

ปริญญาบัตร

เครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ 2 ช่อง โดยระบบมัลติเพล็กซ์ผ่านเส้นใยแสง
2 CHANNELS TELEVISION SIGNAL TRANSMITTER AND RECEIVER
BY MULTIPLEX SYSTEM PASS OPTICAL FIBER



นายสุก สรีพิพัฒน์
นายสุระเจตน์ อ่อนฤทธิ
นายอดุล ประสิทธิ์
นายอภิชาติ วนศิริพงศ์



A021297

เลขที่
เลขทะเบียน	1528 021297
วัน เดือน ปี	๒๐๓๘ ๒๕๓๙

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท เครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณ โทรทัศน์ 2 ช่อง

โดยระบบมัลติเพล็กซ์ผ่านเส้นใยแสง


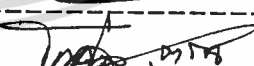
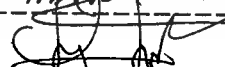
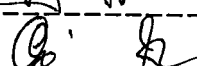
2 CHANNELS TELEVISION SIGNAL TRANSMITTER AND
RECEIVER BY MULTIPLEX SYSTEM PASS OPTICAL FIBER

ชื่อนักศึกษา 1. นายสุกล ศรีพิพัฒน์ รหัสประจำตัว 37031222
2. นายสุระเจตน์ อ่อนฤทธิ์ รหัสประจำตัว 37037228
3. นายอดุล ประสิทธิ์ รหัสประจำตัว 37031229
4. นายอภิชาติ วนศิริพงศ์ รหัสประจำตัว 37031233

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท

1. อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์
2. อาจารย์วิสุทธิ อธิพรธรรม
3. อาจารย์กิติพงศ์ มะโน

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์วิสุทธิ อธิพรธรรม	
2. อาจารย์โกศล ตราชู	
3. อาจารย์ประเสริฐ เคนพันค้อ	
4. อาจารย์อำพล ทองระอา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 7 พ.ค. 2539 เวลา 12.30 น. ถึงเวลา 13.30 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม



ภาควิชารับรองแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัด
ผศ.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
วันที่ 11 เดือน 10 พ.ศ. 39

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ 2 ช่อง โดยระบบมัลติเพล็กซ์ผ่านเส้นใยแสง
2 CHANNELS TELEVISION SIGNAL TRANSMITTER AND RECEIVER BY
MULTIPLEX SYSTEM PASS OPTICAL FIBER

ผู้จัดทำ

1. นายสุกมล ศรีพิพัฒน์
2. นายสุระเจตน์ อ่อนฤทธิ
3. นายอดุล ประสทธิ
4. นายอภิชาติ วนศิริพงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงนาม.....

(อาจารย์พระวุฒิ สุวรรณจันทร์)

ลงนาม.....

(อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

ลงนาม.....

(อาจารย์กิติพงศ์ มะโน)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

ลงนาม.....

(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ 2 ช่อง โดยระบบมัลติเพล็กซ์ผ่านเส้นใยแสง
2 CHANNELS TELEVISION SIGNAL TRANSMITTER AND RECEIVER BY
MULTIPLEX SYSTEM PASS OPTICAL FIBER

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาระบบการทำงานของเครื่องสื่อสารโดยแสง
2. เพื่อศึกษาและออกแบบวงจรส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ของระบบการสื่อสารโดยแสง
3. เพื่อศึกษาวิธีการมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารโดยแสง
4. เพื่อสร้างเครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบการสื่อสารโดยแสง
5. เพื่อสามารถนำไปประยุกต์เป็นสื่อในการศึกษาการสื่อสารโดยแสง

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เพื่อสามารถนำไปศึกษาถึงหลักการการทำงานของระบบการสื่อสารโดยแสง
2. เพื่อสามารถใช้เรียนรู้การออกแบบวงจรส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบการสื่อสารโดยแสง
3. เพื่อสามารถใช้ศึกษาถึงหลักการการทำงานของมัลติเพล็กซ์ของระบบการสื่อสารโดยแสง
4. เพื่อสามารถเรียนรู้และได้ประสบการณ์จากการสร้างเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบการสื่อสารโดยแสง
5. เพื่อสามารถนำไปประยุกต์เพื่อเป็นสื่อในการศึกษาระหว่างการสื่อสารโดยแสงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ 2 ช่อง โดยระบบมัลติเพล็กซ์ผ่านเส้นใยแสง

นายศุกล ศรียุพัฒน์

นายสุระเจตน์ อ่อนฤทธิ์

นายอดุล ประสิทธิ์

นายอภิชาติ วนศิริพงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์

อาจารย์วิสุทธิ อธิพรธรรม

อาจารย์กิติพงศ์ มะโน

ปีการศึกษา 2538

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงโดยวิธีการรวมสัญญาณความถี่ของสัญญาณโทรทัศน์จำนวน 2 ช่อง ช่องที่ 1 เป็นสัญญาณภาพและสัญญาณเสียง ในช่องที่ 2 ประกอบด้วยสัญญาณภาพ สัญญาณเสียง และสัญญาณพาหะความถี่กลาง 38.9 MHz ในการทดลองใช้ความยาวของเส้นใยแสงขนาด 15 เมตร หัวรับส่งสัญญาณเป็นแบบไดโอดเปล่งแสงการส่งและรับเป็นแบบแอนะล็อก และทำการทดสอบการส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์เพื่อเปรียบเทียบความคมชัดของสัญญาณระหว่างเส้นใยแสงและสายโคแอกเชียลด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2 CHANNELS TELEVISION SIGNAL TRANSMITTER AND RECIEVER
BY MULTIPLEX SYSTEM PASS OPTICAL FIBER**

MR.SUKOL	SRIPIPAT
MR.SURAJECT	ONRIT
MR.ADUL	PRASIT
MR.APICHART	WANASIRIPONG

ADVISORS

MR.PEERA WUT	SUWANJAN
MR.WISUIT	ATIPORNTUM
MR.KITIPONG	MANO

1995

ABSTRACT

This thesis present the communication by optical fiber is using frequency division multiplex division in transmitting 2 channels television signal. The first channel is transmitting video signal and sound signal , second channel transmitting video signal , sound signal and 38.9 MHz intermediate frequency carrie signal. The project use a optival fiber is 15 meter long , transmiiter module and reciever module of a optic signal is Light Emitting Diode (LED). The transmitter and reciever is analog system. This thesis is test transmitting and recieving a television signal compare between optical fiber and coaxial cable.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบคุณอาจารย์
 ที่ระวุฒิ สุวรรณจันทร์ อาจารย์วิสุทธิ อธิพรธรรม อาจารย์กิติพงศ์ มะโน ที่ได้ให้คำปรึกษา
 แนวทางแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการทำปริญญาานิพนธ์ครั้งนี้ ขอขอบคุณคณาจารย์
 ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ
 อุปกรณ์ และสถานที่ในการปฏิบัติงาน ขอขอบคุณพระคุณของบิดา มารดาที่ได้ช่วยเหลือทาง
 ด้านทุนทรัพย์และกำลังใจในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบคุณฝ่ายบริการบริษัท
 ฟิลิปส์อิเล็กทรอนิกส์ แห่งประเทศไทย เพื่อนๆ และบุคคลผู้อยู่เบื้องหลังทุกท่านที่ทำให้
 ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จตรงตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IV

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VIII
สารบัญตาราง	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวความคิดในการทำปริญญาานิพนธ์	1
1.2 เนื้อหาโดยสังเขปของปริญญาานิพนธ์	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.1.1 ข้อดีของการสื่อสารเส้นใยแสง	3
2.1.2 อุปกรณ์การเชื่อมต่อโยงการส่งผ่านเส้นใยแสง	3
2.2 คุณสมบัติของแสง	5
2.2.1 คุณสมบัติและคุณลักษณะของแสง	5
2.2.2 กฎ 3 ข้อของแสง	6
2.2.3 โคฮีเร้นซ์ของแสง	8
2.3 การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง	9
2.3.1 โครงสร้างของการกำเนิดแสง	9
2.3.2 โครงสร้างและการทำงานของอุปกรณ์ปล่อยแสงของสารกึ่งตัวนำ	11
2.3.3 สารที่ใช้ในการสร้างอุปกรณ์ปล่อยแสง	14
2.3.4 โครงสร้างของอุปกรณ์ปล่อยแสง	16
2.3.5 คุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์ปล่อยแสง	18
2.3.6 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ปล่อยแสงกับเส้นใยแสง	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นใด
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 2.4 การเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นใด
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 2.4.1 โครงสร้างและการทำงานของอุปกรณ์รับแสง เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ

เรื่อง	หน้า
2.4.2 สารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง	22
2.4.3 ชนิดของอุปกรณ์รับแสง	24
2.4.4 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง	24
2.4.5 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์รับแสงกับเส้นใยแสง	26
2.5 เส้นใยแสง	27
2.5.1 โครงสร้างของเส้นใยแสง	28
2.5.2 ชนิดของเส้นใยแสง	31
2.5.3 การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง	32
2.5.4 MODE การเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง	34
2.5.5 การสูญเสียแสงในเส้นใยแสง	36
2.6 ระบบสื่อสารเส้นใยแสง	37
2.6.1 วงจรภาคส่ง	37
2.6.2 วงจรรับ	37
2.6.3 วงจรดีเทกเตอร์	40
2.6.4 การเข้ารหัส	41
2.6.5 สถานีทวนสัญญาณ	43
2.7 การมอดูเลต	43
2.7.1 พัลส์แอมป์ลิทูดมอดูเลชัน	43
2.7.2 พัลส์โคดมอดูเลชัน	44
2.7.3 พัลส์โพซิชั่นมอดูเลชัน	44
2.7.4 พัลส์วริคธมอดูเลชัน	44
2.8 ระบบมัลติเพล็กซ์	45
2.8.1 ระบบการแบ่งเวลา	45
2.8.2 ระบบการแบ่งความถี่	45
2.8.3 ระบบแบ่งความยาวคลื่นหรือ	45
2.9 ระบบติดต่อดูสาร	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 2.9.1 ตัวอย่างการออกแบบระบบ 47
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	หน้า
2.9.2 ประสิทธิภาพของระบบ	50
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	51
3.1 ฟังก์ชันการทำงานของโครงการ	51
3.1.1 ฟังก์ชันการทำงานของเครื่องส่ง	51
3.1.2 ฟังก์ชันการทำงานของเครื่องรับ	52
3.2 วงจรด้านส่ง	52
3.2.1 ภาควงจรรอดิโอ-วีดีโอ มอดูเลเตอร์	52
3.2.2 ภาคขยายสัญญาณ ไอเอฟและดีมอดูเลเตอร์	54
3.2.3 วงจรขยายไอเอฟ	55
3.2.4 วงจรมอดูเลตทางแสง	56
3.3 วงจรทางด้านรับ	56
3.3.1 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณ ไฟฟ้า	56
3.3.2 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นไฟฟ้าของสัญญาณช่องที่ 2	57
3.3.3 ภาคแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงของช่องสัญญาณที่ 1	57
3.3.4 ภาคแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงของช่องสัญญาณที่	58
3.4 วงจรจ่ายไฟ	59
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	61
4.1 การทดสอบโดยใช้สาย โคอแอกเชียล	62
4.2 การทดสอบโดยใช้เส้นใยแสง	66
บทที่ 5 บทวิจารณ์ สรุป และแนวทางในการพัฒนา	70
5.1 บทสรุป	70
5.2 ปัญหาในการทำงาน	70
5.3 แนวทางในการพัฒนา	71
บรรณานุกรม	72
ภาคผนวก ก. ตายวงจรส่วนต่างๆของเครื่องรับและเครื่องส่ง	74
ภาคผนวก ข. รายการอุปกรณ์ของเครื่องรับและเครื่องส่ง	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VII

เรื่อง	หน้า
ภาคผนวก ค. วงจรส่วนต่างๆ ของเครื่องรับและเครื่องส่ง	86
ภาคผนวก ง. ด้านหน้าและด้านหลังของเครื่องส่งและเครื่องรับ	90
ภาคผนวก จ. ข้อมูลคุณสมบัติของหัวรับและหัวส่ง	93



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VIII

สารบัญญภาพ

ภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 อุปกรณ์หลักการเชื่อมโยงผ่านเส้นใยแสง	4
รูปที่ 2.2 การลดทอนของเส้นใยแสงขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น	5
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างกฎ 3 ข้อของแสง	6
รูปที่ 2.4 กฎการสะท้อนกลับของแสง	7
รูปที่ 2.5 การทดลองการอินเตอร์เฟียร์เร้นท์ของ YOUNG	8
รูปที่ 2.6 โครงสร้างและระดับพลังงานของอะตอม	9
รูปที่ 2.7 ระดับพลังงานและขั้นตอนการถ่ายเท	11
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการจัดอิเล็กตรอนและนิวเคลียสในสารกึ่งตัวนำ	11
รูปที่ 2.9 หลักการของการออสซิลเลชันของแสง	12
รูปที่ 2.10 การเกิดแอสแตมดิงเวฟของแสง	13
รูปที่ 2.11 ความยาวคลื่นต่างๆ ของเลเซอร์	13
รูปที่ 2.12 ช่วงความยาวคลื่นแสงของ LED	14
รูปที่ 2.13 ความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาของ สารประกอบกึ่งตัวนำแต่ละชนิด	15
รูปที่ 2.14 ระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำแบบ พี-ไอพี และเอ็น-ไอพี	15
รูปที่ 2.15 โครงสร้างทั่วไปของ LD	17
รูปที่ 2.16 โครงสร้าง , ระดับพลังงาน และลักษณะการเปลี่ยนแปลง ค่าดัชนีการหักเหของ LD	17
รูปที่ 2.17 โครงสร้างและระดับพลังงานของ LED	18
รูปที่ 2.18 รูปคลื่นทางด้านเอาต์พุทของแสงและการมอดูเลชัน ในการส่งสัญญาณดิจิทัล	19
รูปที่ 2.19 การมอดูเลชันแบบ LIGHT INTENSITY MODULATION	19
รูปที่ 2.20 การเชื่อมแสงระหว่างอุปกรณ์ปล่อยแสงกับเส้นใยแสง	20
รูปที่ 2.21 Depletion Zone	21
รูปที่ 2.22 หลักการทำงานการรับแสงและระดับพลังงานของ PIN-PD	22
รูปที่ 2.23 หลักการทำงานการรับแสงและระดับพลังงานของ APD	23

IX

ภาพ	หน้า
รูปที่ 2.24 แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และโฟโตไดโอดเร็นท์	25
รูปที่ 2.25 ตัวอย่างโครงสร้างภายในของAPD Module	26
รูปที่ 2.26 PIN-PD Module และ APD Module	27
รูปที่ 2.27 Parameter ทาง โครงสร้างของ Multimode Optic Fiber	28
รูปที่ 2.28 เส้นผ่าศูนย์กลาง Mode Field	29
รูปที่ 2.29 โครงสร้างของเส้นใยแสง	29
รูปที่ 2.30 มุมรับแสงของเส้นใยแสง	32
รูปที่ 2.31 ผลของ NA และขนาดของ Core ที่มีประสิทธิภาพ	
การเชื่อมต่อกันระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสง	33
รูปที่ 2.32 การสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของตัวกลาง	34
รูปที่ 2.33 มุมสะท้อนกลับของแสงที่ทำให้เกิดคลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี	35
รูปที่ 2.34 สาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสง	36
รูปที่ 2.35 วงจรขับ LED แบบดิจิทัล	39
รูปที่ 2.36 วงจรขับ LED แบบแอนะล็อก	39
รูปที่ 2.37 ผังการทำงานของวงจรถ่ายสัญญาณโคโอด	40
รูปที่ 2.38 วงจรทำงานของโฟโตไดโอดโคโอด	41
รูปที่ 2.39 วงจรโฟโตไดโอดเทคเตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์	41
รูปที่ 2.40 เทคนิคการเข้ารหัสทางดิจิทัล	42
รูปที่ 2.41 สถานีทวนสัญญาณ	43
รูปที่ 2.42 ระบบติดต่อสื่อสารแบบสองทางหรือดูเพล็กซ์	46
รูปที่ 2.43 ระบบ FDM ที่ถูกออกแบบ	47
รูปที่ 2.44 ระบบ TDM ที่ถูกออกแบบ	49
รูปที่ 3.1 ผังการทำงานทางด้านเครื่องส่ง	51
รูปที่ 3.2 ผังการทำงานทางด้านเครื่องรับ	52
รูปที่ 3.3 วงจรออดิโอ-วิดีโอ มอดูเลเตอร์	53
รูปที่ 3.4 วงจรขยายสัญญาณไอเอฟและดีมอดูเลต	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพ	หน้า
รูปที่ 3.6 วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง	55
รูปที่ 3.7 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า	56
รูปที่ 3.8 วงจรแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงของช่องสัญญาณที่ 1	57
รูปที่ 3.9 วงจรแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงของช่องสัญญาณที่ 2	58
รูปที่ 3.10 วงจรภาคจ่ายไฟของเครื่องรับและเครื่องส่ง	59
รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านเส้นใยแสง	61
รูปที่ 4.2 การใช้งานจริงของเครื่องส่ง-รับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านเส้นใยแสง	62
รูปที่ 4.3 การต่อเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยใช้สายนำสัญญาณแกนร่วม	62
รูปที่ 4.4 สัญญาณขาออกที่วัดได้จากเครื่องเล่นวีดีโอเทปเครื่องที่ 1	63
รูปที่ 4.5 สัญญาณขาออกที่วัดได้จากเครื่องเล่นวีดีโอเทปเครื่องที่ 2	63
รูปที่ 4.6 สัญญาณรวมก่อนที่จะส่งผ่านสายนำสัญญาณแกนร่วม	64
รูปที่ 4.7 สัญญาณภาพขาออกของช่องสัญญาณที่ 1	64
รูปที่ 4.8 สัญญาณเสียงขาออกของช่องสัญญาณที่ 1	65
รูปที่ 4.9 สัญญาณภาพขาออกของช่องสัญญาณที่ 2	65
รูปที่ 4.10 สัญญาณเสียงขาออกของช่องสัญญาณที่ 2	66
รูปที่ 4.11 การต่อเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยใช้เส้นใยนำแสง	66
รูปที่ 4.12 สัญญาณรวมก่อนจะถูกเปลี่ยนจากสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง	67
รูปที่ 4.13 สัญญาณภาพขาออกของช่องสัญญาณที่ 1	67
รูปที่ 4.14 สัญญาณเสียงขาออกของช่องสัญญาณที่ 1	68
รูปที่ 4.15 สัญญาณภาพขาออกของช่องสัญญาณที่ 2	68
รูปที่ 4.16 สัญญาณเสียงขาออกของช่องสัญญาณที่ 2	69

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์ปล่อยแสง	20
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง	26
ตารางที่ 2.3 ค่ามาตรฐานทางโครงสร้างของเส้นใยแสงที่ CCITT แนะนำ	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวความคิดในการทำปริญญานิพนธ์

ปัจจุบันการสื่อสารทางแสงมีความสำคัญมากขึ้นทั้งยังมีความสามารถในการใช้งานได้เป็นอย่างดี ในการสื่อสารทางแสงโดยเส้นใยแสงหรือที่รู้จักกันในชื่อของไฟเบอร์ออปติก (Optical Fiber) สามารถรักษาความชัดเจนของสัญญาณตั้งแต่ผู้ส่งจนถึงผู้รับได้อย่างดีเยี่ยมซึ่งในการใช้งานส่วนหนึ่งที่ต้องการความชัดเจนของสัญญาณคือการส่งสัญญาณโทรทัศน์ ทางคณะผู้จัดทำโครงการจึงมีความคิดเห็นตรงกันว่าน่าจะนำไฟเบอร์ออปติกมาใช้เป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณโทรทัศน์จำนวน 2 ช่องโดยระบบมัลติเพล็กซ์ผ่านเส้นใยแสง

1.2 เนื้อหาโดยสังเขปของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการทดลอง และศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้งานของวงจรการทำงาน และผลจากการทดลอง รวมถึงความผิดพลาดต่างๆ ที่เกิดขึ้น เพื่อจะนำไปประยุกต์พัฒนาให้สามารถใช้งานได้จริงๆ ต่อไป โดยเนื้อหาในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ ดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ กล่าวถึงทฤษฎีต่างๆ ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์ คือทฤษฎีและหลักการของของระบบสื่อสารเส้นใยแสง ที่นำมาใช้ในการออกแบบวงจรสำหรับการส่ง และรับสัญญาณ ซึ่งเป็นจุดหลักของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ โดยจะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของแสง อุปกรณ์ทางแสง และเส้นใยแสงเส้นใยแสง

บทที่ 3 การออกแบบ, การสร้างและการทำงาน กล่าวถึงการออกแบบ และการสร้างวงจรภายในเครื่องรับและเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์ 2 ช่อง โดยระบบมัลติเพล็กซ์ผ่านเส้นใยแสงรวมทั้งการออกแบบวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง และวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง กล่าวถึงการนำวงจรในแต่ละส่วนของปริญญานิพนธ์ที่ได้จัดทำขึ้นมาทำการวัดผลในแต่ละขั้นตอนอย่างละเอียด เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับทฤษฎีว่าถูกต้องตรงกันหรือไม่

เอกสารที่ได้ออกจากการทดลองกับทฤษฎีว่าถูกต้องตรงกันหรือไม่ นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา กล่าวถึงผลการทดลองโดยสรุปของการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เพื่อเปรียบเทียบผลของการทำงานของปริญญานิพนธ์ที่ทำได้กับผล และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับที่ได้ตั้งเป้าหมายเอาไว้, ปัญหา และอุปสรรคที่เกิดขึ้นในการทำปริญญานิพนธ์ ทั้งได้เสนอแนวทางแก้ไข และพัฒนาปริญญานิพนธ์นี้ต่อไป

เครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ 2 ช่องโดยระบบมัลติเพล็กซ์ผ่านเส้นใยแสงที่ได้จัดทำขึ้นนี้ จะเป็นระบบที่ใช้เส้นใยแสงเป็นตัวกลางในการส่งซึ่งได้พัฒนาจากการส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ 1 ช่องเป็นการส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ 2 ช่อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

ทุกคนคงเคยใช้การส่งข่าวสาร ในรูปแบบของไฟฟ้าโดยผ่านทางโทรศัพท์, ดาวเทียม กลิ่นวิทยุไมโครเวฟ และอื่นๆ ใดๆก็ดียังมีระบบการสื่อสารชนิดใหม่รวมทั้งคลื่นแสงที่ได้ รับการพัฒนาจากห้องปฏิบัติการ และได้มีการนำมาใช้อย่างกว้างขวาง

2.1.1 ข้อดีของการสื่อสารเส้นใยแสง

ในการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแสงมีข้อดีเหนือกว่าระบบท่อนำแสงแบบอื่นๆ ทั้งหมด และมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

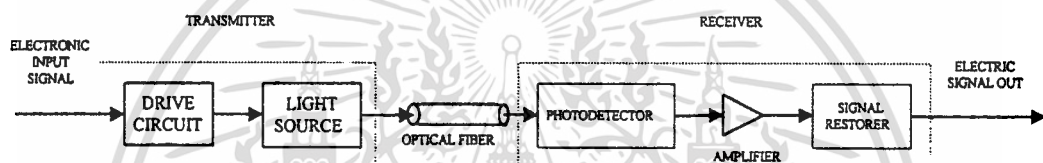
1. มีการสูญเสียต่ำตลอดย่านความยาวคลื่นที่ใช้งาน (น้อยกว่า 1 เดซิเบลต่อกิโลเมตร)
2. มีแบนด์วิดท์กว้าง (1-10 GHz, สำหรับมัลติ-โหมด(Multi-mode) และซิงเกิ้ลโหมด (Single-mode) ตลอดความยาว 1 กิโลเมตรตามลำดับ)
3. ขนาดเล็ก (เส้นใยแก้วมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 100 ไมโครเมตร และเส้นผ่าน-ศูนย์กลางทั้งหมด ซึ่งรวมทั้งที่หุ้มพลาสติก ประมาณ 1-2 มิลลิเมตร)
4. น้ำหนักเบา
5. สามารถป้องกันสิ่งรบกวนจากแม่เหล็กไฟฟ้า
6. การรบกวนระหว่างสายนำสัญญาณต่ำและมีมาตรการป้องกันสูง
7. แก้วที่ใช้ เป็นวัสดุทางธรรมชาติมีเป็นจำนวนมาก
8. มีความต้านทานต่อปฏิกิริยาเคมี และการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิมาก

2.1.2 อุปกรณ์การเชื่อมโยงการส่งผ่านเส้นใยแสง

ในการเชื่อมโยงการส่งผ่านเส้นใยแสงมีส่วนสำคัญต่างๆ คือ เครื่องส่งที่ ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสงและร่วมกับวงจรกระตุ้น (Drive Circuit) เคเบิลเส้นใยแสง, และเครื่องรับที่ ประกอบด้วยโฟโตนิกเทคเตอร์ ร่วมกับวงจรขยายสัญญาณ และวงจรที่ทำให้สัญญาณกลับคืนสู่ สภาวะเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

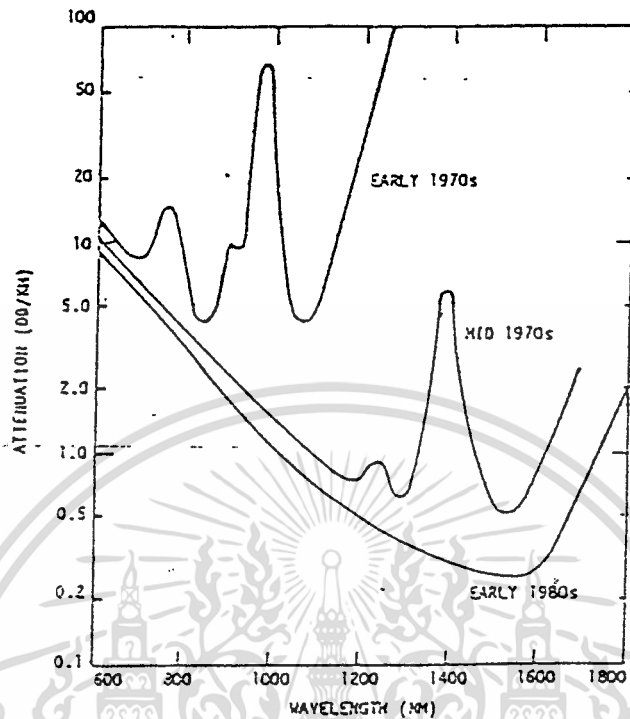
คุณสมบัติอันดับแรกของเส้นใยแสง คือ การลดทอน ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น ในความยาวคลื่นแถบ 800-900 นาโนเมตร นี้ เส้นใยแสงที่ผลิตได้ในเวลานั้นแสดงค่าการลดทอนต่ำสุด และแหล่งกำเนิดแสงและโฟโตนิกส์ที่ทำงานในย่านความยาวคลื่นนี้จัดทำได้ง่าย ในย่านความยาวคลื่น 1100-1600 นาโนเมตร สามารถผลิตเส้นใยแสงที่มีการสูญเสียต่ำได้เหมือนกัน ปกติความกว้างของแบนด์วิดท์ (Spectrum bandwidth) จะอ้างถึงในย่านความยาวคลื่นยาว คุณสมบัติข้อนี้ได้เพิ่มขึ้นหลังจากได้พัฒนาที่ความยาว 1300 นาโนเมตร แล้ว เนื่องจากในย่านนี้ เส้นใยซิลิกาบริสุทธิ์มีความเพี้ยนต่ำมาก



รูปที่ 2.1 อุปกรณ์หลักการเชื่อมโยงเส้นผ่านเส้นใยแสง

สารกึ่งตัวนำไดโอดเปล่งแสง (LED) และเลเซอร์ไดโอดเหมาะสมที่จะใช้เป็นแหล่งกำเนิดเครื่องส่งเพื่อจุดประสงค์นี้ เนื่องจากเอาต์พุตของแสงสามารถมอดูเลตโดยตรงกับกระแสไฟไบอัสที่แปรค่าอย่างรวดเร็ว สัญญาณไฟที่ป้อนให้กับเครื่องส่งอาจเป็นแอนะล็อกหรือดิจิทัลอย่างหนึ่งอย่างใด โดยทั่วไป แหล่งกำเนิดแสงเป็นโลหะผสมของ GaAlAs ที่มีความยาวคลื่นที่ยาวกว่า 1100-1600 นาโนเมตร ส่วนประกอบสำคัญของแหล่งกำเนิดแสงเป็นโลหะผสมของอินเดียม-แกลเลียม-อาเซนไชน์-ฟอสฟอรัส (InGaAsP) หลังจากสัญญาณถูกส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วแล้ว การลดทอนและความเพี้ยนจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางไปตามลำดับ เนื่องจากการกระจาย, การดูดซึมและโครงสร้างที่ทำให้แสงกระจายในทางเดินของแสงทางด้านรับ การลดทอนและความเพี้ยนของกำลังเอาต์พุตทางแสงจะถูกตรวจจับโดยโฟโตนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การลดทอนของเส้นใยแสงขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น

2.2 คุณสมบัติของแสง

2.2.1 คุณสมบัติและคุณลักษณะของแสง

นักปราชญ์ชาวกรีกได้ให้ความสนใจในเรื่องแสงด้วยเหมือนกัน และ EUCLID ได้สังเกตว่าแสงเดินทางเป็นเส้นตรง DESCARTES ยืนยันเกี่ยวกับแสงได้ชัดเจนว่าเป็นสสารที่กระจัดกระจายซึ่งมากระทบกับนัยน์ตา และยังได้อธิบายถึงการสะท้อนกลับและการหักเหอีกด้วย NEWTON ได้แสดงถึงลักษณะของแสง เมื่อแสงอาทิตย์ผ่านแท่งปริซึมทำให้เกิดสีรุ้ง HUYGENS ได้กำหนดทฤษฎีของคลื่น ปลายศตวรรษที่ 19 MAXWELL ได้อธิบายเรื่องของแสงในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และ MICHELSON ได้พิสูจน์ว่าความเร็วของแสงคงที่

แนวความคิดเหล่านี้เป็นรากฐานทางทฤษฎีสัมพันธภาพของ Einstein และ Planck ที่แสดงให้เห็นว่าแสงประกอบด้วยอนุภาคของพลังงาน ซึ่งขัดกับทฤษฎีของคลื่น ในปี

พ.ศ. 2467 Louis de Broglie ได้อธิบายลักษณะสองประการของแสง คือ เป็นคลื่นและอนุภาค การคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 กฎ 3 ข้อของแสง



(ก) แสงเดินทางเป็นเส้นตรงในตัวกลางชนิดเดียวกัน (ข) การหักเหของแสงทำให้เห็นช้อนงอ



(ค) การสะท้อนกลับของแสงทำให้เห็นทิวทัศน์ลอยอยู่บนผิวน้ำ

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างกฎ 3 ข้อของแสง

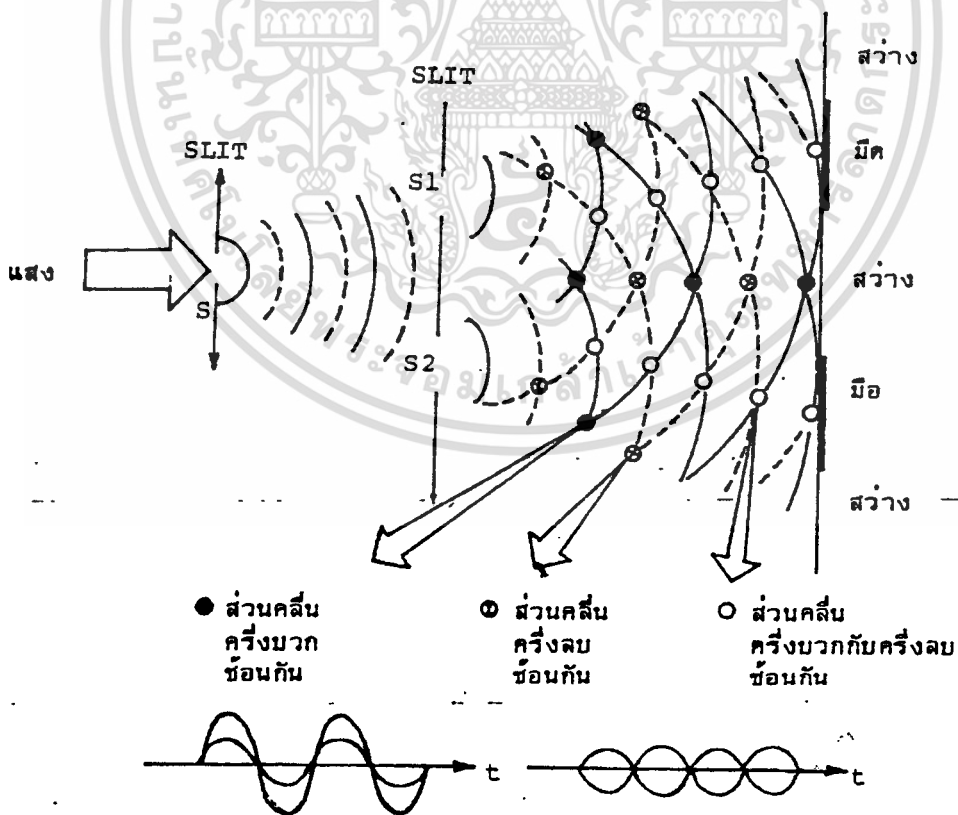
ตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงค่าเดียวกันนั้น แสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง ส่วนตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงต่างกันนั้น ตรงรอยต่อของตัวกลางทั้งสอง แสงจะเกิดการหักเห (Refraction) และการสะท้อนกลับ (Reflection) ปรากฏการณ์เหล่านี้แสดงคุณสมบัติการเดินทางเป็นเส้นตรงของแสง, คุณสมบัติการหักเหของแสง และคุณสมบัติการสะท้อนกลับของแสง เรียกว่ากฎ 3 ข้อของแสง ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.3 กล่าวคือรูปที่ 2.3 (ก) แสดงการใช้กล้องวัดระยะทาง ซึ่งกล้องวัดระยะทางนี้ใช้คุณสมบัติการเดินทางเป็นเส้นตรงของแสง รูปที่ 2.3(ข) เมื่อเอาช้อนคาแฟใส่ลงในถ้วยแก้วที่เติมน้ำอยู่เกือบเต็มจะมองเห็นคล้ายกับว่าช้อนคาแฟนั้นงอ เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าตรงรอยต่อของน้ำกับอากาศซึ่งเป็นตัวกลางที่

