

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแก้วนำแสง  
OPTICAL VIDEO TRANSMITTER-RECEIVER



โดย

นาย ทองแดง คล้ายสอน

นาย สมชาย ศรีระแหง

นาย เสรี อรุณรุ่งรัตน์

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 86885  
วัน,เดือน,ปี 16 ส.ค. 2552

b..... 1014538  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

OPTICAL VIDEO TRANSMITTER-RECEIVER

ชื่อนักศึกษา นาย ทองแดง คล้ายสอน  
นาย สมชาย ศรีระแหง  
นาย เสรี อรุณรุ่งรัตน์  
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ขวลิขิต เบญจางคประเสริฐ  
อาจารย์ สภาพร พรหมวงศ์  
ภาควิชา เทคนิคอุตสาหกรรม  
ปีการศึกษา 2538

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติ  
ให้นำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
( )  
..... กรรมการ  
( )  
..... กรรมการ  
( )  
..... กรรมการ  
( )  
..... กรรมการ  
( )  
..... กรรมการ  
( )

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

โดย นาย ทองแดง คล้ายสอน รหัส 37012053  
นาย สมชาย ศรีระแหง รหัส 37012068  
นาย เสรี อรุณรุ่งรัตน์ รหัส 37012080

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ชวลิต เบญจางคประเสริฐ  
อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์  
ปีการศึกษา 2538

### บทคัดย่อ

โครงการนี้ ได้นำเสนอเครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแก้วนำแสง โดยจะผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงก่อนผ่านเส้นใยแก้วนำแสง สัญญาณภาพและเสียงที่ป้อนเข้าทางด้านอินพุตของเครื่องส่งสามารถรับได้จากสายอากาศโทรทัศน์, เครื่องเล่นวีดีโอเทป, กล้องวีดีโอและเครื่องกำเนิดสัญญาณภาพและเสียงจากการทดลองต่อวงจรสามารถรับ-ส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงได้อย่างคมชัด สามารถยืนยันขึ้นชั้นได้จากการทดลองต่อวงจรจริงและใช้งานได้จริง

# OPTICAL VIDEO TRANSMITTER-RECEIVER

BY MR. THONGDEANG KLAYSON CODE 37012053  
MR. SOMCHAI SRIRAHAENG CODE 37012068  
MR. SEREE ARUNRUNGRAT CODE 37012080

ADVISOR MR. CHAWALIT BENJANGKAPRASERT  
MR. SATHAPORN PROMWONG  
YEAR 2538

---

## ABSTRACT

This project paper,optical video transmitter-receiver. By pass implementation signal convert before pass optical fiber. Video signal and audio signal input, it can take from antenna, video tape, video camera and video, audio signal generator. From circuit can receiver-transmitter video signal and audio signal pass optical fiber. Confirm to demonstrate the circuit performance are included.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีโดยความช่วยเหลือของท่านอาจารย์ สถาพร พรหมวงค์ อาจารย์ ชวลิต เบญจางคประเสริฐ อาจารย์ประจำภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม อาจารย์ พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมและคุณ ธนนท์ จิราพร วิศวกรจาก บริษัทฟิลลิปส์แห่งประเทศไทย จำกัด ซึ่งท่านเหล่านี้ได้ให้คำแนะนำแนวทางแก้ไขปัญหาต่างๆ รวมถึงอุปกรณ์ และเครื่องมือ ที่ใช้ในการทดลอง เช่น เครื่องเล่นวีดีโอ,สายไฟเบอร์ออฟติก เครื่องมือวัดต่างๆ รวมทั้งห้องที่ใช้ในการปฏิบัติงาน สิ่งต่างๆเหล่านี้ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ สถาพร พรหมวงค์ อีกครั้ง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือโดยสะดวกตลอดมา ถ้าขาดสิ่งเหล่านี้แล้วโครงการนี้คงจะไม่ประสบความสำเร็จลงได้

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่คอยให้กำลังใจและทุนทรัพย์  
เสมอมา

นาย ทองแดง กล้ายสอน

นาย สมชาย ศรีระแหง

นาย เสรี อรุณรุ่งรัตน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	
กิตติกรรมประกาศ	
สารบัญ	
สารบัญภาพ	
สารบัญตาราง	
บทที่ 1 บทนำ .....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ .....	3
2.1 การแนะนำเรื่องการสื่อสารทางแสง .....	3
รูปแบบของการสื่อสารทางแสง .....	3
2.2 การเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสง .....	6
โครงสร้างของการกำเนิดแสง .....	6
2.3 การสื่อสารด้วยเส้นใยแสง .....	9
สายรับ-ส่งเส้นใยแสง .....	9
โครงสร้างของสายรับ-ส่งเส้นใยแสง .....	9
ข้อดีของการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง .....	10
ข้อเสียของการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง .....	12
2.4 การคำนวณกำลังสูญเสียทั้งหมดของระบบ .....	12
เพอร์เวอร์บัตเจด .....	12
แบนด์วิดธ์บัตเจด .....	14
2.5 เส้นใยแสง (Optical) .....	18
ลักษณะการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง .....	18
การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง .....	18
ต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสง .....	20
โหมดการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง (Propagation Mode) .....	20
อุปกรณ์เชื่อมต่อของการส่งผ่านเส้นใยแสง .....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ระบบเส้นใยแสง .....	29
โครงสร้างของอุปกรณ์ปล่อยแสง .....	30
โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอด (LD) .....	32
โครงสร้างของ แอลอีดี (Light Emitting Diode) .....	36
คุณสมบัติต่างๆของอุปกรณ์ปล่อยแสง .....	38
การเชื่อมอุปกรณ์ปล่อยแสงกับเส้นใยแสง .....	40
โครงสร้างและการทำงานของารรับแสง .....	42
โครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง .....	44
คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง .....	46
บทที่ 3 การออกแบบ .....	50
3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งและรับสัญญาณ โดยเส้นใยแสง .....	50
3.2 วงจรภาคส่ง .....	52
จูนเนอร์และภาคขยายไอเอฟ .....	52
หน้าที่การทำงานแต่ละขาของจูนเนอร์ UV 711 .....	52
การทำงานของอิเล็คทรอนิกส์จูนเนอร์ .....	54
ภาคขยายสัญญาณ ไอเอฟและติมอดูเลเตอร์ .....	56
วงจขยาย (Amplifier) .....	57
วงจรมอดูเลตทางแสง (E/O Converter) .....	58
วงจรรวมด้านเครื่องส่ง .....	60
รายการอุปกรณ์ภาคส่ง .....	62
3.3 วงจรภาครับ .....	64
วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณ ไฟฟ้า (O/E Converter) .....	64
วงจขยาย .....	65
ภาคแยกสัญญาณเสียง (Detector Audio Signal) .....	66
ภาคแยกสัญญาณภาพ (Detector Video Signal) .....	67
วงจรรวมทางด้าน เครื่องรับ .....	68
รายการอุปกรณ์ภาครับ .....	70
3.4 วงจรจ่ายไฟ (Power Supply) .....	71
รายการอุปกรณ์ภาคจ่ายไฟ.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง.....	73
4.1	ลักษณะการใช้งาน .....	73
4.2	การทดสอบโดยป้อนสัญญาณจากสายอากาศ ส่งผ่านสายแกนร่วม .....	74
4.3	การทดสอบโดยป้อนสัญญาณจากสายอากาศ ส่งผ่านเส้นใยแสง .....	76
4.4	การทดสอบโดยป้อนสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณภาพ .....	78
4.5	การทดสอบโดยป้อนสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณภาพ .....	81
4.6	วิธีการใช้เครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสง .....	84
4.7	สรุปผลการทดลอง .....	84
4.8	ปัญหาในการทำงาน .....	84
4.9	แนวทางการพัฒนา .....	85

เอกสารอ้างอิง  
ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมภาคส่งและรับ .....	1
รูปที่ 2.1 รูปแบบพื้นฐานของการสื่อสาร .....	5
รูปที่ 2.2 การจ่ายพลังงานและปรากฏการณ์ปล่อยพลังงานออกมา .....	6
รูปที่ 2.3 โครงสร้างและระดับพลังงานอะตอม .....	7
รูปที่ 2.4 แสดงระดับพลังงานและขั้นตอนของการถ่ายเท .....	8
รูปที่ 2.5 เส้นใยแสงชนิดมัลติโหมด .....	9
รูปที่ 2.6 เคเบิลเส้นใยแสงชนิด 24 เส้นใย .....	10
รูปที่ 2.7 แสดงการสูญเสียภายในระบบเส้นใยแสง .....	13
รูปที่ 2.8 มุมรับแสงของเส้นใยแสง .....	19
รูปที่ 2.9 ผลของ คอร์ (Core) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสง .....	20
รูปที่ 2.10 เส้นใยแสงแบบกลมและแบบแบน .....	22
รูปที่ 2.11 การสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของตัวกลาง .....	23
รูปที่ 2.12 มุมสะท้อนกลับของแสงที่ทำให้เกิดคลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี .....	24
รูปที่ 2.13 Propagation Mode ภายในเส้นใยแสง .....	25
รูปที่ 2.14 อุปกรณ์หลักของการเชื่อมโยงส่งผ่านเส้นใยแสง .....	25
รูปที่ 2.15 การลดทอนของเส้นใยแสงขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น .....	28
รูปที่ 2.16 สนามไฟฟ้าภายในและระดับพลังงานของ P-N Junction .....	31
รูปที่ 2.17 โครงสร้างทั่วไปของ เลเซอร์ไดโอด (LD) .....	33
รูปที่ 2.18 โครงสร้าง, ระดับพลังงาน และลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของ เลเซอร์ไดโอด .....	34
รูปที่ 2.19 โครงสร้างแบบพลาแนร์ - สตรีฟ .....	35
รูปที่ 2.20 โครงสร้างของเอ็มเบ็ดดิง - สตรีฟ ทั่วไป .....	36
รูปที่ 2.21 โครงสร้าง และระดับพลังงานของ แอลอีดี (LED) .....	37
รูปที่ 2.22 ตัวอย่างโครงสร้างของ แอลอีดี แบบ ปล่อยแสงออกทางด้านหน้า .....	38
รูปที่ 2.23 ตัวอย่างโครงสร้างของ แอลอีดี แบบ ปล่อยแสงออกทางด้านข้าง .....	38
รูปที่ 2.24 รูปคลื่นทางด้านเอาท์พุทของแสง และการมอดูเลตในการส่งสัญญาณดิจิทัล .....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.25 การมอดูเลตแบบ Light Intensity Modulation .....	40
รูปที่ 2.26 การเชื่อมแสงระหว่างอุปกรณ์ปล่อยแสงกับเส้นใยแสง .....	41
รูปที่ 2.27 ตัวอย่าง Id-Module และ led- Modle .....	42
รูปที่ 2.28 Depletion Zone .....	43
รูปที่ 2.29 หลักการทำงานการรับแสง และ ระดับพลังงานของ pin-pd .....	45
รูปที่ 2.30 หลักการทำงานการรับแสงและระดับพลังงานของ APD .....	46
รูปที่ 2.31 แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และโฟโตรีเซ็ปเตอร์ .....	48
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของภาคส่ง .....	50
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของภาครับ .....	51
รูปที่ 3.3 ตำแหน่งขา จูนเนอร์ .....	52
รูปที่ 3.4 วงจรภายในจูนเนอร์ ระบบ UHF , VHF .....	54
รูปที่ 3.5 วงจรขยายสัญญาณไอเอฟและคิมอคูเลเตอร์ .....	56
รูปที่ 3.6 วงจรขยาย .....	57
รูปที่ 3.7 วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง .....	58
รูปที่ 3.8 วงจรของภาคส่ง .....	60
รูปที่ 3.9 วงจรพิมพ์ของภาคส่ง .....	62
รูปที่ 3.10 วงจรเปลี่ยนแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า .....	64
รูปที่ 3.11 วงจรขยาย 2 สเตท .....	65
รูปที่ 3.12 วงจรแยกสัญญาณภาพและเสียงและวงจรผสมสัญญาณภาพและเสียง .....	66
รูปที่ 3.13 วงจรรวมของภาครับ .....	68
รูปที่ 3.14 วงจรพิมพ์ของภาครับ .....	69
รูปที่ 3.15 วงจรจ่ายไฟ .....	71
รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบในการรับ-ส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสง .....	73
รูปที่ 4.2 แสดงการเชื่อมต่อในการใช้งานจริงของเครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสงและสัญญาณที่รับได้ .....	74
รูปที่ 4.3 การต่อเครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสง โดยใช้สายแกนร่วมต่อกับสายอากาศ .....	75
รูปที่ 4.4 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ฮอสซิลโลสโคป ที่จุดทดสอบของเครื่องส่ง .....	75
รูปที่ 4.5 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ฮอสซิลโลสโคป ที่จุดทดสอบของเครื่องรับ .....	76
รูปที่ 4.6 การต่อเครื่องส่งและรับ โดยใช้เส้นใยแสง .....	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 สัญญาณภาพที่ได้จากการวัดคร่อม LED .....	77
รูปที่ 4.8 สัญญาณภาพที่วัดได้โดยใช้ข้อสจิลโลสโคปที่จุดทดสอบของเครื่องรับ .....	78
รูปที่ 4.9 การต่อเครื่อง-รับส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสงโดยใช้สายนำสัญญาณแกนร่วม .....	78
รูปที่ 4.10 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ข้อสจิลโลสโคป ที่จุดทดสอบของเครื่องส่ง .....	79
รูปที่ 4.11 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ข้อสจิลโลสโคปที่จุดทดสอบทางด้านเครื่องรับ .....	79
รูปที่ 4.12 สัญญาณที่ได้จากการแยกภาพและสี .....	80
รูปที่ 4.13 สัญญาณที่ได้จากการแยกสัญญาณเสียง .....	80
รูปที่ 4.14 การต่อเครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสง โดยผ่านเส้นใยแสง .....	81
รูปที่ 4.15 สัญญาณภาพที่ได้จากการวัดคร่อม LED .....	81
รูปที่ 4.16 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ข้อสจิลโลสโคปที่จุดทดสอบของเครื่องรับ .....	82
รูปที่ 4.17 สัญญาณที่ได้จากการแยกภาพและสี .....	83
รูปที่ 4.18 สัญญาณที่ได้จากการแยกสัญญาณเสียง .....	83



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของเส้นใยแสง .....	15
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของ Light Source ชนิดต่างๆ .....	16
ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของ Photo Diode .....	17
ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของอุปกรณ์ปล่อยแสง .....	40
ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง .....	49
ตารางที่ 3.1 การเลือกแถบความถี่ .....	55



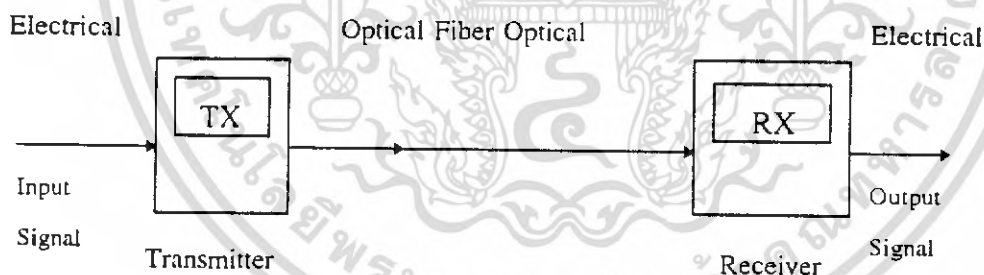
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

ในปัจจุบันระบบการส่งสัญญาณภาพและเสียงได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเห็นได้ในรูปแบบต่างๆ เช่น การส่งสัญญาณโทรทัศน์จากสถานีทวนสัญญาณที่ตั้งอยู่ตามพื้นดิน จะมีให้เห็นในรูปของสถานีโทรทัศน์ช่อง 3 และช่อง 5 เป็นต้น ต่อมาได้มีการดำเนินธุรกิจทาง โทรทัศน์ ในชื่อของ “ระบบ DRH (Direct To Home)” ระบบนี้กำลังเป็นที่นิยมมากในปัจจุบันซึ่งจะสังเกตได้จากการตื่นตัวเกี่ยวกับระบบนี้มากขึ้นทั้งบริษัทผู้ส่งและฝ่ายผู้รับสำหรับปริญญาโทฉบับนี้ จะเสนอระบบการส่งและรับสัญญาณภาพผ่านสายใยแก้วนำแสงซึ่งเป็นการสื่อสารในรูปแบบใหม่อีกแบบหนึ่งนอกจากการสื่อสารผ่านดาวเทียม โดยในระบบนี้จะเปลี่ยนจากการส่งสัญญาณไฟฟ้าเป็นการส่งสัญญาณแสงไปในสายนำสัญญาณที่มีลักษณะเป็นแท่งแก้วที่มีดัชนีการหักเหแสงคล้ายกับกระจกเงา (ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในบทต่อไป) แท่งแก้วนี้เรียกว่าเส้นใยแสงซึ่งมีขนาดเล็กมากประมาณเท่ากับเส้นผมของคนเราทั่วไป ( $\approx 125 \text{ }\mu\text{m}$ ) ซึ่งคาดว่าระบบการสื่อสารเส้นใยแสงจะเข้ามามีบทบาทกับชีวิตประจำวันของคนเรามากขึ้น

ระบบสื่อสารที่ใช้เส้นใยแก้วนำแสงเป็นตัวกลางนำข่าวสารจะมีโครงสร้างอย่างง่ายดังนี้



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมภาคส่ง

1 เครื่องส่ง (Transmitter) จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่มีข่าวสารอยู่แล้ว เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง อุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงนิยมใช้ L.E.D. (Light-Emitting-Diode) หรือไดโอดเปล่งแสง เพราะไดโอดเหล่านี้เปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นย่าน  $0.8-0.9 \text{ }\mu\text{m}$  และ  $1.3-1.6 \text{ }\mu\text{m}$  ซึ่งตรงกับย่านที่เส้นใยแก้วนำแสงมีค่าสูญเสียน้อย เครื่องส่งนี้ในบางครั้งเราเรียกว่าตัวแปลงไฟฟ้าเป็นแสง (Electrical-to-Optical Converter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 เครื่องรับ ( Receiver) จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งบางครั้งเราเรียกเครื่องรับว่าตัวแปลงสัญญาณแสงเป็นไฟฟ้า (Optical-to-Electrical Converter) ซึ่งเครื่องรับจะประกอบด้วย ตัวจับแสง เครื่องขยายกำลัง และเครื่องกำเนิดพัลส์ใหม่ในกรณีที่เป็นระบบดิจิทัล หรือดีมอดูเลเตอร์ในกรณีที่เป็นระบบอะนาล็อก ตัวตรวจจับที่นิยมใช้กันคือ PIN photodiode และ Avalanche photodiode (APD)

3 เส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Optic) ทำหน้าที่นำแสงจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ อาจเป็นชนิด Multimode หรือ Single-mode



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 การแนะนำเรื่องการสื่อสารทางแสง

##### 2.1.1 รูปแบบของการสื่อสารทางแสง

การพยายามตอบคำถามสำหรับบุคคลที่ยังไม่เคยมีความรู้เกี่ยวกับเรื่องนี้มาก่อนจะต้องกระทำดังต่อไปนี้ในรอบหลายปีที่ผ่านมาพัฒนาการสื่อสารทางไฟฟ้าได้ดำเนินรุดหน้าไปอย่างรวดเร็ว ปัจจุบันเป็นสิ่งธรรมดาที่พบเห็นกันได้ทั่วไป เช่นการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกที่ทำการถ่ายทอดทางโทรทัศน์ โดยการส่งผ่านดาวเทียม นั่นคือมันจะปรากฏภาพทันที แม้ว่าเหตุการณ์นั้นจะได้จัดขึ้นอีกซีกโลกก็ตาม ในอนาคตชีวิตประจำวันของครอบครัวจะขึ้นอยู่กับโทรทัศน์มากขึ้น เช่น บริการทางการศึกษาข่าวสารจดหมายหนังสือพิมพ์ ผลที่ได้รับคือ การประหยัดเวลาและทรัพยากรธรรมชาติเป็นอันมากถึงแม้ว่าการส่งข่าวสารและโทรศัพท์ ภาพ อาจจะจัดหาได้ง่ายเพื่อที่จะให้มีการบริการในสิ่งเหล่านี้ การส่งจะต้องมีประสิทธิภาพหลายร้อยเท่าของระบบที่มีอยู่ในปัจจุบันสำหรับการส่งข่าวสารที่มีจำนวนมากๆ มันเป็นผลสืบเนื่องมาจากหลักการสื่อสารอย่างง่ายเพื่อที่จะให้มีการบริการในสิ่งเหล่านี้

ในปี พ.ศ. 2503 ได้มีการประดิษฐ์เลเซอร์ (แหล่งกำเนิดแสง) ที่สามารถให้กำเนิดแสงธรรมชาติขึ้น (เช่นมีสีเดียว) แหล่งกำเนิดแสงจะมีความถี่สูงกว่า  $10^4$ - $10^5$  เท่าของแหล่งกำเนิดความถี่ไมโครเวฟ (ความถี่ 10 GHz) ที่มีอยู่เดิมตั้งแต่ได้มีการปรากฏตัวของเลเซอร์ได้มีความพยายามอยู่หลายครั้งที่จะใช้เลเซอร์สำหรับการสื่อสาร เพราะว่ามันมีข้อดีอยู่หลายประการ ถ้านำมันมาใช้เป็นคลื่นพาหะของระบบการสื่อสารได้ เช่น มันจะให้กำเนิดแสงสีเดียวได้ดีที่สุด และมีลำแสงที่ปรับให้แคบที่สุดได้ ตามหลักการแล้วจะมีแบนด์วิดท์กว้างมาก

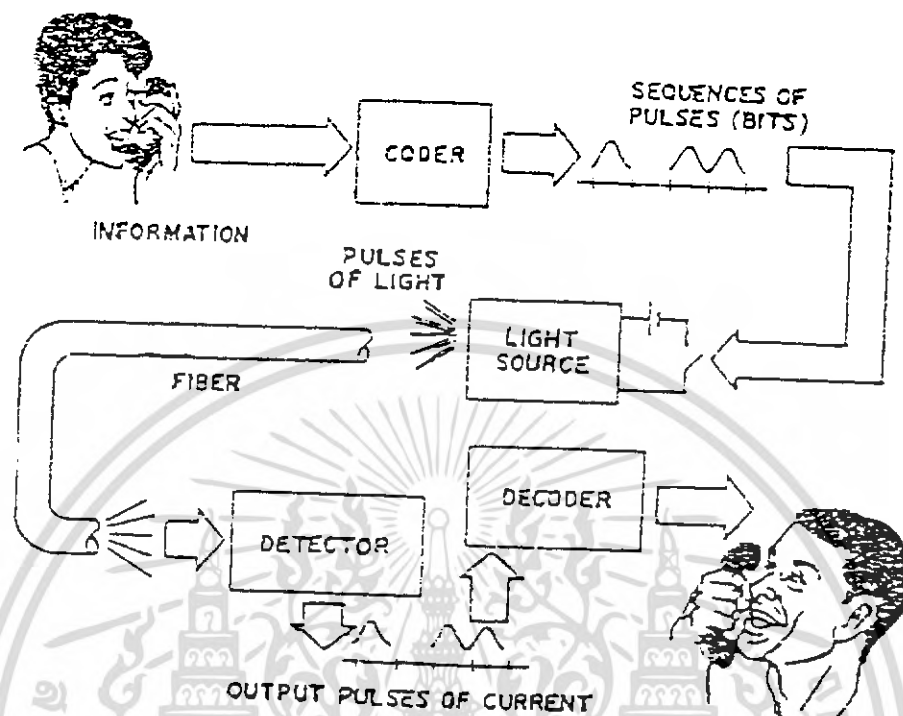
เริ่มแรกการทำงานของระบบการสื่อสารที่ความถี่แสง ถึงแม้ว่าจะเพิ่มประสิทธิภาพการส่งข่าวสารได้มากถึง 100,000 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มีใช้อยู่ อย่างไรก็ตามก่อนที่จะนำมาใช้งานในทางปฏิบัติยังมีปัญหาอีกหลายอย่างที่จะต้องนำไปแก้ไขเช่นเลเซอร์ต้องมีประสิทธิภาพและขนาดต้องเล็ก, ซึ่งสามารถรักษาคุณภาพให้อยู่ในระดับสูงตลอดไปต้องมีการควบคุมทางเอาท์พุท, อุปกรณ์มอดูเลชัน และดีมอดูเลชันที่ความเร็วสูงยังไม่ได้ผลตามที่ต้องการทั้งหมดนี้มีความสำคัญมากที่สุด สิ่งที่ต้องการสำหรับสายรับ-ส่งชนิดใหม่ คือ ต้องมีการสูญเสียต่ำ และที่ขีดขุ่นได้ประหยัด, และมีแบนด์วิดท์กว้าง ปรากฏว่าในตอนแรกนั้นปัญหาเหล่านี้เอาชนะได้ยากมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณปี พ.ศ. 2509 ได้มีการพิจารณาถึงความเหมาะสมที่จะนำเส้นใยแก้วนำแสงมาใช้ เป็นสายรับ-ส่งอย่างจริงจัง แต่ในเวลานั้นการสูญเสียยังสูงอยู่ จึงยังไม่ได้นำมาใช้

ในปี พ.ศ. 2513 ได้พบวิธีการที่จะลดการสูญเสียลงได้เป็นจำนวนมากและการทำงานของเลเซอร์ สารกึ่งตัวนำสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากอายุการใช้งานของเลเซอร์ สามารถเพิ่มได้มากขึ้น และสามารถผลิตเส้นใยแสง ให้มีการสูญเสียต่ำได้ทำให้ การสื่อสารด้วย เส้นใยแสงได้รับการยอมรับในทางปฏิบัติเรายังคงเพิ่งเริ่มต้นในยุคของการสื่อสารทางแสง แต่ขณะนี้มีความเป็นไปได้อย่างมากว่าหน่อเล็กๆ นี้จะเติบโตเป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ในอนาคตอันใกล้นี้ อีก ประการหนึ่งความถี่ของแสงอุลตราไวโอเล็ตและรังสีเอ็กซ์-เรย์ สูงกว่าออปติคอล-เรย์ (Optical Ray) และมีความเหมือนกันคือการรวมตัวของโปรตรอน ทำให้พลังงานเพิ่มขึ้นผลที่ตามมาก็คือ ควอนตัม-นอยซ์ (Quantum Noise) สูงมาก และการเชื่อมติดกับสายรับ-ส่งและรีฟเลคเตอร์ทำได้ ยากมากในหลักการแล้ว ความถี่เหล่านี้ไม่เหมาะที่จะใช้ส่งข้อมูล เพราะฉะนั้นคลื่นแสงที่มองเห็น ได้อาจเป็นประเภทสุดท้ายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่จะนำมาใช้กับระบบโทรคมนาคมได้ ระบบ การสื่อสารทางแสงส่วนใหญ่จะใช้เส้นใยแสงและใช้สารกึ่งตัวนำเป็นแหล่งกำเนิดแสง ในรูปที่ 2.1 ที่จะกล่าวถึงเป็นระบบทั่วไป ในรูปแบบของการสื่อสารทางแสงนั้น ในขั้นแรกสัญญาณ (คลื่นแสง) ที่ผู้ใช้ต้องการจะส่งจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าในเครื่องส่ง ซึ่งมันจะถูกมอดูเลต กับความเข้มของแสงที่แหล่งกำเนิดแสง ซึ่งอาจจะเป็นเลเซอร์หรือไดโอดเปล่งแสง (วิธีการนี้เรียก ว่ามอดูเลชัน) สัญญาณแสงถูกส่งผ่านเข้าไปในทางเดินของแสงในเส้นใยแสง และถูกตรวจรับที่ ปลายทางด้านรับด้วยโฟโตดีเทคเตอร์ ซึ่งสัญญาณแสงจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม (เรียกว่าดีมอดูเลชัน)

สุดท้ายสัญญาณไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณเดิมที่ผู้ใช้สามารถเข้าใจได้ เช่นเสียง คำพูด (คลื่นเสียง) หลายศตวรรษมาแล้วที่มนุษย์รู้จักการใช้การสื่อสารด้วยแสง เช่น กบเพลิง สัญญาณไฟ และโดยการสะท้อนแสงด้วยรหัสมอส การพัฒนาอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ให้ทำงานเป็นแหล่ง กำเนิดแสง โดยอาศัยข้อมูลการวิจัยในยุโรปและอเมริกา เป้าหมายของการพัฒนาของหลอดคาย ประจุ และหลอดไฟฟ้า หรือปรากฏการณ์ของแสงที่เปล่งออกมาจากแท่งเรืองแสงโดยเฉพาะการ เปล่งแสงที่ได้โดยการให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจุดเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำ ในผลิตภัณฑ์ของ สารกึ่งตัวนำเช่น ซิลิกอน หรือ เยอรมันเนียม การเปล่งแสงอ่อนมาก แต่ในสารประกอบผลึกกึ่งตัว นำ เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) การเปล่งแสงสูงกว่ามาก เพราะฉะนั้นจึงได้มีการพัฒนาวิธี การผลิตสารกึ่งตัวนำให้เหมาะสมที่จะจัดให้เป็นแหล่งกำเนิดแสง



รูปที่ 2.1 รูปแบบพื้นฐานของการสื่อสาร

ในอดีตแนวความคิดของการส่งสัญญาณแสง ในสมัยกรีกโบราณ ซึ่งเทคโนโลยีของการผลิตแก้วได้เริ่มขึ้น ได้สังเกตเห็นว่าแสงสามารถผ่านแท่งแก้วได้ ในทำนองเดียวกันในประเทศอังกฤษ ซึ่งมีความรู้เกี่ยวกับแสงรุ่งเรืองมาก ในศตวรรษที่ 19 ได้สังเกตแสงที่ผ่านท่อน้ำที่มีรูแคบมาก การทดลองเรื่องการส่งแสงผ่านเส้นใยแก้วได้กระทำเป็นครั้งแรกที่ประเทศเยอรมันนีในปีพ.ศ. 2473

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 การเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสง

### 2.2.1 โครงสร้างของการกำเนิดแสง



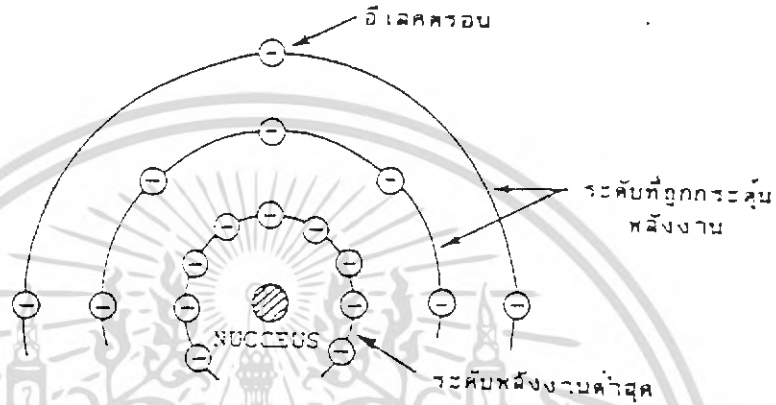
เป็นที่ทราบกันทั่วไปแล้วว่า การที่กระแสไหลนั้นเป็นปรากฏการณ์ที่อิเล็กตรอนภายในสารที่ประกอบเป็นตัวกลางนั้นเคลื่อนที่ไปนั่นเองแต่ถ้าอิเล็กตรอนนี้ถ้าหากไม่มีแรงภายนอกมากกระทำแล้วมันจะอยู่ในตำแหน่งที่มันคงไม่เปลี่ยนแปลง เช่นเดียวกันกับกระแสน้ำในแม่น้ำที่ไหลจากที่สูงไปยังที่ต่ำ คราวนี้เราลองมาพิจารณาความสัมพันธ์ของกระแสน้ำกับกังหันน้ำ

