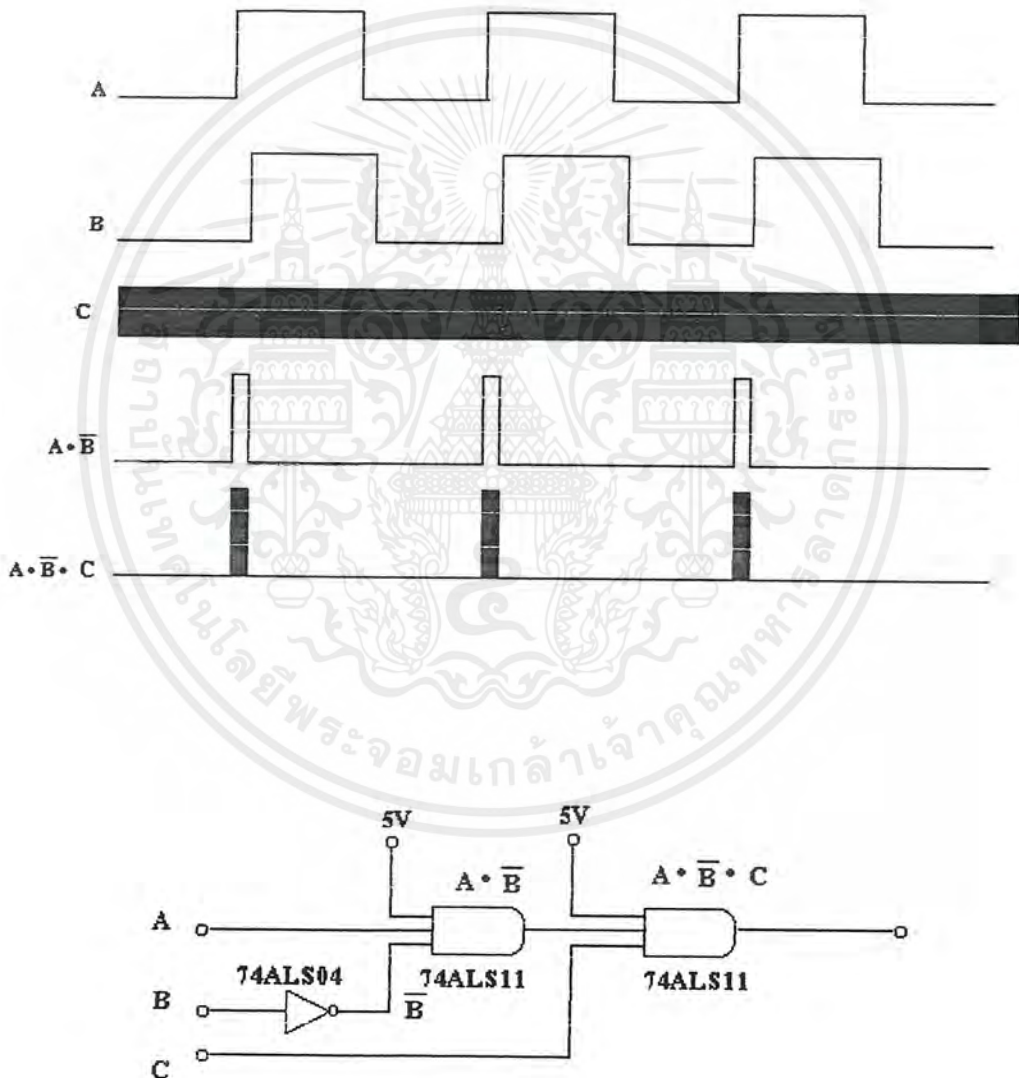


รูปที่ 3.11 วงจรซีโรครอสซิงดีเทกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรซีโรครอสซิงดิเทกเตอร์เป็นวงจรที่เปลี่ยนสัญญาณลูกคลื่นไซน์ความถี่ 125 เฮิรตซ์ ให้เป็นสัญญาณลูกคลื่นสี่เหลี่ยม ที่มีขนาดของสัญญาณ 3.3 โวลต์ เพื่อนำไปใช้ในการเปรียบเทียบเฟสด้วยลอจิกเกต ซึ่งวงจรนี้จะใช้ออปแอมป์เบอร์ LM361 ซึ่งเป็น High Speed Differential Comparators เป็นอุปกรณ์หลักในการเปรียบเทียบระดับของสัญญาณไซน์กับแรงดันอ้างอิง 0 โวลต์ คือถ้าสัญญาณอินพุตมีขนาดสูงกว่า 0 โวลต์ เอาท์พุท 2 จะมีระดับสัญญาณเป็น 3.3 โวลต์ แต่ตรงกันข้าม ถ้าสัญญาณอินพุท มีขนาดต่ำกว่า 0 โวลต์ เอาท์พุท 2 จะมีระดับสัญญาณเป็น 0 โวลต์

3.10 วงจรเฟสคอมพาราเตอร์ (Phase Comparator)

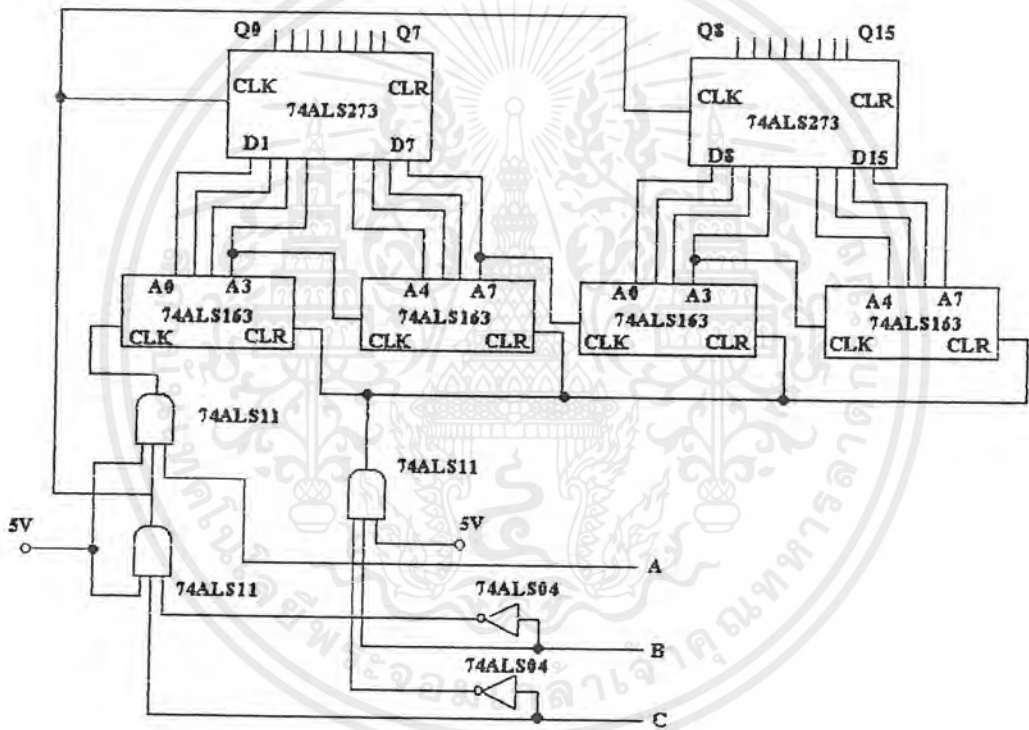


รูปที่ 3.12 วงจรเฟสคอมพาราเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเฟสคอมพาราเตอร์เป็นวงจรที่ใช้ตรวจจับเกิดเป็นอุปกรณ์เปรียบเทียบมุมต่างเฟส ของสัญญาณลูกคลื่นสี่เหลี่ยม 2 สัญญาณก็คือ A เป็นสัญญาณความถี่ 125 เฮิรตซ์ ที่ได้หลังจากการมอดูเลตระหว่างวงจรออสซิลเลเตอร์ 1 และวงจรออสซิลเลเตอร์ 2 กับ B เป็นสัญญาณความถี่เท่ากับ A แต่มีเฟสล่าหลังอยู่ ซึ่งเป็นสัญญาณหลังจากการมอดูเลตระหว่างวงจรภาครับกับวงจรออสซิลเลเตอร์ 2 มีสมการบูลีน คือ $A \cdot \bar{B}$ หลังจากนั้น สัญญาณมุมต่างเฟส $A \cdot \bar{B}$ จะถูกแอนด์เข้ากับสัญญาณ C ซึ่งเป็นสัญญาณคล็อกความถี่ 20 เมกะเฮิรตซ์ ทำให้ได้สัญญาณ A_3 ดังรูปก่อนถูกส่งไปนับจำนวนคล็อกในมุมต่างเฟสที่วงจรมับ 16 บิต

3.11 วงจรมับขนาด 16 บิต (16 bits counter)



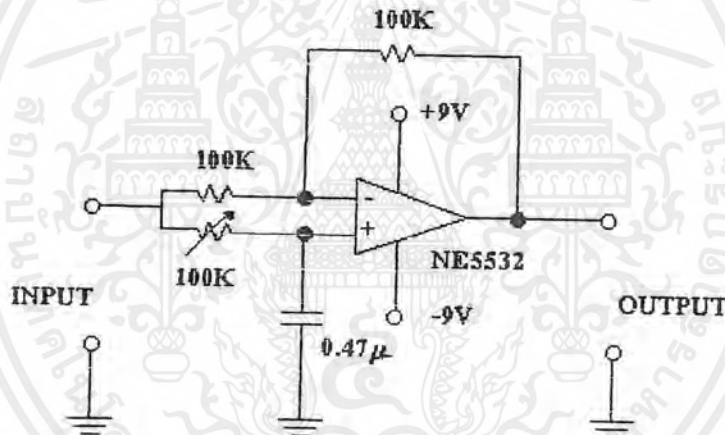
รูปที่ 3.13 วงจรมับขนาด 16 บิต

สัญญาณ $A \cdot \bar{B} \cdot C$ ที่ได้จากภาคเฟสคอมพาราเตอร์ จะถูกนำมาเป็นสัญญาณคล็อกให้กับไอซี Synchronous Binary Counter ขนาด 4 บิต เบอร์ 74ALS163 โดยที่บิต A_3 , A_7 และ A_{11} จะเป็นสัญญาณคล็อกให้กับไอซีนับ เบอร์ 74ALS163 ตัวถัดไป ซึ่งใช้ไอซีนับทั้งหมด 4 ตัว หรือเป็นวงจรมับขนาด 16 บิต ที่นับได้สูงสุด 65,536 คล็อก วงจรมับจะนับเฉพาะคล็อกในมุมต่างเฟสเท่านั้น โดยจะมีสัญญาณ $A \cdot \bar{B}$ เป็นสัญญาณเคลียร์เอาท์ทุกให้เป็น 0 ทั้งหมด ก่อนที่จะมีการนับคล็อกในมุมต่างเฟสไป สัญญาณที่ได้จากการนับจะถูกต่อเข้าไปยัง ดี-ฟลิปฟลอป ที่ทำหน้าที่เสมือนแรมชั่วคราว

