ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อ ชุดทดลองระบบรับ-ส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสง

Optical Fiber Transmission System Demonstrating Set

ชื่อนักศึกษา

1. นายวีรพัฒน์	จิตร์ภักดี	รหัสประจำตัว	43035309
2. นางสาวศาลิณี	เกตุมณี	รหัสประจำตัว	43035310
3. นายอิทธิพงศ์	แสงเพลิง	รหัสประจำตัว	43035324
4. นายราชัน	เจริญศักดิ์	รหัสประจำตัว	43035599

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์พงษ์เกียรติ เชษฐพิทักษ์สกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ศ.ดร.ปรีชา ยุพาพิน

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์กิติพงค์ มะโน	.....
2. อาจารย์พงษ์เกียรติ เชษฐพิทักษ์สกุล	.....
3. ศ.ดร.ปรีชา ยุพาพิน	.....
4. อาจารย์สุระชัย พิมพ์สาลี	.....
5. อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ	.....

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันจันทร์ที่ 29 เมษายน พ.ศ. 2545 เวลา 14.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.315 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่ 15 เดือน พค. พ.ศ. 2545

<BT4401082>

ชุดทดลองระบบรับ-ส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์

ชุดทดลองระบบรับ-ส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสง

OPTICAL FIBER TRANSMISSION SYSTEM DEMONSTRATING SET

นายวีรพัฒน์ จิตร์ภักดี
นางสาวศาลิณี เกตุมณี
นายอิทธิพงศ์ แสงเพลิง
นายราชัน เจริญศักดิ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 43191
วัน, เดือน, ปี 26 ก.ค. 2545

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ชุดทดลองระบบรับ-ส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสง

Optical Fiber Transmission System Demonstrating Set

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ในระบบรับ-ส่งสัญญาณด้วยเส้นใยแก้วนำแสง
2. เพื่อออกแบบชุดทดลองการรับ-ส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสง
3. เพื่อสร้างใบงานการทดลองการรับ-ส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสง
4. เพื่อทดสอบใบงานการทดลองการรับ-ส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสง
5. เพื่อนำชุดทดลองการรับ-ส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสงไปใช้งาน
6. เพื่อให้นักเรียนเข้าใจในบทเรียนวิชาระบบรับ-ส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจการทำงานของอุปกรณ์ในระบบรับ-ส่งสัญญาณผ่านเส้นใยนำแสง
2. มีชุดทดลองและใบงานที่ใช้งานได้จริง
3. สามารถนำชุดทดลองไปใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนได้
4. ได้ผลการทดสอบใบงานการทดลองการรับ-ส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสงเพื่อนำไปปรับปรุงชุดทดลองที่ออกแบบไว้
5. ได้ชุดทดลองการรับ-ส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสงไปใช้งาน
6. นักศึกษาเกิดความรู้ ความเข้าใจในวิชาระบบรับ-ส่งด้วยเส้นใยนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	ชุดทดลองระบบรับ-ส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสง
นักศึกษา	นายวีระพัฒน์ จิตร์ภักดี
	นางสาวศาลิณี เกตุมณี
	นายอิทธิพงศ์ แสงเพลิง
	นายราชัน เจริญศักดิ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์พงษ์เกียรติ เชษฐพิทักษ์สกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศ.ดร. ปรีชา ยุพาพิน
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ปีการศึกษา	2544

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบ และการสร้างชุดทดลองระบบรับส่งด้วยเส้นใยนำแสง ซึ่งประกอบไปด้วยชุดทดลอง และใบงานการทดลอง ในส่วนของชุดทดลองประกอบไปด้วยภาคส่ง ภาครับซึ่งจะใช้ไมโครคอลโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นตัวควบคุมการทำงานของเครื่องทั้งหมด และมีมิเตอร์เพื่อใช้วัดค่าต่างๆ ในส่วนของใบงานการทดลองมีทั้งหมด 7 ใบงาน ประกอบไปด้วย การเดินทางของแสงเป็นเส้นตรง การหักเห การสะท้อนกลับของแสง คุณสมบัติของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก การสูญเสียจากการโค้งงอ (Bending และ Macro-Bending) การส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ผ่านเส้นใยนำแสง การส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง การส่งสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง และการส่งสัญญาณดิจิตอลผ่านเส้นใยนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Optical fiber transmittion system demonstrating set
Students	Mr. Weerapat Jitpakdee
	Miss Salinee Keatmanee
	Mr. Itthipong Saengploeng
	Mr. Rachan Charoensak
Advisor	Mr. Pongkiat Chedpitaksakul
Co-Advisor	Prof. Dr Preecha Yupapin
Education LEvel	Bachelor of Science in Industrial Education
Program in	Telecommunication Engineering
Academic Year	2001

ABSTRACT

This thesis presents a desingning and implementation of Optical fiber transmission system demonstrating set. This project can be devided into two parts; hardware and experiment. Hardware consists of transmitter and receiver which is controlled by microcontroller MCS-51. Experiment consists of 7 laboratories which are properties of light, properties of all-plastic optical fiber, bending and macro – bending loss, sine wave signal transmission, square wave signal transmission, triangle wave signal transmission and digital signal transmission.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความร่วมมือของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน ขอขอบคุณ ศ.ดร. ปรีชา ยุพาพิน อาจารย์พงษ์เกียรติ เชษฐพิทักษ์สกุล ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษาในการดำเนินงาน และให้คำแนะนำในการแก้ปัญหาด้วยดีเสมอมา รวมทั้งอาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงาน การใช้สถานที่ เครื่องมือ และวัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นในการจัดทำปริญญานิพนธ์

คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ปกครองผู้ให้การสนับสนุนด้านการศึกษามาโดยตลอด และเพื่อนๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจ รวมทั้งบุคคลอื่นที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่ได้ให้คำปรึกษา แนะแนววิธีการแก้ไขปัญหา จัดหาเครื่องมือต่างๆ รวมทั้งให้คำเสนอแนะด้านอื่นๆ จนกระทั่งปริญญานิพนธ์สำเร็จสุล่วงด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	X
สารบัญรูป	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแสง และการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสง	3
2.1.1 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแสง	3
2.1.2 คุณลักษณะของแสงในสภาพคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	3
2.1.3 คุณลักษณะของแสงในสภาพโฟตอน	5
2.1.4 ชนิดของแสง	5
2.1.5 คุณสมบัติของแสง	5
2.1.6 ค่าดัชนีหักเหของแสง	7
2.1.7 กฎของสเนล	8
2.1.8 มุมวิกฤต	9
2.1.9 ขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน	10
2.1.10 โมดในการเดินทางของแสง	13
2.2 ชนิดของเส้นใยนำแสง	14
2.2.1 การแบ่งตามสารไดอิเล็กทริกที่ใช้	15
2.2.2 การแบ่งตามจำนวนโมดในการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสง	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.2.3 การแบ่งตามลักษณะของดัชนีการหักเห	16
2.3 คุณลักษณะในการส่งสัญญาณของเส้นใยนำแสง	17
2.3.1 การลดทอนสัญญาณ	17
2.3.2 การสูญเสียสัญญาณในเส้นใยนำแสง	17
2.3.3 แบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณ	25
2.4 โครงสร้างของเส้นใยนำแสง	26
2.4.1 เส้นใยนำแสงชนิดมัลติโมดสเต็ปอินเด็กซ์	26
2.4.2 เส้นใยนำแสงชนิดมัลติโมดเกรดเดดอินเด็กซ์	26
2.4.3 เส้นใยนำแสงชนิดซิงเกิลโมด	28
2.4.4 เส้นใยนำแสงแบบพลาสติกแคลดดิ้ง	29
2.4.5 เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกทั้งหมด	30
2.5 อุปกรณ์กำเนิดแสง	31
2.5.1 การเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสง	31
2.5.2โครงสร้าง และการทำงานของการกำเนิดแสงของสารกึ่งตัวนำ	33
2.5.3 สารที่ใช้ในการสร้าง และโครงสร้างของอุปกรณ์กำเนิดแสง	37
2.5.4 คุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์กำเนิดแสง	41
2.6 อุปกรณ์รับแสง	45
2.6.1 การเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า	45
2.6.2 สาร และโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง	46
2.6.3 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง	49
2.7 หัวต่อ	50
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	57
3.1 กล่าวนำ	57
3.2 การออกแบบระบบฮาร์ดแวร์ของเครื่องส่ง	57
3.2.1 ภาคควบคุมการทำงานของเครื่องส่ง	58
3.2.2 ภาคขับสัญญาณ	59
3.2.3 อุปกรณ์กำเนิดแสง	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.3. การออกแบบวงจรที่ใช้ในเครื่องส่ง	60
3.3.1วงจรส่วนประมวลผล	60
3.3.2 วงจรส่วนโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว	61
3.3.3 วงจรสวิตช์เมตริกซ์ หรือสวิตช์แบบเมตริกซ์	62
3.3.4 วงจรสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง	62
3.3.5 วงจรมิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	63
3.3.6 วงจรเลือกวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	64
3.3.7 วงจรเลือกสัญญาณอินพุต	65
3.3.8 วงจรบัฟเฟอร์หรือวงจรกันชน	66
3.3.9 วงจรขับสัญญาณ	68
3.4 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของเครื่องรับ	69
3.4.1 ภาคควบคุมการทำงานของเครื่องรับ	69
3.4.2 อุปกรณ์รับแสง	70
3.4.3 ภาคขยายสัญญาณ	70
3.4.4 สัญญาณแอนะลอก	71
3.4.5 เปรียบเทียบแรงดับ	71
3.4.6 สัญญาณดิจิตอล	71
3.5 การออกแบบวงจรที่ใช้ในเครื่อง	71
3.5.1วงจรส่วนประมวลผล	71
3.5.2 วงจรภาคแสดงผล	72
3.5.3 วงจรสวิตช์	72
3.5.4 วงจรมิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	73
3.5.5 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า	74
3.5.6 วงจรขยายสัญญาณ	74
3.5.7 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	75
3.5.8 วงจรสร้างสัญญาณดิจิตอล	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.6 การออกแบบซอฟต์แวร์ของเครื่องส่งสัญญาณด้วยเส้นนำแสง	76
3.6.1 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง	76
3.6.2 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการเลือกสัญญาณอินพุต	76
3.6.3 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการเลือกวัดสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง	77
3.6.4 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการแสดงผล	77
3.6.5 การออกแบบโปรแกรมควบคุมมิเตอร์ที่ใช้วัดไฟฟ้ากระแสตรง	78
3.7 การออกแบบซอฟต์แวร์ของเครื่องรับสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสง	79
3.7.1 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการแสดงผล	79
3.7.2 การออกแบบโปรแกรมควบคุมมิเตอร์ที่ใช้วัดไฟฟ้ากระแสตรง	80
3.8 เส้นใยนำแสง	81
3.8.1 เส้นใยนำแสงชนิดไม่มีเปลือกหุ้ม	81
3.8.2 เส้นใยนำแสงชนิดไม่มีเปลือกหุ้ม	81
3.9 อุปกรณ์ช่วยในการทดลองใบงาน	81
3.9.1 อุปกรณ์ช่วยในการทดลองใบงานที่ 1 เรื่องการเดินทางของแสง	81
3.9.2 อุปกรณ์ช่วยในการทดลองใบงานที่ 3 เรื่องการสูญเสียจากการโค้งงอเส้นใยนำแสง	92
3.9.3 อุปกรณ์ช่วยในการทดลองใบงานที่ 3 เรื่องการสูญเสียจากการกดทับเส้นใยนำแสง	94
3.10 การออกแบบใบงาน	95
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง	97
4.1 กล่าวนำ	97
4.2 การทดลอง และผลการทดลอง	97
4.2.1 ภาคส่ง	97
4.2.2 วงจรสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง	98
4.2.3 อุปกรณ์ช่วยในการทดลอง	100
4.2.4 วงจรเลือกวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	101
4.2.5 วงจรเลือกสัญญาณอินพุต	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.2.6 วงจรบัฟเฟอร์	103
4.2.7 วงจรขับสัญญาณ	105
4.3 ภาครับ	105
4.3.1 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า	105
4.3.2 วงจรขยายสัญญาณ	106
4.3.3 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	107
4.3.4 วงจรสร้างสัญญาณดิจิตอล	107
4.4 อุปกรณ์ช่วยในการทดลอง	108
4.4.1 การทดลองใบงานที่ 1	108
4.4.2 อุปกรณ์ช่วยในการทดลองที่ 3	109
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา และแนวทางแก้ไขปัญหา	111
5.1 บทสรุป	111
5.2 ปัญหา และแนวทางแก้ไข	112
5.2.1 ปัญหาทางด้านฮาร์ดแวร์	112
5.3 ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการพัฒนา	113
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	115
ภาคผนวก ข วงจร และแผ่นวงจรพิมพ์	118
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	132
ภาคผนวก ง รายละเอียด และคุณสมบัติของอุปกรณ์	137
ภาคผนวก จ โปรแกรม	142
ภาคผนวก ฉ คู่มือการใช้งาน	165
ภาคผนวก ช ใบงานการทดลอง	174
ภาคผนวก ซ ใบงานการทดลอง และผลการทดลอง	237
บรรณานุกรม	311
ประวัติผู้แต่ง	312

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าดัชนีหักเหของแสงของตัวกลางต่างๆ	8
ตารางที่ 2.2 การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสง	15
ตารางที่ 2.3 ลักษณะของดัชนีการหักเห และการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสง	16
ตารางที่ 2.4 ค่าการสูญเสียเปรียบเทียบออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์	51
ตารางที่ 4.1 การทำงานของโปรแกรมเลือกรับสัญญาณอินพุต	103
ตารางที่ 4.2 การทำงานของวงจรบัฟเฟอร์	103
ตารางที่ 4.3 การทำงานของวงจรบัฟเฟอร์สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอก	104
ตารางที่ 4.4 ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับจุด Vin	105
ตารางที่ 4.5 แรงดันตกคร่อมโหลดที่มุมโค้งงอต่างกัน	109
ตารางที่ 4.6 แรงดันตกคร่อมโหลดที่น้ำหนักกดทับค่าต่างๆ	110
ตารางที่ ฉ.1 ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	168

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	4
รูปที่ 2.2 แสงเดินทางเป็นเส้นตรง	6
รูปที่ 2.3 การหักเหของแสง	6
รูปที่ 2.4 มุมหักเหของแสง	6
รูปที่ 2.5 การสะท้อนของแสง	7
รูปที่ 2.6 มุมสะท้อนของแสง	7
รูปที่ 2.7 การหักเหของแสงที่รอยต่อของตัวกลาง 2 ชนิด	9
รูปที่ 2.8 มุมวิกฤต	10
รูปที่ 2.9 การเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสง	10
รูปที่ 2.10 การส่งแสงจากต้นกำเนิดเข้าสู่เส้นใยนำแสง	11
รูปที่ 2.11 มุมสูงสุดในการป้อนแสง	13
รูปที่ 2.12 การเชื่อมต่อแหล่งกำเนิดแสงกับเส้นใยนำแสงผ่านเลนส์	13
รูปที่ 2.13 การสูญเสียทั้งหมดในเส้นใยนำแสง	19
รูปที่ 2.14 การกระจัดกระจายแสงแบบเรย์เลห์	20
รูปที่ 2.15 การสูญเสียแสงที่เกิดจากการโค้งงอเส้นใยนำแสง	21
รูปที่ 2.16 การสูญเสียแสงที่เกิดจากการต่อเส้นใยนำแสง	22
รูปที่ 2.17 การเกิดการขยายกว้างออกของสัญญาณพัลส์ 1011 เมื่อผ่านเส้นใยนำแสง	23
รูปที่ 2.18 การเกิดการขยายกว้างออกของสัญญาณดิจิตอลที่ทำการส่งไปในเส้นใยนำแสง	24
รูปที่ 2.19 การหาแบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณ	25
รูปที่ 2.20 โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงชนิดมัลติโมดสเต็ปอินเด็กซ์	26
รูปที่ 2.21 โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงชนิดมัลติโมดเกรดเดดอินเด็กซ์	27
รูปที่ 2.22 โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงชนิดซิงเกิลโมดเดียว	28
รูปที่ 2.23 โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงชนิด PCS แบบมัลติโมดสเต็ปอินเด็กซ์	29
รูปที่ 2.24 โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงพลาสติกทั้งหมด	30
รูปที่ 2.25 โครงสร้าง และระดับพลังงานของอะตอม	31
รูปที่ 2.26 ระดับพลัง และขั้นตอนของการถ่ายเทพลังงาน	32
รูปที่ 2.27 ตัวอย่างการจัดอีเลคตรอน และนิวเคลียสในสารกึ่งตัวนำ	34

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.28 ระดับพลังงานในสารกึ่งตัวนำ	34
รูปที่ 2.29 หลักการออสซิเลชั่นของแสง	35
รูปที่ 2.30 การเกิดคลื่นนิ่งของแสง	36
รูปที่ 2.31 ความยาวคลื่นแสงของเลเซอร์	36
รูปที่ 2.32 ช่วงความยาวคลื่นแสงของแอลอีดี	37
รูปที่ 2.33 ความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาของสารประกอบกึ่งตัวนำ	38
รูปที่ 2.34 ระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำชนิดพี และชนิดเอ็น	39
รูปที่ 2.35 สนามไฟฟ้าภายในระดับพลังงานของ พี-เอ็น จังชั่น	39
รูปที่ 2.36 โครงสร้าง ระดับพลังงาน และลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของเลเซอร์ไดโอด	40
รูปที่ 2.37 โครงสร้าง และระดับพลังงานของแอลอีดี	42
รูปที่ 2.38 คุณลักษณะการเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสงโดยปกติของแอลอีดี และเลเซอร์ไดโอด	43
รูปที่ 2.39 ความเป็นเชิงเส้นของสัญญาณเอาต์พุตของอุปกรณ์กำเนิดแสง	44
รูปที่ 2.40 ดีพลีชั่นโซน	45
รูปที่ 2.41 ความยาวคลื่นในการรับแสงของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิด	47
รูปที่ 2.42 หลักการทำงานการรับแสง และระดับพลังงานของพินโฟโตไดโอด	48
รูปที่ 2.43 หลักการการรับแสง และระดับพลังงานของ อวาลานซ์โฟโตไดโอด	49
รูปที่ 2.44 หัวต่อชนิดเอสเอ็มเอ	52
รูปที่ 2.45 หัวต่อชนิดไบโคนิค	53
รูปที่ 2.46 หัวต่อชนิดเอสที	54
รูปที่ 2.47 หัวต่อชนิดเอฟซี	55
รูปที่ 2.48 หัวต่อชนิดเอสซี	55
รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของเครื่องส่ง	57
รูปที่ 3.2 วงจรประมวลผล	60
รูปที่ 3.3 วงจรส่วนโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว	61
รูปที่ 3.4 วงจรสวิตช์เมตริกซ์	61
รูปที่ 3.5 วงจรสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 3.6 วงจรมิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	64
รูปที่ 3.7 วงจรเลือกวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	65
รูปที่ 3.8 วงจรเลือกสัญญาณอินพุต	65
รูปที่ 3.9 วงจรบัฟเฟอร์สัญญาณดิจิตอล จากแหล่งจ่ายภายนอก	66
รูปที่ 3.10 วงจรบัฟเฟอร์สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง จากแหล่งจ่ายภายนอก	66
รูปที่ 3.11 วงจรบัฟเฟอร์สัญญาณแอนะลอก จากแหล่งจ่ายภายนอก	67
รูปที่ 3.12 วงจรขับสัญญาณ	68
รูปที่ 3.13 แผนผังการทำงานของเครื่องรับ	69
รูปที่ 3.14 วงจรภาคประมวลผล	71
รูปที่ 3.15 วงจรภาคแสดงผล	72
รูปที่ 3.16 วงจรสวิตช์	72
รูปที่ 3.17 วงจรมิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	73
รูปที่ 3.18 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า	74
รูปที่ 3.19 วงจรขยายสัญญาณ	74
รูปที่ 3.20 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	75
รูปที่ 3.21 วงจรสร้างสัญญาณดิจิตอล	75
รูปที่ 3.22 ผังงานของโปรแกรมสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง	76
รูปที่ 3.23 ผังงานของโปรแกรมการเลือกสัญญาณอินพุต	76
รูปที่ 3.24 ผังงานของโปรแกรมการเลือกวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	77
รูปที่ 3.25 ผังงานของโปรแกรมการแสดงผล	77
รูปที่ 3.26 ผังงานของโปรแกรมมิเตอร์ที่ใช้วัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	78
รูปที่ 3.27 ผังงานของโปรแกรมการแสดงผล	79
รูปที่ 3.28 ผังงานของโปรแกรมมิเตอร์ที่ใช้วัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	80
รูปที่ 3.29 เพลาสเตนเลสสตีล ชิ้นที่ 1	82
รูปที่ 3.30 เพลาสเตนเลสสตีล ชิ้นที่ 2	82
รูปที่ 3.31 ลักษณะการประกอบเพลาสเตนเลสสตีล	83
รูปที่ 3.32 แผนสเตนเลสสตีล ชิ้นที่ 3	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 3.33 ลักษณะการประกอบชิ้นงาน	83
รูปที่ 3.34 แผ่นสเตนเลสสตีล ชิ้นงานที่ 5	84
รูปที่ 3.35 ลักษณะการประกอบชิ้นงาน	84
รูปที่ 3.36 ลักษณะการเชื่อมต่อชิ้นงาน	84
รูปที่ 3.37 ลักษณะการประกอบชิ้นงาน	85
รูปที่ 3.38 อุปกรณ์ที่ใช้ยึดอุปกรณ์กำเนิดแสง	85
รูปที่ 3.39 ลักษณะการประกอบชิ้นงาน	86
รูปที่ 3.40 ลักษณะของชิ้นงาน	86
รูปที่ 3.41 ลักษณะการประกอบชิ้นงาน	87
รูปที่ 3.42 ลักษณะการประกอบชิ้นงาน	87
รูปที่ 3.43 แผ่นพลาสติกอะครีลิกใส	88
รูปที่ 3.44 แผ่นวัดองศา	88
รูปที่ 3.45 แผ่นพลาสติกอะครีลิกใส	89
รูปที่ 3.46 ลักษณะการประกอบชิ้นงาน	89
รูปที่ 3.47 วงจรภาคจ่ายไฟ	89
รูปที่ 3.48 ลิ้นชักเก็บอุปกรณ์	90
รูปที่ 3.49 ภายในลิ้นชักเก็บอุปกรณ์	90
รูปที่ 3.50 อุปกรณ์ที่ใช้สะท้อนแสงจากอุปกรณ์กำเนิดแสง	91
รูปที่ 3.51 แท่งพลาสติกอะครีลิกใส	92
รูปที่ 3.52 แผ่นพลาสติกอะครีลิกใส	93
รูปที่ 3.53 ลักษณะการประกอบชิ้นงาน	93
รูปที่ 3.54 แผ่นพลาสติกสีขาวหนา 1.5 มิลลิเมตร	93
รูปที่ 3.55 อุปกรณ์ช่วยในเรื่องการสูญเสียของเส้นใยนำแสงจากการโค้งงอ	94
รูปที่ 3.56 อุปกรณ์ช่วยในการทดลองเรื่อง การสูญเสียเนื่องจากแรงที่กดทับเส้นใยนำแสง	94
รูปที่ 4.1 วงจรแสดงผล และสวิตช์แบบเมตริกซ์	97
รูปที่ 4.2 วงจรสร้างสัญญาณสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง	99
รูปที่ 4.3 กระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสง	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.4 วงจรมิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	100
รูปที่ 4.5 ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสง	101
รูปที่ 4.6 วงจรเลือกวัดสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง	102
รูปที่ 4.7 วงจรเลือกสัญญาณอินพุต	102
รูปที่ 4.8 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า	106
รูปที่ 4.9 ผลการทดลองการฉายแสง	108
รูปที่ ก.1 เครื่องส่ง	116
รูปที่ ก.2 เครื่องรับ	116
รูปที่ ก.3 อุปกรณ์ทดลองใบงานที่ 1	117
รูปที่ ก.4 อุปกรณ์ทดลองการโค้งงอ	117
รูปที่ ข.1 วงจรภาคส่ง	119
รูปที่ ข.2 วงจรภาครับ	120
รูปที่ ข.3 วงจรภาคควบคุมของเครื่องส่ง	121
รูปที่ ข.4 วงจรภาคควบคุมของเครื่องรับ	122
รูปที่ ข.5 วงจรภาคจ่ายไฟของเครื่องรับ และเครื่องส่ง	122
รูปที่ ข.6 ด้านบนของแผ่นวงจรพิมพ์ภาคส่ง	123
รูปที่ ข.7 ด้านล่างของแผ่นวงจรพิมพ์ภาคส่ง	123
รูปที่ ข.8 ผังการวางอุปกรณ์ของแผ่นวงจรพิมพ์ภาคส่ง	124
รูปที่ ข.9 ด้านบนของแผ่นวงจรพิมพ์ภาครับ	124
รูปที่ ข.10 ด้านล่างของแผ่นวงจรพิมพ์ภาครับ	125
รูปที่ ข.11 ผังการวางอุปกรณ์ของแผ่นวงจรพิมพ์ภาครับ	126
รูปที่ ข.12 ด้านบนของแผ่นวงจรพิมพ์ภาคควบคุม	127
รูปที่ ข.13 ด้านล่างของแผ่นวงจรพิมพ์ภาคควบคุม	128
รูปที่ ข.14 ผังการวางอุปกรณ์ของแผ่นวงจรพิมพ์ภาคควบคุม	129
รูปที่ ข.15 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคจ่ายไฟ	130
รูปที่ ข.16 ผังการวางอุปกรณ์ของแผ่นวงจรพิมพ์ภาคจ่ายไฟ	131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ จ.1 โปรแกรมการทำงานของเครื่องส่ง	157
รูปที่ จ.2 โปรแกรมการทำงานของเครื่องรับ	164
รูปที่ ฉ.1 ลักษณะของเครื่องส่ง	166
รูปที่ ฉ.2 ลักษณะของสวิตช์เมตริกซ์	167
รูปที่ ฉ.3 ลักษณะของเครื่องรับ	171
รูปที่ ฉ.4 สวิตช์สามทาง	172
รูปที่ ฉ.5 การเชื่อมต่อเส้นใยนำแสง	175

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ
บทที่ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

เนื่องจากในปัจจุบันเป็นยุคที่ต้องการความรวดเร็ว และคุณภาพในการรับส่งข้อมูลต่างๆ ซึ่งในอดีต และปัจจุบันนั้น จะใช้สายสัญญาณแบบคู่ขนาน สายโคแอคเชียล ซึ่งจะมีขีดความสามารถในการรับส่งข้อมูลจำกัด ดังนั้นเส้นใยนำแสงจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการใช้รับส่งข้อมูลข่าวสาร เพราะมีข้อดีหลายอย่าง เช่น มีการสูญเสียของสัญญาณต่ำ แบนด์วิดท์กว้าง มีน้ำหนักเบา ไม่นำกระแสไฟฟ้า และไม่มีการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า จึงนิยมนำเส้นใยนำแสงมาใช้ในงานระบบโทรคมนาคมมากขึ้น แต่เนื่องจากชุดฝึกที่มีใช้สำหรับการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติรับส่งด้วยเส้นใยนำแสงนั้นมีราคาสูง และมีจำนวนไม่เพียงพอกับจำนวนนักศึกษา เมื่อชุดฝึกเกิดการชำรุดเสียหายก็ไม่สามารถตรวจซ่อมได้เนื่องจากชุดฝึก และอุปกรณ์ต่างๆ นำเข้ามาจากต่างประเทศ อีกทั้งเนื้อหาในใบงานนั้นก็ไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์รายวิชา จึงทำให้ชุดฝึกที่มีอยู่ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเรียนการสอนในวิชาปฏิบัติได้อย่างเต็มที่

ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงมีความประสงค์ที่จะทำชุดทดลองระบบรับ-ส่ง ด้วยเส้นใยนำแสงขึ้น โดยที่ชุดทดลองที่จัดทำขึ้นนี้เป็นชุดทดลองที่มีเนื้อหาของการทดลองครอบคลุมตามสังเขปรายวิชาในวิชาปฏิบัติระบบรับ-ส่งด้วยเส้นใยนำแสงระดับชั้น ปวส.ปีที่2

1.1 ขีดความสามารถของโครงงาน

ชุดทดลองนี้เป็นชุดทดลองสำหรับนักศึกษาหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ของกรมอาชีวศึกษาในรายวิชาสื่อสารเส้นใยนำแสงซึ่งมีการทดลองทั้งหมด 7 การทดลองดังนี้

1) การเดินทางของแสงเป็นเส้นตรง การหักเห การสะท้อนกลับของแสง

2) คุณสมบัติของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

3) การสูญเสียจากการโค้งงอ (Bending และMacro-Bending)

4) การส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ผ่านเส้นใยนำแสง

5) การส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง

6) การส่งสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง

7) การส่งสัญญาณดิจิตอลผ่านเส้นใยนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาในบทต่างๆ ดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแสง และการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสง ชนิดของเส้นใยนำแสง คุณลักษณะการส่งสัญญาณของเส้นใยนำแสง โครงสร้างของเส้นใยนำแสง อุปกรณ์กำเนิดแสง อุปกรณ์รับแสง และหัวต่อเส้นใยนำแสง

บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงานภาคส่ง-ภาครับสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสง และใบงานชุดทดลองระบบรับ-ส่งด้วยเส้นใยนำแสง

บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง ของใบงานชุดทดลองระบบรับ-ส่งด้วยเส้นใยนำแสง

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางการแก้ไข และการพัฒนาชุดทดลองระบบรับ-ส่งด้วยเส้นใยนำแสง

ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ

ภาคผนวก ข วงจร และแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์

ภาคผนวก ง รายละเอียด และคุณสมบัติของอุปกรณ์

ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน

ภาคผนวก ฉ โปรแกรม

ภาคผนวก ช ใบงานการทดลอง

ภาคผนวก ซ ใบงานการทดลอง และผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแสงและการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสง

2.1.1 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแสง

ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแสงจะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลางที่แสงเดินทางผ่านแสงจะมีความเร็วสูงสุดเมื่อเคลื่อนที่ในสุญญากาศ ความเร็วของแสงในสุญญากาศจะแทนด้วยตัวอักษร C และมีค่าเท่ากับ 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที

ตามกฎของไอสไตน์ ความเร็วนี้เป็นความเร็วสูงสุดที่สามารถสังเกตได้ในการวัดทางกายภาพ เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางอย่างอื่นจะมีความเร็วลดลง ความเร็วของแสงในการเดินทางผ่านตัวกลางอื่นนี้จะแทนด้วยด้วยตัวอักษร V และมีความสัมพันธ์กับ C ดังสมการที่ 2.1

$$V = \frac{C}{n} \tag{2.1}$$

n คือ ค่าดัชนีหักเหของแสงของวัสดุตัวกลางที่แสงผ่าน ตามปกติแล้วแก้วที่ใช้ในการทำเส้นใยนำแสงจะมีค่าดัชนีการหักเหประมาณ 1.5 หากนำค่าที่กำหนดแทนที่ในสมการที่ 2.1 ความเร็วของแสงในแก้วจะเป็น 200,000 กิโลเมตรต่อวินาที

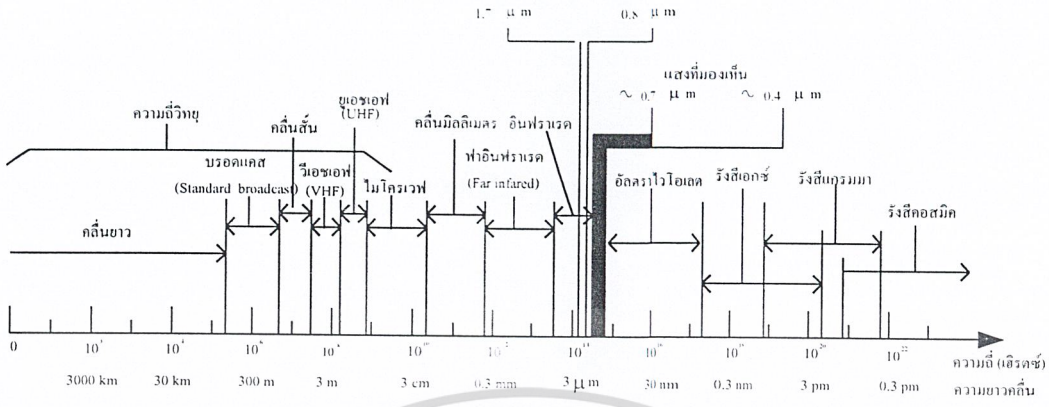
2.1.2 คุณลักษณะของแสงในสภาพคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

รูปแบบหนึ่งในการพิจารณาแสง คือ การแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะประกอบด้วยความถี่และความยาวคลื่น อันเป็นคุณลักษณะพื้นฐานเดียวกับคลื่นวิทยุต่างกันเพียงแต่ว่าแสงจะมีความถี่สูงกว่า

จากรูปที่ 2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ ในย่านความถี่ต่ำจะเป็นไฟฟ้า และความถี่วิทยุซึ่งใช้ในด้านดนตรี การกระจายเสียง และการสื่อสารด้วยไมโครเวฟ ในย่านความถี่สูงจะเป็นย่านของความถี่แสงและรังสีต่างๆ

ความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารทางแสงจะมีค่าประมาณ 3×10^{14} เฮิรตซ์ ซึ่งเท่ากับ 300,000 กิกะเฮิรตซ์ ความถี่นี้จะต่ำกว่าความถี่แสงที่มองเห็น (Visible Light) ซึ่งจะมีค่าประมาณ 5×10^{4} หมายความว่าแสงที่ใช้ในการสื่อสารทางแสงจะเป็นแสงที่มองไม่เห็น (Invisible Light) และความถี่แสงอยู่ในย่านรังสีอินฟราเรด (Infrared Light)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ตามปกติแล้วการกำหนดชนิดของแสงจะใช้ความยาวคลื่น ของแสงนั้นแทนที่จะใช้ความถี่หรือสี ความยาวคลื่นของแสงในสุญญากาศจะสัมพันธ์กับ C และความถี่ V ดังสมการ 2.2

$$\lambda = C/V \tag{2.2}$$

ในทางปฏิบัติค่าความยาวคลื่น (λ) ที่ใช้ในการสื่อสารนั้นจะอยู่ในย่าน 850, 1310 หรือ 1550 นาโนเมตร

ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแสงจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่แสงเดินทางผ่านสำหรับวัสดุอื่นนอกเหนือจากสุญญากาศแล้วความยาวคลื่นของแสงในวัสดุ (λ_{mat}) นั้นสามารถหาได้จากสูตร

$$\lambda_{mat} = \frac{V_{mat}}{V}$$

$$\lambda_{mat} = \frac{C}{n_{mat}} \times \frac{1}{V} \quad \because V_{mat} = \frac{C}{n_{mat}}$$

$$\lambda_{mat} = \frac{\lambda_{vac}}{n_{mat}} \tag{2.3}$$

โดยที่ λ_{vac} คือ ความยาวคลื่นแสงเมื่อแสงเดินทางผ่านสุญญากาศ

n_{mat} คือ ค่าดัชนีการหักเหของวัสดุที่แสงเดินทางผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 คุณลักษณะของแสงในสภาพโฟตอน

ในบางครั้งมีความจำเป็นที่จะต้องคิดว่าแสงเป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคเล็กๆ จำนวนมากในทิศทางนั้นๆ รูปแบบนี้จะมีประโยชน์มากในการศึกษาเกี่ยวกับพลังงานของแสง

อนุภาคพื้นฐานของแสงเรียกว่า "โฟตอน (Photon)" โฟตอนนี้เป็นหน่วยเล็กที่สุดของพลังงานแสง โฟตอนตัวหนึ่งจะแทนปริมาณพลังงานแสง พลังงานของโฟตอนใช้แทนด้วยตัวอักษร E_{ph} ซึ่งเท่ากับ

$$E_{ph} = h \times V \tag{2.4}$$

ในสูตรนี้ V คือความถี่ของแสง และ h คือค่าคงที่เรียกว่า "Plank – Constant" ($h = 6.63\times10^{-34}$ Watt • Sec^2) จากสูตรนี้พลังงานของโฟตอน จะมีหน่วยเป็น Watt • Second

2.1.4 ชนิดของแสง

แสงสามารถที่จะแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

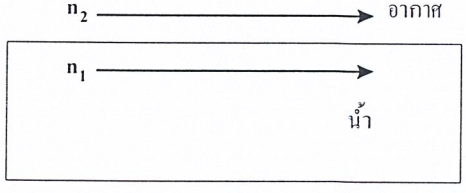
1) White Light เป็นแสงที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ เกิดจากการรวมตัวของแสงสีต่างๆ ที่ทำให้เกิดเป็นแสงสีขาว เช่น แสงแดด แสงแต่ละสีจะมีความยาวคลื่นต่างๆ กัน เราสามารถที่จะแยกแสงสีขาวออกเป็นแสงสีต่างๆ ได้ เช่น การใช้ปริซึม เป็นต้น

2) Monochrome Light เป็นแสงที่มีสีเดียวหรือความยาวคลื่นเดียว แสงดังกล่าวประกอบไปด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจำนวนมากเคลื่อนที่ไปในหลายทิศทาง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละทิศทางนี้จะมีความถี่เดียวกันแต่ต่างเฟสกัน (Out of Phase)

3) Coherent Light เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว และมีเฟสตรงกัน (Inphase) แสงชนิดนี้สามารถผลิตขึ้นมาได้จากตัวกำเนิดแสงแบบเลเซอร์

2.1.5 คุณสมบัติของแสง

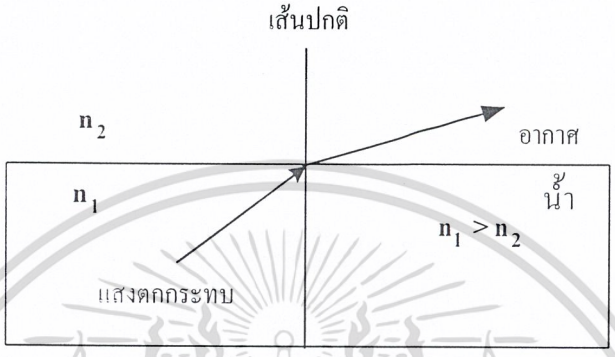
1) แสงเดินทางเป็นเส้นตรง ตามปกติแล้วแสงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียว หรือมีค่าดัชนีหักเหของแสงเท่ากัน แสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง



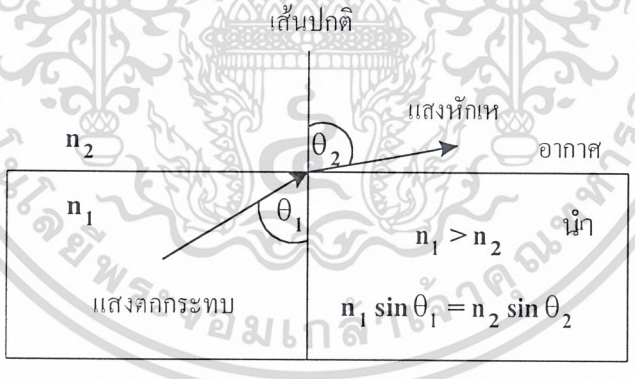
รูปที่ 2.2 แสงเดินทางเป็นเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การหักเหของแสง และมุมหักเหของแสง แสงตกกระทบจะหักเหที่รอยต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหที่แตกต่างกัน ดังรูป 2.3



รูปที่ 2.3 การหักเหของแสง

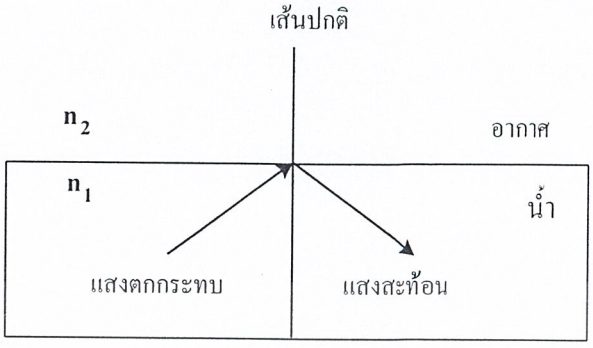


รูปที่ 2.4 มุมหักเหของแสง

แสงตกกระทบ แสงหักเห และเส้นปกติที่เกิด ณ จุดตกกระทบที่รอยต่อของตัวกลางทั้งสองจะอยู่ในระนาบเดียวกัน มุมหักเหจะสามารถคำนวณได้โดยกฎของสเนล (Snell's Law) ดังรูปที่ 2.4

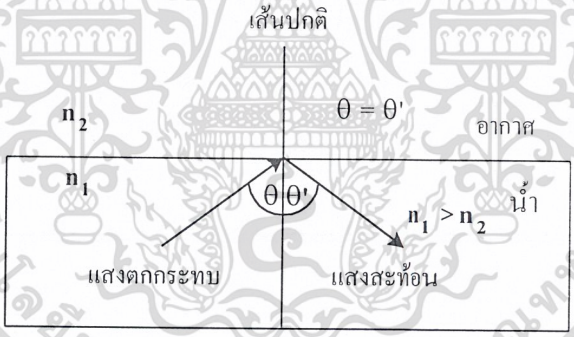
3) การสะท้อนของแสง และมุมการสะท้อนของแสง แสงตกกระทบจะสะท้อนที่รอยต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหที่ต่างกัน ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การสะท้อนของแสง

แสงตกกระทบ แสงสะท้อนและเส้นปกติที่เกิดขึ้น ณ จุดตกกระทบที่รอยต่อของตัวกลางทั้งสองจะอยู่ในระนาบเดียวกัน มุมตกกระทบจะเท่ากับมุมสะท้อนเสมอ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 มุมสะท้อนของแสง

2.1.6 ค่าดัชนีหักเหของแสง (Refractive Index)

ปกติแล้วแสงจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงสุดเมื่อเดินทางผ่านสุญญากาศ คือ ประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที แต่ความเร็วจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางชนิดอื่นๆ จึงเห็นได้ว่าแสงจะเกิดการหักเหขึ้น ถ้าหากเดินทางผ่านตัวกลาง 2 ชนิด ตามคุณสมบัติของแสง

โดยสามารถเขียนความสัมพันธ์ของค่าดัชนีหักเหของแสง ความเร็วของแสงในตัวกลางและความเร็วของแสงในสุญญากาศได้ดังนี้

$$n = \frac{C}{V} \qquad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ n คือ ค่าดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางนั้น

C คือ ความเร็วของแสงในสุญญากาศ (3×10^8 เมตรต่อวินาที)

V คือ ความเร็วของแสงในตัวกลางนั้น

ตารางที่ 2.1 ค่าดัชนีหักเหของแสงของตัวกลางต่างๆ

ตัวกลาง	ดัชนีการหักเห
Water	1.33
Ethyl alcohol	1.36
Carbon bisulfide	1.63
Air (1 atm and 20 °C)	1.0003
Methylene iodide	1.74
Fused quartz	1.46
Glass, crown	1.52
Glass, dense flint	1.66
Sodium chloride	1.53
Polyethylene	1.50-1.54
Fluorite	1.43

ตามปกติแล้วในเคเบิลใยนำแสงนั้น เราจะกำหนดให้คอร์มีค่าดัชนีหักเหมากกว่าแคลดดิ้งเล็กน้อย

2.1.7 กฎของสเนล (Snell's Law)

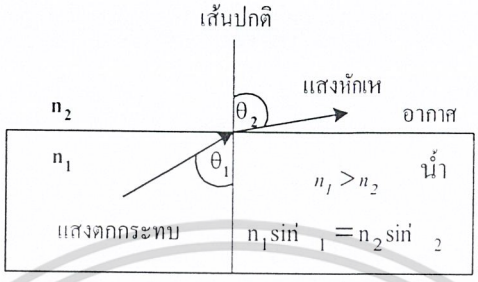
เมื่อแสงเดินทางมายังรอยต่อระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด แสงจะเกิดการหักเหซึ่งสามารถสังเกตได้ตามรูปที่ 2.7 แสงจะเดินทางมายังรอยต่อระหว่างน้ำและอากาศ ความเร็วของแสงในอากาศจะประมาณเท่ากับความเร็วของแสงในสุญญากาศ คือ 3×10^8 เมตรต่อวินาที ความเร็วของแสงในน้ำจะช้ากว่ามีค่าประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที ความแตกต่างของความเร็วนี้เองทำให้เกิดการหักเหทิศทางการเดินทางขึ้นที่รอยต่อการหักงอนี้เรียกว่าการหักเหของแสง มุมในการหักเหของแสงสามารถคำนวณได้โดยกฎของสเนลดังนี้

$$n_1 \times \sin\theta_1 = n_2 \times \sin\theta_2 \qquad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ n_1 และ n_2 คือ ค่าดัชนีการหักเหของแสงในตัวกลางทั้งสอง

θ_1 และ θ_2 คือ มุมตกกระทบและมุมหักเห



รูปที่ 2.7 การหักเหของแสงที่รอยต่อของตัวกลาง 2 ชนิด

2.1.8 มุมวิกฤต (Critical Angle)

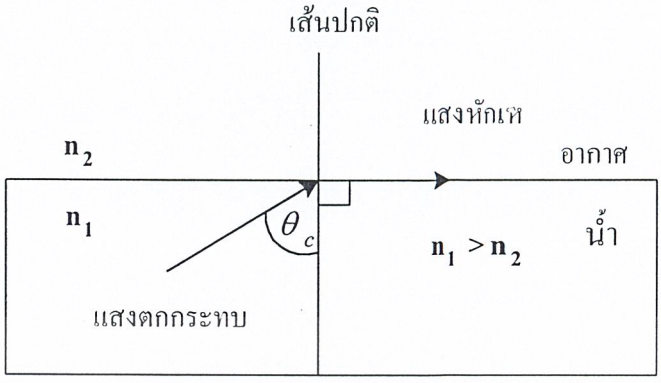
จากกฎของสเนล เมื่อแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงน้อยไปสู่ตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงมากกว่า จะพบว่าลำแสงนั้นจะเบนเข้าหาเส้นปกติ ในทางกลับกันแสงที่เคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีค่าดัชนีของแสงมากไปสู่ตัวกลางที่มีค่าดัชนีของแสงต่ำกว่า ลำแสงจะเบนออกจากเส้นปกติ

ถ้าแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงมากกว่า โดยทำมุม θ_c กับเส้นปกติแล้วทำให้เกิดการหักเหไปตามรอยต่อของตัวกลางทั้งสองชนิด หรือทำมุม 90° กับเส้นปกติ เรียกมุม θ_c นี้ว่า มุมวิกฤต

หากมุมตกกระทบมีค่ามากกว่ามุมวิกฤต จะทำให้แสงไม่เกิดการหักเหสู่อีกตัวกลางหนึ่ง แต่จะสะท้อนกลับเพียงอย่างเดียว เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า "การสะท้อนกลับหมด (Total Internal Reflection)" จากกฎของสเนล

$$
\begin{aligned}
n_1 \times \sin\theta_c &= n_2 \times \sin 90^\circ \\
\sin\theta_c &= \frac{n_1}{n_2} \\
\theta_c &= \sin^{-1}\frac{n_1}{n_2}
\end{aligned}
\qquad (2.7)
$$

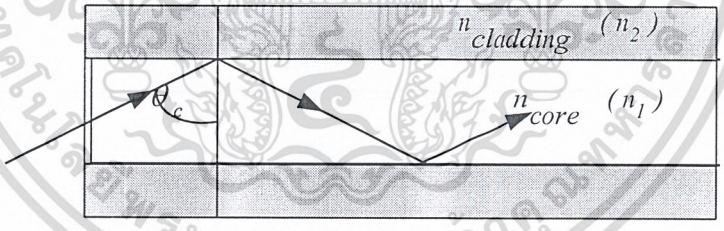
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 มุมวิกฤต

2.1.9 ขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (Numerical Aperture)

เส้นใยนำแสงเป็นสายที่มีขนาดเล็กมากทำจากแก้ว ประกอบด้วยคอร์ และแคลดดิ้ง สายแบบมัลติโมด (Multimode) จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์ประมาณ 50 ไมโครเมตร หุ้มโดยรอบด้วยแคลดดิ้ง ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 125 ไมโครเมตร



รูปที่ 2.9 การเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสง

แสงจะเดินทางอยู่ในคอร์ของเส้นใยนำแสง เพื่อให้แน่ใจว่าแสงจะเดินทางอยู่ภายในคอร์แน่นอน ค่าดัชนีการหักเหของแสงของคอร์จะสูงกว่าแคลดดิ้งเล็กน้อย ในทางปฏิบัติ $n_{cladding} \approx 0.99\, n_{core}$ นั่นคือมีความแตกต่างกันประมาณ 1%

จากรูปที่ 2.10 ค่าดัชนีการหักเหของแสงในคอร์เท่ากับ 1.468 และค่าดัชนีการหักเหของแสงในแคลดดิ้งเท่ากับ 1.453 ดังนั้นค่ามุมวิกฤตที่ทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมดเพื่อให้แสงเดินทางอยู่ภายในคอร์สามารถหาได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

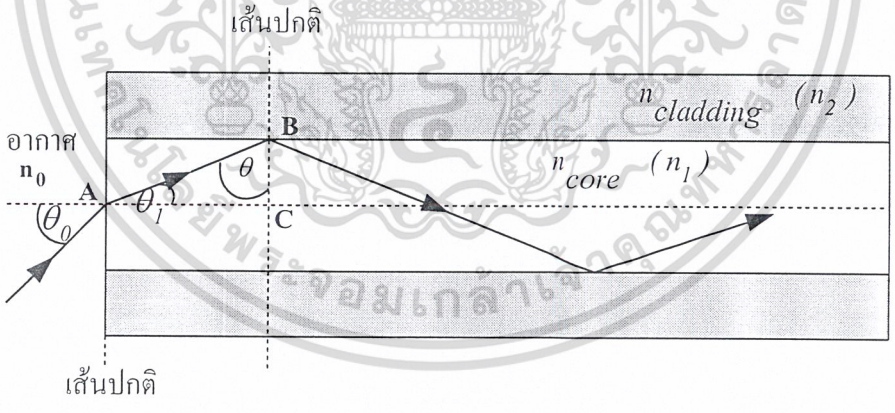
$$\theta_C = \sin^{-1}\left(\frac{1.453}{1.468}\right)$$

$$= \sin^{-1} 0.99$$

$$\approx 82^\circ$$

มุมวิกฤตจะประมาณเท่ากับ 82° เมื่อเทียบกับเส้นปกติ หรือประมาณ 82° เมื่อวัดจากรอยต่อของคอร์กับแคลดดิ้ง แสงที่เดินทางมาตกกระทบ ณ จุดนี้จะต้องมีมุมมากกว่ามุมวิกฤตแสงจึงจะเดินทางอยู่ภายในคอร์ และเดินทางจากปลายด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของเส้นใยนำแสง หากมุมตกกระทบของแสงดังกล่าวน้อยกว่ามุมวิกฤตจะทำให้แสงหักเหเข้าไปสู่แคลดดิ้งแสงเหล่านี้จะถูกดูดซับที่รอยต่อแคลดดิ้ง หรือถูกดูดซับในเนื้อฉนวนที่หุ้มเส้นใยนำแสง (Coating) เอง ซึ่งจะทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณ

การที่แสงจะเดินทางเข้าสู่คอร์ในมุมที่ถูกต้องจำเป็นที่ต้นกำเนิดแสงส่งแสงออกมาในมุมที่ถูกต้องด้วย



รูปที่ 2.10 การส่งแสงจากต้นกำเนิดเข้าสู่เส้นใยนำแสง

ดัชนีหักเหของแสงที่คอร์เท่ากับ n_1 และแคลดดิ้งเท่ากับ n_2 แสงถูกส่งจากต้นกำเนิดแสงภายนอกผ่านอากาศที่มีค่าดัชนีหักเหของแสง แสงจากต้นกำเนิดตกกระทบปลายเส้นใยนำแสงที่จุด A และทำมุมกับปลายเส้นใยนำแสงเท่ากับ θ_0 แล้วแสงนี้เกิดการหักเหเข้าไปในเส้นใยนำแสงทำมุม θ_1 และตกกระทบรอยต่อของคอร์ และแคลดดิ้งที่จุด B โดยทำมุม θ แล้วเกิดการสะท้อนกลับหมด (มุม θ มากกว่ามุมวิกฤต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาที่ Δ ABC

$$\theta_1 = 90° - \theta \quad (2.8)$$

$$\sin\theta_1 = \sin(90° - \theta)$$

$$\sin\theta_1 = \cos\theta \quad (2.9)$$

จากกฎของสเนลล์

$$n_0 \sin\theta_0 = n_1 \sin\theta_1$$

$$\sin\theta_0 = \frac{n_1}{n_0}\sin\theta_1$$

$$= \frac{n_1}{n_0}\cos\theta \quad (2.10)$$

มุม θ สูงสุด (θ_{max}) ที่ยังคงทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมดจะเท่ากับ θ_C แทนค่า $\cos\theta_C$ เท่ากับ $\frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_1}$ ลงในสมการ (2.10)

$$\sin\theta_{max} = \frac{n_1}{n_0}\frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_1}$$

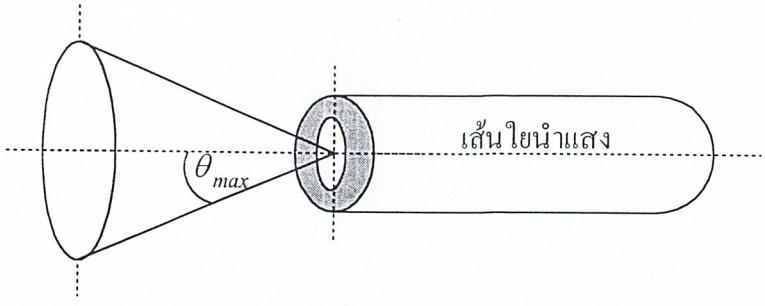
$$\theta_{max} = \sin^{-1}\frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0}$$

เมื่อ n_0 ของอากาศมีค่า = 1

$$\theta_{max} = \sin^{-1}\sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.11)$$

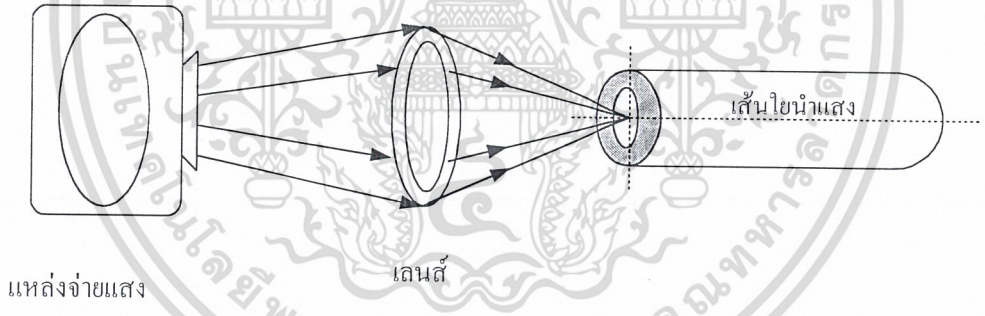
มุมสูงสุด (θ_{max}) ที่แสงเดินทางจากภายนอกมาตกกระทบผิวหน้าของเส้นใยนำแสง แล้วยังคงทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมดของแสงภายในคอร์เรียกว่า "มุมสูงสุดในการป้อนแสง (Acceptance Angle หรือ Acceptance Core Half-Angle)"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 มุมสูงสุดในการป้อนแสง

ในทางปฏิบัติค่า "มุมสูงสุดในการป้อนแสง" ยิ่งมากขึ้นจะทำให้การนำสัญญาณแสงเข้าสู่เส้นใยนำแสงจะง่ายขึ้น และจะใช้เลนส์เพื่อรวมแสงจากแหล่งกำเนิดเข้าสู่เส้นใยนำแสงตามมุมของ "มุมสูงสุดในการป้อนแสง" ที่กำหนดดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การเชื่อมต่อแหล่งกำเนิดแสงกับเส้นใยนำแสงผ่านเลนส์

2.1.10 โมดในการเดินทางของแสง (Propagation Mode)

จำนวนโมดของแสงที่เคลื่อนที่ในเส้นใยนำแสงเป็นเครื่องบ่งชี้ชนิดของเส้นใยนำแสงอย่างหนึ่ง ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิด คือ เส้นใยนำแสงชนิดซิงเกิลโมด และมัลติโมด

องค์ประกอบที่ทำให้จำนวนโมดของแสงที่เคลื่อนที่ไปในเส้นใยนำแสงมีมากน้อยเพียงใดจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์ ความแตกต่างระหว่างค่าดัชนีหักเหของแสงบริเวณคอร์และแคลดดิ้ง และความยาวคลื่นแสง จำนวนโมดของแสงที่เคลื่อนที่ไปในเส้นใยนำแสงสามารถคำนวณได้โดยพิจารณาจากค่าความถี่นอมอลไลซ์ (Normalized Frequency) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda}\sqrt{n1^2 - n2^2} \quad (2.12)$$

โดยที่ a คือ รัศมีของเส้นใยนำแสงมีหน่วยเป็นเมตร

λ คือ ความยาวคลื่นแสงมีหน่วยเป็นเมตร

n_1 คือ ดัชนีหักเหของคอร์

n_2 คือ ดัชนีหักเหของแคลดดิ้ง

ดังนั้นจำนวนโมดของแสงที่สามารถเคลื่อนที่ไปในเส้นใยนำแสงได้ เป็นดังนี้

$$N = \frac{V^2}{2} \quad \text{(สำหรับเส้นใยนำแสงแบบ SI)} \quad (2.13)$$

$$N = \frac{V^2}{4} \quad \text{(สำหรับเส้นใยนำแสงแบบ GI)} \quad (2.14)$$

สำหรับเส้นใยนำแสงแบบซิงเกิลโมด ปัจจัยที่ทำให้เส้นใยนำแสงมีสภาพเป็นเส้นใยนำแสงชนิดซิงเกิลโมดได้ นอกจากโครงสร้าง และคุณสมบัติของเส้นใยนำแสงยังมีปัจจัยอื่นอีก เช่น ความยาวคลื่นแสงที่ใช้ความยาวคลื่นแสงน้อยสุดซึ่งยังทำให้เส้นใยนำแสงคงสภาพเป็นซิงเกิลโมดเรียกว่า ความยาวคลื่นแสงคัทออฟ หาได้จากสมการ 2.15

$$\lambda_c = 3.7\, an_1\sqrt{\Delta} \quad (2.15)$$

โดยที่ a = รัศมีของคอร์

n_1 = ดัชนีหักเหของแสงที่คอร์

$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$ (ความแตกต่างระหว่างดัชนีหักเหของแสงที่คอร์และแคลดดิ้ง)

2.2 ชนิดของเส้นใยนำแสง

การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสงสามารถแบ่งได้หลายวิธี คือ ชนิดของสารไดอิเล็กทริกที่ใช้ จำนวนโมดในการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสง ลักษณะของดัชนีการหักเห (Refractive Index Profile) ซึ่งแสดงให้ดูดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสง

การแบ่งชนิดตาม	ชนิดของเส้นใยนำแสง
สารไดอิเล็กทริกที่ใช้	1) Silica Glass Fiber 2) Multi Component Glass Fiber 3) Plastic Optical Fiber
จำนวนโมดในการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสง	1) Single Mode Optical Fiber 2) Multimode Optical Fiber
ลักษณะของดัชนีการหักเห	1) Step Index Optical Fiber 2) Graded Index Optical Fiber

2.2.1 การแบ่งชนิดตามสารไดอิเล็กทริกที่ใช้

การแบ่งชนิดตามสารไดอิเล็กทริกที่ใช้ สามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิด คือ

1) ซิลิกากลาสไฟเบอร์ (Silica Glass Fiber) คือ เส้นใยนำแสงที่สร้างจากแก้วซิลิกาบริสุทธิ์ โดยมีการเติมสารอื่นเจือปนลงไปเพื่อทำให้เกิดความแตกต่างของดัชนีการหักเหของคอร์และแคลดดิ้ง ซึ่งสารที่เติมลงไปนี้เรียกว่า โดปเพน (Dopant) ได้แก่ เจอรมันเนียม (Germanium (Ge)) โบรอน (Boron (B)) และ ฟลูออรีน (Fluorine (F)) เป็นต้น

2) มัลติคอมโพเนนท์กลาสไฟเบอร์ (Multi Component Glass Fiber) คือ เส้นใยนำแสงที่สร้างจากแก้วหลายๆ ชนิดปนกัน โดยส่วนใหญ่จะใช้สารโซดาแคลเซียม (Soda Calcium) แก้วที่มีโบรอน และ ซิลิกอน (Silicon) ผสมเป็นสารหลัก สำหรับสารโดปเพนได้แก่ โซเดียม (Na) และแคลเซียม (Ca) เป็นต้น

3) พลาสติกออปติคอลไฟเบอร์ (Plastic Optical Fiber) คือ เส้นใยนำแสงที่สร้างจากพลาสติกซึ่งนิยมใช้สารซิลิกอนเรซิน (Silicon Resin) และเอริลเรซิน (Acryl Resin)

2.2.2 การแบ่งตามจำนวนโมดในการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสง

การแบ่งตามจำนวนโมดในการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสงสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1) เส้นใยนำแสงชนิดซิงเกิลโมด (Single Mode Optical Fiber ; SM)

เส้นใยนำแสงชนิดนี้ แสงสามารถเคลื่อนที่ไปในเส้นใยนำแสงได้เพียงโมดเดียว ดังนั้นจึงผลิตเส้นใยนำแสงชนิดนี้เป็นแบบสเต็ปอินเด็กซ์ (Step Index) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์ และแคลดดิ้งแตกต่างกันประมาณ 0.3 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เส้นใยนำแสงชนิดมัลติโมด (Multi Mode ; MM)

เส้นใยนำแสงชนิดนี้แสงสามารถเคลื่อนที่ไปในเส้นใยนำแสงได้หลายโมดเนื่องจากคอร์มีขนาดโตกว่าแบบซิงเกิลโมด โดยมีดัชนีการหักเหทั้งแบบสเต็ปอินเด็กซ์และเกรดเดดอินเด็กซ์ (Graded Index) โดยแบบเกรดเดดอินเด็กซ์จะได้รับความนิยมมากกว่าเนื่องจากสามารถลดปัญหาเกี่ยวกับการขยายกว้างออกเนื่องจากโมด (Modal Dispersion) ลงได้

2.2.3 การแบ่งตามลักษณะของดัชนีการหักเห

การแบ่งตามลักษณะของดัชนีการหักเหสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

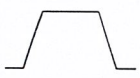
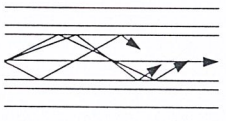
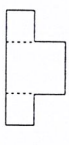
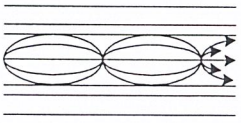
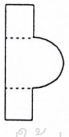
1) แบบสเต็ปอินเด็กซ์ (Step Index Optical Fiber ; SI - Fiber)

เส้นใยนำแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหแบบขั้นดังตารางที่ 2.3 ดังนั้นจึงเรียกเส้นใยนำแสงชนิดนี้ว่าสเต็ป (Step) เมื่อนำมาใช้งานจะเป็นได้ทั้งซิงเกิลโมดและมัลติโมด โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์ที่แตกต่างกัน หากใช้เป็นแบบซิงเกิลโมดจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์ประมาณ 10 ไมโครเมตร แต่หากใช้เป็นมัลติโมดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์ประมาณ 50 ไมโครเมตร อย่างไรก็ตามหากใช้เป็นแบบมัลติโมดปัญหาที่เกิดขึ้น คือการขยายกว้างออกเนื่องจากโมด เนื่องจากแสงมีการเคลื่อนที่หลายเส้นทางแต่ละเส้นทางระยะทางไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำให้สัญญาณไปถึงปลายทางไม่พร้อมกันการผิดเพี้ยนของสัญญาณจึงเกิดขึ้น ดังนั้นเส้นใยนำแสงชนิดเกรดเดดอินเด็กซ์จึงเกิดขึ้น เพื่อลดปัญหาดังกล่าว

2) แบบเกรดเดดอินเด็กซ์ (Graded Index Optical Fiber ; GI - Fiber)

เป็นเส้นใยนำแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหที่ค่อยๆ ลดลงทีละน้อย ดังตารางที่ 2.3 เส้นใยนำแสงชนิดนี้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อลดปัญหาการขยายกว้างออกเนื่องจากโมด

ตารางที่ 2.3 ลักษณะของดัชนีการหักเหและการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสง

สัญญาณอินพุต	ชนิดของเส้นใยนำแสง	สัญญาณเอาต์พุต	ลักษณะของดัชนีการหักเห
	มัลติโมดสเตปอินเด็กซ์ 		
	มัลติโมดเกรดเดดอินเด็กซ์ 		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ค่าดัชนีหักเหของแสงจะค่อยๆ ลดลงจากคอร์ไปหาแคลดดิ้ง เมื่อแสงเดินทางไปในเส้นใยนำแสงชนิดนี้ แสงจะมีการหักเหทีละน้อยภายในคอร์ และมีการสะท้อนบริเวณแคลดดิ้ง การหักเห และการสะท้อนดังกล่าวอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของแสงทีละน้อยนั้น จึงทำให้ดูเหมือนว่าแสงเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง

เส้นใยนำแสงชนิดนี้ใช้เป็นมัลติโมดเท่านั้น การเคลื่อนที่ของแสงแต่ละเส้นทางจะใช้ระยะเวลาพอๆ กัน ถึงแม้ว่าระยะทางจะแตกต่างกันเนื่องจากแสงที่เดินทางสั้นที่สุดผ่านแกนกลางของคอร์จะเคลื่อนที่ได้ช้าที่สุด และทำนองกลับกันแสงที่เดินทางไกลที่สุดซึ่งมีการสะท้อนบริเวณแคลดดิ้งจะเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าดัชนีหักเหของแสงทำให้แสงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างๆ กัน ปัญหาเกี่ยวกับการขยายกว้างออกเนื่องจากโมดจึงลดลง

2.3 คุณลักษณะในการส่งสัญญาณของเส้นใยนำแสง

เนื่องจากเส้นใยนำแสงก็คือสื่อกลางชนิดหนึ่งที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ซึ่งไม่ว่าจะเป็นตัวกลางชนิดใดก็ตามย่อมจะมีคุณลักษณะเฉพาะตัวที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อสัญญาณที่ทำการส่ง เส้นใยนำแสงก็เช่นเดียวกัน โดยเส้นใยนำแสงจะมีคุณลักษณะต่างๆ ในการส่งสัญญาณนี้

2.3.1 การลดทอนสัญญาณ

การลดทอนสัญญาณของเส้นใยนำแสงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ทำให้เส้นใยนำแสงนิยมนำมาใช้ในระบบการสื่อสารโทรคมนาคม โดยการลดทอนสัญญาณของเส้นใยนำแสงก็จะแสดงอยู่ในหน่วย เดซิเบล เช่นเดียวกับตัวนำที่เป็นโลหะ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 2.16

$$Singgle\ Attenuation \quad = \quad 10\log_{10}\frac{P_i}{P_o} \tag{2.16}$$

แต่เนื่องจากการสื่อสารเส้นใยนำแสงนั้นนิยมบอกค่าการลดทอนสัญญาณในรูปของเดซิเบลต่อหน่วยความยาว (เช่น $dBkm^{-1}$) ดังนั้นสามารถเขียนสมการ 2.16 ได้ใหม่ดังนี้

$$\alpha_{dB} L \quad = \quad 10\log_{10}\frac{P_i}{P_o} \tag{2.17}$$

โดย α_{dB} คือ การลดทอนสัญญาณต่อหน่วยความยาวและ L คือความยาวของเส้นใยนำแสง

2.3.2 การสูญเสียสัญญาณในเส้นใยนำแสง

การลดทอนสัญญาณของเส้นใยนำแสงจะทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณ (Transmission Loss) โดยเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น องค์ประกอบสารที่นำมาสร้าง เทคนิคในการเตรียมสารและการทำ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

43191

ให้สารบริสุทธิ์ และโครงสร้างของเส้นใยนำแสง นอกจากนี้ยังมีการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้คอนเนคเตอร์ และการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสง ซึ่งสามารถแยกการสูญเสียสัญญาณออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ การสูญเสียที่มีอยู่ในตัวเส้นใยนำแสง (Fixed Loss) และการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นจากการนำไปใช้งาน (Addition Loss)

1) การสูญเสียที่มีอยู่ในตัวเส้นใยนำแสง ประกอบด้วย

1.1) การสูญเสียจากการดูดกลืนแสงของวัสดุที่ใช้สร้าง (Material Absorption Losses) คือการสูญเสียเนื่องจากการดูดกลืนแสงขององค์ประกอบของสารที่ใช้ในการสร้างเส้นใยนำแสง โดยการสูญเสียนี้จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารที่ใช้สร้างและกระบวนในการสร้าง (Fabrication Process) เส้นใยนำแสง โดยจะทำให้เกิดการกระจายตัวของกำลังงานแสงที่ส่งกลายเป็นความร้อนขึ้นภายในเส้นใยนำแสง ซึ่งการสูญเสียแสงเนื่องจากการดูดกลืนแสงสามารถแบ่งได้ 2 กรณี คือ

1.1.1)การดูดกลืนแสงเนื่องจากสารที่ใช้ทำเส้นใยนำแสง (Intrinsic Absorption) เนื่องจากแก้วซิลิกาบริสุทธิ์ที่ใช้ในการสร้างเส้นใยนำแสงจะมีการดูดกลืนแสงดังรูปที่ 2.13 โดยการดูดกลืนแสงอุลตร้าไวโอเลทมากที่สุดที่ความยาวคลื่น 0.1 ไมโครเมตร และมีการดูดกลืนแสงอินฟาเรดมากที่สุดที่ความยาวคลื่น 10 ไมโครเมตร

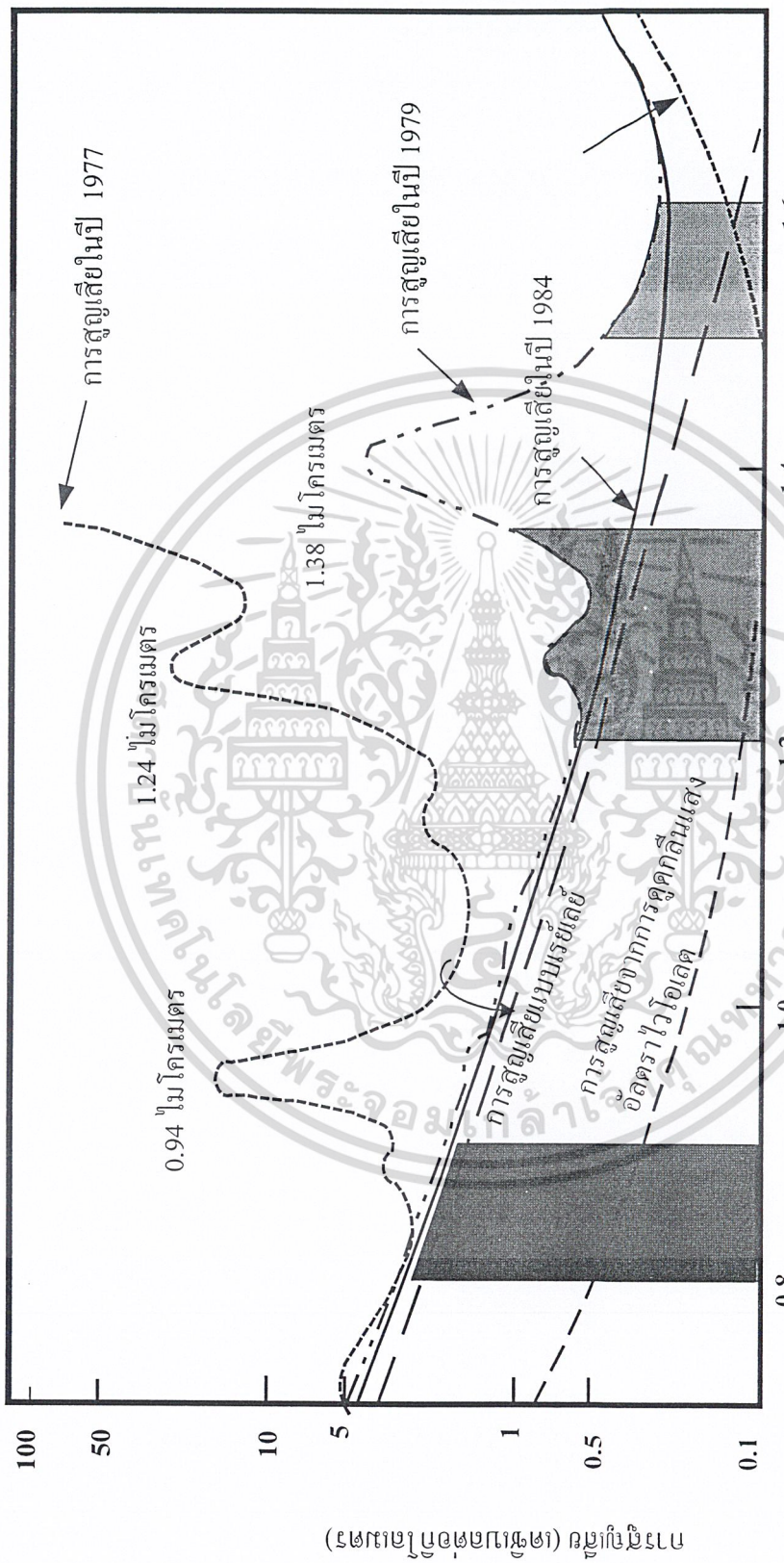
1.1.2)การดูดกลืนแสงเนื่องจากสารที่เจือปนอยู่ในเส้นใยนำแสง (Extrinsic Absorption) เกิดขึ้นเนื่องจากการเจือปนอิออนของธาตุโลหะในเส้นใยนำแสงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนของการหลอมแก้ว ซึ่งสารที่เจือปนในเส้นใยนำแสงที่เกิดจากการหลอมเหลวนี้เป็นสาเหตุสำคัญของการลดทอนสัญญาณแสง

1.2) การสูญเสียแสงเนื่องจากการกระจัดกระจายแสง (Scattering Losses)

เมื่อเกิดการกระจัดกระจายของแสงจะทำให้แสงที่เดินทางในเส้นใยนำแสงเกิดการเปลี่ยนโมด ซึ่งจะทำให้แสงเกิดการเปลี่ยนไปสู่โมดที่สามารถแพร่กระจายออกไปนอกเส้นใยนำแสงได้ ไม่สามารถเดินทางไปในคอร์ได้ แต่จะแพร่กระจายออกไปภายนอก การสูญเสียที่เกิดจากการกระจัดกระจายแสงสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ แบบเรย์เลย์ (Rayleigh Scattering) และแบบไม (Mie Scattering) ซึ่งทั้งสองแบบล้วนมีสาเหตุมาจากคุณลักษณะทางกายภาพที่ไม่สมบูรณ์ของเส้นใยนำแสงที่เกิดจากกระบวนการผลิตซึ่งยากที่จะกำจัดให้หมดไปในปัจจุบัน

1.2.1) แบบเรย์เลห์ เกิดมาจากการที่แสงเดินทางไปกระทบวัตถุที่มีขนาดใกล้เคียง กับความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ทำให้แสงแตกกระจายออกไปในทิศทางที่ต่างๆ ดังรูปที่ 2.13 โดยวัตถุที่เจือปนอยู่นั้นเกิดขึ้นในตอนการผลิตเส้นใยนำแสง คือ ในกระบวนการทำเส้นใยนำแสงให้ความร้อนประมาณ 2,000 องศาเซลเซียส แก่แท่งแก้วพรีฟอร์มแล้วดึงแท่งแก้วให้เป็นเส้นใยนำแสงขนาดเล็ก และลดอุณหภูมิของเส้นใยนำแสงนั้นเป็น 20 องศาเซลเซียส อย่างรวดเร็วซึ่งจะ

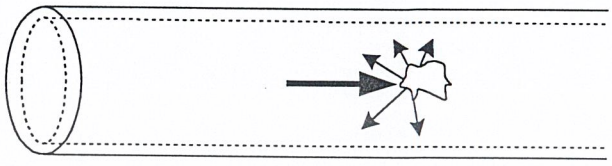
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การสูญเสียทั้งหมดในเส้นใยนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่น และเกิดเป็นวัตถุขนาดเล็กๆ ขึ้น โดยค่าการสูญเสียเนื่องจากการกระจัดกระจายแบบเรย์เลย์นี้จะเกิดกับแสงในช่วงอัลตราไวโอเลทและอินฟาเรด จะแปรผกผันกับความยาวคลื่นแสง ดังสมการที่ 2.18



รูปที่ 2.14 การกระจัดกระจายแสงแบบเรย์เลห์

$$Rayleigh\ Scattering\ Loss \quad = \quad \frac{1}{\lambda^4} \qquad (2.18)$$

โดยค่าการสูญเสียแสงที่เกิดจากการกระจัดกระจายแสงแบบเรย์เลห์นี้จะมีค่าประมาณ 0.3 เดซิเบลต่อกิโลเมตรที่ความยาวคลื่น 1300 นาโนเมตร และ 0.18 เดซิเบลต่อกิโลเมตรที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

1.2.2) แบบไม เกิดขึ้นเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ทางโครงสร้างรูปทรงกระบอกของเส้นใยนำแสง ซึ่งมีสาเหตุมาจากความผิดปกติของรอยต่อระหว่างคอร์กับแคลดดิ้ง ค่าดัชนีการหักเหของคอร์กับแคลดดิ้งที่แตกต่างกัน ในแต่ละช่วงความยาวของเส้นใยนำแสง และการผันแปรของเส้นผ่าศูนย์กลาง เป็นต้น ส่งผลให้แสงที่ตกกระทบเกิดการกระจัดกระจายออก การสูญเสียแสงแบบนี้จะแปรผันโดยตรงกับความยาวคลื่นตามสมการ 2.19

$$Mie\ Scattering\ Loss \quad = \quad \frac{\lambda}{10} \qquad (2.19)$$

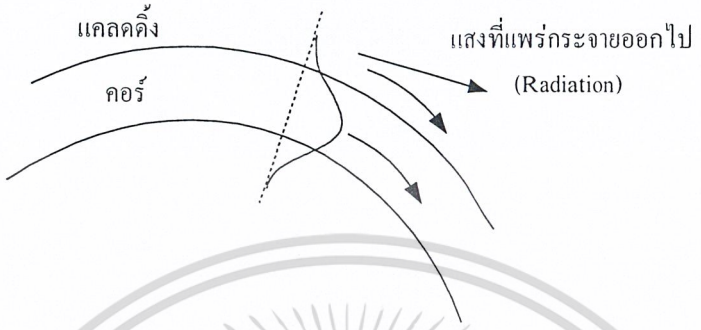
2) การสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมาจากการนำไปใช้งาน ประกอบด้วย

2.1) การสูญเสียแสงเนื่องจากการโค้งงอของเส้นใยนำแสง (Bending Loss) จะเกิดขึ้นเมื่อมีการโค้งงอเส้นใยนำแสง โดยมีมุมการโค้งงอมากกว่ามุมวิกฤต ซึ่งทำให้แสงที่เดินทางไปเกิดการกระจัดกระจายออกไปนอกคอร์ได้ ดังรูปที่ 2.15

2.2) การสูญเสียที่เกิดจากการโค้งงอเส้นใยนำแสงแบบไมโครเบนดิ้ง (Micro Bending) เป็นการสูญเสียสัญญาณแสงที่เกิดจากการมีแรงกดที่ไม่สม่ำเสมอมากระทำต่อด้านข้างของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยนำแสงส่งผลให้แกนของเส้นใยนำแสงเกิดการบิดงอไปเล็กน้อย (ประมาณ 2 – 3 ไมโครเมตร) ทำให้แสงที่ตกกระทบบริเวณดังกล่าวเกิดการหักเหออกไปภายนอกเส้นใยนำแสงได้



รูปที่ 2.15 การสูญเสียแสงที่เกิดจากการโค้งงอเส้นใยนำแสง

2.3) การสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยนำแสง (Connection Loss) จะเกิดขึ้นเนื่องจากการเชื่อมต่อไม่สมบูรณ์ ดังรูปที่ 2.16 นอกจากนี้บริเวณรอยต่อจะเกิดช่องว่างขนาดเล็กซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียแสงจากการสะท้อนกลับ ซึ่งเรียกว่า "Fresnel Reflection" ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียที่เรียกว่า " Fresnel Loss " โดยคำนวณได้จากสมการ 2.20

$$Fresnel\ Loss = -10\log(1-r) \qquad (2.20)$$

โดยที่ $r = \left(\frac{n_1 - n}{n_1 + n}\right)^2$

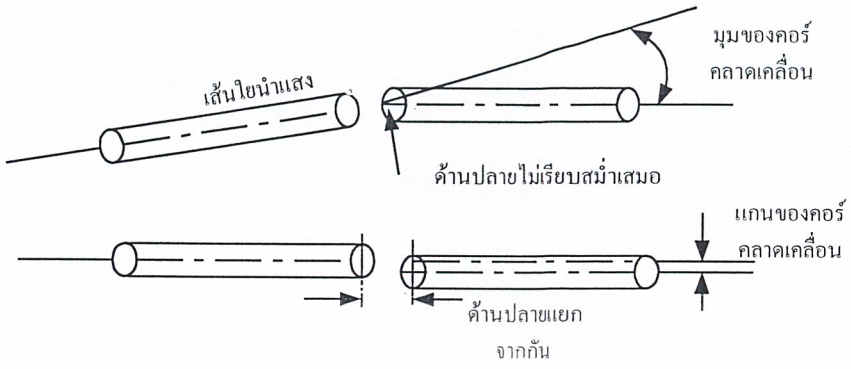
r = ขนาดของเฟรสเนลรีเฟลกชั่น

n_1 = ดัชนีการหักเหของคอร์

n = ดัชนีการหักเหของตัวกลางที่อยู่ระหว่างเส้นใยนำแสงที่ทำการเชื่อมต่อ

2.4) การสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการคัปปลิงสัญญาณ (Coupling Loss) เป็นการสูญเสียระหว่างเส้นใยนำแสงกับแหล่งกำเนิดแสง เนื่องจากแสงที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงจะมีความกว้างของลำแสงไม่เท่ากัน คือ เลเซอร์ไดโอด (LD) จะมีลำแสงแคบกว่าแอลอีดี (LED) จึงทำให้การสูญเสียจากการคัปปลิงสัญญาณของเลเซอร์มีค่าน้อยกว่าแอลอีดี นอกจากนี้ค่าการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) ของเส้นใยนำแสง ถ้ามีค่ามากก็จะเกิดการสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยนำแสงน้อยกว่าเส้นใยนำแสงที่มีค่าการเปิดรับให้แสงผ่านน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 การสูญเสียแสงที่เกิดจากการต่อเส้นใยนำแสง

2) การขยายกว้างออก

การขยายกว้างออกของสัญญาณแสงที่จะทำให้เกิดการผิดเพี้ยนทั้งในกรณีที่เป็นการส่งสัญญาณแบบแอนะลอก และดิจิตอล ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วเราจะใช้ในการส่งสัญญาณแบบดิจิตอล ดังนั้นเมื่อเกิดการขยายกว้างออกก็ทำให้สัญญาณพัลส์ของแสงที่ทำการส่ง และเดินทางไปในเส้นใยนำแสง การขยายกว้างออกเกิดขึ้นดังรูป 2.17 ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการซ้อนทับกันของพัลส์ ทำให้ภาครับไม่สามารถแยกสัญญาณออกจากกันได้ ซึ่งเราเรียกผลที่เกิดขึ้นนี้ว่า "Intersymbol Interference (ISI)" หากมีค่า ISI สูงก็จะส่งผลให้ความผิดพลาดสูงขึ้น

ในรูปที่ 2.18 แสดงการเกิดการขยายกว้างออกของสัญญาณดิจิตอลที่ทำการส่งในเส้นใยนำแสงชนิดต่างๆ โดยความกว้างของพัลส์จะขึ้นอยู่กับระยะทางที่แสงเดินทางด้วย โดยสามารถแยกชนิดของการขยายกว้างออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

2.1) การขยายกว้างออกเนื่องจากโมด (Mode Dispersion หรือ Modal Dispersion) จะเกิดขึ้นเนื่องจากคุณลักษณะของแสง กล่าวคือ ความเร็วในการเดินทางของแสงแต่ละโมดจะแตกต่างกัน ดังนั้นแสงจะเดินทางมาถึงปลายทางไม่พร้อมกัน ส่งผลให้เกิดการซ้อนทับกันของข้อมูล โดยสามารถแก้ไขโดยไม่ส่งพัลซ์ของข้อมูลที่มีความแคบมากเกินไป คือ การจำกัดความเร็วในการส่งนั้นเอง โดยการเกิดโมดดิสเปอร์ชันนี้จะเกิดในเส้นใยนำแสงแบบสเต็ปอินเด็กซ์มากกว่าเส้นใยนำแสงแบบเกรดเดดอินเด็กซ์

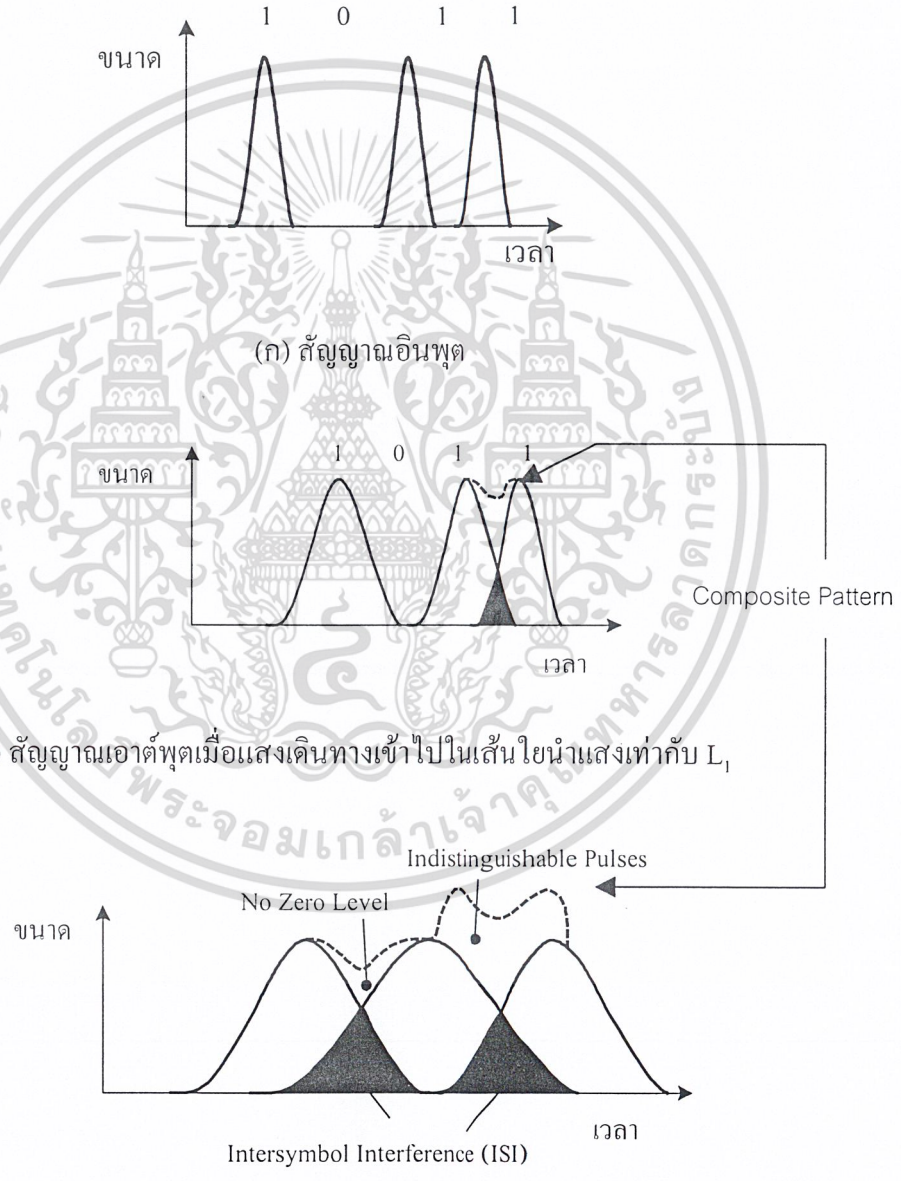
2.2) การขยายกว้างออกเนื่องจากความยาวคลื่น แบ่งได้เป็น 2 ชนิด

2.2.1) การขยายกว้างออกเนื่องจากสารที่ใช้สร้าง (Material Dispersion) เกิดขึ้นเนื่องจากในตัวกลางชนิดเดียวกัน ถ้าความยาวคลื่นแสงที่เดินทางในตัวกลางนั้นมีค่าต่างกันด้วย และเนื่องจากแสงที่ใช้ในระบบการสื่อสารก็ไม่ได้เพียงความยาวคลื่นเดียวที่แท้จริง กล่าวคือแอลอีดีจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

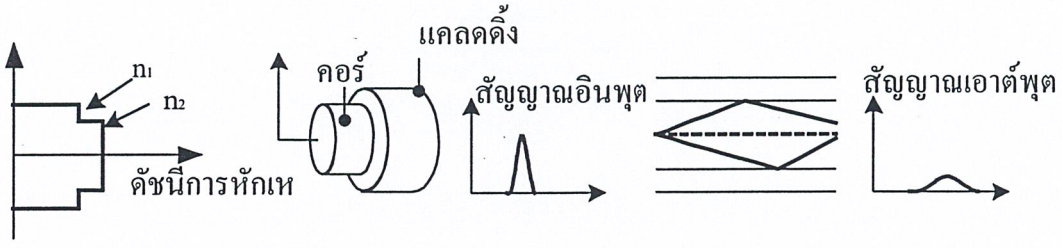
ความกว้างของสเปกตรัมเท่ากับ 30 ถึง 60 นาโนเมตร และเลเซอร์ไดโอดจะมีความกว้างสเปกตรัม 2 ถึง 5 นาโนเมตร ดังนั้นแสงก็จะเดินทางจะเดินทางมาถึงปลายทางไม่พร้อมกัน ส่งผลให้เกิดการซ้อนทับกันของข้อมูลเหมือนกับกรณีของการขยายกว้างออกเนื่องจากโมด

2.2.2) การขยายกว้างออกเนื่องจากโครงสร้าง (Structure Dispersion) จะเกิดจากการป้อนแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่มีหลายความยาวคลื่น ทำให้ค่าดัชนีการหักไม่เท่ากัน



รูปที่ 2.17 การเกิดการขยายกว้างออกของสัญญาณพัลส์ 1011 เมื่อผ่านเส้นใยนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) เส้นใยนำแสงหลายโมดชนิดสเต็ปอินเด็กซ์

(ข) เส้นใยนำแสงหลายโมดชนิดเกรดเดดอินเด็กซ์

(ค) เส้นใยนำแสงโมดเดียวชนิดสเต็ปอินเด็กซ์

รูปที่ 2.18 การเกิดการขยายกว้างออกของสัญญาณดิจิตอลที่ทำการส่งไปในเส้นใยนำแสง

ดังนั้นผลต่างดัชนีการหักเหระหว่างคอร์กับแคลดดิ้งก็จะมีค่าไม่เท่ากันในแต่ละความยาวคลื่น โดยแสงที่มีค่าความยาวคลื่นสูงกว่าจะเดินทางทะลุผ่านเข้าไปในส่วนของแคลดดิ้งมากกว่าแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของการขยายกว้างออกชนิดต่างๆ จะได้ดังสมการ 2.21

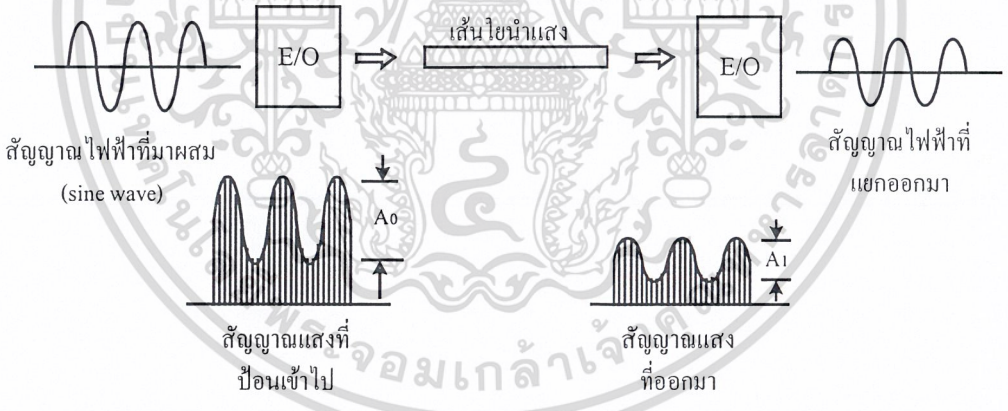
การขยายกว้างออกเนื่องจากโมด >> การขยายกว้างออกเนื่องจากสารที่ใช้สร้าง > การขยายกว้างออกเนื่องจากโครงสร้าง (2.21)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

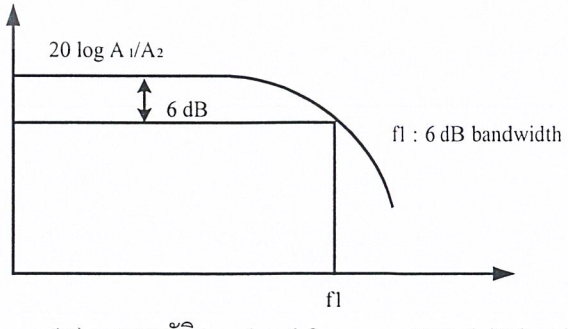
ดังนั้นเส้นใยนำแสงแบบหลายโมดจะถูกกำหนดแบนด์วิดท์โดยโมดดิสเปอร์ชัน ส่วนเวฟว์เล็งธ์ดิสเปอร์ชันจะมีผลต่อการส่งสัญญาณของเส้นใยนำแสงหลายโมดน้อยมาก แต่จะเป็นตัวแปรที่สำคัญในการกำหนดแบนด์วิดท์ของเส้นใยนำแสงแบบโมดเดียว ซึ่งในการใช้งานเส้นใยนำแสงแบบโมดเดียวก็จะเลือกใช้ความยาวคลื่นที่ทำให้มะทีเรียลดิสเปอร์ชันหักล้างกับสตัคเตอร์ดิสเปอร์ชันให้มากที่สุด ซึ่งความยาวคลื่นนี้เรียกว่า "Zero Dispersion Wavelength"

2.3.3) แบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณ (Transmission Bandwidth)

ความกว้างของแบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณเส้นใยนำแสงสามารถหาได้จากการป้อนสัญญาณแสงที่มอดูเลตแล้วดังรูปที่ 2.19 (ก) เข้าไปในเส้นใยนำแสงที่มอดูเลตแล้วทางด้านเอาต์พุตเมื่อแสงเดินทางไปได้ 1 กิโลเมตร แล้วนำค่าของ A_1 และ A_0 มาวาดกราฟดังรูปที่ 2.19 (ข) จากนั้นทำการเพิ่มความถี่ของสัญญาณที่นำการมอดูเลตให้สูงขึ้นจนถึงจุดที่ขนาดของคุณลักษณะทางความถี่ของสัญญาณเบสแบนด์ (Baseband Frequency Characteristic) ลดลงมา 6 dB ความถี่ ณ ตำแหน่งที่คุณลักษณะทางความถี่ของสัญญาณเบสแบนด์ลดลงมา 6 dB คือ แบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณของเส้นใยนำแสง



(ก) การจัด baseband frequency และ 6 dB bandwidth



(ข) คุณสมบัติ baseband frequency และ 6 dB bandwidth

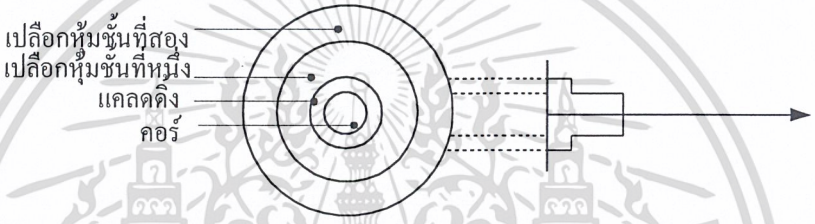
รูปที่ 2.19 การหาแบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 โครงสร้างของเส้นใยนำแสง

2.4.1 เส้นใยนำแสงชนิดมัลติโมดสเต็ปอินเด็กซ์ (Multimode Step Index)

เส้นใยนำแสงชนิดนี้สร้างจากแก้วหลายๆ ชนิดปนกัน หรือแก้วซิลิกาก็ได้ โดยจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง และขนาดการเปิดรับแสงขนาดใหญ่เพื่อประสิทธิภาพในการคัปปลิ้งสัญญาณกับแหล่งกำเนิดแสงแบบหลายความยาวคลื่น (Incoherent) เช่น แอลอีดี คุณลักษณะ และประสิทธิภาพของเส้นใยนำแสงชนิดนี้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงโดยขึ้นอยู่กับสารที่ใช้สร้าง และกระบวนการในการเตรียมสาร ซึ่งโครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงชนิดนี้สามารถดูได้ดังรูป 2.20



รูปที่ 2.20 โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงชนิดมัลติโมดสเต็ปอินเด็กซ์

1) **โครงสร้าง** เส้นใยนำแสงชนิดมัลติโมดสเต็ปอินเด็กซ์ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์เท่ากับ 50 ถึง 400 ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของแคลดดิ้งเท่ากับ 125 ถึง 500 ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของเปลือกหุ้มเท่ากับ 250 ถึง 1000 ไมโครเมตร และมีขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) เท่ากับ 0.16 ถึง 0.5

2) **คุณลักษณะทางประสิทธิภาพ**

2.1) การลดทอนสัญญาณ มีการลดทอนสัญญาณในช่วง 2.6 ถึง 50 เดซิเบลต่อกิโลเมตรที่ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร ถูกจำกัดโดยการดูดกลืน การกระจาย และการลดทอนจากความยาวคลื่น

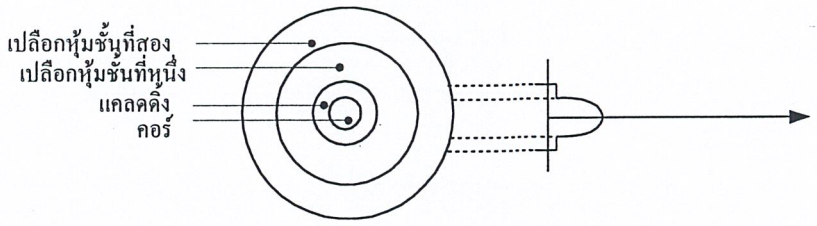
2.2) แบนด์วิดท์ มีแบนด์วิดท์อยู่ในช่วง 6 ถึง 50 เมกะเฮิรตซ์กิโลเมตร

2.3) การใช้งาน เหมาะที่สุดสำหรับใช้งานในโครงข่ายแบบการสื่อสารระยะสั้น (Short – Haul) มีแบนด์วิดท์จำกัดและใช้งานกับงานที่ราคาไม่สูง

2.4.2 เส้นใยนำแสงชนิดมัลติโมดเกรดเดดอินเด็กซ์

เส้นใยนำแสงชนิดนี้สร้างจากแก้วหลายชนิดปนกัน หรือแก้วซิลิกาก็ได้เช่นเดียวกับเส้นใยนำแสงชนิดมัลติโมดสเต็ปอินเด็กซ์ โครงสร้างของเส้นใยนำแสงชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงชนิดมัลติโมดเกรดเดดอินเด็กซ์

1) โครงสร้าง เส้นใยนำแสงชนิดมัลติโมดเกรดเดดอินเด็กซ์มีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์เท่ากับ 30 ถึง 100 ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของแคลดดิ้ง เท่ากับ 100 ถึง 150 ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของเปลือกหุ้มเท่ากับ 250 ถึง 1000 ไมโครเมตร และขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) เท่ากับ 0.2 ถึง 0.3

2) คุณลักษณะทางประสิทธิภาพ

2.1) การลดทอนสัญญาณ มีการลดทอนสัญญาณในช่วง 2 ถึง 10 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ที่ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร ถูกจำกัดโดยการการกระจาย ส่วนการลดทอนสัญญาณโดยเฉลี่ยที่ความยาวคลื่น 1300 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร มีค่าเท่ากับ 0.4 และ 0.25 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ตามลำดับ

2.2) แบนด์วิดท์ มีแบนด์วิดท์อยู่ในช่วง 300 เมกะเฮิรตซ์กิโลเมตร ถึง 50 กิกะเฮิรตซ์กิโลเมตร

2.3) การใช้งาน เหมาะที่สุดสำหรับใช้งานในโครงข่ายแบบการสื่อสารระยะกลาง มีแบนด์วิดท์ปานกลางถึงสูงซึ่งใช้แอลอีดี หรือเลเซอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์กำเนิดแสง

เส้นใยนำแสงชนิดนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์กับแคลดดิ้ง ดังนี้

1) เส้นใยนำแสงชนิดนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์กับแคลดดิ้ง เท่ากับ 50 ถึง 125 ไมโครเมตร ซึ่งค่าขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) โดยปกติอยู่ระหว่าง 0.20 ถึง 0.24 เส้นใยนำแสงชนิดนี้พัฒนา และกำหนดมาตรฐานโดย CCITT (Recommendation G 651) สำหรับงานด้านโทรคมนาคมที่ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตรและ 1300 นาโนเมตร แต่ปัจจุบันนิยมนำมาใช้งานในด้านการสื่อสารข้อมูลระบบ LAN

2) เส้นใยนำแสงชนิดนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์กับแคลดดิ้ง เท่ากับ 62.5 ถึง 125 ไมโครเมตร ซึ่งค่าขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) โดยปกติอยู่ระหว่าง 0.26 ถึง 0.29 ถึงแม้ว่าเส้นใยนำแสงชนิดนี้จะพัฒนามาเพื่อการใช้งานใน Subscriber Loop ที่มีระยะทางไกลที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร และ 1300 นาโนเมตร แต่ในปัจจุบันการใช้งานส่วนใหญ่จะนำมาใช้ในระบบ LAN

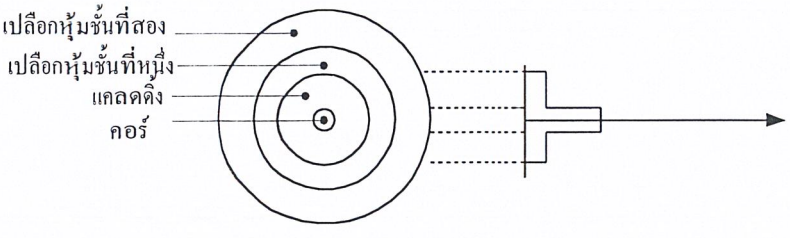
3) เส้นใยนำแสงชนิดนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์กับแคลดดิ้ง เท่ากับ 85 ถึง 125 ไมโครเมตร ซึ่งค่าขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) โดยปกติอยู่ระหว่าง 0.26 ถึง 0.30 เส้นใยนำแสงชนิดนี้จะพัฒนามาเพื่อการใช้งานที่ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร และ 1300 นาโนเมตร ในระบบ LAN และระบบสื่อสารระยะสั้น (Short- Haul)

4) เส้นใยนำแสงชนิดนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์กับแคลดดิ้ง เท่ากับ 100 ถึง 125 ไมโครเมตร ซึ่งค่าขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) โดยปกติอยู่ระหว่าง 0.29 เส้นใยนำแสงชนิดนี้พัฒนามาเพื่อการใช้งานที่ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร เพื่อมาใช้งานในระบบที่ราคาถูกและระยะทางสั้น

2.4.3 เส้นใยนำแสงชนิดซิงเกิลโมด

เส้นใยนำแสงชนิดโมดเดียวนี้สามารถที่จะสร้างให้มีความแตกต่างของดัชนีได้ทั้งแบบสเต็ปอินเด็กซ์ และเกรดเดดอินเด็กซ์ แต่เนื่องจากการสร้างเส้นใยนำแสงแบบโมดเดียวที่มีความแตกต่างของดัชนีการหักเหแบบเกรดเดดอินเด็กซ์มีราคาแพง และคุณสมบัติที่ได้จากการที่มีความแตกต่างของดัชนีการหักเหแบบเกรดเดดอินเด็กซ์ก็ไม่มีประโยชน์ต่อระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง ดังนั้นในปัจจุบันเส้นใยนำแสงแบบโมดเดียวที่สร้างขึ้นในเชิงพาณิชย์ก็จะมีแต่เส้นใยนำแสงโมดเดียวแบบสเต็ปอินเด็กซ์เท่านั้น ซึ่งเหมาะสำหรับงานที่ต้องการแบนด์วิดท์กว้างและระยะทางไกล โดยทั่วไปจะสร้างจากแก้วซิลิกาเพื่อให้มีการลดทอนสัญญาณต่ำ

ถึงแม้ว่าเส้นใยนำแสงแบบโมดเดียวจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์เล็กเพื่อให้มีโมดที่เดินทางเพียงโมดเดียว แต่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแคลดดิ้งก็จะต้องมีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์อย่างน้อย 10 เท่า เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียจากการเลือนหายของสนามไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงชนิดโมดเดียวแสดงดังรูป 2.22



รูปที่ 2.22 โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงชนิดซิงเกิลโมดเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) โครงสร้าง เส้นใยนำแสงชนิดซิงเกิลโมดนั้นมีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์เท่ากับ 5 ถึง 10 ไมโครเมตรโดยปกติอยู่ประมาณ 8.5 ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของแคลดดิ้งโดยทั่วไปมีขนาด 125 ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของเปลือกหุ้มเท่ากับ 250 ถึง 1000 ไมโครเมตร และขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) เท่ากับ 0.08 ถึง 0.15 โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 0.1

2) คุณลักษณะทางประสิทธิภาพ

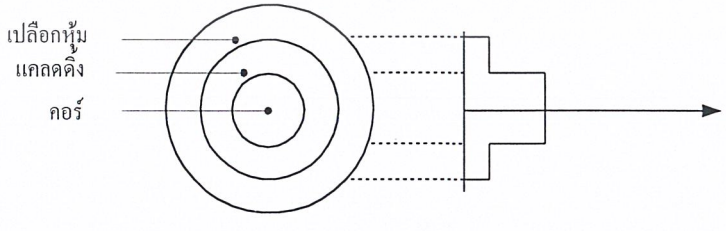
2.1) การลดทอนสัญญาณ มีการลดทอนสัญญาณในช่วง 2 ถึง 5 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ที่ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตรมีการลดทอนสัญญาณโดยเฉลี่ย 0.35 และ 0.21 เดซิเบลต่อกิโลเมตรที่ความยาวคลื่น 1300 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร ตามลำดับ

2.2) แบนด์วิดท์ มากกว่า 500 เมกะเฮิรตซ์กิโลเมตร ในทางทฤษฎีแบนด์วิดท์จะถูกจำกัดโดยความยาวคลื่น และการขยายกว้างออกเนื่องจากโครงสร้าง โดยมีค่าประมาณ 40 กิกะเฮิรตซ์ที่ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร ในทางปฏิบัติแล้วแบนด์วิดท์มากกว่า 10 กิกะเฮิรตซ์ ที่ความยาวคลื่น 1300 นาโนเมตร

2.3) การใช้งาน เหมาะกับงานที่ต้องการแบนด์วิดท์สูง และระยะทางไกลมาก โดยใช้เลเซอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์กำเนิดแสง

2.4.4 เส้นใยนำแสงแบบพลาสติกแคลดดิ้ง

เส้นใยนำแสงชนิดนี้เป็นเส้นใยนำแสงแบบหลายโมด ซึ่งมีความแตกต่างของดัชนีการหักเหทั้งแบบสเต็ปอินเด็กซ์ และ เกรดเดดอินเด็กซ์ เส้นใยนำแสงชนิดนี้มีส่วนของแคลดดิ้งที่สร้างมาจากพลาสติก (โดยส่วนใหญ่จะใช้ยางซิลิโคน) และส่วนของคอร์สร้างมาจากซิลิกา ซึ่งเรามักเรียกเส้นใยนำแสงชนิดนี้ว่า “PCS (Plastic Clad Silica)” เส้นใยนำแสงชนิดนี้จะมีราคาถูกกว่าเส้นใยนำแสงที่สร้างจากแก้วซิลิกา แต่ก็จะมีคุณลักษณะทางประสิทธิภาพที่จำกัด โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงชนิด PCS แบบมัลติโมดสเต็ปอินเด็กซ์

1) โครงสร้าง เส้นใยนำแสงแบบพลาสติกแคลดดิ้งชนิดสเต็ปอินเด็กซ์มีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์เท่ากับ100 ถึง 500 ไมโครเมตร ชนิดเกรดเดดอินเด็กซ์ มีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์เท่ากับ 50 ถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

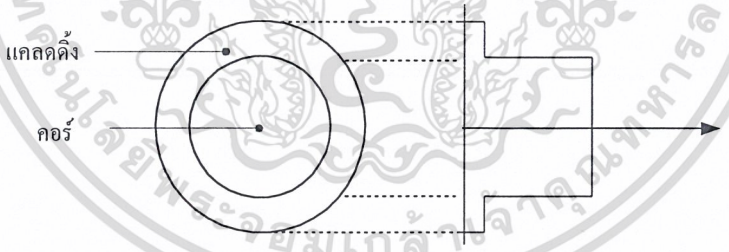
100 ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของแคลดดิ้งชนิดสเต็ปอินเด็กซ์เท่ากับ 300 ถึง 800ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของแคลดดิ้งชนิดเกรดเดดอินเด็กซ์เท่ากับ 125 ถึง 150 ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของเปลือกหุ้มชนิดสเต็ปอินเด็กซ์เท่ากับ 500 ถึง 1000 ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของเปลือกหุ้มชนิดเกรดเดดอินเด็กซ์เท่ากับ 250 ถึง 1000 ไมโครเมตร ขนาดการเปิดรับให้แสงผ่านชนิดสเต็ปอินเด็กซ์เท่ากับ 0.2 ถึง 0.5 ขนาดการเปิดรับให้แสงผ่านชนิดเกรดเดดอินเด็กซ์เท่ากับ 0.2 ถึง 0.3

2) คุณลักษณะทางประสิทธิภาพ

2.1) การลดทอนสัญญาณ การลดทอนสัญญาณของเส้นใยนำแสงชนิดสเต็ปอินเด็กซ์เท่ากับ 5 ถึง 50 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ชนิดเกรดเดดอินเด็กซ์เท่ากับ 4 ถึง 15 เดซิเบลต่อกิโลเมตร