สมมุติว่าเราต้องการที่จะขนน้ำในบ่อ ไปเก็บเอาไว้ในอ่างเก็บน้ำบนภูเขา ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เราจำเป็นต้องใช้รอก, ลิฟต์ หรืออุปกรณ์อย่างอื่นซึ่งเป็นพลังงานจากภายนอกให้แก่ น้ำจึงจะขนมันขึ้นได้ ในกรณีการขนน้ำจากบนภูเขาไปยังบ่อน้ำข้างล่างนี้ไม่จำเป็นต้องให้แรงจากภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกเลขน้ำจะไหลลงเองตามธรรมชาติและมันยังถ่ายพลังงานที่มันสะสมเอาไว้ให้แก่การทำงานของ การปล่อยแสงได้โดยเปลี่ยนจากน้ำมาเป็นกรณีการไหลของอิเล็กตรอน ดังต่อไปนี้

โดยทั่วไปแล้วอะตอม ที่ประกอบอยู่ในสารต่างๆจะมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.3 นั่นคือมีส่วนที่เรียกว่า นิวเคลียส อยู่ตรงกลางและรอบๆนิวเคลียสจะมีอิเล็กตรอนจำนวนหนึ่งหมุนรอบนิวเคลียส โดยมี ระยะห่างที่แน่นอน



รูปที่ 2.3 โครงสร้างและระดับพลังงานของอะตอม

อิเล็กตรอนเหล่านี้จะมีพลังงานที่เป็นสัดส่วนกับระยะทางจากนิวเคลียสพลังงานนี้เรียกว่า ระดับพลังงานระดับพลังงานที่ต่ำที่สุดเรียกว่ากราวด์-สเตท-เลเวล และระดับพลังงานที่สูงกว่านี้ เรียกว่าสตีมิเลท-เลเวลที่มีอยู่ในระดับพลังงานนี้จะมีจำนวนแน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดของสาร แต่ โดยปกติแล้วตรอนจะออกันอยู่ที่ระดับพลังงานต่ำอันนี้เป็นคุณสมบัติโดยธรรมชาติของอิเล็กตรอน

คราวนี้เราลองสมมุติว่า มีอิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงาน 1 และไม่มีอิเล็กตรอนอยู่ใน ระดับพลังงาน 2 เลข ดังรูป 2.4 ในสภาพนี้ถ้าหากเราให้พลังงานที่มีค่าเท่ากับผลต่างของระดับ พลังงานทั้งสอง แล้วอิเล็กตรอนจะดูดพลังงานนี้ และจะเลื่อนท่อนจากระดับพลังงานต่ำ  $E_1$  ขึ้นไป อยู่ที่ระดับพลังงานสูง  $E_2$  ดังรูป 2.4 ที่นี้เรียกว่า การกระตุ้น และการที่อิเล็กตรอนเลื่อนไปยัง ระดับพลังงานอื่นนั้นเรียกว่าการถ่ายเท และเมื่อปล่อยอิเล็กตรอนที่อยู่ในสภาพเลื่อนขึ้นไปอยู่ใน ระดับพลังงานสูง  $E_2$  ไว้อย่างนั้นมันจะถูกนิวเคลียสดึงกลับลงมาอยู่ในสภาพเดิม นั่นคือลงมาสู่ ระดับพลังงานต่ำ  $E_1$  นั้นจะเหมือนกันกับ กระแสน้ำที่ไหลจากที่สูงมาสู่ที่ต่ำ ตามที่กล่าวมาในรูป 2.3 อิเล็กตรอนจะปล่อยพลังงาน เท่ากับ  $E_2 - E_1$  ออกมาดังรูป 2.4 ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่าการ ปล่อยพลังงานออกมาตามธรรมชาติ กรณีที่ปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงจะเรียกว่าการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปล่อยพลังงานแสงออกมาตามธรรมชาติเนื่องจากว่าสารต่างๆแบ่งออกได้เป็นพวกที่ทำให้เกิดแสงได้ง่ายกับพวกที่ทำให้เกิดแสงได้ยาก ดังนั้นจึงไม่สามารถกำหนดลงไปได้ว่าสารทุกชนิดจะทำให้เกิดแสงขึ้นได้ จากทฤษฎีของ Quantum Dynamics ความยาวคลื่นที่ได้จากการปล่อยแสงออกมานี้หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\lambda = (c \cdot h) / (E_2 - E_1)$$

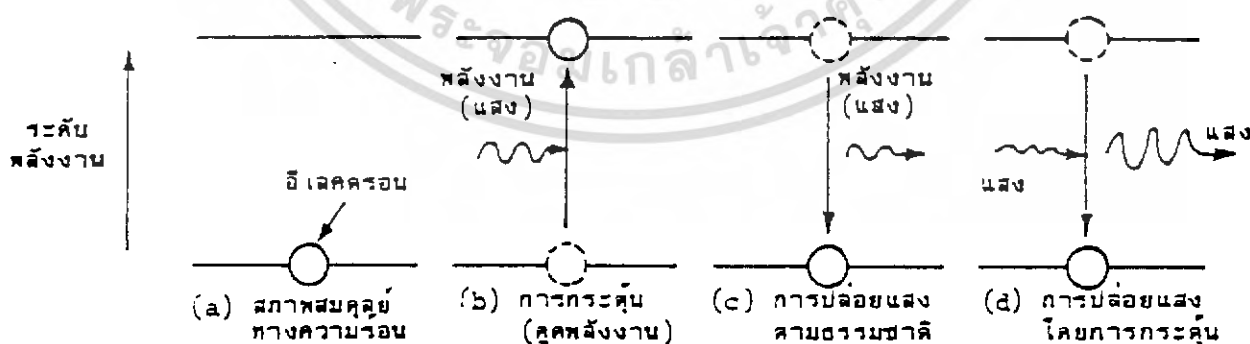
ในที่นี้  $\lambda$  : ความยาวคลื่นแสง

$c$  : ความเร็วของคลื่น ( $3 \cdot 10^8$  m/sec)

$h$  : PLANK CONSTANT มีค่า =  $6.625 \cdot 10^{-34}$  jule.sec

นั่นคือความยาวคลื่นแสง จะเป็นสัดส่วนกลับผลต่างของพลังงานและผลต่างของ พลังงานนี้กำหนดจากชนิดของอะตอมที่ประกอบเป็นอุปกรณ์กำเนิดแสงด้วย ดังนั้นความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาจึงมีค่าเฉพาะ อุปกรณ์กำเนิดแสงที่ใช้การปล่อยแสงตาม ธรรมชาตินี้ได้แก่ หลอดนีออนและไดโอดกำเนิดแสง

สมมุติว่าเราป้อนแสงที่มีพลังงานเท่ากับ  $E_2 - E_1$  ที่ใช้ในการกระตุ้นอิเล็กตรอนให้ไปอยู่ในระดับพลังงานสูงดังรูป อิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงาน  $E_2$  ซึ่งพยายามที่จะกลับลงมาสู่ระดับพลังงานต่ำ  $E_1$  อยู่แล้วนั้น ก็จะดูดพลังงานของแสงที่ป้อนให้มันไว้ และกลับลงมาสู่พลังงานต่ำ  $E_1$  ในลักษณะถูกบังคับให้ลงมาเร็วกว่ากำหนดดังแสดงในรูป 2.4 ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่าการกระตุ้นให้แสงและพลังงานที่เกิดขึ้นในกรณีนี้จะมีค่ามากกว่ากรณีของการปล่อยแสงตามธรรมชาติ นั่นคือ เป็นสัดส่วนกลับกับผลต่างของพลังงาน  $E_2 - E_1$  อุปกรณ์กำเนิดแสงที่ใช้หลักการของการกระตุ้นให้ปล่อยแสงออกมานี้ ได้แก่ เลเซอร์

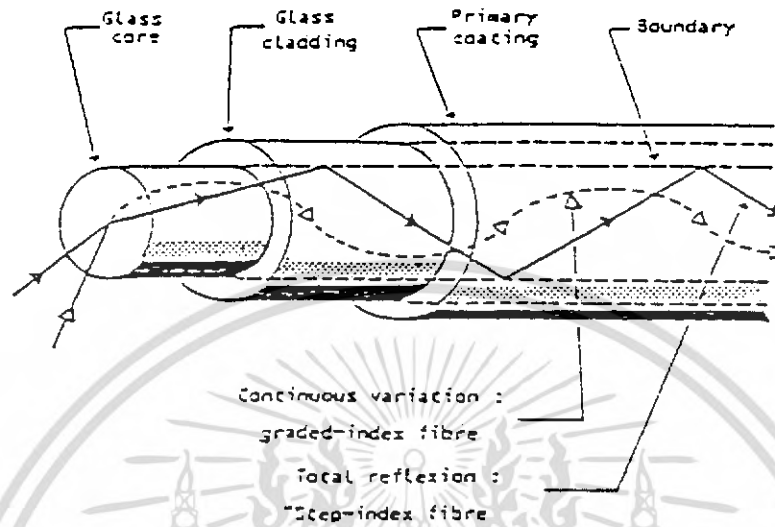


รูปที่ 2.4 แสดงระดับพลังงานและขั้นตอนของการถ่ายเท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 การสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

### 2.3.1 สายรับ-ส่งเส้นใยแสง



รูปที่ 2.5 เส้นใยแสงชนิดมัลติโหมด

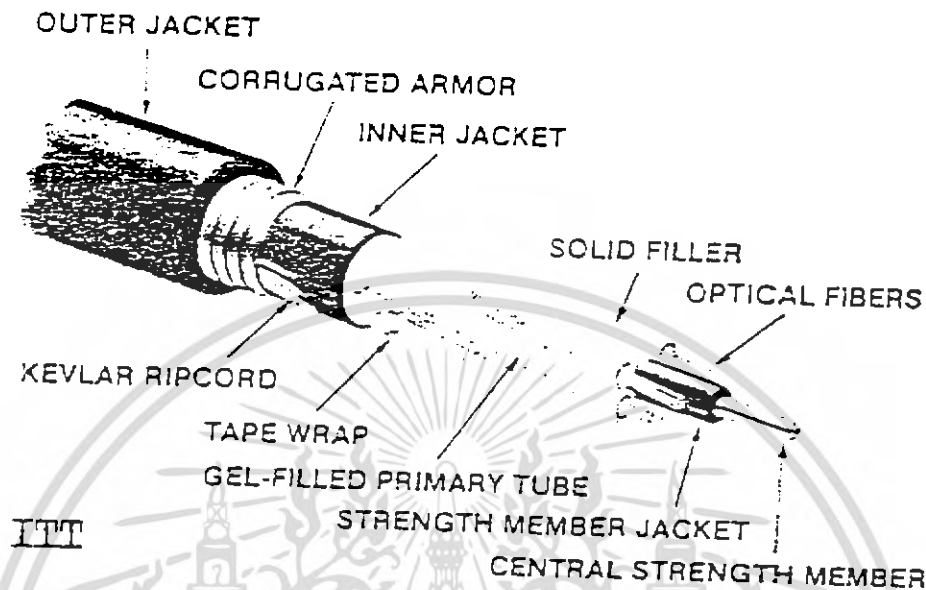
### 2.3.2 โครงสร้างของสายรับ-ส่งเส้นใยแสง

ประกอบด้วยส่วนตรงกลางที่เรียกว่าคอร์ (core) มีดัชนีหักเหของแสง  $n_1$  ต่ำกว่า  $n_2$  ดังนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกจำกัดอยู่ในส่วนของแคลดดิ้ง (Cladding) มีดัชนีหักเหของแสง  $n_2$  ต่ำกว่า  $n_1$  ดังนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกจำกัดอยู่ในส่วนของคอร์ และถูกส่งต่อโดยหลักการสะท้อนกลับตรงเขตแดนระหว่างคอร์กับแคลดดิ้ง ที่อยู่ภายในทั้งหมด เส้นใยแสงเป็นรูปแบบของไดอิเล็กทริก-เวฟไกด์ (Dielectric Waveguide) ซึ่งเป็นชนิดซิลิกาแก้วและมัลติคอมโพเนนท์ กลาสปกติใช้เป็นส่วนประกอบของฉนวนไฟฟ้า ในบางกรณีอาจใช้สารพลาสติก ในวงจรแสงที่เคลือบด้วยแผ่นฟิล์มบางๆซึ่งมีความหนาเพียง 2-3 มิลลิเมตร วัสดุอื่นที่สามารถนำมาใช้ได้ เช่น แก้ว, พลาสติก, วัสดุที่มีองค์ประกอบอย่างเดียวกันหรือสารกึ่งตัวนำ

เส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์ของเส้นใยแสงปกติจะอยู่ในย่าน 2-3 ไมโครเมตรถึง 20-30 ไมโครเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอกของแคลดดิ้งอยู่ระหว่าง 100-200 ไมโครเมตร อย่างไรก็ตามเส้นใยแสงที่ยังไม่ได้หุ้มมีความเปราะมาก และเป็นเหตุเริ่มต้นให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีจากความชื้น ดังนั้นเส้นใยแสงจึงถูกกำหนดให้มีการหุ้มครั้งแรกเสียชั้นหนึ่งก่อนด้วยพลาสติก ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ้มด้วยไนลอนอีกชั้นหนึ่งยิ่งกว่านั้นยังจัดเป็นกลุ่มเข้าด้วยกันในรูปเคเบิลเส้นใยแสงซึ่งทำให้เคเบิลมีเส้นใยแสงเป็นร้อยเส้นได้



รูปที่ 2.6 เคเบิลเส้นใยแสงชนิด 24 เส้นใย

ปัจจุบันซิลิกากระจกเป็นส่วนประกอบที่ทำให้การสูญเสียต่ำมากโดยมีความบริสุทธิ์มากขึ้น ทำให้สามารถผลิตเส้นใยแสงที่มีการลดทอนประมาณ 0.2 เดซิเบลต่อกิโลเมตรที่ความยาวคลื่น 1.55 ไมโครเมตรได้ ประกอบมีแบนด์วิดท์กว้างและการสูญเสียได้ว่าเส้นใยแสงจะเป็นสายรับ-ส่งที่เหมาะสมที่สุดในตอนนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดที่เกี่ยวกับความยาวคลื่น 0.85 ไมโครเมตร ที่ให้การสูญเสียต่ำ ซึ่งเป็นข้อกำหนดอย่างหนึ่งซึ่งเรียกว่า ออปติคัล-ไฟเบอร์-วินโดว์ (Optical Fiber Windows) บังเอิญสารกึ่งตัวนำเลเซอร์ที่ประกอบด้วยแกลเลียมอะลูมิเนียมอาร์เซไนด์ (GaAlAs) และซิลิกอน (Si) โฟโตนิกเทคโนโลยีที่มีความไวสูง ที่ความยาวคลื่นนี้ ในทางตรงกันข้าม เส้นใยมีความสูญเสียต่ำจะอยู่ย่านความยาวคลื่น 1.0-1.6 ไมโครเมตร การวิจัยเกี่ยวกับเลเซอร์และตัวรับแสงความไวสูง ที่กำลังทำกันในปัจจุบันและอนาคตถือเป็นกุญแจสำคัญที่เราต้องพัฒนาต่อไปในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

### 2.3.3 ข้อดีของการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

ในการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแสงมีข้อดีเหนือกว่าระบบออปติคัล-เวฟไกด์ อื่นๆทั้งหมด และมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1 มีการสูญเสียค่าตลอดย่านความยาวที่ใช้งาน ( น้อยกว่า 1 เดซิเบลต่อกิโลเมตร) จึงทำให้สามารถลดจำนวนอุปกรณ์ทวนสัญญาณ (Regenerator)
  - 2 มีแบนด์วิดท์กว้าง [1-10GHz , สำหรับมัลติโหมด (Mullti-mode) และซิงเกิ้ล-โหมด (Single-mode) ตลอดความยาว 1 กิโลเมตรตามลำดับ] ทำให้ระบบสามารถมีความจุของสัญญาณสูงขึ้น
  - 3 มีความยืดหยุ่น
  - 4 ขนาดเล็ก (เส้นใยแก้วมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 100 ไมโครเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งหมด ซึ่งรวมทั้งที่หุ้มพลาสติก ประมาณ 1-2 มิลลิเมตร)
  - 5 น้ำหนักเบาขนาดเล็ก เคเบิลใยแสงมีขนาดเล็กและเบาว่ามากเมื่อเทียบกับเคเบิลตัวนำทองแดง ดังนั้นการสร้างข่ายสายจึงทำได้สะดวกกว่า และนอกจากนี้ ยังสามารถใช้ท่อร้อยสายได้อย่างมีประสิทธิภาพ
  - 6 ไม่มีสิ่งรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากแก้วไม่ใช่ตัวนำไฟฟ้า สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจึงไม่มีผลต่อการรบกวนดังนั้นเคเบิลใยแสงจึงสามารถวางร่วมกับแนวสายส่งไฟฟ้ากำลังหรือระบบรดไฟฟ้าได้โดยไม่ต้องมีชีลด์ (Shield)
  - 7 Crosstalk ต่ำและมีมาตรการการป้องกันสูง เนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไม่มีผลต่อระบบนี้ และระบบนี้ยังไม่สร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนระบบอื่นๆ ดังนั้นเส้นใยแสงที่ใช้งานด้วยกันจึงไม่รบกวนซึ่งกันและกัน
  - 8 ส่วนประกอบของแก้วที่ใช้เป็นวัสดุทางธรรมชาติเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะความเข้มข้นของซิลิกาที่สูงมาก
  - 9 มีความต้านทานต่อปฏิกิริยาเคมี และการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิมาก เส้นใยแสงได้ถูกผลิตขึ้นมาจากสารจำพวกแก้วซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงมากถึง 1,500 องศา ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้งานในบริเวณที่มีความร้อนสูงได้
  - 10 ประหยัด แม้ว่าปัจจุบันราคาของเคเบิลใยแสงจะสูงกว่าเคเบิลตัวนำทางเคเบิลตัวนำทองแดงก็ตามแต่ในอนาคตมีแนวโน้มจะลดลงเนื่องจากวัสดุหลักที่นำมาผลิตเส้นใยแสงคือสารจำพวกแก้ว เนื่องจากเส้นใยแสงมีข้อดีเหล่านี้จึงมีความพยายามที่จะปรับปรุงคุณสมบัติที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นต่อไป โดยเฉพาะการวิจัยที่จะดำเนินการตามทิศทางต่อไปนี้
    - 1 อะไรคือลักษณะรูปร่างที่ดีที่สุดของดัชนีหักเหของแสงนำเอาปัจจัยทั้งหมดมาพิจารณา
    - 2 อะไรคือการกระทำที่ให้ได้การสูญเสียต่ำที่สุด
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3 ความยาวคลื่นเท่าไรที่เหมาะสมที่สุดของใช้งาน
- 4 อะไรเป็นส่วนสำคัญที่กำหนดแบนด์วิดท์
- 5 สาเหตุใดที่ทำให้คุณลักษณะของการเดินทางเปลี่ยนไปโดยแมชชีนนิคอลล-เอฟเฟ็คท์ (Mechanical Effects) เช่นการโค้งงออย่างนั้นหรือ
- 6 อายุการใช้งานจะเป็นสาเหตุให้คุณลักษณะเปลี่ยนไปหรือไม่
- 7 ปัญหาทางเทคนิคของการวางและการต่อเคเบิลสามารถแก้ไขปรับปรุงได้หรือไม่
- 8 ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ลดลงโดยการผลิตเป็นจำนวนมากได้หรือไม่

#### 2.3.4 ข้อเสียของการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

- 1) เปราะบาง เนื่องจากเส้นใยแสงผลิตมาจากแก้วดังนั้นจึงมีความเปราะบางมาก ดังนั้นจะต้องมีการระมัดระวังเป็นพิเศษไม่ว่าจะในขณะขบวนการผลิตและการใช้งาน
- 2) ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษในการติดตั้ง เนื่องมาจากการวางเคเบิล การต่อเชื่อมสาย ตลอดจนการติดตั้งต่างๆจะต้องใช้ความปราณีตและความสะอาดเป็นพิเศษ และนอกจากนี้ยังต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะอย่างซึ่ง ยังมีราคาค่อนข้างแพงอยู่ในปัจจุบันนี้ ในการดำเนินการต่างๆ
- 3) **Bending Loss** ไม่สามารถที่จะโค้งงอเคเบิลใยแสงได้มากกว่าที่กำหนดไว้ เนื่องจากจะทำให้แสงสามารถที่จะทะลุออกไปได้

ข้อเสียต่างๆที่กล่าวมาแล้วสามารถแก้ไขทางเทคนิคได้ และเครื่องมือต่างๆก็ได้รับการพัฒนาจนมีประสิทธิภาพสูงมากและราคายังถูกลงอีกด้วย ดังนั้นสรุปแล้วข้อเสีย ดังกล่าวจึงไม่เป็นอุปสรรคมากนักในทางปฏิบัติ

#### 2.4 การคำนวณกำลังสูญเสีย ทั้งหมดของระบบการสื่อสารด้วยใยแสง

##### 2.4.1 เพาเวอร์บัตเจต

Power budget คือ กำลังสูญเสียกำลังทั้งหมดของแสงที่ยอมได้ระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและเครื่องตรวจจับแสง ถ้าให้  $P_s$  คือกำลังของแสงที่ป้อนให้กับระบบ และ  $P_r$  คือ ความไวของเครื่องรับ Power budget จะเท่ากับ  $P_s - P_r$

ในการออกแบบระบบนั้นจำเป็นต้องมีกำลังเผื่อของระบบ (Power margin) ซึ่งจะเท่ากับผลต่างระหว่าง Powerbudget และค่าสูญเสียในระบบค่า Power margin ควรมีค่าเป็นบวกค่าสูญเสียในระบบนั้นจะเกิดจากค่าสูญเสียที่ข้อต่อ ค่าสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแก้วและค่าสูญเสียเนื่องจากการลดทอนกำลังเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

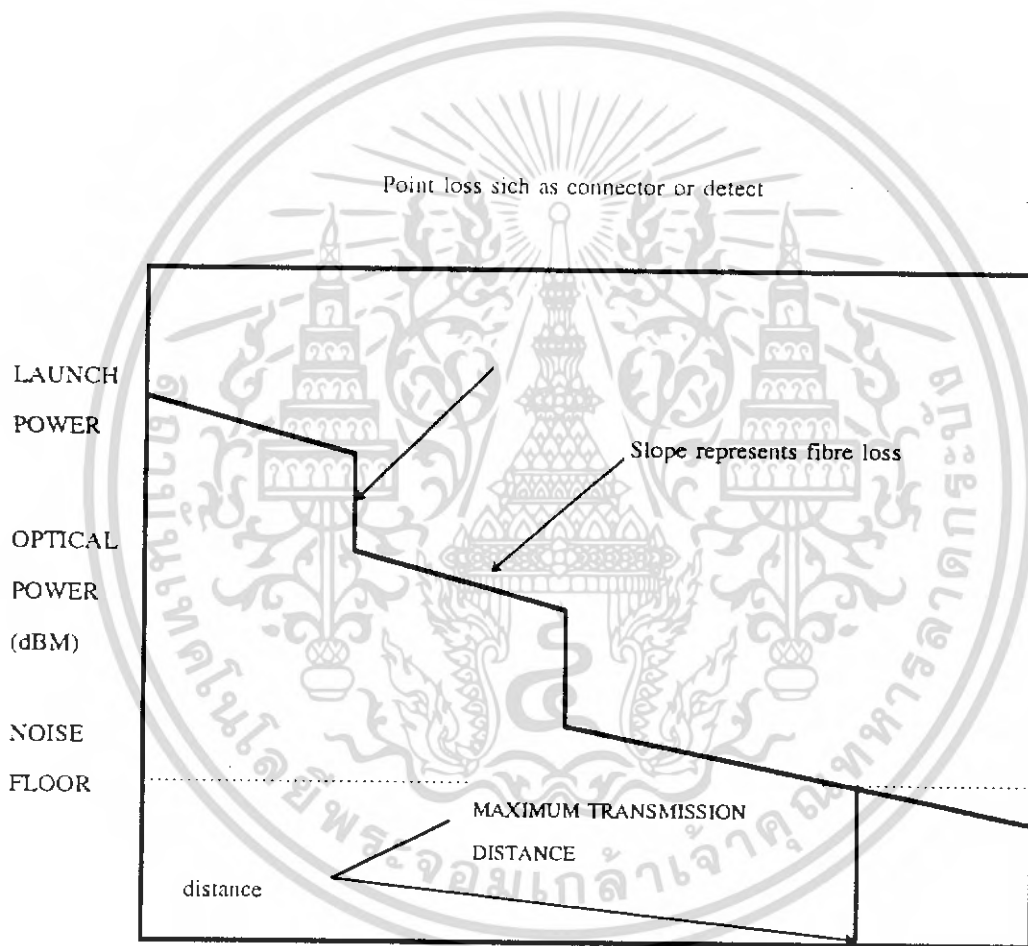
Power budget calculation

maximum

allowed = power from - sensitivity

system light source of

loss reciver



รูปที่ 2.7 แสดงการสูญเสียภายในระบบเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.2 แบนด์วิดท์บิดเบือน

ในการออกแบบนั้น Bandwidth ของระบบจะต้องมีความกว้างพอที่จะรองรับ Bandwidth ของข่าวสารหรือข้อมูลที่ส่งผ่านระบบ Bandwidth ของระบบหมายถึง Bandwidth รวมของเครื่องส่งสัญญาณแก้วนำแสงและเครื่องรับ

ในการคำนวณ Bandwidth ของระบบนั้นจะคำนวณเป็นค่า rise time ซึ่งจะได้ว่า

$$f_{3\text{-dB}} = 0.35 / t_s$$

เมื่อ  $t_s$  คือ rise time ของระบบ และ  $t_s$  จะมีความสัมพันธ์กับ rise time ของ light source  $t_{LS}$  rise time ของเส้นใยแก้ว  $t_f$  และ rise time ของ Photodiode  $t_{pd}$  ดังนี้

$$t_s^2 = t_{LS}^2 + t_f^2 + t_{PD}^2$$

$f_{3dB}$  ในสมการข้างต้นจะเป็นความถี่ที่ทำให้กำลังไฟฟ้าลดเป็นครึ่งหนึ่ง แต่ในการคำนวณ Bandwidth ของเส้นใยแก้วให้อ้างอิงกันกับกำลังไฟฟ้า เนื่องจาก

$$\begin{aligned} P_{out} &\propto I \\ P_{ELECT} &\propto I^2 \\ \text{ดังนั้น } P_{ELECT} &\propto P_{out}^2 \\ \text{นั่นคือ } dB_{ELECT} &= 2 dB_{out} \\ \text{หรือ } dB_{out} &= 0.5 dB_{ELECT} \end{aligned}$$

จากสมการข้างบนแสดงให้เห็นว่าในขณะที่สัญญาณไฟฟ้าลดลง 3dB สัญญาณแสงลดลง 1.5 dB และเราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง  $f_{3\text{-dB}}$  (electrical) และ  $f_{3\text{-dB}}$  (Optic) ได้ดังนี้

$$f_{3\text{-dB}} \text{ (electrical)} = 0.71 f_{3\text{-dB}} \text{ (Optic)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Core							
Description	Diameter ( $\mu\text{m}$ )	Loss NA (dB/km)	$\Delta(I/L)$ (ns/km)	$f_{3\text{-dB}} \times L$ (Mmz X km)	Source	Wavelegth (nm)	
Multimode							
Glass							
SI	50	0.24 0.5	15	33	led	850	
Grin	50	0.24 5	1	500	ld	850	
Grin	50	0.20 1	0.5	1000	led,ld	1300	
PCS							
SI	200	0.41 8	50	10	led	800	
Plastic							
SIO	1000	0.48 200	-	-	led	580	
Single Mide							
Glass	5	0.01 4	<0.5	>1000	ld	850	
Glass	10	0.10 0.5	0.006	83000	ld	1300	
Glass	10	0.01 0.2	0.006	83000	ld	1550	

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของเส้นใยแสง

rise time ของ lighth source ขึ้นอยู่กับชนิดของแหล่งกำเนิดแสง เช่น เป็น LED หรือ Laser diode ซึ่งในตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างคุณสมบัติของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆ

rise time ของ Photo diode ขึ้นอยู่กับชนิดของ Photo diode และวงจร ตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างคุณสมบัติของ Photo diode ชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Property	LED	Laser Diode	Single-Mode Laser Diode
Spectral width (nm)	20-100	1-5	<0.2
Rise time (ns)	2-250	0.0-1	0.05-1
Modulation bandwidth (Mhz)	<300	2000	6000
Coupling efficiency	Very low	Moderate	High
Compatible fiber	Multimode SI Multimode Grin	Multimode Grin Single-mode	Single-mode
Temperature sensitivity	Low	High	High
Circuit complexity	Simple	Complex	Complex
Lifetime (hours)	$10^5$	$10^4 - 10^5$	$10^4 - 10^5$
Costs	Low	High	Highest
Primary use	Moddem paths Moderate data rates	Long paths High daa rates	Very long paths very high rates

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของ Light Source ชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Material	Structure	Rise Time (ns)	Wavelength)		Dark	
			(nm)	(A/W)	Responsivity (na)	Current Grin
Silicon	Pin	0.5	300-1100	0.5	1	1
Germanium	Pin	0.1	500-1800	0.7	200	1
InGa-As	Pin	0.3	1000-1700	0.6	10	1
Silicon	APD	0.5	400-1000	77	15	150
Germanium	APD	1	1000-1600	30	700	50

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของ Photo Diode

rise time ของเส้นใยแก้วขึ้นอยู่กับ Dispersion ของเส้นใยแก้วโดยที่

$$t_F^2 = t_{mod}^2 + t_{dis}^2$$

$t_{mod}$  = rise time ของเส้นใยแก้วเนื่องจาก modal didpersion ซึ่งสามารถหาจาก Optic Bandwidth

$t_{dis}$  = ristime ที่เกิดจาก Material Dispersion และ Waveguide dispersion โดยที่

$$t_{dis} = -(M+M') \Delta \lambda$$

ในกรณีที่สัญญาณข้อมูลหรือข่าวสารเป็นสัญญาณดิจิทัลเราสามารถหา แบนด์วิดธ์ ได้จากการพิจารณาว่ารูปร่างของสัญญาณดิจิทัลเป็นแบบ เอ็นอานแซท หรือเป็นแบบ อานแซทโดยที่

$$f_{3dB} \text{ (electrical)} = R_{NRZ} / 2$$

และ  $f_{3dB} = R_{NZ}$

เมื่อ  $R_{NRZ}$  และ  $R_{NZ}$  เป็น bit rate ของข้อมูลที่เป็น แบบ NRZ และ RZ ตามลำดับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่หรือทำซ้ำ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