เพื่อให้ส่วน CPU สามารถดึงข้อมูลได้ง่ายขึ้น โดยที่ตี-ฟลิปฟล็อปจะรับข้อมูลเข้าไปเฉพาะขอบขาของสัญญาณคล็อก $A \cdot \bar{B}$ หรือ อาจกล่าวได้ว่าตี-ฟลิปฟล็อปจะเก็บข้อมูลเฉพาะข้อมูลที่นับเสร็จแล้วในแต่ละสัญญาณมุมต่างเฟส เท่านั้น

3.12 วงจรเลื่อนเฟส (Phase Shifter)

วงจรเลื่อนเฟส (Phase Shifter) เป็นวงจรที่นำมาใช้ในเครื่องวัดระยะทางด้วยแสง เพื่อทำการปรับค่าหน่วยเวลาของสัญญาณที่ผ่านไปในอุปกรณ์ภาคต่าง ๆ เนื่องจากวงจรมีค่าการหน่วงเวลาเกิดขึ้น เมื่อป้อนสัญญาณเข้าไปในวงจรภาคต่าง ๆ สัญญาณที่ป้อนเข้าไปจะถูกหน่วงเวลาเอาไว้ด้วยค่า ๆ หนึ่งซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดได้ ดังนั้น ก่อนที่จะนำเอาเครื่องวัด ไปใช้งานจึงควรจะมีการปรับเซตค่าการวัดให้มีค่าเป็นศูนย์และค่าที่ถูกต้องเสียก่อน

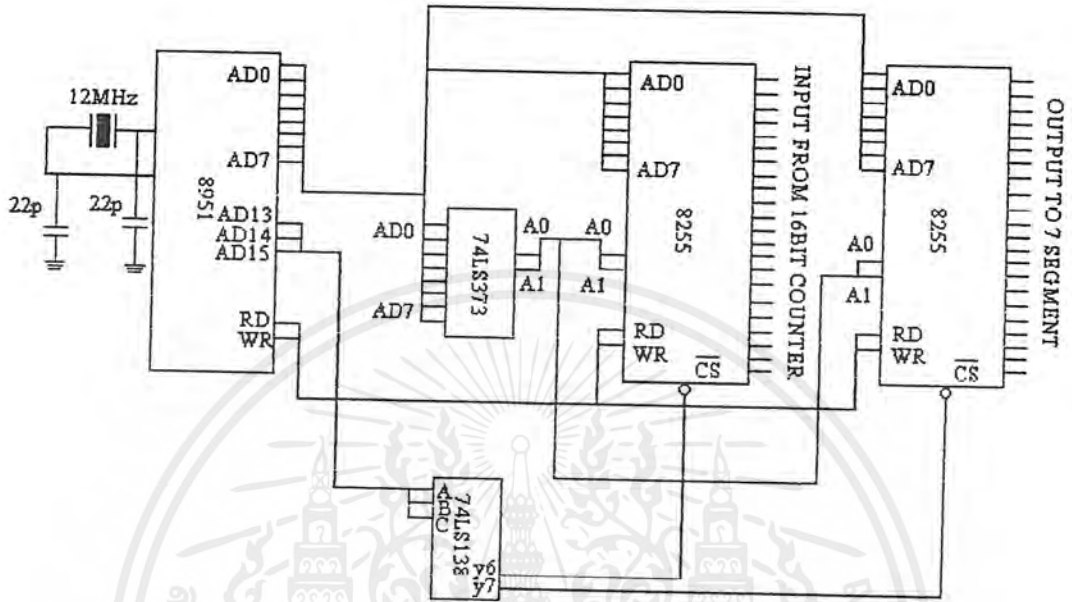


รูปที่ 3.14 วงจรเลื่อนเฟส

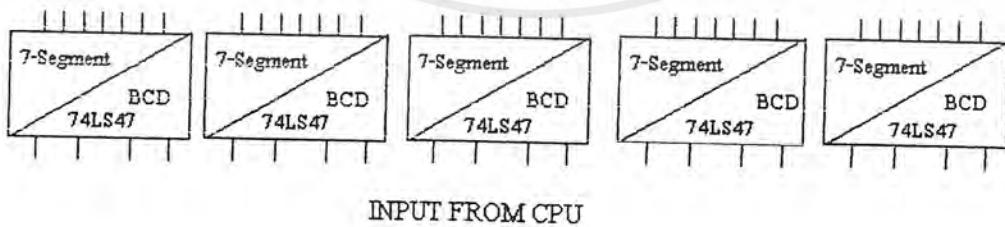
3.13 วงจรส่วนคำนวณและแสดงผล

เนื่องจากสัญญาณที่ออกจากวงจรนับ 16 บิต เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจึงต้องทำการเปลี่ยนแปลงเพื่อนำมาแสดงผล โดยส่วนคำนวณนั้นจะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ในการคำนวณ และแสดงผลออกทางเซเวนเซกเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 ส่วนคำนวณและแสดงผล



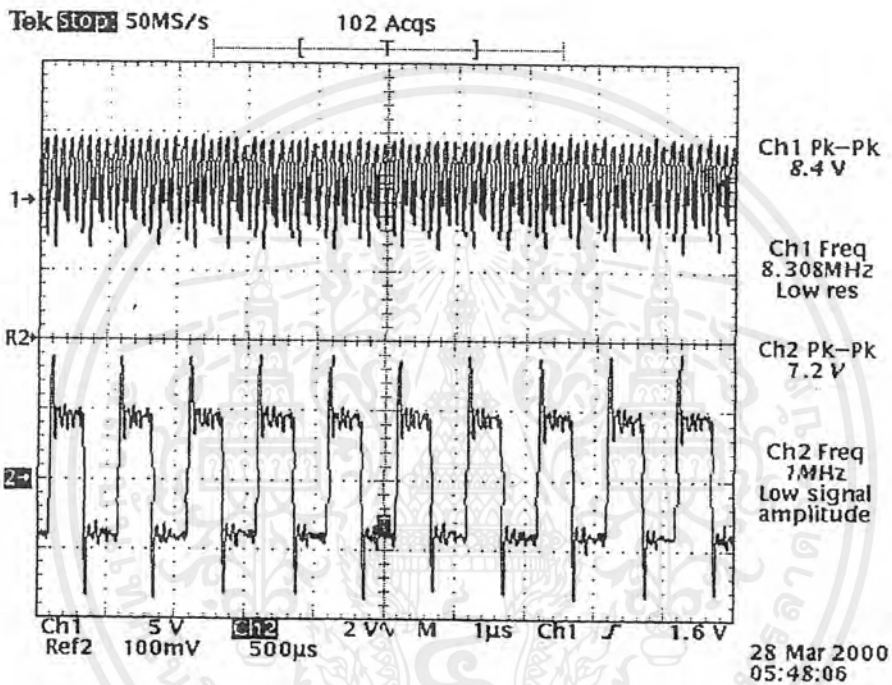
รูปที่ 3.16 แสดงผลโดย 7- Segment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

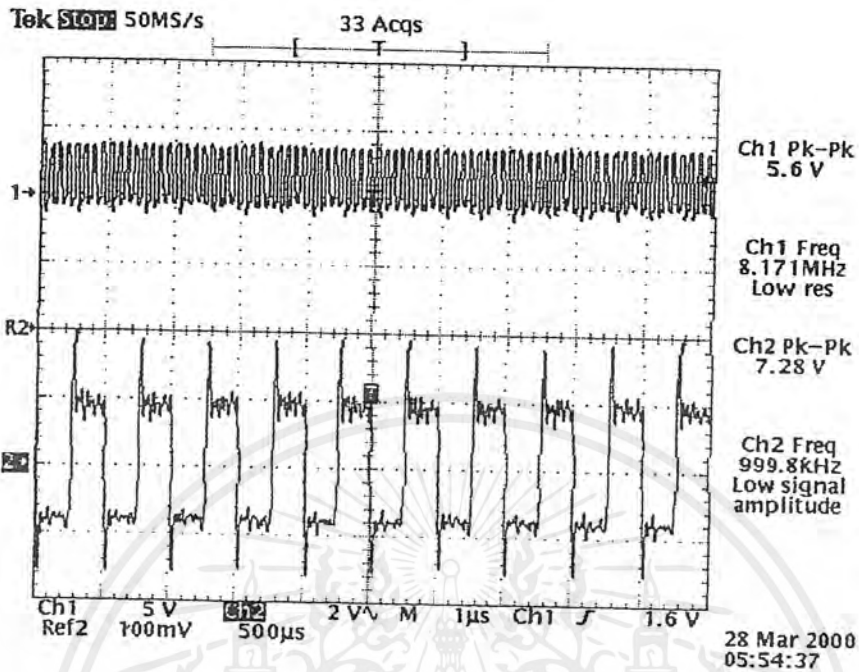
ผลการทดลอง

ในการทดลองจะทำวัดสัญญาณต่างๆดังนี้

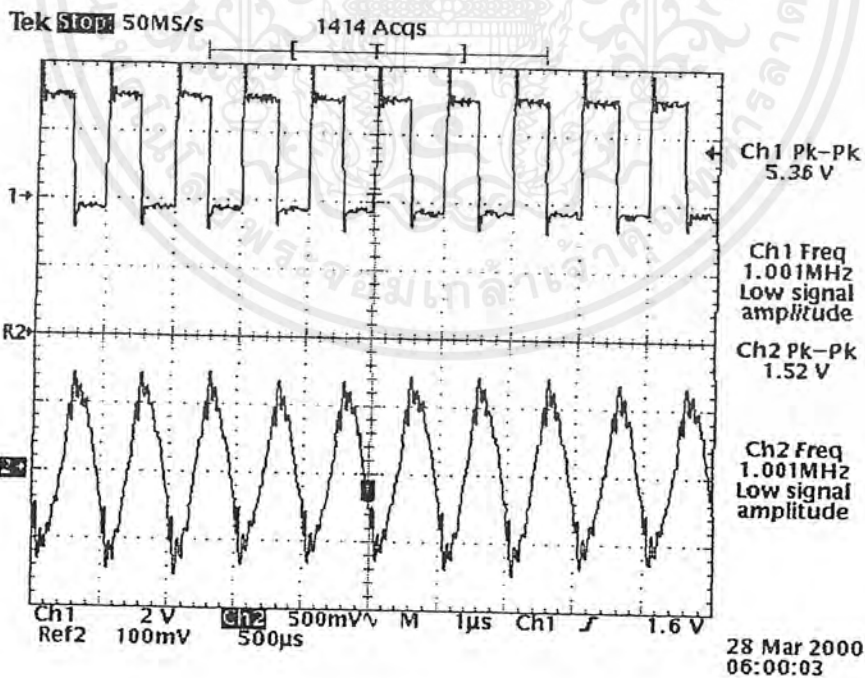


รูปที่ 4.1 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรออสซิลเลเตอร์ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