ไปมาระหว่างผนังทั้งสอง และจะเกิดการซ้อนกันระหว่างคลื่นที่เดินทางไปทางขวาและที่เดินทางไปทางซ้าย ปรากฏการณ์ที่คลื่นซ้อนกันนี้เรียกว่าอินเตอร์เฟอเรนซ์ (Interference)

2.2.3 โคฮีเรนซ์ของแสง

ในการแสดงขนาดของอินเตอร์เฟอเรนซ์นั้นจะใช้คำว่าโคฮีเรนซ์ (Coherence) เพื่อเป็นการตรวจสอบเกี่ยวกับคุณสมบัติการอินเตอร์เฟอเรนซ์ของแสง

จะขออ้างถึงการทดลองของ YOUNG ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ในการทำให้เกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ของแสงนั้น ที่ระนาบซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ เฟสจะต้องเหมือนกัน สำหรับการทดลองของ YOUNG นั้น ใช้หลอดไฟที่มีเฟสไม่เหมือนกันมาทำการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ กล่าวคือ ให้แสงที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงไปผ่านช่อง (SLIT) S จากนั้นเมื่อแสงผ่านช่อง S_1 และช่อง S_2 แล้ว แสงที่ผ่านช่อง S_1 และช่อง S_2 จะเกิดการอินเตอร์เฟอเรนซ์กัน ทำให้เกิดแสงสว่าง, มืดสลับกันบนจอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 2.5 การทดลองการอินเตอร์เฟอเรนซ์ของ YOUNG

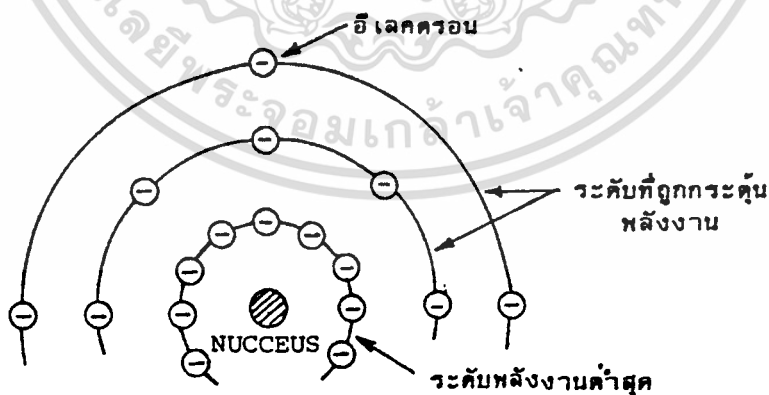
กรณีที่เฟสของแสงเหมือนกันในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่นี้ เรียกว่า สเปซ-โคฮีเร้นท์-ไลท์ (Space Coherent Light) เส้นใยแสงเป็นตัวกลางที่ทำการส่งสัญญาณแสงด้วยโหมดการเดินทาง (Propagation Mode) ที่เกิดจากผลของการอินเตอร์เฟอเรนซ์ของแสงที่จุดต่างๆ ภายในคอร์ของเส้นใยแสง ดังนั้น ต้นกำเนิดแสงเลเซอร์ที่มีคุณสมบัติเป็นสเปซ-โคฮีเร้นท์-ไลท์ จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

อีกสิ่งหนึ่งที่ช่วยทำให้โคฮีเร้นท์ของแสงสูงขึ้น สิ่งนั้นคือ การมีความยาวคลื่นเดียว (Unity Wave Length) แสงที่เกิดต่อเนื่องกันโดยมีเพียงความยาวคลื่นเพียงอันเดียวนั้น เรียกว่า ไทม์-โคฮีเร้นท์ ในการทดลองของ YOUNG นั้น ถ้าหากแสงมีไทม์-โคฮีเร้นท์สูงมากเท่าไร แถบสว่างมืดที่เกิดขึ้นจะชัดเจนมากขึ้นเท่านั้น

2.3 การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

2.3.1 โครงสร้างของการกำเนิดแสง

โดยทั่วไปแล้วอะตอม (Atom) จะมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.6 มีส่วนที่เรียกว่า นิวเคลียส (Nucleus) อยู่ตรงกลาง และรอบๆ นิวเคลียสจะมีอิเล็กตรอน (Electron) จำนวนหนึ่งหมุนอยู่รอบนิวเคลียส โดยมีระยะห่างที่แน่นอน



รูปที่ 2.6 โครงสร้างและระดับพลังงานของอะตอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กตรอนเหล่านี้จะมีพลังงานที่เป็นสัดส่วนกับระยะทางจากนิวเคลียส พลังงานนี้เรียกว่าระดับพลังงาน (Energy Level) ระดับพลังงานที่ต่ำสุดเรียกว่ากราวด์-สเตท-เลเวล (Ground State Level) และระดับพลังงานที่สูงกว่านี้เรียกว่าสตีมิเลทด์-เลเวล (Stimulated Level) จำนวนอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในระดับพลังงานนี้จะมีจำนวนแน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดของสาร แต่โดยปกติแล้ว อิเล็กตรอนจะออกันอยู่ที่ระดับพลังงานต่ำ อันนี้เป็นคุณสมบัติโดยธรรมชาติของอิเล็กตรอน

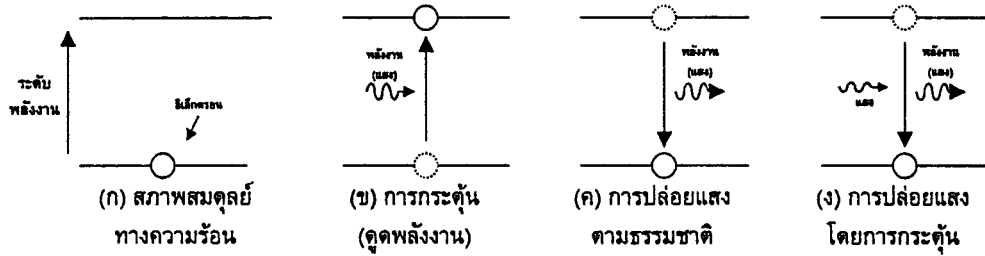
จากทฤษฎีของ Quantum Dynamics ความยาวคลื่นที่ได้จากการปล่อยแสงออกมานี้หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\lambda = \frac{(C \times h)}{(E_2 - E_1)} \quad (2.1)$$

ในที่นี้ λ คือ ความยาวคลื่น
 C คือ ความเร็วของคลื่น ($= 3 \times 10^8$ m/sec)
 h คือ PLANK CONSTANT มีค่า $= 6.625 \times 10^{-34}$ JOULE.sec

นั่นคือ ความยาวคลื่นแสงจะเป็นสัดส่วนกลับกับผลต่างของพลังงาน และผลต่างของพลังงานนี้กำหนดจากชนิดของอะตอมที่ประกอบเป็นอุปกรณ์กำเนิดแสงด้วย ดังนั้นความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาจึงมีค่าจำเพาะ อุปกรณ์กำเนิดแสงที่ใช้ปล่อยแสงตามธรรมชาตินี้ได้แก่ หลอดนีออน และไดโอดกำเนิดแสง (Light Emitting Diode : LED)

สมมุติว่าเราป้อนแสงที่มีพลังงานเท่ากับ $E_2 - E_1$ ที่ใช้ในการกระตุ้นอิเล็กตรอนให้ไปอยู่ในระดับพลังงานสูงดังรูปที่ 2.7 (ข) อิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงาน E_2 ซึ่งพยายามที่จะกลับลงมาสู่ระดับพลังงานต่ำ E_1 อยู่แล้วนั้น ก็จะดูดพลังงานของแสงที่ป้อนให้ไว้ และกลับลงมาสู่พลังงานต่ำ E_1 ในลักษณะถูกบังคับให้ลงมาเร็วกว่ากำหนด ดังแสดงในรูปที่ 2.7 (ง) ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่าการกระตุ้นให้ปล่อยแสง (Stimulated Emission) และพลังงานแสงที่เกิดขึ้นในกรณีนี้จะมีค่ามากกว่ากรณีของการปล่อยแสงตามธรรมชาติ และแสงที่ได้เรียกว่าแสงที่ถูกกระตุ้น (Stimulated Emission Light) ความยาวคลื่นแสงที่ได้จากการกระตุ้นให้ปล่อยแสงออกมามีค่าเหมือนกับกรณีของการปล่อยแสงตามธรรมชาติ นั่นคือ เป็นสัดส่วนกลับกับผลต่างของพลังงาน $E_2 - E_1$ อุปกรณ์กำเนิดแสงที่ใช้หลักการของการกระตุ้นในการปล่อยแสงออกมานี้ ได้แก่ เลเซอร์



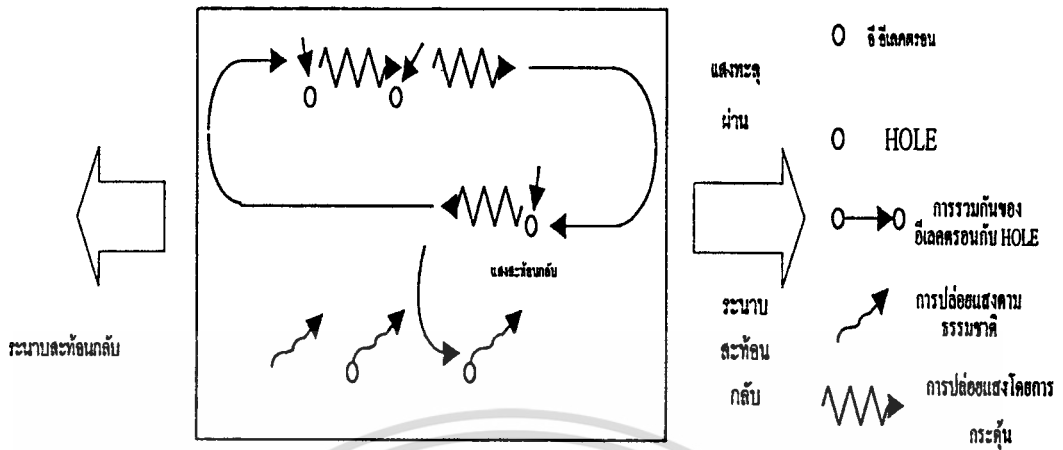
รูปที่ 2.7 ระดับพลังงานและขั้นตอนการถ่ายเท



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการจัดอิเล็กตรอนและนิวเคลียสในสารกึ่งตัวนำ

2.3.2 โครงสร้างและการทำงานของ การปล่อยแสงของสารกึ่งตัวนำ

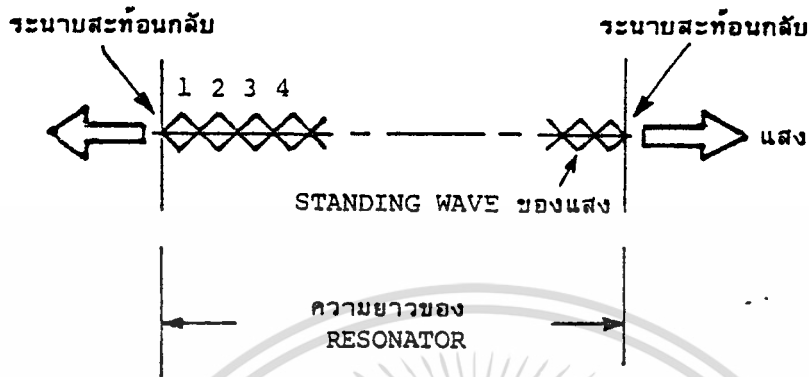
โครงสร้างและการทำงานของเลเซอร์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Laser Diode : เรียกชื่อย่อว่า LD) มีดังนี้สมมุติว่า จำนวนอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำมีค่าเป็น N และในจำนวน N นี้แบ่งอยู่ในวาเลนซ์-แบนด์ เสีย n_1 ตัว และไปอยู่คอนดักชัน-แบนด์ n_2 ตัว ในสภาพปกติ n_1 จะมากกว่า n_2 ในสภาพเช่นนี้ ถ้าหากเราให้แสงจากภายนอกแก่มัน จะทำให้เกิดการกระตุ้นให้ปล่อยแสง และการดูดพลังงาน (Absorption) ซึ่งขนาดของมันจะเป็นสัดส่วนของ n_2 และ n_1 แต่โดยทั่วไปแล้ว การดูดพลังงานจะมีขนาดมากกว่า ทำให้แสงที่ป้อนเข้ามา มีขนาดลดลงไป แต่ทว่าหากมีวิธีอย่างใดอย่างหนึ่งที่ทำให้ $n_2 > n_1$ (เรียกว่าเกิด Inversion Distribution) ได้แล้วละก็จะทำให้เกิดการกระตุ้นให้ปล่อยแสงออกมามีค่ามากกว่าการดูดพลังงาน ในกรณีนี้จะทำให้ความเข้มของแสงที่ป้อนเข้ามาเพิ่มมากขึ้น และเกิดปฏิกิริยาการขยายแสง (Light Amplification Action) ให้อาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 หลักการของการออสซิลเลชันของแสง

การอินเวอร์ชัน-คิสมิวิวัฒน์ ถูกทำให้เกิดขึ้นมาได้จริงๆ ด้วยการให้พลังงานจากภายนอก ในการกระตุ้นอิเล็กตรอนด้วยการดูดพลังงานในรูป 2.7 (ข) แต่สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้นปกติจะใช้วิธีที่เรียกว่า ฉีด (Injection) อิเล็กตรอนโดยทำให้กระแสไหล ก็จะเกิดปฏิกิริยาการขยายทางกระแสได้ ในกรณีของสารกึ่งตัวนำพลังงานจากภายนอกที่เป็นตัวทำให้เกิดการกระตุ้นให้ปล่อยแสง ออกมานั้น คืออิเล็กตรอนที่ฉีดเข้าไปนั่นเอง คือโดยการทำให้ขยายกลับไปมาจะสามารถทำให้แสงเกิดการออสซิลเลชัน (Oscillation) ได้ หลักการขยายกลับไปมาทำได้โดยใช้ระนาบสะท้อนกลับ (Reflection Plane) 2 อันวางหันหน้าเข้าหากันดังแสดงในรูปที่ 2.9 คือ แสงที่เกิดจากการกระตุ้นให้ปล่อยแสงนี้จะถูกขยายไปพร้อมกับเคลื่อนที่ไปด้วย และเมื่อไปกระทบกับระนาบสะท้อนกลับแล้ว ส่วนหนึ่งจะทะลุออกไปข้างนอก และส่วนที่เหลือสะท้อนกลับไปในทิศทางตรงกันข้ามกับครั้งแรก และเมื่อแสงที่สะท้อนกลับนี้เมื่อไปถึงระนาบสะท้อนกลับอีกด้านหนึ่งก็จะเกิดผล คือ ส่วนหนึ่งจะทะลุออกไปข้างนอก และส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับไปในทิศทางตรงกันข้ามอีก ซ้ำกลับไปมาอยู่อย่างนี้ จนถึงจุดหนึ่งที่พลังงานถูกขยายโดยการกระตุ้นให้ปล่อยแสงมีค่ามากกว่าพลังงานที่สูญเสียไป เนื่องจากการดูดของอิเล็กตรอนที่อยู่ในวาเลนซ์แบนด์ และที่ทะลุออกไปจากระนาบการสะท้อนกลับ ณ จุดนี้ การออสซิลเลชันจะเริ่มขึ้น การทำให้เกิดแสงเช่นนี้ เรียกว่า เลเซอร์ (Laser : Light Amplification By Stimulated Emission of Radiation)

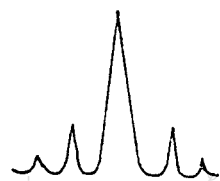
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 การเกิดสแตนด์-เวฟของแสง

การออกละแสงเริ่มขึ้น ณ จุดที่ เรียกว่า กระแสค่าทรสโซลด์ (Threshold Value Current) ความยาวคลื่นแสงนั้นกำหนดจากผลต่างของพลังงานในคอนดัคชัน-แบนด์ และ ในวาเลียนซ์-แบนด์ แต่เนื่องจากว่า ในระดับพลังงานทั้งสองค่าก็มีความกว้างของพลังงานอยู่ ทำให้ความยาวคลื่นแสงก็มีค่าอยู่ในช่วงหนึ่งด้วยเช่นกัน แต่เนื่องจากขั้นตอนของการปล่อยแสงตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าทำให้เกิดการสะท้อนกลับไปมา (Resonance) ระหว่างระนาบสะท้อนกลับ นั่นคือ สามารถทำให้เกิดความยาวคลื่นแสงของสแตนด์-เวฟเท่านั้นภายในรีโซเนเตอร์ (Resonator) ดังรูปที่ 2.10

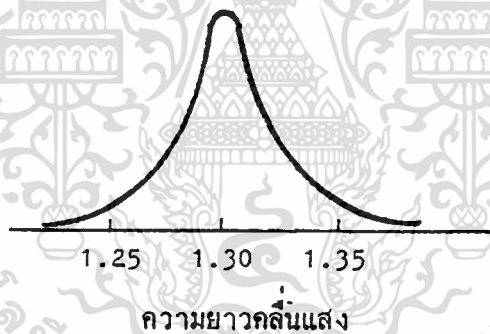
และเงื่อนไขที่ ทำให้เกิดการรีโซแนนซ์ คือ ความยาวของรีโซเนเตอร์ (ระยะห่างของระนาบสะท้อนกลับ) จะต้องมีค่าเป็นจำนวนเท่าที่เป็นเลขเต็มหน่วยของครึ่งหนึ่งของความยาวแสง นั่นคือ $= n \times (\lambda/2)$ โดยปกติแล้ว ความยาวของรีโซเนเตอร์จะมากกว่าความยาวของแสงมาก ดังนั้นแสงที่ได้จาก LD จะมีความยาวของแสงกระจายออกเป็นจำนวนมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ความยาวคลื่นต่างๆ ของเลเซอร์

คุณสมบัติของ LD นั้น ต้องการให้มีการขยายกว้างออกของความยาวคลื่น (Wave Length Dispersion) น้อย ต้องทำให้จำนวนของความยาวคลื่นแสงมีน้อยมากเท่าไรยิ่งดี โดยการสร้าง Distributed Feed Back Semiconductor Laser เรียกว่า DFB Laser ขึ้นมา จะเห็นได้ว่า การออสซิลเลชันของเลเซอร์ นั้นจะเกิดขึ้นได้จะต้องมีครบ 3 อย่าง คือ Inversion Distribution , Stimulated Emission และ Resonance

ส่วนทางด้านไดโอดเปล่งแสง (LED : Light Emitting Diode) นั้น ต่างกับ LD คือ แทนที่จะใช้ปรากฏการณ์กระตุ้นให้เปล่งแสง แต่จะใช้ปรากฏการณ์ของการเปล่งแสงตามธรรมชาติแทน ดังนั้น แสงที่ได้ออกมาจะมีช่วงความยาวคลื่นแสงกว้างมาก ช่วงความยาวคลื่นแสง และกำลังขาออก ของ LED เมื่อเทียบกับ LD แล้วมีค่าน้อยกว่า แต่มีข้อดี คือ โครงสร้างของ LED ไม่ยุ่งยาก ทำให้สร้างได้ง่าย และมีราคาถูกกว่ามาก ช่วงความยาวคลื่นแสงของ LED แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ช่วงความยาวคลื่นแสงของ LED

2.3.3 สารที่ใช้ในการสร้างอุปกรณ์เปล่งแสง

เนื่องจากการเปล่งแสงนั้น เกิดจากการที่อิเล็กตรอนถ่ายเทจากคอนดักชัน-แบนด์ไปยังวาเลนซ์-แบนด์ จึงแบ่งสารออกเป็นพวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเทได้ง่าย กับพวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเทได้ยาก พวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเทได้ง่ายเรียกว่า .ไดเรกต์-ทรานเฟอร์-เซมิคอนดักเตอร์ (Direct Transfer Semiconductor) เช่น สารประกอบของ อินเดียม (In) , แกลเลียม (Ga)

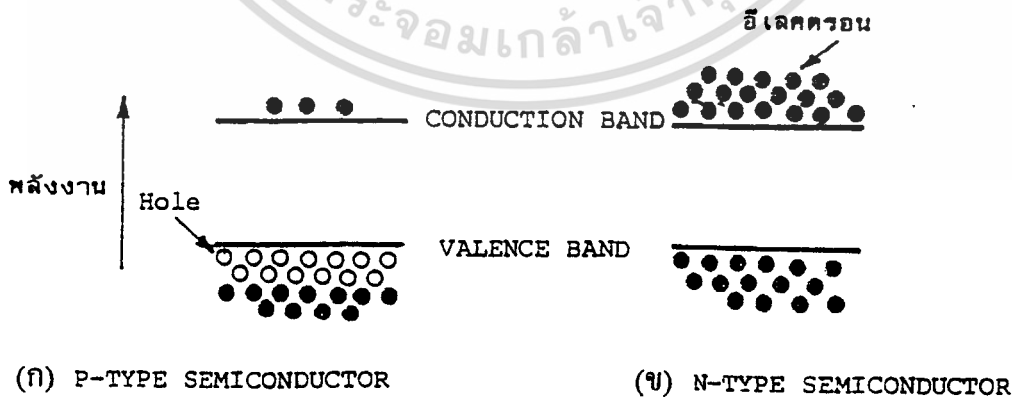
อเซไนซ์ (As) , และฟอสฟอรัส (P) คือ InGaAsP พวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเทได้ยาก เรียกว่า อินไดเรกต์-ทรานเฟอร์-เซมิ-คอนดักเตอร์ (Indirect Transfer Semiconductor) เช่น ใช้

ห้องสมุด
คณะวิทยาศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

สารประกอบของ แกลเลียม, อลูมิเนียม , เซเลเนียม คือ GaAlAs เนื่องจากความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมานั้น เป็นสัดส่วนกลับกับผลต่างของพลังงานของคอนดักชันแบนด์กับวาเลนซ์แบนด์ แต่ทว่าผลต่างของพลังงานนี้จะมีค่าแตกต่างกันตามส่วนประกอบสารกึ่งตัวนำ จึงทำให้มีความยาวคลื่นแสงค่าต่างๆ ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับส่วนประกอบของอุปกรณ์ปล่อยแสง แสดงดังรูปที่ 2.13 สำหรับย่านความยาวคลื่นสั้น 0.85 ไมโครเมตร นิยมใช้ GaAlAs และความยาวคลื่นยาว 1.3 ไมโครเมตร นิยมใช้ InGaAsP ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง



รูปที่ 2.13 ความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาของสารประกอบกึ่งตัวนำแต่ละชนิด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.14 ระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำแบบ P-type และ N-type
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

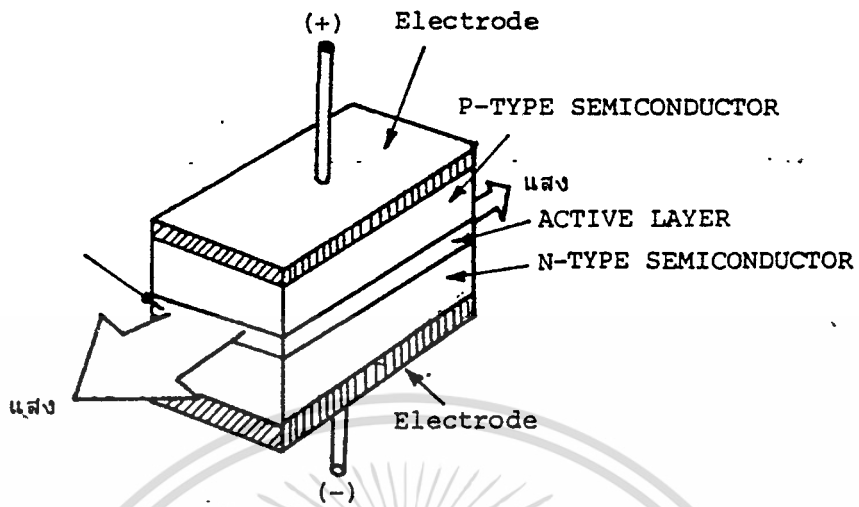
2.3.4 โครงสร้างของอุปกรณ์ปล่อยแสง

1) โครงสร้างของ LD

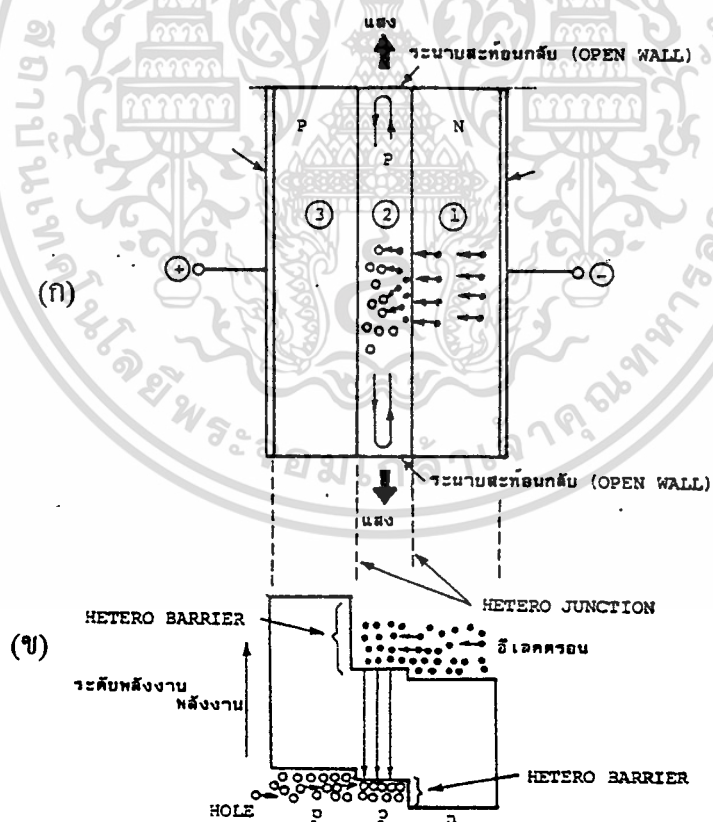
โดยทั่วไปแล้ว LD จะมีโครงสร้างเป็น 3 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ในการทำให้เกิดเลเซอร์-ออสซิลเลชันนั้นคือส่วนที่ทำหน้าที่เป็นรีโซเนเตอร์ ซึ่งเรียกว่าแอกทีฟ-เลเยอร์ (Active Layer) ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ระหว่างชั้นสารพีกับชั้นสารเอ็น

จากรูปที่ 2.15 ถ้าหากทำให้กระแสไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ (ทำการฉีดกระแส) จะเกิดแสงเลเซอร์ออกมาในทิศทางที่แสดงด้วยลูกศร สำหรับโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำอย่างนี้เรียกว่า ดับเบิล-ฮีเทโร-จังชัน (Double Hetero Junction) หมายความว่า Junction ของชั้นของสารที่มีส่วนประกอบต่างกัันนั้นมี 2 ด้าน โครงสร้าง , ระดับพลังงาน และลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของ LD แสดงดังรูปที่ 2.15

ในการทำให้เกิดเลเซอร์ออสซิลเลชันนั้น จะต้องทำให้ผลต่างระดับพลังงานคอนดักชัน-แบนด์ของชั้นสารพี และคอนดักชันแบนด์ของแอกทีฟ-เลเยอร์มีค่ามาก พร้อมต้องทำให้ผลต่างระหว่างพลังงานของคอนดักชันแบนด์ กับวาเลียนซ์แบนด์ของชั้นสารพี มีค่ามากด้วย นอกจากนั้น ยังจะต้องทำให้ระดับพลังงานของวาเลียนซ์แบนด์ของชั้นสารเอ็น มีค่าต่ำกว่าระดับพลังงานของแอกทีฟ-เลเยอร์ด้วย จากนั้นจึงนำมาเชื่อมต่อกัน จะได้ระดับพลังงานดังแสดงในรูปที่ 2.16 (ข) เมื่อทำให้มีกระแสไหลในสารกึ่งตัวนำ ที่มีการเชื่อมต่อกันในลักษณะที่กล่าวมาในข้างต้น โดยให้มีทิศทางกระแสไหลจาก P-type ไปหา N-type จะเป็นผลให้อิเล็กตรอนส่วนเกินที่มีอยู่ใน N-type (แสดงด้วย (1) ในรูป) ดังแสดงในรูปที่ 2.16 (ก) เคลื่อนที่ไปยัง P-type และ โฮลส่วนเกินที่มีอยู่ใน P-type (แสดงด้วย (3) ในรูป) เคลื่อนที่ไปยัง N-type ของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลเหล่านี้ ทำให้เกิดอิเล็กตรอนและโฮลอยู่ภายในแอกทีฟเลเยอร์ (แสดงด้วย (2) ในรูป และโดยทั่วไปแอกทีฟ-เลเยอร์นี้จะใช้สาร P-type) เมื่อมาถึงจุดนี้ ให้สังเกตระดับพลังงานของเลเยอร์ทั้ง 3 ที่แสดงในรูปที่ 2.16 (ข) จะเห็นว่าเกิดมีกำแพงของพลังงาน (Hetero Barrier) ขึ้น ทำให้เกิดอิเล็กตรอนและโฮลที่เคลื่อนที่ไปนั้นถูกขังในแอกทีฟ-เลเยอร์ เป็นผลให้เกิดสภาพอินเวอร์ชัน-คิสทริบิวชันได้อย่างดี ทำให้มีผลการขยายความเข้มของการปล่อยแสง



รูปที่ 2.15 โครงสร้างทั่วไปของ LD



การกระจายของ
ดัชนีการหักเห



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ารูปที่ 2.16 โครงสร้าง, ระดับพลังงานและลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของ LD ไปใช้

2) โครงสร้างของ LED (Light Emitting Diode)

โครงสร้างพื้นฐานของ LED เหมือนกันกับของ LD กล่าวคือ จะเป็น ดับเบิล-ฮีเทอโร-จังก์ชัน อิเล็กตรอนที่ไหลผ่าน P-N junction จะไปรวมกับโฮลในแอกติฟ-เลเยอร์ เช่นเดียวกันกับในกรณีของ LD ดังแสดงในรูปที่ 2.17 (ก) และจะเกิดการปล่อยแสงขึ้นภายในแอกติฟ-เลเยอร์ เนื่องจากถูกกักด้วยกำแพงของฮีเทอโร-จังก์ชัน แต่สำหรับกรณีของ LED นั้น โครงสร้างของ LED ไม่มีการขยายออสซิลเลชันของแสงเหมือนอย่าง LD (ไม่มีระนาบสะท้อนแสง) แสงที่ปล่อยออกมาตรงส่วนที่อยู่ห่างจากด้านข้างนั้น จึงออกจากด้านข้างได้ยาก ด้วยเหตุนี้ LED ทั่วไปจึงให้แสงปล่อยออกมาข้างนอกจากด้านหน้าที่ต่อกับขั้วไฟฟ้าดังรูปที่ 2.17 (ก)



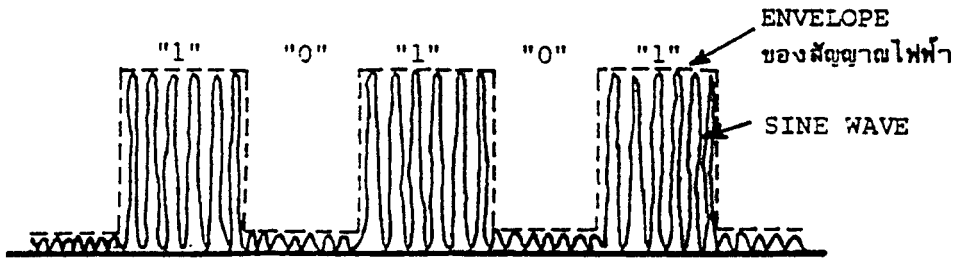
รูปที่ 2.17 โครงสร้างและระดับพลังงานของ LED

