



เครื่องตรวจจับการเปลี่ยนระยะ

นายเกรียงไกร กาญจนบุตร

ร.พ.
ก๗๖๗๑
2537

นายธเรศ ธนกิติวิรุณี

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

๖125200๑๓

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 253๕

A FIBER OPTIC DISPLACEMENT SENSOR

Mr. Kraingkrai Kanjanabult

Mr. Tharest Thanakitiruw

**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science
Department of Applied Physics
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
1995**

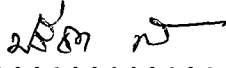
หัวข้อโครงการพิเศษ
โดย

เครื่องตรวจจับการเปลี่ยนระยะทาง
นาย เกรียงไกร กาญจนบุตร
นาย ธีเรศ ธนกิติวิรุฬ

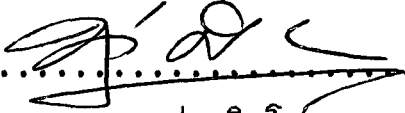
ภาควิชา
อาจารย์ที่ปรึกษา


ฟิสิกส์ประยุกต์
ผศ. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล


ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง อนุมัติให้นำโครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร
บัณฑิต

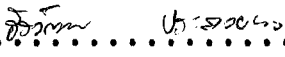

..... หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
(ผศ.ดร.ปรีชา เทียมสมประสงฆ์)

คณะกรรมการโครงการพิเศษ


..... ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.บุญส่ง คิวโมภษธรรม)


..... กรรมการ
(ผศ.ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล)


..... กรรมการ
(ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา)


..... กรรมการ
(อ.ศิริวัฒน์ ไร่ระกอบผล)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ
โดย

เครื่องตรวจจับการเปลี่ยนระยะทาง
นาย เกรียงไกร กาญจนบุตร
นาย อเรศ ธนกิจวิรุฬ

อาจารย์ที่ปรึกษา
ภาควิชา
ปีการศึกษา

ผศ. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล
ฟิลิกส์ประยุกต์
2537

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นการประยุกต์ใช้หลักการของแสงผ่านเข้าออกเส้นใยนำแสงหนึ่งคู่เพื่อใช้เป็นตัวตรวจจับการเปลี่ยนแปลงระยะขจัดของวัตถุโดยมีหลักการสร้างดังนี้คือ สร้างสัญญาณพัลส์ไปขับ LED ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสง และถูกส่งผ่านเส้นใยแสงเส้นที่หนึ่งแล้วออกไปตกกระทบกับระนาบสะท้อนบนวัตถุที่พิจารณา จะมีแสงสะท้อนส่วนหนึ่งเข้าไปเส้นใยแสงเส้นที่สอง ซึ่งวางขนานกับเส้นที่หนึ่ง โดยมีตัวรับและตัวขยายสัญญาณต่ออยู่ที่ปลายอีกข้างหนึ่ง และสามารถแสดงผลทางคอมพิวเตอร์ได้ โดยผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 ซึ่งมีโปรแกรมและฟังก์ชันพร้อมอยู่แล้ว จากนั้นทำการตรวจวัดความเข้มของแสงที่ได้ซึ่งจะมีค่าไม่คงที่เมื่อระนาบสะท้อนบนวัตถุนั้นเคลื่อนที่ไปจากเดิม พบว่าจะมีช่วงหนึ่งที่มีความเข้มของแสงที่ได้แปรตามระยะขจัดของระนาบสะท้อนเป็นแบบเส้นตรง (Linear) ซึ่งช่วงนี้เป็นช่วงใช้งานเพื่อทำเป็นเครื่องมือดังกล่าว ทดลองวัดช่วงนี้ได้ประมาณ 1.2 เซนติเมตร เมื่อใช้เส้นใยนำแสงแบบพลาสติกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร

Special Project Title A FIBER OPTIC DISPLACEMENT SENSOR
Name Mr. Kraingkrai Kanjanabult
 Mr. Tharest Thanakitiruw

Special Project Advisor Assistant Professor Sirisak Techatawekul
Department Applied Physics
Academic Year 1994

Abstract

The purpose of this study is to build a Fiber-Optic Displacement Sensor making use of light coming from an optical fiber which is reflected at plane reflecting surface on a considered object and then transmitted into another optical fiber which both are adjacent and in parallel. A LED transmitter ($\lambda = 660-880 \text{ nm.}$) emitting pulse signals has been used and detected by a photodarlington receiver which connected to 8031 microcontroller and result will be display on a microcomputer. It has been found that there is a linearity between displacement of the considered object and transmitted intensity at the receiver which is about 1.2 cm. when a plastic fiber with 1 mm. diameter has been used.

กิติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถเสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือของบุคคลที่มีความประสงค์
ที่ตั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บิดาและมารดาที่ได้ช่วยเหลือและส่งเสริมทุนทรัพย์ในการศึกษาค้นคว้า
เพื่อนำความรู้ไปใช้หาเลี้ยงตนเองและทำโครงการพิเศษฉบับนี้ อีกทั้งยังเป็นกำลังใจ ดุ่า
ว่ากล่าวตักเตือน กระตุ้น จนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล ที่ได้ให้ความกรุณาช่วยเหลือให้คำแนะนำและ
สนับสนุนโครงการนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อ.วิชาญ กกกนทา ที่เอื้อเฟื้อเครื่องคอมพิวเตอร์

ขอขอบคุณ คุณสมนึก นิ่มนวล ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และให้ข้อแนะนำที่เป็นประโยชน์
แก่โครงการนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ อีกหลายท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ จนโครง
งานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

นาย เกรียงไกร กาญจนบุตร

นาย ธีเรศ ธนกิติวิรุฬ

สารบัญรูป

	หน้าที่
รูปที่ 1 แสดงถึงขั้นตอนขบวนการผลิตเส้นใยแสงโดยใช้วิธีมอดิฟายน์ เคมีคอลเวเปอร์ ดีโพสิชัน	5
รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างเส้นใยแสงชนิดซิงเกิลโหมด	7
รูปที่ 3 แสดงถึงการหักเหของแสงเมื่อขนาดของมุม (A) ที่เข้าทาง อินพุตที่แตกต่างกัน	8
รูปที่ 4 แสดงค่ามุมตกกระทบสูงสุด θ_{max} ที่ปลายของเส้นใยแก้วนำแสงแล้วแสงยังผ่านเข้าไปได้	9
รูปที่ 5 แสดงถึงความกว้างของแถบคลื่นใช้งานของเส้นใยแสงซึ่งสามารถใช้ได้โดยจะแสดงเป็นช่วงที่กำหนดลงในช่องความถี่ที่ใช้งานได้	11
รูปที่ 6 ระบายที่ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าและระบายที่ขนานกับสนามไฟฟ้า	
รูปที่ 7 อัตราการสะท้อนกำลังคลื่น และการส่งผ่านกำลังคลื่นในกรณีของระบายที่ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า	17
รูปที่ 8 อัตราการสะท้อนกำลังคลื่นและอัตราการส่งผ่านกำลังคลื่นในกรณีของระบายที่ขนานกับสนามไฟฟ้า	18
รูปที่ 9 แสดงโครงสร้าง และลักษณะการกระจายของดัชนีหักเหของเส้นใยแสงแบบต่างๆ	21
รูปที่ 10 แสดงกราฟของการบั่นทอนกำลังอันเนื่องมาจาก	23
รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะและโครงสร้างโดยทั่วไป	25
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของเส้นใยนำแสง ที่นำมาประยุกต์ใช้ เป็นตัวตรวจจับการเปลี่ยนแปลงระยะทาง	27
รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของสัญญาณแสงที่เข้าสู่ปลายเบอร์ 3 ของตัวตรวจวัด	27
รูปที่ 3.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับระยะทาง	29

รูปที่ 4.1	แสดงไดอะแกรมการทำงานของวงจรผลิตสัญญาณพัลส์	32
รูปที่ 4.2	แสดงความสัมพันธ์ของวงจรโมโนสเตเบิล 2 วงจร	32
รูปที่ 4.3	แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรภาคส่ง	33
รูปที่ 4.4	แสดงรายละเอียดของวงจรภาคส่ง	34
รูปที่ 4.5	แสดงส่วนประกอบของภาครับ	37
รูปที่ 4.6	แสดงรายละเอียดของวงจรภาครับ	38
รูปที่ 5.1	แสดงการจัดวางอุปกรณ์	40
รูปที่ 5.2	แสดงไดอะแกรมการทำงานของวงจรผลิตสัญญาณพัลส์	43

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญรูป	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความรู้หน้าในรอบศตวรรษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำโครงการพิเศษ	2
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและพื้นฐานการทำงาน	4
2.1 ทฤษฎีและพื้นฐานการทำงาน	4
2.2 การผลิตเส้นใยแก้วนำแสง	6
2.3 วิธีการส่งผ่านแสง	7
2.4 ตัวขับสัญญาณ	10
2.5 ขอบเขตการใช้งานของเส้นใยนำแสง	11
2.6 การกำเนิดสัญญาณ	12
2.7 สภาพสังคมของการติดต่อสื่อสารโดยการใช้เส้นใยนำแสง	13
2.8 การส่งผ่านของแสงบริเวณขอบเขตที่ต่างกัน	13
2.9 ประเภทของเส้นใยแสงและคุณสมบัติในการส่งผ่านแสง	19
2.9.1 ประเภทของเส้นใยแสง	19
2.9.2 การบั่นทอนกำลังคลื่นในเส้นใยแสง	22
บทที่ 3 หลักการและการออกแบบเครื่องมือ	25
3.1 โครงสร้างและการทำงานของเครื่องวัด	25
3.1.1 หลักการและแนวความคิดของวงจรส่งพัลส์ของแสง	26

3.1.2	เส้นใยนำแสงที่ประยุกต์เป็นตัวตรวจการเปลี่ยนแปลงระยะทาง	26
3.1.3	แผ่นระนาบสะท้อน	28
3.1.4	วงจรรักษาพัลส์ของแสง	28
3.1.5	วงจรวัดและแสดงผล	29
3.2	การกำหนดหน้าที่และความสามารถของวงจร	29
บทที่ 4	การออกแบบและการสร้างเครื่อง	31
4.1	วงจรรหัสส่ง	31
4.1.1	หลักการออกแบบวงจรรหัสส่ง	31
4.1.2	รายละเอียดและการทำงานของวงจร	33
4.2	วงจรรับพัลส์ของแสง	36
4.2.1	หลักการออกแบบวงจรรักษาพัลส์	36
4.2.2	รายละเอียดและการทำงานของวงจร	37
4.3	ลำดับการทำงาน	39
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและแนวทางการพัฒนา	40
5.1	วิธีการทดลองและผลการทดลอง	40
5.1.1	ลักษณะการจัดวางอุปกรณ์	40
5.1.2	วิธีการทดลองและวัดค่า	41
5.1.3	ผลการทดลอง	41
5.2	สรุปผลการทดลอง	41
5.3	ข้อผิดพลาด	42
5.3.1	วงจรรหัสส่งพัลส์ของแสง	42
5.3.2	เส้นใยนำแสงที่ประยุกต์เป็นตัวตรวจจับ	42
5.3.3	ระนาบสะท้อน	42
5.3.4	วงจรรับพัลส์ของแสง	42
5.3.5	วงจรรหัสส่ง	43
5.3.6	ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031	43

5.3.7	ไอซี 8255	43
5.3.8	ภาคแสดงผล	43
5.4	ข้อเสนอแนะแนวทางแก้ไขพัฒนา	44
5.4.1	วงจรส่งพัลส์ของแสง	44
5.4.2	เส้นใยนำแสงที่ประยุกต์เป็นตัวตรวจจับ	44
5.4.3	วงจรรับพัลส์ของแสง	44

ภาคผนวก ก. ทฤษฎีบทและคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล 51

ข. อุปกรณ์เชื่อมต่อภายนอก

ค. อุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องได้ทันที

ง. ADDRESS ของพอร์ตขยาย

จ. เอกสารรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้

เอกสารอ้างอิง

บทที่ 1

บทนำ

ก่อนที่จะเริ่มศึกษาเทคโนโลยีของเส้นใยนำแสง ควรจะรู้จักกับสิ่งหนึ่งก่อน นั่นคือโฟตอน ซึ่งความหมายทางวิทยาศาสตร์คือ หน่วยขนาดเล็กของพลังงานรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีมวลสถิตเป็นศูนย์ โฟตอนจะเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคมีประจุไฟฟ้าอันหนึ่งเปลี่ยนโมเมนตัมของมันในการกระทบกับนิวเคลียสหรืออิเล็กตรอน ดังนั้นโฟตอนจึงมีปฏิกริยากับสิ่งอื่น ๆ ได้มากมาย ตัวอย่างที่เป็นไปได้ก็เช่น เมื่อผ่านลำแสงที่มีความเข้มมาก ๆ ไปยังวัตถุอื่น ๆ นั้นจะไม่ทำปฏิกริยากับสิ่งที่มันผ่านเข้าไป มาพิจารณาถึงอิเล็กตรอนบ้าง อิเล็กตรอนนั้นจะทำปฏิกริยากับสิ่งอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าอิเล็กตรอนนั้นไม่เพียงแต่จะถูกกระทบโดยสิ่งอื่น ๆ เท่านั้น แต่มันสามารถที่จะถูกเบี่ยงเบนไปโดยสนามแม่เหล็กด้วย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างโฟตอนกับอิเล็กตรอน จะเห็นว่าโฟตอนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากกว่า เพราะโฟตอนไม่ทำปฏิกริยากับสิ่งอื่น ๆ และทิศทางการวิ่งของโฟตอนก็ไม่ถูกทำให้เบี่ยงเบนไปมากเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็ก จึงใช้ประโยชน์ได้มากกว่า

1.1 ความรุดหน้าในรอบศตวรรษ

ในปัจจุบันการใช้โฟตอนในระบบการส่งข้อมูลได้เข้ามามีบทบาท และถูกนำมาใช้กันมากขึ้นเพราะข้อเสียของระบบการส่งฐานข้อมูลที่ใช้อิเล็กตรอน ได้ถูกพบว่ามีมากกว่า ทั้งที่คลื่นความถี่สูงๆ คักยภาพการทำงานไม่สมบูรณ์ ความจริงในธรรมชาติของแสงที่สามารถใช้ส่งข้อมูลได้นั้นถูกค้นพบโดย อเล็กซานเดอร์ เกร์แอมเบล ผู้ประดิษฐ์โทรศัพท์เป็นคนแรก โดยใช้อุปกรณ์ที่มีชื่อว่าโฟโตโฟน ซึ่งใช้คลื่นแสงเป็นตัวส่งข้อมูล สามารถส่งเสียงของคนๆหนึ่งโดยใช้ เซลล์ซิลิเลียม (มีคุณสมบัติในการผ่านของกระแสไฟฟ้าได้มากน้อยตามแสงที่ได้รับ) และการสะท้อนกลับของแสง ตัวส่งจะประกอบไปด้วยกระจกซึ่งถูกทำให้ลื่นโดยเสียงพูดของคน ลำแสงของแสงถูกผลิตขึ้นในรูปของความเข้มแสง ซึ่งเปลี่ยนไปมาก

น้อยตามเสียงพูดนั้น เมื่อแสงถูกส่งมากระทบเซลล์ซิลิเลียมแล้ว มันจะตอบสนองต่อแสงนั้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนไปยังตัวรับของโทรทัศน์จากหลักการแสดง ให้เห็นถึงความพิเศษของกลไกชนิดนี้ ซึ่งเหมาะสมกับการสื่อสารอย่างยิ่ง ในขณะที่มีการ ค้นพบถึงความเป็นไปได้ของการนำเส้นใยแก้วนำแสงมาใช้ แต่กลับไม่ได้พัฒนาต่อ จนปี พ.ศ 2503 ประเทศอังกฤษและสหรัฐอเมริกาได้เริ่มพัฒนาเส้นใยแก้วนำแสงเพื่อประยุกต์ ใช้กับการสื่อสารได้ดียิ่งขึ้น ในระยะแรกมีค่าสูญเสียในสายสูงประมาณ 5 dB/เซนติเมตร แต่ถูกทำให้ค่าความสูญเสียลดลงเหลือ 20 dB/กิโลเมตร จนปี พ.ศ 2513 ลดเหลือ 4 dB/กิโลเมตร เทคโนโลยีเส้นใยแก้วนำแสงได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ส่วนใหญ่ จะปฏิบัติการภายในห้องทดลองเฉพาะ จน พ.ศ 2528 บริษัท เอทีแอนด์ที แห่งสหรัฐอเมริกาได้พัฒนาจนมีความสูญเสียเหลือแค่ 2 - 3 dB/กิโลเมตร และ 0.2 dB/กิโล เมตร ในขณะที่เส้นใยแก้วนำแสง ได้พัฒนาให้เส้นใยที่ทำจากซิลิกา มีประสิทธิภาพที่มาก ขึ้นนั้น ก็มีการค้นคว้าพัฒนาเส้นใยแก้วนำแสงโดยเจือเติมสารชนิดใหม่ ๆ เข้าไปสู่ท่อใหม่ เพื่อทำให้ค่าสูญเสียนั้นลดลงไปอีก เช่น เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโลหะฟลูออไรด์ เป็นต้น

ในปัจจุบันการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงซึ่งอาศัยการส่งสัญญาณแสงผ่านไปตาม เส้นใยแสงที่มีขนาดเล็กมาก การสื่อสารในระบบนี้ได้เพิ่มบทบาทมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากข้อ ดีหลายประการของระบบ อาทิเช่น เส้นใยนำแสงมีอัตราการบั่นทอนกำลังสัญญาณต่ำ สัญญาณรบกวนจากภายนอกเข้าไม่ได้ และมีแบนด์วิดท์กว้าง เป็นต้น

นอกจากนี้แล้ว เส้นใยนำแสงยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำเป็นตัวตรวจจับ สัญญาณต่าง ๆ ได้อีก เช่น ตัวตรวจจับระยะขจัด, GYROSCOPE METER เป็นต้น ซึ่ง โดยอาศัยคุณสมบัติ ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณแสงของเส้นใย ดังนั้น เพื่อการพัฒนาการ ใช้เส้นใยนำแสง และศึกษาคุณสมบัติทางแสงภายในเส้นใยนำแสง จึงนำเส้นใยนำแสงไปทำ การสร้างเป็นเครื่องมือวัดระยะขจัดขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำโครงการพิเศษ

- เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้งานเส้นใยแก้วนำแสง

- เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 ในงานควบคุม
- เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้งานวงจรขับส่งพัลส์โดย LED
- เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้งานเป็นเครื่องวัดการเปลี่ยนแปลงระยะทาง

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

- ทำให้เข้าใจลำดับการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 และการประยุกต์ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่น เช่น ไอซี 8255 ได้
- ทำให้เข้าใจการทำงานโดยภาพรวมของเครื่องตรวจจับการเปลี่ยนแปลงระยะ
- เรียนรู้การเชื่อมต่อของวงจรภาคต่างๆที่ใช้งานในเครื่องวัด ความสำคัญลำดับก่อนหลังของอุปกรณ์แต่ละชิ้น
- สามารถนำหลักการของเครื่องวัดไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อื่นๆตามต้องการ

บทที่ 2

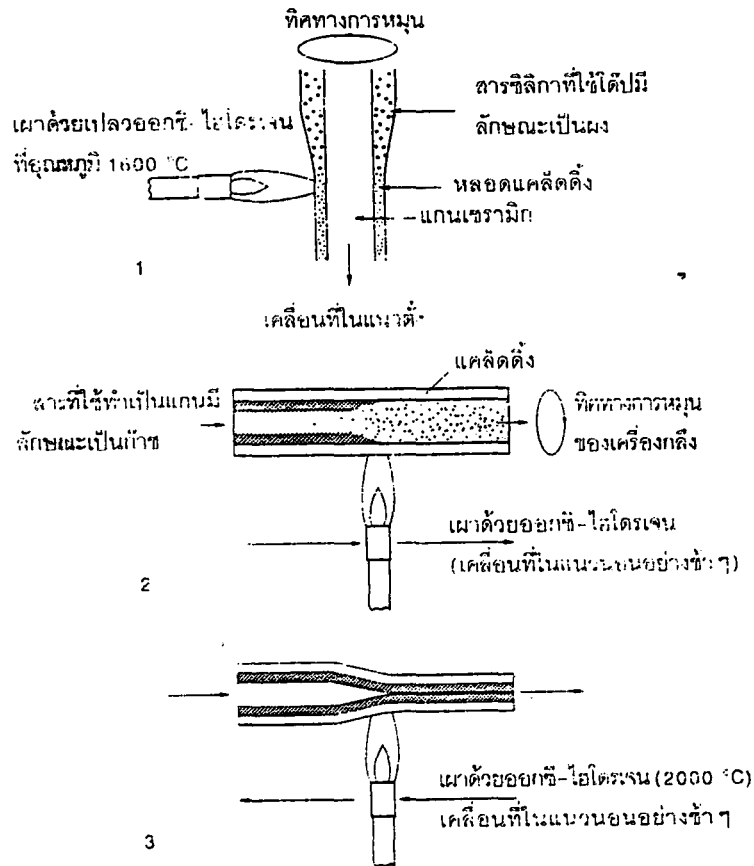
ทฤษฎีและพื้นฐานการทำงาน

2.1 ทฤษฎีและพื้นฐานการทำงาน

สารที่นำมาผลิตเส้นใยแก้วนำแสงคือซิลิกอน ซึ่งมีคุณสมบัติในการหักเหสูงโดยได้กับสารอื่น เช่น เยอรมันเนียมและฟลูออรีน ในขั้นแรกนั้นระดับของความบริสุทธิ์จะต้องสูงมากๆ เพราะฝุ่นละอองจะเป็นตัวกระจายแสง และทำให้ประสิทธิภาพของเส้นใยลดลงไป หน้าที่หลักของแกนเส้นใยก็คือเป็นตัวส่งคลื่นแสงในขณะที่แคร็ดดิ่งนั้นจะเป็นตัวนำคลื่นแสงไป ช่วยให้ค่าสูญเสียที่ผิวเส้นใยนำแสงมีค่าน้อยที่สุดด้วย นั่นคือ คลื่นแสงจะแพร่เข้าไปภายในแกน โดยแพร่ไปเป็นชุดๆ ที่เรียกว่าหน้าคลื่นโดยการหักเหภายในทั้งหมดของแสงเป็นปรากฏการณ์ที่เรารู้จัก และคุ้นเคยกันอย่างดี ในการส่งหน้าคลื่นเข้าไปภายในแกนของเส้นใยนั้นจะขึ้นอยู่กับโครงสร้าง และเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยด้วย

ชนิดของเส้นใยจะแบ่งเป็น ชนิดซิงเกิลโหมดและมัลติโหมด ซึ่งจะต้องใช้ในการพิจารณาด้วย ในการส่งหน้าคลื่น

เส้นใยชนิดซิงเกิลโหมด นั้นจะใช้แหล่งกำเนิดคลื่นแสงที่มีขนาดความยาวคลื่นของแสงที่สูงกว่าชนิดมัลติโหมด เนื่องจากว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนเส้นใยนั้นมีขนาดเล็กกว่า ดังนั้น ค่าความสูญเสียก็จะต่ำกว่าด้วย จากคุณสมบัตินี้จึงสามารถนำไปใช้ติดต่อสื่อสารที่มีระยะไกลๆได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานที่จะต้องทำการส่งและเก็บข้อมูลมากๆ โดยแถบของความยาวใช้งานส่วนมากจะอยู่ช่วงระหว่าง 40-50 จิกะเฮิรต์แต่เส้นใยชนิดนี้ก็มีข้อเสียคือในการผลิตจะผลิตได้ยากมีราคาแพง ส่วนเส้นใยชนิดมัลติโหมดมีราคาถูก แต่ในการใช้งานเมื่อเทียบกับชนิดซิงเกิลโหมดแล้ว มันจะทำงานผ่านสัญญาณข้อมูลได้ช้ากว่า แถบความยาวคลื่นที่ใช้งานอยู่ระหว่าง 1 เมกะเฮิรต์ถึง 100 เมกะเฮิรต์



รูปที่ 1 แสดงถึงขั้นตอนขบวนการผลิตเส้นใยแสงโดยใช้วิธีมอดิฟายด์ เคมีคอล เวเปอร์ ดีโพซิชั่น ซึ่งมี 4 ขั้นตอนคือ