86885

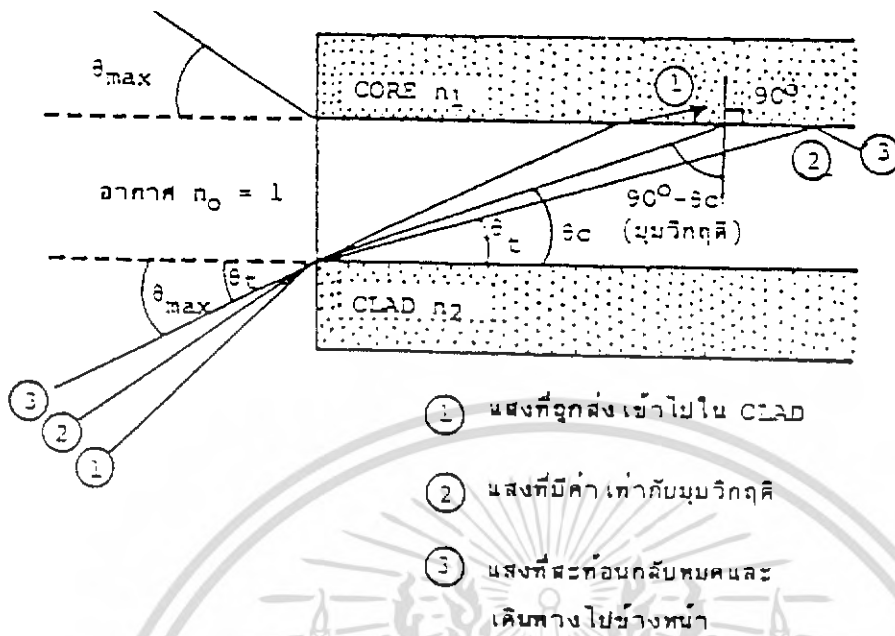
## 2.5 เส้นใยแสง (Optical)

เส้นใยแสงคือเส้นใยขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำแสง โครงสร้างของเส้นใยแสงประกอบด้วยส่วนที่แสงเดินทางผ่านเรียกว่า คอร์ และส่วนที่หุ้ม คอร์เรียกว่า แคลด หั้ กอร์ และ แคลด เป็น Dielectric ใส 2 ชนิด (Dielectric หมายถึงสารที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า เช่นแก้ว พลาสติก) โดยทำให้ค่าดัชนีการหักเหของ แคลด มีค่าน้อยกว่าค่าดัชนีการหักเหประมาณ 0.2-3% และอาศัยปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสง สามารถทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปในคอร์ เดินทางไปได้ นอกจากนั้นเนื่องจากกล่าวกันว่า เส้นใยแสงมีขนาดเล็กมากเท่าเส้นผม นั่น หมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของ Clad ซึ่งมีขนาดประมาณ 0.1 มม. ส่วน คอร์ ที่แสงเดินทางผ่านนั้นมีขนาดเล็กลงไปอีกคือประมาณหลาย  $\mu\text{m}$  ( $1\mu\text{m} = 10^{-3} \text{mm}$ ) ซึ่งมีค่าหลายสิบเท่าของความยาวคลื่นแสงที่ใช้ งาน ค่าต่างๆ เหล่านี้เป็นค่าที่กำหนดขึ้นจากคุณสมบัติการส่งและคุณสมบัติทางแมคานิกส์ที่ต้องการ เส้นใยแสงนอกจากมีคุณสมบัติการส่งดีเยี่ยมแล้วยังมีลักษณะเด่นอย่างอื่นอีก เช่น ขนาดเล็ก น้ำหนักเบาอีกด้วย

### 2.5.1 ลักษณะการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง

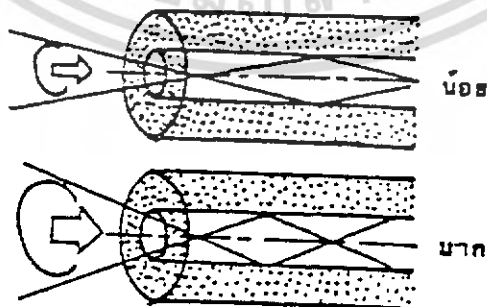
### 2.5.2 การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง

เนื่องจากว่าแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้น จะกระจายกว้างออกเนื่องจากปรากฏการณ์เบี่ยงเบนของแสง ในการที่จะป้อนแสงเข้าไปใน คอร์ ที่มีขนาดเล็กมากนั้นต้องใช้เลนส์ทำการรวมแสง แต่ว่าแสงที่รวมนั้นไม่ใช่ว่าจะถูกป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงได้ทั้งหมด แสงที่มีมุมตกกระทบที่เหมาะสมเท่านั้นจึงจะสามารถเข้าไปในเส้นใยแสงได้ รูปที่ 2.8 แสดง มุมรับแสงของเส้นใยแสง จากรูปจะเห็นว่าที่ป้อนแสงของเส้นใยแสงนั้นจะมีจุดต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงต่างกัน 3 ชนิด



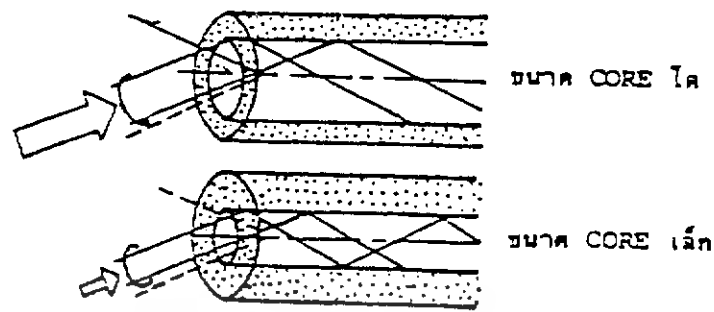
รูปที่ 2.8 มุมรับแสงของเส้นใยแสง

ตัวกลางทั้ง 3 ชนิดนี้ คือ อากาศ คอร์ ของเส้นใยแสง และ แคลด ของเส้นใยแสง ถ้าให้ค่าดัชนีการหักเหของแสงของตัวกลางทั้ง 3 ชนิด เป็น  $N_0$  ( $N_0=1$ ),  $N_1$  และ  $N_2$  ตามลำดับ จะเกิดการหักเห, การสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของอากาศกับ คอร์ และคอร์ กับแคลด ในที่นี้มุมรับแสงของเส้นใยแสงที่มีค่ามากที่สุดเป็น  $\theta_{max}$  จากรูปที่ 2.8 จะเห็นว่า อย่างเช่น ลำแสง 2 นั้นมุมรับแสงตรงรอยต่อของ คอร์ กับ แคลด นั้นมีค่าเป็นมุมวิกฤต ตรงรอยต่อของอากาศกับคอร์ และของคอร์กับ แคลด



(a) กรณีขนาด Core โตเท่ากันแต่ค่า NA ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) กรณีค่า NA เท่ากันแต่ขนาด Core ต่างกัน

รูปที่ 2.9 ผลของขนาดของ Core ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสง

### 2.5.3 ต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสง

สำหรับ  $\sin \theta_{\max}$  นี้ ตามศัพท์เทคนิคของวิชาแสงเรียกว่า Numerical Aperture เขียนย่อว่า “NA” หมายถึงการเปิดรับให้แสงผ่าน และใช้เป็นตัวแสดงเงื่อนไขการป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง นอกจากนี้ยังถือเป็นตัวประกอบพื้นฐานอันหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสงด้วย ยกตัวอย่างเช่น สมมุติว่า เส้นใยแสงมี  $n_1 = 1.475$  และ  $n_2 = 1.46$  (ค่าอัตราส่วนผลต่างของดัชนีการหักเหของแสง = 1%) ในกรณีนี้มีค่า  $NA = 0.21$  รูปที่ 2.9 แสดงความหมายของ NA และขนาดของ Core ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสง

จากรูปจะเห็นว่าถ้าหากขนาดของ Core และ NA มีค่าคงที่แล้วจะกำหนดปริมาณของแสงที่ป้อนเข้าไปใน Core ได้ทันที เส้นใยแสงที่มีขนาดใหญ่และมีค่า NA มากจะมีประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสงสูงมาก

### 2.5.4 โหมด การเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง (Propagation Mode)

แสงที่ป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงด้วยค่าของมุมรับแสงที่อยู่ในช่วงของมุมรับแสงสูงสุดนั้น แสงจะเดินทางในเส้นใยแสงด้วยลักษณะที่คล้ายการสะท้อนกลับไปมาตรงรอยต่อของ Core กับ Clad โดยที่สะท้อนกลับไปกลับมาและเคลื่อนที่ไปข้างหน้าพร้อมกันด้วยแต่ต่างจาก Interference ของ แสงภายใน Core นั้นมุมสะท้อนกลับที่รอยต่อจะเกิดขึ้นได้จำเป็นต้องมีเงื่อนไขที่เหมาะสม และเพื่อเป็นการช่วยให้เข้าใจง่าย จะใช้เส้นใยแสงที่มีรูปร่างเป็นแผ่นแบนดังแสดงใน รูปที่ 2.10 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

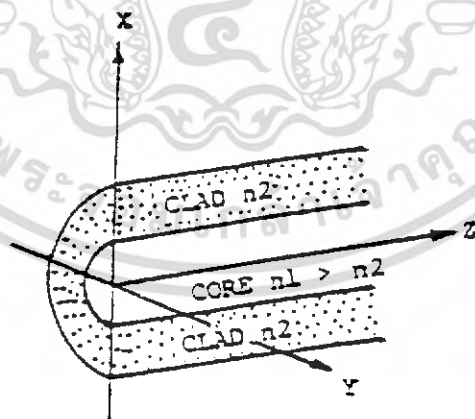
(b) แทนลักษณะเส้นใยแสงที่มีรูปร่างกลมดังรูปที่ 2.10 (a) และเพื่อทำให้ง่ายขึ้นจะพิจารณาเฉพาะสนามไฟฟ้าเท่านั้น

(1) INTERFERENCE ของแสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับ

แสงที่สะท้อนกลับตรงรอยต่อของตัวกลางแสดงด้วยลำแสงดังรูปที่ 2.10(a) และลำแสงนี้เป็นเสมือนตัวแทนของทิศทางเดินของแสงที่สนามไฟฟ้าของมัน มีการเปลี่ยนแปลงตามค่าต่างๆ ในคอร์ ของ เส้นใยแสง รูปที่ 2.10(b) แสดงการพิจารณาถึงระนาบที่มีเฟสเหมือนกันของสนามไฟฟ้า ซึ่งระนาบที่มีเฟสเหมือนกันของแสงตกกระทบ และของแสงสะท้อนกลับจะซ้อนกันเป็นไปตามปรากฏการณ์ของการเกิดคลื่นอยู่ที่ตั้งนั้น แสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับจะเกิดการ Interference กันที่จุดต่างๆ ในคอร์

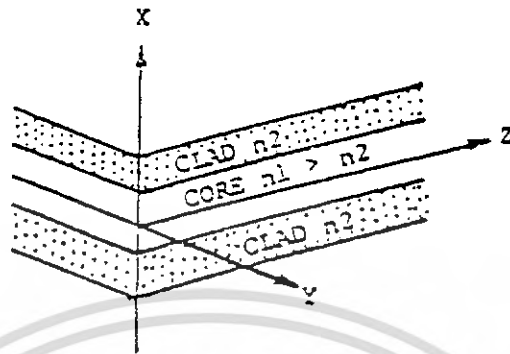
(2) เงื่อนไขที่รอยต่อของตัวกลาง

แสงที่สะท้อนกลับหมดที่รอยต่อของตัวกลางพร้อมทั้งเดินทางไปด้วยนั้น สนามไฟฟ้าของแสงจำเป็นต้องอยู่ภายใน คอร์ ด้วย ดังนั้นที่รอยต่อของตัวกลางความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการ Interference ของแสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับจะต้องเป็นศูนย์ด้วย



(a) ท่อนำคลื่นแบบกลม ( $n_1, n_2$  เป็นดัชนีการหักเห)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

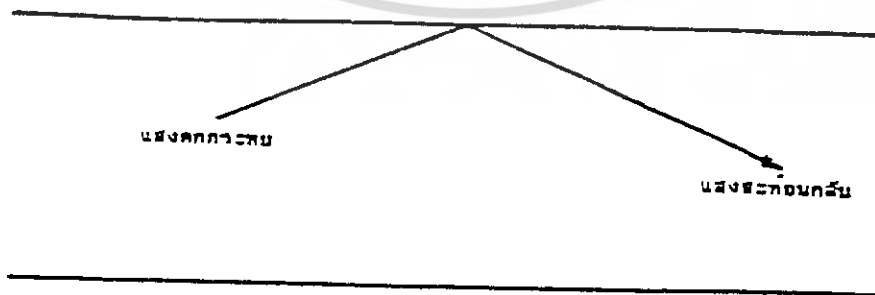


(b) ท่อนำคลื่นแบบแผ่นแบน ( $n_1, n_1$  เป็นดัชนีการหักเห)

รูปที่ 2.10 เส้นใยแสงแบบกลมและแบน

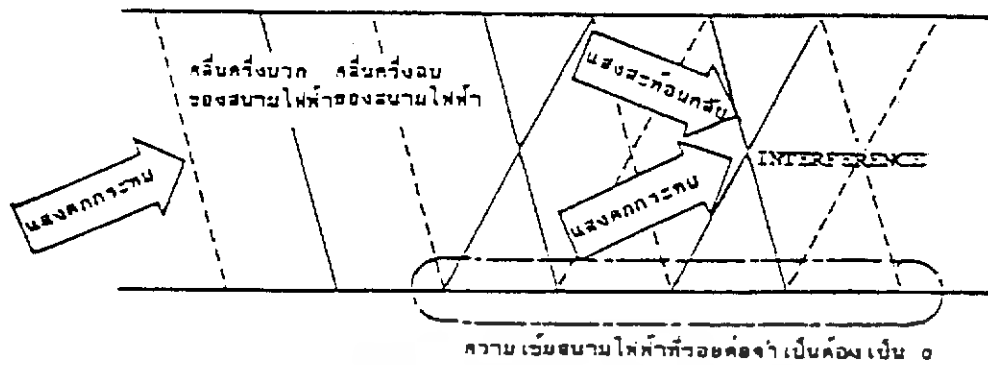
แต่เนื่องจากเส้นใยแสงที่ผลิตขึ้นมาั้น ดังนั้นจะมีสนามไฟฟ้าจำนวนหนึ่งปรากฏที่เคลด ด้วยเหมือนกันแต่ในที่นี้เราสมมติให้ สนามไฟฟ้าที่ เคลดเป็นศูนย์

(3) คลื่นที่อยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี

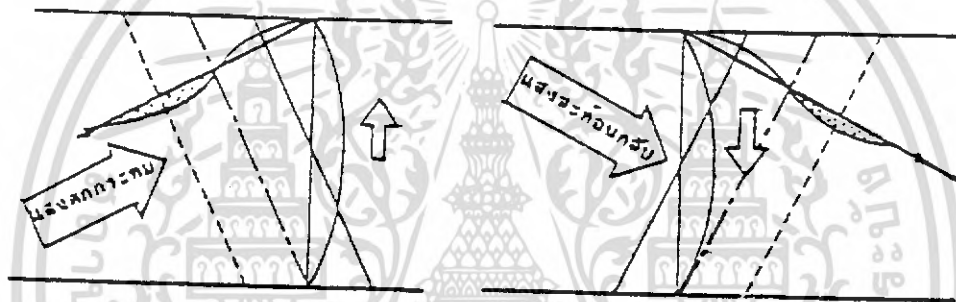


(a) การสะท้อนกลับของแสง

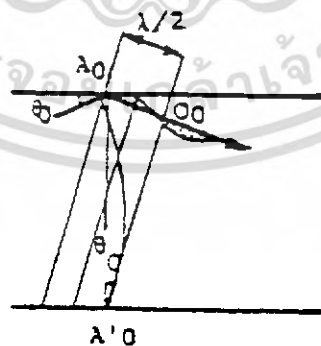
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



b) ระยะเวลาที่แสงตกกระทบกับแสงสะท้อนกลับมีเฟสเหมือน

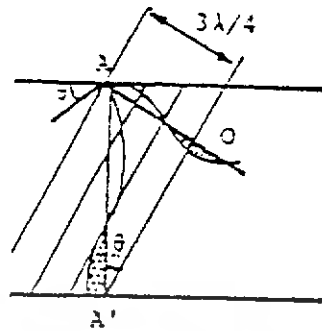


(c) แสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับเมื่อมองจากแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง  
รูปที่ 2.11 การสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของตัวกลาง

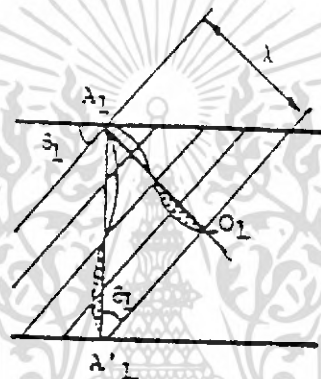


- (a) เมื่อแสงที่มีมุมสะท้อนกลับ  $\theta_0$  เคลื่อนที่ไป  $\lambda/2$   
เฟสของความเข้มสนามไฟฟ้าระหว่าง  $A_0 \rightarrow A'_0$   
จะเปลี่ยนไป  $180^\circ$

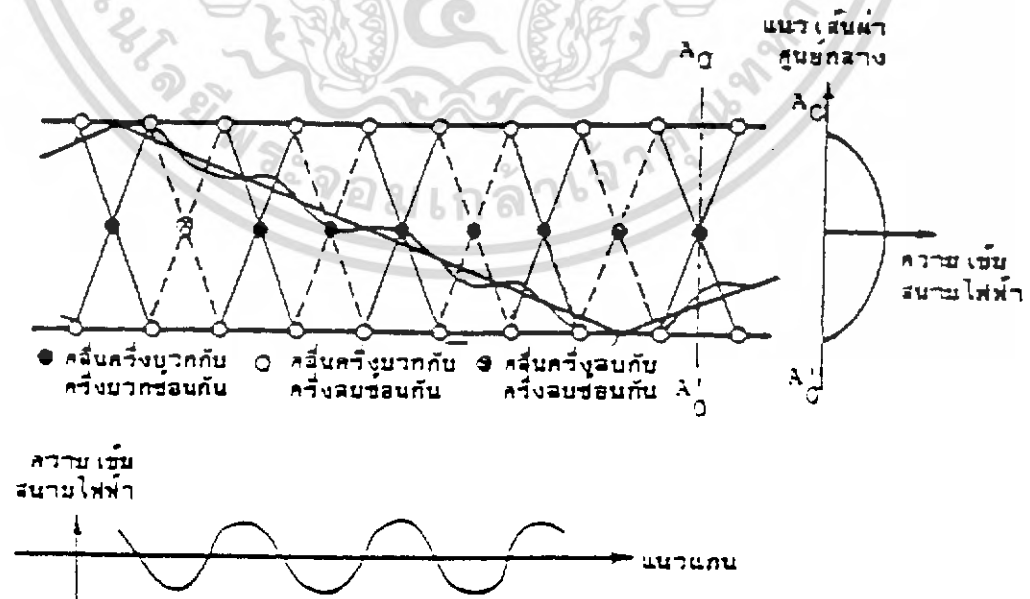
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) ไม่มีคลื่นอยู่ในแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง

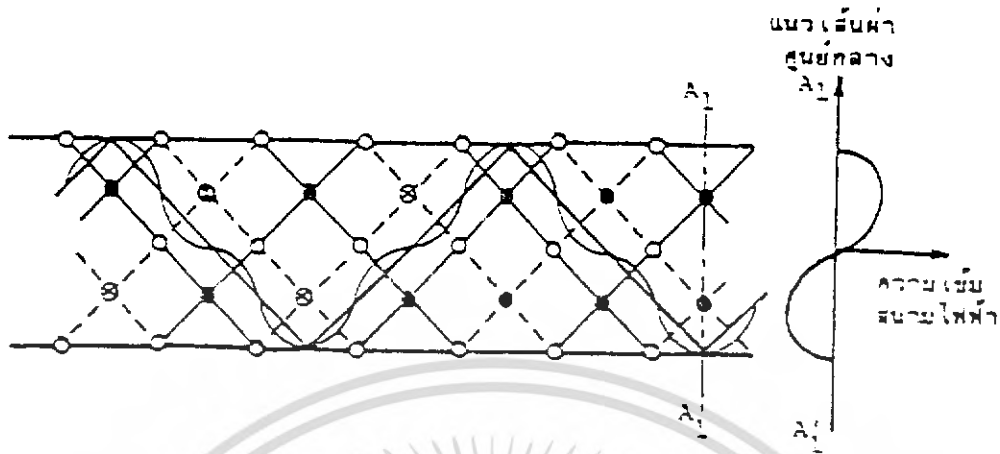


(c) เฟสของความเข้มสนามไฟฟ้าในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางเปลี่ยนแปลง  $180^\circ$  รูที่ 2.12 มุมสะท้อนกลับของแสงที่ทำให้เกิดคลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี



(a) PROPAGATION MODE O-ORDER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) PROPAGATION MODE 1-ORDER

รูปที่ 2.13 Propagation Mode ภายในเส้นใยแสง

เพื่อให้เงื่อนไขของตัวกลางที่กล่าวมาใน (2) เป็นจริงได้นั้น จำเป็นต้องมีคลื่นที่อยู่กับที่ซึ่งเกิดจาก Interference ของแสงตกกระทบกับแสงสะท้อนกลับในทิศทางของรัศมี รูปที่ 2.11 (c) เป็นรูปที่แสดงการเปลี่ยนแปลงทางเฟสของความเข้มของสนามไฟฟ้า ตามการเดินทางของแสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับ ซึ่งมองในทิศทางรัศมีการซ้อนกันของคลื่นที่มีทิศทางสวนกันปรากฏการณ์นี้เหมือนกันกับปรากฏการณ์ที่เกิดคลื่นอยู่กับที่ในเส้นเชือกที่ตรึงปลายทั้งสองเอาไว้ ดังนั้น ในระหว่างที่แสงเดินทางเป็นระยะทางเป็นจำนวนเท่าของเลขเต็มหน่วยของความยาวคลื่น ( $\lambda/2$ ) ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (a) และ (c) นั้นจะเกิดคลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี ในกรณีที่แสงมีมุมสะท้อนกลับมีค่าเป็นจำนวนเท่าของเลขเต็มหน่วยของมุม  $180^\circ$  ของความเข้มสนามไฟฟ้าตามทิศทางของของรัศมีส่วนรูปที่ 2.12 (b) นั้นเป็นกรณีตรงกันข้ามกล่าวคือแสงที่มีมุมสะท้อนกลับมีค่า  $\theta_0 < \theta$  จะไม่เกิดคลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมีสามารถสรุปได้ว่า มุมสะท้อนกลับของแสงที่เดินทางไปได้ภายในเส้นใยแสงนั้นมีค่าจำกัดเป็นพิเศษเฉพาะบางค่าเท่านั้น

#### (4) โหมดการเดินทางของแสง (PROPAGATION MODE)

ของเส้นใยแสงที่เกิดขึ้นจากการ Interference ของแสงตกกระทบและแสงสะท้อนที่มีค่าจำกัดเป็นพิเศษเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างทั้งสองของรูปที่ 2.13 จะเห็นได้ว่าเป็นการแสดง Interference ของแสงที่มีมุมสะท้อนกลับเป็นพิเศษเฉพาะ ซึ่งทำให้ความเข้มของสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง  $180^\circ - 360^\circ$  ในทิศทางของรัศมีลักษณะการเดินทางของแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าเป็นพิเศษเฉพาะภายใน คอรัล ของเส้นใยแสงนี้เรียกว่า Propagation Mode ตามลำดับจาก Propagation Mode ที่มีค่ามุมสะท้อนกลับน้อยไปหามากคือ Mode 0, Mode 1, Mode 2, --- Mode (N-1)

### 2.5.5 อุปกรณ์เชื่อมโยงการส่งผ่านเส้นใยแสง

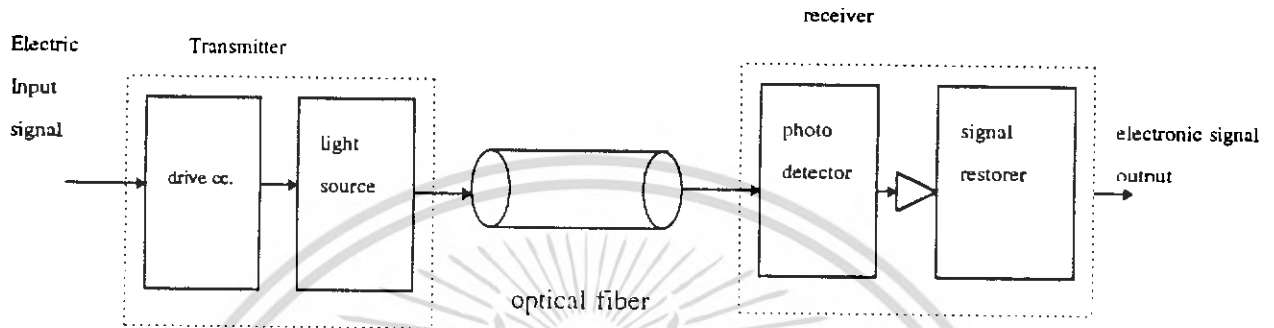
ในการเชื่อมโยงการส่งผ่านเส้นใยแสงส่วนสำคัญต่างๆคือ เครื่องส่งที่ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสงและร่วมกับวงจรกระตุ้น (Drive Circuit) , เคเบิลเส้นใยแสง,และเครื่องรับที่ประกอบด้วยโฟโตดีเทคเตอร์ ร่วมกับวงจรขยายสัญญาณและวงจรที่ทำให้สัญญาณกลับคืนสู่สภาพเดิม

เคเบิลใยแสงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในการเชื่อมต่อเส้นใยแสง นอกจากจะได้มีการป้องกันเส้นใยแสงระหว่างการติดตั้ง และการให้บริการ ภายในเคเบิลอาจจะบรรจุสายทองแดงสำหรับเพาเวอร์ที่จะจ่ายให้กับส่วนทวนสัญญาณ ซึ่งต้องการขยายระยะทางให้ไกลออกไปอีก เคเบิลโดยทั่วไปแล้วประกอบด้วยเส้นใยแสงรูปทรงกระบอกที่มีขนาดเท่าเส้นผมเป็นจำนวนมาก แต่ละเส้นไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนวงจรของการสื่อสาร

การติดตั้งเคเบิลใยแสงสามารถติดตั้งได้ทั้งในอากาศ,ในท่อร้อยสาย, ใต้ทะเลหรือฝังดินโดยตรง ทำนองเดียวกันกับเคเบิลทองแดง ความยาวของเคเบิลแต่ละเส้นจะมีความยาวตั้งแต่หลายร้อยเมตรจนถึงหลายกิโลเมตรสำหรับการใช้งานทางไกล ขึ้นอยู่กับการติดตั้งและหรือข้อจำกัดของการผลิต ความยาวจริงๆ ของเคเบิลในช่วงหนึ่งๆกำหนดจากการพิจารณาในการใช้งานเช่นขนาดของระยะทางและน้ำหนักของเคเบิล ถ้าการวางเคเบิลผ่านท่อร้อยสาย มักจะใช้แขวนในอากาศหรือฝังดินโดยตรงกัน ถึงจะได้ความยาวที่สมบูรณ์ตามต้องการ

คุณสมบัติอันดับแรกของเส้นใยแสงคือการลดทอนซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น เทคโนโลยีในตอนต้นๆ นั้นใช้ความยาวคลื่นแถบ 800-900 นาโนเมตรอย่างเดียว เนื่องจากในแถบความยาวคลื่นนี้เส้นใยแสงที่ผลิตได้ในเวลานั้นการลดทอนต่ำสุดและแหล่งกำเนิดแสงและโฟโตดีเทคเตอร์ที่ทำงานในย่านความยาวคลื่นนี้จัดหาได้ง่ายโดยการลดความเข้มข้นประจุของไฮดรอกซิล (Hydroxyl ions) และประจุของโลหะ (Metalic ions) ที่เจือปนอยู่ในส่วนระกอบของเส้นใยแล้วทำให้ผู้ผลิตสามารถผลิตเส้นใยที่มีการสูญเสียต่ำมากในย่านความยาวคลื่น 1100-1600 นาโนเมตรได้ ปกติความกว้างของแบนด์วิดท์ (Spectrum bandwidth)จะอ้างถึงในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่านลอง-เวฟเล็งซ์ (long - wavelength ) ลักษณะสำคัญเพิ่มขึ้นหลังจากได้พัฒนาที่ความยาว 1300 นาโนเมตรแล้ว เนื่องจากในย่านนี้เส้นใยซิลิกาบริสุทธิ์มีความเพี้ยนต่ำมาก



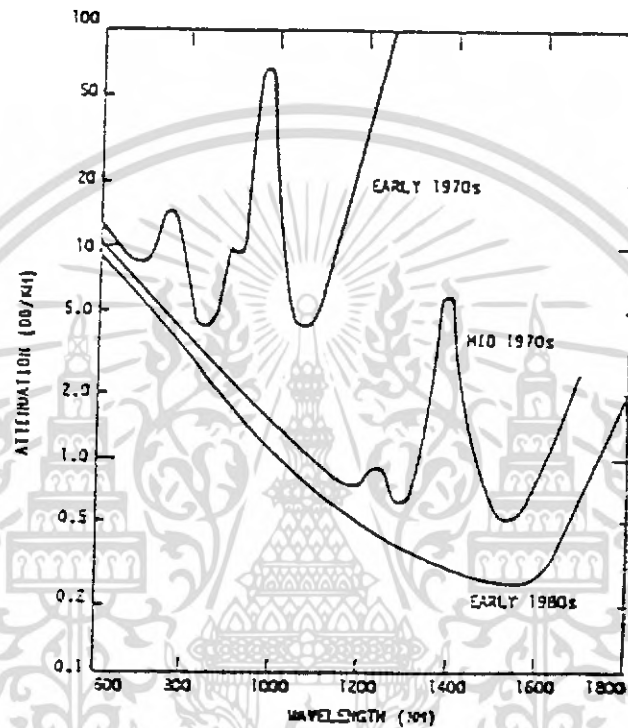
รูปที่ 2.14 อุปกรณ์หลักของการเชื่อมโยงส่งผ่านเส้นใยแสง

ได้มีการเริ่มต้นวิจัยส่วนประกอบของเส้นใยชนิดใหม่ๆ สำหรับใช้ในย่านความยาวคลื่น 3-5 ไมโครเมตร เริ่มต้นจากจุดสำคัญที่น่าสนใจเกี่ยวกับโลหะฮาไลด์ ที่มีผลึกมากกว่าหลายผลึกเช่น ซิงค์คลอไรด์ (SnCl<sub>2</sub>), ธอลเลียมโบรไมด์ (TlBr), และซอลเลียมโบรไมโอไอโอได (KPS-5) การพยากรณ์เป็นเพียงสมมติฐานคาดว่า เส้นใยเหล่านี้จะก่อให้เกิดผลต่อการสื่อสารทางไกลอย่างมากเมื่อเคเบิลได้ติดตั้งไปแล้วแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นส่วนสำคัญที่จะใช้ส่งถ่ายพลังงานของแสงเข้าไปในเส้นใยจะต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับคอร์ของเส้นใย