2.3.5 คุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์ปล่อยแสง

คุณสมบัติต่างๆ ที่ต้องการจากอุปกรณ์ปล่อยแสง คือ คุณสมบัติการผสมของแสงกับไฟฟ้า (นั่นคือ กำลังเอาต์พุตของแสง, ความเป็นเส้นตรงหรือ Linearity), ความกว้างของสเปกตรัมของแสง, ความเร็วในการตอบสนองของความถี่ (Frequency Responce Speed) เป็นต้น ตัวอย่างเช่น ในการส่งสัญญาณดิจิทัล, output wave form ที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 2.18 กล่าวคือ แสงจะเกิดการกระพริบสว่าง, ดับ ตามสัญญาณไฟฟ้าที่เป็น 1 , 0 ตามความเป็นจริงแล้ว ความยาวคลื่นของแสงจะมีค่าสั้นกว่าความยาวคลื่นของสัญญาณไฟฟ้ามก ดังนั้น ในขอบที่

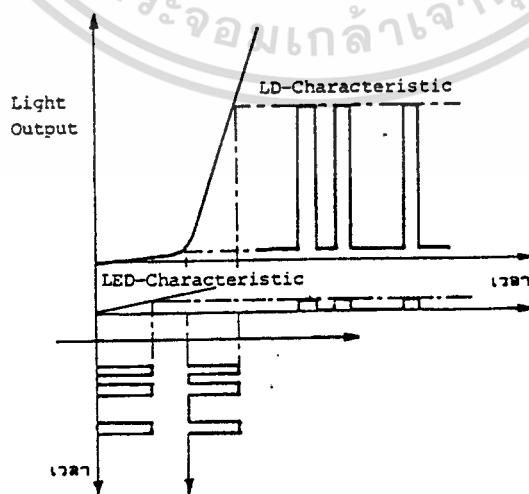
เป็น 1 สัญญาณไฟฟ้าจะมีแสงที่มีความยาวคลื่นหลายค่าอยู่ข้างใน ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ส่วนการคำนวณคุณสมบัติการผสมของอุปกรณ์ปล่อยแสงแสดงดังรูปที่ 2.19

เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 รูปคลื่นทางค่านเอาต์พุตของแสงและการมอดูเลชันในการส่งสัญญาณดิจิทัล

จากรูปที่ 2.19 จะเห็นได้ว่าเนื่องจาก LED ใช้ปรากฏการณ์ปล่อยแสงตามธรรมชาติ ดังนั้น ปริมาณของแสงที่ปล่อยออกมาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสที่ป้อนเข้าไป (กระตุ้น) แต่สำหรับ LD นั้น ใช้ปฏิกิริยาการออสซิลเลชัน โดยการกระตุ้นให้ปล่อยแสง ดังนั้น ปริมาณของแสงที่ปล่อยออกมานั้นมีลักษณะที่มีการเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเลยค่าของกระแสค่าหนึ่งไปแล้ว ในตารางที่ 2.1 จากการพิจารณาคูสมบัติต่างๆ ในตารางนี้ จะเห็นว่าเกี่ยวกับกำลังเอาต์พุตของแสงนั้น LD จะมีค่ามากกว่า เพราะมีการออสซิลเลชันและการขยายของแสงและเกี่ยวกับกำลังทางค่านอินพุตที่ป้อนเข้าไปในเส้นใยแสง เนื่องจาก LD มีคุณสมบัติของทิศทางของแสง (Directivity) ดีกว่า เป็นผลให้มีการสูญเสียการเชื่อมแสงกับเส้นใยแสงต่ำ ทำให้กำลังของแสงป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงได้มาก



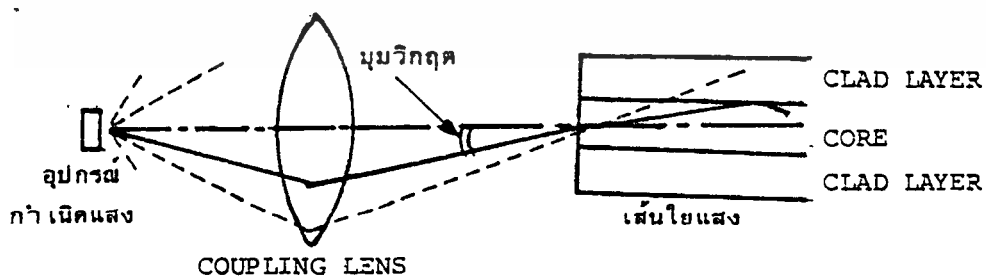
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ **รูปที่ 2.19** การมอดูเลชันแบบ LIGHT INTENSITY MODULATION ที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ปล่อยแสง	LED	LD
หัวข้อ		
OUTPUT	2.5 mW	10 mW
INPUTPOWER	≤ 0.05 mW	≤ 3 mW
ความกว้างของSPECTRUM ที่จุด POWER ตกลงครึ่งหนึ่ง	100 nm	3 nm
FREQUENCY RESPONSE SPEED	\leq หลายร้อย MHz	\leq หลาย GHz
อายุการใช้งาน	$\leq 10^6$ ชั่วโมง	$\leq 10^6$ ชั่วโมง

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์ปล่อยแสง

2.3.6 การเชื่อมอุปกรณ์ปล่อยแสงกับเส้นใยแสง

โดยทั่วไปแล้ว แสงที่ปล่อยออกจากอุปกรณ์ปล่อยแสงจะกว้างออกเนื่องด้วยปรากฏการณ์การเบี่ยงเบนของแสง (Diffraction) การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสงที่มีขนาดเล็กมาก ประมาณ 10 ~ หลายสิบล้านไมโครเมตร จึงเป็นการยาก ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการใช้วิธีการต่างๆ เช่น ใช้เลนส์มาทำการบีบแสงให้เล็กลง ในการเชื่อมแสงระหว่างอุปกรณ์ปล่อยแสงกับเส้นใยแสง ดังแสดงในรูปที่ 2.20



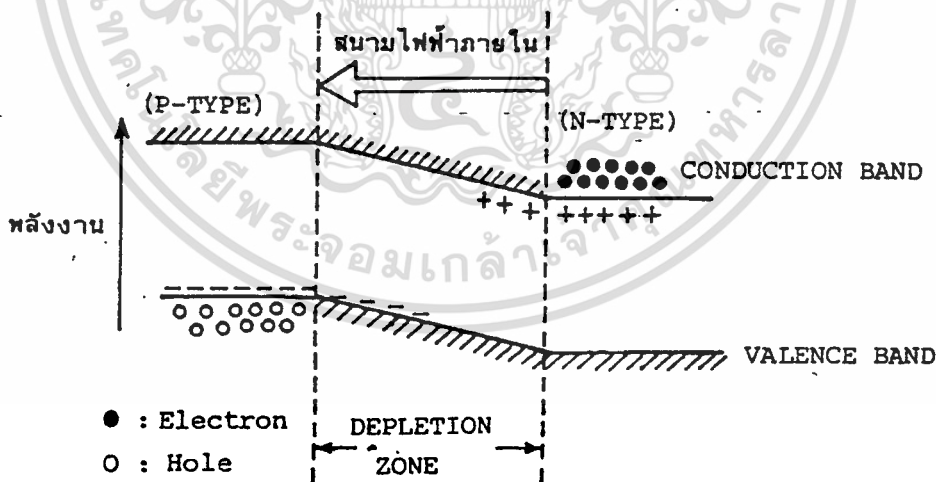
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.20 การเชื่อมแสงระหว่างอุปกรณ์ปล่อยแสงกับเส้นใยแสง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

2.4.1 โครงสร้างและการทำงานของกรับแสง

การรับแสง หมายถึง การเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า ในการทำงานแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือวิธีที่หนึ่งเป็นการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้าโดยตรง วิธีที่สองทำได้โดยการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานความร้อนก่อนแล้วจึงเปลี่ยนเป็นไฟฟ้า วิธีที่หนึ่งเรียกว่า Photo Electric Effect ส่วนวิธีที่สองเรียกว่า Sensitivive Heat Effect สำหรับการสื่อสารด้วยแสงใช้ Photo Electric Effect

หลักการของ Photo Electric Effect คือเมื่อมีแสงมากระทบสารกึ่งตัวนำอิเล็กตรอนที่อยู่ในวาเลนซ์แบนด์จะเลื่อนขึ้นไปอยู่คอนดักชันแบนด์แต่การเลื่อนขึ้นไปนี้เป็นเพียงอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปเท่านั้น และในที่สุดมันจะไปรวมกันใหม่กับ โฮล ใน วาเลนซ์แบนด์อีก ให้ไม่ได้รับ Photo Electric Effect ด้วยเหตุนี้ เพื่อที่จะเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้าจะต้องใช้สภาพการแยกกันของอิเล็กตรอนกับ โฮล ก่อนที่มันจะรวมกัน



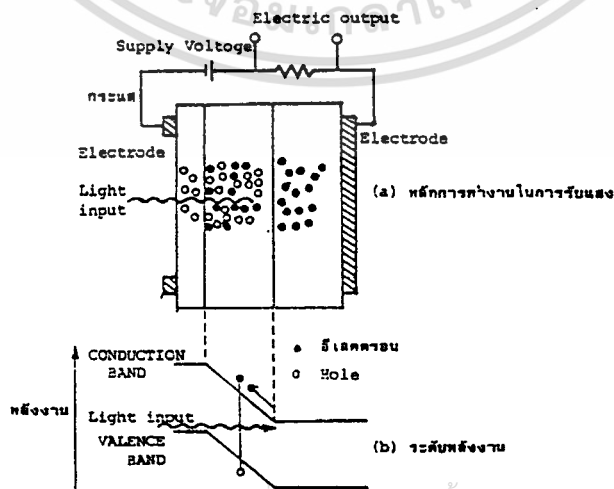
รูปที่ 2.21 Depletion Zone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 สารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง

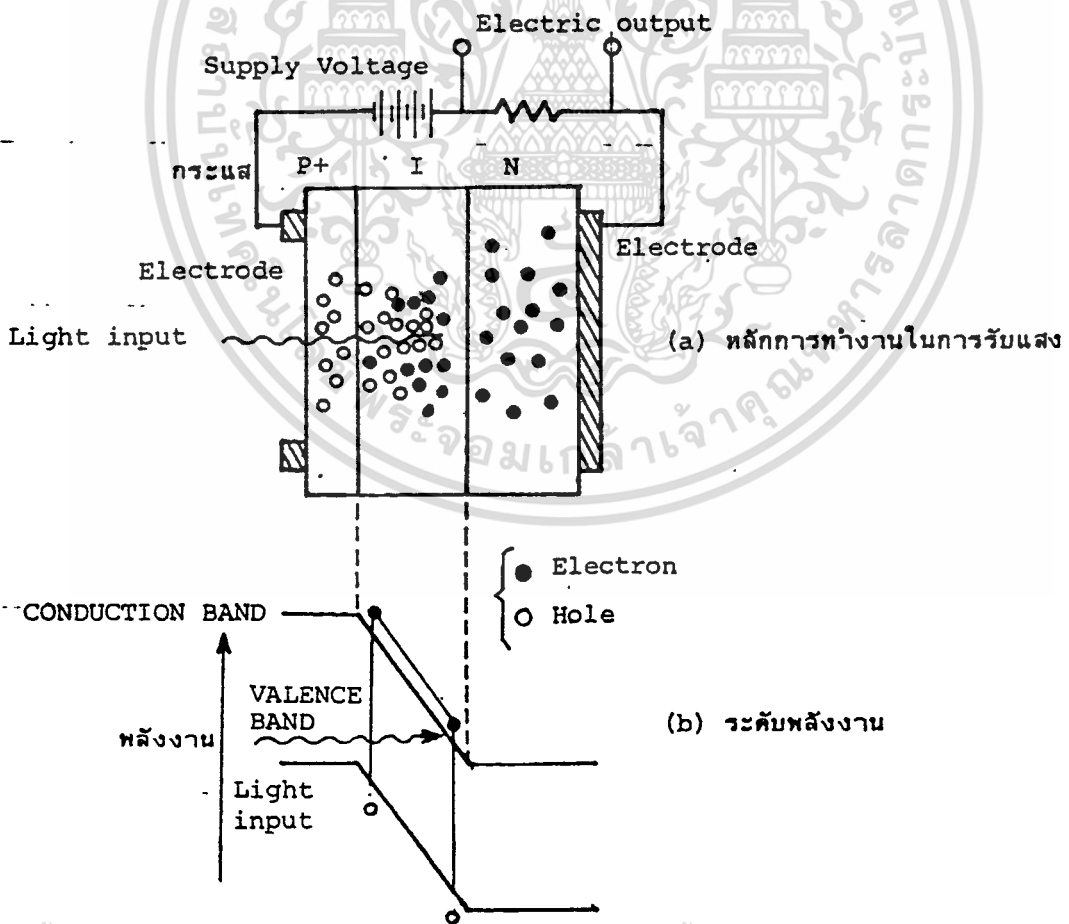
ในการออกแบบระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแสงนั้น ต้องมีอุปกรณ์รับแสงที่เหมาะสมกับความยาวคลื่นที่ใช้เช่นเดียวกับอุปกรณ์กำเนิดแสง สำหรับความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 1 ไมโครเมตร จะใช้ (Si (Silicon)) สำหรับย่านความยาวคลื่นจาก 1~7 ไมโครเมตร ใช้ (Ge Germanium)) เป็นส่วนใหญ่ ในปัจจุบัน สำหรับความยาวคลื่นในช่วง 1.55 ไมโครเมตร เป็นความยาวคลื่นที่มีการสูญเสียในเส้นใยแสงน้อยมาก และเป็นความยาวคลื่นที่อยู่ใน Third Windows โดยใช้อุปกรณ์รับแสงชนิดใหม่ที่ทำจากสารที่เป็นสารประกอบของสารกึ่งตัวนำ InGaAs และอื่นๆ อุปกรณ์รับแสง Photo Diode : PD กับ Avalanche Photo Diode : APD นั้น เป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณน้อย ส่วนพวก APD เป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณมาก

PD คือ PIN-PD ดังแสดงในรูป 2.22 PIN หมายถึงว่าในระหว่างสารกึ่งตัวนำ P-Type และ N-Type มีสารกึ่งตัวนำแบบที่เรียกว่า Intrinsic : I คั่นอยู่ Drift Current นั้นเกิดขึ้นใน Depletion Zone และผลของสนามไฟฟ้าทำให้มีการตอบสนองช้า ดังนั้นถ้าความกว้างของ Depletion Zone ยิ่งมากเท่าใด Quantum Efficiency และความเร็วของการตอบสนองความถี่ยิ่งดีขึ้น ความกว้างของ Depletion Zone นี้ถ้าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนและโฮล ของ P-Type และ N-Type ยิ่งต่ำจะยิ่งกว้าง ดังนั้นสารกึ่งตัวนำแบบ I ที่คั่นกลางระหว่าง P-Type และ N-Type จึงมีหน้าที่เพื่อทำให้ความกว้างของ Depletion Zone กว้างขึ้นนั่นเอง เนื่องจาก PD ที่ใช้ในระบบสื่อสารนั้นโดยทั่วไปต้องการความเร็วในการตอบสนองสูง ดังนั้นส่วนใหญ่จะใช้ PIN-PD



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด รูปที่ 2.22 แสดงหลักการการทำงานการรับแสงและระดับพลังงานของ PIN-PD ที่มีการนำไปใช้

APD นั้นใช้ปฏิกิริยาการขยาย Avalanche ของอิเล็กตรอน และ โฮล ในสารกึ่งตัวนำ เมื่อเปรียบเทียบกับ PD แล้วเป็นอุปกรณ์รับแสงที่ให้กระแสเป็นจำนวนมาก หลักการทำงานของ APD แสดงในรูปที่ 2.23 สำหรับโครงสร้างนั้นส่วนใหญ่ทางด้าน P ของ PN-Junction จะมีสารกึ่งตัวนำแบบ P-Type ที่มีความหนาแน่นของโฮลสูงติดอยู่ โดยการทำเช่นนี้จะทำให้สนามไฟฟ้าภายในของบริเวณใกล้ๆ รอยต่อที่มี P-Layer เป็นศูนย์กลางมีค่ามาก อิเล็กตรอนที่จุดแสงที่มากกระทบจากด้าน P+ และถูกกระตุ้นจาก Valence Band ไปยัง Conduction Band ในระหว่างที่มันได้รับอัตราเร่งและผ่าน P-Layer นั้นมันจะได้รับพลังงานเป็นจำนวนมากกว่าผลต่างของพลังงานของ Conduction Band กับ Valence Band จากผลนี้สามารถทำให้กระตุ้นอิเล็กตรอนที่อยู่ใน Valence Band และทำให้เกิดอิเล็กตรอนกับ โฮลใหม่ได้ และอิเล็กตรอนกับโฮลใหม่นี้ยังถูกสนามไฟฟ้าเร่งอัตราเร่งให้อีกทำให้เกิดอิเล็กตรอนกับโฮลใหม่ออกมาอีก เมื่อขบวนการนี้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นผลให้เกิดการขยายที่เรียกว่า Avalanche Multiplication



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด รูปที่ 2.23 แสดงหลักการการทำงานการรับแสง และระดับพลังงานของ APD ที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ชนิดของอุปกรณ์รับแสง

อุปกรณ์รับแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำแบ่งออกเป็นพวกใหญ่ๆ ได้ 2 พวกตามปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้จากภายนอก คือ

Photo Diode : PD กับ Avalanche Photo Diode : APD, พวก PD นั้นเป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณน้อย ส่วนพวก APD เป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณมาก

2.4.4 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์รับแสงประเมินจากคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ Quantum Efficiency สัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดขึ้น และความเร็วของการตอบการทำงานสำหรับ Quantum Efficiency กำหนดจากสารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง แต่สำหรับความไวการรับแสงนั้นจะเกี่ยวข้องกับขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้

เนื่องจาก APD ใช้ปรากฏการณ์ขยาย Avalanche ดังนั้น จึงมีความไวสูง ประมาณ 10~20 เดซิเบล (10~100 เท่า) เมื่อเทียบกับ PD สัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์รับแสงที่เรียกว่า Shot Noise ซึ่งเป็น Noise อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของ Photo Current ที่เกิดจากการกระตุ้นอิเล็กตรอนอย่างไม่เป็นระเบียบทางเวลาหรือทาง Space คุณสมบัติของ Shot - Noise แสดงดังสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Shot Noise Current} = I_0 M^{2+F} \quad (2.2)$$

ในที่นี้ M เป็น อัตราการขยายกระแสของอุปกรณ์รับแสง

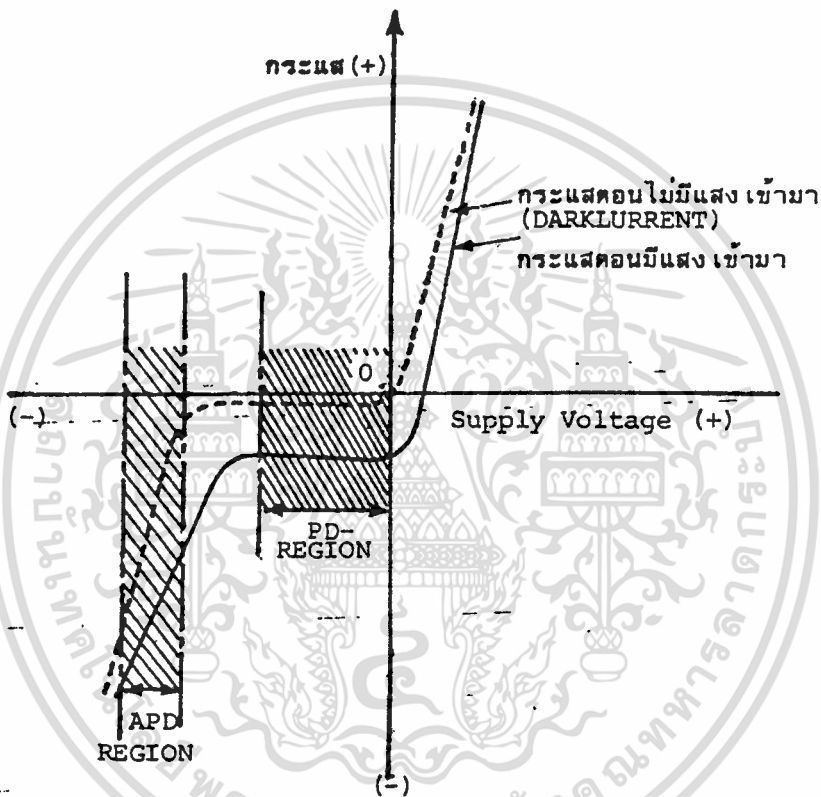
I_0 เป็น Photo Current เมื่อ M เท่ากับ 1 (กรณีของ PD)

F เป็น Excess Noise Figure มีค่ามากเมื่อเทียบกับ M

จากสมการจะเห็นว่ามึระดับการรับแสงเท่ากันถ้าหากทำให้แรงดันไฟฟ้าในทิศทางกลับที่ป้อนให้มึค่าสูง และการทำให้อัตราการขยายกระแสเพิ่มมากขึ้นนั้น สัญญาณออก (output signal $I_0 M^2$) จะเพิ่มมากขึ้นด้วย แต่ Shot Noise ก็เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน

ในรูปที่ 2.24 นี้ได้แสดงการไหลของกระแสที่เรียกว่า Dark Current ที่เกิดในสภาพที่ป้อนแรงดันไฟฟ้าในทิศทางป้อนกลับให้แต่ไม่มีแสงเข้ามาด้วย อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแส Dark มีลักษณะพิเศษ คือ จะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการเพิ่มขึ้นของสัญญาณออก Shot Noise เป็นสิ่งที่เกิดจากกระแส Dark และอื่นๆ ที่เป็นแหล่งต้นกำเนิดครณิของ PD เนื่องจาก $M = 1$ ดังนั้น Shot Noise จึงไม่มีค่ามาก แต่สำหรับครณิของ APD จำเป็นต้องระวังเกี่ยวกับค่าของ M



รูปที่ 2.24 แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ และโฟโต้เคอร์เร็นท์

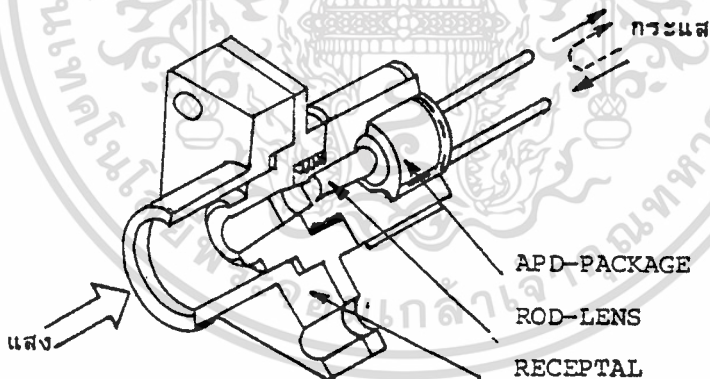
ความเร็วของการตอบสนองความถี่เป็นสิ่งที่กำหนดจากเวลาที่มีสัญญาณแสงเข้ามาจนกระทั่งเกิดปรากฏการณ์จุดแสง แต่ในปัจจุบัน เนื่องจากทั้ง PD และ APD สามารถตอบสนองความเร็วได้ถึง GHz จึงไม่มีปัญหาในการใช้งาน การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของ PD และ APD แสดงดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ \ อุปกรณ์รับแสง	PD	APD
QUANTUM FREQUENCY	~ 80 %	~ 80 %
ความไวการรับแสง (1)	-1.5 ~ 20 dBm 0	-30 ~ 40 dBm 0
ความเร็วการตอบสนองความถี่	~ หลาย GHz	~ หลาย GHz
อัตราขยาย	1	~ 500
ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทำงาน	0 ~ 20 V	30 ~ 200 V

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

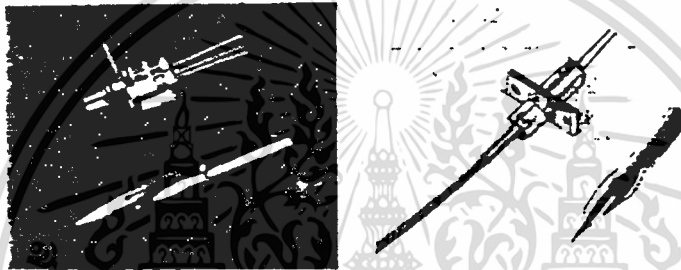
2.4.5 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์รับแสงกับเส้นใยแสง



รูปที่ 2.25 ตัวอย่างโครงสร้างภายในของ APD Module

การเชื่อมต่ออุปกรณ์รับแสงกับเส้นใยแสงเป็นองค์ประกอบสำคัญอันหนึ่งในการออกแบบระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแสง แสงที่เดินทางมาในเส้นใยแสงมักจะถูกปล่อยออกไปจากปลายเส้นใยแสงในลักษณะที่มีความกว้างใกล้เคียงกับค่า NA (Numerical Aperture) ของเส้นใยแสง ด้วยเหตุนี้จะต้องทำให้อุปกรณ์รับแสงอยู่ใกล้กับปลายของเส้นใยแสงให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ เส้นผ่าศูนย์กลางการรับแสงของอุปกรณ์รับแสงที่ทำงานด้วยความเร็วสูงนั้นใช้

โดยทั่วไปต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 100 ไมโครเมตร ดังนั้น จึงต้องมีวิธีการรวมแสงให้แก่ด้านรับแสงโดยใช้ Rod Lens (เลนส์ที่มีลักษณะเป็นแท่งกลมยาว) ไปไว้ข้างหน้าของอุปกรณ์รับแสง และอุปกรณ์รับแสงที่ประกอบเป็นชิ้นเดียวกันเรียกว่า โมดูลอุปกรณ์รับแสง (Module) ตัวอย่างโครงสร้างภายในของโมดูลนี้แสดงดังรูปที่ 2.25 และตัวอย่างของ PIN-PD Module และ APD Module แสดงดังรูปที่ 2.26



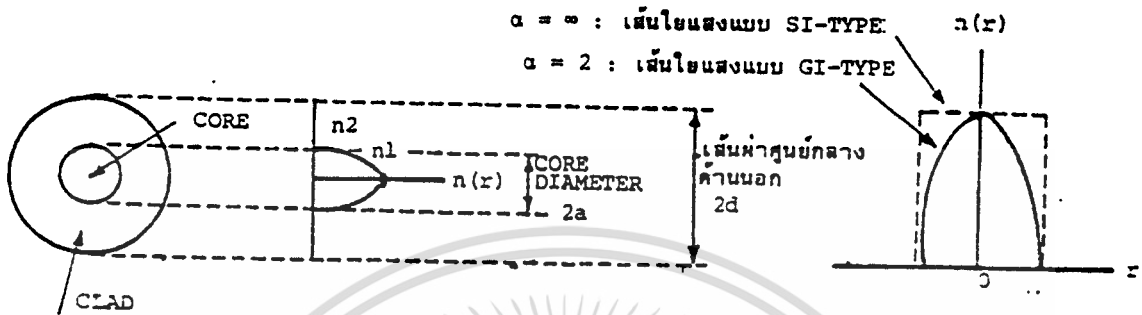
รูปที่ 2.26 PIN-PD Module และ APD Module

2.5 เส้นใยแสง (Optical)

เส้นใยแสง คือ เส้นใยขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำแสง โครงสร้างของเส้นใยแสงประกอบด้วยส่วนที่เดินทางผ่านเรียกว่า คอรั และส่วนที่หุ้มคอรั เรียกว่า แคลด ทั้ง คอรั และแคลด เป็นไดอิเล็กทริกใส 2 ชนิด (Dielectric หมายถึงสารที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า เช่น แก้ว พลาสติก) โดยทำให้ค่าดัชนีของแคลดมีค่าน้อยกว่าค่าดัชนีการหักเหประมาณ 0.2~3 % และอาศัยปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสง สามารถทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปในคอรั เดินทางเข้าไปได้ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกของแคลดซึ่งมีขนาดประมาณ 1.2 mm. ส่วนคอรัที่แสงเดินทางผ่านนั้นมีขนาดเล็กลงไปอีกคือประมาณหลาย μm ($1 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{ mm}$) ซึ่งมีค่าหลายสิบเท่าของความยาวคลื่นแสงที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 โครงสร้างของเส้นใยแสง



$$\text{Numerical Aperture (NA)} : NA = n_1 \sqrt{2\Delta}, \quad \Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

$$\text{Refracting Index Distribution} : n(r) = n_1 \left(1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a}\right)^\alpha\right)^{1/2}, \quad 0 < r < a$$

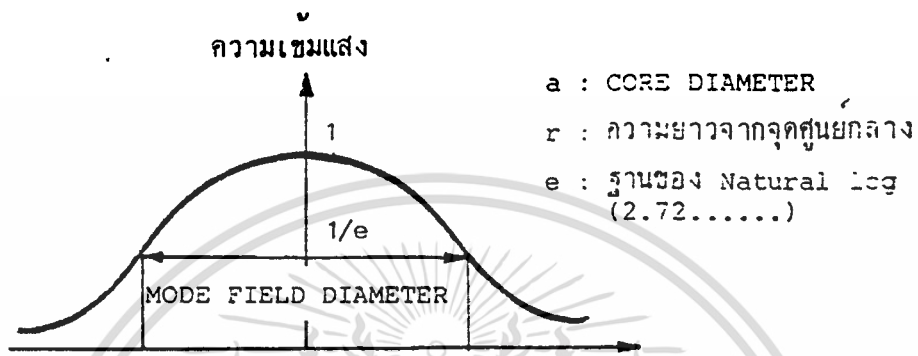
รูปที่ 2.27 Parameter ทางโครงสร้างของ Multimode Optic Fiber

องค์ประกอบพื้นฐานที่กำหนดโครงสร้างของเส้นใยแสง คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์ , เส้นผ่าศูนย์กลางนอก (เส้นผ่าศูนย์กลางของแคลด) , Numerical Aperture (NA) และอื่นๆ องค์ประกอบเหล่านี้เรียกว่า Parameter ทางโครงสร้างเหล่านี้ นอกจากจะมีผลต่อการสูญเสีย, transmission band width, ความแข็งแรงทางเมคานิคและคุณสมบัติอื่นๆ ของเส้นใยแสงแล้ว ยังเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับเชื่อมต่อของเส้นใยแสงกับเส้นใยแสงหรือการต่อของเส้นใยแสงกับอุปกรณ์แสง (optic device) อีกด้วย

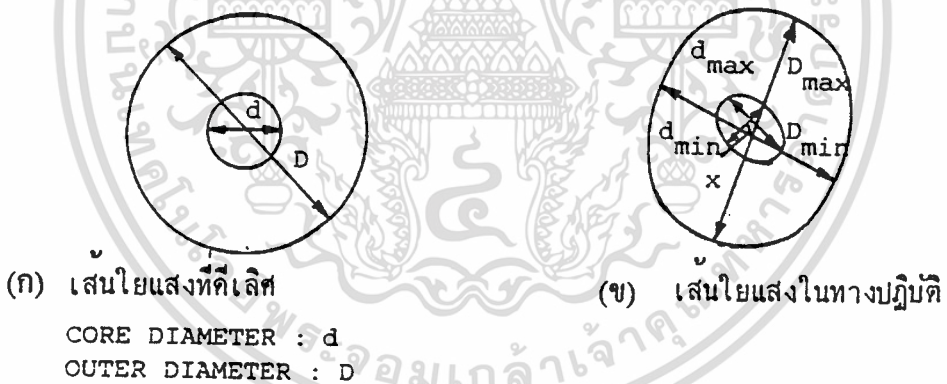
นอกจากนี้ยังมี parameter ประกอบทางโครงสร้างเพิ่มเติมอีกได้แก่ เปอร์เซนต์การคลาดเคลื่อนของศูนย์กลาง(ค่าน Eccentricity) , อัตราความเพี้ยนของวงกลม (Non-Circular Rate) สำหรับ Parameter ประกอบนี้จะไม่ผลอะไรทางคุณสมบัติการส่ง (Transmission Characteristic) แต่มันจะมีผลอย่างมากต่อการสูญเสียของการต่อ (Connection Loss) ของเส้นใยแสง

สำหรับโครงสร้างของ Single Mode Optic Fiber จะกำหนดจาก Parameter 3 อย่าง คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ Mode Field , เส้นผ่าศูนย์กลางนอก และ Cut Off Wave Length ซึ่งต่างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับกรณีของ Multi Mode Optic Fiber สาเหตุที่ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางของ Single Mode Optic Fiber แทนการใช้เส้นผ่านศูนย์กลางของ Mode Field มีค่ามากดังแสดงในรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 เส้นผ่านศูนย์กลาง Mode Field



รูปที่ 2.29 แสดงโครงสร้างของเส้นใยแสง

$$\text{Corediamiter : } d = \frac{d_{\max} + d_{\min}}{2} \quad (2.3)$$

$$\text{Router Diameter : } D = \frac{D_{\max} + D_{\min}}{2} \quad (2.4)$$

อัตราไม่เป็นวงกลมของ Core : $e = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{d} \times 100\%$ (2.5)