2.4.5 เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกทั้งหมด

เส้นใยนำแสงชนิดนี้จะเป็นแบบมัลติโมดสเต็ปอินเด็กซ์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์กับแคลดดิ้งขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้ไม่จำเป็นต้องมีเปลือกหุ้ม เส้นใยนำแสงชนิดนี้จะมีราคาถูก โดยเส้นใยนำแสงชนิดนี้จะใช้สาร Polymethyl Methacry (PMMA) ในการสร้างคอร์ และใช้ Fluorinated Acrylic ในการสร้างแคลดดิ้ง ซึ่งในปัจจุบันสามารถให้มีความสูญเสียต่ำที่สุดประมาณ 20 เดซิเบลต่อกิโลเมตรที่ความยาวคลื่น 0.86 ไมโครเมตร



รูปที่ 2.24 โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงพลาสติกทั้งหมด

การพัฒนาและปรับปรุงเส้นใยนำแสงที่สร้างจากพลาสติกนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในสภาวะแวดล้อมพิเศษต่างๆ เช่น สภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง หรือในภาวะที่มีอันตรายต่างๆ สำหรับโครงสร้างของเส้นใยนำแสงชนิดนี้แสดงให้ดูในรูปที่ 2.24

1) โครงสร้าง เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกมีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์เท่ากับ 200 ถึง 600 ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของแคลดดิ้งโดยทั่วไปมีขนาด 450 ถึง 1000 ไมโครเมตร และขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) เท่ากับ 0.5 ถึง 0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) คุณลักษณะทางประสิทธิภาพ

2.1) การลดทอนสัญญาณ มีการลดทอนสัญญาณ 50 ถึง 1000 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ที่มีความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร

2.2) การใช้งาน เส้นใยนำแสงชนิดนี้ใช้สำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ราคาต่ำที่มีระยะทางสั้นมาก (Very Short – Haul Low Cost Link) เท่านั้น เช่นในบ้าน โดยมีการเชื่อมต่อและการคัปปลิงที่ง่าย

2.5 อุปกรณ์กำเนิดแสง

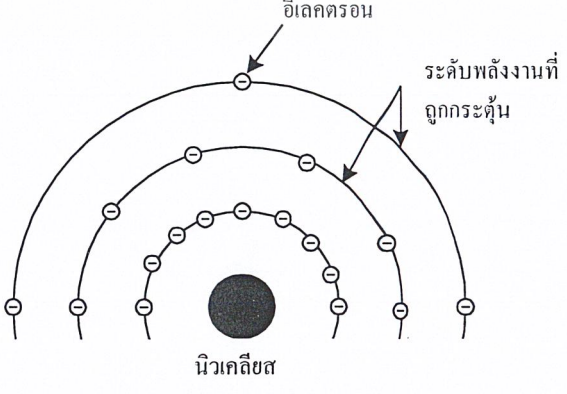
2.5.1 การเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสง

1) โครงสร้างการเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสง

เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปแล้วว่า การที่กระแสไหลนั้น เป็นปรากฏการณ์ที่อีเลคตรอนภายในสารที่ประกอบเป็นตัวกลางนั้นเคลื่อนที่ไปนั่นเอง แต่ว่าอีเลคตรอนนี้ถ้าหากไม่มีแรงภายนอกมากระทำแล้ว มันจะอยู่ในตำแหน่งที่มั่นคงไม่เปลี่ยนแปลง

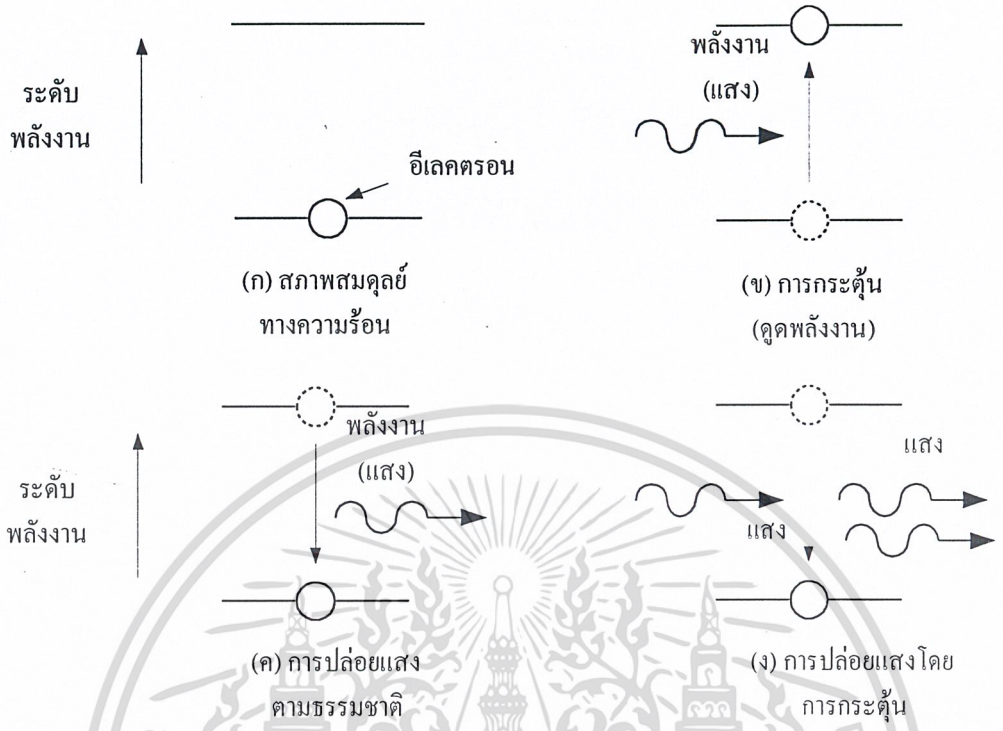
โดยทั่วไปแล้วอะตอมที่ประกอบอยู่ในสารต่างๆ (ก๊าซ ของเหลว ของแข็ง) จะมีโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.25 นั่นคือส่วนที่เรียกว่า นิวเคลียส อยู่ตรงกลางและรอบๆ นิวเคลียสจะมีอีเลคตรอนจำนวนหนึ่งหมุนอยู่รอบนิวเคลียสโดยมีระยะห่างที่แน่นอน

อีเลคตรอนเหล่านี้จะมีพลังงานที่เป็นสัดส่วนกับระยะทางจากนิวเคลียส (พลังงานนี้เรียกว่าระดับพลังงาน) ระดับพลังงานที่ต่ำที่สุดเรียกว่า “Ground State Level” และระดับพลังงานที่สูงนี้เรียกว่า “Stimulate Level” จำนวนอีเลคตรอนที่มีอยู่ในระดับพลังงานนั้นจะมีจำนวนแน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดของสาร แต่โดยปกติแล้วอีเลคตรอนจะออกันอยู่ที่ระดับพลังงานต่ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติโดยธรรมชาติของอีเลคตรอน



รูปที่ 2.25 โครงสร้างและระดับพลังงานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 ระดับพลังและขั้นตอนของการถ่ายเทพลังงาน

คราวนี้ลองสมมุติว่ามีอีเลคตรอนอยู่ในระดับพลังงาน 1 (ระดับพลังงานต่ำ) และไม่มีอีเลคตรอนอยู่ในระดับพลังงาน 2 (ระดับพลังงานสูง) เลยดังแสดงในรูป 2.26 (ก) ในสภาพนี้หากให้พลังงานที่มีค่าเท่ากันกับผลต่างของระดับพลังงานทั้งสอง (นั่นคือถ้า E_1 เป็นพลังงานของระดับพลังงาน 1 และ E_2 เป็นพลังงานของระดับพลังงาน 2 จะได้ผลต่างเป็น E_2 กับ E_1) แล้วอีเลคตรอนจะดูดเอาพลังงานนี้และเลื่อนจากระดับพลังงานต่ำ E_1 ขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูง E_2 ดังรูป 2.26 (ข) การให้พลังงานจากภายนอกแก่อีเลคตรอนเพื่อทำให้มันเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูงนี้เรียกว่าการกระตุ้น (Stimulation) และการที่อีเลคตรอนเลื่อนไปยังระดับพลังงานอื่นนั้นเรียกว่าการถ่ายเท (Transfer) และเมื่อปล่อยอีเลคตรอนเลื่อนขึ้นไปอยู่ในระดับพลังงานสูง E_2 ไว้อย่างนั้น มันจะถูกนิวเคลียสดึงกลับลงมาอยู่ในสภาพเดิมซึ่งเรียกว่า "Stable State" ดังรูปที่ 2.26 (ก) ในการที่อีเลคตรอนกลับลงมาสู่สภาพเดิม นั่นคือลงมาสู่ระดับพลังงานต่ำ E_1 อีเลคตรอนจะปล่อยพลังงานเท่ากับผลต่างของพลังงาน E_2 กับ E_1 ออกมาดังรูปที่ 2.26 (ค) ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่าการปล่อยพลังงานออกมาตามธรรมชาติ กรณีที่ปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงจะเรียกว่าการปล่อยแสงตามธรรมชาติ (Natural Light Emission) เนื่องจากว่าสารต่างๆ แบ่งออกได้เป็นพวกที่ทำให้เกิดแสงได้ง่ายกับพวกที่ทำให้เกิดแสงได้ยาก ดังนั้นจึงไม่สามารถกำหนดลงไปได้ว่าสารทุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดจะทำให้เกิดแสงขึ้นได้จากทฤษฎีของควอนตัมไดนามิกส์ความยาวคลื่นแสงที่ได้จากการปล่อยแสงออกมานี้หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\lambda = \frac{C \times h}{(E_2 - E_1)} \qquad (2.21)$$

ในที่นี้ λ คือ ความยาวคลื่นมีหน่วยเป็นเมตร

C คือ ความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที

h คือ ค่าคงที่ของแพลงค์มีค่าเท่ากับ 6.25×10^{-34} จูลวินาที

นั่นคือความยาวคลื่นแสงจะเป็นสัดส่วนกลับกับผลต่างพลังงาน และผลต่างพลังงานนี้กำหนดจากชนิดของอะตอมที่ประกอบเป็นอุปกรณ์กำเนิดแสงด้วย ดังนั้นความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาจึงมีค่าจำเพาะ อุปกรณ์กำเนิดแสงที่ใช้แสงปล่อยออกมาตามธรรมชาตินี้ ได้แก่ หลอดนีออนและไดโอดกำเนิดแสง

ต่อไปสมมุติว่าป้อนแสงมีพลังงานเท่ากับผลต่างของพลังงานของ E_2 กับ E_1 ที่ใช้ในการกระตุ้นอีเลคตรอนให้ไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูง 2.26 (ข) อีเลคตรอนที่อยู่ในระดับพลังงาน E_2 ซึ่งพยายามที่จะกลับลงมาสู่ระดับพลังงานต่ำ E_1 อยู่แล้วนั้นจะดูดพลังงานของแสงที่ป้อนนี้ไว้และกลับลงมาสู่ระดับพลังงานต่ำ E_1 ในลักษณะถูกบังคับให้กลับลงมาดังรูป 2.26 (ง) ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่าการกระตุ้นให้ปล่อยแสง และพลังงานแสงที่เกิดขึ้นในกรณีนี้จะมีค่ามากกว่ากรณีของการปล่อยพลังงานตามธรรมชาติและแสงที่ได้นี้เรียกว่า "การปล่อยแสงโดยการกระตุ้น (Stimulate Emission Light)" ความยาวคลื่นแสงที่ได้จากการปล่อยพลังงานโดยการกระตุ้นจะเหมือนกับกรณีการปล่อยแสงตามธรรมชาติ นั่นคือเป็นสัดส่วนกับผลต่างของพลังงาน E_2 กับ E_1 อุปกรณ์กำเนิดแสงที่ใช้หลักการกระตุ้นให้ปล่อยพลังงาน (Stimulate Emission) นี้ได้แก่เลเซอร์ (LASER)

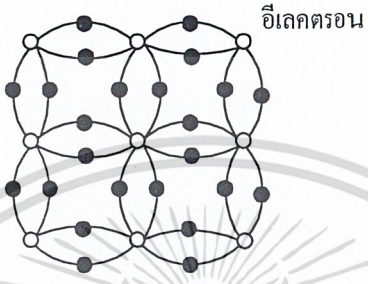
2.5.2 โครงสร้างและการทำงานของการกำเนิดแสงของสารกึ่งตัวนำ

ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเป็นหลักการพื้นฐานของการปล่อยแสง คราวนี้ลองมาพิจารณาโครงสร้างการปล่อยแสงของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติต่างกับโลหะเช่น ทองแดง และอื่นๆ กล่าวคือเป็นสารที่ไม่ค่อยจะยอมให้กระแสผ่านตัวมันได้มากนัก ที่ใช้ในการสื่อสารทั่วไป

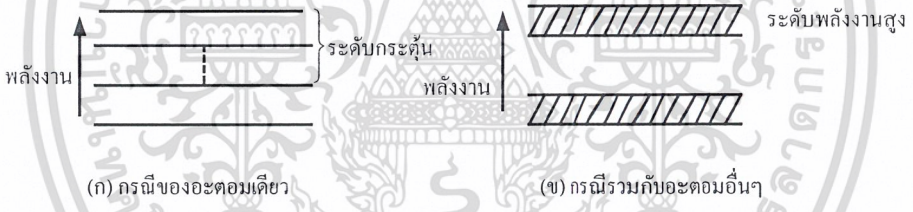
สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้นจะมีอะตอมจำนวนมากจัดเรียงกันเป็นระเบียบดังรูป 2.27 ด้วยเหตุนี้อีเลคตรอนของแต่ละอะตอมจะทำหน้าที่เชื่อมโยงกับอะตอมข้างเคียง และมีตำแหน่งอยู่ระหว่างอะตอมทั้งสอง นั่นคือมันจะรับผลการดึงดูดจากอะตอมข้างเคียงสภาพพลังงานที่อะตอมได้รับนั้น ถ้าหากจะกล่าวกันในทางควอนตัมไดนามิกส์แล้วจะแตกต่างกับกรณีของอะตอมเพียงอันเดียวดังที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวมาแล้วในรูปที่ 2.26 กล่าวคือในกรณีนี้จะแบ่งออกเป็น 2 สภาพ สภาพหนึ่งเป็นระดับพลังงานสูงเรียกว่า "Conduction Band" และอีกสภาพหนึ่งเป็นระดับพลังงานต่ำเรียกว่า "Valence Band" และสภาพทั้งสองนี้ต่างก็มีความกว้างของพลังงานอยู่ดังแสดงในรูป 2.28



รูปที่ 2.27 ตัวอย่างการจัดอีเลคตรอนและนิวเคลียสในสารกึ่งตัวนำ



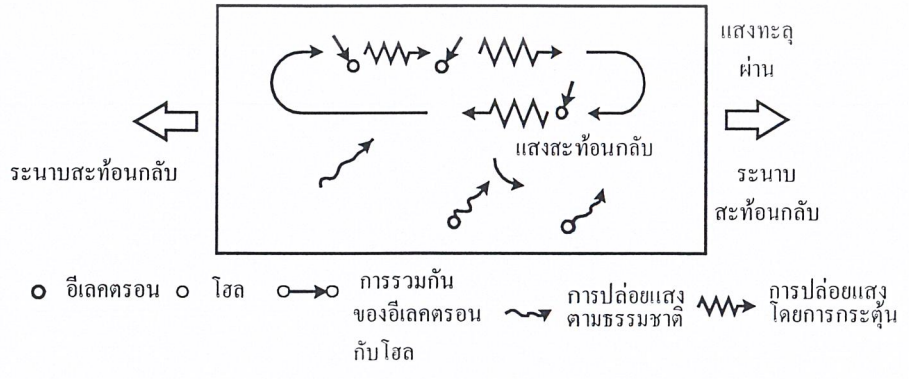
รูปที่ 2.28 ระดับพลังงานในสารกึ่งตัวนำ

โดยปกติแล้วอีเลคตรอนจำนวนมากจะรวมตัวกันอยู่ที่ระดับพลังงานต่ำซึ่งมีระดับพลังงานต่ำและจะมีอีเลคตรอนจำนวนเล็กน้อยอยู่ในระดับพลังงานสูง ซึ่งเป็นระดับพลังงานสูง ในตอนแรกนี้จะทำการอธิบายเกี่ยวกับโครงสร้าง และการทำงานของเลเซอร์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Laser Diode : LD) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีระดับพลังงานตามที่กล่าวมาข้างบนและใช้วิธีการกระตุ้นให้ปล่อยแสงออกมา สมมุติว่าจำนวนอีเลคตรอนในสารกึ่งตัวนำมีค่าเป็น n ตัว และในจำนวน n ตัวนี้แบ่งไปอยู่ในระดับพลังงานต่ำเสีย n_1 ตัว และอยู่ใน ระดับพลังงานสูง n_2 ตัว ในสภาพปกตินั้น n_1 จะมากกว่า n_2 และในสภาพเช่นนี้ ถ้าหากเราใช้แสงจากภายนอกแก่มันจะทำให้เกิดการกระตุ้นให้ปล่อยพลังงานและการดูดพลังงาน ซึ่งขนาดของมันจะเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนของ n_1 และ n_2 แต่โดยทั่วไปแล้วการดูดพลังงานจะมีขนาดมากกว่าทำให้แสงที่ป้อนเข้ามีขนาดลดลงไป แต่ทว่าถ้าหากมีวิธีอย่างใดอย่างหนึ่งที่ทำให้ $n_1 > n_2$ (เรียกว่าเกิด Invertion Distribution)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้แล้วละก็จะทำให้การกระตุ้นให้ปล่อยแสงออกมามีค่ามากกว่าการดูดพลังงาน ในกรณีนี้จะทำให้ความเข้มของแสงที่ป้อนเข้ามาเพิ่มมากขึ้นและเกิดปฏิกริยาการขยายแสง

อาจจะไม่ค่อยคุ้นกับคำว่า "Invertion Distribution" แต่มันสามารถทำให้เกิดขึ้นมาได้ด้วยการให้พลังงานจากภายนอก ยกตัวอย่างการกระตุ้นอีเลคตรอนด้วยการดูดพลังงานจากภายนอกมาแล้วในรูป 2.26 (ข) แต่สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้นปกติจะใช้วิธีการเรียกว่า ฉีดอีเลคตรอนโดยการทำให้กระแสไหล ก็จะเกิดปฏิกริยาการขยายทางกระแสได้ ดังนั้นในกรณีของสารกึ่งตัวนำ พลังงานจากภายนอกที่เป็นตัวทำให้เกิดการกระตุ้นให้ปล่อยพลังงานเพื่อปล่อยแสงออกมา นั่นก็คืออีเลคตรอนที่ฉีดเข้าไปนั่นเอง เมื่อสามารถทำให้เกิดการขยายดังกล่าวข้างต้น และเช่นเดียวกันกับกรณีของวงจรไฟฟ้ากล่าวคือ โดยการทำให้การขยายกลับไปกลับมาจะสามารถทำให้แสงเกิดการออสซิเลตได้ การขยายกลับไปมานั้นเป็นการทำให้เกิดคุณสมบัติพิเศษของแสง หลักการขยายกลับไปมาทำได้โดยใช้ระนาบสะท้อนกลับ (Reflecting Plane) 2 อันวางหันหน้าเข้าหากันดังแสดงในรูป 2.29 นั่นคือแสงที่เกิดการกระตุ้นให้ปล่อยแสง (Stimulated Emission) นี้จะถูกขยายไปพร้อมกับเคลื่อนที่ไปด้วย และเมื่อกระทบกับระนาบสะท้อนกลับแล้ว ส่วนหนึ่งของมันจะทะลุออกไปข้างนอก และส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับไปในทิศทางตรงกันข้ามกับครั้งแรก และเมื่อแสงที่สะท้อนกลับนี้ไปถึงระนาบสะท้อนกลับอีกด้านหนึ่งก็จะเกิดผลเช่นเดียวกับในตอนแรกที่กล่าวมาแล้ว คือ ส่วนหนึ่งจะทะลุออกไปข้างนอกและส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับไปในทิศทางตรงกันข้ามอีกในระหว่างที่ทำให้เกิดการสะท้อนกลับ ซ้ำกลับไปมาอยู่อย่างนี้ จะถึงจุดหนึ่งที่พลังงานที่ถูกขยายโดยการกระตุ้นให้ปล่อยแสงที่มีค่ามากกว่าพลังงานที่สูญเสียไป เนื่องจากการดูดของอีเลกตรอนที่อยู่ใน ระดับพลังงานต่ำ และที่ทะลุออกไปจากระนาบสะท้อนกลับ ณ จุดนี้ การออสซิเลชั่นจะเริ่มขึ้น การทำให้เกิดแสงเช่นนี้เรียกว่า LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)



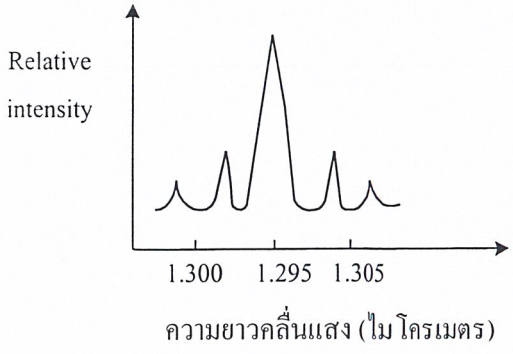
รูปที่ 2.29 หลักการออสซิเลชั่นของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำให้ การออสซิเลชั่นเริ่มขึ้นได้นั้น ต้องใช้พลังงานจากภายนอก (การฉีดกระแสเข้าไป) ที่มีจำนวนมากกว่าค่าหนึ่งขึ้นไป และจำนวนกระแสที่ฉีดเข้าไปตอนทำให้การออสซิเลชั่น เริ่มขึ้นนั้นเรียกว่า "Threshold Value Current" ต่อไปเราพิจารณาถึงความยาวคลื่นแสงของเลเซอร์ จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ความยาวคลื่นแสงนั้นกำหนดจากผลต่างของพลังงานในระดับพลังงานสูง และในระดับพลังงานต่ำ แต่เนื่องจากว่าในระดับพลังงานต่างก็มีความกว้างของพลังงานอยู่ ทำให้ความยาวคลื่นแสงมีค่าอยู่ในช่วงหนึ่งด้วยเช่นกัน แต่เนื่องจากในขั้นตอนของการปล่อยแสงที่ได้กล่าวมาแล้วว่าทำให้เกิดการสะท้อนกลับไปมาระหว่างระนาบสะท้อนกลับ นั่นคือสามารถทำให้เกิดความยาวคลื่นแสงของคลื่นนิ่งภายในรีโซเนเตอร์ เท่านั้น ดังรูปที่ 2.30

รูปที่ 2.30 การเกิดคลื่นนิ่งของแสง

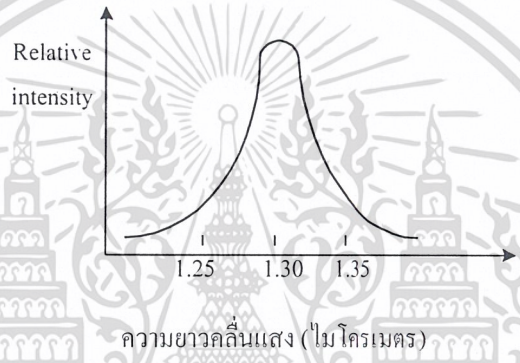
เงื่อนไขที่ทำให้เกิดรีโซแนนซ์นี้ คือ ความยาวของรีโซเนเตอร์ (ระยะห่างของระนาบสะท้อนกลับ) จะต้องมีค่าเป็นจำนวนเท่าที่เป็นเลขเต็มหน่วยของครึ่งหนึ่งของความยาวแสงนั่นคือ $n(\lambda/2)$ โดยปกติแล้วความยาวของรีโซเนเตอร์ จะมากกว่าความยาวแสงมาก ดังนั้นแสงที่ได้จากเลเซอร์จะมีความยาวแสงกระจายออกเป็นจำนวนมากดังแสดงในรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 ความยาวคลื่นแสงของเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนไดโอดเปล่งแสง (LED : Light Emitting Diode) นั้นต่างกับเลเซอร์ คือแทนที่จะใช้ปรากฏการณ์ปล่อยพลังงานโดยการกระตุ้นแต่จะใช้ปรากฏการณ์ของการปล่อยพลังงานโดยธรรมชาติแทน ดังนั้นแสงที่ได้ออกมาจะมีช่วงความยาวคลื่นแสงกว้างมากเพราะกำหนดจากความสัมพันธ์ของพลังงานของระดับพลังงานสูงกับระดับพลังงานต่ำ มีความกว้างของพลังงานอยู่ในตัว และช่วงความยาวคลื่นแสงนี้เรียกว่าความกว้างสเปคตรัมและกำลังงานเอาต์พุตของแอลอีดีเมื่อเทียบกับเลเซอร์แล้วมีค่าน้อยกว่า แต่มีข้อดีคือโครงสร้างของแอลอีดีไม่ยุ่งยาก ทำให้สร้างได้ง่าย และมีราคาถูกมาก ช่วงความยาวคลื่นแสงของแอลอีดีแสดงดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 ช่วงความยาวคลื่นแสงของแอลอีดี

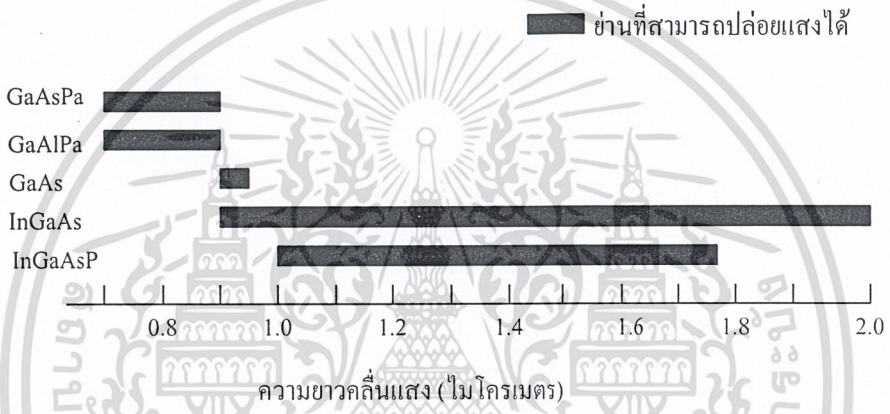
2.5.3 สารที่ใช้ในการสร้างและโครงสร้างของอุปกรณ์กำเนิดแสง

1) สารที่ใช้ในการสร้างอุปกรณ์กำเนิดแสง

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าปรากฏการณ์ปล่อยแสงนั้นไม่ได้เกิดขึ้นกับสารกึ่งตัวนำทุกชนิด ทั้งนี้ก็เพราะว่ามีสารพวกที่เกิดปรากฏการปล่อยแสงง่ายกับสารพวกที่เกิดการปล่อยแสงยาก เนื่องจากการปล่อยแสงนั้นเกิดจากการที่อีเลคตรอนถ่ายเทจากระดับพลังงานสูงไปยังระดับพลังงานต่ำจึงแบ่งสารออกเป็นพวกที่อีเลคตรอนถ่ายเทได้ง่ายกับพวกที่อีเลคตรอนถ่ายเทได้ยาก พวกที่มีอีเลคตรอนถ่ายเทได้ง่ายเรียกว่า “Direct Transfer Semiconductor” พวกที่อีเลคตรอนถ่ายเทได้ยากเรียกว่า “Indirect Transfer Semiconductor” ตัวอย่างของสารพวกถ่ายเทอิเลคตรอนได้ง่ายได้แก่ สารประกอบของ อินเดียม (In) แกลเลียม (Ga) อาเซไนส์ (As) และฟอสฟอรัส (P) คือ อินเดียมแกลเลียมอาเซไนส์ฟอสฟอรัส (InGaAsP) สารประกอบของ แกลเลียม อลูมิเนียม (Al) อาเซไนส์ คือ แกลเลียมอลูมิเนียมอาเซไนส์ (GaAlAs) เป็นต้น อนึ่งสารพวกซิลิกอน (Si) เจอรมันเนียม (Ge) ที่ใช้ทำทรานซิสเตอร์ ไอซี (IC) นั้นส่วนใหญ่เป็นสารที่ถ่ายเทอิเลคตรอนได้ยากจึงปล่อยแสงออกมายาก เนื่องจากความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมานั้นเป็นสัดส่วนกับผลต่างของพลังงานในระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานสูงกับระดับพลังงานต่ำ แต่ทว่าผลต่างของพลังงานนี้จะมีค่าแตกต่างกันตามส่วนประกอบสารกึ่งตัวนำ จึงทำให้มีความยาวคลื่นแสงค่าต่างๆ ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับสารประกอบของอุปกรณ์ปล่อยแสง แสดงดังรูปที่ 2.33 และจากการพิจารณาถึงคุณสมบัติต่างๆ ของสารในทางปฏิบัตินั้นสำหรับย่านความยาวคลื่นสั้น 0.85 ไมโครเมตร นิยมใช้แกลเลียมอลูมิเนียมอาเซไนส์ และย่านความยาวคลื่น 1.3 ไมโครเมตร นิยมใช้อินเดียมแกลเลียมอาเซไนส์ฟอสฟอรัส ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง



รูปที่ 2.33 ความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาของสารประกอบกึ่งตัวนำ

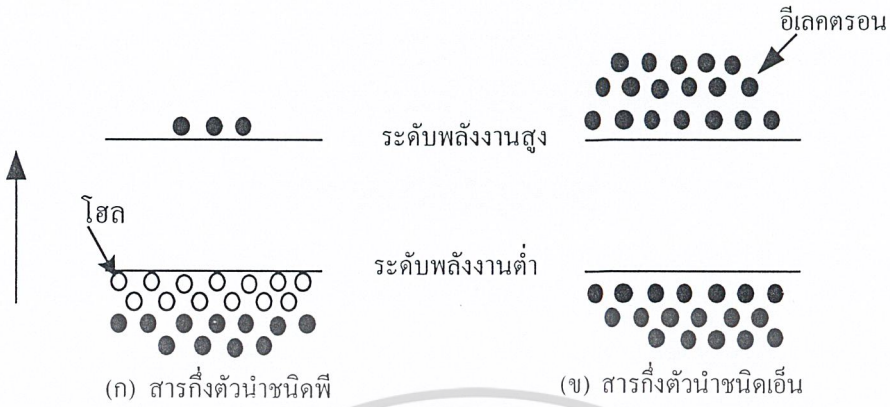
2) โครงสร้างของอุปกรณ์กำเนิดแสง

2.1) รอยต่อพีเอ็น (P – N Junction)

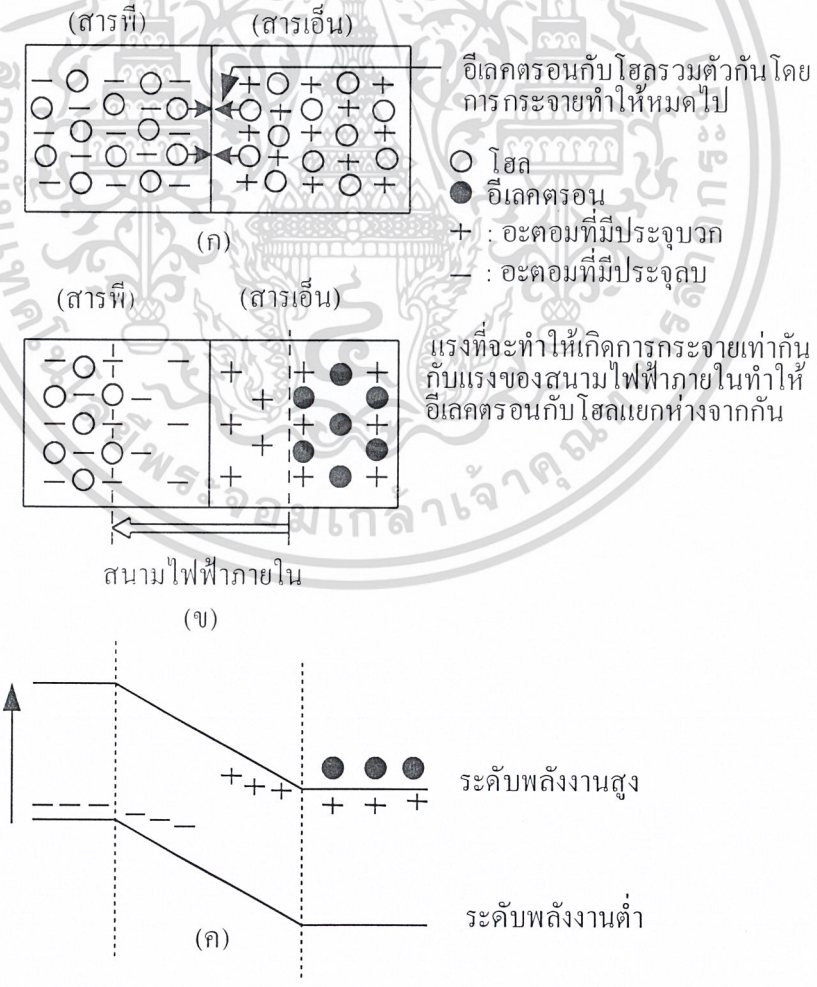
โครงสร้างของอุปกรณ์ปล่อยแสง การใช้งานเพื่อให้ได้กำลังการปล่อยแสงที่มีประสิทธิภาพนั้นการนำสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็นมาเชื่อมต่อกันนั้นเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ดังนั้นเพื่อเป็นการทำให้เข้าใจขั้นตอนการปล่อยแสง อันเนื่องม เจากโครงสร้างของอุปกรณ์ปล่อยแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำนั้น ในที่นี้จะอธิบายถึงคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็นก่อน

สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้นปกติจำนวนของอีเลคตรอนส่วนใหญ่จะรวมตัวกันอยู่ในระดับพลังงานต่ำ ดังที่เคยกล่าวมาแล้วในตอนต้นสารกึ่งตัวนำที่มีสภาพอย่างนี้เรียกว่า "Genuine Semiconductor" สารที่เรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิดพี นั้นมีสภาพที่มีจำนวนโฮล (อนุภาคที่มีประจุบวกในตัว) และมีอีเลคตรอน (มีประจุลบในตัว) น้อยดังแสดงในรูป 2.34 (ก) ส่วนสารที่เรียกว่าสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นนั้นจะมีสภาพตรงกันข้ามกับสารกึ่งตัวนำชนิดพี กล่าวคือมีอีเลคตรอนเป็นจำนวนมากกว่าโฮล และจำนวนอีเลคตรอนที่มีมากเกินนี้ จะรวมตัวกันอยู่ในระดับพลังงานสูงแสดงในรูป 2.34 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

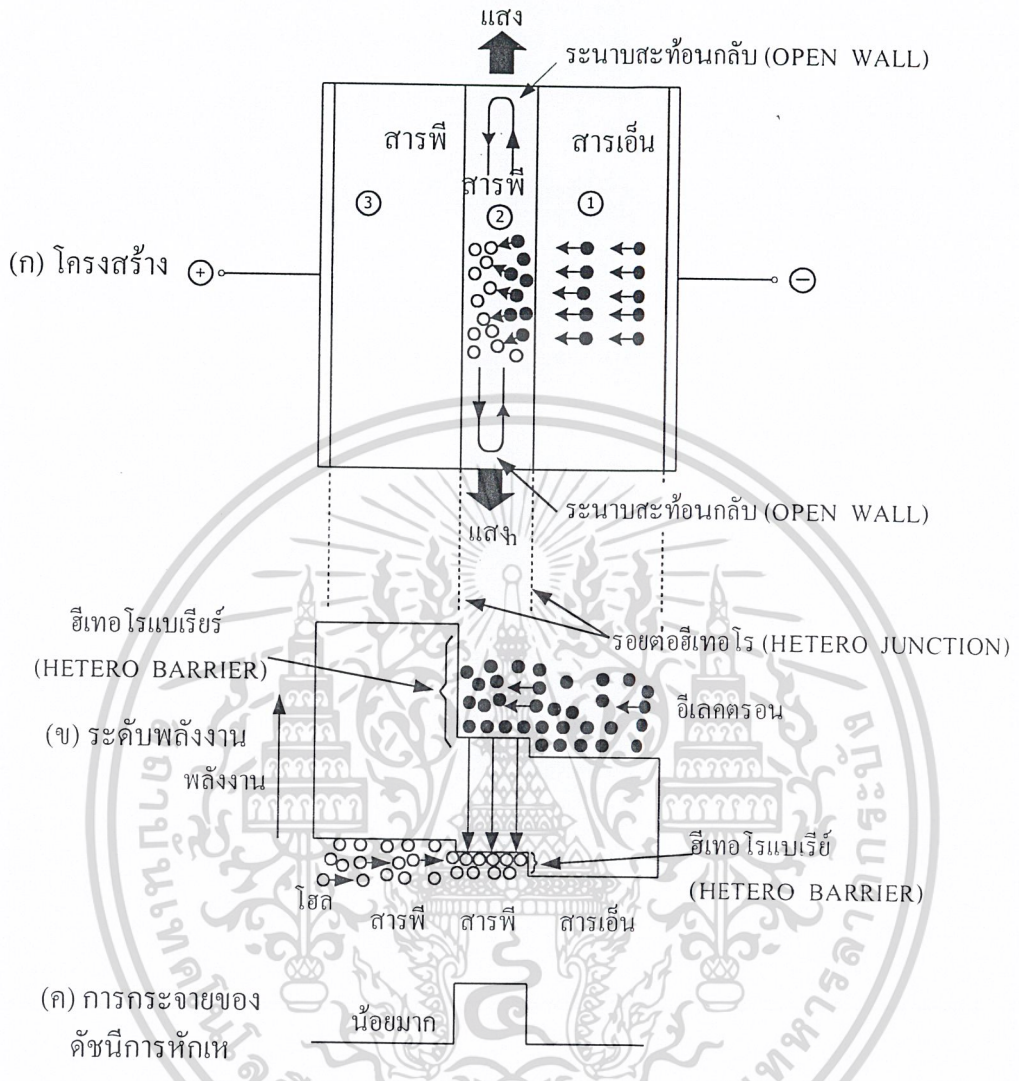


รูปที่ 2.34 ระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็น



รูปที่ 2.35 สนามไฟฟ้าภายในระดับพลังงานของ พี-เอ็น จังชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.36 โครงสร้าง ระดับพลังงาน และลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของเลเซอร์ไดโอด

ในการทำให้เกิดเลเซอร์ออสซิลเลชั่น (LASER Oscillation) นั้นจะต้องทำให้ผลต่างระหว่างระดับพลังงานของระดับพลังงานสูงของสารกึ่งตัวนำชนิดพี และระดับพลังงานของระดับพลังงานสูงของชั้นแอคทีฟมีค่ามากพร้อมทั้งทำให้ผลต่างระหว่างพลังงานของระดับพลังงานสูงกับระดับพลังงานต่ำของสารกึ่งตัวนำพีมีค่ามากด้วย นอกจากนั้นยังจะต้องทำให้ระดับพลังงานของระดับพลังงานต่ำของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นมีค่าต่ำกว่าระดับพลังงานของระดับพลังงานต่ำของชั้นแอคทีฟด้วย จากนั้นจึงนำมาเชื่อมต่อกันจะได้ระดับพลังงาน ดังแสดงในรูป 2.36 (ข) เมื่อทำให้มีกระแสไหลในสารกึ่งตัวนำที่มีการเชื่อมต่อกันในลักษณะที่กล่าวข้างต้น โดยให้มีทิศทางไหลจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารพีไปหาสารเอ็นจะเป็นผลให้อีเลคตรอนส่วนเกินที่มีอยู่ในสารพี (แสดงด้วย (1) ในรูป) ดังแสดงในรูป 2.36 (ก) เคลื่อนที่ไปยังสารพี และโฮลส่วนเกินที่อยู่ในสารพี (แสดงด้วย (3) ในรูป) เคลื่อนที่ไปยังสารเอ็นผลของการเคลื่อนที่ของอีเลคตรอน และโฮลเหล่านี้ทำให้เกิดมีอีเลคตรอนและโฮลอยู่ภายในชั้นแอคทีฟ (แสดงด้วย (2) ในรูป และโดยทั่วไปชั้นแอคทีฟนี้จะใช้สารพี) เมื่อมาถึงจุดนี้ให้สังเกตดูระดับพลังงานของชั้นทั้ง 3 ที่แสดงในรูป 2.36 (ข) จะเห็นว่าเกิดกำแพงของพลังงานขึ้นทำให้อีเลคตรอนและโฮลที่เคลื่อนที่ไปนั้นถูกขังอยู่ในชั้นแอคทีฟเป็นผลทำให้เกิดสภาพ "Invertion Distribution" ได้อย่างดีทำให้มีผลการขยายความเข้มของการปล่อยแสง

โดยการทำให้ดัชนีการหักเหของชั้นแอคทีฟมีค่ามากกว่าชั้นข้างเคียง ดังแสดงในรูป 2.36 (ค) จะมีสภาพเหมือนเส้นใยนำแสง แสงที่ปล่อยออกมาจะถูกกักและเดินทางอยู่ในของชั้นแอคทีฟ จากผลการกักอีเลคตรอนและโฮลเอาไว้ในชั้นแอคทีฟและผลการกักแสงเอาไว้ในชั้นแอคทีฟ ทำให้ได้การปล่อยแสงที่มีประสิทธิภาพดีได้

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าแสงจะออกมาจากระนาบสะท้อนกลับ โดยที่ระนาบสะท้อนกลับนี้ทำจากการที่ใช้สิ่งที่คมมากๆ คล้ายมีดโกนไปตัดสารกึ่งตัวนำที่ประกอบกันเป็นเลเซอร์ไดโอดให้มีช่องเปิดเรียกว่า "โอเพนวอลล์ (Open Wall)" โดยการทำเช่นนี้แสงเลเซอร์จะถูกกักขังอยู่ในชั้นแอคทีฟได้ดีแต่ทว่าเมื่อมันเดินทางมาถึงโอเพนวอลล์มันจะหลุดออกมาข้างนอกตลอดแนวของโอเพนวอลล์นี้ทำให้ประสิทธิภาพของการเชื่อมแสงเข้ากับเส้นใยนำแสงไม่ดี

2.3) โครงสร้างของแอลอีดี (Light Emitting Diode:LED)

แอลอีดีก็เหมือนกันกับเลเซอร์ไดโอดกล่าวคือเป็นดับเบิลฮีเทอโรจังชั่น (Double Hetero Junction) อีเลคตรอนที่ไหลผ่านรอยต่อพีกับเอ็นจะไปรวมกับโฮลภายในชั้นแอคทีฟเช่นเดียวกันกับกรณีของเลเซอร์ไดโอดดังแสดงในรูปที่ 2.37 (ก) และเกิดการปล่อยแสงขึ้นภายในชั้นแอคทีฟ เนื่องจากถูกกักด้วยกำแพงของฮีเทอโรจังชั่น แต่สำหรับกรณีของแอลอีดีนั้นโครงสร้างของมันไม่มีการขยาย (Oscillation) ของแสงเหมือนอย่างเลเซอร์ไดโอด (ไม่มีระนาบสะท้อนแสง) แสงที่ปล่อยออกมาตรงส่วนที่อยู่ห่างจากด้านข้างนั้นจึงออกจากด้านข้างได้ยาก ด้วยเหตุนี้แอลอีดีทั่วไปจึงให้แสงปล่อยออกมาข้างนอกจากด้านหน้าที่ต่อกับขั้วไฟฟ้า ดังรูป 2.37 (ก)

2.5.4 คุณสมบัติของอุปกรณ์กำเนิดแสง

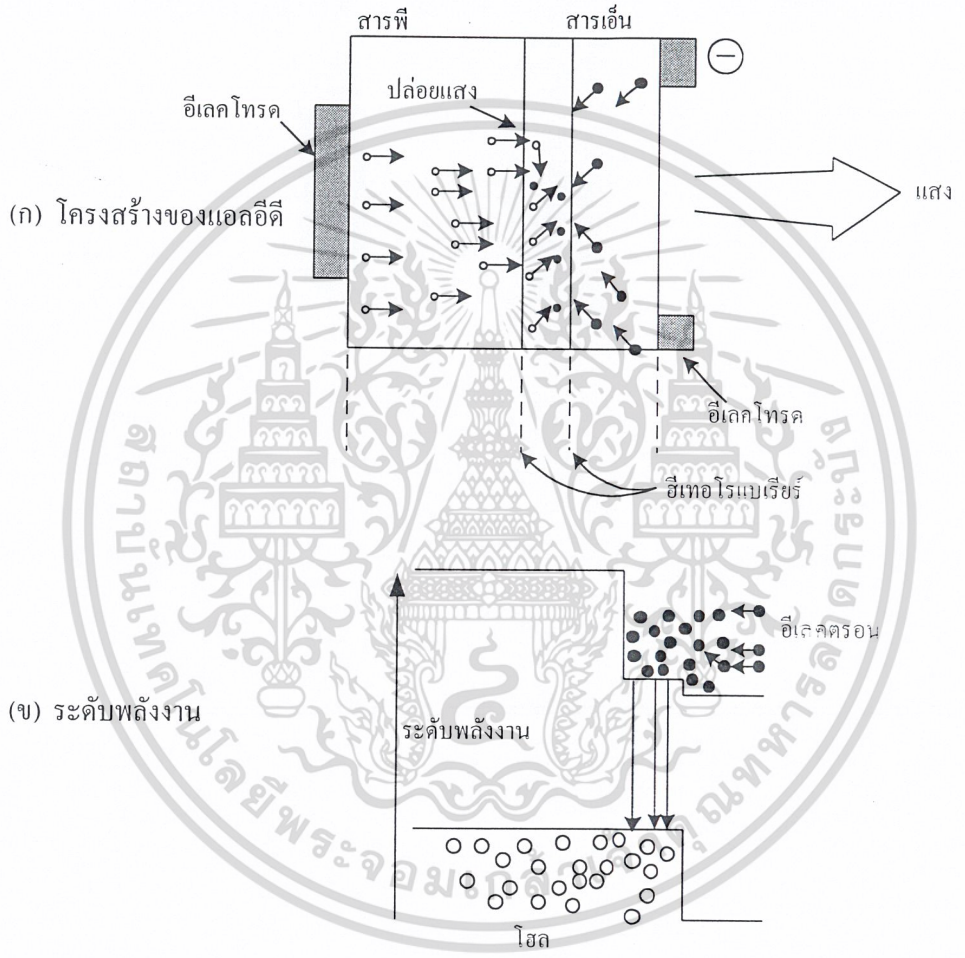
การเลือกอุปกรณ์กำเนิดแสงมาใช้ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1) กำลังเอาต์พุต (Output Power)

กำลังเอาต์พุตของเลเซอร์ไดโอดจะมีค่ามากกว่ากำลังเอาต์พุตที่ได้จากแอลอีดี โดยเลเซอร์ไดโอดที่สร้างจากสารแกลเลียมอลูมิเนียมอาเซไนส์จะมีกำลังเอาต์พุตประมาณ 20 ถึง 50 มิลลิวัตต์ ในขณะที่แอลอีดีที่สร้างจากสารชนิดเดียวกันมีกำลังเอาต์พุตประมาณ 0.5 มิลลิวัตต์ ถึง 4 มิลลิวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่านั้น และเลเซอร์ไดโอดที่สร้างจากสารอินเดียมแกลเลียมอาเซไนส์ฟอสฟอรัสจะมีกำลังเอาต์พุตเพียง 1.5 ถึง 8 มิลลิวัตต์ ส่วนแอลอีดีที่สร้างจากสารชนิดเดียวกันนี้จะมีกำลังเอาต์พุตเพียง 0.4 ถึง 0.6 มิลลิวัตต์ การที่เลเซอร์ไดโอดมีกำลังเอาต์พุตสูงกว่าแอลอีดีก็เนื่องมาจากเลเซอร์ไดโอดจะมีการขยายแสงโดยการออสซิลเลตก่อนที่จะปล่อยแสงออกมา



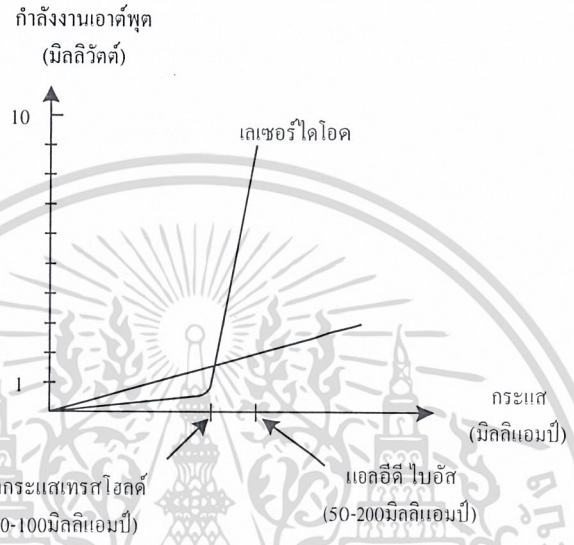
รูปที่ 2.37 โครงสร้าง และระดับพลังงานของแอลอีดี

2) อายุการใช้งาน (Life Time)

อายุการใช้งานของแอลอีดีจะมีค่าประมาณ 10^7 ถึง 10^8 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ส่วนอายุการใช้งานที่เลเซอร์ไดโอดจะมีค่าน้อยกว่า คือ มีค่าประมาณ 10^6 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง เมื่อคิดเป็นจำนวนปีแล้วจะสามารถใช้งานได้เป็นหลายร้อยปีซึ่งเราสามารถจะทดสอบอายุการใช้งานจริงๆ ได้แต่สามารถที่จะคำนวณความน่าจะเป็นของอายุการใช้งานได้ โดยการทดลองใช้อุปกรณ์ดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในอุณหภูมิที่สูงมากๆ และดูว่ามีอายุการใช้งานกี่ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาหาความน่าจะเป็นของอายุการใช้งานในอุณหภูมิห้อง เพราะว่าอัตราการเสียหายของอุปกรณ์ของสารกึ่งตัวนำจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณภูมิที่ใช้งาน



รูปที่ **2.38** คุณลักษณะการเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสงโดยปกติของแอลอีดี และเลเซอร์ไดโอด

3) คุณลักษณะการเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสง (Transfer Characteristics)

แอลอีดีจะมีความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอินพุตและกระแสเอาต์พุตเป็นเชิงเส้น ส่วนเลเซอร์ไดโอดนั้นความสัมพันธ์ดังกล่าวก็จะมีลักษณะเป็นเชิงเส้นเช่นเดียวกัน แต่จะแตกต่างกันตรงที่ค่ากระแสต่ำๆ ความสัมพันธ์จะมีความชันน้อยกว่าจนถึงจุดของค่ากระแสเทรสโฮลด์จะมีความชันมากเนื่องจากกำลังเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูป 2.38

4) ความเร็วในการตอบสนองความถี่ (Frequency Response Speed)

ความเร็วในการตอบสนองความถี่ของอุปกรณ์กำเนิดแสงทั้งสองชนิดจะคิดจากเวลาที่ใช้ในการรวมตัวกันของอีเลคตรอนและโฮล โดยเวลาที่ใช้ในการรวมตัวกันของอีเลคตรอน และโฮลจะแปรผันโดยตรงกับความเร็วในการตอบสนองความถี่ คือ ใช้เวลาในการรวมตัวกันน้อย (เกิดแสงได้เร็ว) ความเร็วในการตอบสนองต่อความถี่จะสูง ซึ่งเวลาที่ใช้ในการรวมตัวกันของอีเลคตรอนและโฮล กล่าวคือ ถ้าจำนวนอีเลคตรอน และโฮลมีค่ามากก็ย่อมจะเกิดการรวมตัวกันได้เร็วกว่า โดยอุปกรณ์กำเนิดแสงที่มีความหนาแน่นของกระแสสูงกว่าแอลอีดีเนื่องจากเลเซอร์ไดโอดจะมีกระบวนการในการทำให้เกิดการสลับกันของจำนวนอีเลคตรอน จึงทำให้เกิดอีเลคตรอนในแถบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

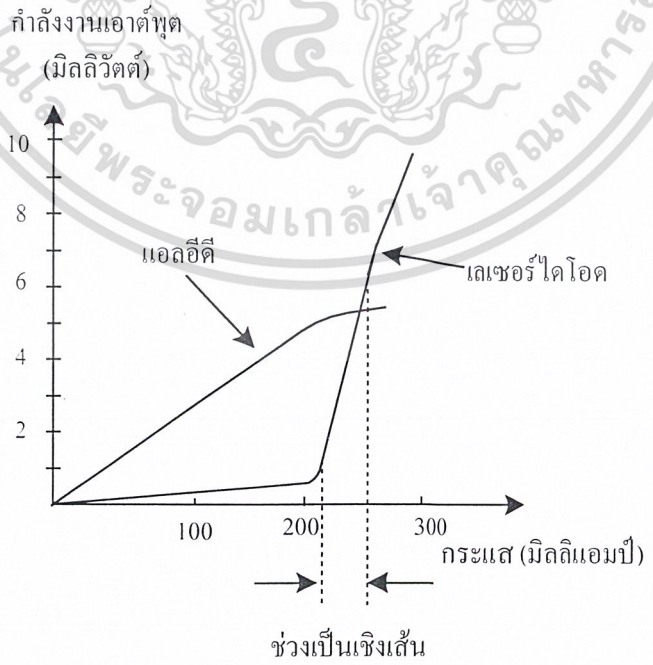
ความนำมากกว่าแอลอีดี ดังนั้นเลเซอร์ไดโอดจะมีความเร็วในการตอบสนองต่อความถี่สูงกว่าแอลอีดีประมาณ 10 ถึง 100 เท่า

5) ความยาวคลื่นที่ใช้งาน (Wavelength of Operation)

เลเซอร์ไดโอด และแอลอีดีในยุคแรกจะให้แสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 815 นาโนเมตร ถึง 910 นาโนเมตร เนื่องจากสร้างจากสารประกอบแกลเลียมอาเซไนส์ และแกลเลียมอลูมิเนียมอาเซไนส์ซึ่งมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน ต่อมาในยุคที่สองของอุปกรณ์กำเนิดแสงจะใช้ความยาวคลื่นในช่วง 1.3 ไมโครเมตร ถึง 1.55 ไมโครเมตร โดยมีโครงสร้างจากสารประกอบของอินเดียมแกลเลียมอลูมิเนียมอาเซไนส์ฟอสฟอรัส

6) สเปกตรัมของสัญญาณเอาต์พุต (Output Spectrum)

สเปคตรัมของสัญญาณเอาต์พุตของแอลอีดีจะมีขนาดกว้างกว่าเลเซอร์ไดโอด คือมีความยาวคลื่นหลายความยาวคลื่นซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากแถบความนำ และแถบวาเลนซ์มีความกว้างทำให้มีความแตกต่างกันของระดับพลังงานหลายค่าจึงทำให้ได้ความยาวคลื่นจำนวนมาก ส่วนสาเหตุที่ทำให้เลเซอร์ไดโอดมีสเปคตรัมแคบกว่าเนื่องจากการที่เลเซอร์ไดโอดจะปล่อยแสงออกมาได้นั้นจะต้องมีการออสซิลเลตและเกิดการเรโซแนนซ์ขึ้นภายในแอคทีฟเลเยอร์ของเลเซอร์ไดโอดจึงมีสเปคตรัมที่แคบกว่าแอลอีดีมาก



รูปที่ 2.39 ความเป็นเชิงเส้นของสัญญาณเอาต์พุตของอุปกรณ์กำเนิดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) ความเป็นเชิงเส้น (Linearity)

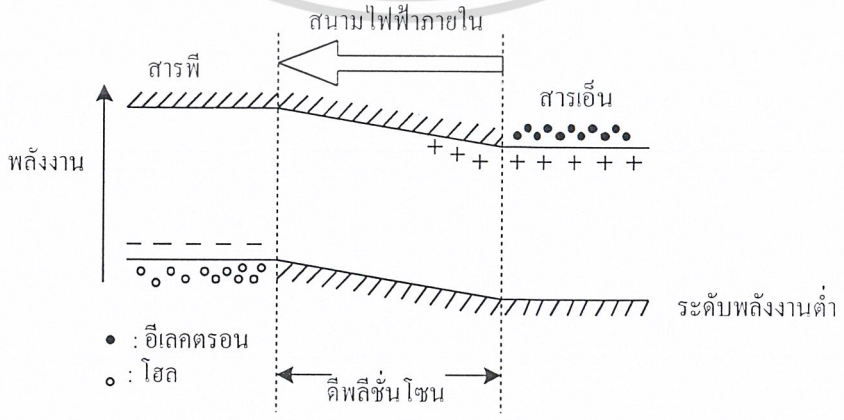
ความเป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์กำเนิดแสงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการออกแบบระบบการสื่อสารเส้นใยนำแสงแบบแอนะลอกซึ่งต้องการอุปกรณ์กำเนิดแสงที่มีความเป็นเชิงเส้นสูงเพื่อลดความเพี้ยนของสัญญาณแสงที่ส่งออกมา โดยทั่วไปแล้วแอลอีดีจะมีความเป็นเชิงเส้นสูงกว่าเลเซอร์ไดโอดดังแสดงในรูปที่ 2.39 จึงเหมาะที่จะนำมาใช้งานกับระบบการสื่อสารเส้นใยนำแสงแบบแอนะลอกมากกว่า สำหรับระบบการสื่อสารเส้นใยนำแสงแบบดิจิตอลนั้นความเป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์กำเนิดแสงจะไม่มีผลกระทบต่อระบบ

2.6 อุปกรณ์รับแสง

2.6.1 การเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า

การรับแสงหมายถึงการเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า ในการทำงานนี้แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีที่หนึ่งเป็นการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้าโดยตรง วิธีที่สองทำได้โดยการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อนแล้วจึงเปลี่ยนเป็นไฟฟ้า วิธีที่หนึ่งนั้นเรียกว่า "โฟโตอิเลคทริคเอฟเฟค (Photo Electric Effect)" ส่วนวิธีที่สองเรียกว่า "เซนซิทีฟฮีทเอฟเฟค (Sensitive Heat Effect)"

หลักการของโฟโตอิเลคทริคเอฟเฟคใช้ขบวนการดูดพลังงานตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.4 นั่นคือ เมื่อมีแสงมาตกกระทบสารกึ่งตัวนำอีเลคตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานต่ำจะเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูงแต่การเลื่อนขึ้นไปนี้เป็นแต่เพียงอีเลคตรอนเคลื่อนที่ไปเท่านั้น และในที่สุดมันจะไปรวมกันใหม่กับโฮลในระดับพลังงานต่ำอีกทำให้ไม่ได้รับโฟโตอิเลคทริคเอฟเฟคเพื่อที่จะเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้าจะต้องใช้สภาพการแยกกันของอีเลคตรอนกับโฮลก่อนที่มันจะรวมกัน



รูปที่ 2.40 ดีพลีชั่นโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับอุปกรณ์รับแสงสารกึ่งตัวนำก็เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสง นั่นคือเพื่อที่จะแยกอีเลคตรอนกับโฮลนั้นโดยทั่วไปใช้รอยต่อพีเอ็น ที่รอยต่อของพีกับเอ็นนั้นจะเกิดสนามไฟฟ้าในที่ว่างขึ้น แต่มันจะถูกดึงด้วยอีเลคตรอนของสารเอ็นและโฮลของสารพี ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นลบและบวกเป็นผลให้เกิดบริเวณที่ไม่มีอีเลคตรอนและโฮลขึ้นตรงรอยต่อบริเวณนี้เรียกว่าดีพลีชั่นโซน (Depletion Zone) ดังแสดงในรูป 2.40

ในสภาพอย่างนี้เมื่อมีแสงมากระทบจากทางด้านบริเวณสารพีแสงนั้นจะถูกดูด พร้อมทั้งเคลื่อนที่ไปทางบริเวณสารเอ็นแต่ที่ดีพลีชันโซนอีเลคตรอน และโฮลที่เกิดจากการดูดพลังงานจากแสงจะถูกสเปคอีเลคทริคฟิลส์ (Space Electric Field) แยกไปในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคืออีเลคตรอนไปทางด้านเอ็นและโฮลไปทางด้านพี ที่บริเวณซึ่งอยู่ห่างจากดีพลีชั่นโซนนั้นเนื่องจากไม่มีสนามไฟฟ้าอีเลคตรอน และโฮลที่เกิดจากโฟโตอิเลคทริคเอฟเฟคจะรวมตัวกันใหม่ในระหว่างเคลื่อนที่ แต่สำหรับอีเลคตรอน และโฮลที่เคลื่อนที่เข้าไปในสเปคอีเลคทริคฟิลส์แล้วนั้นจะสามารถเข้าไปยังบริเวณตรงกันข้ามได้ ผลที่ได้ก็คือ จะเกิดแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับบริเวณของอีเลคตรอนและโฮลที่ถูกแยกขึ้นระหว่างปลายทั้งสองของสารพีและ สารเอ็นถ้าหากนำวงโคจรภายนอกมาต่อกับปลายทั้งสองนี้จะทำให้อีเลคตรอน และโฮลสามารถรวมตัวกันได้โดยผ่านวงจรภายนอก นั่นคือมีกระแสไหลนั่นเองกระแสที่เกิดที่ดีพลีชั่นโซนเรียกว่า “Drift Current” ส่วนกระแสที่เกิดตรงบริเวณที่อยู่ห่างจากดีพลีชั่นโซนเรียกว่า “Diffusion Current” และกระแสนี้เป็นหลักของการเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า

2.6.2 สารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง

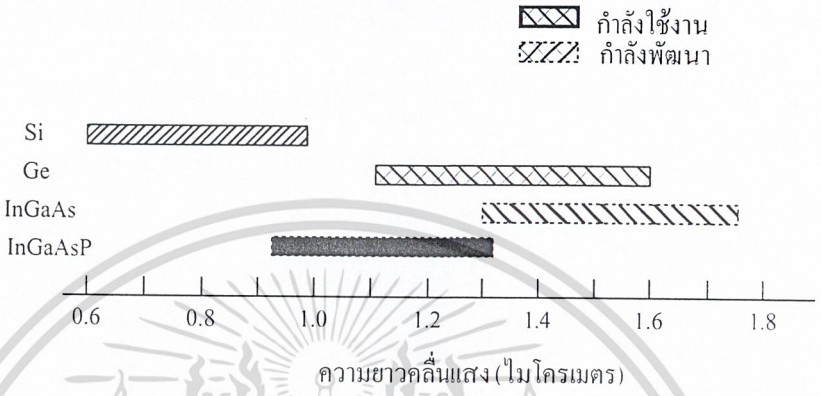
1) สารที่ใช้สร้างอุปกรณ์รับแสง

สำหรับอุปกรณ์รับแสงก็เช่นเดียวกับอุปกรณ์กำเนิดแสงนั้นมีสารหลายชนิด นอกจากนั้นผลต่างของพลังงานของระดับพลังงานสูง และระดับพลังงานต่ำของอุปกรณ์รับแสงมีค่าแตกต่างกันทำให้มีย่านความยาวคลื่นต่างกันที่ดูดสัญญาณที่เข้ามาได้ง่าย (ความไวในการรับแสง) คุณสมบัติความไวในการรับแสงของสารแต่ละชนิดดังรูป 2.41

ในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงนั้นจะต้องเลือกอุปกรณ์รับแสงที่เหมาะสมกับความยาวคลื่นที่ใช้เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสง สำหรับย่านความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 1 ไมโครเมตร จะใช้สารซิลิกอน สำหรับย่านความยาวคลื่น 1 ≅ 1.7 ไมโครเมตร ใช้เจอรมันเนียมเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นในปัจจุบันสำหรับความยาวคลื่นในช่วง 1.55 ไมโครเมตร เป็นความยาวคลื่นมีการสูญเสียในเส้นใยนำแสงน้อยมาก และเป็นความยาวคลื่นที่อยู่ในวินโดส์ที่สาม (Third Window) การใช้งานอุปกรณ์รับแสงชนิดใหม่ที่ทำจากสารที่เป็นสารประกอบของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารกึ่งตัวนำอินเดียมแกลเลียมอาเซไนส์และอื่นๆ ซึ่งมีความไวในการรับแสงดีมากนั้น กำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ



รูปที่ 2.41 ความยาวคลื่นในการรับแสงของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิด

2) โครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง

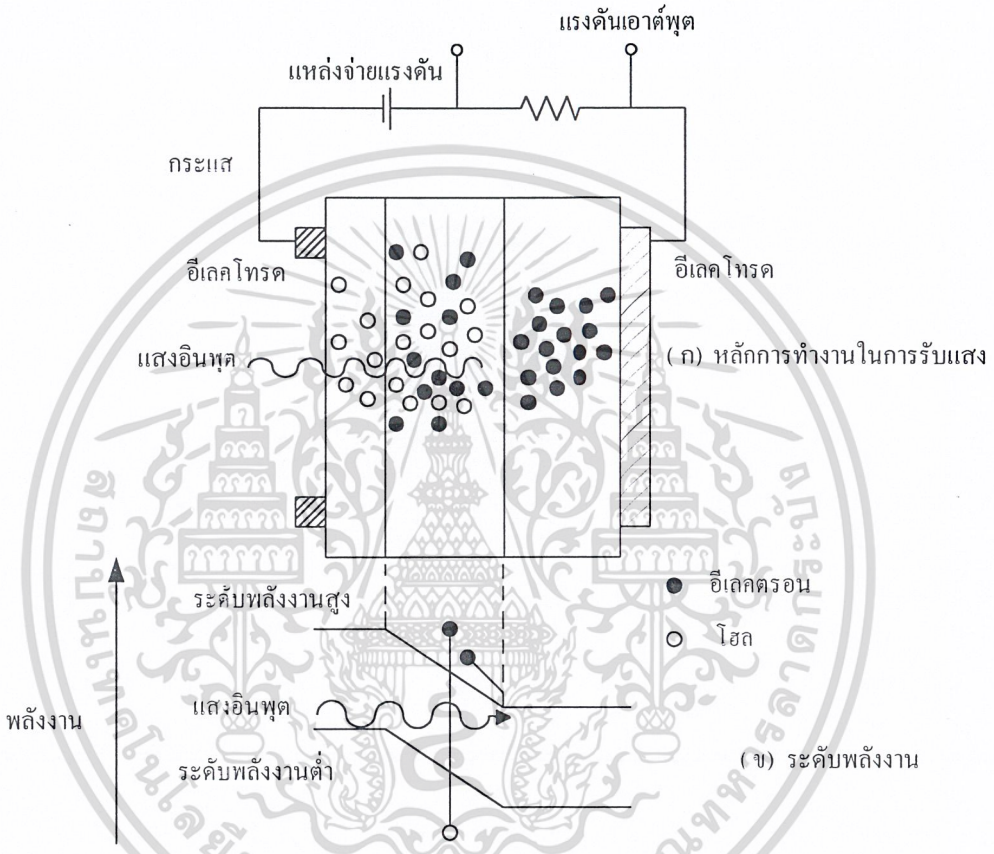
ในหัวข้อที่แล้วได้กล่าวถึงสเปคอีเลคทริคฟิลส์ตรงรอยต่อสารพีเอ็นที่ทำให้อีเลคตรอนและโฮลเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้าม แต่ถ้าให้แรงดันไฟฟ้ากลับทิศทางจากภายนอกกล่าวคือทางด้านพีให้ไฟลบ และทางด้านเอ็นให้ไฟบวกจะทำให้การเคลื่อนที่ของอีเลคตรอน และโฮลตรงรอยต่อที่มีอัตราเร่งเพิ่มขึ้น

อุปกรณ์รับแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำนี้แบ่งออกเป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือโฟโตไดโอด (Photo Diode : PD) กับ อวาลานซ์โฟโตไดโอด (Avalanche Photo Diode : APD) พวกโฟโตไดโอดนั้นเป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณน้อย ส่วนพวกอวาลานซ์โฟโตไดโอด เป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณมาก

ตัวอย่างของโฟโตไดโอด คือ พินโฟโตไดโอด (PIN-Photo Diode) ดังแสดงในรูป 2.42 PIN หมายถึงว่าในระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P – Type) และชนิดเอ็น (N – Type) มีสารกึ่งตัวนำที่เรียกว่าอินทรินสิค (Intrinsic : I) คั่นอยู่ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าดริฟเคอร์เรนส์ (Drift Current) นั้นเกิดขึ้นในดีพลีชั่นโซน และผลของสนามไฟฟ้าทำให้มีการตอบสนองเร็ว แต่ในทางตรงกันข้ามดริฟเคอร์เรนส์ที่เกิดขึ้นภายนอกดีพลีชั่นโซนนั้นมีการตอบสนองช้า ดังนั้นถ้าความกว้างของดีพลีชั่นโซนยิ่งกว้างมากเท่าใดประสิทธิภาพทางควอนตัม (Quantum Efficiency) และความเร็วในการตอบสนองความถี่ยิ่งดีขึ้น ความกว้างของดีพลีชั่นโซนนี้มีความหนาแน่นของอีเลคตรอน และโฮลของสารพีและสารเอ็นยิ่งต่ำจะยิ่งกว้าง ดังนั้นสารกึ่งตัวนำแบบ I ที่คั่นกลางระหว่างสารพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับสารเอ็น จึงมีหน้าที่เพื่อทำให้ความกว้างของดีพลีชั่นโซนกว้างขึ้นนั่นเอง เนื่องจากโฟโตไดโอดที่ใช้ในระบบการสื่อสารนั้นโดยทั่วไปต้องการความเร็วในการตอบสนองสูง ดังนั้นส่วนใหญ่จะใช้พินโฟโตไดโอด

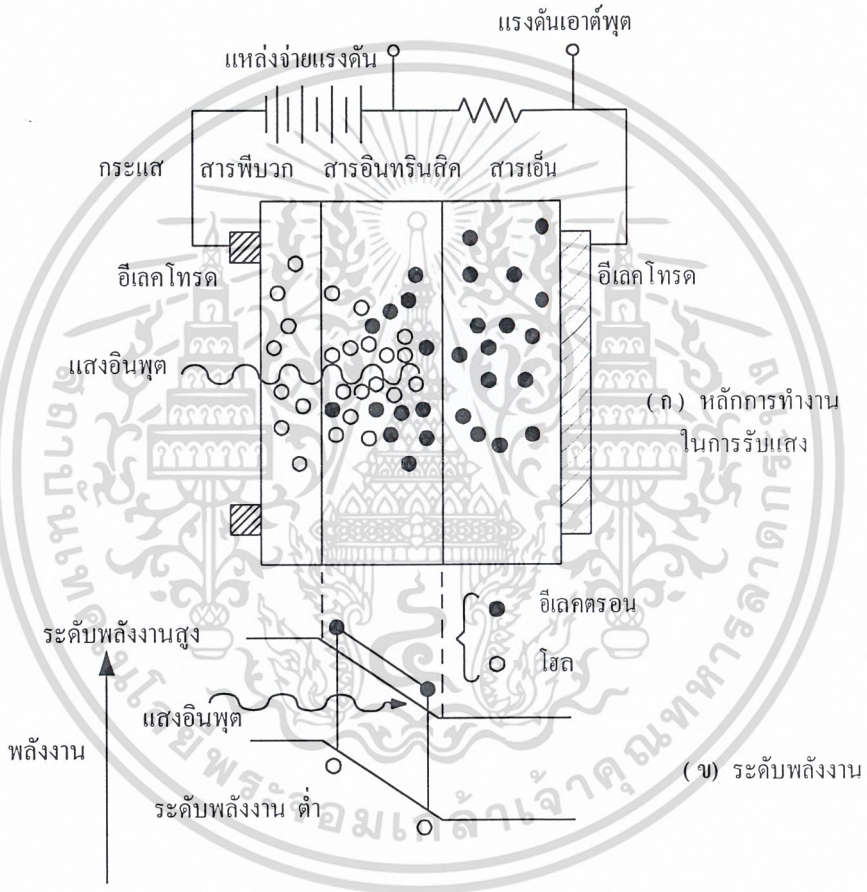


รูปที่ 2.42 หลักการทำงานการรับแสง และระดับพลังงานของพินโฟโตไดโอด

อวาลานซ์โฟโตไดโอดนั้นใช้ปฏิกิริยาการขยาย (Avalanche) ของอีเลคตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำเมื่อเปรียบเทียบกับโฟโตไดโอดแล้วเป็นอุปกรณ์รับแสงที่ให้กระแสจำนวนมาก หลักการทำงานของอวาลานซ์โฟโตไดโอดแสดงดังรูป 2.43 สำหรับโครงสร้างนั้นส่วนใหญ่ทางด้านสารพีของรอยต่อพีเอ็นจะมีสารกึ่งตัวนำแบบสารพีที่มีความหนาแน่นของโฮลสูงติดอยู่ (ส่วนที่แสดงด้วยสารพีบวกในรูป) โดยการทำเช่นนี้จะทำให้สนามไฟฟ้าภายในของบริเวณใกล้ๆ รอยต่อที่มีสารพีเป็นศูนย์กลางมีค่ามาก อีเลคตรอนที่ดูดแสงที่มาตกกระทบทางด้านพีบวก และถูกกระตุ้นจากระดับพลังงานต่ำไปยังระดับพลังงานสูงในระหว่างที่มันได้รับอัตราเร่ง และผ่านสารพีนั้นมันจะได้รับพลังงานจำนวนมากกว่าผลต่างของพลังงานของระดับพลังงานสูงกับระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานต่ำจากเหตุผลนี้ทำให้สามารถกระตุ้นอีเลคตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานต่ำและทำให้เกิดอีเลคตรอนกับโฮลใหม่ได้ และอีเลคตรอนกับโฮลใหม่นี้ยังถูกสนามไฟฟ้าเร่งอัตราเร่งให้อีกทำให้เกิดอีเลคตรอนกับโฮลขึ้นมาใหม่อีก เมื่อขบวนการนี้เกิดอย่างต่อเนื่องกันนั้น จำนวนของอีเลคตรอนกับโฮลจะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากมายเป็นผลให้เกิดการขยายที่เรียกว่า "Avalanche Multiplication" ผลนี้ทำให้เกิดกระแสถูกขยายนั่นเอง



รูป 2.43 หลักการการรับแสง และระดับพลังงานของ อวาลานซ์โฟโตไดโอด

2.6.3 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

การเลือกอุปกรณ์รับแสงมาใช้งานจะต้องพิจารณาคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) มีความไวสูงในช่วงความยาวคลื่นที่ใช้งาน

อุปกรณ์รับแสงในยุคแรกจะตอบสนองการใช้งานกับความยาวคลื่นแสงช่วงวินโดว์ที่ 1 แต่ในปัจจุบันระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงนิยมใช้งานในช่วงวินโดว์ที่ 2 และช่วงวินโดว์ที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นอุปกรณ์รับแสงจะต้องสร้างให้สามารถตอบสนองต่อความยาวคลื่นดังกล่าวได้ดี โดยการเลือกใช้สารที่เหมาะสม

2) ความสามารถสร้างสัญญาณไฟฟ้าจากสัญญาณแสงได้มาก

ความสามารถในการสร้างสัญญาณไฟฟ้าจากสัญญาณแสงจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพทางควอนตัมของสารที่ใช้สร้าง โดยทั่วไปประสิทธิภาพทางควอนตัมจะถูกกำหนดโดยสัมประสิทธิ์การดูดกลืน (Absorption Coefficient ; α_0) ของสารนั้น ค่า α_0 นี้จะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น คือ สารแต่ละชนิดจะมีค่า α_0 ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ไม่เท่ากัน

3) มีความไวสูงในการตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตเพื่อให้เหมาะสมกับแบนด์วิดท์

เนื่องจากในปัจจุบันแบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณโดยใช้เส้นใยนำแสงจะมีค่าตั้งแต่หลายร้อยเมกะเฮิรตซ์ ดังนั้นอุปกรณ์รับแสงจะต้องมีความไวในการตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตสูงเพื่อให้สามารถทำงานได้ทันกับสัญญาณอินพุตที่ได้รับ

4) สัญญาณรบกวนต่ออุปกรณ์แสงจะต้องมีค่าต่ำ

สัญญาณรบกวนที่สำคัญ ได้แก่ สัญญาณรบกวนควอนตัม (Quantum Noise หรือ Shot Noise) เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงกระแสโฟโต โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากแสงที่มาตกกระทบในบางช่วงเป็นแสงที่ไม่มีเฟสเดียวกัน หรือมีหลายความยาวคลื่น ทำให้อีเลคตรอนได้รับพลังงานไม่เท่ากันจึงทำให้จำนวนอีเลคตรอนที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน ดังนั้นปริมาณกระแสโฟโตจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย สัญญาณรบกวนควอนตัมนี้จะแปรผันโดยตรงกับแรงดันไฟฟ้าที่ไบอัสกลับ

5) มีขนาดเล็ก เพื่อให้สามารถนำอุปกรณ์ดังกล่าวมาใช้งานได้สะดวก และเชื่อมต่อกับเส้นใยนำแสงซึ่งมีขนาดเล็กได้ง่าย

6) ใช้แรงดันไบอัสต่ำ เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า

7) มีความเชื่อถือได้สูง อุปกรณ์รับแสงจะต้องสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง และต่อเนื่องเป็นเวลาหลายปี

8) มีราคาต่ำ เนื่องจากในการออกแบบระบบ ปัจจัยทางด้านการเงินมักจะเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการออกแบบด้วย

2.7 หัวต่อ (Connectors)

หัวต่อมีหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างเส้นใยนำแสงสองเส้น หรือระหว่างเส้นใยนำแสงกับแหล่งกำเนิดแสง หรือระหว่างเส้นใยนำแสงกับดีเท็กเตอร์ทำหน้าที่ต่อ หรือปลดสายออกจากกัน ซึ่งส่วนใหญ่ใช้กับสายที่ออกจากเครื่องมือ สายเดินในบอร์ด หรือสายคัพเปลอร์ในระบบ LAN

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีหัวต่อในวงจรจะเกิดการสูญเสียในแต่ละจุดที่ใช้หัวต่อ แต่จำนวนหัวต่อที่ต้องใช้นั้นอย่างน้อยที่สุดก็ต้องมีสองจุด คือที่เครื่องส่ง 1 ตัว และเครื่องรับ 1 ตัว และถ้ามีความจำเป็นถ้าใช้สายเชื่อมต่อหรือเดินในแผง จำนวนหัวต่อก็จะเพิ่มขึ้นอีก ดังนั้นการลดจำนวนหัวต่อให้น้อยที่สุดก็จะช่วยลดการสูญเสียพลังงานของแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ หัวต่อส่วนใหญ่จะมีค่าสูญเสียอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.7 เดซิเบล ทั้งนั้นขึ้นอยู่กับชนิด และขนาดของเส้นใยนำแสงที่ใช้ และวิธีการต่อ

ค่าต่อไปนี้เป็นค่าเฉลี่ยโดยทั่วไปที่ไม่ได้จากการต่อแบบสุ่มจากเส้นใยนำแสงหลายขนาดหลายชนิด และจากผู้ผลิตต่างบริษัท

ค่าการสูญเสียต่างๆ คิดเทียบออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่าการสูญเสียเปรียบเทียบออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์

ค่าการสูญเสีย (dB)	เปอร์เซ็นต์สูญเสีย
0.05	1 %
0.09	2 %
0.23	5 %
0.50	10 %
1.00	20 %

หัวใจในการออกแบบหัวต่อที่จะให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุด คือ

1) ปลอกที่สอดสายเส้นใยนำแสงเข้าไปนั้นต้องมีขนาดพอดีๆ กับขนาดความโตภายนอกของตัวแกนเส้นใยนำแสง

2) ระหว่างหัวต่อสองอันการเยื้องศูนย์จะต้องไม่เกิน 1 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ ของขนาดของแกนเส้นใยนำแสง และเปอร์เซ็นต์ของมุมชนกันของแกนเส้นใยนำแสงจะต้องน้อยกว่าเปอร์เซ็นต์การเยื้องศูนย์ การยึดกันของหัวต่อต้องไม่ฟิตเกินไปจนทำให้หน้าสัมผัสเกิดการสึกหรอหรือมีรอยขีดข่วน

3) หน้าผิวสัมผัสระหว่างหัวต่อจะต้องไม่มีช่องว่าง ซึ่งจะทำให้เกิดแสงสะท้อนกลับ แต่จะป้องกันผิวปลายสายไม่ให้เกิดการขีดข่วนทั้งหมดนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของอุปกรณ์ของแต่ละบริษัทผู้ผลิต ซึ่งต้องนำปัญหาต่างๆ มาคิดด้วยรวมทั้งต้นทุนการผลิต

ในระบบทางไกล โดยทั่วไปแล้วใช้หัวต่อเพียงอันเดียวก็พอ และเหมาะสมกว่าส่วนการเดินสายเคเบิลในอาคารจะใช้หัวต่อที่แตกต่างออกไป คุณภาพและมาตรฐานของหัวต่อที่ใช้ในอาคารมักจะนิยมชนิดเอสที (ST) และชนิดเอสซี (SC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 ชนิดของหัวต่อ

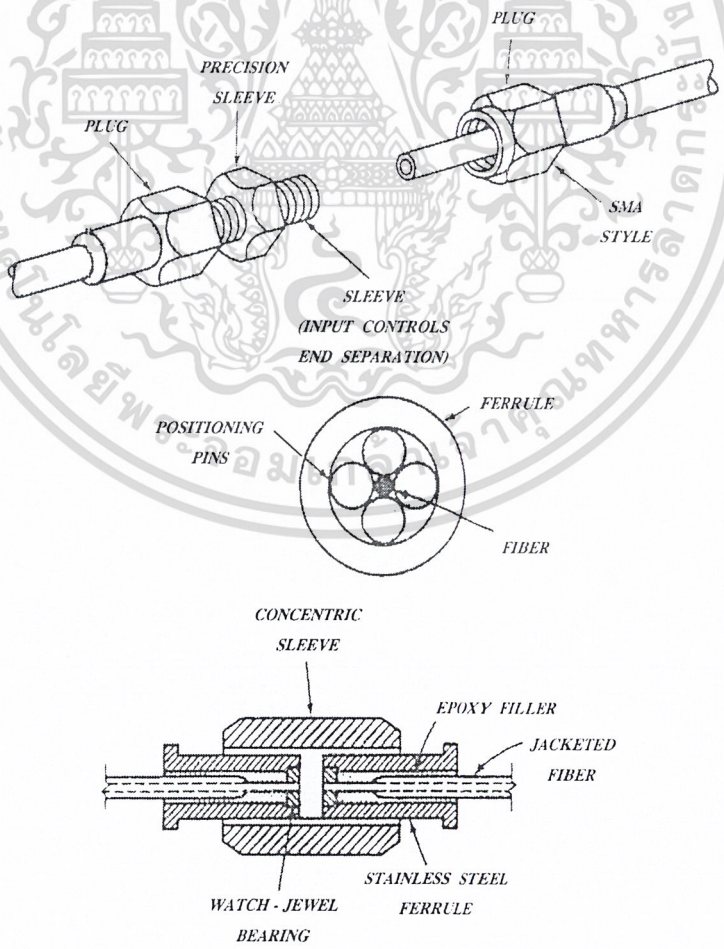
1) หัวต่อชนิดยืดหยุ่นได้

หัวต่อชนิดนี้เป็นหัวต่อที่ทำด้วยพลาสติกใช้ได้ทั้งแบบมัลติโหมด และซิงเกิลโหมด หัวที่ชนกันทำเป็นลักษณะปลายเรียวซึ่งเป็นของบริษัทแอมป์ (Amp) ตัวหัวต่อจริงๆ ทำด้วยพลาสติกที่ยืดหยุ่นได้ แต่ปลอกที่สวมหุ้มหัวนั้นทำด้วยโลหะเพื่อรับแรง ปลายสานที่ชนกันนั้นจะอยู่ในปลอกหุ้ม ซึ่งประกอบด้วยหัวแกนเอียง (Taper) โดยใช้เกลียวยึดกัน

2) หัวต่อชนิดเอสเอ็มเอ (SMA)

หัวต่อชนิดนี้เป็นที่นิยมมาก หัวต่อเป็นน๊อตหกเหลี่ยม และนิยมใช้กับสายเคเบิลแบบมัลติโหมด การออกแบบและประกอบหัวต่อชนิดนี้ทำได้ง่ายกว่าชนิดอื่นๆ

การออกแบบหัวต่อชนิดเอสเอ็มเอ ขึ้นอยู่กับความเที่ยงตรงของปลอกที่บังคับหน้าสัมผัส และวิธีการออกแบบนี้ ก็ขึ้นอยู่กับเทคนิคผู้ผลิตแต่ละบริษัท



รูปที่ 2.44 หัวต่อชนิดเอสเอ็มเอ

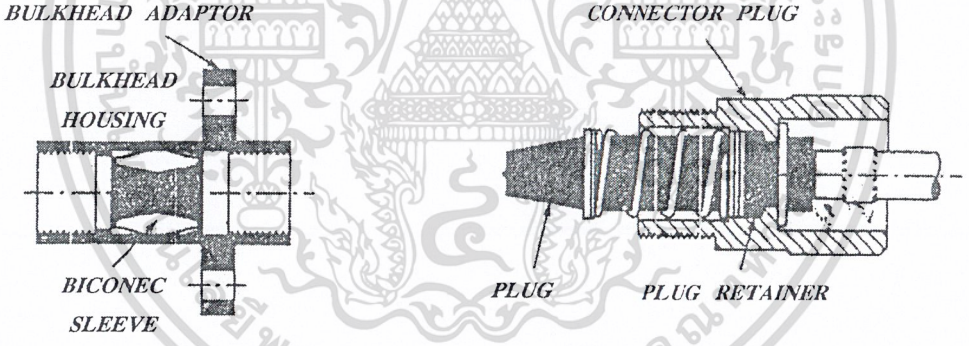
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) หัวต่อชนิดไบคอนิค (Biconic Connector)

หัวต่อแบบไบคอนิคเป็นตัวต่ออีกแบบหนึ่งที่นิยมใช้มากกับสายเคเบิลทั้งแบบซิงเกิลโหมด และมัลติโหมด หัวต่อเป็นพลาสติกหล่อแข็ง และกลึงเป็นลักษณะคล้ายรูปกรวย โดยมีปลอกโลหะเป็นตัวบังคับให้แกนปลายเส้นใยนำแสงอยู่ในแนวแกนที่ชนกันพอดี

หัวต่อชนิดนี้มีหัวเสียบที่มีรูปคล้ายกรวย และเจาะรูตรงกลางเพื่อให้เส้นใยนำแสงแบบมัลติโหมด หรือซิงเกิลโหมดผ่านทั้งหัวเสียบ และรูเสียบ จะยึดติดกันพอดีเมื่อเวลาประกอบกันเข้า และปลายสายจะต้องขัดให้ดีเพื่อให้ได้หน้าสัมผัสที่สุด ไม่ให้พลังงานแสงเกิดการสูญเสียหัวต่อ ชนิดนี้บริษัทเบลล์แลบ (Bell Laboratory) เป็นผู้ผลิต

หัวต่อชนิดนี้มีขายสำหรับใช้กับเส้นใยนำแสงเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกขนาด 125, 140, 250 และ 400 ไมโครเมตร และมีค่าอินเซอร์ชั่นลอส (Insertion Loss) ของทั้งซิงเกิลโหมดและมัลติโหมด อยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 1.1 เดซิเบล ขึ้นอยู่กับลักษณะการต่อเส้นใยนำแสง การสูญเสียอันเนื่องมาจากการสะท้อนของแสงที่หน้าสัมผัสในหัวต่อมีค่าต่ำกว่า 32 เดซิเบล



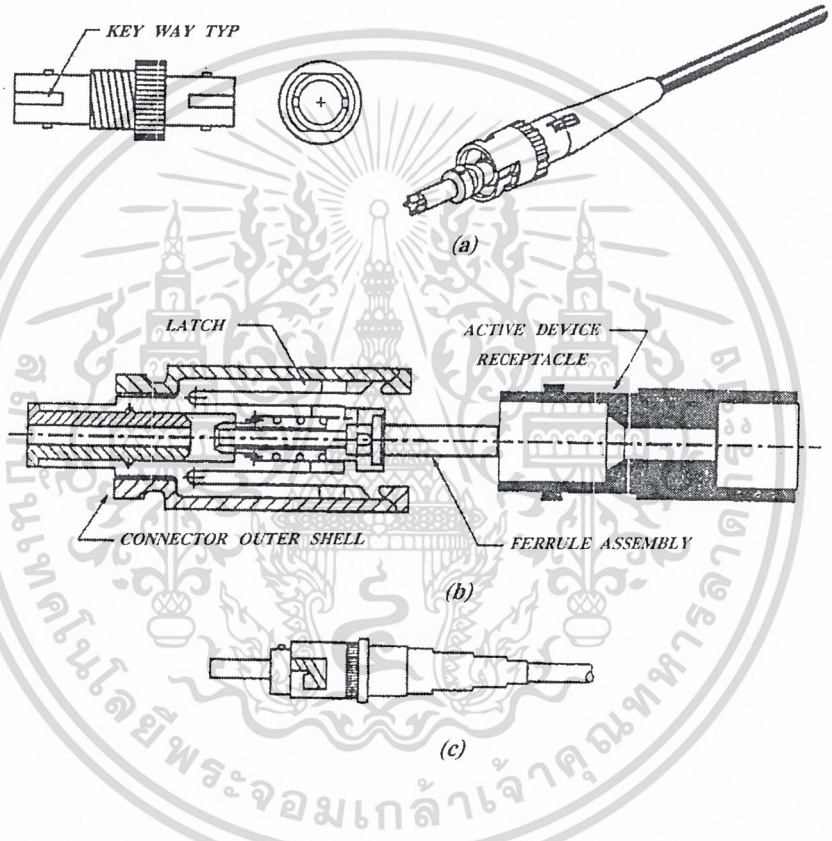
รูปที่ 2.45 หัวต่อชนิดไบโคนิค

4) หัวต่อแบบเอสที (ST Connector)

หัวต่อแบบเอสทีเป็นเครื่องหมายการค้าของบริษัทเอทีแอนด์ที (AT&T) รูป 2.46 เป็นแบบที่บริษัทโทมัสแอนด์แบตต์ (Thomas&Betts) เป็นผู้ออกแบบหัวต่อในส่วนที่ยึดติดกันก็โดยการใช้แรงดันเข้าแล้วหมุน เมื่อเร็วๆ นี้บริษัทสามเอ็ม (3M) ได้พัฒนาหัวต่อแบบพุช-พูล ขึ้นมาใหม่ การที่หัวต่อจะชนกันได้สนิทที่สุดก็อยู่ที่ปลอกยึด และการผลิตที่ละเอียดอ่อนแม่นยำเที่ยงตรง การที่จะได้รูเจาะที่เที่ยงตรงและแม่นยำนั้นบริษัทได้พยายามนำวัสดุหลายชนิดมาทดลองทำ เช่น เซอร์โคเนีย เซรามิค อลูมินาเซรามิก รูแก้วในเซรามิค รูแก้วในพลาสติกรวมทั้งสเตนเลส ARCAP และวัสดุที่เป็นคอปเปอร์เบส ในกรณีของบริษัทสามเอ็มเขาใช้ปลอกเซอร์โคเนียเซรามิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และแต่งปลายสัมผัสให้ได้หน้าสัมผัสออฟติกที่มีการลดการหักเหของแสงได้ต่ำสุด พลาสติกที่ใช้ทำหัวต่อจะเป็นเทอร์โมพลาสติก ปลอกโลหะที่ใช้จะมีขนาดของรูเจาะตั้งแต่ 1 ไมโครเมตร และมีขนาดต่างกันตามความโตของเส้นใยนำแสง บริษัทสามเอ็มยังได้ประดิษฐ์หัวต่อแบบละลายด้วยความร้อน เพื่อใช้สำหรับต่อสายมัลติโหมดโดยใช้ปลอกเซอร์โคเนีย และมีกาวร้อนเป็นตัวติด เมื่อกาวเย็นลงก็จะยึดติดแน่นเสร็จแล้วค่อยขัดปลายเส้นใยนำแสง



รูปที่ 2.46 หัวต่อชนิดเอสที

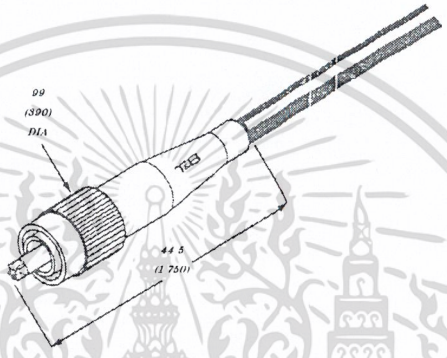
หัวต่อชนิดเอสที ค่าสูญเสียในซิงเกิลโหมดประมาณ 0.15 ถึง 0.25 เดซิเบล และค่าลดทอนอยู่ระหว่าง 0.4 ถึง 0.7 เดซิเบล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต สำหรับมัลติโหมดก็มีค่าลดทอนอยู่ระหว่าง 0.05 ถึง 0.15 เดซิเบล และสูงสุดอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.3 เดซิเบล

ปัจจุบันหัวต่อชนิดเอสทีเป็นหัวต่อที่มีผู้นิยมใช้มากขึ้นทั้งนี้เพราะเป็นหัวต่อที่มีขนาดเล็กแต่ก็ไม่ค่อยกระทัดรัดเท่ากับชนิดเอสซี ปัจจุบันได้ดัดแปลงปรับปรุงให้เป็นแบบถอดเข้าออกได้จึงทำให้ชนิดเอสซีรับความนิยมมากขึ้น หัวต่ออาจประกอบมาจากโรงงานหรือประกอบในจุดที่งานสนามกำลังทำอยู่ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) หัวต่อชนิดเอฟซี (FC Connector)

หัวต่อแบบนี้ออกแบบเป็นปลอกเหล็กอยู่ในปลอกหุ้มอีกชั้นหนึ่ง ชุดแกนของหัวต่อมีเกลียวหมุนเข้ากับตัวเรือนหุ้ม ดังรูป 2.47 การออกแบบทำเป็นพิเศษ คือตัวเสียบนั้นมีลิ่ม และตัวรับมีร่องเมื่อเสียบเข้ากันแล้ว หน้าสัมผัสของเส้นใยนำแสงทั้งสองข้างไม่เกิดการหมุน หรือขยับเขยื้อน ซึ่งอาจทำให้หน้าสัมผัสของเส้นใยนำแสงเกิดรอยขีดข่วนได้

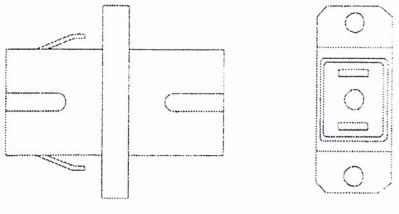


รูปที่ 2.47 หัวต่อชนิดเอฟซี

หัวต่อชนิดนี้เมื่อใช้กับซิงเกิลโหมดจะเกิดการสูญเสียอยู่ระหว่าง 0.4 ถึง 0.7 เดซิเบล หรือสูงสุดอยู่ระหว่าง 0.8 ถึง 1.0 เดซิเบลขึ้นอยู่กับคุณภาพของสินค้าผู้ผลิต

6) หัวต่อชนิดเอสซี (SC Connector)

หัวต่อชนิดนี้เป็นการออกแบบของเอ็นทีทีเพื่อให้ได้งานหลายอัน ดังรูปที่ 2.48 ข้อดีของหัวต่อชนิดนี้ คือหัวต่อชนิดนี้มีรูสอดเส้นใยนำแสงแสนั้นมีขนาดพอดีกับความโตของเส้นใยนำแสง และมีวิธีการผลิตที่ละเอียดอ่อนเที่ยงตรง



รูปที่ 2.48 หัวต่อชนิดเอสซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดทอนสัญญาณในเส้นใยนำแสงแบบซิงเกิลโมดมีค่าประมาณ 0.25 เดซิเบล และอาจมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.6 เดซิเบล ขณะที่เอาหัวต่อเสียบต่อกัน

หัวต่อแบบเอสซีเป็นของใหม่เพิ่งนำออกมาวางตลาดในอเมริกามีใช้ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ของที่ติดตั้งทั้งหมด แต่ขณะนี้ได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากใช้ง่ายเป็นแบบถอดเข้าออกได้ และในขณะที่เอาหัวต่อกันก็ไม่ต้องหมุนหรือบิด แต่ใช้เสียบต่อตรงๆ นอกจากนี้หัวต่อยังเป็นชนิดปรับแกนเส้นใยนำแสงได้ด้วย

7) หัวต่อชนิดเอฟดีดีไอ (FDDI Connector)

หัวต่อแบบเอฟดีดีไอบางทีเรียกว่า "Media Interface Connector (MIC)" ออกแบบเพื่อวัตถุประสงค์อันแรก คือ เชื่อมต่อระบบส่งเส้นใยนำแสงจากสายส่งเส้นใยนำแสงชุดแรกไปยังชุดที่สอง หรือส่งสัญญาณจากเส้นใยนำแสงผ่านหัวต่อเอฟดีดีไอแล้วแยกไปยังอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องรับ เครื่องส่ง หรือ สวิตช์บายพาส (Bypass Switch) ตัวปลั๊กเสียบมีปุ่มล็อกเพื่อล็อกกับตัวรับอีกทีหนึ่ง หัวต่อชนิดนี้มีปลอกโลหะสำหรับยึดสายจำนวนสองปลอก เพื่อใช้งานกับเคเบิลแบบดูเพล็กซ์ (Duplex Cable) ตัวปลอกมีสภาพเป็นประเภทยืดหด หรือปรับตัวได้ขณะที่เสียบต่อกัน

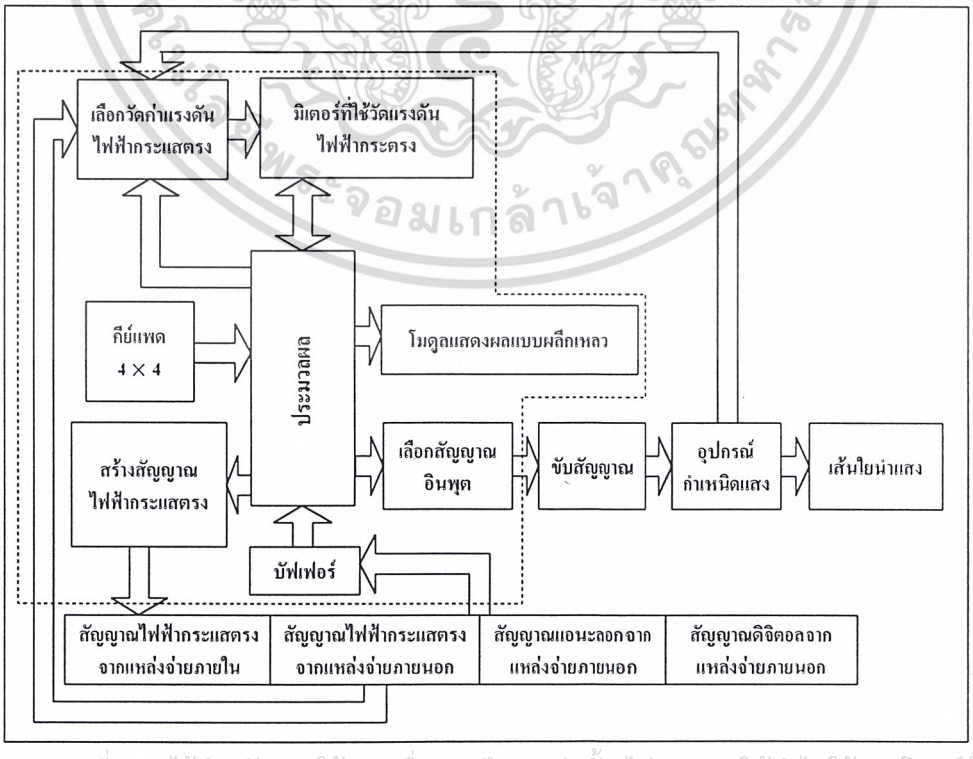
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

3.1 กล่าวนำ

ชุดทดลองระบบรับ-ส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสง เป็นชุดทดลองที่ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลที่เป็นสัญญาณต่างๆ ได้แก่ สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง (DC Signal) สัญญาณแอนะลอก (Analog Signal) และสัญญาณดิจิตอล (Digital Signal) โดยโครงสร้างของชุดฝึกจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ เครื่องส่งสัญญาณทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสง เครื่องรับสัญญาณทำหน้าที่แปลงสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า และส่วนสุดท้ายจะเป็นตัวกลางในการส่งผ่านสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ นั่นก็คือเส้นใยนำแสง นอกจากที่กล่าวมาแล้วยังมีเครื่องมือที่ช่วยในการทดลองใบงานเรื่องการเดินทางของแสงในตัวกลาง การโค้งงอของเส้นใยนำแสง และเรื่องของแรงที่กดทับเส้นใยนำแสง

3.2 การออกแบบระบบฮาร์ดแวร์ของเครื่องส่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของเครื่องส่ง

จากรูปที่ 3.1 เห็นได้ว่าเครื่องส่งสัญญาณนั้น แบ่งการทำงานออกเป็นภาคต่างๆ ได้ดังนี้

3.2.1 ภาคควบคุมการทำงานของเครื่องส่ง

คือส่วนที่อยู่ภายในเส้นประ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1) โมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว ทำหน้าที่รับข้อมูลจากส่วนประมวลผล เพื่อทำการแสดงผล โดยอุปกรณ์ที่ใช้ คือ โมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว (Dot Matrix LCD Module) รุ่น DMC161C แสดงผลเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ ขนาด 1 บรรทัด จำนวน 16 ตัวอักษร

2) สวิตช์แบบเมตริกซ์ ทำหน้าที่ในการเขียนค่าหรือส่งค่าไปยังส่วนประมวลผล โดยอุปกรณ์ที่ใช้คือ สวิตช์แบบเมตริกซ์ หรือคีย์แพด (Matrix Switch Or Keypad) ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อสวิตช์แบบกดติดปล่อยดับ ในลักษณะเมตริกซ์ ที่มีขนาด 4×4 โดยสวิตช์จะถูกต่อในแนวแกนตั้งจำนวน 4 ตัว และต่อในแนวแกนนอนจำนวน 4 ตัว

3) สร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง ทำหน้าที่สร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งค่าแรงดันที่ได้จะถูกควบคุมโดยส่วนประมวลผล ที่ใช้หลักการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณแอนะลอก โดยอุปกรณ์ที่ใช้คือ ไอซีเบอร์ DAC0808 เป็น D/A ขนาด 8 บิต ซึ่งมีความละเอียดเท่ากับ 2^8 หรือ 256 ระดับ ใช้แหล่งจ่ายไฟ $\pm$ 5 โวลต์

4) มิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ภาคนี้จะทำหน้าที่ในการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ที่มีค่าไม่เกิน 20 โวลต์ และส่งไปยัง CPU เพื่อส่งต่อไปยังภาคที่ทำหน้าที่แสดงผล โดยอุปกรณ์ที่ใช้คือ ไอซีเบอร์ ICL7135 ที่ทำหน้าที่ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และแสดงผลออกมาเป็นตัวเลข (Digital Volt Meter) ที่มีขนาดสี่หลักครึ่งในการแสดงผล สามารถรับแรงดันอินพุตได้สูงสุด 1.9999 โวลต์ ใช้แหล่งจ่ายไฟ $\pm$ 5 โวลต์

5) เลือกวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ทำหน้าที่เลือกวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง แรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสง (Light Source) หรือค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายภายนอก พร้อมทั้งลดทอนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในอัตราส่วน 10 : 1 จากนั้นทำการส่งค่าแรงดันไปให้ส่วนมิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

6) เลือกสัญญาณอินพุต ทำหน้าที่เลือกสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้แก่ภาคขับสัญญาณ ซึ่งการเลือกสัญญาณอินพุตจะถูกควบคุมโดยส่วนประมวลผล อุปกรณ์ที่ใช้เป็นสวิตช์ในการเลือกสัญญาณอินพุต คือ รีเลย์โดยสามารถเลือกสัญญาณต่างๆ ดังนี้

6.1) สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงจากส่วนสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง

6.2) สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายภายนอก

6.3) สัญญาณแอนะลอกจากแหล่งจ่ายภายนอก

6.4) สัญญาณดิจิตอลจะเป็นสัญญาณ TTL จากแหล่งจ่ายภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) บัฟเฟอร์ ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้สัญญาณที่นำไปป้อนให้แก่ส่วนขับสัญญาณเกิดการกลับเฟส หรือมีระดับแรงดันลดลงจากเดิม

8) ประมวลผล ทำหน้าที่ในการควบคุมระบบการทำงานของส่วนต่างๆ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในภาคนี้ คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS- 51 เบอร์ 89C51 โดยทำการประมวลผลสัญญาณจากส่วนต่างๆ ดังนี้

8.1) รับค่าจากส่วนมิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อประมวลผล และส่งค่าที่ประมวลผลได้ไปยังส่วนโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว

8.2) รับค่าจากสวิตช์เมตริกซ์เพื่อประมวลผลว่าต้องการติดต่อกับภาคใด

8.3) ส่งค่าที่เป็นรหัสดิจิตอล ไปยังส่วนสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเอาต์พุตที่จากส่วนสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง จะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง นอกจากนี้จะประมวลค่าที่เป็นรหัสดิจิตอล เพื่อส่งไปส่วนของโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว โดยแสดงผลในรูปของกระแส

8.4) ส่งค่าที่ต้องการแสดงผลไปยังส่วนโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว

8.5) ส่งค่าที่ใช้ในการเลือกสัญญาณอินพุตให้แก่ภาคขับสัญญาณ ไปยังส่วนเลือกสัญญาณอินพุต

8.6) ส่งค่าที่ใช้ในการเลือกวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสง หรือค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายภายนอก ไปยังส่วนมิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

3.2.2 ภาคขับสัญญาณ

ภาคนี้ทำหน้าที่ขับสัญญาณอินพุตที่เข้ามาไม่ว่าจะเป็นสัญญาณแอนะลอก หรือสัญญาณดิจิตอล ให้แก่ อุปกรณ์กำเนิดแสง พร้อมทั้งควบคุมกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสง ให้อยู่ในช่วง 0-55 มิลลิแอมป์ เพื่อป้องกันการเสียหายของอุปกรณ์กำเนิดแสง โดยอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในภาคนี้ คือ ไอซี ออปแอมป์ เบอร์ LF351 ที่อัตราขยายเท่ากับ 1 มีแบนวิดท์กว้างเท่ากับ 4 เมกกะเฮิรตซ์ แสดงว่าเมื่อจัดอัตราขยายมากขึ้น จะทำให้ความกว้างของแบนด์วิดท์ลดลง ตามไปด้วย

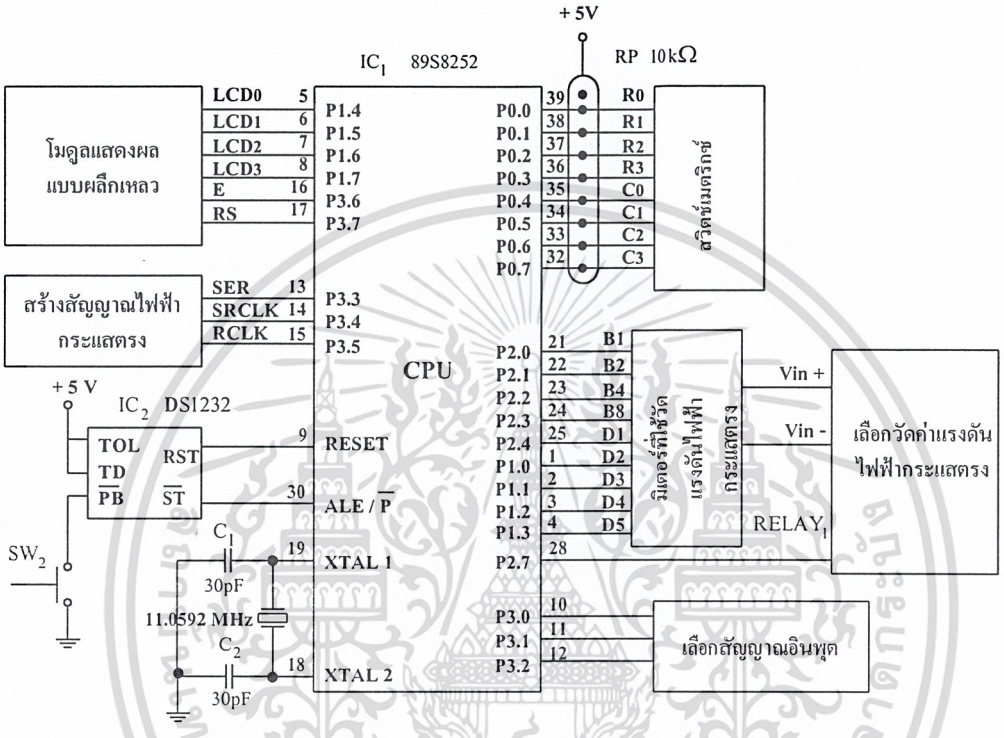
3.2.3 อุปกรณ์กำเนิดแสง

ภาคนี้ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสง โดยใช้ LEDs ที่กำเนิดแสงในช่วงความยาวคลื่น 1.7 – 0.8 ไมโครเมตร เบอร์ IF-E91D มีระยะทางในการส่งข้อมูลสูงสุด 10 เมตร มีอัตราในการส่งข้อมูลสูงสุด 100 เมกกะบิตต่อวินาที ใช้กับเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่มีขนาดของคอร์เท่ากับ 1000 ไมโครเมตร โดยอุปกรณ์กำเนิดแสงเบอร์นี้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในการส่งข้อมูลแอนะลอก และดิจิตอล ในระยะทางสั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบวงจรที่ใช้ในเครื่องส่ง

3.3.1 วงจรส่วนประมวลผล

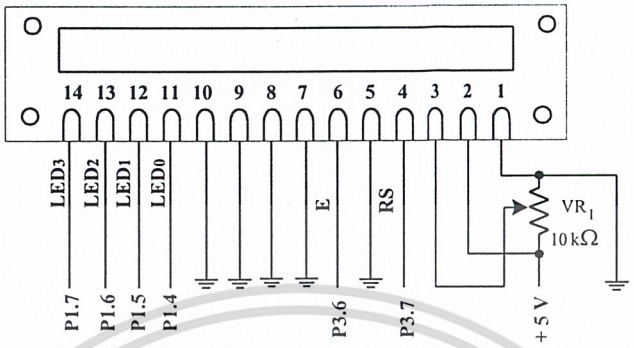


รูปที่ 3.2 วงจรส่วนประมวลผล

จากรูปที่ 3.2 เป็นวงจรภาคประมวลผล ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 เบอร์ 89C51 ที่สามารถควบคุมการทำงานของอุปกรณ์อินพุต (สวิตช์เมตริกซ์ และมิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง) และอุปกรณ์เอาต์พุต (โมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว มิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง วงจร Power On Reset และวงจรเลือกสัญญาณอินพุต) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และใช้ไอซีเบอร์ DS1232 ทำหน้าที่เป็นวงจร Power On Reset ซึ่งทำหน้าที่ในการรีเซตเครื่องส่งเพื่อเข้า สู่การทำงานขั้นเริ่มต้นของเครื่องส่ง และใช้คริสตอลมีความถี่เท่ากับ 11.0539 เมกกะเฮิรตซ์ เพื่อเป็นสัญญาณนาฬิกาให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยพอร์ตที่ต่อใช้งานเพื่อควบคุมส่วนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.2 ซึ่งข้อดีของ ไอซีเบอร์ DS1232 คือสามารถสร้างสัญญาณในการรีเซตที่แน่นอนให้กับ CPU ทำให้เหมาะกับการใช้สร้างเป็นวงจรภาคประมวลผล