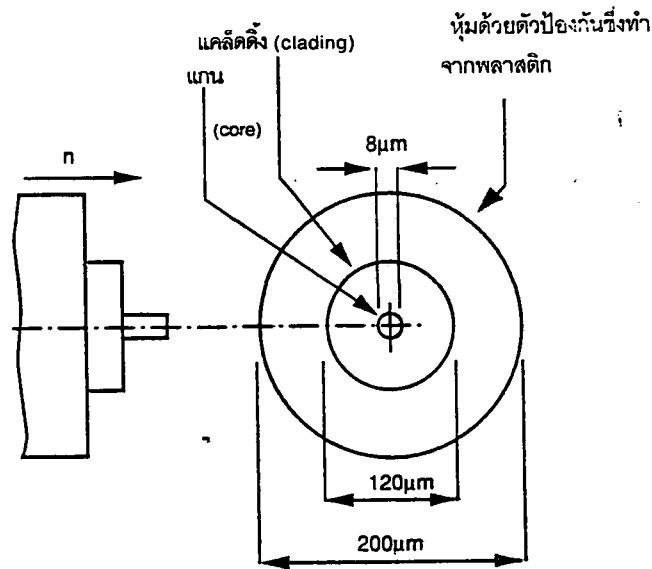
- 1 การผลิตหลอดเคลือบตั้ง
- 2 การใส่สารที่จะใช้ทำเป็นแกน
- 3 การทำเส้นต้นแบบ
- 4 การยัดเส้นใยให้ยาวออก

2.2 การผลิตเส้นใยแก้วนำแสง

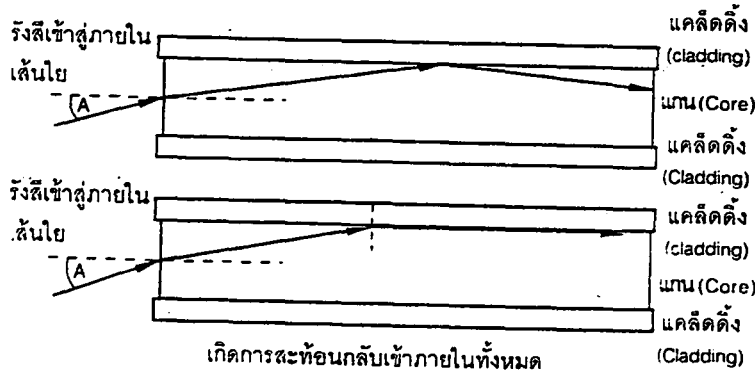
กรรมวิธีการผลิต จะต้องพยายามลดต้นทุนให้ต่ำที่สุด วิธีมอดิฟายน์ เคมีคอล-ดีโฟซิชั่น โดยบริษัท เอทีแอนที ได้ทำการสร้างต้นแบบขึ้นก่อน สำหรับเส้นใยชนิดซิงเกิลโหมดนั้นแสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งต้นแบบนี้จะเป็นหลอดแก้วขนาดใหญ่ และมีค่าดัชนีการหักเหของแสงเหมือนกับแกนของเส้นใยแสงที่สมบูรณ์แล้ว โดยทั่วไปจะมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 - 3 เซนติเมตร มีความยาวไปจนถึง 1 เมตร และเมื่อทำการยึดแล้ว จะสามารถทำให้มีความยาวไปได้หลายกิโลเมตรเมื่อเส้นใยแสงนั้นสมบูรณ์แล้ว กรรมวิธีการผลิตในขั้นแรกจะผลิตหลอดที่ทำจากควอตซ์ขึ้นมาก่อน ซึ่งสามารถทำได้โดยการตีปและใส่ซิลิกอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารแข็งมีสีขาว ไม่ละลายน้ำ มีจุดหลอมเหลวสูงลงบนแบบก่อที่เป็นเซรามิกและหมุ่มน้ำมันไปด้วย ต่อมาทำการให้ความร้อนด้วยออกซิ-ไฮโดรเจนที่หลอดสูงถึง 1600 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการรวมซิลิกอนไดออกไซด์ และสารที่ทำการตีปให้อยู่ในรูปของของแข็งที่เป็นแก้ว มีลักษณะเป็นชั้นอยู่ล้อมรอบบริเวณภายนอกของแบบก่อ ต่อมาแบบก่อนี้จะถูกเอาออก ซึ่งในที่สุดก็จะได้แคร์ดตั้งออกมา ที่สภาวะเช่นนี้ จะต้องรักษาให้อยู่ในที่ที่มีบรรยากาศเหมือนคลอรีน เพื่อที่จะทำให้การก่อตัวของไฮดรอกไซด์ของอนุมูล (กลุ่มของอะตอมที่ยังรักษาสสมบัติของมันไว้ได้ตลอดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ) ของธาตุแก้วนั้นมีค่าน้อยที่สุด ต่อมาหลอดจากข้างต้นจะถูกนำมาวางลงบนเครื่องกลึงและทำการหมุ่มนโดยผ่านสารที่จะใช้ทำเป็นแกนของเส้นใย ซึ่งอยู่ในรูปของก๊าซเข้าไปยังหลอดเป็นวิธีการนำสารเข้าไปภายในพื้นผิวแล้วทำการเผาด้วยออกซิ-ไฮโดรเจน ก๊าซในแกนของเส้นใยนั้นก็จะถูกทำให้เคลื่อนไหวในขณะที่ให้ความร้อนกับหลอดด้วยความร้อนสูงประมาณ 2000 องศาเซลเซียส จะเป็นเหตุให้หลอดนั้นยุบตัวลง และพร้อมที่จะถูกนำไปดึงต่อไป ในการดึงนั้นจะใช้เครื่องสำหรับดึงโดยเฉพาะ ต้นแบบที่ถูกดึงโดยดึงที่ส่วนปลายของมันนั้นจะถูกนำมาพันให้เป็นเส้นๆและส่วนภายนอกของต้นแบบ ก็จะถูกห่อหุ้มด้วยแคร์ดตั้งอีกทีหนึ่งในขั้นตอนนี้ก็จะได้ส่วนที่อยู่ตรงกลางซึ่งจะกลายเป็นแกนของเส้นใยนั่นเอง ต่อมาก็จะนำเส้นใยนี้ไปพันลงบนกระบอกกลม (ในการพันจะต้องปล่อยให้เส้นใยนั้นเย็นตัวลงก่อน) จากนั้นก็จะถูกนำไปเคลือบด้วยพลาสติก

2.3 วิธีการส่งผ่านแสง

ในสมัยก่อนกฎการหักเหและการสะท้อนของแสงที่นำมาประยุกต์ใช้นั้นอยู่ในรูปของการใช้งานที่บริเวณขอบผิวของเส้นใยแสงแต่ขอบเขตบริเวณที่เป็นทรงกระบอกล้อมรอบเส้นใยแสงนั้นไม่ได้ถูกนำมาใช้ จนปี พ.ศ 2453 แมกซ์เวลล์ได้คิดสูตรสำหรับแก้สมการ



รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างเส้นใยแสงชนิดซิงเกิลโหมด



รูปที่ 3 แสดงถึงการหักเหของแสงเมื่อขนาดของมุม (A) ที่เข้าทางอินพุตที่แตกต่างกัน

ทางคณิตศาสตร์ ให้สามารถนำมาใช้กับเส้นใยแก้วรูปทรงกระบอกได้ ในรูป 2 แสดงส่วนต่าง ๆ ของเส้นใยแก้วนำแสง

ในรูปที่ 3 แสดงถึงทางเข้าของแสงที่ฉายเข้าไปในแกนของเส้นใย ซึ่งจะถูกลมุมให้มิติของการหักเหเป็น n_1 รังสีนี้เมื่อมันเคลื่อนที่จากอากาศเข้าสู่เส้นใยแสงแล้วมันจะเคลื่อนที่เป็นวิถีโค้งสื่อกกลางในการนำรังสีให้เคลื่อนที่ไปนี้จะมีค่าดัชนีของการหักเหสูงกว่า และแสดงรังสีที่ถูกสะท้อนเมื่อรังสีได้สัมผัสกับแกนของเส้นใยแสง และแคล็ดดิง นอกจากนี้ยังแสดงรังสีที่ตกกระทบจากอากาศที่มุมหนึ่งๆ ซึ่งจะเป็นไปได้ว่ารังสีจะหักเหจนรังสีวิ่งขนานกับแกนและแคล็ดดิง ถ้ามุมของการฉายรังสีถูกเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยมีจุดจำกัดที่จุดหนึ่ง ซึ่งจุดนั้นจะทำให้การสะท้อนทั้งหมดอยู่ภายในเส้นใย ต่อมาแสงจะผ่านเข้าไปในเนื้อสารของแคล็ดดิงและทำให้เกิดการสูญเสียขึ้น ที่ซึ่งแกนของเส้นใยและแคล็ดดิงนั้นมีค่าดัชนีหักเหจำเพาะเป็น 1 และ 2 ซึ่งมีชื่อเรียกกันว่า การแบ่งชั้นดัชนีของเส้นใย ซึ่งจะมีความเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนี

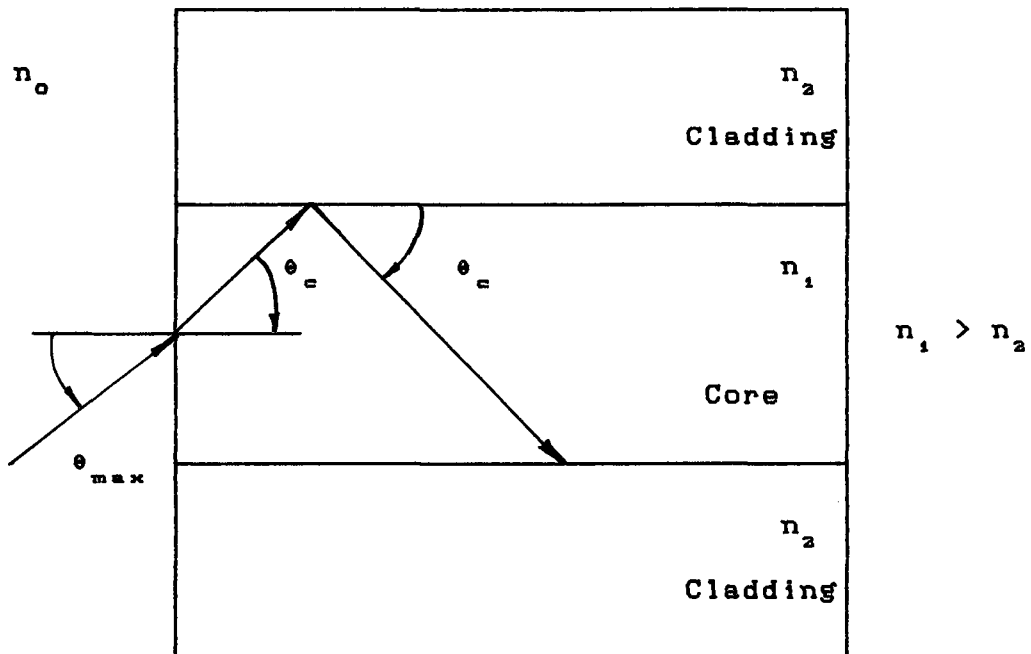
การหักเหระหว่างแกนของเส้นใยกับเคลือบ

นิวเมอร์ริคอล อีเพอเจอร์ (NA) คือ ค่าทางตัวเลขที่แสดงถึงขีดขั้นความสามารถของการรับแสงเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสงนั้น ซึ่งมีสูตรเป็นดังนี้

$$NA = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

โดยที่ n_1, n_2 เป็นค่าดัชนีการหักเหของแกนเส้นใยและเคลือบ

มุม A คือมุมที่ทำให้แสงเดินทางเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสงได้ซึ่งไม่เกินค่ามุม θ_{max} ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงค่ามุมตกกระทบสูงสุด θ_{max} ที่ปลายของเส้นใยแก้วนำแสงแล้วแสงยังผ่านเข้าไปได้

สูตรการหาค่า θ_{max} เป็นดังนี้

$$\theta_{max} = \sin^{-1} [(n_1/n_0) \sin(\theta_c)] \quad -(1)$$

และ

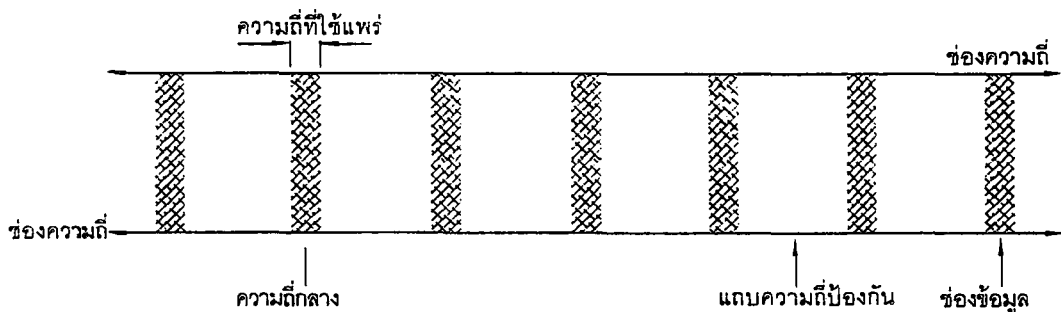
$$\theta_c = \cos^{-1} (n_2/n_1) \quad -(2)$$

ความแตกต่างของการส่งสัญญาณแสง ระหว่างเส้นใยชนิดซิงเกิลโหมดและเส้นใยชนิดมัลติโหมดนั้น ซิงเกิลโหมดโดยทั่วไป จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนประมาณ 80 ไมครอน ในขณะที่มัลติโหมดประมาณ 50 ไมครอน ลูกคลื่นของแสงที่ป้อนไปยังปลายด้านหนึ่งของเส้นใยชนิดมัลติโหมด จะสามารถส่งออกเป็นชุด ๆ ในโหมดแตกต่างกันภายในเส้นใย ซึ่งแต่ละเส้นของแกนนั้นจะมีความเร็วของแสง ที่แตกต่างกันน้อยมากเพื่อที่ว่าสัญญาณลูกคลื่นลูกสุดท้ายจะได้แพร่กระจายออกไปยังปลายอีกด้านหนึ่ง คือตัวรับสัญญาณระยะทางในการแพร่กระจาย ประมาณ 100 เมตร ซึ่งทุกๆสัญญาณจะเริ่มออกไปด้วยกันและมันจะแพร่ไปที่ปลายของเส้น จำนวนของการแพร่กระจายนั้นจะกำหนดโดยความถี่สูงสุดของสัญญาณที่เส้นนั้น ๆ สามารถรับได้ในการส่งสัญญาณไปในระยะทางที่ไกลมากขึ้นนั้นจะต้องอาศัยความแตกต่างจากของช่วงเวลาของการไปถึงตัวรับสัญญาณในแต่ละเส้น และต้องใช้ความแตกต่างของช่วงเวลานั้นน้อยที่สุด มิฉะนั้นจะเกิดความแทรกแซงกันขึ้นของสัญญาณอย่างไรก็ตามเส้นใยชนิดซิงเกิลโหมดนั้นก็ยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่นกันโดยใช้หลักการของวิธีการการส่งข้อมูลแบบส่งเดี่ยว เพื่อที่จะได้เกิดการแพร่กระจายของสัญญาณแสงน้อยที่สุด ในการส่งข้อมูลไปกับเส้นใยนั้นยังมีอีกหลายวิธีซึ่งวิธีต่างๆเหล่านี้ยังคงไม่ได้นำมาใช้ กันแพร่หลาย

2.4 ตัวรับสัญญาณ

คุณภาพของการส่งสัญญาณไปตามสายเคเบิลของเส้นใยแสงนั้น จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของแหล่งจ่ายสัญญาณเป็นอย่างมากโดยทั่วไปแสงจะถูกปล่อยออกมาจากไดโอดเลเซอร์หรือเลเซอร์ไดโอด ปัจจัยสำคัญที่สัมพันธ์กับขนาดของความยาวคลื่นแสงที่แพร่กระจายออก

คือฟังก์ชันของจุดทำงานและอุปกรณ์ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วในจำนวนปัจจัยทั้งหมดนี้ เลเซอร์จะมีความสำคัญที่สุดในการปฏิบัติงาน โดยปกติเลเซอร์จะมีค่าการสูญเสียในการเชื่อมต่อกับเส้นใยแสงต่ำกว่าปัจจัยตัวอื่นๆ เนื่องจากการแผ่รังสีของเลเซอร์นั้นมีการกระจายแสงต่ำ และนี่เองจึงเป็นการเพิ่มความสนใจในการนำเส้นใยแสงมาใช้ ดังนั้นมันจึงกลายเป็นสื่อกลางล่าสุดสำหรับการใช้งานทางด้านการศึกษา



รูปที่ 5 แสดงถึงความกว้างของแถบคลื่นนำใช้งานของเส้นใยแสงซึ่งสามารถใช้ได้โดยจะแสดงเป็นช่วงที่กำหนดลงภายในช่องความถี่ที่ใช้งานได้

2.5 ขอบเขตการใช้งานของเส้นใยแสง

การติดต่อสื่อสารโดยใช้คลื่นแสงในอนาคต จะมีการใช้ช่องในการส่งที่มีความ

แตกต่างกันลงไป在线ใยแสงเพียงเส้นเดียวมากขึ้นกว่าเดิม และได้มีการค้นหาตัวนำที่เหมาะสมเพื่อทำให้บรรลุเป้าหมาย นั่นก็คือทำให้แถบการใช้งานนั้น มีความสามารถใช้งานได้ในย่านที่กว้างมากที่สุด ในแถบการใช้งานของความถี่นั้นจะใช้ความถี่รอบๆศูนย์กลาง ซึ่งจะส่งออกจากช่องข้อมูลที่ซับซ้อนลงบนเส้นใยแสง ดังรูปที่ 5 มีปัญหาเกิดขึ้นมากในการที่จะส่งชุดสัญญาณ ซึ่งมีขนาดของคลื่นแสงที่แตกต่างกันผ่านลงบนเส้นใย อันตัวแรกก็คือ ช่วงของวิธีการส่งแบบส่งเดี่ยวนั้นจะมีแถบความกว้างของคลื่นที่แคบมาก และเส้นในการส่งก็ต้องการความคงตัวของแสงเลเซอร์ที่ส่งด้วย ในสัญญาณแสงแต่ละสัญญาณจะมีการนำไปผสมกับข้อมูลที่ เป็นดิจิตอลก่อนที่จะส่งลงไปบนเส้นใย และจะมีการตรวจสอบ และป้องกันอีกครั้งหนึ่ง ที่ความถี่กลางที่ตำแหน่งเอาต์พุต ซึ่งนี้ทำให้เกิดปัญหาที่ตัวรีฟริคเตอร์ ซึ่งจะช่วยลดเครื่องมือทางเทคนิคเล็กๆน้อยๆลงได้ มีการทดลองที่สำคัญอันหนึ่งโดยนักวิจัยพบว่า สัญญาณที่ซับซ้อนนั้น ได้จากการรวมชุดของสัญญาณเลเซอร์ซึ่งสามารถแยกเป็น 10 สัญญาณได้สำเร็จซึ่งแต่ละสัญญาณจะมีความเร็วเป็น 2 จิกะบิตต่อวินาทีผลจากข้างต้นจะได้รับความสามารถในการรับข้อมูลทั้งหมดของเส้นใยแสงมีค่าเท่ากับ 20 จิกะบิตต่อวินาที เส้นใยชนิดซึ่งเกิดโหมดจะมีอัตราการจำกัดข้อมูลต่อช่องสูงกว่าแบบอื่น ในการใช้งานเมื่อจะส่งสัญญาณไปยังเส้นใยแสงนั้นจะทำให้ขนาดของคลื่นแสงแยกกันออกไปและไม่เหลื่อมซึ่งกันและกัน ในปัจจุบัน ความสามารถในการรับข้อมูลของเส้นใยแสง ก็ยังคงถูกพัฒนาให้สามารถรับได้เพิ่มมากขึ้นต่อไป

2.6 การกำเนิดสัญญาณ

ระบบด้านเดิมนั้น สัญญาณจะถูกกำเนิดขึ้นโดยการใช้ไฟโตไดโอด แต่หลังจากที่ขบวนการอิเล็กทรอนิกส์รุดหน้ามากขึ้นก็ได้ใช้สัญญาณ โดยการผสมเอาแสงที่ซับซ้อนมาจากไดโอดหรือเครื่องมือเลเซอร์อีกครั้ง สัญญาณโฟตอนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นอิเล็กทรอนิกส์และจากนั้นก็กลับไปเป็นโฟตอนอีก ในระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่เจริญรุดหน้าจะใช้ในระบบนี้ มีแนวโน้มที่จะกำจัดการปฏิบัติงานให้มีอัตราการส่งข้อมูลที่แน่นอนตายตัว ซึ่งนี่เองสามารถทำให้สิ่งล้าหลังมีการยกระดับของการเชื่อมต่อเส้นใยแสง ให้สามารถส่งข้อมูลได้ในอัตราที่สูงขึ้น

มีการพัฒนาเครื่องกำเนิดสัญญาณแสง และเครื่องมือจำพวกแรกที่ได้ค้นคว้ากันก็คือ เครื่องขยายสัญญาณแสงโดยใช้สารกึ่งตัวนำ ซึ่งโฟตอนนั้นจะถูกส่งเข้าไปในสารกึ่งตัวนำชิ้นเล็กๆ ที่ให้คลื่นตัวนำ และการขยายก็จะเกิดขึ้น กล่าวคือ แสงจะถูกขับออกมาโดยเลเซอร์ ซึ่งถูกกระตุ้นโดยโฟตอนจากการส่งสัญญาณเข้าไปในข้างต้น ค่าการสูญเสียที่จุดเชื่อมต่อนั้นเป็นค่าที่สำคัญอีกค่าหนึ่ง ซึ่งมันสามารถจะเกิดได้ที่จุดต่อระหว่างเส้นใยกับภาคขยายที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ ถ้ามีการเข้าคู่กันผิดในเรื่องของคุณสมบัติทางแสงของสารที่ใช้ เพราะตัวขยายแสงจะเข้าไปแทนที่ในบริเวณที่มีการส่งที่สั้นมากกว่าผ่านไปยังสื่อตัวกลาง เครื่องมือนี้จะต้องการการถูกขับที่กระแสสูงประมาณ 200 มิลลิแอมป์ โดยเปรียบเทียบกับเลเซอร์ไดโอดซึ่งปกติจะต้องการกระแสประมาณ 50 มิลลิแอมป์ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันก็ยังมีความพยายามที่จะพัฒนาเพื่อให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

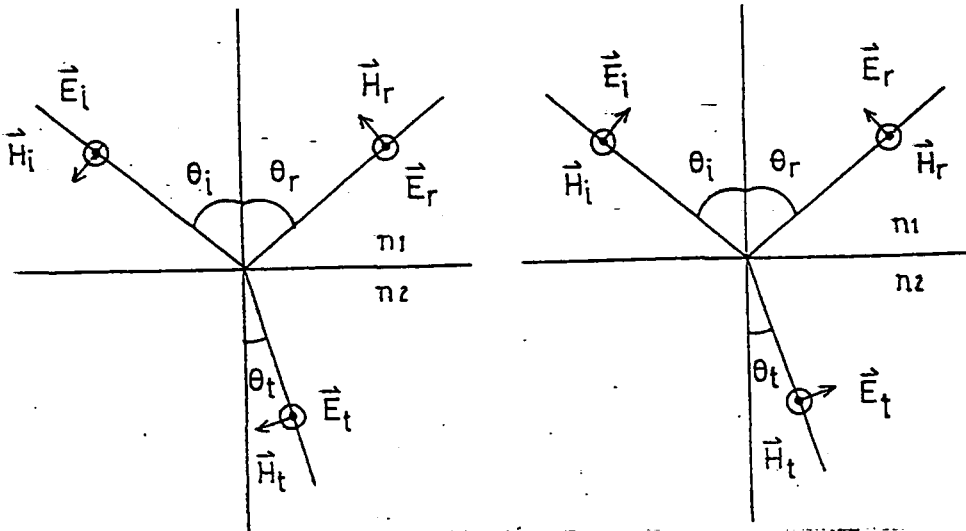
2.7 สภาพสังคมของการติดต่อสื่อสารโดยใช้เส้นใยนำแสง