อัตราไม่เป็นวงกลมของ Clad : $E = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D} \times 100\%$ (2.6)

อัตราความคลาดเคลื่อนของจุดศูนย์กลาง : $C = \frac{x}{d} \times 100\%$ (2.7)

ปริมาณความคลาดเคลื่อนของจุดศูนย์กลาง : x

หัวข้อ	ชนิด Graded Index Optic fiber	Single Mode Optic fiber
ความยาวคลื่นที่ใช้	(a) 0.85 μm (b) 1.30 μm	(a) 1.30 μm (b) 1.55 μm
เส้นผ่าศูนย์กลางของ Core	50 $\mu\text{m} \pm 6\%$	-
เส้นผ่าศูนย์กลางของ Mode Field	-	9 ~ 10 $\mu\text{m} \pm 10\%$ (1.30 μm)
Cut Off Wave Length	-	1.10 ~ 1.28 μm (1)
เปอร์เซ็นต์การคลาดเคลื่อน ของศูนย์กลาง	< 6 %	0.5 ~ 3.0 μm
เส้นผ่าศูนย์กลางนอก	125 $\mu\text{m} \pm 24\%$	12.5 $\mu\text{m} \pm 2.4\%$
อัตราความเพี้ยนของวงกลม ของ Core	< 6 %	-
อัตราความเพี้ยนของวงกลม ของ Clad	< 2 %	< 2 %
Numerical Aperture (NA)	(a) 1.18 ~ 1.24 ± 0.02 (0.85 μm) (b) 0.15 ~ 0.30 ± 0.02 (1.3 μm)	(2)

ตารางที่ 2.3 ค่ามาตรฐานทางโครงสร้างของเส้นใยแสงที่ CCITT แนะนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หมายเหตุ : (1) CCITT กำลังพิจารณาอยู่
 (2) ถ้าบอกค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของ Mode Field และ Cut Off Wave length แล้ว
 ไม่จำเป็นต้องบอกค่า NA

2.5.2 ชนิดของเส้นใยแสง

วิธีการแบ่งชนิดของเส้นใยแสงมีหลายวิธี กล่าวคือ แบ่งตามชนิดของสารไดอิเล็กทริกที่ใช้, แบ่งตามจำนวน Propagation Mode, แบ่งตามลักษณะการหักเหของคอร์

1. การแบ่งชนิดของเส้นใยแสงตามชนิดของไดอิเล็กทริก

การแบ่งชนิดของเส้นใยแสง ตามชนิดของไดอิเล็กทริกที่ใช้ แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

- 1.1 Silica glass optic fiber ซึ่งใช้ไดอิเล็กทริกที่เป็น Silica glass นอกจากจะใช้ Silica (SiO_2) ที่บริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่แล้วยังใช้สารอื่นเติมลงไป เพื่อให้ค่าดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงตามต้องการ สารอื่นที่เติมลงไปนี้เรียกว่า Dopant ได้แก่ Germanium (Ge), Boron (B), Fluorine (F)
- 1.2 Multi component glass optic fiber ซึ่งใช้ไดอิเล็กทริกที่เป็นแก้วหลายชนิดผสมกัน ส่วนมากจะใช้ Soda Calcium, แก้ว, แก้วที่มี Boron และ Silica ผสมและอื่นๆ เป็นสารหลัก ส่วน Dopant ได้แก่ โซเดียม (Na), แคลเซียม (Ca)
- 1.3 Plastic optic fiber ซึ่งใช้ไดอิเล็กทริกที่เป็นพลาสติก ใช้สารพวก Silica Resin, Acryl Resin เช่น Polymethacry Methy Acid : PMMA)

2. การแบ่งชนิดของเส้นใยแสงตามจำนวน PROPAGATION MODE

สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ Single Mode optic fiber ใช้ชื่อย่อว่า SM fiber และอีกชนิดหนึ่งคือ Multi Mode optic fiber

3. การแบ่งชนิดของเส้นใยแสงตามลักษณะของดัชนีการหักเห

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเห คือ

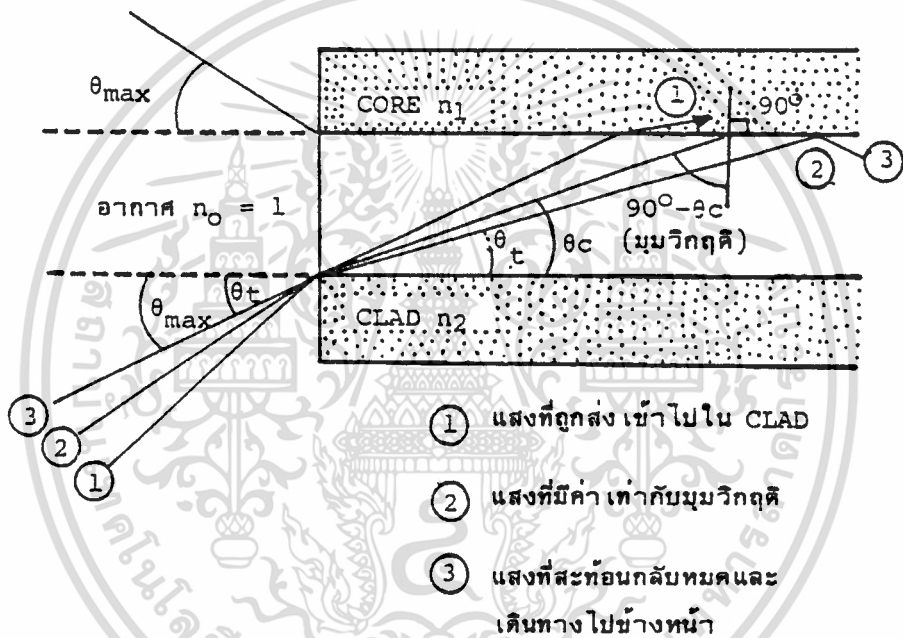
3.1 Step Index optic fiber (Si-fiber) เป็นเส้นใยแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่างคอร์กับแคลด เป็นลักษณะขั้นบันได (Step) จึงเรียกว่า Step Index optic fiber

3.2 Graded Index optic fiber (Gi-fiber) เป็นเส้นใยแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่างคอร์กับแคลดค่อยๆ ลดลงทีละน้อยต่างกับ (1) จึงเรียกว่า Graded

Index optic fiber วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง

ในการที่จะป้อนแสงเข้าไปใน คอรั ที่มีขนาดเล็กมากนั้นต้องใช้เลนส์ทำการรวมแสง แต่ว่าแสงที่รวมนั้นไม่ใช่ว่าจะถูกป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงได้ทั้งหมด แสงที่มีมุมตกกระทบที่เหมาะสมเท่านั้นจึงจะสามารถเข้าไปในเส้นใยแสงได้ รูปที่ 2.30 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยแสง จากรูปจะเห็นว่าที่จุดป้อนแสงของเส้นใยแสงนั้นจะมีจุดต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงต่างกัน 3 ชนิด



รูปที่ 2.30 มุมรับแสงของเส้นใยแสง

ตัวกลางทั้ง 3 ชนิดนี้ คือ อากาศ, คอรั และแคลดของเส้นใยแสงถ้าให้ค่าดัชนีการหักเหของแสงของตัวกลางทั้ง 3 ชนิด เป็น N_0 ($N_0 = 1$), N_1 และ N_2 ตามลำดับ จะเกิดการหักเห การสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของอากาศกับคอรั และคอรั กับแคลด ในที่นี้มีมุมรับแสงของเส้นใยแสงที่มีค่ามากที่สุดเป็น θ_{max} จากรูปที่ 2.30 จะเห็นว่าลำแสง 2 นั้นมุมรับแสงตรงรอยต่อของคอรั กับแคลด นั้นมีค่าเป็นมุมวิกฤต (Critical Angle) ตรงรอยต่อของอากาศกับคอรั และของคอรั กับแคลด นั้นจากกฎของ Snell จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sin \theta_{max} = n_1 \sin \theta \quad (2.8)$$

$$\sin(90^\circ - \theta_c) = \cos \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.9)$$

ดังนั้นกรณีที่มีมุมรับแสง θ_{\max} มีค่าสูงสุดได้นั้น n_1 / n_2 จากสมการ จะได้ว่า

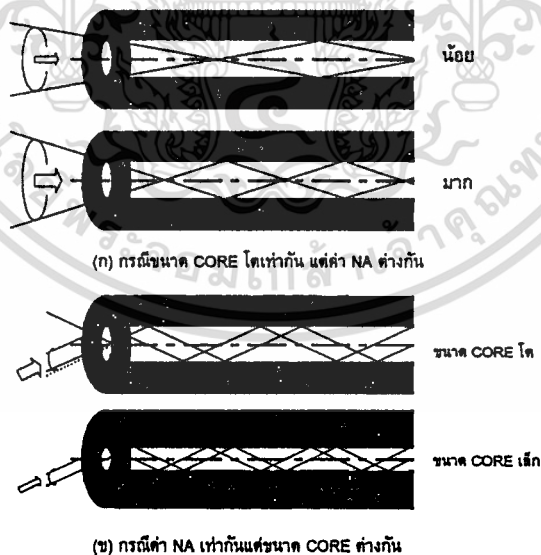
$$\sin \theta_{\max} = n_1 \sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2}} = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (2.10)$$

ในที่นี้

$$\Delta = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} \quad (2.11)$$

เรียกว่า อัตราส่วนของผลต่างของดัชนีการหักเหของแสง

สำหรับ $\sin \theta_{\max}$ นี้ ตามศัพท์เทคนิคของวิชาแสงเรียกว่า Numerical Aperture เขียนย่อว่า NA หมายถึงการเปิดรับให้แสงผ่าน และใช้เป็นตัวแสดงเงื่อนไขการป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง รูปที่ 2.31 แสดงความหมายของ NA และขนาดของคอร์ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสง



รูปที่ 2.31 ผลของ NA และขนาดของ Core ที่มีต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อระหว่างต้นกำเนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารแสงกับเส้นใยแสงการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

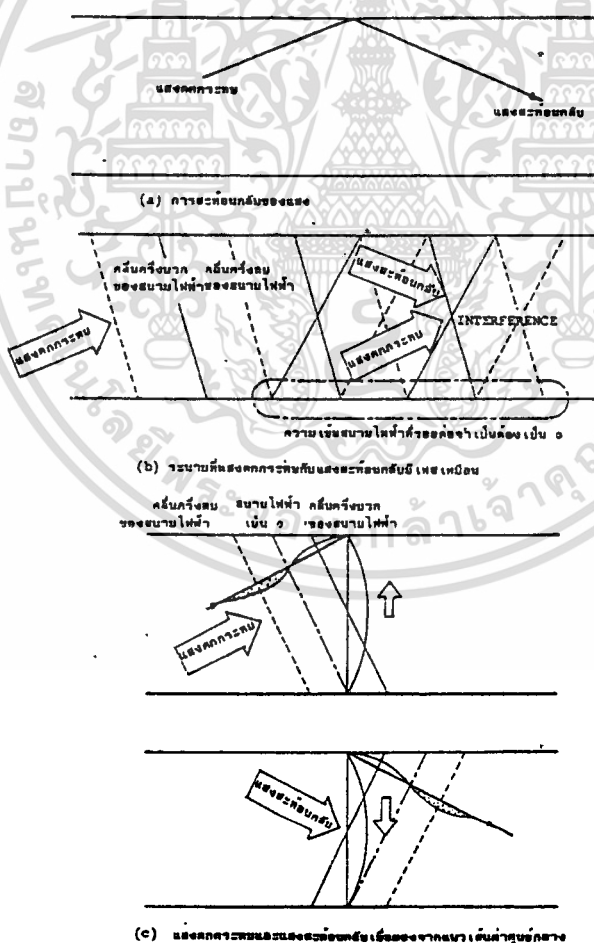
2.5.4 MODE การเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง (Propagation Mode)

1. INTERFERENCE ของแสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับ

แสงที่สะท้อนกลับตรงรอยต่อของตัวกลางแสงด้วยลำแสง และลำแสงนี้เป็นเสมือนตัวแทนของทิศทางการเดินทางของแสงที่สนามไฟฟ้าของมัน มีการเปลี่ยนแปลงตามจุดต่างๆ ในคอร์ของเส้นใยแสง แสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับจะเกิดการอินเตอร์เฟอเรนซ์กันที่จุดต่างๆ ในคอร์

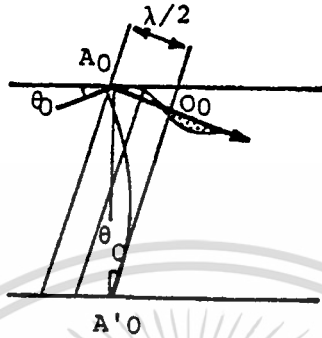
2. เงื่อนไขที่รอยต่อของตัวกลาง

ที่รอยต่อของตัวกลาง ความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากการอินเตอร์เฟอเรนซ์ของแสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับจะต้องเป็นศูนย์ด้วย

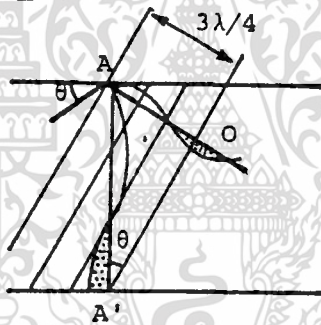


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.32 การสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของตัวกลาง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

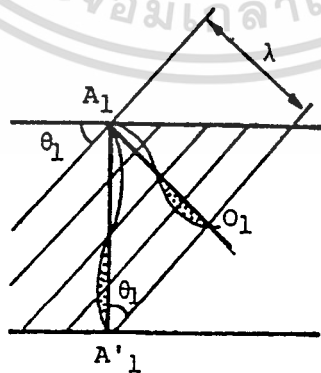
3. คลื่นที่อยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี



(a) เมื่อนแสงที่มีมุมสะท้อนกลับ θ_0 เคลื่อนที่ไป $\lambda/2$ เฟสของความเข้มสนามไฟฟ้าระหว่าง $A_0 \rightarrow A'_0$ จะเปลี่ยนไป 180°



(b) ไม่มีคลื่นอยู่จริงในแนวเส้นผ่าศูนย์กลาง



(c) เฟสของความเข้มสนามไฟฟ้าในแนวเส้นผ่าศูนย์กลาง เปลี่ยนแปลง 180°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 รูปที่ 2.33 มุมสะท้อนกลับของแสงที่ทำให้เกิดคลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี

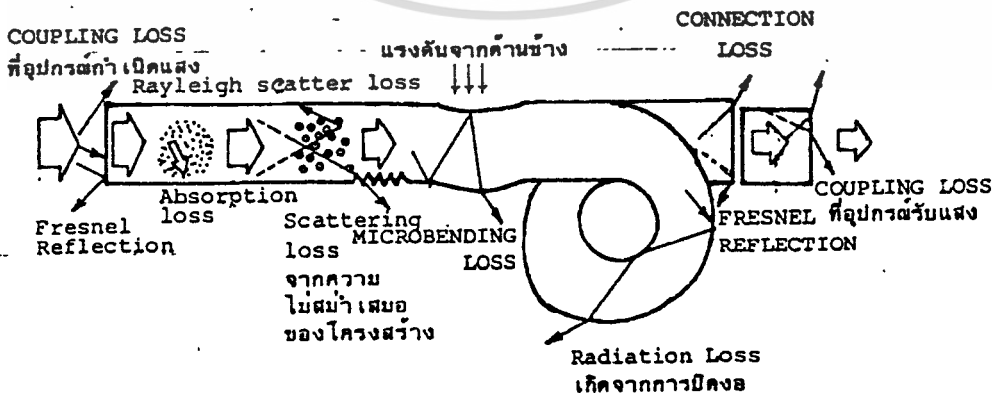
เพื่อให้เงื่อนไขของตัวกลางที่กล่าวมาใน 2 เป็นจริงได้นั้น จำเป็นต้องมีคลื่นที่อยู่กับที่ ซึ่งเกิดจากการอินเตอร์เฟอเรนซ์ของแสงตกกระทบกับแสงสะท้อนกลับในทิศทางของรัศมี รูปที่ 2.32 (ค) เป็นรูปที่แสดงการเปลี่ยนแปลงทางเฟสของความเข้มของสนามไฟฟ้า ตามการเดินทางของแสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับ ซึ่งมองในทิศทางรัศมีจะเห็นว่ามี การซ้อนกันของคลื่นที่มีทิศทางสวนกัน ดังนั้น ในระหว่างที่แสงเดินทางเป็นระยะทางเป็นจำนวนเท่า ของเลขเต็มหน่วยของครึ่งความยาวคลื่น ($\lambda/2$) ดังแสดงในรูปที่ 2.33 (ก) และ (ค) นั้น จะเกิด คลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี ในกรณีที่แสงมีมุมสะท้อนกลับมีค่าเป็นจำนวนเท่าของเลข เต็มหน่วยของมุม 180° ของความเข้มสนามไฟฟ้าตามทิศทางของรัศมี ส่วนรูปที่ 2.33 (ข) นั้น เป็นกรณีตรงกันข้าม กล่าวคือ แสงที่มีมุมสะท้อนกลับมีค่า $\theta_0 < \theta$ จะไม่เกิดคลื่นอยู่กับที่ใน ทิศทางของรัศมีสามารถสรุปได้ว่า มุมสะท้อนกลับของแสงที่เดินทางไปได้ภายในเส้นใยแสง นั้นมีค่าจำกัดเป็นพิเศษเฉพาะบางค่าเท่านั้น

4. โหมดการเดินทางของแสง (PROPAGATION MODE)

ลักษณะของความเข้มของสนามไฟฟ้าภายในคอร์ของเส้นใยแสงที่เกิดขึ้นจากการ อินเตอร์เฟอเรนซ์ของแสงตกกระทบและแสงสะท้อนที่มีค่ามุมสะท้อนกลับเป็นพิเศษเฉพาะ

2.5.5 การสูญเสียแสงในเส้นใยแสง

การสูญเสียแสงแบ่งออกตามความแตกต่างของโครงสร้างที่เกิดขึ้นได้ เป็นการสูญเสีย ที่มีอยู่ในตัวของเส้นใยแสงเอง และการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมาเมื่อตอนนำเส้นใยแสงไปใช้ใน ระบบการสื่อสาร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 2.34 แสดงสาเหตุต่างๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสง

การสูญเสียที่มีอยู่ในตัวของเส้นใยแสงเองนั้น เกิดจากสาเหตุต่างๆ ได้แก่ การดูดแสง การกระจัดกระจายแสงแบบเรลี , การกระจัดกระจายแสงเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอทางโครงสร้าง ส่วนการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมานั้นเกิดจากสาเหตุต่างๆ ได้แก่ การงอโค้งของเส้นใยแสง การงอโค้งแบบ Microbending , การต่อเส้นใยแสง , การเชื่อมต่อแสงระหว่างอุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงหรืออุปกรณ์รับแสง

2.6 ระบบสื่อสารเส้นใยแสง

ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงมีโครงสร้างคล้ายกับระบบการสื่อสารด้วยสายเคเบิล กล่าวคือ วงจรภาคส่งจะทำหน้าที่จัดรูปสัญญาณให้เหมาะสมด้วยวิธีการเข้ารหัสและมอดูเลต โดยลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในขั้นตอนนี้ ส่วนใหญ่มักจัดให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล เพราะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า จากนั้นวงจรในส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงหรือขับสัญญาณ จะแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้ให้เป็นสัญญาณแสงส่งไปยังสถานีรับ โดยมีเส้นใยแสงเป็นท่อนำสัญญาณ ที่สถานีรับจะมีโฟโตรีเซปเตอร์คอยเปลี่ยนสัญญาณแสงที่รับได้ให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า แล้วส่งไปยังวงจรรับเพื่อถอดรหัสและดีมอดูเลตสัญญาณ ทำให้ได้สัญญาณที่มีลักษณะเดียวกับสัญญาณเดิมเป็นข้อมูลขาออกที่นำไปใช้งานต่อไป

2.6.1 วงจรภาคส่ง

เนื่องจากเส้นใยแสงมีขนาดของแบนด์วิดท์กว้างมากเมื่อเทียบกับสายเคเบิล ทำให้สามารถส่งข้อมูลจำนวนมากจากหลายๆ แหล่งได้ภายในช่วงเวลาเดียว หลักการสำคัญที่จะส่งสัญญาณจำนวนมากพร้อมกันให้มีประสิทธิภาพขึ้น โดยใช้วิธีการเข้ารหัส , การมอดูเลต และการมัลติเพล็กซ์สัญญาณในวงจรภาคส่ง

2.6.2 วงจรขับ

ลักษณะวงจรขับสำหรับ LED ก่อนข้างแตกต่างจากวงจรของเลเซอร์ไดโอด ทั้งนี้เนื่องจาก LED มีคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นในการเปล่งแสงตามค่ากระแสไบอัสโดยตรง ทำให้เหมาะสำหรับระบบสื่อสารที่ใช้ข้อมูลแบบแอนะล็อก ในขณะที่พลังงานแสงที่เปล่งออกมาจากเลเซอร์ไดโอดมักมีการเปลี่ยนแปลงสูงมากอย่างรวดเร็ว ทั้งๆ ที่กระแสไบอัสมีมากกว่ากระแสเทอร์สโวลต์ (I_{th}) มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จึงนิยมใช้เลเซอร์ไดโอดกับวงจรขับสัญญาณที่มีข้อมูลเป็นแบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วงจรสำหรับ LED

แม้ว่า LED จะเหมาะสำหรับส่งสัญญาณแบบแอนะล็อก แต่ในระบบสื่อสารระยะไกล อาจสามารถใช้ส่งข้อมูลที่เป็นดิจิทัลได้ ดังเช่น วงจรในรูปที่ 2.35 ซึ่งเป็นวงจรใช้งานแบบง่าย ซึ่งวงจรในรูปที่ 2.35 (ก) ใช้สำหรับส่งข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 ทางดิจิทัล โดยค่าของกระแสที่ไหลผ่าน LED (I_F) ถูกกำหนดโดยกระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) ของทรานซิสเตอร์ Q_1 และคำนวณได้ด้วย

$$I_F = I_C = \frac{(V_{CC} - V_F)}{R} \quad (2.12)$$

เมื่อ V_F เป็นแรงดันตกคร่อม LED ขณะไบอัส มีค่าตามสเปคที่กำหนด กระแสเบส I_B เป็นตัวควบคุมกระแส I_C อีกทีหนึ่งตามสูตรของ $I_B = I_C / \beta$ เมื่อ β คือ อัตราการขยายของทรานซิสเตอร์ และ I_B คำนวณได้จาก

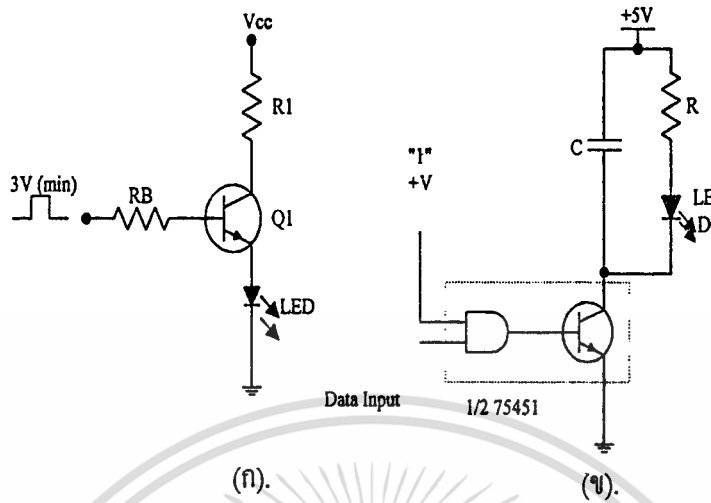
$$I_B = \frac{(V_{i(MAX)} - V_{BE} - V_F)}{R_B} \quad (2.13)$$

เมื่อ $V_{i(MAX)}$ คือค่าแรงดันสูงสุดของสัญญาณเข้า หรือคือ ระดับแรงดันขณะข้อมูลทางดิจิทัลเป็น 1

วงจรในรูปที่ 2.35 (ข) เป็นอีกลักษณะหนึ่งของการส่งข้อมูลดิจิทัล ที่มีเสถียรภาพมากกว่าวงจรในรูปที่ 2.35 (ก) โดยใช้ IC เบอร์ 75451 หรือ 75450 เพียงบางส่วน ที่ขาหนึ่งของแอนด์เกตถูกกำหนดสถานะทางลอจิกเป็น 1 (+5 V) ขาที่เหลือใช้สำหรับส่งข้อมูล โดยขณะข้อมูลเป็น 1 LED จะไม่ทำงาน และเมื่อข้อมูลเป็น 0 LED จะส่งสัญญาณแสงออกมา ส่วนตัวเก็บประจุ (C) ใช้สำหรับลดผลของการเกิดแรงดันที่กระชาก ซึ่งปกติจะใช้ค่าประมาณ $1 \mu\text{F}$ และค่าของตัวต้านทาน R_1 สามารถคำนวณได้จากกระแสไบอัสตรง I_F ของ LED ที่กำหนดตามสเปคของมัน โดยใช้สูตรการคำนวณ

$$R_1 = \frac{(V_{CC} - V_F)}{I_F} \quad (2.14)$$

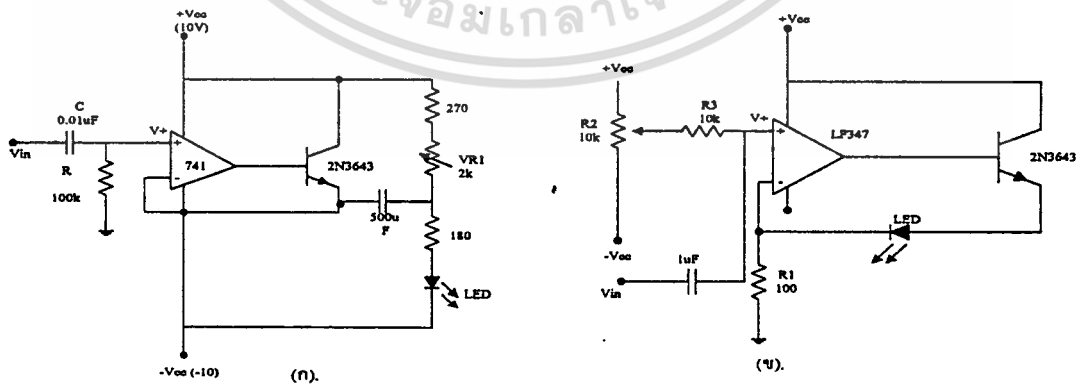
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 วงจรขับ LED แบบคิจิตอล

วงจรขับ LED สำหรับสัญญาณแอนะล็อก แสดงดังรูปที่ 2.36 โดยในรูปที่ 2.36 (ก) เป็นตัวอย่างวงจรที่ถูกรออกแบบให้มีค่ากระแสไบอัส LED อยู่ระหว่าง 7.5-40 มิลลิแอมป์ ขึ้นกับค่าของตัวต้านทาน VR₁ ขนาดของสัญญาณอินพุตมีค่าอยู่ระหว่าง +2 โวลต์ ซึ่งจะถูกลบลงเป็นกระแสไหลผ่าน LED ที่มีค่าระหว่าง ±10 มิลลิแอมป์

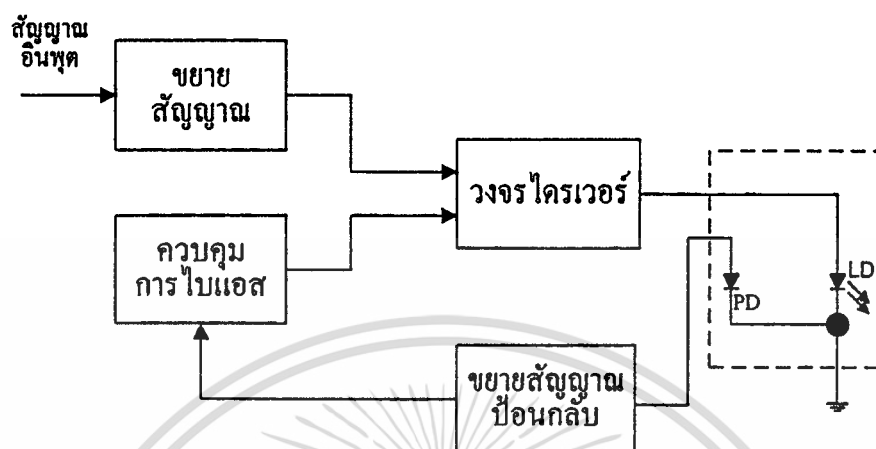
วงจรในรูปที่ 2.36 (ข) ใช้กระแสขับ LED เป็นสัญญาณที่ป้อนกลับในวงจร ทำให้วงจรมีเสถียรภาพมากขึ้น ตัวต้านทานปรับค่าได้ (VR₂) ใช้กำหนดขนาดกระแสไบอัสให้กับวงจร



รูปที่ 2.36 วงจรขับ LED แบบแอนะล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วงจรเลเซอร์ไดโอด



รูปที่ 2.37 บล็อกการทำงานของวงจรถ่ายเลเซอร์ไดโอด

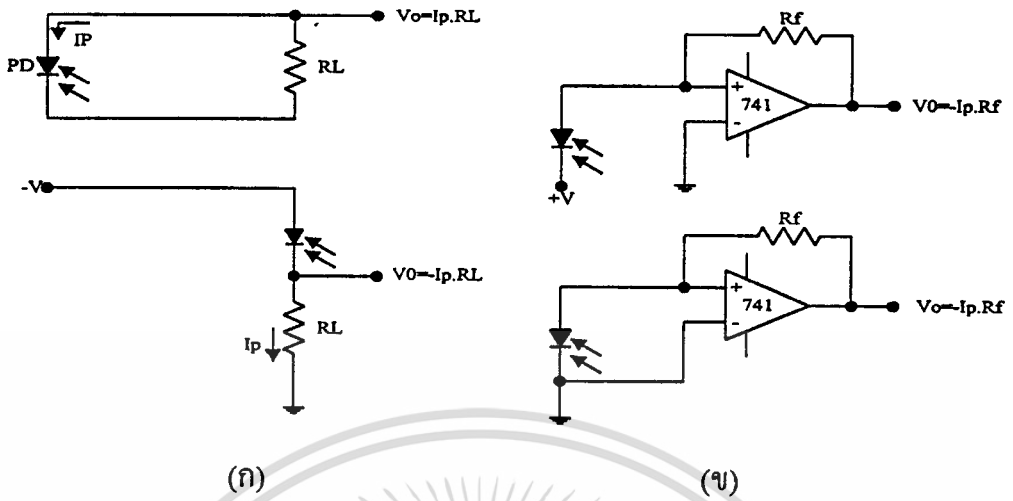
การใช้งานเลเซอร์ไดโอดในระบบสื่อสาร ค่อนข้างจะยุ่งยากในการออกแบบวงจร เพราะวงจรต้องมีประสิทธิภาพ และความเที่ยงตรงสูง บล็อกไดอะแกรมของวงจรถ่ายเลเซอร์ไดโอดแสดงดังรูปที่ 2.37 เพิ่มส่วนป้อนกลับหรือฟีดแบ็คสัญญาณ เพื่อทำหน้าที่ควบคุมวงจรขับให้เกิดความแน่นอน

สัญญาณป้อนกลับอาจได้จากการใช้โฟโตดีเทคเตอร์ ที่มีประกอบอยู่ภายในตัวถังเดียวกันกับเลเซอร์ไดโอดในระบบสื่อสาร เป็นตัวดีเทคเตอร์แสงที่ส่งออกไป หากพลังงานแสงมีมากเกินไป สัญญาณป้อนกลับจะควบคุมให้วงจรขับลดกระแสขับเลเซอร์ไดโอดลง ในทางกลับกัน หากความเข้มแสงที่ส่งออกมา มีค่าน้อย วงจรขับจะช่วยเพิ่มกระแสไบอัสเลเซอร์ไดโอด ทำให้ระดับพลังงานแสงของระบบที่ส่งออกไป มีความเที่ยงตรงแน่นอน