สารกึ่งตัวนำไดโอดเปล่งแสง (LED) และเลเซอร์ไดโอดเหมาะสมที่จะใช้เป็นแหล่งกำเนิดเครื่องส่งเพื่อจุดประสงค์นี้ เนื่องจากเอาต์พุตของแสงสามารถมอดูเลทโดยตรงกับกระแสไฟไบอัสที่แปรค่าได้อย่างรวดเร็ว สัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเครื่องส่งอาจเป็นอะนาลอก หรือดิจิทัลอย่างหนึ่งอย่างใดก็ได้ ที่เครื่องส่งจะมีวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเหล่านี้ให้เป็นสัญญาณแสงจากการแปรค่ากระแสไฟที่ไหลผ่านแหล่งกำเนิดแสง แหล่งกำเนิดแสงเป็นสมคว-ลอว์-ดีไวซ์ (Square law device) ซึ่งหมายความว่า การแปรผันเป็นเส้นตรง (linear) ในวงจรขับกระแสจะมีผลตรงกันกับการเปลี่ยนแปลงเป็นเส้นตรงในวงจรออปติคัล เอาต์พุต เพาเวอร์ ในย่านความยาวคลื่น 800-900 นาโนเมตร โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดแสงเป็นโลหะผสมของ GaAlAs ที่มีความยาวคลื่นที่ยาวกว่า (1100-1600 นาโนเมตร) ส่วนประกอบที่สำคัญของแหล่งกำเนิดแสงเป็นโลหะผสมของ อินเดียม- แกลเลียม-อาเซนไนซ์- ฟอสฟอรัส (InGaAsp) หลังจากสัญญาณถูกส่งเข้าไปในเส้นใยแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วการลดทอนและความเพี้ยนจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางไปตามลำดับเนื่องจากการ กระจาย, การดูดซึม, และโครงสร้างที่ทำให้แสงกระจายในทางเดินของแสง ทางด้านรับ การลดทอนและความเพี้ยนของออปติคอลลูเพาเวอร์เอทท์พุทจะถูกตรวจจับโดยโฟโอดีทีเทคเตอร์



รูปที่ 2.15 การลดทอนของเส้นใยแสงขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น

ในทำนองเดียวกันกับแหล่งกำเนิดแสง โฟโอดีทีเทคเตอร์ก็เป็นสแคว - ลอร์ดีไซซ์เหมือนกันเนื่องจากมันเปลี่ยนพลังงานแสงที่ได้รับเป็นกระแสไฟฟ้าทางเอทท์พุท (Photo-current) สารกึ่งตัวนำ PIN และ APD โฟโอดีทีเทคเตอร์ทั้งสองตัวนี้ส่วนใหญ่ใช้ในการเชื่อมโยงการสื่อสารทางแสง อุปกรณ์ทั้งสองชนิดนี้ให้ประสิทธิภาพและการตอบสนองต่อความเร็วสูงมาก สำหรับการใช้งานปกติ APD โฟโอดีทีเทคเตอร์จะใช้กับสัญญาณแสงที่มีเพาเวอร์ระดับต่ำเนื่องจากมีความไวสูง และโครงสร้างภายในมีการขยาย ซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำตัวของมัน ซิลิคอนโฟโอดีทีเทคเตอร์ใช้ในย่านความยาวคลื่น 800-900 นาโนเมตร ออปติคอลลูเพาเวอร์ชนิดต่างๆ สามารถนำมาใช้กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวคลื่นที่ยาวกว่าได้ ส่วนประกอบที่ถูกเลือกใช้ในตอนแรกในย่านความยาวคลื่น 1100-1600 นาโนเมตร ก็คือโลหะผสมอินเดียม-แกลเลียม-อาเซไนซ์ (InGaAs)

การออกแบบเครื่องรับมีความยุ่งยากมากกว่าของเครื่องส่ง เนื่องจากมันต้องมีการขยายสัญญาณและมีการสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่จากสัญญาณที่ได้รับจากโฟโตดีเทคเตอร์ที่มีระดับสัญญาณต่ำที่มีอยู่ประจำ คุณภาพของเครื่องรับที่ต้องการเป็นอันดับแรกก็คือค่าออปติคัล เพาเวอร์ (Optical power) ต่ำสุดที่จำเป็นต้องใช้ในการคงค่าเออเรอร์พรอบาบิลิตี้ Error probability สำหรับแต่ละ คาตา-เรท (Data rate) ที่ต้องการ เราจะเห็นได้ว่าความสามารถของเครื่องรับที่จะบรรลุผลในระดับ ที่ต้องการนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของโฟโตดีเทคเตอร์, สิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบ และคุณสมบัติของภาคขยายในเครื่องรับ

เมื่อสัญญาณแสงเดินทางไปในเส้นใยในระยะทางพอสมควร สัญญาณจะถูกลดทอนเกิดความเพี้ยนจนถึงองศา (Degree of distortion เป็น %) ที่ต้องการทวนสัญญาณในสายรับ-ส่ง เพื่อที่จะทำการขยายสัญญาณ, สร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่ สถานีทวนสัญญาณแสงประกอบด้วยเครื่องรับและเครื่องส่ง ติดตั้งแบบหลังชนกัน ภาคเครื่องรับตรวจรับสัญญาณแสงและเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งต้องการขยายสัญญาณสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่ และส่งสัญญาณไฟฟ้าให้กับภาคเครื่องส่ง ภาคเครื่องส่งเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้ากับเป็นสัญญาณแสงใหม่ และส่งเข้าไปในเส้นใยแสงเงื่อนใยที่จะเป็นตัวกำหนดรายละเอียดว่าเมื่อไรจึงจะต้องการสถานีทวนสัญญาณแสงในระบบ เชื่อมโยงทางแสงจะได้กล่าวพร้อมกันกับระบบเวฟเล็งซ์-ดีวีซัน-มัลติเพล็กซ์ (Wavelength division multiplexing) และระบบการจัดการเรื่องไลน์-โคดดิ้ง (Line - coding)

## 2.8 ระบบเส้นใยแสง

แรกเริ่มการนำเทคโนโลยีของเส้นใยแสงมาใช้ มีจุดประสงค์เพื่อการเชื่อมโยงระบบโทรคมนาคมแบบดิจิทัลระหว่างจุด การเชื่อมโยงที่กำเนิดขึ้นครั้งแรก ส่วนใหญ่ได้ออกแบบสำหรับขนาดบิตจาก 2-50 Mb/s อุปกรณ์ไฟฟ้า,แสงที่ใช้ในระบบเหล่านี้ทำงานในย่านความยาวคลื่น 800-890 นาโนเมตร ซึ่งการสูญเสียจากการส่งผ่านเคเบิลใยแสงมีค่าที่กำหนดให้ 4-6 เดซิเบลต่อกิโลเมตร หลังจากการวางและต่อเคเบิลเข้าด้วยกันแล้ว ทำให้ได้ระยะทางระหว่างเทอร์มินอล 5-10 กิโลเมตร โดยไม่ต้องมีสถานีทวนสัญญาณ ซึ่งทำให้ไม่ต้องใช้บ่อพักสำหรับสถานีทวนสัญญาณในพื้นที่ที่มีชุมชนหนาแน่น และทำให้ลดสถานีทวนสัญญาณในโครงข่ายโทรคมนาคม ในนครหลวงไว้ไกลออกไปได้อีก ในยุคที่สองของระบบทำงานที่ความยาวคลื่น 1.3 ไมโครเมตร ซึ่งการสูญเสียจากการส่งผ่านเคเบิลใยแสง ประมาณ 0.5 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ซึ่งสามารถขยายการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

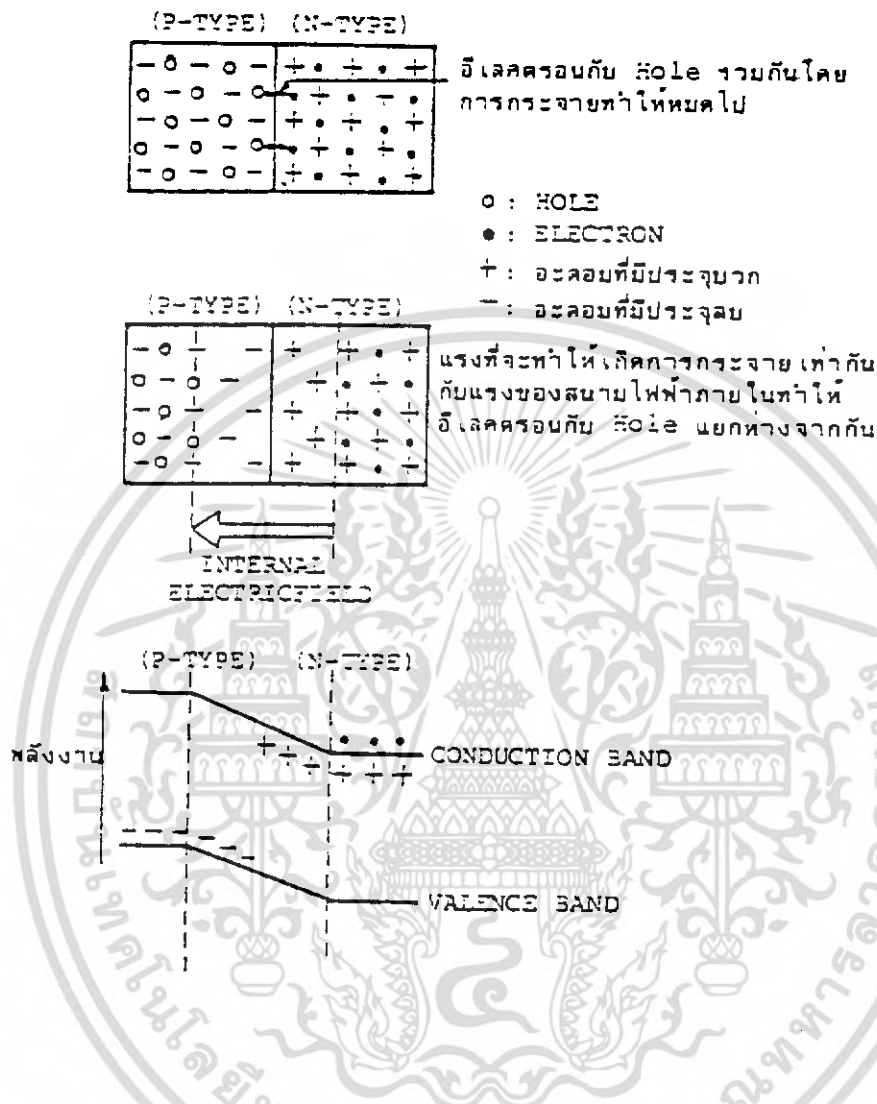
ส่งสัญญาณให้ไกลออกไปอีก โดยไม่ต้องใช้สถานีทวนสัญญาณนอกจากการใช้งานด้านโทรคมนาคมแล้ว ก็ได้มาการติดตั้งเชื่อมโยงสายใยแสงในโรงไฟฟ้ากำลัง การเชื่อมโยงเหล่านี้ใช้ในการส่งข่าวสารสำหรับการป้องกัน, การอำนวยความสะดวกและการควบคุม ซึ่งมีความสำคัญที่สุดในโรงไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่และประกอบด้วยเครื่องมือทันสมัยข่าวสารดังกล่าวนี้จะถูกส่งโดยระบบการสื่อสารด้วยไมโครเวฟที่มีคุณภาพสูง ไม่สามารถที่จะดำเนินการด้วยความมั่นใจได้ อากาศสูงก็เป็นอุปสรรคสำคัญการส่งสัญญาณไมโครเวฟด้วย สายใยแสงมีภูมิคุ้มกันต่อการเหนี่ยวนำสิ่งรบกวน ทำให้มีการส่งข้อมูลที่มีความจุสูงๆ ได้ ด้วยเหตุนี้จึงเป็นอีกระบบหนึ่งของการสื่อสารที่ดีมาก

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเส้นใยแสงขยายเข้าไปในวงจรมุมสายผู้เช่า นี่เป็นส่วนหนึ่งของโครงข่ายโทรคมนาคมที่เชื่อมต่อกับเครื่องปลายทางของผู้เช่าที่ตั้งอยู่ใกล้กับชุมสายกลาง สื่อการนำส่งที่ใช้กันมานานในโครงข่ายนี้คือ สายคู่ไขว้ทองแดงเหล่านี้ได้มีการปรับปรุงเป็นอย่างดี, อายุการใช้งานนานและการลงทุนสำหรับการใช้งานอย่างคุ้มค่าเป็นเวลาหลายสิบปีเพื่อใช้ส่งสัญญาณเสียงคำพูด อย่างไรก็ตามยังไม่เพียงพอสำหรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นการศึกษาทางโทรทัศน, ห้องสมุดและการค้นหาข่าวสาร การประมวลผลทางวีดีโอ, อิเล็กทรอนิกส์เมล, การธนาคารและการซื้อของ

นี่คือสิ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างมากที่จะนำไปสู่การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเส้นใยแสงกับวงจรมุมสายผู้เช่าจากชุมสายท้องถิ่นที่อยู่อาศัยหรือสำนักงาน ในทางตรงข้ามกับสายคู่ไขว้ทองแดง เส้นใยแสงจะให้การลดทอนต่ำ, ส่งข้อได้จำนวนมาก, มีภูมิคุ้มกันต่อฟ้าผ่าและการรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า, ไม่มีการรบกวนระหว่างเส้นใยและไม่ขึ้นกับสัญญาณความถี่จริงๆซึ่งไม่จำเป็นต้องมีวงจรรอควอไลซ์ซึ่งตรงกันข้ามกับสายคู่ไขว้ทองแดง โดยการนำลักษณะเด่นๆเหล่านี้มาใช้เส้นใยแสงสำหรับวงจรมุมสายจะต้องออกแบบไว้ล่วงหน้าทั้งปัจจุบันและอนาคตสำหรับความต้องการการบริการหลายๆอย่างที่เพิ่มมากขึ้น

### 2.6.1 โครงสร้างของอุปกรณ์ปล่อยแสง

เกี่ยวกับโครงสร้างของอุปกรณ์ปล่อยแสง จากทางด้านใช้งานเพื่อให้ได้กำลังการปล่อยแสงที่มีกำลังการปล่อยแสงที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น การนำสารกึ่งตัวนำ P และ N มาเชื่อมต่อกัน (junction) นั้นเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ดังนั้นเพื่อให้เข้าใจขั้นตอนการปล่อยแสง อันเนื่องมาจากสารกึ่งตัวนำแบบ P-type และแบบ N-type ก่อน



รูปที่ 2.16 สนามไฟฟ้าภายในและระดับพลังงานของ P-N JUNCTION

สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้นปกติจำนวนของอิเล็กตรอน (หรือจำนวนโฮล) ที่มีอยู่นั้นจะมีค่าคงที่ตามชนิดของอะตอม และอิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะรวมกันอยู่ในวาเลนซ์-แบนด์ สารกึ่งตัวนำที่มีสภาพอย่างนี้เรียกว่าจีเนียร์ - เซมิคอนดักเตอร์ (Genuine Semiconductor) นั้นมีสภาพที่มีจำนวนโฮล (อนุภาคที่มีประจุบวกในตัว) และมีอิเล็กตรอน (มีประจุลบในตัว) น้อย ส่วนสารที่เรียกว่าเซมิคอนดักเตอร์ กล่าวคือมีอิเล็กตรอนมากกว่าโฮลและจำนวนอิเล็กตรอนที่มากกว่านี้จะรวมตัวกันอยู่ในคอนดักชันแบนด์

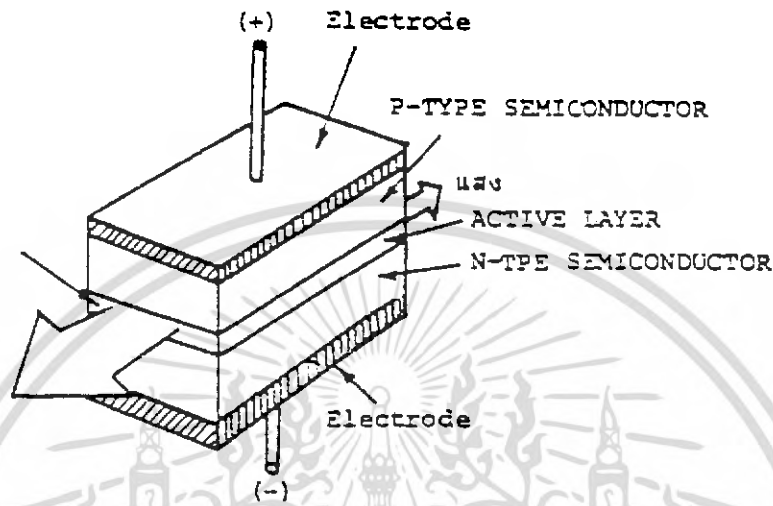
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คราวนี้สมมติว่าเรานำสารกึ่งตัวนำทั้งสองแบบมาเชื่อมต่อกัน และบริการที่เชื่อมต่อกันนั้น อิเล็กตรอนที่มีจำนวนมากใน N-type จะรวมตัวกับโฮลที่มีจำนวนมากใน P-type และเกิดประจุไฟเกิดสภาพดีพลีชัน-โซน (Depletion Zone) ขึ้นตรงบริเวณใกล้ๆรอยเชื่อมต่อและได้โครงสร้างของระดับพลังงานดังรูปที่ 2.16 เกี่ยวกับโครงสร้างของระดับพลังงานนี้มีความหมายสำคัญอย่างยิ่งยวดในการนำไปใช้พิจารณาโครงสร้างของอุปกรณ์เปล่งแสง

**2.6.1.1 โครงสร้างของ LD** โดยทั่วไปแล้ว LD จะมีโครงสร้างเป็น 3 ชั้น (Three Layers) ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ในการทำให้เกิดเลเซอร์-เลเซอร์ (Active Layer) ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ระหว่างพี-ไทป์-เจมิกอนดักเตอร์กับเอ็น-ไทป์-เจมิกอนดักเตอร์

จากรูปที่ 2.17 ถ้าหากทำให้กระแสไหลจากขั้วบวก ไปยังขั้วลบ ทำการซาร์จกระแส (Current Injection) จะเกิดแสงเลเซอร์ออกมาในทิศทางที่แสงด้วยลูกศร เกี่ยวกับวิธีการเกิดออสซิลเลชันของ LD นั้นอธิบายโดยเน้นบริเวณชั้นทั้ง 3 ของ P-type, N-type และแอกทีฟ-เลเยอร์นี้สำหรับโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำอย่างนี้เรียกว่าดับเบิล-ฮีโร-จังชัน (Double Hetero Junction) คำว่า “ดับเบิล-ฮีโร-จังชัน” นั้นหมายความว่า Junction ของชั้นของสารที่มีส่วนประกอบต่างกันนั้นมี 2 ด้าน โครงสร้าง, ระดับพลังงานและลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหการหักเหของ LD แสดงดังรูปที่ 2.18

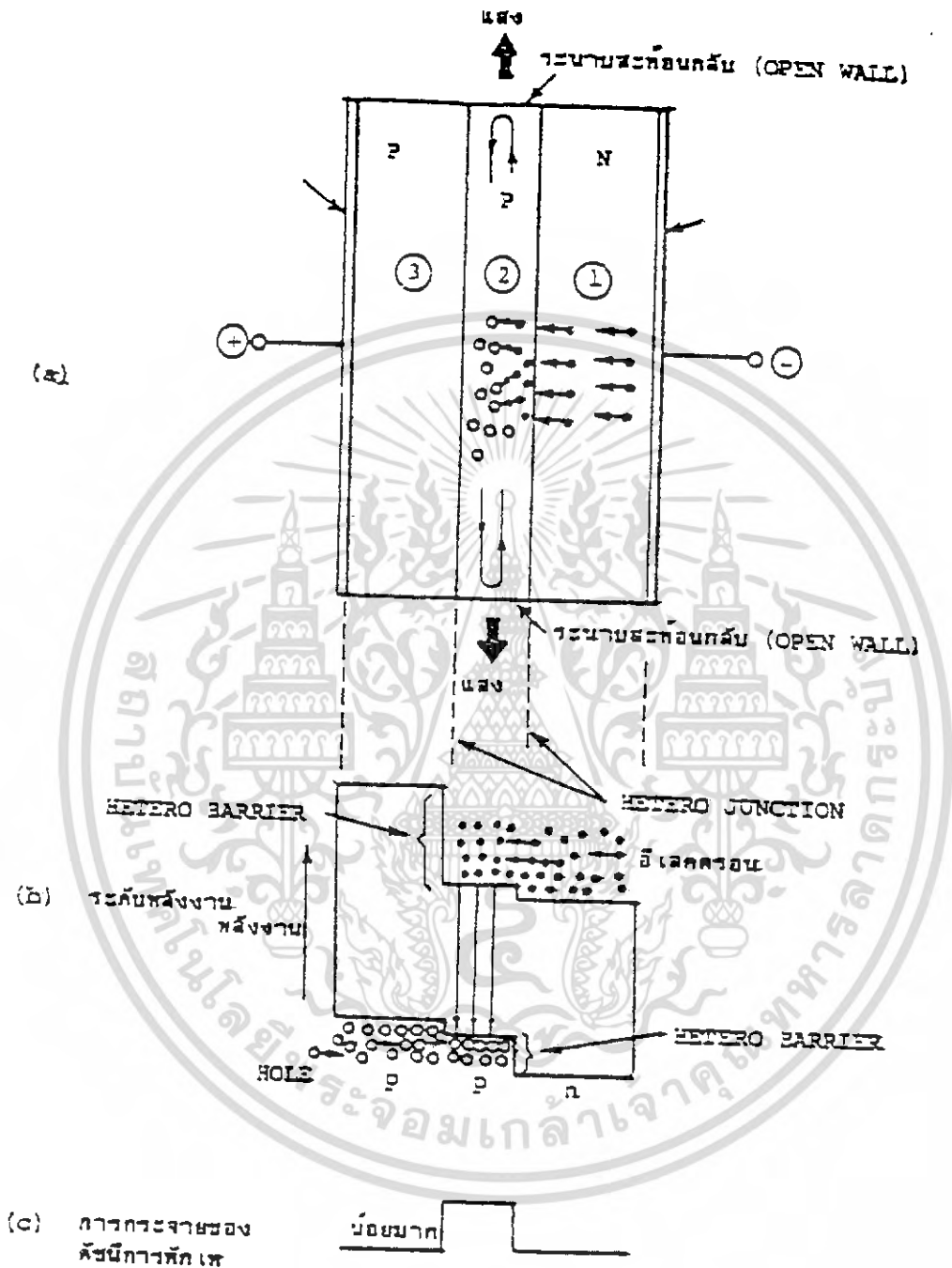
ในการทำให้เกิดเลเซอร์-ออสซิลเลชันนั้น จะต้องทำให้ผลต่างระหว่างระดับพลังงานคอนดักชัน-แบนด์ ของพี-ไทป์-เจมิกอนดักเตอร์ และคอนดักชัน-แบนด์ ของแอกทีฟ-เลเยอร์มีค่ามากพร้อมทั้งทำให้ผลต่างระหว่าง พลังงานของคอนดักชันแบนด์ ของพี-ไทป์-เจมิกอนดักเตอร์ มีค่ามากด้วย นอกจากนั้นยังจะต้องทำให้ระดับพลังงานของวาเลนซ์-แบนด์ ของเอ็น-ไทป์-เจมิกอนดักเตอร์ มีค่าต่ำกว่าระดับพลังงานของแอกทีฟ-เลเยอร์ด้วย จากนั้นจึงนำมาเชื่อมต่อกันจะได้ระดับพลังงานดังแสดงในรูปที่ 2.18 (b) เมื่อทำให้มีกระแสไหลในเจมิกอนดักเตอร์ ที่มีการเชื่อมต่อกันในลักษณะที่กล่าวข้างต้นโดยให้มีทิศทางไหลจาก P-type ไปหา N-type จะเป็นผลให้อิเล็กตรอนส่วนเกินที่มีอยู่ใน N-type (แสดงด้วย (1) ในรูป 2.18 ) ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (a) เคลื่อนที่ไปยัง P-type และ โฮลส่วนเกินที่มีอยู่ใน P-type (แสดงด้วย (3) ในรูป 2.18 )



รูปที่ 2.17 โครงสร้างทั่วไปของ LD

เคลื่อนที่ไปยัง N-type ผลของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลเหล่านี้ ทำให้เกิดมีอิเล็กตรอนและโฮลอยู่ในแอคทีฟ-เลเยอร์ (แสดงด้วย (2) ในรูป 2.18 และโดยทั่วไปแอคทีฟ-เลเยอร์นี้จะใช้สาร P-type) เมื่อมาถึงจุดนี้ให้สังเกตระดับพลังงานของเลเยอร์ทั้ง 3 ที่แสดงในรูปที่ 2.18(b) จะเห็นว่านั่นถูกขังอยู่ในแอคทีฟ-เลเยอร์ เป็นผลให้เกิดสภาพอินเวอร์ชัน-คิสทริบิวชัน (Inversion Distribution) ได้อย่างดีทำให้มีผลการขยายความเข้มของการปล่อยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

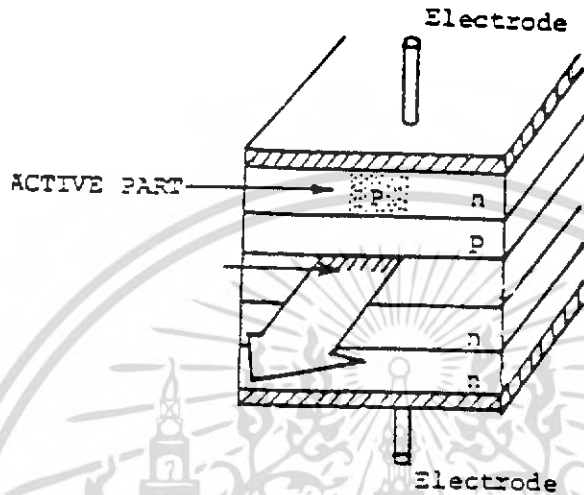


รูปที่ 2.18 โครงสร้าง, ระดับพลังงานและลักษณะการเปลี่ยนแปลง

ค่าดัชนีการหักเหของ LD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนึ่ง โดยการทำให้อัตราการหักเหของแอกตีฟ-เลเซอร์ มีค่ามากกว่าเลเซอร์ข้างเคียงดังแสดงในรูปที่ 2.18 (c) แสงที่ปล่อยออกมาจะถูกกักและเดินทางอยู่ในแอกตีฟ-เลเซอร์จากผลการกักอิมัลชันและโซลเอาไว้ในแอกตีฟ-เลเซอร์และผลการกักแสงไว้ในแอกตีฟ-เลเซอร์ทำให้ได้การปล่อยแสงที่มีประสิทธิภาพที่ดีได้



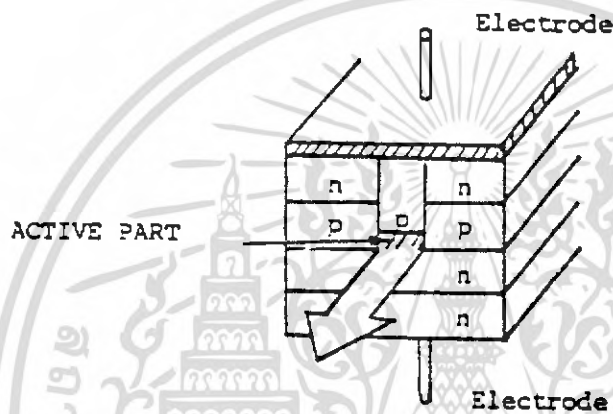
รูปที่ 2.19 โครงสร้างแบบพลาแนร์-สตริป

ตามที่ได้อธิบายมาแล้วว่าแสงจะออกมาจากระนาบสะท้อนกลับโดยที่ระนาบสะท้อนกลับนี้ทำจากการใช้สิ่งที่มีขนาดจุกคล้ายไบมิดโคนไปตัดสารกึ่งตัวนำที่ประกอบกันเป็น LD ให้มีช่องเปิดเรียกว่าโอเพิน-วอลล์ (Open Wall) โดยการทำให้แสงเลเซอร์จะถูกกักขังอยู่ในแอกตีฟ-เลเซอร์ได้ดีแต่ทว่าเมื่อมันเดินทางมาถึงโอเพิน-วอลล์มันจะหลุดออกมาข้างนอกตลอดแนวของโอเพิน-วอลล์นี้ทำให้ประสิทธิภาพการเชื่อมแสงเข้ากับเส้นใยแสงไม่ดีด้วยเหตุนี้เพื่อเป็นการทำให้ประสิทธิภาพดีจำเป็นต้องมีการปรับปรุงต่างเพื่อให้มีปฏิกิริยาการนำคลื่นแสงในทิศทางแนวนอน (Horizontal) ด้วยตัวอย่างอันหนึ่งของวิธีการปรับปรุงก็คือสิ่งที่เรียกว่าพลาแนร์-สตริป-สตรัคเจอร์ (planar stripe structure) ดังแสดงในรูปที่ 2.19

เพื่อให้การผลิต LD ทำได้ง่าย (การสร้างผลึกและการสร้างขั้วไฟฟ้า) จะทำให้มีโครงสร้างเป็น 5 ชั้น และทำให้บริเวณที่มีกระแสไหลมีขนาดแคบ ส่วนเลเซอร์-ออสซิลเลเตอร์ เป็นการใช้หลักการที่ทำให้ออสซิลเลชันเกิดขึ้นเฉพาะตรงส่วนที่กระแสไหลนั่นคือ ตรงส่วนที่มีการกระตุ้น (Stimulation) เท่านั้นจากรูปที่ 2.19 จะเห็นว่าชั้นบนสุดมีขั้วไฟฟ้าบวก ติดอยู่เป็น N-type เมื่อทำดังนี้จะไม่มีการไหลตรงส่วนเชื่อมต่อของ P-type แอกตีฟ-เลเซอร์และ N-type (ทั้งนี้เพราะว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำกระแสจะไม่ไหลจาก N-type ไปยัง P-type ) แต่ในทางตรงกันข้ามกระแสจะไหลเฉพาะตรงส่วนเชื่อมต่อของ P-type, N-type ,แอกติฟ-เลเยอร์นั้นคือส่วน P-type ของชั้นที่ 1 จะทำหน้าที่เป็นทางไหลเข้าของกระแสกลายเป็นแถบ (Stripe) ส่วนหนึ่งของแอกติฟ-เลเยอร์จึงเรียกว่าพลาแนร์-สตริป-ไทป์ โครงสร้างแบบอื่นที่มีคุณสมบัติดีกว่าแบบพลาแนร์-สตริป-ไทป์และนิยมใช้กันมากคือ แบบเอ็มเบดดิ้ง-สตริป-ไทป์ (Embedding Stripe Type) ดังแสดงในรูปที่ 2.20