ในปัจจุบันเส้นใยนำแสง ได้มีอิทธิพลต่อการติดต่อสื่อสารเป็นอย่างมากซึ่งเส้นใยแสงนี้ได้เข้ามามีบทบาทแทนการติดต่อสื่อสารแบบเก่าที่มีความซับซ้อน ในขณะที่เดียวกันจำนวนของผู้ใช้โทรศัพท์ในโลกนี้ก็เพิ่มขึ้น จึงมีการวิจัยและปรับปรุงประสิทธิภาพและราคาของอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารให้มีความสอดคล้องกัน แต่ในบางประเทศที่ด้อยพัฒนาการติดต่อสื่อสารจะมีข้อเสียอยู่มาก นั่นก็คือมีราคาที่สูงมาก ดังนั้นเส้นใยแสงจึงสามารถสะท้อนให้เห็นได้ด้วยว่าประเทศต่าง ๆ ในโลกมีการพัฒนาไปได้มากน้อยเพียงใด

2.8 การส่งผ่านของแสงบริเวณขอบเขตที่ต่างกัน

เมื่อแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งผ่านจากตัวกลางหนึ่ง เข้ากระทบผิวขอบเขตระหว่างตัวกลางนั้นกับอีกตัวกลางหนึ่ง โดยทั่วไปผลที่ได้คือกำลังของคลื่นส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับ และอีกส่วนหนึ่งจะส่งผ่านเข้าไปในตัวกลางที่สอง การสะท้อนกลับและการส่งผ่านของคลื่นนี้ จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขขอบเขตทางแม่เหล็กไฟฟ้า กล่าวคือ ส่วนประกอบใน

แนวสัมผัสของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจะต้องต่อเนื่อง และฟลักซ์ในแนวตั้งฉากของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจะต้องต่อเนื่องเช่นเดียวกัน และเนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่พิจารณาอยู่นี้ เป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้นเงื่อนไขที่ว่าสนามต้องต่อเนื่องที่ผิวขอบเขตนั้น จึงบังคับทั้งขนาดและเฟสของคลื่น จากรูปที่ 5 แสดงระนาบที่ทำการคิดเงื่อนไขขอบเขต โดยทั่วไปจะพิจารณาในระนาบสองแบบด้วยกันคือ ระนาบที่ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า และระนาบที่ขนานกับสนามไฟฟ้า ในระนาบทั้งสองนี้มีคุณสมบัติในการสะท้อนและส่งผ่านคลื่นจะไม่เหมือนกัน ถ้าให้ E_i , E_r , E_t เป็นสนามไฟฟ้าของคลื่นตกกระทบ คลื่นสะท้อน และคลื่นส่งผ่านตามลำดับ



ก ระนาบที่ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า ข ระนาบที่ขนานกับสนามไฟฟ้า

รูปที่ 6 ระนาบที่ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าและระนาบที่ขนานกับสนามไฟฟ้า

ในกรณีของตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าจะได้อัตราสะท้อนกลับ และอัตราการส่งผ่านดังนี้

$$\text{อัตราการสะท้อนกลับ} = E_r / E_i = \frac{n_2 \cos \theta_1 - n_1 \cos \theta_2}{n_2 \cos \theta_1 + n_1 \cos \theta_2}$$

$$\text{อัตราการส่งผ่าน} = E_t / E_i = \frac{2n_2 \cos \theta_1}{n_2 \cos \theta_1 + n_1 \cos \theta_2}$$

$$\text{โดย } n_1 = (u_o / v_1)^{1/2} = [u_o / (n_1^2 v_o)]^{1/2}$$

$$n_2 = [u_o / (n_2^2 v_o)]^{1/2}$$

ในกรณีของระนาบที่ขนานกับสนามไฟฟ้าจะได้อัตราการสะท้อนกลับและอัตราการส่งผ่านดังสมการ

$$\text{อัตราการสะท้อนกลับ} = \frac{n_1 \cos \theta_1 - n_2 \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2}$$

$$\text{อัตราการส่งผ่าน} = \frac{2n_2 \cos \theta_1}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2}$$

เนื่องจากอัตราการสะท้อนกลับของกำลังคลื่น R อัตราการส่งผ่านของกำลังคลื่น T จะเท่ากับกำลังสองของค่าสัมบูรณ์ของ T และ ตามลำดับ ดังนั้นจะได้ R T และ R T ดังสมการ

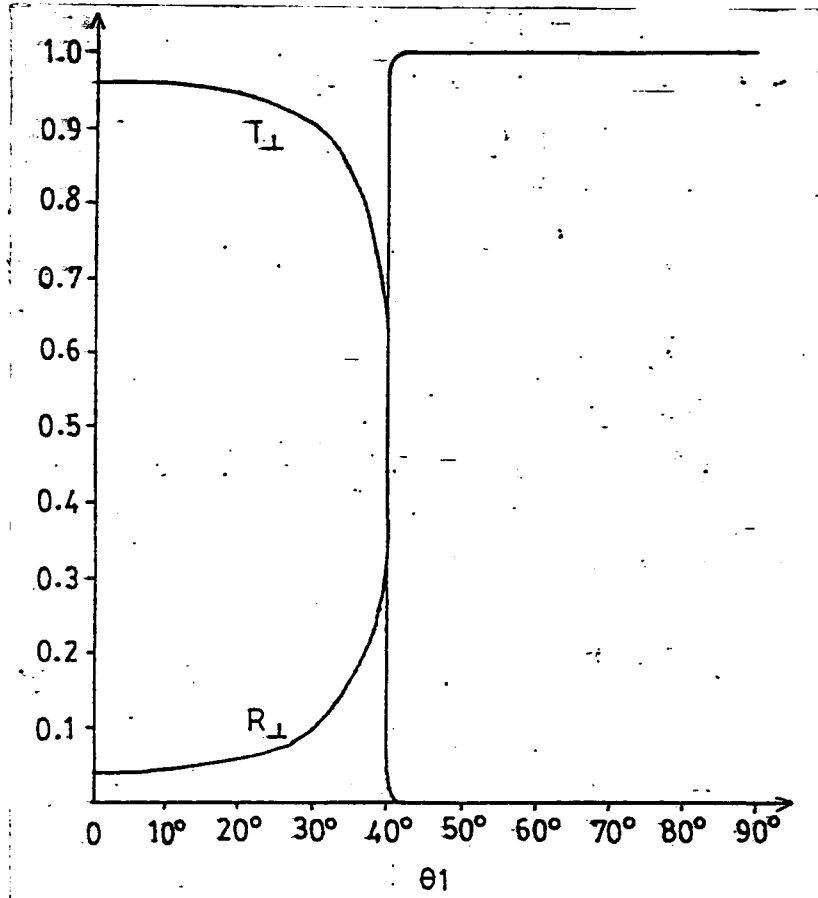
$$R_{\perp} = \frac{|n_1 \cos \theta_1 - (n_2^2 - n_1^2 \sin^2 \theta_1)^{1/2}|^2}{|n_1 \cos \theta_1 + (n_2^2 - n_1^2 \sin^2 \theta_1)^{1/2}|^2}$$

$$T_{\perp} = \frac{4n_1 \cos\theta_1 (n_2^2 - n_1^2 \sin^2\theta_1)^{1/2}}{|n_1 \cos\theta_1 + (n_2^2 - n_1^2 \sin^2\theta_1)^{1/2}|^2}$$

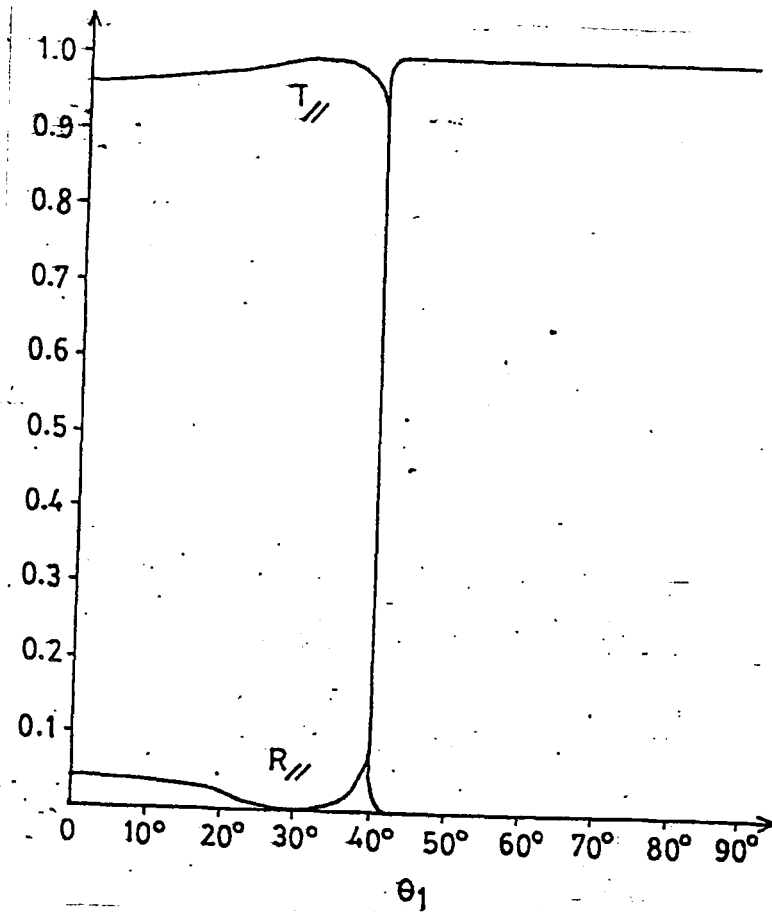
$$R_{//} = \frac{|n_2 \cos\theta_1 - n_1 / n_2 (n_2^2 - n_1^2 \sin^2\theta_1)^{1/2}|^2}{|n_2 \cos\theta_1 + n_1 / n_2 (n_2^2 - n_1^2 \sin^2\theta_1)^{1/2}|^2}$$

$$T_{//} = \frac{4n_1 \cos\theta_1 (n_2^2 - n_1^2 \sin^2\theta_1)^{1/2}}{|n_2 \cos\theta_1 + n_1 / n_2 (n_2^2 - n_1^2 \sin^2\theta_1)^{1/2}|^2}$$

รูปที่ 7 และ 8 แสดงค่า R T R T ของกรณีที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งผ่านจากแก้วเข้าสู่อากาศ คือ $n_1 = 1.5$ $n_2 = 1.0$ จากรูปทั้งสองจะเห็นว่า ถ้ามุมตกกระทบใกล้ 0 องศา จะมีการสะท้อนกำลังคลื่นกลับมาประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ และส่วนที่เหลือจะส่งผ่านเข้าสู่อากาศ อีกกรณีหนึ่งคือมุมตกกระทบใกล้เคียงกับ 90 องศา จะมีกำลังคลื่นสะท้อนกลับมาเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์โดยไม่มีเฟาเวอร์ส่งผ่านเข้าสู่อากาศเลย กรณีแรกเป็นกรณีที่ใกล้เคียงกับการสะท้อนกลับจากปลายสายของเส้นใยแสง ซึ่งมุมตกกระทบจะใกล้เคียงกับ 0 องศา ส่วนกรณีหลังนั้นเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การสะท้อนกลับหมด (Total reflection) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้สารไดอิเล็กตริกสามารถนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ในขณะเดียวกันก็เป็นหลักการพื้นฐานในการนำแสงของเส้นใยแสงด้วย



รูปที่ 7 อัตราการสะท้อนกำลังคลื่นและการส่งผ่านกำลังคลื่นในกรณีของระนาบที่ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า



รูปที่ 8 อัตราการสะท้อนกำลังคลื่นและอัตราการส่งผ่านกำลังคลื่นในกรณีของระนาบที่ขนานกับสนามไฟฟ้า

ในกรณีที่แสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งผ่านจากอากาศสู่แก้ว ก็จะมีการสะท้อนกลับและการส่งผ่านของกำลังคลื่นเกิดขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามจะมีกรณีที่เฉพาะกรณีหนึ่งที่ไม่เกิดการสะท้อนกลับของคลื่น คือกรณีที่มุมตกกระทบเท่ากับมุมบรีวสเตอร์ ในกรณีของระนาบขนานกับสนามไฟฟ้า เมื่อมุมตกกระทบของคลื่นเท่ากับ มุมบรีวสเตอร์กำลังคลื่นทั้งหมดจะส่งผ่านเข้าสู่ตัวกลางที่สอง โดยไม่สะท้อนกลับมายังตัวกลางที่หนึ่ง ปรากฏการณ์ที่กล่าวมา จะเป็นหลักการพื้นฐานที่ใช้ในการออกแบบ และสร้างคลื่นตรวจตำแหน่งสายขาดของเส้นใยนำแสงในงานวิจัยนี้

2.9 ประเภทของเส้นใยแสงและคุณสมบัติในการส่งผ่านแสง

2.9.1 ประเภทของเส้นใยแสง

เส้นใยแสงนั้นถ้าแบ่งตามวัสดุที่ใช้ในการผลิตจะแบ่งได้กว้างๆออกเป็น 2 ชนิดคือทำด้วยพลาสติก และทำด้วยแก้ว ชนิดที่ทำด้วยพลาสติกนั้นมีค่าการสูญเสียสูงจึงไม่ถูกนำมาใช้ในงานสื่อสารโทรคมนาคม สำหรับชนิดที่ทำด้วยแก้วนั้นจะมีค่าการสูญเสียต่ำ จึงนิยมนำมาใช้ใช้งานกัน

โครงสร้างของเส้นใยแสงที่ใช้ในงานสื่อสารโดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 3 แบบคือ

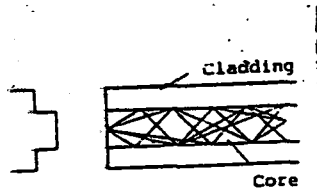
- 1) แบบ step index
- 2) แบบ Graded index
- 3) แบบ Single mode

โดยที่ทั้ง 3 แบบนี้จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน คือ 125 μm

รูปที่ 8 แสดงโครงสร้างและลักษณะการกระจายของดัชนีหักเหของสายทั้ง 3 แบบนี้ เส้นใยแสงแบบ Step index และ Graded index จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนที่เป็นคอร์ เป็น 50 μm และเส้นผ่าศูนย์กลางส่วนที่รวมเค้ลดึงเข้าไปด้วยจะเป็น 125 μm เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์มีขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นของแสงที่ผ่านซึ่งประมาณ 1 μm แสงจึงส่งผ่านสายชนิดนี้ได้หลายๆโหมดพร้อมกัน โดยที่สายแบบ Step index โหมดของแสงทั้งหลายนี้จะผ่านไปด้วยความเร็วที่ต่างกัน ซึ่งทำให้พัลส์ของแสงที่ส่งออกไปค่อยๆลู่กว้างออกเพราะกำลังคลื่นที่ไปกับโหมดต่างๆ เดินทางถึงตำแหน่งเดียวกันไม่พร้อมกัน ปารกฏการณ์นี้เรียก Modal dispersion

ปรากฏการณ์จะเป็นผลเสียเพราะจะทำให้แบนด์วิดท์ของเส้นใยแสงแคบลง เส้นใยแสงแบบ step index นี้จึงไม่ถูกนำมาใช้ในการส่งสัญญาณความถี่สูงๆ เป็นระยะทางไกลๆ

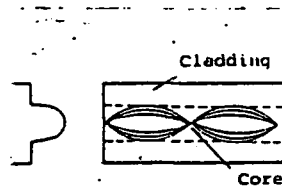
Step index



cladding

core

Graded index



cladding

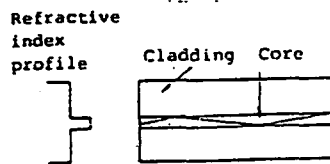
core

Single mode

refractive index profile

cladding

core



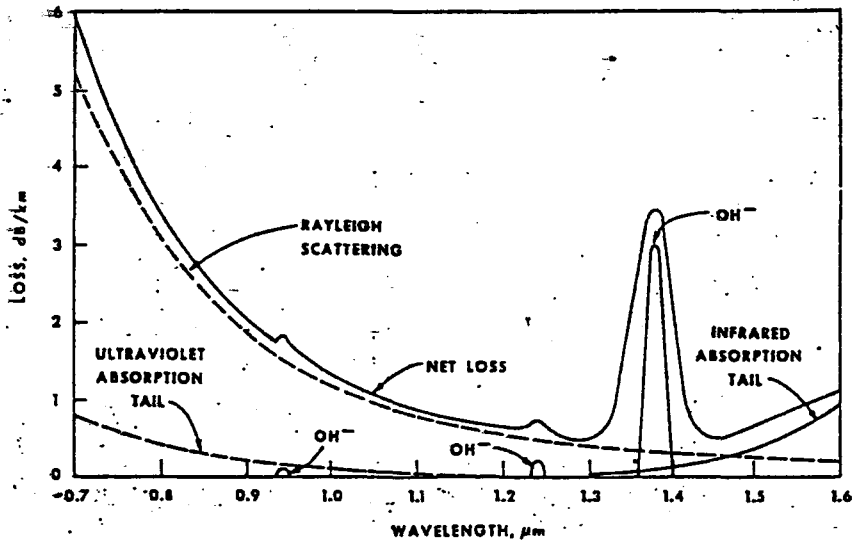
รูปที่ 9 แสดงโครงสร้างและลักษณะการกระจายของดัชนีหักเหของเส้นใยแสงแบบต่างๆ

การลู่ออกของพัลส์ของแสงนั้น นอกจากจะเกิดจาก Modal dispersion แล้วยังเกิดจาก material dispersion and Waveguide dispersion ด้วย แต่โดยทั่วไปผลกระทบจาก Modal dispersion จะมีขนาดใหญ่กว่าอีกสองอันที่เหลืออย่างมาก เส้นใยแสงแบบ Graded index นั้นถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาจาก Modal dispersion ดังกล่าว เพราะการทำให้ดัชนีหักเหในแนวรัศมีมีการกระจายในรูปดังนี้จะทำให้ความเร็วรูปของโหมดต่างๆ ใกล้เคียงกันมาก Modal dispersion ก็จะส่งผลกระทบในการส่งผ่านพัลส์น้อยลง เพราะฉะนั้นเส้นใยแสงแบบนี้จึงมีที่ใช้ในงานสื่อสารมากกว่าแบบแรก เส้นใยแสงแบบที่สาม คือแบบ Single mode นั้นเมื่อพิจารณาในแง่การกระจายของดัชนีหักเหแล้วจะเหมือนกับ Step index แต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์จะเล็กกว่าเก่าคือ เหลือประมาณ 10 μm การทำคอร์ให้มึขนาดเล็กลงก็เพื่อให้โหมดของแสงที่ส่งผ่านได้มีเพียงโหมดเดียวคือ โหมดพื้นฐาน ในเรื่องไขเช่นนี้ปัญหาของ Modal dispersion ก็จะหมดไป การลู่กว้างออกของพัลส์ของแสงก็จะเกิดจาก Material dispersion and Waveguide dispersion เท่านั้น ดังนั้นเส้นใยแสงแบบนี้จึงเหมาะสำหรับการส่งสัญญาณที่มีความถี่สูงและระยะทางไกลๆ

2.9.2 การบั่นทอนกำลังคลื่นในเส้นใยแสง

การบั่นทอนกำลังคลื่นในเส้นใยแสงนั้นมีสาเหตุหลักๆ 5 ประการ

- 1 การดูดกลืนกำลังคลื่นของสารซิลิกา
- 2 การดูดกลืนกำลังคลื่นของอิมพurityของสิ่งแปลกปลอม
- 3 การบั่นทอนกำลังคลื่นเนื่องจาก Rayleigh scattering
- 4 การบั่นทอนกำลังคลื่นเนื่องจาก Waveguide scattering
- 5 การบั่นทอนกำลังคลื่นเนื่องจาก Microbending



รูปที่ 10 แสดงกราฟของการบั่นทอนกำลังอันเนื่องมาจาก

- 1 การดูดกลืนกำลังคลื่นของสารซิลิกา
- 2 การดูดกลืนกำลังคลื่นของไอออนของสิ่งแปลกปลอม
- 3 การบั่นทอนกำลังคลื่นเนื่องจาก Rayleigh scattering

รูปที่ 10 แสดงการบั่นทอนจากข้อ 1 ถึงข้อ 3 จะเห็นว่าการดูดกลืนกำลังคลื่นของสารซิลิกานั้น ในย่านความยาวคลื่นอัลตราไวโอเล็ตจะมีค่าต่ำมากจนไม่มีผลแต่อย่างไร แต่การดูดกลืนกำลังคลื่นในย่านอินฟราเรดนั้น จะมีค่าสูงและเป็นตัวกำหนดความยาวคลื่นสูงสุดที่สามารถผ่านเส้นใยแสงแบบนี้ได้ ซึ่งมีค่าประมาณ 1.7 μm สำหรับการดูดกลืนกำลังคลื่นของไอออนของสิ่งแปลกปะนั้น ไอออนที่เป็นปัญหามากคือไอออนไฮดรอกซิล ไอออนของเหล็ก ไอออนทองแดงและไอออนของโครเมียมซึ่งไอออนทั้ง 4 นี้มีศูนย์กลางของการดูดกลืนอยู่ที่ความยาวคลื่น 2.7 μm 1.1 μm 0.85 μm และ 0.65 μm ตามลำดับ สำหรับไอออนของไฮดรอกซิลนอกจากความยาวคลื่น 2.7 μm แล้ว ยังดูดกลืนความยาวคลื่น 1.39 μm 1.25 μm 0.95 μm ด้วย ดังจะเห็นได้จากค่าบั่นทอนสัญญาณในรูป 9

การบั่นทอนเนื่องจาก Rayleigh scattering นั้นเกิดจากปรากฏการณ์ที่เนื้อสารซิลิกาที่มีความไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเสมอเพราะในกระบวนการการผลิตต้องมีการให้ความร้อนแก่สารซิลิกาแล้วปล่อยให้เย็นลง ในช่วงเย็นตัวลงนี้สารซิลิกาจะเข้าสู่ภาวะเสถียรโดยที่มีค่าดัชนีหักเหเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งซึ่งจะส่งผลให้เกิดการกระจายกระจายของคลื่น และเป็นการบั่นทอนกำลังคลื่นที่ส่งผ่าน ค่าการบั่นทอนกำลังคลื่นเนื่องจาก Rayleigh scattering นี้ จะแปรผกผันกับ เพราะฉะนั้นที่ความยาวคลื่นในย่านอินฟราเรดที่มากกว่า 2 μm ขึ้นไปจะมีปัญหาน้อยมาก แต่ในช่วงความยาวคลื่นที่ต่ำกว่าอินฟราเรดลงมา จะมีค่าใหญ่กว่าการบั่นทอนสัญญาณจากการดุดคลื่น Waveguide scattering and Microbending นั้นเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของเส้นใยแสงที่ได้จากกระบวนการผลิต กล่าวคือ ผิวขอบเขตระหว่างคอร์กับเคลือบโดยทั่วไปจะไม่เรียบซึ่งส่งผลให้เกิดการกระจายกระจายของคลื่นและเกิดจากการบั่นทอนกำลังคลื่น เราเรียกสภาวะดังกล่าวนี้ว่า Waveguide scattering สำหรับ Microbending นั้น คือสภาวะที่แกนของเส้นใยแสงเป็นเส้นโค้งแทนที่จะเป็นเส้นตรง ซึ่งเราพบว่าการที่แกนของเส้นใยแสง เป็นเส้นโค้งนี้จะทำให้เกิดโหมดที่กระจายคลื่น Radiation mode ขึ้นซึ่งก็จะเกิดการบั่นทอนกำลังคลื่นเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีการผลิตเส้นใยแสงในปัจจุบันได้พัฒนาไปมาก จนทำให้ค่าการบั่นทอนกำลังคลื่นที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตมีค่าต่ำลงมาก และใกล้เคียงกับการสูญเสียโดยเนื้อแท้ของสารคือ การดุดคลื่นกำลังคลื่นในย่านอินฟราเรด และการเกิด Rayleigh scattering ในย่านความยาวคลื่นที่ต่ำกว่าอินฟราเรด