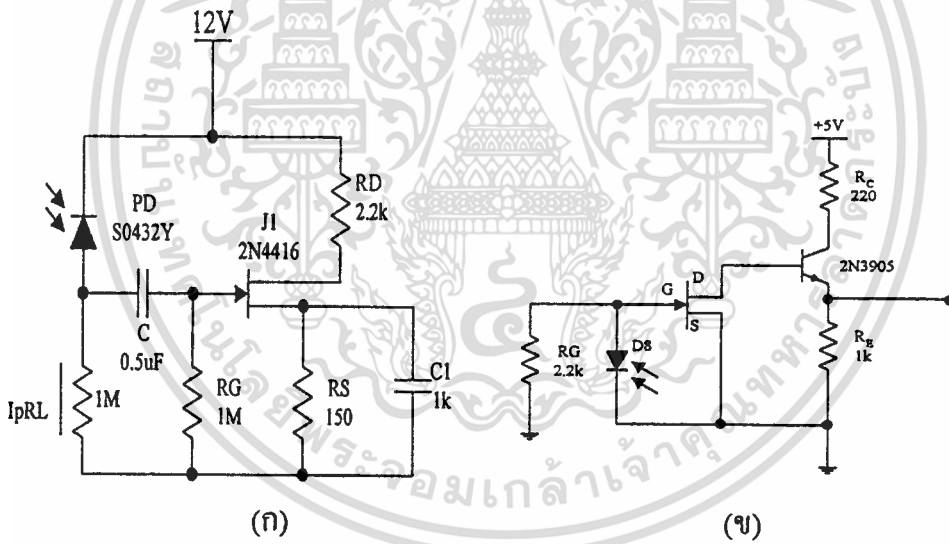
2.6.3 วงจรดีเทคเตอร์

ลักษณะการทำงานในแบบของโหมดโฟโรวอลตาอิก แสดงดังรูปที่ 2.38 (ก) โดยการต่อโฟโรวอลตาอิกอนุกรมกับตัวต้านทานโหลด R_L เมื่อมีแสงตกกระทบบจะเกิดแรงดันตกคร่อม R_L มีค่าเท่ากับ $I_p \times R_L$ เมื่อ I_p คือ กระแสที่ไหลผ่านวงจรอนุกรม ซึ่งมีค่าไม่มาก หากต้องการให้กระแส I_p มีค่ามากขึ้น ต้องเพิ่มแรงดันไบอัสให้กับโฟโรวอลตาอิก เพื่อให้เกิดการทำงานในโหมดโฟโรวอลตาอิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.38 วงจรทำงานของโฟโตไดโอด



รูปที่ 2.39 วงจรโฟโตดีเทคเตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์

2.6.4 การเข้ารหัส

การเข้ารหัสแบบดิจิตอลที่ใช้ในระบบสื่อสารเส้นใยแสงมีหลายวิธีดังแสดงในรูปที่ 2.40 ซึ่งเป็นตัวอย่างการเข้ารหัส 0011101 โดยมีระยะเวลาของการแสดงค่าข้อมูลถูกกำหนดด้วยสัญญาณนาฬิกา (Clock)

วิธีการแรกในรูปที่ 2.40 (ข) มีชื่อว่า RZ (Return to Zero) เป็นการกำหนดสถานะของค่าข้อมูลให้มีค่าเป็นไฟบวก (+) หรือไฟลบ (-) ขึ้นกับชนิดของข้อมูลว่าเป็น 1 หรือ 0 ตามลำดับใช้

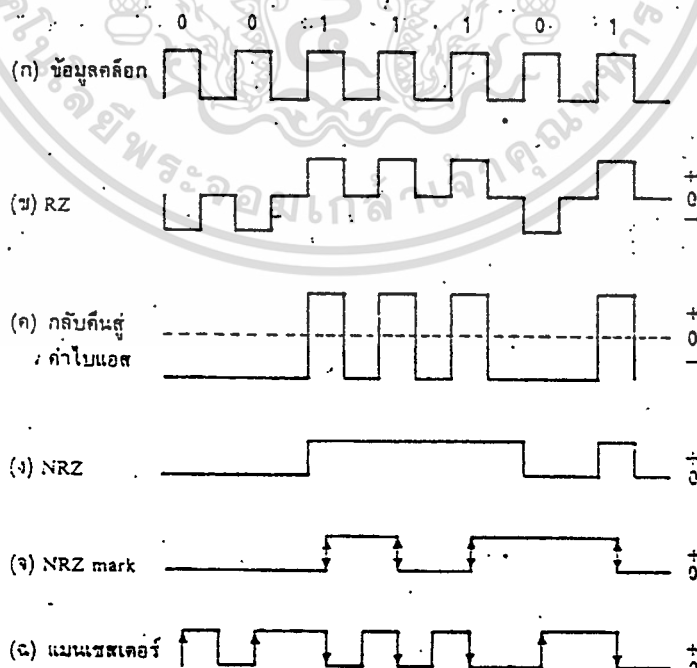
โดยสถานะของสัญญาณจะแสดงในทุกๆ ครึ่งลูกคลื่นแรกของสัญญาณนาฬิกา และจะกลับคืนสู่สถานะศูนย์ในช่วงครึ่งลูกคลื่นที่เหลือ

ในรูปที่ 2.40 (ค) เป็นการเข้ารหัสแบบกลับคืนสู่ค่าไบอัส (Return To Bias) ลักษณะของสัญญาณจะแสดงเพียงสองสถานะ คือ บวกกับลบ โดยสัญญาณในครึ่งลูกคลื่นแรกเป็นตัวแสดงชนิดของข้อมูลด้วยสถานะบวกเมื่อข้อมูลเป็น 1 และมีสถานะเป็นลบเมื่อข้อมูลเป็น 0 สัญญาณในครึ่งลูกคลื่นหลังต้องมีค่าอยู่ในสถานะลบเท่านั้น

การเข้ารหัสแบบ NRZ (Non Return to Zero) ในรูปที่ 2.40 (ง) มีหลักการทำงานคล้ายกับสองแบบแรก เพียงแต่ไม่จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ในครึ่งลูกคลื่นหลัง สถานะของสัญญาณขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูลขณะเวลานั้นๆ เป็นหลัก

ในรูปที่ 2.40 (จ) เป็นการเข้ารหัสที่ปรับปรุงมาจากชนิด NRZ โดยสัญญาณจะมีการเปลี่ยนสถานะ (จาก 0 ไป 1 หรือจาก 1 ไป 0) ทุกครั้งเมื่อบิตข้อมูลมีค่าเป็น 1 และจะไม่เปลี่ยนสถานะเมื่อข้อมูลเป็น 0

การเข้ารหัสในรูปที่ 2.40 (ฉ) มีชื่อว่าแมนเชสเตอร์ หรือไบเฟส โดยสัญญาณจะมีการเปลี่ยนแปลงทางขอบขึ้นเมื่อข้อมูลเป็น 0 และเปลี่ยนแปลงทางขอบลงเมื่อข้อมูลมีค่าเป็น 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

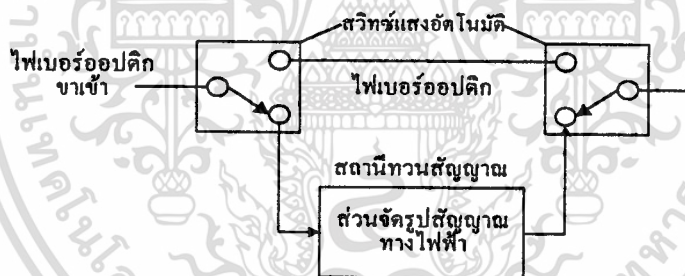
2.6.5 สถานีทวนสัญญาณ (REPEATER)

สถานีทวนสัญญาณมีความจำเป็นในระหว่างช่วงของระยะสถานี เพื่อเสริมสร้างประสิทธิภาพของระบบและลดการผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น

โดยเฉพาะการสื่อสารระยะไกล เมื่อข้อมูลแสงที่เป็นดิจิทัลถูกส่งออกไปจากคันทงไปเป็นระยะทางหนึ่ง สัญญาณจะถูกลดทอนและสูญเสีย ทำให้ลักษณะสัญญาณผิดเพี้ยนไปดังแสดงในรูปที่ 2.41 (ก) ในตำแหน่งที่สัญญาณเดิมผิดเพี้ยนไปมากที่สุด ที่ยังพอจะมองรูปสัญญาณเดิมออก จะเป็นที่ตั้งของสถานีทวนสัญญาณ ซึ่งจะทำหน้าที่รับสัญญาณที่เข้ามาแปลงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า แล้วผ่านวงจรขยายก่อนทำการจัดรูปสัญญาณเสียใหม่ ให้มีรูปแบบเหมือนเดิมเช่นเดียวกับที่ถูกส่งออกมาจากสถานีคันทง แล้วส่งออกไปยังสถานีปลายทาง



(ก) โครงสร้างของสถานีทวนสัญญาณ



(ข) สถานีทวนสัญญาณกับสวิทช์บายพาส

รูปที่ 2.41 สถานีทวนสัญญาณ

2.7 การมอดูเลต

2.7.1 พัลส์แอมพลิจูดมอดูเลชัน (PAM)

ลักษณะการทำงานของระบบ PAM (Pulse Amplitude Modulation : PAM) ซึ่งเป็นการมอดูเลตสัญญาณ โดยใช้ขนาดของสัญญาณทางอินพุตที่เป็นสัญญาณแอนะล็อกเป็นตัวกำหนดขนาดของสัญญาณพัลส์ที่ทำหน้าที่เป็นคลื่นพาหะ สัญญาณพัลส์ที่ถูกมอดูเลตแล้วจะ

ทำหน้าที่ควบคุมแหล่งกำเนิดแสงให้ส่งสัญญาณข้อมูลที่เป็นพลังงานความเข้มของแสงขึ้นกับ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมพลิจูดของพัลส์โดยตรง ขนาดความถี่ของพัลส์ที่เป็นคลื่นพาหะต้องมีค่ามากกว่าความถี่ของสัญญาณอินพุตอย่างน้อยสองเท่า ค่าความถี่ของคลื่นพาหะนี้เรียกว่า อัตราการแซมปลิง (Sampling Rate)

โดยปกติการมอดูเลตแบบ PAM ไม่ค่อยนิยมใช้กันมากนัก เว้นแต่จะใช้กับระบบสื่อสารระยะใกล้ ทั้งนี้ก็เพราะ PAM มีข้อเสียตรงที่มีความไวต่อการเกิดสัญญาณรบกวนสูงมาก

2.7.2. พัลส์โค้ดมอดูเลชัน (PCM)

ลักษณะการทำงานของระบบ PCM (Pulse Code Modulation : PCM) ในตอนแรกสัญญาณอินพุตจะถูกสุ่มตัวอย่างหรือแซมปลิงด้วยอัตราการแซมปลิงเหมือนกับระบบ PAM จากนั้นขนาดของสัญญาณที่สุ่มออกมา (ซึ่งก็คือแอมพลิจูดของพัลส์ในระบบ PAM) จะถูกทำการเข้ารหัสเป็นข้อมูลทางดิจิทัลด้วยระบบไบนารี ความละเอียดของระดับสัญญาณขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่ใช้ในการเข้ารหัส ข้อมูลดิจิทัลที่ถูกเข้ารหัสแล้วจะทำหน้าที่ควบคุมแหล่งกำเนิดแสงให้ส่งข้อมูลออกไปในลักษณะของสวิทช์ปิด-เปิด

2.7.3. พัลส์โพสิชันมอดูเลชัน (PPM)

PPM (Pulse Position Modulation : PPM) เป็นการมอดูเลตโดยใช้ขนาดของสัญญาณที่ถูกสุ่มตัวอย่างเป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการส่งสัญญาณ ข้อมูลแสงที่ถูกส่งออกจะเป็นลักษณะของการปิด-เปิดแสง โดยมีช่วงเวลาเริ่มต้นของการเปิดแสงที่เปลี่ยนไปจากจุดเวลาเริ่มต้นของการสุ่มตัวอย่างเป็นตัวบอกขนาดของข้อมูล ดังนั้น อัตราการแซมปลิงในระบบ PPM จะต้องมีช่วงเวลาห่างของการสุ่มตัวอย่างมากพอที่จะไม่ทำให้ระยะเวลาของการส่งข้อมูลแสงเกิดการซ้อนทับกันได้

2.7.4. พัลส์วิดธ์มอดูเลชัน (PWM)

PWM (Pulse Width Modulation : PWM) มีลักษณะการทำงานซึ่งมีหลักการคล้ายกับระบบ PPM เพียงแต่สัญญาณที่เป็นข้อมูลแสงจะเริ่มทำงาน (เปิดแสง) ณ เวลาของการเริ่มต้นสุ่มตัวอย่าง โดยช่วงเวลาการเปิดแสงหรือขนาดความกว้างของพัลส์จะเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมกับขนาดของข้อมูลที่ถูกสุ่มตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ระบบมัลติเพล็กซ์

2.8.1. ระบบการแบ่งเวลา หรือ TDM (Time division Multiplexing)

การทำงานของระบบ TDM ที่ต้องการส่งข้อมูลจาก 4 ช่องสัญญาณพร้อมกัน โดยในแต่ละช่องสัญญาณจะส่งข้อมูลเป็นคำๆ ละ 4 บิต ข้อมูลทั้ง 4 ช่องจะถูกเลือกด้วยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่คล้ายสวิตช์เชื่อมระหว่างภาคส่งและภาครับอย่างสัมพันธ์กัน โดยมีสัญญาณซิงโครไนซ์คอยควบคุมระยะเวลาที่ใช้สำหรับส่งข้อมูลในแต่ละช่องต้องเท่ากัน (จำนวนบิตของข้อมูลแต่ละช่องควรเท่ากัน) และต้องมีช่วงเวลาพอที่จะส่งข้อมูลทั้งคำหรือ 4 บิตได้ เมื่อเริ่มต้นทำงานสวิตช์เลื่อนไปครบ 1 รอบ ข้อมูลที่เป็นคำแรกของทุกช่องสัญญาณจะถูกส่งไปยังภาครับทั้ง 4 ช่อง ชุดของข้อมูลที่ส่งไปหนึ่งรอบนี้เรียกว่า เฟรม ในแต่ละเฟรมของข้อมูลควรมีสัญญาณอื่นแทรกไว้ เพื่อกอบอกให้ทราบว่าข้อมูลหมดเฟรมแล้ว ภาครับจะได้เตรียมตัวสำหรับสัญญาณในเฟรมใหม่ต่อไป

2.8.2 ระบบการแบ่งความถี่ หรือ FDM (Frequency Division Multiplexing)

ในระบบ FDM สัญญาณอินพุตอาจต้องทำการผสมสัญญาณหรือมอดูเลตถึง 3 ขั้นตอน กล่าวคือ ขั้นตอนแรกเป็นการเข้ารหัสสัญญาณอินพุตที่เป็นแอนะล็อกให้เป็นดิจิทัล (เช่น ระบบ PAM, PCM) จากนั้นสัญญาณที่เข้ารหัสแล้วจะถูกมอดูเลตกับคลื่นพาหะย่อยแบบ AM หรือ FM ในขั้นตอนที่สอง และขั้นตอนสุดท้าย เป็นการรวมสัญญาณทั้งหมดที่ถูกมอดูเลตในแต่ละช่องสัญญาณเข้าด้วยกัน เพื่อให้แหล่งกำเนิดแสงใช้ส่งเป็นข้อมูลได้

ที่ภาครับของระบบ FDM โฟโอดีเท็คเตอร์จะแปลงสัญญาณแสงทั้งหมดที่รับได้ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าของคลื่นความถี่ที่ส่งออกมา แล้วผ่านเข้าไปในวงจรกรองความถี่ที่เหมาะสม เช่น จากตัวอย่างข้างต้น อาจใช้วงจรกรองในช่วงความถี่ 5-1 เมกะเฮิรตซ์ เป็นต้น ข้อมูลสัญญาณที่ถูกกรองแล้วจะถูกดีมอดูเลตเพื่อทำกลับสู่รูปสัญญาณเดิมอีกครั้งหนึ่งในแต่ละช่องสัญญาณของมันก่อนนำไปใช้งานต่อไป

2.8.3 ระบบแบ่งความยาวคลื่น หรือ WDM (Wavelength Division Multiplexing)

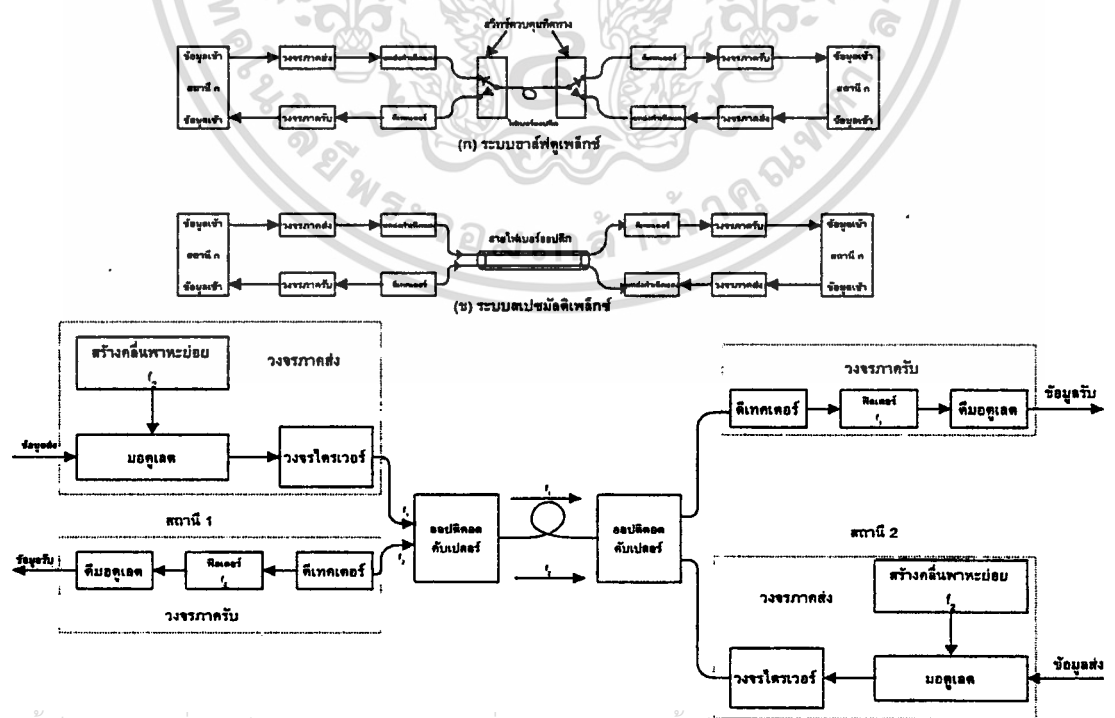
เป็นระบบมัลติเพล็กซ์ที่ใช้คลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันเป็นพาหะนำข้อมูล โดยเอกสแสงทั้งหมดจะถูกรวมกันก่อนส่งออกด้วยออปติคอลลัปเปลอร์ ซึ่งคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นการค่าไม่ค่าหนึ่งสามารถบรรจุข้อมูลได้ 1 ชุด และข้อมูลแต่ละชุดนี้อาจเป็นข้อมูลจำนวนมากที่มาจาก

หลายช่องสัญญาณก็ได้ เพราะการจัดระบบข้อมูลสามารถเลือกใช้ระบบ TDM หรือ FDM ก็ได้ มาทำการมอดูเลตกับคลื่นแสงที่เป็นตัวนำส่งข้อมูล

ที่ภาครับ ข้อมูลแสงจะถูกแยกออกในแต่ละช่วงของความยาวคลื่นด้วย วงจรกรองแบบออปติคัล สัญญาณแสงที่ถูกแยกแล้ว จะถูกดีมอดูเลตและถอดรหัสด้วยวิธีที่เหมาะสมกับขบวนการทางอินพุต (ในลักษณะ TDM หรือ FDM)

2.9 ระบบติดต่อสื่อสาร

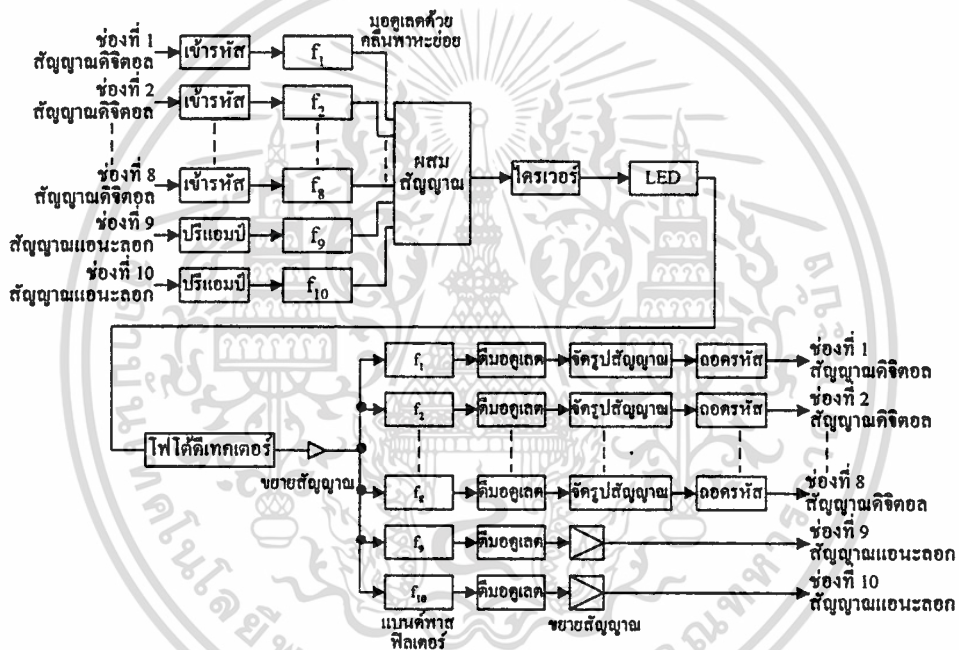
รูปแบบของการติดต่อสื่อสารจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ ระบบซิมเพล็กซ์ (simplex) ซึ่งสถานีส่งมีหน้าที่ส่งข้อมูลเพียงอย่างเดียว และในทำนองเดียวกันสถานีรับก็ไม่มีความสามารถในการส่งข้อมูลกลับ ซึ่งในทางปฏิบัติมีใช้อยู่จำนวนน้อยมาก และระบบสื่อสารแต่ละสถานีสามารถทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลได้เรียกว่า ระบบสื่อสารสองทาง หรือระบบดูเพล็กซ์ (duplex) ดังรูปที่ 2.42 (ก) ระบบนี้สถานีทั้งสองยังไม่สามารถโต้ตอบข้อมูลได้ทันทีทันใด ต้องรอจังหวะช่วงสวิตซ์ต่อสัญญาณก่อน จึงเรียกลักษณะเช่นนี้ว่า ระบบกึ่งสองทาง หรือ ฮาร์ฟดูเพล็กซ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ (ก) ระบบเต็มดูเพล็กซ์แบบ FDM เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 2.42 ระบบติดต่อสื่อสารแบบสองทางหรือดูเพล็กซ์

การแก้ไขให้สถานีทั้งสองสามารถรับส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกันอย่างง่าย ๆ ทำได้โดยนาระบบซิมเพิล็กซ์ 2 ชุดเข้ามาใช้ เรียกว่า ระบบสเปซมัลติเพล็กซ์ (Space Multiplex) ดังรูปที่ 2.42 (ข) แต่ก็ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเกี่ยวกับอุปกรณ์นำสัญญาณ หรือเส้นใยแสงอีกเส้นหนึ่ง วิธีแก้ปัญหาที่นิยมกันคือ การนาระบบมัลติเพล็กซ์แบบ FDM หรือ TDM เข้ามาใช้ ดังแสดงในรูปที่ 2.42 (ค)

2.9.1 ตัวอย่างการออกแบบระบบ



รูปที่ 2.43 ระบบ FDM ที่ถูกออกแบบ

ในการออกแบบ ก่อนอื่นเราต้องทราบหรือกำหนดคุณลักษณะของระบบเสียก่อน ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับการใช้งานเป็นสำคัญ ในที่นี้สมมุติระบบมีคุณลักษณะการทำงานดังนี้

- มีสัญญาณอินพุตแบบดิจิทัล 8 ช่อง แต่ละช่องส่งข้อมูลแบบอนุกรมขนาด 1250 คำต่อวินาที และข้อมูล 1 คำ ประกอบด้วยข้อมูลดิจิทัล 8 บิต
- มีสัญญาณอินพุตที่เป็นแอนะล็อก 2 ช่อง แต่ละช่องมีแบนด์วิดท์ 5 กิโลเฮิรตซ์ ถ้าหากมีการเข้ารหัสแบบ PCM ที่มีข้อมูลดิจิทัล 6 บิตต่อหนึ่งแซมเปิล และควรมีอัตราการส่งอย่างน้อย 10000 แซมเปิลต่อวินาทีต่อของสัญญาณ

- ระยะทางระหว่างสถานีส่งและสถานีรับมีค่าเท่ากับ 5 กิโลเมตร

- ใช้ LED หรือ เลเซอร์ไดโอดเป็นตัวส่งสัญญาณ

จากข้อกำหนดของระบบสัญญาณอินพุตมีจำนวนทั้งสิ้น 10 ช่อง ที่เป็นทั้งแอนะล็อกและดิจิทัล เมื่อย้อนกลับไปพิจารณาทางเลือกของการออกแบบในรูปที่ 2.43

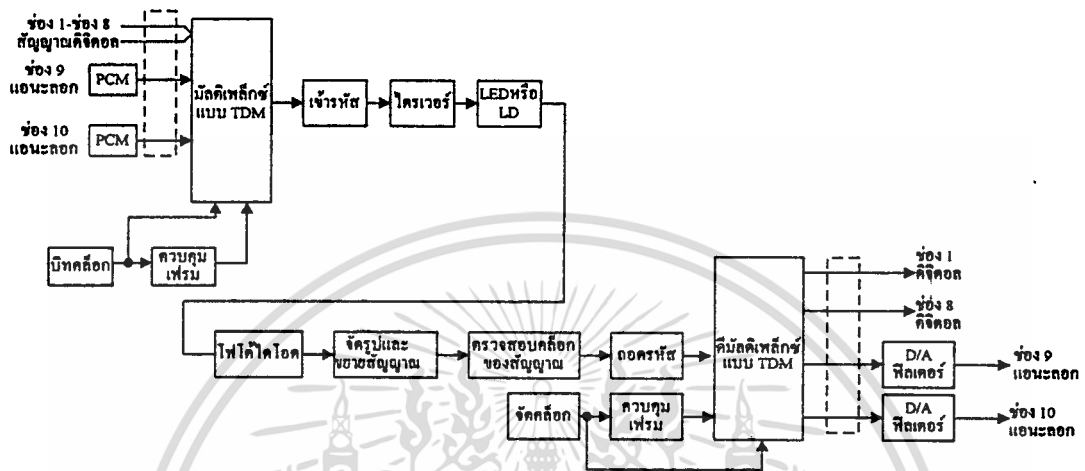
ทางเลือกแรก ที่เป็นไปได้คือ ใช้ระบบมัลติเพล็กซ์แบบ FDM โดยแบ่งคลื่นพาหะย่อยออกเป็น 10 ช่วง คือ $f_1, f_2, f_3, \dots, f_{10}$ เพื่อใช้สำหรับนำพาข้อมูลที่เป็นแอนะล็อกและดิจิทัลทั้ง 10 ช่องไปพร้อมๆ กันเลย โดยสัญญาณดิจิทัลทั้ง 8 ช่อง อาจจะต้องถูกเข้ารหัสโดยวิธีใดวิธีหนึ่งก่อนถูกมอดูเลตกับคลื่นพาหะส่วนสัญญาณแอนะล็อก หลังจากมีการขยายสัญญาณด้วยภาคปริแอมป์ก็สามารถมอดูเลตได้เลย การมอดูเลตก็เลือกใช้ระหว่าง AM และ FM จากนั้นทำการผสมสัญญาณทั้งหมดเพื่อส่งออกพร้อมกัน การเลือกใช้ LED เป็นแหล่งกำเนิดแสงเพราะว่าในระบบใช้งานนี้ต้องการความเป็นเชิงเส้นมากกว่า (อันเนื่องมาจากสัญญาณอินพุตที่เป็นแอนะล็อก)

เนื่องจากระยะห่างระหว่างสถานีเพียงแค่ 5 กิโลเมตร จึงไม่น่าจะต้องใช้สถานีทวนสัญญาณแต่ประการใด ที่สถานีรับวงจรกรองช่วงความถี่ของแต่ละความถี่ของคลื่นพาหะย่อยเพื่อแยกสัญญาณแต่ละช่วงออกมาแล้วทำการดีมอดูเลต และถอดรหัสสำหรับสัญญาณดิจิทัลสำหรับสัญญาณแอนะล็อก อาจนำสัญญาณที่ถูกดีมอดูเลตแล้วมาใช้ได้เลย ในกรณีที่สัญญาณดิจิทัลมีการมอดูเลตแบบ FM วงจรดีมอดูเลตอาจทำได้ไม่ยากนัก โดยใช้ไอซีประเภทเฟสล็อกกลูป (PLL) เพียงตัวเดียวเท่านั้น

ทางเลือกที่สอง ของการออกแบบแสดงดังรูปที่ 2.44 ซึ่งใช้ระบบมัลติเพล็กซ์แบบ TDM สัญญาณแอนะล็อกสองช่องจะต้องถูกแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลแบบ PCM เสียก่อน ตามเงื่อนไขของคุณลักษณะที่กำหนด เนื่องจากสัญญาณดิจิทัล 8 ช่อง มีจำนวนข้อมูล 8 บิตต่อหนึ่งคำ แต่สเป็กของสัญญาณแอนะล็อกที่ถูกแปลงให้เป็นดิจิทัลต้องการเพียง 6 บิตต่อหนึ่งแซมเปิล (หรือต่อคำ) ดังนั้น เราจะเพิ่ม 2 บิตที่ไม่มีค่าใดๆ (เหมือนกันหมดทุกคำในตำแหน่งเดียวกัน) รวมเข้าไปเพื่อให้ดูเหมือนข้อมูลมี 8 บิตต่อหนึ่งคำ

อัตราการส่งที่กำหนดต้องการอย่างน้อย 10000 คำต่อวินาทีต่อช่องสัญญาณ (1 คำมี 8 บิต) หรือนั่นคือส่ง 1 คำในทุกๆ 100 วินาที ช่องสัญญาณทั้งหมดมี 10 ช่อง จึงต้องทำการแบ่งเวลา 100 ไมโครวินาที ออกเป็น 10 ช่อง เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลทุกช่องได้พร้อมกันในทีเดียว จะได้ว่าเวลาในการส่งข้อมูล 1 คำของแต่ละช่อง คือ 10 ไมโครวินาที เมื่อนำมาจัดเป็นเฟรมสำหรับระบบ TDM จะได้ดังรูปที่ 2.44 ที่นี้ย้อนกลับมาคำนวณความเร็วของระบบหรือประสิทธิภาพได้ ดังนี้ อีกขั้นหนึ่งให้ดูแปลงมือหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีโอกาสไปใช้ บิตเรทจะได้เท่ากับ 8 บิต ต่อ 10 ไมโครวินาที หรือ 800 กิโลบิตต่อวินาที (ไม่รวมเวลาที่ใช้น

การชิงโครโนซ์) แต่ถ้าจะคิดบิตเรทเฉพาะช่องสัญญาณที่เป็นดิจิทัลแล้ว ตามคุณลักษณะ กำหนดไว้ว่าแต่ละช่องจะส่งข้อมูล 10000 บิตต่อวินาที ซึ่งช้ากว่าระบบที่ออกแบบมาก ทำให้ เวลาในการส่งข้อมูลสูญเสียไป



รูปที่ 2.44 ระบบ TDM ที่ถูกออกแบบ

การแก้ไขทำได้โดยการส่งข้อมูลเป็นอะชิงโครนัส เพื่อให้เวลาในการรับข้อมูลในแต่ละช่องไม่ต้องถูกจำกัดด้วยเวลาที่เท่ากัน การคิดบิตเรทจริงของระบบต้องคำนวณจากค่าของบิตเรทในแต่ละช่องรวมกัน ในที่นี้ ระบบที่ใช้งานมีบิตเรทเท่ากับ 240 กิโลบิตต่อวินาที

ข้อมูลดิจิทัลที่ถูกจัดแต่ละเฟรมอาจมีการเข้ารหัสในลักษณะของ RZ, NRZ หรือแมนเชสเตอร์ เพื่อให้สามารถส่งออกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ตัวกำเนิดแสงอาจเลือกใช้ LED หรือเลเซอร์ไดโอดตามความเหมาะสม

ที่ภากรับ ข้อมูลที่รับได้จะถูกจัดรูปและถูกตรวจสอบสัญญาณ เพื่อชิงโครโนซ์สัญญาณให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง และหากมีการเข้ารหัส (เช่น RZ, NRZ) มาก่อน จะต้องถูกถอดรหัสเสียก่อน แล้วจึงทำการดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณออกมาขณะทำการดีมัลติเพล็กซ์ สัญญาณนาฬิกาในสถานีส่งจะเป็นตัวกำหนดการชิงโครโนซ์ที่ถูกต้องยิ่งขึ้น

สัญญาณที่ถูกแยกออกมาแล้วในแต่ละช่อง จะผ่านขบวนการที่เหมาะสมก่อนนำไปใช้งานต่อไป ดังเช่น สัญญาณแอนะล็อกที่ถูกส่งมาแบบดิจิทัลจะต้องถูกแปลงกลับด้วยวงจรดีทิวเอคอนเวอร์เตอร์ (D/A) เสียก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 ประสิทธิภาพของระบบ