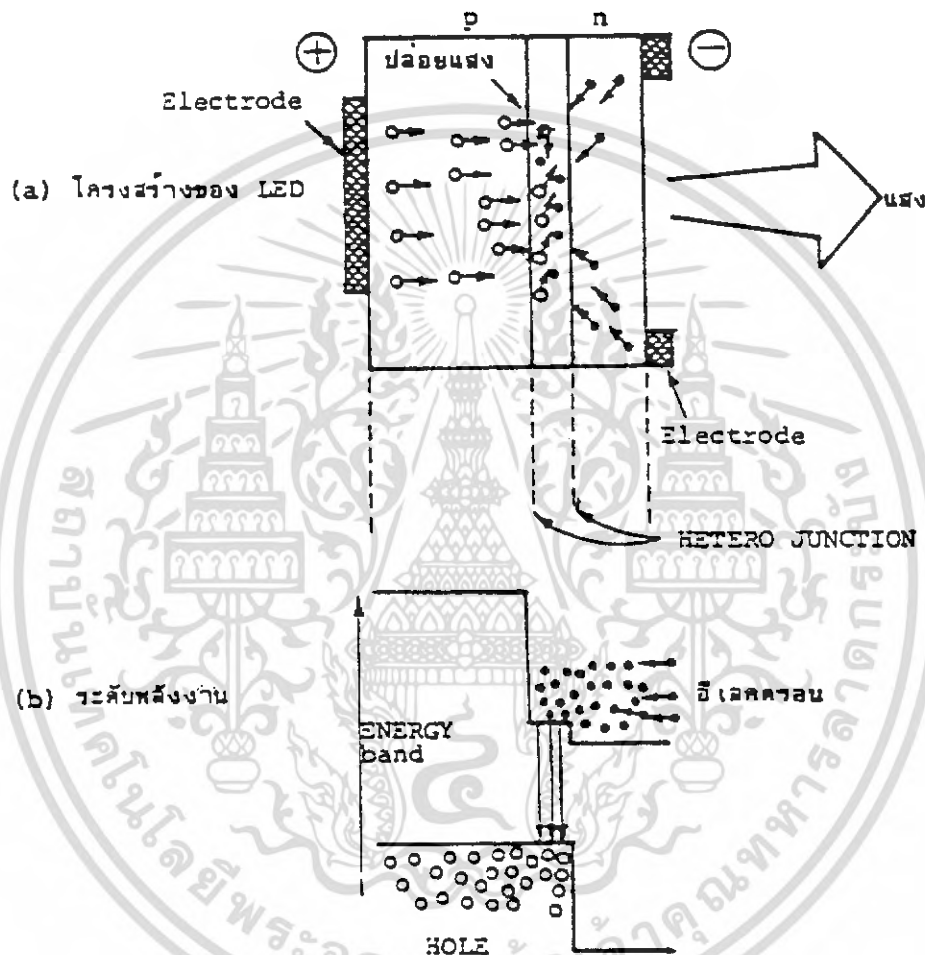
รูปที่ 2.20 โครงสร้างของเอ็มเบดดิ้ง-สตริป-ไทป์

โครงสร้างนี้มีลักษณะพิเศษตรงที่ทำให้ค่าดัชนีการหักเหของแอกติฟ-เลเยอร์ มีค่าสูงทั้งส่วนบน,ซ้าย,ขวา นั่นคือส่วนบนของแอกติฟ-เลเยอร์ของ P-type อยู่ซึ่งจะเหมือนกับพลาแนร์-สตริป-ไทป์ และกระแสจะไหลเฉพาะในส่วนนี้เท่านั้นจากข้างบนไปข้างล่างนอกจากจะสามารถทำให้เกิดเลเซอร์-ออสซิลเลชัน ด้วยกระแสที่มีค่าน้อยแล้ว ยังทำให้ค่าดัชนีการหักเหของแอกติฟ-เลเยอร์มีค่าสูงมากขึ้นอีก จึงเป็นผลให้ประสิทธิภาพของการกักแสงเพิ่มขึ้น สามารถให้แสงที่ปล่อยออกมาเป็นลำแสงที่คม (Sharp) มาก

### 2.6.1.2 โครงสร้างของ LED (Light Emitting Diode)

โครงสร้างพื้นฐานของ LED เหมือนกันกับของ LD กล่าวคือเป็นดับเบิล-ฮีเทอโร-จังชัน อิเล็กตรอนที่ไหลผ่าน P-N junction จะไปรวมกับโฮลภายในแอกติฟ-เลเยอร์เช่นเดียวกันกับกรณีของ LD ดังแสดงในรูปที่ 2.21 (a) และจะเกิดการปล่อยแสงขึ้นภายในแอกติฟ-เลเยอร์ เนื่องจากถูกกักด้วยกำแพงของฮีเทอโร-จังชัน แต่สำหรับกรณีของ LED นั้น โครงสร้างของมันไม่มีการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับว่าเหมาะไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

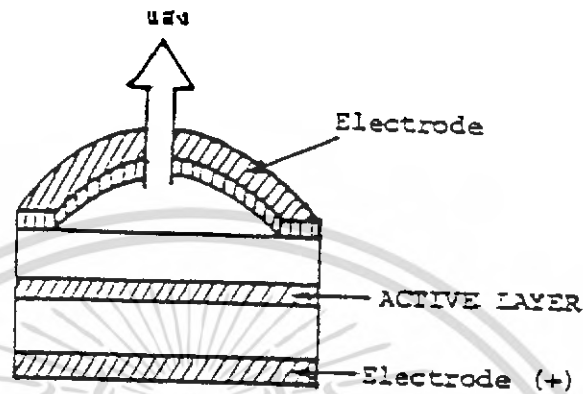
ขยายออสซิลเลชันของแสงเหมือนอย่าง LD (ไม่มีระนาบสะท้อนแสง) แสงที่ปล่อยออกมาตรงส่วนที่อยู่ห่างจากด้านข้างนั้น จึงออกจากด้านข้างได้ยาก ด้วยเหตุนี้ LED ทัวไปจึงให้แสงปล่อยออกมาข้างนอกจากด้านหน้าที่ต่อกับขั้วไฟฟ้าดังรูปที่ 2.21 (a)



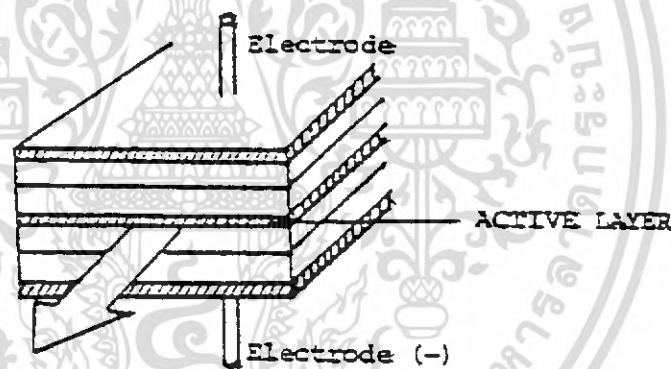
รูปที่ 2.21 โครงสร้างและระดับพลังงานของ LED

ตัวอย่างโครงสร้างของ LED แบบที่ปล่อยแสงออกมาทางด้านหน้า (Face Emission Type Led) แสดงดังรูปที่ 2.22 จากรูปจะเห็นได้ว่าเป็นการทำให้แสงปล่อยออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ขั้วไฟฟ้าทางด้านที่ปล่อยแสงออกมาจะข้างมีรูปร่างเป็นรูปวงแหวน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากในปัจจุบันได้มีการผลิต LED อีกแบบหนึ่งขึ้นมา โดยการทำให้ค่าดัชนีการหักเหของแอกทีฟ-เลเยอร์มีค่าสูง และทำให้เกิดปฏิกิริยาการนำแสงขึ้นในแอกทีฟ-เลเยอร์เหมือนกันกับ LD ดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ตัวอย่างโครงสร้างของ LED แบบปล่อยแสงทางด้านหน้า



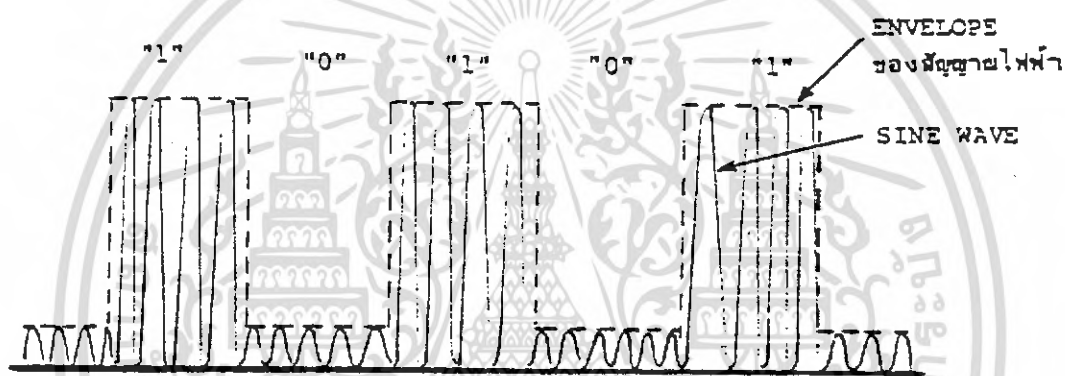
รูปที่ 2.23 ตัวอย่างโครงสร้างของ LED แบบปล่อยแสงออกทางด้านข้าง

LED แบบนี้เรียกว่า LED แบบปล่อยแสงออกทางด้านข้าง (Side emission type led ) และเมื่อเปรียบเทียบกับแบบปล่อยแสงออกทางด้านหน้า แล้วปรากฏว่า โดยการให้กระแสผ่านเท่ากันทำให้แสงออกมามีกำลังน้อยกว่าแบบปล่อยแสงออกมาทางด้านหน้าแต่เนื่องจากบริเวณการปล่อยแสงมีขนาดแคบมากกว่าจึงมีข้อดีที่ว่าประสิทธิภาพการเชื่อมแสงกับเส้นใยแสงสูงกว่า

### 2.8.2 คุณสมบัติต่างๆของอุปกรณ์ปล่อยแสง

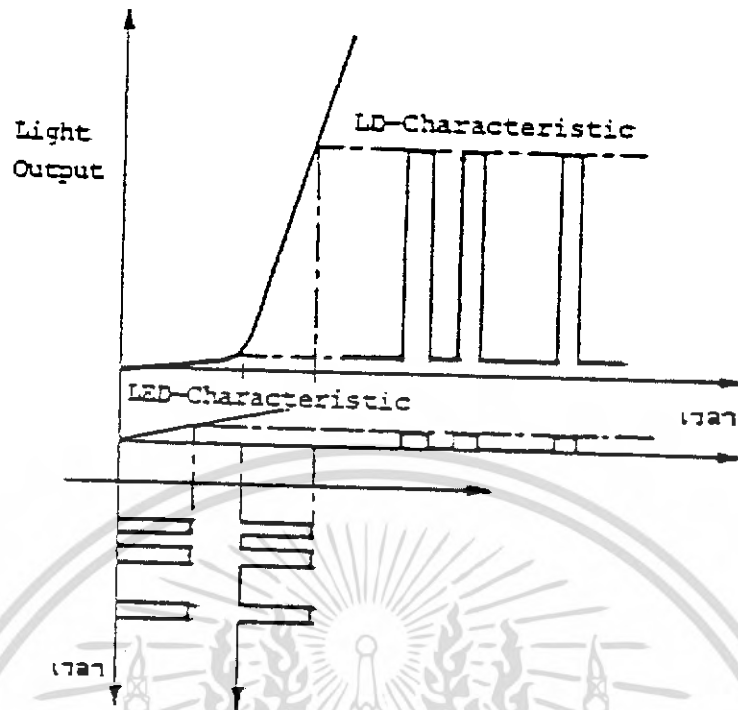
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติต่างๆที่ต้องการจากอุปกรณ์ปล่อยแสงก็คือคุณสมบัติการผสมของแสงกับไฟฟ้า นั่นคือ output power ของแสง, ความเป็นเส้นตรงหรือ Linearity ความกว้างของสเปกตรัมของแสง, ความเร็วในการตอบสนองต่อความถี่ (Frequency Response Speed) เป็นต้น ยกตัวอย่าง เช่นการส่งสัญญาณ Digital ,Output wave form ที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 2.23 กล่าวคือแสงจะเกิดการกระพริบสว่าง, ดับตามสัญญาณไฟฟ้าที่เป็น "1" "0" ตามความเป็นจริงแล้วความยาวคลื่นของแสงจะมีค่าสั้นกว่า ความยาวคลื่นของสัญญาณไฟฟ้ามาก ดังนั้นใน Envelope "1" ของสัญญาณไฟฟ้าจะมีแสงที่มีความยาวคลื่นหลายค่าอยู่ข้างใน ดังแสดงในรูปที่ 2.23 ส่วนคุณสมบัติการผสมของอุปกรณ์ปล่อยแสงแสดงดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 รูปคลื่นทางค่านเอาท์พุทของแสงและการมอดูเลชันในการส่งสัญญาณดิจิทัล

จากรูป 2.24 จะเห็นได้ว่าเนื่องจาก LED ใช้ปรากฏการณ์ปล่อยแสงตามธรรมชาติ ดังนั้นปริมาณของแสงที่ปล่อยออกมาจะเป็นส่วนโดยตรงกับกระแสที่ป้อนเข้าไป (กระดุน) แต่สำหรับ LD นั้นใช้ปฏิกิริยาการออสซิลเลชันโดยการกระดุนให้ปล่อยแสง ดังนั้นปริมาณของแสงที่ปล่อยออกมานั้นมีลักษณะที่มีการเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเลขค่าของกระแสค่าหนึ่ง (Threshold Value Current) ไปแล้ว (ดูรูปที่ 2.25 ประกอบ) ตัวอย่างคุณสมบัติต่างๆในตารางนี้จะเห็นว่าเกี่ยวกับกำลังเอาท์พุทของแสงนั้น LD จะมีค่ามากกว่า เพราะมีการออสซิลเลชันและการขยายของแสง และเกี่ยวกับกำลังทางค่านอินพุทที่ป้อนเข้าไปในเส้นใยแสง เนื่องจาก LD มีคุณสมบัติของทิศทางของแสง (Directivity) ดีกว่า เป็นผลให้มีการสูญเสียการเชื่อมแสงกับเส้นใยแสงต่ำ ทำให้กำลังแสงป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงได้มาก



รูปที่ 2.25 การมอดูเลชันแบบ LIGHT INTENSITY MODULATION

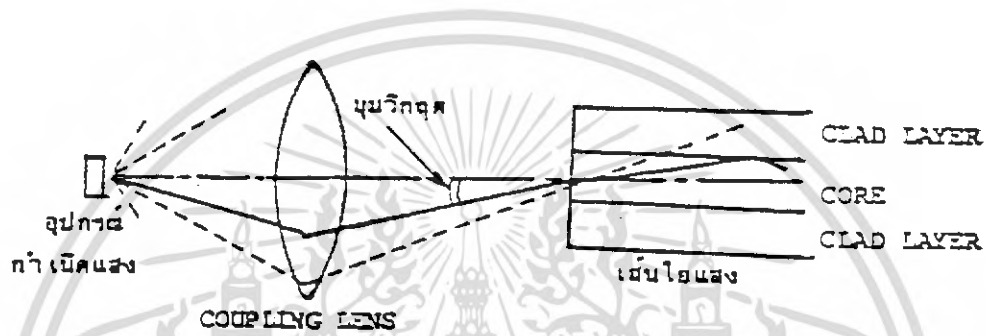
อุปกรณ์ที่ปล่อยแสง หัวข้อ	LED	LD
Out power	2.5mw	10mw
Input power	$\leq 0.05\text{mw}$	$\leq 3\text{mw}$
ความกว้างของ Spectrum ที่จุด power ตกลงครึ่งหนึ่ง	100mw	3mw
Frequency response speed	$\leq$ หลายร้อย Mhz	$\leq$ หลาย Ghz
อายุการใช้งาน	$\leq 10^5$ ชั่วโมง	$\leq 10^6$ ชั่วโมง

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของอุปกรณ์ปล่อยแสง

### 2.6.3 การเชื่อมอุปกรณ์ปล่อยแสงกับเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปแล้วแสงที่ปล่อยออกจากอุปกรณ์ปล่อยแสงจะกว้างออก เนื่องด้วยปรากฏการณ์การเบี่ยงเบนของแสง (Diffraction) การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสงที่มีขนาดเล็กมากประมาณ  $10 \sim$  หลายสิบลม  $\mu\text{m}$  จึงเป็นการยาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการใช้วิธีการต่างๆ เช่น ใช้เลนส์มาทำการบีบแสงให้เล็กลง ในการเชื่อมแสงระหว่างอุปกรณ์ปล่อยแสง กับเส้นใยแสง ดังแสดงในรูปที่ 2.26

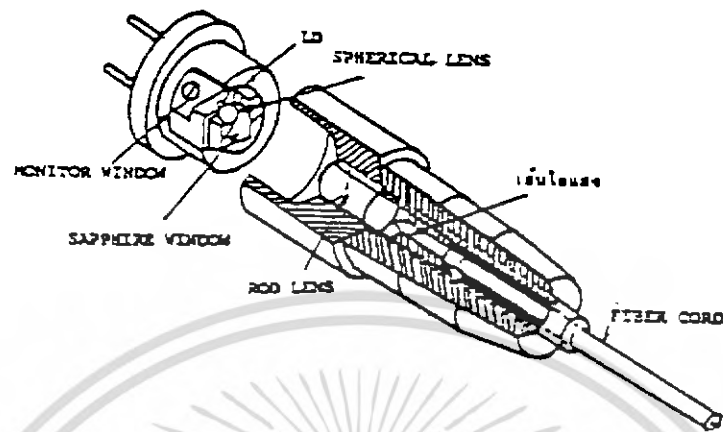


รูปที่ 2.26 การเชื่อมแสงระหว่างอุปกรณ์ปล่อยแสงกับเส้นใยแสง

ในการป้อนแสงเข้าไปในคอร์ของเส้นใยแสง จำเป็นต้องปล่อยแสงเข้าไปด้วยค่าของมุมตกกระทบที่อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า มุมรับแสงสูงสุดของเส้นใยแสง ดังแสดงด้วยเส้นประในรูปที่ 2.26 จะเห็นว่าแสงที่ป้อนเข้าไปนี้จะทะลุออกไปยังแคลดหมด ด้วยเหตุนี้จึงต้องใช้เลนส์นำไปวางใกล้ๆ อุปกรณ์ปล่อยแสงเพื่อบีบแสงให้แคบลง ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากวางตำแหน่งของเลนส์ให้ห่าง อุปกรณ์ปล่อยแสงมากเกินไปจะทำให้ลำแสงต่ำลงไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับแต่งเลนส์ที่ใช้และปรับแต่งตำแหน่งของเลนส์ ระหว่างอุปกรณ์ปล่อยแสงกับเส้นใยแสงให้ เหมาะสมถูกต้อง ซึ่งเป็นการปรับแต่งที่ละเอียดมาก

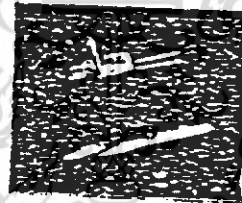
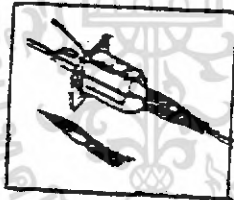
ตัวอย่างของโครงสร้างของ LD-Module ที่เชื่อมต่อแสงกับเส้นใยแสงแบบ SM-type และ ตัวอย่างด้านนอกของ LD-Module, LED - Module แสดงดังรูปที่ 2.27 โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับ SM-type, LD-Module เพื่อให้ประสิทธิภาพการบีบแสงเข้าไปในเส้นใยแสงดีนั้น นิยมใช้เลนส์ 2 ลักษณะคือ ทรงกลม กับทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) ตัวอย่างของ semiconductor laser module

ที่ใช้กับเส้นใยแสงแบบ sm-type



(b) ตัวอย่างลักษณะภายนอกของ LD และ LED

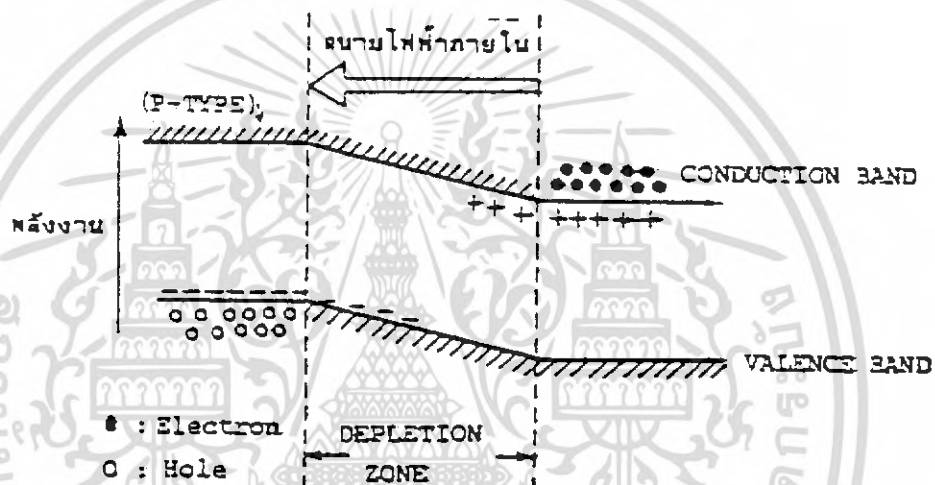
รูปที่ 2.27 ตัวอย่าง ld - module และ led - module

#### 2.6.4 โครงสร้างและการทำงานของกรรับแสง

การรับแสงหมายถึงการเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้าในการทำงานแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีที่หนึ่งเป็นการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้าโดยตรงวิธีที่สองทำได้โดยการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานความร้อนก่อนแล้วจึงเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าวิธีที่หนึ่งนั้นเรียกว่า photo electric effect ส่วนวิธีที่สองเรียกว่า sensitivitive heat effect sensitivitive heat effect นั้นโดยทั่วไปจะมีการตอบสนองช้ามาก และความไวไม่ดีจึงใช้กับ termocouple, borometer และอื่นๆแต่มิให้นำมาใช้กับการสื่อสารด้วยแสง ดังนั้นสำหรับการสื่อสารด้วยแสงจึงควรทำความเข้าใจโครงสร้าง และการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานของการรับแสงโดย photo electric effect สำหรับสารกึ่งตัวนำต่อไปนี้จะกล่าวถึง photo electric effect

หลักการของ photo electric effect ใช้ขบวนการดูดพลังงานตามที่ได้กล่าวมาแล้ว นั่นคือเมื่อมีแสงมากระทบสารกึ่งตัวนำอิเล็กตรอนที่อยู่ใน Valene Band จะเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่ Conduction Band แต่การเลื่อนขึ้นไปนี้เป็นแต่เพียงอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปเท่านั้น และในที่สุดมันจะไปรวมกันใหม่กับ Hole ก่อนที่มันจะรวมกัน



รูปที่ 2.28 Depletion Zone

สำหรับอุปกรณ์รับแสงสารกึ่งตัวนำก็เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสง นั่นคือเพื่อที่จะแยกอิเล็กตรอนกับ Hole นั้นโดยทั่วไปใช้ P-N junction จากที่กล่าวมาแล้วว่า ที่รอยต่อของ P-N นั้นจะเกิดสนามไฟฟ้าที่ว่าง ( Space Electric Field ) ขึ้น มันจะถูกดึงด้วยอิเล็กตรอนของ N-type และ Hole ของ P-type ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นลบและบวก เป็นผลให้เกิดบริเวณที่ไม่มีอิเล็กตรอนและ Hole ขึ้นตรงบริเวณรอยต่อนี้เรียกว่า Depletion Zone ดังแสดงในรูปที่ 2.28

ในสภาพอย่างนี้เมื่อมีแสงมากระทบจากทางด้านบริเวณ P-type แสงนั้นจะถูกดูด พร้อมทั้งเคลื่อนที่ไปทางบริเวณ N-type แต่ที่ Depletion Zone อิเล็กตรอนและ Hole ที่เกิดจากการดูดหลังจากแสงถูก Space Electric Field แยกไปในทิศทางตรงกันข้ามกล่าวคือ อิเล็กตรอนไปทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้าน N และโฮล ไปทางด้าน P หนึ่งทีบริเวณอยู่ห่างจาก Depletion Zone นั้น เนื่องจาก ไม่มีสนามไฟฟ้า อิเล็กตรอนและโฮล ซึ่งเกิดจาก photo electric effect จะรวมตัวกันใหม่ในนั้นจะสามารถเข้าไปยังบริเวณตรงกันข้ามได้ ผลที่ได้ก็คือ จะเกิดแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับปริมาณของอิเล็กตรอนและโฮล ที่ถูกแยกขึ้นระหว่างปลายทั้งสองของ P-type และ N-type ถ้าหากนำวงจรรายนอกมาต่อกับปลายทั้งสองนี้จะทำให้อิเล็กตรอนและ Hole สามารถรวมตัวกันได้โดยผ่านวงจรรายนอก นั่นคือจะมีกระแสไหลนั่นเองกระแสที่เกิดที่ Depletion Zone เรียกว่า Drift Current ส่วนกระแสที่เกิดตรงบริเวณที่อยู่ห่างจาก Depletion Zone เรียกว่า Diffusion Current และกระแสนี้เป็นหลักของการเป็นไฟฟ้า

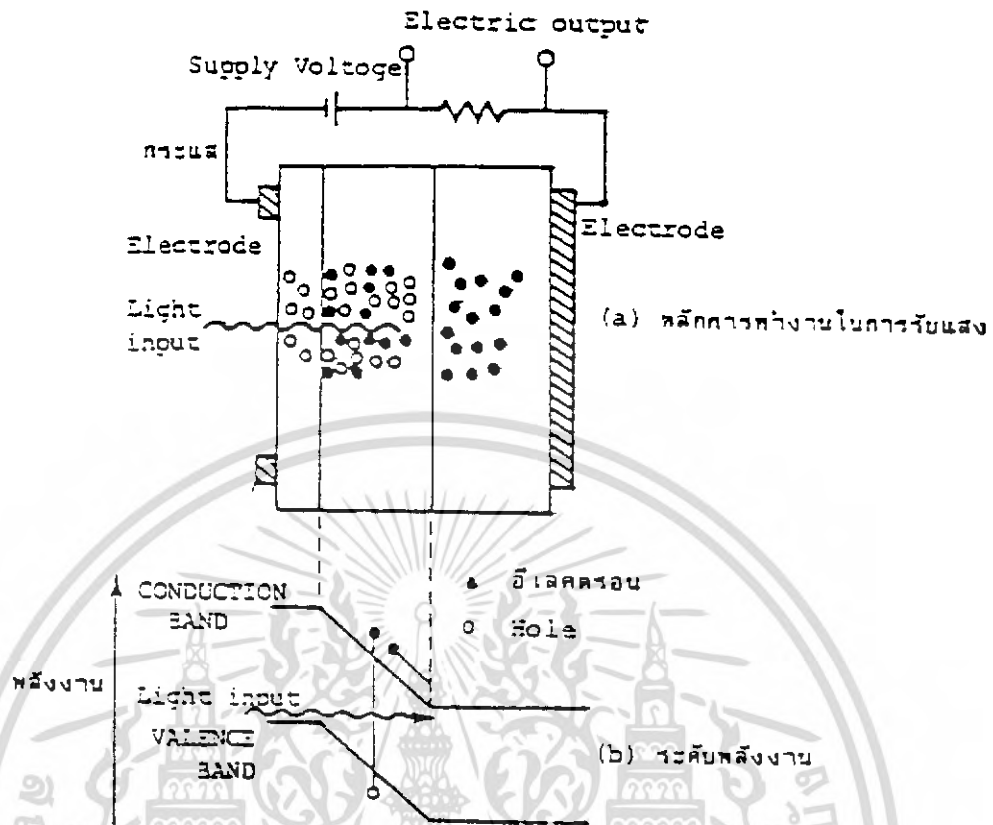
### 2.6.5 โครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง

จากที่กล่าวมาแล้วว่า Space Electric Field ตรงรอยต่อ PN-junction ที่ทำให้อิเล็กตรอนและโฮลเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้าม แต่ถ้าแรงดันไฟฟ้ากลับทิศทางจากภายนอกกล่าวคือทางด้าน P ให้โฟลบ และทางด้าน N ให้โฟบวก จะทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลตรงรอยต่อมีอัตราเร่งเพิ่มขึ้น

อุปกรณ์รับแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำนี้แบ่งออกเป็นพวกใหญ่ๆได้ 2 พวก ตามปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้จากภายนอก คือ

Photo Diode : กับ Avalanche Photo Diode:APD พวก PD นั้นเป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณน้อย ส่วนพวก APD เป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟมาก

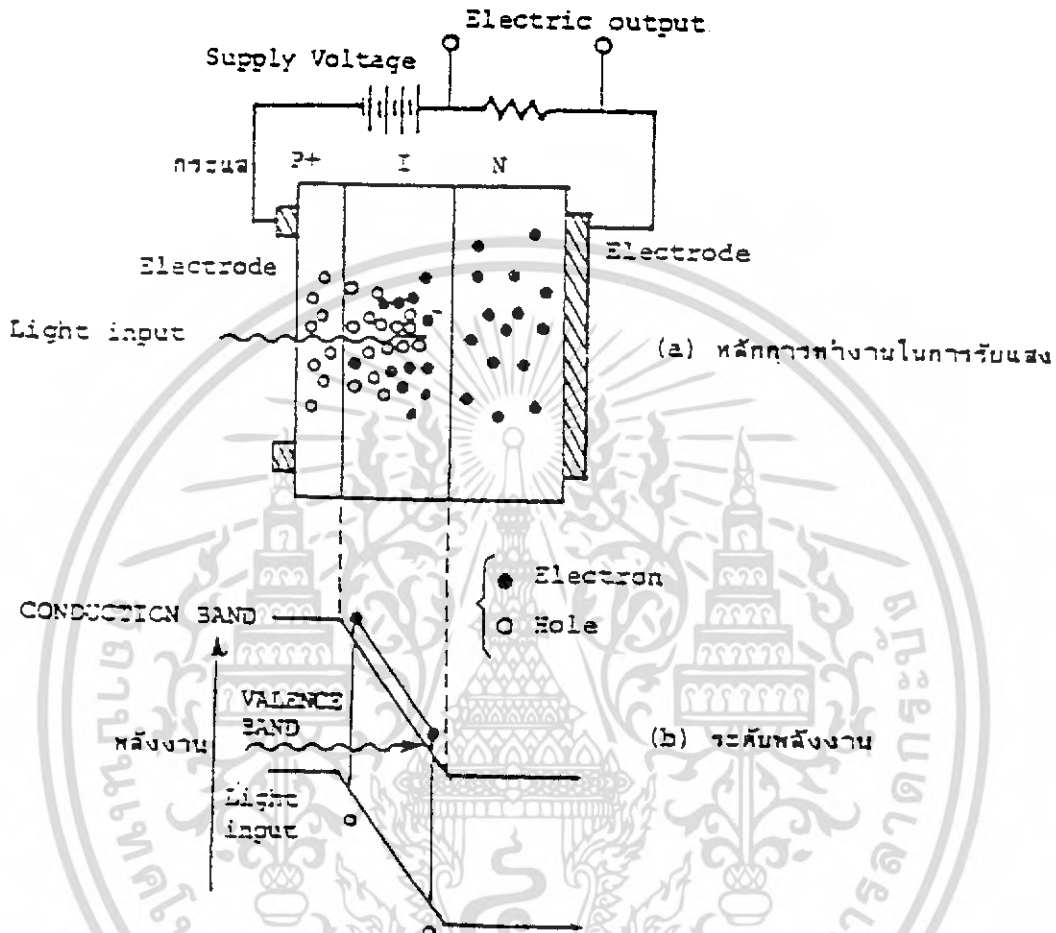
ตัวอย่างของ PD คือ PIN-PD ดังแสดงในรูปที่ 2.29 PIN หมายถึงว่าในระหว่างสารกึ่งตัวนำ P-type และ N-type มีสารกึ่งตัวนำแบบที่เรียกว่า Intrinsic :I คั่นอยู่ จากที่ว่า Drift Current นั้นเกิดขึ้นภายนอก Depletion Zone นั้นมีการตอบสนองช้าดังนั้นถ้าความกว้างของ Depletion Zone ยิ่งกว้างมากเท่าใด Quantum Efficiency และความหนาแน่นของอิเล็กตรอนและโฮล ของ P-type และ N-type ยิ่งต่ำและยิ่งกว้างดังนั้นสารกึ่งตัวนำแบบ I ที่คั่นกลางระหว่าง P-type กับ N-type จึงมีหน้าที่เพื่อทำให้ความกว้างของ Depletion Zone กว้างขึ้นนั่นเอง เนื่องจาก PD ที่ใช้ในระบบการสื่อสารนั้น โดยทั่วไปต้องการความเร็วในการตอบสนองสูง ดังนั้นส่วนใหญ่จะใช้ PIN-PD