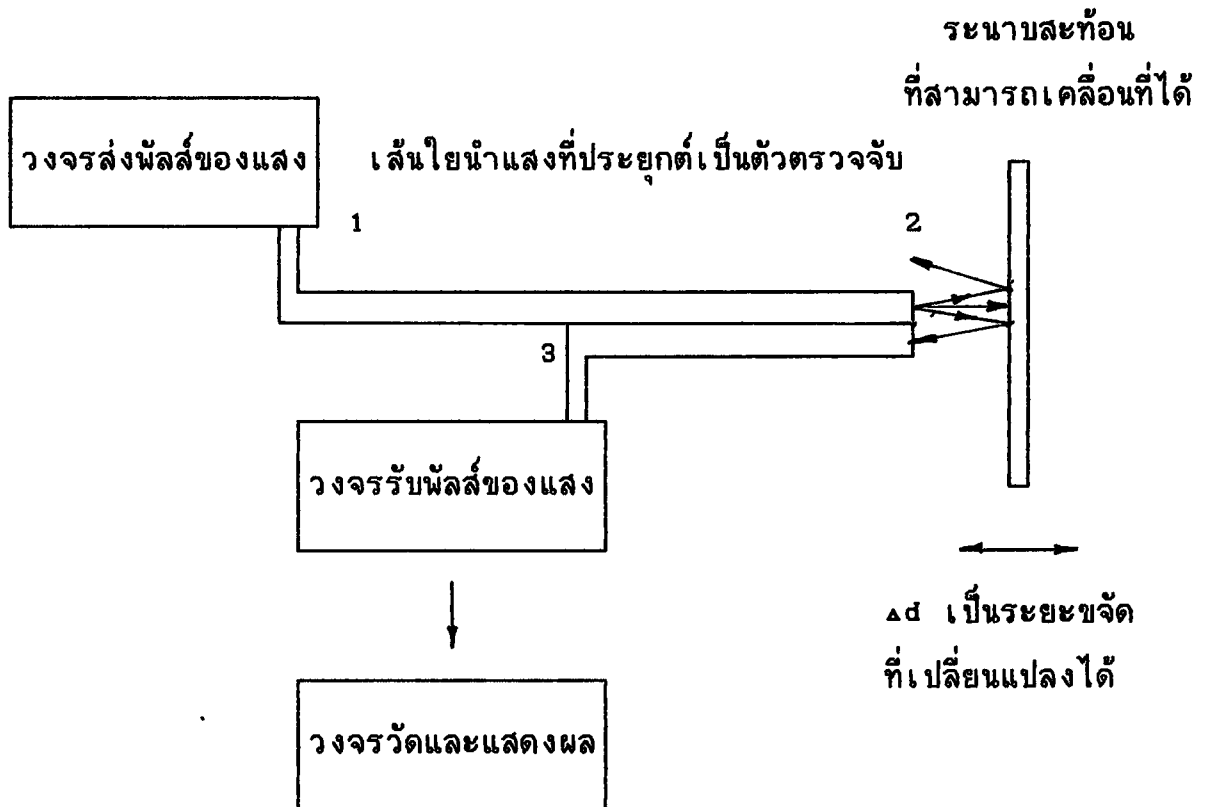
โดยสรุปที่ 10 จะเห็นได้ว่า ความยาวคลื่นที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันคือ 0.85 μm 1.3 μm อยู่ในช่วงที่เส้นใยแสงแบบซิลิกานี้มีค่าการบั่นทอนกำลังคลื่นค่อนข้างต่ำคือ ประมาณ 2.5 dB/km และ 0.7 dB/km ตามลำดับ อย่างไรก็ตามความยาวคลื่นที่มีค่าการบั่นทอนกำลังคลื่นต่ำที่สุดจะมีค่าประมาณ 1.55 μm และเทคโนโลยีสำหรับความยาวคลื่นนี้ก็ได้รับการพัฒนาไปมากจนคาดว่าสามารถนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

บทที่ 3

หลักการและการออกแบบเครื่องมือ

3.1 โครงสร้างและการทำงานของเครื่องวัด

โดยอาศัยหลักการของการนำเอาเส้นใยนำแสงมาประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของระยะทางซึ่งได้กล่าวถึงหลักการไว้แล้วในบทที่ 2 เมื่อนำมาพิจารณาออกแบบโครงสร้างของเครื่องตรวจจับการเปลี่ยนแปลงระยะทางจะพบว่า เครื่องจะต้องมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะและโครงสร้างโดยทั่วไป

โดยประกอบด้วย

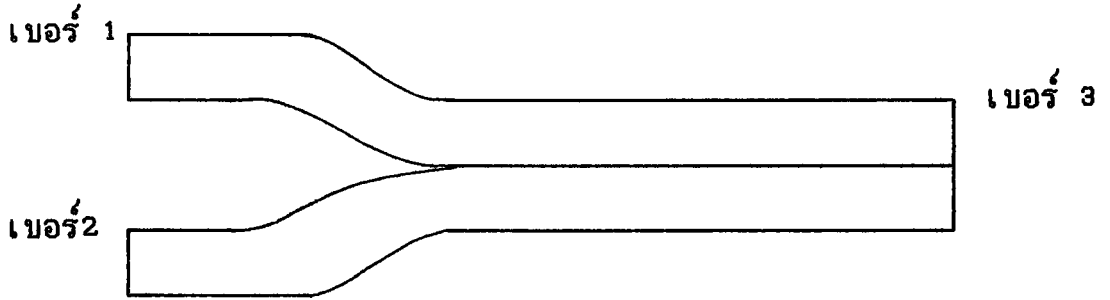
- ก. วงจรส่งพัลส์ของแสง
- ข. เส้นใยนำแสงที่ประยุกต์เป็นตัวตรวจจับการเปลี่ยนระยะทาง
- ค. แผ่นระนาบสะท้อน
- ง. วงจรรับพัลส์ของแสง
- จ. วงจรวัดและแสดงผล

3.1.1 หลักการและแนวความคิดของวงจรส่งพัลส์ของแสง

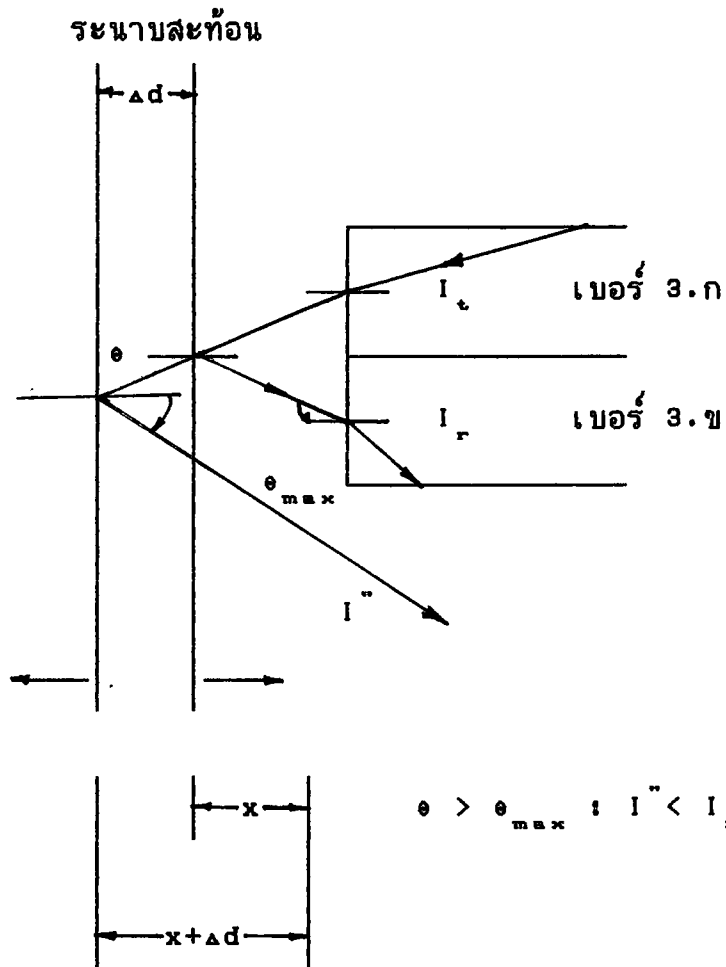
ประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการผลิตสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยม ที่ควบคุมการผลิตพัลส์ได้ และแหล่งกำเนิดแสงซึ่งแสงจากแหล่งกำเนิด สัญญาณแสงที่ได้จะถูกคัปปลิ่งเข้าไปในเส้นใยนำแสงเส้นที่ 1 (เบอร์ 1) ซึ่งสัญญาณของแสงจะถูกส่งออกผ่านทางปลายของเส้นใยนำแสงเส้นที่ 1 (เบอร์ 2) และจะไปตกกระทบบนแผ่นสะท้อนแล้วสะท้อนกลับมายังภาครับ ซึ่งก็เป็นเส้นใยนำแสงเส้นที่ 2 (เบอร์ 3) โดยที่ปลายข้างหนึ่งถูกเชื่อมติดกับปลายของเส้นใยนำแสง เส้นที่ 1 (เบอร์ 2) เพื่อนำแสงไปยังวงจรรับพัลส์ของแสงต่อไป

3.1.2 เส้นใยนำแสงที่ประยุกต์เป็นตัวตรวจจับการเปลี่ยนจับระยะทาง

ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับ จะสร้างจากเส้นใยชนิด Multimode สองเส้นโดยทำการเชื่อมปลายของเส้นใยนำแสงทั้งสองเข้าด้วยกัน ปลายข้างหนึ่งจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณพัลส์ของ (เบอร์ 1) ปลายทางด้านที่ติดกัน (เบอร์ 2) จะทำหน้าที่ส่งและรับสัญญาณพัลส์ของแสง และที่ปลายเบอร์ 3 จะส่งสัญญาณแสงที่ได้จากการสะท้อนไปสู่วงจรรับพัลส์ของแสง ลักษณะเส้นใยนำแสงที่ประยุกต์เป็นตัวตรวจจับการเปลี่ยนระยะทางจะเป็นดังภาพที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของเส้นใยนำแสงที่นำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจจับการเปลี่ยนระยะทาง



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของสัญญาณแสงที่เข้าสู่ปลายเบอร์ 3 ของตัวตรวจวัด

จากภาพที่ 3.3 แสดงลักษณะของสัญญาณแสงที่ปลายของตัวตรวจจับเส้นใยนำแสง (เบอร์ 3) สัญญาณของแสงจะถูกส่งจากแหล่งกำเนิดแสงมีความเข้มของแสงที่ส่งออกไปให้เป็น I_0 สัญญาณแสงที่นี้จะออกไปสะท้อนกับระนาบสะท้อนและเข้าสู่เส้นใยนำแสงที่ปลาย เบอร์ 3.ข ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณแสง มีค่าความเข้มของแสงเป็น I_1 และมีค่าน้อยกว่า I_0

ในกรณีที่มีการเคลื่อนที่ของระนาบสะท้อนปริมาณความเข้มของแสงจะขึ้นกับระยะห่างระหว่างปลายตัวตรวจจับ (เบอร์ 3) กับระนาบสะท้อน หากระนาบสะท้อนอยู่ใกล้กับปลายตัวตรวจจับมากความเข้มของแสง I_1 ก็จะมีค่ามาก และในทำนองเดียวกัน หากระนาบสะท้อนอยู่ห่างจากปลายตัวตรวจจับมากความเข้มของแสง I_1 ก็จะน้อยลงตามลำดับ อย่างเช่น หากเติมระนาบสะท้อนให้มีระยะห่างจากปลายตัวตรวจจับเป็นระยะ x มีค่าความเข้มของแสงที่สะท้อนและเข้าสู่เส้นใยนำแสงมีค่าเป็น I_1 และต่อจากนั้นทำการเคลื่อนที่ระนาบสะท้อนให้ห่างจากปลายตัวตรวจจับเป็นระยะ xd จะทำให้ค่าความเข้มของแสงมีค่าเป็น I'' ความเข้มของแสง I_1 จะมีค่ามากกว่า I'' สาเหตุของเนื่องจากของความเข้มของแสงเนื่องจากลำแสงที่สะท้อนกับระนาบสะท้อนจะมีมุมสะท้อนที่มากกว่า 90° ซึ่งได้กล่าวรายละเอียดไว้ในบทที่ 2 แล้ว

3.1.3 แผ่นระนาบสะท้อน

ทำจากแผ่นกระจกสไลด์โดยนำมาเคลือบทองด้วยวิธี สเป็คเตอร์ริงค์

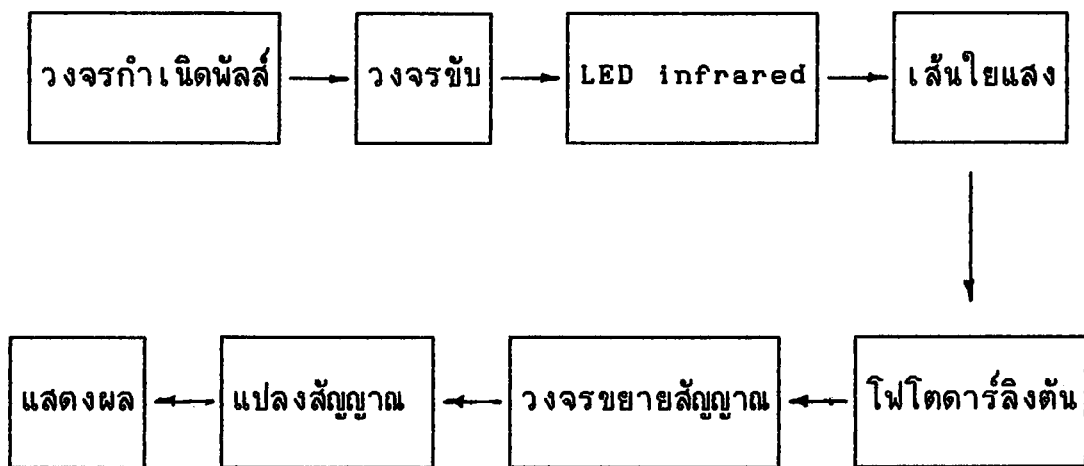
3.1.4 วงจรภาครับพัลส์ของแสง

ประกอบด้วยตัวรับแสงและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะทำการขยายสัญญาณพัลส์ที่รับมา แล้วส่งไปให้วงจรวัดและแสดงผลต่อไป ซึ่งส่วนนี้ทำหน้าที่หลัก โดยการวัดค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไปต่อระยะทางที่เปลี่ยนไป โดยใช้ตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกไปเป็นดิจิตอลขนาด 12 บิต มาทำการแปลงค่าสัญญาณของความต่างศักย์ไปเป็นสัญญาณดิจิตอล

แล้วนำไปคำนวณเพื่อการแสดงผลต่อไป หรือจะนำเอาวงจรส่งสัญญาณของเสียงมาต่อเพื่อเตือนผู้ใช้เมื่อเครื่องตรวจจับพบการเคลื่อนที่ที่ผู้ได้ทำการติดตั้งไว้ ซึ่งทั้งนี้ก็ขึ้นกับการนำไปประยุกต์ใช้

3.1.4 วงจรวัดและแสดงผล

วงจรวัดเป็นวงจรในลักษณะของการเปรียบเทียบสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากวงจรภาคขยายและนำสัญญาณเปรียบเทียบที่ได้ไปแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล (พัลส์รูปสี่เหลี่ยมมีค่าความต่างศักย์เท่ากับ +5 โวลต์) บ้อนให้กับตัววงจรควบคุมเพื่อให้ปฏิบัติหน้าที่ตามที่ผู้ใช้ต้องการ



รูปที่ 3.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับระยะทาง

3.2 การกำหนดหน้าที่และความสามารถของวงจร

เมื่อพิจารณาถึงเป้าหมายของโครงการงานพิเศษที่ต้องการให้วัดระยะทางได้ไม่เกิน 1.2 เซนติเมตร มีความละเอียดของการวัดเป็นหน่วยไมโครเมตร และสามารถ

เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้โดยตัวผู้ใช้เอง ความต้องการดังกล่าวนี้จะทำให้เกิดได้โดยเงื่อนไขหลักดังต่อไปนี้

1. เครื่องจะต้องประกอบด้วยพอร์ตเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งที่ใช้ส่งและรับข้อมูลและพอร์ตที่ใช้รับส่งข้อมูลที่ควบคุมการรับและส่งข้อมูลด้วยอุปกรณ์ภายนอก
2. กำลังของแสงที่ส่งออกมาจะต้องมีกำลังสูงพอสมควรและความไวของตัวตรวจจับแสงจะต้องมีค่าสูง มีสัญญาณ dark current ต่ำ อีกทั้งขนาดของ core จะต้องมีความใหญ่พอสมควร และนอกจากนี้ระนาบสะท้อนยังต้องมีความเรียบสูงเพื่อลดปัญหาหากการสูญเสียของสัญญาณแสง

จากเงื่อนไขประการแรก ทำให้เลือกอุปกรณ์ในการเชื่อมต่อเป็น ไอซี เบอร์ 8255 ซึ่งเป็นไอซีที่ทำหน้าที่เป็นพอร์ต ประกอบด้วยพอร์ต 3 พอร์ต สามารถทำหน้าที่เป็นพอร์ตรับส่งข้อมูลตามปกติและ รับส่งข้อมูลโดยรอสัญญาณความพร้อมในการให้รับ และส่งข้อมูลที่ต้องการได้

จากเงื่อนไขประการที่สอง ที่ต้องการให้แหล่งกำเนิดแสงมีความไวในการส่งสัญญาณแสงและมีกำลังส่งสูงพอสมควรจึงได้เลือกใช้ LED อินฟราเรด เบอร์ MFOE 76 มีความยาวคลื่นเป็น 660 นาโนเมตร สามารถส่งสัญญาณในสายเส้นใยนำแสงรุ่น SH 4001 ซึ่งเป็นเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก ได้ไกลถึง 200 เมตร (ในขณะที่ในโครงการนี้ใช้เส้นใยนำแสงขนาดยาวเพียง 20 เซนติเมตรเท่านั้น)

ส่วนตัวรับสัญญาณแสงจะใช้ตัวโฟโตดีตาร์ลิงตันเบอร์ MFOE 73 ซึ่งออกแบบมาให้ใช้กับเส้นใยนำแสงรุ่น SH 4001 และยังเป็นอุปกรณ์ที่ใช้รับสัญญาณของ LED อินฟราเรด เบอร์ MFOE 76 ได้ดีอีกด้วย โฟโตดีตาร์ลิงตันเบอร์ MFOE 73 มีขนาดของ dark current มากที่สุด เท่ากับ 100 นาโนแอมป์

เส้นใยนำแสงเป็นเส้นใยนำแสงชนิดมัลติโหมด มีขนาดความกว้างของเส้นผ่านศูนย์กลางของ core เท่ากับ 1 มิลลิเมตร

ระนาบสะท้อนจะใช้แผ่นกระจกสไลด์โดยนำมาเคลือบทองด้วยวิธี สเป็คเตอร์ริงค์ ซึ่งจะช่วยให้มีความเรียบสูงพอสมควร

บทที่ 4

การออกแบบและการสร้างเครื่อง

4.1 วงจรภาคส่ง

วงจรในภาคส่งนี้ จะรวมวงจรทั้งหมดที่เกี่ยวกับการสร้างสัญญาณพัลส์ของแสง เข้าสู่เส้นใยแสง ซึ่งจะประกอบด้วยวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ และวงจรขับแหล่งกำเนิด ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1.1 หลักการออกแบบวงจรภาคส่ง

จากข้อกำหนดที่กำหนดไว้ในบทที่ 4 วงจรในภาคส่งจะต้องส่งพัลส์เป็นรูปสี่เหลี่ยมอย่างต่อเนื่องและสามารถควบคุมช่วงเวลาในการผลิตสัญญาณพัลส์ได้ ดังนั้นการที่จะทำให้เครื่องส่งพัลส์เป็นรูปสี่เหลี่ยมอย่างต่อเนื่องและสามารถควบคุมช่วงเวลาในการผลิตสัญญาณพัลส์ได้ จะอาศัยหลักการของวงจรตรวจสอบการทำงานของเครื่องไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งจะสามารถกำหนดช่วงเวลาในการกระตุ้นสัญญาณและหยุดกระตุ้นสัญญาณได้ กล่าวคือ ในขณะที่เครื่องยังไม่ได้ทำการแปลงข้อมูลอยู่ ภาคส่งสัญญาณพัลส์จะส่งสัญญาณพัลส์อย่างต่อเนื่อง แต่เมื่อวงจรวัดได้แปลงข้อมูลที่ได้จากภาครับเสร็จแล้ว ภาคส่งจะหยุดส่งพัลส์ของแสงชั่วคราว เพื่อป้องกันการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์

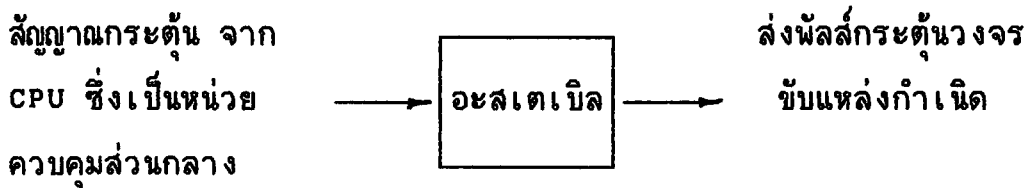
การที่จะทำให้ภาคส่งส่งพัลส์ของแสงเป็นช่วงๆอย่างต่อเนื่องได้นั้นจะอาศัยหลักการการทำงานของวงจรสแตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ กำหนดช่วงความกว้างของพัลส์ของแสงสั้นๆตามค่า RC Time constant ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$T_{on} = 0.3 RC (1 + 0.7/R)$$

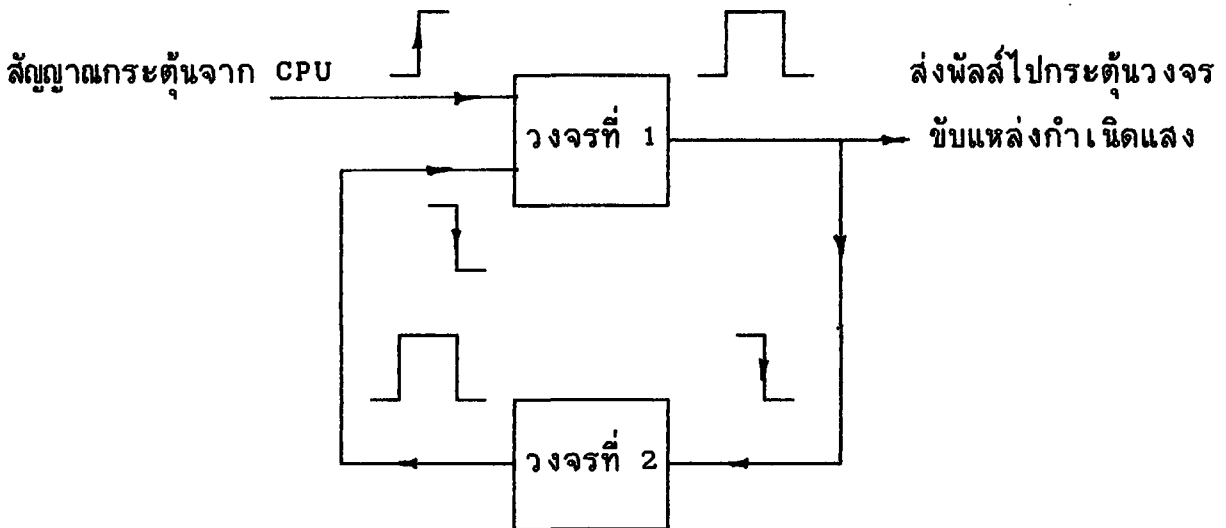
โดยที่

- T_{on} = ช่วงเวลาที่เปิดสภาวะ " 1 "
- R = ค่าความต้านทานที่ใช้ในวงจร
- C = ค่าตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจร

ในการควบคุมให้วงจรอะอสเตเบิลิลมัลติไวเบรเตอร์ให้ส่งพัลส์ต่อเนื่องและหยุดส่งพัลส์ต่อเนื่องจะอาศัยการนำสัญญาณมากระตุ้นวงจรดังรูป