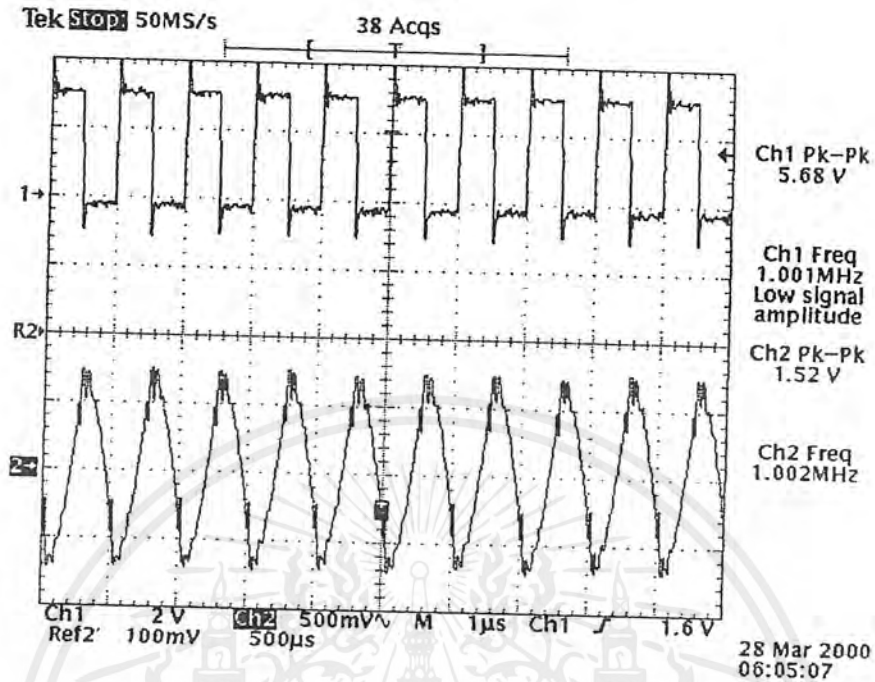


รูปที่ 4.2 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรออสซิลเลเตอร์ 2

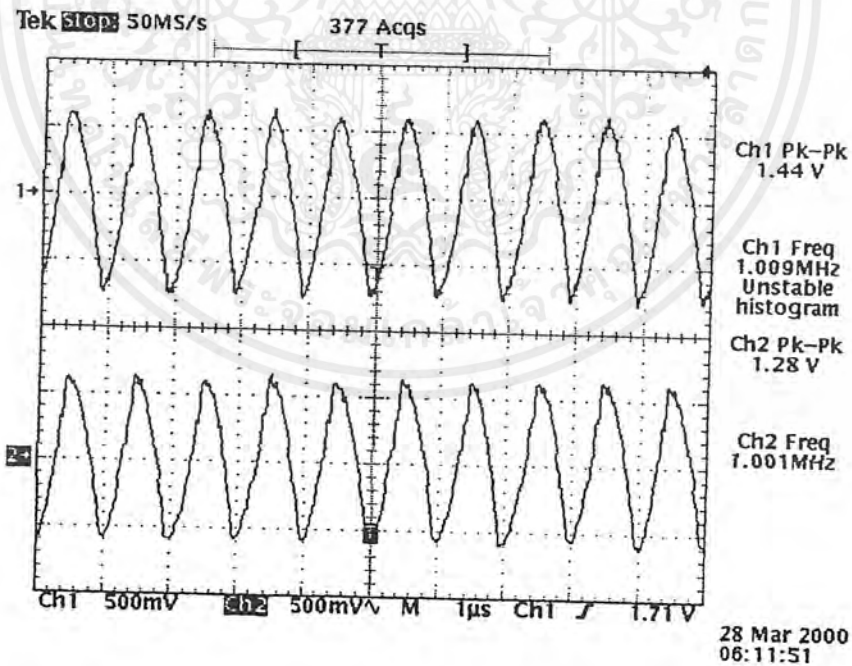


รูปที่ 4.3 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ 1MHz โดยอินพุตคือออสซิลเลเตอร์ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

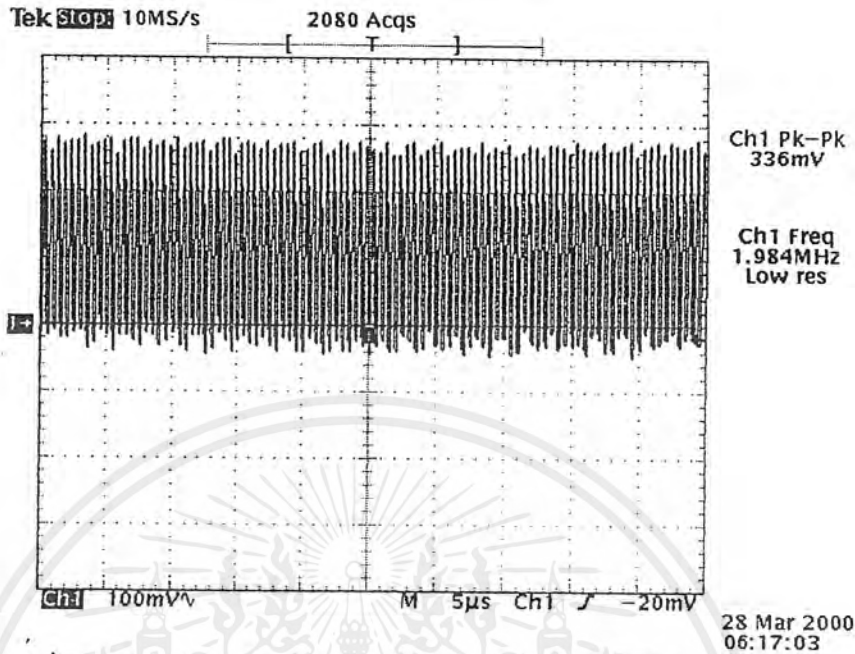


รูปที่ 4.4 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ 1MHz โดยอินพุตคือออสซิลเลเตอร์ 2

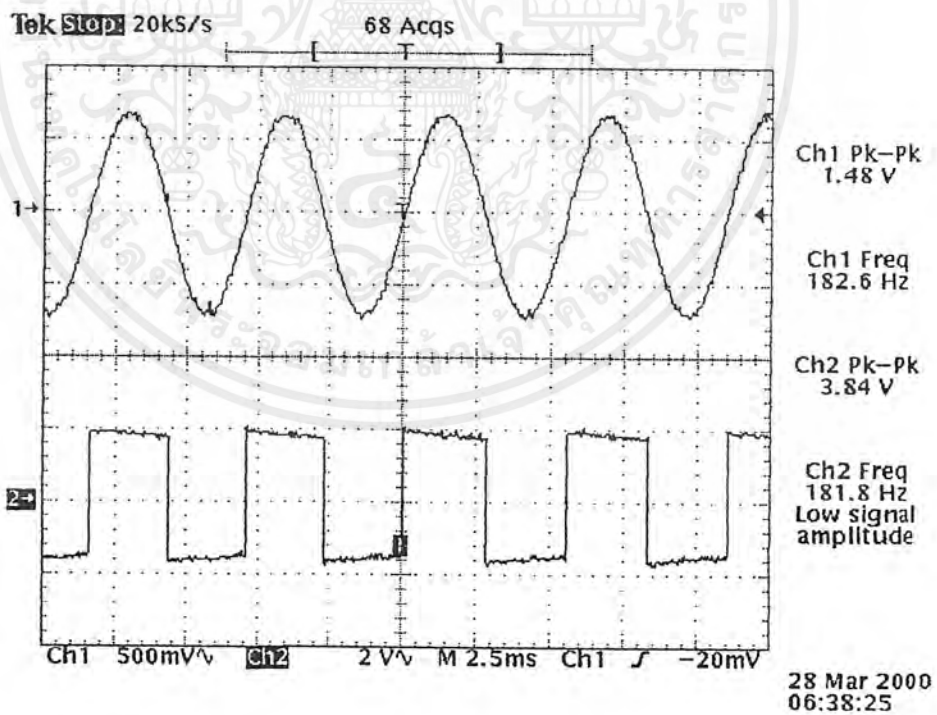


รูปที่ 4.5 สัญญาณอินพุตของวงจรผสมสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

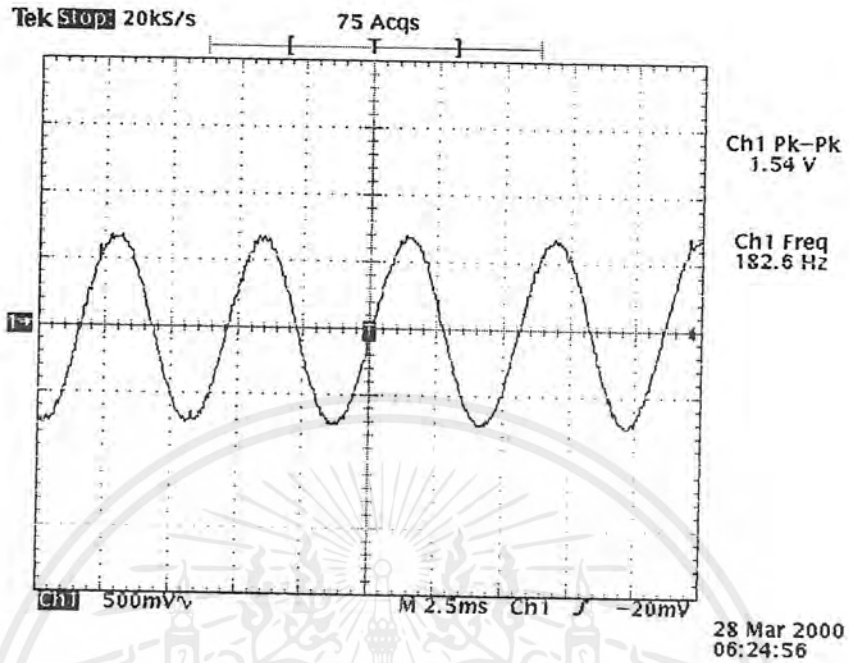


รูปที่ 4.6 สัญญาณเอาต์พุตของการมอดูเลต โดย MC 1496

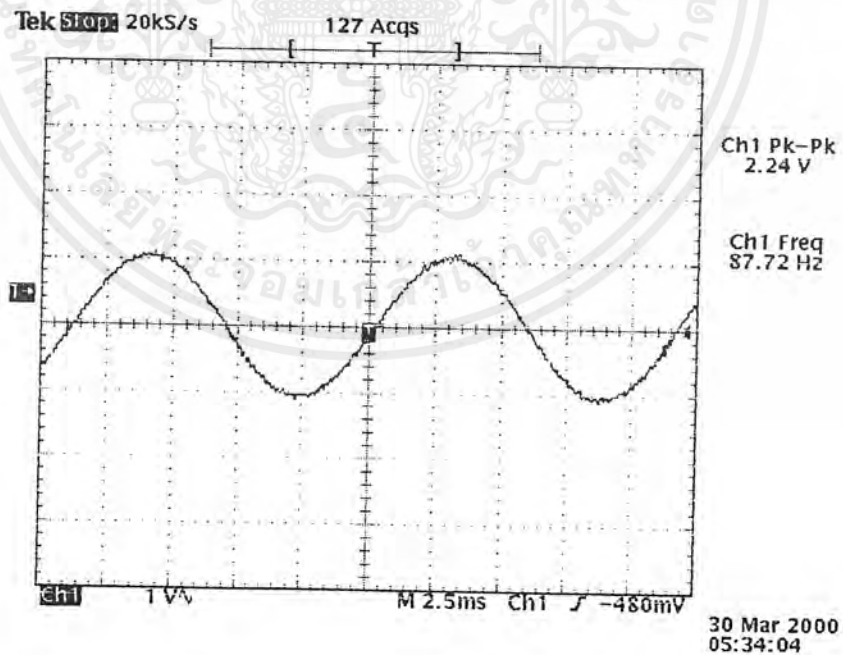


รูปที่ 4.7 สัญญาณตกรวมความต้านทาน 50 โอห์มที่ซึ่งอนุกรมกับเลเซอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