รูปที่ 2.29 หลักการทำงานการรับแสง และระดับพลังงานของ PIN-PD

อนึ่ง APD นั้นใช้ปฏิกิริยาการขยาย Avalanche ของอิเล็กตรอนและโฮล ในสารกึ่งตัวนำ เมื่อเปรียบเทียบกับ PD แล้ว เป็นอุปกรณ์ที่ให้แสงจำนวนมาก หลักการทำงานของ APD แสดงดังรูปที่ 2.30 สำหรับโครงสร้างนั้นส่วนใหญ่ทางด้าน P ของ PN-Junction จะมีสารกึ่งตัวนำแบบให้สนามไฟฟ้าภายในของบริเวณให้รอยต่อที่มี P-Layer เป็นศูนย์กลางมีค่ามาก อิเล็กตรอนที่ดูดแสงที่มากตกกระทบจากด้าน P+ และถูกกระตุ้นจาก Valence Band ไปยัง Conduction Band ในระหว่างที่มันได้รับอัตราเร่งและผ่าน P-Layer นั้นมันจะได้รับพลังงานจำนวนมากกว่า ผลต่างของพลังงานของ Conduction Band กับ Valence Band จากผลนี้ทำให้สามารถกระตุ้นอิเล็กตรอนที่อยู่ใน Valence Band และทำให้เกิดอิเล็กตรอนกับโฮล ใหม่ได้ และอิเล็กตรอนกับโฮล ใหม่นี้ยังถูกสนามไฟฟ้าเร่งอัตราเร่งให้อีก ทำให้เกิดอิเล็กตรอนกับโฮล ใหม่ออกมาอีก เมื่อขบวนการนี้เกิด

อย่างต่อเนื่องกันจำนวนอิเล็กตรอนกับโฮลจะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากมาย (Avalence) เป็นผลให้เกิดการขยายที่เรียกว่า Avlence Mutiplication ผลนี้ทำให้กระแสถูกขยายนั่นเอง



รูปที่ 2.30 หลักการทำงานการรับแสง และระดับพลังงานของ APD

2.6.6 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์รับแสงประเมินจากคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ Quantum Efficiency ซึ่งแสดงว่าแสงที่รับมานั้นถูกเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าได้มากน้อยเพียงใด ความไวการรับแสง (ระดับรับแสงต่ำสุดที่ต้องการสำหรับการส่งที่มีคุณภาพ) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ในการออกแบบและระบบการถ่ายทอดของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง, สัญญาณรบกวน (noise) ที่เกิดขึ้นและความเร็วของการตอบสนองการทำงาน สำหรับ Quantum Efficiency กำหนดจากสารและโครงสร้างของสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างของอุปกรณ์รับแสง แต่สำหรับความไวการรับแสงนั้นจะเกี่ยวข้องกับขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้

เนื่องจาก APD ใช้ปรากฏการณ์การขยาย Avalanche ดังนั้นจึงมีความไวสูงประมาณ 10 ~ 20dB (10~100 เท่า) เมื่อเทียบกับ PD สัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดในอุปกรณ์รับแสงมีสิ่งๆ เรียกว่า Shot Noise ซึ่งเป็น Noise อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของ Photo Current ที่เกิดจากการกระตุ้นอิเล็กตรอนอย่างไม่เป็นระเบียบทางเวลาหรือทาง Space คุณสมบัติของ Shot Noise เป็นดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\text{Shot Noise Current} = \propto I_0 M^{2+F}$$

ในที่นี้ M เป็นอัตราขยายกระแสของอุปกรณ์รับแสง

$I_0$  เป็น Photo Current เมื่อ  $M=1$  (กรณีของ PDX)

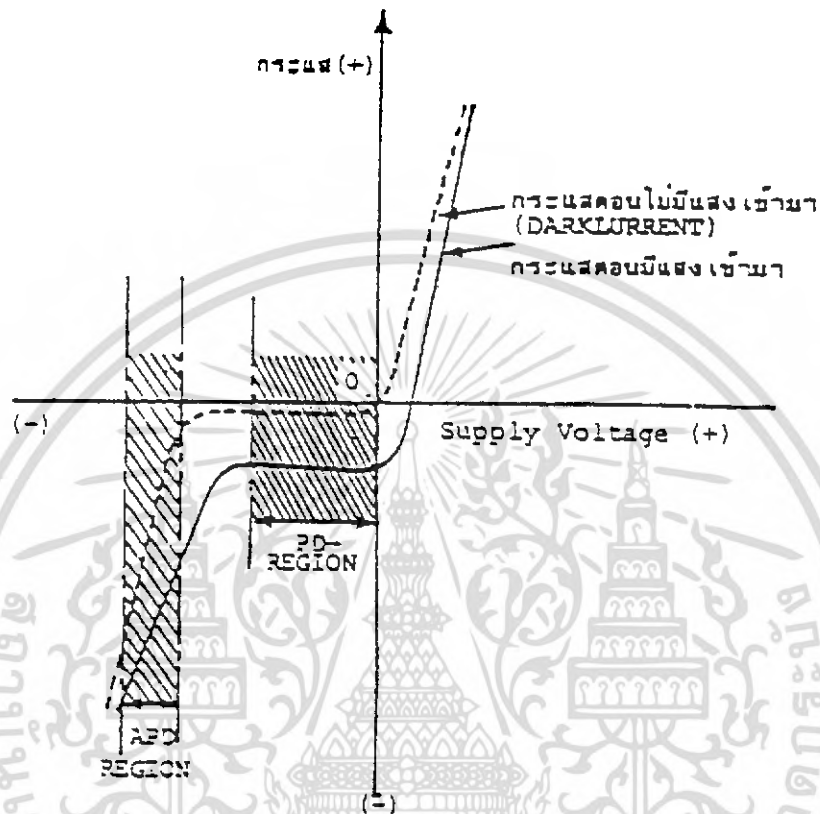
F เป็น Excess Noise Figure มีค่ามากเมื่อเทียบกับ M

นั่นคือ จากสมการจะเห็นว่าที่ระดับการรับแสงเท่ากัน ถ้าหากทำให้แรงดันไฟฟ้าใน ทิศทางกลับที่ป้อนให้มีความสูง และทำให้อัตราขยายกระแสเพิ่มมากขึ้นนั้น สัญญาณออก (Output signal  $I_0 M^2$ ) จะเพิ่มมากขึ้นด้วยแต่ Shot noise ก็เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน

คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสงทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2.31 นี้ ได้แสดงการไหลของกระแสที่เรียกว่า Dark Current ที่เกิดในสภาพที่มีแรงดันไฟฟ้าในทิศทางป้อนกลับให้แต่ไม่มีแสงเข้ามาด้วย

กระแส Dark Current นี้มีลักษณะพิเศษคือมันจะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการเพิ่มขึ้นของสัญญาณออก (Output signal) Shot Noise เป็นสิ่งที่เกิดจาก Dark Current และอื่นๆที่เป็นแหล่งต้นกำเนิดกรณีของ PD เนื่องจาก  $M=1$  ดังนั้น Shot Noise จึงไม่มีค่ามาก แต่สำหรับกรณีของ APD จำเป็นต้องระวังเกี่ยวกับค่าของ M

ในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง นอกจากจะต้องคำนึงถึง Shot Noise นี้แล้ว ยังมี Thermal Noise ที่เกิดในวงจรไฟฟ้าซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับสัญญาณที่เข้ามา ดังนั้นในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง จำเป็นต้องเลือกค่า M ที่เหมาะสมที่ทำให้ผลรวมของ Thermal Noise กับ Shot Noise มีค่าต่ำมาก เมื่อเทียบกับระดับของสัญญาณ



รูปที่ 2.31 แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และโฟโตไดโอดเร็นท์

ความเร็วการตอบสนองต่อความถี่ เป็นสิ่งที่กำหนดจากเวลาที่มีสัญญาณแสงเข้ามา จนกระทั่งเกิดปรากฏการณ์จุดแสง แต่ในปัจจุบันเนื่องจากทั้ง PD และ APD สามารถตอบสนองความเร็วได้ถึงหลาย GHz จึงไม่มีปัญหาในการใช้งาน การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของ PD กับ APD แสดงดังตาราง 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์รับแสง หัวข้อ	PD	APD
QUANTUM EFFICIENCY	~ 80%	~ 80%
ความไวการรับแสง (I)	-15 ~ 20dBm0	-30 ~ 40dBm0
ความเร็วการตอบสนองความถี่	~ หลาย GHz	~ หลาย GHz
อัตราขยาย	1	~ 500
ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทำงาน	0 ~ 20V	30 ~ 200V

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

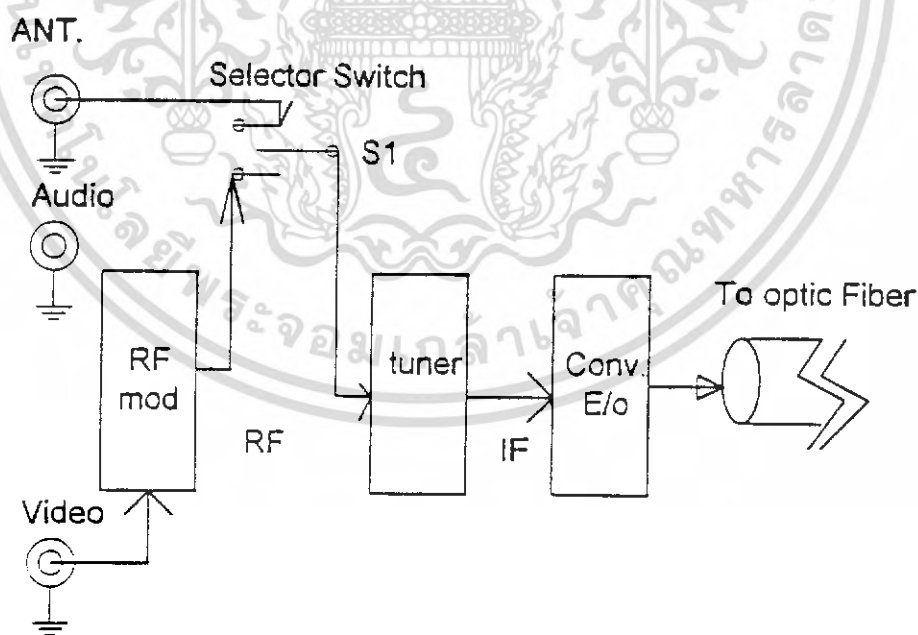
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การออกแบบ

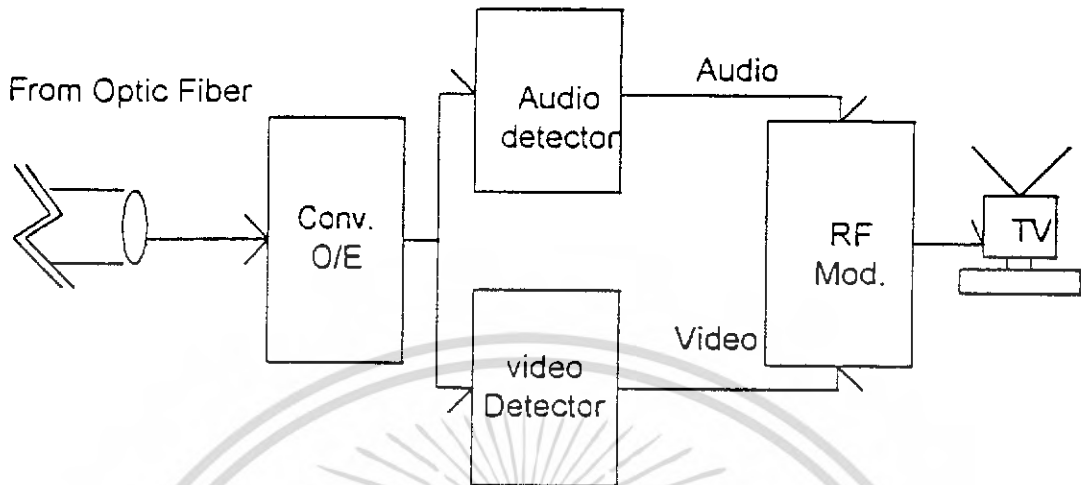
ในบทนี้ จะกล่าวถึงเรื่องของการออกแบบระบบและการสร้างวงจรส่วนต่างๆของโครงการนี้ ซึ่งองค์ประกอบของโครงการ จะสามารถแยกออกได้เป็นสองส่วนใหญ่ๆคือ วงจรทางด้านส่ง เช่น วงจรสร้างสัญญาณภาพ วงจรขยาย และวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง และวงจรทางด้านรับ เช่น วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้า วงจรแยกสัญญาณภาพ (video detector) วงจรแยกสัญญาณเสียง (audio detector) เป็นต้นจะกล่าวรายละเอียดต่อไป โดยทั่วไปแล้วระบบอะนาล็อกสามารถจะนำเอา LED มาเป็นเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้ LD ในการส่ง และในทำนองเดียวกันทางด้านรับก็จะใช้ PD เป็นตัวรับแสง แล้วทำการเปลี่ยนสัญญาณแสง ให้เป็นไฟฟ้า จากข้อสรุปคุณสมบัติของอุปกรณ์ทั้งสอง คือ จะใช้ LED ทางด้านส่ง และ PD ทางด้านรับสามารถจะตอบสนองความถี่ที่ใช้ในโครงการนี้ได้ดี และมีประสิทธิภาพสูงพอสมควร และประหยัด

#### 3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งและรับสัญญาณโดยเส้นใยแสง



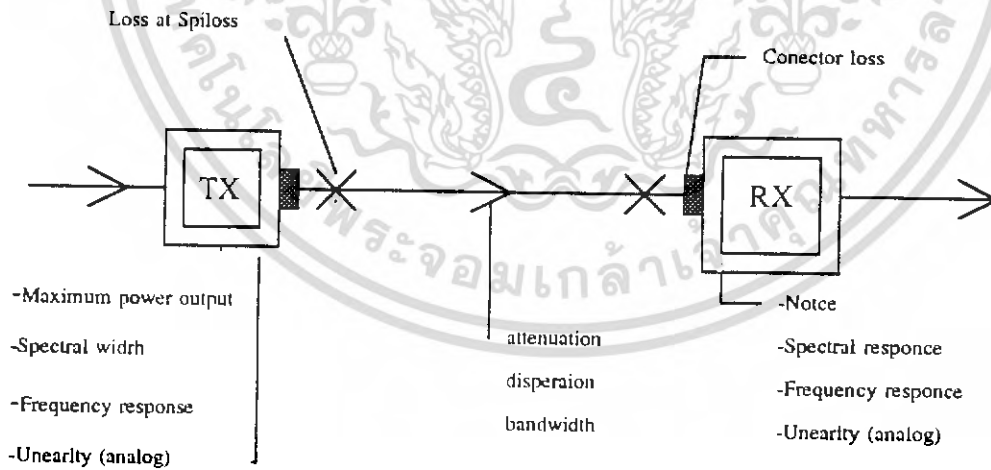
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของภาครับ

ข้อจำกัดในระบบสื่อสาร



ในการออกแบบระบบสื่อสารที่ใช้เส้นใยแก้วนำแสงเป็นตัวกลางนั้นจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดของส่วนประกอบต่างๆดังนี้

1. เส้นใยแก้วนำแสงต้องคำนึงถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การลดทอนกำลัง
- คุณสมบัติของการกระจาย (dispersion)
- แถบความถี่

## 2. เครื่องส่ง

- กำลังขาออกสูงสุด
- ความกว้างของสเปกตรัม
- การตอบสนองต่อความถี่
- ความเป็นเชิงเส้น

## 3. เครื่องรับ

- สัญญาณรบกวน (S/N)
- การตอบสนองต่อความถี่
- ความไว
- ความเป็นเชิงเส้น

### 3.2 วงจรภาคส่ง

#### 3.2.1 จูนเนอร์และภาคขยายไอเอฟ

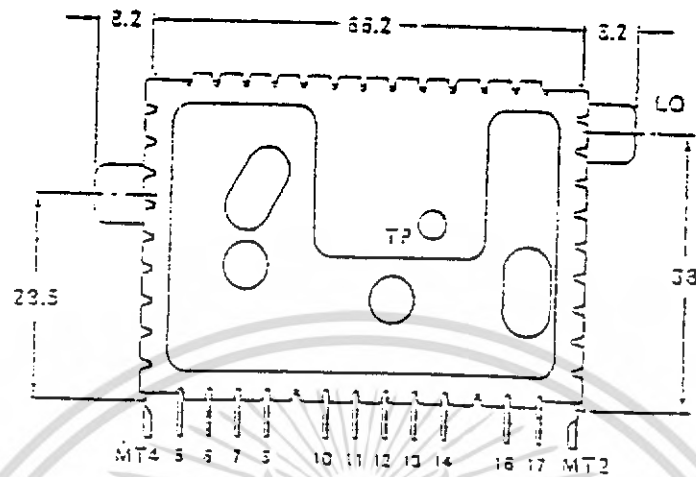
จูนเนอร์คือการรับสัญญาณจากสถานีโทรทัศน์แล้วแปรเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณภาพ และเสียง ขึ้นที่เครื่องรับโทรทัศน์ หน้าที่การทำงานของจูนเนอร์พอสรุปได้ดังนี้คือ

1. เปลี่ยนสัญญาณจากสายอากาศ (ซึ่งจะมีขนาดตั้งแต่ 50MHZ - 1GHZ) เป็นความถี่ไอเอฟค่าคงที่
2. ทำการขยายสัญญาณที่รับมาให้แรงขึ้นซึ่งอยู่กับความแรงของสัญญาณที่เข้ามา
3. ขจัดสัญญาณที่อยู่นอกย่านความถี่สัญญาณโทรทัศน์และสัญญาณรบกวนต่างๆ

สำหรับจูนเนอร์ที่ใช้ก็คือ UV711 จูนเนอร์แบบนี้รับความถี่ได้ทั้งย่าน UHF และ VHF ในระบบโทรทัศน์ CCIR สำหรับตำแหน่งขาและหน้าที่การทำงานของขาต่างๆแสดงให้เห็นดังรูปที่

#### 3.3

#### 3.2.2 หน้าที่การทำงานแต่ละขาของจูนเนอร์ UV 711

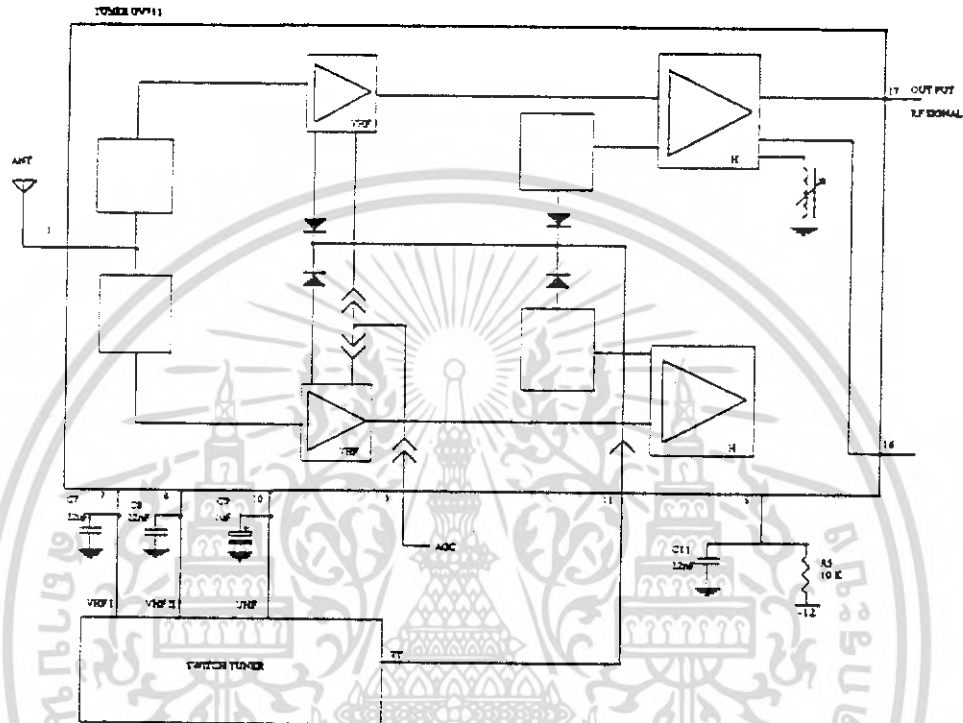


รูปที่ 3.3 ตำแหน่งขา TUNER

- ขา 1 เป็นขาสำหรับป้อนสัญญาณอาร์เอฟจากเสาอากาศเข้าที่ขา 1 โดยตรง
- ขา 5 เป็นขาสำหรับสัญญาณ เอจิสซี ที่ป้อนกลับมาจากภาคไอเอฟ
- ขา 6 เป็นขาสำหรับป้อนไฟ +12 โวลต์ มาเลี้ยงที่ขานี้
- ขา 7 เป็นขาสำหรับเลือกย่านความถี่ทางแบนด์ 1 หรือแบนด์ a หรือแบนด์ VHF<sub>1</sub> ถ้ามีไฟ +11 ถึง +12 โวลต์ มาป้อนที่ขานี้
- ขา 8 เป็นขาสำหรับเลือกย่านความถี่ทางแบนด์ 11 หรือแบนด์ b หรือแบนด์ VHF<sub>2</sub> ถ้ามีไฟ +11 ถึง +12 โวลต์ มาป้อนที่ขานี้
- ขา 10 เป็นขาสำหรับเลือกย่านความถี่ทางแบนด์ IV หรือแบนด์ b หรือแบนด์ c หรือแบนด์ UHF ถ้ามีไฟ +11 ถึง +12 โวลต์มาป้อนที่ขานี้
- ขา 11 เป็นขาป้อนสวิตช์ไฟจูนนิ่ง โวลต์เตจ หรือวีจูน หรือวีแวลวี ซึ่งเป็นสวิตช์ไฟดิจิมีค่าตั้งแต่ 0 โวลต์ ถึง 24.5 โวลต์ ขณะที่กำลังค้นหาสถานีอยู่สวิตช์ไฟจะเปลี่ยนแปลงจากต่ำไปสูง กลับไปมาตลอดเวลาที่กำลังค้นหาสถานีอยู่ หากพบสถานีที่ต้องการแล้ว สวิตช์ไฟที่ขา 11 นี้จะต้องนิ่งไม่เปลี่ยนแปลงเลย หากสวิตช์ไฟเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจะทำให้สถานีเคลื่อนด้วย
- ขา 15 เป็นขากราวด์ของจูนเนอร์
- ขา 17 เป็นขาเอาท์พุทของจูนเนอร์ ป้อนยังภาคไอเอฟต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 การทำงานของอิเล็กทรอนิกส์จูนเนอร์



รูปที่ 3.4 วงจรภายในจูนเนอร์ระบบ UHF และ VHF

จากรูปที่ 3.4 แสดงวงจรภายในจูนเนอร์ UV 711 และวงจรประกอบสัญญาณอาร์เอฟจากสายอากาศจะถูกวงจรฟิลเตอร์แยกออกเป็น 2 ทางคือ ทาง VHF และทาง UHF จะแยกผ่านทางวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) และ UHF แยกผ่านทางวงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High pass filter) สัญญาณอาร์เอฟจะถูกขยายให้แรงขึ้นและป้อนเข้าไปผสมกับจ่ายให้กับภาคไอเอฟ หลักการทำงานของจูนเนอร์นี้ก็ใช้หลักการทำงานแบบซูเปอร์เฮตเซอร์โรดายนั่นเอง

หน่วยขยายสัญญาณอาร์เอฟบล็อก A และ B จะถูกควบคุมด้วยสัญญาณ เอจิสซี แบ่งหน่วยเวลา (Delayed agc) โดยถูกป้อนมาจากขา 5 ของภาคไอเอฟ มาที่ขา 5 ของจูนเนอร์ การควบคุมจะเป็นไปในทางลบหมายความว่าถ้าสัญญาณจากสายอากาศมีความแรงมาก (เกินจากระดับที่ตั้งไว้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศักย์แรงไฟฟ้า 5 ของจูนเนอร์จะลดลงทำให้อัตราขยายของจูนเนอร์ลดลง โดยอัตราขยายนี้สามารถตั้งได้ด้วย  $R_3$  ที่ขา 1 ของไอซี TDA 8305 ในภาคไอเอฟ

ส่วนการจูนเนอร์เพื่อรับสถานีนั้น จะใช้ควบคุมความจุของวาริแคป โดยการป้อนศักย์แรงไฟตรงที่มีความเที่ยงตรงสูง ศักย์แรงไฟนี้เรียกว่า “จูนนิ่งโวลท์เดจ” (V-TUNE หรือ V-VAR) ศักย์แรงไฟนี้มีค่าประมาณ 0 ถึง 24.5 โวลท์ ป้อนมาที่ขา 11 ของจูนเนอร์ ศักย์แรงไฟนี้ได้มาจากชุด Switch tuner หรือ Pre set ผ่าน  $R_7$  เพื่อใช้ค้นหาสถานีหลังจากจูนเนอร์หาสถานีพบแล้ว แรงไฟที่ได้นี้ต้องคงที่ตลอดเวลา หากแรงดันเปลี่ยนแปลงจะทำให้สถานีที่รับได้คลาดเคลื่อน ฉะนั้นเมื่อรับสถานีได้ชัดแล้ว ที่ภาคไอเอฟของเครื่องรับจะมีหน่วย เอ.เอฟ.ที. เพื่อควบคุมและชดเชยการทำงานของหน่วยผลิตศักย์ไฟจูนนิ่งโวลท์เดจให้สร้างศักย์ไฟชดเชยการเปลี่ยนแปลงนี้

สำหรับการเลือกย่านความถี่หรือแบนด์ต่างๆของระบบโทรทัศน์ ทำการเลือกแถบความถี่โดยป้อนไฟตรงประมาณ 12 โวลท์ เข้าที่ขา 7,8 หรือ 10 ของจูนเนอร์เพื่อเลือกแถบความถี่ VHF<sub>1</sub>, VHF<sub>2</sub> หรือ UHF ตามลำดับ โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1

ศักย์ไฟจ่ายออกที่			จูนเนอร์เบอร์ uv711	
ตำแหน่งของสวิทช์เลือก			X	แถบความถี่ที่เลือกรับ
a	b	c		
12 v	0 v	0 v	7	VHF แบนด์ I หรือ a หรือรับช่อง 2-4
0 v	12 v	0 v	8	VHF แบนด์ III หรือ b รับช่อง 2-12
0 v	0 v	12 v	10	UHF แบนด์ IV หรือ c รับช่อง 21-69

ตารางที่ 3.1 การเลือกแถบความถี่

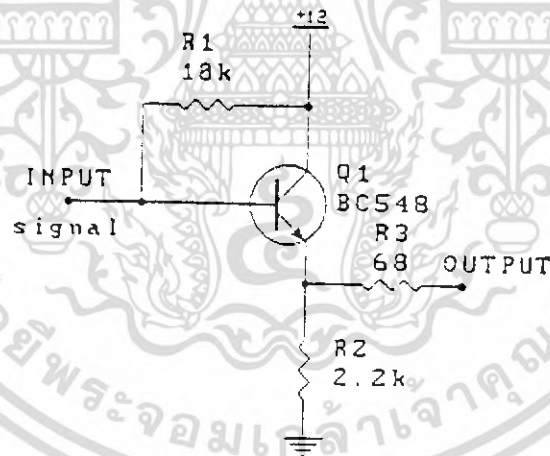
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



8305 (IC<sub>1</sub>) และสัญญาณที่ออกจากไอซีตัวนี้ จะมีสัญญาณภาพ, เสียง และซิงค์ โดยสัญญาณทั้งหมดจะออกมาทางขา 17 ของไอซีตัวนี้

จากรูปที่ 3.5 สัญญาณไอเอฟที่ผ่านเข้ามาทางขา 8 และขา 9 ของ IC<sub>1</sub> นี้ จะถูกขยายด้วยหน่วยขยายสัญญาณและหน่วยกำลังความแรงของสัญญาณ สัญญาณไอเอฟที่ผ่านเข้ามานี้จะถูกแยกคลื่นพาห้ของภาพ (Picture Carrier) ความถี่ 38.9 เมกะเฮิรซ์ ออกโดยความถี่นี้ถูกกำหนดด้วย L<sub>3</sub> ที่ภาคคิมอดูเลเตอร์ สัญญาณด้วยออกของหน่วยคิมอดูเลเตอร์จะประกอบด้วยสัญญาณภาพ, สัญญาณเสียง, และซิงค์ ซึ่งจะถูขยายและส่งออกมาทางขา 17 ของ IC<sub>1</sub> และในขณะเดียวกันสัญญาณนี้จะถูกส่งกลับผ่านหน่วยกรองความถี่ ที่ให้ผ่านเฉพาะความถี่ต่ำมายังหน่วยควบคุมอัตราขยายโดยอัตโนมัติ (Automatic Gain Control ) หน่วยนี้จะให้แรงดันไฟตรงซึ่งขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยของสัญญาณภาพ มาควบคุมอัตราขยายของหน่วยขยายภาพ ไอเอฟภายใน IC<sub>1</sub> และอัตราขยายของหน่วยขยายสัญญาณอาร์เอฟภายในจูนเนอร์ด้วย