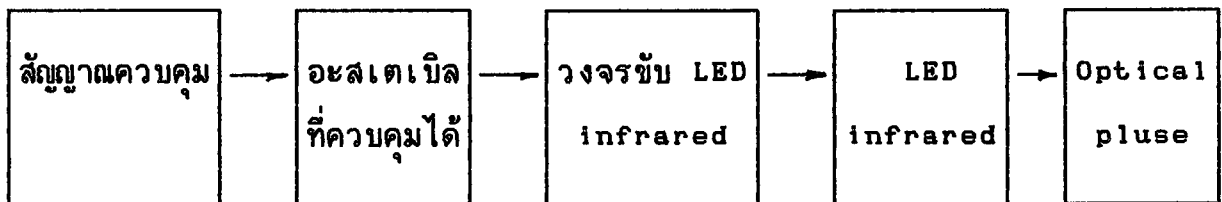


รูปที่ 4.1 แสดงไต่อะแกรมการทำงานของวงจรผลิตสัญญาณพัลส์



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของวงจรโมโนสเตเบิล 2 วงจร

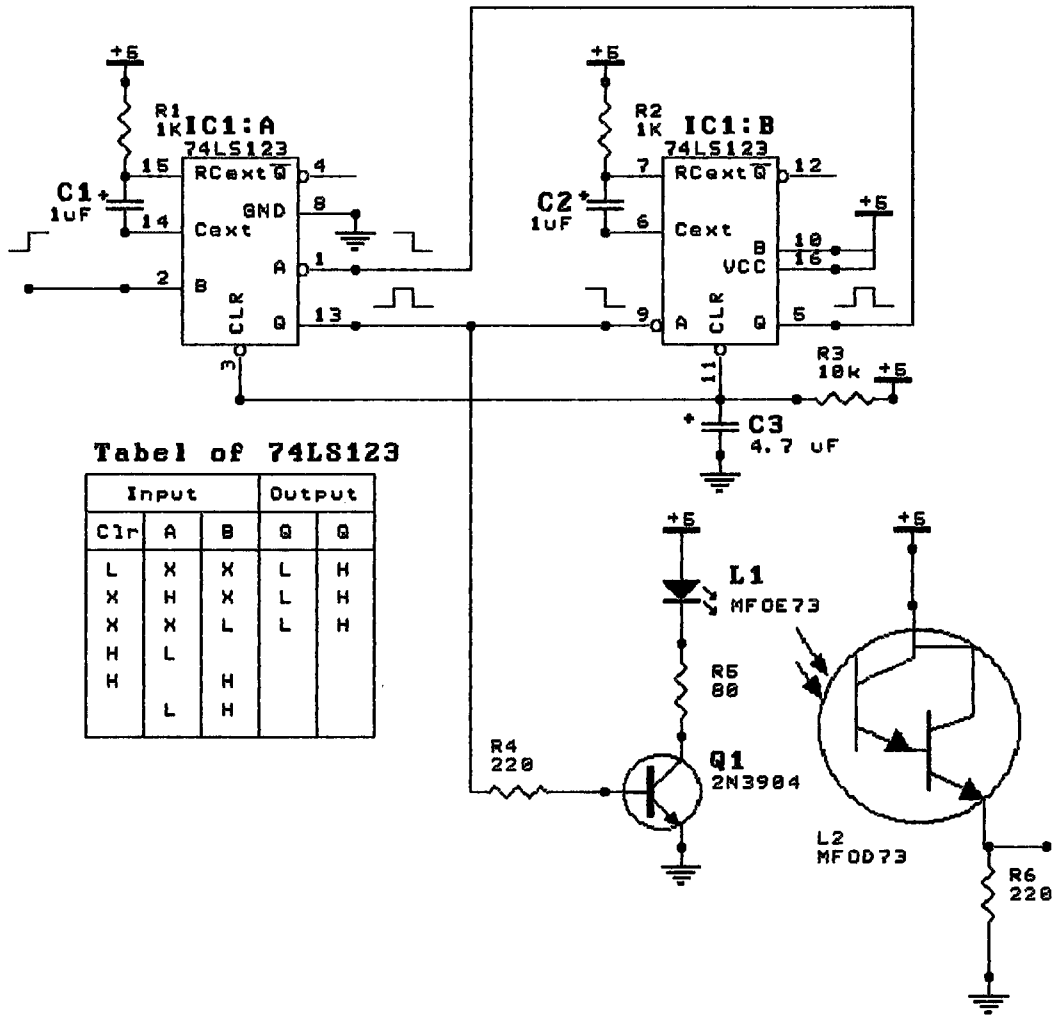
จากภาพจะแสดงเป็นวงจรบล็อกไดอะแกรม โดยสัญญาณพัลส์จาก CPU ที่ขอบขาขึ้นจะทำให้วงจรที่ 1 ซึ่งเป็นวงจรโมโนสเตเบิล ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับพัลส์กระตุ้น และทำการส่งสัญญาณลอจิก " 1 " ไปกระตุ้นวงจรขับแหล่งกำเนิดแสงและวงจรที่ 2 ซึ่งเป็นวงจรโมโนสเตเบิลเช่นกัน จะทำวงจรที่สองผลิตสัญญาณกระตุ้นให้แก่วงจรที่ 1 ก่อให้เกิดการส่งพัลส์ออกไปอย่างต่อเนื่อง จนกว่าสัญญาณพัลส์กระตุ้นจาก CPU จะตกเป็นลอจิก " 0 " การส่งสัญญาณพัลส์จะหยุดโดยทันที



รูปที่ 4.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรภาคส่ง

4.1.2 รายละเอียดและการทำงานของวงจร

วงจรภาคส่งแสดงได้ดังรูป 4.4



Tabel of 74LS123

Input			Output	
Clr	A	B	Q	Q̄
L	X	X	L	H
X	H	X	L	H
X	X	L	L	H
H	L			
H	L	H		
		H		

- R1, R2 = 1K C1, C2 = 1uF
- R3 = 1K C3 = 4.1uF
- R4 = 1K IC1 = 74123
- R5 = 80 Q1 = 2N3904
- L1 = MF0E76

รูปที่ 4.4 แสดงรายละเอียดของวงจรภาคส่ง

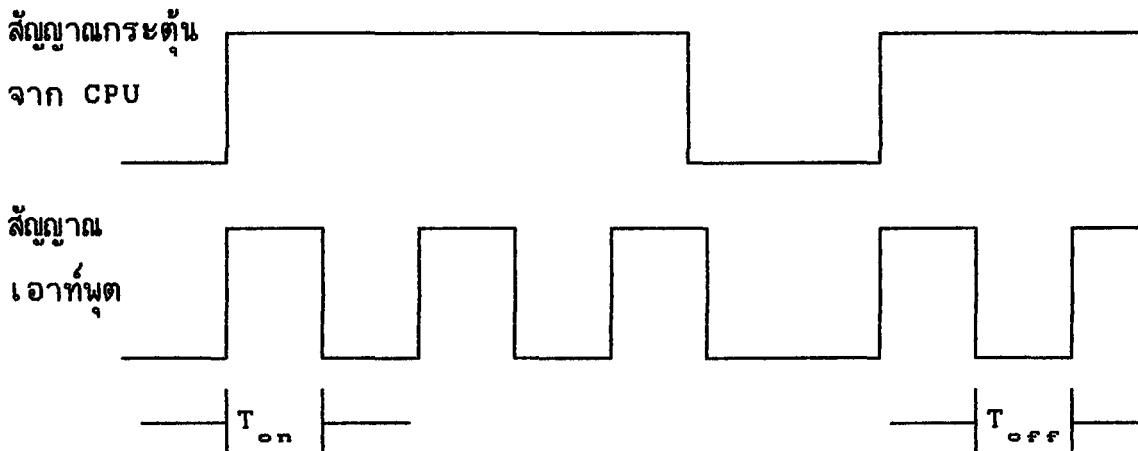
การทำงานของวงจรถ่วงพัลส์ของแสงออกไปจะเริ่มจากการใช้การให้สัญญาณกระตุ้นที่ขอบขาขึ้นแก่ขา B ของ IC1:A เมื่อเกิดการกระตุ้นแล้ว IC1:A ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรมอนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์จะส่งพัลส์ออกมา 1 ลูก ทำให้เกิดกระแสที่ตัวทรานซิสเตอร์ Q1 เป็นผลให้ IC1:B ได้พัลส์ของแสง 1 ลูก และ output ของ IC1:A ยังจะไปกระตุ้นให้ IC1:B ที่ขา A โดย IC1:B จะทำงานที่ขอบขาลงของ output ของ IC1:A โดย IC1:B ก็เป็นวงจรมอนอสเตเบิลผลิตสัญญาณเป็นพัลส์ 1 ลูก ตามค่าของ RC time constant ซึ่ง output ของ IC1:B จะไปกระตุ้น IC1:A ที่ขอบขาลงเพื่อผลิตสัญญาณพัลส์ไปกระตุ้น ตัวทรานซิสเตอร์ Q1 ให้ทำงานโดยวงจรถ่วงพัลส์จะทำงานต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งสัญญาณกระตุ้นที่ขา B ของ IC1:A จะเป็นขอบขาลง

ช่วงเวลาของการทำงานส่งสัญญาณพัลส์ของวงจรถ่วงพัลส์เป็น

$$T_{on} = 0.3RC(1+0.7/R) = 300 \mu S$$

$$T_{off} = 0.3RC(1+0.7/R) = 300 \mu S$$

ได้พัลส์ของแสงเป็นดังภาพ



4.2 วงจรรับพัลส์ของแสง

ประกอบด้วย วงจรรับแสง วงจรขยาย วงจรเปรียบเทียบแรงดัน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 หลักการออกแบบวงจรภาครับ

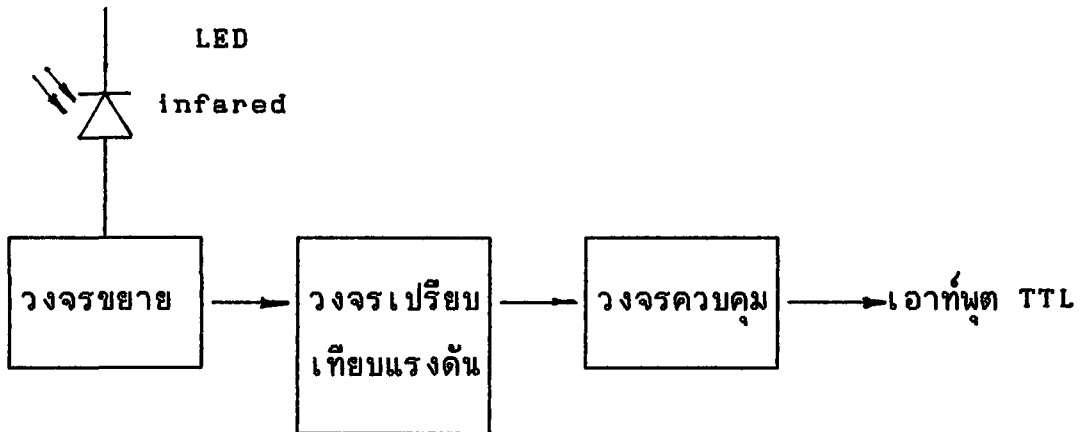
ตามความต้องการที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 วงจรภาครับต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ภาครับต้องมีความไวต่อการรับสัญญาณเพียงพอ
2. สามารถขยายสัญญาณได้โดยไม่ผิดเพี้ยน
3. มีสัญญาณรบกวนต่ำ

ในการรับสัญญาณจะใช้สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำประเภท LED อินฟราเรด ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแสงไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า แล้วทำการขยายสัญญาณที่ได้ไฟฟ้าที่ได้ให้เพียงพอต่อการใช้งานในภาคต่อ ๆ ไป

สาเหตุของการใช้ LED อินฟราเรด ก็เนื่องจากระยะของเส้นใยนำแสงที่ใช้ในโครงการพิเศษมีระยะไม่มากเพียงประมาณ 20 เซนติเมตรเท่านั้น อีกทั้งราคาและสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเนื่องจากตัว LED เองยังต่ำอีกด้วย

ไบอัสย้อนกลับแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 4.5 แสดงส่วนประกอบของภาครับ

4.2.2 รายละเอียดและการทำงานของวงจร

วงจรภาครับแสดงได้ดังรูป 4.4 และ 4.6

รายชื่ออุปกรณ์ภาครับในรูปที่ 4.4 ได้แก่

R6 = 220 L2 = MFOD73

รายชื่ออุปกรณ์ภาครับในรูปที่ 4.7 ได้แก่

R1, R3, R4, R8, R9 = 10K J1-J6 = JUMPER

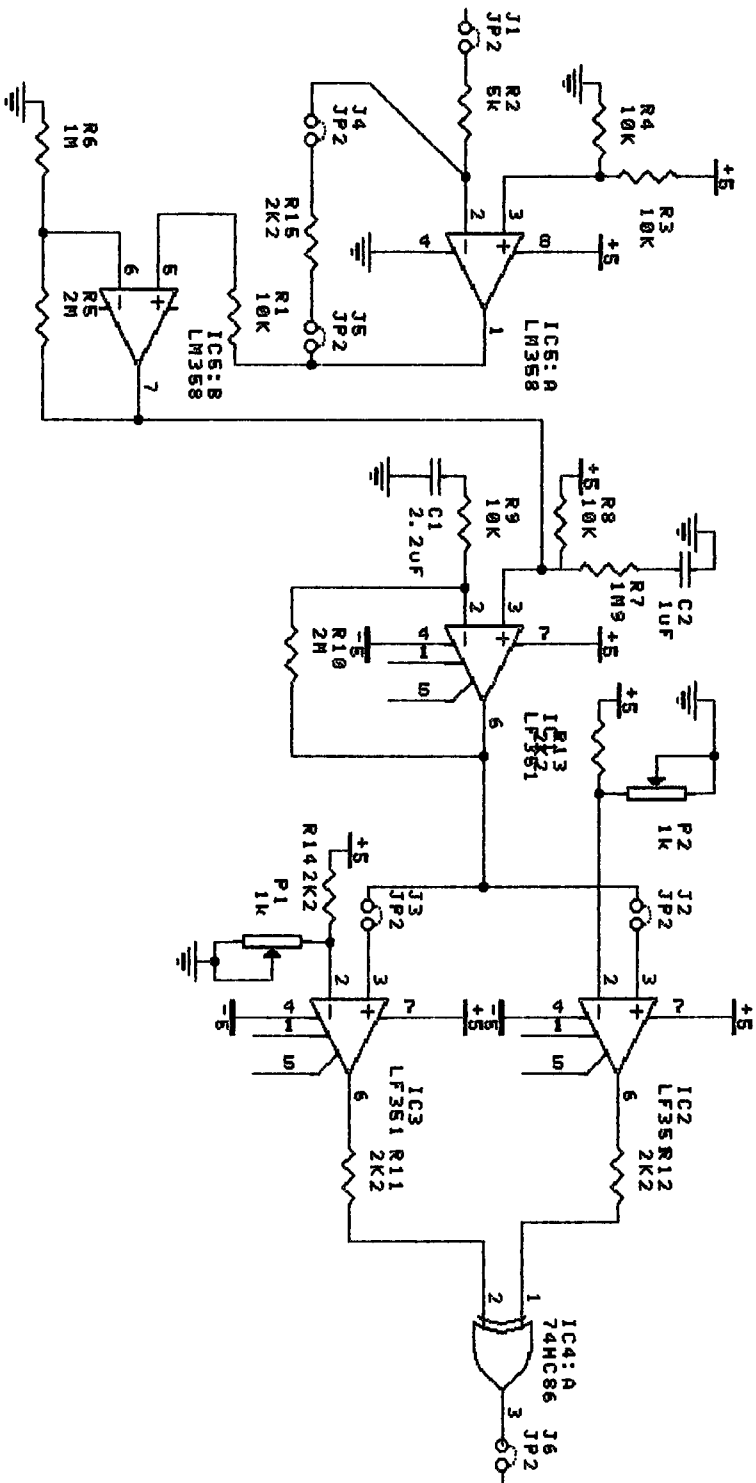
R2 = 5K IC1-IC3 = LF351

R5, R10 = 2M IC5 = LM358

R6 = 1M C1 = 2.2uF

R7 = 1M9 C2 = 1uF

R11, R12, R13, R14, R15 = 2K2 P1, P2 = 1K



รูปที่ 4.6 แสดงรายละเอียดของวงจรภาครับ

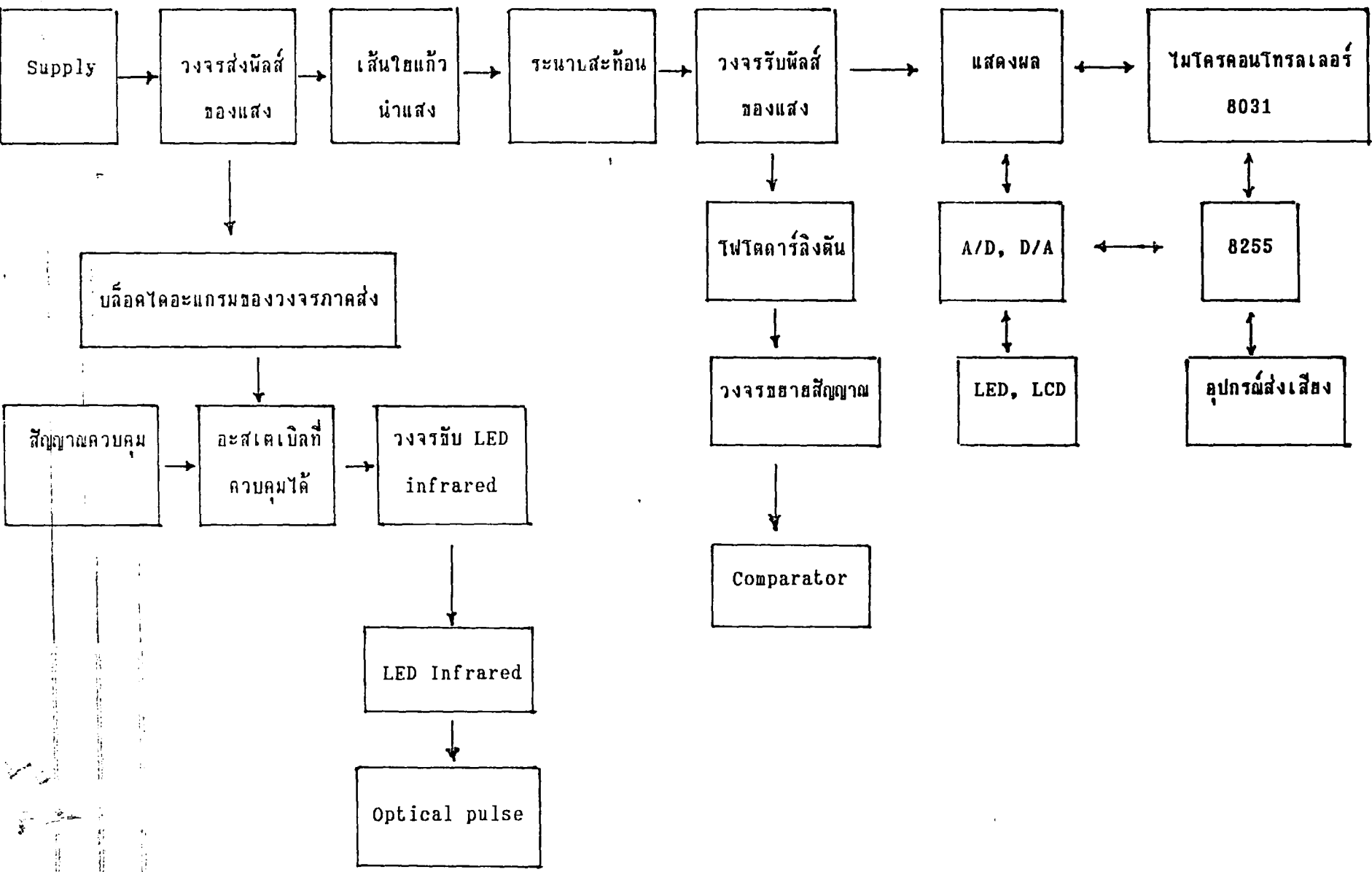
การขยายสัญญาณจาก โฟโตดาร์ลิ่งตันนั้นจะใช้ออปแอมป์เบอร์ LM358 ซึ่งเป็นออปแอมป์ single supply ต่อเป็นวงจรขยายผกกลับและใช้ออปแอมป์ IC5:8 ทำการขยายผกกลับ สัญญาณที่ได้จะถูกนำไปขยายต่อด้วยไอซีออปแอมป์เบอร์ LF351 ด้วยอัตราขยายเท่ากับ 200 เท่า สัญญาณที่ได้จะนำไปเข้าวงจรเปรียบเทียบแรงดันดังแสดงในภาพที่ 4.6

วงจรเปรียบเทียบแรงดันจะนำไปใช้ในการแปลงสัญญาณอนาลอกที่ได้จากวงจรขยายไปเป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

4.3 ลำดับการทำงาน

- เปิดแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรส่งพัลส์และอุปกรณ์อื่น
 - วงจรส่งพัลส์ซึ่งมีสัญญาณควบคุม (อะสเทอริสค) มายังวงจรขับ LED INFRARED
 - LED INFRARED ส่ง OPTICAL PULSE ผ่านเส้นใยแก้วนำแสง
 - แสงจะสะท้อนที่ระนาบสะท้อน
 - แสงสะท้อนเข้าสู่วงจรรับพัลส์ของแสง
 - ใช้วงจรโฟโตดาร์ลิ่งตันขยายกระแส
 - เข้าวงจรขยายสัญญาณ
 - เข้า COMPARATOR เพื่อกำหนดปรับค่าในการแสดงผลต่อไป
 - ส่วนแสดงผลสามารถแสดงได้หลายรูปแบบตามลักษณะความเหมาะสม
- เช่น
- แสดงผลบนตัว LED LCD
 - อุปกรณ์ส่งเสียง
 - สนับสนุนโดย ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031
 - A/D และ ไอซี 8255

โดยสามารถแสดงไดอะแกรมขั้นตอนการทำงานตามรูป

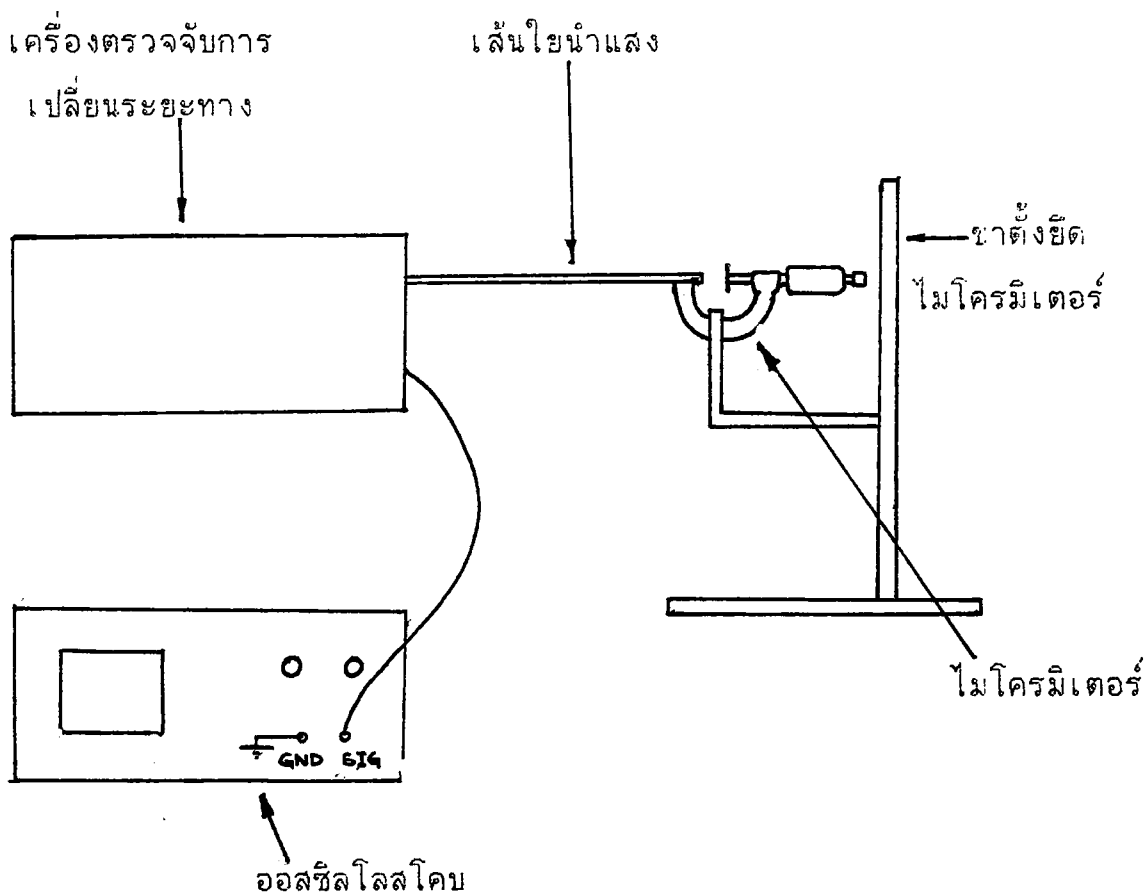


บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและแนวทางการพัฒนา

5.1 วิธีการทดลองและผลการทดลอง

5.1.1 ลักษณะการจัดวางอุปกรณ์



รูปที่ 5.1 แสดงการจัดวางอุปกรณ์

5.1.2 วิธีการทดลองและวัดค่า

1. จัดวางอุปกรณ์ดังภาพ
2. ทำการตรวจสอบระบบไฟต่าง ๆ
3. ทำการหมุนไมโครมิเตอร์ไปที่ตำแหน่งเริ่มต้น บันทึกค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป
4. ทำการหมุนไมโครมิเตอร์ไปที่ตำแหน่ง 0.002 เซนติเมตร ทำการบันทึกค่าความต่างศักย์ที่ได้จากออสซิลโลสโคป
5. ทำการหมุนไมโครมิเตอร์เพิ่มขึ้นทีละ 0.002 เซนติเมตร ทำการบันทึกค่าความต่างศักย์ที่ได้จากออสซิลโลสโคป