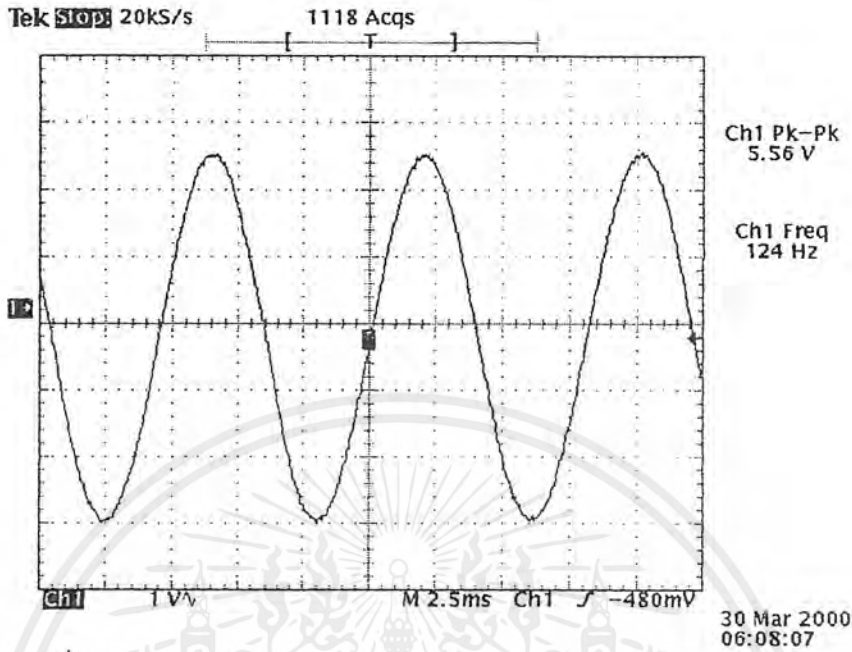
รูปที่ 4.8 สัญญาณเอาต์พุตที่ภาคแบนด์พาสฟิลเตอร์ 125 Hz เนื่องจากผลของการเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุเป็น 20pF ในออสซิลเลเตอร์ 2



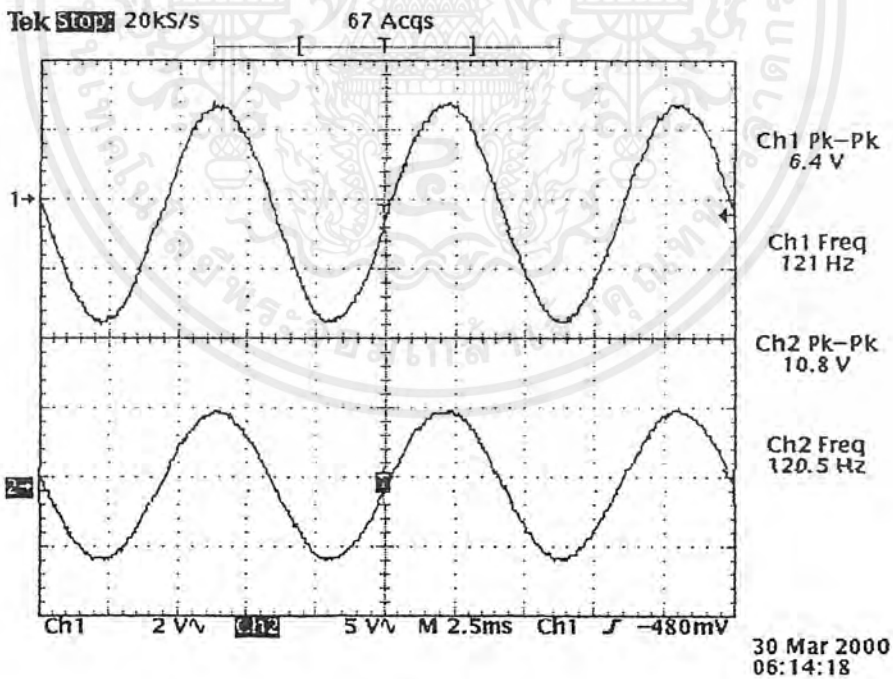
รูปที่ 4.9 สัญญาณเอาต์พุตที่ภาคแบนด์พาสฟิลเตอร์ 125 Hz

เนื่องจากผลของการเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุเป็น 20pF ในออสซิลเลเตอร์ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

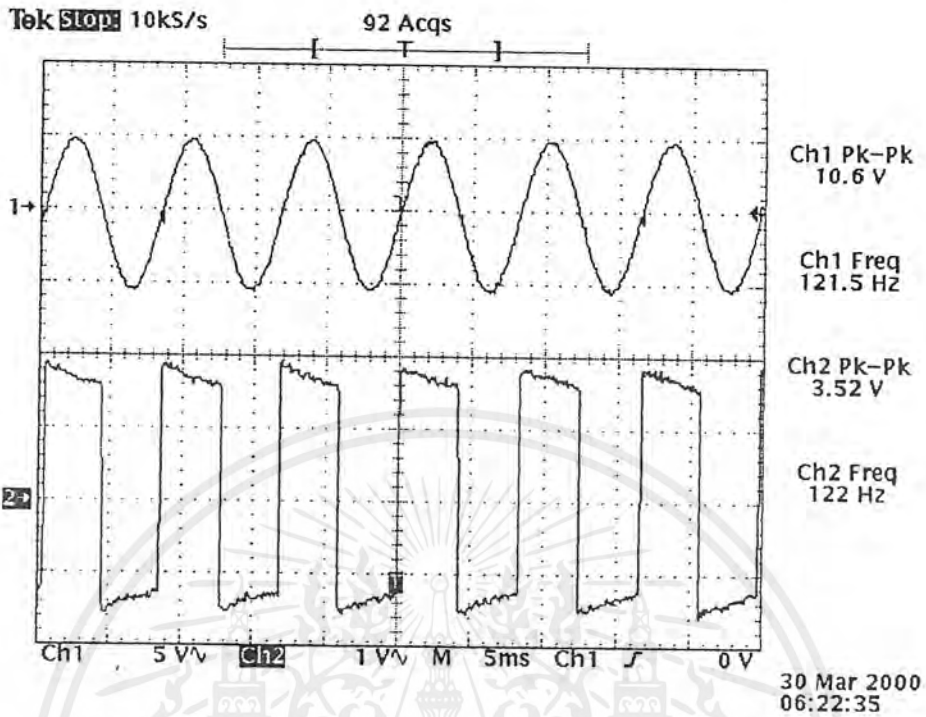


รูปที่ 4.10 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ 125Hz

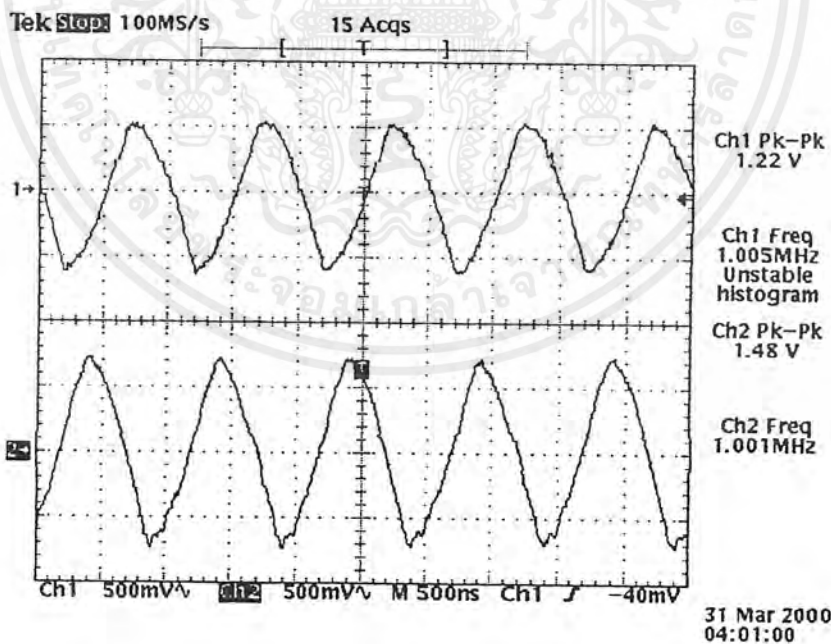


รูปที่ 4.11 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

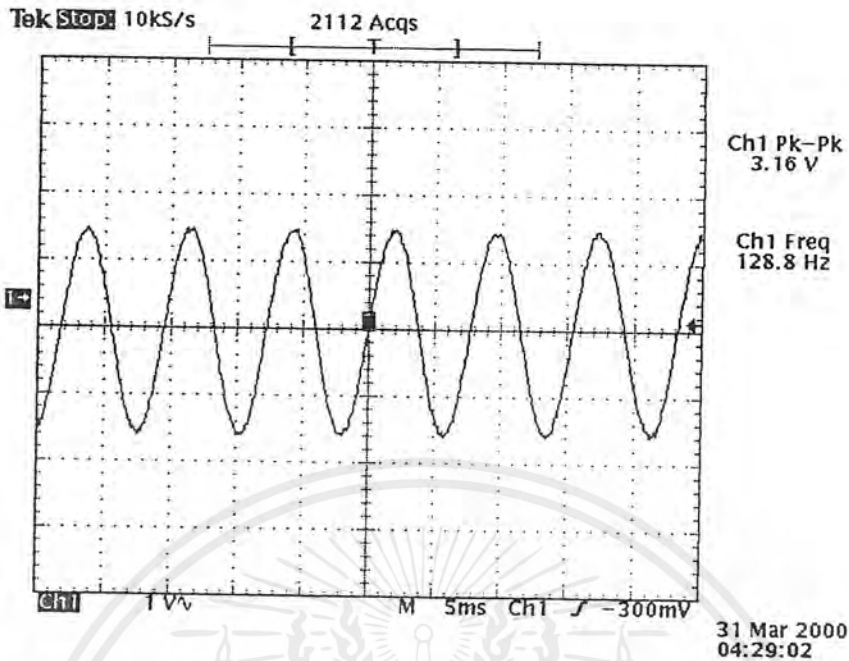


รูปที่ 4.12 สัญญาณแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัลโดยวงจรซีโรครอสซิงที่เป็นฐานเวลา