โดยทั่วไป ประสิทธิภาพของระบบมักจะกล่าวกันในเทอมของสิ่งเหล่านี้ คือ กำลังการสูญเสีย (เดซิเบลต่อกิโลเมตร), ปริมาณข้อมูลในการรับส่งหรือบิตเรต (กิโลบิตต่อวินาที) ระยะทางทั้งหมดของระบบระหว่างสถานีต้นทางและสถานีปลายทาง หรือตลอดสาย เส้นใยแสง (กิโลเมตร) และจำนวนสถานีทวนสัญญาณ เป็นต้น

-BER เป็นคำย่อมาจาก Bit Error Rate หมายถึง จำนวนข้อมูลที่ผิดพลาดในการรับต่อปริมาณข้อมูลทั้งหมดที่ส่งออกมา ค่าของ BER มากที่สุดที่ยอมรับได้ตามข้อมาตรฐาน คือ ในการส่งข้อมูลจำนวน 10^9 บิต (หนึ่งพันล้านบิต) จะมีข้อมูลผิดพลาดได้เพียงหนึ่งบิต นั่นคือค่าของ BER มีค่าเท่ากับ 10^{-9} หากค่าของ BER ในระบบมีค่าน้อยกว่านี้ (เช่น 10^{-14}) แสดงว่าระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น

-ความไวในการรับ (Sensitivity) ของระบบเส้นใยแสง หมายถึง ค่าพลังงานแสงต่ำสุด (P) ที่ทำให้ระบบมีค่า BER ตามที่กำหนด (เช่น 10^{-9}) คำนวณได้จากสูตร

$$\text{ความไว} = 10 \log (P/1 \text{ mW}) \text{ dBm}$$

เมื่อ P มีหน่วยเป็น มิลลิวัตต์

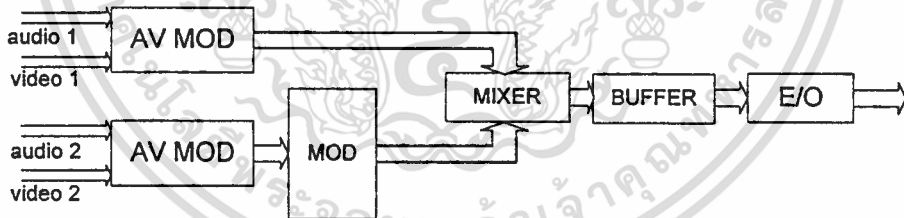
บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายถึงการออกแบบระบบและการสร้างวงจรส่วนต่างๆ ของโครงการนี้ ในโครงการนี้สามารถแยกวงจรออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ วงจรทางด้านส่ง ประกอบด้วย วงจรเปลี่ยนสัญญาณภาพและเสียงเป็นสัญญาณความถี่วิทยุ วงจรเลือกสัญญาณวิทยุ วงจรขยาย วงจรกันชน และวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง อีกส่วนหนึ่งคือ วงจรทางด้านรับ จะประกอบไปด้วย วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า วงจรแยกสัญญาณภาพ วงจรแยกสัญญาณเสียง

3.1 ผังการทำงานของโครงการ

3.1.1 ผังการทำงานของเครื่องส่ง

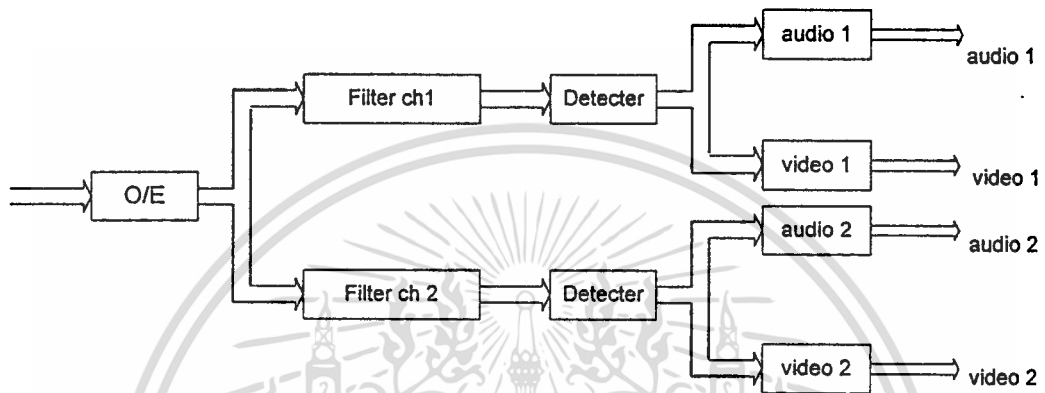


รูปที่ 3.1 ผังการทำงานทางด้านเครื่องส่ง

ทางด้านเครื่องส่งสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณ Audio และ Video ที่ได้จากเครื่องเล่น วีดีโอหรือจากกล้องก็ได้ จากนั้นนำมาผ่านวงจร Audio-Video Modulator (AV MOD) โดยให้ CH.1 มีความถี่คลื่นพาหะเท่ากับ 0 Hz และใน CH.2 ให้มีความถี่คลื่นพาหะเท่ากับ 38.9 MHz จากนั้นนำมารวมกันในส่วนของ Mixer เนื่องจากสัญญาณที่ได้ยังมีมาน้อยจึงได้ทำการขยาย (Driver) ให้มีความแรงของสัญญาณให้มากขึ้นพร้อมกับผ่านวงจรกันชน (Buffer) เพื่อให้

สัญญาณที่ได้คมชัดขึ้น จากนั้นจึงนำไปผ่านวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงเพื่อส่งเข้าไปในสายเส้นใยแก้วนำแสงต่อไป

3.1.2 ฟังก์ชันการทำงานของเครื่องรับ



รูปที่ 3.2 ฟังก์ชันการทำงานด้านเครื่องรับ

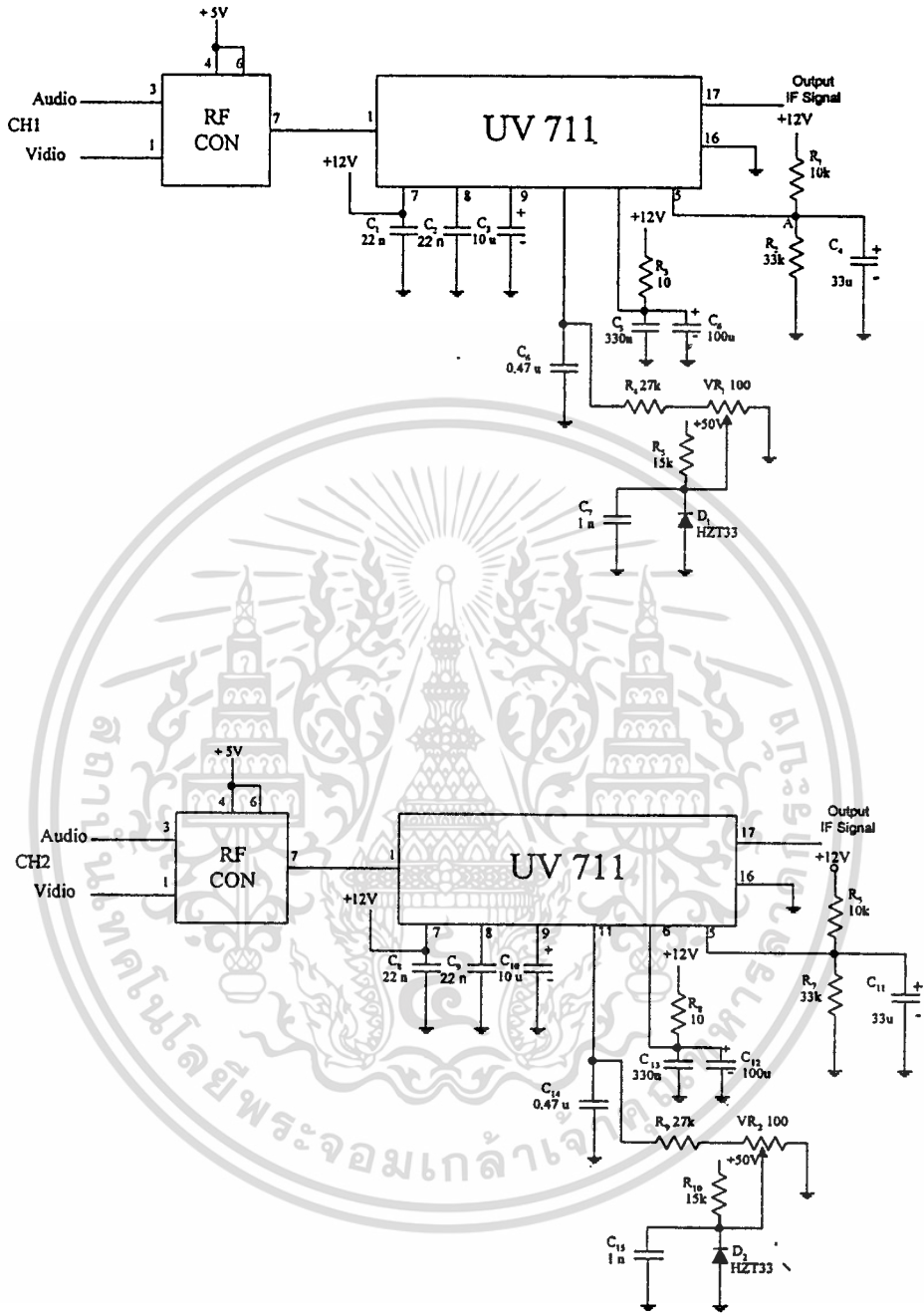
ด้านเครื่องรับ เมื่อรับสัญญาณที่ผ่านทางเส้นใยแก้วนำแสงแล้วทำการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าจากนั้นนำมาทำการขยายเพื่อเพิ่มความแรงของสัญญาณให้มากขึ้นแล้วทำการกรองเอาสัญญาณที่ต้องการก็คือสัญญาณของ CH.1 และ CH.2 ที่ส่งมา นำมาทำการดีเทคเพื่อแยกสัญญาณ Audio และ Video เพื่อนำไปใช้งานต่อไป

3.2 วงจรด้านส่ง

3.2.1 ภาควงจรออดิโอ-วิดีโอ มอดูเลเตอร์ (Audio-Video Modulator)

ในวงจรรูปที่ 3.3 ใช้กระป๋องอาร์เอฟคอนเวอร์เตอร์ ทำการเปลี่ยนสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงให้อยู่ในย่านความถี่วิทยุของช่อง 3 ในช่องสัญญาณที่ 1 และช่อง 4 ในช่องสัญญาณที่ 2 จากนั้นนำมาผ่านจูนเนอร์ซึ่งทำหน้าที่ในการรับสัญญาณจากกระป๋องอาร์เอฟคอนเวอร์เตอร์แล้วเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไอเอฟเพื่อนำไปทำการแยกสัญญาณภาพ

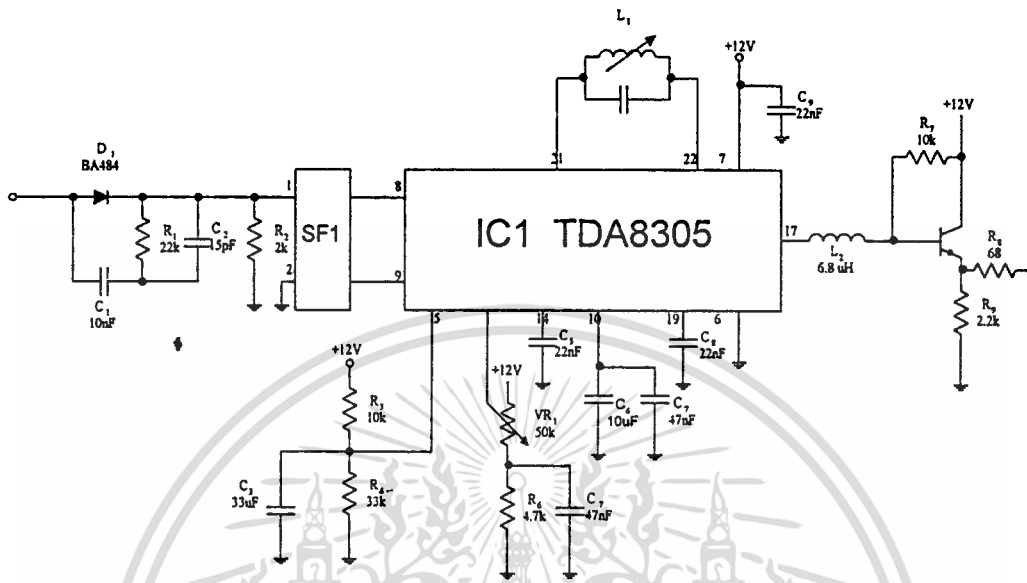
เอกสาและสัญญาณเสียงต่อไป หารับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วงจรออดิโอ วีดีโอ มอดูเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ภาคขยายสัญญาณไอเอฟและดีมอดูเลเตอร์ (IF Amplifier And Demolater)

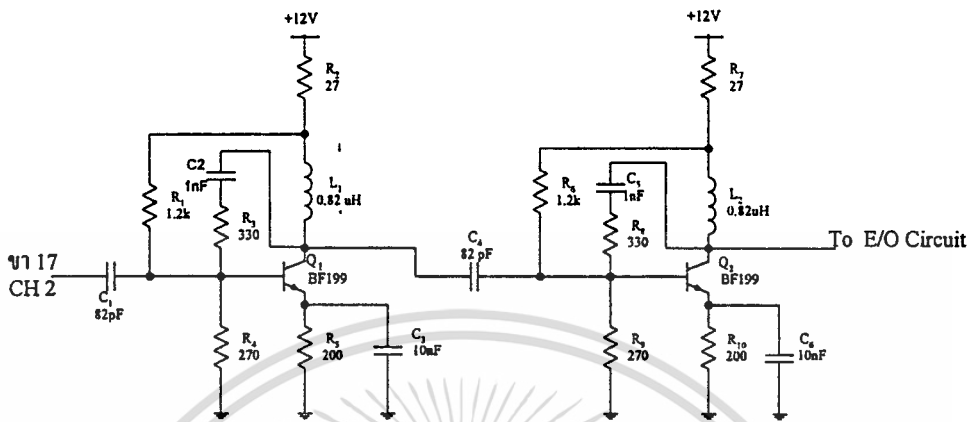


รูปที่ 3.4 วงจรขยายสัญญาณไอเอฟและดีมอดูเลต

ในรูปที่ 3.4 สัญญาณไอเอฟจาก 17 ของตัวจูนเนอร์ UV711 ผ่านวงจรซอร์ฟิลเตอร์ SF1 ซึ่งจะกรองสัญญาณให้ผ่านได้เฉพาะสัญญาณไอเอฟเท่านั้น เพื่อเข้าขา 8 และ 9 ของไอซี TDA 8305 สัญญาณที่ได้จะออกทางขา 17 ซึ่งมีสัญญาณภาพ , สัญญาณเสียงและสัญญาณซิงค์ สัญญาณไอเอฟที่เข้ามาที่ไอซี TDA 8305 นี้ จะถูกขยายและแยกคลื่นพาห์ของภาพออกซึ่งมีความถี่ที่ถูกทำให้เป็นความถี่กลางที่คงที่ 38.9 เมกกะเฮิรตออก โดยสามารถปรับได้โดย L1 สัญญาณที่ออกมาจะถูกทำการขยายซึ่งเป็นวงจรขยายแบบเข้าหนึ่งออกหนึ่งซึ่งก็คือ ภาคบัฟเฟอร์(Buffer) ทำให้ขอบของสัญญาณมีความคมขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

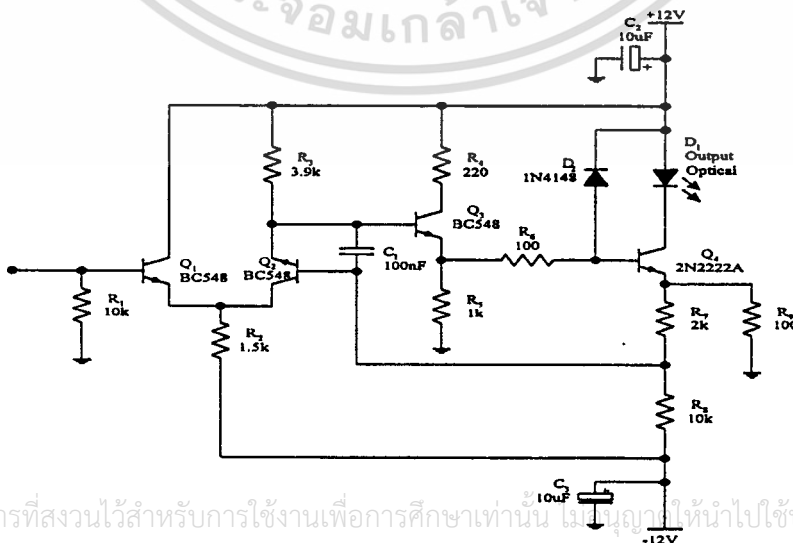
3.2.3 วงจรขยายไอเอฟ (IF Amplifier)



รูปที่ 3.5 วงจรขยายไอเอฟ

จากรูปที่ 3.5 ใน CH.2 ซึ่งเราจะทำการส่งโดยใช้สัญญาณ IF Signal จากขา 17 มาทำการขยาย เพื่อให้สัญญาณมีความแรงขึ้นแล้วนำไปเข้าวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง หลักการทำงานของวงจรขยายในที่นี้ใช้วงจรขยายแบบคอมมอนอิมิตเตอร์ มี R3 R4 เป็นตัวให้ไบอัสแก่ทรานซิสเตอร์โดยมี L1 , C2 เป็นตัวชดเชยด้านความถี่ด้วย

3.2.4 วงจรมอดูเลตทางแสง



รูปที่ 3.6 วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

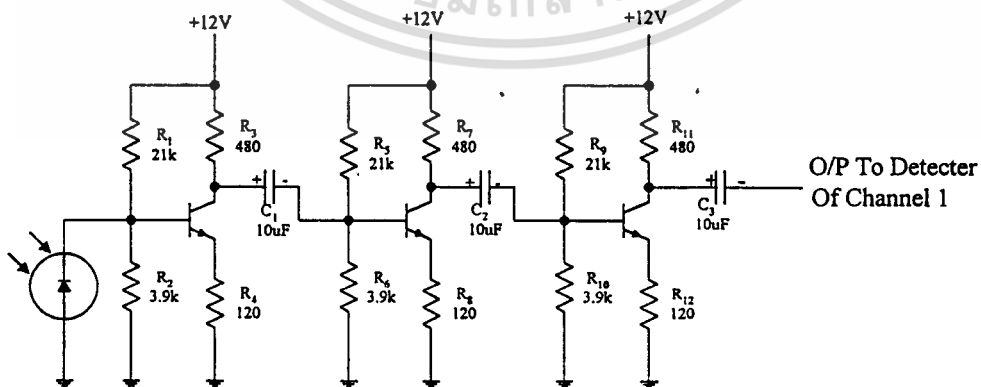
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจร

จากรูปที่ 3.6 เป็นวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง จากวงจรจะประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 4 ตัว ซึ่งทำหน้าที่ต่างๆ ดังนี้ จากรูป ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 จะต่ออยู่ในลักษณะวงจรดิฟเฟอเรนเชียล (Differential) จะทำการเปรียบเทียบระดับสัญญาณอินพุตที่เข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 กับสัญญาณที่ถูกป้อนกลับเข้ามาจากขาอีมิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q4 มายังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q2 ถ้าสัญญาณอินพุตที่เข้ามาทางขาเบส Q1 มีขนาดเท่ากับสัญญาณที่เข้าขาเบสของ Q2 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 นำกระแสกระแสที่ขาคอลเลคเตอร์ของ Q2 จะแยกไปไบอัส (Bias) ยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q3 ก็จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q3 นำกระแส เมื่อทรานซิสเตอร์ Q3 นำกระแสก็จะเกิดกระแส I_b ที่ขาของทรานซิสเตอร์ Q4 เมื่อกระแสเบสมีค่าสูงพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q4 นำกระแสก็จะเกิดมีกระแสคอลเลคเตอร์ไหลผ่านไปยังขาอีมิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q4 ซึ่งขาคอลเลคเตอร์จะมี LED ต่ออยู่ในลักษณะฟอร์เวิร์ดไบอัส (Forward Bias) ดังนั้นเมื่อทรานซิสเตอร์ Q4 นำกระแสก็จะเกิดมีกระแสคอลเลคเตอร์ไหลผ่าน LED ทำให้มีแสงถูกปล่อยออกไปยังเส้นใยแสง ส่วนกระแสคอลเลคเตอร์จะสามารถกำหนดได้ โดยขึ้นอยู่กับค่าของความต้านทานที่ต่อกับขาอีมิเตอร์ของ Q4 ลงกราวด์

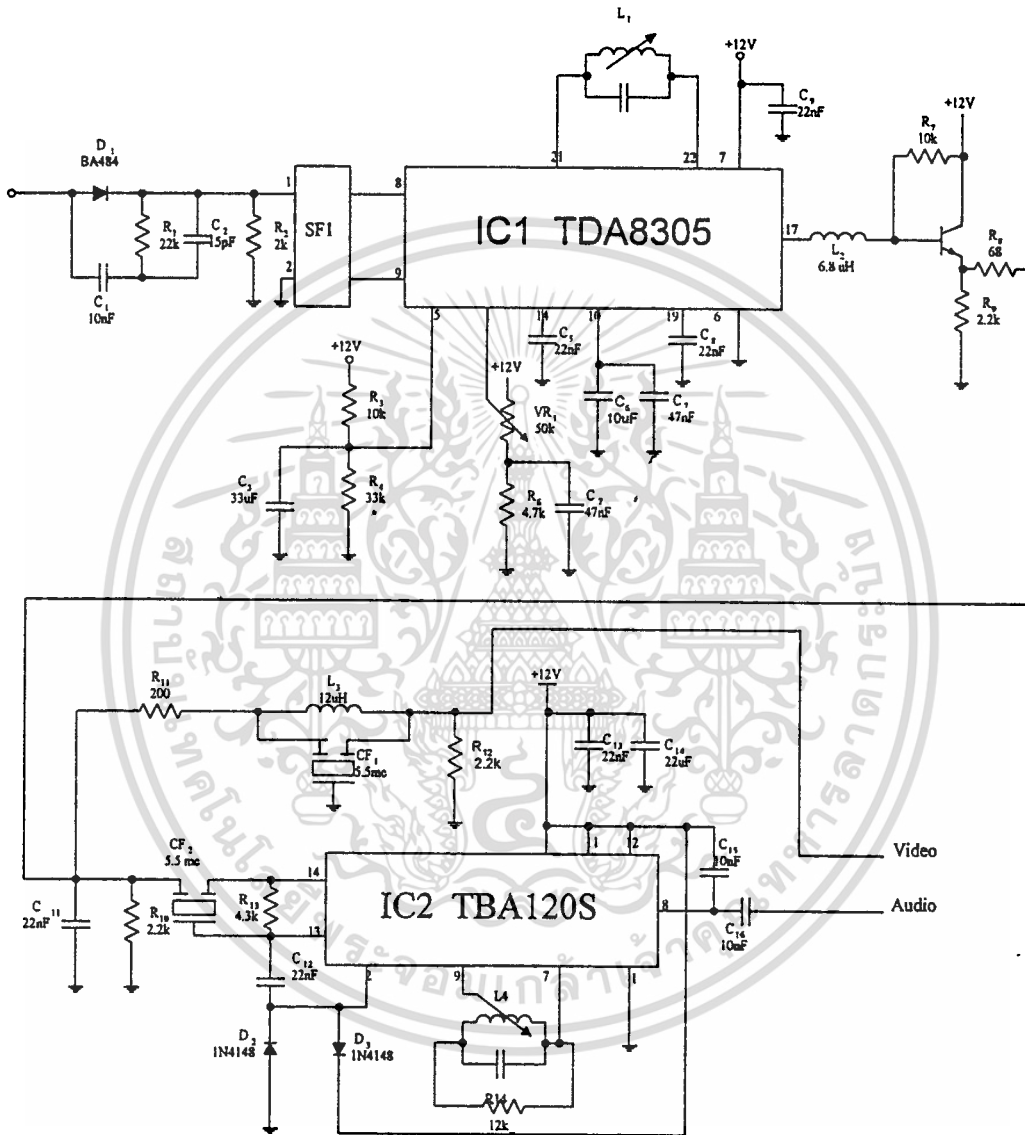
3.3 วงจรทางด้านรับ

3.3.1 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า (O/E Converter)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกที่รูปที่ 3.7 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 ภาคแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงของช่องสัญญาณที่ 2 (Detector Video And Signal Of Channel 2)

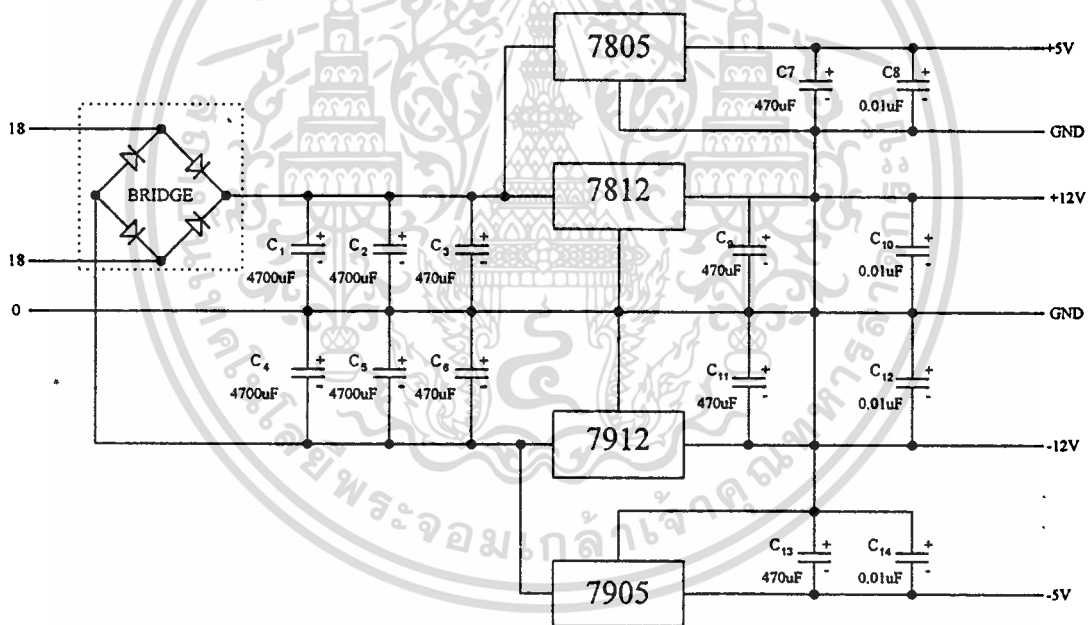


รูปที่ 3.9 วงจรแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงของช่องสัญญาณที่ 2

ในรูปที่ 3.9 สัญญาณไอเอฟจะผ่านซอร์ฟิลเตอร์ SF1 ซึ่งจะกรองให้สัญญาณไอเอฟผ่านได้เท่านั้น ส่งเข้าขา 8 และขา 9 ของไอซี TDA 8305 ซึ่งเป็นไอซีดีมอดูเลเตอร์ ทำหน้าที่กำจัดสัญญาณไอเอฟ มีความถี่ 38.9 เมกกะเฮิร์ต ซึ่งกำหนดค่าความถี่นี้ได้โดยการปรับ L1

สัญญาณที่ออกจากขา 17 จะมีสัญญาณภาพ , สัญญาณเสียง และสัญญาณซิงค์ สัญญาณทั้งหมดจะผ่านวงจรขยายแบบเข้าหนึ่งออกหนึ่ง ซึ่งเป็นวงจรกันชน (Buffer) เพื่อให้ขอบของสัญญาณมีความคมชัดขึ้น จากนั้นสัญญาณภาพ สัญญาณเสียง และสัญญาณซิงค์ จะผ่านวงจรแยกสัญญาณภาพ สัญญาณเสียง และสัญญาณซิงค์ ออกโดยใช้ไอซีเบอร์ TBA 120S โดยสัญญาณรวมจะผ่านเซรามิกฟิลเตอร์ CF2 มายังขา 14 ของไอซี ซึ่งเราจะได้สัญญาณเสียงออกทางขา 8 โดยสามารถกำหนดสัญญาณอ้างอิงได้โดยการปรับ L4 เพื่อให้ได้สัญญาณเสียงที่ชัดเจน ส่วนสัญญาณภาพจะผ่านทาง R11 , L3 โดยมีเซรามิกฟิลเตอร์ CF1 ทำหน้าที่กำจัดสัญญาณไอเอฟเสียงออกไปเหลือเพียงสัญญาณภาพและสัญญาณซิงค์

3.4 วงจรจ่ายไฟ (Power Supply)



รูปที่ 3.10 วงจรภาคจ่ายไฟของเครื่องรับและเครื่องส่ง

การทำงานของวงจร

จากรูปแสดงวงจรจ่ายไฟซึ่งสามารถแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่จ่ายให้กับสวิทช์จูน (Switch Tune) จะมีระดับแรงดันเท่ากับ +50 โวลต์ ส่วนที่สองจะใช้ในการจ่ายให้กับจุดต่างๆ ของวงจรทั้งหมด จะมีทั้งหมด 2 ระดับคือ 12 โวลต์ (บวก,ลบ) และ 5 โวลต์ (บวก,ลบ) จากวงจรในส่วนที่หนึ่งจะนำเอาระดับแรงไฟจากหม้อแปลงขนาด 30 โวลต์ ป้อนให้กับไดโอดใช้

เร็คติไฟเออร์ (Diode Rectifier) ก็จะได้สัญญาณไฟประมาณ 50 โวลต์ ผ่านคาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์ให้เกิดไฟดีซี 50 โวลต์ เรียบขึ้นและนำไปใช้งานต่อไป

ส่วนที่สองเป็นวงจรจ่ายไฟ +5 โวลต์ , -5 โวลต์ , +12 โวลต์ , -12 โวลต์ ตามลำดับ วงจรจะนำเอาแรงดันไฟเอซี 12-0-12 จากหม้อแปลงป้อนให้กับไดโอดเร็คติไฟร์ แล้วผ่านคาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์ จากนั้นจะนำเอาไอซีเร็คกูเรเตอร์ (IC Regulator) เบอร์ LM 7805 LM 7905 LM 7812 และ LM 7912 เพื่อที่จะจัดแรงไฟให้ได้แรงดันไฟดีซี +5 โวลต์ , -5 โวลต์ ตามลำดับ และนำเอาไปจ่ายยังจุดต่างๆ ของวงจรต่อไป



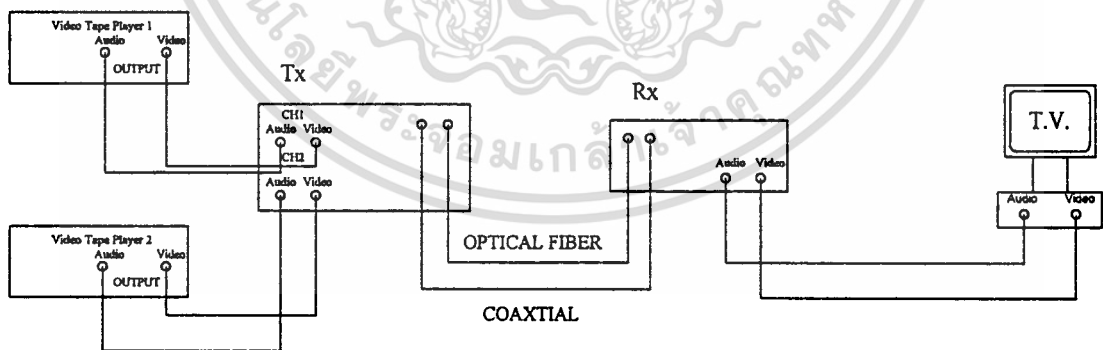
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