(ค่าเริ่มต้นของการวัดจะเท่ากับระยะที่กระจก ติดกับปลายของเส้นใยนำแสง การเลื่อนหมุนไมโครมิเตอร์จะหมุนไปเป็นระยะทุกๆ 0.002 เซนติเมตร รวมกับความหนาของกระจก)

$$\text{ระยะที่ทำกรวัด} = \text{ระยะที่อ่านได้จากไมโครมิเตอร์} + \text{ความหนากระจก}$$

5.1.3 ผลการทดลอง

เส้นใยนำแสงที่ใช้ มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1 มิลลิเมตร

ระยะที่สามารถใช้งานได้ มีค่าเท่ากับ 1.2 เซนติเมตร

5.2 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองเครื่องตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงระยะทางพบว่าวงจรแต่ละส่วนสามารถทำงานตามจุดประสงค์ที่วางไว้ คือสามารถตรวจจับการเลื่อนระยะของวัตถุได้ตามภาคแสดงผลที่ต้องการ ซึ่งผลการทดลองรวมทั้งชิ้นงานที่สำเร็จออกมาได้นั้น มาจาก

การค้นคว้าหาข้อมูล เก็บผลการทดลองแต่ละส่วน แล้วนำส่วนต่างๆที่ทดลองแล้วมาทำงานร่วมกันให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

ในระหว่างทำงานนั้นอาจเจอปัญหาและข้อผิดพลาด เราได้มีศึกษาค้นคว้าและแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งสามารถสรุปข้อผิดพลาด เสนอแนะและแนวทางพัฒนาดังนี้

5.3 ข้อผิดพลาด

5.3.1 วงจรส่งพัลส์ของแสง

OP Amp ที่ใช้บางครั้งอาจไม่ได้สเปคตามที่ระบุ ทำให้ได้ค่าขยายไม่ถูกต้อง เช่น ความต่างศักย์ที่คร่อมอุปกรณ์อื่นมีค่าน้อยลง

5.3.2 เส้นใยนำแสงที่ประยุกต์เป็นตัวตรวจจับ

เส้นใยแสงอาจมีการแตกหักภายในเส้นหรือรอยตัดปลายไม่พอ ทำให้ดัชนีหักเหเปลี่ยนแปลงไป

5.3.3 ระบายสสะท้อน

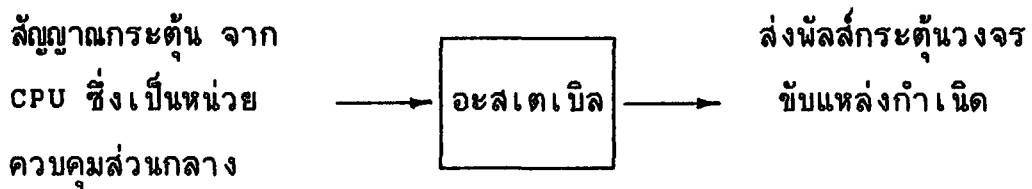
โดยปกติถ้ากระจกอยู่ในสภาวะดี ไม่แตกหักก็ไม่น่าจะเกิดปัญหาอะไร

5.3.4 วงจรรับพัลส์ของแสง

ถ้าหากไม่มีแสงจากส่งพัลส์แล้ว ภาควงจรนี้จะไม่ทำงาน และวงจขยายนั้นได้ขนาดที่ต้องการสำหรับวงจที่ทำการวัดแสดงผลหรือไม่

5.3.5 วงจรภาคส่ง

ช่วงความกว้างของพัลส์ของแสงอาจมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดการรับส่งพัลส์ผิดพลาด และการทำงานที่ จะทำให้ภาคส่งพัลส์ของแสงเป็นช่วงๆอย่างต่อเนื่อง ต้องอาศัยหลักการทำงานของวงจรรอสเตเบิลมีลต์ติไวเบรเตอร์ โดยการนำสัญญาณมากระตุ้นตามรูป



รูปที่ 5.1 แสดงไดอะแกรมการทำงานของวงจรมีลต์ติไวเบรเตอร์

5.3.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031

ควรตรวจสอบระบบไฟเลี้ยงและ GND ก่อน แล้วตรวจสอบการเชื่อมต่อกับ 8255 คาบเวลาของการทำงาน การอินเทอร์รัพต์ INTERRUPT รวมทั้งพอร์ตที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ ว่าถูกต้องหรือไม่

5.3.7 ไอซี 8255

ตรวจสอบเช่นเดียวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031

5.3.8 ภาคแสดงผล

แล้วแต่การประยุกต์ใช้งานตามความเหมาะสมของงาน ผู้ใช้งานอาจเพิ่มเติมอุปกรณ์แสดงผลอื่นๆ นอกเหนือจากที่แสดงในบล็อกไดอะแกรมตามความต้องการ

5.4 ข้อเสนอแนะแนวทางแก้ไขพัฒนา

5.4.1 วงจรส่งพัลส์ของแสง

ต้องวัดความต่างศักย์ที่ตกคร่อมอุปกรณ์หรือ Output ก่อนต่อเข้าไปใช้งานยังอุปกรณ์อื่น ว่าได้ค่าตามที่ต้องการหรือไม่ เพื่อที่จะได้ปรับแต่งเพิ่มเติมไปอีก เพราะบ่อยครั้งที่ความต่างศักย์ตกคร่อมอุปกรณ์นั้นๆจะเกิดการดึงกระแส ทำให้ความต่างศักย์ที่ผ่านตัวอุปกรณ์นั้นมีค่าลดลงน้อยกว่าที่ต้องการ

5.4.2 เส้นใยนำแสงที่ประยุกต์เป็นตัวตรวจจับ

ถ้าเป็นเส้นใยชนิดซิงเกิลโหมดจะมีปัญหามาก เพราะเมื่อมีแสงเข้าแล้ว ที่ปลายอีกด้านจะมีลำแสงที่มีดัชนีค่าๆหนึ่งที่เรานำไปใช้งาน ถ้าหากเกิดปัญหาดังกล่าวจะทำให้ไม่ได้ค่าที่ต้องการ และหากต้องการให้มีช่วงใช้งานเพิ่มมากขึ้นก็ควรใช้เส้นใยนำแสงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ขึ้น

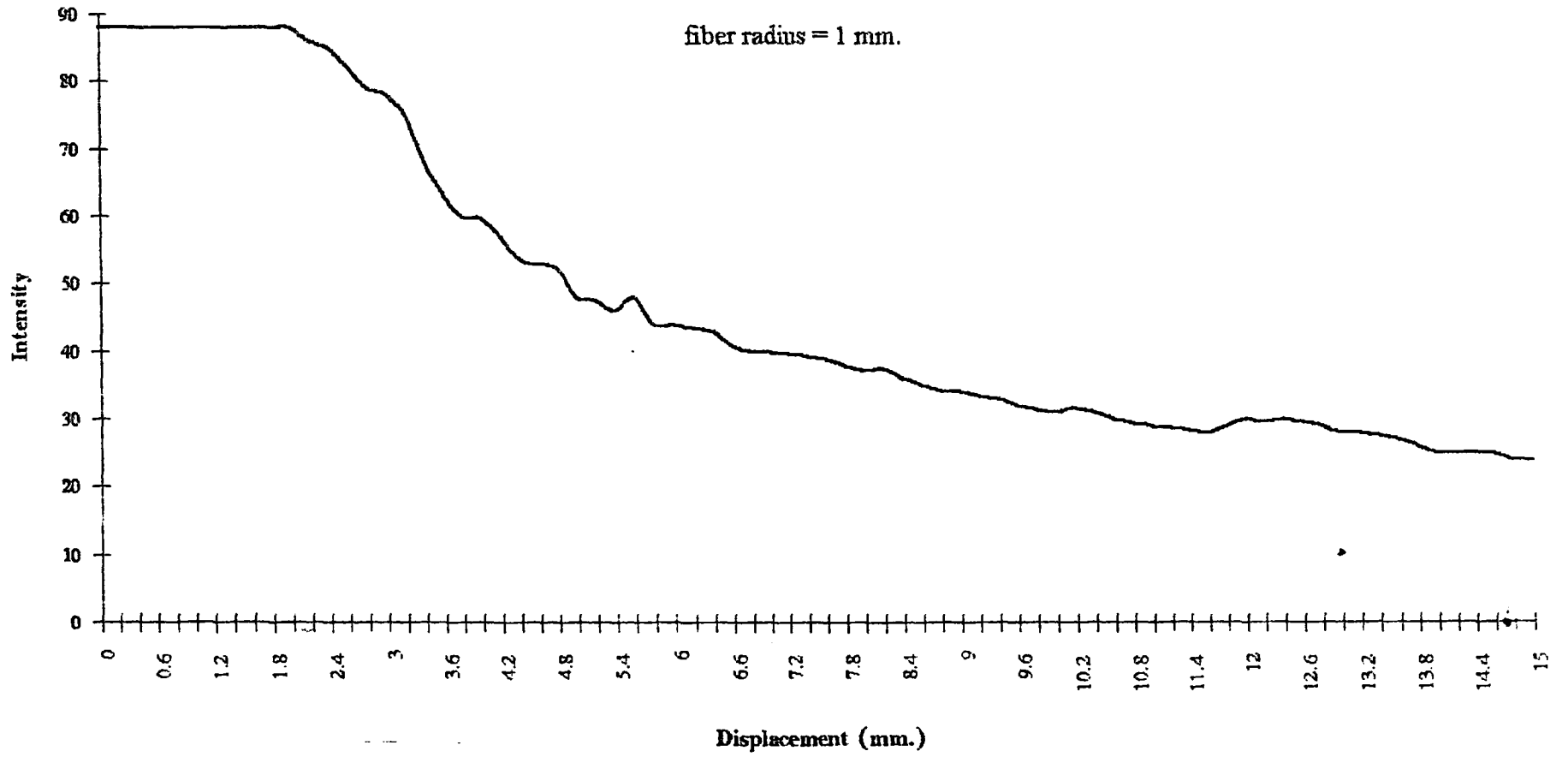
5.4.3 วงจรรับพัลส์ของแสง

ตรวจดูวงจรภาคส่ง หรือดูว่ามีแสงออกจากเส้นใยแสงที่ต่ออยู่กับวงจรภาคส่งพัลส์หรือไม่ กระจกสะท้อนหรือไม่ ตรวจดูกำลังขยายว่าอยู่ในขอบเขตที่ใช้ทำงานได้ของวงจรวัดและแสดงผลหรือไม่

อนึ่ง การทำงานทั้งหมดสรุปเป็นไดอะแกรมรวมทั้งกราฟผลการทดลองซึ่งเราจะนำส่วนที่ได้นี้ไป เชื่อมกับภาคแสดงผลต่อไป

ตารางบันทึกผลการทดลอง
และ
กราฟแสดงผลการทดลอง

	A	B	C	D
1	displacement (mm.)	Intensity	displacement (mm.)	Intensity
2	0.0	88.0	7.6	39.0
3	0.2	88.0	7.8	38.0
4	0.4	88.0	8.0	37.0
5	0.6	88.0	8.2	37.5
6	0.8	88.0	8.4	36.0
7	1.0	88.0	8.6	35.0
8	1.2	88.0	8.8	34.2
9	1.4	88.0	9.0	34.0
10	1.6	88.0	9.2	33.4
11	1.8	88.0	9.4	33.0
12	2.0	88.0	9.6	32.0
13	2.2	86.0	9.8	31.5
14	2.4	85.0	10.0	31.0
15	2.6	82.0	10.2	31.7
16	2.8	79.0	10.4	31.0
17	3.0	78.0	10.6	30.0
18	3.2	75.0	10.8	29.4
19	3.4	68.0	11.0	29.0
20	3.6	63.0	11.2	28.7
21	3.8	60.0	11.4	28.4
22	4.0	59.7	11.6	28.0
23	4.2	57.0	11.8	29.0
24	4.4	53.8	12.0	30.0
25	4.6	53.0	12.2	29.5
26	4.8	52.2	12.4	30.0
27	5.0	48.0	12.6	29.5
28	5.2	47.7	12.8	29.0
29	5.4	46.0	13.0	28.0
30	5.6	48.0	13.2	27.9
31	5.8	44.0	13.4	27.5
32	6.0	43.9	13.6	27.0
33	6.2	43.5	13.8	26.0
34	6.4	43.0	14.0	25.0
35	6.6	41.0	14.2	25.0
36	6.8	40.0	14.4	25.0
37	7.0	40.0	14.6	25.0
38	7.2	39.7	14.8	24.0
39	7.4	39.4	15.0	24.0
40				
41				
42				
43				



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ทฤษฎีบทและคุณสมบัติของ
ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล 51

ก.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ 8031

การควบคุมการทำงานของเครื่อง displacement sensor จะมีหน่วยควบคุมที่ใช้ไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์ ขนาด 8 บิต ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัท intel ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 เป็นไอซีที่อยู่ในตระกูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51 โดยเทคโนโลยีการผลิตไอซีวงจรรวมความจุสูง LSI แบบ LIMOS CLIMOS มีการสิ้นเปลืองไฟน้อยและข้อดีต่างๆตามตาราง

EMBEDDED CONTROLLERS										
Feature	8051AH	8031AH	8751H	80C51BH	80C31BH	87C51	8052AH	8032AH	8752	8044H
Program Memory (Bytes)	4K	-	4K	4K	-	4K	8K	-	8K	4K
RAM Memory (Bytes)	128	128	128	128	128	128	256	256	256	192
Program Memory Expansion (Off Chip) (Bytes)	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K
Data Memory Expansion (Off Chip) (Bytes)	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K
Max Clock Frequency (MHz)	12	12	12	16	16	16	16	12	12	12
Typical instruction Time (ns)	1	1	1	0.75	0.75	0.75	1	1	1	1
16-Bit Timer / Counters	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2
Serial Communications	Synchronous Mode, Asynchronous Mode, 9 or 10 - Bit Programmable									HDLC/SDLC
No. of I/O Lines	32	16	32	32	16	32	32	16	32	32
Interrupt Sources (Two Priority Levels)	5	5	5	5	5	5	6	6	6	5
Power Requirements 125 (ICC Max. mA)	125	250	24	24	29	175	175	175	200	
Programmable Power Modes	-	-	-	4.0 mA	4.0 mA	4.0 mA	-	-	-	-
Idle Power Down				50 uA	51 uA	52 uA				30 mA

รูปที่ ก.1 ตารางแสดงไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ของบริษัทอินเทล

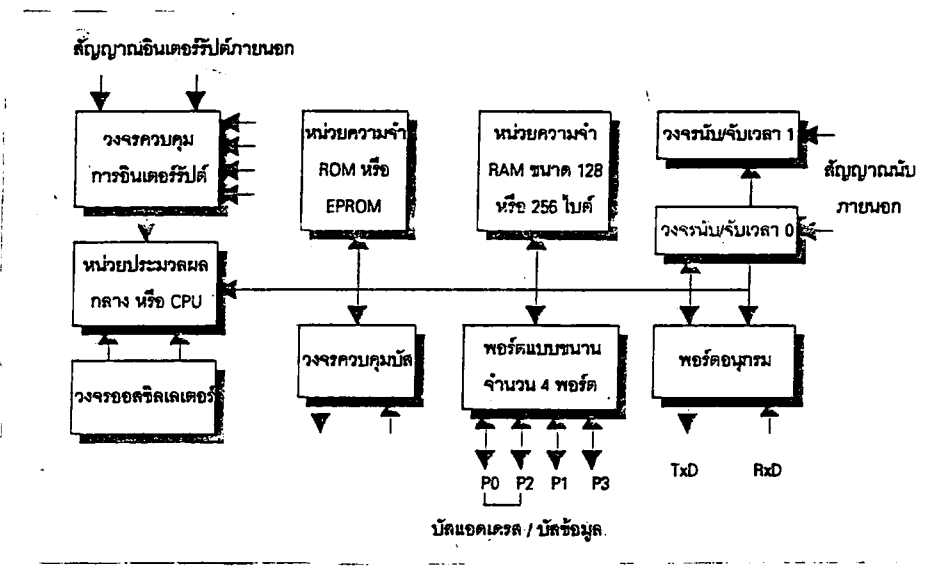
ก.2 คุณลักษณะพื้นฐานของ 8031

จากแผนภาพในรูปที่ ก.2 แสดงให้เห็นถึงหน่วยการทำงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ในตระกูล MCS-51 นี้ ประกอบด้วย

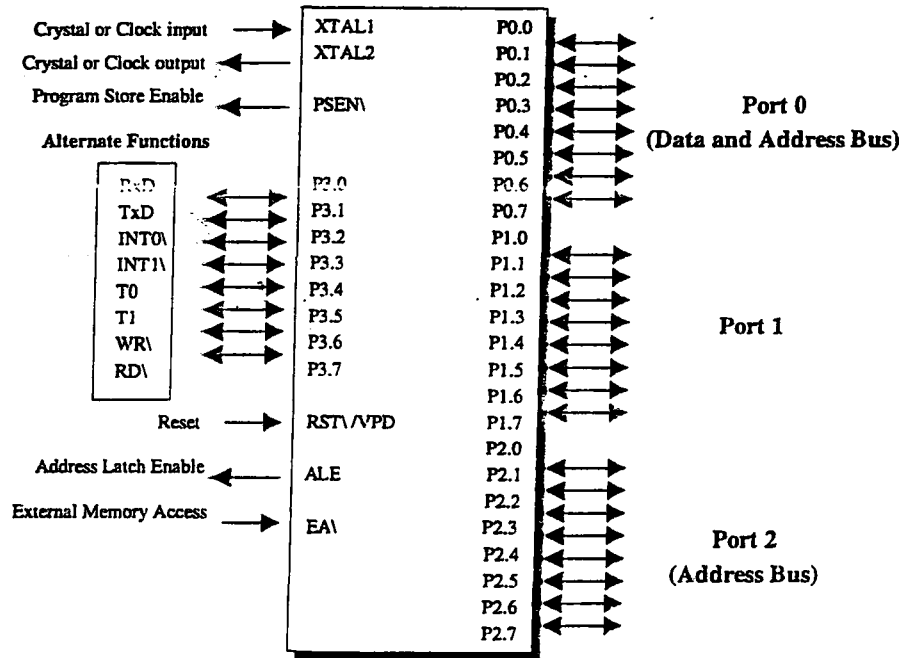
- หน่วยมวลผลกลางขนาด 8 บิต
- หน่วยประมวลผลสำหรับข้อมูลแบบบิต (Boolean Processor)
- ความสามารถในการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำข้อมูล โปรแกรม 64 กิโลไบต์
- ความสามารถในการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำข้อมูล 64 กิโลไบต์
- หน่วยความจำโปรแกรมภายใน 4 กิโลไบต์แบบ EPROM เบอร์ 8751 หรือแบบ ROM 8051 แต่ใน เบอร์ 8031 จะไม่มี ROM ภายใน
- หน่วยความจำ RAM ภายใน จำนวน 128 ไบต์
- input/output แบบขนานจำนวน 32 เส้นซึ่งสามารถแยกทำงานได้อย่างอิสระ
- วงจรนับจับเวลาขนาด 16 บิต จำนวน 2 วงจร
- วงจรสื่อสารแบบอนุกรม แบบ full duplex
- วงจรควบคุมการ interrupt จากแหล่งกำเนิดสัญญาณซึ่งมีถึง 6 ประเภท พร้อมการกำหนดลำดับความสำคัญได้สองระดับ
- วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน

โดยมากมีลักษณะและรูปร่างเป็น dip 40 ขา ดังรูปที่ ก.3 ซึ่งแต่ละขาสัญญาณจะมีหน้าที่ที่ระบุชัดเจนตามสัญลักษณ์ย่อที่กำกับแต่ละขา ซึ่งอย่างไรก็ตามจะมีบางขาที่ทำหน้าที่ได้ได้มากกว่าหนึ่งหน้าที่ แต่จะทำงานในเวลาเดียวกันไม่ได้ เช่น ขาสัญญาณบิตที่ 0

ของ พอร์ต 3 อาจใช้เป็น พอร์ตอินพุต/เอาต์พุตตามปกติ หรืออาจทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณอินพุตของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม (RxD) ให้กับวงจรสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมของ 8031 ได้ โดยการกำหนดว่าจะทำงานในลักษณะใดก็ขึ้นกับการเชื่อมต่อวงจรเข้ากับขาสัญญาณและโปรแกรมควบคุมของระบบนั้น



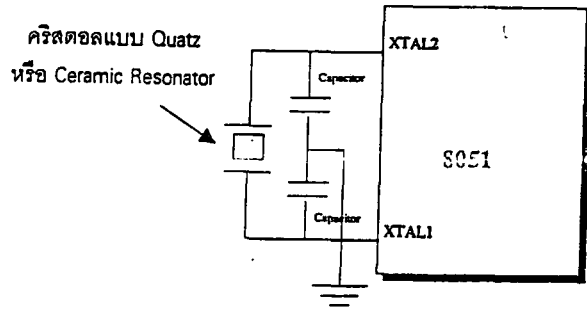
รูปที่ ก.2 แผนภาพบล็อกแสดงหน่วยทำงานพื้นฐานของ MCS-51



รูปที่ ก.3 การกำหนดหน้าที่การทำงานของไอซี

ก.3 ฐานเวลาในการทำงานของ CPU ภายใน 8051

เป็นการกำหนดจังหวะในการทำงาน พัลส์ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาจะเรียกว่า Pulse และคาบของสัญญาณนาฬิกาเรียกว่า คาบเวลาออสซิลเลเตอร์ และถ้าเป็นจำนวน 2 เท่าเรียกว่า state ซึ่งจะนำไปใช้เป็นช่วงเวลาดำเนินงานย่อยไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น fetch decode execute write



รูปที่ ก.4 แสดงการใช้คริสตอลภายนอกต่อเข้ากับวงจรรอสซิลเลเตอร์ภายใน 8031

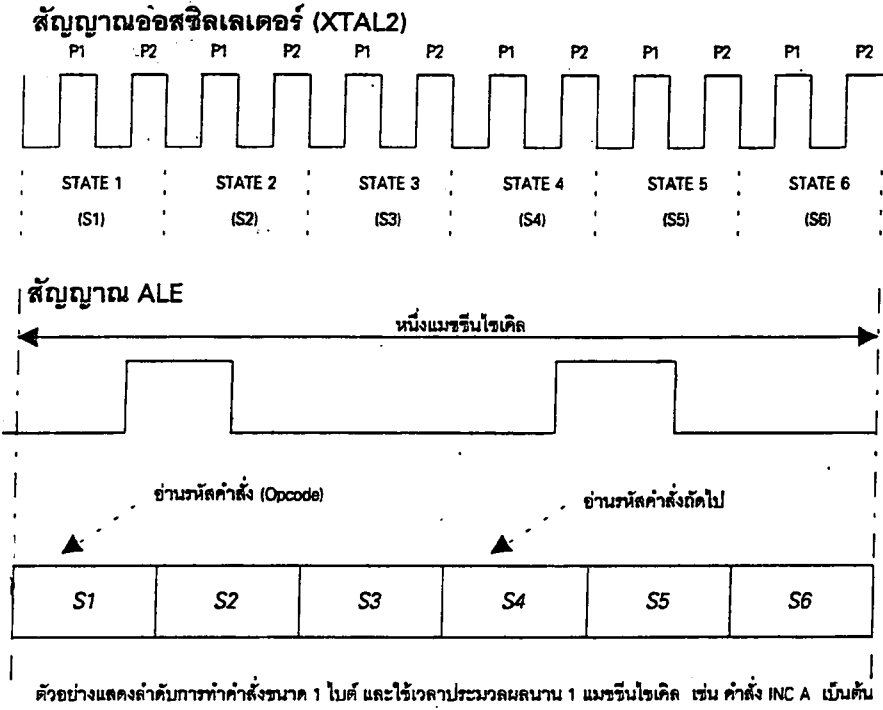
การคำนวณหาว่าเวลาที่ใช้ในการทำคำสั่งใดๆจนเสร็จสิ้น สามารถคำนวณจากสูตรได้ดังนี้

$$T = \frac{C \times 12}{\text{Crystal Frequency}}$$

C = เป็นค่าจำนวนแมชชีนไซเคิลของคำสั่ง

Crystal Frequency = เป็นค่าความถี่ของคริสตอลที่ใช้กับ 8051

การใช้งาน 8031 นี้จะใช้งานเป็นส่วนของการควบคุมการทำงานและการประสานงานระหว่างตัวตรวจจับและอุปกรณ์ภายนอกเพื่อให้มีความเร็วในการทำงานและสะดวกต่อผู้ใช้ในการขยายฐานการทำงานต่อไป