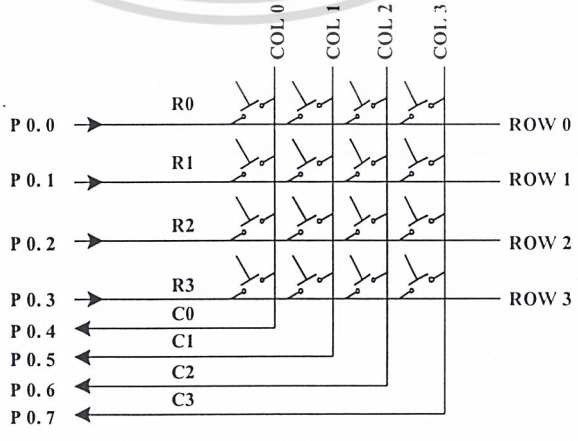
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 วงจรส่วนโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว



รูปที่ 3.3 วงจรส่วนโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว

จากรูปที่ 3.3 เป็นวงจรที่ใช้โมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลวขนาด 1 บรรทัด 16 ตัวอักษร มีวงจรควบคุมการแสดงผลอยู่ภายในทำให้สะดวกในการเขียนโปรแกรมใช้งาน ซึ่งสาเหตุที่ใช้โมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลวก็เพราะต้องการแสดงผลเป็นตัวอักษรจึงเลือกใช้อุปกรณ์นี้ โดยโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลวจะจัดการส่งข้อมูลแบบ 4 บิต การรับค่าจากส่วนประมวลผล จะเป็นการต่อขาที่ 11 ถึงขาที่ 14 เข้ากับ P1.4 ถึง P1.7 ขา E (ขาที่ 6) จะต่ออยู่กับ P3.6 เป็นขาที่ใช้รับสัญญาณพัลส์ เอ็นเอเบิลโมดูล LCD ให้ทำงาน และขา RS (ขาที่ 4) จะต่ออยู่กับ P3.7 เป็นขาอินพุตใช้ในการแยกชนิดของข้อมูลที่ทำการประมวลผลในขณะนั้นว่าเป็นคำสั่งสำหรับรีจีสเตอร์ IR หรือเป็นข้อมูลสำหรับรีจีสเตอร์ DR โดยถ้าขานี้เป็น “0” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่ง แต่ถ้าขานี้เป็น “1” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลสำหรับแสดงผล โดยที่ VR_1 ทำหน้าที่ปรับความเข้มของตัวอักษรบนจอโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว



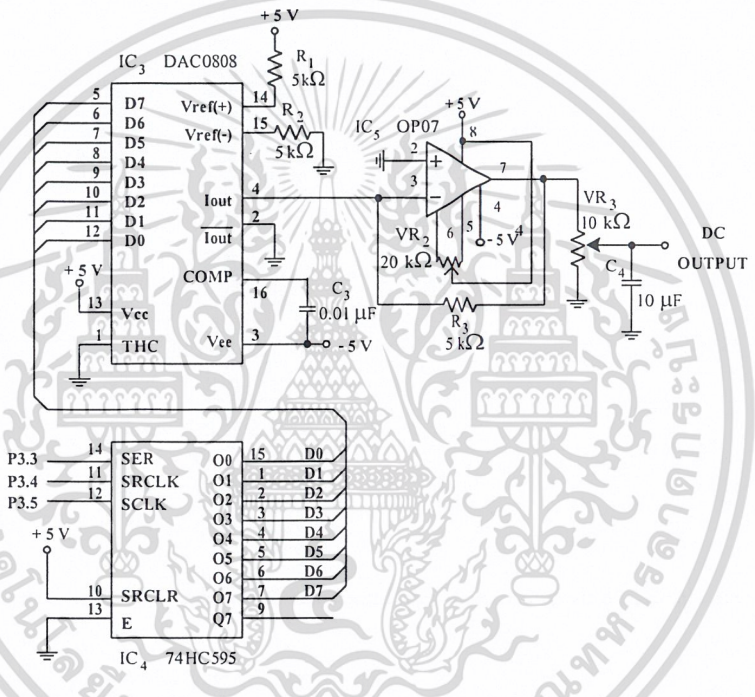
รูปที่ 3.4 วงจรสวิตช์เมตริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 วงจรสวิตช์เมตริกซ์

ในรูปที่ 3.4 เป็นวงจรสวิตช์เมตริกซ์ ทำหน้าที่ส่งค่า หรือเขียนค่าให้แก่ส่วนประมวลผลที่มีการต่อวงจรโดยใช้สวิตช์แบบกดติด ปล่อยดับ ที่ต่อกันแบบเมตริกซ์ มีขนาด 4 ×4 สาเหตุที่ใช้วงจรสวิตช์เมตริกซ์ ก็เพราะทำให้ประหยัดจำนวนบิตที่ใช้งานของ CPU

3.3.4 วงจรสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 3.5 วงจรสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง

เนื่องจากต้องการสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าแรงดันที่แน่นอนในการขับแอลอีดีให้มีกระแสไหลผ่านที่แน่นอนจึงใช้วงจรสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ 3.5 จะใช้หลักการของการเปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยวงจรจะประกอบด้วย ไอซีเบอร์ DAC0808 ซึ่งจะทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนาลอก เป็นไอซีขนาด 8 บิต โดยที่ส่วนประมวลผล จะส่งค่าแรงดันที่ได้จากการประมวลผลจากภาคสวิตช์ แบบเมตริกซ์ ที่เป็นรหัส BCD 8421 และส่วนประมวลผลจะทำการส่งสัญญาณผ่านไอซีเบอร์ 74HC595 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรรับข้อมูลอนุกรม และส่งออกเป็นข้อมูลขนาน ไปยังไอซีเบอร์ DAC0808 จากนั้นDAC0808 จะส่งค่ากระแสไปยังไอซีออปแอมป์ เบอร์ OP07 เพื่อให้ OP07 ทำ

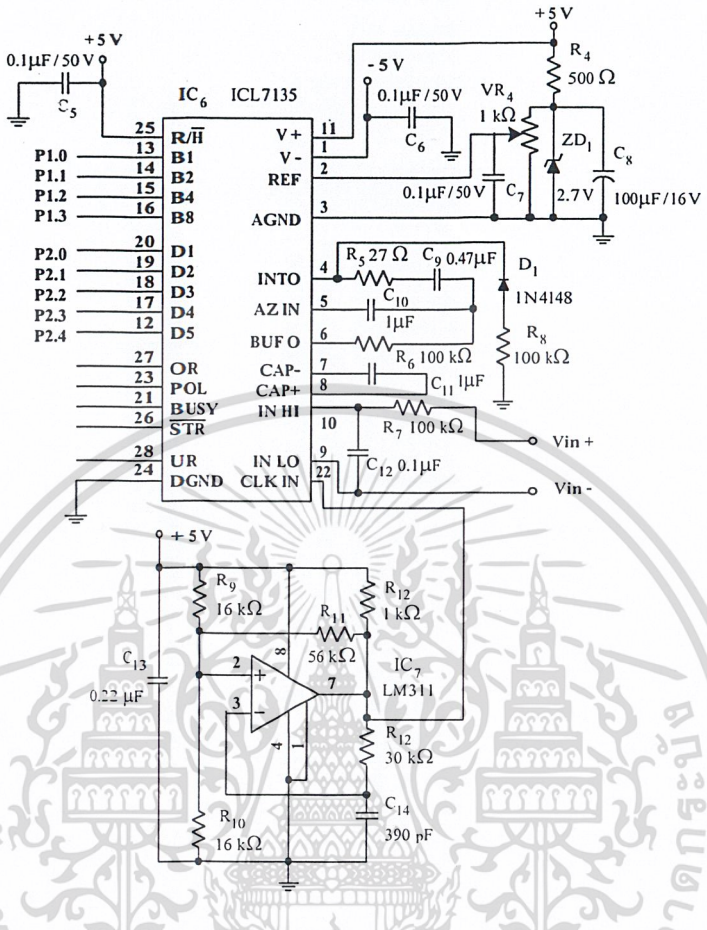
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขยายในอัตราขยายเท่ากับ 1 เท่า โดยเอาต์พุตของวงจรออปแอมป์จะทำให้ได้ค่าแรงดันออกมา และนำแรงดันที่ได้ออกมาส่งต่อไปยังส่วนเลือกสัญญาณอินพุต การต่อวงจรระหว่างส่วนประมวลผล และ DAC0808 จะต่อผ่านไอซีเบอร์ 74HC595 จะใช้ขาสัญญาณเพียง 3 เส้น คือ P3.3 ต่ออยู่กับ Serial Data Input (ขาที่ 14) เป็นค่าที่มีการส่งข้อมูลเป็นแบบอนุกรม, P3.4 ต่ออยู่กับ Shift Register Clock Input (ขาที่ 11) เป็นการเลื่อนข้อมูลอนุกรม และ P3.5 ต่ออยู่กับ Storage Register Clock Input (ขาที่ 12) เป็นขาที่ใช้ส่งค่าไปยังเอาต์พุต นอกจากนี้ VR_2 ทำหน้าที่ปรับแรงดันออฟเซต (Off Set) ของออปแอมป์เบอร์ OP07 เพื่อให้ค่าแรงดันที่เอาต์พุตของออปแอมป์มีค่าเท่ากับ 0 โวลต์ ขณะที่ ส่วนประมวลผลส่งค่าแรงดัน 0 โวลต์ ไปยังภาคสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง และ VR_3 ทำหน้าที่ปรับแรงดันที่ป้อนให้แก่ภาคขับสัญญาณ เพื่อจำกัดกระแสที่ไหลผ่านตัวกำเนิดแสง ไม่ให้เกิน 55 มิลลิแอมป์

3.3.5 วงจรมิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ 3.6 เป็นวงจรมิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จัดทำขึ้นเพราะต้องการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ตกคร่อมแอลอีดีหรือแรงดันจากแหล่งจ่ายภายนอก โดยการวัดจะต้องใช้ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ เพื่อสะดวกในการใช้งาน ทำให้ไม่ต้องหามิเตอร์มาใช้ ซึ่งข้อดี คือ สามารถวัดค่าแรงดันได้ละเอียด ประกอบด้วยไอซีเบอร์ ICL7135 ซึ่งเป็นไอซีที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแอนะลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล (รหัส BCD 8421) มีขนาดสี่หลักครึ่งหลัก โดยจะส่งข้อมูล BCD 8421 แบบมัลติเพล็กซ์ไปยังส่วนประมวลผล นอกจากนี้ไอซีเบอร์ LM311 จะถูกจัดให้เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาป้อนให้แก่ ไอซีเบอร์ ICL7135 โดยสัญญาณนาฬิกามีค่าประมาณ 120 กิโลเฮิรตซ์ การติดต่อกับส่วนประมวลผลจะทำผ่าน P1.0-P1.3 เป็นข้อมูลแต่ละหลักของไอซีเบอร์ ICL7135 ซึ่งสามารถตรวจสอบหลักได้จาก P2.0-2.4 เช่น สมมติว่า P2.0 เป็น “1” จะได้ข้อมูลหลักสุดท้าย และในการอ่านค่าแรงดันจะอ่านเป็นรหัส BCD 8421 เช่น ถ้าสมมติว่ารหัส BCD 8421 เท่ากับ 0001 ค่าแรงดันจะได้เท่ากับ 0.0001 โวลต์ เป็นต้น โดย P2.4 ซึ่งเป็นหลักที่ 1 จะรับข้อมูลได้เพียง “0” กับ “1” เท่านั้น นอกจากนี้ VR_4 ทำหน้าที่เป็นตัวปรับแรงดันอ้างอิงในวงจรนี้ปรับค่า แรงดันไว้ที่ 1 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

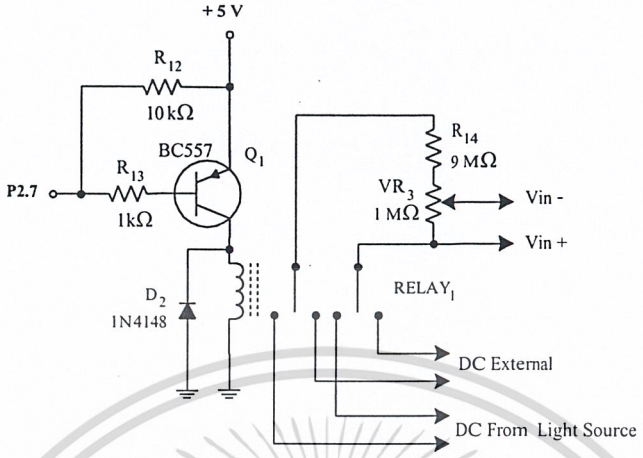


รูปที่ 3.6 วงจรมิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

3.3.6 วงจรเลือกวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ 3.7 เป็นวงจรที่ใช้เลือกวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสง หรือวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายภายนอก ซึ่งจะใช้รีเลย์ในการเลือก โดยจะรับคำสั่งจากส่วนประมวลผลผ่าน P2.7 และจะมีวงจรแบ่งแรงดันทำหน้าที่ลดทอนแรงดันในอัตราส่วน 10 : 1 โดยที่ VR_5 ทำหน้าที่ปรับให้อัตราส่วนในการลดทอนมีค่าใกล้เคียง 10 : 1 มากที่สุด สาเหตุที่ใช้เนื่องจากต้องการวัดแรงดันตกคร่อมแอลอีดี และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายภายนอก เพื่อประหยัดวงจรดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ จึงสร้างวงจรเลือกวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

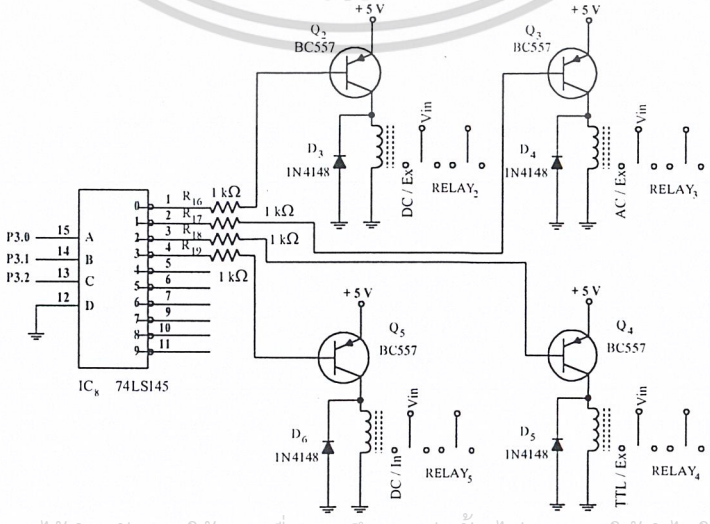
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 วงจรเลือกวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

3.3.7 วงจรเลือกสัญญาณอินพุต

จากรูปที่ 3.8 เป็นวงจรที่ใช้เลือกสัญญาณอินพุต โดยใช้ไอซีเบอร์ 74LS145 ในการเลือกโดยจะรับค่าจากส่วนประมวลผล และทำการถอดรหัสออกเป็นเลขฐานสิบ เพื่อนำไปขับวงจรรีเลย์ จะทำให้ได้สัญญาณอินพุตที่ต้องการเพื่อนำไปป้อนให้แก่ภาคขับสัญญาณ ซึ่งการเชื่อมต่อของวงจรเลือกสัญญาณอินพุตกับส่วนประมวลผลกระทำผ่าน P3.0-P3.2 โดยวงจรเลือกสัญญาณอินพุตจะรับค่าจากส่วนประมวลผลเป็นรหัส BCD สาเหตุที่ใช้เนื่องจากสัญญาณอินพุตที่เข้ามามีหลายชนิด แต่ภาคขับสัญญาณมีเพียงชุดเดียวจึงได้ออกแบบวงจรเลือกสัญญาณอินพุต เพื่อเลือกสัญญาณอินพุตให้แก่ภาคขับสัญญาณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 วงจรเลือกสัญญาณอินพุต

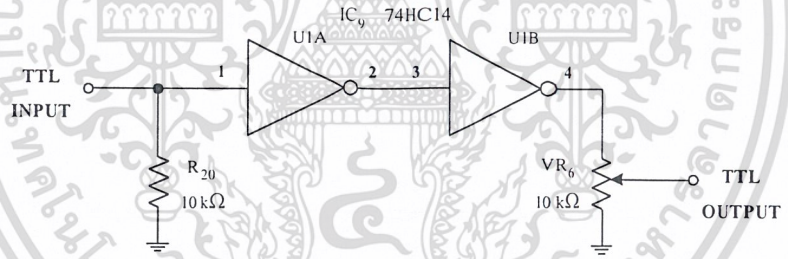
3.3.8 วงจรบัฟเฟอร์

เนื่องจากวงจรบัฟเฟอร์จะรับสัญญาณจากส่วนเลือกสัญญาณอินพุต ดังนั้นจะสามารถแบ่งวงจรบัฟเฟอร์ได้ตามสัญญาณอินพุตดังนี้

1) วงจรบัฟเฟอร์สัญญาณดิจิตอล (สัญญาณ TTL) จากแหล่งจ่ายภายนอก

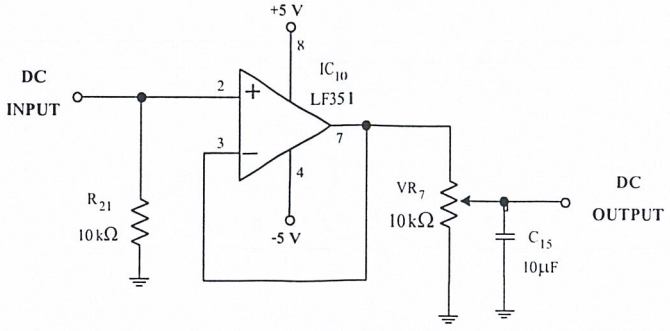
สาเหตุที่เลือกใช้เพราะต้องการสัญญาณทีทีแอลที่เข้าภาคขับสัญญาณทีค่าลอจิกที่แน่นอน และป้องกันสัญญาณดิจิตอลจากภายนอกที่ไม่ใช่สัญญาณทีทีแอล โดยวงจรนี้จะทำการเปลี่ยนสัญญาณที่ไม่ใช่สัญญาณทีทีแอลให้เป็นสัญญาณทีทีแอลให้แก่ภาครับสัญญาณ

จากรูปที่ 3.9 เป็นวงจรบัฟเฟอร์สัญญาณดิจิตอลจากแหล่งจ่ายภายนอก โดยสัญญาณดิจิตอล จากแหล่งจ่ายภายนอกจะถูกส่งไปยังไอซีเบอร์ 74HC14 ที่มีโครงสร้างภายในเป็นวงจรชมิตทริกเกอร์ในที่นี้นำมาใช้เพียง 2 วงจร จะทำให้สัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากวงจรบัฟเฟอร์มีระดับแรงดัน “0” และ “5” โวลต์ เหมือนกับสัญญาณดิจิตอล จากแหล่งจ่ายภายนอก โดยที่ VR_6 มีหน้าที่ปรับแรงดันที่ป้อนให้แก่ภาคขับสัญญาณ เพื่อจำกัดกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงไม่ให้เกิน 55 มิลลิแอมป์



รูปที่ 3.9 วงจรบัฟเฟอร์สัญญาณดิจิตอลจากแหล่งจ่ายภายนอก

2) วงจรบัฟเฟอร์สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายภายนอก



รูปที่ 3.10 วงจรบัฟเฟอร์สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

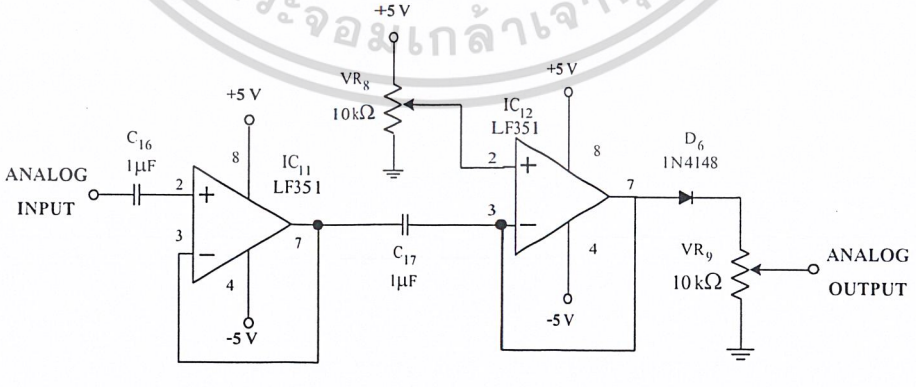
จากรูปที่ 3.10 เป็นวงจรบัฟเฟอร์สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายภายนอก โดยสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง จากแหล่งจ่ายภายนอกจะถูกส่งไปยังวงจรตามแรงดัน ที่ใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF351 ซึ่งจัดวงจรให้มีอัตราการขยายเท่ากับ 1 เท่า โดยที่ VR_7 มีหน้าที่ปรับแรงดันที่ป้อนให้แก่ภาคขับสัญญาณ เพื่อจำกัดกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงไม่ให้เกิน 55 มิลลิแอมป์

สาเหตุที่ใช้เพราะต้องการป้องกันสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกที่เข้ามามีแรงดันสูงทำให้ภาคขับสัญญาณขับกระแสให้กับอุปกรณ์กำเนิดแสงสูง อาจทำให้อุปกรณ์กำเนิดแสงเกิดการเสียหาย

3) วงจรบัฟเฟอร์สัญญาณแอนะลอกจากแหล่งจ่ายภายนอก

จากรูปที่ 3.11 เป็นวงจรบัฟเฟอร์สัญญาณแอนะลอกจากแหล่งจ่ายภายนอกได้แก่ สัญญาณรูปคลื่นไซน์, สัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangle Wave) และสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม จะถูกส่งไปยังวงจรตามแรงดัน ที่ใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF351 ซึ่งจัดวงจรให้มีอัตราการขยายเท่ากับ 1 เท่า และสัญญาณแอนะลอกจะถูกส่งต่อไปยังวงจรยกระดับสัญญาณ ที่จัดวงจรโดยใช้ไอซีเบอร์ LF351 เพื่อทำให้ระดับของสัญญาณแอนะลอกอยู่ในซีกบวกทั้งหมด เพราะอุปกรณ์กำเนิดแสงจะทำงานเฉพาะซีกบวกเท่านั้นโดย VR_8 ทำหน้าที่ปรับระดับแรงดันที่ต้องการยกระดับ นอกจากนี้ VR_9 มีหน้าที่ปรับแรงดันที่ป้อนให้แก่ภาคขับสัญญาณ เพื่อจำกัดกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสง

สาเหตุที่ใช้วงจรนี้ก็เพราะต้องการป้องกันสัญญาณแอนะลอกจากภายนอกที่เข้ามามีแรงดันสูงทำให้ภาคขับสัญญาณขับกระแสให้กับอุปกรณ์กำเนิดแสงสูง อาจทำให้อุปกรณ์กำเนิดแสงเกิดการเสียหาย และยกระดับสัญญาณให้อยู่ในซีกบวกทั้งหมด

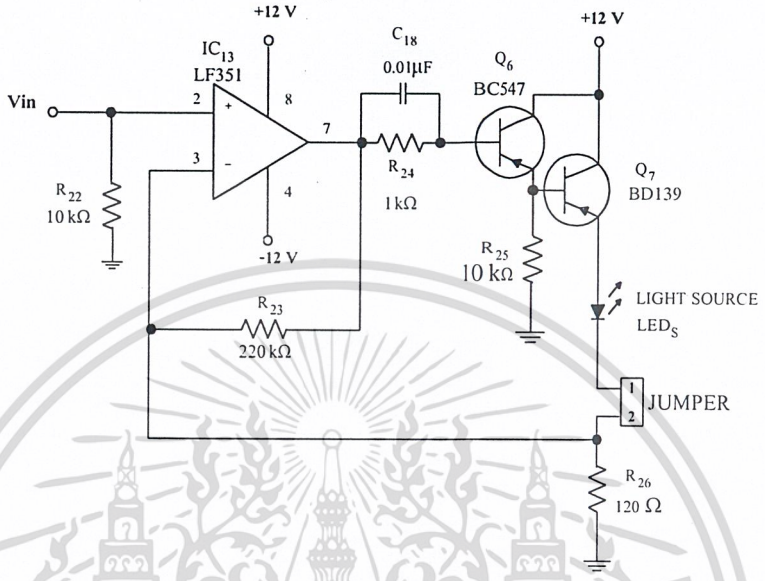


รูปที่ 3.11 วงจรบัฟเฟอร์สัญญาณแอนะลอกจากแหล่งจ่ายภายนอก

3.3.9 วงจรขับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.9 วงจรขับสัญญาณ

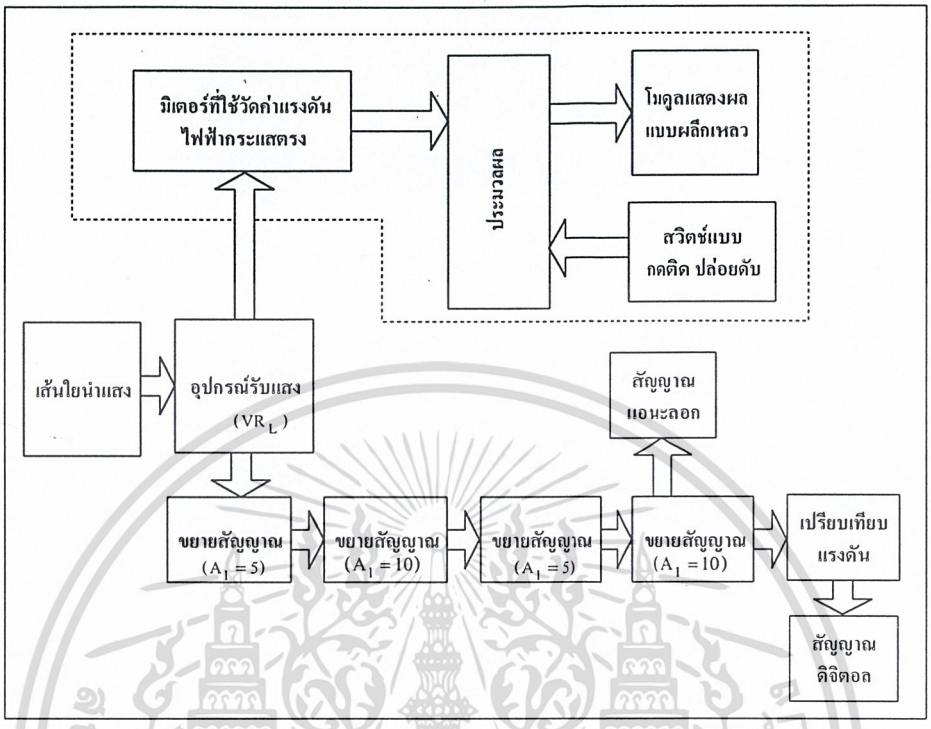


รูปที่ 3.12 วงจรขับสัญญาณ

จากรูปที่ 3.12 เป็นวงจรขับสัญญาณ โดยจะจัดเป็นวงจรขยายความคลาดเคลื่อน (Error Amplifer) ที่ใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF351 ซึ่งคุณสมบัติของวงจรขยายความคลาดเคลื่อน คือ แรงดันอินพุตที่ป้อนให้แก่ขาบวกและขาลบของไอซีออปแอมป์จะต้องมีค่าเท่ากันเสมอ ดังนั้น เมื่อเกิดความร้อนขึ้นภายในทรานซิสเตอร์ หรือที่อุปกรณ์กำเนิดแสงเอง จนทำให้กระแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงมีค่ามากขึ้น วงจรขยายความคลาดเคลื่อนนี้จะทำหน้าที่ปรับอัตราขยายให้ลดลง จนกระทั่งมีการแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงตามที่กำหนด โดยใช้หลักการที่ว่าเมื่อกระแสไหลผ่านตัวกำเนิดแสงมากขึ้นจะมีผลทำให้แรงดันตกคร่อม R_{26} มีค่ามากขึ้นทำให้แรงดันที่ขาอินพุตลบมีค่ามากกว่าขาอินพุตบวก และจากคุณสมบัติของวงจร แรงดันที่อินพุตขาบวกจะต้องเท่ากับขาลบ ดังนั้นไอซีออปแอมป์จะปรับอัตราขยายลดลงเพื่อทำให้แรงดันที่อินพุตขาบวกเท่ากับขาลบ และในทางกลับกันถ้าแรงดันอินพุตขาลบมีค่าน้อยกว่าอินพุตขาบวก ไอซีออปแอมป์จะปรับอัตราขยายเพิ่มขึ้นจนกระทั่งแรงดันอินพุตที่ขาบวกมีค่าเท่ากับขาลบ ส่วนทรานซิสเตอร์เบอร์ BC547 และ BD193 จะทำการต่อวงจรแบบดาร์ลิงตัน (Darlington) เพื่อเพิ่มการแสที่นำไปขับอุปกรณ์กำเนิดแสง

สำหรับสาเหตุที่เลือกใช้วงจรดังกล่าวนี้ก็เพราะต้องการกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงให้มีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แผนผังการทำงานของเครื่องรับ

จากรูปที่ 3.13 จะเห็นได้ว่าเครื่องรับสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสง ได้แบ่งการทำงานออกเป็นภาคต่างๆ ได้ดังนี้

3.4.1 ภาคควบคุมการทำงานของเครื่องรับ

คือส่วนที่อยู่ภายในเส้นประจะประกอบด้วยส่วนการทำงานต่างๆ ดังนี้

1) โมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว

ทำหน้าที่รับข้อมูลจากส่วนประมวลผลเพื่อทำการแสดงผล โดยอุปกรณ์ที่ใช้คือโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว รุ่น DMC161C แสดงผลเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ ขนาด 1 บรรทัด จำนวน 16 ตัวอักษร

2) สวิตช์แบบกดติด ปล่อยดับ

ทำหน้าที่ในการเขียนค่าหรือส่งค่าไปยังส่วนประมวลผล โดยอุปกรณ์ที่ใช้ คือ สวิตช์แบบกดติด ปล่อยดับ จำนวน 1 ตัว

3) มิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) มิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

ทำหน้าที่ในการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ตกคร่อม (R_L) ที่มีค่าไม่เกิน 20 โวลต์ และส่งไปยังส่วนประมวลผล เพื่อส่งต่อไปยังส่วนที่ทำหน้าที่แสดงผล โดยอุปกรณ์ที่ใช้ คือ ไอซีเบอร์ ICL7135 ที่ทำหน้าที่ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และแสดงผลออกมาเป็นตัวเลข (Digital Volt Meter) ที่มีขนาด ในการแสดงผลสี่หลักครึ่ง สามารถรับแรงดันอินพุตได้สูงสุด 1.9999 โวลต์ ใช้แหล่งจ่ายไฟคู่ $\pm$ 5 โวลต์

4) ส่วนประมวลผล

ทำหน้าที่ในการควบคุมระบบการทำงานของส่วนต่างๆ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในภาคนี้ คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS- 51 เบอร์ 89C51 ซึ่งภาคนี้จะทำการประมวลผลสัญญาณจากส่วนต่างๆ ดังนี้

4.1)รับค่าจากส่วนมิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อประมวลผล และส่งค่าที่ประมวลผลได้ไปยังส่วนโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว

4.2) รับค่าจากสวิตช์แบบกดติด ปล่อยดับ เพื่อประมวลผลว่าต้องการติดต่อกับส่วนใด

4.3) ส่งค่าที่ต้องการแสดงผลไปยังส่วนโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว

3.4.2 อุปกรณ์รับแสง

ภาคนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงที่รับได้จากเส้นใยนำแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยอุปกรณ์รับแสงในภาคนี้จะต้องมีความเหมาะสมกับอุปกรณ์ส่งแสงด้วย จึงจะทำให้ภาคนี้สามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งในภาคนี้อุปกรณ์รับแสงที่ใช้เป็นชนิด Photodiode Detector เบอร์ IF-D91 สามารถตอบสนองแสงในช่วงความยาวคลื่น 400 ถึง 1100 นาโนเมตร และสามารถตอบสนองความถี่ของสัญญาณแอนะลอกได้ถึง 70 เมกะเฮิรตซ์ ใช้กับเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่มีขนาดของ Core เท่ากับ 1000 ไมโครเมตร โดยอุปกรณ์รับแสงเบอร์นี้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในการส่งข้อมูลแอนะลอก และดิจิตอล ในระยะทางสั้นๆ

3.4.3 ภาคขยายสัญญาณ

ภาคนี้จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณ เนื่องจากสัญญาณที่ตกคร่อม R_L (ตัวต้านทาน ที่ทำหน้าที่เป็นโหลดโดยต่ออนุกรมกับอุปกรณ์รับแสง) มีค่าน้อยมากจำเป็นจะต้องมีการขยายโดยจะมีอัตราการขยายที่สูง ซึ่งแบ่งภาคขยายออกเป็น 4 ภาคย่อยๆ ด้วยกันคือ ภาคขยายภาคแรก จะมีอัตราขยายเท่ากับ 5 เท่า ซึ่งสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากภาคนี้จะนำไปพิจารณาการขยายกว้างออกของสัญญาณ ภาคขยายภาคที่สอง สาม และสี่ จะมีอัตราขยาย 10 เท่า ซึ่งสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากภาคขยายภาคที่สี่จะเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยจะใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF351 ที่มีความกว้างของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์วิดเท่ากับ 4 เมกะเฮิรตซ์ เมื่อกำหนดอัตราขยายเท่ากับ 1 เท่า ซึ่งจะจัดวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

3.4.4 สัญญาณแอนะลอก

ภาคนี้จะแสดงสัญญาณแอนะลอกที่ผ่านภาคขยายจนกระทั่งสัญญาณมีความสมบูรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณแอนะลอกที่ถูกส่งจากเครื่องส่งสัญญาณ

3.4.5 เปรียบเทียบแรงดัน

ภาคนี้จะถูกใช้งานเมื่อมีการรับสัญญาณดิจิตอล โดยจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกที่ได้จากภาคขยายภาคที่สี่ ให้เป็นสัญญาณที่มีค่าของระดับแรงดัน “0” โวลต์ และระดับ “5” โวลต์ (สัญญาณ TTL) โดยจะใช้ไอซีออปแอมป์ เบอร์ LM311 เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดัน

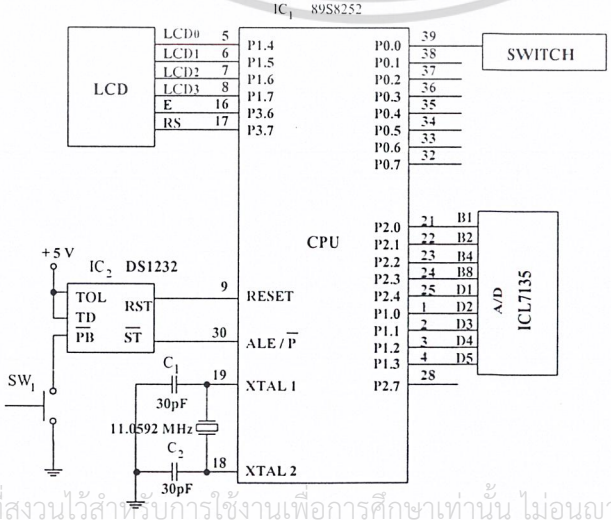
3.4.6 สัญญาณดิจิตอล (สัญญาณ TTL)

ภาคนี้ทำหน้าสร้างสัญญาณดิจิตอล ที่มีระดับแรงดัน “0” โวลต์ และ “5” โวลต์ อย่างแท้จริง โดยจะใช้ไอซีทีทีแอล เบอร์ 74HC14 ที่มีวงจรชมิตทริกเกอร์ภายในไอซี

3.5 การออกแบบวงจรที่ใช้ในเครื่องรับ

3.5.1 วงจรส่วนประมวลผล

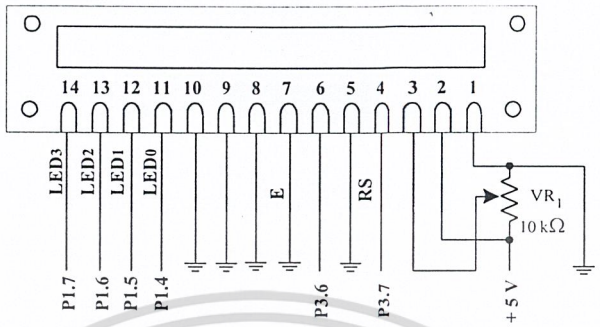
จากรูปที่ 3.14 เป็นวงจรส่วนประมวลผล จะประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS- 51 เบอร์ 89S8252 และใช้ไอซีเบอร์ DS1232 ทำหน้าที่เป็นวงจร Power On Reset ซึ่งทำหน้าที่ในการรีเซต เครื่องส่ง เพื่อเข้าสู่การทำงานขั้นเริ่มต้นของเครื่องรับ และใช้ คริสตอลที่มีความถี่เท่ากับ 11.0539 MHz เพื่อเป็นสัญญาณนาฬิกาให้แก่ภาคประมวลผล โดยพอร์ตที่ต่อใช้งานเพื่อควบคุมภาคต่างๆ แสดงดังรูป



รูปที่ 3.14 วงจรภาคประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

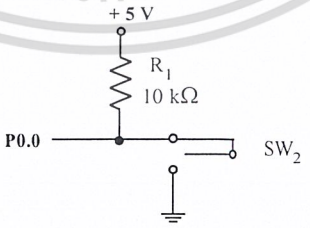
3.5.2 วงจรภาคแสดงผล



รูปที่ 3.15 วงจรภาคแสดงผล

จากรูปที่ 3.15 เป็นวงจรภาคแสดงผล ที่ใช้โมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว (Dot Matrix LCD Module) ขนาด 1 บรรทัด 16 ตัวอักษร โดยโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลวจะจัดการส่งข้องมูลแบบ 4 บิต การรับค่าจาก CPU จะเป็นการต่อขาที่ 11 ถึงขาที่ 14 เข้ากับ P1.4 ถึง P1.7 ขา E (ขาที่ 6) จะต่ออยู่กับ P3.6 เป็นขาที่ใช้รับสัญญาณพัลส์เอ็นเอเบิลโมดูล LCD ให้ทำงาน และขา RS (ขาที่ 4) จะต่ออยู่กับ P3.7 เป็นขาอินพุตใช้ในการแยกชนิดของข้อมูลที่ทำการประมวลผลในขณะนั้นว่าเป็นคำสั่งสำหรับรีจีสเตอร์ IR หรือเป็นข้อมูลสำหรับรีจีสเตอร์ DR โดยถ้าขานี้เป็น “0” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่ง แต่ถ้าขานี้เป็น “1” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลสำหรับแสดงผล โดยที่ VR_1 ทำหน้าที่ปรับความเข้มของตัวอักษรบนจอ LCD

3.5.3 วงจรสวิตช์



รูปที่ 3.16 วงจรสวิตช์

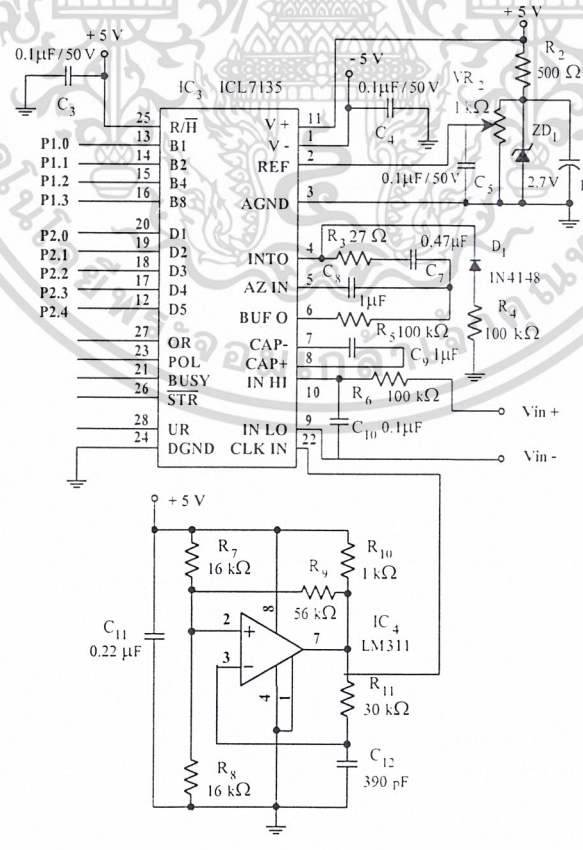
จากรูปที่ 3.16 เป็นวงจรสวิตช์ ที่ทำหน้าที่เขียนค่าหรือส่งค่าให้แก่ CPU ซึ่งถ้าส่งลอจิก “0” จะทำให้ CPU ประมวลผลให้แสดงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ตกคร่อม R_L แต่ถ้าส่งลอจิก “1” จะทำให้ CPU ประมวลผลไม่ให้แสดงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ตกคร่อม R_L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ... ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุที่สร้างวงจรนี้ขึ้นมาเพื่อไม่ต้องการให้จอแสดงผลแบบผลึกเหลวทำงานในขณะที่ไม่มีความจำเป็นในการใช้งาน

3.5.4 วงจรมิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ 3.17 วงจรมิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วยไอซีเบอร์ ICL7135 ซึ่งเป็นไอซีที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแอนะลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล (รหัส BCD 8421) มีขนาด 4 บิตครึ่ง โดยจะส่งข้อมูล BCD 8421 แบบมัลติเพล็กซ์ ไปยัง CPU นอกจากนี้ไอซีเบอร์ LM311 จะถูกจัดวงจรเป็นออสซิลเลเตอร์เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาป้อนให้แก่ ไอซีเบอร์ ICL7135 โดยสัญญาณนาฬิกามีค่าประมาณ 120 กิโลเฮิรตซ์ การติดต่อกับ CPU จะทำผ่าน P1.0-P1.3 เป็นข้อมูลแต่ละหลักของไอซีเบอร์ ICL7135 ซึ่งสามารถตรวจสอบหลักได้จาก P2.0-2.4 เช่น สมมติว่า P2.0 เป็น “1” จะได้ข้อมูลหลักสุดท้าย และในการอ่านค่าแรงดันจะอ่านเป็นรหัส BCD 8421 เช่น ถ้าสมมติว่ารหัส BCD 8421 เท่ากับ 0001 ค่าแรงดันจะได้เท่ากับ 0.0001 โวลต์ เป็นต้น โดย P2.4 ซึ่งเป็นหลักที่ 1 จะรับข้อมูลได้เพียง “0” กับ “1” เท่านั้น นอกจากนี้ VR_2 ทำหน้าที่เป็นตัวปรับแรงดันอ้างอิง ซึ่งในวงจรนี้ปรับค่าแรงดันไว้ที่ 1 โวลต์

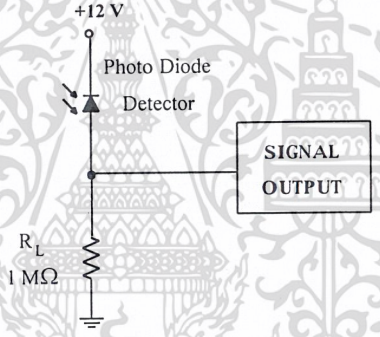


รูปที่ 3.17 วงจรมิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

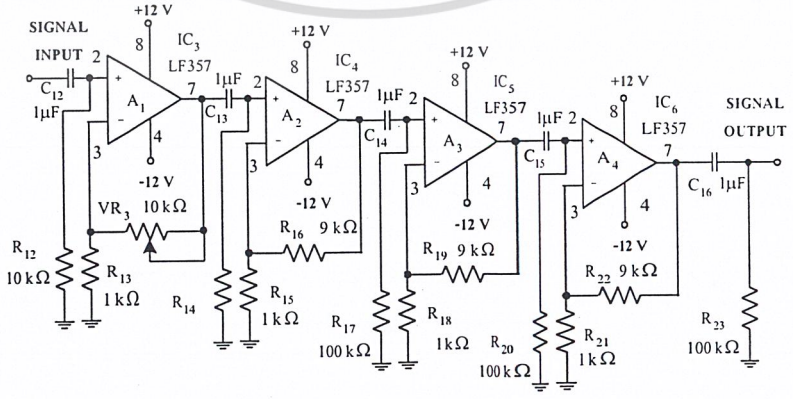
3.5.5 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.18 เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้อุปกรณ์รับแสงเบอร์ IF-D91 ซึ่งวงจรมีการจัดแรงดันไบแอสกลับให้แก่อุปกรณ์รับแสง โดยมีหลักการทำงาน คือ เมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบทำให้ แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์รับแสง มีค่าเท่ากับแรงดันที่จัดไบแอสกลับ คือ 12 โวลต์ จึงทำให้กระแสที่ไหลผ่าน R_L มีค่า 0 แอมป์ แต่เมื่อมีแสงมาตกกระทบจะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์รับแสงลดลง ทำให้มีกระแสที่ไหลผ่าน R_L มีค่ามากขึ้น จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อม R_L มากขึ้นตามไปด้วย ดั้งนั้นเมื่อแสงตกกระทบอุปกรณ์รับแสงมากขึ้นเท่าใด จะมีผลทำให้แรงดันที่ตกคร่อม R_L มีค่ามากขึ้นเท่านั้น ซึ่งแรงดันที่ตกคร่อม R_L นี้จะเป็นสัญญาณที่รับได้จากสัญญาณที่ส่งผ่านมาทางเส้นใยนำแสง โดยสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งไปยังภาคขยาย จะนำมาจากแรงดันที่ตกคร่อม R_L



รูปที่ 3.18 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า

3.5.6 วงจรขยายสัญญาณ



รูปที่ 3.19 วงจรขยายสัญญาณ

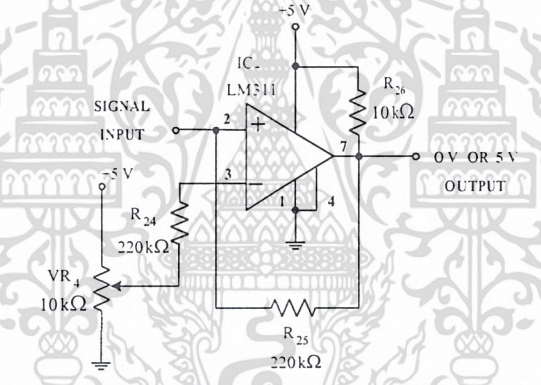
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.20 เป็นวงจรขยายสัญญาณ โดยใช้อุปกรณ์เป็นไอซีออปแอมป์เบอร์ LF357 ที่มีการจัดวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส ซึ่งวงจรขยายภาคแรกจะมีอัตราขยายเท่ากับ 5 เท่า ส่วนวงจรขยายภาคที่สอง สาม และสี่จะมีอัตราขยายเท่ากับ 10 เท่า โดยที่ VR_3 จะใช้ปรับอัตราขยายในภาคแรก เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของการขยายกว้างออกของสัญญาณได้อย่างชัดเจน

3.5.7 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

จากรูปที่ 3.20 เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน โดยจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแอนะลอก ที่ได้จากภาคขยายภาคที่สี่ ให้เป็นสัญญาณที่มีค่าระดับแรงดัน “0” โวลต์ และระดับ “5” โวลต์ (สัญญาณ TTL) ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้จะเป็นไอซีออปแอมป์เบอร์ LM311 นอกจากนี้ VR_4 จะทำหน้าที่ปรับระดับแรงดันที่ต้องการเปรียบเทียบ จากวงจรนี้จะใช้ระดับแรงดันเปรียบเทียบประมาณ 1 โวลต์

สาเหตุที่ใช้เพื่อต้องการเปลี่ยนระดับสัญญาณที่ได้จากภาคขยายให้มีค่า “0V” กับ “5V”

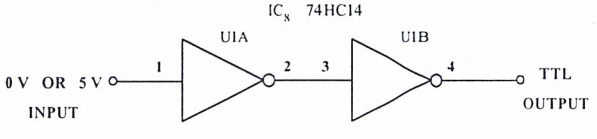


รูปที่ 3.20 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

3.5.8 วงจรสร้างสัญญาณดิจิตอล

จากรูปที่ 3.21 เป็นวงจรสร้างสัญญาณดิจิตอล ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณดิจิตอล ที่มีระดับแรงดัน “0” โวลต์ และ “5” โวลต์อย่างแท้จริง โดยจะใช้ไอซีทีทีแอล เบอร์ 74HC14 ที่มีวงจรชมิตทริกเกอร์ภายในไอซี

สาเหตุที่ใช้เพื่อสร้างสัญญาณ TTL ให้มีระดับ “0” กับ “5” โวลต์ ที่แน่นอน



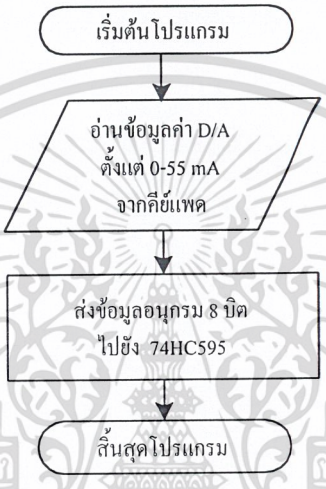
รูปที่ 3.21 วงจรสร้างสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การออกแบบซอฟต์แวร์ของเครื่องส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสง

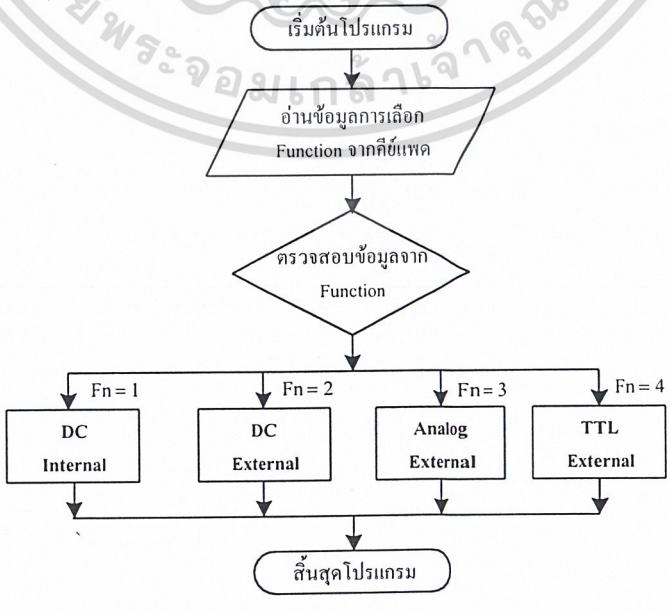
เนื่องจากเครื่องส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสงได้นำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาใช้เพื่อความสะดวกในการเลือกใช้งานในภาคต่างๆ โดยจะแบ่งการออกแบบซอฟต์แวร์ตามภาคการทำงานต่างๆ ได้ดังนี้

3.6.1 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 3.22 ผังงานของโปรแกรมสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง

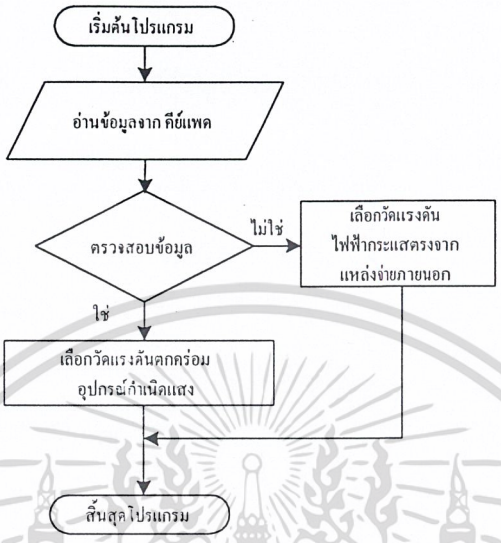
3.6.2 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการเลือกสัญญาณอินพุต



รูปที่ 3.23 ผังงานของโปรแกรมการเลือกสัญญาณอินพุต

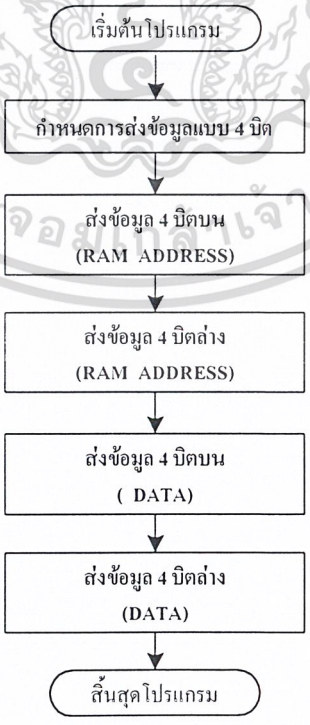
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการเลือกวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 3.24 ผังงานของโปรแกรมการเลือกวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

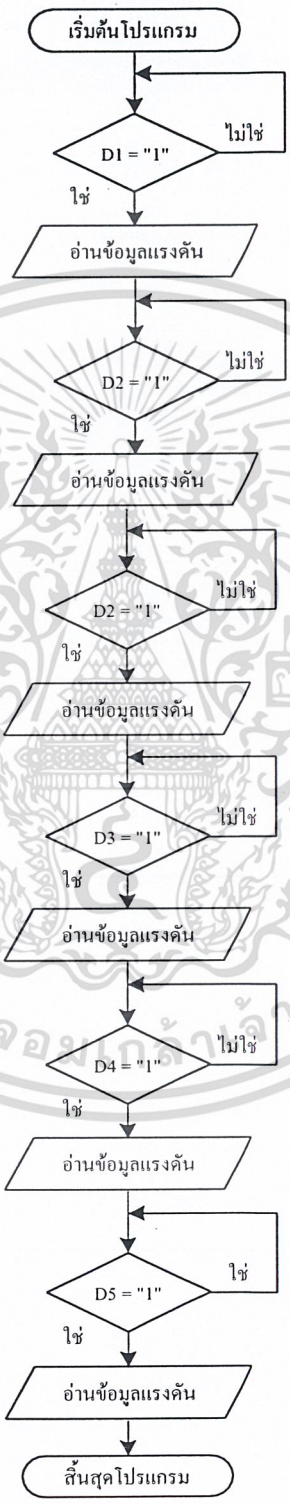
3.6.4 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการแสดงผล



รูปที่ 3.25 ผังงานของโปรแกรมการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.5 การออกแบบโปรแกรมควบคุมมิเตอร์ที่ใช้วัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 3.26 ผังงานของโปรแกรมมิเตอร์ที่ใช้วัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การออกแบบซอฟต์แวร์ของเครื่องรับสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสง

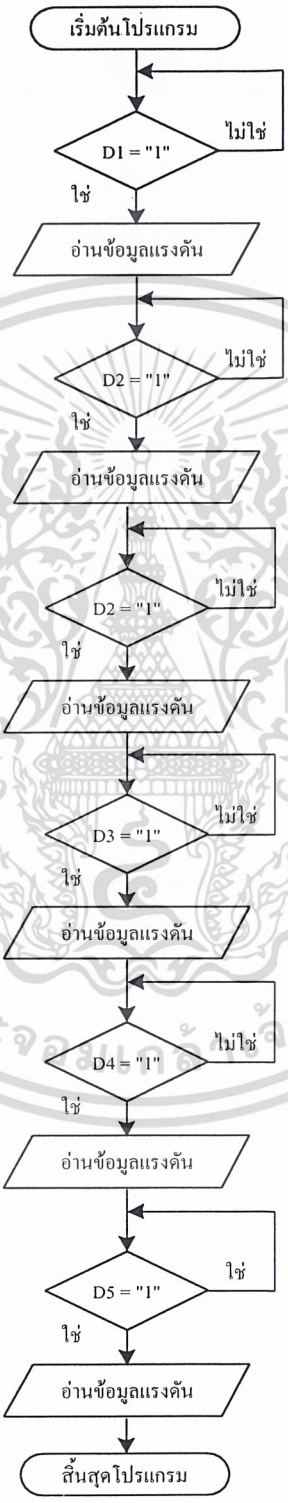
เนื่องจากเครื่องรับสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสงได้นำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาใช้เพื่อความสะดวกในการเลือกใช้งานในภาคต่างๆ โดยจะแบ่งการออกแบบซอฟต์แวร์ตามภาคการทำงานต่างๆ ได้ดังนี้

3.7.1 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการแสดงผล

รูปที่ 3.27 ผังงานของโปรแกรมการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.2 การออกแบบโปรแกรมควบคุมมิเตอร์ที่ใช้วัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 3.28 ผังงานของโปรแกรมมิเตอร์ที่ใช้วัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 เส้นใยนำแสง

เส้นใยนำแสงจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งผ่านสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ หรือจากเครื่องรับไปยังเครื่องส่ง ซึ่งในชุดฝึกระบบรับ-ส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสงนี้จะนำเส้นใยนำแสง มาใช้งาน 2 ชนิดด้วยกันคือ

3.8.1 เส้นใยนำแสงชนิดไม่มีเปลือกหุ้ม

เส้นใยนำแสงชนิดนี้จะมีลักษณะเฉพาะตัว ในการนำไปใช้เพื่อทำให้เกิดความสว่าง เช่น ทำให้แผนที่สว่าง ทำให้ทางรถไฟ/เครื่องบินสว่าง หรือนำไปใช้สำหรับตบแต่งเสื้อผ้า หรือต้นคริสมาส เพื่อความสวยงาม โดยเส้นใยนำแสงชนิดนี้จะใช้สาร โพลีเมเทียม เมทาไครเลต (PMMA) ในการสร้างคอร์ซึ่งเส้นใยนำแสงชนิดนี้จะมีการลดทอนของสัญญาณเมื่อเทียบกับระยะทาง จะมีค่า 400 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร นอกจากนี้ช่วงในการรับแสงมีค่า 0.65 ในยาวความยาวปกติ หรือขณะม้วนอยู่

3.8.2 เส้นใยนำแสงชนิดมีเปลือกหุ้ม

เส้นใยนำแสงชนิดนี้เกิดจากการนำเอา เส้นใยแสงชนิดไม่มีเปลือกหุ้ม มาทำการหุ้มเปลือกด้วยท่อดำซึ่งทำจากสาร โพลีเอตธิลีน จึงสามารถทนทานต่อสารเคมีและแรงดึงต่างๆ ได้อย่างดี และยังป้องกันแสงภายนอกเข้าไปรบกวนสัญญาณภายในแกนได้อีกด้วย

3.9 อุปกรณ์ช่วยในการทดลองใบงาน

3.9.1 อุปกรณ์ช่วยในการทดลองใบงานที่ 1 เรื่องการเดินทางของแสง

หลักทั่วไปในการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเรื่องการเดินทางของแสง คือ จะต้องทำให้แสงที่ได้จากอุปกรณ์กำเนิดแสง เดินทางบนพื้นระนาบเรียบของชุดทดลอง ความเข้มของลำแสงจะต้องคงที่ทุกครั้งที่ทำการทดลอง มุมที่ได้จากการปรับเปลี่ยนมุมในการปล่อยแสงแต่ละองศาในการทดลองแต่ละครั้งต้องใกล้เคียงกัน ตลอดจนการทดลอง และการเคลื่อนย้ายต้องสะดวก ซึ่งหลักในการออกแบบ และสร้างอุปกรณ์แต่ละส่วนจะแยกในการอธิบาย ดังต่อไปนี้

1) ฐานของชุดทดลอง

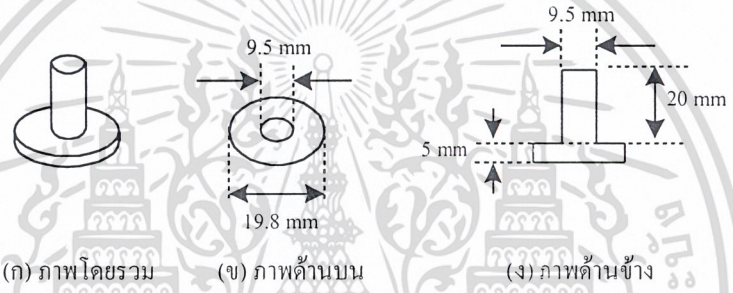
ถูกออกแบบให้มีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรง ซึ่งวัสดุที่นำมาใช้เป็นกระดาษอัดที่มีคุณลักษณะตามที่ต้องการ โดยใช้กระดาษอัดที่มีความหนา 10 มิลลิเมตร กว้าง 470 มิลลิเมตร และยาว 570 มิลลิเมตร ซึ่งฐานของชุดทดลองนี้จะใช้เป็นตัวรองรับอุปกรณ์ทุกชิ้นที่อยู่ในชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) แขนปรับองศาของอุปกรณ์กำเนิดแสง

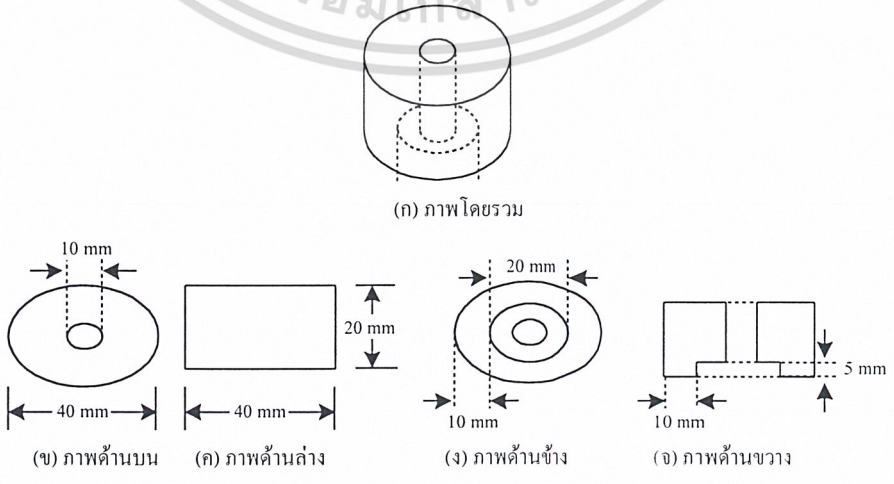
เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้มุมที่ได้จากการปรับเปลี่ยนมุมในการปล่อยแสงแต่ละองศาในการทดลองแต่ละครั้งมีความใกล้เคียงกันที่สุด ในการออกแบบจะออกแบบให้การปล่อยแสงแต่ละองศาเกิดจากจุดหมุนเดียวกัน ซึ่งจะทำให้ระยะทางจากจุดปล่อยแสงทุกจุดมีระยะทางเท่ากัน และระดับความสูงของลำแสงที่ทอดเป็นแนวขนานกับพื้นระนาบมีระดับความสูงเดียวกันตลอด โดยจะออกแบบให้แขนสามารถกวาดได้ในแนวครึ่งวงกลม (180°) โดยวัสดุที่ใช้เป็นสเตนเลสสตีล กลึง และเชื่อมในการขึ้นรูป การใช้สเตนเลสสตีลช่วยลดปัญหาในการผุกร่อนโดยมีหลักการสร้างดังนี้

2.1) กลึงเพลาสเตนเลสสตีลให้มีขนาดดังรูปที่ 3.29



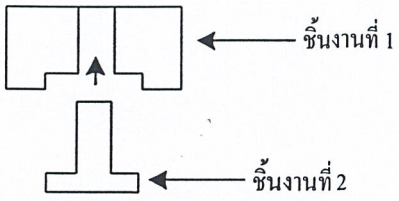
รูปที่ 3.29 เพลาสเตนเลสสตีล ชิ้นที่ 1

2.2) กลึงเพลาสเตนเลสสตีลให้มีขนาดดังรูปที่ 3.30 เพื่อใช้เป็นแกนกลางของจุดหมุน จากนั้นนำชิ้นงานที่ 2 ใส่เข้าไปในชิ้นงานที่ 1 ทางด้านล่าง ดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.30 เพลาสเตนเลสสตีลชิ้นที่ 2

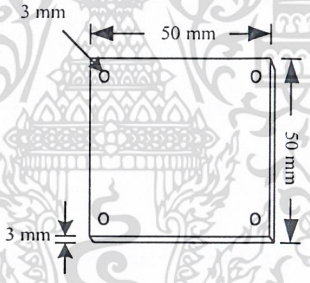
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.31 ลักษณะการประกอบเพลาสเตนเลสสตีล

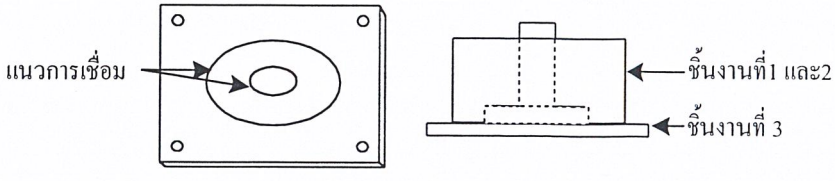
เมื่อใส่เข้าไปแล้วจะเห็นว่าชิ้นงานที่ 1 และชิ้นงานที่ 2 มีลักษณะพอดีกันโดยไม่หลวม หรือคับจนเกินไป ทดสอบโดยการจับชิ้นงานที่ 2 ไว้แล้วหมุนชิ้นงานที่ 1 จะต้องไม่ฝืดมาก และเมื่อทดลองโยกชิ้นงานหมายเลข 2 จะต้องโยกได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2.3) ตัดแผ่นสเตนเลสสตีลชิ้นที่ 3 ให้มีความหนา 3 มิลลิเมตร โดยมีขนาด 50×50 มิลลิเมตร และเจาะรูที่มุมทั้ง 4 ด้าน ถัดออกมาจากมุมประมาณ 3 มิลลิเมตร ซึ่งรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 แผ่นสเตนเลสสตีลชิ้นที่ 3

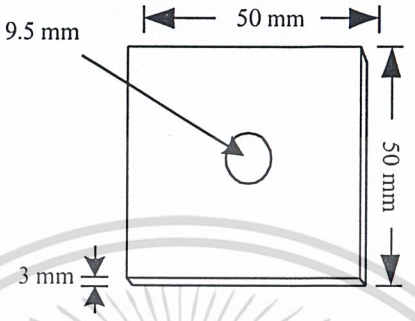
2.4) วางชิ้นงานที่ 1 และ 2 ที่ได้ประกอบแล้ว บนแผ่นสเตเลสสตีล บริเวณกึ่งกลางชิ้นงานที่ 3 ดังรูป 3.33 จากนั้นเชื่อมบริเวณขอบของชิ้นงานที่ 1 กับแผ่นสเตนเลสสตีลจนรอบ ซึ่งเรียกชิ้นงานที่ประกอบขึ้นนี้ว่า ชิ้นงานที่ 4



รูปที่ 3.33 ลักษณะการประกอบชิ้นงาน

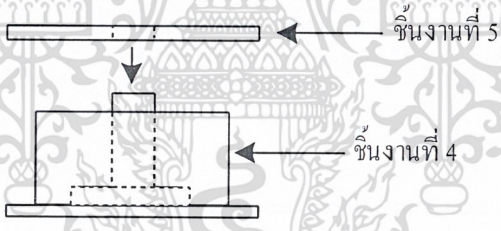
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5) ตัดแผ่นสเตนเลสสตีล ชิ้นงานที่ 5 ให้มีความหนา 3 มิลลิเมตร โดยมีขนาด 50×50 มิลลิเมตร และเจาะรูบริเวณกึ่งกลางให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู 9.5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.34



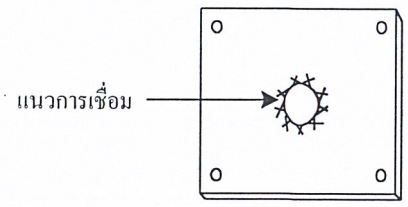
รูปที่ 3.34 แผ่นสเตนเลสสตีล ชิ้นงานที่ 5

2.6) นำแผ่นสเตนเลสสตีลชิ้นที่ 4 ประกอบเข้ากับชิ้นงานที่ 5 โดยต้องมีระยะห่างจากชิ้นงาน ที่ 5 ประมาณ 1 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 ลักษณะการประกอบชิ้นงาน

จากนั้นทำการเชื่อมบริเวณขอบชิ้นงานที่ 4 และที่ 5 ซึ่งเรียกชิ้นงานที่ประกอบขึ้นนี้ว่า ชิ้นงานที่ 6 ดังรูปที่ 3.36

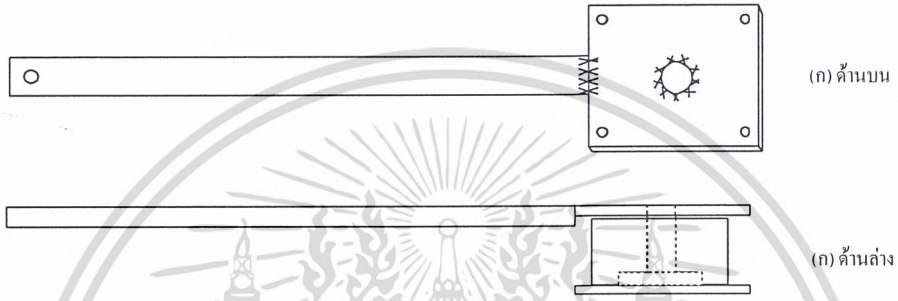


รูปที่ 3.36 ลักษณะการเชื่อมต่อชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7) ทดสอบชิ้นงานโดยยึดฐานของชิ้นงานที่ 4 ให้อยู่กับที่ และหมุนชิ้นงานที่ 5 ที่อยู่ด้านบน จะต้องหมุนได้รอบ และมีความฝืดพอประมาณ

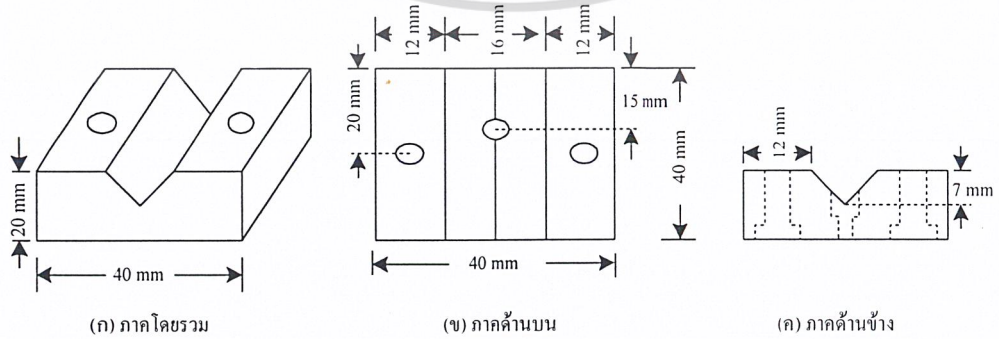
2.8) ตัดแผ่นสเตนเลสสตีลหน้าตัดรูปตัวยู (U) กว้าง 25.4 มิลลิเมตร และยาว 200 มิลลิเมตร เจาะรูที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ที่ปลายด้านหนึ่งโดยรูจะถัดจากด้านปลายเข้ามา 10 มิลลิเมตร เชื่อมปลายอีกด้านกับชิ้นงานที่ 6 ดังรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 ลักษณะการประกอบชิ้นงาน

3) อุปกรณ์ที่ใช้ยึดอุปกรณ์กำเนิดแสง

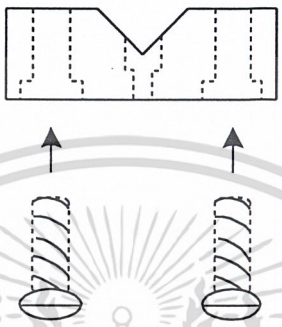
ใช้ติดอยู่บนปลายของแขนปรับองศาของอุปกรณ์กำเนิดแสง เพื่อเป็นตัวยึดอุปกรณ์กำเนิดแสง โดยในการออกแบบจะให้มีลักษณะเป็นร่องรูปตัววี (V) เพื่อที่ในการวางอุปกรณ์กำเนิดแสงลงในร่องแต่ละครั้งจะลงไปอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันตลอดทุกครั้ง ซึ่งจะช่วยให้การทดลองมีความเที่ยงตรง ร่องรูปตัววีนั้นะสร้างจากพลาสติกอะครีลิกใส เนื่องจากเป็นพลาสติกที่มีความแข็งแรง สามารถตัดแต่ง และเจาะได้ง่าย โดยจะตัด และตะไบให้มีขนาดดังรูปที่ 3.38



รูปที่ 3.38 อุปกรณ์ที่ใช้ยึดอุปกรณ์กำเนิดแสง

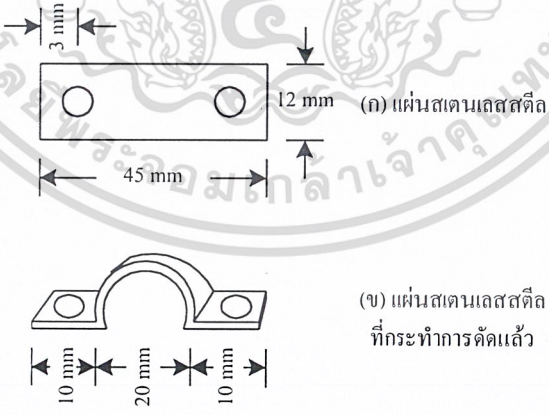
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นเจาะรูที่ตำแหน่งต่างๆ ดังรูป โดยใช้ดอกสว่านขนาด 5 มิลิเมตร และใช้ดอกสว่านขนาด 7 มิลิเมตร เจาะซ้ำให้มีขนาดเท่ากับหัวน๊อต จากนั้นนำน๊อตตัวผู้ขนาด 5 มิลลิเมตร ที่มีความยาว 30 มิลลิเมตร จำนวน 2 ตัว ประกอบเข้ากับพลาสติกที่เจาะรูดังรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.39 ลักษณะการใส่น๊อต

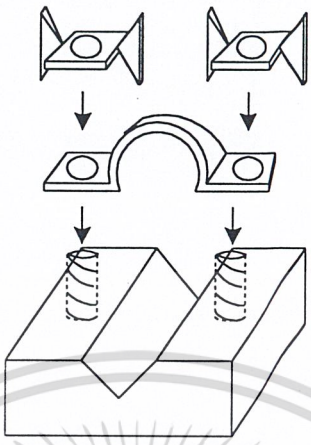
การสร้างที่รัดอุปกรณ์กำเนิดแสงสร้างจากแผ่นสเตนเลสสตีลหนา 1 มิลลิเมตร กว้าง 12 มิลลิเมตร ยาว 45 มิลลิเมตร และเจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร ที่ปลายทั้ง 2 ด้าน จากนั้นดัดแผ่นสเตนเลสสตีลให้มีลักษณะดังรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.40 ลักษณะของที่รัดอุปกรณ์กำเนิดแสง

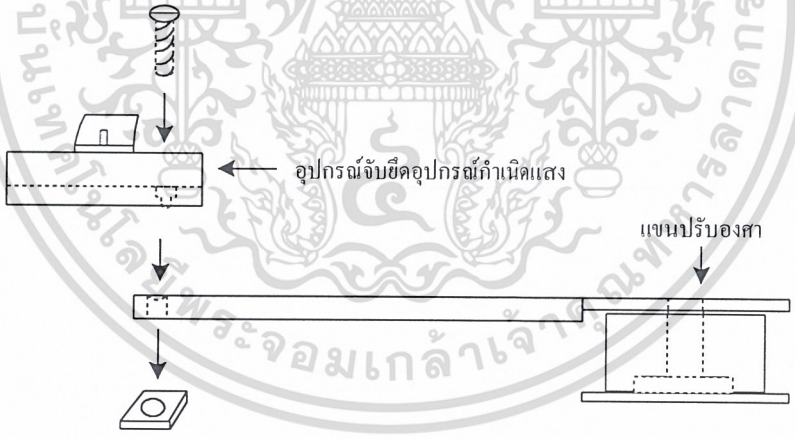
จากนั้นใช้ผ้าชาร์มัว ติดใต้บริเวณส่วนโค้งเพื่อป้องกันการเสียดสีกับอุปกรณ์กำเนิดแสง จากนั้นประกอบเข้ากับส่วนฐานรูปตัววี และใช้น๊อตหางปลาขนาด 5 มิลลิเมตรขันเข้ากับน๊อตตัวผู้ ดังรูปที่ 3.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.41 ลักษณะการประกอบอุปกรณ์ยึดเลเซอร์ไดโอด

เมื่อเสร็จแล้วนำอุปกรณ์ยึดอุปกรณ์กำเนิดแสง ประกอบเข้ากับแขนปรับองศาโดยใช้น๊อตตัวผู้ขนาด 3 มิลลิเมตร ร้อยจากด้านบน และขันน๊อตตัวเมียด้านล่าง ดังรูปที่ 3.42



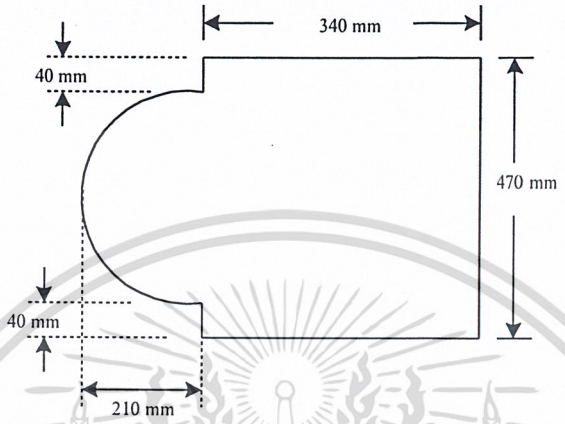
รูปที่ 3.42 การประกอบอุปกรณ์ยึดเลเซอร์ไดโอดกับแกนหมุน

4) แผ่นวัดองศา

เป็นส่วนที่ให้ลำแสงเลเซอร์ตกกระทบ และมีสเกลวัดองศาอยู่ด้านบน ซึ่งจะเพิ่มความสะดวกในการอ่านค่ามุมในการทดลองเรื่องการเดินทางของแสง โดยส่วนที่เป็นสเกลในการวัดองศาจะถูกออกแบบให้เป็นครึ่งวงกลม เพื่อให้ขอบของแผ่นระนาบเรียบ และสเกลวัดองศามีระยะห่างจากอุปกรณ์กำเนิดแสงในระยะทางคงที่ เนื่องจากอุปกรณ์กำเนิดแสงจะเคลื่อนที่ในการปล่อยแสงที่มุมต่างๆ บริเวณรอบๆ ครึ่งวงกลมนี้ การสร้างจะสร้างขึ้นจากแผ่นพลาสติกอะคริลิกใส

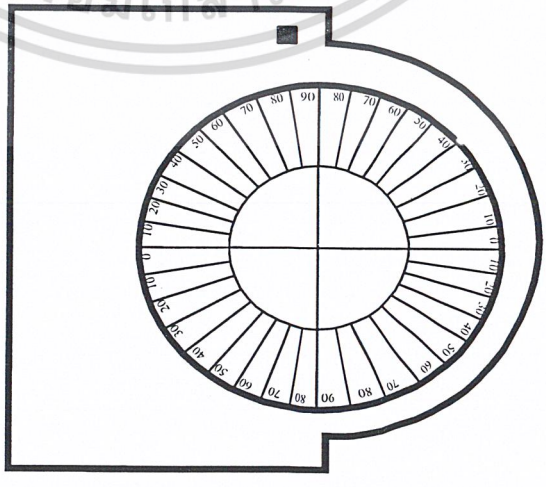
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนา 10 มิลลิเมตร เนื่องจากต้องการความเรียบสูง และมีความแข็งแรงตลอดจนไม่มีการโก่งตัวเนื่องจากความชื้น และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ดังรูปที่ 3.43



รูปที่ 3.43 แผ่นพลาสติกอะครีลิกใส

เมื่อตัดเสร็จแล้วทำการตะไบขอบทุกด้านจนเรียบ จากนั้นพ่นสีทับด้านบนด้วยสีขาวสะท้อนแสง เนื่องจากแผ่นพลาสติกอะครีลิกมีผิวเรียบ และเงา เมื่อลำแสงทอดยาวมาบนพื้นผิวจะทำให้มองเห็นลำแสงไม่ชัดเจน การพ่นสีทับบริเวณพื้นผิวสีขาวสะท้อนแสงจะทำให้เห็นลำแสงชัดเจนยิ่งขึ้น เมื่อสีแห้งสนิทดีแล้วทำการเขียนสเกลวัดองศาโดยใช้ดินสอร่างไว้ก่อน และเขียบทับด้วยปากกาสีอ่อนที่ไม่ลบเลือนเมื่อถูกน้ำในที่นี้เลือกใช้สีบรอนเงิน เนื่องจากสะท้อนแสงได้ดีเช่นกัน โดยเขียนสเกล ดังรูปที่ 3.44



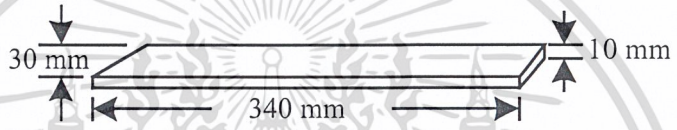
รูปที่ 3.44 แผ่นวัดองศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างตัวเลขบอกมุม ทำได้โดยการตัดสติกเกอร์เป็นตัวเลขค่าต่างๆ และติดบริเวณใต้เส้นบอกองศานั้นๆ เนื่องจากถ้าติดบริเวณแนวเดียวกับเส้นบอกองศาจะทำให้มองไม่เห็นลำแสง เพราะสติกเกอร์จะนูนขึ้นมาจากพื้นผิวมากทำให้เกิดการบดบังลำแสง

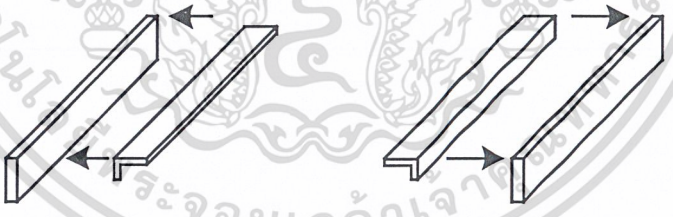
5) ที่รองรับแผ่นวัดองศา

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รองรับแผ่นวัดองศาให้อยู่สูงจากฐานของชุดทดลองพอประมาณ และใช้เป็นที่ติดรางของลิ้นชักเก็บอุปกรณ์ การสร้างจะทำจากแผ่นพลาสติกอะครีลิกใส หนา 10 มิลลิเมตร โดยตัดให้มีความกว้าง 30 มิลลิเมตร และยาว 340 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชิ้น โดยมีขนาดดังรูปที่ 3.45

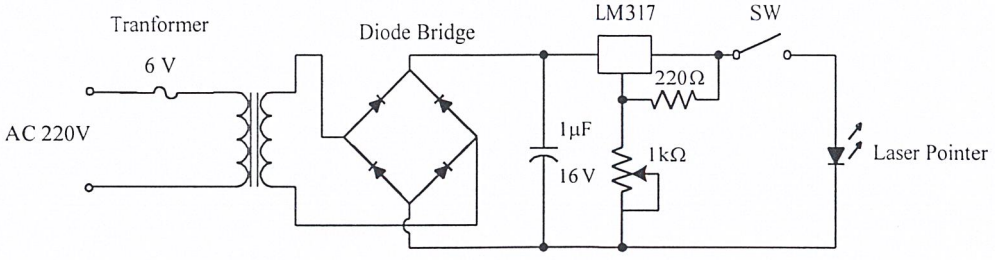


รูปที่ 3.45 แผ่นพลาสติกอะครีลิกใส

ในการใช้งานจะตั้งขึ้น และติดทับกับรางของลิ้นชักขนาดความยาว 8 นิ้ว ดังรูปที่ 3.46



รูปที่ 3.46 ลักษณะการประกอบชิ้นงาน



รูปที่ 3.47 วงจรภาคจ่ายไฟ

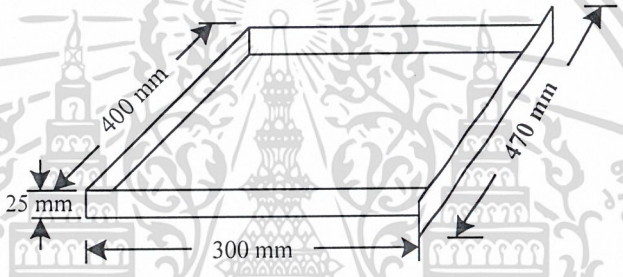
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) วงจรภาคจ่ายไฟ

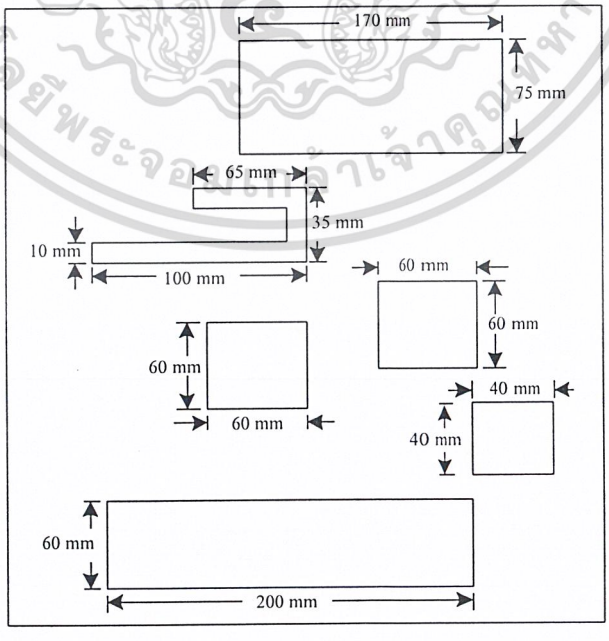
ทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับอุปกรณ์กำเนิดแสง เป็นวงจรภาคจ่ายไฟที่ทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ค่า 4.3 โวลต์ โดยมีตัวต้านทานปรับค่าได้ ชนิดปรับละเอียด เพื่อใช้ปรับแรงดันเอาต์พุตของ วงจรให้มีค่า 4.3 โวลต์ และมีสวิตช์แบบกดติด ปล่อยดับ ทำหน้าที่ปิด และเปิดการทำงานของภาคจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์กำเนิดแสง ดังรูปที่ 3.47

7) ลิ้นชักเก็บอุปกรณ์

เป็นที่เก็บอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเรื่องการเดินทางของแสงทั้งหมด ซึ่งทำให้สะดวกในการทดลอง การจัดเก็บ และการเคลื่อนย้าย โดยตัวลิ้นชักจะทำจากแผ่นพลาสติกอะครีลิกหนา 3 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดดังรูปที่ 3.48



รูปที่ 3.48 ลิ้นชักเก็บอุปกรณ์



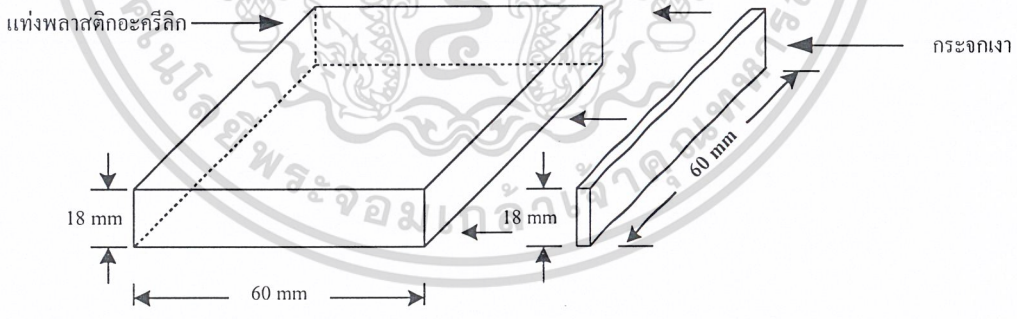
รูปที่ 3.49 ภายในลิ้นชักเก็บอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในการสร้างจะต้องตัดพลาสติกให้มีขนาดตามแบบการประกอบใช้น้ำยาประสานพลาสติกอะครีลิกเมื่อประกอบตัวลิ้นชักเสร็จแล้วทำการติดรางลิ้นชักขนาดความยาว 8 นิ้ว ที่ด้านข้างของตัวลิ้นชัก เพื่อเพิ่มความลื่นในการเลื่อนเข้าออกของตัวลิ้นชัก ช่องเก็บอุปกรณ์ทำจากฟองน้ำชนิดเนื้อแน่นมีความหนา 15 มิลลิเมตร ตัดให้พอดีกับขอบด้านในของตัวลิ้นชัก จากนั้นตัดช่องสำหรับใส่อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ดังรูปที่ 3.49 เมื่อตัดเสร็จเรียบร้อยแล้วนำกาวลาเท็กทาภายในลิ้นชัก จากนั้นนำฟองน้ำลงไปติดเมื่อกาวแห้งแล้วทำการหุ้มฟองน้ำ และพื้นลิ้นชักในช่องเก็บอุปกรณ์ด้วยผ้าชาร์มัวสังเคราะห์ เพื่อความสวยงามและป้องกันอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการรอยขีดข่วน

8) อุปกรณ์ในการทดลองเรื่องการสะท้อนของแสง

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสะท้อนของลำแสงจากอุปกรณ์กำเนิดแสง เพื่อพิสูจน์ทฤษฎีที่ว่ามุมสะท้อนเท่ากับมุมตกกระทบ การออกแบบจะต้องใช้กระจกเงาเป็นตัวสะท้อนแสง โดยในการวางจะต้องตั้งฉากกับพื้นผิวระนาบของแผ่นวัดองศา และต้องมีความเที่ยงตรงการสร้างจะมี 2 ส่วน คือส่วนของกระจกเงากับส่วนของแท่งยึดกระจกเงา ซึ่งทำจากพลาสติกอะครีลิกโดยตัดกระจกเงาให้มีขนาดกว้าง 18 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตร และตัดแท่งพลาสติกอะครีลิกให้มีขนาด ดังรูปที่ 3.50 จากนั้นทำการติดแผ่นกระจกเข้ากับด้านหนึ่งของแท่งพลาสติกด้วยกาวยาง



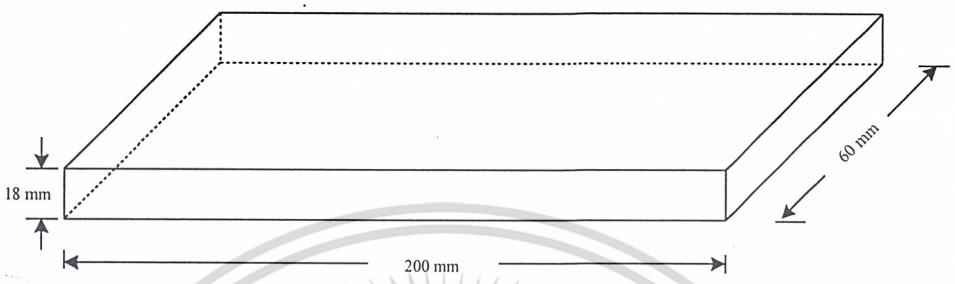
รูปที่ 3.50 อุปกรณ์ที่ใช้สะท้อนแสงจากอุปกรณ์กำเนิดแสง

9) อุปกรณ์ในการทดลองเรื่องการหักเหของแสง

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเรื่องการหักเหของแสงเพื่อพิสูจน์ทฤษฎีที่กล่าวว่าเมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปสู่อีกตัวกลางหนึ่ง ซึ่งมีดัชนีการการหักเหแตกต่างกันแสงจะเกิดการหักเห โดยในการทดลองจะให้แสงเดินทางจากอากาศซึ่งมีดัชนีการหักเหเท่ากับ 1 ผ่านเข้าสู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แท่งอะครีลิกใส ซึ่งมีค่าดัชนีการหักเหไม่เท่ากับอากาศแล้วสังเกตุการหักเหของลำแสงเมื่อป้อนแสงที่มุมแตกต่างกัน การสร้างจะทำโดยตัดแท่งพลาสติกอะครีลิกใสให้มีขนาด ดังรูปที่ 3.51



รูปที่ 3.51 แท่งพลาสติกอะครีลิกใส

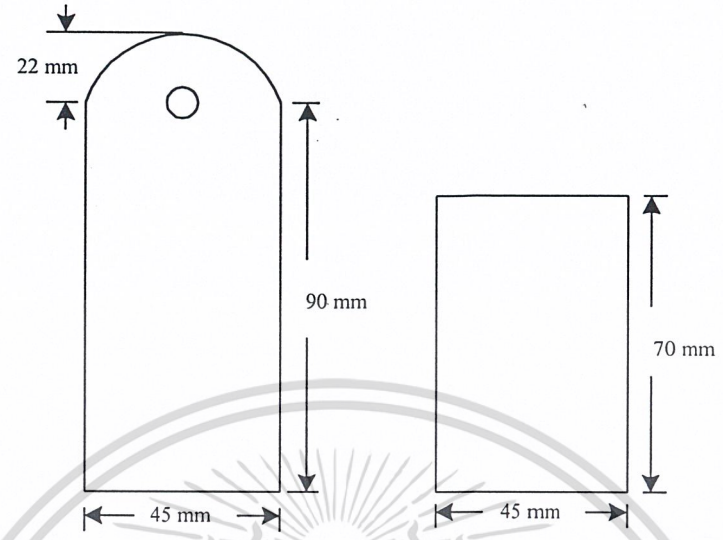
จากนั้นขัดแท่งพลาสติกอะครีลิกใสด้วยกระดาษทรายเบอร์ต่างๆ ตามลำดับ ดังนี้ 200, 400, 800, 1000 และ1200 โดยขัดทุกด้านให้เรียบและได้ฉาก การขัดให้วางกระดาษทรายบนพื้นกระจก และนำแท่งพลาสติกอะครีลิกใสลงไปขัด เมื่อขัดทุกด้านเรียบแล้วให้ใช้ผ้าชาร์มัวสังเคราะห์ชุบน้ำยาขัดกระจกเงารถยนต์ขัดให้ทั่วทุกด้านจนเงา และใส

3.9.2 อุปกรณ์ช่วยในการทดลองใบงานที่ 3 เรื่องการสูญเสียจากการโค้งงอเส้นใยนำแสง

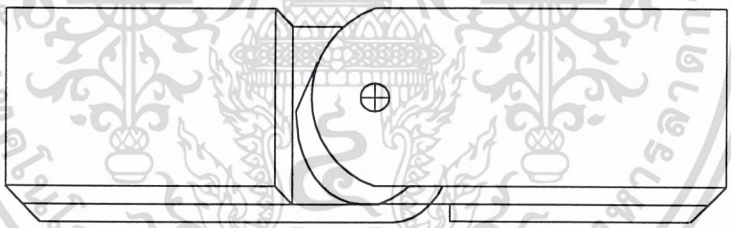
เป็นการทดลองเพื่อดูค่าการสูญเสียของสัญญาณจากการโค้งงอเส้นใยนำแสงที่มุมในการโค้งงอแตกต่างกันโดยเริ่มจากมุม 0 องศา และเพิ่มมุมขึ้นเรื่อยๆ หลักในการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้จะต้องให้เส้นใยนำแสงเกิดการโค้งงอที่มุมต่างๆ กันในการทดลองแต่ละครั้งมีค่ามุมที่เท่ากันทุกครั้งเพื่อผลการทดลองที่เที่ยงตรง โดยจะออกแบบให้วางเส้นใยนำแสงในร่องที่มีความกว้างพอดีกับเส้นใยนำแสงชนิดไม่มีเปลือกหุ้ม และมีระยะทางของความยาวค่าหนึ่งโดยกึ่งกลางของระยะทางจะเป็นจุดหมุน ซึ่งจะทำให้เส้นใยนำแสงเกิดการโค้งงอที่มุมต่างๆ ตามที่เราปรับได้ซึ่งจะได้ค่าการสูญเสียที่แตกต่างกันในแต่ละมุม การสร้างจะสร้างจากแผ่นพลาสติกอะครีลิกใสที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร 1.5 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร ตามลำดับโดยตัดพลาสติกอะครีลิกใสตามขนาดดังรูป และเจาะรูขนาด 3 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.52 จากนั้นประกอบเข้าด้วยกันดังรูปที่ 3.53

ตัดแผ่นพลาสติกที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร จำนวน 4 แผ่น ดังรูปที่ 3.54 นำแผ่นพลาสติกทั้ง 4 แผ่นติดลงบนฐานที่ได้ประกอบได้โดยเว้นช่องว่างสำหรับเส้นใยนำแสง 1.5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.55

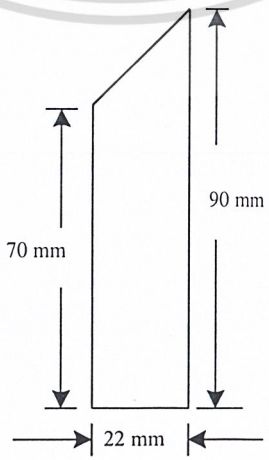
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.52 แผ่นพลาสติกอะคริลิกใส

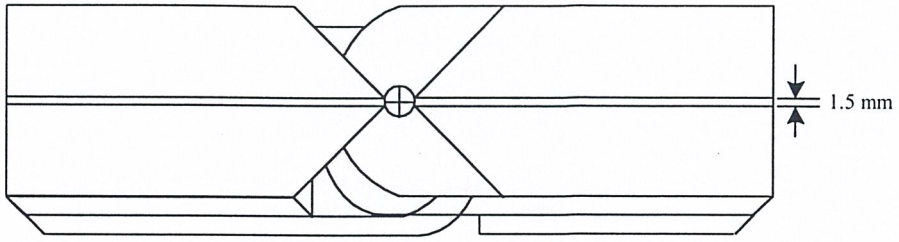


รูปที่ 3.53 ลักษณะการประกอบชิ้นงาน



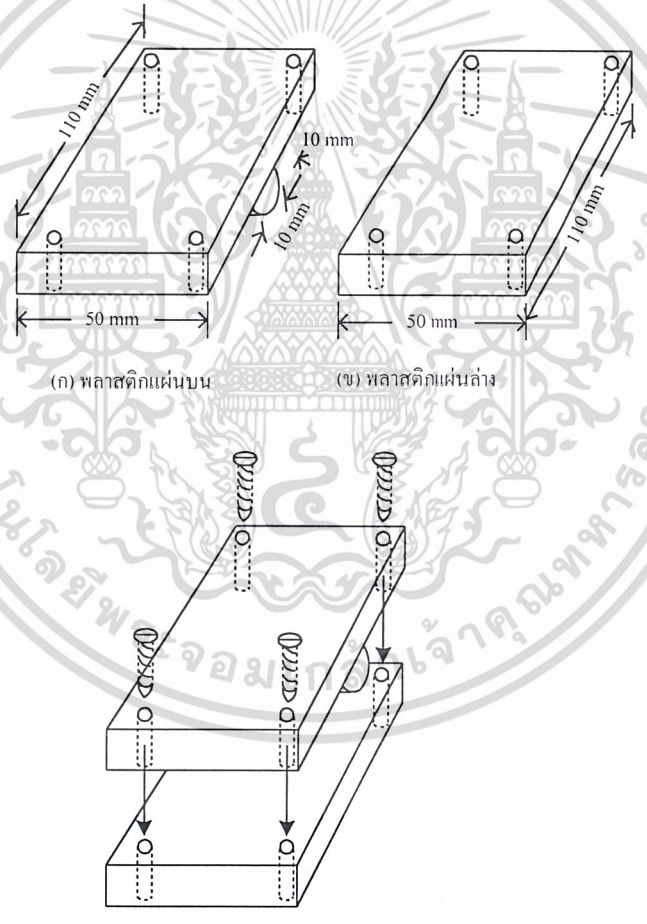
รูปที่ 3.54 แผ่นพลาสติกสีขาวหนา 1.5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.55 อุปกรณ์ช่วยในเรื่องการสูญเสียของเส้นใยนำแสงจากการโค้งงอ

3.9.3 อุปกรณ์ช่วยในการทดลองใบงานที่ 3 เรื่องการสูญเสียจากการกดทับเส้นใยนำแสง



รูปที่ 3.56 อุปกรณ์ช่วยในการทดลองเรื่อง การสูญเสียเนื่องจากแรงที่กดทับเส้นใยนำแสง

อุปกรณ์กดทับเส้นใยนำแสงมีลักษณะการกดทับที่ตัวเส้นใยนำแสงเพียงจุดเดียวเท่านั้น โดยอุปกรณ์กดทับสร้างมาจากแผ่นพลาสติก 2 แผ่นประกบกัน แผ่นบนมีลักษณะนูนตรงกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อใช้ในการกดทับ พลาสติกแผ่นล่างเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความกว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 110 มิลลิเมตร และหนา 20 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.66 โดยในการทดลองจะสอดเส้นใยนำแสงเข้าไปตรงกลางระหว่างแท่งพลาสติกทั้งสองแท่ง จากนั้นจะใช้แท่งน้ำหนักที่มีน้ำหนักต่างกัน ในการกดทับเพื่อดูว่าน้ำหนักที่กดทับแต่ละค่าจะทำให้เส้นใยนำแสงเกิดการสูญเสียเท่าใด ซึ่งการทดลองแต่ละครั้งจะให้ค่าการทดลองที่เท่ากันเนื่องจากน้ำหนักที่กดทับแต่ละแท่งมีน้ำหนักที่คงที่ ตลอดจนมุมของวัสดุที่ใช้กดทับก็มีมุมเท่ากันทุกครั้งที่ทดลอง

3.10 การออกแบบใบงานการทดลอง

การออกแบบใบงานการทดลองนั้น จัดทำขึ้นโดยพิจารณาจากสังเขปรายวิชาในวิชาการสื่อสารเส้นใยนำแสง ซึ่งจัดทำขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับสังเขปรายวิชาและเนื้อหาในตำราเรียน แบ่งการทดลองออกเป็น 7 ใบงานดังนี้

1) ใบงานที่ 1 การหักเห การสะท้อน และการเดินทางเป็นเส้นตรงของแสงการเดินทางของแสงในตัวกลาง เป็นใบงานที่จัดทำขึ้นเพื่อให้นักศึกษาสามรถอธิบายการเดินทาง การหักเห และการสะท้อนของแสง นักศึกษายังสามารถวัด มุมตกกระทบ และมุมสะท้อนของลำแสง สามารถวัดมุมหักเหของลำแสงเมื่อแสงเดินทางผ่านแท่งพลาสติกได้ รวมทั้งสามารถอธิบายการเดินทางของแสงในตัวกลาง และคำนวณหาค่าดัชนีการหักเหของแท่งพลาสติกได้

2) ใบงานที่ 2 คุณสมบัติของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก ใบงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายโครงสร้างของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก คำนวณหาค่ากำลังงานอินพุตของเส้นใยนำแสงและกำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสง วัดการสูญเสียของเส้นใยนำแสงด้วยวิธีการ Cut Back และการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงทางกลไกโดยใช้ท่อ พร้อมทั้งคำนวณหาค่าการสูญเสียจากเชื่อมต่อ

3) ใบงานที่ 3 การสูญเสียเนื่องจากการโค้งงอของเส้นใยนำแสง และการสูญเสียเนื่องจากการกดทับ ใบงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายการสูญเสียของเส้นใยนำแสงเนื่องจากการกดทับ การสูญเสียของเส้นใยนำแสงเนื่องจากกการโค้งงอ วัดและคำนวณหาค่าการสูญเสียเนื่องจากการโค้งงอ การสูญเสียจากการกดทับของเส้นใยนำแสง พร้อมทั้งเปรียบเทียบการสูญเสียทั้งสองทั้งสอง

4) ใบงานที่ 4 การส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ผ่านเส้นใยนำแสง ใบงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ผ่านเส้นใยนำแสง อธิบายหลักการเปลี่ยนสัญญาณรูปคลื่นไซน์เป็นสัญญาณแสง และสัญญาณแสงเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ วัดสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปคลื่นไซน์ทางด้านเอาต์พุตของภาคส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของภาครับ วัดและอธิบายการขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นไซน์

5) ใบงานที่ 5 การส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง ใบงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง อธิบายการเปลี่ยนสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเป็นสัญญาณแสง การเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม อธิบายข้อแตกต่างของการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง การเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าของสัญญาณรูปคลื่นไซน์กับสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม วัดสัญญาณเอาต์พุตของภาคส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของภาครับ วัดและอธิบายการขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นสีเหลี่ยม

6) ใบงานที่ 6 การส่งสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง ใบงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการส่งสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสงอธิบายหลักการเปลี่ยนสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมเป็นสัญญาณแสง การเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม อธิบายข้อแตกต่างกากรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงและการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าของรูปคลื่นไซน์ สามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยม วัดสัญญาณเอาต์พุตของภาคส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของภาครับ วัดและอธิบายการขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม

7) ใบงานที่ 7 การส่งสัญญาณดิจิตอลผ่านเส้นใยนำแสง ใบงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการส่งสัญญาณดิจิตอลผ่านเส้นใยนำแสง อธิบายหลักการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแสง วัดสัญญาณเอาต์พุตของภาคส่งเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของภาครับ วัดและอธิบายการขยายกว้างออกของสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

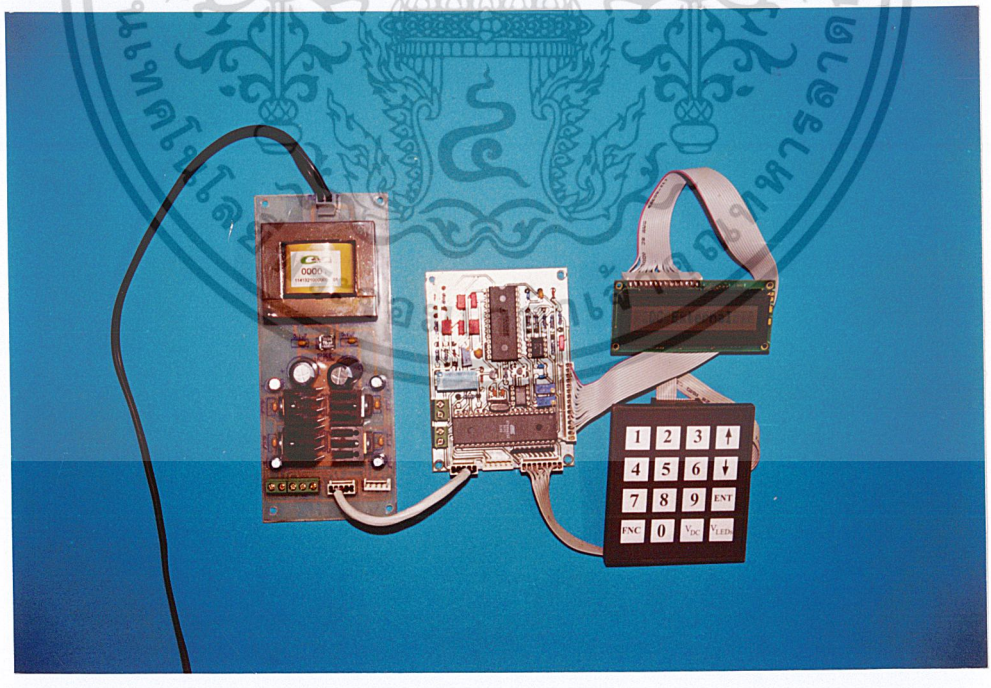
4.1 กล่าวนำ

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 เกี่ยวกับการสร้าง และการออกแบบ ทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์ ด้านซอฟต์แวร์ และการออกแบบใบงาน ในบทนี้จะเป็นการทดลอง และผลการทดลองตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ว่าสามารถทำงานถูกต้องหรือไม่ โดยมีขั้นตอนการทดลอง และผลการทดลองดังนี้

4.2 ภาคส่ง

4.2.1 วงจรแสดงผลและสวิตช์เมตริกซ์

1) **การทดลอง** ต่อวงจรตามรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรแสดงผลและสวิตช์เมตริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อจ่ายไฟให้แก่วงจรในรูปที่ 4.1 จอแสดงผลแบบผลึกเหลวจะแสดงข้อความ “Optical fiber transmission system demonstrating set”, “Produced by telecom 22” และ“Select Input” ตามลำดับ เมื่อกดสวิตช์ FNC จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ “External DC” ทำการกดสวิตช์ ↑ หนึ่งครั้ง จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ “Internal DC” และทำการกดสวิตช์ ENT เพื่อเข้าสู่การส่งสัญญาณที่เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงจากเครื่องส่ง จอแสดงผลแบบผลึกเหลวจะแสดงข้อความ “Internal DC” ในลักษณะกระพริบ 3 ครั้ง จากนั้นจะแสดงข้อความ “00 mA 0.0000 V” โดยทางซ้ายมือของจอแสดงผลจะแสดงแรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสง เมื่อต้องการเปลี่ยนสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้แก่ภาคขับสัญญาณสามารถทำได้โดยกดสวิตช์ FNC จอแสดงผลแบบผลึกเหลวจะแสดงข้อความ “Select Input” จากนั้นทำการกดสวิตช์ FNC อีกครั้งหนึ่ง โดยจอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ “External DC” ถ้าต้องการสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายภายนอก ก็ทำการกดสวิตช์ ENT เพื่อเข้าสู่การทำงาน แต่ถ้าต้องการสัญญาณอินพุตอื่นๆ (External AC, External DC และ External Digital) ต้องทำการกดสวิตช์ ↑ และ ↓ เมื่อเลือกได้แล้วก็ทำการกดสวิตช์ ENT จะทำให้จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความที่เป็นชื่อของสัญญาณอินพุตที่เลือกในลักษณะกระพริบ 3 ครั้ง และจะค้างไว้เช่นนั้นตลอดจนกว่าจะมีการเปลี่ยนสัญญาณอินพุตให้แก่ภาคขับสัญญาณใหม่ ส่วนสวิตช์ V_{DC} จะใช้เมื่อต้องการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายภายนอก และสวิตช์ V_{LEDs} จะใช้วัดแรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสง โดยสวิตช์ทั้งสองตัวนี้จะใช้เมื่อเลือกสัญญาณอินพุตเป็น “External DC” เท่านั้น