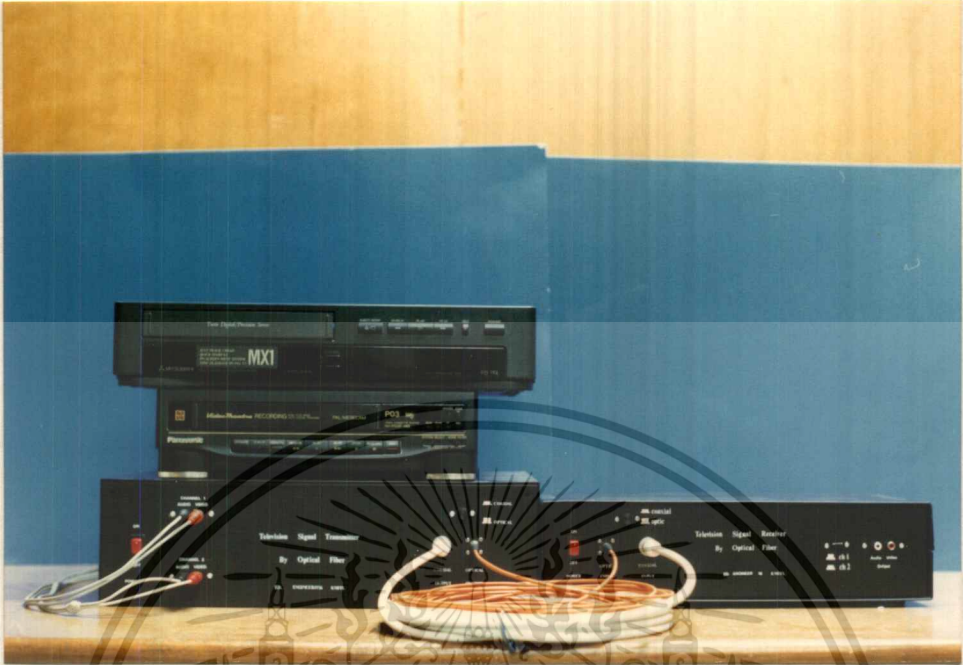
ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองส่งสัญญาณ โทรทัศน์ผ่านเส้นใยแสง โดยมีแหล่งกำเนิดสัญญาณโทรทัศน์ ซึ่งอาจเป็นเครื่องเล่นวีดีโอเทปหรือจากกล่องโทรทัศน์ก็ได้ ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้แหล่งกำเนิดเป็นเครื่องเล่นวีดีโอเทปจำนวน 2 เครื่อง โดยใช้สัญญาณวีดีโอเอาต์พุต (Video Output) และออกดีโอเอาต์พุต (Audio Output) จากเครื่องเล่นวีดีโอเทปเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณโทรทัศน์ ระบบที่ใช้งานนี้ได้มีอยู่ 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่เป็นเครื่องส่ง ส่วนที่เป็นสายนำสัญญาณ และส่วนที่เป็นเครื่องรับ

ส่วนที่เป็นเครื่องส่งประกอบด้วย เครื่องเล่นวีดีโอเทป 2 เครื่อง และเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านเส้นใยแสง ส่วนที่เป็นสายนำสัญญาณ ประกอบด้วยสายนำสัญญาณแบบโคแอกเซียล (Coaxial Cable) และสายนำสัญญาณแสง (Optical Fiber Cable) ส่วนที่เป็นเครื่องรับประกอบด้วย เครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านเส้นใยแสงและเครื่องรับโทรทัศน์แบบมีช่องสัญญาณ AV Input แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบในการส่งสัญญาณ โทรทัศน์ผ่านเส้นใยแสง

จากผังการทำงานในรูปที่ 4.1 เราสามารถเปรียบเทียบการใช้งานกับการเชื่อมต่อจริงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งในรูปที่ 4.1 เป็นส่วนที่เรานำไปใช้งานได้จริง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



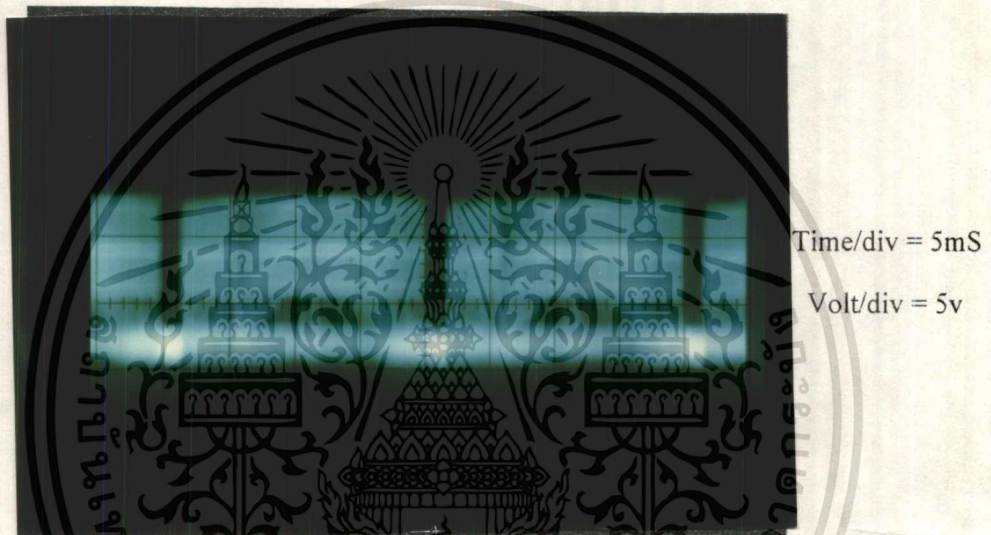
รูปที่ 4.2 การใช้งานจริงของเครื่องส่ง-รับสัญญาณ โทรทัศน์ผ่านเส้นใยแสง

4.1 การทดสอบโดยใช้สายนำสัญญาณแกนร่วม

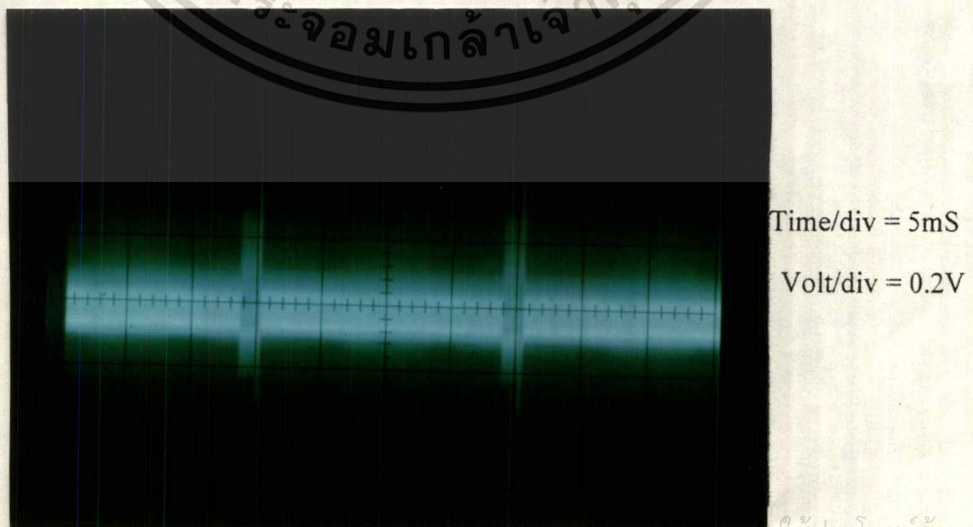


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.3 การต่อเครื่องส่งและรับสัญญาณ โทรทัศน์ โดยใช้สายนำสัญญาณแกนร่วม
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 เป็นการต่อใช้งานจริงโดยใช้สัญญาณจากเครื่องเล่นวีดีโอเทป โดยเมื่อต่อดังรูปที่ 4.3 แล้วทำการใส่ม้วนเทปเข้าไปในเครื่องเล่นวีดีโอเทปทั้งสองเครื่องแล้วกดปุ่มเล่น (Play) ของเครื่องเล่นวีดีโอเทป จากนั้นทำการเปิดสวิทช์ของเครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ จากนั้นนำสโคปวัดสัญญาณที่ออกจากเครื่องเล่นวีดีโอเทปเครื่องแรกซึ่งมีเฉพาะความถี่ของภาพและเสียง โดยมีแถบความถี่ 5.5 MHz ใ้ด้ดังรูปที่ 4.4 จากนั้นวัดสัญญาณที่ออกจากเครื่องเล่นวีดีโอเทปเครื่องที่สอง ซึ่งเป็นความถี่ IF ของสัญญาณโทรทัศน์ใ้ด้ดังรูปที่ 4.5

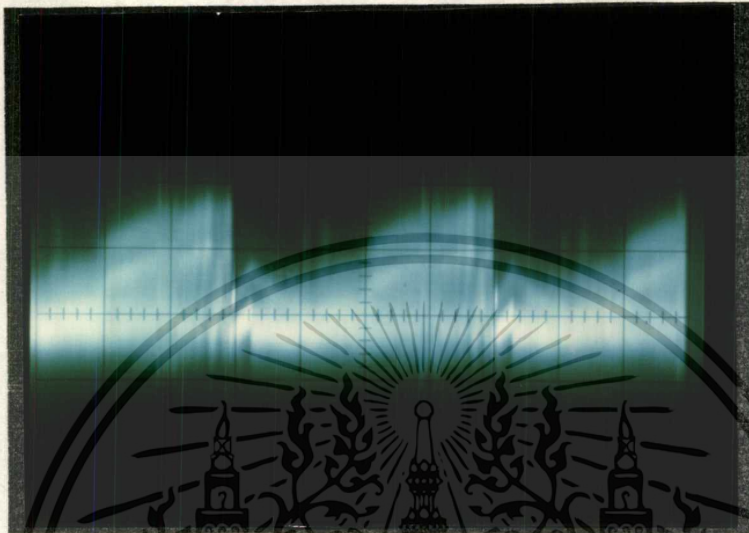


รูปที่ 4.4 สัญญาณขาออกที่วัดได้จากเครื่องเล่นวีดีโอเทปเครื่องที่ 1



รูปที่ 4.5 สัญญาณขาออกที่วัดได้จากเครื่องเล่นวีดีโอเทปเครื่องที่ 2

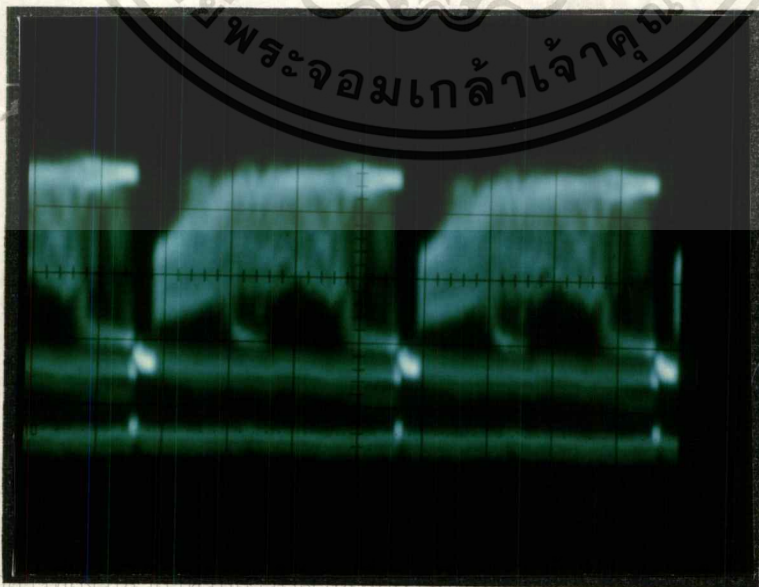
ในรูปที่ 4.6 เป็นรูปสัญญาณที่รวมกันระหว่างช่องสัญญาณที่ 1 และช่องสัญญาณที่ 2 ซึ่งมีความถี่ภาพและเสียง 5.5 MHz และความถี่ IF 38.5 MHz



Time/div = 5mS
Volt/div = 0.5V

รูปที่ 4.6 สัญญาณรวมก่อนที่จะส่งผ่านสายนำสัญญาณแกนร่วม

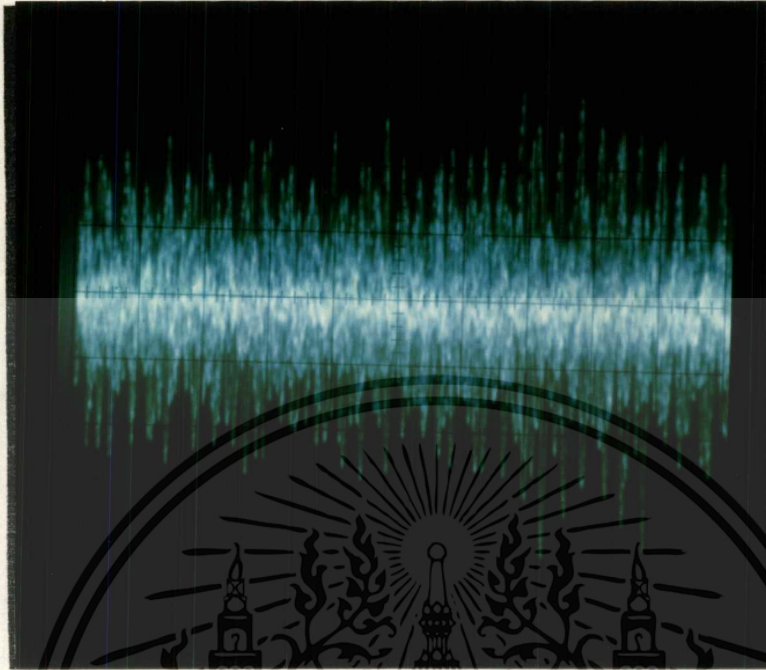
นำสโคปวัดสัญญาณทางด้านเครื่องรับโดยวัดเปรียบเทียบที่ละช่องสัญญาณขาออก ในรูปที่ 4.7 เป็นรูปสัญญาณภาพที่ถูกดีเทคเตอร์ในช่องสัญญาณที่ 1 และในรูปที่ 4.8 เป็นรูปสัญญาณเสียงที่ถูกดีเทคเตอร์ที่ช่องสัญญาณที่ 1 เช่นกัน



Time/div = 5mS
Volt/div = 0.5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 สัญญาณภาพขาออกของช่องสัญญาณที่ 1

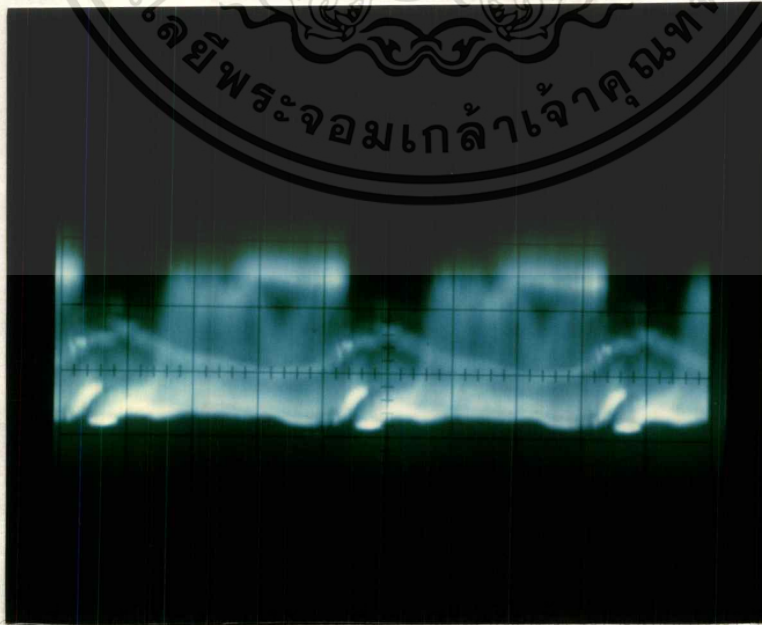


Time/div = 5mS

Volt/div = 0.2V

รูปที่ 4.8 สัญญาณเสียงขาออกของช่องสัญญาณที่ 1

ส่วนในช่องสัญญาณที่ 2 ทำการวัดเช่นเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 4.9 ซึ่งแสดงสัญญาณภาพ และรูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณเสียง

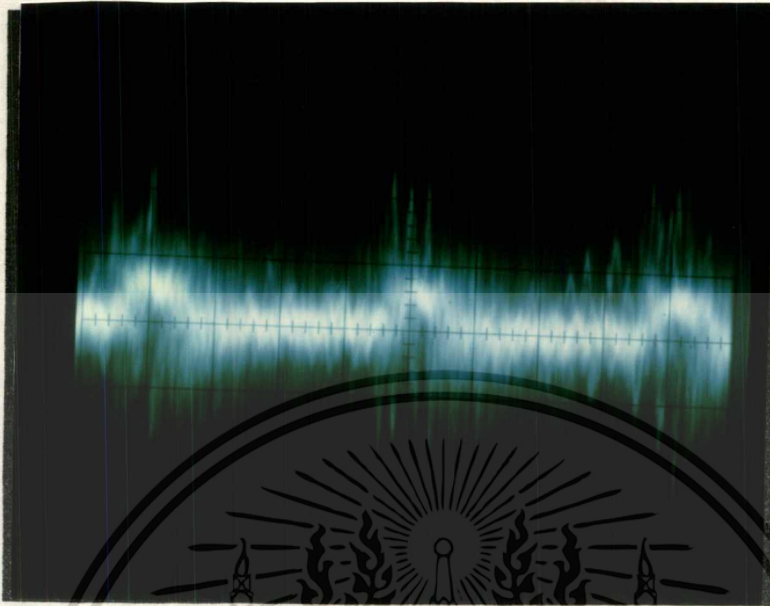


Time/div = 5mS

Volt/div = 0.2V

รูปที่ 4.9 สัญญาณภาพขาออกของช่องสัญญาณที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งผู้ดูแลจะไม่รับผิดชอบต่อความเสียหายใดๆ ทั้งสิ้นจากการนำเอกสารนี้ไปใช้

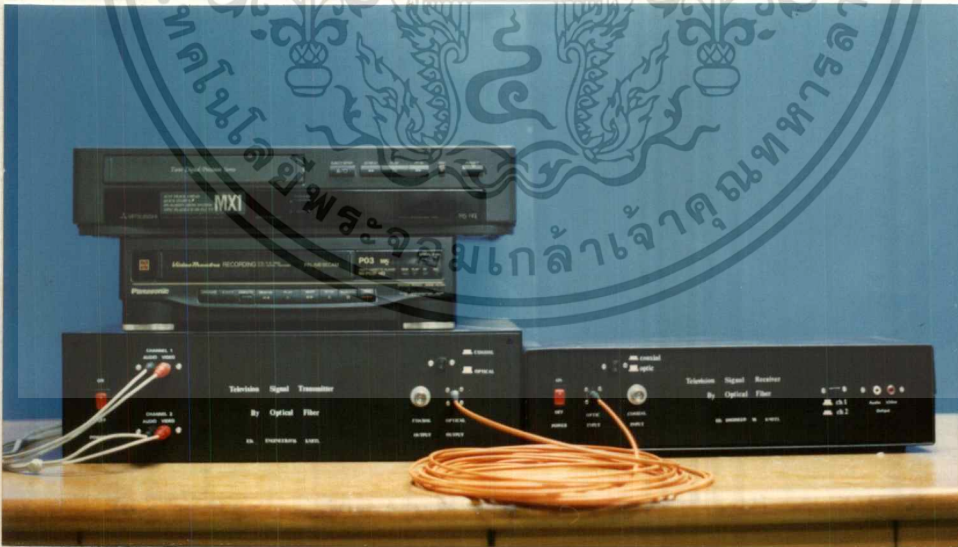


Time/div = 5mS

Volt/div = 0.2V

รูปที่ 4.10 สัญญาณเสียงขาออกของช่องสัญญาณที่ 2

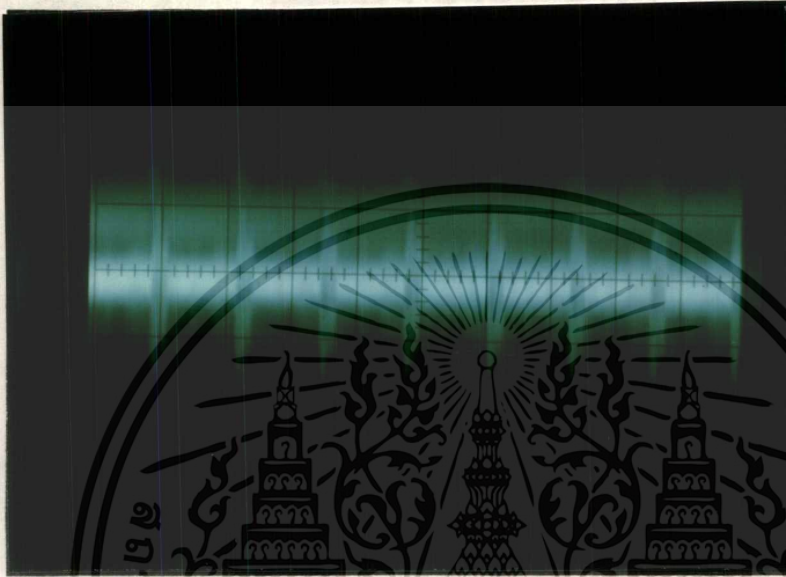
4.2 การทดสอบโดยใช้เส้นใยแสง



รูปที่ 4.11 การต่อเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยใช้เส้นใยนำแสง

เอกสารนี้เป็นจากรูปที่ 4.11 เป็นการต่อใช้งานจริงซึ่งมีลักษณะการต่อเหมือนกับรูปที่ 4.1 เพียงแต่การดำเนินการเปลี่ยนสายนำสัญญาณเพื่อทำการเปรียบเทียบผลของสัญญาณขาออกที่เครื่องรับระหว่างใช้

สายนำสัญญาณแแกนร่วมกับเส้นใยนำแสง ในการทดลองครั้งนี้เราใช้เส้นใยนำแสงเพราะฉะนั้นเราจึงกดสวิทช์มาที่เส้นใยนำแสง ในรูปที่ 4.12 เป็นรูปสัญญาณที่ผ่านวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสง โดยใช้สโคปวัดที่ขาแคโอดของหัวส่ง

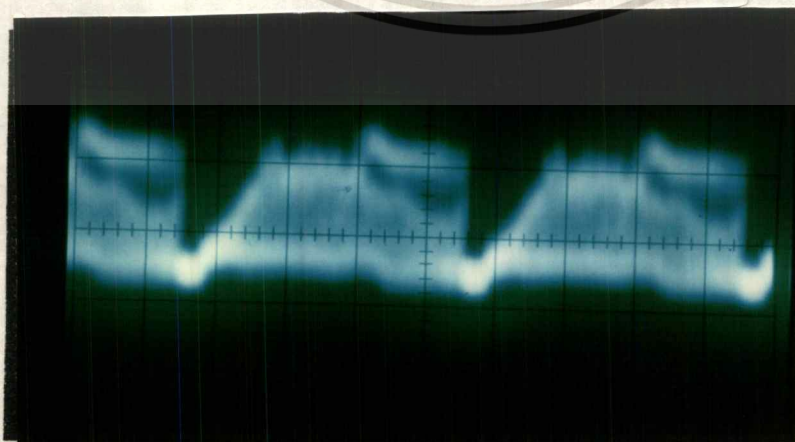


Time/div = 50 μ S

Volt/div = 10mV

รูปที่ 4.12 สัญญาณรวมก่อนจะถูกเปลี่ยนจากสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

นำสโคปวัดสัญญาณทางด้านเครื่องรับ ในรูปที่ 4.13 เป็นสัญญาณภาพขาออก 4 MHz ในช่องสัญญาณที่ 1 และในรูปที่ 4.14 เป็นรูปสัญญาณเสียงขาออกที่ถูกดีเทคเตอร์ในช่องสัญญาณที่ 1 เช่นเดียวกัน

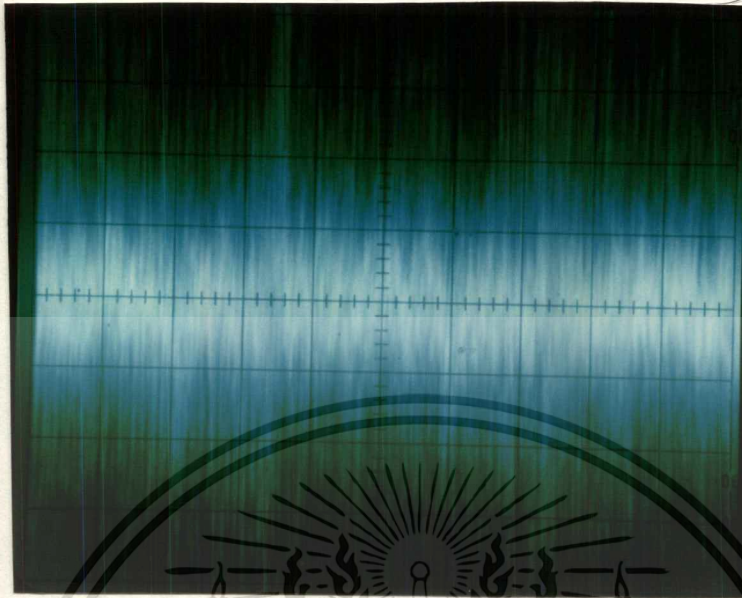


Time/div = 5mS

Volt/div = 1V

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.13 สัญญาณภาพขาออกของช่องสัญญาณที่ 1

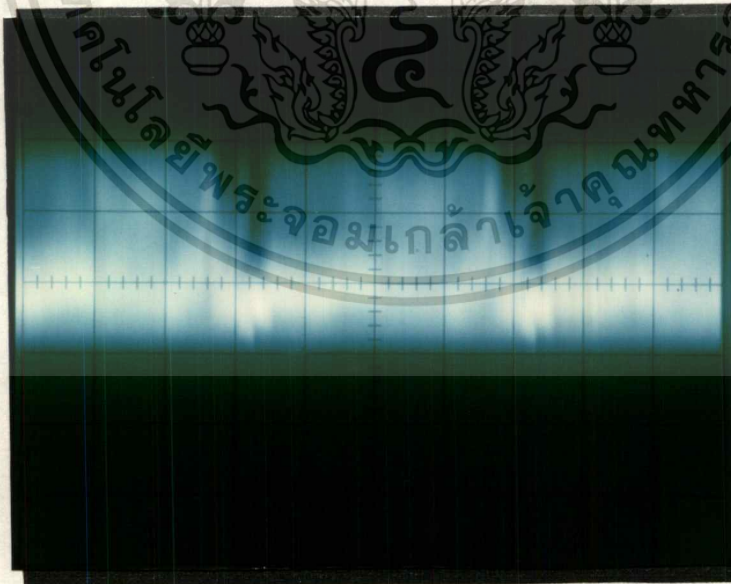


Time/div = 5mS

Volt/div = 0.1V

รูปที่ 4.14 สัญญาณเสียงขาออกของช่องสัญญาณที่ 1

ส่วนในช่องสัญญาณที่ 2 ทำการวัดเช่นเดียวกันแสดงดังรูปที่ 4.15 ซึ่งแสดงสัญญาณภาพและในรูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณเสียง

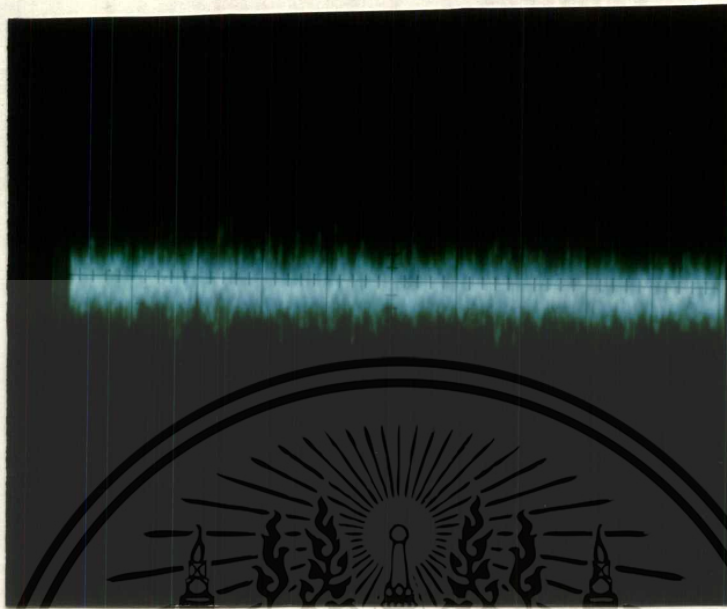


Time/div = 5mS

Volt/div = 0.2V

รูปที่ 4.15 สัญญาณภาพขาออกของช่องสัญญาณที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Time/div = 5mS

Volt/div = 0.1V

รูปที่ 4.16 สัญญาณเสียงขาออกของช่องสัญญาณที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์ สรุป และแนวทางในการพัฒนา

5.1 บทสรุป

ในการทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์จำนวน 2 ช่อง ผ่านเส้นใยแสงนี้ ผลที่ได้สามารถเลือกชมรายการช่องสัญญาณที่ 1 หรือช่องสัญญาณที่ 2 ได้ ความชัดเจนของภาพและเสียงที่ได้ทั้ง 2 ช่องสัญญาณมีความชัดเจนพอสมควร โดยดูได้จากสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงที่เราวัดได้ และในการส่งโดยใช้สายนำสัญญาณแแกนร่วมและเส้นใยนำแสง สามารถสรุปได้ว่าแทบไม่แตกต่างกันมากเพราะว่าสายที่ใช้ในการส่งมีขนาดสั้นทำให้ผลของการเปรียบเทียบนี้มีค่าใกล้เคียงกันหรือแทบไม่มีข้อแตกต่างระหว่างสายนำสัญญาณทั้ง 2 เส้นนี้เลย

5.2 ปัญหาในการทำงาน

1. การหาข้อมูลของหัวส่งและเครื่องรับสัญญาณแสงมีข้อมูลน้อย และความคงทนของหัวส่งไม่มีพอ
แนวทางแก้ไข ศึกษาหาข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่างๆ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำให้เกิดประโยชน์และพยายามลดกระแสในภาควงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง เพื่อเพิ่มความคงทนของหัวส่ง
2. เนื่องจากใช้งานที่ความถี่สูงอุปกรณ์รองรับไม่ได้มาตรฐานเพียงพอ
แนวทางแก้ไข พยายามหาอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานตามคู่มือของอุปกรณ์ตัวนั้น โดยใช้มือวัดที่เชื่อถือได้มาทำการวัด
3. เกิดการรบกวนกันของสัญญาณ IF และสัญญาณภาพ
แนวทางแก้ไข ใช้แผ่นปริ้นท์ทำการชิลด์สัญญาณ ไอเอฟกับสัญญาณภาพเพื่อลดการกวนของสัญญาณ
4. การหาวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง และสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าค่อนข้างยากเพราะใช้วงจรใช้งานที่มีความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ผู้พิมพ์ขอสงวนสิทธิ์ในการฟ้องร้องและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สัญญาณไอเอฟและสัญญาณภาพมีกำลังอ่อนเมื่อขยายก็ทำให้เกิดการเพี้ยนได้
แนวทางแก้ไข หวางจรขยาย ไอเอฟที่มีคุณภาพในวงจรโทรทัศน์เพื่อนำมาใช้
งานแต่ก็ยังมีกรเพี้ยนของสัญญาณอยู่
6. ภาคอาร์เอฟคอนเวอร์เตอร์มีคุณภาพไม่ดีพอ
แนวทางแก้ไข ใช้กระป๋องอาร์เอฟคอนเวอร์เตอร์ที่มีคุณภาพดีขึ้นเพื่อนำมา
ใช้งานแต่ที่มีอยู่ก็ยังไม่ดีพอเท่าที่ควร
7. เกิดการสูญเสียของสัญญาณภายในวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง
และในเส้นใยแสง
แนวทางแก้ไข ขยายสัญญาณก่อนเข้าวงจรเปลี่ยนสัญญาณ ไฟฟ้าเป็นสัญญาณ
แสงให้แรงขึ้นเพื่อลดการสูญเสียของสัญญาณ

5.3 แนวทางในการพัฒนา

1. พัฒนาให้มีการส่งและรับสัญญาณ โทรทัศน์ โดยใช้ระบบดิจิทัล
2. เพิ่มจำนวนช่องสัญญาณ ให้เพิ่มขึ้นอีก
3. พัฒนาให้มีการคอมเพลส (Compress) สัญญาณการส่งออก
4. พัฒนาให้เส้นใยแสงสามารถรับและส่งสัญญาณเพียงเส้นเดียว
5. พัฒนาให้สามารถรับสัญญาณได้จากสายอากาศโดยตรงเพิ่มขึ้นอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- 1) ฝ่ายบริการ , ทฤษฎีการทำงานและคู่มือซ่อมโทรทัศน์สีแทนเครื่อง GR1-AX บริษัทไฟฟ้าฟิลิปส์แห่งประเทศไทย จำกัด
- 2) ฝ่ายบริการ , ทฤษฎีการทำงานและคู่มือซ่อมโทรทัศน์สีแทนเครื่อง NCF-CR บริษัทไฟฟ้าฟิลิปส์แห่งประเทศไทย จำกัด
- 3) อธิคม ฤกษ์บุตร, ระบบสื่อสารด้วยไฟเบอร์อปติก ตอน 1 , เซมิกอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 118 , 2535
- 4) อธิคม ฤกษ์บุตร, ระบบสื่อสารด้วยไฟเบอร์อปติก ตอน 2 , เซมิกอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 119 , 2535
- 5) อธิคม ฤกษ์บุตร, ระบบสื่อสารด้วยไฟเบอร์อปติก ตอนจบ , เซมิกอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 120 , 2535
- 6) อภินันท์ มัณยานนท์ , การสื่อสารเส้นใยแสง , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2528
- 7) อภินันท์ มัณยานนท์, ทฤษฎีการสื่อสารเส้นใยแสง , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2528
- 8) DATA BOOK , “Analog Integrated Circuit” , Precision Monolithics Inc , USA , 1990
- 9) KENICHI , N and SHIRAKAWA , H. OPTIC FIBER COMUNICATION MADE EASY (YASASHI HIKARI FAIBA TSUSHIN).Tokyo. OHM company.1995
- 10) Morris Tischler , Optoelectronics : Fiber Optics and Lasers , A Text-Lab Manual (second edition) , McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS , 1992
- 11) Motorola “RF Device Data” , Motorola Inc , USA. , 1994