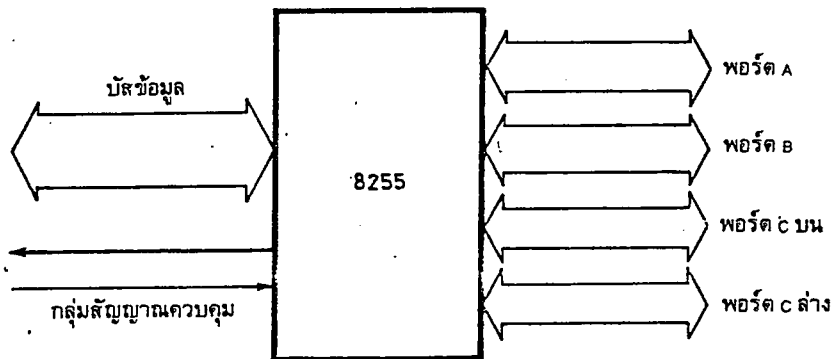
รูปที่ ก.5 แสดงแผนภาพเวลาพื้นฐานของ 8031 และลำดับของช่วงเวลา state ในการทำคำสั่ง 1 ไบต์

ภาคผนวก ข

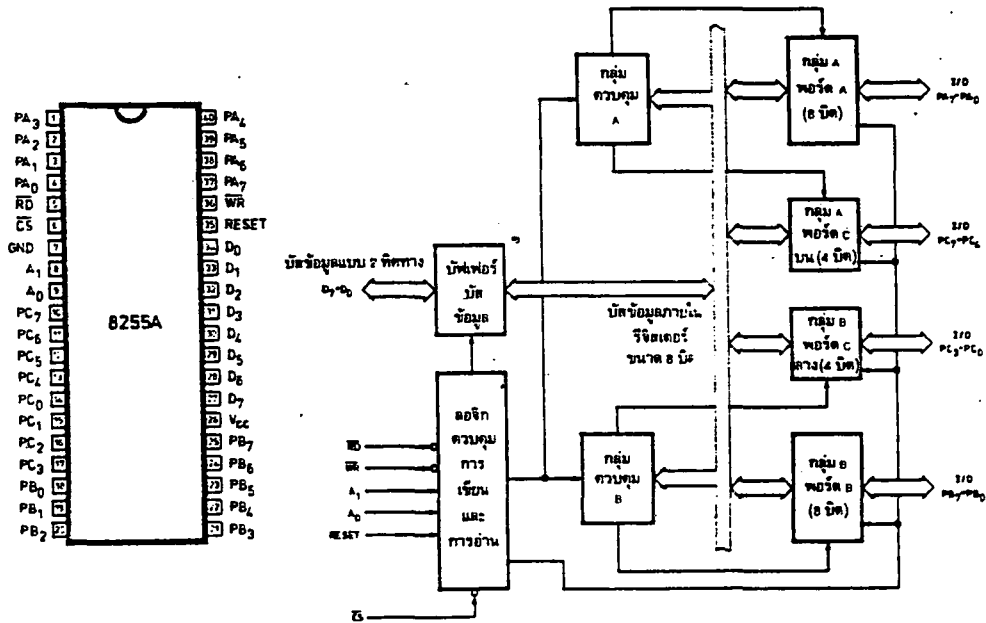
อุปกรณ์เชื่อมต่อภายนอก

ข.1 อุปกรณ์ประเภทพอร์ตอินพุตและเอาต์พุต

8255 ไอซีพอร์ต ข้อมูลแบบขนาน เป็นไอซีที่มีลักษณะเป็น Dip 40 ขาออกแบบมาเชื่อมต่อกับอุปกรณ์นอกไมโครคอนโทรลเลอร์และไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งสามารถต่อเป็นพอร์ตให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ดังรูป



รูปที่ ข.1 แผนผังโครงสร้างของไอซี 8255



รูปที่ ข.2 แผนผังวงจรภายในและการจัดขาของไอซี 8255

ข.2 การเชื่อมต่อ 8255 กับ 8031

จะมีลักษณะของการเชื่อมต่อและถอดรหัสแอดเดรสของ 8255 ดังในภาพที่ ข.3 และข.4 มีขาสัญญาณ A₀, A₁ เป็นตัวทำหน้าที่อ้างตำแหน่งของแอดเดรสของ พอร์ตต่าง ๆ ดังภาพที่ ข.5 การเขียนและอ่านข้อมูลจะพิจารณาจาก ขาสัญญาณ RD\, WR\ และทำการเขียนและอ่านข้อมูลเข้าทาง D₀-D₇ ดังตารางที่ ข.6

A1	A0	ชื่อของรีจิสเตอร์
0	0	พอร์ต A
0	1	พอร์ต B
1	0	พอร์ต C
1	1	รีจิสเตอร์ควบคุม

รูปที่ ข.5 แสดงตารางการควบคุมการเลือกพอร์ต

RD\	WR\	A1	A0	ความหมาย
0	1	0	0	ส่ง (หรือเขียน) ข้อมูลให้กับพอร์ต A
1	0	0	0	รับ (หรืออ่าน) ข้อมูลจากพอร์ต A
0	1	0	1	ส่ง (หรือเขียน) ข้อมูลให้กับพอร์ต B
1	0	0	1	รับ (หรืออ่าน) ข้อมูลจากพอร์ต B
0	1	1	0	ส่ง (หรือเขียน) ข้อมูลให้กับพอร์ต C
1	0	1	0	รับ (หรืออ่าน) ข้อมูลจากพอร์ต C
0	1	1	1	ส่ง (หรือเขียน) ข้อมูลให้กับรีจิสเตอร์ควบคุม
1	0	1	1	เป็นสถานะที่ไม่ถูกต้อง

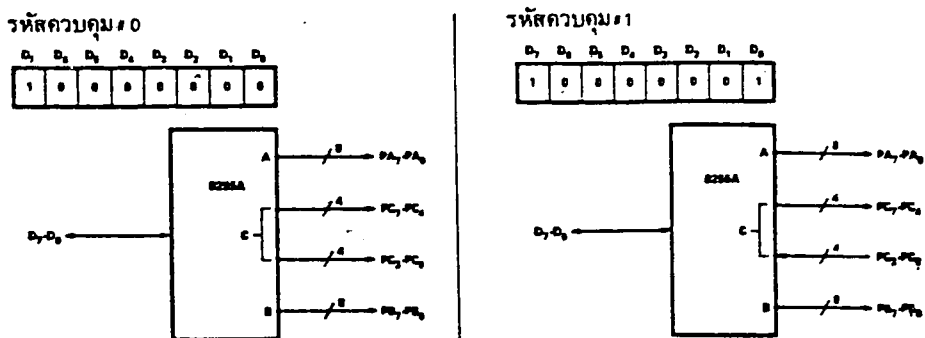
รูปที่ ข.6 แสดงการควบคุมการอ่านและเขียนพอร์ต

ข.3 การทำงานในโหมด 0

เป็นโหมดที่กำหนดให้พอร์ตทุกพอร์ตบนตัว 8255 เป็น port input and port output แบบพื้นฐาน มีรูปแบบที่เป็นไปได้ 16 รูปแบบ ตามลักษณะ port A และ port B หรือ port C บน port C ล่าง ลักษณะของรหัสควบคุมแสดงดังรูป

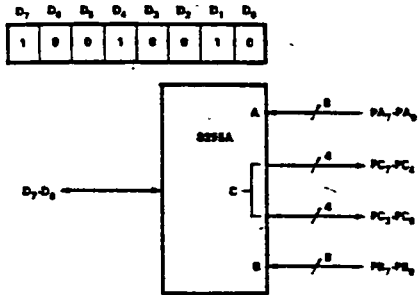
ตำแหน่งบิต	ค่าข้อมูล	ความหมาย
D7	1	ระบุให้ทราบว่าเป็นไบต์ข้อมูลควบคุม
D6 และ D5	00	กำหนดโหมดการทำงานให้กับพอร์ต A เป็นโหมด 0
D4	0	ระบุว่าพอร์ต A เป็นการเอาต์พุตข้อมูล
D3	0	กำหนดให้เส้นสัญญาณสีบิตบนของพอร์ต C เป็นการเอาต์พุตข้อมูล
D0	0	กำหนดโหมดการทำงานให้กับพอร์ต B เป็นโหมด 0
D1	0	ระบุว่าพอร์ต B เป็นการเอาต์พุตข้อมูล
D2	0	กำหนดให้เส้นสัญญาณสีบิตล่างของพอร์ต C เป็นการเอาต์พุตข้อมูล

รูปที่ ข.7 แสดงรหัสควบคุมการทำงานของพอร์ต

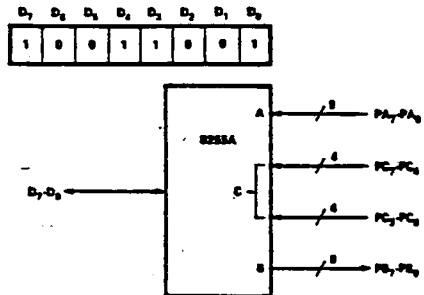


รูปที่ ข.8 ลักษณะของรหัสควบคุมแบบต่าง ๆ

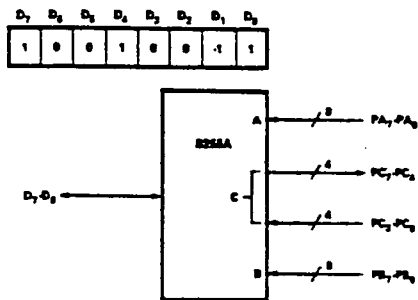
รหัสควบคุม # 10



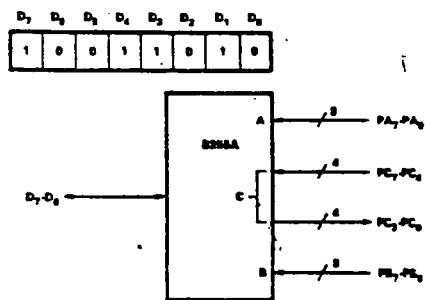
รหัสควบคุม # 13



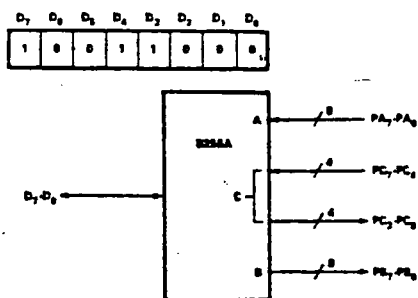
รหัสควบคุม # 11



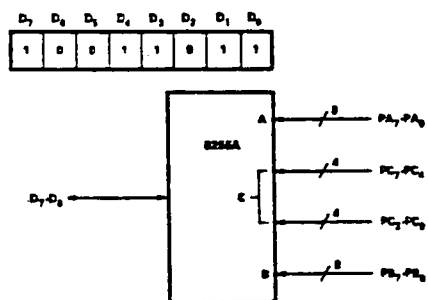
รหัสควบคุม # 14



รหัสควบคุม # 12

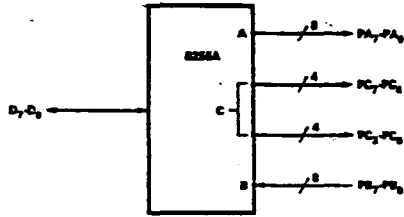


รหัสควบคุม # 15

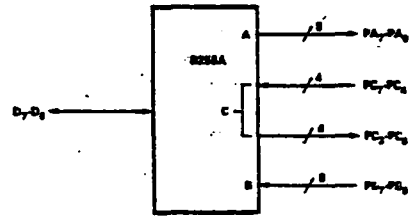
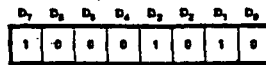


รูปที่ ข.8 ลักษณะของรหัสควบคุมแบบต่าง ๆ (ต่อ)

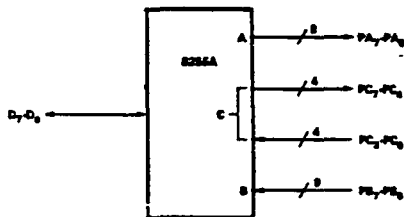
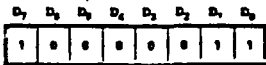
รหัสควบคุม #2



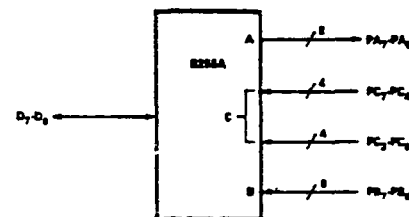
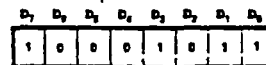
รหัสควบคุม #6



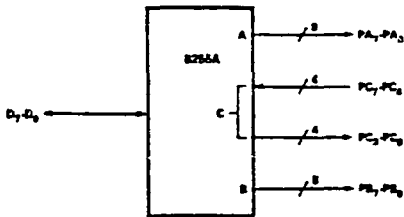
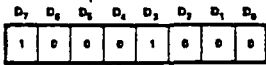
รหัสควบคุม #3



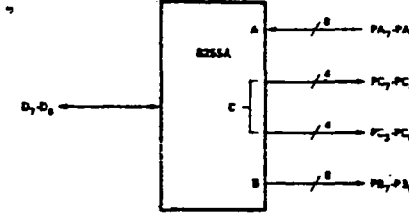
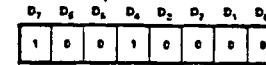
รหัสควบคุม #7



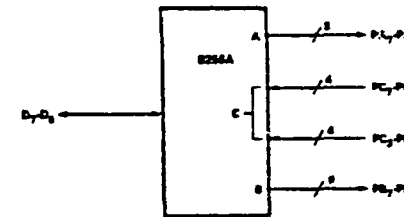
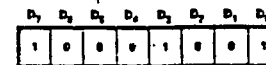
รหัสควบคุม #4



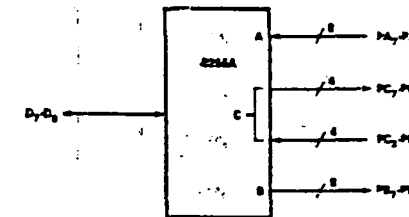
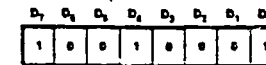
รหัสควบคุม #8



รหัสควบคุม #5



รหัสควบคุม #9



รูปที่ ข.8 ลักษณะของรหัสควบคุมแบบต่าง ๆ (ต่อ)

ภาคผนวก ค

อุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องได้ทันที

ค.1 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล

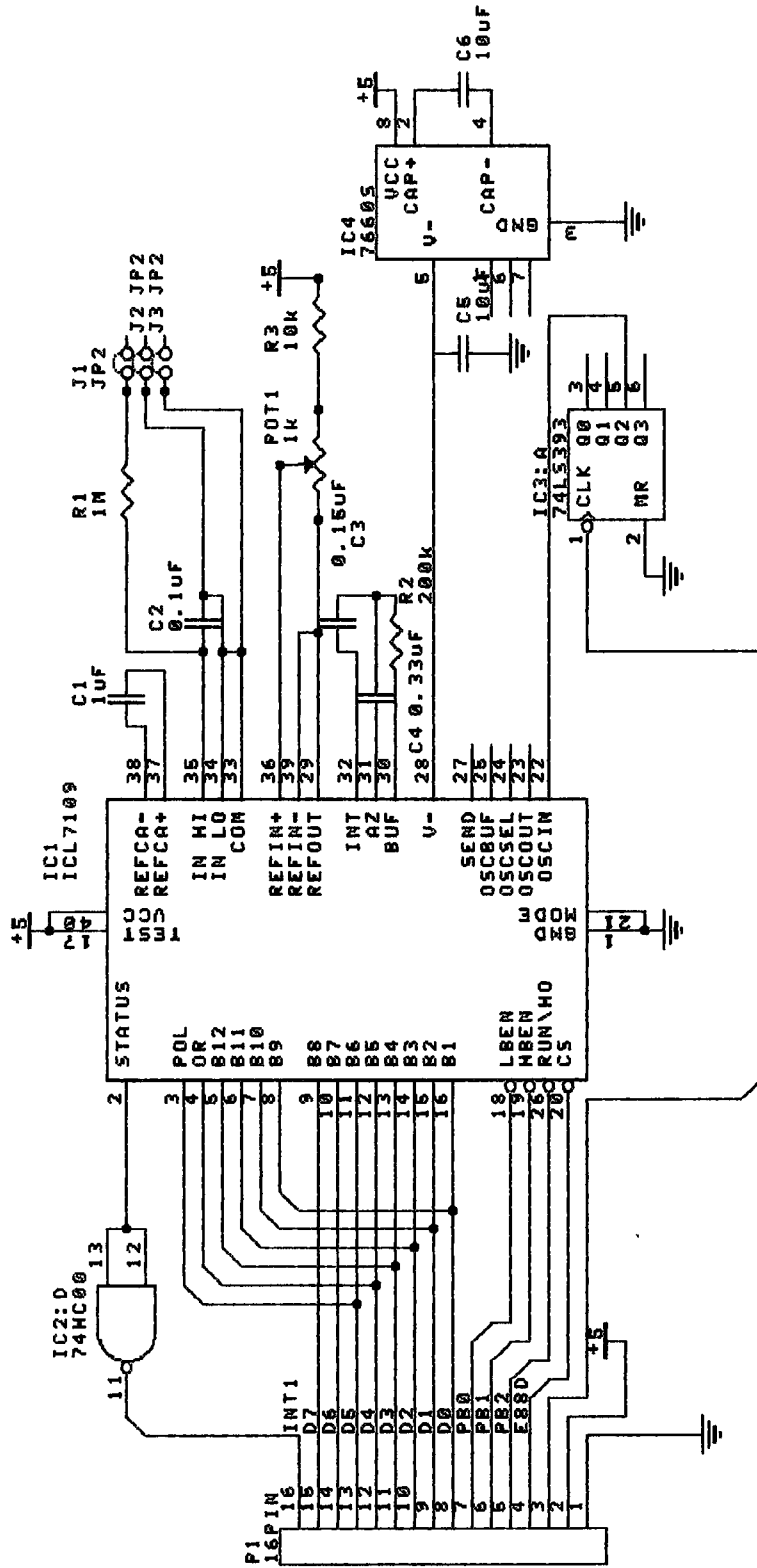
การเชื่อมต่อสัญญาณและวงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกไปเป็นดิจิทัล กระทำเพื่อนำเครื่องตรวจจับระยะ ไปประยุกต์ใช้ในการวัดระยะทาง ซึ่งจะนำเอาวงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกไปเป็นดิจิทัลไปเชื่อมต่อกับวงจรขยายสัญญาณซึ่งได้แสดงไว้แล้วใน บทที่ 5 โดยการเชื่อมต่อนั้นจะเชื่อมต่อกับขาเอาต์พุตของไอซี 1 ของวงจรขยายสัญญาณ ซึ่งสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกไปเป็นดิจิทัลจะนำไปแปลงค่าโดยตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 แสดงค่าออกมาเป็นตัวเลข 4 หลัก ซึ่งวงจรภาคแสดงผลนี้จะนำเสนอต่อไป

วงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกไปเป็นดิจิทัล นี้จะใช้ตัวไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นดิจิทัล เบอร์ 7109 ซึ่งมีคุณสมบัติแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นดิจิทัลได้ละเอียดถึง 12 บิต และมีสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากตัวไอซีเองต่ำ อีกทั้งยังกินกำลังต่ำอีกด้วย ภาพแสดงวงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกไปเป็นดิจิทัล แสดงดังภาพที่ ค.1

จากภาพ ค.1 จะปรากฏตัวไอซีที่สำคัญ 2 ตัวอันได้แก่ ไอซี เบอร์ 74LS393 และ ไอซี เบอร์ 7660S

สำหรับไอซี เบอร์ 74LS393 เป็นไอซีหารความถี่ซึ่งสามารถหารความถี่ได้ตั้งแต่ 2-16 ทำหน้าที่เป็นออสซิลเลเตอร์ให้กับไอซี เบอร์ 7109 โดยจะหารความถี่ที่ได้จากขาสัญญาณ ALE ของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 ดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{สัญญาณจากแหล่งกำเนิดสัญญาณคริสตอลภายนอก} &= 11.0592 \text{ MHz} \\ \text{สัญญาณจากขาสัญญาณ ALE ของ 8031} &= 11.0592 \text{ MHz} \end{aligned}$$



รูป ค. 1 แสดงภาพวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล

สัญญาณจากขา ALE ถูกทำการหารด้วย 8 โดยไอซี เบอร์ 74LS393 ได้เป็น สัญญาณออสซิลเลเตอร์ มีค่า เป็น

$$\text{สัญญาณถูกหาร ALE ถูกหาร 8 จะได้} = 11.0592 = 230.4 \text{ KHz}$$

48

สัญญาณที่ได้นี้จะถูกจ่ายให้เป็นออสซิลเลเตอร์แก่ไอซี 7109 ซึ่งจะทำให้ได้ระยะเวลาในการแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นดิจิตอล 1 ครั้งใช้เวลาทั้งสิ้น คิดเป็น 26.66 มิลลิวินาที และช่วงเวลาในการเป็น Auto Zero จะเท่ากับ 8.89 มิลลิวินาที