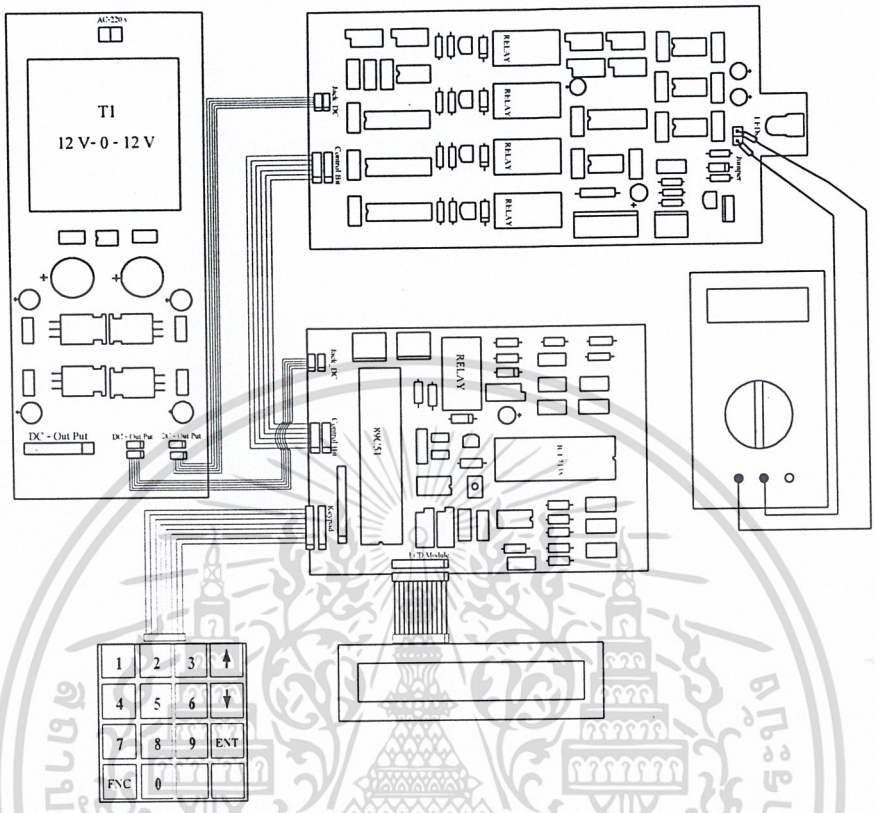
2) ผลการทดลอง ผลการทดลองที่ได้แสดงว่า สวิตช์เมตริกซ์สามารถส่งค่าที่ทำการกดให้กับตัวประมวลผลได้อย่างถูกต้องทำให้ตัวประมวลผลสามารถส่งค่าหรือ เขียนค่าไปให้จอแสดงผลแบบผลึกเหลวได้อย่างถูกต้องเช่นกัน แสดงดังรูปที่ 4.1

4.2.2 วงรสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง

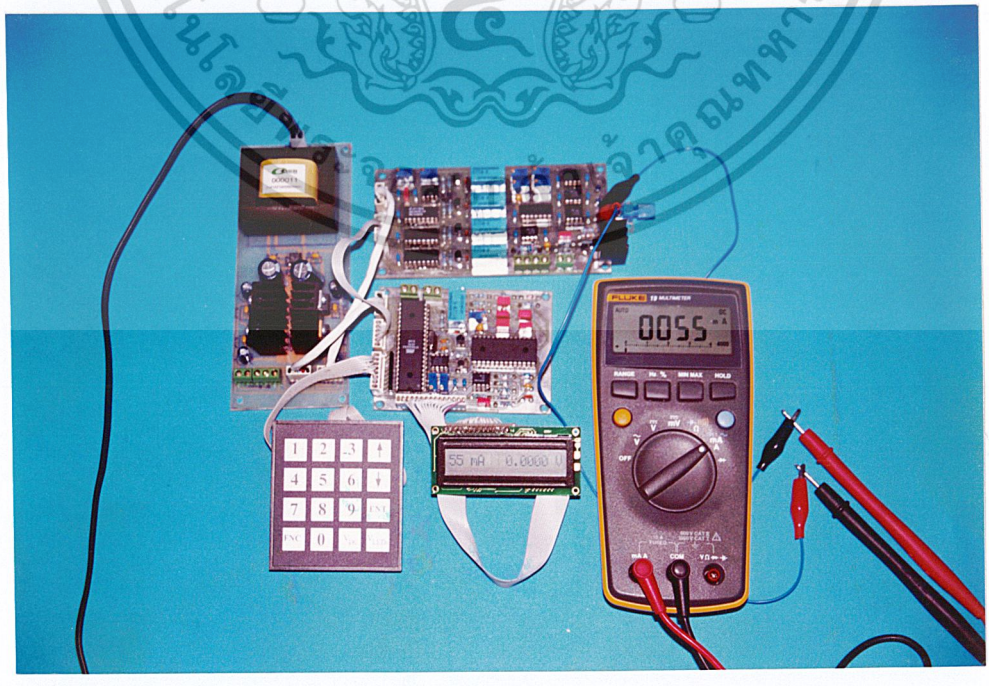
1) การทดลอง ต่อวงจรตามรูปที่ 4.2 เมื่อจ่ายไฟให้แก่วงจรตั้งค่าให้กระแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสง 55 มิลลิแอมป์ เมื่อทำการใช้ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์วัดที่จัมเปอร์กระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงจะได้ค่า 55 มิลลิแอมป์ตรงกับที่วงจรสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงสร้างขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.3

2) ผลการทดลอง จากผลการทดลองนั้นแสดงให้เห็นว่าวงจรสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงนี้สามารถสร้างกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงได้ตรงกับที่กดสวิตช์เมตริกซ์ส่งไป แสดงว่าตัวประมวลผลรับค่าจากสวิตช์เมตริกซ์และสามารถประมวลผลได้อย่างถูกต้อง แต่ถ้ากดสวิตช์เมตริกซ์ให้ค่ากระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงมีค่าเกิน 55 มิลลิแอมป์ วงจรสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงจะไม่ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 วงจรสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง

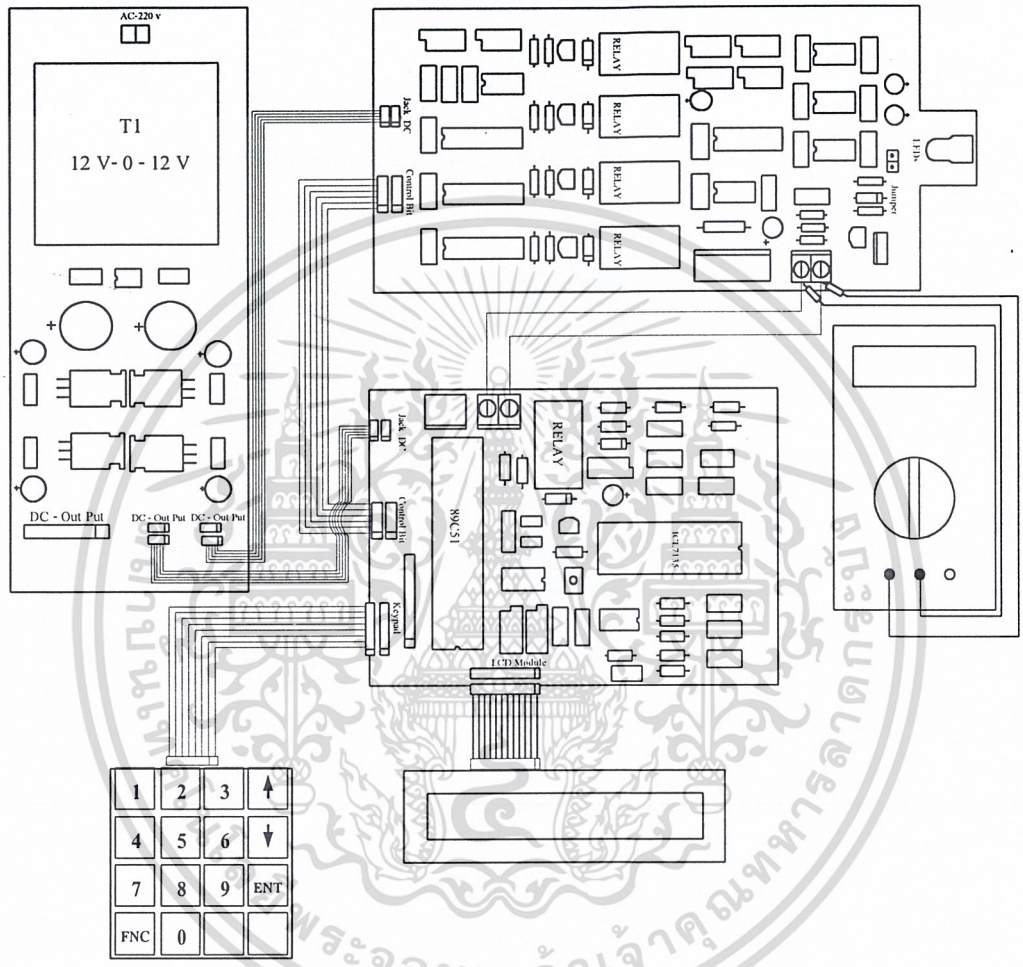


รูปที่ 4.3 กระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 วงจรมิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

1) การทดลอง ต่อวงจรตามรูปที่ 4.4

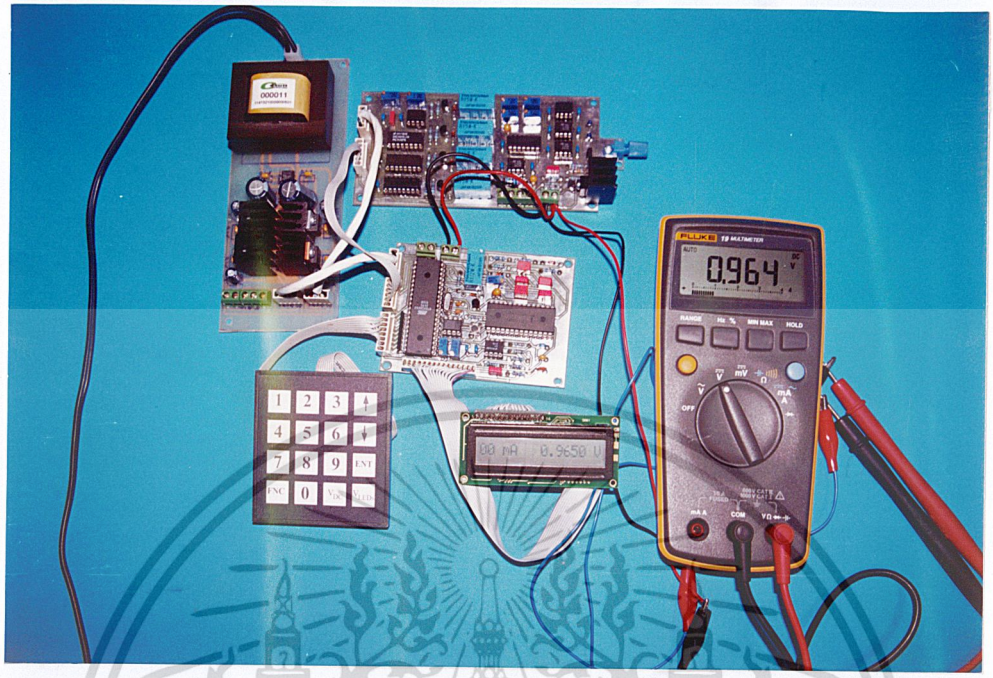


รูปที่ 4.4 วงจรมิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

ป้อนกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสง 0 มิลลิแอมป์ ใช้ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสงได้ 0.964 โวลต์ จากนั้นทำการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสงผ่านวงจรมิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่แสดงบนจอแสดงผลแบบผลึกเหลว แสดงดังรูปที่ 4.5

เมื่อเปลี่ยนค่ากระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงไปเรื่อยๆ ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสงที่วัดผ่านดิจิตอลโวลต์มิเตอร์จะมีค่าเท่ากันโดยประมาณกับค่าแรงดันที่แสดงบนจอแสดงผลแบบผลึกเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสง

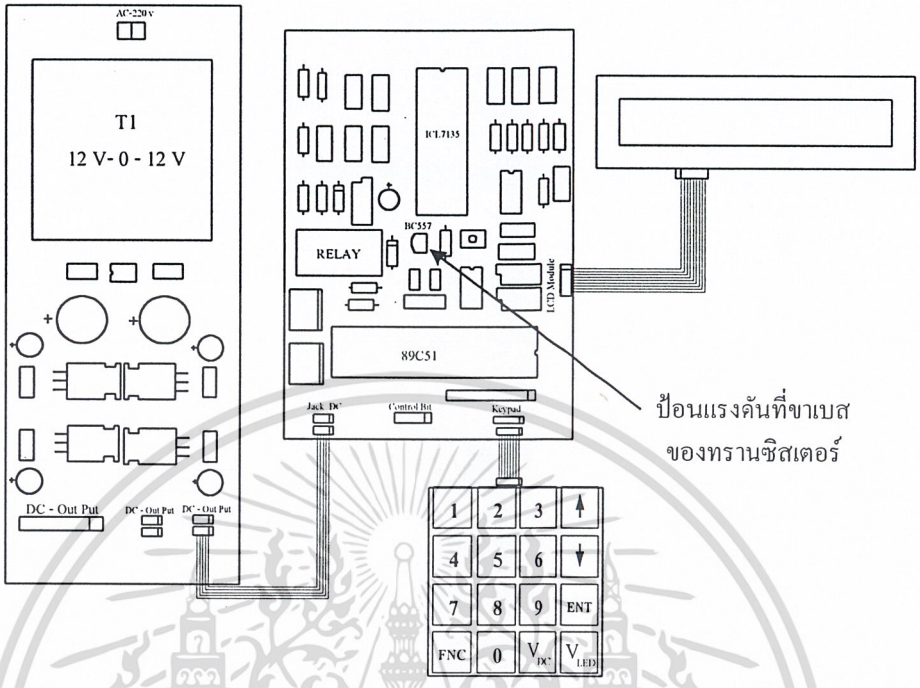
2) ผลการทดลอง จากผลการทดลองแสดงว่าวงจรที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ใกล้เคียงกับดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ที่มีขายอยู่ในท้องตลาด

4.2.4 วงจรเลือกวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

1) การทดลอง ต่อวงจรตามรูปที่ 4.6 จ่ายไฟให้แก่วงจรป้อนแรงดัน 5 โวลต์ที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ รีเลย์จะทำการเชื่อมต่อไปที่ แหล่งจ่ายแรงดัน 12 โวลต์ วัดแรงดันตกคร่อมได้ 1.2 โวลต์ ป้อนแรงดันที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ 0 โวลต์ รีเลย์จะทำการเชื่อมต่อไปที่แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ (External DC) วัดแรงดันตกคร่อม VR_3 ได้ 0.5 โวลต์

2) ผลการทดลอง จากการทดลองแสดงว่า วงจรนี้สามารถเลือกวัดสัญญาณโดยป้อนลอจิก “0” (0 โวลต์) เพื่อเลือกวัดแรงดันจากภายนอก และป้อนลอจิก “1” (5 โวลต์) เพื่อวัดแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสง โดยใช้รีเลย์เป็นตัวตัดต่อ

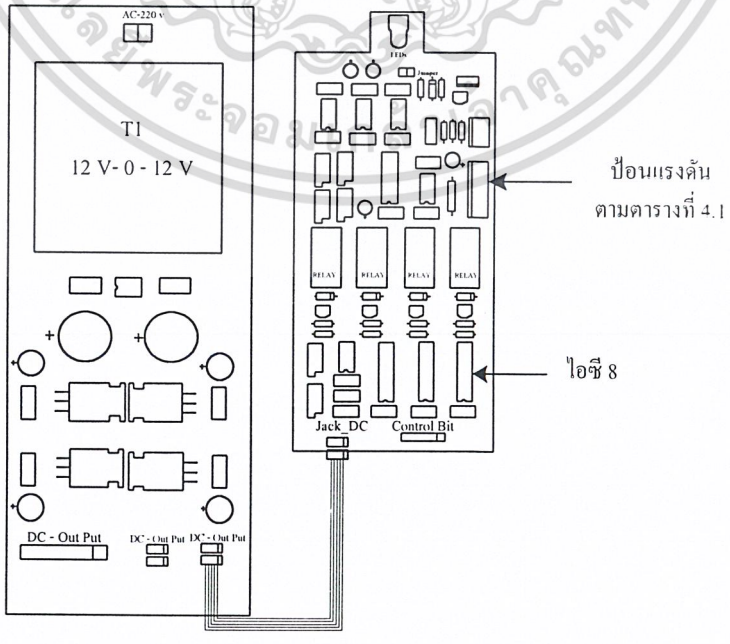
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 วงจรเลือกวัดสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง

4.2.5 วงจรเลือกสัญญาณอินพุต

1) **การทดลอง** ประกอบวงจรตามรูปที่ 4.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 วงจรเลือกสัญญาณอินพุต

จ่ายไฟให้แก่วงจร ป้อนแรงดันที่จุด External DC (EX/DC) ค่า 1.5 โวลต์ แรงดันที่จุด External AC (EX/AC) ค่า 1.5 โวลต์ และป้อนแรงดันที่จุด Internal DC (IN/DC) ค่า 1.5 โวลต์ป้อนแรงดันที่จุด External TTL (EX/TTL) ค่า 1.5 โวลต์ ป้อนลอจิกที่ขา 15, 14, 13 ของไอซี 8 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 การทำงานของวงจรเลือกรับสัญญาณอินพุต

ลอจิกที่ป้อนให้ขาของไอซี 8			แรงดันที่จุด Vin (โวลต์)			
ขา15	ขา14	ขา13	EX/DC	EX/AC	IN/DC	EX/TTL
0	0	0	1.5	0	0	0
0	0	1	0	1.5	0	0
0	1	0	0	0	1.5	0
0	1	1	0	0	0	1.5

2) ผลการทดลอง

จากการทดลองแสดงว่า สามารถเลือกรับสัญญาณอินพุตได้ตามลอจิกที่ป้อนให้ขาของไอซี 8 ตามตารางที่ 4.1

4.2.6 วงจรบัฟเฟอร์

1) วงจรบัฟเฟอร์สัญญาณดิจิตอล

1.1) การทดลอง จ่ายไฟให้แก่วงจร ป้อนสัญญาณลอจิกให้กับอินพุต (ขา 1 ของไอซี 9) และสังเกตว่าสัญญาณทางทางด้านเอาต์พุต (ขา 4 ของไอซี 9) เป็นไป ดังตารางที่ 4.2 หรือไม่

ตารางที่ 4.2 การทำงานของวงจรบัฟเฟอร์

อินพุต	เอาต์พุต
0	0
1	1

1.2) ผลการทดลอง จากการทดลองแสดงว่า วงจรสามารถทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์สัญญาณดิจิตอลได้เนื่องจากลอจิกของสัญญาณเอาต์พุตเป็นดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) วงจรบัฟเฟอร์สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอก

2.1) การทดลอง ทดลองจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจร และทดลองป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงค่าต่างๆ เข้าที่จุด DC Input (ขา 2 ของไอซี 10) วัดค่าแรงดันที่จุด DC Output (ขากลางของ VR_3) จะต้องได้ระดับแรงดันเท่ากับแรงดันที่ป้อนให้กับจุด DC Iinput ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การทำงานของวงจรบัฟเฟอร์สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอก

แรงดันที่จุด DC Input (โวลต์)	แรงดันที่จุด DC Output (โวลต์)
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4

2.2) ผลการทดลอง จากการทดลองปรากฏว่า วงจรสามารถใช้เป็นวงจรบัฟเฟอร์สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกได้ เนื่องจากแรงดัน DC Output มีค่าดังตารางที่ 4.3

3) วงจรบัฟเฟอร์สัญญาณแอนะลอกจากภายนอก

3.1) การทดลอง ทดลองจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรและทดลองป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ แอมปลิจูด 3 Vp-p จากฟังก์ชั่นเจนเนอร์เรเตอร์ เข้าทางจุด Analog Input (ขา 2 ของไอซี 11) ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่จุดต่างๆ โดยแชนแนล 1 วัดที่จุด Analog Input และแชนแนล 2 วัดที่จุด Analog Output (ขากลางของ VR_9) สัญญาณที่ได้จากการวัดนี้ทั้งสองจุดต้องมีรูปสัญญาณเหมือนกัน แต่สัญญาณที่จุด Analog Output 1 จะลอยอยู่บนระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงค่าหนึ่ง ทดลองปรับ VR_8 ไปทางซ้ายและขวาจนสุดสัญญาณที่จุด Analog Output จะต้องมีการเลื่อนขึ้นลงจากระดับ 0 โวลต์ จนถึง 5 โวลต์ ทดลองป้อนสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ แอมปลิจูด 3 Vp-p เข้าที่จุด Analog Input จะต้องได้สัญญาณจากจุด Analog Output เหมือนกับการทดลองการป้อนสัญญาณ รูปคลื่นไซน์ทุกประการ

3.2) ผลการทดลอง จากการทดลองปรากฏว่าวงจรสามารถใช้เป็นวงจรบัฟเฟอร์สัญญาณแอนะลอกจากภายนอกได้เนื่องจากสัญญาณแอนะลอกที่ที่ได้จากจุด Analog Output มีลักษณะลอยอยู่บนระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงตามที่ต้องการ

เอกสารนี้มีไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 วงจรขับสัญญาณ

1) การทดลอง ทดลองจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจร ป้อนสัญญาณแรงดันไฟตรงเข้าทางจุด Vin (ขา 2 ของไอซี 13) ตามค่าต่างๆ ดังตารางที่ 4.4 ในการป้อนแรงดันแต่ละค่าจะต้องจะต้องใช้เวลาประมาณ 5 นาที เพื่อสังเกตว่าเมื่อเกิดความร้อนขึ้นกับอุปกรณ์กำเนิดแสงและวงจรขับสัญญาณ ค่ากระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงต้องมีค่าคงที่ดังตารางที่ 4.4

2) ผลการทดลอง จากการทดลองปรากฏว่าวงจรขับสัญญาณสามารถใช้งานได้เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงแต่ละระดับแรงดันมีค่าคงที่ตลอดเวลาดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับจุด Vin

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้จุดVin (โวลต์)	กระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสง (มิลลิแอมป์)
0	0
0.4	5
0.8	10
1.2	15
1.6	20
2.0	25
2.4	30
2.8	35
3.2	40
3.6	45
4.0	50
4.4	55

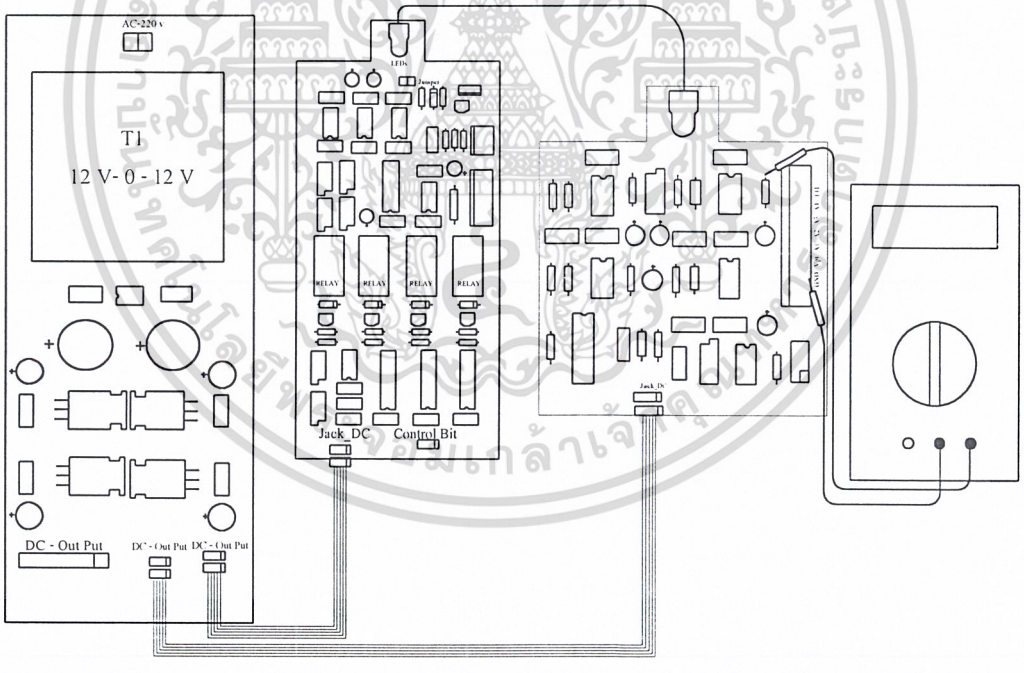
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ภาครับ

4.3.1 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า

1) การทดลอง ประกอบวงจรตามรูปที่ 4.8 ทดลองจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรต่อเส้นใยนำแสงจากเครื่องส่งเข้าที่จุดต่อที่หัวต่อ Photo Diode Detector โดยยังไม่ต้องส่งสัญญาณจากภาคส่งใช้โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันตกคร่อม RL จะต้องมีแรงดันตกคร่อมประมาณ 0 โวลต์ จากนั้นทดลองป้อนสัญญาณให้กับทางภาคส่งให้อุปกรณ์กำเนิดแสงทำงาน ใช้โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันตกคร่อม RL จะต้องมีค่าแรงดันตกคร่อมเพิ่มขึ้นซึ่งแปรผันตรงกับสัญญาณที่ป้อนให้กับอุปกรณ์กำเนิดแสง กล่าวคือ ถ้าสัญญาณแสงจากภาคส่งมีความสว่างมากแรงดันตกคร่อม RL ก็จะมาก และถ้าสัญญาณแสงจากภาคส่งมีความสว่างน้อย แรงดันตกคร่อม RL ก็จะมีค่าน้อย

2) ผลการทดลอง จากการทดลองวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าสามารถใช้งานได้เนื่องจากแรงดันตกคร่อม RL แปรผันตรงกับแสงที่ตกกระทบกับตัว Photo Diode Detecto



รูปที่ 4.8 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 วงจรขยายสัญญาณ

1) การทดลอง ทดลองจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรจากนั้นป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 1 mVp-p เข้าที่จุด Signal Input (ขา 2 ของไอซี 3) ใช้ออสซิลโลสโคป วัดสัญญาณที่ขา 7 ของไอซี 6 จะต้องได้สัญญาณรูปคลื่นไซน์ ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ มีขนาด 5 Vp-p โดยรูปสัญญาณต้องไม่ผิดเพี้ยน ในส่วนของสัญญาณสามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยม ก็จะต้องได้สัญญาณเหมือนสัญญาณที่เหมือนกับสัญญาณอินพุต แต่จะมีแอมปลิจูดสูงกว่า

2) ผลการทดลอง วงจรขยายสัญญาณใช้งานได้เนื่องจากสามารถขยายสัญญาณจากอินพุตที่ป้อนให้ได้ไม่แกิดการผิดพี้ยน

4.3.3 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

1) การทดลอง ทดลองจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงให้กับวงจร วัดแรงดันที่ขา 3 ของไอซี 7 และปรับ VR_4 ให้แรงดันที่ขา 3 ของไอซี 7 มีค่า +1 โวลต์ ทดลองป้อนสัญญาณแอนะลอกเข้าที่ขา 2 ของไอซี 7 ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่ขา 2 ของไอซี 7 เปรียบเทียบกับขา 7 ซึ่งจะสังเกตได้ว่าสัญญาณที่ขา 7 จะมีระดับแรงดันอยู่ 2 ค่า คือ 0 โวลต์ และ 5 โวลต์ โดยมีจุดตัดอยู่ที่ระดับแรงดัน +1 โวลต์ กล่าวคือ ถ้าสัญญาณแอนะลอกอยู่ในช่วงที่ไม่ถึง 1 โวลต์ เอาต์พุตจะอยู่ในสภาวะลอจิก 0 หรือ 0 โวลต์ และถ้าสัญญาณอินพุตมีค่าเท่ากับ หรือมากกว่า 1 โวลต์ เอาต์พุตจะอยู่ในสภาวะ ลอจิก 1 หรือ 5 โวลต์

2) ผลการทดลอง จากการทดลองปรากฏว่าวงจรเปรียบเทียบแรงดันสามารถใช้งานได้เนื่องจากเอาต์พุตของวงจรมี 2 สภาวะ คือ 0 และ 1 โดยสัญญาณอินพุตที่ต่ำกว่า 1โวลต์ จะไม่มีสัญญาณออกที่เอาต์พุต และเมื่อสัญญาณอินพุตมีค่าเท่ากับ หรือมากกว่า 1 โวลต์ เอาต์พุตจะอยู่ในสภาวะลอจิก 1 หรือ 5 โวลต์

4.3.4 วงจรสร้างสัญญาณดิจิตอล

1) การทดลอง ทดลองทดลองจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงให้กับวงจร ป้อนแรงดันเข้าที่จุดอินพุต หรือขา 1 ของไอซี 8 และทดลองวัดค่าแรงดันที่จุด TTL Output หรือขา 4 ของไอซี 8 โดยถ้าป้อนแรงดัน 0 โวลต์ที่จุดอินพุตจะต้องมีสัญญาณออกที่จุด TTL Output มีค่า 0 โวลต์ จากนั้นทดลองป้อนแรงดันค่า 5 โวลต์ เข้าที่จุดอินพุต และวัดค่าแรงดันที่จุด TTL Output จะต้องได้ค่าแรงดัน 5 โวลต์

2) ผลการทดลอง จากการทดลองปรากฏว่าวงจรสร้างสัญญาณดิจิตอลสามารถใช้งานได้เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตจะมีเพียง 2 สภาวะคือ 0 และ 5โวลต์ โดยเมื่อป้อนลอจิก 0 เข้าทางอินพุตที่จุดเอาต์พุตจะไม่มีสัญญาณออก และเมื่อป้อนลอจิก 1 เข้าทางอินพุตที่จุดเอาต์พุตจะมีสัญญาณออก 5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 อุปกรณ์ช่วยในการทดลอง

4.4.1 การทดลองใบงานที่ 1

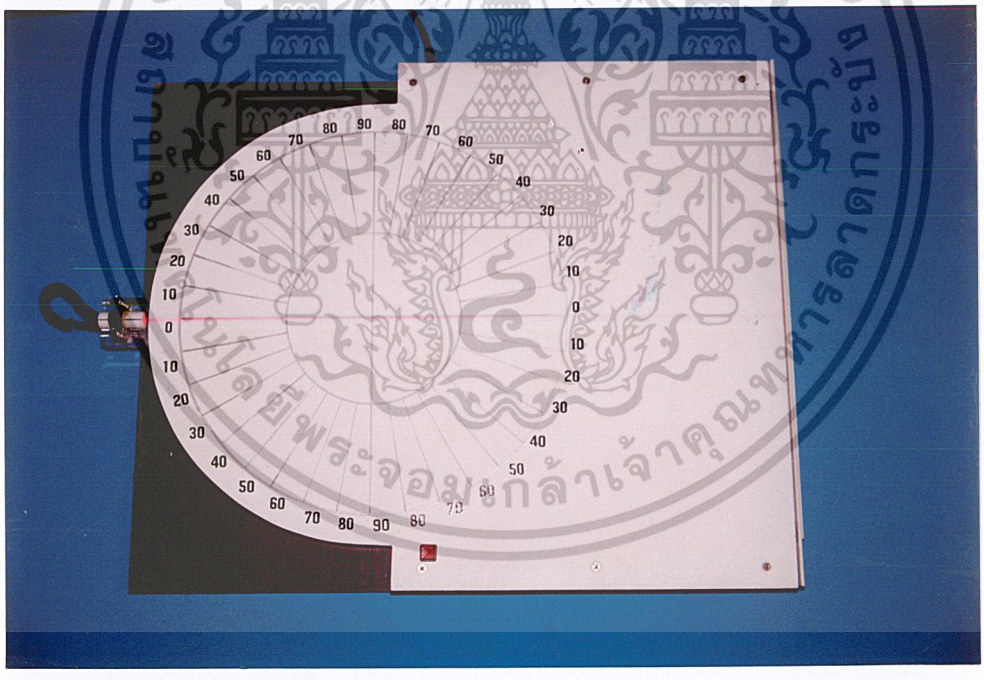
1) อุปกรณ์กำเนิดแสง

1.1) การทดลอง ทำการป้อนแรงดันให้แก่อุปกรณ์กำเนิดแสงค่า 4.3 โวลต์ สังเกตลำแสงที่ออกมาว่าเรียบขนานไปกับแผ่นระนาบหรือไม่

1.2) ผลการทดลองจากการทดลองแสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดจะขนานไปกับแผ่นระนาบองศาดังรูป 4.8

2) การหักเห

2.1) การทดลอง ทำการยิงแสงเลเซอร์จากแหล่งกำเนิดผ่านตัวกลางซึ่งเป็นพลาสติกโปร่งแสง สังเกตลำแสงที่ออกจากตัวกลางซึ่งเป็นพลาสติกโปร่งแสง



รูปที่ 4.9 ผลการทดลองการฉายแสง

2.2) ผลการทดลอง จากการทดลองแสงเลเซอร์ที่ออกจากตัวกลางจะเกิดการหักเหไปเพราะพลาสติกโปร่งแสงมีดัชนีการหักเหไม่เท่ากับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การสะท้อน

3.1) การทดลอง ทำการยิงแสงเลเซอร์จากแหล่งกำเนิดไปยังกระจกซึ่งวางอยู่ที่บริเวณตรงกลาง โดยป้อนมุมตกกระทบที่มีค่าต่างๆ เริ่มจาก 0 องศา จนถึง 90 องศา สังเกตลำแสงที่สะท้อนแผ่นกระจกซึ่งจะต้องมีมุมสะท้อนเท่ากับมุมตกกระทบ

3.2) ผลการทดลอง เมื่อทำการยิงแสงเลเซอร์ไปสะท้อนแผ่นกระจกที่ค่ามุมต่างๆ กัน ลำแสงที่ได้จะสะท้อนกระจกได้มุมตกกระทบที่มีค่าเท่ากัน

4.4.2 อุปกรณ์ช่วยในการทดลองที่ 3

1) อุปกรณ์ช่วยในการโค้งงอ

1.1) การทดลอง นำเส้นใยนำแสงชนิดไม่มีเปลือกหุ้มใส่เข้าไปในอุปกรณ์ช่วยในการโค้งงอ จากนั้นปรับมุมของอุปกรณ์ช่วยในการโค้งงอ โดยเริ่มจาก 0 องศาจนถึง 80 องศา ตามตาราง โดยเพิ่มครั้งละ 10 องศา แล้ววัดแรงดันด้านเอาต์พุตว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ ซึ่งตามปกติแล้วเมื่อเส้นใยนำแสงเกิดการโค้งงอทำให้เกิดการสูญเสียทางด้านเอาต์พุต

ตารางที่ 4.5 แรงดันตกคร่อมโหลดที่มุมโค้งงอต่างกัน

มุมโค้งงอ (องศา)	แรงดันตกคร่อมโหลด (มิลลิโวลต์)
0	0.174
10	0.174
20	0.173
30	0.172
40	0.169
50	0.163
60	0.158
70	0.152
80	0.146

1.2) ผลการทดลอง จากการทดลอง เอาต์พุตที่ได้จากการทดลองมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อปรับมุมของอุปกรณ์ช่วยในการโค้งงอให้เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) อุปกรณ์ช่วยในการกดทับ

2.1) การทดลอง นำเส้นใยนำแสงชนิดไม่มีเปลือกหุ้มใส่เข้าไปในอุปกรณ์ช่วยในการกดทับ จากนั้นนำแผ่นน้ำหนักตามตารางที่ 4.6 มาวางลงบนอุปกรณ์ช่วยในการกดทับ วัดค่าแรงดันด้านเอาต์พุตว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่

2.2) ผลการทดลอง เมื่อทำการเพิ่มค่าน้ำหนักที่กดทับเส้นใยนำแสง แรงดันทางด้านเอาต์พุตจะมีแรงดันตกคร่อมโหลดลดลง เนื่องจากมีน้ำหนักมากดทับ แสดงว่าน้ำหนักที่กดทับเส้นใยนำแสงมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันตกคร่อมโหลดด้านเอาต์พุต ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แรงดันตกคร่อมโหลดที่น้ำหนักกดทับค่าต่างๆ

น้ำหนักที่กดทับ (กิโลกรัม)	แรงดันตกคร่อมโหลด (มิลลิโวลต์)
0	0.172
3	0.170
6	0.169
9	0.167
12	0.162
15	0.157

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไขและพัฒนา

5.1 บทสรุป

ชุดทดลองระบบรับ-ส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสง สร้างขึ้นเพื่อใช้ศึกษาทฤษฎีและหลักการตลอดจนการนำไปใช้งานของระบบรับ-ส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสง ซึ่งเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการขาดแคลนชุดทดลอง และปัญหาชุดทดลองที่มีใช้ตามวิทยาลัยเทคนิคส่วนใหญ่มีราคาแพงและมีเนื้อหาไม่สอดคล้องกับบทเรียนที่เรียนในวิชาทฤษฎี

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าได้แก่ ทฤษฎีการเดินทางของแสง ทฤษฎีการทำงานของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ซึ่งได้นำหลักการต่างๆ ที่ได้ศึกษามา ตลอดจนการค้นคว้าเพิ่มเติมมาใช้ในการออกแบบชุดทดลองให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ได้วางไว้

หลักการที่ใช้ในการออกแบบชุดทดลองระบบรับ-ส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสง ได้แก่ การออกแบบชุดทดลองให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์ของวิชาเรียนโดยคำนึงถึงผู้เรียนซึ่งศึกษาอยู่ในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงเป็นหลัก ในการออกแบบโครงสร้างของชุดทดลอง ตลอดจนลำดับขั้นการทดลองจะออกแบบให้มีลักษณะที่ใช้งานง่าย สะดวกในการจัดเก็บ เคลื่อนย้าย และเมื่อทดลองแล้วทำให้เข้าใจในส่วนของทฤษฎีเพิ่มขึ้น

จากการทดลองใช้งานชุดทดลองระบบรับ-ส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสง พบว่าสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ และขีดความสามารถที่ได้วางไว้ อยู่ในระดับที่น่าพอใจเนื่องจากการทดลองทำให้เห็นลักษณะการเดินทางของแสง การสูญเสียของสัญญาณจากการ โค้งงอ การกดทับเส้นใยนำแสงตลอดจนการส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ รูปคลื่นสี่เหลี่ยม รูปคลื่นสามเหลี่ยม และสัญญาณดิจิตอลจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ ทำให้เห็นการลดทอนต่างๆ การเกิดการขยายกว้างออก และการเลื่อนเฟสของสัญญาณ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี เหตุผลที่น่าพอใจอีกประการหนึ่ง คือ เป็นชุดทดลองที่มีราคาไม่สูงมากเมื่อเทียบกับการนำเข้าชุดทดลองจากต่างประเทศ และยังเป็นแนวทางที่จะพัฒนาชุดทดลองให้มีขีดความสามารถในการทดลองเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

5.2.1 ปัญหาทางด้านฮาร์ดแวร์

1) ปัญหา การหาซื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชุดทดลองระบบรับ-ส่งด้วยเส้นใยนำแสง เนื่องจากอุปกรณ์กำเนิดแสง อุปกรณ์รับแสง อุปกรณ์เชื่อมต่อเส้นใยนำแสง และเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่ไม่มีเปลือกหุ้ม ไม่มีขายในประเทศไทย

แนวทางแก้ไข ทำการสั่งซื้อมาจากต่างประเทศ

2) ปัญหา การทดลองใบงานที่ 1 มองไม่ค่อยเห็นแสงจากตัวอุปกรณ์กำเนิดแสง

แนวทางแก้ไข สร้างแหล่งจ่ายไฟจากภายนอกป้อนให้อุปกรณ์กำเนิดแสงเพื่อทำให้ได้แสงที่มีความเข้มสูงขึ้น และเวลาทำการทดลองต้องปิดไฟเพื่อจะได้เห็นแสงชัดเจนขึ้น

3) ปัญหา การจัดซื้อตัวกลางที่มีลักษณะโปร่งแสงไม่ได้

แนวทางแก้ไข ใช้แผ่นพลาสติกอะครีลิกใสที่มีความหนาประมาณ 20 มิลลิเมตร ตัดให้ได้ขนาด 60 มิลลิเมตร × 190 มิลลิเมตร ขัดด้านที่ตัดทุกด้านด้วยกระดาษทรายเบอร์ 240, 400, 800, 1,000 และ 1,200 ตามลำดับ เมื่อขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1,200 ให้ขัดจนพื้นผิวมีลักษณะเรียบ และไม่มีรอยขูดขีดใดๆ จากนั้นทาน้ำยาขัดเงารถยนต์ให้ทั่วทั้งแท่งพลาสติก ใช้ผ้าที่มีความนุ่มขัดจนผิวของแท่งพลาสติกใสมีความใสเช่นเดียวกับแก้ว

4) ปัญหา ในการทดลองใบงานที่ 1 เรื่องการเดินทางของแสง ถ้าหากจะให้เห็นลำแสงเลเซอร์ชัดเจนต้องใช้แป้งฝุ่นโรยบริเวณพื้นชุดทดลอง แต่ในการทำเป็นชุดทดลองจะทำให้ไม่สะดวกเนื่องจากการโรยแป้งแต่ละจุดจะไม่สม่ำเสมอ และต้องจัดหาแป้งในการโรย

แนวทางแก้ไข ใช้สีสเปรย์สีขาวสะท้อนแสง พ่นทับพื้นผิวของพื้นชุดทดลองทำให้มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นผิว อีกทั้งการยึดเกาะที่ถาวรโดยให้คุณสมบัติเช่นเดียวกับแป้งฝุ่น

5) ปัญหา การควบคุมการไหลของกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงให้มีความเที่ยงตรงทำได้ยาก เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์กำเนิดแสง หรืออุปกรณ์ข้างเคียง

แนวทางแก้ไข ออกแบบวงจรขับกระแสให้กับอุปกรณ์กำเนิดแสงเป็นวงจรที่มีการป้อนกลับแรงดัน ทำให้สามารถควบคุมกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงได้อย่างเที่ยงตรง

6) ปัญหา ค่าแรงดันที่อ่านได้จากดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ ที่สร้างขึ้นโดยใช้ไอซีเบอร์ ICL7135 ลักษณะตัวเลขที่แสดงผลจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางแก้ไข เขียนโปรแกรมสุ่มแรงดัน 10 ครั้ง และทำการหาค่าเฉลี่ยก่อนแสดงผล จะทำให้ตัวเลขที่แสดงผลคงที่มากขึ้น

7) ปัญหา กรณีที่ส่งสัญญาณแอนะลอก เมื่อทำการป้อนสัญญาณให้วงจรขับสัญญาณ ปรากฏว่าอุปกรณ์กำเนิดแสงจะทำการแปลงสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงเฉพาะสัญญาณซีกบวกเท่านั้น ทำให้เครื่องรับรับสัญญาณได้ไม่ครบถ้วน

แนวทางแก้ไข ออกแบบวงจรยกระดับสัญญาณให้อยู่ซีกบวกทั้งหมด เนื่องจากอุปกรณ์กำเนิดแสงจะทำงานเมื่อได้รับไบแอสตรงนั่นก็คือได้รับแรงดันซีกบวกเท่านั้น

8) ปัญหา วงจรอินพุตและเอาต์พุตที่ต่ออยู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์มีจำนวนบิตมาก จึงทำให้พอร์ตใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่เพียงพอ

แนวทางแก้ไข ใช้ไอซีเบอร์ 74HC595 เป็นตัวขยายพอร์ตการใช้งาน

9) ปัญหา การใช้สายไฟธรรมดาในการเชื่อมต่อจุดวัดสัญญาณจากแผ่นวงจรพิมพ์ไปยังจุดทดสอบบนเครื่องส่งหรือเครื่องรับ จะเกิดสัญญาณรบกวนขึ้นทำให้สัญญาณที่วัดได้เกิดการผิดพลาด

แนวทางแก้ไข ใช้สายไฟที่มีชีลด์ในการกันสัญญาณรบกวน ในการเชื่อมต่อสัญญาณ

10) ปัญหา การออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์แบบ 2 หน้า จะทำให้ตำแหน่งในการวางอุปกรณ์จะอยู่ใกล้ๆ กัน ทำให้เกิดการแพร่ของสนามไฟฟ้าจำนวนมาก ทำให้เกิดการรบกวนในการส่ง และรับสัญญาณ

แนวทางแก้ไข ออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ให้มีกราวด์เพลน ในด้านที่วางอุปกรณ์เพื่อดูดซับสนามไฟฟ้าที่แพร่ออกมาจากตัวอุปกรณ์

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

1) เพิ่มใบงานการทดลองในเรื่องการส่งสัญญาณเสียงผ่านเส้นใยนำแสง การส่งสัญญาณเสียงที่ผ่านการมอดูเลตทางความสูง (Amplitude Modulation : AM) ผ่านเส้นใยนำแสง การส่งสัญญาณมอดูเลตแบบความกว้างพัลซ์ (Pulse Width Modulation : PWM) ผ่านเส้นใยนำแสง การส่งสัญญาณเข้ารหัสพัลซ์ (Pulse Code Modulation : PCM) ผ่านเส้นใยนำแสง และการส่งสัญญาณมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (Time Division Multiplex : TDM) ผ่านเส้นใยนำแสง เพื่อให้สอดคล้องกับเนื้อหาของการทดลองในวิชาปฏิบัติระบบรับ-ส่งด้วยเส้นใยนำแสงระดับชั้น ปวส.ปีที่2 และทำให้เข้าใจทฤษฎีมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เลเซอร์ไดโอดที่ใช้ในการทดลองเรื่องการเดินทางของแสงการหักเห และการสะท้อนของแสงควรพัฒนาให้แสงมีความคมชัด และสามารถมองเห็นแสงในที่สว่างได้มากยิ่งขึ้น

3) อุปกรณ์กำเนิดแสงสำหรับการทดลองเรื่องการเดินทางเป็นเส้นตรงของแสง การหักเหของแสง และการสะท้อนของแสงควรใช้ระบบอัตโนมัติเพื่อปรับองศาจะได้ทำให้แม่นยำยิ่งขึ้น

4) การขัดเส้นใยนำแสงยังต้องสังเกตด้วยตาว่าหน้าสัมผัสเรียบหรือไม่ ซึ่งยังไม่มีวิธีสังเกตได้ดีกว่าวิธีนี้

5) การจ่ายกระแสให้กับอุปกรณ์กำเนิดแสงได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เข้ามาควบคุมในการจ่ายกระแสทำให้ได้ค่ากระแสที่คงที่และแม่นยำกว่าการปรับด้วยมือ

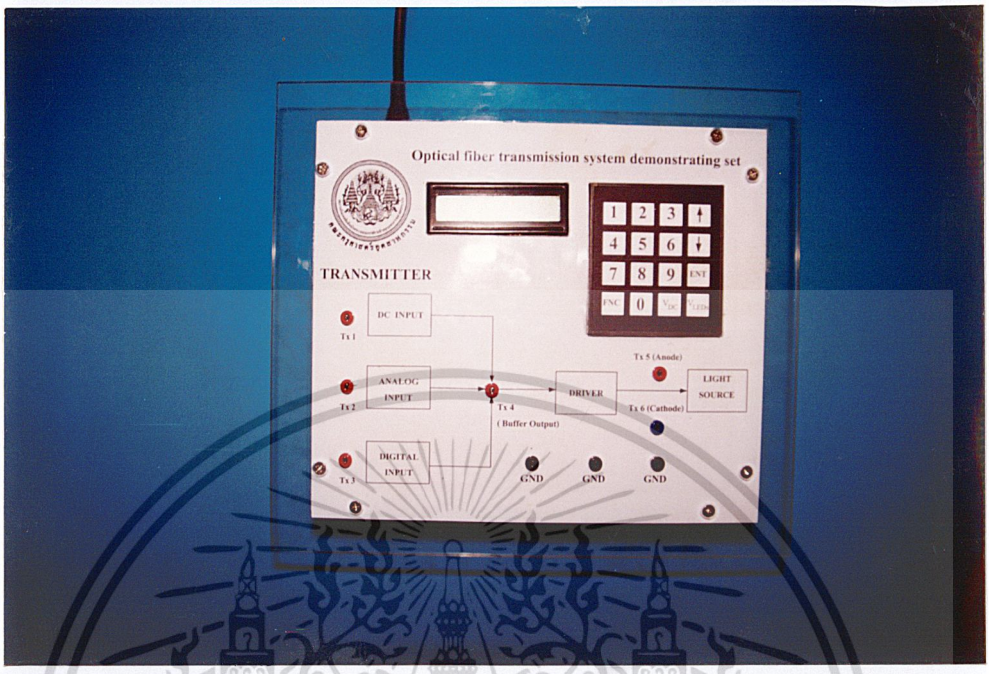
6) ศึกษาภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมสั่งไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น ภาษาซี หรือ ภาษาเบสิก ซึ่งจะทำให้สามารถเขียนสั่งงานไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ง่ายขึ้น

7) รวมภาคจ่ายไฟ และดิจิตอลโวลต์มิเตอร์เข้าไว้ในกล่องเดียว เพื่อเพิ่มความสะดวกในการเคลื่อนย้ายและการใช้งาน

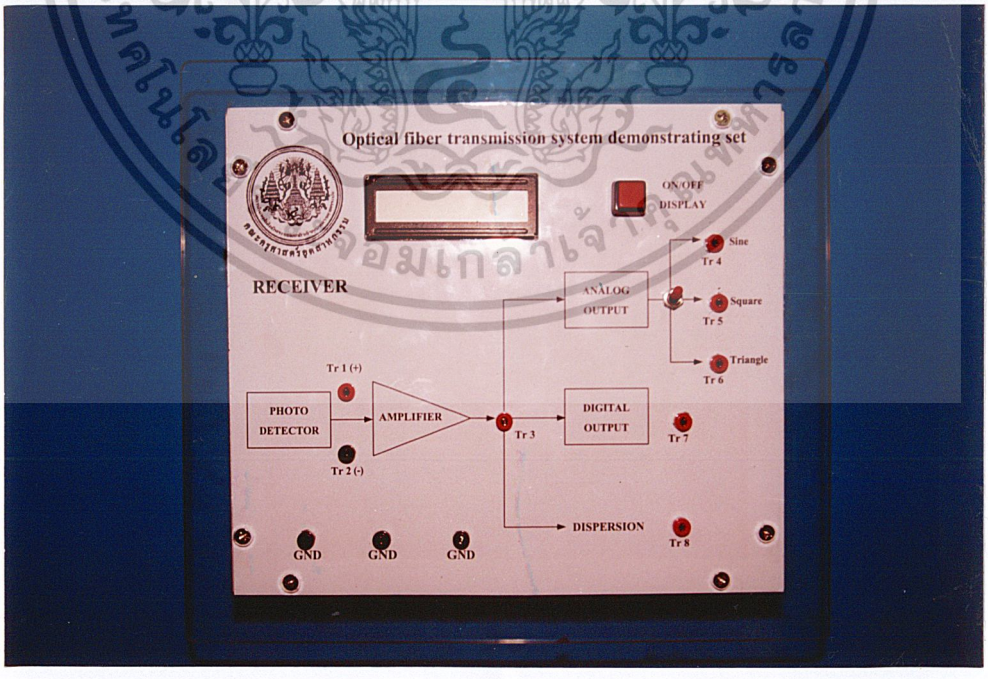
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
เครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

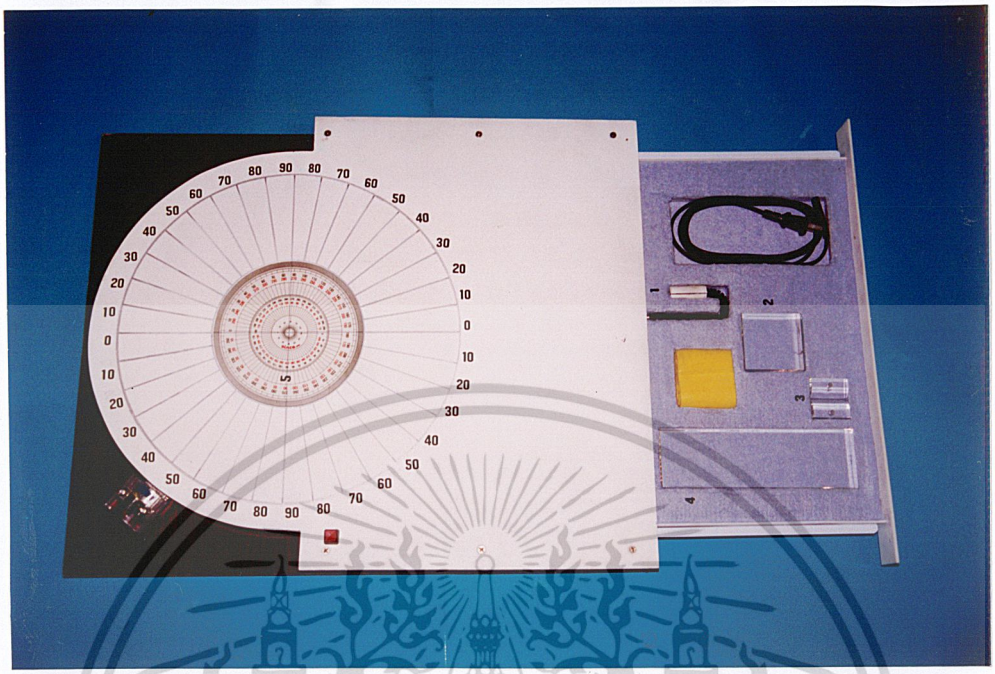


รูป ก.1 เครื่องส่ง

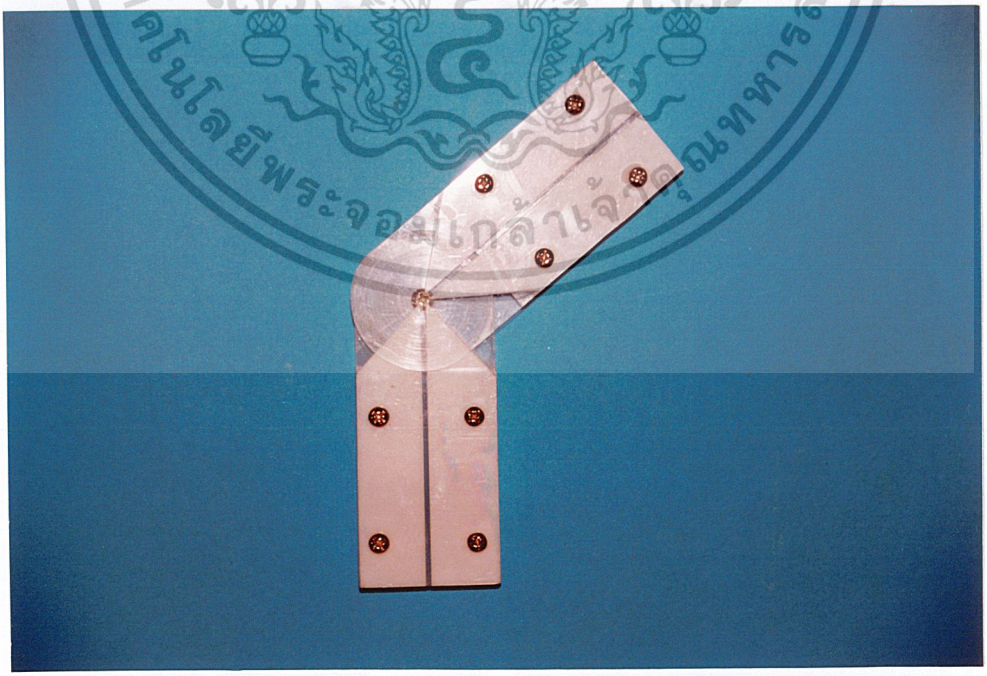


รูป ก.2 เครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ก.3 อุปกรณ์ทดลองใบงานที่ 1



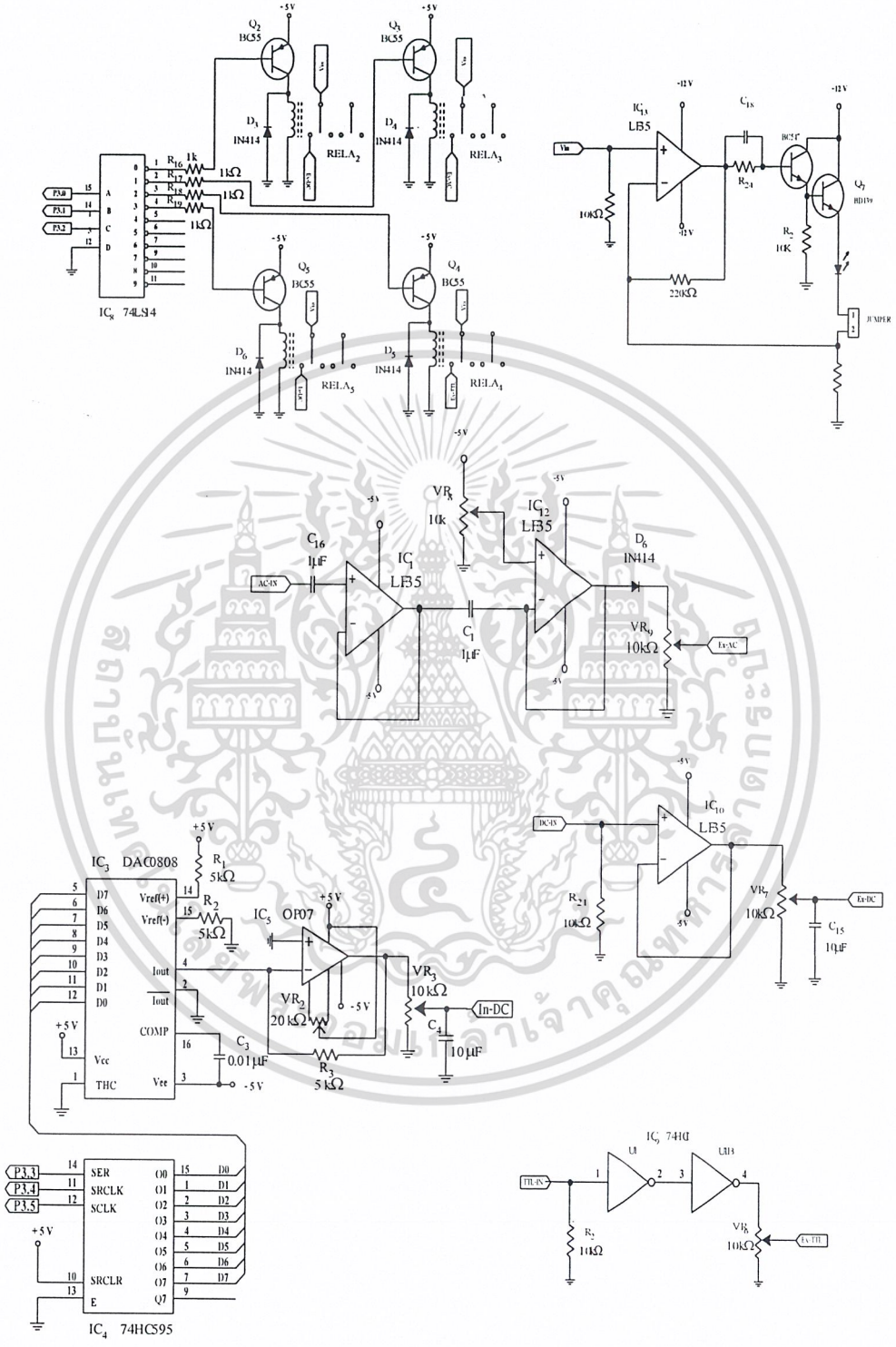
รูป ก.4 อุปกรณ์ทดลองการโค้งงอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

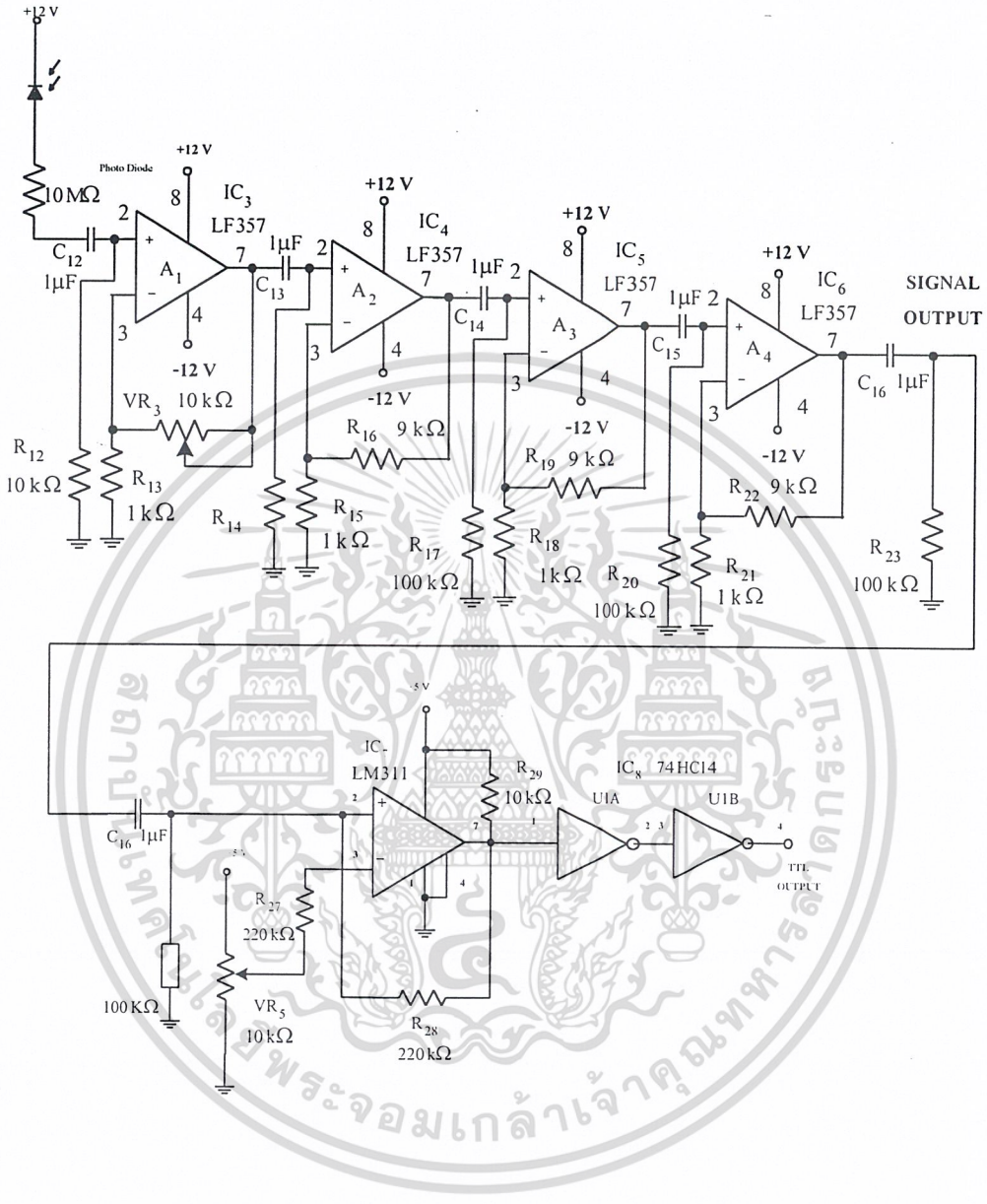
วงจร และแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



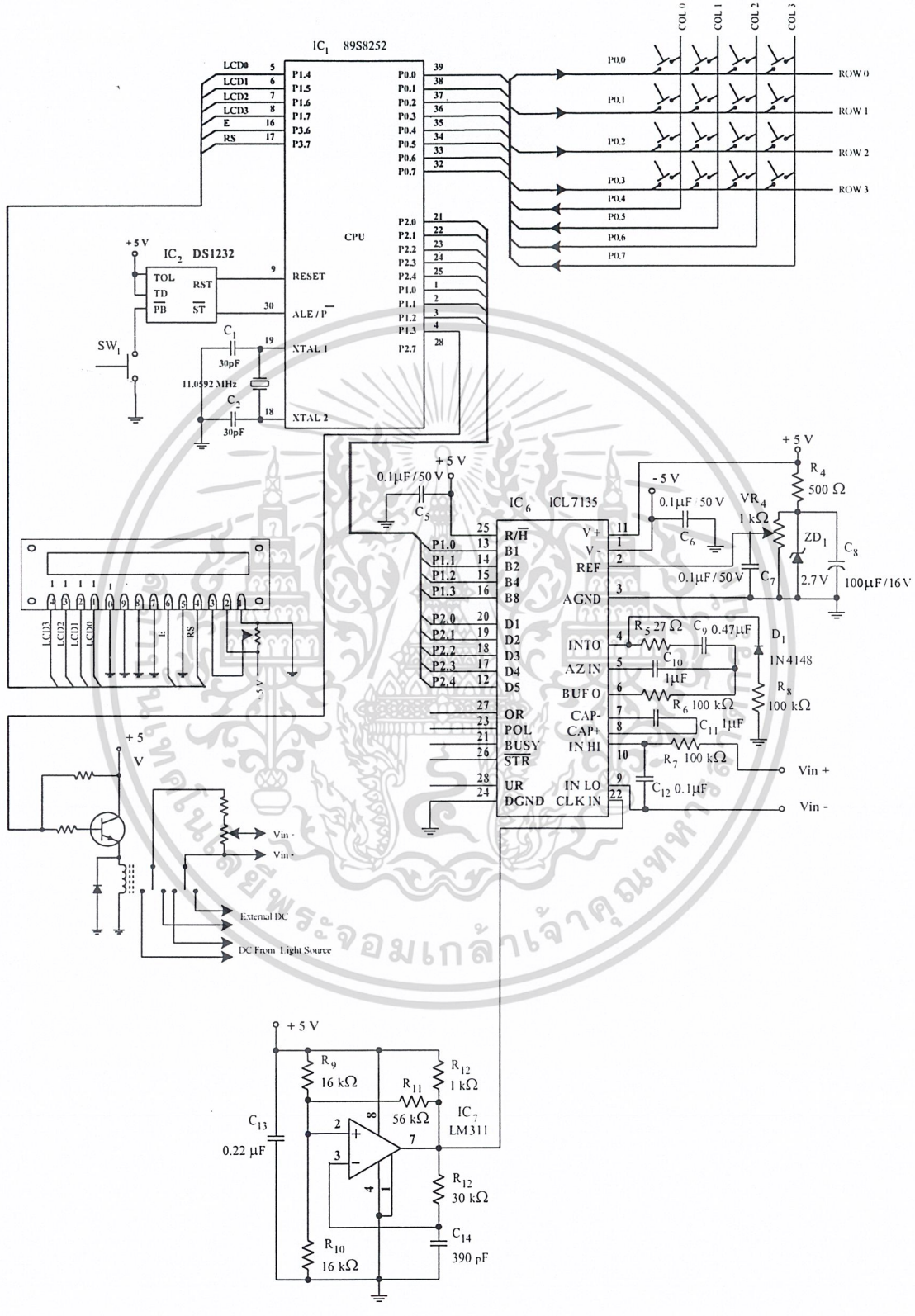
รูปที่ ข.1 วงจรภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



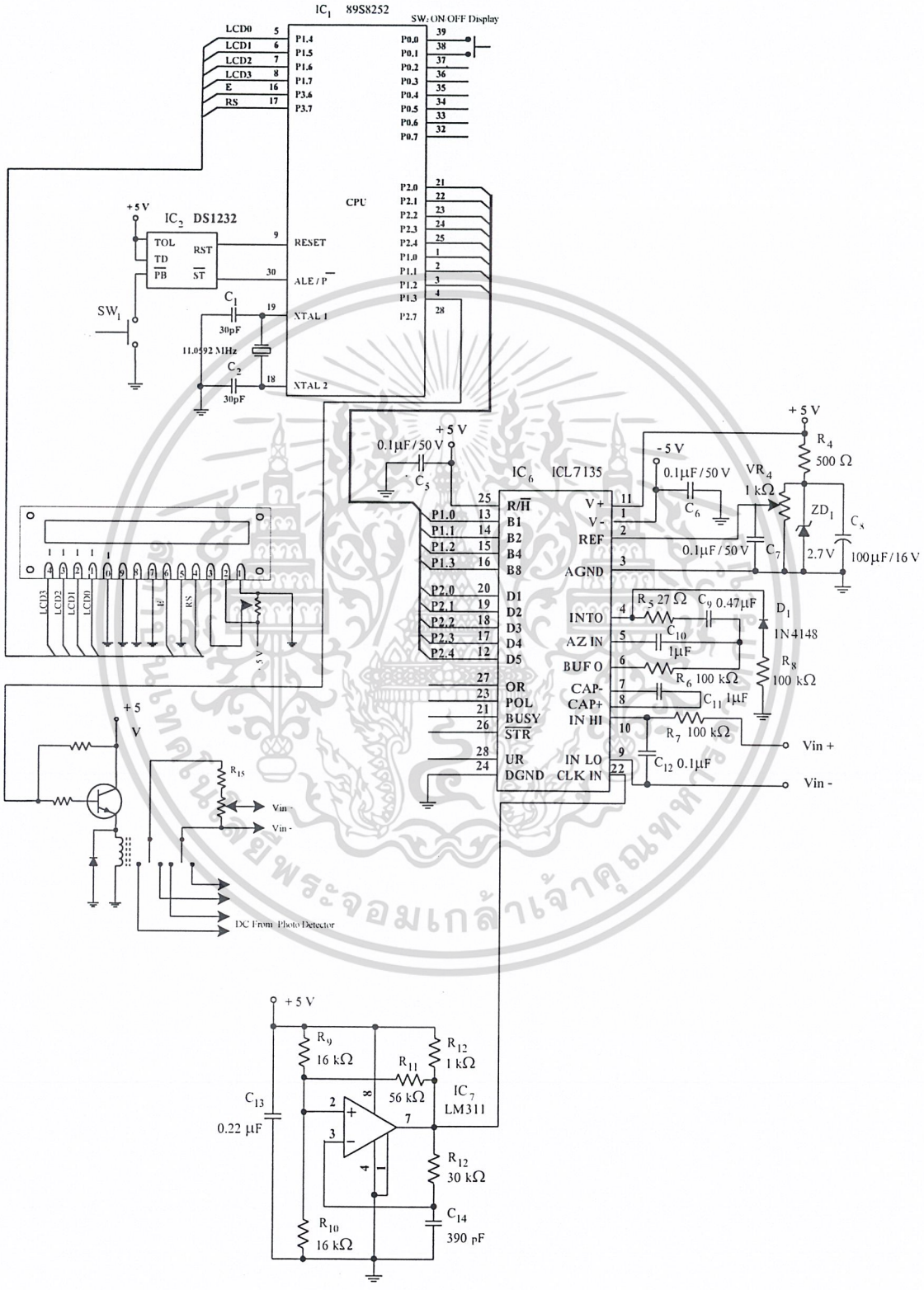
รูปที่ ข.2 วงจรภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



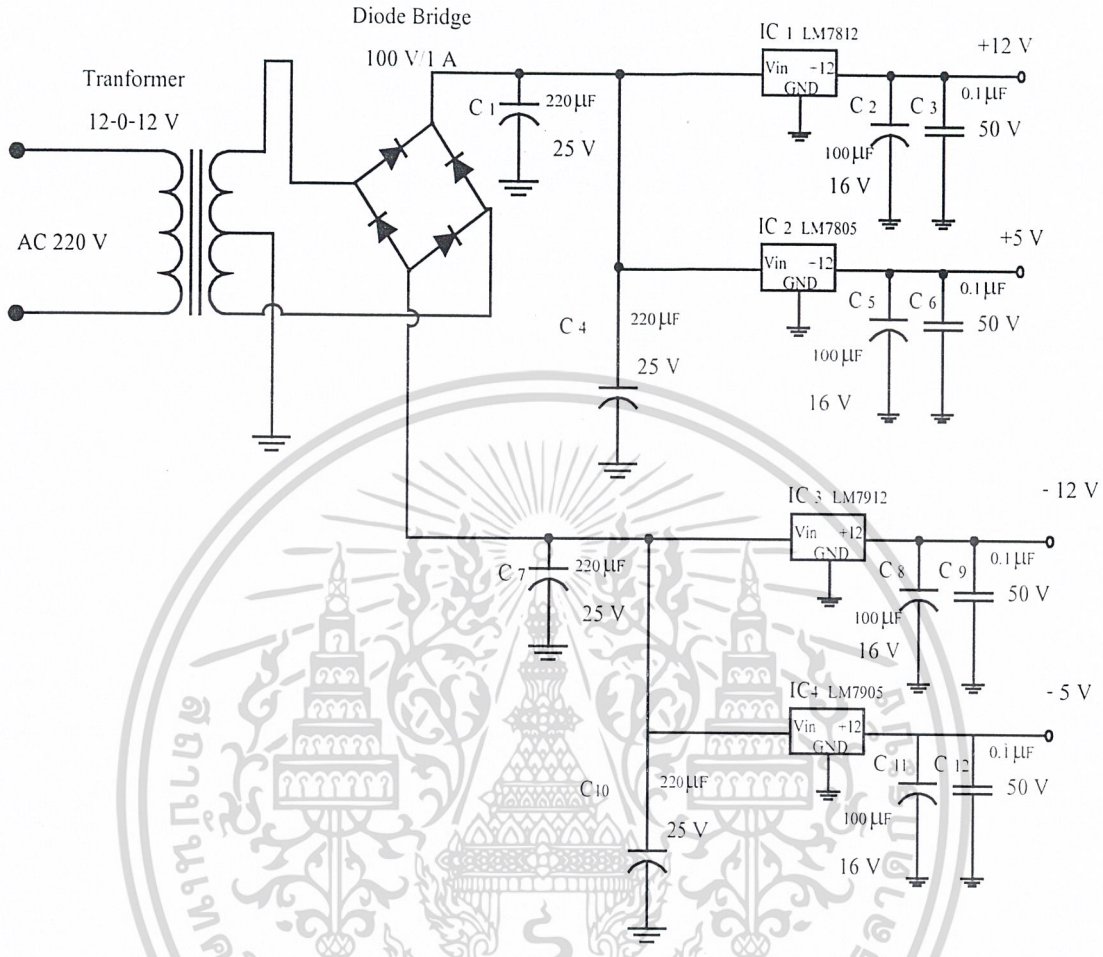
รูปที่ ข.3 วงจรภาคควบคุมของเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



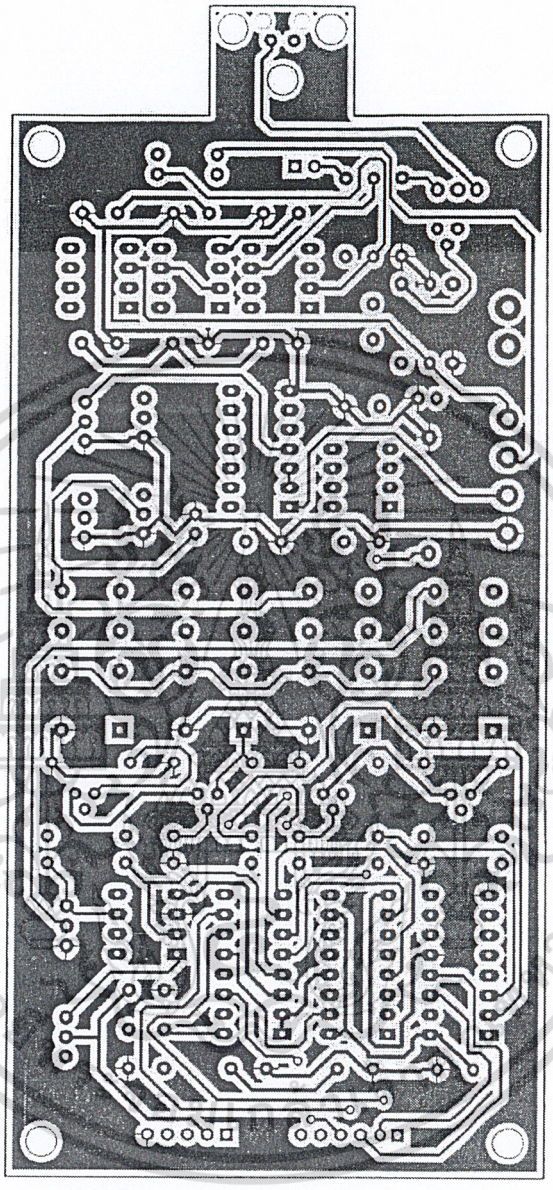
รูปที่ ข.4 วงจรควบคุมของเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



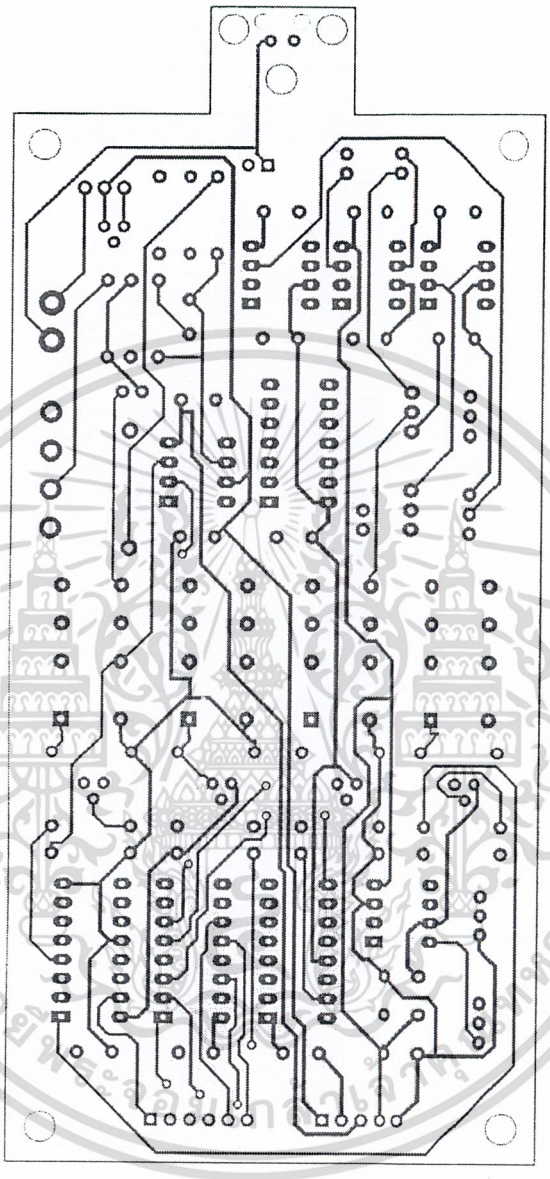
รูปที่ ข.5 วงจรภาคจ่ายไฟเครื่องรับ และเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



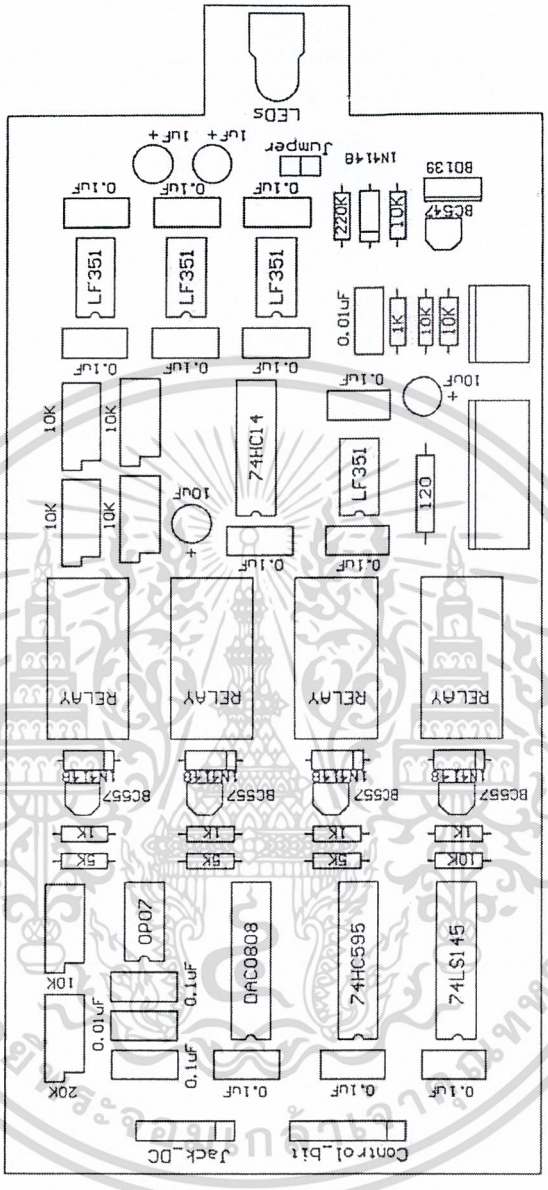
รูปที่ ข.6 ด้านบนของแผ่นวงจรพิมพ์ภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



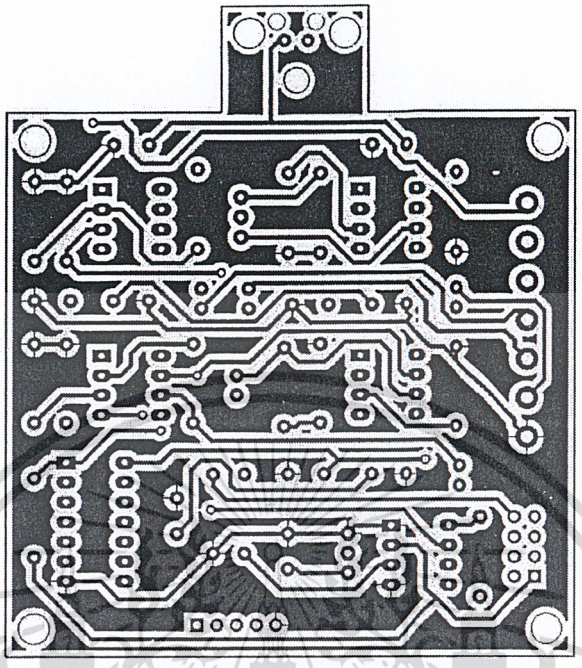
รูปที่ ข.7 ด้านล่างของแผ่นวงจรพิมพ์ภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

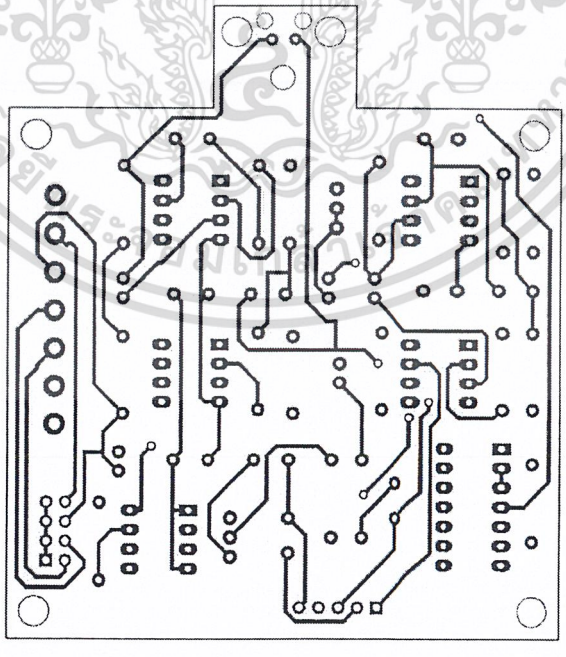


รูปที่ ข.8 ผังการวางอุปกรณ์ของแผ่นวงจรพิมพ์ภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

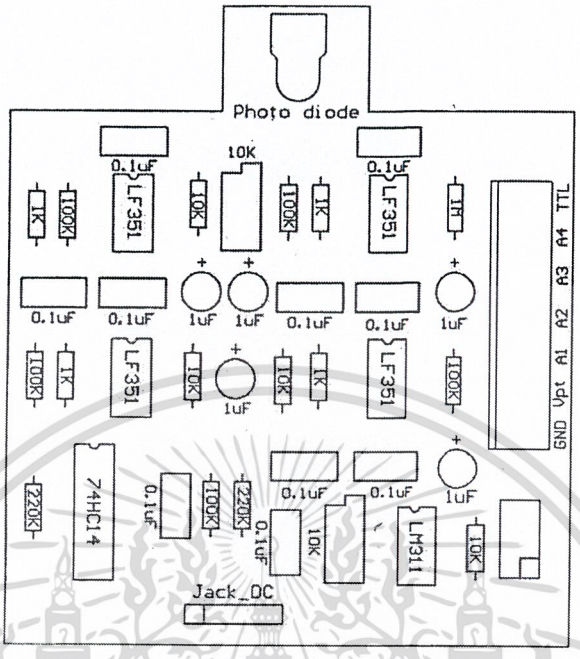


รูปที่ ข.9 ด้านบนของแผ่นวงจรพิมพ์ภาครับ

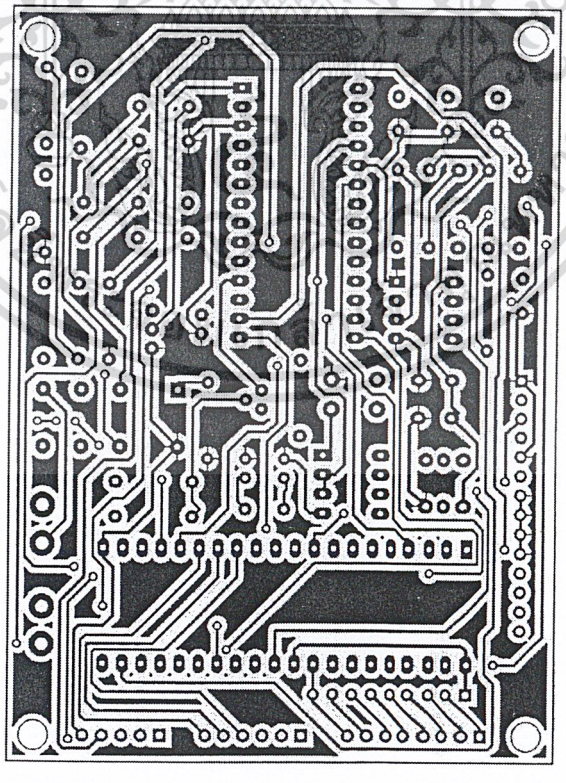


รูปที่ ข.10 ด้านล่างของแผ่นวงจรพิมพ์ภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

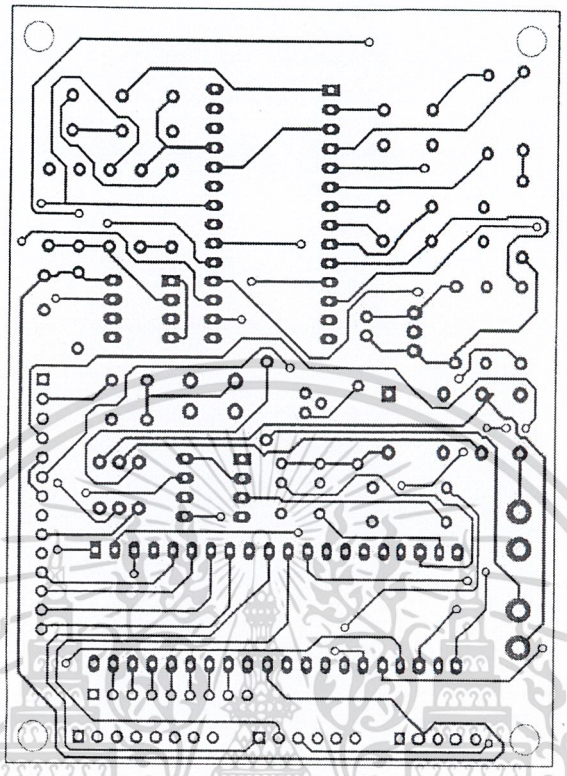


รูปที่ ข.11 ผังการวางอุปกรณ์ของแผ่นวงจรพิมพ์ภาครับ

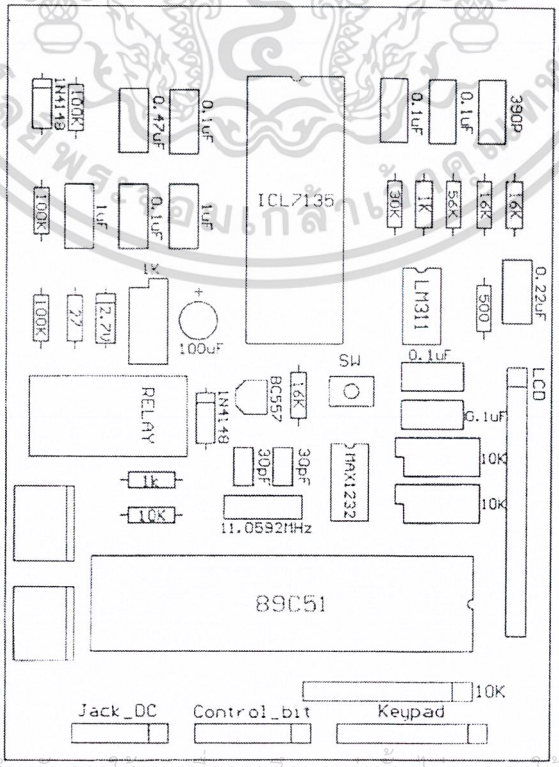


รูปที่ ข.12 ด้านบนของแผ่นวงจรพิมพ์ภาคควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

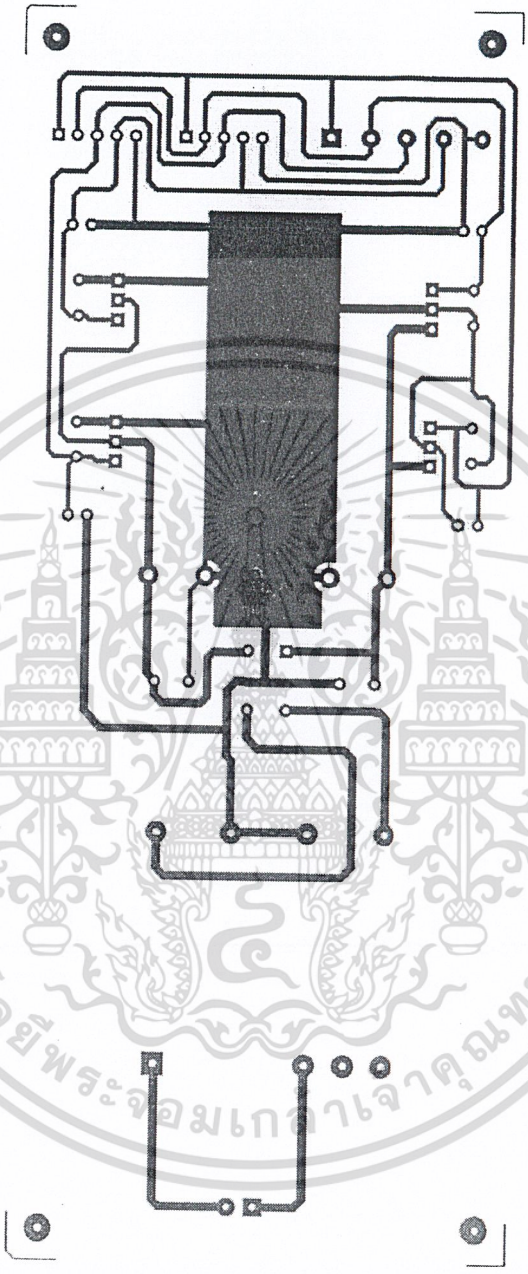


รูปที่ ข.13 ด้านล่างของแผ่นวงจรพิมพ์ภาคควบคุม



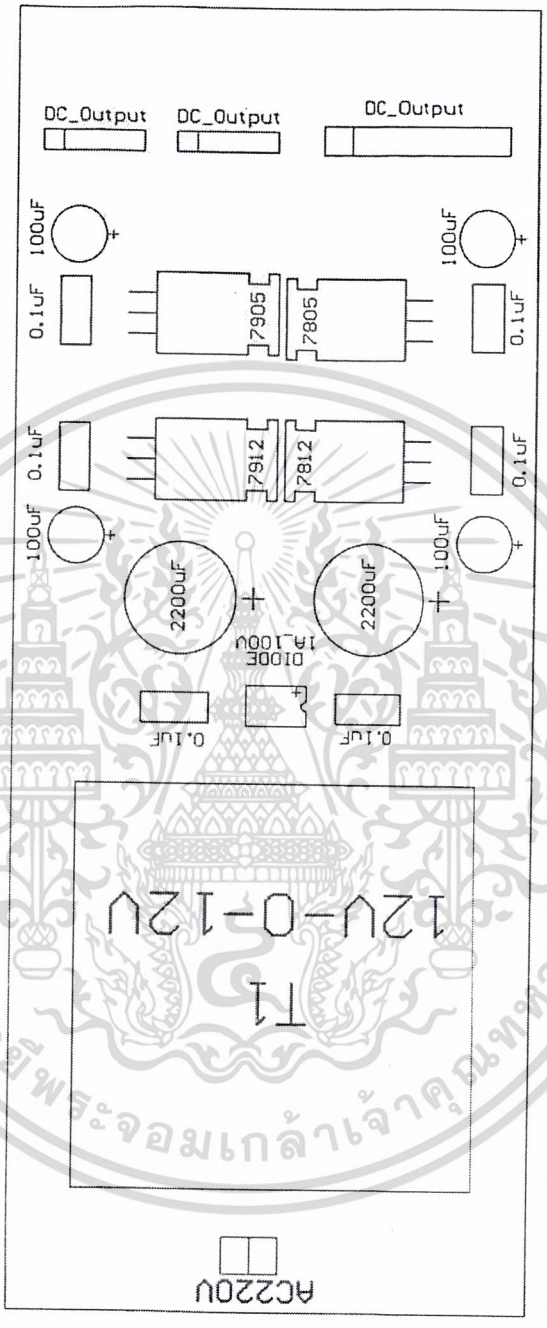
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.14 ผังการวางอุปกรณ์ของแผ่นวงจรพิมพ์ภาคควบคุม



รูปที่ ข.15 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.16 ผังการวางอุปกรณ์ของแผ่นวงจรพิมพ์ภาคจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์

1. ภาคส่ง

ตัวความต้านทาน

1 kΩ	10 ตัว
5 kΩ	6 ตัว
10 kΩ	8 ตัว
120 kΩ	1 ตัว
220 kΩ	2 ตัว
ตัวต้านทานปรับค่า 10 kΩ	5 ตัว
ตัวต้านทานปรับค่า 20 kΩ	2 ตัว

ตัวเก็บประจุ

0.01 μF 25V Electrolyte	2 ตัว
0.1 μF 25V Electrolyte	1 ตัว
1 μF 25V Electrolyte	2 ตัว
10 μF 25V Electrolyte	2 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ไดโอด 1N4148	5 ตัว
ไดโอดเปล่งแสง IFE91D	1 ตัว
ทรานซิสเตอร์ BD547	1 ตัว
ทรานซิสเตอร์ BD557	4 ตัว
ทรานซิสเตอร์ LF351	4 ตัว
ทรานซิสเตอร์ BD139	1 ตัว
ไอซี 74HC14	1 ตัว
ไอซี 74LS145	1 ตัว
ไอซี 74HC595	1 ตัว
ไอซี DAC0808	1 ตัว
ไอซีออปแอมป์ OP07	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนเนคเตอร์

2 ขา	1 ตัว
5 ขา	2 ตัว
6 ขา	1 ตัว

2. ภาครับ

ตัวต้านทาน

1 kΩ	4 ตัว
10 kΩ	3 ตัว
100 kΩ	5 ตัว
220 kΩ	3 ตัว
1 MΩ	1 ตัว
ตัวต้านทานปรับค่า 10 kΩ	2 ตัว

ตัวเก็บประจุ

0.1 μF 25V Electrolyte	10 ตัว
1 μF 25V Electrolyte	5 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ไอซี LF351	4 ตัว
ไอซี LM311	1 ตัว
ไอซี 74HC14	1 ตัว
ไดโอดเปล่งแสง IFD91	1 ตัว

คอนเนคเตอร์

5 ขา	1 ตัว
7 ขา	1 ตัว

3. ภาคควบคุม

ตัวต้านทาน

27 Ω	1 ตัว
500 Ω	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวต้านทาน (ต่อ)

1kΩ	2 ตัว
10 kΩ	2 ตัว
16 kΩ	3 ตัว
30 kΩ	1 ตัว
56 kΩ	1 ตัว
100 kΩ	3 ตัว
ตัวต้านทานปรับค่า 1 kΩ	1 ตัว
ตัวต้านทานปรับค่า 10 kΩ	2 ตัว

ตัวเก็บประจุ

30 pF	1 ตัว
390 pF	1 ตัว
0.1 μF	1 ตัว
0.22 μF	1 ตัว
0.047 μF	1 ตัว
1 μF	2 ตัว
0.1 μF 50V Electrolyte	5 ตัว
100 μF 16V Electrolyte	1 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ไดโอด 1N4148	2 ตัว
ซีเนอร์ไดโอด 27 V	1 ตัว
ไอซี BD557	1 ตัว
ไอซี ICL7135	1 ตัว
ไอซี LM311	1 ตัว
ไอซี MAX1232	1 ตัว
ไอซี 8052	1 ตัว
ไดโอดเปล่งแสง IFE91D	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนเนคเตอร์

2 ขา	2 ตัว
5 ขา	1 ตัว
6 ขา	1 ตัว
8 ขา	1 ตัว
14 ขา	1 ตัว

อุปกรณ์อื่นๆ

รีเลย์ 5 V	2 ตัว
สวิตช์แบบกดติดปล่อยดับ	1 ตัว
จอแสดงผลผลึกเหลวแบบ 2 บรรทัด 16 ตัวอักษร	1 ตัว
คีย์สวิตช์เมตริกซ์	1 ตัว

4. ภาคจ่ายไฟ

ตัวเก็บประจุ

0.1 µF	6 ตัว
100 µF	4 ตัว
2200 µF	2 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ไดโอดบริดจ์ 100 V/1 A	1 ตัว

คอนเนคเตอร์

2 ขา	1 ตัว
5 ขา	3 ตัว

หม้อแปลงไฟฟ้า

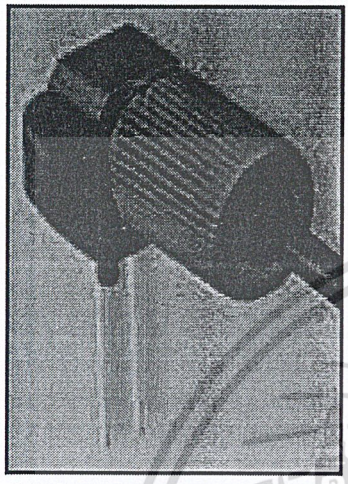
หม้อแปลง 12-0-12 V	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
รายละเอียด และคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Plastic Fiber Optic Photodiode IF-D91



Description

The IF-D91 is a high speed photodiode detector housed in a "connector-less" style plastic fiber optic package. Optical response of the IF-D91 extends from 400 to 1100 nm making it compatible with a wide range of visible and near infrared LED and laser diode sources. This includes 660 nm visible red LEDs used for optimum transmission in PMMA plastic optic fiber. The detector package features an internal micro-lens, and a precision molded PBT housing to ensure efficient optical coupling into standard 1000 µm core plastic fiber cable.

Application Highlights

The fast response times of the IF-D91 make it suitable for high speed digital data links. When used with an appropriate LED or laser diode source the IF-D91 is capable of 100 Mbps data rates. The IF-D91 can also be used in analog video links with bandwidths up to 70 MHz. The integrated design of the IF-D91 provides simple, cost effective implementation in a variety of analog and digital applications.

Applications

- High Speed Digital Data Links
- Local Area Networks
- Motor Controller Triggering
- Video Links
- Medical Instruments
- Automotive Electronics
- Robotics Communications
- EMC/EMI Signal Isolation
- Fiber Optic Modems

Features

- Fast Rise and Fall Times
- Mates with Standard 1000 µm Core Jacketed Plastic Fiber Optic Cable
- No Optical Design Required
- Inexpensive Plastic Connector Housing
- Internal Micro-Lens for Efficient Optical Coupling
- Connector-Less Fiber Termination
- Light-Tight Housing provides Interference Free Transmission

Maximum Ratings

(T_A=25°C)

Operating and Storage Temperature Range (T_{OP}, T_{STG}) .....-40° to 85°C

Junction Temperature (T_J) .....85°C

Soldering Temperature (2 mm from case bottom) (T_S) t≤5s.....240°C

Power Dissipation (P_{TOT}) T_A=25°C .....100 mW

De-rate Above 25°C .....1.33 mW/°C

Characteristics (T_A=25°C)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Wavelength for Maximum Photosensitivity	λ_{PEAK}	880	nm
Spectral Bandwidth (S=10% of S_{MAX})	$\Delta\lambda$	400-1100	nm
Rise and Fall Times (10% to 90% and 90% to 10%) (R_L=50 Ω, V_R=20 V, λ=850 nm)	t_r, t_f	5	ns
Total Capacitance	C_T	4	pF
Responsivity min. @ 860 nm @ 632 nm	R	.4 .2	µA/µW µA/µW
Reverse Dark Current (V_R=30 volts, E_E=0)	I_D	<60	nA
Reverse Breakdown Voltage	$V_{(BR)}R$	60	V
Forward Voltage	V_f	1.2	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IF-D91 Plastic Fiber Optic Photodiode

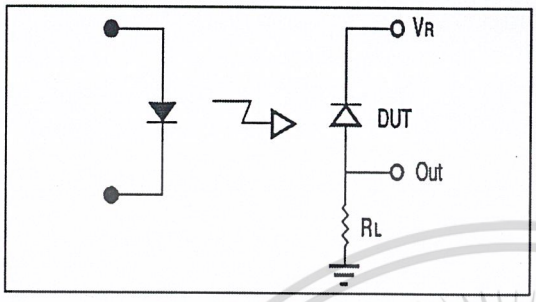


FIGURE 1. Circuit diagram for measuring rise and fall times.

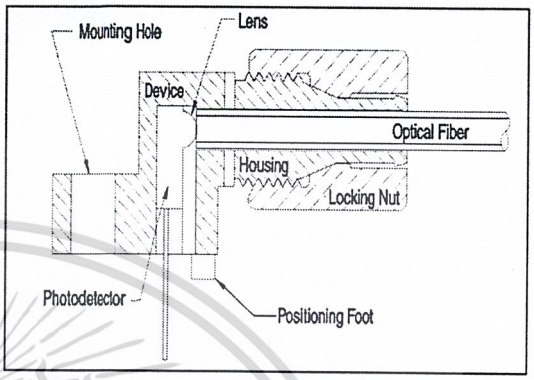


FIGURE 3. Cross-section of fiber optic device.

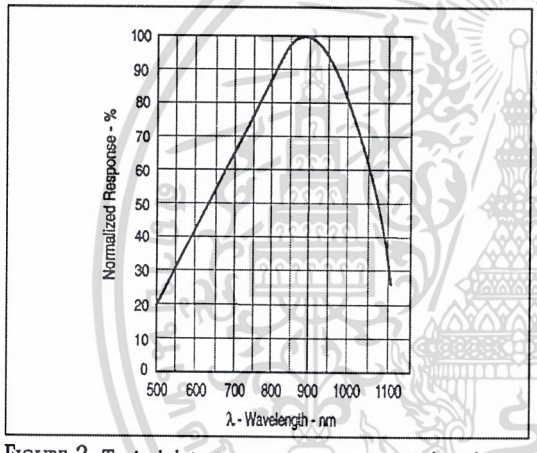
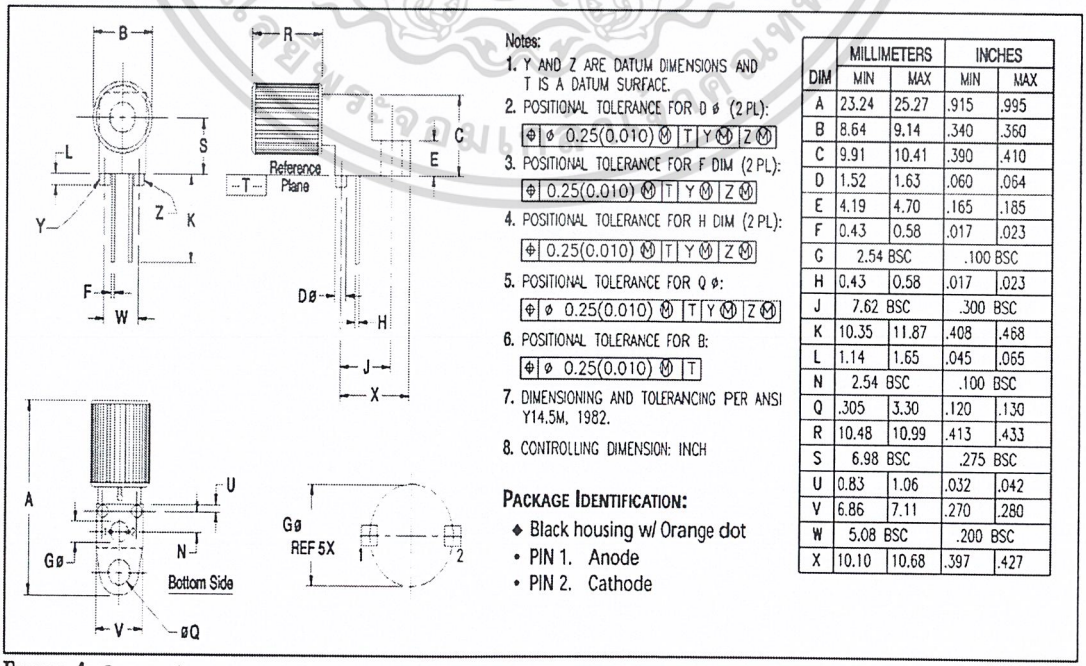


FIGURE 2. Typical detector response versus wavelength.

FIBER TERMINATION INSTRUCTIONS

1. Cut off the ends of the optical fiber with a single-edge razor blade or sharp knife. Try to obtain a precise 90-degree angle (square).
2. Insert the fiber through the locking nut and into the connector until the core tip seats against the internal micro-lens.
3. Screw the connector locking nut down to a snug fit, locking the fiber in place.



Notes:
1. Y AND Z ARE DATUM DIMENSIONS AND T IS A DATUM SURFACE.
2. POSITIONAL TOLERANCE FOR D ø (2 PL): ⌖ | ø 0.25(0.010) Ⓜ | T | Y Ⓜ | Z Ⓜ
3. POSITIONAL TOLERANCE FOR F DIM (2 PL): ⌖ | 0.25(0.010) Ⓜ | T | Y Ⓜ | Z Ⓜ
4. POSITIONAL TOLERANCE FOR H DIM (2 PL): ⌖ | 0.25(0.010) Ⓜ | T | Y Ⓜ | Z Ⓜ
5. POSITIONAL TOLERANCE FOR Q ø: ⌖ | ø 0.25(0.010) Ⓜ | T | Y Ⓜ | Z Ⓜ
6. POSITIONAL TOLERANCE FOR B: ⌖ | ø 0.25(0.010) Ⓜ | T
7. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
8. CONTROLLING DIMENSION: INCH

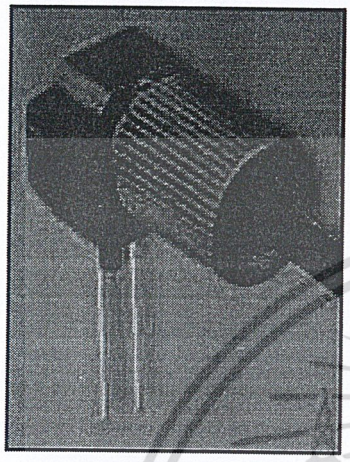
PACKAGE IDENTIFICATION:
- ◆ Black housing w/ Orange dot
- • PIN 1. Anode
- • PIN 2. Cathode

DIM	MILLIMETERS MIN	MILLIMETERS MAX	INCHES MIN	INCHES MAX
A	23.24	25.27	.915	.995
B	8.64	9.14	.340	.360
C	9.91	10.41	.390	.410
D	1.52	1.63	.060	.064
E	4.19	4.70	.165	.185
F	0.43	0.58	.017	.023
G	2.54 BSC		.100 BSC	
H	0.43	0.58	.017	.023
J	7.62 BSC		.300 BSC	
K	10.35	11.87	.408	.468
L	1.14	1.65	.045	.065
N	2.54 BSC		.100 BSC	
Q	.305	3.30	.120	.130
R	10.48	10.99	.413	.433
S	6.98 BSC		.275 BSC	
U	0.83	1.06	.032	.042
V	6.86	7.11	.270	.280
W	5.08 BSC		.200 BSC	
X	10.10	10.68	.397	.427

FIGURE 4. Case outline.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100 Mbps Plastic Fiber Optic IR LED — IF-E91D



Description

The IF-E91D is a high optical output, high-speed, infrared LED housed in a "connector-less" style plastic fiber optic package. High performance at economical cost is provided by the IF-E91D in a variety of applications. The device package features an internal micro-lens, and a precision molded PBT housing to ensure efficient optical coupling into standard 1000 um core plastic fiber cable.

Application Highlights

The high output and fast transition times of the IF-E91D make it suitable for low cost digital data links. Using standard 1000 µm core plastic fiber, the IF-E91D LED is ideally suited for distances up to 10 meters at data rates of 100 Mbps. The drive circuit design is simpler than required for laser diodes, making the IF-E91D a good low cost device in a variety of short distance analog and digital applications.

Applications

- Low Cost Digital Data Links
- Optical Sensors
- Audio Systems
- Medical Instruments
- Automotive Electronics
- Robotics Communicationss
- Local Area Networks (LANs)
- Wavelength Multiplexing
- Electronic games

Features

- High Infrared Optical Power
- Fast Rise and Fall Time
- No Optical Design Required
- Mates with Standard 1000 µm Core Jacketed Plastic Fiber Cable
- Internal Micro-Lens for Maximum Coupling
- Inexpensive Plastic Connector Housing
- Connector-Less Fiber Termination
- Light-Tight Housing Provides Interference-Free Transmission

Maximum Ratings

(T_A=25°C)

Operating and Storage Temperature Range (T_{OP}, T_{STG}) .....-40° to 85°C

Junction Temperature (T_J) .....85°C

Soldering Temperature (2mm from case bottom) (T_S) t≤5s .....240°C

Reverse Voltage (V_R).....3 V

Power Dissipation (P_{TOT}) T_A=25°C.....60 mW

De-rate Above 25°C .....1.33 mW/°C

Forward Current, DC (I_F) ..... 60 mA

Surge Current (I_{FSM}) t≤10 µsec duty cycle <5%..... 1 A

Characteristics (T_A=25°C)

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Peak Wavelength	λ_{PEAK}	865	870	875	nm
Spectral Bandwidth (50% of I_{MAX})	$\Delta\lambda$	-	30	-	nm
Output Power Coupled into Plastic Fiber (1 mm core diameter). Distance Lens to Fiber ≤0.1 mm, 10 cm polished fiber, I_F=20 mA	Φ_{min}	200 -7	300 -5.2	400 -4	µW dBm
Switching Times (10% to 90% and 90% to 10%) (I_F=20 mA)	t_r, t_f	-	7.0	-	ns
Capacitance (F=1 mHz)	C_0	-	120	-	pF
Forward Voltage (I_F=20 mA)	V_f	-	1.85	2.05	V
Temperature Coefficient, λ_{PEAK}	TC_λ		0.3		nm/K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IF-E91D 100 Mpbs Plastic Fiber Optic IR LED

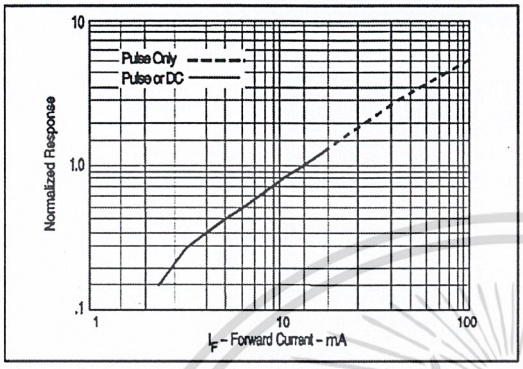


FIGURE 1. Normalized power launched versus forward current.