### 3.2.5 วงจรขยาย (Amplifier)



รูปที่ 3.6 วงจรขยาย

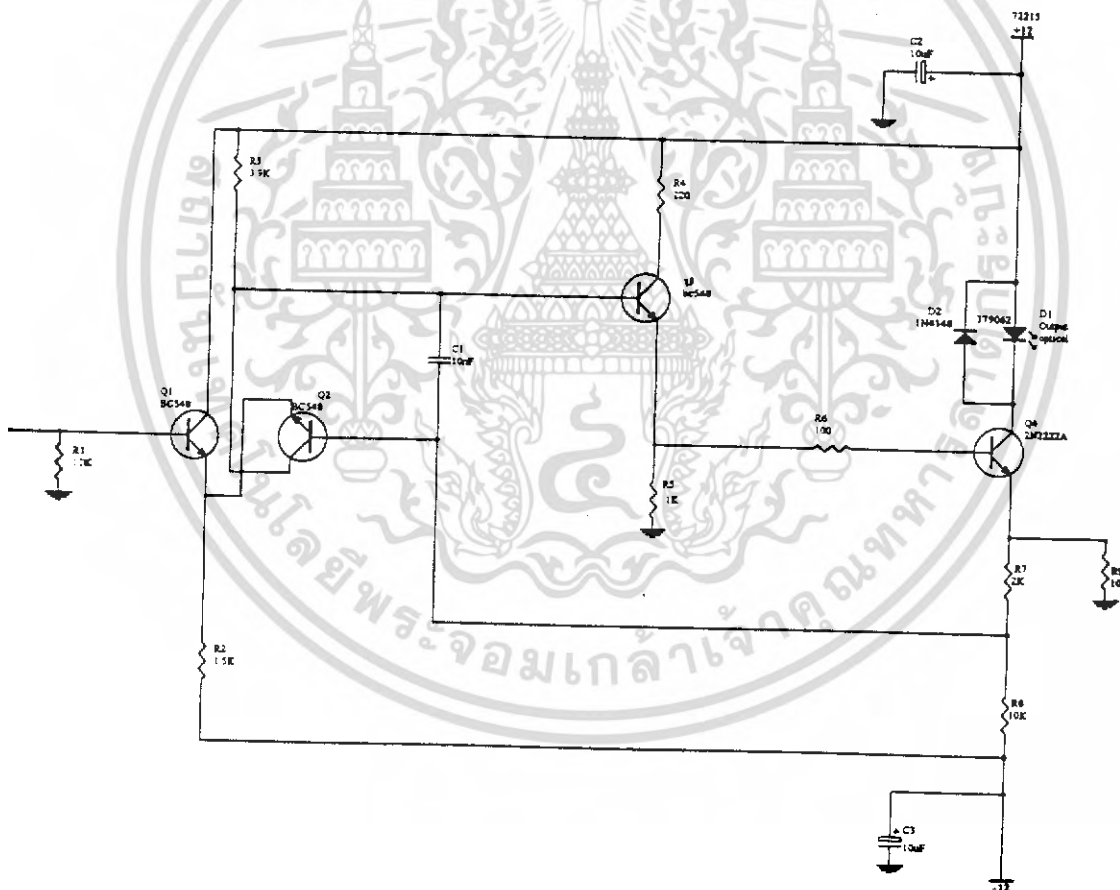
#### การทำงานของวงจร

จากรูปที่ 3.6 เป็นวงจรขยายแบบเข้าหนึ่งหรือเรียกว่าวงจรบัฟเฟอร์ (Buffer) ซึ่งจะขยายสัญญาณในอัตราขยาย (Gain) เท่ากับ 1 ( $G=1$ ) ซึ่งจะทำให้การขยายสัญญาณภาพ จากขา TDA 8305 ผ่านคาปาซิเตอร์อินพุตเข้าขาเบส (Base) ของทรานซิสเตอร์ BC548 ซึ่งมีความถี่กว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Bandwidth Frequency) 300 เมกกะเฮิร์ตซ์ เพราะฉะนั้นจะสามารถขยายสัญญาณภาพที่ถูกจำกัด คลื่นพาหะ (Carrier) ออกแล้ว โดย TDA 8305 เหลือเพียง 5.5 เมกกะเฮิร์ตซ์ และจะได้สัญญาณ ออกที่ขาอีมีตเตอร์ (Emitter) ของทรานซิสเตอร์ BC 548 สัญญาณที่ได้จะมีความชัดคือขอบของ สัญญาณจะคมชัด สัญญาณขาออกที่ได้จะป้อนเข้าสู่วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสง (E/O Converter) ต่อไป

### 3.2.6 วงจรมอดูเลตทางแสง (E/O Converter)



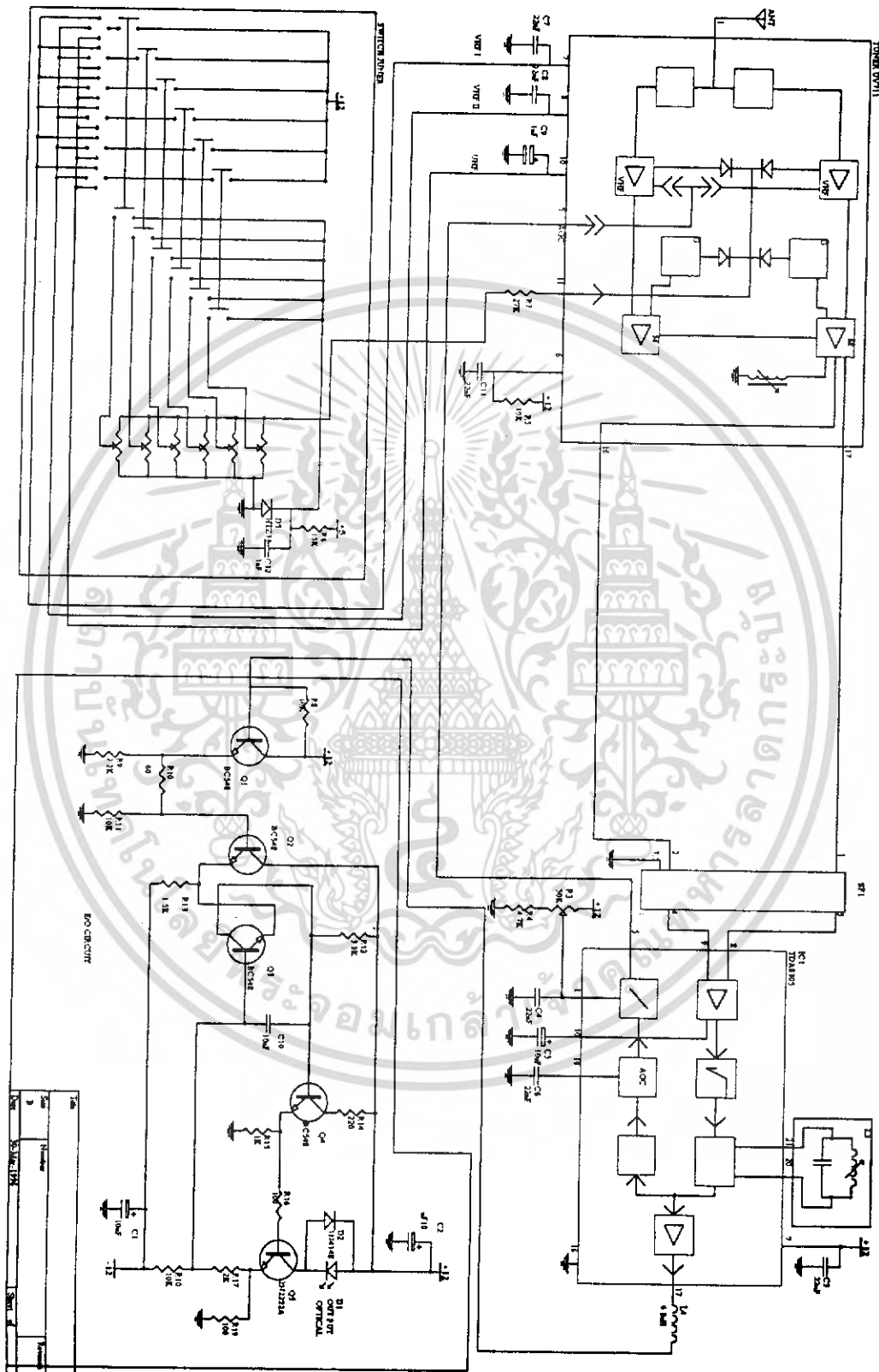
รูปที่ 3.7 วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การทำงานของวงจร

จากรูปที่ 3.7 เป็นวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง จากวงจรประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 4 ตัว ซึ่งทำหน้าที่ต่างๆดังนี้ จากรูป ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 จะต่ออยู่ในลักษณะวงจรดิฟเฟอเรนเชียล (Differential) จะทำการเปรียบเทียบระดับสัญญาณอินพุตเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 กับสัญญาณที่ถูกป้อนกลับเข้ามาจากขา อิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q4 มาซึ่งขาเบสของ Q2 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q3 นำกระแสเมื่อทรานซิสเตอร์ Q3 นำกระแสก็จะเกิดกระแส  $I_b$  ที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q4q เมื่อกระแสเบสมีค่าสูงพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q4 ซึ่งที่ขาคอลเลกเตอร์จะมี LED ต่ออยู่ในลักษณะฟอร์เวิร์ดไบอัส (Forward Bias) ดังนั้นเมื่อทรานซิสเตอร์ Q4 นำกระแสก็จะมีกระแสคอลเลกเตอร์ไหลผ่าน LED ทำให้มีแสงถูกปล่อยออกไปยังเส้นใยแสง ส่วนกระแสคอลเลกเตอร์จะสามารถกำหนดได้ โดยขึ้นอยู่กับค่าของความต้านทานที่ต่อกับขาอิมิตเตอร์ของ Q4 ลงกราวด์

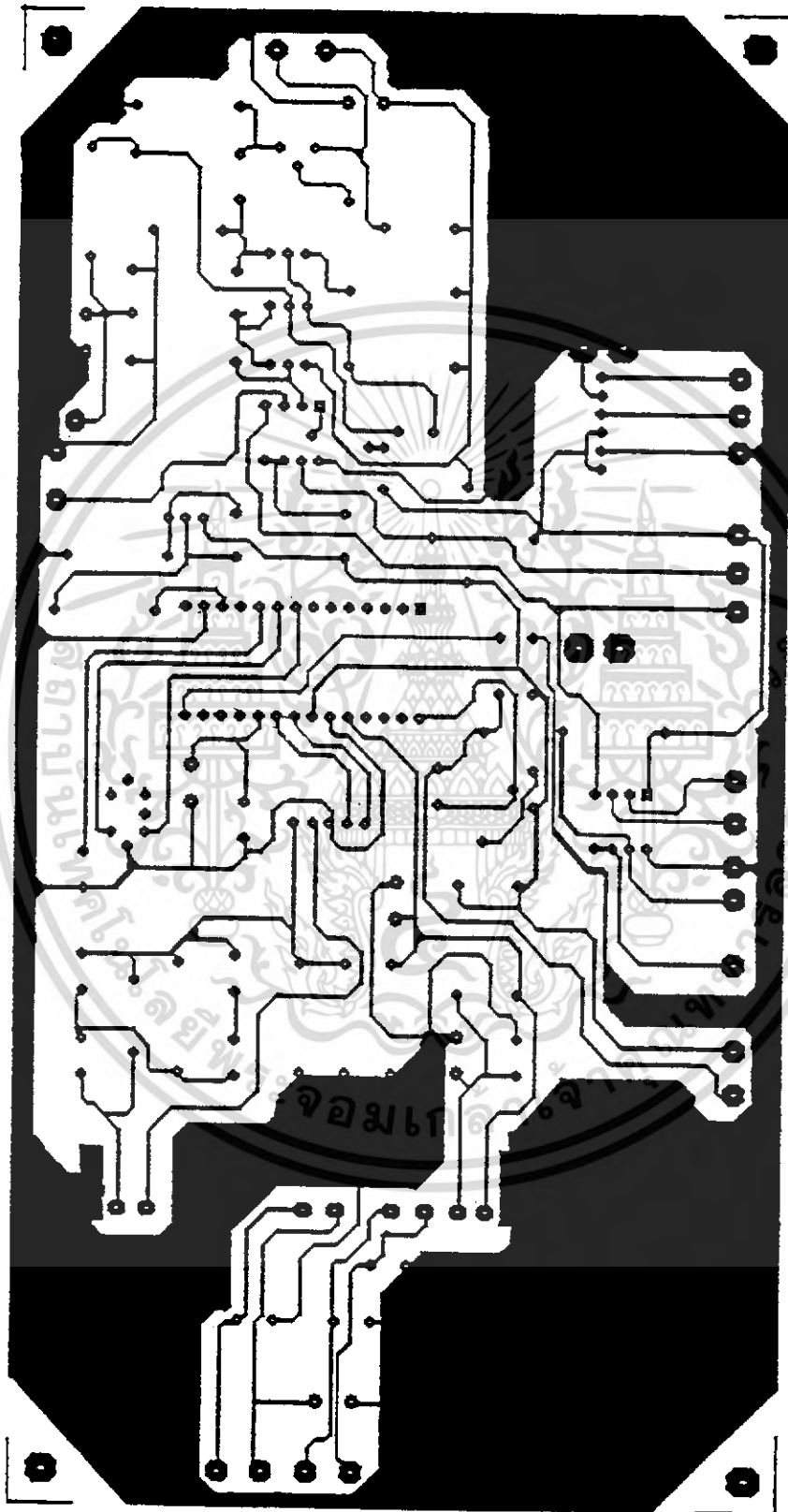
### 3.2.7 วงจรรวมด้านเครื่องส่ง



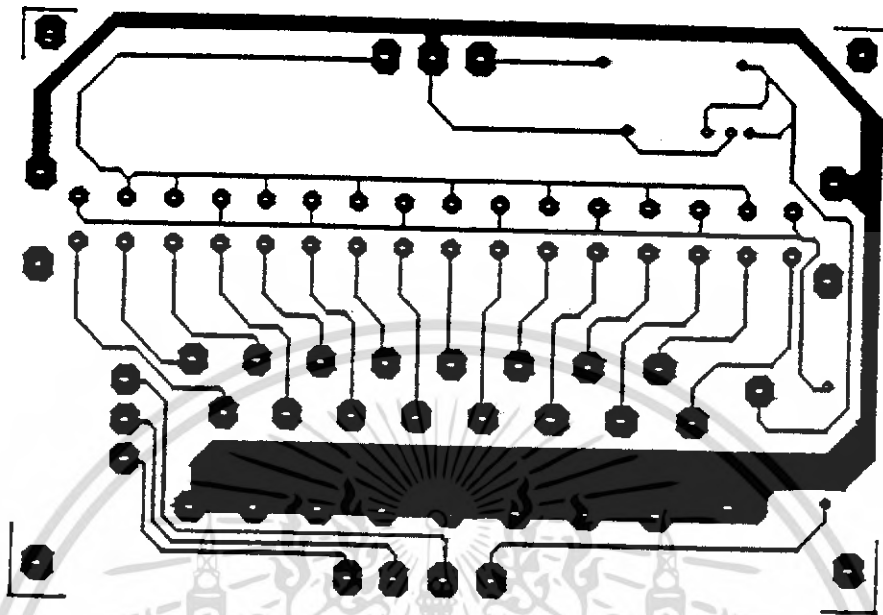
รูปที่ 3.8 วงจรของภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายปริ๊นซ์ของภาคส่ง



(ก) แสดงวงจรพิมพ์ของภาคส่งสัญญาณโทรทัศน์  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) แสดงวงจรพิมพ์ของสวิทช์จูนเนอร์

รูปที่ 3.9 วงจรพิมพ์ของภาคส่ง

### 3.2.7.1 รายการอุปกรณ์ภาคส่ง

PART	MODEL	DESCRIPTION	QUANTITY
R <sub>1</sub>	Carbon	22 k ohm	1
R <sub>2</sub> , R <sub>17</sub>	"	2 k ohm	2
R <sub>3</sub>	Potentionmeter	50 k ohm	1
R <sub>4</sub>	carbon	4.7 k ohm	1
R <sub>5</sub> , R <sub>8</sub> , R <sub>11</sub> , R <sub>18</sub>	"	10 k ohm	4
R <sub>7</sub>	"	27 k ohm	1
R <sub>9</sub>	"	22k ohm	1
R <sub>10</sub>	"	68 k ohm	1
R <sub>12</sub>	"	3.9 k ohm	1
R <sub>13</sub>	"	1.5 k ohm	1

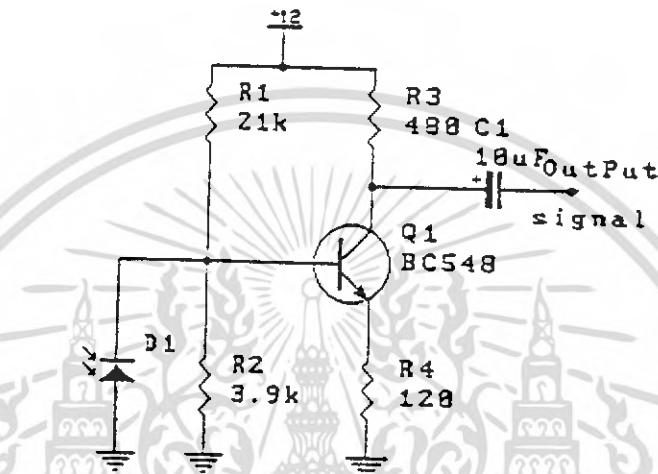
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R <sub>14</sub>	"	20 k ohm	1
R <sub>16</sub> , R <sub>19</sub>	"	100 k ohm	2
L <sub>1</sub>	Inductor	0.32 uH	1
L <sub>2</sub>	"	0.02 uH	1
L <sub>3</sub>	Inductor Variable		1
L <sub>4</sub>	Inductor	6.8 uH	1
C <sub>1</sub>	Milar	10 nF	1
C <sub>2</sub>	Ceramic	15 pF	1
C <sub>3</sub> , C <sub>4</sub> , C <sub>6</sub> , C <sub>7</sub> , C <sub>8</sub> , C <sub>11</sub>	Milar	22nF	6
C <sub>5</sub>	Electrolitics	10uF	1
C <sub>9</sub>	Ceramic	100 pF	1
C <sub>13</sub> , C <sub>14</sub>	Electrolitics	10 uF	2
D <sub>1</sub>	Silicon	BA 484	1
D <sub>3</sub>	"	IN 4148	1
D <sub>4</sub>	LED	HFE 4070	1
Q <sub>1</sub> , Q <sub>2</sub> , Q <sub>3</sub> , Q <sub>4</sub>	NPN	BC 548	4
Q <sub>5</sub>	NPN	2N 2222A	1
TUNER	UV 711		1
IC <sub>1</sub>	TDA 8305		1
IC <sub>2</sub>	Ceramic Filter	OFWB 1950	1
Switch Tuner			1
Sector band switch			1
Preset			1
Switch Channal			1
R <sub>6</sub>	Carbon	15 k ohm	1
C <sub>12</sub>	Ceramic	1nF	1
D <sub>2</sub>	HTZ 33		1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วงจรภาครับ

#### 3.3.1 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นไฟฟ้า (O/E Converter)



รูปที่ 3.10 วงจรเปลี่ยนแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

#### การทำงานของวงจร

จากรูปเป็นวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เมื่อด้านส่งๆสัญญาณแสงเข้ามาในเส้นใยแสง โดย LED ทางด้านรับก็จะรับสัญญาณแสงที่ส่งเข้ามาโดยใช้โฟโตไดโอด (Photo Diode) จากรูปเมื่อมีแสงเข้ามาขังโฟโตไดโอดก็จะทำให้ค่าความต้านทานภายในของโฟโตไดโอดลดลงซึ่งสามารถทำให้กระแสไหลผ่านตัวโฟโตไดโอดได้ ดังนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลมาไบอัสแก่ทรานซิสเตอร์ตามสภาวะของแสงที่เข้ามา เมื่อกระแสที่ไบอัสให้แก่ทรานซิสเตอร์ จะมีลักษณะเหมือนทางด้านส่งทุกประการ สัญญาณขาออกจะผ่านคาปาซิเตอร์ไปยังวงจรขยาย 2 สเตท (State) ต่อไป

#### การออกแบบ

1. กำหนดเบอร์ทรานซิสเตอร์ที่เหมาะสมและเลือกจุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ จากกราฟคุณสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความถี่ของสัญญาณภาพมีค่า แบนด์วิธ 5.5 Mhz กำหนดใช้ทรานซิสเตอร์ เบอร์ BC 548 ซึ่งมี Bandwidth Frequency 300 Mhz ,  $h_{fe}=333$ ,  $V_{ce}=40$  V  $I_{c_{max}} = 600$  mA พิจารณาจากกราฟคุณสมบัติจะเลือกใช้จุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ BC 548 ที่  $V_{cc} = 12$  V จะได้

$I_c = 10\text{mA} (I_c = I_E)$  ,  $I_B = 30$   $\mu\text{A}$  ,  $V_{CE} = V_{cc}/2 = 6\text{V}$

2. โดย  $V_E$  กำหนดให้มีค่า  $1/10$   $V_{cc}$

$V_E = 1.2$  V

3. เพราะฉะนั้นคำนวณหาค่าความต้านทาน  $R_E$

$R_E = V_E / I_E = 120$  โอห์ม

4. คำนวณหาค่าความต้านทาน  $R_C$

$R_C = (V_{cc} - V_{CE} - V_E) / I_c = 480$  โอห์ม

5. คำนวณหาค่าความต้านทาน  $R_{B2}$

$R_{B2} \leq 1/10 (\beta R_B) = 3.996$  กิโลโอห์ม

$\therefore R_{B2} \approx 3.9$  กิโลโอห์ม

6. คำนวณหาค่าความต้านทาน  $R_{B1}$

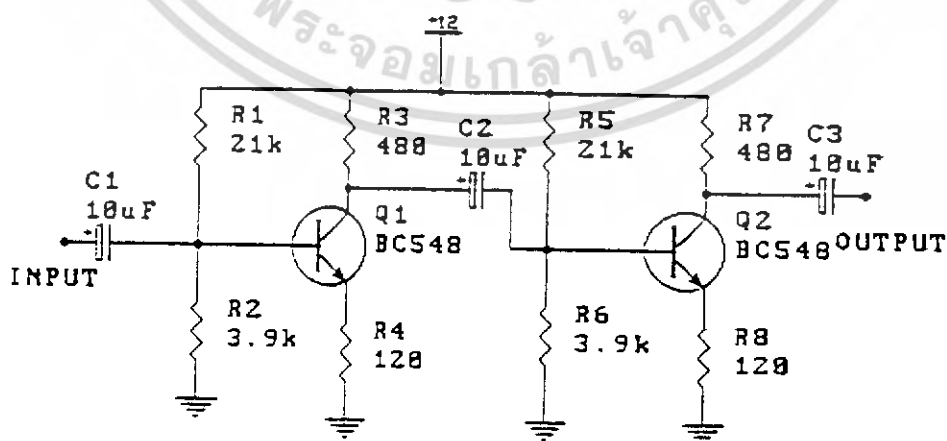
เมื่อ  $V_{B1} = V_E + V_{BE} = 1.9$  V

หา  $R_{B1}$  จากสูตร  $V_B = (R_{B2} / (R_{B1} + R_{B2})) V_{cc}$

$\therefore R_{B1} = 21$  กิโลโอห์ม

นำค่าความต้านทานค่าต่างๆที่คำนวณได้ไปแทนลงในวงจร รูปที่ 3.11

3.3.2 วงจรขยาย

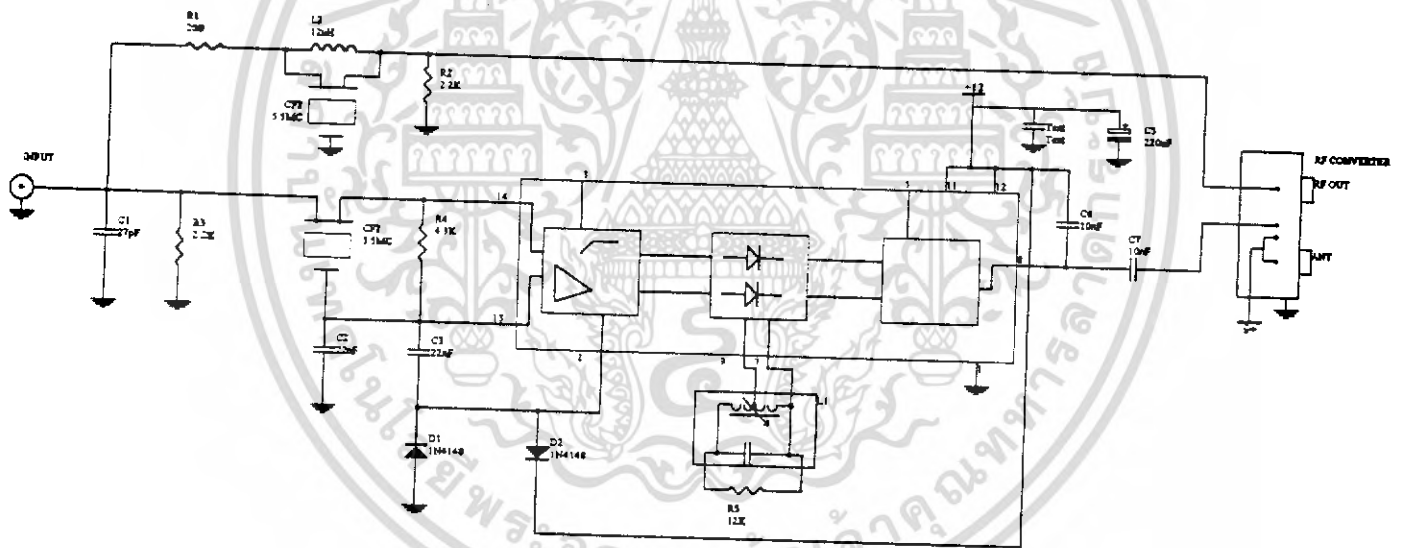


รูปที่ 3.11 วงจรขยาย 2 สเตต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจร

จากรูปเป็นวงจรขยาย 2 สเตท สัญญาณที่ได้จากวงจรเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า ก็จะได้สัญญาณภาพ แล้วทำการขยายโดยวงจรขยายที่ได้ออกแบบให้มีการทำงานที่ถูกต้อง เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณ ไฟฟ้ามีค่าน้อยมากๆ แม้จะผ่านวงจรทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ในลักษณะขยายครั้งหนึ่งแล้วก็ตาม ดังรูปที่ 3.11 ดังนั้นจึงต้องนำเอาสัญญาณนี้มาขยายให้สูงขึ้นเพื่อให้เพียงพอจะนำไปดีเทคเตอร์ (Detector) ต่อไปได้ จากรูปเมื่อสัญญาณไฟฟ้าเข้ามาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานตามที่ออกแบบไว้ สัญญาณก็จะถูกขยายขึ้นต่อจากนั้นก็ให้นำเอาสัญญาณที่ได้จากขอลโคเลเตอร์ของทรานซิสเตอร์ไปป้อนให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q2 เพื่อทำการขยายอีกครั้งหนึ่ง เมื่อสัญญาณขาออกที่ได้จากการขยายสเตทที่ 2 มีค่าสูงพอความต้องการแล้วก็จะนำไปป้อนให้กับวงจรดีเทคเตอร์ และอาร์เอฟคอนเวอร์เตอร์ ต่อไป



รูปที่ 3.12 วงจรแยกสัญญาณภาพและเสียงและวงจรผสมสัญญาณภาพและเสียง

3.3.3 ภาคแยกสัญญาณเสียง (Detector Audio Signal)

สัญญาณไอเอฟเสียงที่ได้จาก หน่วยคิมอคูลเลเตอร์สัญญาณภาพปรากฏที่ขาโคเลเตอร์ของทรานซิสเตอร์ (Q3) แล้วผ่านคาปาซิเตอร์ (C) ค่า 10uF ของภาคขยายสัญญาณรวมที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณแสงเป็นไฟฟ้า มาผ่านเซรามิกฟิลเตอร์ CF<sub>2</sub> มายังขา 14 ของไอซี TBA 120S

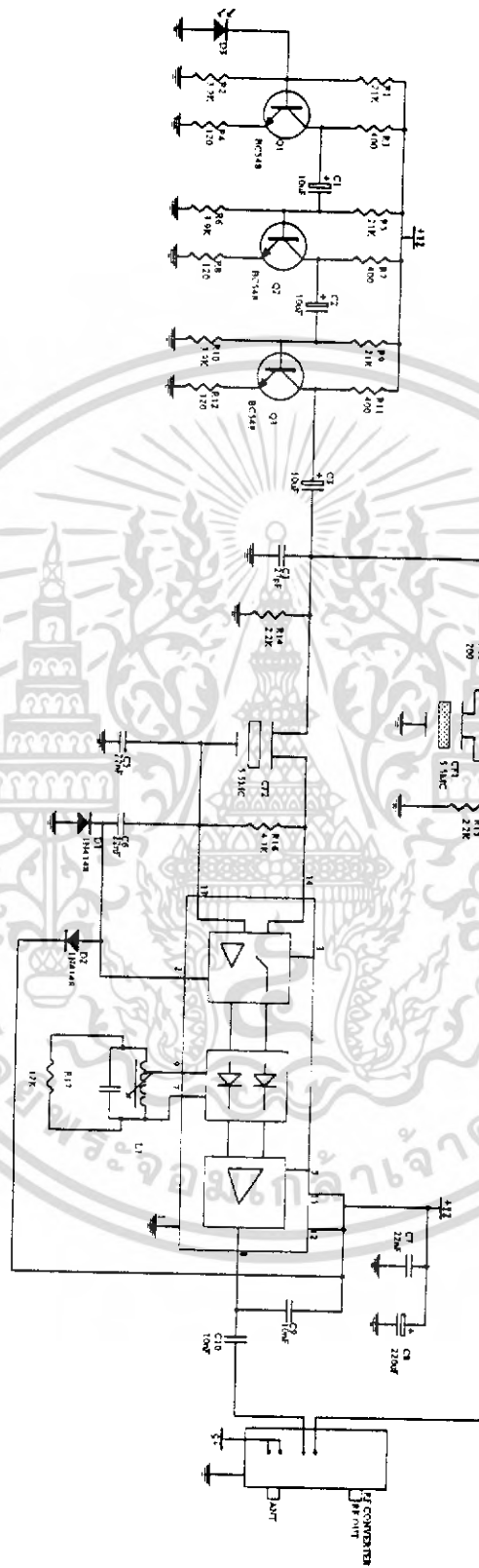
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(IC<sub>1</sub>) ตัวเซรามิกฟิลเตอร์ซึ่งได้จูนไว้ที่ความถี่ปานกลางของเสียง ( Sound Intermediate Frequency) คือ 5.5 Mhz เท่านั้นผ่านไปได้ สัญญาณจะป้อนเข้าขา 14 มายังภาคขยายภายใน และสัญญาณนี้ก็จะผ่านหน่วยลิมิตเตอร์แบบสมมาตรคือ จะจำกัดหรือขลิบยอดทั้งบนและล่างของสัญญาณออกเท่าๆกัน สัญญาณเอเอ็มที่แปลกล้อมเข้ามาก็จะถูกขจัดทิ้งไปเมื่อสัญญาณได้ถูกขยายแล้วจะป้อนไปยังหน่วยบาลานซ์ดีมอดูเลเตอร์ สัญญาณอ้างอิงดีมอดูเลเตอร์นี้ได้จาก คอยล์ L<sub>1</sub> เข้ามาขา 7 และขา 9 ของไอซี (IC<sub>1</sub>) TBA 120S L<sub>1</sub> นี้ จะจูนให้ตรงกับความถี่ปานกลางของเสียง (IF Sound ) หลังจากหน่วยดีมอดูเลเตอร์ หรือการดีเทคสัญญาณไอเอฟเสียงแล้วจะได้สัญญาณเสียงออกมาส่งไปยังขา 2 ของ RF Converter เพื่อนำไปผสมรวมกับสัญญาณภาพโดยใช้ ความถี่คลื่นพาห์ของช่อง 3