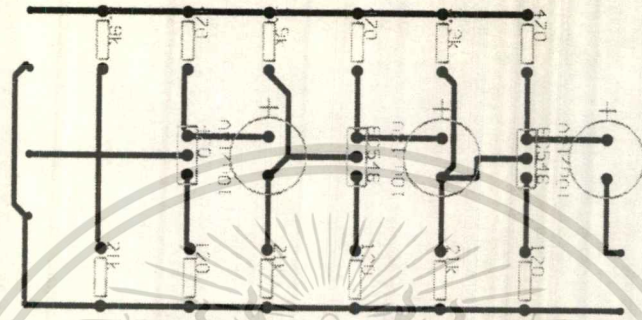
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



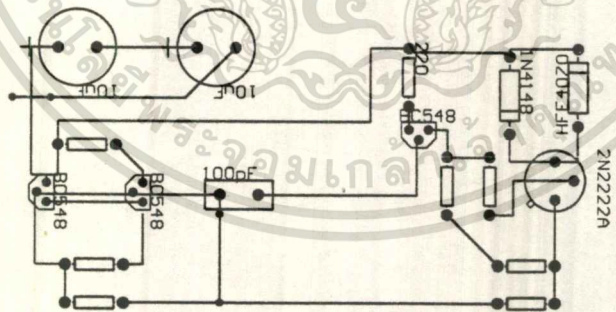
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

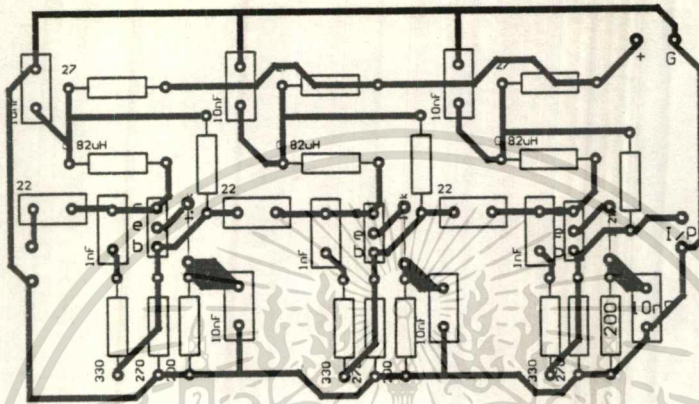


รูปที่ 2 รูปลายวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

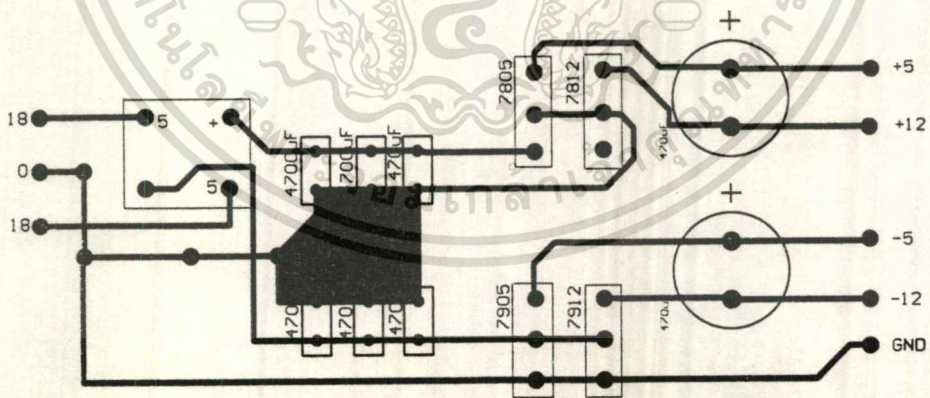


รูปที่ 3 รูปลายวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าของช่องสัญญาณที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

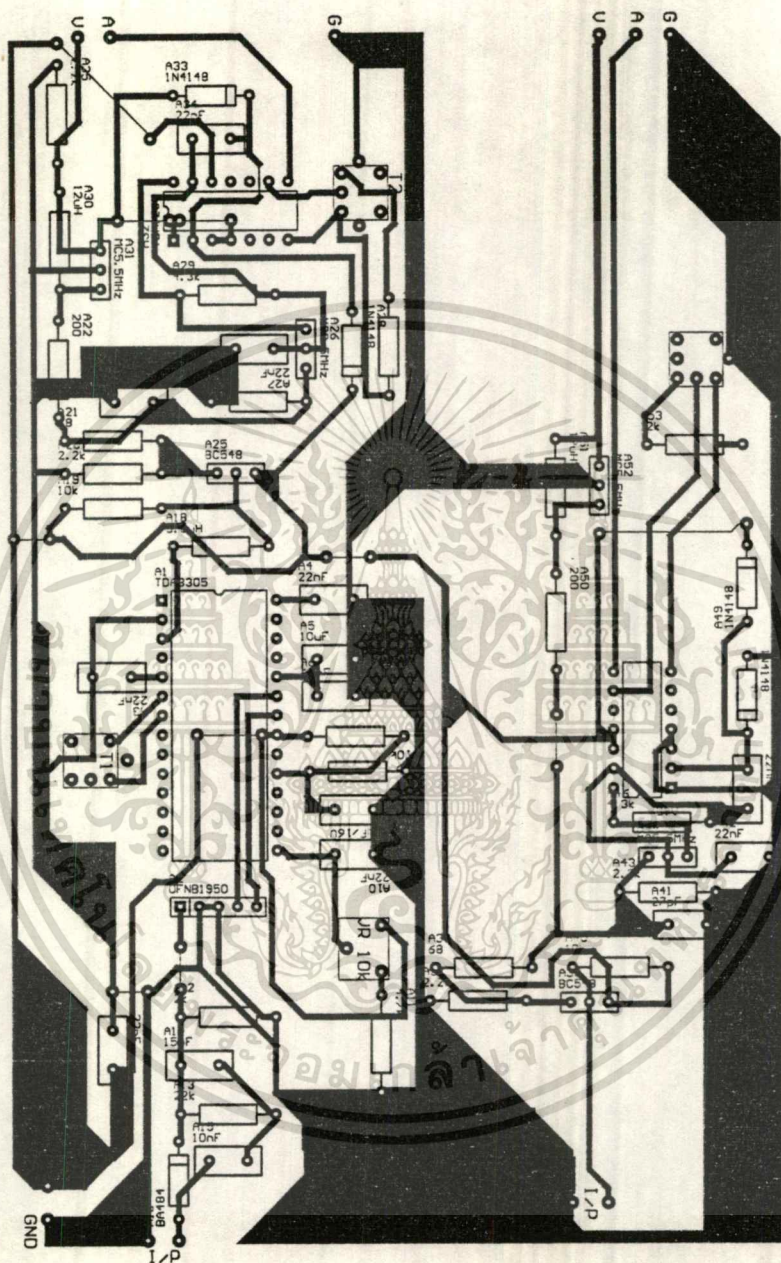


รูปที่ 4 รูปลายวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าของช่องสัญญาณที่ 2



รูปที่ 5 ลายวงจรแหล่งจ่ายไฟของเครื่องรับและเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 ลายวงจรดีเทคเตอร์สัญญาณภาพและสัญญาณเสียงของช่องสัญญาณที่ 1 และ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ภาคขยายสัญญาณไอเอฟและคีมอดูเลต

อุปกรณ์	ค่า/เบอร์	จำนวน (ตัว)
D1	เยอรมันเนียม BA484	1
R1	คาร์บอน 22KΩ	1
R2	คาร์บอน 2KΩ	1
R3	คาร์บอน 4.7KΩ	1
R4	คาร์บอน 10KΩ	1
R5	คาร์บอน 68Ω	1
R6	คาร์บอน 2.2KΩ	1
VR1	คาร์บอน 50KΩ	1
C1	เซรามิก 10nF	1
C2	เซรามิก 15pF	1
C3,C4,C7,C8	เซรามิก 22nF	1
C5	อิเล็กโทรไลต์ 10μF	1
C6	เซรามิก 47nF	1
L1	51321 9434J	1
L2	0.82μH	1
Q1	BC548	1
SF1	OFWG2950	1
IC1	TDA8305	1

รายการอุปกรณ์ภาคแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงของช่องสัญญาณที่ 2

อุปกรณ์	ค่า/เบอร์	จำนวน (ตัว)
D1	BA484	1
D2,D3	เยอรมันเนียม 1N4148	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่มีเหตุใดแบบลงโทษ และต้องยังอ้างอิงของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาไปใช้

อุปกรณ์	ค่า/เบอร์	จำนวน (ตัว)
R2 คาร์บอน	2KΩ	1
R3,R6 คาร์บอน	10KΩ	2
R4 คาร์บอน	33KΩ	1
R5 คาร์บอน	4.7KΩ	1
R7 คาร์บอน	68Ω	1
R8,R9,R12 คาร์บอน	2.2KΩ	3
R10 คาร์บอน	200Ω	1
R11 คาร์บอน	4.3KΩ	1
R13 คาร์บอน	12KΩ	1
SF1	OFWG 2950	1
IC1	TDA8305	1
IC2	TBA120S	1
CF1,CF2	Ceramic Filter 5.5 MC	2
Q1	BC548	1
L1	51321 9434J	1
L2	0.82μH	1
L3	12μH	1
L4	50081 91147	1
C1,C15,C16 เซรามิก	10nF	3
C2 เซรามิก	15pF	1
C3 อิเล็กโทรไลต์	33μF	1
C4,C5,C8,C9,C11,C12,C13 เซรามิก	22nF	7
C6 อิเล็กโทรไลต์	10μF	1
C7 เซรามิก	47nF	1
C10 เซรามิก	27pF	1
C14 อิเล็กโทรไลต์	220μF	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดทั้งสิ้น อีกทั้งยังสงวนเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ภาคจ่ายไฟ

อุปกรณ์	ค่า/เบอร์	จำนวน (ตัว)
Bridge	6A/600V	3
C1,C2,C4,C5 อิเล็กโทรไลต์	4700 μ F/50V	4
C11,C13,C3,C6,C7,C9 อิเล็กโทรไลต์	470 μ F/25V	6
C8,C10,C12,C14 ไมลาร์	0.01 μ F/50V	4
IC1	LM7805	1
IC2	LM7812	1
IC3	LM7905	1
IC4	LM7912	1

รายการอุปกรณ์ภาคเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

อุปกรณ์	ค่า/เบอร์	จำนวน (ตัว)
R1,R8 คาร์บอน	10k Ω	2
R2 คาร์บอน	1.5k Ω	1
R3 คาร์บอน	3.9k Ω	1
R4 คาร์บอน	220 Ω	1
R5 คาร์บอน	1k Ω	1
R6,R9 คาร์บอน	100 Ω	2
R7 คาร์บอน	2k Ω	1
C1 เซรามิก	100nF	1
C2,C3 อิเล็กโทรไลต์	10 μ F	2
D1	HFE4070	1
D2	IN4148	1

อุปกรณ์	ค่า/เบอร์	จำนวน (ตัว)
Q1,Q2,Q3	BC548	3
Q4	2N2222A	1

รายการภาคเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

อุปกรณ์	ค่า/เบอร์	จำนวน (ตัว)
D1	HFD3022-002	1
Q1,Q2,Q3	BC548	3
R1,R5,R9 คาร์บอน	21K Ω	3
R3,R7,R11 คาร์บอน	480 Ω	3
R2,R6,R10 คาร์บอน	3.9K Ω	3
R4,R8,R12 คาร์บอน	120 Ω	3
C1,C2,C3 อิเล็กโทรไลต์	10 μ F	3

รายการอุปกรณ์ภาควงจรออโต-วีดีโอโมดูลเตอร์

อุปกรณ์	ค่า/เบอร์	จำนวน (ตัว)
RF Converter	MCB9-VG3403 01457G	2
Tuner	UV711	2
D1,D2	HZT33	2
VR1,VR2	100k Ω	2
C1,C2,C8,C9 เซรามิก	22nF	4
C3,C10 อิเล็กโทรไลต์	10 μ F	2
C16,C14 เซรามิก	0.47 μ F	2
C5,C13 เซรามิก	330nF	2
C6,C12 อิเล็กโทรไลต์	100 μ F	2
C4,C11 อิเล็กโทรไลต์	33 μ F	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 0-2329-1000

อุปกรณ์	ค่า/เบอร์	จำนวน (ตัว)
C7,C15 เซรามิก	1nF	2
R4,R9 คาร์บอน	27k Ω	2
R3,R8 คาร์บอน	27 Ω	2
R1,R6 คาร์บอน	10k Ω	2
R2,R7 คาร์บอน	33k Ω	2
R5,R10 คาร์บอน	15k Ω	2

รายการอุปกรณ์ภาคแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงช่องสัญญาณที่ 1

อุปกรณ์	ค่า/เบอร์	จำนวน (ตัว)
R1,R4 คาร์บอน	2.2k Ω	2
R2 คาร์บอน	200 Ω	1
R3 คาร์บอน	4.3k Ω	1
R5 คาร์บอน	12k Ω	1
C1 เซรามิก	27pF	1
C2,C3,C4 เซรามิก	22nF	3
C5 อิเล็กโทรไลต์	220 μ F	1
C6,C7 เซรามิก	10nF	2
D1,D2 เยอรมันเนียม	1N4148	2
CF1,CF2	เซรามิกฟิลเตอร์ 5.5 MC	2
L1	12 μ H	1
L2	50081 91147	1
IC1	TBA120s	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

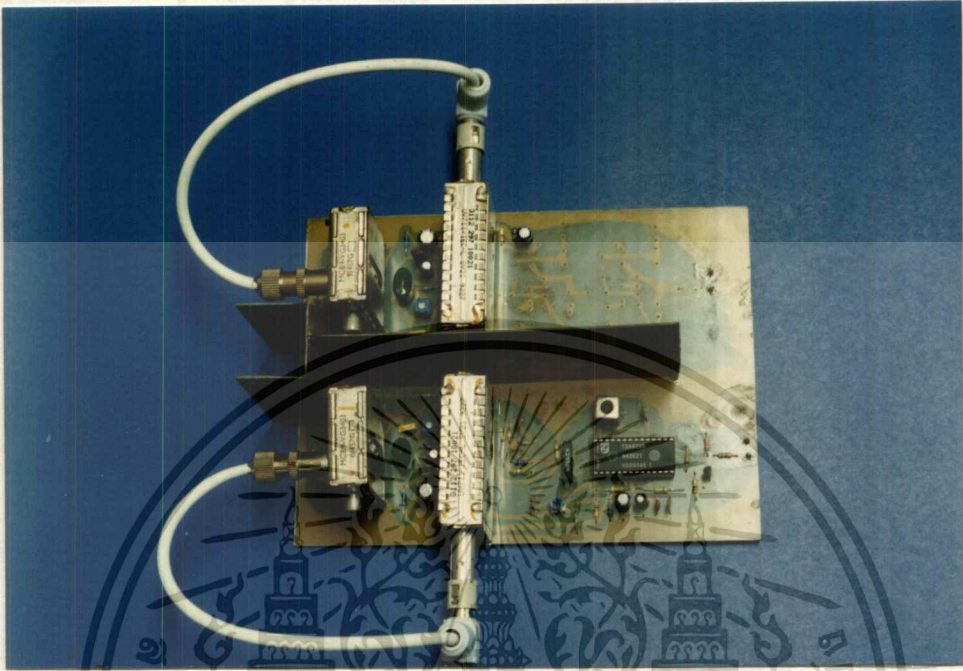
รายการอุปกรณ์ภาควงจรขยายไอเอฟ

อุปกรณ์	ค่า/เบอร์	จำนวน (ตัว)
Q1,Q2	BF199	2
R1,R6	คาร์บอน 1.2k Ω	2
R2,R7	คาร์บอน 27 Ω	2
R3,R8	คาร์บอน 330 Ω	2
R4,R9	คาร์บอน 270 Ω	2
R5,R10	คาร์บอน 200 Ω	2
L1,L2	0.82 μ H	2
C1,C4	เซรามิก 82pF	2
C2,C5	เซรามิก 1nF	2
C3,C6	เซรามิก 10nF	2

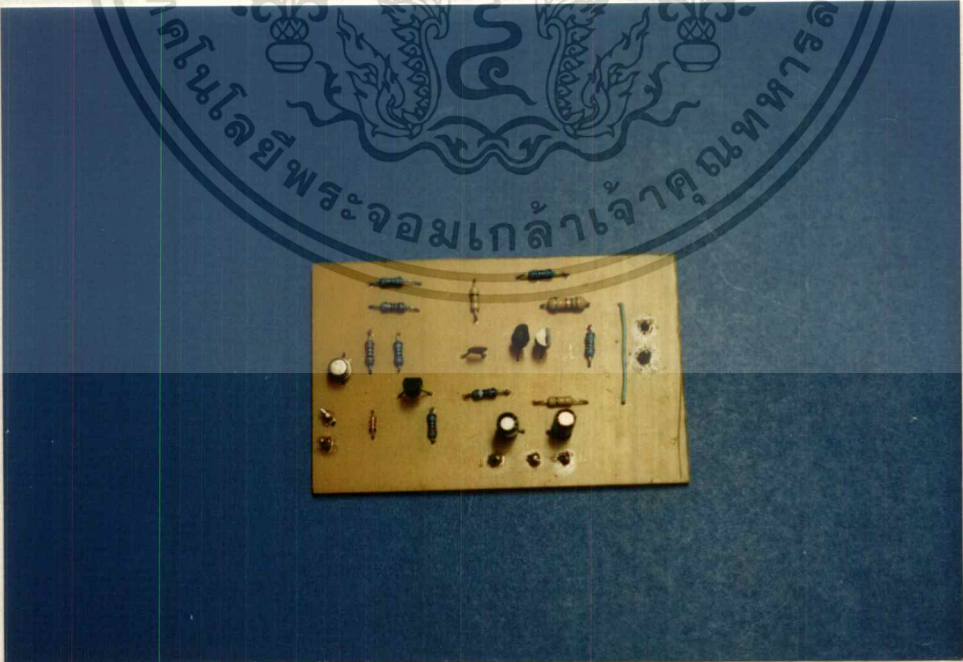
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



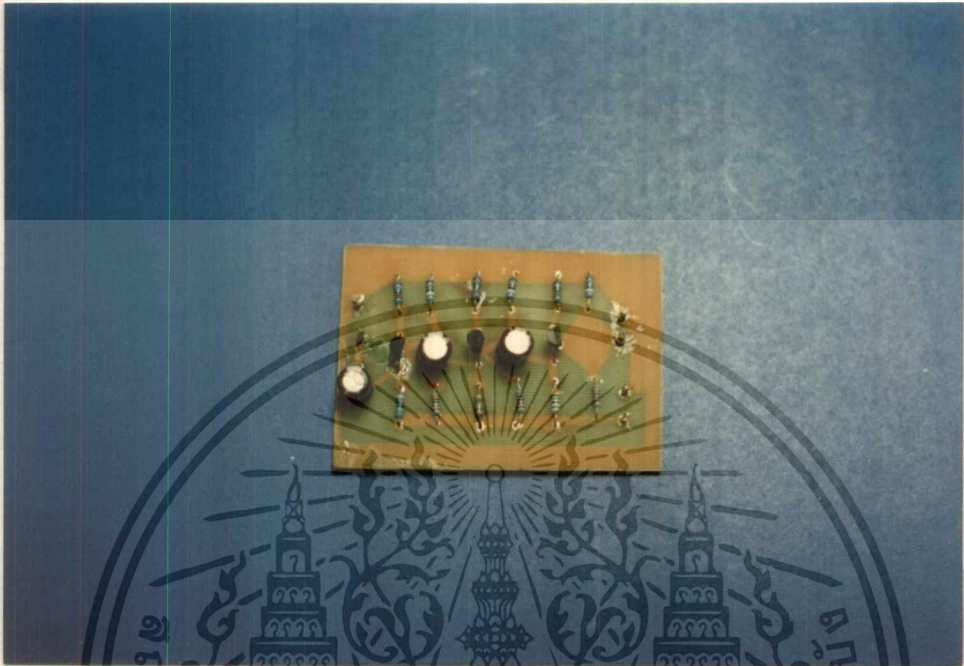
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 รูปวงจรภาคส่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้เฉพาะวิชาการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2 รูปวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

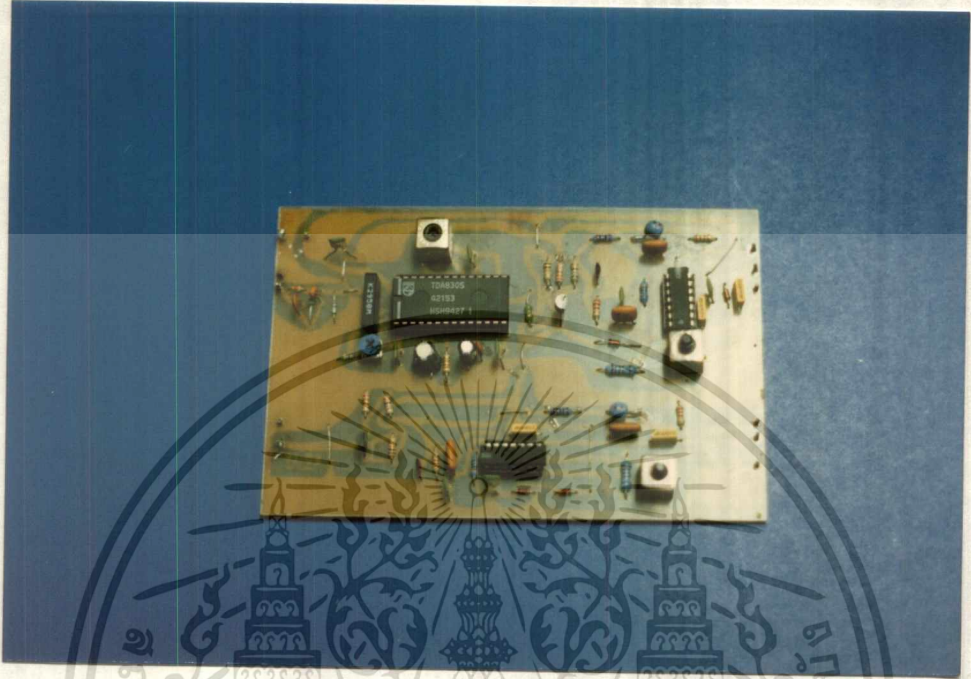


รูปที่ 3 รูปวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าของช่องสัญญาณที่ 1



รูปที่ 4 รูปวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าของช่องสัญญาณที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนไว้เพื่อใช้ในการวิจัยเท่านั้น
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 รูปวงจรดีเทคเตอร์สัญญาณภาพและสัญญาณเสียงของช่องสัญญาณที่ 1 และ 2

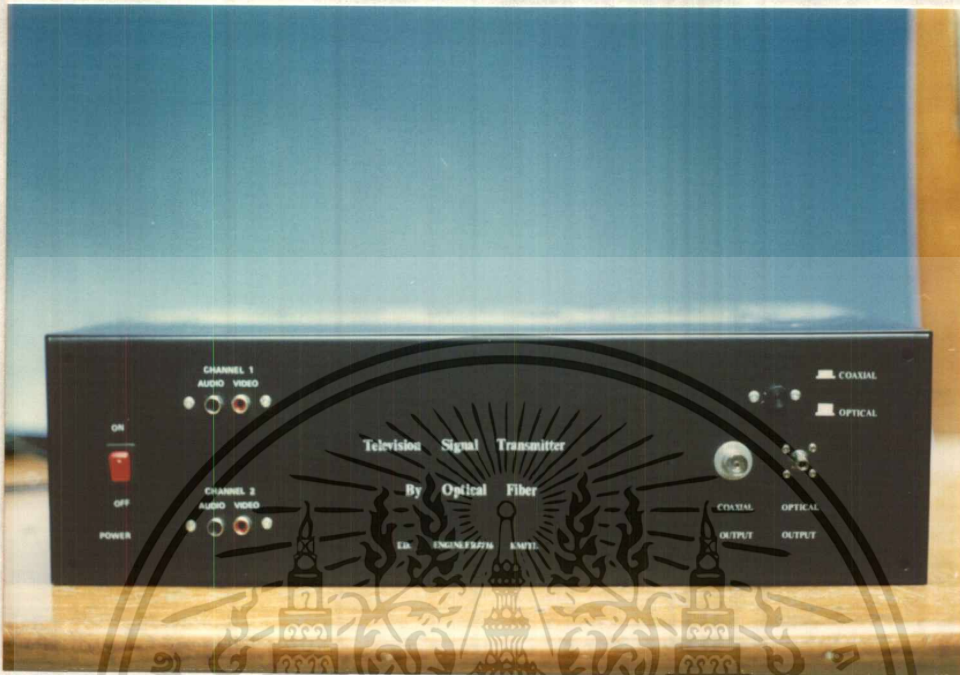


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 6 รูปวงจรแหล่งจ่ายไฟของเครื่องรับและเครื่องส่ง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

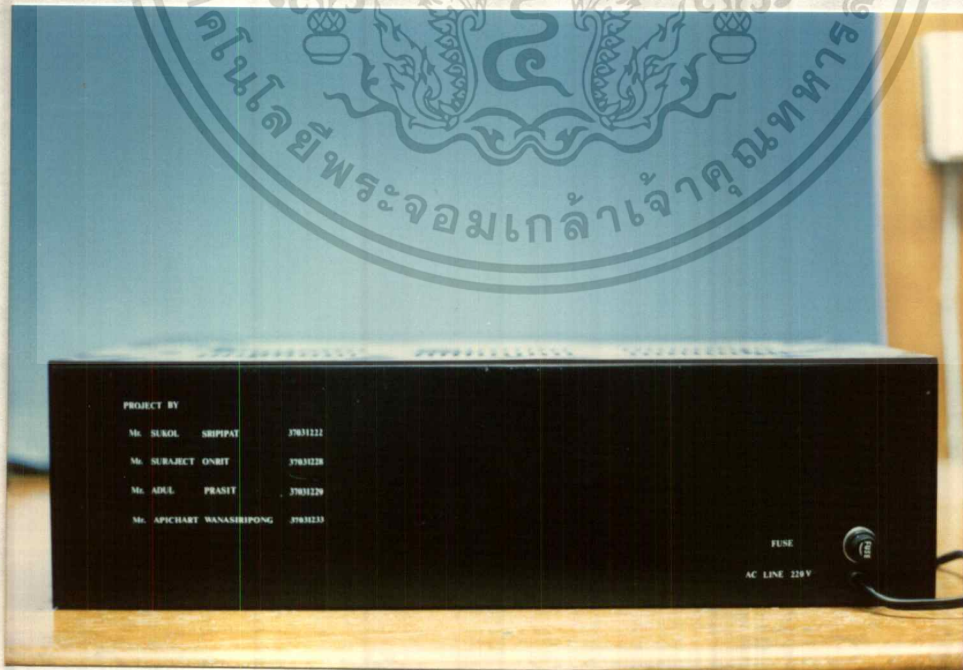


ภาคผนวก
ด้านหน้าและด้านหลังของเครื่องส่งและเครื่องรับ

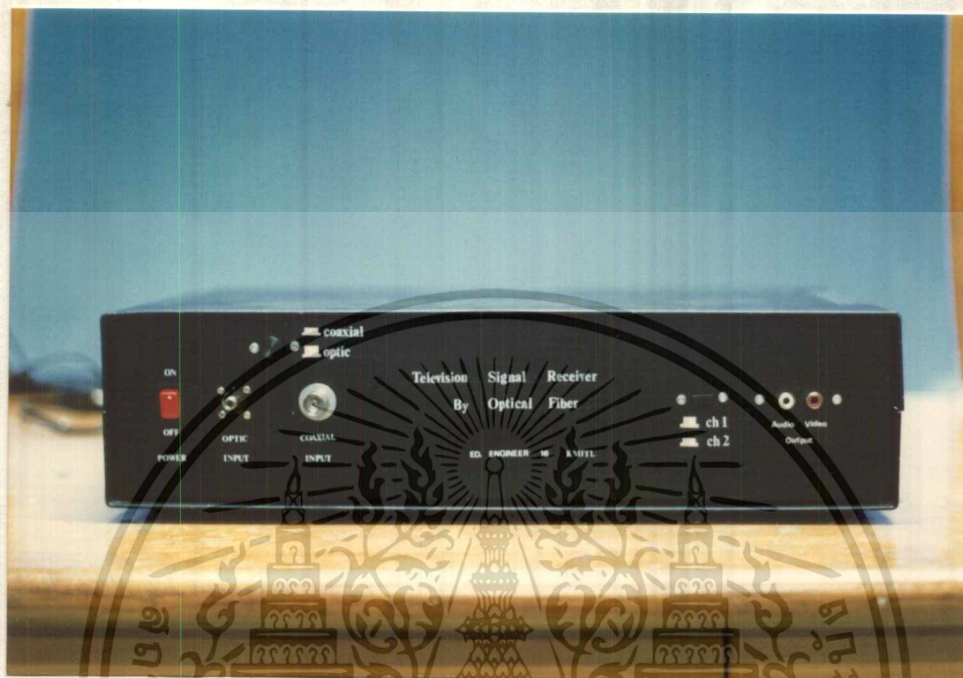
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 รูปด้านหน้าของเครื่องส่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้รูปที่ 2 รูปด้านหลังของเครื่องส่งของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 รูปด้านหน้าของเครื่องรับ



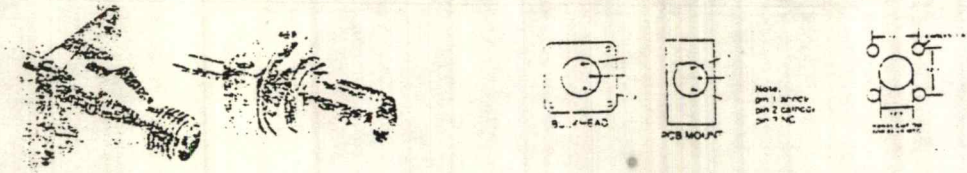
รูปที่ 4 รูปด้านหลังของเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SMA/ST Emitters/Transmitters



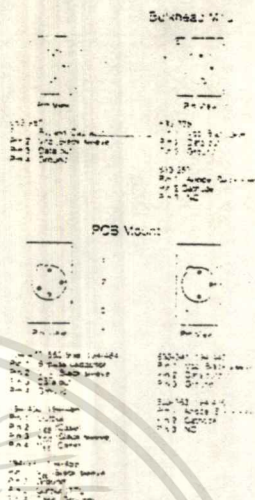
supplied to RS by Honeywell optoelectronics

A range of GaAlAs surface emitting LED, optically aligned in either SMA or ST housings offering PCB or bulkhead mounting options. The devices are designed to provide direct connection to the RS range of terminated fiber optic leads or any other compatible SMA or ST connector. The active device is an HFE4070 and is selected for output power.

Technical Specification			
Absolute max. Ratings			
Forward current I_F	100mA		
Reverse voltage V_R (at 10 μ A)	1 V		
Operating temperature range	-40° C to +100° C		
Optoelectronic characteristics at 25° C			
	min	typ.	Max
V_F , at $I_F = 100A$		1.6V	1.8V
Peak emission wavelength ($I_F = 100mA$)	850 nm		
Spectral bandwidth	50nm		
Response time	t_r	4ns	8ns
($I_{PK} = 100mA$)	t_r	6ns	10ns
Launch power low power emitter			
(a) 50/125 μ m glass	3 μ W min (-25dBm)		
200 μ P.c.S	50 μ W min (-135dBm)		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดูแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาใช้

SMA/ST Detectors/Receivers



Supplied to RS by Honeywell optoelectronics

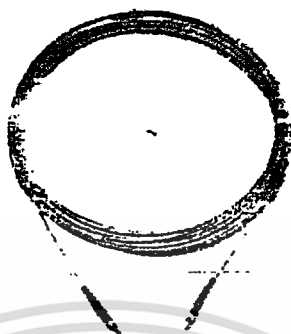
A wide range of analogue and digital receivers designed to match the low and high power emitter.

50 MHz PIN Diode

A planar silicon PIN diode optically aligned in SMA/ST housing, either bulkhead or PCB mounting. The device features low junction capacitance fast response and can be used at up to 50 Mhz. The active device is an HFD3022-002

Technical Specification	
Peak spectral response (typ.)	850nm
Peak responsivity 850nm (50µm)	0.85A/W
Dark current (max)	2nA
Capacitance	2.1pF
Reverse breakdown voltage (typ)	250V
Rise/Fall time (5V)	17ns
Operating temperature	-40° C to +100° C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน (90V) ทรัพย์สินการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม การดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Fiber Optic Cable

50/125 μ m Terminated Optical Leads

Lengths of LSOH polyethylene coated fiber optic cable having 50 μ m core diameter, 125 μ m cladding diameter and an overall cable diameter of 3.2 mm. Terminated at each end with 9 mm SMA connectors. Numerical aperture 0.2. Attenuation (820 nm) 3 dB/km typ, 4 dB/km max. Band width 400 Mhz/km, minimum bend radius 3 mm., maximum tensile load 100 N. Operating temperature rang -15° C to +60° C.

Note : This cable is not suitable for use with RS in line connectors.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้