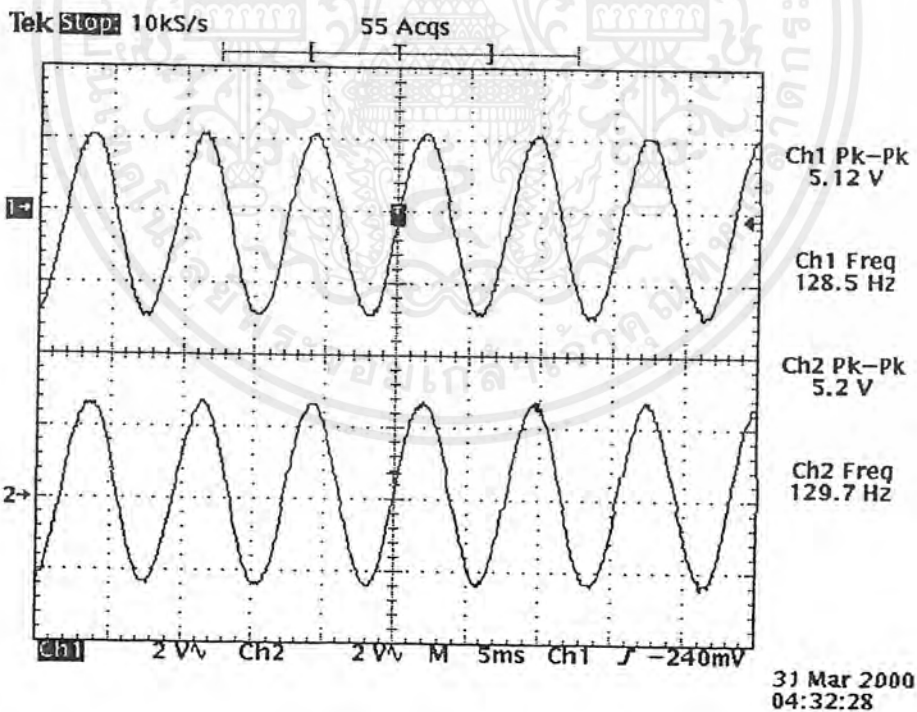


รูปที่ 4.13 สัญญาณที่ถูกกรองโดยแบนพาสฟิลเตอร์ 1 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

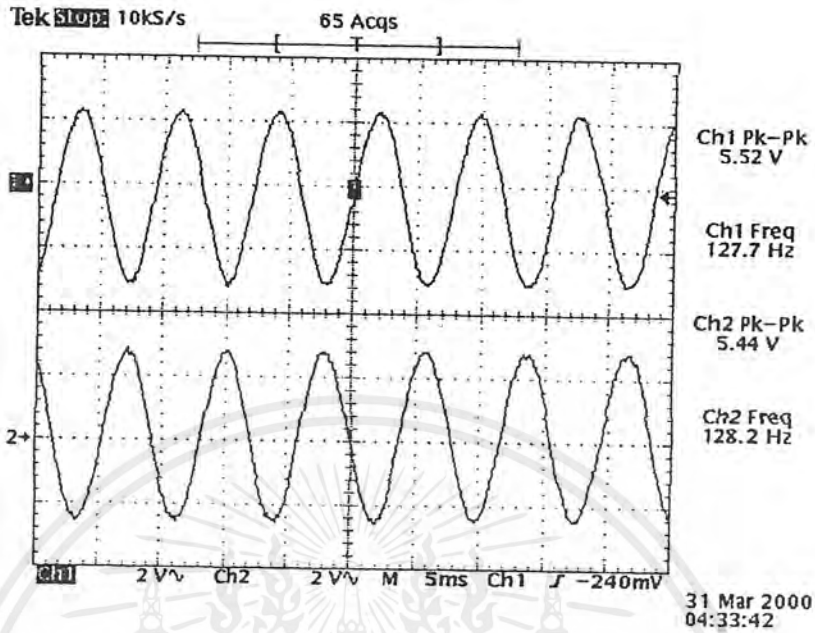


รูปที่ 4.14 สัญญาณที่ถูกกรองโดยแบนพาสฟิลเตอร์ 125 Hz

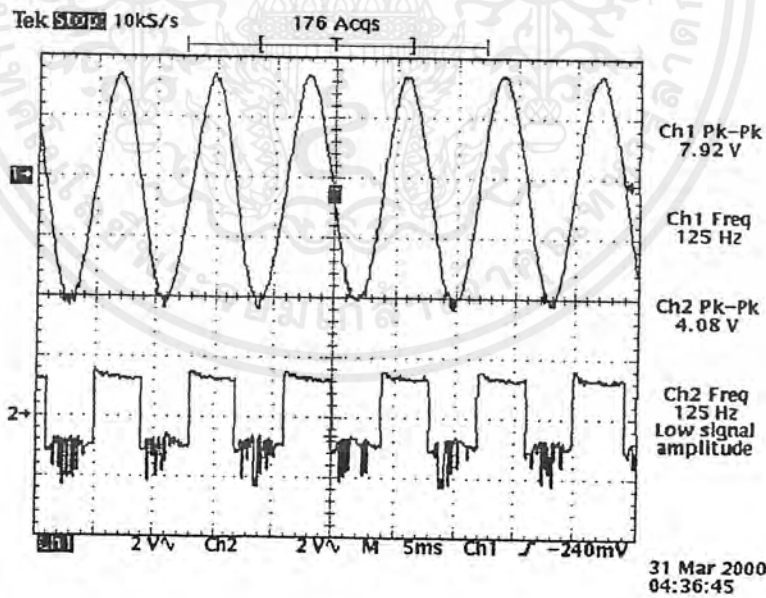


รูปที่ 4.15 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเลื่อนเฟสที่ยังไม่มีการปรับแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

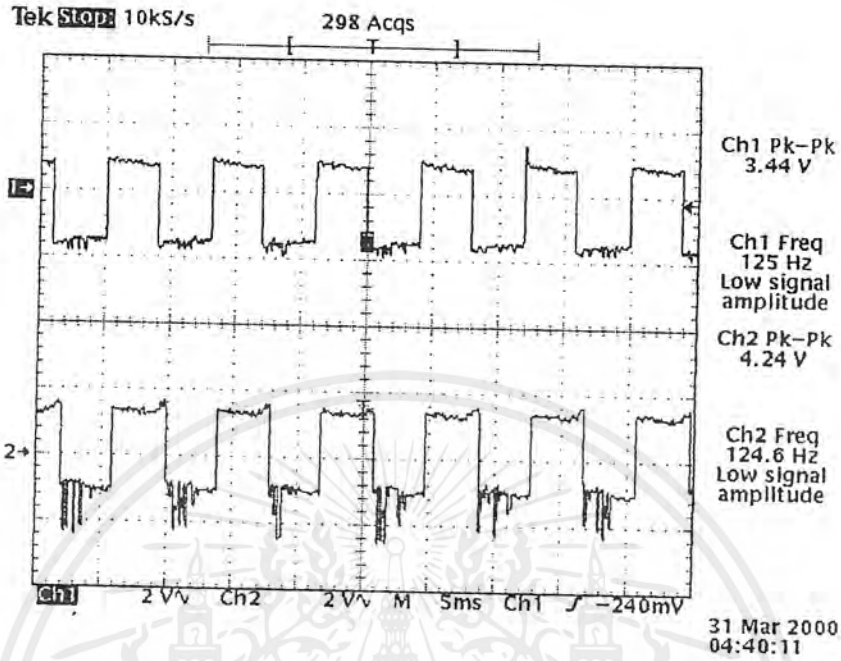


รูปที่ 4.16 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเล็อนเฟสที่มีการปรับแต่งแล้ว

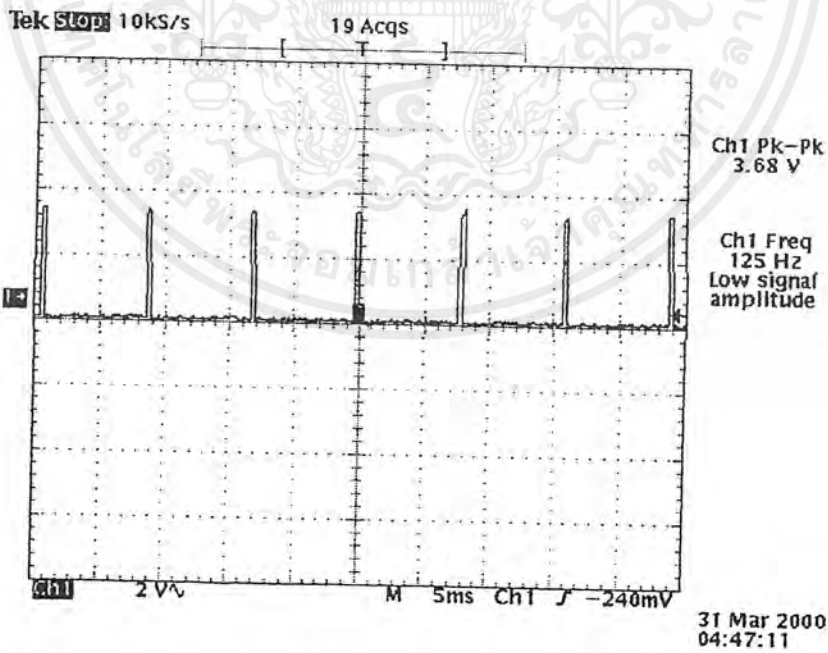


รูปที่ 4.17 สัญญาณแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัล โดยวงจรซีโรครอสซิงที่รับมาจากภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 สัญญาณอินพุทของวงจรเทียบเฟส



รูปที่ 4.19 สัญญาณมุมต่างเฟสที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงผลการตอบสนองของความถี่ของวงจรความถี่
แบนด์พาสฟิลเตอร์ 1 MHz