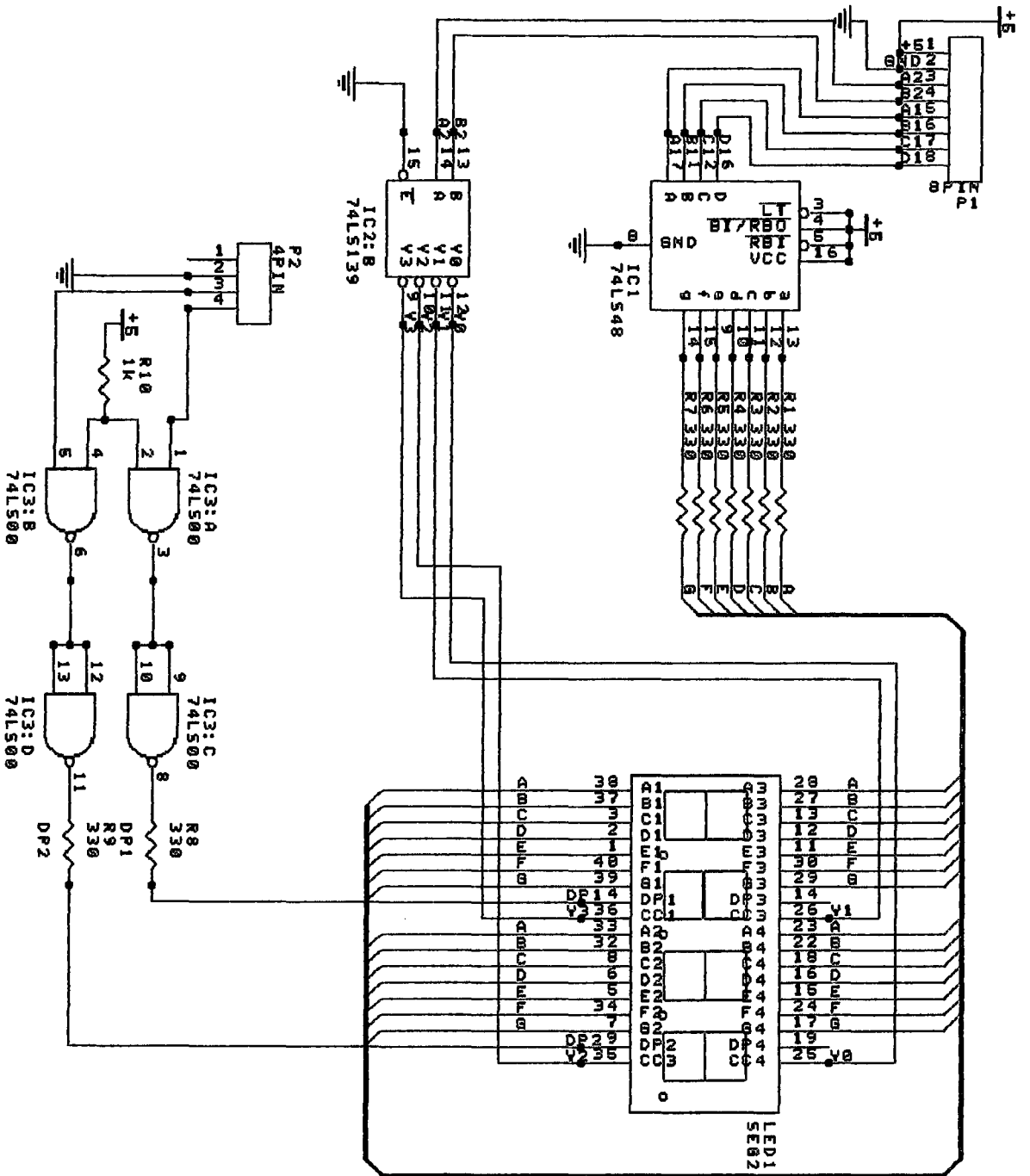
ส่วนไอซี เบอร์ 7660S ทำหน้าที่เป็นตัวแปลงค่าสัญญาณไฟบวกจากแหล่งจ่ายไฟให้เป็นไฟลบ สาเหตุที่ใช้ไอซีเบอร์นี้เนื่องจาก โครงงานตัวตรวจจับระยะจะใช้แหล่งจ่ายไฟที่เป็นบวกเพียงค่าเดียว แต่ตัวไอซี 7109 ต้องการไฟอ้างอิง -5 โวลต์ จึงจำเป็นต้องใช้ไอซีเบอร์ 7660 ทำการแปลงสัญญาณไฟ +5 โวลต์ ไปเป็น -5 โวลต์

ค.2 ส่วนแสดงผล

เป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับ พอร์ต 8255 บนบอร์ด SB31 ซึ่งเป็นบอร์ดควบคุมการทำงานของเครื่องได้ ลักษณะของวงจรเป็นดังภาพที่ ค.2

ลักษณะการแปลงสัญญาณ จะใช้ระบบ มัลติเพล็กซ์การเลือกหลักแสดงผล โดย ตัวไอซี เบอร์ 74HC138 และใช้ไอซีเบอร์ 7448 ทำการถอดรหัสเป็นเลขฐานสิบ

ระบบแสดงผลนี้จะแสดงผลได้ 4 หลัก ตั้งแต่ 9,999 - 0.000 โดยสามารถเลือกการแสดงผลเป็นทศนิยม 2 ตำแหน่ง และ 3 ตำแหน่งได้ ตัวเลือกหลักจะเลือกที่พอร์ต 2 ของตัววงจรภาคแสดงผล



รูปที่ ค.2 แสดงวงจรภาคแสดงผล

ค.3 ส่วนแป้นกด

ลักษณะของวงจรเป็นดังภาพที่ ค.3 โดยใช้ไอซี เบอร์ 74C923 ซึ่งเป็นไอซี ถอดรหัสสัญญาณแป้นกด 20 แป้นกด เมื่อทำการกดแป้น ตัวไอซีจะทำการถอดรหัสสัญญาณ แป้นกดเป็น ตัวเลขฐานสอง จำนวนห้าหลัก สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะถูกส่งให้กับไมโครคอน-โทรลเลอร์ 8031 ทางพอร์ต P1

ภาคผนวก ง

ADDRESS ของพอร์ตขยาย

เราใช้ 8255 ในการทำงานเป็นพอร์ตส่งสัญญาณออกสู่ภายนอก เพื่อใช้ควบคุมอุปกรณ์ภายนอกเป็นพอร์ต C ล่าง ส่วนพอร์ต A , B ใช้เป็นพอร์ต input ขนาด 8 บิตและพอร์ต C บน ใช้เป็นพอร์ต input ขนาด 4 บิต จะปรากฏพอร์ต output 2 พอร์ต ที่ address E890 ซึ่งเป็น output 1 และที่ address E8A0 เป็นพอร์ต output 2 ใช้เป็นพอร์ตควบคุมอุปกรณ์ภายนอกมีลักษณะดังภาพ

โดยเชื่อมต่อ 8255 ที่ address	0E880-0E883
พอร์ต A	address 0E880
พอร์ต B	address 0E881
พอร์ต c	address 0E882
contron	address 0E883

ภาคผนวก จ

เอกสารรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้

Fiber Optics — FLCS Family Photo Detector Darlington Output

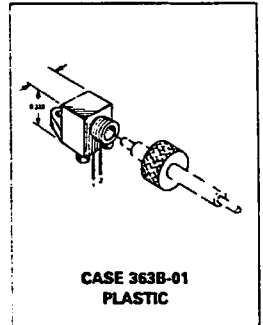
MFOD73

... designed for low cost, short distance Fiber Optic Systems using 1000 micron core plastic fiber.

Typical applications include: high isolation interconnects, disposable medical electronics, consumer products, and microprocessor controlled systems such as coin operated machines, copy machines, electronic games, industrial clothes dryers, etc.

- High Sensitivity Photodarlington-Output
- Ideally Matched to MFOE76 Emitter for Plastic Fiber Systems
- Annular Passivated Structure for Stability and Reliability
- FLCS Package
 - Includes Connector
 - Simple Fiber Termination and Connection (Figure 4)
 - Easy Board Mounting
 - Molded Lens for Efficient Coupling
 - Mates with 1000 Micron Core Plastic Fiber (Eska SH4001)

**FLCS FAMILY
 FIBER OPTICS
 PHOTO DETECTOR
 DARLINGTON OUTPUT**



MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	60	Volts
Total Power Dissipation ($\alpha T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C)	P_D	150 2	mW mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-40 to +100	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Collector Dark Current ($V_{CE} = 10\text{ V}$)	I_D	—	—	100	nA
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 10\text{ mA}$)	$V_{(BR)CEO}$	60	—	—	Volts

OPTICAL CHARACTERISTICS

Responsivity ($V_{CC} = 5\text{ V}$, Figure 2)	R	1,000	1,500	—	$\mu\text{A}/\mu\text{W}$
Saturation Voltage ($\lambda = 850\text{ nm}$, $V_{CC} = 5\text{ V}$) ($P_{in} = 1\ \mu\text{W}$, $I_C = 2\text{ mA}$)	$V_{CE(sat)}$	—	0.75	1	Volts
Turn-On Time	$R_L = 100\ \Omega$, $P_{in} = 1\ \mu\text{W}$, $\lambda = 850\text{ nm}$, $V_{CC} = 5\text{ V}$	t_{on}	—	125	μs
Turn-Off Time		t_{off}	—	150	μs

MFOD73

TYPICAL COUPLED CHARACTERISTICS

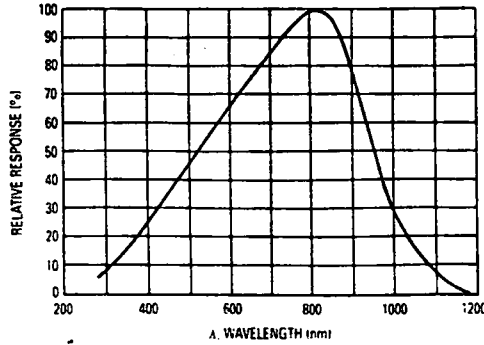


Figure 1. Relative Spectral Response

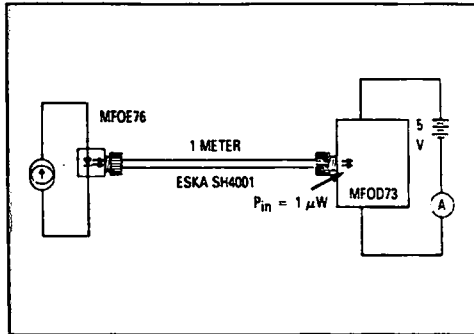


Figure 2. Responsivity Test Configuration

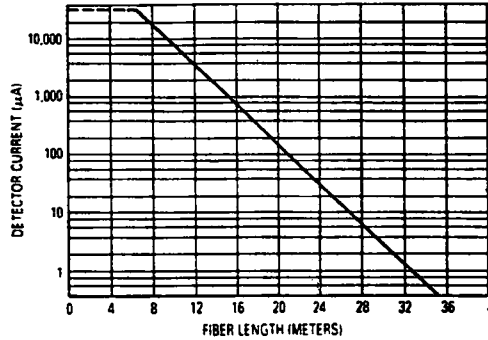


Figure 3. Detector Current versus Fiber Length

The system length achieved with a MFOE76 emitter and various detectors, using 1000 micron core plastic fiber (Eska SH4001 or equivalent), depends on the LED forward

current (I_f) and the responsivity of the detector chosen. Each detector will perform with the MFOE76 up to the distances shown below.

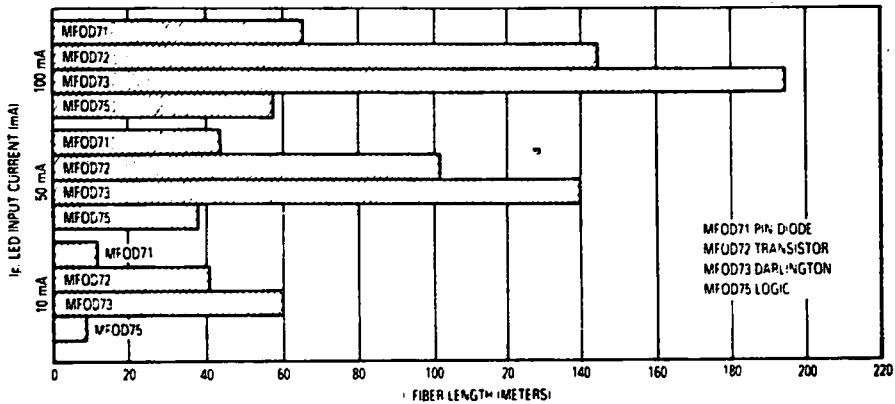
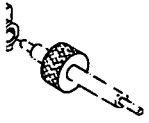


Figure 4. MFOE76 Working Distances

OD73

S FAMILY
R OPTICS
O DETECTOR
ION OUTPUT



SE 363B-01
PLASTIC

	Unit
	Volts
	mW
	mW/°C
	°C

Max	Unit
100	nA
—	Volts

—	$\mu A/\mu W$
1	Volts
—	μS
—	μS



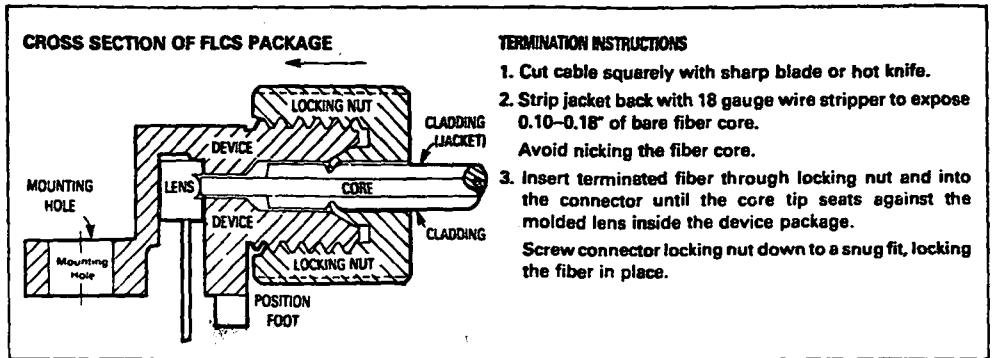


Figure 5. FO Cable Termination and Assembly

INPUT SIGNAL CONDITIONING

The following circuits are suggested to provide the desired forward current through the emitter.

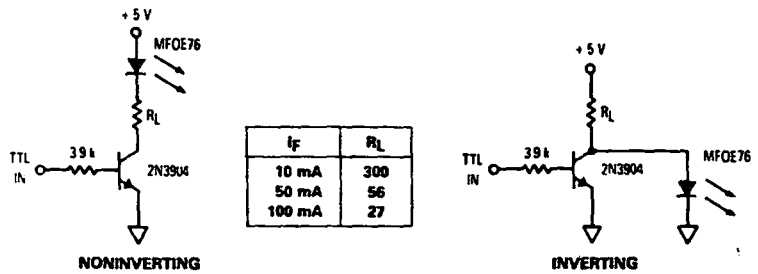


Figure 6. TTL Transmitters

OUTPUT SIGNAL CONDITIONING

The following circuit is suggested to take the FLCS detector output and condition it to drive TTL with an acceptable bit error rate.

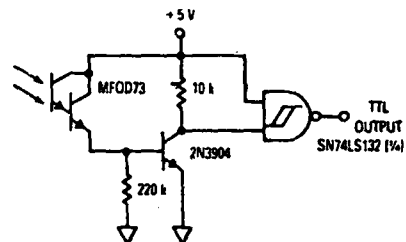


Figure 7. 1 kHz Darlington Receiver

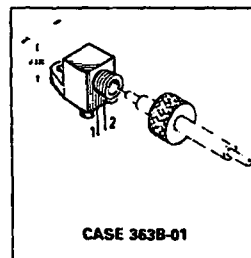
Fiber Optics — FLCS Family Visible Red LED

MFOE76

**FLCS FAMILY
 FIBER OPTICS
 VISIBLE RED
 LED
 660 nm**

This device is designed for low cost, medium frequency, fiber optic systems using 1000 micron core plastic fiber. It is compatible with Motorola's wide variety of detector functions from the MFOD70 series. The MFOE76 employs gallium aluminum technology, and comes pre-assembled into the convenient and popular FLCS connector.

- Low Cost
- Very Simple Fiber Termination and Connection. See Figure 9
- Convenient Printed Circuit Mounting
- Integral Molded Lens for Efficient Coupling
- Mates with 1000 Micron Core Plastic Fiber, such as Eska SH4001



MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	V_R	5	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
Forward Current — Peak Pulse	I_F	1	A
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ (1) Derate above 35°C	P_D	132 2	mW mW/°C
Ambient Operating Temperature Range	T_A	-40 to +100	°C
Storage Temperature	T_{stg}	-40 to +100	°C
Lead Soldering Temperature (2)	—	260	°C

Notes: 1. Measured with device soldered into a typical printed circuit board
 2. 5 seconds max; 1/16 inch from case.

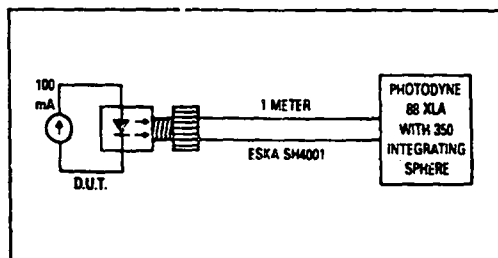


Figure 1. Power Launched Test Setup

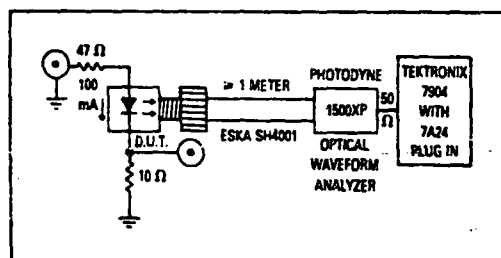
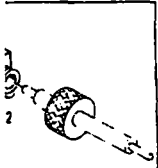


Figure 2. Optical Turn-On and Turn-Off Test Setup

OE76

3 FAMILY
R OPTICS
IBLE RED
LED
60 nm



SE 363B-01

Unit
Volts
mA
A
mW
mW/C
100 °C
100 °C
°C

50 Ω
TEKTRONIX
7904
WITH
7A24
PLUG IN

Off Test Setup

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Reverse Leakage Current ($V_R = 3\text{ V}$)	I_R	—	100	—	nA
Reverse Leakage Current ($V_R = 5\text{ V}$)	I_R	—	10	100	μA
Forward Voltage ($I_F = 60\text{ mA}$)	V_F	—	1.8	2.2	V
Temperature Coefficient of Forward Voltage	ΔV_F	—	-2.2	—	mV/K
Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$)	C	—	50	—	pF

OPTICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Peak Wavelength ($I_F = 60\text{ mA}$)	λ_P	—	660	—	nm
Instantaneous Power Launched ($I_F = 100\text{ mA}$, Figure 1)	P_L	200	540	—	μW
Optical Turn-On Time (Figure 2)	t_{on}	—	200	—	ns
Optical Turn-Off Time (Figure 2)	t_{off}	—	150	—	ns
Half-Power Electrical Bandwidth (1)	BWe	—	6	—	MHz

(1) $I_F = 100\text{ mA}$ pk-pk, 100% modulation.

TYPICAL CHARACTERISTICS

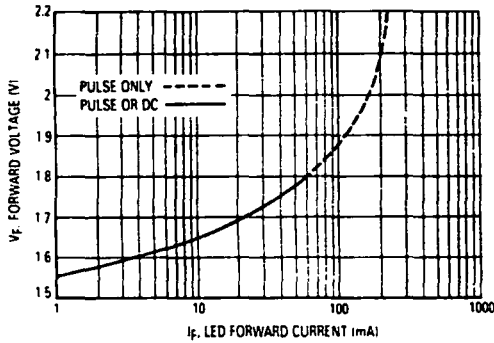


Figure 3. Forward Voltage versus Forward Current

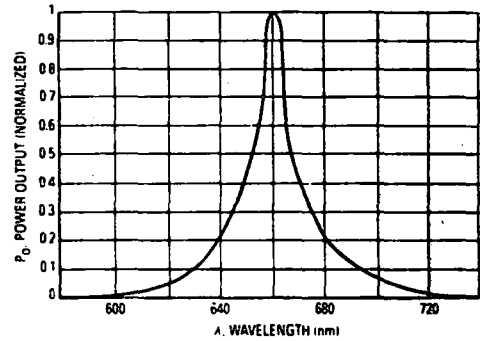


Figure 4. Relative Spectral Output

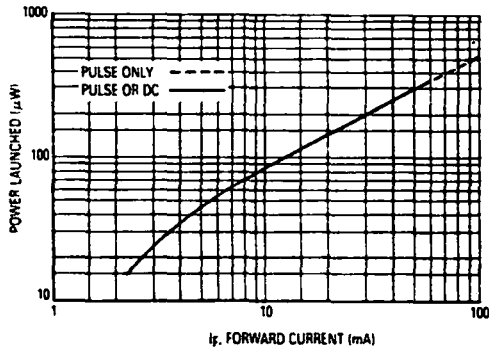


Figure 5. Power Launched versus LED Forward Current

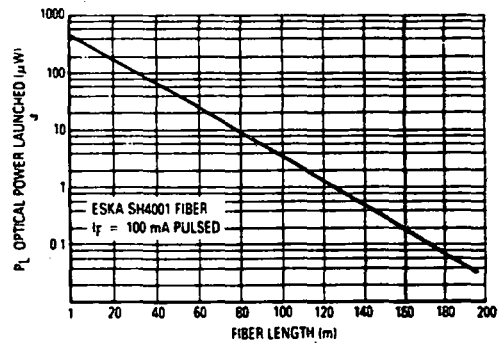


Figure 6. Power Launched versus Fiber Length

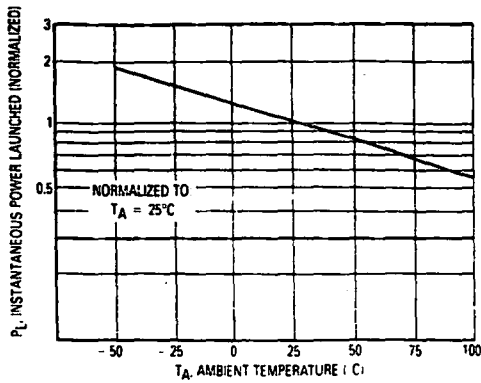


Figure 7. Instantaneous Power Output versus Ambient Temperature

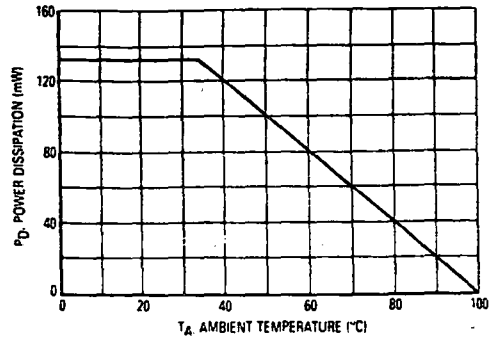


Figure 8. Power Dissipation

The system length achieved with a MFOE76 emitter and various detectors, using 1000 micron core plastic fiber (Eskal SH4001 or equivalent), depends on the LED forward

current (I_f) and the responsivity of the detector chosen. Each detector will perform with the MFOE76 up to the distances shown below.

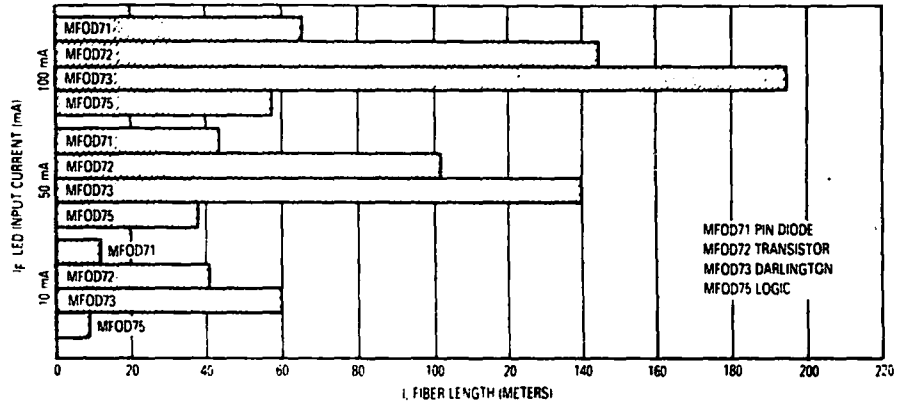


Figure 9. MFOE76 Working Distances

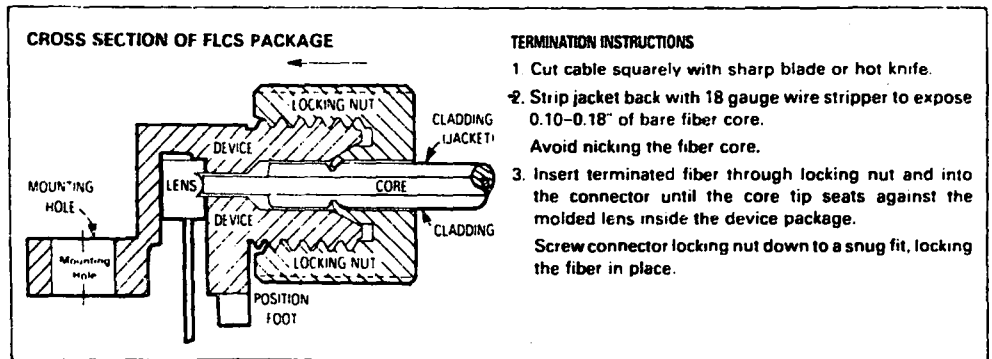


Figure 10. FO Cable Termination and Assembly

บรรณานุกรม

1. อิเล็กทรอนิกส์สมัครเล่น เล่มที่ 40 เรื่อง "เสียงตามสายไฟเบอร์ออปติก", ของอินทิรา หมายสม, หน้าที่ 52-55, บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น
2. อิเล็กทรอนิกส์สมัครเล่น เล่มที่ 43 เรื่อง "เทคโนโลยีเส้นใยนำแสง", ของพรสมนึก ชินนิระสเถียร, หน้าที่ 52-58, บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น
3. การสื่อสารเส้นใยแสง ของ อภิวัฒน์ มั่นยานนท์, ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม เทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
4. ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ ไมโครโปรเซสเซอร์ Z80 ของ ยืน ภู่วรรณ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
5. การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 ของ สุนทร วิทสุรพงษ์, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)