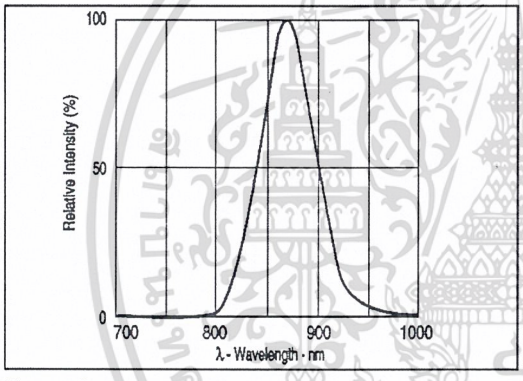


FIGURE 2. Typical spectral output vs. wavelength.

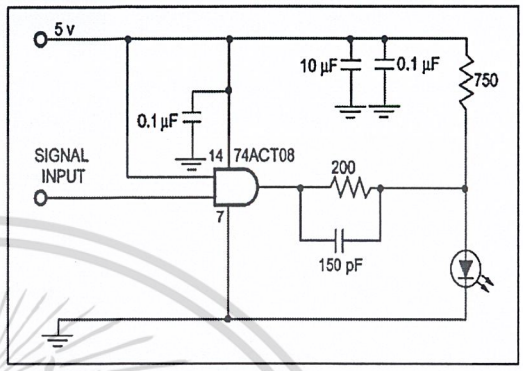
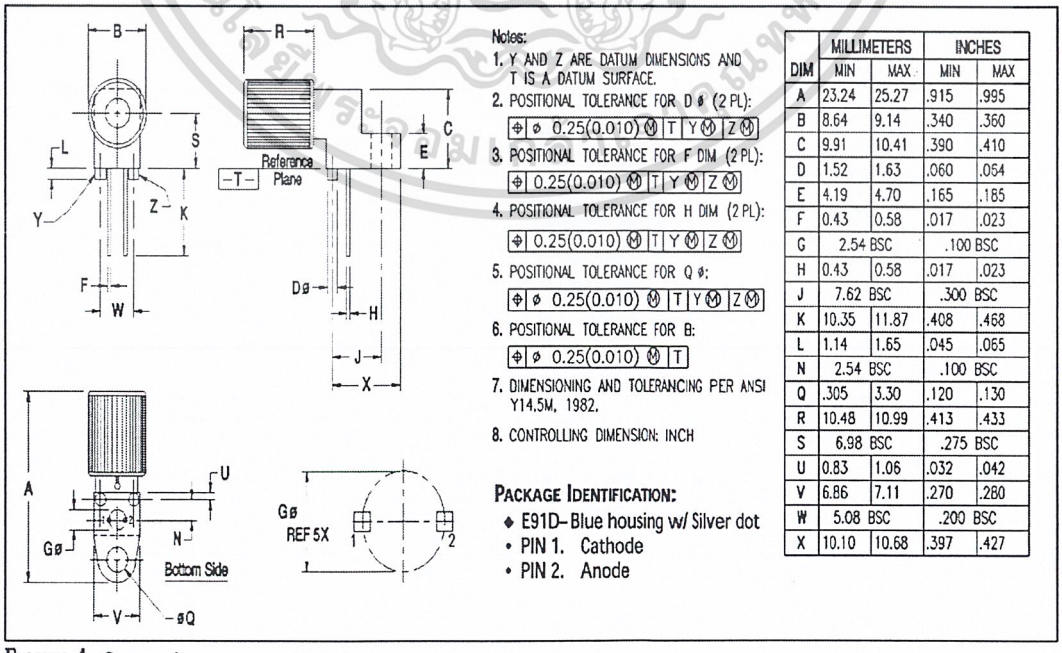


FIGURE 3. Test drive circuit (I_F = 22mA).

FIBER TERMINATION INSTRUCTIONS

1. Cut off the ends of the optical fiber with a single-edge razor blade or sharp knife. Try to obtain a precise 90-degree angle (square).
2. Insert the fiber through the locking nut and into the connector until the core tip seats against the internal micro-lens.
3. Screw the connector locking nut down to a snug fit, locking the fiber in place.



Notes:
1. Y AND Z ARE DATUM DIMENSIONS AND T IS A DATUM SURFACE.
2. POSITIONAL TOLERANCE FOR D ø (2 PL): ⌖ ø 0.25(0.010) Ⓜ T Ⓜ Y Ⓜ Z Ⓜ
3. POSITIONAL TOLERANCE FOR F DIM (2 PL): ⌖ 0.25(0.010) Ⓜ T Ⓜ Y Ⓜ Z Ⓜ
4. POSITIONAL TOLERANCE FOR H DIM (2 PL): ⌖ 0.25(0.010) Ⓜ T Ⓜ Y Ⓜ Z Ⓜ
5. POSITIONAL TOLERANCE FOR Q ø: ⌖ ø 0.25(0.010) Ⓜ T Ⓜ Y Ⓜ Z Ⓜ
6. POSITIONAL TOLERANCE FOR B: ⌖ ø 0.25(0.010) Ⓜ T
7. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
8. CONTROLLING DIMENSION: INCH

PACKAGE IDENTIFICATION:
- ◆ E91D– Blue housing w/ Silver dot
- • PIN 1. Cathode
- • PIN 2. Anode

DIM	MILLIMETERS MIN	MILLIMETERS MAX	INCHES MIN	INCHES MAX
A	23.24	25.27	.915	.995
B	8.64	9.14	.340	.360
C	9.91	10.41	.390	.410
D	1.52	1.63	.060	.064
E	4.19	4.70	.165	.185
F	0.43	0.58	.017	.023
G	2.54 BSC		.100 BSC	
H	0.43	0.58	.017	.023
J	7.62 BSC		.300 BSC	
K	10.35	11.87	.408	.468
L	1.14	1.65	.045	.065
N	2.54 BSC		.100 BSC	
Q	.305	3.30	.120	.130
R	10.48	10.99	.413	.433
S	6.98 BSC		.275 BSC	
U	0.83	1.06	.032	.042
V	6.86	7.11	.270	.280
W	5.08 BSC		.200 BSC	
X	10.10	10.68	.397	.427

FIGURE 4. Case outline.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

โปรแกรมควบคุมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
; FILENAME          PROJECT_RX.ASM
; DESCRIPTION       Optical fiber transmission system demonstrating set
; HARDWARE          Optical Transmisstor V1.0
; ASSEMBLER         SXA51
; START-DATE        13/01/02
; INSTITUTION       King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
(KMITL)
; FACULTY           Industrial Education 22 ED.Engineer
;
; ***********  START PROGRAM ***********
;
PIN_A               BIT     P3.0        ;CONTRON_BIT 74LS145
PIN_B               BIT     P3.1
PIN_C               BIT     P3.2
;
SERIAL              BIT     P3.3        ;CONTRON_BIT 74HC595
SHIFT               BIT     P3.4
LATCH               BIT     P3.5
;
EN                  BIT     P3.6        ;CONTRON_BIT LCD
RS                  BIT     P3.7
KEY                 EQU     P0          ;PORT_KEY
DATA_KEY            EQU     30H
D5                  EQU     31H         ;DATA_ICL7135
D4                  EQU     32H
D3                  EQU     33H
D2                  EQU     34H
D1                  EQU     35H
DATA_FN             EQU     36H         ;DATA_FUN
DATA_I1             EQU     37H
DATA_I2             EQU     38H
DATA_I              EQU     39H
DATA_IX             EQU     3AH
;
; ***********   START PROGRAM  ***********
                    ORG         0000H
                    MOV         R0,#00H     ;CLR 74HC595
                    CALL        SER_OUT
                    CALL        INIT_LCD    ;SET LCD
                    CLR         P2.6
                    MOV         R0,#20H
                    MOV         A,#20H
                    MOV         R1,#10H
;
LOOP_REG:           MOV         @R0,A       ;CLR DISPLAY NAME
                    INC         R0
                    DJNZ        R1,LOOP_REG
                    MOV         R7,#00H
                    MOV         R6,#6AH
;
LOOP_STARTDIS:      CALL        LOOP_DIS    ;CALL DISPLAY NAME
                    CALL        DELAY_100MS ;DELAY TIME
                    MOV         DPTR,#START_DATA  ;START DATA NAME
                    MOV         A,R7
                    MOVC        A,@A+DPTR         ;A=TABLE
                    MOV         20H,21H           ;SHIFT DATA
                    MOV         21H,22H
                    MOV         22H,23H
                    MOV         23H,24H
                    MOV         24H,25H
                    MOV         25H,26H
                    MOV         26H,27H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    MOV         27H,28H
                    MOV         28H,29H
                    MOV         29H,2AH
                    MOV         2AH,2BH
                    MOV         2BH,2CH
                    MOV         2CH,2DH
                    MOV         2DH,2EH
                    MOV         2EH,2FH
                    MOV         2FH,A
                    INC         R7
                    DJNZ        R6,LOOP_STARTDIS    ;R6-1=0 NEXT
                    MOV         R7,#03H
;
L_P:                MOV         A,#00H              ;SET DD_RAM LCD=00H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#SELECT_INPUT  ;DISPLAY SELECT INPUT
                    CALL        PRINT_LCD           ;DISPLAY LCD FROM TABLE
                    MOV         A,#40H              ;SET DD_RAM LCD=40H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#SELECT_INPUT+8 ;DISPLAY SELECT INPUT
                    CALL        PRINT_LCD           ;DISPLAY LCD FROM TABLE
                    CALL        DELAY_500MS         ;DELAY
                    CALL        OFF_LCD             ;OFF LCD
                    CALL        DELAY_500MS         ;DELAY
                    DJNZ        R7,L_P
                    MOV         A,#00H              ;SET DD_RAM LCD=00H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#SELECT_INPUT  ;DISPLAY SELECT INPUT
                    CALL        PRINT_LCD           ;DISPLAY LCD FROM TABLE
                    MOV         A,#40H              ;SET DD_RAM LCD=40H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#SELECT_INPUT+8 ;DISPLAY SELECT INPUT
                    CALL        PRINT_LCD           ;DISPLAY LCD FROM TABLE
;
L_P1:               CALL        SCANKEY             ;CALL SCAN KEY
                    MOV         A,DATA_KEY          ;DATA KEY=A
                    CJNE        A,#0FFH,L_P2
                    SJMP        L_P1
;
L_P2:               CJNE        A,#0FH,L_P1
                    MOV         DATA_FN,#00H
;
;**************MAINPROGRAM*************
MAIN:               CALL        DISPLAY_FN          ;CALL DISPLAY FUN
                    CALL        SCANKEY             ;CALL SCAN KEY
                    MOV         A,DATA_KEY          ;DATA KEY=A
                    CJNE        A,#0FFH,DIS
                    SJMP        MAIN
;
DIS:                MOV         A,DATA_KEY
                    CJNE        A,#0CH,DIS1         ;DETEC DATAKEY=0CH
                    INC         DATA_FN
                    MOV         A,DATA_FN
                    CJNE        A,#04H,MAIN
                    MOV         DATA_FN,#00H
                    SJMP        MAIN
;
DIS1:               MOV         A,DATA_KEY
                    CJNE        A,#0DH,DIS2         ;DETEC DATAKEY=0DH
                    DEC         DATA_FN
                    MOV         A,DATA_FN
                    CJNE        A,#0FFH,MAIN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    MOV         DATA_FN,#03H
                    SJMP        MAIN
;
DIS2:               MOV         A,DATA_KEY
                    CJNE        A,#0EH,MAIN         ;DETEC DATAKEY=0EH
                    CALL        FN_ON               ;CALL ON FUN
                    MOV         R7,#03H
;
DIS3:               MOV         A,#00H              ;SET DD_RAM LCD=00H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#SELECT_INPUT  ;DISPLAY SELECT INPUT
                    CALL        PRINT_LCD           ;DISPLAY LCD FROM TABLE
                    MOV         A,#40H              ;SET DD_RAM LCD=00H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#SELECT_INPUT+8 ;DISPLAY SELECT INPUT
                    CALL        PRINT_LCD           ;DISPLAY LCD FROM TABLE
                    CALL        DELAY_500MS         ;DELAY
                    CALL        OFF_LCD             ;OFF LCD
                    CALL        DELAY_500MS         ;DELAY
                    DJNZ        R7,DIS3
                    MOV         A,#00H              ;SET DD_RAM LCD=00H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#SELECT_INPUT  ;DISPLAY SELECT INPUT
                    CALL        PRINT_LCD           ;DISPLAY LCD FROM TABLE
                    MOV         A,#40H              ;SET DD_RAM LCD=40H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#SELECT_INPUT+8 ;DISPLAY SELECT INPUT
                    CALL        PRINT_LCD           ;DISPLAY LCD FROM TABLE
;
L_P3:               CALL        SCANKEY             ;CALL SCANKEY
                    MOV         A,DATA_KEY          ;A=DATA KEY
                    CJNE        A,#0FFH,L_P2
                     SJMP       L_P3
L_P4:               CJNE        A,#0FH,L_P3
                    SJMP        MAIN                ;GOTO MAIN
;
;**************FN_ON*******************
FN_ON:              MOV         A,#00H
                    CJNE        A,DATA_FN,FN_ON1
                    MOV         R7,#03H
FN_A:               CALL        DISPLAY_FN          ;DISPLAY FUN
                    CALL        DELAY_500MS         ;DELAY
                    CALL        OFF_LCD             ;OFF LCD
                    CALL        DELAY_500MS         ;DELAY
                    DJNZ        R7,FN_A
                    CALL        DISPLAY_FN          ;DISPLAY FUN
                    CLR         P3.0                ;SET 74LS145=Y0
                    CLR         P3.1
                    CLR         P3.2
;
FN_ON_1:            CALL        SCANKEY             ;CALL SCANKEY
                    MOV         A,DATA_KEY          ;A=DATAKEY
                    CJNE        A,#0FFH,FN_ON_2
                    SJMP        FN_ON_1
 ;
FN_ON_2:            MOV         A,DATA_KEY
                    CJNE        A,#0AH,FN_ON_3      ;DETEC DATAKEY=0AH
                    CALL        VOLT_EX             ;CALL VOLT_EX
                    SETB        P3.2                ;OFF RELAY
                    RET
;
FN_ON_3:            CJNE        A,#0BH,FN_ON_4      ;DETEC DATAKEY=0BH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    CALL        VOLT_LED            ;CALL DISPLAY VOLT_LED
                    SETB        P3.2                ;OFF RELAY
                    RET
;
FN_ON_4:            CJNE        A,#0FH,FN_ON_1      ;DETEC DATAKEY=0FH
                    SETB        P3.2                ;OFF RELAY
                    RET
;
FN_ON1:             MOV         A,#02H
                    CJNE        A,DATA_FN,FN_ON2
                    MOV         R7,#03H
FN_A1:              CALL        DISPLAY_FN          ;DISPLAY FUN
                    CALL        DELAY_500MS         ;DELAY
                    CALL        OFF_LCD             ;OFF LCD
                    CALL        DELAY_500MS         ;DELAY
                    DJNZ        R7,FN_A1
                    CALL        DISPLAY_FN          ;DISPLAY FUN
                    SETB        P3.0
                    CLR         P3.1
                    CLR         P3.2
;
FN_ON1_1:           CALL        SCANKEY             ;CALL SCANKEY
                    MOV         A,DATA_KEY          ;DATAKEY=A
                    CJNE        A,#0FFH,FN_ON1_2
                    SJMP        FN_ON1_1
;
FN_ON1_2:           CJNE        A,#0FH,FN_ON1_1     ;DETEC DATAKEY=0FH
                    SETB        P3.2                ;OFF RELAY
                    RET
;
FN_ON2:             MOV         A,#03H
                    CJNE        A,DATA_FN,FN_ON3
;
                    MOV         R7,#03H
FN_A2:              CALL        DISPLAY_FN          ;DISPLAY FUN
                    CALL        DELAY_500MS         ;DELAY
                    CALL        OFF_LCD             ;OFF LCD
                    CALL        DELAY_500MS         ;DELAY
                    DJNZ        R7,FN_A2
                    CALL        DISPLAY_FN          ;DISPLAY FUN
;
                    CLR         P3.0
                    SETB        P3.1
                    CLR         P3.2
;
FN_ON2_1:           CALL        SCANKEY             ;CALL SCANKEY
                    MOV         A,DATA_KEY          ;DATAKEY=A
                    CJNE        A,#0FFH,FN_ON2_2
                    SJMP        FN_ON1_1
;
FN_ON2_2:           CJNE        A,#0FH,FN_ON2_1     ;DETEC DATAKEY=0FH
                    SETB        P3.2                ;OFF RELAY
FN_ON_RET:          RET
;
FN_ON3:             MOV         A,#01H
                    CJNE        A,DATA_FN,FN_ON_RET
                    MOV         R7,#03H
FN_A3:              CALL        DISPLAY_FN          ;DISPLAY FUN
                    CALL        DELAY_500MS         ;DELAY
                    CALL        OFF_LCD             ;OFF LCD
                    CALL        DELAY_500MS         ;DELAY
                    DJNZ        R7,FN_A3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;
                    MOV         R0,#00H       ;CLR 74HC595
                    MOV         DATA_I,#00H
                    MOV         DATA_I1,#00H
                    MOV         DATA_I2,#00H
                    MOV         DATA_IX,#00H
                    CALL        SER_OUT       ;SEND TO 74HC595
                    SETB        P3.0
                    SETB        P3.1
                    CLR         P3.2
;
FN_ON3_1:           SETB        P2.6
                    CALL        READ_AD       ;READ A TO D FROM ICL7135
                    MOV         R0,DATA_IX
                    CALL        SER_OUT       ;SEND TO 74HC595
                    CALL        DISPLAY       ;DISPLAY LCD
                    CALL        DISPLAY_DCIN ;DISPLAY DC IN
                    CALL        SCANKEY       ;CALL SCANKEY
                    MOV         A,DATA_KEY    ;DATAKEY=A
                    CJNE        A,#0FFH,FN_ON3_2
                    SJMP        FN_ON3_1
;
FN_ON3_2:           CJNE        A,#0FH,FN_ON3_3 ;DETEC DATAKEY=0FH
                    SETB        P3.2            ;OFF RELAY
                    CLR         P2.6
                    RET
;
FN_ON3_3:           CJNE        A,#0CH,FN_ON3_4 ;DETEC DATAKEY=0CH
                    INC         DATA_I
                    MOV         A,DATA_I
                    CJNE        A,#38H,FN_ON33
                    MOV         DATA_I,#37H
FN_ON33:            MOV         A,DATA_I        ;CODE D TO A DETEC
                    MOV         B,#03H
                    MUL         AB
                    MOV         DATA_IX,A
                    MOV         A,DATA_I
                    MOV         B,#10
                    DIV         AB
                    MOV         DATA_I1,A
                    MOV         DATA_I2,B
                    SJMP        FN_ON3_1
;
FN_ON3_4:           CJNE        A,#0DH,FN_ON3_5 ;DETEC DATAKEY=0DH
                    DEC         DATA_I          ;DEC CODE D TO A DETEC
                    MOV         A,DATA_I
                    CJNE        A,#0FFH,FN_ON34
                    MOV         DATA_I,#00H
;
FN_ON34:            MOV         A,DATA_I        ;CODE D TO A DETEC
                    MOV         B,#03H
                    MUL         AB
                    MOV         DATA_IX,A
                    MOV         A,DATA_I
                    MOV         B,#10
                    DIV         AB
                    MOV         DATA_I1,A
                    MOV         DATA_I2,B
                    SJMP        FN_ON3_1
;
FN_ON3_5:           CJNE        A,#0EH,FN_ON3_6 ;DETEC DATAKEY=0EH
                    SJMP        FN_ON3_1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;
FN_ON3_6:       CJNE    A,#0AH,FN_ON3_7   ;DETEC DATAKEY=0AH
                SJMP    FN_ON3_1;
FN_ON3_7:       CJNE    A,#0BH,FN_ON3_8   ;DETEC DATAKEY=0BH
                SJMP    FN_ON3_1
;
FN_ON3_8:       CJNE    A,#09H,FN_ON3_9   ;DETEC DATAKEY=09H
                SJMP    FN_ON3_1
;
FN_ON3_9:       CJNE    A,#08H,FN_ON3_10  ;DETEC DATAKEY=08H
                AJMP    FN_ON3_1
;
FN_ON3_10:      CJNE    A,#07H,FN_ON3_11  ;DETEC DATAKEY=07H
                AJMP    FN_ON3_1
;
FN_ON3_11:      CJNE    A,#06H,FN_ON3_12  ;DETEC DATAKEY=06H
                AJMP    FN_ON3_1
;
FN_ON3_12:      MOV     A,DATA_KEY
                MOV     DATA_I1,A
                CLR     RS                ;LCD CURSOR BLINK
                MOV     A,#0FH
                CALL    WR_INC
                MOV     A,#00H
                CALL    DD_RAM
                MOV     A,DATA_I1
                ORL     A,#30H
                CALL    WR_LCD
;
FN_ON3_13:      CALL    SCANKEY           ;CALL SCANKEY
                MOV     A,DATA_KEY        ;DATAKEY=A
                CJNE    A,#0FFH,FN_ON3_14
                AJMP    FN_ON3_13
;
FN_ON3_14:      MOV     A,DATA_I1
                CJNE    A,#05H,FN_ON3_20  ;DETEC DATAKEY=05H
                MOV     A,DATA_KEY
;
FN_ON3_15:      CJNE    A,#09H,FN_ON3_17  ;DETEC DATAKEY=09H
                SJMP    FN_ON3_13
;
FN_ON3_17:      CJNE    A,#08H,FN_ON3_18  ;DETEC DATAKEY=08H
                AJMP    FN_ON3_13
;
FN_ON3_18:      CJNE    A,#07H,FN_ON3_19  ;DETEC DATAKEY=07H
                AJMP    FN_ON3_13
;
FN_ON3_19:      CJNE    A,#06H,FN_ON3_20  ;DETEC DATAKEY=06H
                AJMP    FN_ON3_13
;
FN_ON3_20:      MOV     A,DATA_KEY
                CJNE    A,#0EH,FN_ON3_21  ;DETEC DATAKEY=0EH
                SJMP    FN_ON3_13
;
FN_ON3_21:      CJNE    A,#0AH,FN_ON3_22  ;DETEC DATAKEY=0AH
                SJMP    FN_ON3_13
;
FN_ON3_22:      CJNE    A,#0BH,FN_ON3_23  ;DETEC DATAKEY=0BH
                SJMP    FN_ON3_13
;
FN_ON3_23:      CJNE    A,#0CH,FN_ON3_24  ;DETEC DATAKEY=0CH
                SJMP    FN_ON3_13
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;
FN_ON3_24:          CJNE        A,#0DH,FN_ON3_25  ;DETEC DATAKEY=0DH
                    SJMP        FN_ON3_13
;
FN_ON3_25:          CJNE        A,#0FH,FN_ON3_26  ;DETEC DATAKEY=0FH
                    SJMP        FN_ON3_13
;
FN_ON3_26:          MOV         DATA_I2,A         ;RETURN TO LCD
                    CLR         RS
                    MOV         A,#0CH
                    CALL        WR_INC
                    MOV         A,#01H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,DATA_I2
                    ORL         A,#30H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,DATA_I1
                    MOV         B,#10
                    MUL         AB
                    CLR         CY
                    ADD         A,DATA_I2
                    MOV         DATA_I,A
                    AJMP        FN_ON34
;
;**************DISPLAY_DCIN***************
DISPLAY_DCIN:       MOV         A,#00H            ;SET DD_RAM LCD=00H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,DATA_I1         ;DISPLAY DATA_I1
                    ORL         A,#30H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#01H            ;SET DD_RAM LCD=01H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,DATA_I2         ;DISPLAY DATA_I2
                    ORL         A,#30H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#02H            ;SET DD_RAM LCD=02H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,#20H            ;DISPLAY " "
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#03H            ;SET DD_RAM LCD=03H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,#6DH            ;DISPLAY "m"
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#04H            ;SET DD_RAM LCD=04H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,#41H            ;DISPLAY "A"
                    CALL        WR_LCD
                    RET
;
;**************VOLT_EX*****************
VOLT_EX:            CLR         P2.6              ;ON VOLT_EX
                    MOV         R7,#03H
;
VOLT_EX1:           MOV         A,#00H            ;SET DD_RAM LCD=00H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#VOLT
                    CALL        PRINT_LCD         ;DISPLAY FROM VOLT
                    MOV         A,#40H            ;SET DD_RAM LCD=40H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#VOLT+8      ;DISPLAY FROM VOLT+8
                    CALL        PRINT_LCD
                    CALL        DELAY_500MS       ;DELAY
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    CALL        OFF_LCD          ;OFF LCD
                    CALL        DELAY_500MS      ;DELAY
                    DJNZ        R7,VOLT_EX1
;
VOLT_EX2:           CLR         P2.6
                    CALL        READ_AD          ;READ A TD D FROM ICL7135
                    CALL        DISPLAY_P
                    CALL        SCANKEY          ;CALL SCANKEY
                    MOV         A,DATA_KEY       ;DATAKEY=A
                    CJNE        A,#0FFH,VOLT_EX3
                    SJMP        VOLT_EX2
;
VOLT_EX3:           MOV         A,DATA_KEY
                    CJNE        A,#0FH,VOLT_EX4  ;DETEC DATAKEY=0FH
                    RET
;
VOLT_EX4:           CJNE        A,#0BH,VOLT_EX2  ;DETEC DATAKEY=0BH
                    SJMP        VOLT_LED
;
;***************VOLT_LED****************
VOLT_LED:           SETB        P2.6             ;ON VOLT_LED
                    MOV         R7,#03H
;
VOLT_LED1:          MOV         A,#00H           ;SET DD_RAM LCD=00H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#VOLT+16    ;DISPLAY LCD FROM VOLT+16
                    CALL        PRINT_LCD
                    MOV         A,#40H           ;SET DD_RAM LCD=40H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#VOLT+24    ;DISPLAY LCD FROM VOLT+24
                    CALL        PRINT_LCD
                    CALL        DELAY_500MS      ;DELAY
                    CALL        OFF_LCD          ;OFF LCD
                    CALL        DELAY_500MS      ;DELAY
                    DJNZ        R7,VOLT_LED1
;
VOLT_LED2:          SETB        P2.6
                    CALL        READ_AD          ;READ A TD D FROM ICL7135
                    CALL        DISPLAY
                    CALL        SCANKEY          ;CALL SCANKEY
                    MOV         A,DATA_KEY       ;DATAKEY=A
                    CJNE        A,#0FFH,VOLT_LED3
                    SJMP        VOLT_LED2
;
VOLT_LED3:          MOV         A,DATA_KEY
                    CJNE        A,#0FH,VOLT_LED4 ;DETEC DATAKEY=0FH
                    CLR         P2.6
                    RET
;
VOLT_LED4:          CJNE        A,#0AH,VOLT_LED2 ;DETEC DATAKEY=0AH
                    CLR         P2.6
                    AJMP        VOLT_EX
;
;**************DISPLAY_FN**************
DISPLAY_FN:         MOV         A,#00H
                    CJNE        A,DATA_FN,DISPLAY_FN1
                    MOV         A,#00H           ;SET DD_RAM LCD=00H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#DISPLAY_FUN ;DISPLAY_FUN
                    CALL        PRINT_LCD
                    MOV         A,#40H           ;SET DD_RAM LCD=40H
                    CALL        DD_RAM
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    MOV         DPTR,#DISPLAY_FUN+8   ;DISPLAY_FUN+8
                    CALL        PRINT_LCD
                    RET
;
DISPLAY_FN1:        MOV         A,#01H
                    CJNE        A,DATA_FN,DISPLAY_FN2
                    MOV         A,#00H              ;SET DD_RAM LCD=00H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#DISPLAY_FUN+16  ;DISPLAY_FUN+16
                    CALL        PRINT_LCD
                    MOV         A,#40H              ;SET DD_RAM LCD=40H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#DISPLAY_FUN+24  ;DISPLAY_FUN+24
                    CALL        PRINT_LCD
                    RET
DISPLAY_FN2:        MOV         A,#02H
                    CJNE        A,DATA_FN,DISPLAY_FN3
                    MOV         A,#00H              ;SET DD_RAM LCD=00H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#DISPLAY_FUN+32  ;DISPLAY_FUN+32
                    CALL        PRINT_LCD
                    MOV         A,#40H              ;SET DD_RAM LCD=40H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#DISPLAY_FUN+40  ;DISPLAY_FUN+40
                    CALL        PRINT_LCD
                    RET
;
DISPLAY_FN3:        MOV         A,#03H
                    CJNE        A,DATA_FN,DISPLAY_FN4
                    MOV         A,#00H              ;SET DD_RAM LCD=00H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#DISPLAY_FUN+48  ;DISPLAY_FUN+48
                    CALL        PRINT_LCD
                    MOV         A,#40H              ;SET DD_RAM LCD=40H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#DISPLAY_FUN+56  ;DISPLAY_FUN+56
                    CALL        PRINT_LCD
;
DISPLAY_FN4:        RET
;
;**************READ_AD*****************
READ_AD:            SETB        P2.4                ;READ DATA A TO D
                    JNB         P2.4,$
                    MOV         P1,#0FFH
                    NOP
                    NOP
                    MOV         A,P1
                    ANL         A,#01H
                    MOV         D5,A                ;DIG1 DATA A TO D=D5
                    SETB        P2.3
                    JNB         P2.3,$
                    MOV         P1,#0FFH
                    NOP
                    NOP
                    MOV         A,P1
                    ANL         A,#0FH
                    MOV         D4,A                ;DIG2 DATA A TO D=D4
                    SETB        P2.2
                    JNB         P2.2,$
                    MOV         P1,#0FFH
                    NOP
                    NOP
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    MOV         A,P1
                    ANL         A,#0FH
                    MOV         D3,A                ;DIG3 DATA A TO D=D3
                    SETB        P2.1
                    JNB         P2.1,$
                    MOV         P1,#0FFH
                    NOP
                    NOP
                    MOV         A,P1
                    ANL         A,#0FH
                    MOV         D2,A                ;DIG4 DATA A TO D=D2
                    SETB        P2.0
                    JNB         P2.0,$
                    MOV         P1,#0FFH
                    NOP
                    NOP
                    MOV         A,P1
                    ANL         A,#0FH
                    MOV         D1,A                ;DIG5 DATA A TO D=D1
                    RET
;
;************* DISPLAY *****************
DISPLAY:            MOV         A,#40H              ;SET DD_RAM LCD=40H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,D5                ;DISPLAY D5
                    ORL         A,#30H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#41H              ;SET DD_RAM LCD=41H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,#2EH              ;DISPLAY "."
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#42H              ;SET DD_RAM LCD=42H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,D4                ;DISPLAY D4
                    ORL         A,#30H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#43H              ;SET DD_RAM LCD=43H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,D3                ;DISPLAY D3
                    ORL         A,#30H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#44H              ;SET DD_RAM LCD=44H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,D2                ;DISPLAY D2
                    ORL         A,#30H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#45H              ;SET DD_RAM LCD=45H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,D1                ;DISPLAY D1
                    ORL         A,#30H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#47H              ;SET DD_RAM LCD=47H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,#56H              ;DISPLAY "V"
                    CALL        WR_LCD
                    RET
;
;************* DISPLAY_P *****************
DISPLAY_P:          MOV         A,#40H              ;SET DD_RAM LCD=40H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,D5                ;DISPLAY D5
                    ORL         A,#30H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#42H          ;SET DD_RAM LCD=42H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,#2EH          ;DISPLAY "."
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#41H          ;SET DD_RAM LCD=41H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,D4            ;DISPLAY D4
                    ORL         A,#30H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#43H          ;SET DD_RAM LCD=43H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,D3            ;DISPLAY D3
                    ORL         A,#30H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#44H          ;SET DD_RAM LCD=44H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,D2            ;DISPLAY D2
                    ORL         A,#30H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#45H          ;SET DD_RAM LCD=45H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,D1            ;DISPLAY D1
                    ORL         A,#30H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#47H          ;SET DD_RAM LCD=47H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,#56H          ;DISPLAY "V"
                    CALL        WR_LCD
                    RET
;
;************* INIT_LCD ***************;
INIT_LCD:           CLR         RS              ;SET LCD ALL
                    MOV         A,#33H          ;SEND DATA LCD 4 BIT
                    CALL        WR_INC
                    MOV         A,#32H
                    CALL        WR_INC
                    MOV         A,#28H          ;DL=0,4BIT,N=1,5*7
                    CALL        WR_INC
                    MOV         A,#0CH          ;DISPLAY ON
                    CALL        WR_INC
                    MOV         A,#06H          ;I/D=1
                    CALL        WR_INC
                    MOV         A,#01H          ;CLER DISPLAY
                    CALL        WR_INC
                    RET
;
WR_INC:             MOV         B,A
                    ANL         A,#0F0H
                    MOV         P1,A
                    CALL        LCD_CLK         ;SEND 4BIT HI
                    MOV         A,B
                    SWAP        A
                    ANL         A,#0F0H
                    MOV         P1,A
                    CALL        LCD_CLK         ;SEND 4BIT LO
                    RET
;
;************* PRINT_LCD ***************;
PRINT_LCD:          MOV         R1,#00H         ;DISPLAY LCD FROM TABLE
                    MOV         R2,#08H
;
PRINT1:             MOV         A,R1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    MOVC        A,@A+DPTR
                    CALL        WR_LCD
                    INC         R1
                    DJNZ        R2,PRINT1
                    RET
;
WR_LCD:             USH         DPL             ;WRITE LCD
                    PUSH        DPH
                    SETB        RS
                    CALL        WR_INC
                    POP         DPH
                    POP         DPL
                    RET
;
DD_RAM:             PUSH        DPH             ;SET DD_RAM LCD
                    PUSH        DPL
                    SETB        ACC.7
                    CLR         RS
                    CALL        WR_INC
                    POP         DPL
                    POP         DPH
                    RET
;
LCD_CLK:            CLR         EN              ;GEN CLK EN
                    CALL        DELAY_1MS       ;DELAY
                    CALL        DELAY_1MS       ;DELAY
                    SETB        EN
                    RET
;
; ************  OFF_LCD ***************
OFF_LCD:            MOV         A,#00H          ;DISPLAY OFF LCD
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#SET_OFF
                    CALL        PRINT_LCD
                    MOV         A,#40H          ;SET DD_RAM LCD=40H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#SET_OFF
                    CALL        PRINT_LCD
                    RET
;
; ***************  SER_OUT  ************
SER_OUT:            SETB        SERIAL          ;DATA SER_OUT 74HC595
                    SETB        SHIFT
                    SETB        LATCH
                    MOV         R1,#08H
                    MOV         A,R0
SER_OUT1:           RLC         A
                    MOV         SERIAL,C
                    CLR         SHIFT           ;SHIFT DATA
                    SETB        SHIFT
                    DJNZ        R1,SER_OUT1
                    CLR         LATCH
                    NOP
                    SETB        LATCH           ;LATCH DATA OUT
                    RET
;
; **********  SCANKEY  ***********
SCANKEY:            MOV         R0,#00H         ;SCANKEY DATA OUT=DATA_KEY
                    MOV         R1,#04H
                    MOV         A,#11111110B
                    MOV         KEY,A
LOOPKEY:            INC         R0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    JNB         KEY.4,END       ;C1 ON
                    INC         R0
                    JNB         KEY.5,END       ;C2 ON
                    INC         R0
                    JNB         KEY.6,END       ;C3 ON
                    INC         R0
                    JNB         KEY.7,END       ;C4 ON
                    RL          A
                    MOV         KEY,A
                    DJNZ        R1,LOOPKEY
                    MOV         DATA_KEY,#0FFH
                    RET
;
END:                MOV         KEY,#0FFH
                    MOV         A,R0
                    MOV         DPTR,#DETEC_KEY
                    MOVC        A,@A+DPTR
;
ENDX:               MOV         DATA_KEY,A
                    CALL        DELAY_100MS     ;DELAY
                    CALL        DELAY_100MS     ;DELAY
                    RET
;
; ***********   DELAY TIME  ***********
DELAY_1MS:          MOV         R0,#0E6H        ;DELAY_1MS
;
DELAY_1MS_1:        NOP
                    NOP
                    DJNZ        R0,DELAY_1MS_1
                    RET
;
DELAY_100MS:        MOV         R1,#064H        ;DELAY_100MS
;
DELAY_100MS_1:      CALL        DELAY_1MS
                    DJNZ        R1,DELAY_100MS_1
                    RET
;
DELAY_500MS:        MOV         R2,#05H         ;DELAY_500MS
DELAY_500S_1:       ACALL       DELAY_100MS
                    DJNZ        R2,DELAY_1S_1
                    RET
;
DELAY_1S:           MOV         R2,#0AH         ;DELAY_1S
DELAY_1S_1:         ACALL       DELAY_100MS
                    DJNZ        R2,DELAY_1S_1
                    RET
;
;*********** LOOP START DISPLAY *************;
LOOP_DIS:           MOV         A,#00H          ;DISPLAY NAME START
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,20H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#01H          ;SET DD_RAM LCD=01H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,21H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#02H          ;SET DD_RAM LCD=02H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,22H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#03H          ;SET DD_RAM LCD=03H
                    CALL        DD_RAM
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV         A,23H
                CALL        WR_LCD
                MOV         A,#04H          ;SET DD_RAM LCD=04H
                CALL        DD_RAM
                MOV         A,24H
                CALL        WR_LCD
                MOV         A,#05H          ;SET DD_RAM LCD=05H
                CALL        DD_RAM
                MOV         A,25H
                CALL        WR_LCD
                MOV         A,#06H          ;SET DD_RAM LCD=06H
                CALL        DD_RAM
                MOV         A,26H
                CALL        WR_LCD
                MOV         A,#07H          ;SET DD_RAM LCD=07H
                CALL        DD_RAM
                MOV         A,27H
                CALL        WR_LCD
                MOV         A,#40H          ;SET DD_RAM LCD=40H
                CALL        DD_RAM
                MOV         A,28H
                CALL        WR_LCD
                MOV         A,#41H          ;SET DD_RAM LCD=41H
                CALL        DD_RAM
                MOV         A,29H
                CALL        WR_LCD
                MOV         A,#42H          ;SET DD_RAM LCD=42H
                CALL        DD_RAM
                MOV         A,2AH
                CALL        WR_LCD
                MOV         A,#43H          ;SET DD_RAM LCD=43H
                CALL        DD_RAM
                MOV         A,2BH
                CALL        WR_LCD
                MOV         A,#44H          ;SET DD_RAM LCD=44H
                CALL        DD_RAM
                MOV         A,2CH
                CALL        WR_LCD
                MOV         A,#45H          ;SET DD_RAM LCD=45H
                CALL        DD_RAM
                MOV         A,2DH
                CALL        WR_LCD
                MOV         A,#46H          ;SET DD_RAM LCD=46H
                CALL        DD_RAM
                MOV         A,2EH
                CALL        WR_LCD
                MOV         A,#47H          ;SET DD_RAM LCD=47H
                CALL        DD_RAM
                MOV         A,2FH
                CALL        WR_LCD
                RET

;************ DATA_LCD *************;
START_DATA:     DB      "Optical Fiber Transmission System Demonstrating
Set"
SET_OFF:        DB      "                "
                DB      "Produced By Telecom 22"
                DB      "                "
SELECT_INPUT:   DB      "  Select Input  "
DISPLAY_FUN:    DB      "  External DC   "
                DB      "  Internal DC   "
                DB      "  External AC   "
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    DB      "External Digital"
VOLT:               DB      "Volt From EX/DC "
                    DB      " Volt From LEDs "
DETEC_KEY:          DB      0FFH,0CH,03H,02H,01H,0DH,06H,05H,04H
                    DB      0EH,09H,08H,07H,0BH,0AH,00H,0FH
       END
```

รูปที่ จ.1 โปรแกรมการทำงานของเครื่องส่ง

```
; FILENAME          PROJECT_RX.ASM
; DESCRIPTION       Optical fiber transmission system demonstrating set
; HARDWARE          Optical Receiver V1.0
; ASSEMBLER         SXA51
; START-DATE        13/01/02
; INSTITUTION       King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
(KMITL)
; FACULTY           Industrial Education 22 ED.Engineer
;
; ***********  START PROGRAM ***********
;
EN                  BIT             P3.6        ;CONTRON_BIT LCD
RS                  BIT             P3.7
DATA_LCD            EQU             P1
;
D5                  EQU             30H         ;DATA_ICL7135
D4                  EQU             31H
D3                  EQU             32H
D2                  EQU             33H
D1                  EQU             34H
;
D5B                 EQU             35H         ;DATA_ICL7135 BUFFER
D4B                 EQU             36H
D3B                 EQU             37H
D2B                 EQU             38H
D1B                 EQU             39H
;
; ***********   START PROGRAM  ***********
                    ORG             0000H
                    CALL            INIT_LCD    ;SET LCD
                    MOV             R0,#20H
                    MOV             A,#20H
                    MOV             R1,#10H
;
LOOP_REG:           MOV             @R0,A       ;CLR DISPLAY NAME
                    INC             R0
                    DJNZ            R1,LOOP_REG
                    MOV             R7,#00H
                    MOV             R6,#6AH
;
LOOP_STARTDIS:      CALL            LOOP_DIS    ;CALL DISPLAY NAME
                    CALL            DELAY_100MS ;DISPLAY
                    MOV             DPTR,#START_DATA
                    MOV             A,R7
                    MOVC            A,@A+DPTR   ;A=TABLE
                    MOV             20H,21H       ;SHIFT DATA
                    MOV             21H,22H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    MOV         22H,23H
                    MOV         23H,24H
                    MOV         24H,25H
                    MOV         25H,26H
                    MOV         26H,27H
                    MOV         27H,28H
                    MOV         28H,29H
                    MOV         29H,2AH
                    MOV         2AH,2BH
                    MOV         2BH,2CH
                    MOV         2CH,2DH
                    MOV         2DH,2EH
                    MOV         2EH,2FH
                    MOV         2FH,A
                    INC         R7
                    DJNZ        R6,LOOP_STARTDIS  ;R6-1=0 NEXT
                    AJMP        MAIN1

;*************MAINPROGRAM*************
MAIN:               JNB         P0.0,$
                    CALL        DELAY_500MS       ;DELAY
                    CLR         P2.6
                    SETB        P0.0
                    CLR         P0.1
                    JNB         P0.0,MAIN1
                    MOV         R7,#05H
;
L_P:                MOV         A,#00H            ;SET DD_RAM LCD=00H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#VOLT_RL1    ;DISPLAY VOLT_RL1
                    CALL        PRINT_LCD
                    MOV         A,#40H            ;SET DD_RAM LCD=40H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#VOLT_RL2    ;DISPLAY VOLT_RL2
                    CALL        PRINT_LCD
                    CALL        DELAY_500MS       ;DELAY
                    CALL        OFF_LCD           ;OFF LCD
                    CALL        DELAY_500MS       ;DELAY
                    DJNZ        R7,L_P
;
LOOP:               SETB        P0.0
                    CLR         P0.1
                    JNB         P0.0,MAIN1
                    CALL        READ_ADBUF        ;READ A TO D TO BUFFER
                    CALL        DISPLAY           ;DISPLAY VOLT
                    SJMP        LOOP
;
MAIN1:              JNB         P0.0,$
                    CALL        DELAY_500MS       ;DELAY
                    SETB        P2.6
                    SETB        P0.0
                    CLR         P0.1
                    JNB         P0.0,MAIN
                    MOV         R7,#05H
;
L_P1:               MOV         A,#00H          ;SET DD_RAM LCD=00H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#OFF1      ;DISPLAY OFF1
                    CALL        PRINT_LCD
                    MOV         A,#40H          ;SET DD_RAM LCD=40H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#OFF2      ;DISPLAY OFF2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CALL        PRINT_LCD
                CALL        DELAY_500MS       ;DELAY
                CALL        OFF_LCD           ;OFF LCD
                CALL        DELAY_500MS       ;DELAY
                DJNZ        R7,L_P1
;
LOOP1:          SETB        P0.0
                CLR         P0.1
                JNB         P0.0,MAIN
                SJMP        LOOP1
;
;**************READ_ADBUF***************
READ_ADBUF:     CALL        READ_AD           ;CALL READ A TO D
                MOV         D5B,D5            ;SEND DATA A TO D TO BUF
                MOV         D4B,D4
                MOV         D3B,D3
                MOV         D2B,D2
                MOV         D1B,D1
                MOV         R7,#09H
READ_ADLOOP:    CALL        READ_AD           ;CALL READ A TO D
                MOV         A,D5
                ADD         A,D5B             ;ADD D5+D5 NEXT1/10
                MOV         D5B,A
                MOV         A,D4
                ADD         A,D4B             ;ADD D4+D4 NEXT1/10
                MOV         D4B,A
                MOV         A,D3
                ADD         A,D3B             ;ADD D3+D3 NEXT1/10
                MOV         D3B,A
                MOV         A,D2
                ADD         A,D2B             ;ADD D2+D2 NEXT1/10
                MOV         D2B,A
                MOV         A,D1
                ADD         A,D1B             ;ADD D1+D1 NEXT1/10
                MOV         D1B,A
                DJNZ        R7,READ_ADLOOP
                MOV         A,D4B             ;D4/10
                MOV         B,#0AH
                DIV         AB
                MOV         D4,A
                MOV         A,#05H
                CLR         CY
                SUBB        A,B
                JNC         READ1
                INC         D4
;
READ1:          MOV         A,D3B             ;D3/10
                MOV         B,#0AH
                DIV         AB
                MOV         D3,A
                MOV         A,#05H
                CLR         CY
                SUBB        A,B
                JNC         READ2
                INC         D3
;