ความถี่ (Hz)	ชนิด Positive Feedback		ชนิด Negative Feedback	
	แรงแดันเอ๊าท์พุท (V_{pp})	อัตราขยาย แรงแดัน (dB) ($V_{in} = 1 V_{pp}$)	แรงแดันเอ๊าท์พุท (V_{pp})	อัตราขยาย แรงแดัน (dB) ($V_{in} = 1 V_{pp}$)
100 k	40 m	-27.95	0.4	-7.958
200 k	80 m	-21.93	0.92	-0.729
400 k	180 m	-14.89	2.4	7.6
600 k	300 m	-10.45	4.4	12.86
800 k	0.64	-3.87	2.8	8.94
1 M	1.8	5.1	2	6.02
1.2 M	1	0	1.6	4.08
1.4 M	0.62	-4.15	1.2	1.58
1.6 M	0.42	-7.535	1	0
1.8 M	0.32	-9.89	0.9	-0.915
2.0 M	0.26	-11.7	0.8	-1.938
2.2 M	0.22	-13.15	0.7	-3.098
2.4 M	0.19	-14.42	0.6	-4.436
2.6 M	0.16	-15.9	0.54	-5.352
2.8 M	0.14	-17.07	0.48	-6.375
3.0 M	0.12	-18.41	0.42	-7.535
3.2 M	122 m	-19.01	0.4	-7.958
3.4 M	100 m	-20	0.38	-8.4
3.6 M	88 m	-21.11	0.36	-8.87
3.8 M	80 m	-21.93	0.32	-9.897
4.0 M	74 m	-22.61	0.3	-10.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดงผลการตอบสนองความถี่ของวงจรออสซิลเลเตอร์แบบดีฟาสฟิลเตอร์ 125 MHz

ความถี่ (Hz)	ชนิด Negative Feedback	
	แรงแดันเอ๊าท์พุท (V_{p-p})	อัตราขยาย แรงแดัน (dB) ($V_{in} = 1 V_{p-p}$)
10	0.37	-8.63
20	0.48	-6.375
40	1.04	0.34
60	2	6.02
80	3.7	11.36
100	12	21.58
120	10	20
125	8	18.06
140	5.2	14.32
160	3.6	11.12
180	2.4	7.604
200	2	6.02
300	1.1	0.82
400	0.8	-1.938
500	0.72	-2.85
600	0.52	-5.68
800	0.4	-7.96
1 k	0.28	-11.05
3 k	0.1	-20
5 k	0.07	-23.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ภาคออสซิลเลเตอร์ 1

จากการทดลองเกี่ยวกับวงจรออสซิลเลเตอร์ 1 เป็นการทดลองเกี่ยวกับเสถียรภาพทางความถี่ของวงจรออสซิลเลเตอร์ โดยการลองปรับเปลี่ยนแรงดันไฟเลี้ยงจาก +5V เป็น +4.5V และ +5.5V ซึ่งพบว่าสัญญาณเอาต์พุต ยังคงเป็นสัญญาณลูกคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 1 MHz เหมือนเดิมและ มีความถี่ 1MHz ตลอดไม่ว่าจะทำการทดลองครั้งใด ซึ่งแสดงว่าภาคออสซิลเลเตอร์ 1 เป็นวงจรผลิตความถี่ 1MHz ที่มีเสถียรภาพทางความถี่สูง

5.2 ภาคออสซิลเลเตอร์ 2

จากการทดลองเกี่ยวกับวงจรออสซิลเลเตอร์ 2 เป็นการทดลองที่เกี่ยวกับเสถียรภาพทางความถี่ของวงจรออสซิลเลเตอร์ และการปรับเปลี่ยนความถี่ จากการเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุที่อนุกรมกับตัวคริสตอลซึ่งในการทดลองได้เลือกค่าตัวเก็บประจุ 5PF , 10PF , 15PF , 20PF และ 30PF มีผลทำให้ความถี่ของภาคออสซิลเลเตอร์ 2 เปลี่ยนแปลงไปซึ่งสังเกตจากความถี่ได้หลังจากผ่านวงจรผสมสัญญาณและวงจรแบนด์พาสฟอลเตอร์ (fm) โดยที่ความถี่ความถี่ fm ที่ค่าตัวเก็บประจุ 5PF > 10PF > 15PF > 20 PF > 30PF แต่เมื่อเพิ่มค่าตัวเก็บประจุนี้ขึ้นไปอีกพบว่าความถี่ fm จะไม่มีแนวโน้มนลดลงอีกแต่มีแนวโน้มนเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากความถี่ fm เป็นความถี่ผลต่างของภาคออสซิลเลเตอร์ 1 และ 2 โดยที่เดิมที่แล้วความถี่ของภาคออสซิลเลเตอร์ 2 มีค่าน้อยกว่าความถี่ของภาคออสซิลเลเตอร์ 1 เมื่อมีการเพิ่มค่าของตัวเก็บประจุจึงทำให้ความถี่ของ ออสซิลเลเตอร์ 2 มากขึ้นเข้าใกล้ ออสซิลเลเตอร์ 1 ส่งผลทำให้ความถี่ fm ลดลง แต่เมื่อเพิ่มค่าตัวเก็บประจุไปอีกจะทำให้ความถี่ของ ออสซิลเลเตอร์ 2 มากกว่า ออสซิลเลเตอร์ 1 จึงส่งผลทำให้ความถี่ fm มีแนวโน้มนเพิ่มขึ้น ส่วนเสถียรภาพทางความถี่พบว่าดีมาก เช่นเดียวกับภาคออสซิลเลเตอร์ 1

5.3 ภาคออสซิลเลเตอร์ 3

ในการทดลองเกี่ยวกับภาคออสซิลเลเตอร์ 3 ซึ่งเป็นสัญญาณคลื่นความถี่สูง จะทำการทดลองถึงค่าความถี่คล็อกที่สูงที่สุดที่วงจรคอมพิวเตอร์สามารถทำงานได้ และทดลองว่าไอซีฮารความถี่ เบอร์ 74 ALS 163 จะทำงานที่ความถี่ 80 MHz ได้หรือไม่ ซึ่งพบว่าทำงานได้ แต่คุณภาพของรูปร่างสัญญาณที่ 80 MHz และ 40 MHz จะไม่เหมาะสมกับวงจรดิจิทัลเนื่องจากมีลักษณะเป็นสัญญาณอนาล็อก (Analog) ที่มีแรงดันลอจิกต่ำ (Low Level) มากกว่า 2 โวลต์ แต่ความถี่ 20MHz , 10MHz , 5MHz นั้นพบว่าแรงดันลอจิกต่ำใกล้ 0 โวลต์ และแรงลอจิกสูง (High

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Level) ประมาณ 5 โวลต์ ทำให้เหมาะสมกับวงจรจิจิตอลที่ใช้เป็นวงจรคอมพิวเตอร์ ซึ่งความถี่สูงที่ทำให้วงจรคอมพิวเตอร์ทำงานได้อย่างถูกต้องอยู่ที่คือ 20 MHz และเป็นวงจรที่มีเสถียรภาพทางที่ความถี่สูง เช่นเดียวกับภาคออสซิลเลเตอร์ 1 เนื่องจากมีวงจรคล้ายกัน

5.4 วงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์

ในการทดลองเกี่ยวกับวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ จะสนใจเกี่ยวกับความกว้างของแถบความถี่ (Bandwidth) ดังนั้นการทดลองจึงทำการปรับเปลี่ยนความถี่จากความถี่กลางที่ได้คำนวณไว้เพิ่มขึ้น และ ลดลงพบว่า วงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ 1MHz จะมีขนาดของสัญญาณสูงสุดที่ความถี่ประมาณใกล้เคียงกับ 1MHz และจะมีขนาดสัญญาณลดลงเรื่อยๆ เมื่อมีการเปลี่ยนความถี่ให้สูงขึ้นหรือลดลง ตามผลการทดลองในบทที่ 4 แต่ในการทดลองจะสนใจการเปลี่ยนแปลงของขนาดสัญญาณที่ความถี่มากกว่า 1MHz มากกว่า ความถี่ที่น้อยกว่า 1MHz เพราะวงจรแบนด์พาสจะต้องเป็นวงจรกรองความถี่ของสัญญาณเมื่อถูกคลื่นสี่เหลี่ยม 1 MHz ที่ประกอบด้วยความถี่มูลฐาน 1MHz และความถี่ฮาร์โมนิกที่ 3 เท่า, 5 เท่า, 7 เท่า ฯลฯ ซึ่งจากการทดลองพบว่าที่ความถี่ 3 MHz ขนาดของสัญญาณก็จะลดลงไปกว่าครึ่ง แต่ความถี่ 5 MHz และ 7 MHz หาฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ผลิตความถี่ไม่ได้ แต่มีแนวโน้มว่าขนาดของสัญญาณจะลดลงไปมากเมื่อความถี่เพิ่มสูงขึ้น และเมื่อลองกรองความถี่ของถูกคลื่นสี่เหลี่ยม 1 MHz ที่ผลิตจากภาคออสซิลเลเตอร์ 1 และ 2 พบว่าได้ถูกคลื่นที่ลักษณะคล้ายรูปคลื่นไซน์ แต่มีการผิดเพี้ยนเล็กน้อย เนื่องจากผลของความถี่ฮาร์โมนิกที่กรองออกไม่หมดนั่นเอง

ส่วนของวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ 125 MHz นั้นก็จะทดลองคล้ายกับวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ 1 MHz คือต้องทำการปรับเปลี่ยนความถี่เพิ่มขึ้นและลดลงจากความถี่กลาง ซึ่งได้ผลการทดลองในบทที่ 4 โดยที่ผลการทดลองที่น่าสนใจคือ ที่ความถี่สูงกว่า 125 Hz เพราะว่าแบนด์พาสฟิลเตอร์นี้จะใช้กรองความถี่หลังจากการมอดูเลตสัญญาณ 1 MHz และ 999 kHz หรือกรองความถี่ 1 MHz, 0.999 MHz, 1.999 MHz ทิ้งไปซึ่งจากการทดลองพบว่ากรองได้ดีมาก ได้ถูกคลื่นที่ค่อนข้างเป็นไซน์บริสุทธิ์

5.5 วงจรผสมสัญญาณ

วงจรผสมสัญญาณจะใช้การทดลองจริงโดยการป้อนถูกคลื่น 1MHz และ 999MHz ที่ได้จากวงจรแบนด์พาส 1 MHz ข้างต้น เป็นสัญญาณอินพุท พบว่าได้สัญญาณเอาต์พุทที่มีถูกคลื่นรูปร่างไม่แน่นอนความถี่ 2 MHz ซึ่งหลังจากได้ทำการแบนด์พาสด้วยวงจรแบนด์พาส 125 Hz ซึ่งแสดงถึงว่าวงจรผสมสัญญาณสามารถทำงานได้อย่างดี

5.6 วงจรภาคส่ง

การทดลองในภาคส่ง เป็นการทดลองนำสัญญาณลูกคลื่นสี่เหลี่ยม 1 MHz ที่ได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์ 1 มาทำการมอดูเลตเข้ากับแสงเลเซอร์ที่ปล่อยออกจากเลเซอร์ไดโอด ซึ่งทำได้โดยการควบคุมกระแสที่ไหลผ่านตัวเลเซอร์ ไดโอด ซึ่งปกติแล้ว เลเซอร์ไดโอดจะเริ่มปล่อยแสงออกเป็นเลเซอร์ ที่ 60 – 80 มิลลิแอมป์ และสามารถปล่อยแสงต่อเนื่อง ได้ที่กระแส 120 – 150 มิลลิแอมป์ แต่วงจรภาคส่งนี้จะส่งแบบลูกคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีค่าควิตีไซเคิล (Duty Cycle) 50% ทำให้สามารถจัดวงจรให้มีกระแสเพียงสูงถึง 300 มิลลิแอมป์ ได้ ซึ่งเป็นกระแสที่ค่อนข้างมาก อีกทั้งต้องทำงานที่ความถี่ 1MHz ได้ การทดลองจึงมุ่งเน้นที่การจัดให้ทรานซิสเตอร์ สามารถดึงกระแส ได้ถึง 300 มิลลิแอมป์ โดยการใช้ออปแอมป์ 1 ตัว ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์แรงดัน และเป็นตัวช่วยจ่ายกระแสเบสให้ทรานซิสเตอร์ จากผลการทดลองเมื่อวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน 50 โอห์ม ที่อนุกรมอยู่กับ เลเซอร์ไดโอด ได้เป็นลูกคลื่นสี่เหลี่ยมขนาด 6 โวลต์ ซึ่งนั่นหมายความว่า มีกระแสไหลผ่านเลเซอร์ไดโอดเป็นลูกคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีขนาด 300 มิลลิแอมป์ 1 MHz ซึ่งแสงเลเซอร์ที่ปล่อยออกมาก็มีการติดดับตามกระแสที่ไหลผ่าน คือ ติดดับความถี่ 1 Hz

5.7 วงจรภาครับ

การทดลองในภาครับ จะทำการทดลองร่วมกับวงจรภาคส่ง โดยการฉายแสงเลเซอร์เข้าตัวรับ ซึ่งเป็น โฟโต้ไดโอด และโฟโต้ทรานซิสเตอร์ ต่างๆ เพื่อหา โฟโต้ไดโอด หรือ โฟโต้ทรานซิสเตอร์ ที่สามารถรับแสงได้ถึง 1 MHz และมีคุณภาพดีที่สุดเท่าที่จะหาได้ จากนั้นก็ทดลองหาค่าตัวต้านทานป้อนกลับที่เหมาะสม เพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุตมีค่าสูงที่สุด ซึ่งก็จะได้ตัวต้านทานป้อนกลับค่า 500 โอห์ม

ในการทดลอง พบว่าภาครับจะสามารถรับแสงเลเซอร์ได้ ก็ต่อเมื่อมีค่าแสงกระทบยังตัวโฟโต้ไดโอด มีผลทำให้ ได้แรงดันเอาต์พุต เป็นลูกคลื่นซายน์ขนาด 1 โวลต์ความถี่ 1 MHz โดยที่แสงที่ตกกระทบกับโฟโต้ไดโอด จะต้องมีมุมที่ถูกต้องด้วยจึงจะสามารถรับแสงได้

5.8 วงจรเฟสชิฟเตอร์

จากการทดลองในวงจร เฟสชิฟเตอร์ ได้ทำการป้อนสัญญาณลูกคลื่นซายน์ความถี่ 125 Hz เป็นอินพุตให้กับเฟสชิฟเตอร์ และ วัดเอาต์พุตดูรูปคลื่นสัญญาณ พบว่า เมื่อบิดวอลุ่ม ให้มีค่าความต้านทาน 0 โอห์ม สัญญาณเอาต์พุต และ อินพุต จะมีเฟสเดียวกัน แต่เมื่อมีการบิดวอลุ่มให้มีค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น พบว่า เฟสของสัญญาณเอาต์พุต จะเลื่อนในลักษณะถ้าหลังกับสัญญาณ

อินพุท เพิ่มขึ้น จนกระทั่ง บิควอลุ่มจนมีค่าความต้านทาน 100k โอห์ม สัญญาณเอาต์พุทก็จะต่ำ
หลัง สัญญาณอินพุทเป็นมุมเกือบ 180 องศา หรือ กลับเฟสนั่นเอง

5.9 วงจรซีโรครอสซิง ดีเทคเตอร์

การทดลองได้ทดลองโดยการป้อนความถี่อินพุทเปลี่ยนค่าไปเรื่อย ๆ โดยมีค่าขนาด
สัญญาณคงที่ 1V พบว่าออปแอมป์ความเร็วสูง เบอร์ LM 361 สามารถเปลี่ยนสัญญาณจากลูกคลื่น
ไซน์เป็นลูกคลื่นสี่เหลี่ยมได้ชัดเจนถึงความถี่สูงสุดประมาณ 3 MHz ซึ่งมีผลทำให้ออปแอมป์ทำงาน
ไม่มันไม่สามารรถเปลี่ยนลูกคลื่นได้

ทางด้านแรงดันอินพุทที่ป้อนที่ความถี่เดียวกันพบว่าที่แรงดันอินพุทต่ำ ๆ ออปแอมป์จะ
แปลงสัญญาณลูกคลื่นได้ แต่ไม่คีนัก ลูกคลื่นสี่เหลี่ยมจะไม่คม และที่แรงดันอินพุทสูงขึ้น การ
แปลงลูกคลื่นก็จะดีขึ้น

ในวงจรจริงจะใช้วงจรซีโรครอสซิงดีเทคเตอร์ กับลูกคลื่นไซน์ความถี่ 125 Hz ขนาด
ประมาณ 2 โวลต์ พบว่าได้ลูกคลื่นสี่เหลี่ยม 125 Hz ขนาดประมาณ 3.5 โวลต์ ซึ่งเหมาะสำหรับ
อินพุทของวงจรถิศจิตอลในภาคต่อไป

5.10 วงจรเฟสคอมพาราเตอร์

การทดลองจะทดลองโดยการจำลองเหตุการณ์ คือ นำเลเซอร์ไดโอดของภาคส่งข้อเข้ากับ
โฟโต้ไดโอดแล้วทำการทำเฟสให้เกิดการล่าหลังด้วยวงจรเฟสชิฟเตอร์ หลังจากนั้นจึงใช้วงจรเฟส
คอมพาราเตอร์หาค่ามุมต่างเฟส ซึ่งพบว่าได้สัญญาณที่ถูกต้อง

5.11 วงจรนำขนาด 16 บิต

การทดลองได้ใช้สัญญาณค็อกในลูกคลื่นที่ได้จากวงจรเฟสคอมพาราเตอร์เป็นสัญญาณอิน
พุทให้กับวงจรมุมขนาด 16 บิต หลังจากนั้นใช้ออสซิลโลสโคปดูรูปคลื่น พบว่าสัญญาณค็อกใน
มุมต่างเฟสมีการถูกหารความถี่ลงเรื่อย ๆ ซึ่งถ้าคิดเป็นเลขฐานสองแล้วจะพบว่าเอาต์พุท 16 บิต
กำลังมีการนับเพิ่มขึ้น

บทที่ 6

ปัญหาในการทดลอง และการแก้ไข้ปัญหา

เนื่องจากโครงงานนี้เป็นเครื่องมือวัด ทำให้พบปัญหาในการทดลองมากมายดังนี้

1. วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้แรงดันควบคุมความถี่ได้จะไม่สามารถนำมาใช้ได้เนื่องจากเสถียรภาพทางความถี่ต่ำมาก ถึงแม้ว่าจะเป็นวงจรที่สามารถควบคุมความถี่ได้ง่ายก็ตาม ควรจะเลือกใช้คริสตอลผลิตความถี่ ซึ่งเป็นที่ยอมรับทั่วไปว่าการผลิตความถี่ ที่มีเสถียรภาพทางความถี่สูงมากไม่เปลี่ยนแปลงตามแรงดันไฟเลี้ยง และใช้ตัวเก็บประจุปรับค่าได้ต่ออนุกรมเข้ากับคริสตอลแทนซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนสัญญาณเอาท์พุทได้

2. การทำโครงงานนี้จะต้องคำนึงถึงตัวรับแสงเป็นอันดับแรกและสำคัญที่สุด โดยจะต้องคำนึงถึงความถี่สูงสุดที่รับแสงสามารถรับได้ ซึ่งสิ่งนี้จะเป็นตัวกำหนดถึงวงจรทั้งหมดว่าจะใช้ความถี่หรือควรผลิตความถี่เท่าใด และยังคงทดลองถึงความเข้มของแสงค่าที่สุดที่ตัวรับแสงรับยังทำงานได้ โดยการลดขนาดของสัญญาณของอินพุทของภาคส่งให้น้อยลง หรือ เพิ่มตัวต้านทานอนุกรมกับเลเซอร์ไดโอดเพิ่มขึ้นก่อน เพราะเป็นหลักความเป็นจริงว่าแสงเลเซอร์ถึงแม้จะมีความเข้มสูง แต่เมื่อกระทบกับวัตถุแล้วจะเกิดการกระเจิงของแสง อีกทั้งมุมในการกระทบก็เป็นสิ่งที่สำคัญมีผลทำให้ความเข้มลดลงไปมาก ดังนั้นการพิจารณาและทดลองตรงส่วนนี้จึงเป็นส่วนที่สำคัญที่ไม่ควรมองข้าม

3. การติดตั้งตำแหน่งของเลเซอร์ไดโอดและโฟโต้ไดโอด จะต้องคำนึงจุดเริ่มต้นที่ใช้อ้างอิงในการวัด เพราะจะส่งผลให้เกิดค่าความผิดพลาดจากค่าในสูตรการหาระยะทางได้ เนื่องจากสูตรได้ทำการพิสูจน์จากระยะทางที่แสงเคลื่อนที่ไปและกลับเท่านั้น และต้องอย่าลืมว่าไม่มีทางที่จะติดตั้งเลเซอร์ไดโอดและโฟโต้ไดโอดในตำแหน่งเดียวกันได้