READ2:          MOV         A,D2B             ;D2/10
                MOV         B,#0AH
                DIV         AB
                MOV         D2,A
                MOV         A,#05H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    CLR         CY
                    SUBB        A,B
                    JNC         READ3
                    INC         D2
;
READ3:              MOV         A,D1B           ;D1/10
                    MOV         B,#0AH
                    DIV         AB
                    MOV         D1,A
                    MOV         A,#05H
                    CLR         CY
                    SUBB        A,B
                    JNC         READ4
                    INC         D1
;
READ4:              MOV         A,D5B           ;D5/10
                    MOV         B,#0AH
                    DIV         AB
                    MOV         D5,A
                    MOV         A,#05H
                    CLR         CY
                    SUBB        A,B
                    JNC         READ5
                    INC         D5
;
READ5:              RET
;
;**************READ_AD*****************
READ_AD:            SETB        P2.4            ;READ DATA A TO D
                    JNB         P2.4,$
                    MOV         P1,#0FFH
                    NOP
                    NOP
                    MOV         A,P1
                    ANL         A,#01H
                    MOV         D5,A            ;DIG1 DATA A TO D=D5
                    SETB        P2.3
                    JNB         P2.3,$
                    MOV         P1,#0FFH
                    NOP
                    NOP
                    MOV         A,P1
                    ANL         A,#0FH
                    MOV         D4,A            ;DIG2 DATA A TO D=D4
                    SETB        P2.2
                    JNB         P2.2,$
                    MOV         P1,#0FFH
                    NOP
                    NOP
                    MOV         A,P1
                    ANL         A,#0FH
                    MOV         D3,A            ;DIG3 DATA A TO D=D3
                    SETB        P2.1
                    JNB         P2.1,$
                    MOV         P1,#0FFH
                    NOP
                    NOP
                    MOV         A,P1
                    ANL         A,#0FH
                    MOV         D2,A            ;DIG4 DATA A TO D=D2
                    SETB        P2.0
                    JNB         P2.0,$
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    MOV         P1,#0FFH
                    NOP
                    NOP
                    MOV         A,P1
                    ANL         A,#0FH
                    MOV         D1,A            ;DIG5 DATA A TO D=D1
                    RET
;
;************* DISPLAY *****************;
DISPLAY:            MOV         A,#40H          ;SET DD_RAM LCD=40H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,D5            ;DISPLAY D5
                    ORL         A,#30H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#42H          ;SET DD_RAM LCD=41H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,#2EH          ;DISPLAY "."
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#41H          ;SET DD_RAM LCD=42H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,D4            ;DISPLAY D4
                    ORL         A,#30H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#43H          ;SET DD_RAM LCD=43H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,D3            ;DISPLAY D3
                    ORL         A,#30H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#44H          ;SET DD_RAM LCD=44H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,D2            ;DISPLAY D2
                    ORL         A,#30H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#45H          ;SET DD_RAM LCD=45H
                    MOV         A,D1
                    ORL         A,#30H          ;DISPLAY D1
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#47H          ;SET DD_RAM LCD=47H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,#56H          ;DISPLAY "V"
                    CALL        WR_LCD
                    RET
;
;************* INIT_LCD ****************;
INIT_LCD:           CLR         RS              ;SET LCD ALL
                    MOV         A,#33H          ;SEND DATA LCD 4 BIT
                    CALL        WR_INC
                    MOV         A,#32H
                    CALL        WR_INC
                    MOV         A,#28H          ;DL=0,4BIT,N=1,5*7
                    CALL        WR_INC
                    MOV         A,#0CH          ;DISPLAY ON
                    CALL        WR_INC
                    MOV         A,#06H          ;I/D=1
                    CALL        WR_INC
                    MOV         A,#01H          ;CLR DISPLAY
                    CALL        WR_INC
                    RET
;
WR_INC:             MOV         B,A             ;WR LCD
                    ANL         A,#0F0H
                    MOV         P1,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    CALL        LCD_CLK
                    MOV         A,B
                    SWAP        A
                    ANL         A,#0F0H
                    MOV         P1,A
                    CALL        LCD_CLK
                    RET
;
;************* PRINT_LCD ****************;
PRINT_LCD:          MOV         R1,#00H             ;PRINT_LCD FROM TABLE
                    MOV         R2,#08H
;
PRINT1:             MOV         A,R1
                    MOVC        A,@A+DPTR
                    CALL        WR_LCD
                    INC         R1
                    DJNZ        R2,PRINT1
                    RET
;
WR_LCD:             PUSH        DPL                 ;WR_LCD
                    PUSH        DPH
                    SETB        RS
                    CALL        WR_INC
                    POP         DPH
                    POP         DPL
                    RET
;
DD_RAM:             PUSH        DPH                 ;SET DD_RAM LCD
                    PUSH        DPL
                    SETB        ACC.7
                    CLR         RS
                    CALL        WR_INC
                    POP         DPL
                    POP         DPH
                    RET
;
LCD_CLK:            CLR         EN                  ;GEN CLK EN
                    CALL        DELAY_1MS
                    CALL        DELAY_1MS
                    SETB        EN
                    RET
;
; ************  OFF_LCD ***************';
OFF_LCD:            MOV         A,#00H              ;SET OFF LCD
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#SET_OFF
                    CALL        PRINT_LCD
                    MOV         A,#40H              ;SET DD_RAM LCD=40H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         DPTR,#SET_OFF       ;DISPLAY SET OFF
                    CALL        PRINT_LCD
                    RET
;
; ************   DELAY TIME  *************;
DELAY_1MS:          MOV         R0,#0E6H            ;DELAY 1MS
DELAY_1MS_1:        NOP
                    NOP
                    DJNZ        R0,DELAY_1MS_1
                    RET
;
DELAY_100MS:        MOV         R1,#064H             ;DELAY 100MS
DELAY_100MS_1:      CALL        DELAY_1MS
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    DJNZ        R1,DELAY_100MS_1
                    RET
;
DELAY_500MS:        MOV         R2,#05H             ;DELAY 500MS
DELAY_500S_1:       ACALL       DELAY_100MS
                    DJNZ        R2,DELAY_1S_1
                    RET
;
DELAY_1S:           MOV         R2,#0AH             ;DELAY 1S
DELAY_1S_1:         ACALL       DELAY_100MS
                    DJNZ        R2,DELAY_1S_1
                    RET
;
;*********** LOOP START DISPLAY ************;
LOOP_DIS:           MOV         A,#00H              ;DISPLAY NAME START
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,20H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#01H              ;SET DD_RAM LCD=01H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,21H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#02H              ;SET DD_RAM LCD=02H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,22H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#03H              ;SET DD_RAM LCD=03H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,23H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#04H              ;SET DD_RAM LCD=04H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,24H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#05H              ;SET DD_RAM LCD=05H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,25H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#06H              ;SET DD_RAM LCD=06H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,26H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#07H              ;SET DD_RAM LCD=07H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,27H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#40H              ;SET DD_RAM LCD=40H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,28H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#41H              ;SET DD_RAM LCD=41H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,29H
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#42H              ;SET DD_RAM LCD=42H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,2AH
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#43H              ;SET DD_RAM LCD=43H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,2BH
                    CALL        WR_LCD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    MOV         A,#44H          ;SET DD_RAM LCD=44H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,2CH
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#45H          ;SET DD_RAM LCD=45H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,2DH
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#46H          ;SET DD_RAM LCD=46H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,2EH
                    CALL        WR_LCD
                    MOV         A,#47H          ;SET DD_RAM LCD=47H
                    CALL        DD_RAM
                    MOV         A,2FH
                    CALL        WR_LCD
                    RET
;
;************ DATA_LCD *************;
START_DATA:         DB      "Optical Fiber Transmission System Demonstrating
Set"
SET_OFF:            DB      "                "
                    DB      "Produced By Telecom 22"
                    DB      "                "
VOLT_RL1:           DB      "  VOLT F"
VOLT_RL2:           DB      "ROM RL  "
OFF1:               DB      "    OFF "
OFF2:               DB      "LCD     "
;
; ****************  END  ****************
;
                    END
```

รูปที่ จ.2 โปรแกรมการทำงานของเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ
คู่มือการใช้งาน

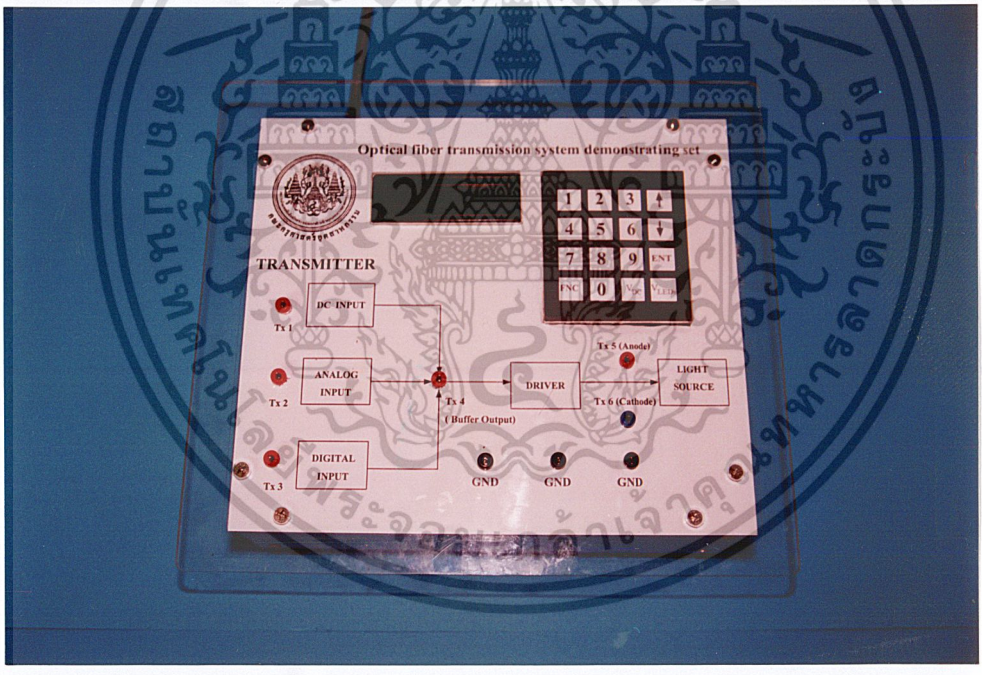
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน
เครื่องรับ - ส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสง

สามารถแบ่งการใช้งานได้ดังนี้

1.1 เครื่องส่ง

ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสง โดยสัญญาณไฟฟ้าที่เครื่องส่งสามารถส่งได้คือ สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง สัญญาณแอนะลอก และสัญญาณดิจิตอล ลักษณะของเครื่องส่งแสดงดังรูปที่ ฉ.1



รูปที่ ฉ.1 ลักษณะของเครื่องส่ง

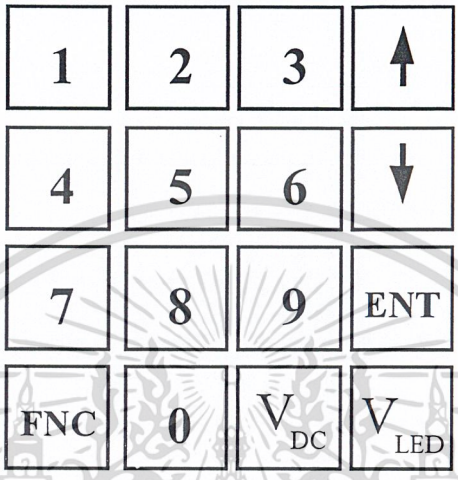
จากรูปที่ ฉ.1 สามารถแบ่งการใช้งานของเครื่องส่งออกเป็นส่วนๆ ดังนี้

1.1.1 จอแสดงผลแบบผลึกเหลว ทำหน้าที่แสดงข้อความตามที่เขียนโปรแกรมควบคุมไว้เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.2 สวิตช์แบบเมตริกซ์

ทำหน้าที่เลือกฟังก์ชันการใช้งาน ซึ่งสวิตช์ต่างๆ แสดงดังรูปที่ ฉ.2



รูปที่ ฉ.2 ลักษณะของสวิตช์แบบเมตริกซ์

โดยสวิตช์ต่างๆ มีหน้าที่ดังนี้

1) สวิตช์ 0-9 กดเพื่อเลือกค่าตัวเลขตามสวิตช์ที่กด

2) สวิตช์ FNC กดเพื่อเลือกสัญญาณอินพุตต่างๆ ตามลำดับดังนี้

2.1) External DC

2.2) Internal DC

2.3) External Analog

2.4) External Digital

3) สวิตช์ ↑ มีการใช้งาน 2 ลักษณะดังนี้

3.1) ใช้เพิ่มค่าตัวเลขครั้งละ 1 ค่า

3.2) ใช้เลือกฟังก์ชันการเลือกสัญญาณอินพุตที่จะป้อนให้แก่ภาคขับสัญญาณ

4) สวิตช์ ↓ มีการใช้งาน 2 ลักษณะดังนี้

4.1) ใช้ลดค่าตัวเลขครั้งละ 1 ค่า

4.2) ใช้เลือกฟังก์ชันการเลือกสัญญาณอินพุตที่จะป้อนให้แก่ภาคขับสัญญาณ

5) สวิตช์ ENT กดเพื่อเข้าสู่การใช้งานเมื่อทำการเลือกใช้ฟังก์ชันแล้ว

6) สวิตช์ V_{DC} กดเพื่อเลือกใช้ ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ ที่ใช้วัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายภายนอก โดยความสามารถในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสูงสุดที่ 20 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) สวิตช์ V_{LED} กดเพื่อเลือกใช้ ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ ที่ใช้วัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสง

1.1.3 Tx1-Tx5 เป็นจุดที่ใช้ในการเชื่อมต่อสัญญาณอินพุตจากแหล่งจ่าย หรือจากสายวัดสัญญาณจากเครื่องมือวัด

1.1.4 สวิตช์ Power ทำหน้าที่ปิด-เปิด เครื่องส่ง

1.1.5 จุดเชื่อมต่อสายไฟ AC 220 โวลต์

1.2 ตัวอย่างการใช้งานเครื่องส่ง

1.2.1 กรณีเลือกใช้สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง จากแหล่งจ่ายภายนอก

1) ต่อสายไฟ AC 220 โวลต์ และทำการเปิดสวิตช์ Power

2) จอแสดงผลแบบผลึกเหลว แสดงข้อความต่อไปนี้ ตามลำดับ

"Optical fiber transmission system demonstrating set"

"Produced By Telecom 22"

"Select Function"

3) กดสวิตช์ FNC จะทำให้จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ

"External DC"

4) กดสวิตช์ ENT จะทำให้จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ "External DC" ในลักษณะกระพริบ 3 ครั้ง เพื่อแสดงว่าได้ทำการต่อสัญญาณอินพุตที่เลือกไปยังภาคขับสัญญาณ จากนั้นจะแสดงข้อความ "External DC" ตลอดจนกระทั่งมีการการเลือกสัญญาณอินพุตใหม่ จึงจะทำให้ข้อความเปลี่ยนแปลงตามไป

ตารางที่ ฉ.1 ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

กระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสง	แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายภายนอก
10 mA	0.8 V
20 mA	1.6 V
30 mA	2.4 V
40 mA	3.2 V
50 mA	4 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) กดสวิตช์ V_{DC} จะทำให้จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ “00.000 V”

6) ทำการเชื่อมต่อสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายภายนอก ที่จุด Tx1 กับ GND

7) ปรับค่าแรงดันที่แหล่งจ่ายตามตารางที่ ฉ.1 โดยดูค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายภายนอก ผ่านจอแสดงผลแบบผลึกเหลว

1.2.2 กรณีเลือกใช้สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง จากแหล่งจ่ายภายในเครื่องส่ง

1) ต่อสายไฟ AC 220 โวลต์ และทำการเปิดสวิตช์ Power

2) จอแสดงผลแบบผลึกเหลว แสดงข้อความต่อไปนี้ ตามลำดับ

“Optical fiber transmission system demonstrating set”

“Produced By Telecom 22”

“Select Function”

3) กดสวิตช์ FNC จะทำให้จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ

“External DC”

4) กดสวิตช์ ↑ หนึ่งครั้ง จะทำให้จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ

“Internal DC”

5) กดสวิตช์ ENT จะทำให้จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ “Internal DC” ในลักษณะกระพริบ 3 ครั้ง เพื่อแสดงว่าได้ทำการต่อสัญญาณอินพุตที่เลือกไปยังภาคขับสัญญาณ จากนั้นจะแสดงข้อความ “00 mA 0.0000 V” ตลอดจนกระทั่งมีการการเลือกสัญญาณอินพุตใหม่ จึงจะทำให้ข้อความเปลี่ยนแปลงตามไป

6) เมื่อต้องการเปลี่ยนค่ากระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงสามารถทำได้โดยกดสวิตช์ 0-9 เช่น เมื่อต้องการเลือกค่ากระแสที่ 25 mA ก็ทำการกดเลข 2 และเลข 5 ตามลำดับ หรือถ้าต้องการเปลี่ยนค่ากระแสครั้งละ 1 mA สามารถทำได้โดยกดสวิตช์ ↑ หรือ ↓ เช่น เดิมจอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงค่ากระแสที่ 05 mA เมื่อทำการกดสวิตช์ 1 ครั้ง ทำให้จอแสดงผล 06 mA และเมื่อทำการกดสวิตช์ 1 ครั้ง ทำให้จอแสดงผลแสดงค่า 05 mA เป็นต้น โดยกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงมีค่าไม่เกิน 55 mA

7) เมื่อทำการกดค่ากระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงตามต้องการแล้ว สามารถอ่านค่าแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสง จากจอแสดงผลแบบผลึกเหลว เช่น “55 mA 0.2987 V”

1.2.3 กรณีเลือกใช้สัญญาณแอนะลอก จากแหล่งจ่ายภายนอก

1) ต่อสายไฟ AC 220 โวลต์ และทำการเปิดสวิตช์ Power

2) จอแสดงผลแบบผลึกเหลว แสดงข้อความต่อไปนี้ ตามลำดับ

“Optical fiber transmission system demonstrating set”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"Produced By Telecom 22"

"Select Function"

3) กดสวิตช์ FNC จะทำให้จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ

"External DC"

4) กดสวิตช์ ↑ สองครั้ง จะทำให้จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ

"Extenal Analog"

5) กดสวิตช์ ENT จะทำให้จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ "External Analog" ในลักษณะกระพริบ 3 ครั้ง เพื่อแสดงว่าได้ทำการต่อสัญญาณอินพุตที่เลือกไปยังภาคขับสัญญาณ จากนั้นจะแสดงข้อความ "External Analog" ตลอดจนกระทั่งมีการการเลือกสัญญาณอินพุตใหม่ จึงจะทำให้ข้อความเปลี่ยนแปลงตามไป

6) ทำการเชื่อมต่อสัญญาณแอนะลอกเข้าที่จุด Tx2 กับ GND

7) ทำการเชื่อมต่อสายวัดสัญญาณจากเครื่องมือวัดเข้าที่จุด Tx5 และ Tx6 เพื่อวัดสัญญาณที่ตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสง

1.2.4 กรณีเลือกใช้สัญญาณดิจิตอล จากแหล่งจ่ายภายนอก

1) ต่อสายไฟ AC 220 โวลต์ และทำการเปิดสวิตช์ Power

2) จอแสดงผลแบบผลึกเหลว แสดงข้อความต่อไปนี้ ตามลำดับ

"Optical fiber transmission system demonstrating set"

"Produced By Telecom 22"

"Select Function"

3) กดสวิตช์ FNC จะทำให้จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ

"External DC"

4) กดสวิตช์ ↑ สามครั้ง จะทำให้จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ

"Extenal Digital"

5) กดสวิตช์ ENT จะทำให้จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ "External Digital" ในลักษณะกระพริบ 3 ครั้ง เพื่อแสดงว่าได้ทำการต่อสัญญาณอินพุตที่เลือกไปยังภาคขับสัญญาณ จากนั้นจะแสดงข้อความ "External Digital" ตลอดจนกระทั่งมีการการเลือกสัญญาณอินพุตใหม่ จึงจะทำให้ข้อความเปลี่ยนแปลงตามไป

6) ทำการเชื่อมต่อสัญญาณดิจิตอลเข้าที่จุด Tx3 กับ GND

7) ทำการเชื่อมต่อสายวัดสัญญาณจากเครื่องมือวัดเข้าที่จุด Tx5 และ Tx6 เพื่อวัดสัญญาณที่ตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ ในกรณีที่ทำการเลือกสัญญาณอินพุตไว้แล้ว สามารถเลือกสัญญาณอินพุตใหม่ได้โดยการกดสวิตช์ FNC และทำการเลือกสัญญาณอินพุตโดยใช้สวิตช์ ↑ หรือ ↓

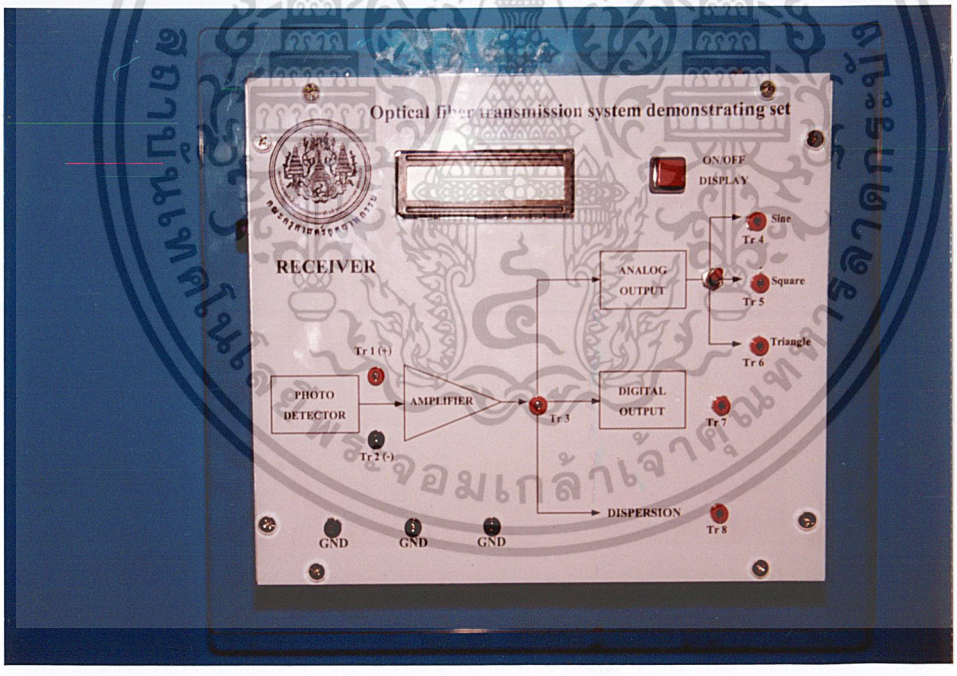
1.3 เครื่องรับ

ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยสัญญาณไฟฟ้าที่เครื่องรับสามารถรับได้คือ สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง สัญญาณแอนะลอก และสัญญาณดิจิตอล ลักษณะของเครื่องรับแสดงดังรูปที่ ฉ.3

จากรูปที่ ฉ.3 สามารถแบ่งการใช้งานของเครื่องรับออกเป็นส่วนๆ ดังนี้

1.3.1 จอแสดงผลแบบผลึกเหลว ทำหน้าที่แสดงข้อความตามที่เขียนโปรแกรมควบคุมไว้เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

1.3.2 สวิตช์กดติดปล่อยดับ ทำหน้าที่ปิดและเปิด จอแสดงผลแบบผลึกเหลว



รูปที่ ฉ.3 ลักษณะของเครื่องรับ

1.3.3 สวิตช์ 3 ทาง ทำหน้าที่เลือกสัญญาณแอนะลอกที่ต้องการวัด ดังต่อไปนี้ตามลำดับ

1) Sine Wave

2) Square Wave

3)Triangle Wave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.4 Tr1-Tr5 เป็นจุดที่ใช้ในการเชื่อมต่อสายวัดสัญญาณจากเครื่องมือวัด

1.3.5 สวิตช์ Power ทำหน้าที่ปิด-เปิด เครื่องส่ง

1.3.6 จุดเชื่อมต่อสายไฟ AC 220 โวลต์

1.4. ตัวอย่างการใช้งานเครื่องรับ

1.4.1 กรณีเลือกใช้สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายภายในเครื่องส่ง หรือจากแหล่งจ่ายภายนอก

1) ต่อสายไฟ AC 220 โวลต์ และทำการเปิดสวิตช์ Power

2) จอแสดงผลแบบผลึกเหลว แสดงข้อความต่อไปนี้ ตามลำดับ

"Optical fiber transmission system demonstrating set"

"Produced By Telecom 22"

"00.000 V" ซึ่งจะแสดงค่าแรงดันที่ตกคร่อม R_L (ตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมกับอุปกรณ์รับแสง) โดยเปลี่ยนตามการปรับค่ากระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงจากเครื่องส่ง

1.4.2 กรณีเลือกใช้สัญญาณแอนะลอกจากแหล่งจ่ายภายนอก

1) ต่อสายไฟ AC 220 โวลต์ และทำการเปิดสวิตช์ Power

2) จอแสดงผลแบบผลึกเหลว แสดงข้อความต่อไปนี้ ตามลำดับ

"Optical fiber transmission system demonstrating set"

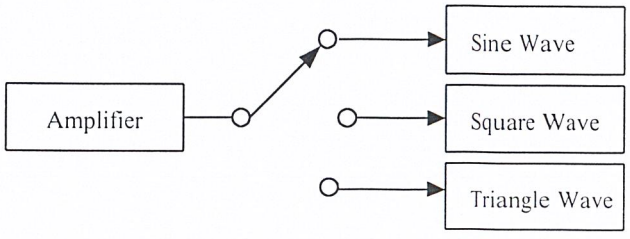
"Produced By Telecom 22"

"00.000 V" แสดงแรงดันที่ตกคร่อม R_L (ตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมกับอุปกรณ์รับแสง)

3) กดสวิตช์กดติดปล่อยดับ เพื่อปิดจอแสดงผลแบบผลึกเหลว

4) เชื่อมต่อสายวัดสัญญาณจากเครื่องมือวัดที่จุด Tx8 เพื่อวัดสัญญาณที่เกิดการขยายกว้างออก

5) โยกสวิตช์สามทาง เพื่อเลือกวัดสัญญาณเอาต์พุต



รูปที่ ฉ.4 สวิตช์สามทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ทำการเชื่อมต่อสายวัดสัญญาณจากเครื่องมือวัดเข้าที่จุด Tr4, Tr5 หรือ Tr6 เพื่อวัดสัญญาณเอาต์พุต

1.4.3 กรณีเลือกใช้สัญญาณดิจิตอลจากแหล่งจ่ายภายนอก

1) ต่อสายไฟ AC 220 โวลต์ และทำการเปิดสวิตช์ Power

2) จอแสดงผลแบบผลึกเหลว แสดงข้อความต่อไปนี้ ตามลำดับ

"Optical fiber transmission system demonstrating set"

"Produced By Telecom 22"

"00.000 V" ซึ่งจะแสดงแรงดันที่ตกคร่อม R_L (ตัวต้านทานที่ต่อนุกรมกับอุปกรณ์รับแสง)

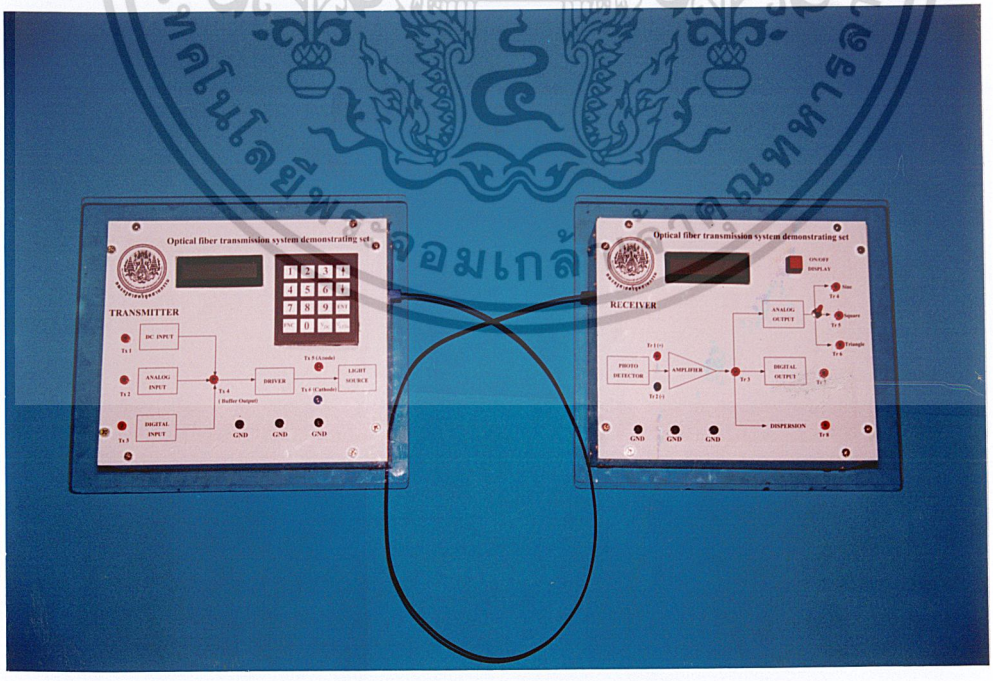
3) กดสวิตช์กดติดปล่อยดับ เพื่อปิดจอแสดงผลแบบผลึกเหลว

4) เชื่อมต่อสายวัดสัญญาณจากเครื่องมือวัดที่จุด Tr8 เพื่อวัดสัญญาณที่เกิดการขยายกว้างออก

5) ทำการเชื่อมต่อสายวัดสัญญาณจากเครื่องมือวัดเข้าที่จุด Tr7 เพื่อวัดสัญญาณเอาต์พุต

1.5 การเชื่อมต่อสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับกระทำผ่านเส้นใยนำแสง

แสดงดังรูปที่ ฉ.5



รูปที่ ฉ.5 การเชื่อมต่อเส้นใยนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช

ใบงานการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 1
การเดินทางเป็นเส้นตรง การสะท้อน การหักเห และการเดินทางของแสงในตัวกลาง

วัตถุประสงค์

เพื่อให้นักศึกษาสามารถ

1. อธิบายการเดินทางของแสงเป็นเส้นตรง การหักเห และการสะท้อนของแสงได้
2. วัดมุมตกกระทบ มุมสะท้อน และมุมหักเหเมื่อแสงเดินทางผ่านแท่งพลาสติกได้
3. อธิบายการเดินทางของแสงในตัวกลาง และคำนวณหาค่าดัชนีการหักเหของตัวกลางได้

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดทดลองการเดินทางเป็นเส้นตรง การสะท้อน การหักเห และการเดินทางของแสงในตัวกลาง	1 ชุด
2. อุปกรณ์กำเนิดแสง (อุปกรณ์หมายเลข 1)	1 ตัว
3. กระจกเงา (อุปกรณ์หมายเลข 2)	1 แผ่น
4. ฐานยึดอุปกรณ์กำเนิดแสงอันที่ 2 (อุปกรณ์หมายเลข 3)	1 อัน
5. แท่งพลาสติกโปร่งแสง (อุปกรณ์หมายเลข 4)	1 แท่ง
6. แผ่นวัดองศาวงกลม (อุปกรณ์หมายเลข 5)	1 แผ่น
7. ชุดยึดอุปกรณ์กำเนิดแสง	1 ชุด

ทฤษฎีเบื้องต้น

1. คุณสมบัติของแสง

1.1 แสงเดินทางเป็นเส้นตรง

ในตัวกลางที่มีดัชนีการหักเหของแสง (Refractive Index ; n) เท่ากัน แสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง โดยค่า n หาได้จากสมการที่ 1.1

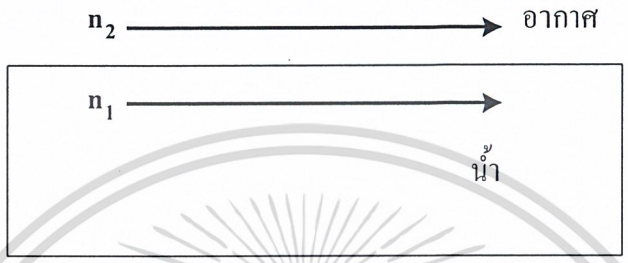
$$n = \frac{C}{V} \qquad (1.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

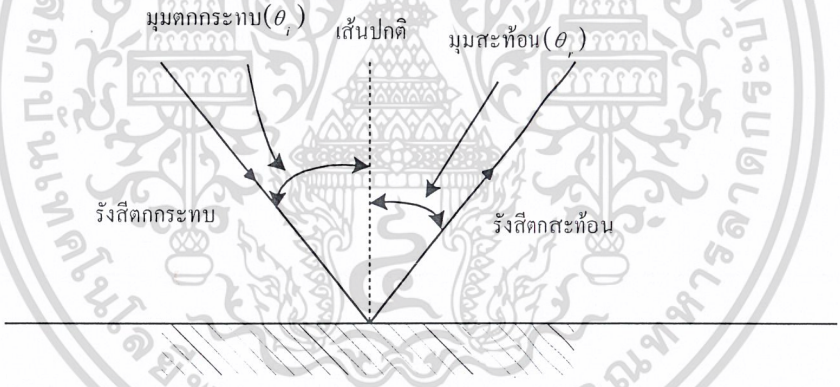
เมื่อ n = ค่าดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางนั้น

C = ความเร็วของแสงในสุญญากาศ (3×10^8 เมตรต่อวินาที)

V = ความเร็วของแสงในตัวกลางนั้น



รูปที่ 1.1 แสงเดินทางเป็นเส้นตรง



รูปที่ 1.2 กฎการสะท้อนของแสง

1.2 การสะท้อน

การสะท้อนของแสงสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ การสะท้อนแบบปกติ (Regular Reflection) จะเกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบกับวัตถุที่มีผิวเรียบมันวาว และการสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection) จะเกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบวัตถุที่มีผิวขรุขระ

โดยการสะท้อนแสงไม่ว่าจะเป็นแบบใดก็ตามจะต้องเป็นไปตามกฎการสะท้อนแสงที่ว่า "มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน" ซึ่งแสดงให้ดูดังรูปที่ 1.2

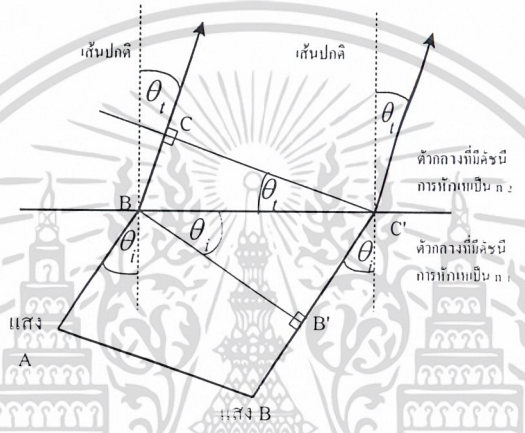
1.3 การหักเห

การหักเหของแสงจะเกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีดัชนีของแสงไม่เท่ากันโดยลำแสงที่ตกกระทบจะต้องไม่ทำมุมฉากกับรอยต่อระหว่างตัวกลางทั้งสอง และมุมตกกระทบต้องมีค่า

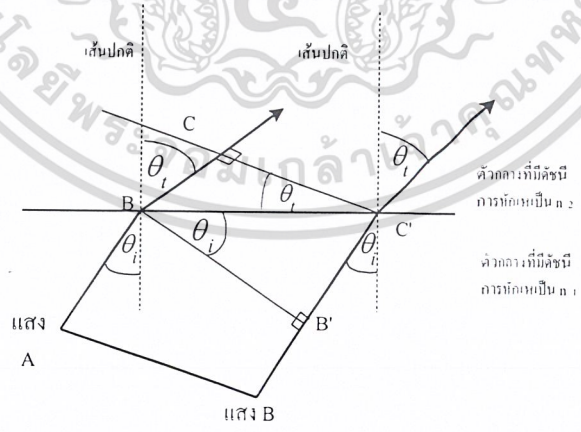
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) กรณีที่แสงเดินทางจากตัวกลางที่ดัชนีการหักเหของแสงน้อยไปยังตัวกลางที่มีดัชนีการหักเหของแสงมากดังรูปที่ 1.3 แสงจะหักเหเข้าหาเส้นปกติได้จากกฎของสเนลล์

$$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_t \qquad (1.2)$$



รูปที่ 1.3 การหักเหของแสงกรณี $n_1 < n_2$



รูปที่ 1.4 การหักเหของแสงกรณี $n_1 > n_2$

1) กรณีที่แสงเดินทางจากตัวกลางที่ดัชนีการหักเหของแสงมากไปยังตัวกลางที่มีดัชนีการหักเหของแสงน้อยดังรูปที่ 1.4 แสงจะหักเหออกจากเส้นปกติได้จากกฎของสเนลล์

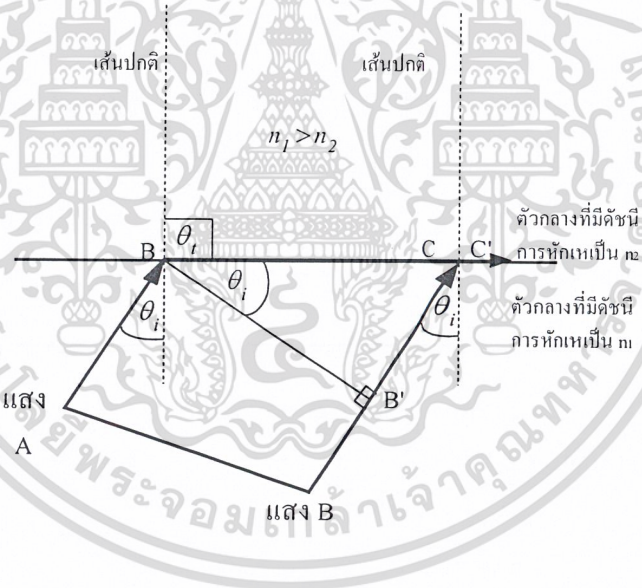
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การสะท้อนกลับหมดดังรูปที่ 1.5 การเกิดการสะท้อนกลับหมดของแสงเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อค่าดัชนีการหักเหของตัวกลางที่ 1 มีค่ามากกว่าดัชนีการหักเหของตัวกลางที่ 2 (n1 > n2) และ $\theta_i \geq \theta_c$ ซึ่งส่งผลให้ θ_i มีค่าเท่ากับ 90° หรือมากกว่า เราสามารถหาค่า θ_c ได้จากกฎของสเนลล์

$$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_t$$

เมื่อ $\theta_i = \theta_c$ และ $\theta_t = 90°$

$$\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (1.3)$$



รูปที่ 1.5 การสะท้อนกลับหมดของแสง

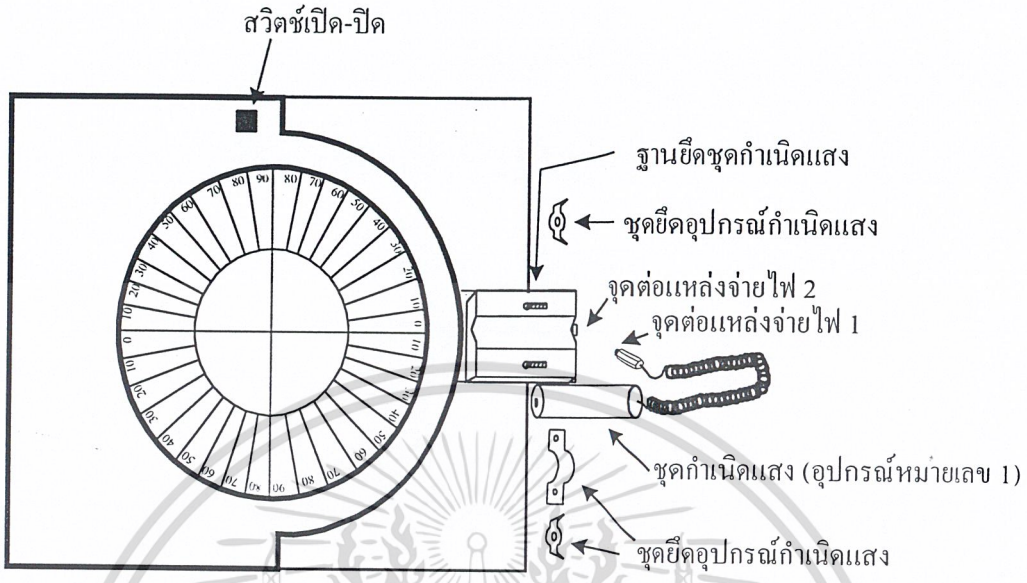
ลำดับขั้นการทดลอง

ตอนที่ 1 การเดินทางเป็นเส้นตรง และการสะท้อนของแสง

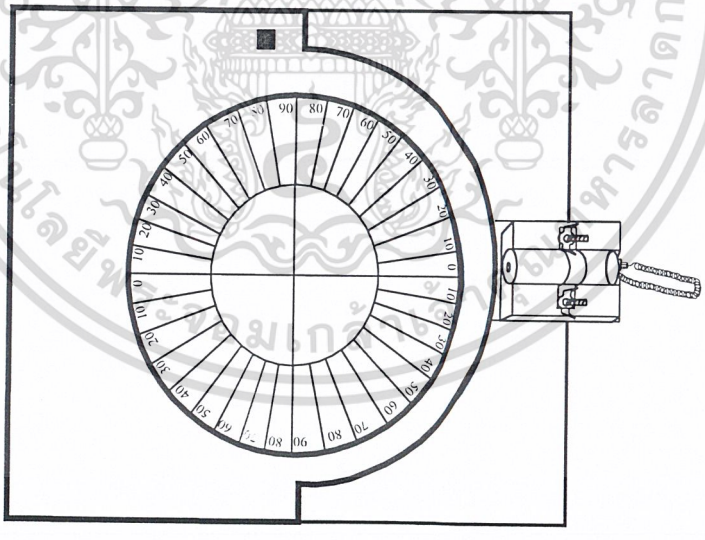
1. เตรียมอุปกรณ์ดังรูปที่ 1.6

2. นำชุดกำเนิดแสงวางลงในร่องของฐานชุดกำเนิดแสง และยึดชุดกำเนิดแสงให้แน่นด้วยชุดยึดอุปกรณ์กำเนิดแสงพร้อมต่อจุดต่อแหล่งจ่ายไฟ 1 เข้ากับจุดต่อแหล่งจ่ายไฟ 2 ดังรูป 1.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



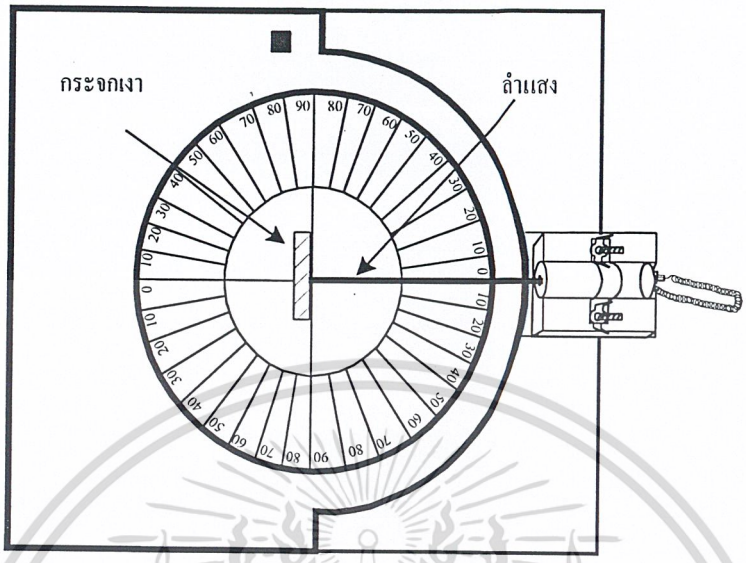
รูปที่ 1.6 การเตรียมอุปกรณ์การทดลองการเดินทางเป็นเส้นตรง และการสะท้อนของแสง



รูปที่ 1.7 การประกอบชุดทดลองการเดินทางของแสงเป็นเส้นตรง และการสะท้อนของแสง

3. วางแผ่นกระจกสะท้อนแสง (อุปกรณ์หมายเลข 2) ลงตรงกลาง และตั้งฉากกับแผ่นวัดองศา กดปุ่มสวิตช์เปิด-ปิด เพื่อให้อุปกรณ์กำเนิดแสงทำงาน ปรับลำแสงของอุปกรณ์ กำเนิดแสงให้อยู่ที่มุม 0 องศา ดังรูปที่ 1.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.8 การปรับอุปกรณ์กำเนิดแสง

4. เลื่อนอุปกรณ์กำเนิดแสง (อุปกรณ์หมายเลข 1) ไปที่มุม 90 องศา อ่านค่ามุมสะท้อนกลับของลำแสง บันทึกผลการทดลองในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 มุมสะท้อนของลำแสง

มุมตกกระทบ (องศา)	มุมสะท้อน (องศา)
90	
80	
70	
60	
50	
40	
30	
20	
10	
0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

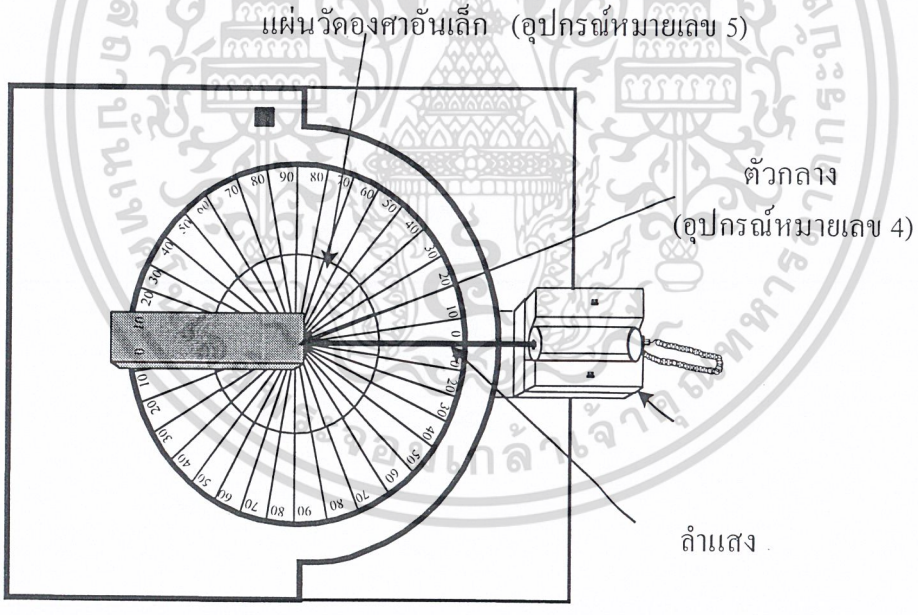
5. เลื่อนอุปกรณ์กำเนิดแสง (อุปกรณ์หมายเลข 1) ไปที่มุมต่างๆ ตามตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1.1 พร้อมบันทึกมุมสะท้อนของลำแสงลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1.1

ตอนที่ 2 การหักเหของแสง และการเดินทางของแสงในตัวกลาง

1. กดสวิตช์เปิด-ปิดให้อุปกรณ์กำเนิดแสง (อุปกรณ์หมายเลข 1) หยุดทำงาน เลื่อนอุปกรณ์กำเนิดแสง (อุปกรณ์หมายเลข 1) มาอยู่ตรงจุด 0 องศา พร้อมกับถอดชุดยึดอุปกรณ์กำเนิดแสง (อุปกรณ์หมายเลข 1) และอุปกรณ์กำเนิดแสงออกตามลำดับ

2. วางฐานยึดอุปกรณ์กำเนิดแสงอันที่ 2 (อุปกรณ์หมายเลข 3) ลงบนฐานยึดอุปกรณ์กำเนิดแสงอันที่ 1 วางอุปกรณ์กำเนิดแสง (อุปกรณ์หมายเลข 1) ลงในร่องของฐานยึดอุปกรณ์กำเนิดแสงอันที่ 2 (อุปกรณ์หมายเลข 3)

3. นำกระจกสะท้อนแสง (อุปกรณ์หมายเลข 2) ออก วางแผ่นวัดองศาลงอันเล็ก (อุปกรณ์หมายเลข 5) ลงตรงกลางของแผ่นวัดองศาอันใหญ่ โดยให้มุม 0 องศา กับมุม 0 องศา ตรงกัน



รูปที่ 1.9 การวัดการหักเหของแสงและการเดินทางของแสงในตัวกลาง

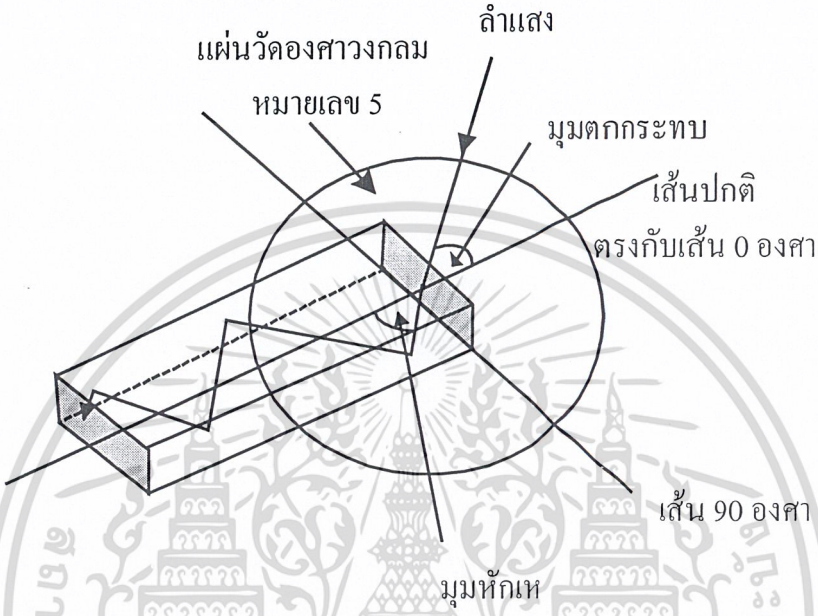
4. วางตัวกลาง (อุปกรณ์หมายเลข 4) ลงบนแผ่นวัดองศาอันเล็ก (อุปกรณ์หมายเลข 5) ให้ตัวกลางขนานกับเส้น 90 องศา และตั้งฉากกับเส้น 0 องศา ดังรูปที่ 1.9

5. กดสวิตช์เปิด-ปิด ให้อุปกรณ์กำเนิดแสงทำงาน บันทึกมุมหักเหของแสงที่เกิดขึ้นลงในตารางที่ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เปลี่ยนค่ามุมตกกระทบตามตารางที่ 1.2 บันทึกค่ามุมหักเหลงในตารางที่ 1.2 ตามลำดับ

หมายเหตุ การอ่านค่ามุมหักเห



รูปที่ 1.10 การอ่านค่ามุมหักเหเมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลาง

ตารางที่ 1.2 มุมหักเหเมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลาง

มุมตกกระทบ (องศา)	มุมหักเห (องศา)
90	
70	
60	
50	
40	
30	
20	
10	
0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ปิดสวิตช์ - เปิด-ปิด เลื่อนชุดกำเนิดแสงให้ตรงกับมุม 0 องศา ถอดชุดยึดอุปกรณ์กำเนิดแสง ชุดอุปกรณ์กำเนิดแสง (อุปกรณ์หมายเลข 1) และถอดฐานยึดอุปกรณ์กำเนิดแสงอันที่ 2 (อุปกรณ์หมายเลข 3) ออกตามลำดับ

8. เก็บอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเข้ากล่องให้ถูกต้อง

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลองในตอนที่ 1 สังเกตเห็นคุณสมบัติของแสงข้อใดบ้าง จงอธิบาย
2. จากการทดลองในตอนที่ 2 การเปลี่ยนมุมตกกระทบทำให้มีผลต่อมุมหักเหอย่างไรบ้าง
3. จากการทดลองเราสามารถหาค่าดัชนีการหักเหของแท่งพลาสติกได้หรือไม่ ถ้าได้ทำได้อย่างไร
4. เราใช้กฎของแสงข้อใดบ้างในการอธิบายการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสง
5. จากการทดลองในตอนที่ 2 แสงที่เดินทางผ่านแท่งพลาสติกเกิดการหักเหได้เพราะเหตุใดจงอธิบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 2
คุณสมบัติของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

วัตถุประสงค์

เพื่อให้นักศึกษาสามารถ

1. อธิบายโครงสร้างของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกได้
2. วัด และคำนวณหาค่ากำลังงานอินพุต และกำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงได้
3. อธิบายวิธี Cut Back และการวัดการสูญเสียภายในเส้นใยนำแสงด้วยวิธี Cut Back ได้
4. เชื่อมต่อเส้นใยนำแสงทางกลไกลโดยใช้ท่อ และคำนวณหาค่า การสูญเสียจากการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงทางกลไกโดยใช้ท่อได้

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องส่ง (Transmitter)	1 เครื่อง
2. เครื่องรับ (Receiver)	1 เครื่อง
3. เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีฉนวนหุ้มยาว 5 เมตร	1 เส้น
4. เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบไม่มีฉนวนหุ้มยาว 5 เมตร	1 เส้น
5. ชุดตัด และขัดเส้นใยนำแสง	1 ชุด
6. ชุดเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงทางกลไกลโดยใช้ท่อ	1 ชุด

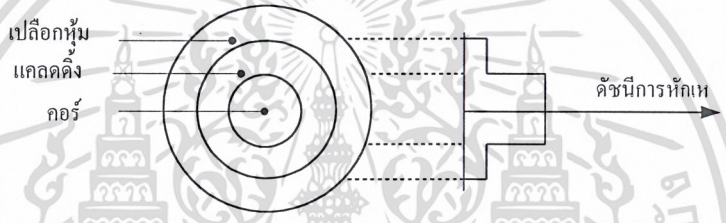
ทฤษฎีเบื้องต้น

1. เส้นใยนำแสงแบบพลาสติกแคลดดิ้ง

เส้นใยนำแสงชนิดนี้เป็นเส้นใยนำแสงแบบหลายโมด ซึ่งมีความแตกต่างของดัชนีการหักเหทั้งแบบสเต็ปอินเด็กซ์ และเกรดเดดอินเด็กซ์ เส้นใยนำแสงชนิดนี้มีส่วนของแคลดดิ้งที่สร้างมาจากพลาสติก (โดยส่วนใหญ่จะใช้ยางซิลิโคน) และส่วนของคอร์สร้างมาจากซิลิกา ซึ่งเรามักเรียกว่า เส้นใยนำแสงชนิดนี้ว่า “PCS (Plastic Clad Silica)” เส้นใยนำแสงชนิดนี้จะมีราคาถูกกว่าเส้นใยนำแสงที่สร้างจากแก้วซิลิกา แต่ก็จะมีคุณลักษณะทางประสิทธิภาพที่จำกัด โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 โครงสร้าง เส้นใยนำแสงแบบพลาสติกแคลดดิ้งชนิดสเต็ปอินเด็กซ์มีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์มีขนาด 100 ถึง 500 ไมโครเมตร ชนิดเกรดเดดอินเด็กซ์ มีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์มีขนาด 50 ถึง 100 ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของแคลดดิ้งชนิดสเต็ปอินเด็กซ์มีขนาด 300 ถึง 800ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของแคลดดิ้งชนิดเกรดเดดอินเด็กซ์มีขนาด 125 ถึง 150 ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของเปลือกหุ้มชนิดสเต็ปอินเด็กซ์มีขนาด 500 ถึง 1000 ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของเปลือกหุ้มชนิดเกรดเดดอินเด็กซ์มีขนาด 250 ถึง 1000 ไมโครเมตร ขนาดการเปิดรับให้แสงผ่านชนิดสเต็ปอินเด็กซ์มีค่า 0.2 ถึง 0.5 ขนาดการเปิดรับให้แสงผ่านชนิดเกรดเดดอินเด็กซ์มีค่า0.2 ถึง 0.3

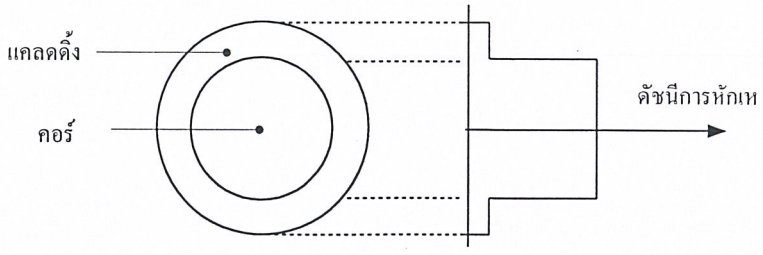


รูปที่ 2.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงชนิด PCS แบบมัลติโมดสเต็ปอินเด็กซ์

1.2 คุณลักษณะทางประสิทธิภาพ การลดทอนสัญญาณ การลดทอนสัญญาณของเส้นใยนำแสงชนิดสเต็ปอินเด็กซ์ เท่ากับ 5 ถึง 50 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ชนิดเกรดเดดอินเด็กซ์เท่ากับ 4 ถึง 15 เดซิเบลต่อกิโลเมตร

2. เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกทั้งหมด

เส้นใยนำแสงชนิดนี้จะเป็นแบบมัลติโมดสเต็ปอินเด็กซ์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์กับแคลดดิ้งขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้ไม่จำเป็นต้องมีเปลือกหุ้ม เส้นใยนำแสงชนิดนี้จะมีราคาถูก



รูปที่ 2.2 โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงพลาสติกทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเส้นใยนำแสงชนิดนี้จะใช้สาร Polymethyl Methacry (PMMA) ในการสร้างคอร์ และใช้ Fluorinated Acrylic ในการสร้างแคลดดิ้ง ซึ่งในปัจจุบันสามารถให้มีความสูญเสียต่ำที่สุด ประมาณ 20 เดซิเบลต่อกิโลเมตรที่ความยาวคลื่น 0.86 ไมโครเมตร

การพัฒนาและปรับปรุงเส้นใยนำแสงที่สร้างจากพลาสติกนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในสภาวะแวดล้อมพิเศษต่างๆ เช่น สภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง หรือในภาวะที่มีอันตรายต่างๆ สำหรับโครงสร้างของเส้นใยนำแสงชนิดนี้แสดงให้ดูในรูปที่ 2.2

2.1 โครงสร้าง เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกมีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์ 200 ถึง 600 ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของแคลดดิ้งโดยทั่วไปมีขนาด 450 ถึง 1000 ไมโครเมตร และขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) มีค่า 0.5 ถึง 0.6

2.2 คุณลักษณะทางประสิทธิภาพ

1) การลดทอนสัญญาณ มีการลดทอนสัญญาณ 50 ถึง 1000 เดซิเบลต่อกิโลเมตรที่มีความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร

2) การใช้งาน เส้นใยนำแสงชนิดนี้ใช้สำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ราคาต่ำที่มีระยะทางสั้นมาก (Very Short – Haul Low Cost Link) เท่านั้น โดยมีการเชื่อมต่อและการคัปปลิงที่ง่าย

3. การวัดการลดทอนด้วยวิธีการ Cut Back

3.1 ขั้นตอนในการวัด

1) ป้อนกำลังงานแสงเข้าในเส้นใยนำแสงยาว 5 เมตร วัดค่ากำลังงานแสงทางด้านเอาต์พุต กำลังงานแสงที่วัดได้กำหนดให้เป็น (P_o)

2) ตัดเส้นใยนำแสงทางด้านอินพุตออกประมาณ 0.5 เมตร วัดค่ากำลังงานแสงตรงจุดที่ตัดออกกำลังงานแสงที่วัดได้กำหนดให้เป็น (P_i) โดยค่ากำลังงานแสง และความยาวคลื่นแสงที่ป้อนทางอินพุตของเส้นใยนำแสงในข้อ 1 และข้อ 2 ต้องมีค่าเท่ากัน

$$\alpha_L = -10 \log \frac{P_o}{P_i} \qquad (2.1)$$

3) คำนวณหาค่าการสูญเสียแสงได้จากสมการที่ 2.3

เมื่อทำการส่งสัญญาณผ่านสายส่งออกไปก็ย่อมเกิดการลดทอน (Attenuation) ของสัญญาณขึ้นเป็นธรรมดา การคิดค่าการลดทอนของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสงจะบอกเป็นอัตราส่วนของกำลังสัญญาณในหน่วยเดซิเบล (dB) หรือในหน่วยมิลลิเดซิเบล (dBm) (dBm เป็นการเปรียบเทียบกำลังของสัญญาณกับระดับของสัญญาณอ้างอิง เมื่อกำลังอินพุต Pi = 1 mW) ดังสมการที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha_L = -10 \log \left[\frac{P_o}{P_i} \right]$$

$$\alpha = \frac{-10}{L} \log \left[\frac{P_o}{P_i} \right] \quad (2.2)$$

เมื่อ α คือ การลดทอนของแสงภายในเส้นใยนำแสง หน่วยเป็นเดซิเบลต่อกิโลเมตร

L คือ ความยาวของเส้นใยนำแสง หน่วยเป็นกิโลเมตร

Po คือ กำลังของแสงเอาต์พุต หน่วยเป็นวัตต์

Pi คือ กำลังของแสงอินพุตที่ป้อนเข้าไปในเส้นใยนำแสง หน่วยเป็นวัตต์

การลดทอนสัญญาณของเส้นใยนำแสงจะทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณ โดยเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น องค์ประกอบของสารที่นำมาสร้าง เทคนิคการเตรียมสารและการทำให้สารบริสุทธิ์ และโครงสร้างของเส้นใยนำแสง นอกจากนี้การสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้คอนเนคเตอร์และการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสง ซึ่งสามารถแยกการสูญเสียสัญญาณออกได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ การสูญเสียที่มีอยู่ในตัวเส้นใยนำแสง และการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมาจากการนำไปใช้งาน

การสูญเสียจากการเชื่อมต่อโดยใช้ท่อนั้นเป็นการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมาจากการนำเส้นใยนำแสงไปใช้งานนั้นเอง

4. การเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงโดยใช้ท่อ

การเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงโดยใช้ท่อนั้นแบ่งขั้นตอนการเชื่อมต่อออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

4.1 การเตรียมเส้นใยนำแสงเพื่อการเชื่มต่อโดยใช้ท่อ

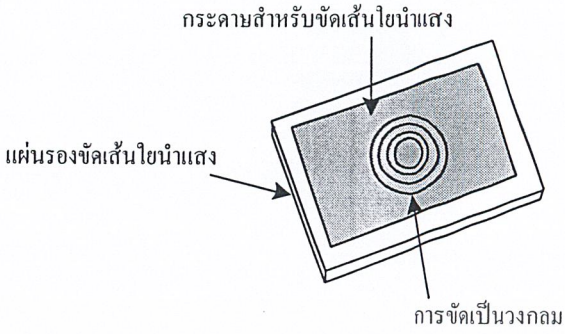
1) ตัดปลายเส้นใยนำแสงให้รอยตัดมีลักษณะตั้งฉากและเรียบที่สุด โดยใช้ไฟเบอร์คัตเตอร์ (Fiber Cutter) หรือมีดคัตเตอร์

2) ปลอกเปลือกหุ้มทั้งสองข้างของปลายเส้นใยนำแสงออก ห่างจากปลาย 1 มิลลิเมตรด้วยอุปกรณ์ปลอกสายหรือมีดที่มีความคม

3) วางแผ่นขัดเส้นใยนำแสง (กระดาษทรายขัดเส้นใยนำแสง) บนวัสดุผิวเรียบและแข็ง เช่น กระจก เป็นต้น

4) ขัดปลายของเส้นใยนำแสง โดยให้ปลายเส้นใยนำแสงตั้งฉากกับแผ่นขัดให้มากที่สุด ขัดในลักษณะเป็นวงกลมจนกระทั่งเส้นใยนำแสงเรียบ โดยสังเกตจากปลายเส้นใยนำแสงจนมีลักษณะเรียบ มันเงาตลอดหน้าตัด และตั้งฉากกับเส้นใยนำแสง ลักษณะการขัดเส้นใยนำแสงแสดงดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การขัดเส้นใยนำแสง

4.2 การเชื่อมต่อเส้นใยนำแสง

1) ใส่เส้นใยนำแสงเส้นที่ 1 ที่ต้องการเชื่อมต่อเข้าในท่อที่มีผิวขรุขระด้านขวา และใส่เส้นใยนำแสงเส้นที่ 2 ที่ต้องการเชื่อมต่อเข้าในท่ออันเดียวกันทางด้านซ้าย

2) ดันเส้นใยนำแสงทั้งสองเข้าไปในท่อให้เส้นใยนำแสงชนกันที่ประมาณกึ่งกลางของท่อ

3) ใส่ท่อสีดำที่มีผิวเรียบครอบท่อที่มีผิวขรุขระอีกชั้นหนึ่ง เพื่อให้จุดเชื่อมต่อแข็งแรง

ลำดับขั้นการทดลอง

ตอนที่ 1 คุณสมบัติของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้ม

1. ต่อเครื่องส่งกับเครื่องรับเข้าด้วยกันดังรูป 2.4 โดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้มยาว 5 เมตรในการเชื่อมต่อ

2. เสียบปลั๊ก 220 โวลต์เอซี และเปิดสวิตซ์ Power ทั้งทางด้านเครื่องส่ง และเครื่องรับ ด้านเครื่องส่งป้อนกระแสให้ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสง 0 มิลลิแอมป์

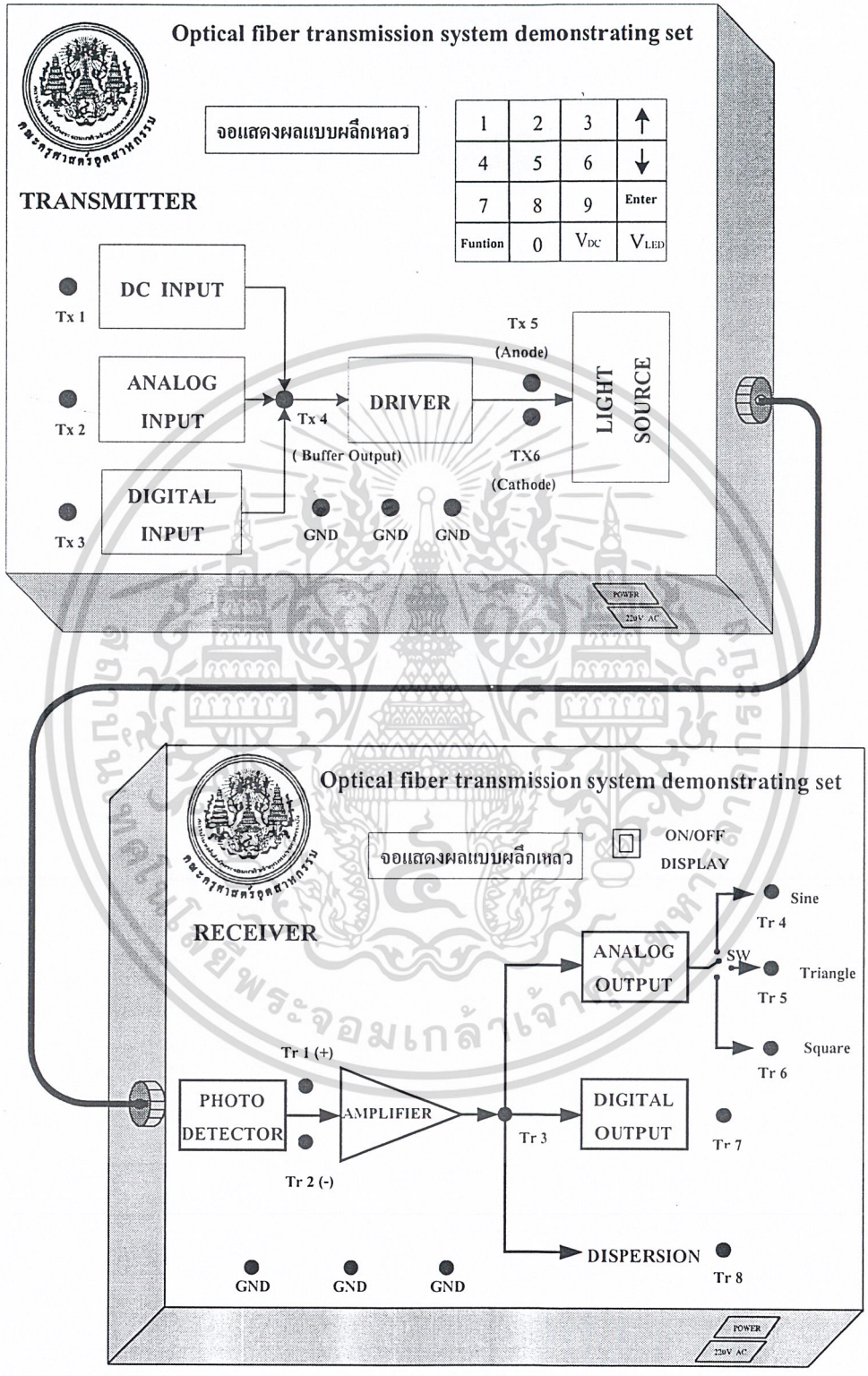
3. ทางด้านเครื่องส่ง อ่านค่าแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสงทางด้านขวาของจอแสดงผล หรือวัดแรงดันตกคร่อมที่จุด Tx 5 (ขั้วบวกของมัลติมิเตอร์) กับจุด Tx 6 (ขั้วลบของมัลติมิเตอร์) บันทึกค่าแรงดันที่อ่านได้ลงในตารางที่ 2.1

4. ทางด้านภาครับ เปิดสวิตซ์ Display เพื่อให้จอแสดงผลทำงาน อ่านค่าแรงดันตกคร่อมโหลดที่จอแสดงผล หรือวัดค่าแรงดันตกคร่อมโหลดที่จุด Tr 1 (ขั้วบวกของมัลติมิเตอร์) กับจุด Tr 2 (ขั้วลบของมัลติมิเตอร์) บันทึกค่าแรงดันที่อ่านได้ลงในตารางที่ 2.1

5. เปลี่ยนค่ากระแสตามตารางที่ 2.1 ทำการทดลองตามข้อที่ 3 และ 4 ตามลำดับ บันทึกค่าแรงดันที่อ่านได้ลงในตารางที่ 2.1

6. คำนวณกำลังงานอินพุต และกำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสง ในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การต่อเครื่องส่งกับเครื่องรับโดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก
แบบไม่มีเปลือกหุ้มยาว 5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่ากำลังงานอินพุต และเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงพลาสติกแบบมีฉนวนหุ้มยาว 5 เมตร

กระแสไหลผ่าน LED (mA)	0	10	20	30	40	50
แรงดันตกคร่อม LED (V)						
กำลังงานอินพุตที่ป้อนให้เส้นใยนำแสง (mW)						
แรงดันตกคร่อมโหลด (V)						
ความต้านทานของโหลด (MΩ)						
กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสง (μW)						

หมายเหตุ การป้อนกระแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสง

1. เมื่อจอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ Select Input กดสวิตช์เมตริกซ์ที่ปุ่ม FNC แสดงข้อความ DC Internal ถ้าจอแสดงผลแบบผลึกเหลวไม่แสดงข้อความ DC Internal ให้กดสวิตช์เมตริกซ์ที่ปุ่มลูกศรชี้ขึ้นหรือชี้ลง จนกว่าจะแสดงข้อความ DC Internal ให้กดปุ่ม Enter เป็นการเลือกให้ใช้แหล่งจ่ายภายในสำหรับขับอุปกรณ์กำเนิดแสง

2. ป้อนค่ากระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงจากสวิตช์เมตริกซ์ตามต้องการ โดยค่ากระแสที่ป้อนให้ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงต้องไม่เกิน 55 มิลลิแอมป์

7. ป้อนกระแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสง 55 มิลลิแอมป์ ทางด้านเครื่องส่ง อ่านค่าแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสงได้ค่าเท่ากับ_____โวลต์ กำลังงานอินพุตของเส้นใยนำแสงเท่ากับ _____วัตต์

8. ทางด้านเครื่องรับแรงดันตกคร่อมโหลดเท่ากับ _____โวลต์ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงเท่ากับ_____วัตต์

9. ปิดสวิตช์ Power ทั้งทางด้านเครื่องส่งและเครื่องรับ ถอดเส้นใยนำแสงทางด้านเครื่องส่งออกตามลำดับ ตัดเส้นใยนำแสงที่จุดห่างจากภาคส่ง 0.5 เมตร ขัดเส้นใยนำแสงที่ตัดออกให้เรียบ

10. ทางด้านเครื่องรับ ถอดเส้นใยนำแสงออก ต่อเส้นใยนำแสงยาว 0.5 เมตร เข้ากับเครื่องส่งและเครื่องรับตามรูปที่ 2.4

11. เปิดสวิตช์ Power ทั้งเครื่องส่งและเครื่องรับ ทางด้านเครื่องรับอ่านค่าแรงดันตกคร่อมโหลดเท่ากับ_____โวลต์ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงมีค่าเท่ากับ_____วัตต์

12. ค่าการลดทอนของเส้นใยนำแสงมีค่าเท่ากับ _____เดซิเบลต่อเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. ปิดสวิตซ์ทางด้านเครื่องรับ และเครื่องส่ง ถอดเส้นใยนำแสงออก ต่อเส้นใยนำแสงที่ถอดออกเข้ากับเส้นใยนำแสงที่ตัดออกในข้อ 9 ด้วยท่อเชื่อมต่อ ตามลำดับ

14. ต่อเส้นใยนำแสงที่เชื่อมต่อแล้วเข้ากับเครื่องส่ง และเครื่องรับดังรูปที่ ช.14

15. เปิดสวิตช์ Power ทั้งเครื่องส่ง และเครื่องรับ ทางเครื่องส่งป้อนกระแสให้ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงเท่ากับ 55 มิลลิแอมป์

16. ทางด้านเครื่องรับอ่านค่าแรงดันตกคร่อมโหลดมีค่าเท่ากับ_____โวลต์ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงเท่ากับ _____วัตต์

17. การคำนวณหาค่าการสูญเสียจากการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงโดยใช้ท่อมีสูตรคำนวนดังนี้

$$\text{การสูญเสียเมื่อมีการเชื่อมต่อ} = -10\log\frac{P_2}{P_1} \qquad (2.3)$$

โดยที่ *P1* คือ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงเมื่อยังไม่มีการเชื่อมต่อ

P2 คือ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงเมื่อเชื่อมต่อโดยใช้ท่อ

การสูญเสียเมื่อมีการเชื่อมต่อเท่ากับ_____เดซิเบล

18. ปิดสวิตช์ทั้งทางด้านเครื่องส่ง และเครื่องรับ ถอดเส้นใยนำแสงออกจากทางด้านเครื่องส่ง และเครื่องรับ

ตอนที่ 2 คุณสมบัติของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบไม่มีเปลือกหุ้ม

1. ต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องด้วยเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบไม่มีเปลือกหุ้ม ดังรูปที่ 2.4

2. เปิดสวิตช์ Power ทั้งทางด้านเครื่องส่งและเครื่องรับ ทางด้านเครื่องส่งป้อนกระแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงเท่ากับ 55 มิลลิแอมป์ แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสงมีค่าเท่ากับ _____โวลต์ กำลังงานอินพุตของเส้นใยนำแสงเท่ากับ_____วัตต์

3. ทางด้านเครื่องรับ แรงดันตกคร่อมโหลดมีค่าเท่ากับ_____โวลต์ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงมีค่าเท่ากับ_____วัตต์

4. ปิดสวิตช์เครื่องส่งและเครื่องรับ ถอดเส้นใยนำแสงทางด้านเครื่องส่งออก ตัดเส้นใยนำแสงที่ระยะห่างจากภาคส่งประมาณ 0.5 เมตร ถอดเส้นใยนำแสงทางด้านภาคส่งออก ขัดเส้นใยนำแสงด้านที่ตัดออกให้เรียบตามลำดับ

5. ต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องรับด้วยเส้นใยนำแสงที่ถอดออกมาจากเครื่องส่ง ดังรูปที่ ช.14

6. เปิดสวิตช์ Power ทั้งทางด้านเครื่องส่งและเครื่องรับ ทางด้านเครื่องส่งป้อนกระแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงเท่ากับ 55 มิลลิแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ทางด้านเครื่องรับ แรงดันตกคร่อมโหลดมีค่าเท่ากับ_____โวลต์ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงมีค่าเท่ากับ_____วัตต์

8. คำนวณหาค่าการสูญเสียของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบไม่มีเปลือกหุ้ม ค่าการสูญเสียมีค่าเท่ากับ_____เดซิเบล

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายโครงสร้างของเส้นใยนำแสงแบบพลาสติกทั้งหมด และแบบพลาสติกแคลดดิ้ง
2. จงอธิบายขั้นตอนในการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงทางกลไกโดยใช้ท่อ
3. จงอธิบายวิธีการวัดการสูญเสียเส้นใยนำแสงด้วยวิธี Cut Back

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 3
การสูญเสียจากการโค้งงอ และการกดทับ

วัตถุประสงค์

เพื่อให้นักศึกษาสามารถ

1. อธิบายการสูญเสียเนื่องจากการโค้งงอ และการสูญเสียเนื่องจากการกดทับได้
2. วัดการสูญเสียจากการโค้งงอ และการสูญเสียจากการกดทับเส้นใยนำแสงได้
3. คำนวณหาค่าการลดทอนกำลังงานของการสูญเสียจากการโค้งงอ และการสูญเสียจากการกดทับเส้นใยนำแสงได้
4. สามารถเปรียบเทียบผลการสูญเสียกำลังงานที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสูญเสียจากการโค้งงอ และการสูญเสียจากการกดทับได้

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องส่ง (Transmitter)	1 เครื่อง
2. เครื่องรับ (Receiver)	1 เครื่อง
3. ชุดกดทับเส้นใยนำแสง	1 ชุด
4. ชุดโค้งงอเส้นใยนำแสง	1 ชุด
5. เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบไม่มีเปลือกหุ้มยาว 5 เมตร	1 เส้น

ทฤษฎีเบื้องต้น

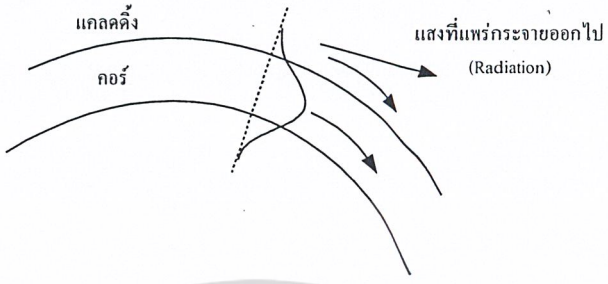
การสูญเสียสัญญาณแสงในเส้นใยนำแสงสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ การสูญเสียที่มีอยู่ในตัวเส้นใยนำแสง และการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมาจากการนำไปใช้งาน ในใบงานนี้จะทำการทดลองเรื่องการสูญเสียแสงเนื่องจากการโค้งงอของเส้นใยนำแสง กับการสูญเสียแสงที่เกิดจากการโค้งงอเส้นใยนำแสงแบบไมโครเบนดิ้ง ซึ่งการสูญเสียที่ทดลองในใบงานนี้เป็นการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการนำเส้นใยนำแสงมาใช้งานเอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การสูญเสียแสงเนื่องจากการโค้งงอของเส้นใยนำแสง

การสูญเสียเนื่องจากการโค้งงอของเส้นใยนำแสงจะเกิดขึ้นเมื่อมีการโค้งงอเส้นใยนำแสงโดยมีมุมการโค้งงอมากกว่ามุมวิกฤต ซึ่งทำให้แสงที่เดินทางไปเกิดการกระจัดกระจายออกไปนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

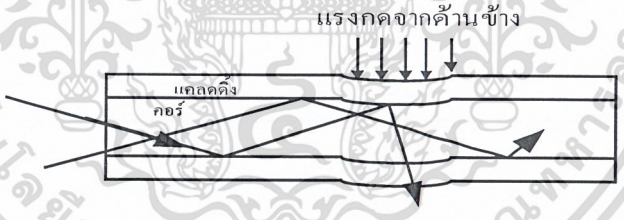
คอร์ของเส้นใยนำแสงได้ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การสูญเสียจากการโค้งงอของเส้นใยนำแสง

2. การสูญเสียแสงที่เกิดจากการโค้งงอเส้นใยนำแสงแบบไมโครเบนดิ้ง

เป็นการสูญเสียสัญญาณแสงที่เกิดจากการมีแรงกดที่ไม่สม่ำเสมอมากระทำต่อด้านข้างของเส้นใยนำแสงส่งผลให้แกนของเส้นใยนำแสงเกิดการบิดงอไปเล็กน้อย (ประมาณ 2 – 3 ไมโครเมตร) ทำให้แสงที่ตกกระทบบริเวณดังกล่าวเกิดการหักเหออกไปภายนอกเส้นใยนำแสงได้ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การสูญเสียจากการโค้งงอเส้นใยนำแสงแบบไมโครเบนดิ้ง

3. การคำนวณหาค่าการสูญเสีย

การคำนวณหาค่าการสูญเสียสามารถคำนวณได้โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าการสูญเสีย} = -10\log\frac{P_2}{P_1} \qquad (3.1)$$

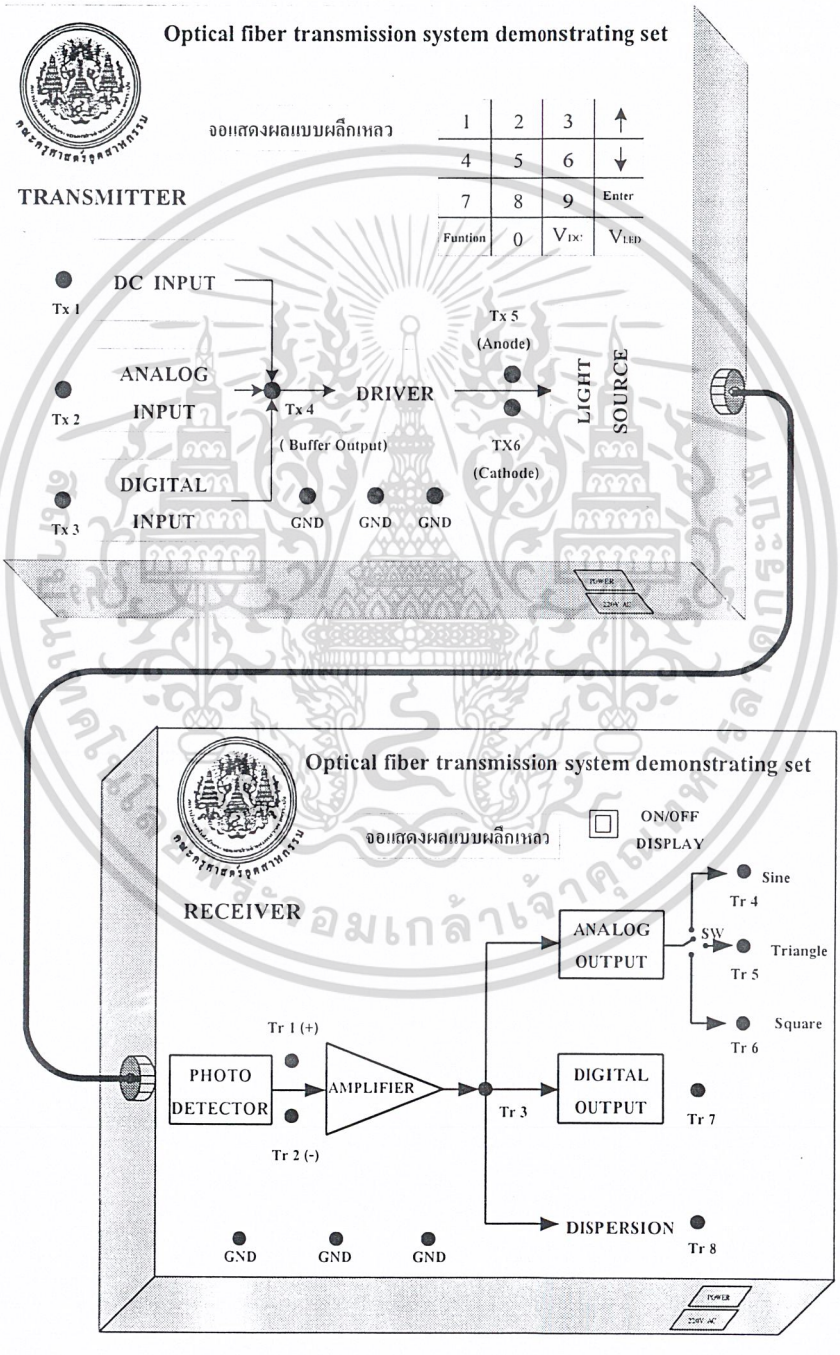
โดยที่ P_1 คือ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงเมื่อยังไม่มีการกดทับหรือโค้งงอ (วัตต์)

P_2 คือ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงเมื่อมีการกดทับหรือโค้งงอ (วัตต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องรับ โดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบไม่มีเปลือกหุ้มยาว 5 เมตร ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การต่อเครื่องส่งกับเครื่องรับโดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก แบบไม่มีเปลือกหุ้มยาว 5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เสียบปลั๊ก 220 โวลต์เอซี เปิดสวิตช์ Power ทั้งทางด้านเครื่องส่ง และเครื่องรับ ด้านเครื่องส่งป้อนกระแสให้ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสง 55 มิลลิแอมป์

3. ทางด้านเครื่องส่ง อ่านค่าแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสงทางด้านขวาของจอแสดงผล หรือวัดแรงดันตกคร่อมที่จุด Tx 5 (ขั้วบวกของมัลติมิเตอร์) กับจุด Tx 6 (ขั้วลบของมัลติมิเตอร์)

4. แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสงมีค่าเท่ากับ_____โวลต์ กำลังงานอินพุตของเส้นใยนำแสงเท่ากับ_____วัตต์

5. ทางด้านเครื่องรับ เปิดสวิตช์ Display เพื่อให้จอแสดงผลทำงาน อ่านค่าแรงดันตกคร่อมโหลดที่จอแสดงผล หรือวัดค่าแรงดันตกคร่อมโหลดที่จุด Tr 1 (ขั้วบวกของมัลติมิเตอร์) กับจุด Tr 2 (ขั้วลบของมัลติมิเตอร์)

6. แรงดันตกคร่อมโหลดมีค่าเท่ากับ_____โวลต์ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงมีค่าเท่ากับ _____วัตต์ เมื่อโหลดมีความต้านทางเท่ากับ 1 เมกะโอห์ม

7. ปิดสวิตช์ Power ทั้งเครื่องส่งและเครื่องรับ ถอดเส้นใยนำแสงออก ทางด้านเครื่องส่งออกร้อยเส้นใยนำแสงเข้าไปในอุปกรณ์กดทับ ให้อุปกรณ์กดทับอยู่ตรงกลางของเส้นใยนำแสง ดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 การร้อยเส้นใยนำแสงเข้าในอุปกรณ์กดทับเส้นใยนำแสง

8. ต่อเส้นใยนำแสงที่ถอดออกเข้ากับเครื่องส่งเหมือนเดิม วางก้อนน้ำหนัก 3 กิโลกรัม ลงบนอุปกรณ์กดทับเส้นใยนำแสง

9. เปิดสวิตช์ Power ทั้งทางด้านเครื่องส่งและเครื่องรับ ทางด้านเครื่องส่ง ป้อนกระแส 55 มิลลิแอมป์ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสง

10 ทางด้านเครื่องรับ เปิดสวิตช์ Display อ่านค่าแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสง คำนวณหาค่ากำลังงานเอาต์พุตในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

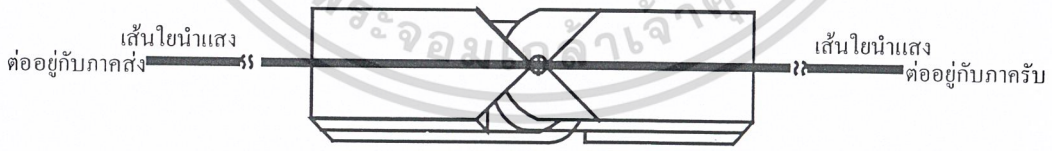
11. เปลี่ยนน้ำหนักหนักในการกดทับตามตารางที่ 3.1 คำนวณค่าการสูญเสียจากการกดทับเส้นใยนำแสงลงในตารงที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การสูญเสียจากการกดทับ

น้ำหนักที่กดทับ (กิโลกรัม)	แรงดันตกคร่อมโหลด (โวลต์)	กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสง (วัตต์)	กำลังงานที่ลดทอน (เดซิเบล)
3			
6			
9			
12			
15			

12. ปิดสวิตช์ Power ทั้งทางด้านเครื่องส่ง และเครื่องรับ ถอดเส้นใยนำแสงทางด้านเครื่องส่ง และอุปกรณ์ในการกดทับเส้นใยนำแสงออกตามลำดับ

13. ร้อยเส้นใยนำแสงเข้าในอุปกรณ์ในการโค้งงอเส้นใยนำแสง ให้อุปกรณ์โค้งงอเส้นใยนำแสงอยู่ตรงกลางของเส้นใยนำแสง การร้อยเส้นใยนำแสงเข้าอุปกรณ์โค้งงอเส้นใยนำแสงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การร้อยเส้นใยนำแสงเข้าในอุปกรณ์โค้งงอเส้นใยนำแสง

14. ต่อเส้นใยนำแสงที่ถอดออกเข้ากับเครื่องส่ง เปิดสวิตช์ Power ทางด้านเครื่องส่งและเครื่องรับ จากนั้นโค้งงอเส้นใยนำแสง 0 องศาโดยวัดเทียบกับแผ่นวัดองศาวงกลม ตามลำดับ

15. ทางด้านเครื่องส่งป้อนกระแสให้ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงเท่ากับ 55 มิลลิแอมป์ ทางด้านเครื่องรับ เปิดสวิตช์ Display อ่านค่าแรงดันตกคร่อมโหลด บันทึกค่าแรงดันลงในตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. โค้งงอเส้นใยนำแสงตามตารางที่ 3.2 บันทึกผลการทดลอง พร้อมทั้งคำนวณหาค่ากำลังงานการลดทอน ลงในตารางที่ 3.2

17. ปิดสวิตช์ Power ทั้งทางด้านเครื่องส่ง และเครื่องรับ ถอดเส้นใยนำแสงออกจากเครื่องรับ และเครื่องส่ง ถอดอุปกรณ์โค้งงอเส้นใยนำแสงออกจากเส้นใยนำแสงตามลำดับ เก็บอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองให้เรียบร้อย

ตารางที่ 3.2 การสูญเสียจากการ โค้งงอ

มุมโค้งงอ (องศา)	แรงดันตกคร่อมโหลด (มิลลิโวลต์)	กำลังงานเอาต์พุต (ไมโครวัตต์)	กำลังงานที่ลดทอน (เดซิเบล)
0			
10			
20			
30			
40			
50			
60			
70			
80			

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. การสูญเสียเนื่องจากการโค้งงอ และการสูญเสียเนื่องจากการกดทับเกิดขึ้นได้อย่างไร จงอธิบาย
2. จากการทดลองสามารถคำนวณหาค่าการสูญเสียเนื่องจากการโค้งงอ และการสูญเสียเนื่องจากการกดทับได้อย่างไร จงอธิบาย
3. จากตารางที่ 3.1 จงพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานเอาต์พุต และน้ำหนักในการกดทับเส้นใยนำแสง พร้อมทั้งอธิบาย
4. จากตารางที่ 3.2 จงพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานเอาต์พุต และมุมในการโค้งงอเส้นใยนำแสง พร้อมทั้งอธิบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 4
การส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ผ่านเส้นใยนำแสง

วัตถุประสงค์

เพื่อให้นักศึกษาสามารถ

1. อธิบายหลักการส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ผ่านเส้นใยนำแสงได้
2. อธิบายการเปลี่ยนสัญญาณรูปคลื่นไซน์เป็นสัญญาณแสงและการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ได้
3. คำนวณหาการลดทอนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ได้
4. วัดและอธิบายการขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นไซน์ได้

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องส่ง (Transmitter)	1 เครื่อง
2. เครื่องรับ (Receiver)	1 เครื่อง
3. เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร	1 เส้น
4. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ พร้อมสายต่อวงจร	1 เครื่อง
5. ออสซิลโลสโคป พร้อมสายวัดสัญญาณ	1 เครื่อง
6. สายต่อวงจร	6 เส้น

ทฤษฎีเบื้องต้น

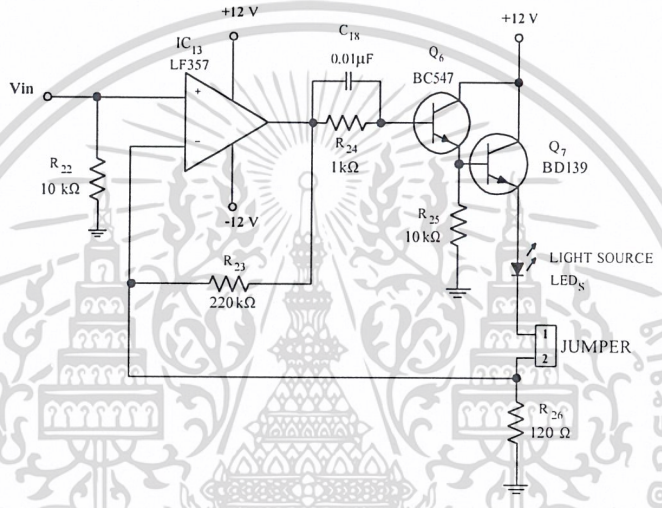
1. การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

1.1 วงจรขับสัญญาณ

จากรูปที่ 4.1 เป็นวงจรขับสัญญาณ โดยจะจัดเป็นวงจรขยายความคลาดเคลื่อน (Error Amplifer) ที่ใช้ไอซีออปแอมป์ เบอร์ LF357 ซึ่งคุณสมบัติของวงจรขยายความคลาดเคลื่อนคือ แรงดันอินพุตที่ป้อนให้แก่ขาบวกและขาลบของไอซีออปแอมป์จะต้องมีค่าเท่ากันเสมอ ดังนั้นเมื่อเกิดความร้อนขึ้นภายในทรานซิสเตอร์ หรือที่อุปกรณ์กำเนิดแสงเอง จนทำให้กระแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงมีค่ามากขึ้น วงจรขยายความคลาดเคลื่อนนี้จะทำหน้าที่ปรับอัตราขยายให้ลดลงจนกระทั่งมีกระแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงตามที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

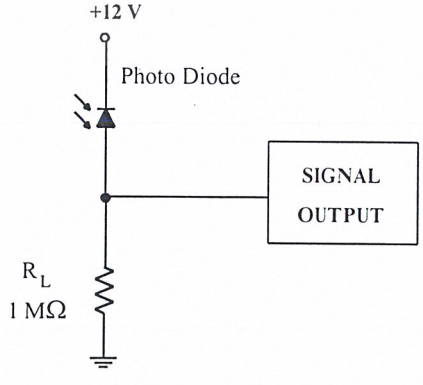
ไอซีออปแอมป์ เบอร์ LF357 ยังมีหน้าที่ในการขยายสัญญาณทางด้านอินพุตให้แรงขึ้นเพื่อไปขับทรานซิสเตอร์ Q_6 และ Q_7 ซึ่งต่อกันอยู่แบบดาร์ลิงตันทำหน้าที่ควบคุมกระแสให้ไหลผ่านแอลอีดีตามแรงดันที่ได้รับจากขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 ถ้าแรงดันที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 มีค่าสูงกระแสก็จะไหลผ่านแอลอีดีก็มีค่าสูง แอลอีดีจะกำเนิดแสงออกมาได้มาก ถ้าแรงดันที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 มีค่าต่ำจะทำให้มีกระแสไหลผ่านแอลอีดีต่ำ แอลอีดีก็จะกำเนิดแสงออกมาได้ต่ำ



รูปที่ 4.1 วงจรขับสัญญาณ

2. การเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

2.1 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า



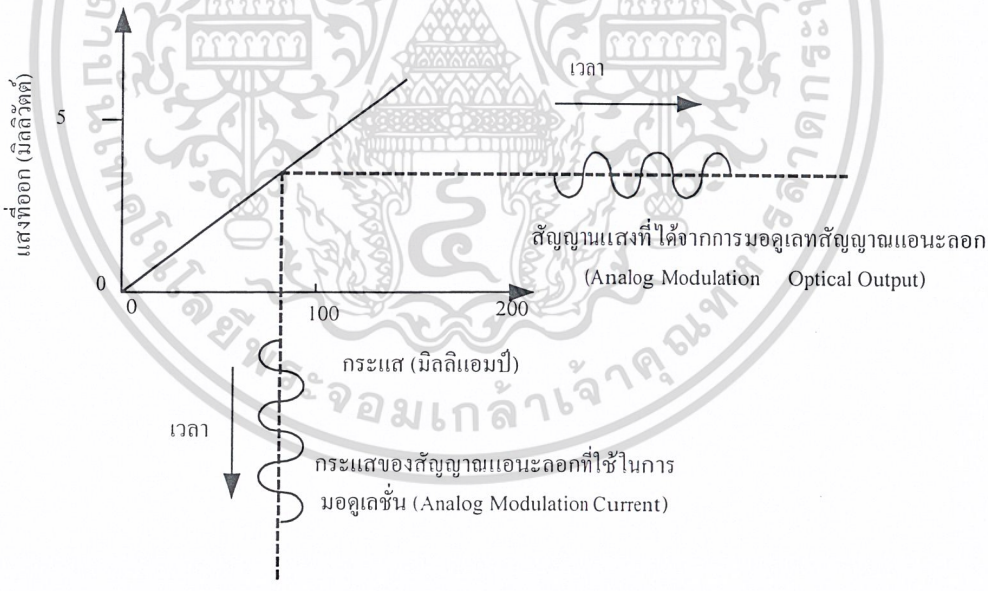
รูปที่ 4.2 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้อุปกรณ์รับแสงเบอร์ IF-D91 ซึ่งวงจรจะมีการจัดแรงดันไบแอสกลับให้แก่อุปกรณ์รับแสง โดยจะมีหลักการทำงานคือ เมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบจะทำให้ แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์รับแสง มีค่าเท่ากับแรงดันที่จัดไบแอสกลับ คือ 12 โวลต์ จึงทำให้กระแสที่ไหลผ่าน R_L มีค่า 0 แอมป์ แต่เมื่อมีแสงมาตกกระทบจะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์รับแสงลดลง ทำให้มีกระแสที่ไหลผ่าน R_L มีค่ามากขึ้น จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อม R_L มากขึ้นตามไปด้วย

3. การส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ผ่านเส้นใยนำแสง

สัญญาณรูปคลื่นไซน์นั้นเป็นสัญญาณแอนะลอกเปรียบเสมือนสัญญาณเบสแบนด์ที่ใช้ในระบบการสื่อสารทั่วๆ ไป ถ้าต้องการส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ผ่านเส้นใยนำแสง จึงต้องเปลี่ยนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ซึ่งออยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ในรูปของสัญญาณแสงโดยใช้แอลอีดี ซึ่งรูปแบบการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 1 การเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงของสัญญาณรูปคลื่นไซน์

สัญญาณแสงที่เป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์จะถูกส่งไปในเส้นใยนำแสงไปยังภาครับซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2

รูปแบบการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงในรูปที่ 4.3 ความเข้มแสงของอุปกรณ์กำเนิดแสงจะถูกมอดูเลตในลักษณะที่เป็นเชิงเส้นกับแรงดันของสัญญาณไฟฟ้าอินพุตโดยไม่มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาถึงเรื่องเฟสหรือความถี่ของสัญญาณแสง ส่วนทางด้านรับก็จะตอบสนองระดับพลังงาน (ความเข้ม) ของสัญญาณแสงโดยไม่มีการพิจารณาในเรื่องความถี่หรือเฟสเช่นเดียวกัน ซึ่งระบบที่ทำงานในลักษณะดังกล่าวนี้เราเรียกการมอดูเลตที่เกิดขึ้นที่ภาคส่งว่า "การมอดูเลตความเข้ม (Intensity Modulation ; IM)" และการดีมอดูเลตที่เครื่องรับเรียกว่า "การตรวจจับแสงโดยตรง (Direct Detection ; DD)"

4. การขยายกว้างออก

การขยายกว้างออกของสัญญาณแสงนั้นจะทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณ ในกรณีที่เป็นการส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ เมื่อเกิดการขยายกว้างออกก็ทำให้สัญญาณรูปคลื่นไซน์ของแสงที่ทำการส่ง และเดินทางไปในเส้นใยนำแสงเกิดการผิดเพี้ยน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการผิดเพี้ยนของรูปคลื่นไซน์ ถ้าหากระยะทางในการส่งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้สัญญาณเกิดการผิดเพี้ยนไปจนเครื่องรับไม่สามารถรับสัญญาณเป็นรูปคลื่นไซน์ หรือเกิดการผิดเพี้ยนไปจนไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ การขยายกว้างออกนั้นเกิดขึ้นจาก 2 กรณี คือ การขยายกว้างออกเนื่องจากโมด การขยายกว้างออกเนื่องจากความยาวคลื่น ซึ่งแบ่งออกเป็น การขยายกว้างออกเนื่องจากสารที่ใช้สร้าง และการขยายกว้างออกเนื่องจากโครงสร้าง

ลำดับขั้นการทดลอง

1.ต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องรับ ดังรูปที่ 4.4 โดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร

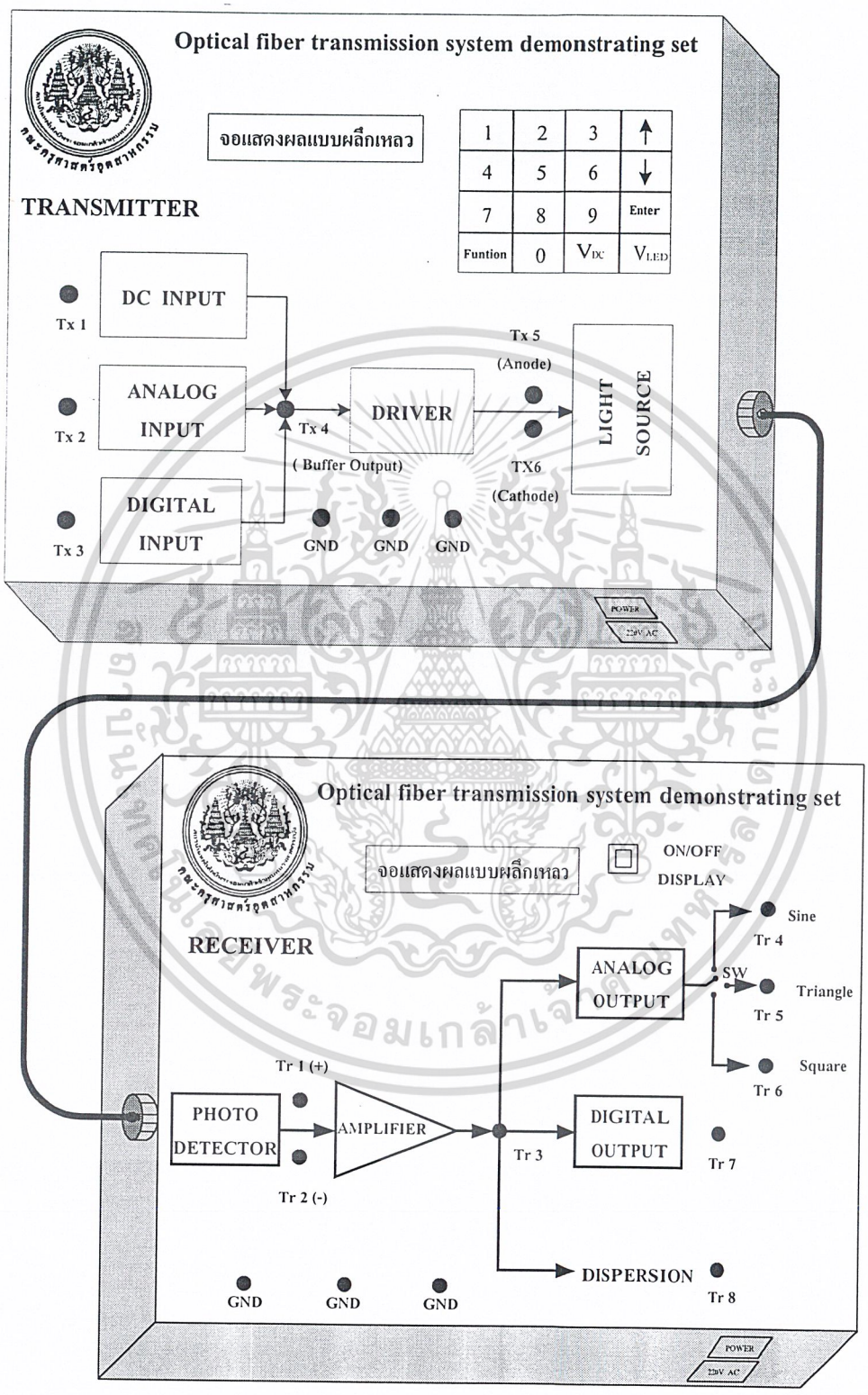
2.เปิดสวิตช์ Power ทั้งเครื่องส่งและเครื่องรับ ทางด้านเครื่องส่งเมื่อจอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ Select Input ที่สวิตช์เมตริกซ์กดปุ่ม FNC จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ DC Internal ให้กดปุ่มลูกศรเลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลงจนกว่าจะพบข้อความ AC External และกดปุ่ม ENT

3. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 2 ทางด้านออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 2 เทียบกับกราวด์ตามลำดับ ทางด้านเครื่องรับ ปรับสวิตช์ไปที่ Sin

4. ช่องวัดสัญญาณที่ 2 ของออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms วัดสัญญาณที่จุด Tr 4 เทียบกับกราวด์

5. ปรับค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุตที่เครื่องส่งจนกระทั่งสัญญาณเอาต์พุตที่ Tr 4 ไม่ผิดเพี้ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องรับโดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก แบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ปรับ Volt/DIV กับ Time/div ของออสซิลโลสโคปจนกระทั่งรูปสัญญาณที่ปรากฏบนหน้าจอออสซิลโลสโคปชัดเจน

7. บันทึกค่าแรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับ

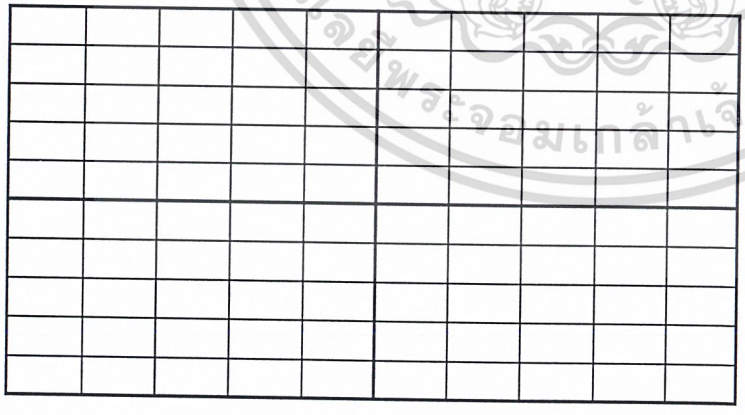
Time/DIV_____ s/DIV

Ch1 _____V/DIV

Ch 2 _____V/DIV

รูปที่ 4.5 แรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์

8. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 โดยวัดที่จุด Tx 2 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคปช่องวัดสัญญาณที่ 2 วัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้



Time/DIV_____ s/DIV

Ch1 _____V/DIV

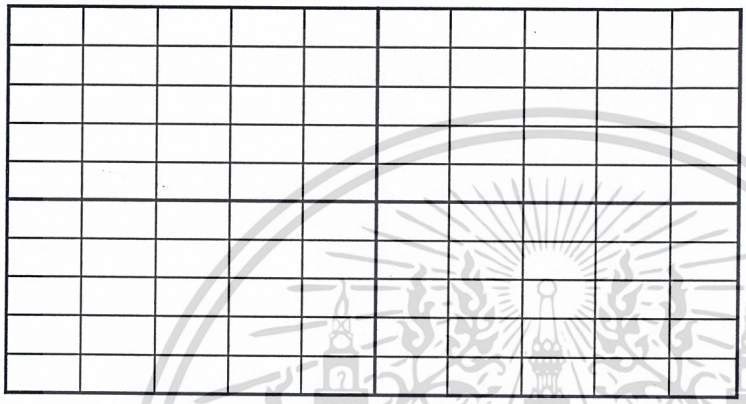
Ch 2 _____V/DIV

รูปที่ 4.6 การขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 2 ทางด้านออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 2 เทียบกับกราวด์

10. ทำการทดลองตามข้อ 4, 5, และ 6 บันทึกค่าแรงดันที่วัดได้



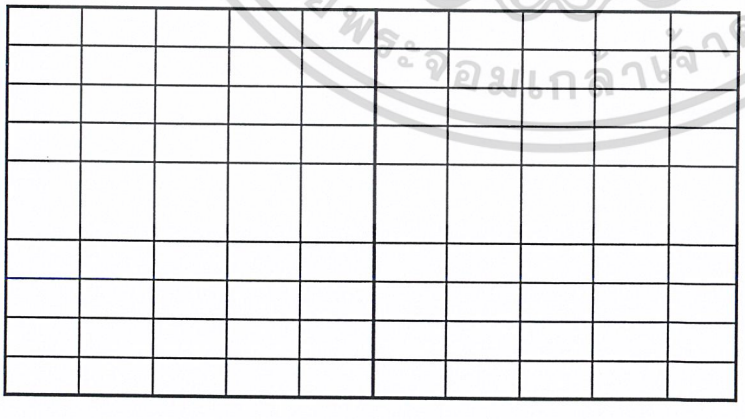
Time/DIV_____s/DIV

Ch1 _____V/DIV

Ch 2 _____V/DIV

รูปที่ 4.7 แรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับที่ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์

11. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 วัดที่จุด Tx 2 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 2 โดยวัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้



Time/DIV_____ s/DIV

Ch1 _____V/DIV

Ch 2 _____V/DIV

รูปที่ 4.8 การขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 2 ที่ออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 2 เทียบกับกราวด์

13. ทำการทดลองตามข้อ 4, 5, และ 6 บันทึกค่าที่วัดได้

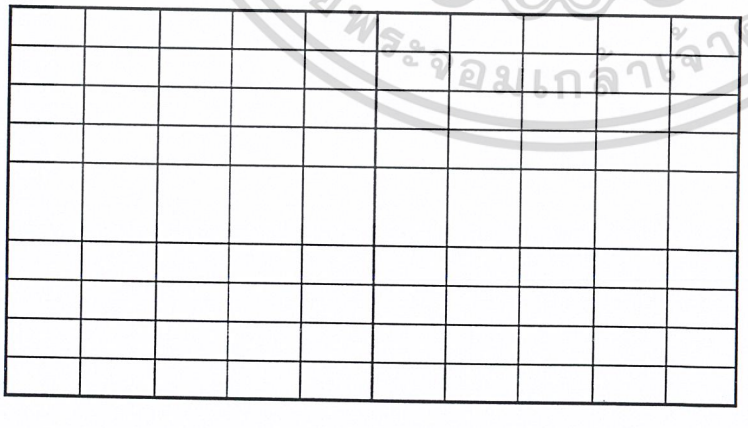
Time/DIV_____ s/DIV

Ch1 _____V/DIV

Ch 2 _____V/DIV

รูปที่ 4.9 แรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับที่ความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์

14. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 วัดที่จุด Tx 1 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 2 โดยวัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้



Time/DIV_____ s/DIV

Ch1 _____V/DIV

Ch 2 _____V/DIV

รูปที่ 4.10 การขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่ความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายการส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ผ่านเส้นใยนำแสง
2. เพราะเหตุใดสัญญาณไฟฟ้าทางด้านภาครับจึงเกิดการขยายกว้างออกขึ้น เมื่อเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณทางด้านภาคส่งสูงขึ้นลักษณะของสัญญาณที่วัดได้ที่จุด Tr8 เป็นอย่างไร จงอธิบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 5
การส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง

วัตถุประสงค์

เพื่อให้นักศึกษาสามารถ

1.อธิบายหลักการการส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง และข้อแตกต่างในการส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ กับสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสงได้

2. อธิบายการเปลี่ยนสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเป็นสัญญาณแสงและการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

3. คำนวณหาค่าการลดทอนสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมได้

4. วัดและอธิบายการขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมได้

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องส่ง (Transmitter)	1 เครื่อง
2. เครื่องรับ (Receiver)	1 เครื่อง
3. เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร	1 เส้น
4. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ พร้อมสายต่อวงจร	1 เครื่อง
5. ออสซิลโลสโคป พร้อมสายวัดสัญญาณ	1 เครื่อง
6. สายต่อวงจร	6 เส้น

ทฤษฎีเบื้องต้น

1. การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

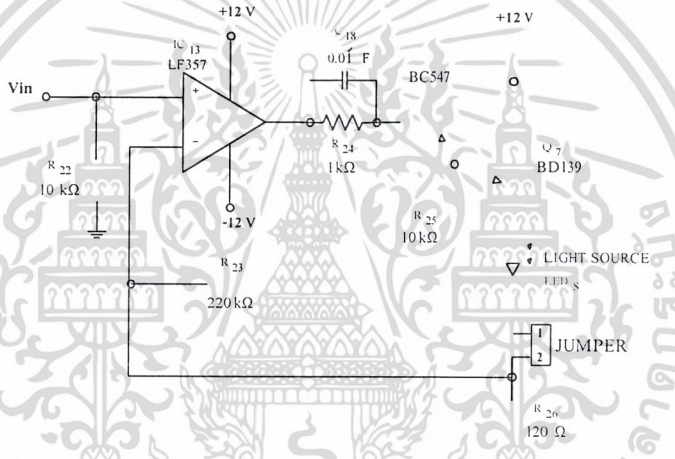
1.1 วงจรขับสัญญาณ

จากรูปที่ 5.1 เป็นวงจรขับสัญญาณ โดยจะจัดเป็นวงจรขยายความคลาดเคลื่อน (Error Amplifer) ที่ใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF357 ซึ่งคุณสมบัติของวงจรขยายความคลาดเคลื่อนคือแรงดันอินพุตที่ป้อนให้แก่ขาบวก และขาลบของไอซีออปแอมป์จะต้องมีค่าเท่ากันเสมอ ดังนั้นเมื่อเกิดความร้อนขึ้นภายในทรานซิสเตอร์ หรือที่อุปกรณ์กำเนิดแสงเอง จนทำให้กระแสไหลผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์กำเนิดแสงมีค่ามากขึ้น วงจรขยายความคลาดเคลื่อนนี้จะทำหน้าที่ปรับอัตราขยายให้ลดลงจนกระทั่งมีกระแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงตามที่กำหนด

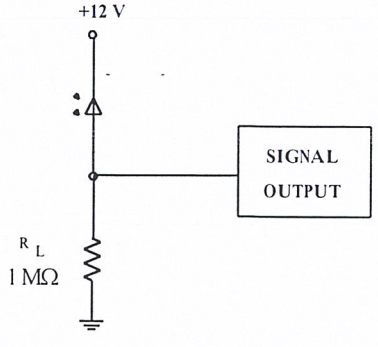
ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF357 ยังมีหน้าที่ในการขยายสัญญาณทางด้านอินพุตให้แรงขึ้นเพื่อไปขับทรานซิสเตอร์ Q_6 และ Q_7 ซึ่งต่อกันอยู่แบบดาร์ลิงตันทำหน้าที่ควบคุมกระแสให้ไหลผ่านแอลอีดีตามแรงดันที่ได้รับจากขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 ถ้าแรงดันที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 มีค่าสูงกระแสก็จะไหลผ่านแอลอีดีก็มีค่าสูง แอลอีดีจะกำเนิดแสงออกมาได้มาก ถ้าแรงดันที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 มีค่าต่ำจะทำให้มีกระแสไหลผ่านแอลอีดีต่ำ แอลอีดีก็จะกำเนิดแสงออกมาได้ต่ำ



รูปที่ 5.1 วงจรขับสัญญาณ.

2. การเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

2.1 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า



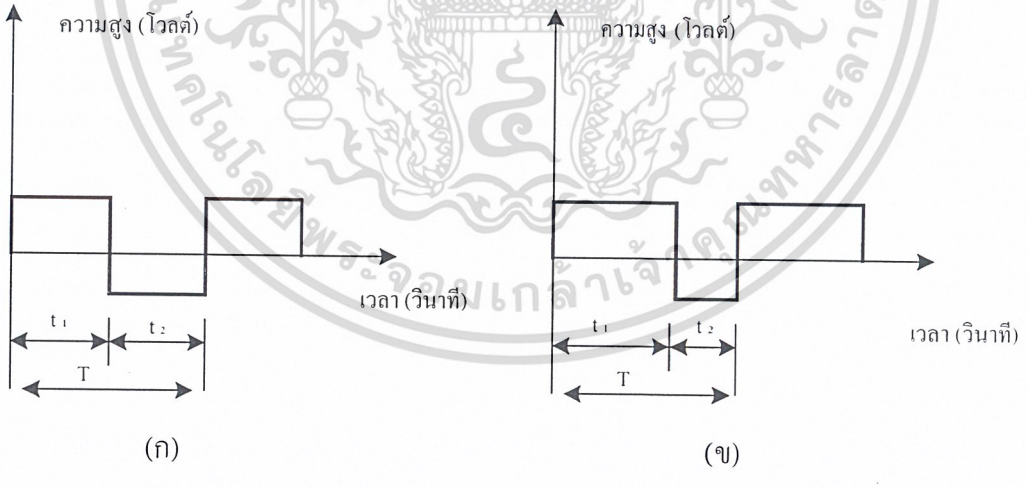
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.1 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า

จากรูปที่ 5.2 เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้อุปกรณ์รับแสงเบอร์ IF-D91 ซึ่งวงจรจะมีการจัดแรงดันไบแอสกลับให้แก่อุปกรณ์รับแสง โดยจะมีหลักการทำงาน คือ เมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบจะทำให้ แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์รับแสง มีค่าเท่ากับแรงดันที่จัดไบแอสกลับ คือ 12 โวลต์ จึงทำให้กระแสที่ไหลผ่าน R_L มีค่า 0 แอมป์ แต่เมื่อมีแสงมาตกกระทบจะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์รับแสงลดลง ทำให้มีกระแสที่ไหลผ่าน R_L มีค่ามากขึ้น จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อม R_L มากขึ้นตามไปด้วย

3. การส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง

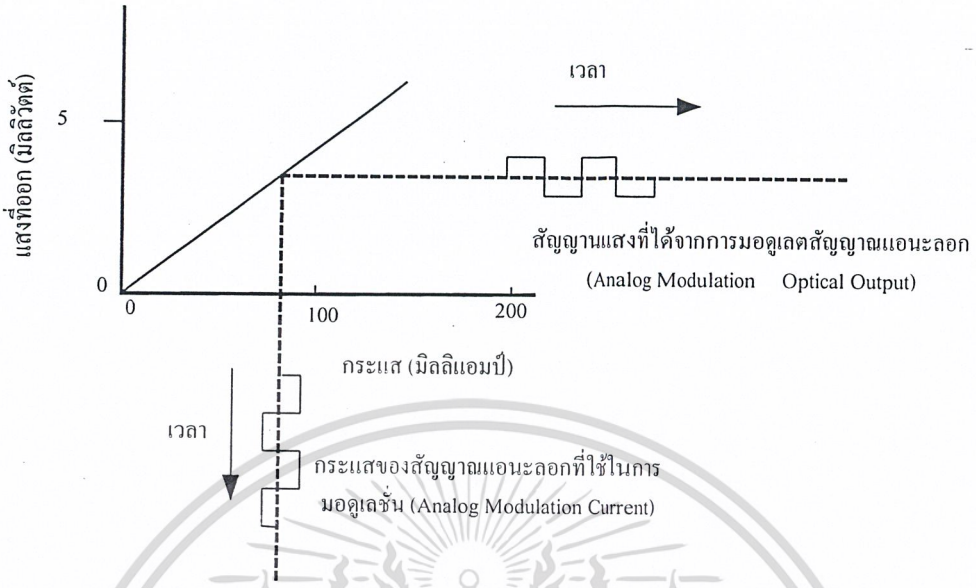
สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมนั้นเป็นสัญญาณที่ประกอบขึ้นมาจากฟังก์ชันขั้นบันได ฟังก์ชันขั้นบันไดนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงระดับแบบทันทีทันใดจากระดับคงที่หนึ่งไปยังระดับคงที่อีกค่าหนึ่ง ถ้าการเปลี่ยนแปลงระดับมีลักษณะเพิ่มขึ้น เรียกว่า ฟังก์ชันขั้นบันไดขึ้น และถ้าการเปลี่ยนแปลงระดับมีลักษณะลดลง เรียกว่า ฟังก์ชันขั้นบันไดลดลง ซึ่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเกิดจากการรวมกันของฟังก์ชันขั้นบันไดขึ้นกับขั้นบันไดลง ลักษณะของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมแสดงดังรูปที่ 5.3 ถ้ารูปคลื่นสี่เหลี่ยมมีช่วงเวลา t_1 เท่ากับ t_2 เราเรียกว่ารูปคลื่นสี่เหลี่ยมจัสตุรัส ดังรูปที่ 5.3 (ก) แต่ถ้ารูปคลื่นสี่เหลี่ยมมีช่วงเวลา t_1 ไม่เท่ากับ t_2 เราเรียกว่ารูปคลื่นพัลส์ ดังรูปที่ 5.3 (ข)