4. สัญญาณรบกวนก็เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่พบมากในการทดลอง ซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนที่มีความถี่ใกล้เคียงกับสัญญาณที่กำลังทำการวัดอยู่ จึงไม่สามารถที่จะทำการกรองสัญญาณรบกวนนี้ออกไปได้ และยังเป็น การสร้างปัญหาต่อการเพิ่มอัตราขยายสัญญาณที่ภาครับได้ ทำให้ไม่สามารถเพิ่มอัตราขยายให้สูง ๆ ได้ วิธีการแก้ไขหรือลดสัญญาณรบกวนชนิดนี้ทำได้โดยการออกลายวงจรรวม การเดินสายกราวนด์ และการใช้ตัวเก็บประจุมาคัปปลิงให้กับภาคจ่ายไฟต่าง ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ORG 0000H
LJMP MAIN
ORG 0030H
MAIN: MOV A,#09BH
      MOV DPTR,#0C003H ;INPUT PORT
      MOVX @DPTR,A
      ;*****
      MOV A,#080H
      MOV DPTR,#0E003H ;OUTPUT PORT
      MOVX @DPTR,A
      ;*****
START: MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR ;LOAD STATUS TO PORT C
      JNZ START ;*****
      ;*****
      MOV DPTR,#0C001H
      MOVX A,@DPTR ;LOAD INPUT PORT B (HI)
      MOV R1,A
      MOV DPTR,#0C000H
      MOVX A,@DPTR ;LOAD INPUT PORT A (LOW)
      MOV R2,A
      MOV 0AH,A
      ;*****
STRT: MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR ;LOAD STATUS TO PORT C
      JZ STRT ;*****
ST:   MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR ;LOAD STATUS TO PORT C
      JNZ ST ;*****
      MOV DPTR,#0C000H
      MOVX A,@DPTR ;LOAD INPUT PORT A (LOW)
      MOV 0BH,A
S:    MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR ;LOAD STATUS TO PORT C

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

JZ S      ;*****
;*****
ST1: MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR   ;LOAD STATUS TO PORT C
      JNZ ST1       ;*****
      MOV DPTR,#0C000H
      MOVX A,@DPTR   ;LOAD INPUT PORT A (LOW)
      MOV 0CH,A
S1:   MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR   ;LOAD STATUS TO PORT C
      JZ S1         ;*****
;*****
ST2:  MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR   ;LOAD STATUS TO PORT C
      JNZ ST2       ;*****
      MOV DPTR,#0C000H
      MOVX A,@DPTR   ;LOAD INPUT PORT A (LOW)
      MOV 0DH,A
S2:   MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR   ;LOAD STATUS TO PORT C
      JZ S2         ;*****
;*****
ST3:  MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR   ;LOAD STATUS TO PORT C
      JNZ ST3       ;*****
      MOV DPTR,#0C000H
      MOVX A,@DPTR   ;LOAD INPUT PORT A (LOW)
      MOV 0EH,A
S3:   MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR   ;LOAD STATUS TO PORT C
      JZ S3         ;*****
;*****
ST4:  MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR   ;LOAD STATUS TO PORT C

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

JNZ ST4      ;*****
MOV DPTR,#0C000H
MOVX A,@DPTR ;LOAD INPUT PORT A (LOW)
MOV 0FH,A
S4: MOV DPTR,#0C002H ;*****
MOVX A,@DPTR ;LOAD STATUS TO PORT C
JZ S4      ;*****
;*****
ST5: MOV DPTR,#0C002H ;*****
MOVX A,@DPTR ;LOAD STATUS TO PORT C
JNZ ST5    ;*****
MOV DPTR,#0C000H
MOVX A,@DPTR ;LOAD INPUT PORT A (LOW)
MOV 010H,A
S5: MOV DPTR,#0C002H ;*****
MOVX A,@DPTR ;LOAD STATUS TO PORT C
JZ S5      ;*****
;*****
ST6: MOV DPTR,#0C002H ;*****
MOVX A,@DPTR ;LOAD STATUS TO PORT C
JNZ ST6    ;*****
MOV DPTR,#0C000H
MOVX A,@DPTR ;LOAD INPUT PORT A (LOW)
MOV 011H,A
S6: MOV DPTR,#0C002H ;*****
MOVX A,@DPTR ;LOAD STATUS TO PORT C
JZ S6      ;*****
;*****
ST7: MOV DPTR,#0C002H ;*****
MOVX A,@DPTR ;LOAD STATUS TO PORT C
JNZ ST7    ;*****
MOV DPTR,#0C000H
MOVX A,@DPTR ;LOAD INPUT PORT A (LOW)
MOV 012H,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

S7:  MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR   ;LOAD STATUS TO PORT C
      JZ S7          ;*****
      ;*****
      ;*****

ST8:  MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR   ;LOAD STATUS TO PORT C
      JNZ ST8        ;*****
      MOV DPTR,#0C000H
      MOVX A,@DPTR   ;LOAD INPUT PORT A (LOW)
      MOV 013H,A

S8:  MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR   ;LOAD STATUS TO PORT C
      JZ S8          ;*****
      ;*****
      ;*****

ST9:  MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR   ;LOAD STATUS TO PORT C
      JNZ ST9        ;*****
      MOV DPTR,#0C000H
      MOVX A,@DPTR   ;LOAD INPUT PORT A (LOW)
      MOV 014H,A

S9:  MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR   ;LOAD STATUS TO PORT C
      JZ S9          ;*****
      ;*****
      ;*****

ST10: MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR   ;LOAD STATUS TO PORT C
      JNZ ST10       ;*****
      MOV DPTR,#0C000H
      MOVX A,@DPTR   ;LOAD INPUT PORT A (LOW)
      MOV 015H,A

S10:  MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR   ;LOAD STATUS TO PORT C
      JZ S10         ;*****
      ;*****
      ;*****

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ST11: MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR ;LOAD STATUS TO PORT C
      JNZ ST11 ;*****
      MOV DPTR,#0C000H
      MOVX A,@DPTR ;LOAD INPUT PORT A (LOW)
      MOV 016H,A

S11: MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR ;LOAD STATUS TO PORT C
      JZ S11 ;*****
      ;*****

ST12: MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR ;LOAD STATUS TO PORT C
      JNZ ST12 ;*****
      MOV DPTR,#0C000H
      MOVX A,@DPTR ;LOAD INPUT PORT A (LOW)
      MOV 017H,A

S12: MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR ;LOAD STATUS TO PORT C
      JZ S12 ;*****
      ;*****

ST13: MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR ;LOAD STATUS TO PORT C
      JNZ ST13 ;*****
      MOV DPTR,#0C000H
      MOVX A,@DPTR ;LOAD INPUT PORT A (LOW)
      MOV 018H,A

S13: MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR ;LOAD STATUS TO PORT C
      JZ S13 ;*****
      ;*****

ST14: MOV DPTR,#0C002H ;*****
      MOVX A,@DPTR ;LOAD STATUS TO PORT C
      JNZ ST14 ;*****
      MOV DPTR,#0C000H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVX A,@DPTR ;LOAD INPUT PORT A (LOW)
MOV 019H,A
S14: MOV DPTR,#0C002H ;*****
MOVX A,@DPTR ;LOAD STATUS TO PORT C
JZ S14 ;*****
;*****
;*****
S15: MOV DPTR,#0C002H ;*****
MOVX A,@DPTR ;LOAD STATUS TO PORT C
JNZ ST15 ;*****
MOV DPTR,#0C000H
MOVX A,@DPTR ;LOAD INPUT PORT A (LOW)
MOV 01AH,A
S15: MOV DPTR,#0C002H ;*****
MOVX A,@DPTR ;LOAD STATUS TO PORT C
JZ S15 ;*****
;*****
;*****
CLR C
MOV A,0AH
MOV R2,A
MOV A,0BH
ADD A,R2
RRC A ;END PART 1
CLR C
MOV R2,A
MOV A,0CH
ADD A,R2
RRC A ;END PART 1
CLR C
MOV R2,A
MOV A,0DH
ADD A,R2
RRC A ;END PART 1
CLR C
MOV R2,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV A,0EH
ADD A,R2
RRC A      ;END PART 1
CLR C
MOV R2,A
MOV A,0FH
ADD A,R2
RRC A      ;END PART 1
CLR C
MOV R2,A
MOV A,010H
ADD A,R2
RRC A      ;END PART 1
CLR C
MOV R2,A
MOV A,011H
ADD A,R2
RRC A      ;END PART 1
CLR C
MOV R2,A
MOV A,012H
ADD A,R2
RRC A      ;END PART 1
CLR C
MOV R2,A
MOV A,013H
ADD A,R2
RRC A      ;END PART 1
CLR C
MOV R2,A
MOV A,014H
ADD A,R2
RRC A      ;END PART 1
CLR C

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV R2,A
MOV A,015H
ADD A,R2
RRC A      ;END PART 1
CLR C
MOV R2,A
MOV A,016H
ADD A,R2
RRC A      ;END PART 1
CLR C
MOV R2,A
MOV A,017H
ADD A,R2
RRC A      ;END PART 1
CLR C
MOV R2,A
MOV A,018H
ADD A,R2
RRC A      ;END PART 1
CLR C
MOV R2,A
MOV A,019H
ADD A,R2
RRC A      ;END PART 1
CLR C
MOV R2,A
MOV A,01AH
ADD A,R2
RRC A      ;END PART 1
MOV R2,A

```

***** DISPLAY *****

```

MOV R0,#00H
MOV A,R1
MOV R4,A      ;HIBITE INPUT TO R4

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV A,R2
MOV R5,A ;LOWBITE INPUT TO R5
L: MOV A,R2
CLR C
ADD A,#0F0H
MOV R2,A
MOV A,R1
JNC D
CLR C
ADD A,#01H
JNC D
ADD A,#0D8H
INC R0
MOV R1,A
MOV A,R2
MOV R5,A
MOV A,R1
MOV R4,A
SJMP L
D: ADD A,#0D8H
INC R0
MOV R1,A
JNC SORN
MOV A,R2
MOV R5,A
MOV A,R1
MOV R4,A
LJMP L
SORN: DEC R0
MOV A,R0
MOV DPTR,#0E002H ;DISPLAY OUTPUT PORT C
MOVX @DPTR,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

*****
MOV R0,#00H
MOV A,R5
MOV R2,A
MOV A,R4
MOV R1,A
L1: MOV A,R2
CLR C
ADD A,#018H
MOV R2,A
MOV A,R1
JNC D1
CLR C
ADD A,#01H
D1: ADD A,#0FCH
INC R0
MOV R1,A
JNC SORN1
MOV A,R2
MOV R5,A
MOV A,R1
MOV R4,A
LJMP L1
*****

SORN1: DEC R0
MOV A,R0
MOV R3,A
*****

MOV R0,#00H
MOV A,R5
MOV R2,A
MOV A,R4
MOV R1,A
*****
L2: MOV A,R2
*****

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV R1,A          ;*****
DEC R0
MOV A,R0
SWAP A
ORL A,R1
;*****
MOV DPTR,#0E001H ;DISPLAY OUTPUT PORT B
MOVX @DPTR,A
;*****
SJMP $
END

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงแก้ไขวงจร รวมถึงการให้ยืมหนังสือเพื่อค้นคว้าและศึกษาลักษณะและคุณสมบัติของวงจร ทำให้ชิ้นงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

.....
(นาย พรเพชร ภูบาลชื่น)

.....
(นาย รัฐเขต อภิษรณรงค์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Jacobs, Stephen F., ed. , “Laser applications to optics and spectroscopy” ,London: Addison-Wesley C1975
2. Smith, William V., “Laser applications” ,Dedham, MA : Artech House , C1970
3. Gobind Daryanani, “Principles of Active Network Synthesis and Design” , Johny & Sons , Newyork



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้