รูปที่ 5.3 รูปคลื่นสี่เหลี่ยม

ในการส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง เราต้องเปลี่ยนสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมซึ่งอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมในรูปของสัญญาณแสงโดยใช้แอลอีดี ซึ่งรูปแบบการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 1 การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงแสดงดังรูปที่ 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

สัญญาณแสงที่เป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจะถูกส่งไปในเส้นใยนำแสงไปยังภาครับซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2

รูปแบบการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงในรูปที่ 5.4 ความเข้มแสงของอุปกรณ์กำเนิดแสงจะถูกมอดูเลตในลักษณะที่เป็นเชิงเส้นกับแรงดันของสัญญาณไฟฟ้าอินพุต โดยไม่มีการพิจารณาถึงเรื่องเฟสหรือความถี่ของสัญญาณแสง ส่วนทางด้านรับก็จะตอบสนองระดับพลังงาน (ความเข้ม) ของสัญญาณแสงโดยไม่มีการพิจารณาในเรื่องความถี่หรือเฟสเช่นเดียวกัน ซึ่งระบบที่ทำงานในลักษณะดังกล่าวนี้เราเรียกการมอดูเลตที่เกิดขึ้นที่ภาคส่งว่า "การมอดูเลตความเข้ม (Intensity Modulation ; IM)" และการดีมอดูเลตที่ภาครับเรียกว่า "การตรวจจับแสงโดยตรง (Direct Detection ; DD)"

4. การขยายกว้างออก

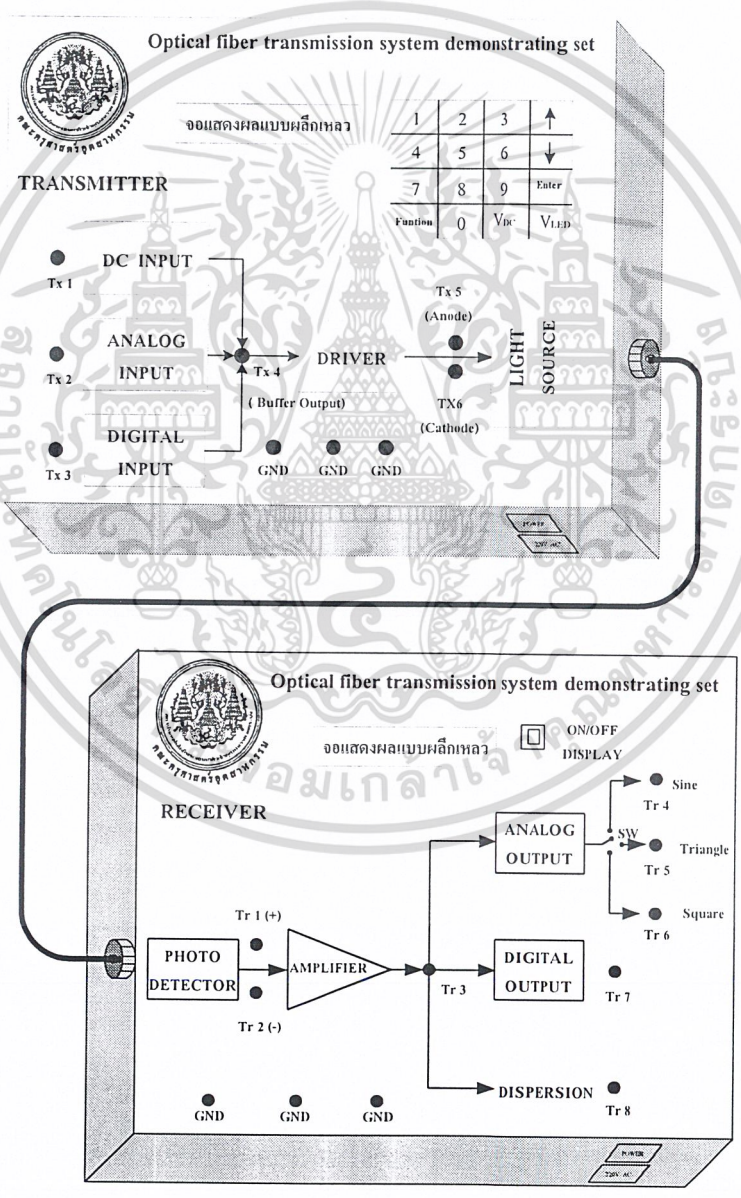
การขยายกว้างออกของสัญญาณแสงนั้นจะทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณ ในกรณีที่เป็นการส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม เมื่อเกิดการขยายกว้างออกก็ทำให้สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมของแสงที่ทำการส่งและเดินทางไปในเส้นใยนำแสงเกิดการผิดเพี้ยน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการผิดเพี้ยนของรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ถ้าหากระยะทางในการส่งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้สัญญาณเกิดการผิดเพี้ยนไปจนภาครับไม่สามารถรับสัญญาณเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม หรือเกิดการผิดเพี้ยนไปจนไม่เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม การขยายกว้างออกนั้นเกิดขึ้นจาก 2 กรณี คือ การขยายกว้างออกเนื่องจากโมด การขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว้างออกเนื่องจากความยาวคลื่น ซึ่งแบ่งออกเป็น การขยายกว้างออกเนื่องจากสารที่ใช้สร้าง และการขยายกว้างออกเนื่องจากโครงสร้าง

ลำดับขั้นการทดลอง

1.ต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องรับ ดังรูปที่ 5.5 โดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร



รูปที่ 5.5 การต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องรับโดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เปิดสวิตช์ Power ทั้งเครื่องส่งและเครื่องรับ ทางด้านเครื่องส่งเมื่อจอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ Select Input ที่สวิตช์เมตริกซ์กดปุ่ม FNC จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ DC Internal ให้กดปุ่มลูกศรเลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลงจนกว่าจะพบข้อความ AC External และกดปุ่ม ENT

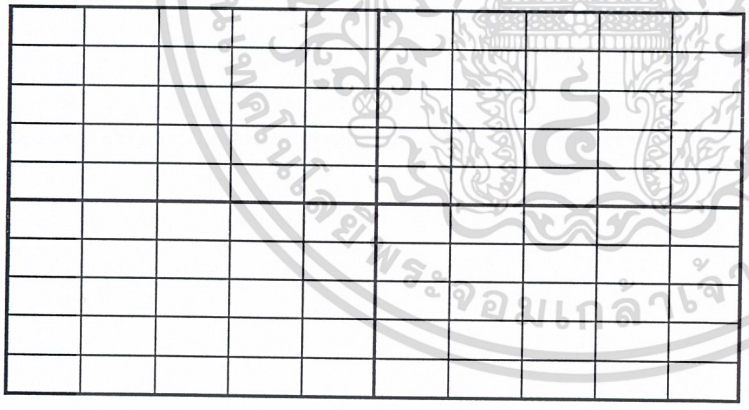
3. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 2 ทางด้านออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 2 เทียบกับกราวด์ตามลำดับ ทางด้านเครื่องรับ ปรับสวิตช์ไปที่ Square

4. ช่องวัดสัญญาณที่ 2 ของออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms วัดสัญญาณที่จุด Tr 6 เทียบกับกราวด์

5. ปรับค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุตที่เครื่องส่งจนกระทั่งสัญญาณเอาต์พุตที่ Tr 6 ไม่ผิดเพี้ยน

6. ปรับ Volt/DIV กับ Time/div ของออสซิลโลสโคปจนกระทั่งรูปสัญญาณที่ปรากฏบนหน้าจอออสซิลโลสโคปชัดเจน

7. บันทึกค่าแรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับ



Time/DIV_____ s/DIV

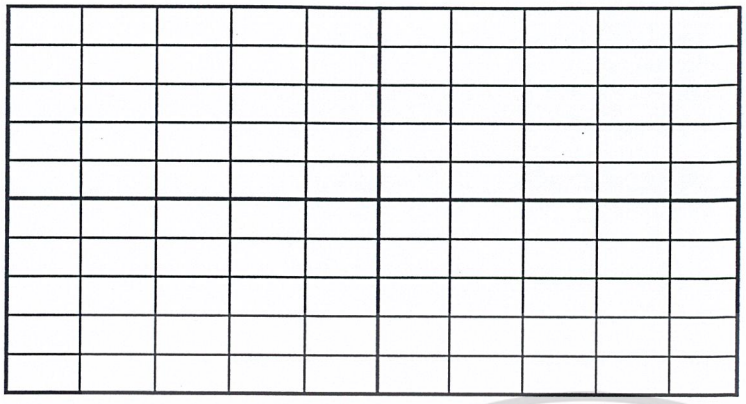
Ch1 _____V/DIV

Ch 2 _____V/DIV

รูปที่ 5.6 แรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์

8. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 โดยวัดที่จุด Tx 1 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคป ช่องวัดสัญญาณที่ 2 วัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Time/DIV_____ s/DIV

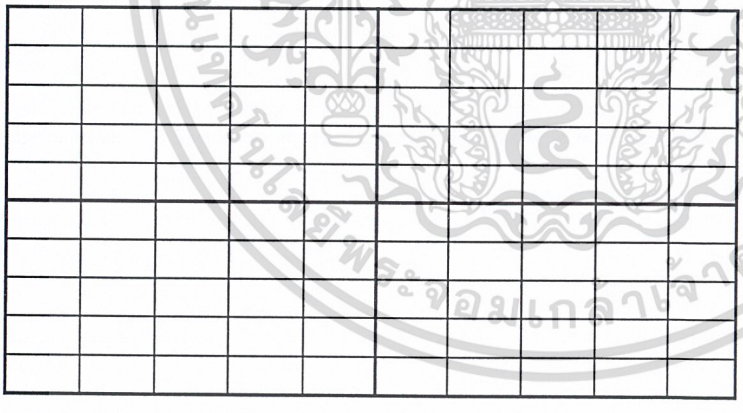
Ch1 _____V/DIV

Ch 2 _____V/DIV

รูปที่ 5.7 การขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์

9. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 2 ทางด้านออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 2 เทียบกับกราวด์

10. ทำการทดลองตามข้อ 4, 5, และ 6 บันทึกค่าแรงดันที่วัดได้



Time/DIV_____s/DIV

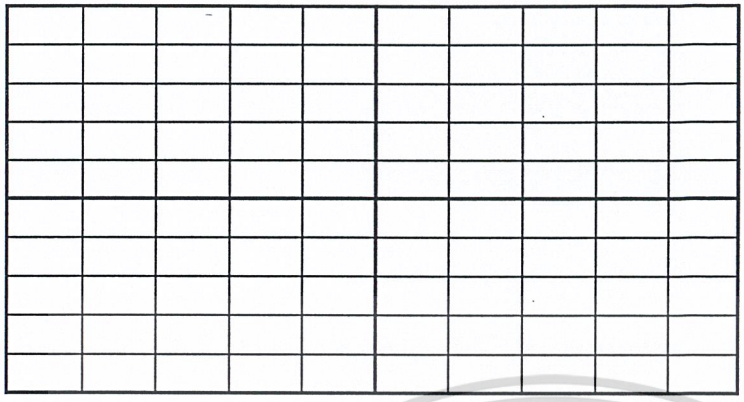
Ch1 _____V/DIV

Ch 2 _____V/DIV

รูปที่ 5.8 แรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับที่ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์

11. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 วัดที่จุด Tx 1 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 2 โดยวัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Time/DIV_____ s/DIV

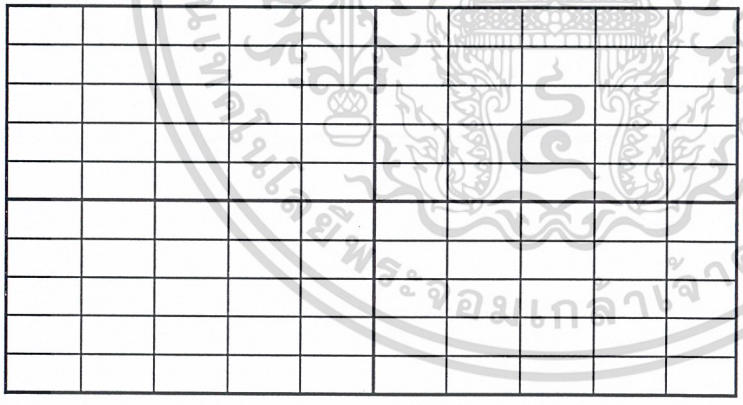
Ch1 _____V/DIV

Ch 2 _____V/DIV

รูปที่ 5.9 การขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์

12. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 2 ที่ออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 2 เทียบกับกราวด์

13. ทำการทดลองตามข้อ 4, 5, และ 6 บันทึกค่าที่วัดได้



Time/DIV_____ s/DIV

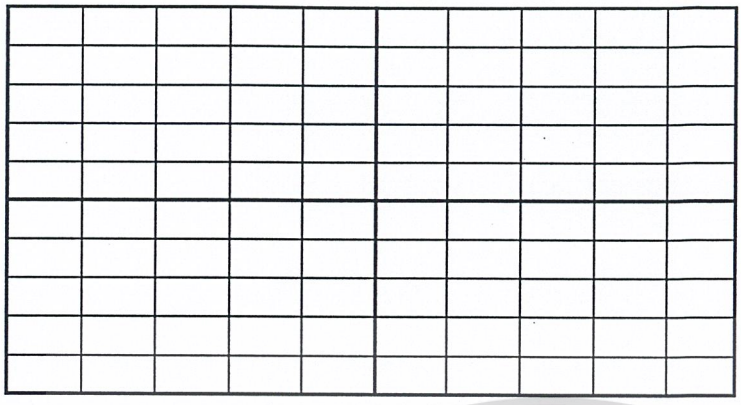
Ch1 _____V/DIV

Ch 2 _____V/DIV

รูปที่ 5.10 แรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับที่ความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์

14. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 วัดที่จุด Tx 1 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 2 โดยวัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Time/DIV_____ s/DIV

Ch1 _____V/DIV

Ch 2 _____V/DIV

รูปที่ 5.11 การขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายการส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเส้นใยนำแสง
2. จงอธิบายความแตกต่างของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมกับสัญญาณรูปคลื่นไซน์ เมื่อเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง
3. การเกิดการขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเกิดขึ้นได้อย่างไร จงอธิบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 6
การส่งสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง

วัตถุประสงค์

เพื่อให้นักศึกษาสามารถ

1. อธิบายหลักการการส่งสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง
2. อธิบายข้อแตกต่างในการส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม และสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสงได้
3. อธิบายการเปลี่ยนสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมเป็นสัญญาณแสง และการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมได้
4. คำนวณหาค่าการลดทอนสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมได้
5. วัดและอธิบายการขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมได้

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องส่ง (Transmitter)	1 เครื่อง
2. เครื่องรับ (Receiver)	1 เครื่อง
3. เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร	1 เส้น
4. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ พร้อมสายต่อวงจร	1 เครื่อง
5. ออสซิลโลสโคป พร้อมสายวัดสัญญาณ	1 เครื่อง
6. สายต่อวงจร	6 เส้น

ทฤษฎีเบื้องต้น

1. การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

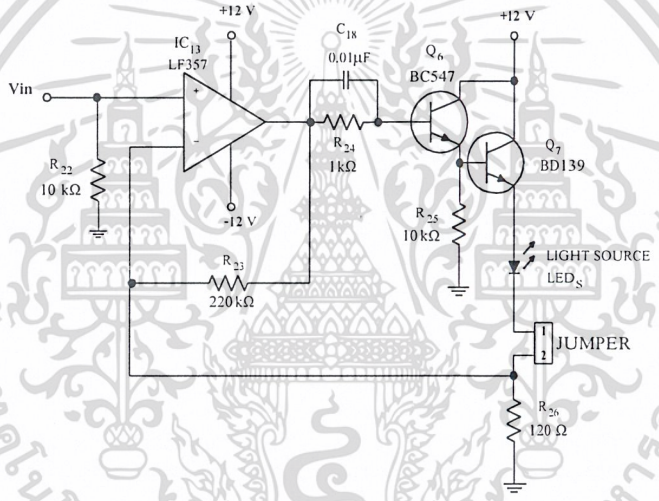
1.1 วงจรขับสัญญาณ

จากรูปที่ 6.1 เป็นวงจรขับสัญญาณ โดยจะจัดเป็นวงจรขยายความคลาดเคลื่อน (Error Amplifer) ที่ใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF357 ซึ่งคุณสมบัติของวงจรขยายความคลาดเคลื่อนคือ แรงดันอินพุตที่ป้อนให้แก่ขาบวกและขาลบของไอซีออปแอมป์จะต้องมีค่าเท่ากันเสมอ ดังนั้นเมื่อเกิดความร้อนขึ้นภายในทรานซิสเตอร์ หรือที่อุปกรณ์กำเนิดแสงเอง จนทำให้กระแสไหลผ่าน

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์กำเนิดแสงมีค่ามากขึ้น วงจรขยายความคลาดเคลื่อนนี้จะทำหน้าที่ปรับอัตราขยายให้ลดลง จนกระทั่งมีการแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงตามที่กำหนด

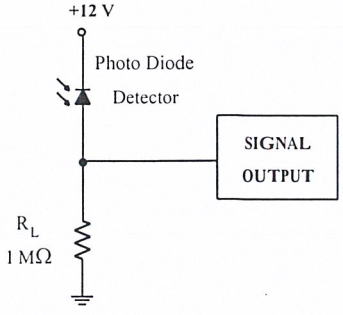
ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF357 ยังมีหน้าที่ในการขยายสัญญาณทางด้านอินพุตให้แรงขึ้นเพื่อไปขับทรานซิสเตอร์ Q_6 และ Q_7 ซึ่งต่อกันอยู่แบบดาร์ริงตันทำหน้าที่ควบคุมกระแสให้ไหลผ่านแอลอีดีตามแรงดันที่ได้รับจากขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 ถ้าแรงดันที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 มีค่าสูงกระแสก็จะไหลผ่านแอลอีดีก็มีค่าสูง แอลอีดีจะกำเนิดแสงออกมาได้มาก ถ้าแรงดันที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 มีค่าต่ำจะทำให้มีกระแสไหลผ่านแอลอีดีต่ำ แอลอีดีก็จะกำเนิดแสงออกมาได้ต่ำ



รูปที่ 6.1 วงจรขับสัญญาณ

2. การเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

2.1 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า



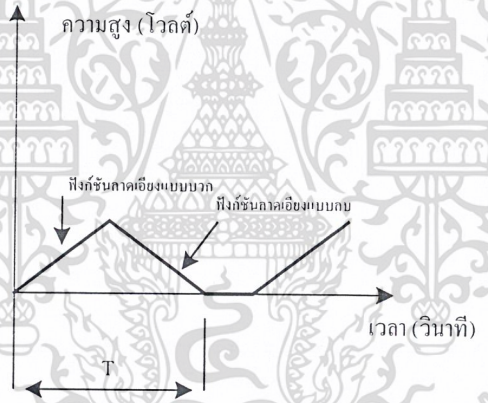
รูปที่ 6.2 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.2 เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้อุปกรณ์รับแสงเบอร์ IF-D91 ซึ่งวงจรจะมีการจัดแรงดันไบแอสกลับให้แก่อุปกรณ์รับแสง โดยจะมีหลักการทำงาน คือ เมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบจะทำให้ แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์รับแสง มีค่าเท่ากับแรงดันที่จัดไบแอสกลับ คือ 12 โวลต์ จึงทำให้กระแสที่ไหลผ่าน R_L มีค่า 0 แอมป์ แต่เมื่อมีแสงมาตกกระทบจะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์รับแสงลดลง ทำให้มีกระแสที่ไหลผ่าน R_L มีค่ามากขึ้น จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อม R_L มากขึ้นตามไปด้วย

3. การส่งสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง

สัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมเกิดจากการรวมตัวกันของฟังก์ชันลาดเอียง (ฟังก์ชันที่มีลักษณะเพิ่มขึ้นหรือลดลงแบบเป็นเชิงเส้นเมื่อเทียบกับเวลา) แบบบวก และฟังก์ชันลาดเอียงแบบลบ ดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 รูปคลื่นสามเหลี่ยม

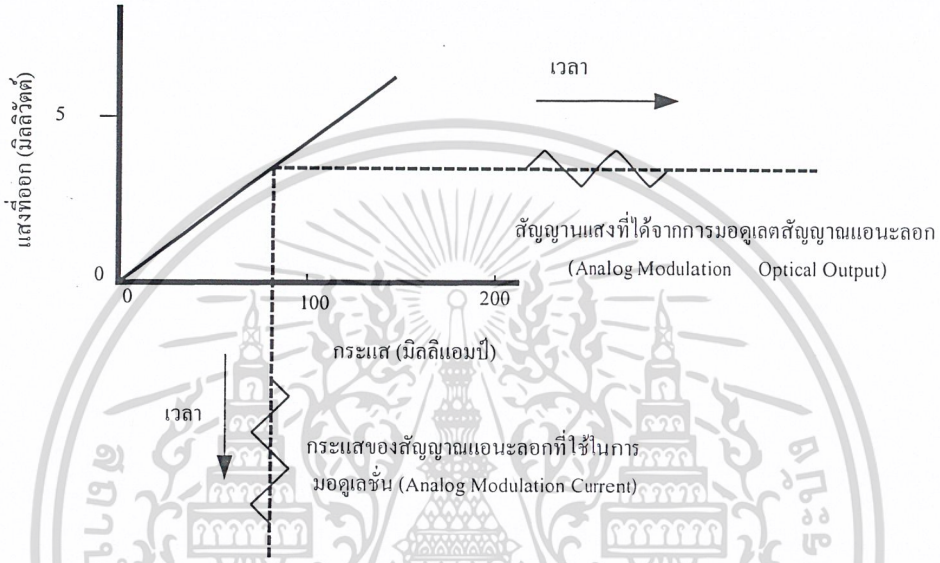
ถ้าต้องการส่งสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง ต้องเปลี่ยนสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมซึ่งอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมในรูปของสัญญาณแสงโดยใช้แอลอีดี ซึ่งรูปแบบการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 1 การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงแสดงดังรูปที่ 6.4

สัญญาณแสงที่เป็นสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมจะถูกส่งไปในเส้นใยนำแสงไปยังเครื่องรับ ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2

รูปแบบการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงในรูปที่ 6.4 ความเข้มแสงของอุปกรณ์กำเนิดแสงจะถูกมอดูเลตในลักษณะที่เป็นเชิงเส้นกับแรงดันของสัญญาณไฟฟ้าอินพุต โดยไม่มีการพิจารณาถึงเรื่องเฟสหรือความถี่ของสัญญาณแสง ส่วนทางด้านรับก็จะตอบสนองระดับพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ความเข้ม) ของสัญญาณแสงโดยไม่มีการพิจารณาในเรื่องความถี่หรือเฟสเช่นเดียวกัน ซึ่งระบบที่ทำงานในลักษณะดังกล่าวนี้เราเรียกการมอดูเลตที่เกิดขึ้นที่เครื่องส่งว่า "การมอดูเลตความเข้ม (Intensity Modulation ; IM)" และการดีมอดูเลตที่ภาครับเรียกว่า "การตรวจจับแสงโดยตรง (Direct Detection ; DD)"



รูปที่ 6.5 การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงของสัญญาณสามเหลี่ยม

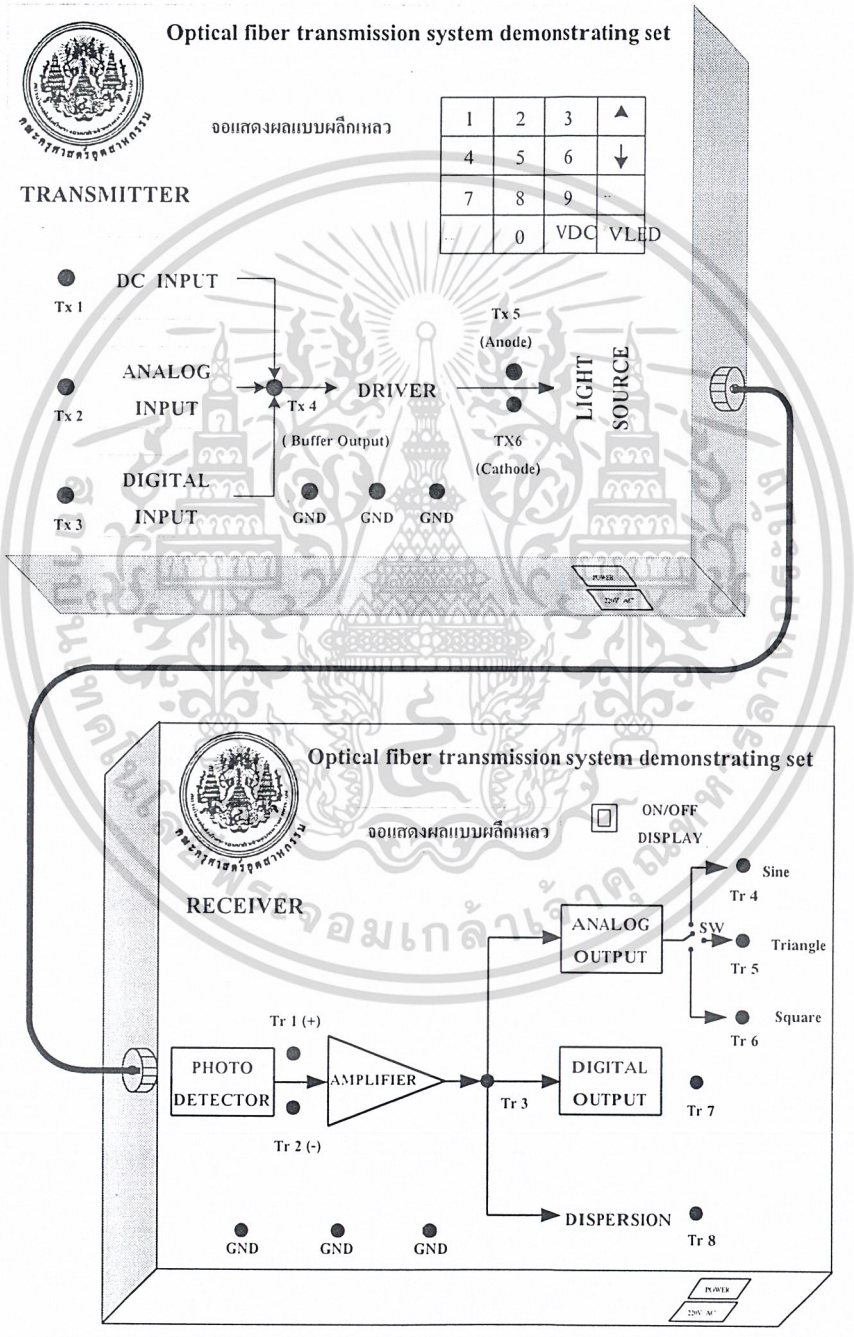
4. การขยายกว้างออก

การขยายกว้างออกของสัญญาณแสงนั้นจะทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณ ในกรณีที่เป็นการส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม เมื่อเกิดการขยายกว้างออกก็ทำให้สัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมของแสงที่ทำการส่งและเดินทางไปในเส้นใยนำแสงเกิดการผิดเพี้ยน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการผิดเพี้ยนของรูปคลื่นสามลี่ยม ถ้าหากระยะทางในการส่งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้สัญญาณเกิดการผิดเพี้ยนไปจนเครื่องรับไม่สามารถรับสัญญาณเป็นรูปคลื่นสามเหลี่ยม หรือเกิดการผิดเพี้ยนไปจนไม่เป็นรูปคลื่นสามเหลี่ยม การขยายกว้างออกนั้นเกิดขึ้นจาก 2 กรณี คือ การขยายกว้างออกเนื่องจากโมดและการขยายกว้างออกเนื่องจากความยาวคลื่น ซึ่งแบ่งออกเป็น การขยายกว้างออกเนื่องจากสารที่ใช้สร้าง การขยายกว้างออกเนื่องจากโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องรับ ดังรูปที่ 6.5 โดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร



รูปที่ 6.5 การต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องรับโดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เปิดสวิตช์ Power ทั้งเครื่องส่งและเครื่องรับ ทางด้านเครื่องส่งเมื่อจอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ Select Input ที่สวิตช์เมตริกซ์กดปุ่ม FNC จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ DC Internal ให้กดปุ่มลูกศรเลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลงจนกว่าจะพบข้อความ AC External และกดปุ่ม ENT

3. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 2 ทางด้านออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 2 เทียบกับกราวด์ตามลำดับ ทางด้านเครื่องรับ ปรับสวิตช์ไปที่ Triangle

4. ช่องวัดสัญญาณที่ 2 ของออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms วัดสัญญาณที่จุด Tr 5 เทียบกับกราวด์

5. ปรับค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุตที่เครื่องส่งจนกระทั่งสัญญาณเอาต์พุตที่ Tr 5 ไม่ผิดเพี้ยน

6. ปรับ Volt/DIV กับ Time/div ของออสซิลโลสโคปจนกระทั่งรูปสัญญาณที่ปรากฏบนหน้าจอออสซิลโลสโคปชัดเจน

7. บันทึกค่าแรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับ

Time/DIV_____ s/DIV

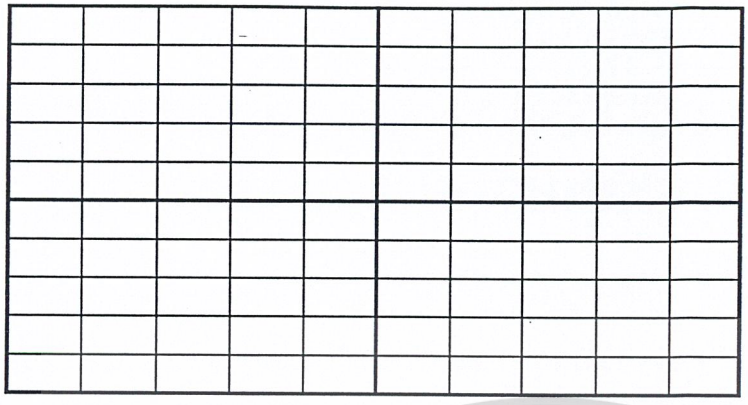
Ch1 _____V/DIV

Ch 2 _____V/DIV

รูปที่ 5.6 แรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์

8. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 โดยวัดที่จุด Tx 1 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคปช่องวัดสัญญาณที่ 2 วัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Time/DIV_____ s/DIV

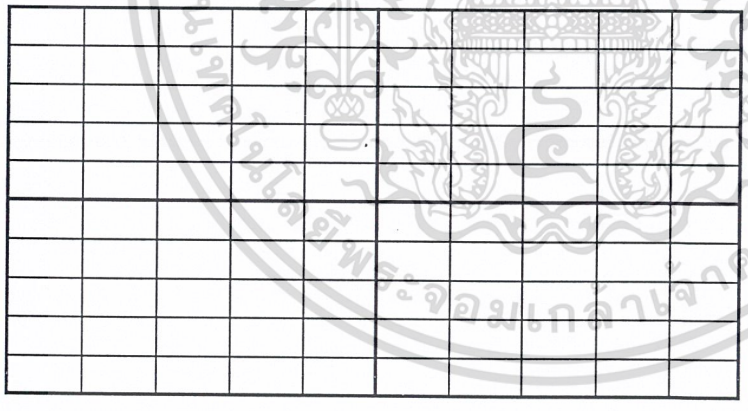
Ch1 _____V/DIV

Ch 2 _____V/DIV

รูปที่ 6.7 การขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์

9. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 2 ทางด้านออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 2 เทียบกับกราวด์

10. ทำการทดลองตามข้อ 4, 5, และ 6 บันทึกค่าแรงดันที่วัดได้



Time/DIV_____s/DIV

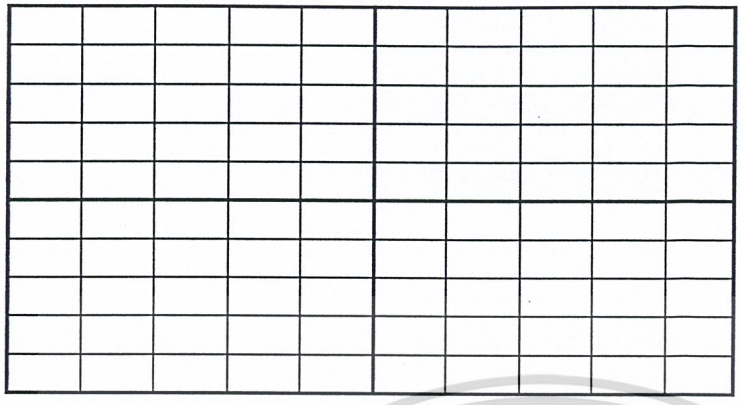
Ch1 _____V/DIV

Ch 2 _____V/DIV

รูปที่ 6.8 แรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับที่ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์

11. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 วัดที่จุด Tx 1 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 2 โดยวัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Time/DIV_____ s/DIV

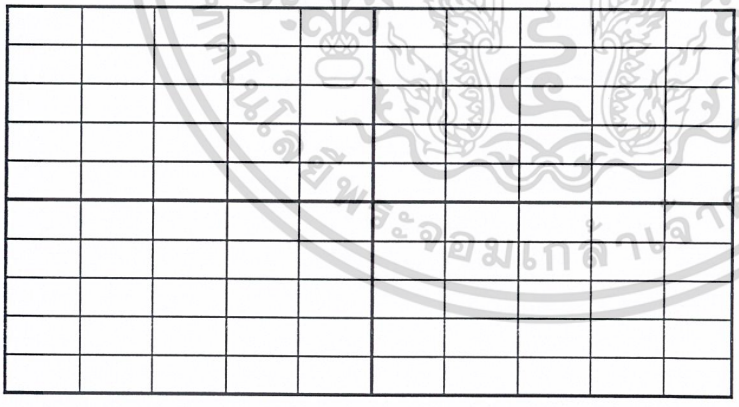
Ch1 _____V/DIV

Ch 2 _____V/DIV

รูปที่ 6.9 การขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมที่ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์

12. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 2 ที่ออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 2 เทียบกับกราวด์

13. ทำการทดลองตามข้อ 4, 5, และ 6 บันทึกค่าที่วัดได้



Time/DIV_____ s/DIV

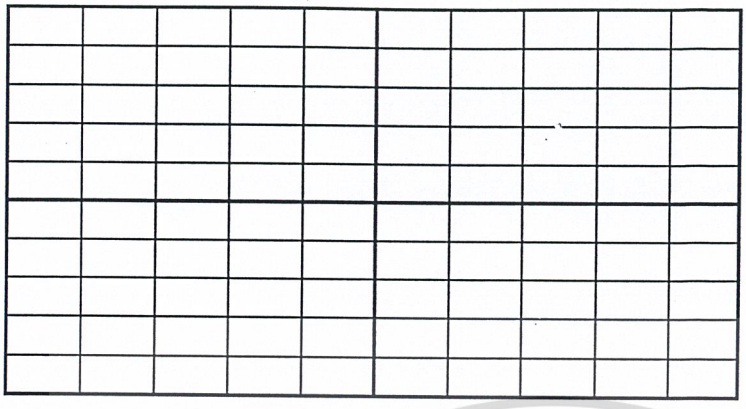
Ch1 _____V/DIV

Ch 2 _____V/DIV

รูปที่ 6.10 แรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับที่ความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์

14. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 วัดที่จุด Tx 1 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 2 โดยวัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Time/DIV_____ s/DIV

Ch1 _____V/DIV

Ch 2 _____V/DIV

รูปที่ 6.11 การขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมที่ความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลองจงอธิบายการส่งสัญญาณสามเหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง
2. จากการทดลองจงอธิบายการเกิดการขยายกว้างออกของสัญญาณสามเหลี่ยม
3. สัญญาณสามเหลี่ยมแตกต่างกับสัญญาณไซน์ และสัญญาณสี่เหลี่ยมอย่างไร และมีผลอย่างไรต่อการเปลี่ยนสัญญาณสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 7
การส่งสัญญาณดิจิตอลผ่านเส้นใยนำแสง

วัตถุประสงค์

เพื่อให้นักศึกษาสามารถ

1. อธิบายหลักการการส่งสัญญาณดิจิตอลผ่านเส้นใยนำแสง
2. อธิบายข้อแตกต่างในการส่งสัญญาณแอนะลอก และสัญญาณดิจิตอลผ่านเส้นใยนำแสงได้
3. อธิบายการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแสงและการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณดิจิตอลได้
4. วัดและคำนวณหาค่าการลดทอนสัญญาณได้
5. วัดและอธิบายการขยายกว้างออกของสัญญาณดิจิตอลได้

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องส่ง (Transmitter)	1 เครื่อง
2. เครื่องรับ (Receiver)	1 เครื่อง
3. เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร	1 เส้น
4. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ พร้อมสายต่อวงจร	1 เครื่อง
5. ออสซิลโลสโคป พร้อมสายวัดสัญญาณ	1 เครื่อง
6. สายต่อวงจร	6 เส้น

ทฤษฎีเบื้องต้น

1. การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

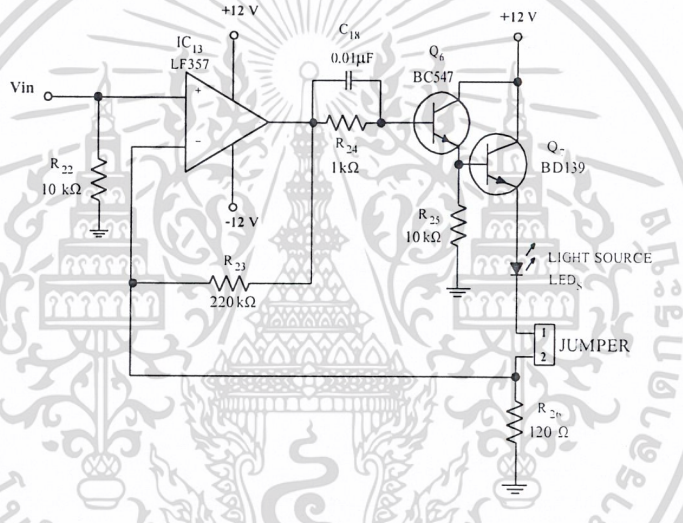
1.1 วงจรขับสัญญาณ

จากรูปที่ 7.1 เป็นวงจรขับสัญญาณ โดยจะจัดเป็นวงจรขยายความคลาดเคลื่อน (Error Amplifer) ที่ใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF357 ซึ่งคุณสมบัติของวงจรขยายความคลาดเคลื่อนคือแรงดันอินพุตที่ป้อนให้แก่ขาบวกและขาลบของไอซีออปแอมป์จะต้องมีค่าเท่ากันเสมอ ดังนั้น เมื่อเกิดความร้อนขึ้นภายในทรานซิสเตอร์ หรือที่อุปกรณ์กำเนิดแสงเอง จนทำให้กระแสไหลผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์กำเนิดแสงมีค่ามากขึ้น วงจรขยายความคลาดเคลื่อนนี้จะทำหน้าที่ปรับอัตราขยายให้ลดลงจนกระทั่งมีกระแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงตามที่กำหนด

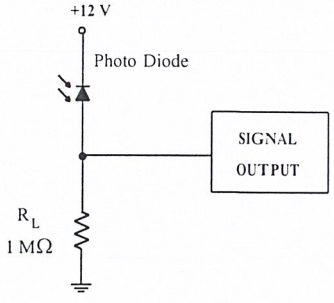
ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF357 ยังมีหน้าที่ในการขยายสัญญาณทางด้านอินพุตให้แรงขึ้นเพื่อไปขับทรานซิสเตอร์ Q_6 และ Q_7 ซึ่งต่อกันอยู่แบบดาร์ลิงตันทำหน้าที่ควบคุมกระแสให้ไหลผ่านแอลอีดีตามแรงดันที่ได้รับจากขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 ถ้าแรงดันที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 มีค่าสูงกระแสก็จะไหลผ่านแอลอีดีก็มีค่าสูง แอลอีดีจะกำเนิดแสงออกมาได้มาก ถ้าแรงดันที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 มีค่าต่ำจะทำให้มีกระแสไหลผ่านแอลอีดีต่ำ แอลอีดีก็จะกำเนิดแสงออกมาได้ต่ำ



รูปที่ 7.1 วงจรขับสัญญาณ

2. การเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

2.1วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า



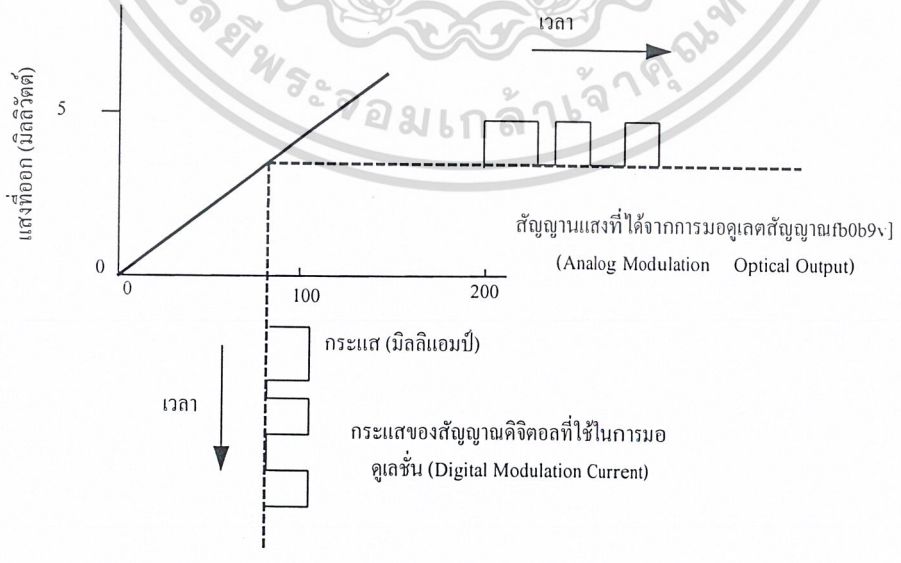
รูปที่ 7.2 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 7.2 เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้อุปกรณ์รับแสงเบอร์ IF-D91 ซึ่งวงจรจะมีการจัดแรงดันไบแอสกลับให้แก่อุปกรณ์รับแสง โดยมีหลักการทำงานคือ เมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบทำให้ แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์รับแสง มีค่าเท่ากับแรงดันที่จัดไบแอสกลับ คือ 12 โวลต์ จึงทำให้กระแสที่ไหลผ่าน R_L มีค่า 0 แอมป์ แต่เมื่อมีแสงมาตกกระทบทำให้แรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์รับแสงลดลง ทำให้มีกระแสที่ไหลผ่าน R_L มีค่ามากขึ้น ทำให้แรงดันที่ตกคร่อม R_L มากขึ้นตามไปด้วย

3. การส่งสัญญาณดิจิตอลผ่านเส้นใยนำแสง

สัญญาณดิจิตอลในระบบการสื่อสารโดยทั่วไปนั้นเป็นลักษณะของสัญญาณพัลส์ ซึ่งสัญญาณพัลส์นั้นมี 2 ระดับ คือ สัญญาณที่มีระดับสูงสุด (5 โวลต์) มีลอจิกเป็น “1” และสัญญาณที่มีระดับต่ำสุด (0 โวลต์) มีลอจิกเป็น “0” การเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณแสงนั้นเป็นการทำให้อุปกรณ์กำเนิดแสงนั้นทำงาน (ON) หรือ หยุดทำงาน (OFF) ตามระดับสัญญาณลอจิกที่รับเข้ามาในกรณีที่อุปกรณ์กำเนิดแสงนั้นรับสัญญาณที่มีลอจิก “0” เข้ามาอุปกรณ์กำเนิดแสงจะเปล่งแสงออกมาน้อยมากหรือไม่เปล่งแสงออกมาเลย ในกรณีที่อุปกรณ์กำเนิดแสงนั้นรับสัญญาณที่มี ลอจิก “1” เข้ามาอุปกรณ์กำเนิดแสงจะเปล่งแสงออกมามากที่สุด นั่นคือเมื่อสัญญาณอินพุตมีค่าเกินระดับหนึ่งก็จะทำให้อุปกรณ์กำเนิดแสงนั้นจะทำงานเต็มที่ คือจะมีแสงออกมามากที่สุด แต่เมื่อสัญญาณอินพุตมีค่าต่ำกว่าระดับหนึ่งก็จะทำให้อุปกรณ์กำเนิดแสงนั้นหยุดทำงาน ทำให้ไม่เปล่งแสงออกมา

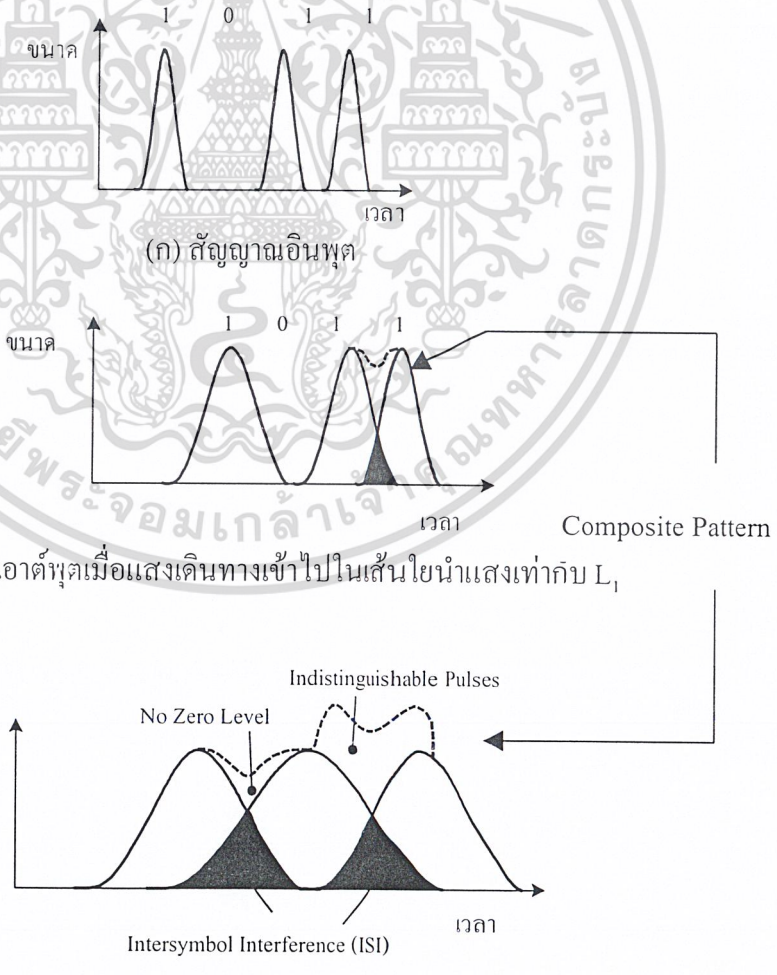


รูปที่ 7.3 การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงของสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณแสงที่เป็นสัญญาณดิจิตอลจะถูกส่งไปในเส้นใยนำแสงไปยังเครื่องรับซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2

รูปแบบการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงในรูปที่ ช.52 ความเข้มแสงของอุปกรณ์กำเนิดแสงจะถูกมอดูเลตในลักษณะที่เป็นเชิงเส้นกับแรงดันของสัญญาณไฟฟ้าอินพุต โดยไม่มีการพิจารณาถึงเรื่องเฟสหรือความถี่ของสัญญาณแสง ส่วนทางด้านรับก็จะตอบสนองระดับพลังงาน (ความเข้ม) ของสัญญาณแสงโดยไม่มีการพิจารณาในเรื่องความถี่หรือเฟสเช่นเดียวกัน ซึ่งระบบที่ทำงานในลักษณะดังกล่าวนี้เราเรียกการมอดูเลตที่เกิดขึ้นที่เครื่องส่งว่า "การมอดูเลตความเข้ม (Intensity Modulation ; IM)" และการดีมอดูเลตที่เครื่องรับเรียกว่า "การตรวจจับแสงโดยตรง (Direct Detection ; DD)"



รูปที่ 7.4 การเกิดการขยายกว้างออกของสัญญาณพัลส์ 1011 เมื่อผ่านเส้นใยนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การขยายกว้างออก

การขยายกว้างออกของสัญญาณแสงที่จะทำให้เกิดการผิดเพี้ยนทั้งในกรณีที่เป็นการส่งสัญญาณแบบแอนะลอกและดิจิตอล ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วเราจะใช้ในการส่งสัญญาณแบบดิจิตอล ดังนั้นเมื่อเกิดการขยายกว้างออกก็ทำให้สัญญาณพัลส์ของแสงที่ทำการส่งและเดินทางไปในเส้นใยนำแสง การขยายกว้างออกเกิดขึ้นดังรูป 7.4 ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการซ้อนทับกันของพัลส์ ทำให้ภาครับไม่สามารถแยกสัญญาณออกจากกันได้ ซึ่งเราเรียกผลที่เกิดขึ้นนี้ว่า "Intersymbol Interference (ISI)" หากมีค่า ISI สูงก็จะส่งผลให้ความผิดพลาดสูงขึ้นการขยายกว้างออกนั้นเกิดขึ้นจาก 2 กรณี คือ การขยายกว้างออกเนื่องจากโมด และการขยายกว้างออกเนื่องจากความยาวคลื่น ซึ่งแบ่งออกเป็น การขยายกว้างออกเนื่องจากสารที่ใช้สร้าง การขยายกว้างออกเนื่องจากโครงสร้าง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องรับ ดังรูปที่ 7.5 โดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร

2. เปิดสวิตช์ Power ทั้งเครื่องส่งและเครื่องรับ ทางด้านเครื่องส่งเมื่อจอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ Select Input ที่สวิตช์เมตริกซ์กดปุ่ม FNC จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ DC Internal ให้กดปุ่มลูกศรเลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลงจนกว่าจะพบข้อความ AC External และกดปุ่ม ENT

3. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณ TTL ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 3 ทางด้านออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 3 เทียบกับกราวด์ ตามลำดับ

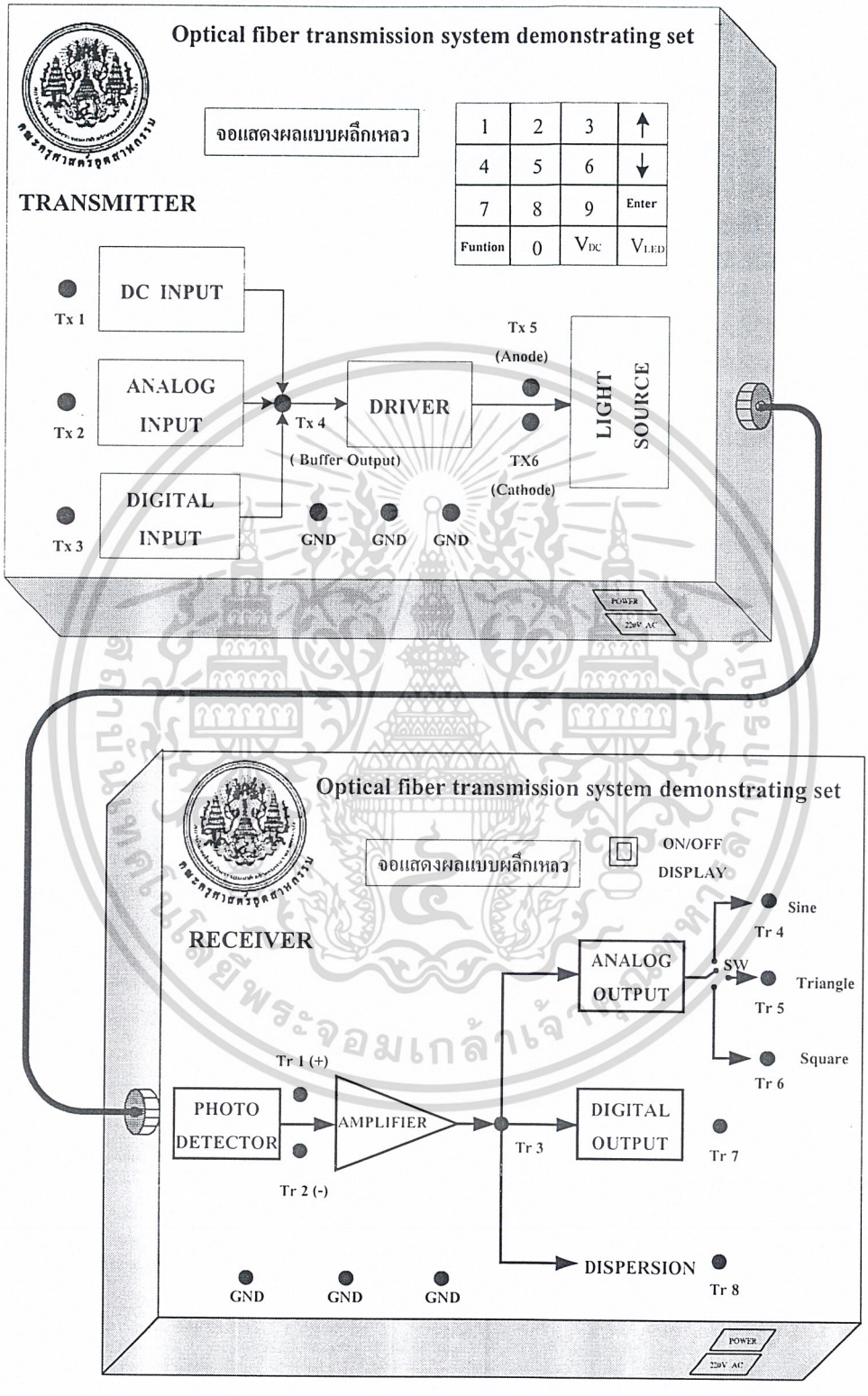
4. ทางด้านเครื่องรับ ปรับสวิตช์ไปที่ Sin ช่องวัดสัญญาณที่ 2 ของออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 วัดสัญญาณที่จุด Tr 7 เทียบกับกราวด์

5. ปรับค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุตที่เครื่องส่งจนกระทั่งสัญญาณเอาต์พุตที่ Tr 7 ไม่ผิดเพี้ยน

6. ปรับ Volt/DIV กับ Time/div ของออสซิลโลสโคปจนกระทั่งรูปสัญญาณที่ปรากฏบนหน้าจอออสซิลโลสโคปชัดเจน

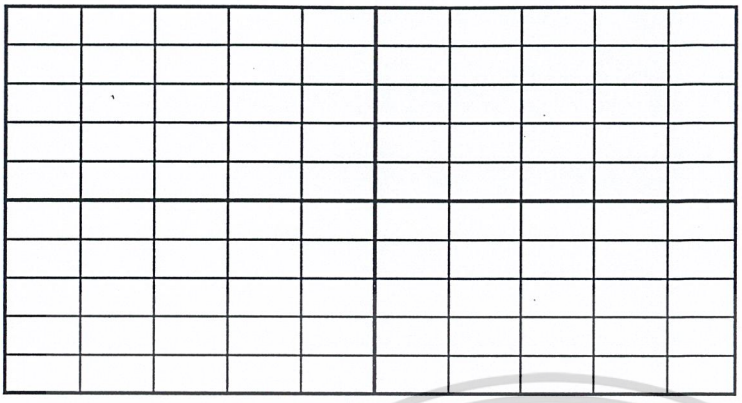
7. บันทึกค่าแรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



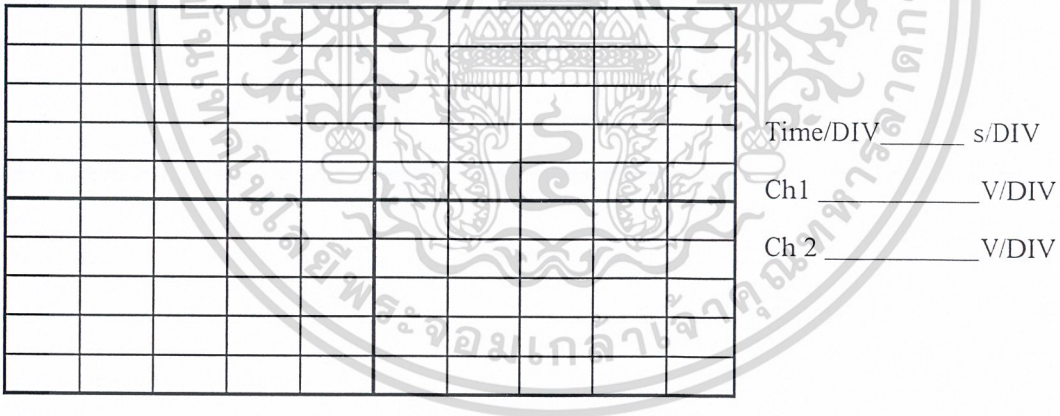
รูปที่ 7.5 การต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องรับโดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก แบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.6 แรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตของระบบที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์

8. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 โดยวัดที่จุด Tx 3 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคปช่องวัดสัญญาณที่ 2 วัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้

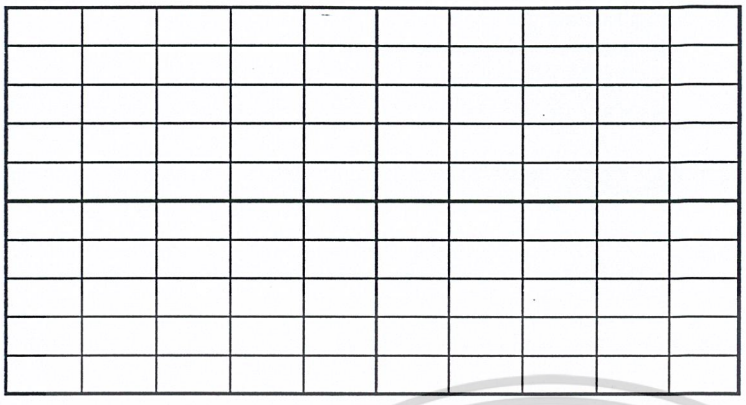


รูปที่ ช.58 การขยายกว้างออกของสัญญาณ TTL ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์

9. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณ TTL ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 3 ทางด้านออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 3 เทียบกับกราวด์

10. ทำการทดลองตามข้อ 4, 5, และ 6 บันทึกค่าแรงดันที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



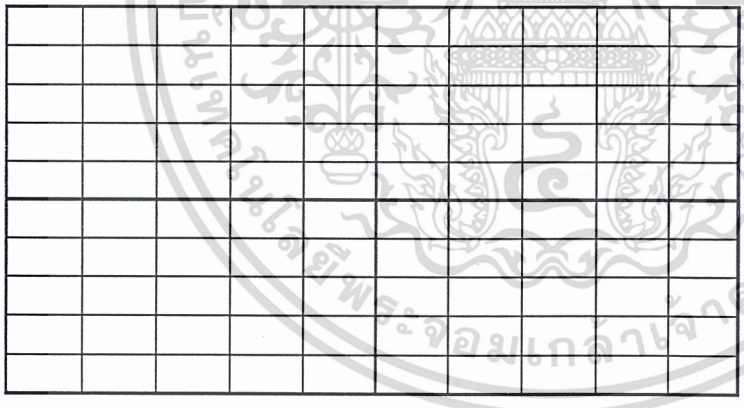
Time/DIV_____s/DIV

Ch1 _____V/DIV

Ch 2 _____V/DIV

รูปที่ 7.7 แรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับที่ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์

11. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 วัดที่จุด Tx 3 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 2 โดยวัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้



Time/DIV_____ s/DIV

Ch1 _____V/DIV

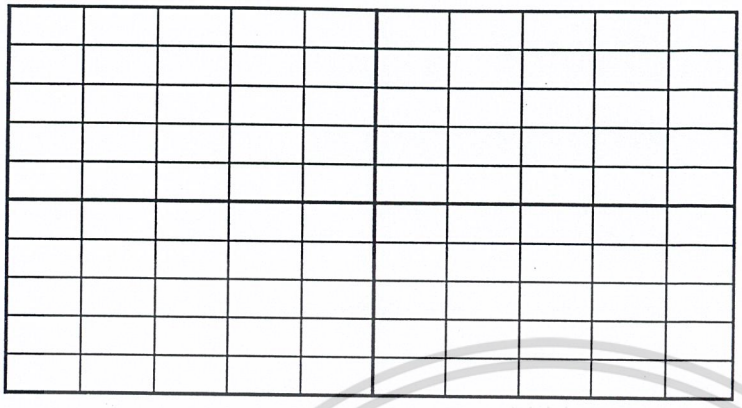
Ch 2 _____V/DIV

รูปที่ 7.8 การขยายกว้างออกของสัญญาณ TTL ที่ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์

12. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณ TTL ความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 3 ที่ออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 3 เทียบกับกราวด์

13. ทำการทดลองตามข้อ 4, 5, และ 6 บันทึกค่าที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



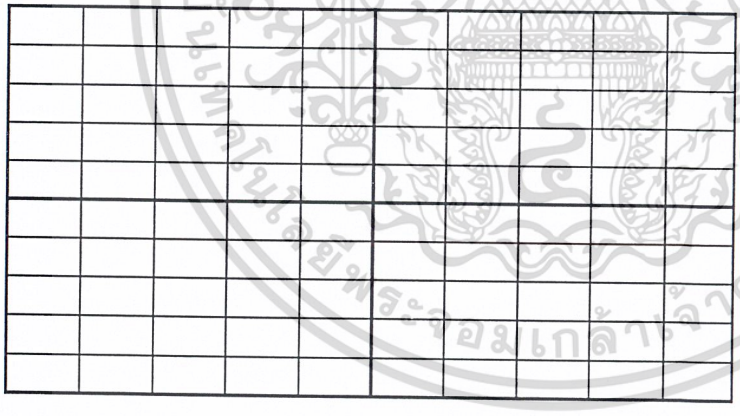
Time/DIV_____ s/DIV

Ch1 _____V/DIV

Ch 2 _____V/DIV

รูปที่ 7.8แรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับที่ความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์

14. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 วัดที่จุด Tx 3 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 2 โดยวัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้



Time/DIV_____ s/DIV

Ch1 _____V/DIV

Ch 2 _____V/DIV

รูปที่ 7.10การขยายกว้างออกของสัญญาณ TTL ที่ความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. สัญญาณดิจิตอลแตกต่างกับสัญญาณสี่เหลี่ยมอย่างไร
2. จงอธิบายการส่งสัญญาณดิจิตอลผ่านเส้นใยนำแสง
3. การขยายกว้างออกของสัญญาณดิจิตอลแตกต่างกับการขยายกว้างออกของสัญญาณแอนะลอกหรือไม่ อย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ซ

ใบงานการทดลอง และผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 1
การเดินทางเป็นเส้นตรง การสะท้อน การหักเห และการเดินทางของแสงในตัวกลาง

วัตถุประสงค์

เพื่อให้นักศึกษาสามารถ

1. อธิบายการเดินทางของแสงเป็นเส้นตรง การหักเห และการสะท้อนของแสงได้
2. วัดมุมตกกระทบ มุมสะท้อน และมุมหักเหเมื่อแสงเดินทางผ่านแท่งพลาสติกได้
3. อธิบายการเดินทางของแสงในตัวกลาง และคำนวณหาค่าดัชนีการหักเหของตัวกลางได้

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดทดลองการเดินทางเป็นเส้นตรง การสะท้อน การหักเห และการเดินทางของแสงในตัวกลาง	1 ชุด
2. อุปกรณ์กำเนิดแสง (อุปกรณ์หมายเลข 1)	1 ตัว
3. กระจกเงา (อุปกรณ์หมายเลข 2)	1 แผ่น
4. ฐานยึดอุปกรณ์กำเนิดแสงอันที่ 2 (อุปกรณ์หมายเลข 3)	1 อัน
5. แท่งพลาสติกโปร่งแสง (อุปกรณ์หมายเลข 4)	1 แท่ง
6. แผ่นวัดองศาวงกลม (อุปกรณ์หมายเลข 5)	1 แผ่น
7. ชุดยึดอุปกรณ์กำเนิดแสง	1 ชุด

ทฤษฎีเบื้องต้น

1. คุณสมบัติของแสง

1.1 แสงเดินทางเป็นเส้นตรง

ในตัวกลางที่มีดัชนีการหักเหของแสง (Refractive Index ; n) เท่ากัน แสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง โดยค่า n หาได้จากสมการที่ 1.1

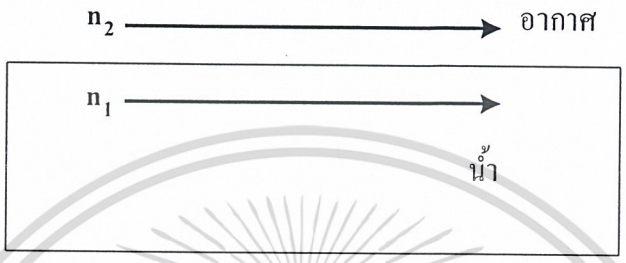
$$n = \frac{C}{V} \tag{1.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

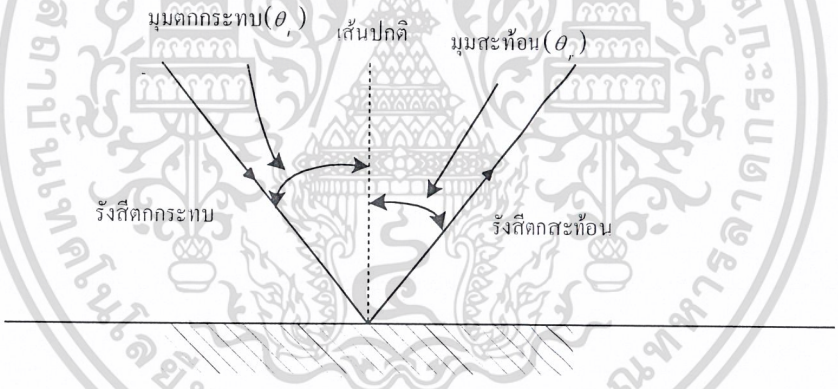
เมื่อ n = ค่าดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางนั้น

C = ความเร็วของแสงในสุญญากาศ (3×10^8 เมตรต่อวินาที)

V = ความเร็วของแสงในตัวกลางนั้น



รูปที่ 1.1 แสงเดินทางเป็นเส้นตรง



รูปที่ 1.2 กฎการสะท้อนของแสง

1.2 การสะท้อน

การสะท้อนของแสงสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ การสะท้อนแบบปกติ (Regular Reflection) จะเกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบกับวัตถุที่มีผิวเรียบมันวาว และการสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection) จะเกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบวัตถุที่มีผิวขรุขระ

โดยการสะท้อนแสงไม่ว่าจะเป็นแบบใดก็ตามจะต้องเป็นไปตามกฎการสะท้อนแสงที่ว่า "มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน" ซึ่งแสดงให้ดูดังรูปที่ 1.2

1.3 การหักเห

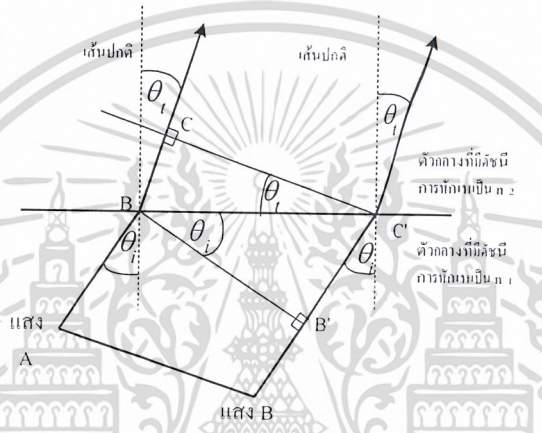
การหักเหของแสงจะเกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีดัชนีของแสงไม่เท่ากัน โดยลำแสงที่ตกกระทบจะต้องไม่ทำมุมฉากกับรอยต่อระหว่างตัวกลางทั้งสอง และมุมตกกระทบต้องมีค่า

เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

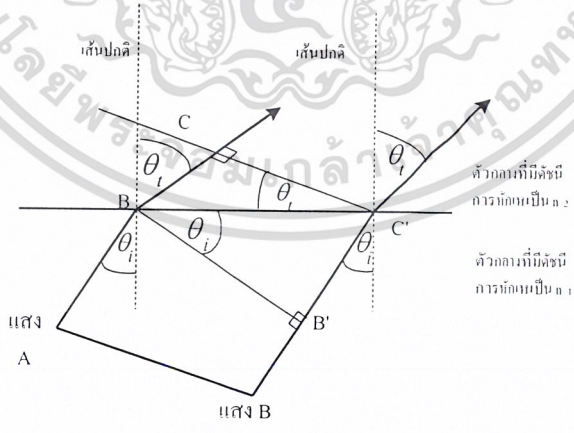
ไม่เกินมุมวิกฤต โดยการหักเหของแสงแบ่งออกได้เป็น 3 กรณีคือ

1) กรณีที่แสงเดินทางจากตัวกลางที่ดัชนีการหักเหของแสงน้อยไปยังตัวกลางที่มีดัชนีการหักเหของแสงมากดังรูปที่ 1.3 แสงจะหักเหเข้าหาเส้นปกติได้จากกฎของสเนลล์

$$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_t \qquad (1.2)$$



รูปที่ 1.3 การหักเหของแสงกรณี $n_1 < n_2$



รูปที่ 1.4 การหักเหของแสงกรณี $n_1 > n_2$

2) กรณีที่แสงเดินทางจากตัวกลางที่ดัชนีการหักเหของแสงมากไปยังตัวกลางที่มีดัชนีการหักเหของแสงน้อยดังรูปที่ 1.4 แสงจะหักเหออกจากเส้นปกติได้จากกฎของสเนลล์

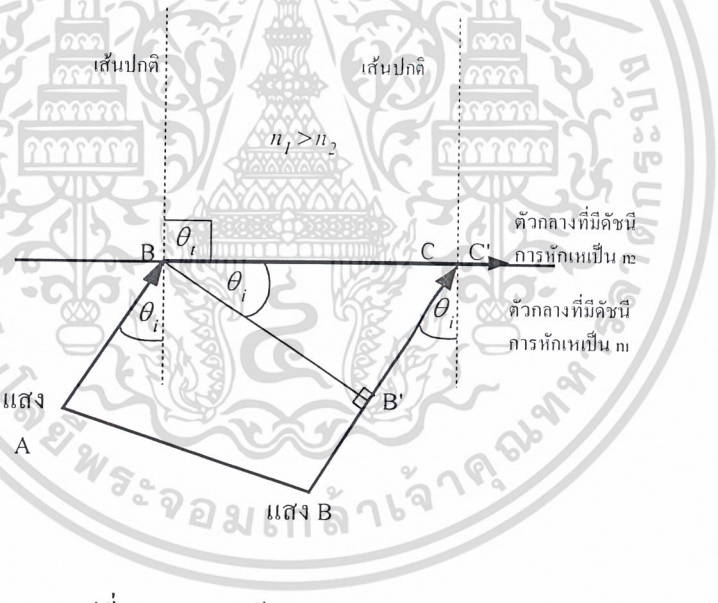
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การสะท้อนกลับหมดดังรูปที่ 1.5 การเกิดการสะท้อนกลับหมดของแสงเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อค่าดัชนีการหักเหของตัวกลางที่ 1 มีค่ามากกว่าดัชนีการหักเหของตัวกลางที่ 2 (n1 > n2) และ $\theta_i \geq \theta_c$ ซึ่งส่งผลให้ θ_i มีค่าเท่ากับ 90° หรือมากกว่า เราสามารถหาค่า θ_c ได้จากกฎของสเนลล์

$$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_t$$

เมื่อ $\theta_i = \theta_c$ และ $\theta_t = 90°$

$$\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (1.3)$$



รูปที่ 1.5 การสะท้อนกลับหมดของแสง

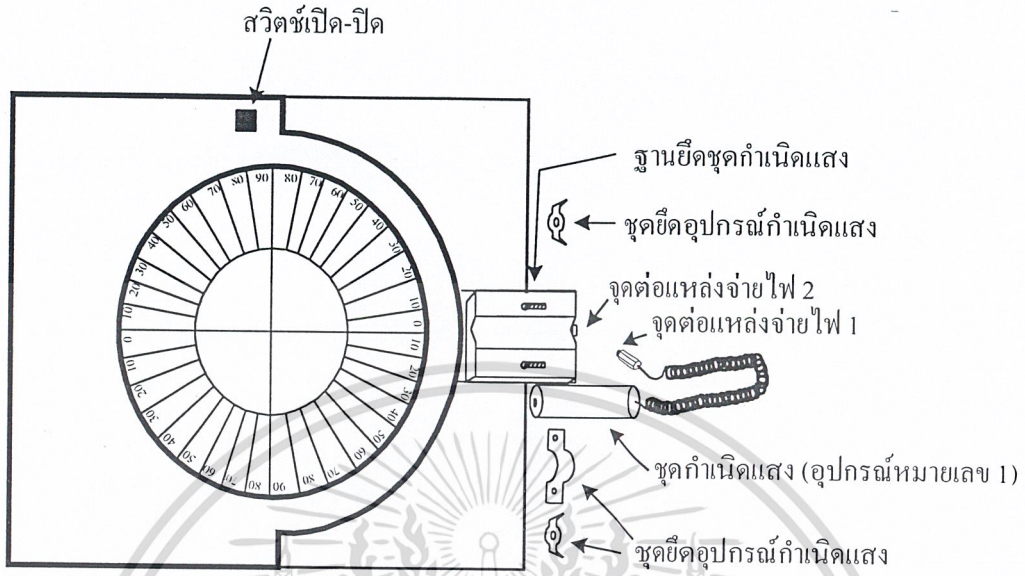
ลำดับขั้นการทดลอง

ตอนที่ 1 การเดินทางเป็นเส้นตรง และการสะท้อนของแสง

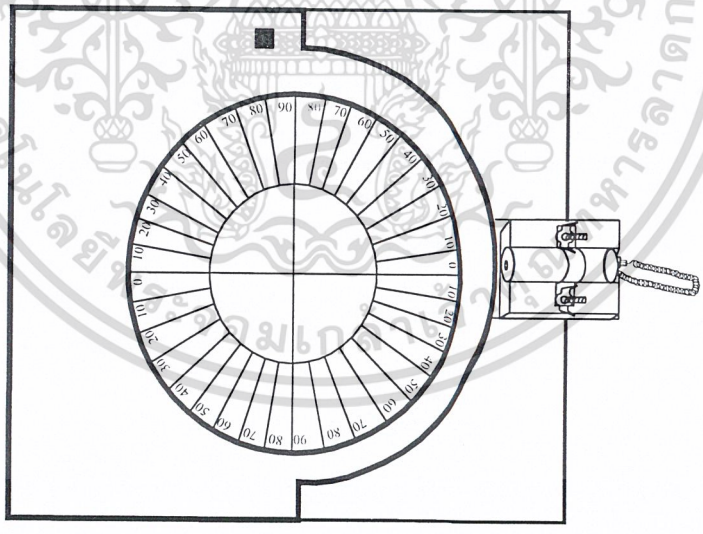
1. เตรียมอุปกรณ์ดังรูปที่ 1.6

2. นำชุดกำเนิดแสงวางลงในร่องของฐานชุดกำเนิดแสง และยึดชุดกำเนิดแสงให้แน่นด้วยชุดยึดอุปกรณ์กำเนิดแสงพร้อมต่อจุดต่อแหล่งจ่ายไฟ 1 เข้ากับจุดต่อแหล่งจ่ายไฟ 2 ดังรูป 1.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



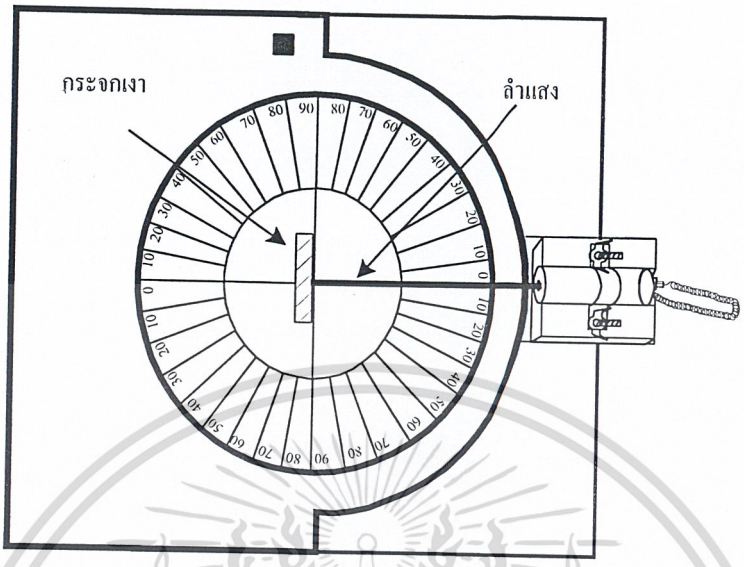
รูปที่ 1.6 การเตรียมอุปกรณ์การทดลองการเดินทางเป็นเส้นตรง และการสะท้อนของแสง



รูปที่ 1.7 การประกอบชุดทดลองการเดินทางของแสงเป็นเส้นตรง และการสะท้อนของแสง

3. วางแผ่นกระจกสะท้อนแสง (อุปกรณ์หมายเลข 2) ลงตรงกลาง และตั้งฉากกับแผ่นวัดองศา กดปุ่มสวิตช์เปิด-ปิด เพื่อให้อุปกรณ์กำเนิดแสงทำงาน ปรับลำแสงของอุปกรณ์ กำเนิดแสงให้อยู่ที่มุม 0 องศา ดังรูปที่ 1.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ซ.8 การปรับอุปกรณ์กำเนิดแสง

4. เลื่อนอุปกรณ์กำเนิดแสง (อุปกรณ์หมายเลข 1) ไปที่มุม 90 องศา อ่านค่ามุมสะท้อนกลับของลำแสง บันทึกผลการทดลองในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 มุมสะท้อนของลำแสง

มุมตกกระทบ (องศา)	มุมสะท้อน (องศา)
90	0
80	80
70	70
60	60
50	50
40	40
30	30
20	20
10	10
0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

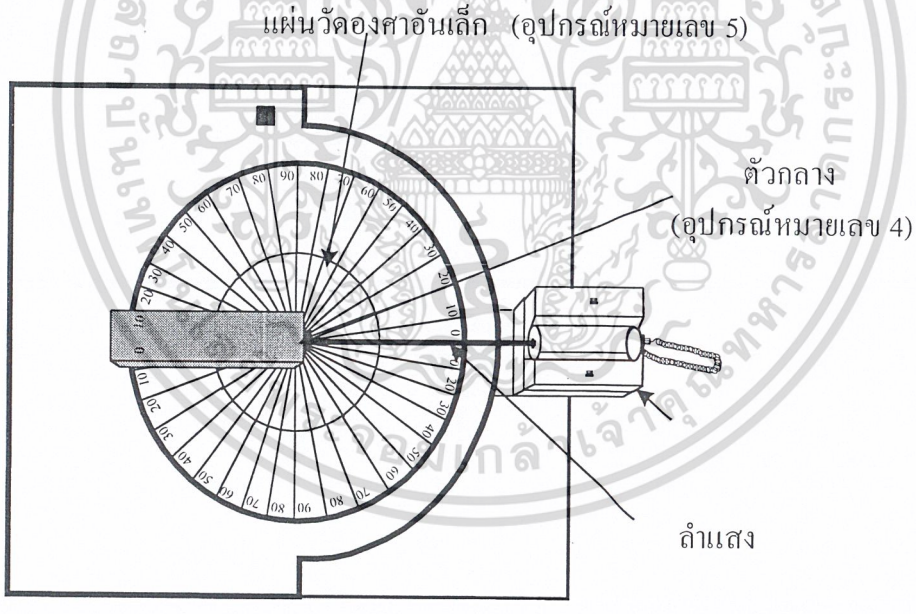
5. เลื่อนอุปกรณ์กำเนิดแสง (อุปกรณ์หมายเลข 1) ไปที่มุมต่างๆ ตามตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1.1 พร้อมบันทึกมุมสะท้อนของลำแสงลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1.1

ตอนที่ 2 การหักเหของแสง และการเดินทางของแสงในตัวกลาง

1. กดสวิตช์เปิด-ปิดให้อุปกรณ์กำเนิดแสง (อุปกรณ์หมายเลข 1) หยุดทำงาน เลื่อนอุปกรณ์กำเนิดแสง (อุปกรณ์หมายเลข 1) มาอยู่ตรงจุด 0 องศา พร้อมกับถอดชุดยึดอุปกรณ์กำเนิดแสง (อุปกรณ์หมายเลข 1) และอุปกรณ์กำเนิดแสงออกตามลำดับ

2. วางฐานยึดอุปกรณ์กำเนิดแสงอันที่ 2 (อุปกรณ์หมายเลข 3) ลงบนฐานยึดอุปกรณ์กำเนิดแสงอันที่ 1 วางอุปกรณ์กำเนิดแสง (อุปกรณ์หมายเลข 1) ลงในร่องของฐานยึดอุปกรณ์กำเนิดแสงอันที่ 2 (อุปกรณ์หมายเลข 3)

3. นำกระจกสะท้อนแสง (อุปกรณ์หมายเลข 2) ออก วางแผ่นวัดองศาลงอันเล็ก (อุปกรณ์หมายเลข 5) ลงตรงกลางของแผ่นวัดองศาอันใหญ่ โดยให้มุม 0 องศา กับมุม 0 องศา ตรงกัน



รูปที่ 1.9 การวัดการหักเหของแสง และการเดินทางของแสงในตัวกลาง

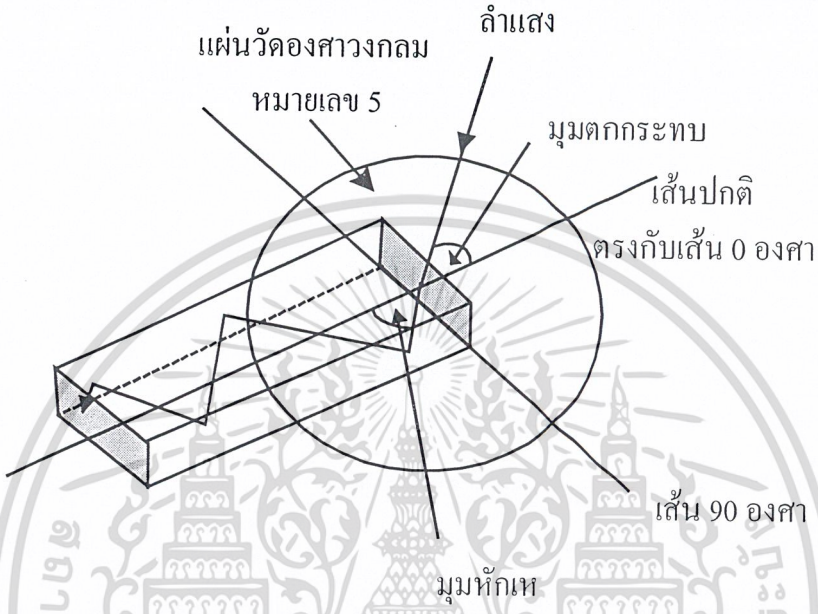
4. วางตัวกลาง (อุปกรณ์หมายเลข 4) ลงบนแผ่นวัดองศาอันเล็ก (อุปกรณ์หมายเลข 5) ให้ตัวกลางขนานกับเส้น 90 องศา และตั้งฉากกับเส้น 0 องศา ดังรูปที่ 1.9

5. กดสวิตช์เปิด-ปิด ให้อุปกรณ์กำเนิดแสงทำงาน บันทึกมุมหักเหของแสงที่เกิดขึ้นลงในตารางที่ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เปลี่ยนค่ามุมตกกระทบตามตารางที่ 1.2 บันทึกค่ามุมหักเหลงในตารางที่ 1.2 ตามลำดับ

หมายเหตุ การอ่านค่ามุมหักเห



รูปที่ 1.10 การอ่านค่ามุมหักเหเมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลาง

ตารางที่ 1.2 มุมหักเหเมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลาง

มุมตกกระทบ (องศา)	มุมหักเห (องศา)
90	ไม่เกิดการหักเห
70	40
60	35
50	32
40	28
30	22
20	15
10	7
0	ไม่เกิดการหักเห

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ปิดสวิตช์ เปิด-ปิด เลื่อนชุดกำเนิดแสงให้ตรงกับมุม 0 องศา ถอดชุดยึดอุปกรณ์กำเนิดแสง ชุดอุปกรณ์กำเนิดแสง (อุปกรณ์หมายเลข 1) และถอดฐานยึดอุปกรณ์กำเนิดแสงอันที่ 2 (อุปกรณ์หมายเลข 3) ออกตามลำดับ

8. เก็บอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเข้ากล่องให้ถูกต้อง

สรุปผลการทดลอง

แสงจะเดินทางได้ใน 3 ลักษณะดังนี้

1. การเดินทางเป็นเส้นตรง จะเกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางจากตัวกำเนิดแสงผ่านตัวกลางชนิดเดียวไปตลอดการเดินทาง เช่น ในการทดลองปล่อยแสงที่มุม 0 องศา ลำแสงจะเดินทางไปในแนวเดียวกับเส้น 0 องศาตลอด เนื่องจากแสงเดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียว คือ อากาศ

2. การสะท้อนกลับ จะเกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางจากตัวกำเนิดแสงผ่านตัวกลางไปกระทบกับวัสดุที่มีผิวเรียบมัน เช่น ในการทดลองแสงเดินทางไปกระทบกับกระจกเงาทำให้แสงเกิดการสะท้อนกลับโดยมุมในการสะท้อนจะเท่ากับมุมตกกระทบ โดยการวัดมุมตกกระทบและมุมสะท้อนจะวัดจากมุมของลำแสงที่ที่ทำมุมกับเส้นปกติ

3. การหักเห จะเกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปสู่อีกตัวกลางหนึ่งซึ่งมีดัชนีการหักเหไม่เท่ากัน และมุมของลำแสงที่ค่ามากกว่า 0 องศา เช่นในการทดลองแสงจะเดินทางผ่านตัวกลางซึ่งเป็นอากาศซึ่งมีค่าดัชนีการหักเหเท่ากับ 1 ผ่านเข้าสู่ตัวกลางซึ่งเป็นแท่งพลาสติกซึ่งมีค่าดัชนีการหักเหอีกค่าหนึ่ง เมื่อทดลองปล่อยแสงที่มุม 0 องศา จะไม่เกิดการหักเห แต่เมื่อทดลองปล่อยแสงที่มุมอื่นๆ ซึ่งมีค่ามากกว่า 0 องศา ลำแสงจะเกิดการหักเหที่บริเวณรอยต่อของอากาศและแท่งพลาสติก การวัดมุมในการหักเหจะวัดมุมที่ลำแสงทำมุมกับเส้นปกติเช่นกัน

การเดินทางของแสงในตัวกลางนั้น เมื่อป้อนแสงเข้าไปในตัวกลางแสงจะเกิดการหักเห การหักเหของลำแสงที่เกิดขึ้นนี้สามารถคำนวณหาค่าดัชนีการหักเหของตัวกลางได้ โดยใช้กฎของสเนลล์ ซึ่งในการทดลองในตอนที่ 2 นั้นตัวกลางมีค่าดัชนีการหักเหประมาณ 1.46 เมื่อแสงเดินทางเข้าไปในตัวกลางแล้วแสงจะเดินทางในตัวกลางได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับแสงที่ตกกระทบระหว่างตัวกลางกับอากาศภายนอกถ้ามุมตกกระทบมากกว่ามุมวิกฤต แสงก็จะเกิดการสะท้อนกลับที่รอยต่อระหว่างตัวกลางกับอากาศทำให้แสงสามารถเดินทางในตัวกลางได้ แต่ถ้ามุมตกกระทบน้อยกว่ามุมวิกฤตแสงก็จะเกิดการหักเหออกไปนอกตัวกลางทำให้แสงไม่สามารถเดินทางในตัวกลางได้ จากการทดลองในตอนที่ 2 แท่งพลาสติกนั้นเปรียบเสมือนส่วนของคอร์ และอากาศนั้นเปรียบเสมือนส่วนของแคลดดิ้งในเส้นใยนำแสงนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลองในตอนที่ 1 สังเกตเห็นคุณสมบัติของแสงข้อใดบ้าง จงอธิบาย

จากการทดลองในตอนที่ 1 สังเกตเห็นคุณสมบัติของแสงดังนี้

1) การเดินทางของแสงเป็นเส้นตรง ลำแสงจะเดินทางเป็นเส้นตรงจากอุปกรณ์กำเนิดแสงไปยังกระจกสะท้อนแสงและลำแสงที่สะท้อนออกมาจากกระจกสะท้อนแสงไปยังอากาศก็เดินทางเป็นเส้นตรง

2) การสะท้อนของลำแสง เกิดขึ้นเมื่อลำแสงเดินทางจากอุปกรณ์กำเนิดแสงไปยังกระจกสะท้อนแสงจะเกิดการสะท้อนของแสง โดยมุมตกกระทบจะเท่ากับมุมสะท้อนจากลำแสง

2. จากการทดลองในตอนที่ 2 การเปลี่ยนมุมตกกระทบทำให้มีผลต่อมุมหักเหอย่างไรบ้าง

จากการทดลองในตอนที่ 2 ทำให้ทราบว่าการเปลี่ยนค่าของมุมตกกระทบจะทำให้มุมหักเหเปลี่ยนแปลงไปตามกฎของสเนลล์ โดยถ้าให้มุมตกกระทบลดลงมุมหักเหก็จะเพิ่มขึ้นโดยที่ดัชนีการหักเหของอากาศและแท่งพลาสติกคงที่ แต่ถ้ามุมตกกระทบตั้งฉากกับแท่งพลาสติก ลำแสงก็ไม่สามารถเดินทางเข้าไปในเส้นใยนำแสงได้ เช่นเดียวกับมุมตกกระทบจะเท่ากับศูนย์องศาดังตารางที่ 1.2

3. จากการทดลองเราสามารถหาค่าดัชนีการหักเหของแท่งพลาสติกได้หรือไม่ ถ้าได้ทำได้อย่างไร

ได้ จากการทดลองสามารถหาค่าดัชนีการหักเหของแท่งพลาสติกได้จากกฎของสเนลล์ คือ

$$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_t$$

$$n_2 = n_1 \frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_t} \qquad (1.4)$$

โดยที่ n_1 เป็นดัชนีการหักเหของอากาศซึ่งมีค่าดัชนีการหักเหเท่ากับ 1

θ_i เป็นมุมที่เราป้อนแสงเข้าไปในแท่งพลาสติก

θ_t เป็นมุมที่แสงหักเหไป

ดังนั้นถ้าทราบค่ามุมเราป้อนแสงให้แก่แท่งพลาสติก และมุมที่แสงหักเหไปเมื่อแสงเดินทางในแท่งพลาสติก เราก็จะหาค่าดัชนีการหักเหของพลาสติกได้จากสมการที่กล่าวมาแล้ว

4. เราใช้กฎของแสงข้อใดบ้างในการอธิบายการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสง

ในการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสงจะต้องใช้กฎของแสงอธิบายการเดินทางของแสง คือการเดินทางเป็นเส้นตรง การหักเห การสะท้อน

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การเดินทางเป็นเส้นตรง ในตัวกลางที่มีดัชนีการหักเหของแสง เท่ากัน แสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง โดยค่า หาได้จากสมการที่ 1.5

$$n = \frac{C}{V} \tag{1.5}$$

เมื่อ n = ค่าดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางนั้น

C = ความเร็วของแสงในสูญญากาศ (3108 เมตรต่อวินาที)

V = ความเร็วของแสงในตัวกลางนั้น

กรณีของเส้นใยนำแสงแบบสเต็ปอินเด็กซ์แสงจะเดินทางเป็นเส้นตรงในส้นใยนำแสงในส่วนของแคลดดิ้งซึ่งมีดัชนีการหักเหเพียงค่าเดียวเป็นไปตามกฎการเดินทางของแสงเป็นเส้นตรง ส่วนกรณีของเส้นใยนำแสงแบบเกรดเดดอินเด็กซ์ลำแสงที่เดินทางในเส้นใยนำแสงจะเดินทางเป็นเส้นโค้งเนื่องจากดัชนีของคอร์กับแคลดดิ้งจะค่อยๆ ลดลงที่ละน้อยจึงทำให้ลำแสงเกิดการหักเหทีละน้อยด้วยทำให้ลำแสงที่เดินทางในเส้นใยนำแสงเป็นส่วนโค้ง ส่วนของโค้งจะประกอบไปด้วยส่วนของเส้นตรงจำนวนมากประกอบกัน

2) การหักเห การหักเหของลำแสงที่เดินทางในเส้นใยนำแสงจะเกิดขึ้นเมื่อลำแสงเดินทางจากคอร์ไปยังแคลดดิ้งซึ่งคอร์ต้องมีดัชนีการหักเหมากกว่าแคลดดิ้งทำให้ลำแสงเดินทางออกจากเส้นปกติ เมื่อลำแสงเดินทาง จากคอร์ไปยังแคลดดิ้งและเดินทางเข้าหาเส้นปกติเมื่อแสงเดินทางจากแคลดดิ้งไปยังคอร์ในกรณีของเส้นใยนำแสงแบบเกรดเดดอินเด็กซ์ การหักเหของลำแสงจะเกิดขึ้นเมื่อลำแสงมีมุมตกกระทบน้อยกว่ามุมวิกฤต และไม่ทำมุมฉากกับรอยต่อระหว่างตัวกลางทั้งสอง

3) การสะท้อน การสะท้อนของแสงในเส้นใยนำแสงเกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางจากคอร์ไปยังแคลดดิ้งจะเกิดการสะท้อนกลับเมื่อมุมตกกระทบของแสงมีค่ามากกว่ามุมวิกฤต กรณีของเส้นใยนำแสงแบบสเต็ปอินเด็กซ์

5. จากการทดลองในตอนที่ 2 แสงที่เดินทางผ่านแท่งพลาสติกเกิดการหักเหได้เพราะเหตุใด จงอธิบาย

จากทฤษฎี การหักเหของแสงจะเกิดขึ้นได้เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีดัชนีการหักเหของแสงไม่เท่ากัน โดยลำแสงที่ตกกระทบจะต้องไม่ทำมุมฉากกับรอยต่อระหว่างตัวกลางทั้งสองซึ่งจากการทดลอง แสงจะเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปอีกตัวกลาง คือ จากอากาศไปยังแท่งพลาสติกซึ่งแท่งพลาสติกมีค่าดัชนีการหักเหต่างจากอากาศอยู่แล้ว ดังนั้นจึงเห็นแสงเกิดการหักเหซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการหักเหของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 2
คุณสมบัติของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

วัตถุประสงค์

เพื่อให้นักศึกษาสามารถ

1. อธิบายโครงสร้างของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกได้
2. วัดและคำนวณหาค่ากำลังงานอินพุต และกำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงได้
3. อธิบายวิธี Cut Back และการวัดการสูญเสียภายในเส้นใยนำแสงด้วยวิธี Cut Back ได้
4. เชื่อมต่อเส้นใยนำแสงทางกลไกลโดยใช้ท่อ และคำนวณหาค่า การสูญเสียจากการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงทางกลไกโดยใช้ท่อได้

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องส่ง (Transmitter)	1 เครื่อง
2. เครื่องรับ (Receiver)	1 เครื่อง
3. เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีฉนวนหุ้มยาว 5 เมตร	1 เส้น
4. เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบไม่มีฉนวนหุ้มยาว 5 เมตร	1 เส้น
5. ชุดตัดและขัดเส้นใยนำแสง	1 ชุด
6. ชุดเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงทางกลไกลโดยใช้ท่อ	1 ชุด

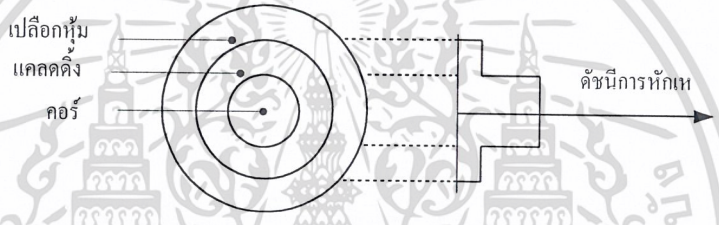
ทฤษฎีเบื้องต้น

1. เส้นใยนำแสงแบบพลาสติกแคลดดิ้ง

เส้นใยนำแสงชนิดนี้เป็นเส้นใยนำแสงแบบหลายโมด ซึ่งมีความแตกต่างของดัชนีการหักเหทั้งแบบสเต็ปอินเด็กซ์ และเกรดเดดอินเด็กซ์ เส้นใยนำแสงชนิดนี้มีส่วนของแคลดดิ้งที่สร้างมาจากพลาสติก (โดยส่วนใหญ่จะใช้ยางซิลิโคน) และส่วนของคอร์สร้างมาจากซิลิกา ซึ่งเรามักเรียกว่า เส้นใยนำแสงชนิดนี้ว่า “PCS (Plastic Clad Silica)” เส้นใยนำแสงชนิดนี้จะมีราคาถูกกว่าเส้นใยนำแสงที่สร้างจากแก้วซิลิกา แต่ก็จะมีคุณลักษณะทางประสิทธิภาพที่จำกัด โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 โครงสร้าง เส้นใยนำแสงแบบพลาสติกแคลดดิ้งชนิดสเต็ปอินเด็กซ์มีเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์มีขนาด 100 ถึง 500 ไมโครเมตร ชนิดเกรดเดดอินเด็กซ์ มีเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์มีขนาด 50 ถึง 100 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของแคลดดิ้งชนิดสเต็ปอินเด็กซ์มีขนาด 300 ถึง 800 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของแคลดดิ้งชนิดเกรดเดดอินเด็กซ์มีขนาด 125 ถึง 150 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของเปลือกหุ้มชนิดสเต็ปอินเด็กซ์มีขนาด 500 ถึง 1000 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของเปลือกหุ้มชนิดเกรดเดดอินเด็กซ์มีขนาด 250 ถึง 1000 ไมโครเมตร ขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน ชนิดสเต็ปอินเด็กซ์มีค่า 0.2 ถึง 0.5 ขนาดการเปิดรับให้แสงผ่านชนิดเกรดเดดอินเด็กซ์มีค่า 0.2 ถึง 0.3

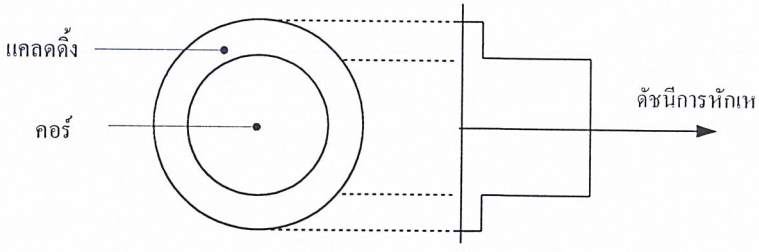


รูปที่ 2.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงชนิด PCS แบบมัลติโมดสเต็ปอินเด็กซ์

1.2 คุณลักษณะทางประสิทธิภาพ การลดทอนสัญญาณ การลดทอนสัญญาณของเส้นใยนำแสงชนิดสเต็ปอินเด็กซ์ เท่ากับ 5 ถึง 50 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ชนิดเกรดเดดอินเด็กซ์เท่ากับ 4 ถึง 15 เดซิเบลต่อกิโลเมตร

2. เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกทั้งหมด

เส้นใยนำแสงชนิดนี้จะเป็นแบบมัลติโมดสเต็ปอินเด็กซ์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์กับแคลดดิ้งขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้ไม่จำเป็นต้องมีเปลือกหุ้ม เส้นใยนำแสงชนิดนี้จะมีราคาถูก



รูปที่ 2.2 โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงพลาสติกทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเส้นใยนำแสงชนิดนี้จะใช้สาร Polymethyl Methacry (PMMA) ในการสร้างคอร์ และใช้ Fluorinated Acrylic ในการสร้างแคลดดิ้ง ซึ่งในปัจจุบันสามารถให้มีความสูญเสียต่ำที่สุดประมาณ 20 เดซิเบลต่อกิโลเมตรที่ความยาวคลื่น 0.86 ไมโครเมตร

การพัฒนา และปรับปรุงเส้นใยนำแสงที่สร้างจากพลาสติกนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในสภาวะแวดล้อมพิเศษต่างๆ เช่น สภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง หรือในภาวะที่มีอันตรายต่างๆ สำหรับโครงสร้างของเส้นใยนำแสงชนิดนี้แสดงให้ดูในรูปที่ 2.2

2.1 โครงสร้าง เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกมีเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์ 200 ถึง 600 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของแคลดดิ้งโดยทั่วไปมีขนาด 450 ถึง 1000 ไมโครเมตร และขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) มีค่า 0.5 ถึง 0.6

2.2 คุณลักษณะทางประสิทธิภาพ

1) การลดทอนสัญญาณ มีการลดทอนสัญญาณ 50 ถึง 1000 เดซิเบลต่อกิโลเมตรที่มีความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร

2) การใช้งาน เส้นใยนำแสงชนิดนี้ใช้สำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ราคาต่ำที่มีระยะทางสั้นมาก (Very Short – Haul Low Cost Link) เท่านั้น โดยมีการเชื่อมต่อ และการคัปปลิงที่ง่าย

3. การวัดการลดทอนด้วยวิธีการ Cut Back

3.1 ขั้นตอนในการวัด

1) ป้อนกำลังงานแสงเข้าในเส้นใยนำแสงยาว 5 เมตร วัดค่ากำลังงานแสงทางด้านเอาต์พุต กำลังงานแสงที่วัดได้กำหนดให้เป็น (P_o)

2) ตัดเส้นใยนำแสงทางด้านอินพุตออกประมาณ 0.5 เมตร วัดค่ากำลังงานแสงตรงจุดที่ตัดออกกำลังงานแสงที่วัดได้กำหนดให้เป็น (P_i) โดยค่ากำลังงานแสง และความยาวคลื่นแสงที่ป้อนทางอินพุตของเส้นใยนำแสงในข้อ 1 และข้อ 2 ต้องมีค่าเท่ากัน

$$\alpha_L = -10 \log \frac{P_o}{P_i} \qquad (2.1)$$

3) คำนวณหาค่าการสูญเสียแสงได้จากสมการที่ 2.1

เมื่อทำการส่งสัญญาณผ่านสายส่งออกไปก็ย่อมเกิดการลดทอน (Attenuation) ของสัญญาณขึ้นเป็นธรรมดา การคิดค่าการลดทอนของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสงจะบอกเป็นอัตราส่วนของกำลังสัญญาณในหน่วยเดซิเบล (dB) หรือในหน่วยมิลลิเดซิเบล (dBm) (dBm เป็นการเปรียบเทียบกำลังของสัญญาณกับระดับของสัญญาณอ้างอิง เมื่อกำลังอินพุต Pi = 1 mW) ดังสมการที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha_L = -10 \log \left[\frac{Po}{Pi} \right]$$

$$\alpha = \frac{-10}{L} \log \left[\frac{Po}{Pi} \right] \quad (2.2)$$

เมื่อ α คือ การลดทอนของแสงภายในเส้นใยนำแสง หน่วยเป็นเดซิเบลต่อกิโลเมตร

L คือ ความยาวของเส้นใยนำแสง หน่วยเป็นกิโลเมตร

Po คือ กำลังของแสงเอาต์พุต หน่วยเป็นวัตต์

Pi คือ กำลังของแสงอินพุตที่ป้อนเข้าไปในเส้นใยนำแสง หน่วยเป็นวัตต์

การลดทอนสัญญาณของเส้นใยนำแสงจะทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณ โดยเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น องค์ประกอบของสารที่นำมาสร้าง เทคนิคการเตรียมสาร และการทำให้สารบริสุทธิ์และโครงสร้างของเส้นใยนำแสง นอกจากนี้การสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้คอนเนคเตอร์และการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสง ซึ่งสามารถแยกการสูญเสียสัญญาณออกได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ การสูญเสียที่มีอยู่ในตัวเส้นใยนำแสง และการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมาจากการนำไปใช้งาน

การสูญเสียจากการเชื่อมต่อโดยใช้ท่อนั้นเป็นการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมาจากการนำเส้นใยนำแสงไปใช้งานนั้นเอง

4. การเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงโดยใช้ท่อ

การเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงโดยใช้ท่อนั้นแบ่งขั้นตอนการเชื่อมต่อออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

4.1 การเตรียมเส้นใยนำแสงเพื่อการเชื่อมต่อโดยใช้ท่อ

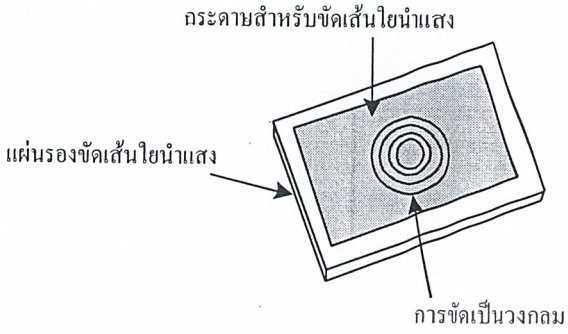
1) ตัดปลายเส้นใยนำแสงให้รอยตัดมีลักษณะตั้งฉากและเรียบที่สุดโดยใช้ไฟเบอร์คัตเตอร์ (Fiber Cutter) หรือมีดคัตเตอร์

2) ปลอกเปลือกหุ้มทั้งสองข้างของปลายเส้นใยนำแสงออก ห่างจากปลาย 1 มิลลิเมตร ด้วยอุปกรณ์ปลอกสายหรือมีดที่มีความคม

3) วางแผ่นขัดเส้นใยนำแสง (กระดาษทรายขัดเส้นใยนำแสง) บนวัสดุผิวเรียบและแข็ง เช่น กระจก เป็นต้น

4) ขัดปลายของเส้นใยนำแสง โดยให้ปลายเส้นใยนำแสงตั้งฉากกับแผ่นขัดให้มากที่สุด ขัดในลักษณะเป็นวงกลมจนกระทั่งเส้นใยนำแสงเรียบ โดยสังเกตจากปลายเส้นใยนำแสงมีลักษณะเรียบ มันเงาตลอดหน้าตัด และตั้งฉากกับเส้นใยนำแสง ลักษณะการขัดเส้นใยนำแสงแสดงดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การขัดเส้นใยนำแสง

4.2 การเชื่อมต่อเส้นใยนำแสง

1) ใส่เส้นใยนำแสงเส้นที่ 1 ที่ต้องการเชื่อมต่อเข้าในท่อที่มีผิวขรุขระด้านขวา และใส่เส้นใยนำแสงเส้นที่ 2 ที่ต้องการเชื่อมต่อเข้าในท่ออันเดียวกันทางด้านซ้าย

2) ดันเส้นใยนำแสงทั้งสองเข้าไปในท่อให้เส้นใยนำแสงชนกันที่ประมาณกึ่งกลางของท่อ

3) ใส่ท่อสีดำที่มีผิวเรียบครอบท่อที่มีผิวขรุขระอีกชั้นหนึ่ง เพื่อให้จุดเชื่อมต่อแข็งแรง

ลำดับขั้นการทดลอง

ตอนที่ 1 คุณสมบัติของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้ม

1. ต่อเครื่องส่งกับเครื่องรับเข้าด้วยกันดังรูป 2.4 โดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้มยาว 5 เมตรในการเชื่อมต่อ

2. เสียบปลั๊ก 220 โวลต์เอซี และเปิดสวิตซ์ Power ทั้งทางด้านเครื่องส่ง และเครื่องรับ ด้านเครื่องส่งป้อนกระแสให้ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสง 0 มิลลิแอมป์

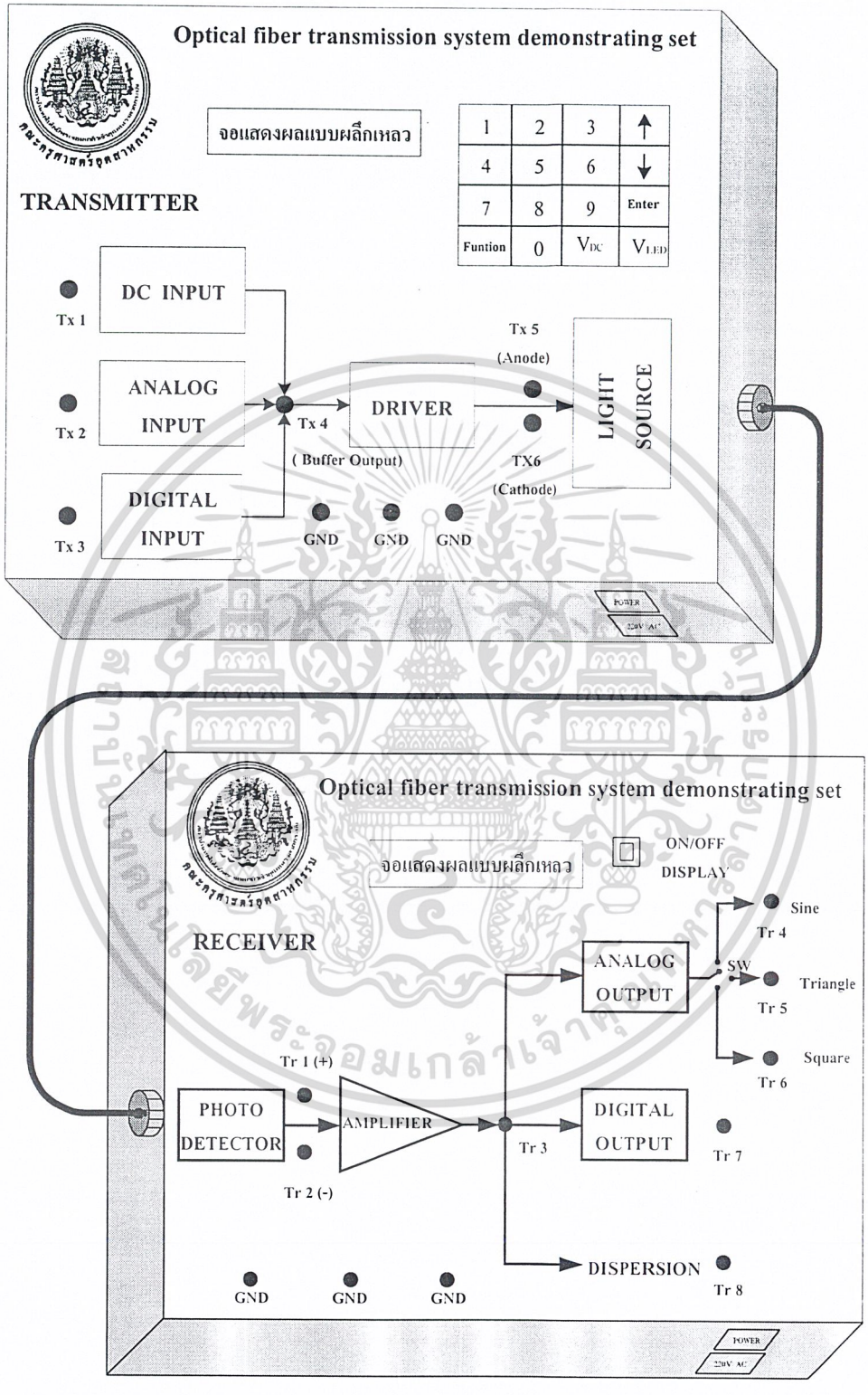
3. ทางด้านเครื่องส่ง อ่านค่าแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสงทางด้านขวาของจอแสดงผล หรือวัดแรงดันตกคร่อมที่จุด Tx 5 (ขั้วบวกของมัลติมิเตอร์) กับจุด Tx 6 (ขั้วลบของมัลติมิเตอร์) บันทึกค่าแรงดันที่อ่านได้ลงในตารางที่ 2.1

4. ทางด้านเครื่องรับ เปิดสวิตซ์ Display เพื่อให้จอแสดงผลทำงาน อ่านค่าแรงดันตกคร่อมโหลดที่จอแสดงผล หรือวัดค่าแรงดันตกคร่อมโหลดที่จุด Tr 1 (ขั้วบวกของมัลติมิเตอร์) กับจุด Tr 2 (ขั้วลบของมัลติมิเตอร์) บันทึกค่าแรงดันที่อ่านได้ลงในตารางที่ 2.1

5. เปลี่ยนค่ากระแสตามตารางที่ 2.1 ทำการทดลองตามข้อที่ 3 และ 4 ตามลำดับ บันทึกค่าแรงดันที่อ่านได้ลงในตารางที่ 2.1

6. คำนวณกำลังงานอินพุต และกำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสง ในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การต่อเครื่องส่งกับเครื่องรับโดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก แบบไม่มีเปลือกหุ้มยาว 5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่ากำลังงานอินพุต และเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงพลาสติกแบบมีฉนวนหุ้มยาว 5 เมตร

กระแสไหลผ่าน LED (mA)	0	10	20	30	40	50
แรงดันตกคร่อม LED (V)	0.365	1.22	1.25	1.27	1.28	1.29
กำลังงานอินพุตที่ป้อนให้เส้นใยนำแสง (mW)	0	12.2	25	38.1	51.2	64.5
แรงดันตกคร่อมโหลด (V)	0.038	0.081	0.117	0.146	0.171	0.192
ความต้านทานของโหลด (MΩ)	1	1	1	1	1	1
กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสง (μW)	0.001	0.007	0.014	0.021	0.029	0.037

หมายเหตุ การป้อนกระแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสง

1. เมื่อจอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ Select Input กดสวิตช์เมตริกซ์ที่ปุ่ม FNC แสดงข้อความ DC Internal ถ้าจอแสดงผลแบบผลึกเหลวไม่แสดงข้อความ DC Internal ให้กดสวิตช์เมตริกซ์ที่ปุ่มลูกศรชี้ขึ้นหรือชี้ลง จนกว่าจะแสดงข้อความ DC Internal ให้กดปุ่ม Enter เป็นการเลือกให้ใช้แหล่งจ่ายภายในสำหรับขับอุปกรณ์กำเนิดแสง

2. ป้อนค่ากระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงจากสวิตช์เมตริกซ์ตามต้องการ โดยค่ากระแสที่ป้อนให้ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงต้องไม่เกิน 55 มิลลิแอมป์

7. ป้อนกระแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสง 55 มิลลิแอมป์ ทางด้านเครื่องส่ง อ่านค่าแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสงได้ค่าเท่ากับ 1.291 โวลต์ กำลังงานอินพุตของเส้นใยนำแสงเท่ากับ 71.005 มิลลิวัตต์

8. ทางด้านเครื่องรับแรงดันตกคร่อมโหลดเท่ากับ 0.198 โวลต์ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงเท่ากับ 0.0390 วัตต์

9. ปิดสวิตช์ Power ทั้งทางด้านเครื่องส่ง และเครื่องรับ ถอดเส้นใยนำแสงทางด้านเครื่องส่งออกตามลำดับ ตัดเส้นใยนำแสงที่จุดห่างจากภาคส่ง 0.5 เมตร ขัดเส้นใยนำแสงที่ตัดออกให้เรียบ

10. ทางด้านเครื่องรับ ถอดเส้นใยนำแสงออก ต่อเส้นใยนำแสงยาว 0.5 เมตร เข้ากับเครื่องส่ง เครื่องรับตามรูปที่ 2.4

11. เปิดสวิตช์ Power ทั้งเครื่องส่งและเครื่องรับ ทางด้านเครื่องรับอ่านค่าแรงดันตกคร่อมโหลดเท่ากับ 0.241 โวลต์ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงมีค่าเท่ากับ 0.058 วัตต์

12. ค่าการลดทอนของเส้นใยนำแสงมีค่าเท่ากับ 1.72 เดซิเบลต่อเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. ปิดสวิตซ์ทางด้านเครื่องรับ และเครื่องส่ง ถอดเส้นใยนำแสงออก ต่อเส้นใยนำแสงที่ถอดออกเข้ากับเส้นใยนำแสงที่ตัดออกในข้อ 9 ด้วยท่อเชื่อมต่อ ตามลำดับ

14. ต่อเส้นใยนำแสงที่เชื่อมต่อแล้วเข้ากับเครื่องส่ง และเครื่องรับดังรูปที่ 2.4

15. เปิดสวิตช์ Power ทั้งเครื่องส่งและเครื่องรับ ทางเครื่องส่งป้อนกระแสให้ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงเท่ากับ 55 มิลลิแอมป์

16. ทางด้านเครื่องรับอ่านค่าแรงดันตกคร่อมโหลดมีค่าเท่ากับ 0.136 โวลต์ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงเท่ากับ 0.018 วัตต์

17. การคำนวณหาค่าการสูญเสียจากการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงโดยใช้ท่อมีสูตรคำนวนดังนี้

$$\text{การสูญเสียเมื่อมีการเชื่อมต่อ} = -10\log\frac{P_2}{P_1} \qquad (2.3)$$

โดยที่ *P1* คือ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงเมื่อยังไม่มีการเชื่อมต่อ

P2 คือ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงเมื่อเชื่อมต่อโดยใช้ท่อ

การสูญเสียเมื่อมีการเชื่อมต่อเท่ากับ 10.4 เดซิเบล

18. ปิดสวิตช์ทั้งทางด้านเครื่องส่งและเครื่องรับ ถอดเส้นใยนำแสงออกจากทางด้านเครื่องส่ง และเครื่องรับ

ตอนที่ 2 คุณสมบัติของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบไม่มีเปลือกหุ้ม

1. ต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องด้วยเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบไม่มีเปลือกหุ้ม ดังรูปที่ ซ.14

2. เปิดสวิตช์ Power ทั้งทางด้านเครื่องส่งและเครื่องรับ ทางด้านเครื่องส่งป้อนกระแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงเท่ากับ 55 มิลลิแอมป์ แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสงมีค่าเท่ากับ 1.291 โวลต์ กำลังงานอินพุตของเส้นใยนำแสงเท่ากับ 71.005 มิลลิวัตต์

3. ทางด้านเครื่องรับ แรงดันตกคร่อมโหลดมีค่าเท่ากับ 0.180 โวลต์ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงมีค่าเท่ากับ 0.033 วัตต์

4. ปิดสวิตช์เครื่องส่งและเครื่องรับ ถอดเส้นใยนำแสงทางด้านเครื่องส่งออก ตัดเส้นใยนำแสงที่ระยะห่างจากภาคส่งประมาณ 0.5 เมตร ถอดเส้นใยนำแสงทางด้านภาคส่งออก ขัดเส้นใยนำแสงด้านที่ตัดออกให้เรียบตามลำดับ

5. ต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องรับด้วยเส้นใยนำแสงที่ถอดออกมาจากเครื่องส่ง ดังรูปที่ 2.4

6. เปิดสวิตช์ Power ทั้งทางด้านเครื่องส่ง และเครื่องรับ ทางด้านเครื่องส่งป้อนกระแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงเท่ากับ 55 มิลลิแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. ปิดสวิตซ์ทางด้านเครื่องรับ และเครื่องส่ง ถอดเส้นใยนำแสงออก ต่อเส้นใยนำแสงที่ถอดออกเข้ากับเส้นใยนำแสงที่ตัดออกในข้อ 9 ด้วยท่อเชื่อมต่อ ตามลำดับ

14. ต่อเส้นใยนำแสงที่เชื่อมต่อแล้วเข้ากับเครื่องส่ง และเครื่องรับดังรูปที่ 2.4

15. เปิดสวิตช์ Power ทั้งเครื่องส่งและเครื่องรับ ทางเครื่องส่งป้อนกระแสให้ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงเท่ากับ 55 มิลลิแอมป์

16. ทางด้านเครื่องรับอ่านค่าแรงดันตกคร่อมโหลดมีค่าเท่ากับ 0.136 โวลต์ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงเท่ากับ 0.018 วัตต์

17. การคำนวณหาค่าการสูญเสียจากการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสง โดยใช้ท่อมีสูตรคำนวนดังนี้

$$\text{การสูญเสียเมื่อมีการเชื่อมต่อ} = -10\log\frac{P_2}{P_1} \qquad (ซ.8)$$

โดยที่ *P1* คือ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงเมื่อยังไม่มีการเชื่อมต่อ

P2 คือ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงเมื่อเชื่อมต่อโดยใช้ท่อ

การสูญเสียเมื่อมีการเชื่อมต่อเท่ากับ 10.4 เดซิเบล

18. ปิดสวิตช์ทั้งทางด้านเครื่องส่งและเครื่องรับ ถอดเส้นใยนำแสงออกจากทางด้านเครื่องส่ง และเครื่องรับ

ตอนที่ 2 คุณสมบัติของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบไม่มีเปลือกหุ้ม

1. ต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องด้วยเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบไม่มีเปลือกหุ้ม ดังรูปที่ ซ.14

2. เปิดสวิตช์ Power ทั้งทางด้านเครื่องส่งและเครื่องรับ ทางด้านเครื่องส่งป้อนกระแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงเท่ากับ 55 มิลลิแอมป์ แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสงมีค่าเท่ากับ 1.291 โวลต์ กำลังงานอินพุตของเส้นใยนำแสงเท่ากับ 71.005 มิลลิวัตต์

3. ทางด้านเครื่องรับ แรงดันตกคร่อมโหลดมีค่าเท่ากับ 0.180 โวลต์ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงมีค่าเท่ากับ 0.033 วัตต์

4. ปิดสวิตช์เครื่องส่งและเครื่องรับ ถอดเส้นใยนำแสงทางด้านเครื่องส่งออก ตัดเส้นใยนำแสงที่ระยะห่างจากภาคส่งประมาณ 0.5 เมตร ถอดเส้นใยนำแสงทางด้านภาคส่งออก ขัดเส้นใยนำแสงด้านที่ตัดออกให้เรียบตามลำดับ

5. ต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องรับด้วยเส้นใยนำแสงที่ถอดออกมาจากเครื่องส่ง ดังรูปที่ 2.4

6. เปิดสวิตช์ Power ทั้งทางด้านเครื่องส่ง และเครื่องรับ ทางด้านเครื่องส่งป้อนกระแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงเท่ากับ 55 มิลลิแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ทางด้านเครื่องรับ แรงดันตกคร่อมโหลดมีค่าเท่ากับ 0.198 โวลต์ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงมีค่าเท่ากับ 0.039 วัตต์

8. คำนวณหาค่าการสูญเสียของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบไม่มีเปลือกหุ้ม ค่าการสูญเสียมีค่าเท่ากับ 0.7 เดซิเบล

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเป็นการทดลองเกี่ยวกับคุณสมบัติของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกซึ่งมีด้วยกัน 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีเปลือกหุ้มและชนิดที่ไม่มีเปลือกหุ้ม

การทดลองในการทดลองนี้จะเป็นการทดลองเปรียบเทียบค่ากำลังงาน ค่าแรงดันทางเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงทั้ง 2 ชนิด ว่ามีค่าแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร และยังวัดการสูญเสียของเส้นใยนำแสงด้วยวิธีการคัทแบค เทียบกับการสูญเสียทางด้านเอาต์พุตตามปกติ ในการทำการทดลองยังทำให้นักศึกษารู้วิธีการขัดเส้นใยนำแสง วิธีการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงโดยใช้ท่อ และเกิดทักษะในการขัดเส้นใยนำแสง การเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงโดยใช้ท่อเพิ่มขึ้นอีกด้วย

ผลการทดลองเมื่อเพิ่มค่ากระแสให้กับอุปกรณ์กำเนิดแสงมากขึ้น แรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสงก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตาม ซึ่งมีผลทำให้กำลังงานมีค่าเพิ่มมากขึ้นไปด้วย

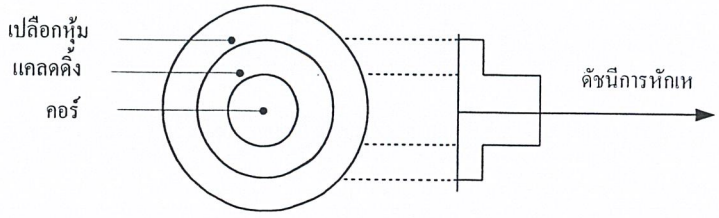
คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายโครงสร้างของเส้นใยนำแสงแบบพลาสติกทั้งหมด และแบบพลาสติกแคลดดิ้ง

โครงสร้างของเส้นใยนำแแสงแบบพลาสติกทั้งหมด มีดังนี้ คือ

เส้นใยนำแสงแบบพลาสติกแคลดดิ้งชนิดสเต็ปอินเด็กซ์มีเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์เท่ากับ100 ถึง 500 ไมโครเมตร ชนิดเกรดเดดอินเด็กซ์ มีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์เท่ากับ 50 ถึง 100 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของแคลดดิ้งชนิดสเต็ปอินเด็กซ์เท่ากับ 300 ถึง 800ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของแคลดดิ้งชนิดเกรดเดดอินเด็กซ์เท่ากับ 125 ถึง 150 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของเปลือกหุ้มชนิดสเต็ปอินเด็กซ์เท่ากับ 500 ถึง 1000 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของเปลือกหุ้มชนิดเกรดเดดอินเด็กซ์เท่ากับ 250 ถึง 1000 ไมโครเมตร ขนาดการเปิดรับให้แสงผ่านชนิดสเต็ปอินเด็กซ์เท่ากับ 0.2 ถึง 0.5 ขนาดการเปิดรับให้แสงผ่านชนิดเกรดเดดอินเด็กซ์เท่ากับ 0.2 ถึง 0.3

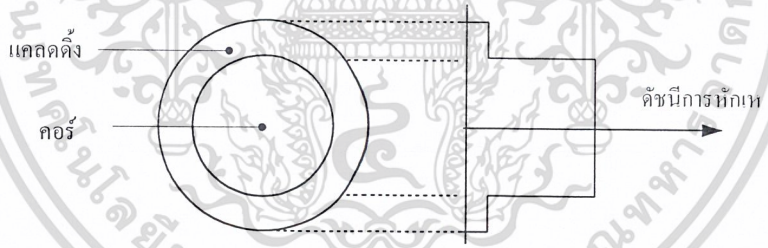
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ซ.15 โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงชนิด PCS แบบมัลติโมดสเต็ปอินเด็กซ์

โครงสร้างของเส้นใยนำแสงแบบพลาสติกทั้งหมดมีดังนี้ คือ

เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกมีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์เท่ากับ 200 ถึง 600 ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของแคลดดิ้งโดยทั่วไปมีขนาด 450 ถึง 1000 ไมโครเมตร และขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) เท่ากับ 0.5 ถึง 0.6



รูปที่ ซ.16 โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงพลาสติกทั้งหมด

2. จงอธิบายขั้นตอนในการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงทางกลไกโดยใช้ท่อ

1. ตัดและขัดเส้นใยนำแสงที่ต้องการเชื่อมต่อให้เรียบ และได้ฉากโดยขัดด้วยกระดาษทรายขัดเส้นใยนำแสง

2. ปลอกเปลือกนอกเส้นใยนำแสงออกด้านละ 1 มิลลิเมตร

3. ใส่ปลายด้านที่ต้องการเชื่อมต่อเของส้นใยนำแสงเส้นที่ 1 เข้าไปในท่อที่มีลักษณะผิวขรุขระด้านหนึ่ง ส่วนอีกด้านก็ทำเช่นเดียวกันแต่เปลี่ยนเป็นเส้นใยนำแสงเส้นที่ 2 โดยให้ปลายทั้งสองชนกันที่บริเวณตรงกลางท่อ

4. ใส่ท่อสีดำที่มีผิวเรียบครอบท่อที่มีผิวขรุขระอีกชั้นหนึ่ง เพื่อให้จุดเชื่อมต่อแข็งแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จงอธิบายวิธีการวัดการสูญเสียเส้นใยนำแสงด้วยวิธี Cut Back

ขั้นตอนในการวัดการวัดการลดทอนด้วยวิธีการ Cut Back

1) ป้อนกำลังงานแสงเข้าในเส้นใยนำแสงยาว 5 เมตร วัดค่ากำลังงานแสงทางด้านเอาต์พุต กำลังงานแสงที่วัดได้กำหนดให้เป็น (P_o)

2) ตัดเส้นใยนำแสงทางด้านอินพุตออกประมาณ 0.5 เมตร วัดค่ากำลังงานแสงตรงจุดที่ตัดออกกำลังงานแสงที่วัดได้กำหนดให้เป็น (P_i) โดยค่ากำลังงานแสง และความยาวคลื่นแสงที่ป้อนทางอินพุตของเส้นใยนำแสงในข้อ 1 และข้อ 2 ต้องมีค่าเท่ากัน

$$\alpha_L = -10 \log \frac{P_o}{P_i} \qquad (2.4)$$

3) คำนวณหาค่าการสูญเสียแสงได้จากสมการที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 3
การสูญเสียจากการโค้งงอ และการกดทับ

วัตถุประสงค์

เพื่อให้นักศึกษาสามารถ

1. อธิบายการสูญเสียเนื่องจากการโค้งงอ และการสูญเสียเนื่องจากการกดทับได้
2. วัดการสูญเสียจากการโค้งงอ และการสูญเสียจากการกดทับเส้นใยนำแสงได้
3. คำนวณหาค่าการลดทอนกำลังงานของการสูญเสียจากการโค้งงอ และการสูญเสียจากการกดทับเส้นใยนำแสงได้
4. สามารถเปรียบเทียบผลการสูญเสียกำลังงานที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสูญเสียจากการโค้งงอ และการสูญเสียจากการกดทับได้

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องส่ง (Transmitter)	1 เครื่อง
2. เครื่องรับ (Receiver)	1 เครื่อง
3. ชุดกดทับเส้นใยนำแสง	1 ชุด
4. ชุดโค้งงอเส้นใยนำแสง	1 ชุด
4. เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบไม่มีเปลือกหุ้มยาว 5 เมตร	1 เส้น

ทฤษฎีเบื้องต้น

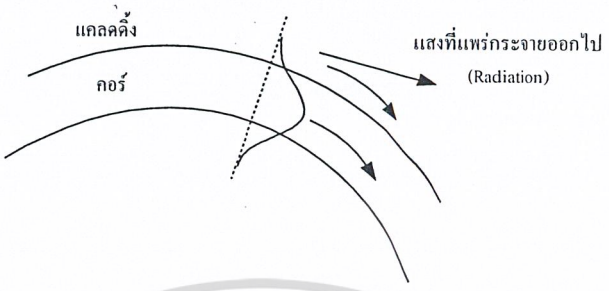
การสูญเสียสัญญาณแสงในเส้นใยนำแสงสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ การสูญเสียที่มีอยู่ในตัวเส้นใยนำแสง และการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมาจากการนำไปใช้งาน ในใบงานนี้จะทำการทดลองเรื่องการสูญเสียแสงเนื่องจากการโค้งงอของเส้นใยนำแสง กับการสูญเสียแสงที่เกิดจากการโค้งงอเส้นใยนำแสงแบบไมโครเบนดิ้ง ซึ่งการสูญเสียที่ทดลองในใบงานนี้เป็นการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการนำเส้นใยนำแสงมาใช้งานเอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การสูญเสียแสงเนื่องจากการโค้งงอของเส้นใยนำแสง

การสูญเสียเนื่องจากการโค้งงอของเส้นใยนำแสงจะเกิดขึ้นเมื่อมีการโค้งงอเส้นใยนำแสง โดยมีมุมการโค้งงอมากกว่ามุมวิกฤต ซึ่งทำให้แสงที่เดินทางไปเกิดการกระจัดกระจายออกไปนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

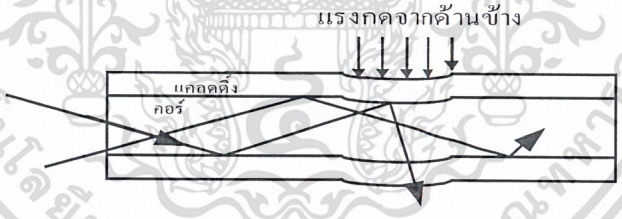
คอร์ของเส้นใยนำแสงได้ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การสูญเสียจากการโค้งงอของเส้นใยนำแสง

2. การสูญเสียแสงที่เกิดจากการโค้งงอเส้นใยนำแสงแบบไมโครเบนดิ้ง

เป็นการสูญเสียสัญญาณแสงที่เกิดจากการมีแรงกดที่ไม่สม่ำเสมอมากระทำต่อด้านข้างของเส้นใยนำแสงส่งผลให้แกนของเส้นใยนำแสงเกิดการบิดงอไปเล็กน้อย (ประมาณ 2 – 3 ไมโครเมตร) ทำให้แสงที่ตกกระทบบริเวณดังกล่าวเกิดการหักเหออกไปภายนอกเส้นใยนำแสงได้ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การสูญเสียจากการโค้งงอเส้นใยนำแสงแบบไมโครเบนดิ้ง

3. การคำนวณหาค่าการสูญเสีย

การคำนวณหาค่าการสูญเสียสามารถคำนวณได้โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าการสูญเสีย} = -10\log\frac{P_2}{P_1} \qquad (3.1)$$

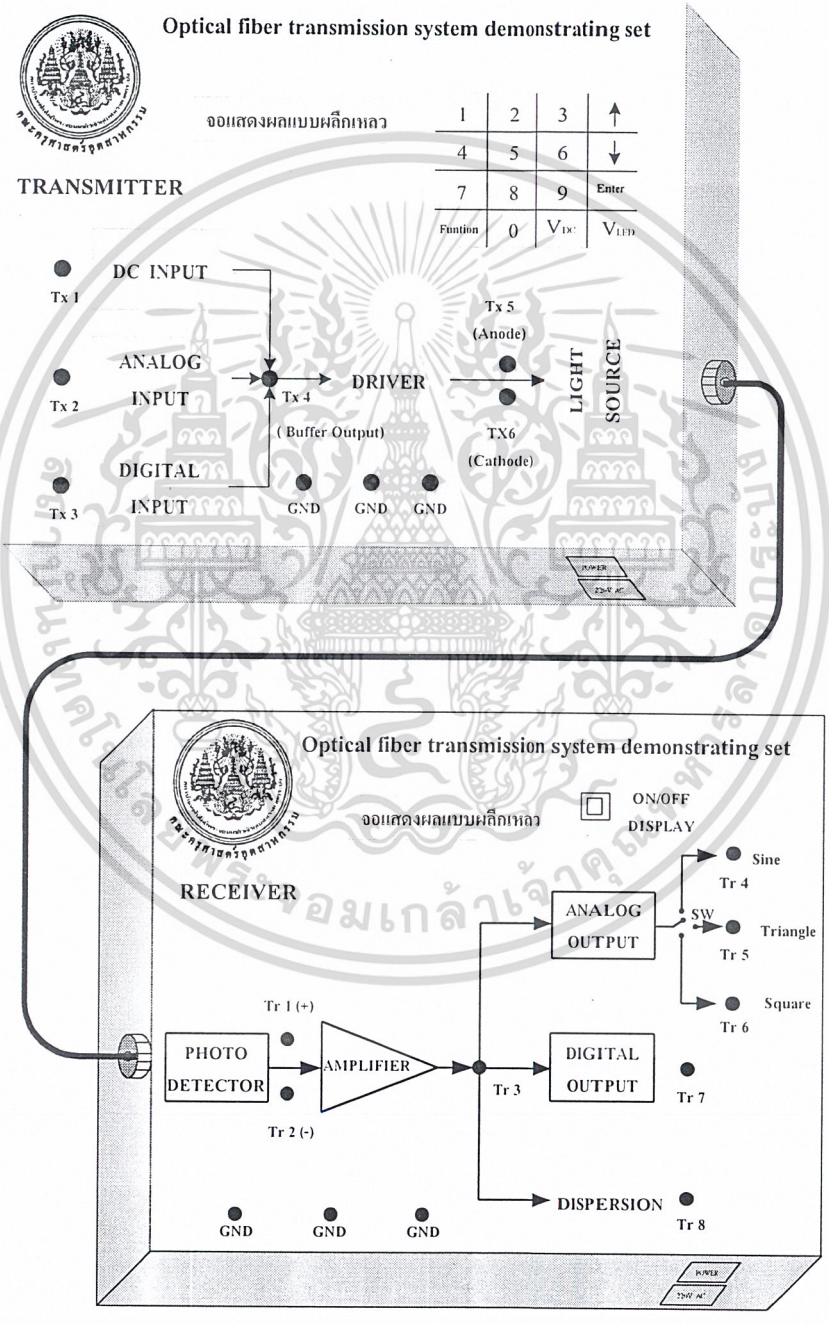
โดยที่ P_1 คือ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงเมื่อยังไม่มีการกดทับหรือโค้งงอ (วัตต์)

P_2 คือ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงเมื่อมีการกดทับหรือโค้งงอ (วัตต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องรับ โดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบไม่มีเปลือกหุ้มยาว 5 เมตร ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การต่อเครื่องส่งกับเครื่องรับโดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก แบบไม่มีเปลือกหุ้มยาว 5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เสียบปลั๊ก 220 โวลต์เอซี เปิดสวิตช์ Power ทั้งทางด้านเครื่องส่ง และเครื่องรับ ด้านเครื่องส่งป้อนกระแสให้ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสง 55 มิลลิแอมป์

3. ทางด้านเครื่องส่ง อ่านค่าแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสงทางด้านขวาของจอแสดงผล หรือวัดแรงดันตกคร่อมที่จุด Tx 5 (ขั้วบวกของมัลติมิเตอร์) กับจุด Tx 6 (ขั้วลบของมัลติมิเตอร์)

4. แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสงมีค่าเท่ากับ 1.28 โวลต์ กำลังงานอินพุตของเส้นใยนำแสงเท่ากับ 70.4 มิลลิวัตต์

5. ทางด้านเครื่องรับ เปิดสวิตช์ Display เพื่อให้จอแสดงผลทำงาน อ่านค่าแรงดันตกคร่อมโหลดที่จอแสดงผล หรือวัดค่าแรงดันตกคร่อมโหลดที่จุด Tr 1 (ขั้วบวกของมัลติมิเตอร์) กับจุด Tr 2 (ขั้วลบของมัลติมิเตอร์)

6. แรงดันตกคร่อมโหลดมีค่าเท่ากับ 0.178 โวลต์ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงมีค่าเท่ากับ 0.032 วัตต์ เมื่อโหลดมีความต้านทางเท่ากับ 1 เมกะโอห์ม

7. ปิดสวิตช์ Power ทั้งเครื่องส่ง และเครื่องรับ ถอดเส้นใยนำแสงออก ทางด้านเครื่องส่งออกร้อยเส้นใยนำแสงเข้าไปในอุปกรณ์กดทับ ให้อุปกรณ์กดทับอยู่ตรงกลางของเส้นใยนำแสง ดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 การร้อยเส้นใยนำแสงเข้าในอุปกรณ์กดทับเส้นใยนำแสง

8. ต่อเส้นใยนำแสงที่ถอดออกเข้ากับเครื่องส่งเหมือนเดิม วางก้อนน้ำหนัก 3 กิโลกรัม ลงบนอุปกรณ์กดทับเส้นใยนำแสง

9. เปิดสวิตช์ Power ทั้งทางด้านเครื่องส่ง และเครื่องรับ ทางด้านเครื่องส่ง ป้อนกระแส 55 มิลลิแอมป์ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสง

10 ทางด้านเครื่องรับ เปิดสวิตช์ Display อ่านค่าแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสง คำนวณหาค่ากำลังงานเอาต์พุตในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

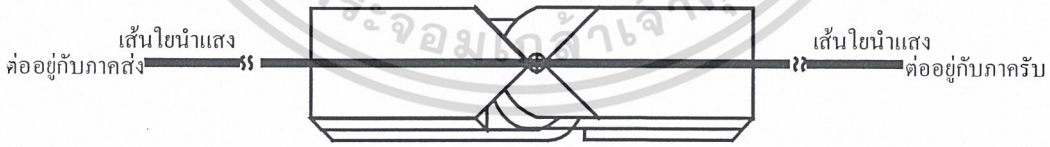
11. เปลี่ยนน้ำหนักหนักในการกดทับตามตารางที่ 3.1 คำนวณค่าการสูญเสียจากการกดทับเส้นใยนำแสงลงในตารงที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การสูญเสียจากการกดทับ

น้ำหนักที่กดทับ (กิโลกรัม)	แรงดันตกคร่อมโหลด (โวลต์)	กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสง (วัตต์)	กำลังงานที่ลดทอน (เดซิเบล)
3	0.176	0.031	0.12
6	0.173	0.029	0.43
9	0.168	0.028	0.58
12	0.163	0.027	0.74
15	0.160	0.026	0.90

12.ปิดสวิตช์ Power ทั้งทางด้านเครื่องส่ง และเครื่องรับ ถอดเส้นใยนำแสงทางด้านเครื่องส่ง และอุปกรณ์ในการกดทับเส้นใยนำแสงออกตามลำดับ

13. ร้อยเส้นใยนำแสงเข้าในอุปกรณ์ในการโค้งงอเส้นใยนำแสง ให้อุปกรณ์โค้งงอเส้นใยนำแสงอยู่ตรงกลางของเส้นใยนำแสง การร้อยเส้นใยนำแสงเข้าอุปกรณ์โค้งงอเส้นใยนำแสงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การร้อยเส้นใยนำแสงเข้าในอุปกรณ์โค้งงอเส้นใยนำแสง

14. ต่อเส้นใยนำแสงที่ถอดออกเข้ากับเครื่องส่ง เปิดสวิตช์ Power ทางด้านเครื่องส่งและเครื่องรับ จากนั้นโค้งงอเส้นใยนำแสง 0 องศาโดยวัดเทียบกับแผ่นวัดองศาวงกลม ตามลำดับ

15. ทางด้านเครื่องส่งป้อนกระแสให้ไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงเท่ากับ 55 มิลลิแอมป์ ทางด้านเครื่องรับ เปิดสวิตช์ Display อ่านค่าแรงดันตกคร่อมโหลด บันทึกค่าแรงดันลงในตารางที่ 3.2

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. โค้งงอเส้นใยนำแสงตามตารางที่ 3.2 บันทึกผลการทดลอง พร้อมทั้งคำนวณหาค่ากำลังงานการลดทอน ลงในตารางที่ 3.2

17. ปิดสวิตช์ Power ทั้งทางด้านเครื่องส่ง และเครื่องรับ ถอดเส้นใยนำแสงออกจากเครื่องรับและเครื่องส่ง ถอดอุปกรณ์โค้งงอเส้นใยนำแสงออกจากเส้นใยนำแสงตามลำดับ เก็บอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองให้เรียบร้อย

ตารางที่ 3.2 การสูญเสียจากการโค้งงอ

มุมโค้งงอ (องศา)	แรงดันตกคร่อมโหลด (มิลลิโวลต์)	กำลังงานเอาต์พุต (ไมโครวัตต์)	กำลังงานที่ลดทอน (เดซิเบล)
0	0.178	0.032	0
10	0.178	0.032	0
20	0.176	0.031	0.12
30	0.176	0.031	0.12
40	0.176	0.031	0.12
50	0.172	0.029	0.43
60	0.166	0.028	0.58
70	0.161	0.026	0.90
80	0.156	0.024	1.25

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเป็นการทดลองเรื่องการสูญเสียจากการโค้งงอ และการสูญเสียจากการกดทับ การสูญเสียจากการกดทับนั้นใช้ก้อนน้ำหนักในการกดทับเส้นใยนำแสง เมื่อเพิ่มน้ำหนักในการกดทับมากขึ้นกำลังงานแสงที่รับได้ทางภาครับก็จะลดลงตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีแรงจากภายนอกมากดทับเส้นใยนำแสงนั้น เส้นใยนำแสงจะเกิดการโค้งงอขึ้นตามน้ำหนักที่มากดทับ ทำให้แสงที่เดินทางในเส้นใยนำแสงเกิดการหักเหออกนอกคอร์บางส่วน ทำให้กำลังงานแสงที่รับได้ทางภาครับลดลง จึงเกิดการสูญเสียในเส้นใยนำแสงเพิ่มขึ้น

ส่วนการสูญเสียจากการโค้งงอนั้นเกิดขึ้น เมื่อมุมในการโค้งงอเส้นใยนำแสงมากขึ้นกำลังงานแสงที่รับได้ทางภาครับก็ลดลง โดยกำลังงานแสงที่รับได้ทางภาครับจะเริ่มลดลงเมื่อมุมในการโค้งงอเป็น 10 องศา ถ้าเพิ่มมุมในการโค้งงอมากขึ้นกำลังงานแสงที่รับได้ทางด้านภาครับก็ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามเช่นเดียวกัน กรณีที่มุมในการโค้งงอเพิ่มขึ้น แสงที่เดินทางในเส้นใยแสงก็จะหักเหออกไปนอกคอร์ และจะหักเหออกไปนอกคอร์มากที่สุดเมื่อมุมในการโค้งงอของเส้นใยนำแสงถึงค่ามุมวิกฤต จึงให้กำลังงานแสงที่รับได้ทางภาครับมีค่าลดลงเมื่อมุมในการโค้งงอเพิ่มขึ้น

คำถามท้ายการทดลอง

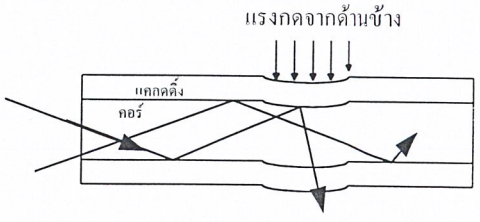
1.การสูญเสียเนื่องจากการโค้งงอ และการสูญเสียเนื่องจากการกดทับเกิดขึ้นได้อย่างไร จงอธิบาย

การสูญเสียแสงเนื่องจากการโค้งงอของเส้นใยนำแสงเกิดจาก

เมื่อมีการโค้งงอเส้นใยนำแสง โดยมีมุมการโค้งงอมากกว่ามุมวิกฤต ซึ่งทำให้แสงที่เดินทางไปเกิดการกระจัดกระจายออกไปนอกคอร์ของเส้นใยนำแสงได้ ดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 การสูญเสียจากการโค้งงอของเส้นใยนำแสง

การสูญเสียแสงที่เกิดจากการโค้งงอเส้นใยนำแสงแบบไมโครเบนดิ้งหรือการสูญเสียจากการกดทับ เป็นการสูญเสียสัญญาณแสงที่เกิดจากการมีแรงกดที่ไม่สม่ำเสมอมากระทำต่อด้านข้างของเส้นใยนำแสงส่งผลให้แกนของเส้นใยนำแสงเกิดการบิดงอไปเล็กน้อย (ประมาณ 2 – 3 ไมโครเมตร) ทำให้แสงที่ตกกระทบบริเวณดังกล่าวเกิดการหักเหออกไปภายนอกเส้นใยนำแสงได้ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การสูญเสียจากการโค้งงอเส้นใยนำแสงแบบไมโครเบนดิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสาร... ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จากการทดลองสามารถคำนวณหาค่าการสูญเสียเนื่องจากการโค้งงอ และการสูญเสียเนื่องจากการกดทับได้อย่างไร จงอธิบาย

จากการทดลองเราสามารคำนวณหาค่าการสูญเสียจากการโค้งงอและการกดทับโดย

1. วัดค่าแรงดันตกคร่อมโหลดทางด้านภาครับในขณะที่ยังไม่มีการกดทับ หรือโค้งงอเส้นใยนำแสง คำนวณหาค่ากำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงได้ เพราะรู้ค่าความต้านทานของโหลดแล้ว กำหนดให้ค่ากำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงที่คำนวณได้เป็น P_1

2. วัดค่าแรงดันตกคร่อมโหลดทางด้านภาครับในขณะกดทับหรือโค้งงอเส้นใยนำแสง คำนวณหาค่ากำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงได้ เพราะรู้ค่าความต้านทานของโหลดแล้ว กำหนดให้ค่ากำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงที่คำนวณได้เป็น P_2

3. คำนวณหาค่าการสูญของเส้นใยนำแสงโดยใช้สูตร

$$\text{ค่าการสูญเสีย} = -10 \log \frac{P_2}{P_1} \qquad (3.2)$$

โดยที่ P_1 คือ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงเมื่อยังไม่มีการกดทับหรือโค้งงอ (วัตต์)

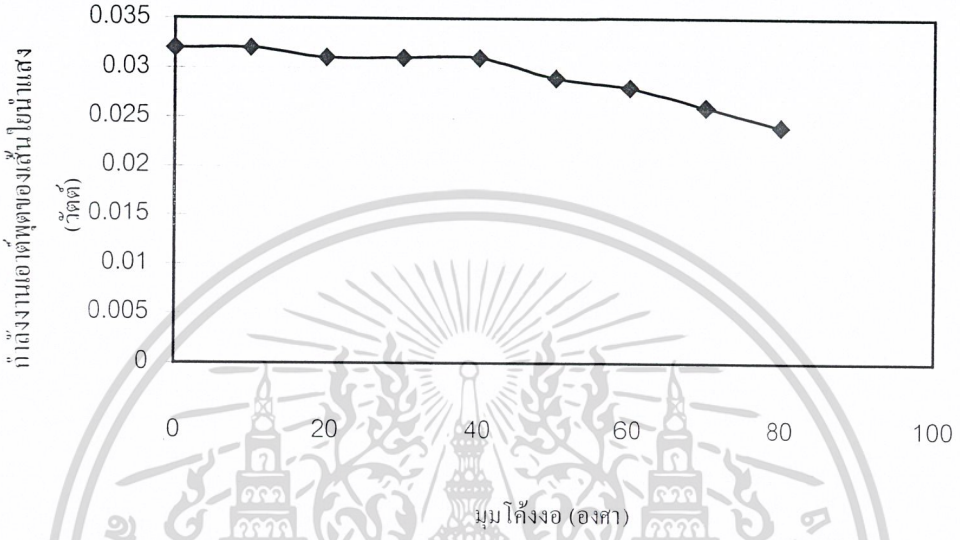
P_2 คือ กำลังงานเอาต์พุตของเส้นใยนำแสงเมื่อมีการกดทับหรือโค้งงอ (วัตต์)

3. จากตารางที่ 3.1 จงพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานเอาต์พุต และน้ำหนักในการกดทับเส้นใยนำแสง พร้อมทั้งอธิบาย

จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มน้ำหนักในการกดทับเส้นใยนำแสง กำลังงานแสงที่รับได้ทางภาครับก็จะมีค่าลดลงตามน้ำหนักที่กดทับ คือถ้าน้ำหนักที่กดทับมากกำลังงานแสงที่รับได้ก็จะน้อยลงตามไปด้วย ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าเมื่อมีน้ำหนักมากกดทับเส้นใยนำแสงเส้นใยนำแสงจะเกิดการโค้งงอไปเล็กน้อยทำให้แสงที่เดินทางในเส้นใยนำแสงไม่สามารถเดินทางได้ตามปรกติแสงเกิดการหักเหออกนอกคอร์บางส่วน เมื่อเพิ่มน้ำหนักในการกดทับมากขึ้นการโค้งงอของเส้นใยนำแสงก็มากขึ้นด้วยทำให้แสงเดินทางออกไปนอกคอร์มาขึ้น ภาครับจึงรับสัญญาณแสงได้น้อยลงตามน้ำหนักที่กดทับเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของกำลังงานเอาต์พุตกับมุมในการโค้งงอเส้นใยนำแสง



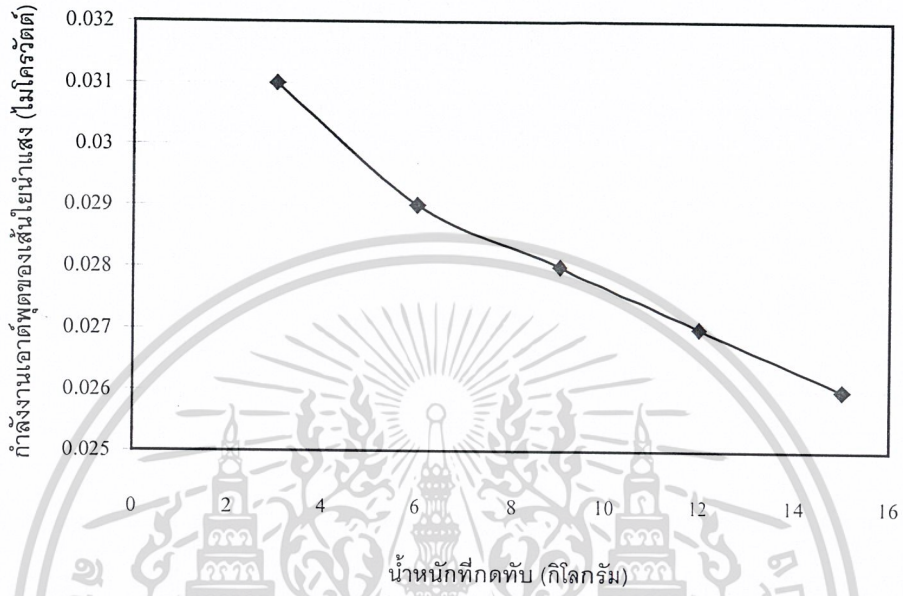
รูปที่ 3.8 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของกำลังงานเอาต์พุตกับมุมในการโค้งงอเส้นใยนำแสง

4. จากตารางที่ 3.2 จงพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานเอาต์พุต และมุมในการโค้งงอเส้นใยนำแสง พร้อมทั้งอธิบาย

จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อมุมในการโค้งงอ 10 องศา กำลังงานที่รับได้ทางภาครับยังรับได้เท่าเดิมเนื่องจากมุมการโค้งงอของเส้นใยนำแสงยังไม่ถึงค่ามุมวิกฤต แต่เมื่อเพิ่มมุมการโค้งงอไปเรื่อยๆ กำลังงานแสงที่รับได้ทางภาครับก็ลดลงลงเรื่อยๆ ตามมุมในการโค้งงอที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อมุมในการโค้งงอเพิ่มขึ้นแสงก็ยิ่งเดินทางออกไปนอกเส้นใยนำแสงมากขึ้นจนถึงค่ามุมวิกฤตแสงจะเดินทางหักเหออกไปนอกเส้นใยนำแสงมากที่สุดทำให้ภาครับรับแสงได้น้อยลงเมื่อมุมในการโค้งงอเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ขกำลังงานเอาต์พุตกับน้ำหนักที่กดทับเส้นใยนำแสง



รูปที่ 3.9 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของกำลังงานเอาต์พุตกับน้ำหนักที่กดทับเส้นใยนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 4
การส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ผ่านเส้นใยนำแสง

วัตถุประสงค์

เพื่อให้นักศึกษาสามารถ

1. อธิบายหลักการส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ผ่านเส้นใยนำแสงได้
2. อธิบายการเปลี่ยนสัญญาณรูปคลื่นไซน์เป็นสัญญาณแสง และการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ได้
3. คำนวณหาการลดทอนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ได้
4. วัดและอธิบายการขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นไซน์ได้

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องส่ง (Transmitter)	1 เครื่อง
2. เครื่องรับ (Receiver)	1 เครื่อง
3. เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร	1 เส้น
4. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ พร้อมสายต่อวงจร	1 เครื่อง
5. ออสซิลโลสโคป พร้อมสายวัดสัญญาณ	1 เครื่อง
6. สายต่อวงจร	6 เส้น

ทฤษฎีเบื้องต้น

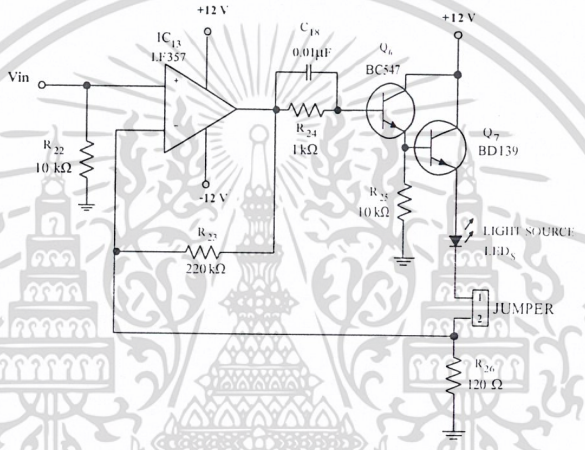
1. การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

1.1 วงจรขับสัญญาณ

จากรูปที่ 4.1 เป็นวงจรขับสัญญาณ โดยจะจัดเป็นวงจรขยายความคลาดเคลื่อน (Error Amplifer) ที่ใช้ไอซีออปแอมป์ เบอร์ LF357 ซึ่งคุณสมบัติของวงจรขยายความคลาดเคลื่อนคือแรงดันอินพุตที่ป้อนให้แก่ขาบวกและขาลบของไอซีออปแอมป์จะต้องมีค่าเท่ากันเสมอ ดังนั้นเมื่อเกิดความร้อนขึ้นภายในทรานซิสเตอร์ หรือที่อุปกรณ์กำเนิดแสงเอง จนทำให้กระแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงมีค่ามากขึ้น วงจรขยายความคลาดเคลื่อนนี้จะทำหน้าที่ปรับอัตราขยายให้ลดลงจนกระทั่งมีกระแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงตามที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

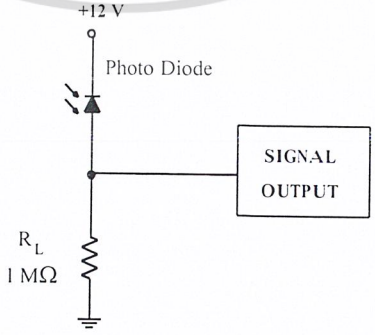
ไอซีออปแอมป์ เบอร์ LF357 ยังมีหน้าที่ในการขยายสัญญาณทางด้านอินพุตให้แรงขึ้นเพื่อไปขับทรานซิสเตอร์ Q_6 และ Q_7 ซึ่งต่อกันอยู่แบบดาร์ริงตันทำหน้าที่ควบคุมกระแสให้ไหลผ่านแอลอีดีตามแรงดันที่ได้รับจากขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 ถ้าแรงดันที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 มีค่าสูงกระแสก็จะไหลผ่านแอลอีดีก็มีค่าสูง แอลอีดีจะกำเนิดแสงออกมาได้มาก ถ้าแรงดันที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 มีค่าต่ำจะทำให้มีกระแสไหลผ่านแอลอีดีต่ำ แอลอีดีก็จะกำเนิดแสงออกมาได้ต่ำ



รูปที่ 4.1 วงจรขับสัญญาณ

2. การเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

2.1 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า



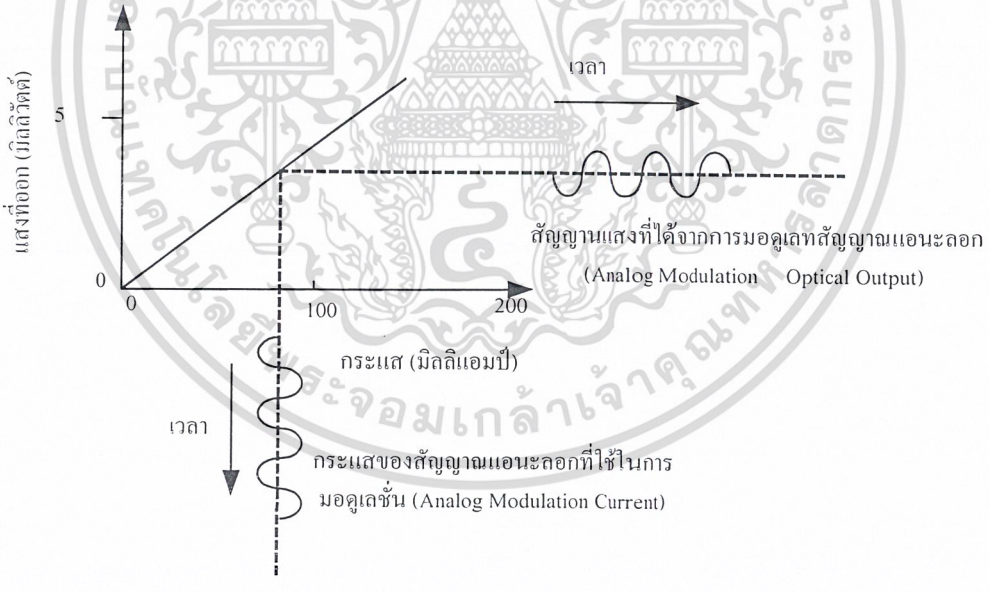
รูปที่ 4.2 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้อุปกรณ์รับแสงเบอร์ IF-D91 ซึ่งวงจรจะมีการจัดแรงดันไบแอสกลับให้แก่อุปกรณ์รับแสง โดยจะมีหลักการทำงาน คือ เมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบจะทำให้ แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์รับแสง มีค่าเท่ากับแรงดันที่จัดไบแอสกลับ คือ 12 โวลต์ จึงทำให้กระแสที่ไหลผ่าน R_L มีค่า 0 แอมป์ แต่เมื่อมีแสงมาตกกระทบจะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์รับแสงลดลง ทำให้มีกระแสที่ไหลผ่าน R_L มีค่ามากขึ้น จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อม R_L มากขึ้นตามไปด้วย

3. การส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ผ่านเส้นใยนำแสง

สัญญาณรูปคลื่นไซน์นั้นเป็นสัญญาณแอนะลอกเปรียบเสมือนสัญญาณเบสแบนด์ที่ใช้ในระบบการสื่อสารทั่วๆ ไป ถ้าต้องการส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ผ่านเส้นใยนำแสง จึงต้องเปลี่ยนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ซึ่งอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ในรูปของสัญญาณแสงโดยใช้แอลอีดี ซึ่งรูปแบบการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 1 การเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงของสัญญาณรูปคลื่นไซน์

สัญญาณแสงที่เป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์จะถูกส่งไปในเส้นใยนำแสงไปยังภาครับซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2

รูปแบบการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงในรูปที่ 4.3 ความเข้มแสงของอุปกรณ์กำเนิดแสงจะถูกมอดูเลตในลักษณะที่เป็นเชิงเส้นกับแรงดันของสัญญาณไฟฟ้าอินพุตโดยไม่มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาถึงเรื่องเฟสหรือความถี่ของสัญญาณแสง ส่วนทางด้านรับก็จะตอบสนองระดับพลังงาน (ความเข้ม) ของสัญญาณแสงโดยไม่มีการพิจารณาในเรื่องความถี่หรือเฟสเช่นเดียวกัน ซึ่งระบบที่ทำงานในลักษณะดังกล่าวนี้เราเรียกการมอดูเลตที่เกิดขึ้นที่ภาคส่งว่า "การมอดูเลตความเข้ม (Intensity Modulation ; IM)" และการดีมอดูเลตที่เครื่องรับเรียกว่า "การตรวจจับแสงโดยตรง (Direct Detection ; DD)"

4. การขยายกว้างออก

การขยายกว้างออกของสัญญาณแสงนั้นจะทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณ ในกรณีที่เป็นการส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ เมื่อเกิดการขยายกว้างออกก็ทำให้สัญญาณรูปคลื่นไซน์ของแสงที่ทำการส่ง และเดินทางไปในเส้นใยนำแสงเกิดการผิดเพี้ยน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการผิดเพี้ยนของรูปคลื่นไซน์ ถ้าหากระยะทางในการส่งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้สัญญาณเกิดการผิดเพี้ยนไปจนเครื่องรับไม่สามารถรับสัญญาณเป็นรูปคลื่นไซน์ หรือเกิดการผิดเพี้ยนไปจนไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ การขยายกว้างออกนั้นเกิดขึ้นจาก 2 กรณี คือ การขยายกว้างออกเนื่องจากโมด การขยายกว้างออกเนื่องจากความยาวคลื่น ซึ่งแบ่งออกเป็น การขยายกว้างออกเนื่องจากสารที่ใช้สร้าง และการขยายกว้างออกเนื่องจากโครงสร้าง

ลำดับขั้นการทดลอง

1.ต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องรับ ดังรูปที่ 4.4 โดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร

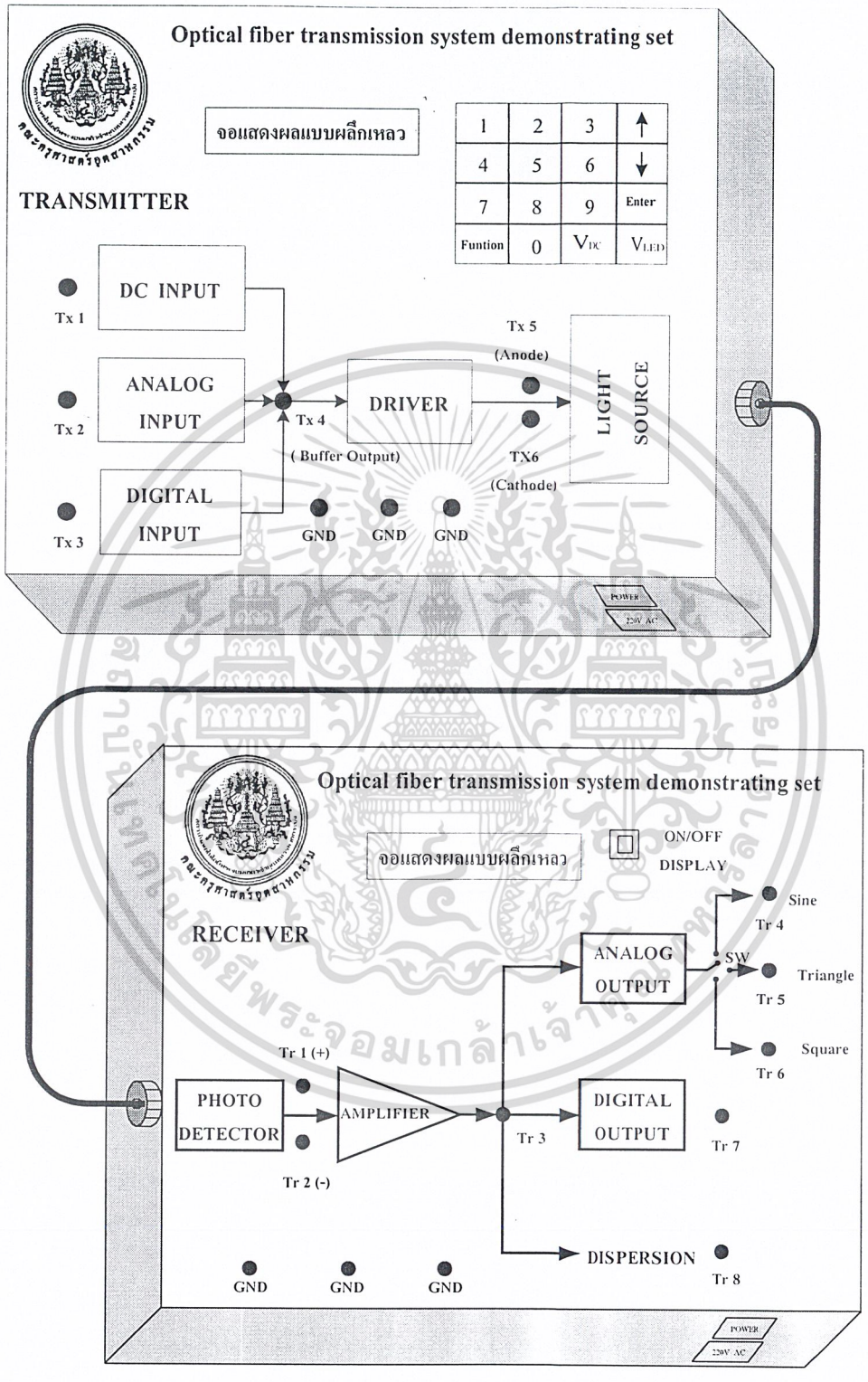
2.เปิดสวิตช์ Power ทั้งเครื่องส่งและเครื่องรับ ทางด้านเครื่องส่งเมื่อจอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ Select Input ที่สวิตช์เมตริกซ์กดปุ่ม FNC จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ DC Internal ให้กดปุ่มลูกศรเลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลงจนกว่าจะพบข้อความ AC External และกดปุ่ม ENT

3. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 2 ทางด้านออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 2 เทียบกับกราวด์ตามลำดับ ทางด้านเครื่องรับ ปรับสวิตช์ไปที่ Sin

4. ช่องวัดสัญญาณที่ 2 ของออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms วัดสัญญาณที่จุด Tr 4 เทียบกับกราวด์

5. ปรับค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุตที่เครื่องส่งจนกระทั่งสัญญาณเอาต์พุตที่ Tr 4 ไม่ผิดเพี้ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

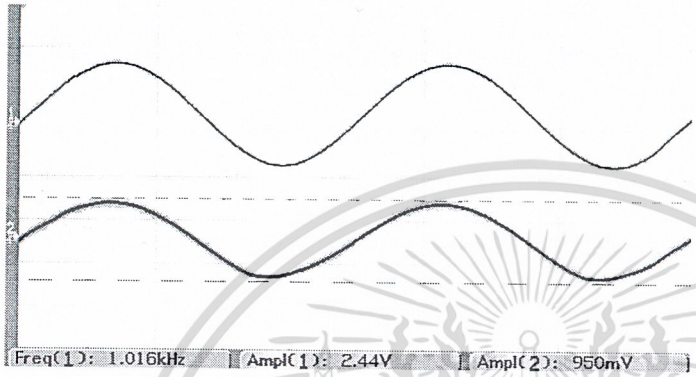


รูปที่ 4.4 การต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องรับโดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก แบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ปรับ Volt/DIV กับ Time/div ของออสซิลโลสโคปจนกระทั่งรูปสัญญาณที่ปรากฏบนหน้าจอออสซิลโลสโคปชัดเจน

7. บันทึกค่าแรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับ



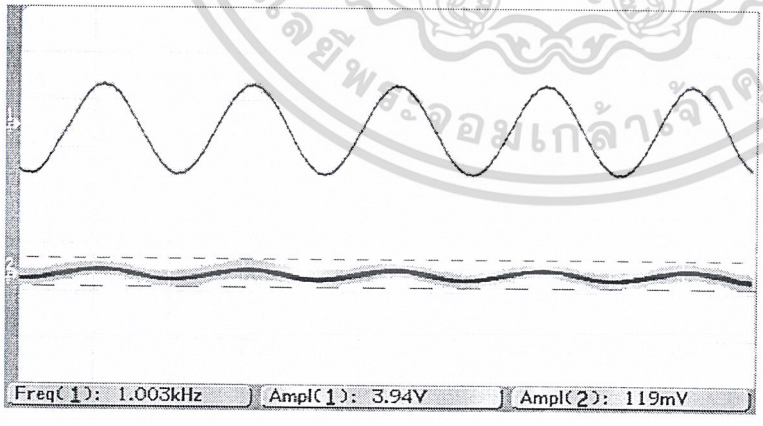
Time/DIV 200 μs/DIV

Ch1 1.00 V/DIV

Ch 2 500 mV/DIV

รูปที่ 4.5 แรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์

8. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 โดยวัดที่จุด Tx 1 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคปช่องวัดสัญญาณที่ 2 วัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้



Time/DIV 500 μs/DIV

Ch1 500 mV/DIV

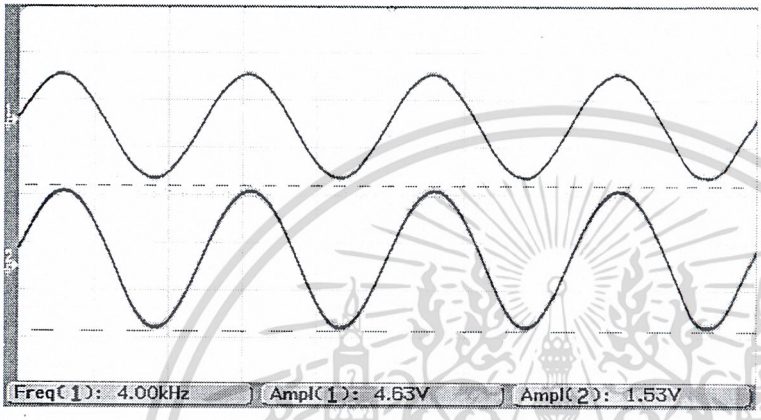
Ch 2 200 mV/DIV

รูปที่ 4.6 การขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 2 ทางด้านออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 2 เทียบกับกราวด์

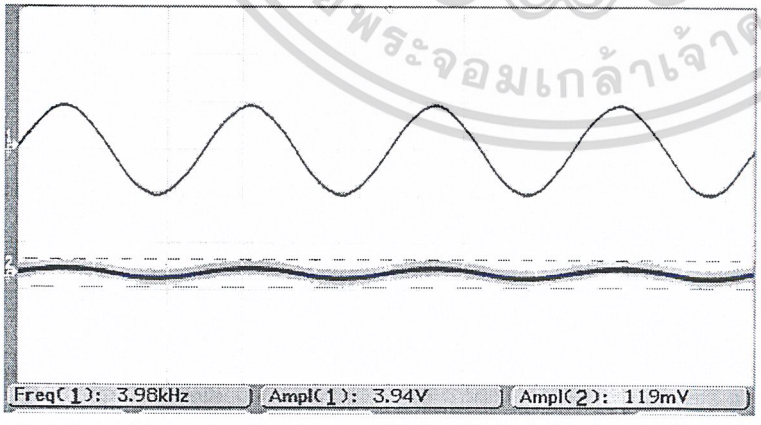
10. ทำการทดลองตามข้อ 4, 5, และ 6 บันทึกค่าแรงดันที่วัดได้



Time/DIV 100 µs/DIV
Ch1 2.00 V/DIV
Ch 2 500 mV/DIV

รูปที่ 4.7 แรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับที่ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์

11. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 วัดที่จุด Tx 2 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 2 โดยวัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้



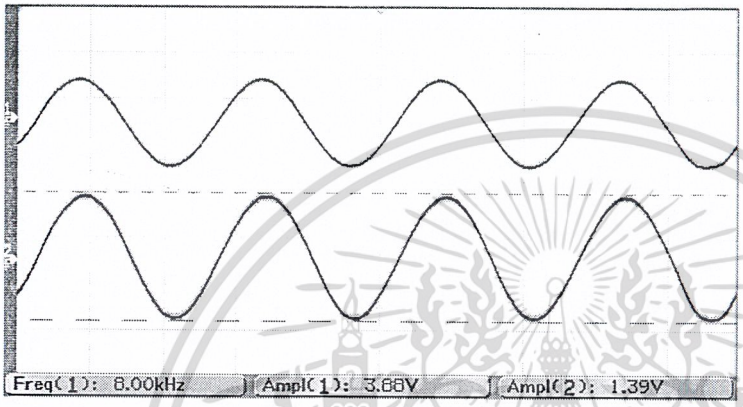
Time/DIV 100 µs/DIV
Ch1 2.00 V/DIV
Ch 2 200 mV/DIV

รูปที่ 4.8 การขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 2 ที่ออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 2 เทียบกับกราวด์

13. ทำการทดลองตามข้อ 4, 5, และ 6 บันทึกค่าที่วัดได้



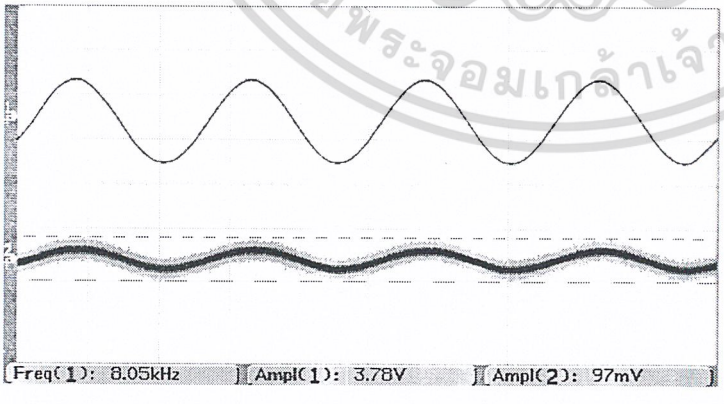
Time/DIV 50 µs/DIV

Ch1 2.00 V/DIV

Ch 2 500 mV/DIV

รูปที่ 4.9 แรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับที่ความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์

14. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 วัดที่จุด Tx 1 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 2 โดยวัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้



Time/DIV 100 µs/DIV

Ch1 2.00 V/DIV

Ch 2 200 mV/DIV

รูปที่ 4.10 การขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่ความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเป็นการส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ผ่านเส้นใยนำแสง การส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่านเส้นใยนำแสงนั้นต้องเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงก่อน ด้วยอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง คือ แอลอีดี ซึ่งมีการทำงานที่เป็นเชิงเส้น เมื่อสัญญาณไฟฟ้าเข้ามาทางด้านอินพุตซึ่งเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ทำให้กระแสที่ไปขับอุปกรณ์กำเนิดแสงเป็นรูปคลื่นไซน์ด้วย ดังนั้นสัญญาณแสงที่อุปกรณ์กำเนิดแสงผลิตออกมาจึงมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ คือค่อยๆ สว่าง และ ค่อยๆ ดับตามกระแสที่ใช้ขับอุปกรณ์กำเนิดแสง และเมื่อไปถึงภาครับอุปกรณ์รับแสงจะทำหน้าเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า อุปกรณ์รับแสงนี้จะมีค่าความต้านทางสูงมากเมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบตัวมัน จึงไม่มีกระแสไหลผ่านไปที่โหลดได้ การไหลของกระแสจึงไม่ครบวงจร ไม่มีแรงดันตกคร่อมโหลด หรือมีก็น้อยมากซึ่งเกิดจากกระแสรั่วไหลเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อมีแสงมาตกกระทบอุปกรณ์รับแสงความต้านทานของอุปกรณ์รับแสงจะลดลง กระแสสามารถไหลผ่านอุปกรณ์รับแสงผ่านโหลดลงกราวด์ได้ ทำให้เกิดมีแรงดันตกคร่อมโหลด เมื่อสัญญาณแสงที่เข้ามาเป็นรูปคลื่นไซน์ดังนั้นความต้านทานของอุปกรณ์รับแสงจึงเพิ่ม และลดตามแสงที่รับเข้ามาทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมโหลดเพิ่มขึ้น และลดลงเป็นรูปคลื่นไซน์ แรงดันที่ตกคร่อมโหลดนี้จะมีแอมพลิจูดต่ำมากแต่ความถี่ยังคงเท่ากับภาคส่งเมื่อสัญญาณนี้นำไปขยายด้วยวงจรขยายจึงจะได้แรงดันรูปคลื่นไซน์ที่สมบูรณ์ ส่วนสัญญาณที่เกิดการขยายกว้างออกนั้นเกิดจากการที่ขยายสัญญาณได้ไม่เพียงพอสัญญาณที่ได้จึงเพี้ยนไปต้องนำไปขยายอีกจนได้สัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่สมบูรณ์

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายการส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ผ่านเส้นใยนำแสง

การส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ผ่านเส้นใยนำแสงนั้นต้องเปลี่ยนสัญญาณไซน์ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณไซน์ในรูปของสัญญาณแสง ลักษณะการเปลี่ยนสัญญาณไซน์ในรูปสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงนั้น แสงจะมีลักษณะค่อยๆ เพิ่มและค่อยๆ ลดความสว่างของแสงตามสัญญาณไซน์ที่รับเข้ามา เมื่อเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงแสงจะถูกส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสง ด้วยอุปกรณ์เชื่อมต่อเส้นใยนำแสงกับอุปกรณ์กำเนิดแสงซึ่งติดอยู่กับอุปกรณ์กำเนิดแสง เมื่อแสงเดินทางไปถึงอุปกรณ์รับแสง แสงจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์รับแสงด้วยอุปกรณ์เชื่อมต่อเส้นใยนำแสงเข้ากับอุปกรณ์รับแสงซึ่งติดอยู่กับอุปกรณ์รับแสง อุปกรณ์รับแสงทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณไฟฟ้าที่รับได้จึงได้สัญญาณรูปคลื่นไซน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เพราะเหตุใดสัญญาณไฟฟ้าทางด้านภาครับจึงเกิดการขยายกว้างออกขึ้น เมื่อเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณทางด้านภาคส่งสูงขึ้นลักษณะของสัญญาณที่วัดได้ที่จุด Tr8 เป็นอย่างไร จงอธิบาย

สัญญาณไฟฟ้าทางด้านภาครับเกิดการขยายกว้างออกขึ้น เพราะเมื่ออุปกรณ์รับแสงเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้านั้น สัญญาณไฟฟ้าที่รับได้มีแอมพลจูดต่ำมาก และมีสัญญาณรบกวนซ้อนมากับสัญญาณสัญญาณที่รับเข้ามาด้วยซึ่งเกิดจากการลดทอนภายในเส้นใยนำแสง และสัญญาณรบกวนที่เกิดจากภาครับด้วยดังนั้นเมื่อนำสัญญาณดังกล่าวไปขยาย สัญญาณที่ได้ก็จะเกิดการขยายกว้างออกขึ้น และเมื่อเปลี่ยนความถี่สัญญาณทางด้านภาคส่งสูงขึ้น สัญญาณที่วัดได้ที่จุด Tr 8 แอมพลิจูดลดลงและมีการขยายกว้างออกเพิ่ม ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้นอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงไม่สามารถเปลี่ยนเปลี่ยนเป็นเป็นสัญญาณแสงได้ตามสัญญาณอินพุตที่รับเข้ามาได้ ทำให้ได้สัญญาณแสงที่เป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่ไม่สมบูรณ์ เมื่อมาถึงภาครับสัญญาณไฟฟ้าที่รับได้จึงไม่สมบูรณ์และเกิดเกิดการขยายกว้างออกขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 5
การส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง

วัตถุประสงค์

เพื่อให้นักศึกษาสามารถ

1.อธิบายหลักการการส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง และข้อแตกต่างในการส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ กับสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสงได้

2. อธิบายการเปลี่ยนสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเป็นสัญญาณแสง และการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

3. คำนวณหาค่าการลดทอนสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมได้

4. วัด และอธิบายการขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมได้

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องส่ง (Transmitter)	1 เครื่อง
2. เครื่องรับ (Receiver)	1 เครื่อง
3. เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร	1 เส้น
4. ฟังก์ชั่นเจนเนอเรเตอร์ พร้อมสายต่อวงจร	1 เครื่อง
5. ออสซิลโลสโคป พร้อมสายวัดสัญญาณ	1 เครื่อง
6. สายต่อวงจร	6 เส้น

ทฤษฎีเบื้องต้น

1. การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

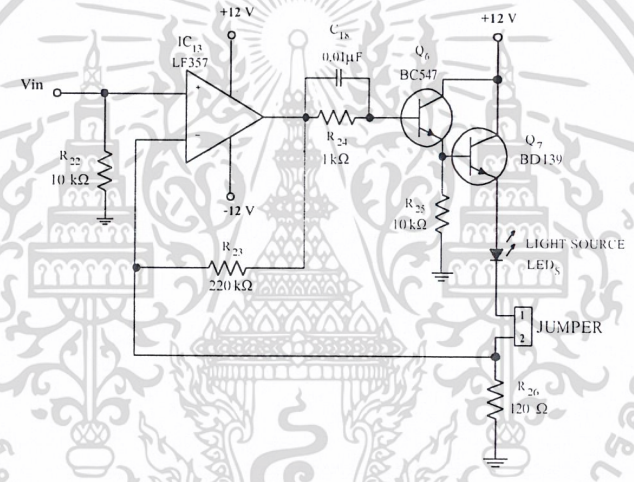
1.1 วงจรขับสัญญาณ

จากรูปที่ 5.1 เป็นวงจรขับสัญญาณ โดยจะจัดเป็นวงจรขยายความคลาดเคลื่อน (Error Amplifer) ที่ใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF357 ซึ่งคุณสมบัติของวงจรขยายความคลาดเคลื่อนคือ แรงดันอินพุตที่ป้อนให้แก่ขาบวกและขาลบของไอซีออปแอมป์จะต้องมีค่าเท่ากันเสมอ ดังนั้นเมื่อเกิดความร้อนขึ้นภายในทรานซิสเตอร์ หรือที่อุปกรณ์กำเนิดแสงเอง จนทำให้กระแสไหลผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์กำเนิดแสงมีค่ามากขึ้น วงจรขยายความคลาดเคลื่อนนี้จะทำหน้าที่ปรับอัตราขยายให้ลดลง จนกระทั่งมีกระแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงตามที่กำหนด

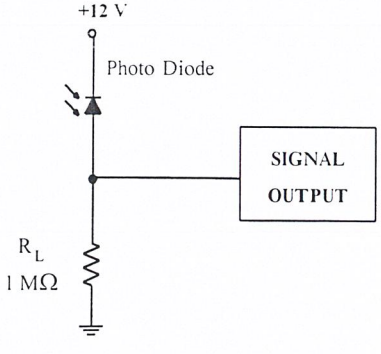
ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF357 ยังมีหน้าที่ในการขยายสัญญาณทางด้านอินพุตให้แรงขึ้นเพื่อไปขับทรานซิสเตอร์ Q_6 และ Q_7 ซึ่งต่อกันอยู่แบบดาร์ริงตันทำหน้าที่ควบคุมกระแสให้ไหลผ่านแอลอีดีตามแรงดันที่ได้รับจากขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 ถ้าแรงดันที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 มีค่าสูงกระแสก็จะไหลผ่านแอลอีดีก็มีค่าสูง แอลอีดีจะกำเนิดแสงออกมาได้มาก ถ้าแรงดันที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 มีค่าต่ำจะทำให้มีกระแสไหลผ่านแอลอีดีต่ำ แอลอีดีก็จะกำเนิดแสงออกมาได้ต่ำ



รูปที่ 5.1 วงจรขับสัญญาณ.

2. การเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

2.1 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า



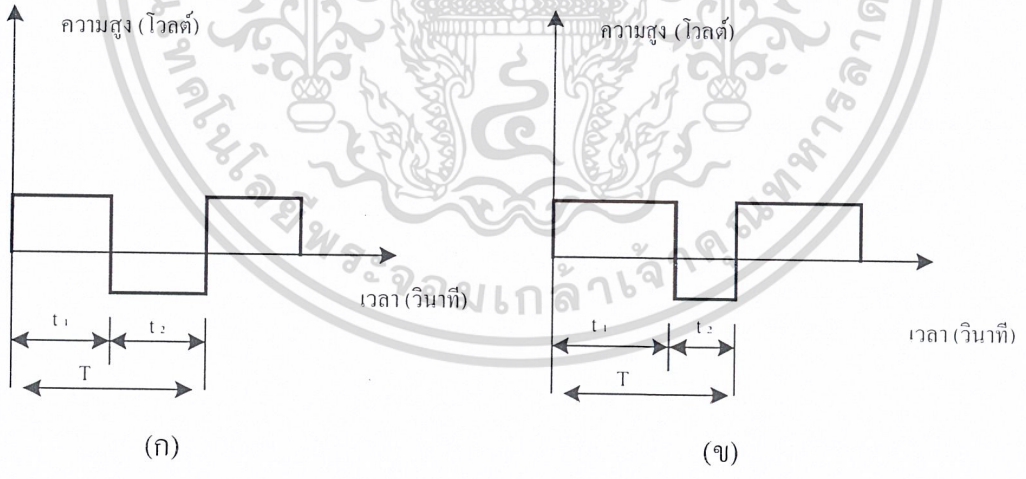
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.2 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า

จากรูปที่ 5.2 เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้อุปกรณ์รับแสงเบอร์ IF-D91 ซึ่งวงจรจะมีการจัดแรงดันไบแอสกลับให้แก่อุปกรณ์รับแสง โดยจะมีหลักการทำงานคือ เมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบจะทำให้ แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์รับแสง มีค่าเท่ากับแรงดันที่จัดไบแอสกลับ คือ 12 โวลท์ จึงทำให้กระแสที่ไหลผ่าน R_L มีค่า 0 แอมป์ แต่เมื่อมีแสงมาตกกระทบจะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์รับแสงลดลง ทำให้มีกระแสที่ไหลผ่าน R_L มีค่ามากขึ้น จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อม R_L มากขึ้นตามไปด้วย

3. การส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง

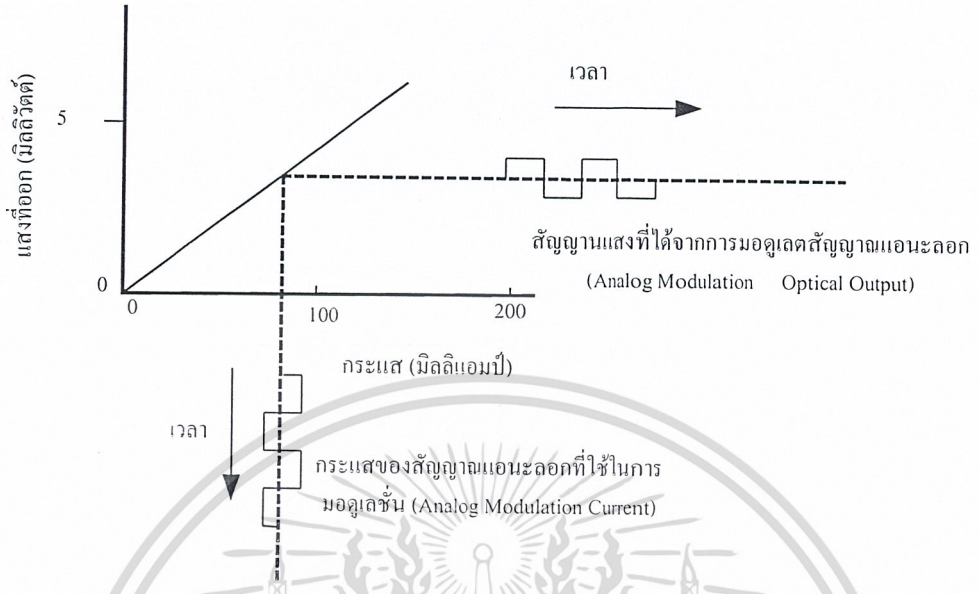
สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมนั้นเป็นสัญญาณที่ประกอบขึ้นมาจากฟังก์ชั่นขั้นบันได ฟังก์ชั่นขั้นบันไดนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงระดับแบบทันทีทันใดจากระดับคงที่หนึ่งไปยังระดับคงที่อีกค่าหนึ่ง ถ้าการเปลี่ยนแปลงระดับมีลักษณะเพิ่มขึ้น เรียกว่า ฟังก์ชั่นขั้นบันไดขึ้น และถ้าการเปลี่ยนแปลงระดับมีลักษณะลดลง เรียกว่า ฟังก์ชั่นขั้นบันไดลดลง ซึ่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเกิดจากการรวมกันของฟังก์ชั่นขั้นบันไดขึ้นกับขั้นบันไดลง ลักษณะของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมแสดงดังรูปที่ 5.3 ถ้ารูปคลื่นสี่เหลี่ยมมีช่วงเวลา t_1 เท่ากับ t_2 เราเรียกว่ารูปคลื่นสี่เหลี่ยมจัสตุรัส ดังรูปที่ 5.3 (ก) แต่ถ้ารูปคลื่นสี่เหลี่ยมมีช่วงเวลา t_1 ไม่เท่ากับ t_2 เราเรียกว่ารูปคลื่นพัลส์ ดังรูปที่ 5.3 (ข)



รูปที่ 5.3 รูปคลื่นสี่เหลี่ยม

ในการส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง เราต้องเปลี่ยนสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมซึ่งอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมในรูปของสัญญาณแสงโดยใช้แอลอีดี ซึ่งรูปแบบการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 1 การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงแสดงดังรูปที่ 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

สัญญาณแสงที่เป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจะถูกส่งไปในเส้นใยนำแสงไปยังภาครับซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2

รูปแบบการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงในรูปที่ 5.4 ความเข้มแสงของอุปกรณ์กำเนิดแสงจะถูกมอดูเลตในลักษณะที่เป็นเชิงเส้นกับแรงดันของสัญญาณไฟฟ้าอินพุต โดยไม่มีการพิจารณาถึงเรื่องเฟสหรือความถี่ของสัญญาณแสง ส่วนทางด้านรับก็จะตอบสนองระดับพลังงาน (ความเข้ม) ของสัญญาณแสงโดยไม่มีการพิจารณาในเรื่องความถี่หรือเฟสเช่นเดียวกัน ซึ่งระบบที่ทำงานในลักษณะดังกล่าวนี้เราเรียกการมอดูเลตที่เกิดขึ้นที่ภาคส่งว่า "การมอดูเลตความเข้ม (Intensity Modulation ; IM)" และการดีมอดูเลตที่ภาครับเรียกว่า "การตรวจจับแสงโดยตรง (Direct Detection ; DD)"

4. การขยายกว้างออก

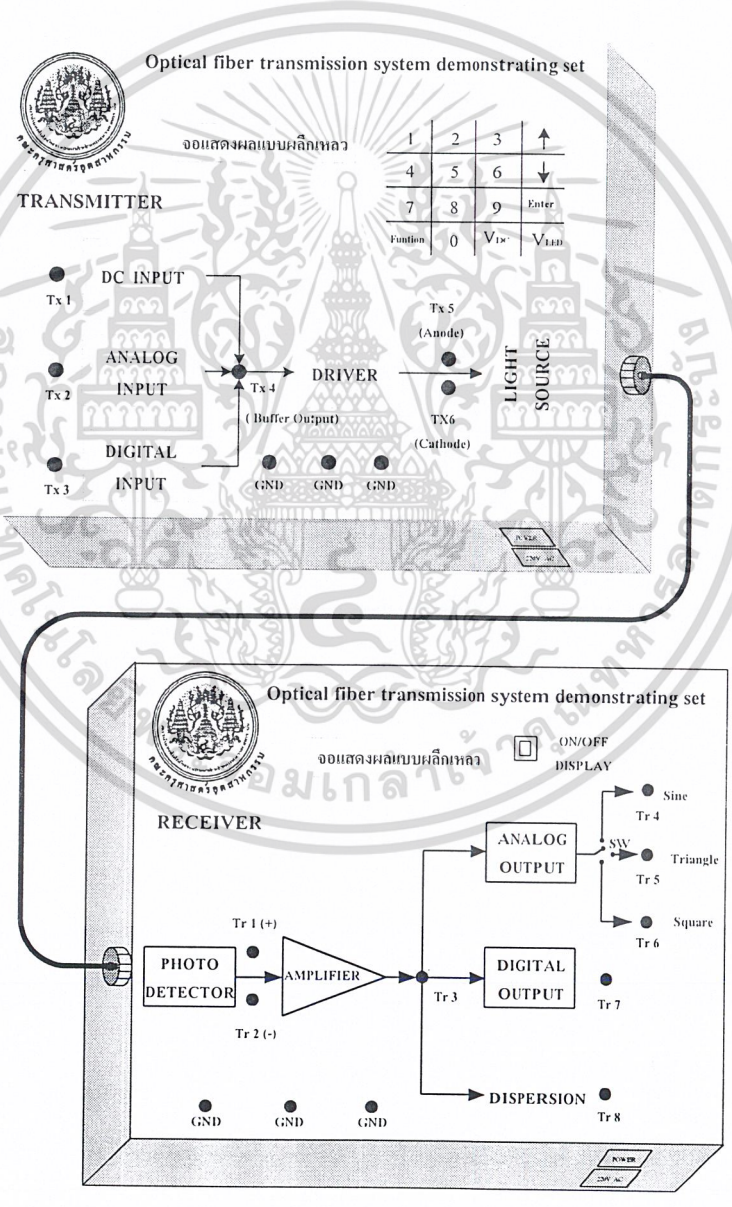
การขยายกว้างออกของสัญญาณแสงนั้นจะทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณ ในกรณีที่เป็นการส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม เมื่อเกิดการขยายกว้างออกก็ทำให้สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมของแสงที่ทำการส่ง และเดินทางไปในเส้นใยนำแสงเกิดการผิดเพี้ยน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการผิดเพี้ยนของรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ถ้าหากระยะทางในการส่งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้สัญญาณเกิดการผิดเพี้ยนไปจนภาครับไม่สามารถรับสัญญาณเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม หรือเกิดการผิดเพี้ยนไปจนไม่เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม การขยายกว้างออกนั้นเกิดขึ้นจาก 2 กรณี คือ การขยายกว้างออกเนื่องจากโมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขยายกว้างออกเนื่องจากความยาวคลื่น ซึ่งแบ่งออกเป็น การขยายกว้างออกเนื่องจากสารที่ใช้สร้าง การขยายกว้างออกเนื่องจากโครงสร้าง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องรับ ดังรูปที่ 5.5 โดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร



รูปที่ 5.5 การต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องรับโดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก แบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปิดสวิตช์ Power ทั้งเครื่องส่งและเครื่องรับ ทางด้านเครื่องส่งเมื่อจอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ Select Input ที่คีย์สวิตช์เมตริกซ์กดปุ่ม FNC จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ DC Internal ให้กดปุ่มลูกศรเลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลงจนกว่าจะพบข้อความ AC External และกดปุ่ม ENT

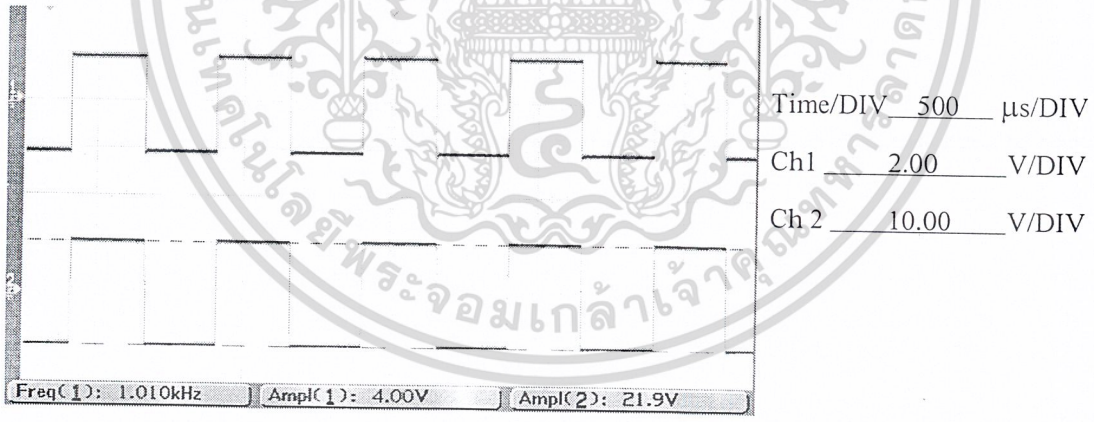
3. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 2 ทางด้านออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 2 เทียบกับกราวด์ตามลำดับ ทางด้านเครื่องรับ ปรับสวิตช์ไปที่ Square

4. ช่องวัดสัญญาณที่ 2 ของออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms วัดสัญญาณที่จุด Tr 6 เทียบกับกราวด์

5. ปรับค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุตที่เครื่องส่งจนกระทั่งสัญญาณเอาต์พุตที่ Tr 6 ไม่ผิดเพี้ยน

6. ปรับ Volt/DIV กับ Time/div ของออสซิลโลสโคปจนกระทั่งรูปสัญญาณที่ปรากฏบนหน้าจอออสซิลโลสโคปชัดเจน

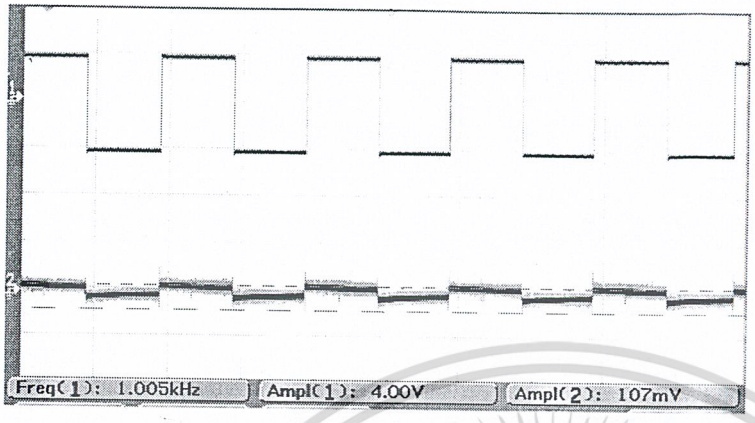
7. บันทึกค่าแรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับ



รูปที่ 5.6 แรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์

8. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 โดยวัดที่จุด Tx 1 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคป ช่องวัดสัญญาณที่ 2 วัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Time/DIV 500 µs/DIV

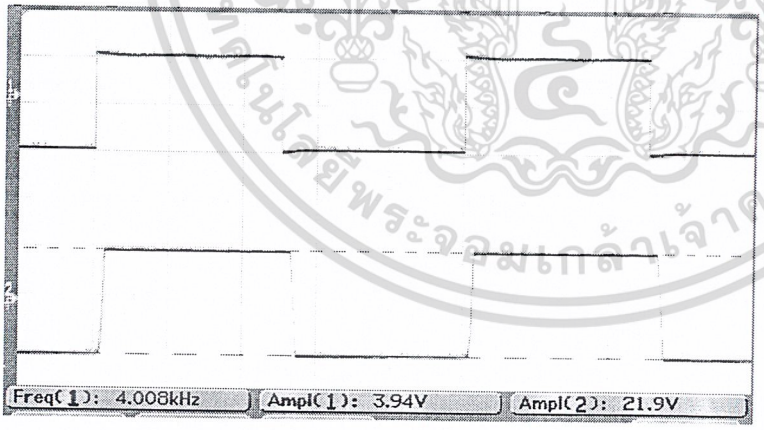
Ch1 2.00 V/DIV

Ch 2 200 mV/DIV

รูปที่ 5.7 การขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์

9. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 2 ทางด้านออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 2 เทียบกับกราวด์

10. ทำการทดลองตามข้อ 4, 5, และ 6 บันทึกค่าแรงดันที่วัดได้



Time/DIV 50 µs/DIV

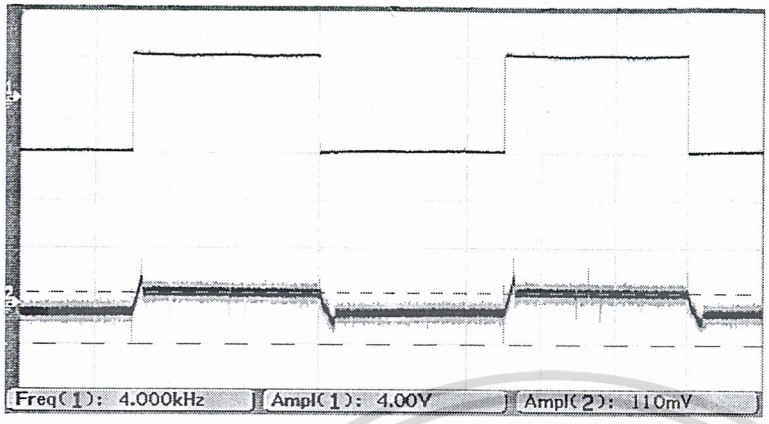
Ch1 2.00 V/DIV

Ch 2 10 V/DIV

รูปที่ 5.8 แรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับที่ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์

11. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 วัดที่จุด Tx 1 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 2 โดยวัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Time/DIV 50 µs/DIV

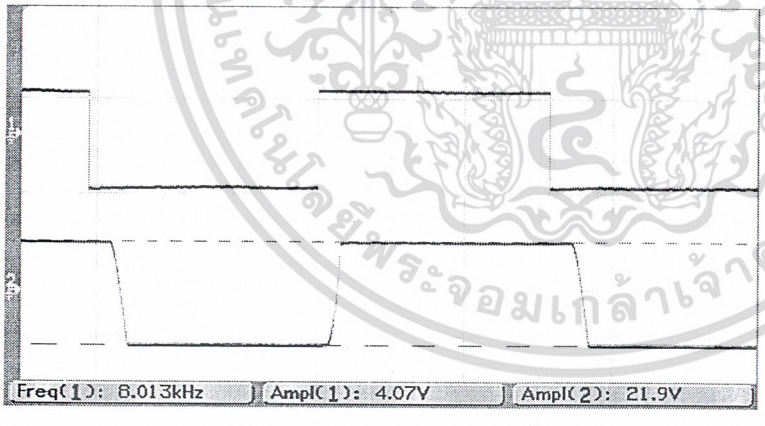
Ch1 2.00 V/DIV

Ch 2 100 mV/DIV

รูปที่ 5.9 การขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์

12. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 2 ที่ออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 2 เทียบกับกราวด์

13. ทำการทดลองตามข้อ 4, 5, และ 6 บันทึกค่าที่วัดได้



Time/DIV 20 µs/DIV

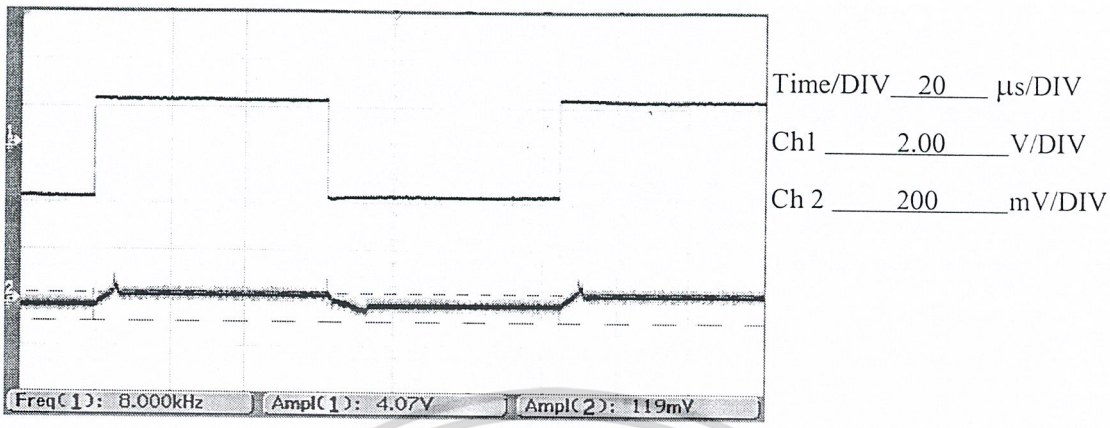
Ch1 2.00 V/DIV

Ch 2 10 V/DIV

รูปที่ 5.10 แรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับที่ความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์

14. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 วัดที่จุด Tx 1 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 2 โดยวัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 การขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเป็นการส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง ลักษณะของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมนั้น แตกต่างจากสัญญาณรูปคลื่นไซน์ คือสัญญาณรูปคลื่นไซน์นั้นมีการเปลี่ยนแปลงในรูปของฟังก์ชั่นไซน์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ส่วนรูปคลื่นสี่เหลี่ยมนั้นมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณในรูปของฟังก์ชั่นขั้นบันได ซึ่งฟังก์ชั่นขั้นบันไดนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงระดับแบบทันทีทันใดจากระดับคงที่หนึ่งไปยังระดับคงที่อีกค่าหนึ่ง ทำให้การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมมีลักษณะติดและดับ ซึ่งจะแตกต่างกับสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ซึ่งอุปกรณ์กำเนิดแสงจะกำเนิดแสงออกมาในลักษณะค่อยๆ ติด ค่อยๆ ดับ ส่วนสัญญาณแสงที่รับได้ทางภาครับจะเกิดการขยายกว้างออกเช่นเดียวกับสัญญาณรูปคลื่นไซน์ และเมื่อเพิ่มความถี่สูงขึ้นสัญญาณก็จะเกิดการขยายกว้างออกมากขึ้นสาเหตุนั้นเกิดมาจากอุปกรณ์กำเนิดแสงไม่สามารถเปลี่ยนสัญญาณแสงเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงได้ทัน หรืออุปกรณ์รับแสงไม่สามารถตอบสนองสัญญาณแสงที่ส่งมาได้ ส่วนการลดทอนสัญญาณนั้นการส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสงนั้นจะเกิดการลดทอนน้อยกว่าการส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ผ่านเส้นใยนำแสง เนื่องมาจากลักษณะของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมนั้นการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณนั้นแสงที่อุปกรณ์กำเนิดแสงกำเนิดออกมาจะมีแค่สว่าง และดับ ทำให้อุปกรณ์รับแสงสามารถตรวจจับสัญญาณได้ง่ายกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายการส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเส้นใยนำแสง

การส่งสัญญาณสี่เหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสงต้องเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงก่อนด้วย แอลอีดี ซึ่งมีการทำงานอย่างเป็นเชิงเส้น แอลอีดีจะเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสงตามค่ากระแสที่มาขับให้มัน ซึ่งในที่นี้เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีการเปลี่ยนสัญญาณเป็นแบบขั้นบันได คือ ระดับสัญญาณจะมีค่าสูงสุดและต่ำสุด เมื่อแอลอีดีได้รับกระแสดังกล่าวจะกำเนิดแสงออกมาในลักษณะสว่าง และดับตามกระแสที่มาขับตัวมัน สัญญาณแสงที่ได้แอลอีดีจะถูกส่งผ่านเส้นใยนำแสงไปยังภาครับซึ่งจะทำหน้าในการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ลักษณะสัญญาณแสงที่ส่งมาเป็นสว่างและดับ เมื่อแสงดังกล่าวมาตกกระทบอุปกรณ์กำเนิดแสง ในช่วงที่แสงสว่างมากที่สุดมาตกกระทบอุปกรณ์รับอุปกรณ์รับแสงจะมีความต้านทานต่ำสุดทำให้มีกระแสไหลผ่านโหลดได้สูงสุดในช่วงนี้จึงมีแรงดันตกคร่อมโหลดสูงสุด ส่วนในช่วงที่มีแสงสว่างน้อยที่สุดมาตกกระทบอุปกรณ์รับแสง ในช่วงนี้อุปกณ์รับจะมีความต้านทานมากจึงทำให้มีกระแสไหลผ่านโหลดน้อยมีแรงดันตกคร่อมโหลดน้อย เมื่อวัดสัญญาณตกคร่อมโหลดก็จะได้สัญญาณที่มีลักษณะเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม แต่จะมีแอมพลิจูดต่ำ เมื่อนำไปผ่านวงจรขยายที่พอเหมาะก็จะได้สัญญาณสี่เหลี่ยมออกทางด้านเอาต์พุต

2. จงอธิบายความแตกต่างของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมกับสัญญาณรูปคลื่นไซน์เมื่อเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

รูปคลื่นไซน์กับรูปคลื่นสี่เหลี่ยมมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจน คือลักษณะของคลื่นไซน์รูปสัญญาณจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นฟังก์ชั่นไซน์ ส่วนรูปคลื่นสี่เหลี่ยมการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณจะเป็นลักษณะของฟังก์ชั่นขั้นบันไดที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันที่ทันใด เมื่อเมื่อนำเอาสัญญาณรูปคลื่นไซน์มาขับอุปกรณ์กำเนิดแสง กระแสที่ไปขับอุปกรณ์กำเนิดแสงก็มีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์แสงที่ได้จึงมีลักษณะค่อยๆ สว่างและค่อยๆ ดับ ส่วนรูปคลื่นสี่เหลี่ยมนั้นเมื่อนำไปขับอุปกรณ์กำเนิดแสง กระแสที่ขับอุปกรณ์กำเนิดแสงก็จะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมแสงที่ได้จึงมีลักษณะสว่าง และดับ

3. การเกิดการขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเกิดขึ้นได้อย่างไร จงอธิบาย

การขยายกว้างออกของสัญญาณเกิดขึ้นเมื่อภาครับรับสัญญาณแล้วเกิดการผิดเพี้ยนอันเนื่องมาจากสัญญาณที่รับเข้ามนั้นมีแอมพลิจูดต่ำมากต้องนำสัญญาณนั้นไปขยายให้มีแอมพลิจูดสูงขึ้นจนสัญญาณไม่เกิดการผิดเพี้ยน ถ้าจัดการขยายไม่พอเหมาะสัญญาณที่ได้จะเกิดการขยายกว้างออกขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 6
การส่งสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง

วัตถุประสงค์

เพื่อให้นักศึกษาสามารถ

1. อธิบายหลักการการส่งสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง
2. อธิบายข้อแตกต่างในการส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม และสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสงได้
3. อธิบายการเปลี่ยนสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมเป็นสัญญาณแสง และการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมได้
4. คำนวณหาค่าการลดทอนสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมได้
5. วัด และอธิบายการขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมได้

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องส่ง (Transmitter)	1 เครื่อง
2. เครื่องรับ (Receiver)	1 เครื่อง
3. เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร	1 เส้น
4. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ พร้อมสายต่อวงจร	1 เครื่อง
5. ออสซิลโลสโคป พร้อมสายวัดสัญญาณ	1 เครื่อง
6. สายต่อวงจร	6 เส้น

ทฤษฎีเบื้องต้น

1. การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

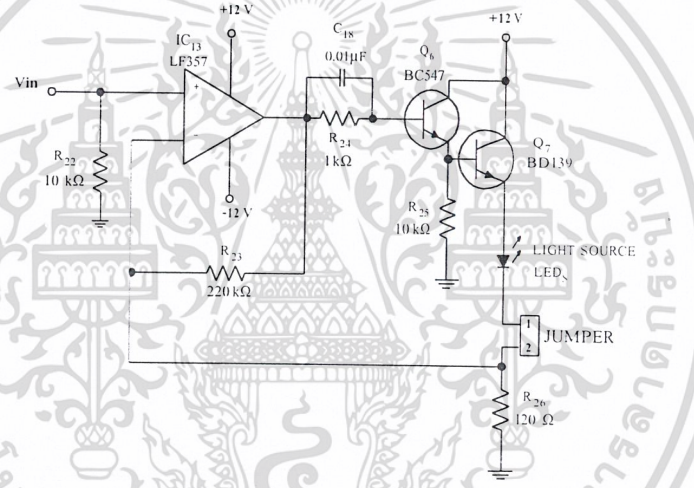
1.1 วงจรขับสัญญาณ

จากรูปที่ 6.1 เป็นวงจรขับสัญญาณ โดยจะจัดเป็นวงจรขยายความคลาดเคลื่อน (Error Amplifer) ที่ใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF357 ซึ่งคุณสมบัติของวงจรขยายความคลาดเคลื่อนคือ แรงดันอินพุตที่ป้อนให้แก่ขาบวก และขาลบของไอซีออปแอมป์จะต้องมีค่าเท่ากันเสมอ ดังนั้นเมื่อเกิดความร้อนขึ้นภายในทรานซิสเตอร์ หรือที่อุปกรณ์กำเนิดแสงเอง จนทำให้กระแสไหลผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์กำเนิดแสงมีค่ามากขึ้น วงจรขยายความคลาดเคลื่อนนี้จะทำหน้าที่ปรับอัตราขยายให้ลดลงจนกระทั่งมีการแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงตามที่กำหนด

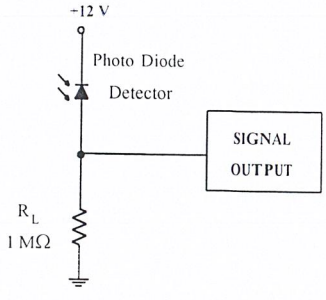
ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF357 ยังมีหน้าที่ในการขยายสัญญาณทางด้านอินพุตให้แรงขึ้นเพื่อไปขับทรานซิสเตอร์ Q_6 และ Q_7 ซึ่งต่อกันอยู่แบบดาร์ริงตันทำหน้าที่ควบคุมกระแสให้ไหลผ่านแอลอีดีตามแรงดันที่ได้รับจากขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 ถ้าแรงดันที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 มีค่าสูงกระแสก็จะไหลผ่านแอลอีดีก็มีค่าสูง แอลอีดีจะกำเนิดแสงออกมาได้มาก ถ้าแรงดันที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 มีค่าต่ำจะทำให้มีกระแสไหลผ่านแอลอีดีต่ำ แอลอีดีก็จะกำเนิดแสงออกมาได้ต่ำ



รูปที่ 6.1 วงจรขับสัญญาณ

2. การเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

2.1 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า



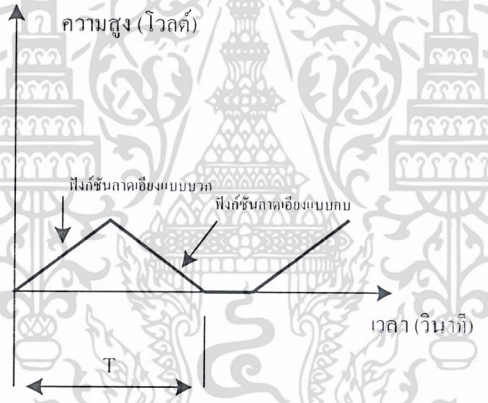
รูปที่ 6.2 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.2 เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้อุปกรณ์รับแสงเบอร์ IF-D91 ซึ่งวงจรจะมีการจัดแรงดันไบแอสกลับให้แก่อุปกรณ์รับแสง โดยจะมีหลักการทำงานคือ เมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบจะทำให้ แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์รับแสง มีค่าเท่ากับแรงดันที่จัดไบแอสกลับ คือ 12 โวลต์ จึงทำให้กระแสที่ไหลผ่าน R_L มีค่า 0 แอมป์ แต่เมื่อมีแสงมาตกกระทบจะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์รับแสงลดลง ทำให้มีกระแสที่ไหลผ่าน R_L มีค่ามากขึ้น จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อม R_L มากขึ้นตามไปด้วย

3. การส่งสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง

สัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมเกิดจากการรวมตัวกันของฟังก์ชันลาดเอียง (ฟังก์ชันที่มีลักษณะเพิ่มขึ้นหรือลดลงแบบเป็นเชิงเส้นเมื่อเทียบกับเวลา) แบบบวก และฟังก์ชันลาดเอียงแบบลบ ดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 รูปคลื่นสามเหลี่ยม

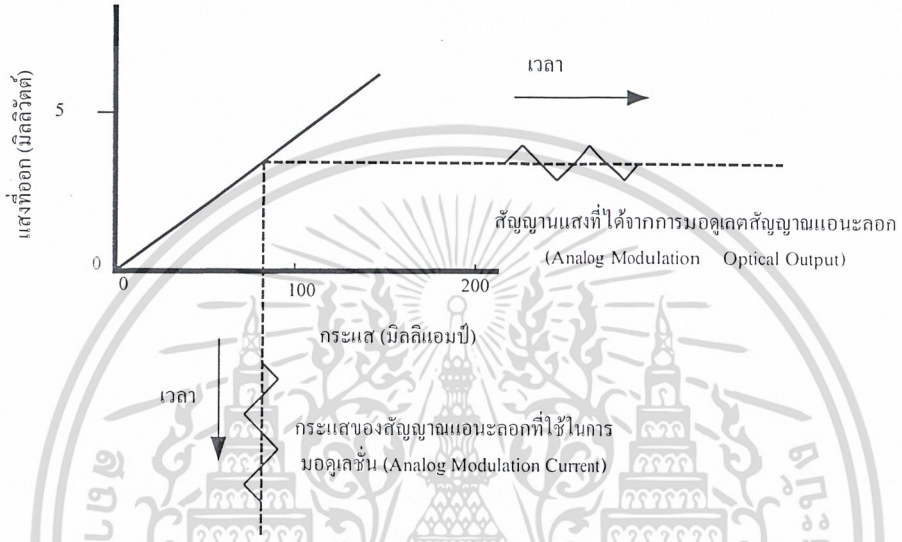
ถ้าต้องการส่งสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง ต้องเปลี่ยนสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมซึ่งอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมในรูปของสัญญาณแสงโดยใช้แอลอีดี ซึ่งรูปแบบการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 1 การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงแสดงดังรูปที่ 6.4

สัญญาณแสงที่เป็นสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมจะถูกส่งไปในเส้นใยนำแสงไปยังเครื่องรับ ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2

รูปแบบการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงในรูปที่ 6.4 ความเข้มแสงของอุปกรณ์กำเนิดแสงจะถูกมอดูเลตในลักษณะที่เป็นเชิงเส้นกับแรงดันของสัญญาณไฟฟ้าอินพุต โดยไม่มีการพิจารณาถึงเรื่องเฟสหรือความถี่ของสัญญาณแสง ส่วนทางด้านรับก็จะตอบสนองระดับพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ความเข้ม) ของสัญญาณแสงโดยไม่มีการพิจารณาในเรื่องความถี่หรือเฟสเช่นเดียวกัน ซึ่งระบบที่ทำงานในลักษณะดังกล่าวนี้เราเรียกการมอดูเลตที่เกิดขึ้นที่เครื่องส่งว่า "การมอดูเลตความเข้ม (Intensity Modulation ; IM)" และการดีมอดูเลตที่ภาครับเรียกว่า "การตรวจจับแสงโดยตรง (Direct Detection ; DD)"



รูปที่ 6.4 การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงของสัญญาณสามเหลี่ยม

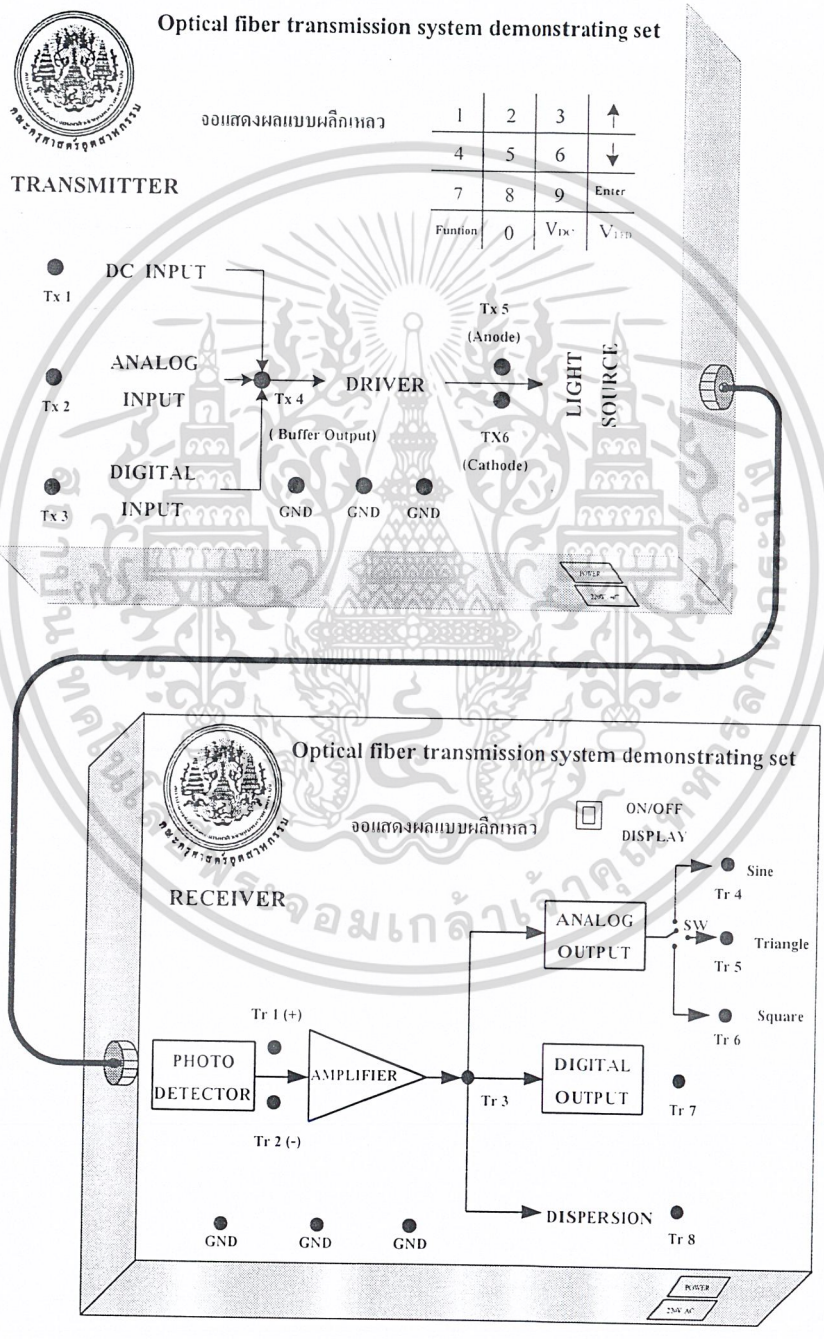
4. การขยายกว้างออก

การขยายกว้างออกของสัญญาณแสงนั้นจะทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณ ในกรณีที่เป็นการส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม เมื่อเกิดการขยายกว้างออกก็ทำให้สัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมของแสงที่ทำการส่ง และเดินทางไปในเส้นใยนำแสงเกิดการผิดเพี้ยน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการผิดเพี้ยนของรูปคลื่นสามเหลี่ยม ถ้าหากระยะทางในการส่งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้สัญญาณเกิดการผิดเพี้ยนไปจนเครื่องรับไม่สามารถรับสัญญาณเป็นรูปคลื่นสามเหลี่ยม หรือเกิดการผิดเพี้ยนไปจนไม่เป็นรูปคลื่นสามเหลี่ยม การขยายกว้างออกนั้นเกิดขึ้นจาก 2 กรณี คือ การขยายกว้างออกเนื่องจากโมด และการขยายกว้างออกเนื่องจากความยาวคลื่น ซึ่งแบ่งออกเป็น การขยายกว้างออกเนื่องจากสารที่ใช้สร้าง การขยายกว้างออกเนื่องจากโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องรับ ดังรูปที่ 6.5 โดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร



รูปที่ 6.5 การต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องรับโดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เปิดสวิตช์ Power ทั้งเครื่องส่งและเครื่องรับ ทางด้านเครื่องส่งเมื่อจอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ Select Input ที่สวิตช์เมตริกซ์กดปุ่ม FNC จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ DC Internal ให้กดปุ่มลูกศรเลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลงจนกว่าจะพบข้อความ AC External และกดปุ่ม ENT

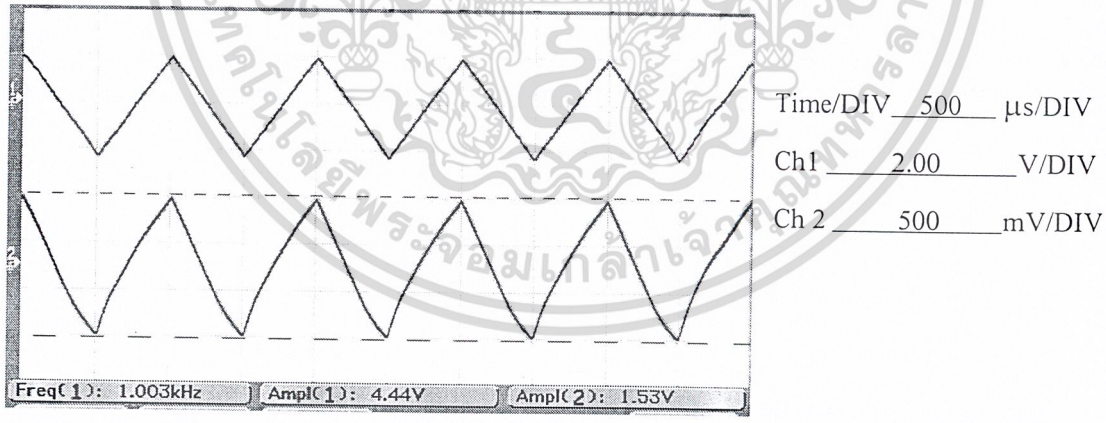
3. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 2 ทางด้านออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 2 เทียบกับกราวด์ตามลำดับ ทางด้านเครื่องรับ ปรับสวิตช์ไปที่ Triangle

4. ช่องวัดสัญญาณที่ 2 ของออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms วัดสัญญาณที่จุด Tr 5 เทียบกับกราวด์

5. ปรับค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุตที่เครื่องส่งจนกระทั่งสัญญาณเอาต์พุตที่ Tr 5 ไม่ผิดเพี้ยน

6. ปรับ Volt/DIV กับ Time/div ของออสซิลโลสโคปจนกระทั่งรูปสัญญาณที่ปรากฏบนหน้าจอออสซิลโลสโคปชัดเจน

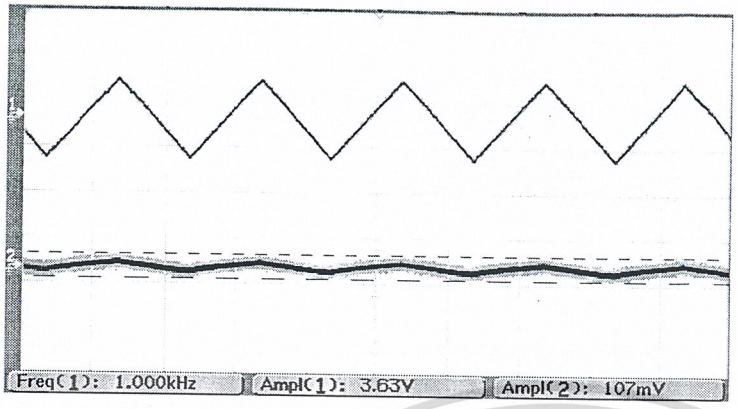
7. บันทึกค่าแรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับ



รูปที่ 6.6 แรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์

8. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 โดยวัดที่จุด Tx 1 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคปช่องวัดสัญญาณที่ 2 วัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

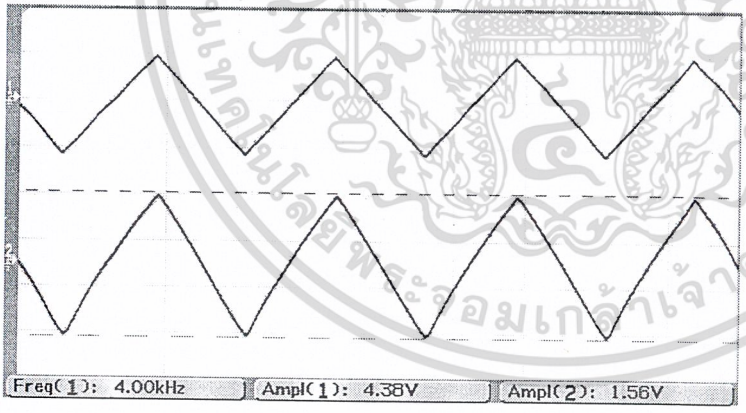


Time/DIV 500 µs/DIV
Ch1 2.00 V/DIV
Ch 2 500 mV/DIV

รูปที่ 6.7 การขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์

9. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 2 ทางด้านออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 2 เทียบกับกราวด์

10. ทำการทดลองตามข้อ 4, 5, และ 6 บันทึกค่าแรงดันที่วัดได้

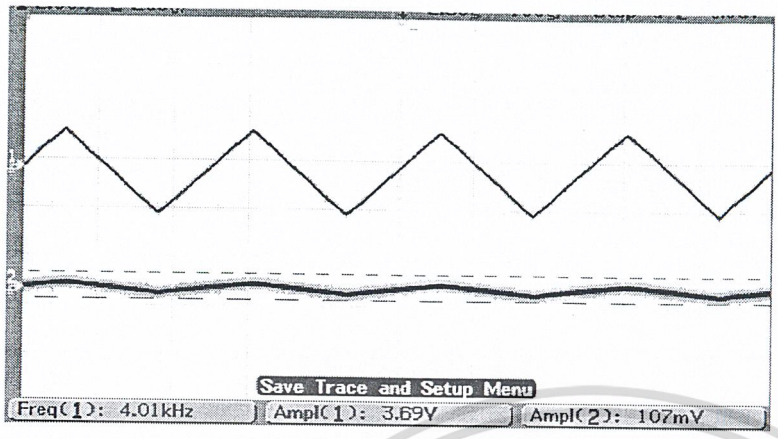


Time/DIV 5 0 µs/DIV
Ch1 2.00 V/DIV
Ch 2 500 mV/DIV

รูปที่ 6.8 แรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับที่ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์

11. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 วัดที่จุด Tx 1 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 2 โดยวัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Time/DIV 100 µs/DIV

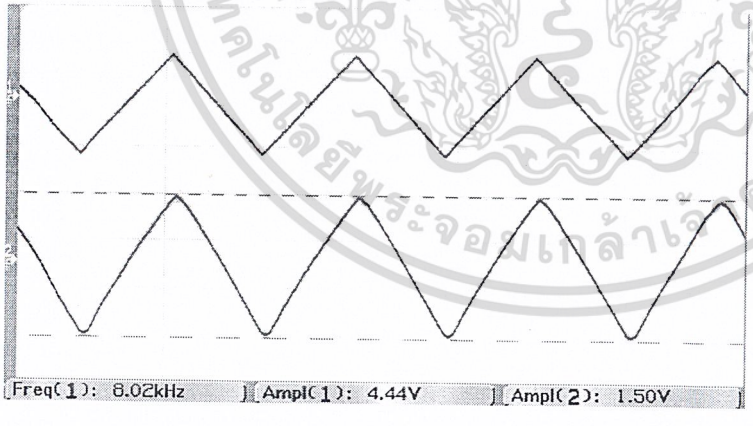
Ch1 2.00 V/DIV

Ch 2 200 mV/DIV

รูปที่ 6.9 การขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมที่ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์

12. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 2 ที่ออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 2 เทียบกับกราวด์

13. ทำการทดลองตามข้อ 4, 5, และ 6 บันทึกค่าที่วัดได้



Time/DIV 50 µs/DIV

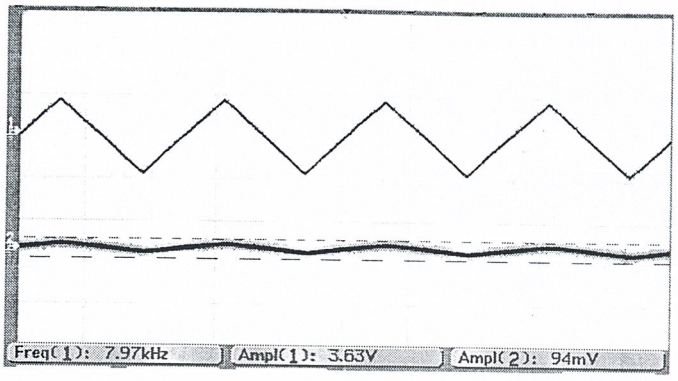
Ch1 2.00 V/DIV

Ch 2 500 mV/DIV

รูปที่ 6.10 แรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับที่ความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์

14. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 วัดที่จุด Tx 1 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 2 โดยวัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Time/DIV 50 μs/DIV

Ch1 2.00 V/DIV

Ch 2 200 mV/DIV

รูปที่ 6.11 การขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมที่ความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเป็นการส่งสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสงการที่จะส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่านเส้นใยนำแสงได้ต้องเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงก่อนโดยใช้แอลอีดี การเปลี่ยนสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมให้เป็นสัญญาณแสงนั้นแตกต่างกับการเปลี่ยนสัญญาณไซน์และสัญญาณสี่เหลี่ยม คือ สัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมนั้นประกอบขึ้นมาจากฟังก์ชันลาดเอียงบวกและฟังก์ชันลาดเอียงลบฟังก์ชันลาดเอียงนี้มีการเปลี่ยนสัญญาณตามเวลาเป็นอย่างเชิงเส้นทำให้มีกระแสไปขับอุปกรณ์กำเนิดแสงนั้นเป็นลักษณะฟังก์ชันลาดเอียงด้วย ดังนั้นสัญญาณแสงที่ได้จึงค่อยๆ สว่างอย่างเป็นเชิงเส้น เมื่อไปถึงภาครับก็จะเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์รับแสง แรงดันที่ตกคร่อมโหลดก็มีลักษณะของสัญญาณรูปสามเหลี่ยมนำแรงดันที่ตกคร่อมโหลดไปขยายอย่างเหมาะสมก็จะได้สัญญาณสามเหลี่ยมที่ไม่เพี้ยน ถ้าเกิดการนำสัญญาณไปขยายอย่างไม่เหมาะสมสัญญาณที่ได้จะเกิดการขยายกว้างออกทำให้สัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้ผิดเพี้ยนไปจากภาคส่ง

คำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลองจงอธิบายการส่งสัญญาณสามเหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสง

จากการทดลองการส่งสัญญาณสามเหลี่ยมผ่านเส้นใยนำแสงต้องเปลี่ยนสัญญาณสามเหลี่ยมให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยแอลอีดี กระแสที่มาขับแอลอีดีนั้นมีลักษณะเป็นสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเป็นฟังก์ชันลาดเอียงทางบวกและลบ ดังนั้นแอลอีดีจะค่อยๆ สว่าง และค่อยๆ ดับตามฟังก์ชันลาดเอียง สัญญาณนี้จะถูกส่งไปยังเส้นใยนำแสงเมื่อถึงภาครับอุปกรณ์รับแสงเมื่อแสงมาตกกระทบอุปกรณ์รับแสงความต้านของอุปกรณ์รับแสงก็เปลี่ยนตามแสงที่มาตกกระทบ เมื่อมีแสงมาตกกระทบมากความต้านทานของอุปกรณ์รับแสงน้อย

เอกสารนี้ได้ทำการเรียนรู้ได้ทำการให้ยืมเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ว่าเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแสงมาตกกระทบน้อยความต้านทานของความต้านทานของอุปกรณ์รับแสงก็จะมาก ทำให้มีแรงดันตกคร่อมโหลดเป็นสัญญาณรูปสามเหลี่ยมนำสัญญาณที่ตกคร่อมโหลดไปขยายอย่างเหมาะสมก็จะได้สัญญาณออกเอาต์พุตที่มีความถี่เหมือนกับภาคส่งแต่แอมพลิจูดมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับการขยาย

2. จากการทดลองจงอธิบายการเกิดการขยายกว้างออกของสัญญาณสามเหลี่ยม

การเกิดการขยายกว้างออกของสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมเกิดจากการที่แรงดันตกคร่อมโหลดนั้นมีค่าต่ำ เมื่อนำไปขยายซึ่งเป็นการขยายที่ไม่เหมาะสมแล้วจะได้สัญญาณเอาต์พุตที่การขยายกว้างออกขึ้น

3. สัญญาณสามเหลี่ยมแตกต่างกับสัญญาณไซน์ และสัญญาณสี่เหลี่ยมอย่างไร และมีผลอย่างไรต่อการเปลี่ยนสัญญาณสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

สัญญาณสามเหลี่ยมนั้นแตกต่างกับสัญญาณไซน์และสัญญาณสามเหลี่ยมคือ สัญญาณสามเหลี่ยมนั้นเกิดจากสัญญาณลาดเอียงบวกรวมกับสัญญาณลาดเอียงลบ สัญญาณสี่เหลี่ยมนั้นเกิดจากกสัญญาณขั้นบันไดรวมกัน และสัญญาณไซน์นั้นเกิดจากฟังก์ชันไซน์ เมื่อนำสัญญาณไปขับแอลอีดี กระแสนำไปขับแอลอีดีจะแตกต่างกันไปตามสัญญาณนั้นทำให้แอลอีดีกำเนิดแสงออกมาตามสัญญาณที่นำไปขับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 7
การส่งสัญญาณดิจิตอลผ่านเส้นใยนำแสง

วัตถุประสงค์

เพื่อให้นักศึกษาสามารถ

1. อธิบายหลักการการส่งสัญญาณดิจิตอลผ่านเส้นใยนำแสง
2. อธิบายข้อแตกต่างในการส่งสัญญาณแอนะลอก และสัญญาณดิจิตอลผ่านเส้นใยนำแสงได้
3. อธิบายการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแสงและการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณดิจิตอลได้
4. วัดและคำนวณหาค่าการลดทอนสัญญาณได้
5. วัด และอธิบายการขยายกว้างออกของสัญญาณดิจิตอลได้

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องส่ง (Transmitter)	1 เครื่อง
2. เครื่องรับ (Receiver)	1 เครื่อง
3. เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร	1 เส้น
4. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ พร้อมสายต่อวงจร	1 เครื่อง
5. ออสซิลโลสโคป พร้อมสายวัดสัญญาณ	1 เครื่อง
6. สายต่อวงจร	6 เส้น

ทฤษฎีเบื้องต้น

1. การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

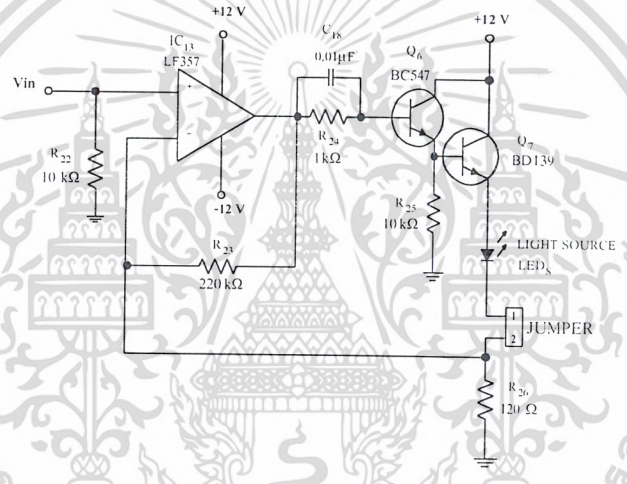
1.1 วงจรขับสัญญาณ

จากรูปที่ 7.1 เป็นวงจรขับสัญญาณ โดยจะจัดเป็นวงจรขยายความคลาดเคลื่อน (Error Amplifer) ที่ใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF357 ซึ่งคุณสมบัติของวงจรขยายความคลาดเคลื่อน คือ แรงดันอินพุตที่ป้อนให้แก่ขาบวกและขาลบของไอซีออปแอมป์จะต้องมีค่าเท่ากันเสมอ ดังนั้นเมื่อเกิดความร้อนขึ้นภายในทรานซิสเตอร์ หรือที่อุปกรณ์กำเนิดแสงเอง จนทำให้กระแสไหลผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์กำเนิดแสงมีค่ามากขึ้น วงจรขยายความคลาดเคลื่อนนี้จะทำหน้าที่ปรับอัตราขยายให้ลดลงจนกระทั่งมีกระแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงตามที่กำหนด

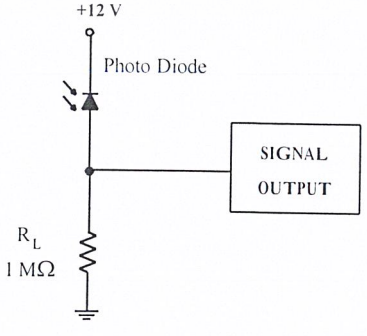
ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF357 ยังมีหน้าที่ในการขยายสัญญาณทางด้านอินพุตให้แรงขึ้นเพื่อไปขับทรานซิสเตอร์ Q_6 และ Q_7 ซึ่งต่อกันอยู่แบบดาร์ลิงตันทำหน้าที่ควบคุมกระแสให้ไหลผ่านแอลอีดีตามแรงดันที่ได้รับจากขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 ถ้าแรงดันที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 มีค่าสูงกระแสก็จะไหลผ่านแอลอีดีก็มีค่าสูง แอลอีดีจะกำเนิดแสงออกมาได้มาก ถ้าแรงดันที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 มีค่าต่ำจะทำให้มีกระแสไหลผ่านแอลอีดีต่ำ แอลอีดีก็จะกำเนิดแสงออกมาได้ต่ำ



รูปที่ 7.1 วงจรขับสัญญาณ

2. การเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

2.1วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า



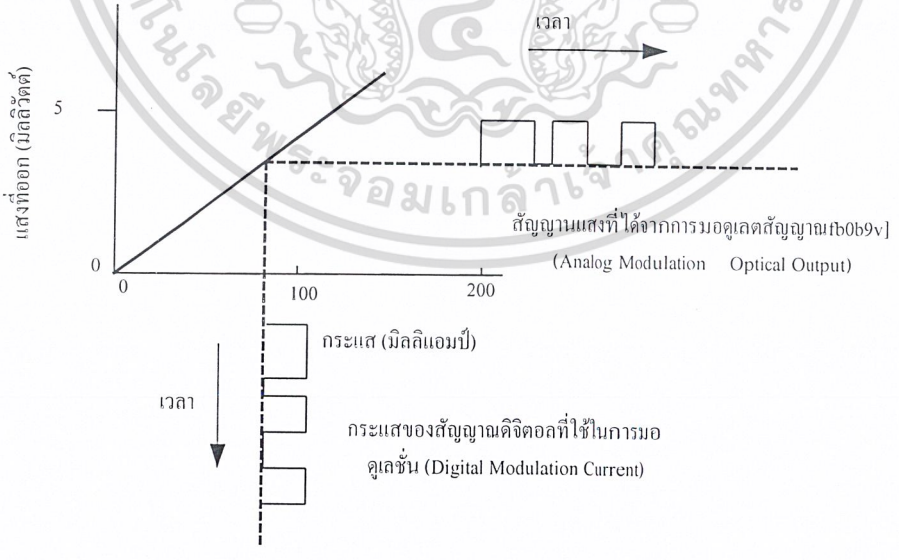
รูปที่ 7.2 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 7.2 เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้อุปกรณ์รับแสงเบอร์ IF-D91 ซึ่งวงจรจะมีการจัดแรงดันไบแอสกลับให้แก่อุปกรณ์รับแสง โดยจะมีหลักการทำงาน คือ เมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบจะทำให้ แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์รับแสง มีค่าเท่ากับแรงดันที่จัดไบแอสกลับ คือ 12 โวลต์ จึงทำให้กระแสที่ไหลผ่าน R_L มีค่า 0 แอมป์ แต่เมื่อมีแสงมาตกกระทบจะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์รับแสงลดลง ทำให้มีกระแสที่ไหลผ่าน R_L มีค่ามากขึ้น จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อม R_L มากขึ้นตามไปด้วย

3. การส่งสัญญาณดิจิตอลผ่านเส้นใยนำแสง

สัญญาณดิจิตอลในระบบการสื่อสารโดยทั่วไปนั้นเป็นลักษณะของสัญญาณพัลส์ ซึ่งสัญญาณพัลส์นั้นมี 2 ระดับ คือ สัญญาณที่มีระดับสูงสุด (5 โวลต์) มีลอจิกเป็น “1” และสัญญาณที่มีระดับต่ำสุด (0 โวลต์) มีลอจิกเป็น “0” การเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณแสงนั้นเป็นการทำให้อุปกรณ์กำเนิดแสงนั้นทำงาน (ON) หรือ หยุดทำงาน (OFF) ตามระดับสัญญาณลอจิกที่รับเข้ามาในกรณีที่อุปกรณ์กำเนิดแสงนั้นรับสัญญาณที่มีลอจิก “0” เข้ามาอุปกรณ์กำเนิดแสงจะเปล่งแสงออกมาน้อยมากหรือไม่เปล่งแสงออกมาเลย ในกรณีที่อุปกรณ์กำเนิดแสงนั้นรับสัญญาณที่มี ลอจิก “1” เข้ามาอุปกรณ์กำเนิดแสงจะเปล่งแสงออกมามากที่สุด นั่นคือเมื่อสัญญาณอินพุตมีค่าเกินระดับหนึ่งก็จะทำให้อุปกรณ์กำเนิดแสงนั้นจะทำงานเต็มที่ คือจะมีแสงออกมามากที่สุด แต่เมื่อสัญญาณอินพุตมีค่าต่ำกว่าระดับหนึ่งก็จะทำให้อุปกรณ์กำเนิดแสงนั้นหยุดทำงาน ทำให้ไม่เปล่งแสงออกมา

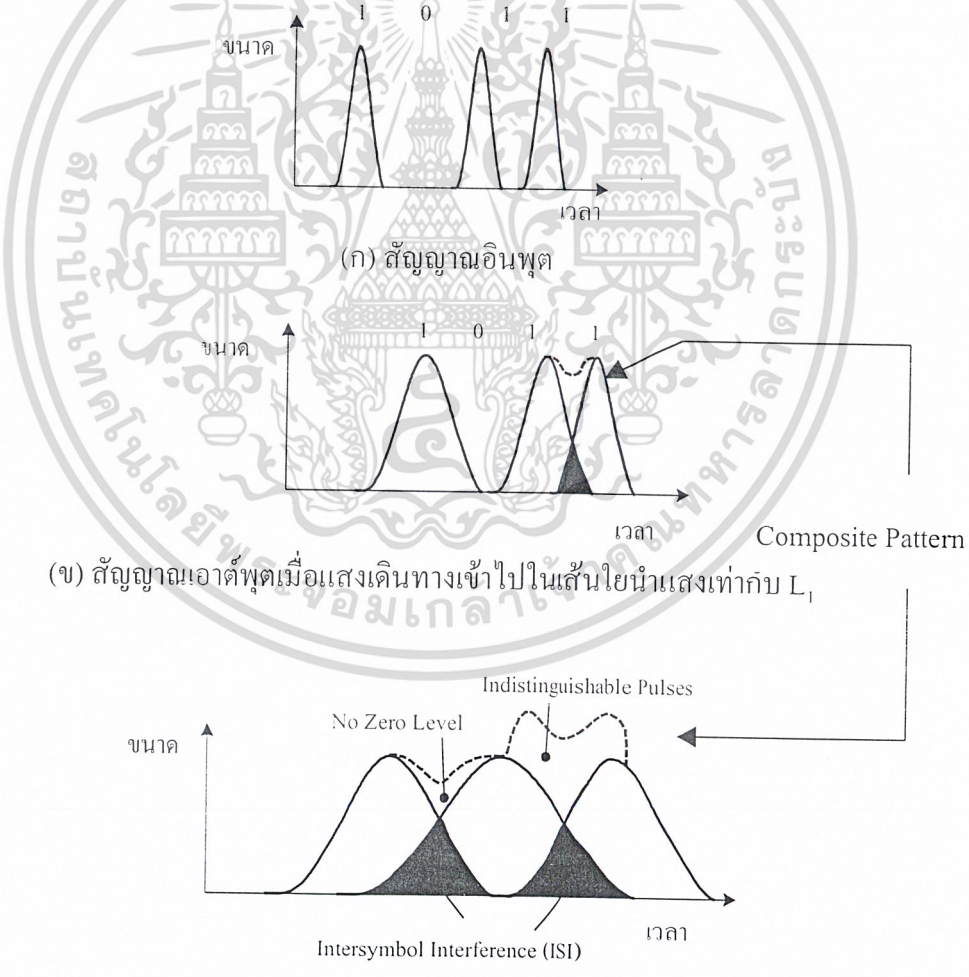


รูปที่ 7.3 การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงของสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณแสงที่เป็นสัญญาณดิจิตอลจะถูกส่งไปในเส้นใยนำแสงไปยังเครื่องรับซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2

รูปแบบการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงในรูปที่ 7.3 ความเข้มแสงของอุปกรณ์กำเนิดแสงจะถูกมอดูเลตในลักษณะที่เป็นเชิงเส้นกับแรงดันของสัญญาณไฟฟ้าอินพุต โดยไม่มีการพิจารณาถึงเรื่องเฟสหรือความถี่ของสัญญาณแสง ส่วนทางด้านรับก็จะตอบสนองระดับพลังงาน (ความเข้ม) ของสัญญาณแสงโดยไม่มีการพิจารณาในเรื่องความถี่หรือเฟสเช่นเดียวกัน ซึ่งระบบที่ทำงานในลักษณะดังกล่าวนี้เราเรียกการมอดูเลตที่เกิดขึ้นที่เครื่องส่งว่า "การมอดูเลตความเข้ม (Intensity Modulation ; IM)" และการดีมอดูเลตที่เครื่องรับเรียกว่า "การตรวจจับแสงโดยตรง (Direct Detection ; DD)"



รูปที่ 7.4 การเกิดการขยายกว้างออกของสัญญาณพัลส์ 1011 เมื่อผ่านเส้นใยนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การขยายกว้างออก

การขยายกว้างออกของสัญญาณแสงที่จะทำให้เกิดการผิดเพี้ยนทั้งในกรณีที่เป็นการส่งสัญญาณแบบแอนะลอก และดิจิตอล ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วเราจะใช้ในการส่งสัญญาณแบบดิจิตอล ดังนั้นเมื่อเกิดการขยายกว้างออกก็ทำให้สัญญาณพัลส์ของแสงที่ทำการส่งและเดินทางไปในเส้นใยนำแสง การขยายกว้างออกเกิดขึ้นดังรูปที่ 7.4 ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการซ้อนทับกันของพัลส์ ทำให้ภาครับไม่สามารถแยกสัญญาณออกจากกันได้ ซึ่งเราเรียกผลที่เกิดขึ้นนี้ว่า "Intersymbol Interference (ISI)" หากมีค่า ISI สูงก็จะส่งผลให้ความผิดพลาดสูงขึ้นการขยายกว้างออกนั้นเกิดขึ้นจาก 2 กรณี คือ การขยายกว้างออกเนื่องจากโมด และการขยายกว้างออกเนื่องจากความยาวคลื่น ซึ่งแบ่งออกเป็น การขยายกว้างออกเนื่องจากสารที่ใช้สร้าง และการขยายกว้างออกเนื่องจากโครงสร้าง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องรับ ดังรูปที่ 7.5 โดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกแบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร

2. เปิดสวิตช์ Power ทั้งเครื่องส่ง และเครื่องรับ ทางด้านเครื่องส่งเมื่อจอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ Select Input ที่สวิตช์เมตริกซ์กดปุ่ม FNC จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความ DC Internal ให้กดปุ่มลูกศรเลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลงจนกว่าจะพบข้อความ AC External และกดปุ่ม ENT

3. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณ TTL ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 3 ทางด้านออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 3 เทียบกับกราวด์ ตามลำดับ

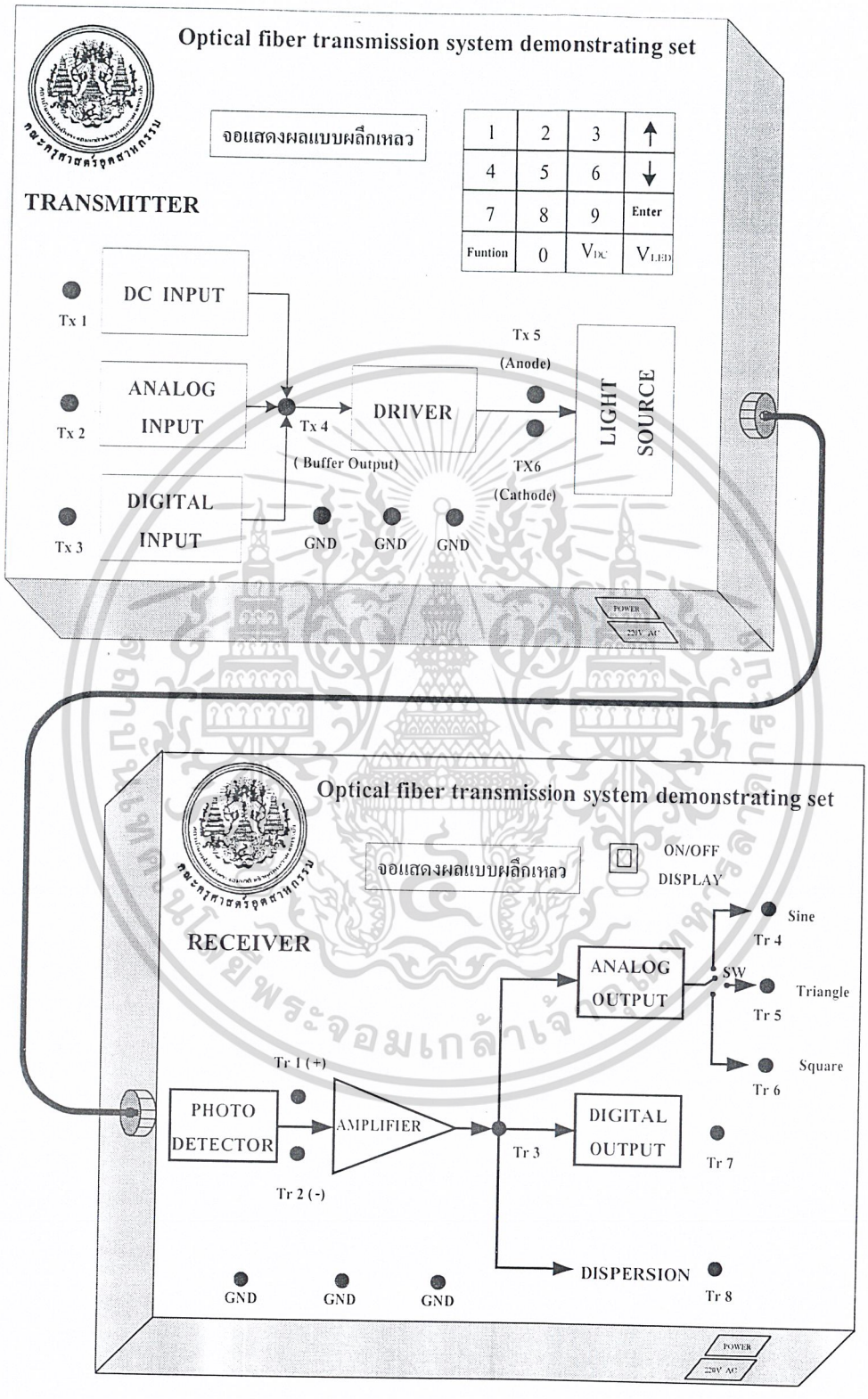
4. ทางด้านเครื่องรับ ปรับสวิตช์ไปที่ Sin ช่องวัดสัญญาณที่ 2 ของออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 วัดสัญญาณที่จุด Tr 7 เทียบกับกราวด์

5. ปรับค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุตที่เครื่องส่งจนกระทั่งสัญญาณเอาต์พุตที่ Tr 7 ไม่ผิดเพี้ยน

6. ปรับ Volt/DIV กับ Time/div ของออสซิลโลสโคปจนกระทั่งรูปสัญญาณที่ปรากฏบนหน้าจอออสซิลโลสโคปชัดเจน

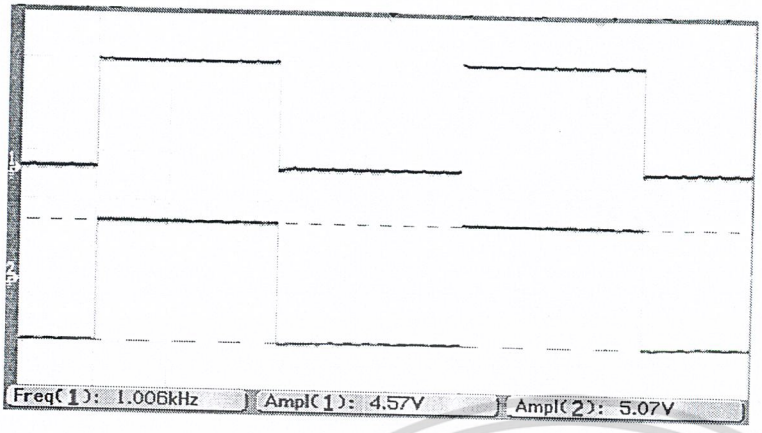
7. บันทึกค่าแรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.5 การต่อเครื่องส่งเข้ากับเครื่องรับโดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก แบบมีเปลือกหุ้มยาว 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



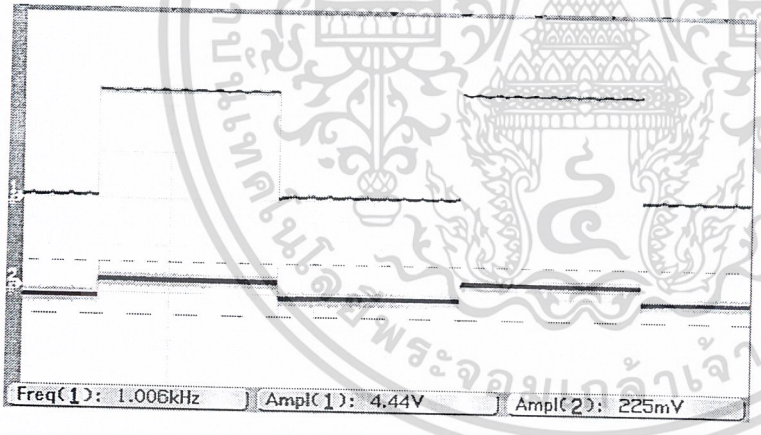
Time/DIV 200 µs/DIV

Ch1 2.00 V/DIV

Ch 2 2.00 V/DIV

รูปที่ 7.6 แรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตของระบบที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์

8. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 โดยวัดที่จุด Tx 3 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคปช่องวัดสัญญาณที่ 2 วัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้



Time/DIV 200 µs/DIV

Ch1 2.00 V/DIV

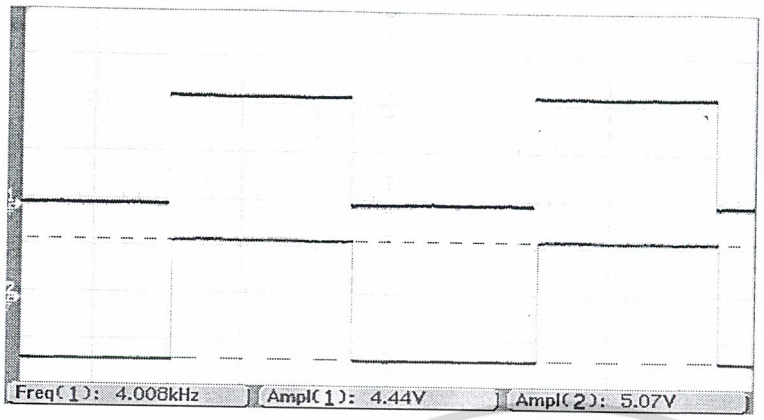
Ch 2 200 mV/DIV

รูปที่ 7.7 การขยายกว้างออกของสัญญาณ TTL ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์

9. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณ TTL ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 3 ทางด้าน ออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 3 เทียบกับกราวด์

10. ทำการทดลองตามข้อ 4, 5, และ 6 บันทึกค่าแรงดันที่วัดได้

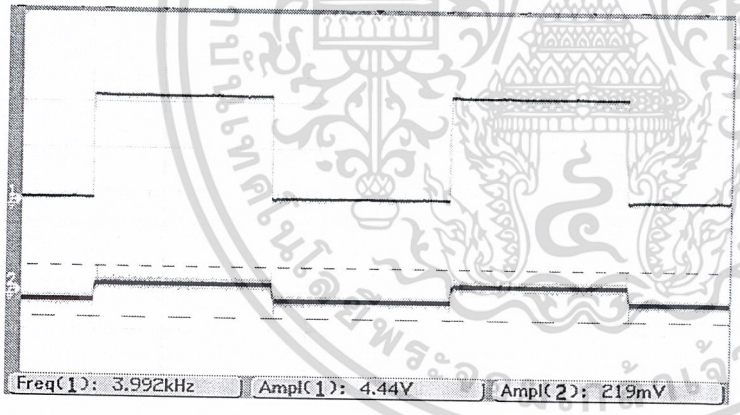
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Time/DIV 50 µs/DIV
Ch1 2.00 V/DIV
Ch 2 2.00 V/DIV

รูปที่ 7.8 แรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับที่ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์

11. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 วัดที่จุด Tx 3 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 2 โดยวัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้



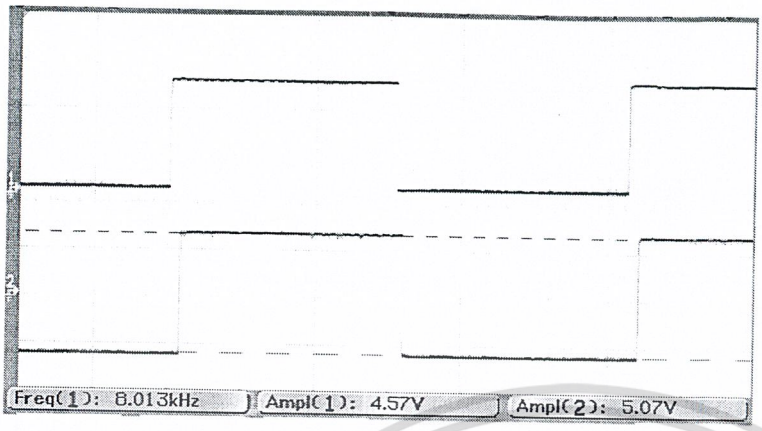
Time/DIV 50 µs/DIV
Ch1 2.00 V/DIV
Ch 2 200 mV/DIV

รูปที่ 7.9 การขยายกว้างออกของสัญญาณ TTL ที่ความถี่ 4 กิโล.ฮิรตซ์

12. ทางด้านเครื่องส่งป้อนสัญญาณ TTL ความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์ ที่จุด Tx 3 ที่ออสซิลโลสโคป ตั้งค่า Time/DIV เท่ากับ 0.1 ms ช่องวัดสัญญาณที่ 1 ตั้งค่า Volt/DIV เท่ากับ 0.5 V/DIV วัดสัญญาณที่จุด Tx 3 เทียบกับกราวด์

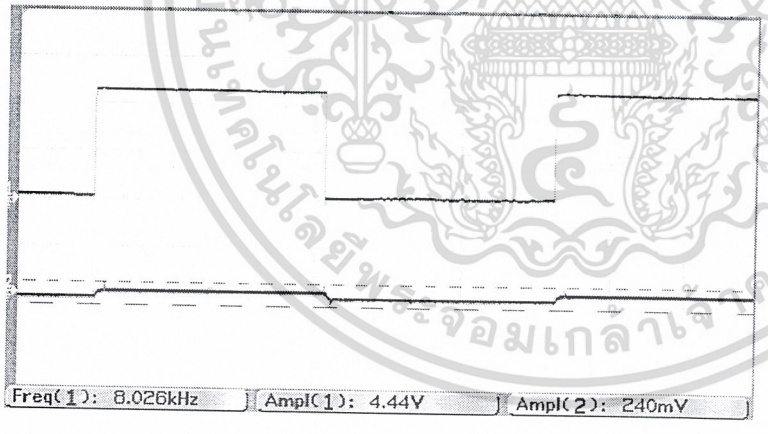
13. ทำการทดลองตามข้อ 4, 5, และ 6 บันทึกค่าที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.10 แรงดันอินพุตของเครื่องส่งเทียบกับแรงดันเอาต์พุตของเครื่องรับที่ความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์

14. ทางด้านเครื่องส่งย้ายสายออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 1 วัดที่จุด Tx 3 เทียบกับกราวด์ ส่วนเครื่องรับ ย้ายสายของออสซิลโลสโคปของช่องวัดสัญญาณที่ 2 โดยวัดที่จุด Tr 8 เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าสัญญาณที่วัดได้



รูปที่ 7.11 การขยายกว้างออกของสัญญาณ TTL ที่ความถี่ 8 กิโลเฮิรตซ์

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเป็นการส่งสัญญาณดิจิตอลผ่านเส้นใยนำแสงซึ่งสัญญาณที่ใช้ส่งเป็นสัญญาณพัลส์ TTL ซึ่งมีลักษณะเป็นเหมือนสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมแต่สัญญาณพัลส์ TTL จะมีเฉพาะช่วงบวกเท่านั้น ระดับสัญญาณมีสูงสุดคือ 5 โวลต์ (ลอจิก 1) และต่ำสุด 0 โวลท์ (ลอจิก 0) เมื่อส่งสัญญาณดิจิตอลผ่านเส้นใยนำแสงนั้น ต้องเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแสงแล้วจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผ่านเส้นใยนำแสง ลักษณะของสัญญาณดิจิตอลจะเป็นพัลส์ลอจิก 0 กับ 1 ดังนั้นกระแสที่ไปขับแอลอีดีจึงมีค่าสูงสุด และต่ำสุด ดังนั้น แอลอีดีจึงกำเนิดแสงออกมาสว่าง และดับ แทนลอจิก 0 กับ 1 ทางด้านภาครับอุปกรณ์รับแสงก็เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ได้เป็นสัญญาณพัลส์ลอจิก 0 กับ 1 สัญญาณที่ได้จะถูกนำไปขยายที่พอเหมาะและผ่านวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ สัญญาณที่มีแอมพลิจูดต่ำไม่ถึง 2.5 โวลต์ วงจรจะผลิตแรงดันออกมาต่ำสุด คือ 0 โวลท์ (ลอจิก 0) และเมื่อมีแอมพลิจูดสูงกว่า 2.5 โวลต์ วงจรจะผลิตแรงดันออกมาสูงสุด คือ 5 โวลต์ การสูญเสียกำลังงานของสัญญาณดิจิตอลที่ส่งผ่านเส้นใยนำแสงจะมีการสูญเสียกำลังงานต่ำกว่าสัญญาณแอนะลอกในรูปคลื่นไซน์ เนื่องจากมีการส่งสัญญาณเพียง 2 ระดับ คือ 0 (ดับ) และ 1 (สว่าง) การขยายกว้างออกของสัญญาณนั้นก็จะมีน้อยกว่าเช่นเดียวกัน ส่วนแรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสงที่มีลักษณะเป็นพัลส์ช่วงลบที่ไม่สมบูรณ์นั้นเกิดจากการที่สัญญาณดิจิตอลนั้นมีการเปลี่ยนสภาวะที่เร็วมากทำให้ในช่วงลบแอลอีดีเปลี่ยนสภาวะการทำงานไม่ทันจึงเกิดกระแสรั่วไหลขึ้นทำให้ได้รูปสัญญาณตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดแสงเป็นพัลส์ที่ไม่สมบูรณ์

คำถามท้ายการทดลอง

1. สัญญาณดิจิตอลแตกต่างกับสัญญาณสี่เหลี่ยมอย่างไร

ในการทดลองสัญญาณสี่เหลี่ยมนั้นเป็นสัญญาณที่มีทั้งช่วงบวกและช่วงลบ แอมพลิจูดของสัญญาณมีทั้งด้านบวกและลบ ส่วนสัญญาณกดิจิตอลนั้น จะเป็นลอจิก 0 กับ 1ไม่มีสัญญาณช่วงลบ

2. จงอธิบายการส่งสัญญาณดิจิตอลผ่านเส้นใยนำแสง

จากการทดลองเป็นการส่งสัญญาณดิจิตอลผ่านเส้นใยนำแสงซึ่งสัญญาณสัญญาณที่ใช้ส่งเป็นสัญญาณพัลส์ TTL ซึ่งมีลักษณะเป็นเหมือนสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม แต่สัญญาณพัลส์ TTL จะมีเฉพาะช่วงบวกเท่านั้น ระดับสัญญาณมีแอมพลิจูดสูงสุดคือ 5 โวลต์ (ลอจิก 1) และต่ำสุด 0 โวลต์ (ลอจิก 0) เมื่อส่งสัญญาณดิจิตอลผ่านเส้นใยนำแสงนั้น ต้องเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแสงแล้วจึงส่งผ่านเส้นใยนำแสง ลักษณะของสัญญาณดิจิตอลจะเป็นพัลส์ลอจิก 0 กับ 1 ดังนั้นกระแสที่ไปขับแอลอีดีจึงมีค่าสูงสุด และต่ำสุด ดังนั้น แอลอีดีจึงกำเนิดแสงออกมาสว่าง และดับ แทนลอจิก 0 กับ 1 ทางด้านเครื่องรับอุปกรณ์รับแสงก็เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ได้เป็นสัญญาณพัลส์ลอจิก 0 กับ 1 สัญญาณที่ได้จะถูกนำไปขยายที่พอเหมาะ และผ่านวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ ถ้าสัญญาณที่มีแอมพลิจูดต่ำไม่ถึง 2.5 โวลต์ วงจรจะผลิตแรงดันออกมาต่ำสุด คือ 0 โวลต์ (ลอจิก 0) และเมื่อมีแอมพลิจูดสูงกว่า 2.5 โวลต์ วงจรจะผลิตแรงดันออกมาสูงสุด คือ 5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การขยายกว้างออกของสัญญาณดิจิตอลแตกต่างกับการขยายกว้างออกของสัญญาณแอนะลอกอย่างไร

การขยายกว้างออกของสัญญาณดิจิตอลก็เหมือนกับสัญญาณแอนะลอก คือสัญญาณจะมีแอมพลิจูดลดลง และเกิดช่วงเวลาไต่ขึ้น ไต่ลงอย่างเห็นได้ชัดเจน เมื่อนำสัญญาณนั้นไปผ่านวงจรเปรียบเทียบโดยไม่มีการขยายที่ไม่พอเหมาะแล้วสัญญาณทางด้านเอาต์พุตก็จะไม่เหมือนเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ชูพงศ์ จุลานนท์. **"ชุดฝึกระบบสื่อสารดิจิตอลผ่านเส้นใยแสง."** ปริญญานิพนธ์ครุศาสตร์อุสาหกรรมบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.2538

ปรีชา ยุพาพิน. **เครือข่ายใยแก้วนำแสง.** พิมพ์ครั้งที่2. กรุงเทพฯ : ส.ส.ท..2543

พงษ์เกียรติ เชษฐพิทักษ์สกุล. **เอกสารประกอบการเรียนวิชาการสื่อสารเส้นใยแสง.** กรุงเทพฯ : คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ยืน ปาระเคน. **วิศวกรรมเส้นใยแสง.** กรุงเทพฯ : ประสานมิตร. ม.ป.พ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายวีรพัฒน์ จิตร์ภักดี
วัน เดือน ปีเกิด	25 พฤษภาคม พ.ศ. 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ภูมิลำเนา	28/1 หมู่ 1 แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
ที่อยู่ปัจจุบัน	16 หมู่ 13 แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์	0–2737-4652

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดพลมานีย์ กรุงเทพมหานคร
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนพรตพิทยพยัต กรุงเทพมหานคร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคกาญจนาภิเษกสมุทรปราการ จ. สมุทรปราการ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา จ.ฉะเชิงเทรา
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	ตนเป็นที่พึ่งแห่งตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นางสาวศาลิณี เกตุมณี
วัน เดือน ปีเกิด	29 มิถุนายน พ.ศ. 2523
สถานที่เกิด	จังหวัดชุมพร
ภูมิลำเนา	109 หมู่ 5 ต.ตากแดด อ.เมือง จ.ชุมพร 86000
ที่อยู่ปัจจุบัน	109 หมู่ 5 ต.ตากแดด อ.เมือง จ.ชุมพร 86000
โทรศัพท์	0-77 50-6145

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดสุพรรณนิมิต จ.ชุมพร
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสอาดเผดิมวิทยา จ.ชุมพร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคชุมพร จ.ชุมพร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคชุมพร จ.ชุมพร
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับรางวัล	รางวัลรองชนะเลิศอันดับ 2 สิ่งประดิษฐ์คนรุ่นใหม่
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	ขยัน ตั้งใจ มีวินัย ซื่อสัตย์ อดทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายอิทธิพงศ์ แสงเพลิง
วัน เดือน ปีเกิด	4 มิถุนายน พ.ศ. 2520
สถานที่เกิด	จังหวัดนครปฐม
ภูมิลำเนา	3 หมู่ 3 ต.บางระกำ อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม 73120
ที่อยู่ปัจจุบัน	78/2 หมู่ 3 ต.บางระกำ อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม 73120
โทรศัพท์	0–3420–6223 และ 0–9144-1261

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดไทร สินศึกษาลัย จ.นครปฐม
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนพระปฐมวิทยาลัย จ.นครปฐม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคนครปฐม จ.นครปฐม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี จ.ราชบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-

คติพจน์

หากไม่ลงมือทำ ก็จะไม่พบปัญหา
เมื่อไม่พบปัญหา ก็จะไม่รู้วิธีแก้ปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายราชัน เจริญศักดิ์
วัน เดือน ปีเกิด	4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดฉะเชิงเทรา
ภูมิลำเนา	16 หมู่ 13 ต.ดอนฉิมพลี อ.บางน้ำเปรี้ยว จ.ฉะเชิงเทรา 24170
ที่อยู่ปัจจุบัน	16 หมู่ 13 ต.ดอนฉิมพลี อ.บางน้ำเปรี้ยว จ.ฉะเชิงเทรา 24170
โทรศัพท์	0-9451-7215

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนสุเหล่าคู้ จ.ฉะเชิงเทรา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนดอนฉิมพลีพิทยา จ.ฉะเชิงเทรา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา จ.ฉะเชิงเทรา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา จ.ฉะเชิงเทรา
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	ทำดีได้ดี ทำชั่วได้เอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้