### 3.3.4 ภาคแยกสัญญาณภาพ (Detector Video Signal)

สัญญาณไอเอฟที่ผ่านขา 17 ของไอซี TDA 8305 (ทางด้านส่ง) จะถูกส่งมายังด้านรับปรากฏที่ขาคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ (Q<sub>3</sub>) และผ่านคาปาซิเตอร์ค่า 10 uF จะประกอบด้วยสัญญาณภาพ, สัญญาณเสียง และซิงค์ ผ่านความต้านทาน R<sub>1</sub> ผ่าน L<sub>2</sub> และเซรามิกฟิลเตอร์ CF<sub>1</sub> จะทำหน้าที่กำจัดสัญญาณไอเอฟเสียงออกไป หลังจากนั้นจะเหลือเพียงสัญญาณภาพและซิงค์เท่านั้นและส่งไปยังขา 1 ของ RF Converter เพื่อผสมกับสัญญาณไอเอฟเสียงต่อไป

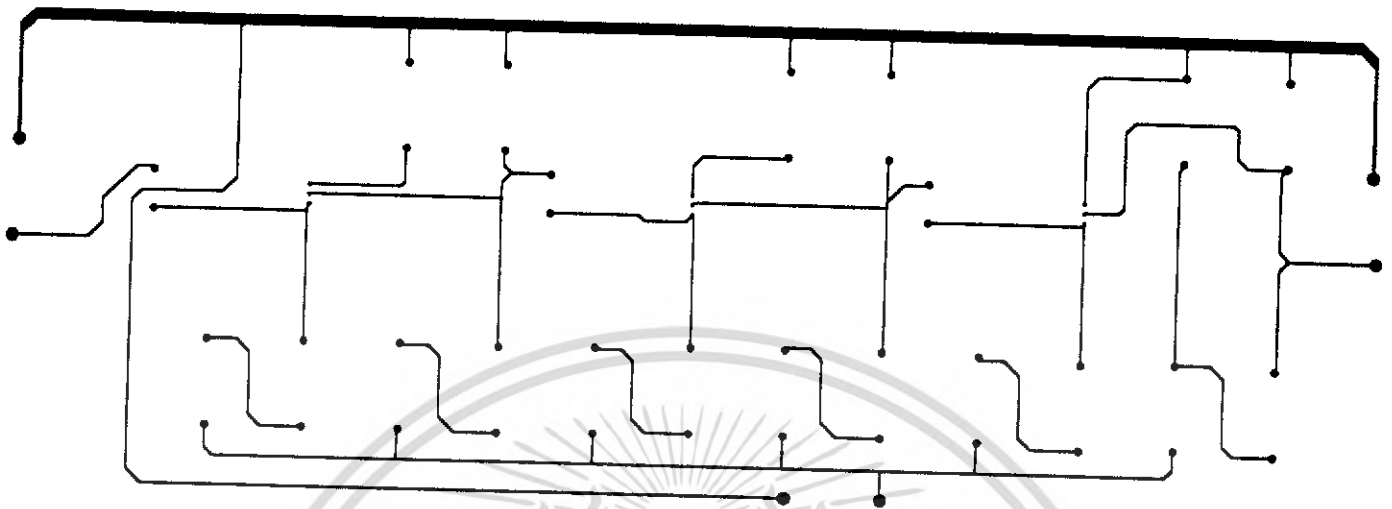
3.3.5 วงจรรวมทางด้านเครื่องรับ



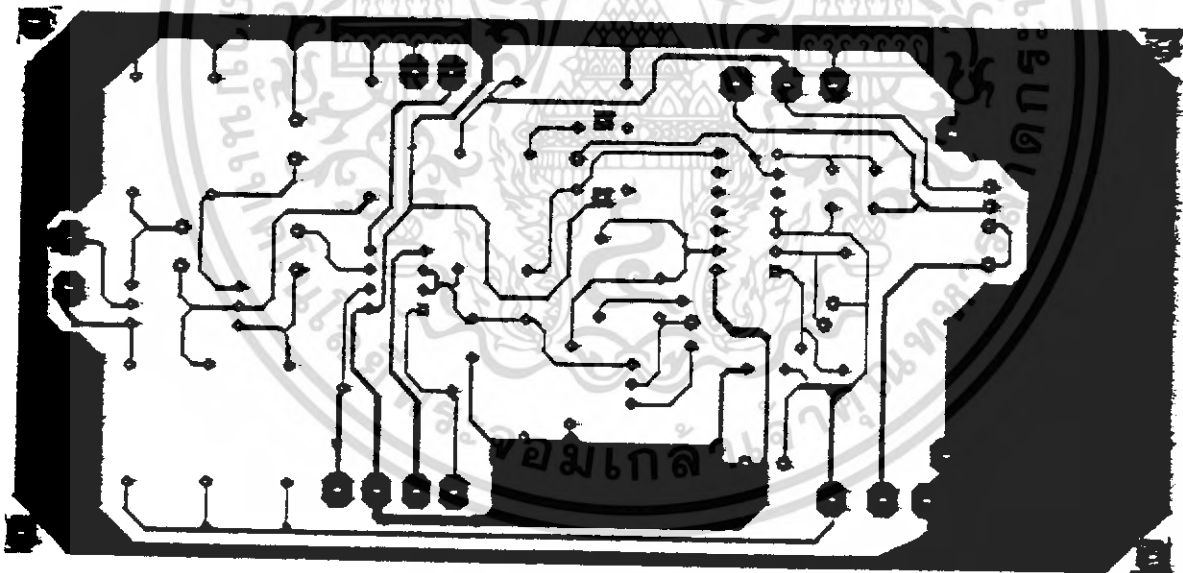
รูปที่ 3.13 วงจรรวมของภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายปรินท์ของชุดภากรับ



ก) แสดงวงจรพิมพ์ของวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า



ข) แสดงวงจรพิมพ์ของภาคแยกสัญญาณโทรทัศน์

รูปที่ 3.14 วงจรพิมพ์ของภากรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

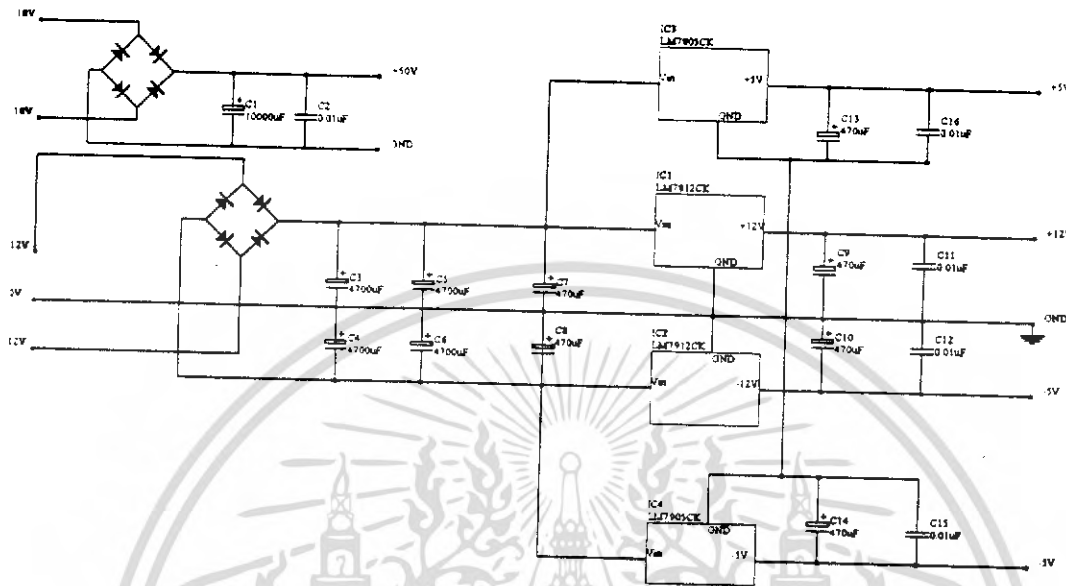
### 3.3.5.1 รายการอุปกรณ์ภาครับ

#### วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

Part	Model	Description	Quantity
$R_1, R_5, R_9$	Carbon	21 kohm	3
$R_2, R_6, R_{10}$	"	3.9 khom	3
$R_3, R_7, R_{11}$	"	480 ohm	3
$R_4, R_8, R_{12}$	"	120 ohm	3
$C_1, C_2, C_3$	Electrolitics	100 uF	3
$D_3$	Poto Diode		1
$Q_1, Q_2, Q_3$	High Fre. Amp	BC548	3
วงจรแยกสัญญาณโทรทัศน์			
$R_{13}$	Carbon	200 ohm	1
$R_{14}, R_{15}$	"	2.2 k ohm	2
$R_{16}$	"	4.3 k ohm	1
$R_{17}$	"	12 k ohm	1
$C_4$	Ceramic	27 pF	1
$C_5, C_6, C_7$	Milar	22 nF	3
$C_8$	Electrolitics	220 uF	1
$C_9, C_{10}$	Milar	10 nF	2
$L_1$	กระป๋องจูน		1
$D_1, D_2$	Silicon	1N 4148	2
IC	Balance mod	TBA 1203	1
RF Converter			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 วงจรจ่ายไฟ (Power Supply)



รูปที่ 3.15 วงจรจ่ายไฟ

#### การทำงานของวงจร

จากรูปแสดงวงจรจ่ายไฟซึ่งสามารถแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่จ่ายให้กับสวิทช์จูนเนอร์ (Switch Tune) จะมีระดับแรงดันเท่ากับ +50 โวลต์ ส่วนที่สองจะใช้ในการจ่ายให้กับที่จุดต่างๆของวงจรทั้งหมด จะมีทั้งหมด 12 โวลต์(บวก,ลบ) จากวงจรในส่วนที่หนึ่งจะนำเอาระดับแรงไฟจากหม้อแปลงขนาด 36 โวลต์ ป้อนให้กับไดโอด เร็คติไฟดิซึ่ 50 โวลต์ เรียบขึ้นและนำไปใช้งานต่อไป

ส่วนที่สองเป็นวงจรจ่ายไฟ +5 โวลต์, -5 โวลต์, +12 โวลต์, -12 โวลต์ ตามลำดับจากวงจรจะนำเอาแรงดันไฟเอซี 12-0-12 จากหม้อแปลงป้อนให้กับไดโอดเร็คติไฟร์แล้วผ่านคาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์จากนั้นก็นำเอาไอซีเร็คกูเลเตอร์ (IC Regulator) เบอร์ LM 7805, LM 7905, LM7812 และ LM 7912 เพื่อที่จะจัดระดับแรงไฟให้ได้แรงดันไฟดีซี +5 โวลต์, -5 โวลต์, +12 โวลต์, -12 โวลต์ ตามลำดับ และจะสามารถนำเอาไปจ่ายยังจุดต่างๆของวงจรต่อไปได้

### 3.4.1 รายการอุปกรณ์ของภาคจ่ายไฟ

Part	Model	Description	Quantity
D <sub>2</sub>	Bridg	6 A	1
C <sub>3</sub> ,C <sub>4</sub> ,C <sub>5</sub> ,C <sub>6</sub>	Electrolitics	47000 uF	4
C <sub>7</sub> ,C <sub>8</sub> ,C <sub>9</sub> ,C <sub>10</sub> ,C <sub>13</sub> ,C <sub>14</sub>	"	470 uF	6
C <sub>11</sub> ,C <sub>12</sub> ,C <sub>15</sub> ,C <sub>16</sub>	Milar	0.01 uF	4
IC <sub>1</sub>	Recgulator	LM 7812 CK	1
IC <sub>2</sub>	Recgulator	LM 7912 CK	1
IC <sub>3</sub>	Recgulator	LM 7805 CK	1
IC <sub>4</sub>	Recgulator	LM 7905 CK	1
แรงไฟที่ใช้ในการจูน			
D <sub>1</sub>	Bridg	6 A	1
C <sub>1</sub>	Electrolitics	10,000 uF	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 ลักษณะการใช้งาน

ระบบที่ใช้ในการรับ-ส่งสัญญาณภาพโดยผ่านเส้นใยแสงนี้จะแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นเครื่องส่ง, ส่วนที่เป็นสายนำสัญญาณ และส่วนที่เป็นเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ ซึ่งส่วนด้านเครื่องส่งจะประกอบด้วย ส่วนที่เป็นภาคสร้างสัญญาณโทรทัศน์ และภาคการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง และส่วนที่แยกสัญญาณโทรทัศน์กับวงจรผสมสัญญาณโทรทัศน์ ซึ่งส่วนด้านเครื่องส่งจะประกอบด้วย ส่วนที่เป็นภาคสร้างสัญญาณโทรทัศน์ และภาคการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง ส่วนทางด้านเครื่องรับประกอบด้วยส่วนที่เป็นวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และส่วนที่แยกสัญญาณโทรทัศน์กับวงจรผสมสัญญาณโทรทัศน์ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.1 และส่วนที่สามจะเป็นส่วนที่เชื่อมระหว่างเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ ซึ่งในโครงการนี้จะใช้ได้ทั้งสายนำสัญญาณแกนร่วม และเส้นใยแสง



รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบในการรับ-ส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสง

เครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสงนี้ จะสามารถใช้งานดังรูปที่ 4.1 ซึ่งจะนำเอาสัญญาณภายนอกมาป้อนให้กับทางเครื่องส่ง เช่น สัญญาณจากสายอากาศโทรทัศน์ และจากเครื่องเล่นวีดีโอเทปโดยตรง แล้ววงจรสร้างสัญญาณโทรทัศน์ในเครื่องส่งก็จะทำกระบวนการกำจัดสัญญาณพาหะ ซึ่งมีความถี่เท่ากับ 38.9 เม็กกะเฮริซ จากนั้นก็จะนำเอาสัญญาณภาพ , เสียง ซึ่งมีแบนด์วิดท์ 5.5 เม็กกะเฮริซ แล้วนำสัญญาณภาพและเสียงที่ได้นั้นไปเปลี่ยนเป็นแสง กล่าวคือการนำเอาสัญญาณภาพและเสียงไปผสมกับความถี่ของแสงเพราะฉะนั้นอาจกล่าวได้ว่า ความถี่ของแสงเปลี่ยนเป็นคลื่นพาหะนั้นเอง เมื่อได้แสงที่ผลิตมาจาก แอลอีดี แล้วทำการส่งไปในเส้นใยแสง ส่วนทางด้านรับก็จะใช้ร่วมกับวงจรทรานซิสเตอร์ จะได้สัญญาณภาพและเสียงออกมาเหมือนกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

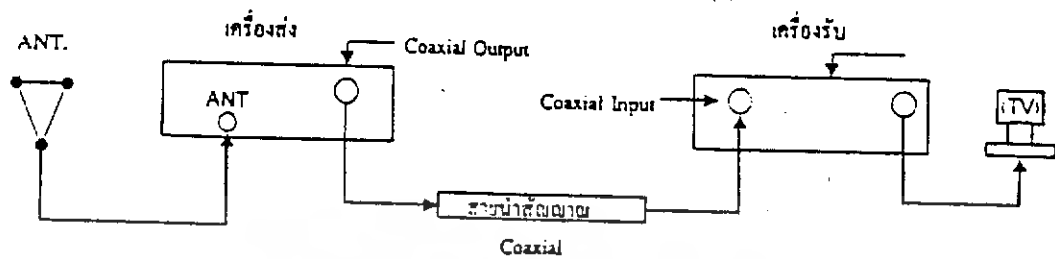
ด้านส่ง และนำสัญญาณที่ได้ขึ้นไปเข้าสู่ภาคแยกสัญญาณภาพและเสียงออกจากกัน จากนั้นก็ทำการรวมสัญญาณภาพและเสียงเข้าด้วยกันโดยใช้วงจรอาร์เอฟคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้สัญญาณโทรทัศน์ที่มีคลื่น พาหะผสมออกมาด้วยเหมือนสัญญาณ ที่เข้าทางด้านเครื่องส่งทุกประการ จากนั้นจะสามารถนำไปต่อกับเครื่องรับโทรทัศน์ได้โดยตรงและอีกระบบหนึ่ง เครื่องส่งและรับสามารถใช้สายแกนร่วมได้ โดยไม่ต้องทำการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสง โดยส่งเข้าไปยังภาคดีเทคเตอร์ทางด้านเครื่องรับโดยสายแกนร่วมโดยตรงซึ่งผลเหมือนกับใช้เส้นใยแสงในการเชื่อมต่อ ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดของการเชื่อมต่อทั้งสองแบบต่อไปในผลการทดลอง



รูปที่ 4.2 แสดงการเชื่อมต่อในการใช้งานจริงของเครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสง และสัญญาณภาพที่รับได้

#### 4.2 การทดสอบโดยป้อนสัญญาณจากสายอากาศ ส่งผ่านสายแกนร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การต่อเครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสงโดยใช้สายแกนร่วมต่อกับสายอากาศ



รูปที่ 4.4 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ออสซิลโลสโคป ที่จุดทดสอบของเครื่องส่ง

ทำการต่อเครื่องส่งที่ใช้ทดสอบเข้ากับเครื่องรับ โดยใช้สายนำสัญญาณแกนร่วมเป็นตัว  
เชื่อมระหว่างเครื่องทั้งสอง (หรือใช้สายนำสัญญาณแกนร่วมเป็นสายนำสัญญาณโทรทัศน์) ดังรูปที่  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดนำไปใช้โดยไม่มีการ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

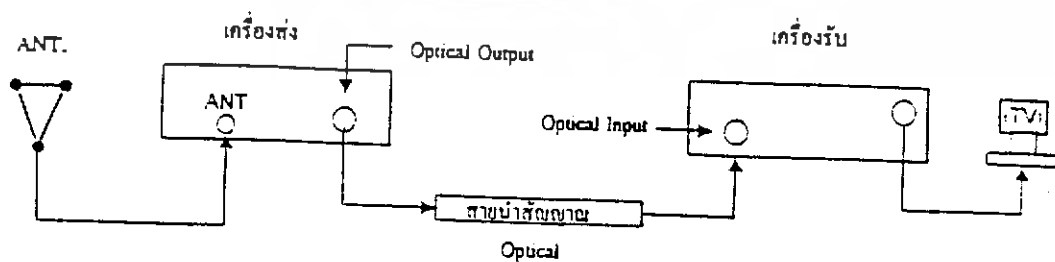
4.2 เมื่อต่อตามรูปแล้วทำการจ่ายสัญญาณจากสายอากาศเข้าไป แล้วจึงเปิดเครื่องทั้งด้านส่งและด้านรับ สังเกตสัญญาณที่ได้จากจอโทรทัศน์ถ้าไม่ชัดเจนแล้วให้ทำการเลือกคลื่น จากสวิทช์จนเพื่อให้สัญญาณชัดเจน เมื่อสัญญาณชัดเจนแล้วให้นำสายสโคปวัดสัญญาณที่จุดตรวจสอบ ที่เครื่องส่งจะได้สัญญาณที่ถูกขจัดสัญญาณพาหะออกแล้ว

ต่อจากนั้นทำการตรวจสอบสัญญาณโทรทัศน์ที่รับได้ทางด้านเครื่องรับ ที่จุดทดสอบที่ 1 จะได้สัญญาณโทรทัศน์ดังรูป



รูปที่ 4.5 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ออสซิลโลสโคปที่จุดทดสอบของเครื่องรับ

4.3 ทดสอบโดยป้อนสัญญาณจากสายอากาศ ส่งผ่านเส้นใยแสง



รูปที่ 4.6 การต่อเครื่องส่งและรับโดยใช้เส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อผู้ยู เตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 สัญญาณภาพที่ได้จากการวัดคร่อม LED

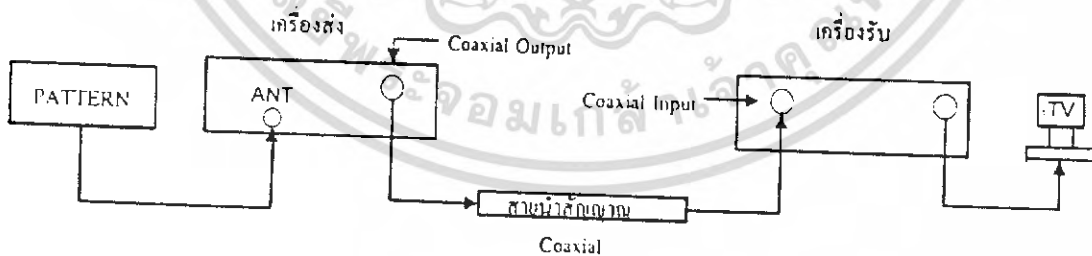
ทำการต่อเครื่องส่งที่จะใช้ทดสอบเข้ากับเครื่องรับ โดยใช้เส้นใยแสงเป็นตัวเชื่อมระหว่างเครื่องทั้งสอง (หรือใช้เส้นใยแสงเป็นสายนำสัญญาณโทรทัศน) ดังรูปที่ 4.6 เมื่อต่อตามรูปแล้วทำการจ่ายสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณโทรทัศนเข้าไปแล้วทำการเปิดสวิทซ์ให้กับแหล่งจ่ายไฟให้กับเครื่องส่งและเครื่องรับ สังเกตสัญญาณที่ได้จากจอโทรทัศน ถ้าไม่ชัดเจนให้ทำการเลือกคลื่นจากสวิทซ์จน เพื่อให้สัญญาณชัดเจน เมื่อสัญญาณชัดเจนแล้วให้นำสายสโคปวัดสัญญาณที่คร่อมแอลอีดีที่ทำหน้าทีเป็นตัวส่งจะได้สัญญาณภาพที่ส่งออกไปจริงๆดังแสดงในรูปที่ 4.7

ต่อจากนั้นทำการตรวจสอบสัญญาณโทรทัศนที่รับได้ทางด้านเครื่องรับ ที่จุดทดสอบทางด้านเครื่องรับ



รูปที่ 4.8 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ข้อสซิโลสโคปที่จุดทดสอบของเครื่องรับ

#### 4.4 ทดสอบโดยป้อนสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณภาพ

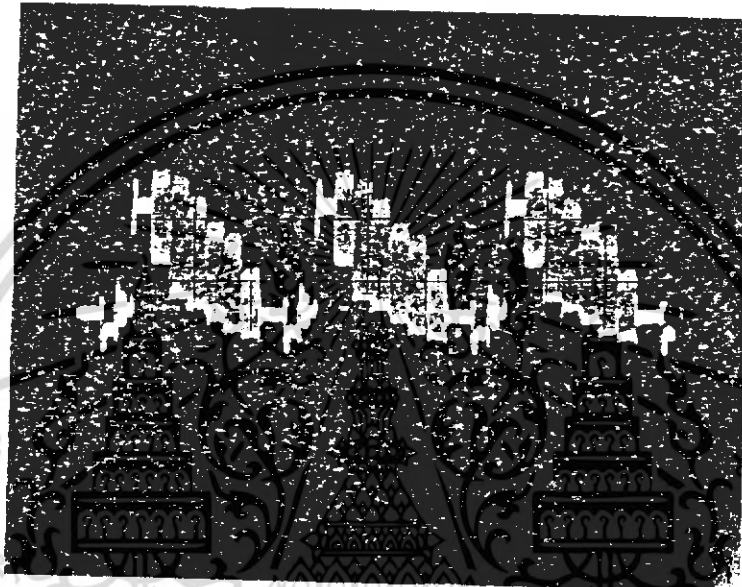


รูปที่ 4.9 การต่อเครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสงโดยใช้สายนำสัญญาณแแกนร่วม

ทำการต่อเครื่องส่งที่จะใช้ทดสอบเข้ากับเครื่องรับโดยใช้สายนำสัญญาณแแกนร่วมเป็นตัวเชื่อมระหว่างเครื่องทั้งสอง ดังรูปที่ 4.9 เมื่อทำตามรูปแล้วทำการจ่ายสัญญาณจากเครื่องกำเนิดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณภาพเข้าไป จึงเปิดเครื่องทั้งด้านส่งและรับ สังเกตสัญญาณที่ได้จากจอโทรทัศน์ถ้าไม่ชัดเจนให้ทำการเลือกคลื่น จากสวิทช์จูน เพื่อให้สัญญาณชัดเจน เมื่อสัญญาณชัดเจนแล้วให้นำสายสโคปวัดสัญญาณที่จุดตรวจสอบที่เครื่องส่งจะได้สัญญาณภาพพาหะออกแล้ว

ต่อจากนั้นทำการตรวจสอบสัญญาณภาพที่รับได้ทางด้านเครื่องรับที่จุดทดสอบทางด้านเครื่องรับดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ออสซิลโลสโคป ที่จุดทดสอบของเครื่องส่ง



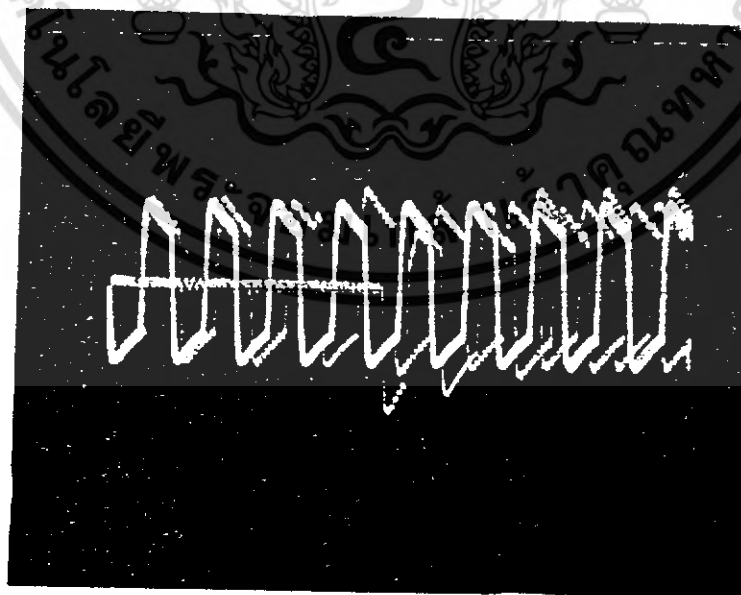
รูปที่ 4.11 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ออสซิลโลสโคปที่จุดทดสอบทางด้านเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยูเซ่เห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 เป็นรูปสัญญาณภาพรวม ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณภาพ สัญญาณสี และสัญญาณเสียง แบบดีวีดี 5.5 เมกกะเฮิรตซ์ เราสามารถจะตรวจสอบการแยกออกของสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงได้โดยใช้ออสซิลโลสโคปตรวจวัดที่จุดทางด้านเครื่องรับ



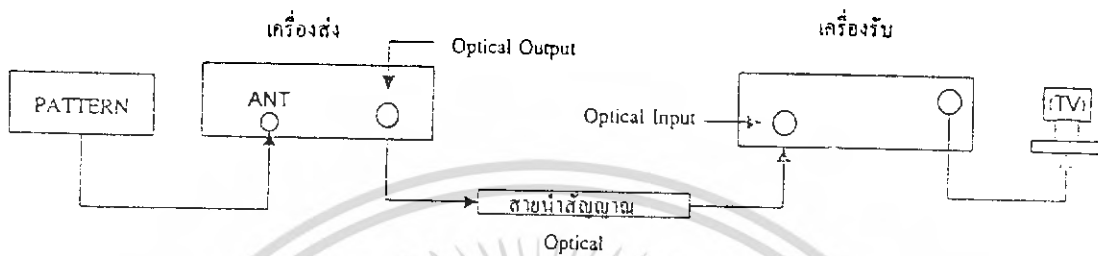
รูปที่ 4.12 สัญญาณที่ได้จากการแยกภาพและสี



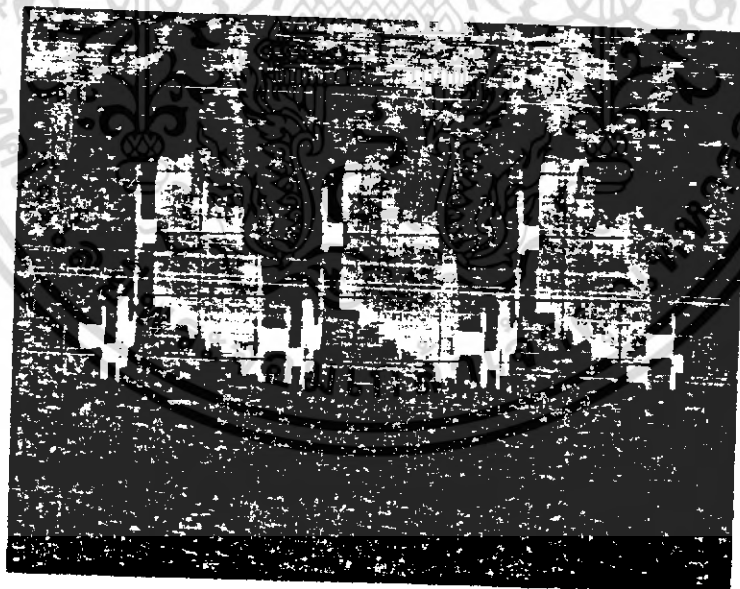
รูปที่ 4.13 สัญญาณที่ได้จากการแยกสัญญาณเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 ทดสอบโดยป้อนสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณภาพ



รูปที่ 4.14 การต่อเครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสงโดยผ่านเส้นใยแสง

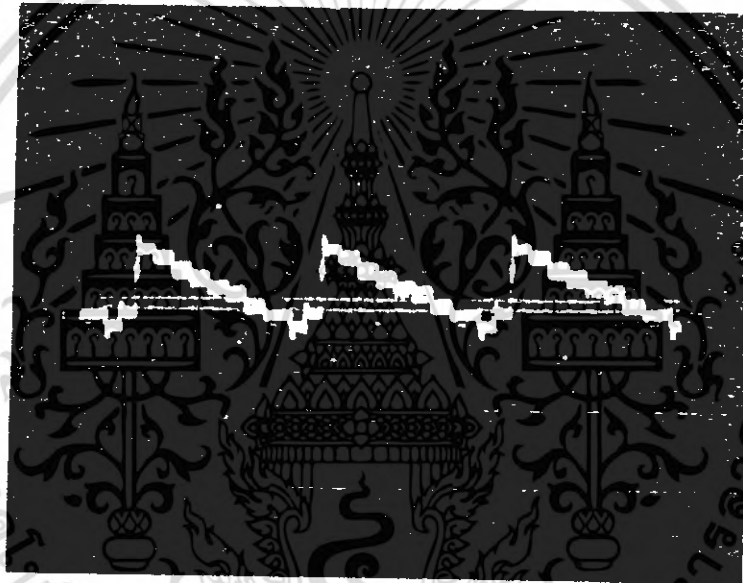


รูปที่ 4.15 สัญญาณภาพที่ได้จากการวัดคร่อม LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

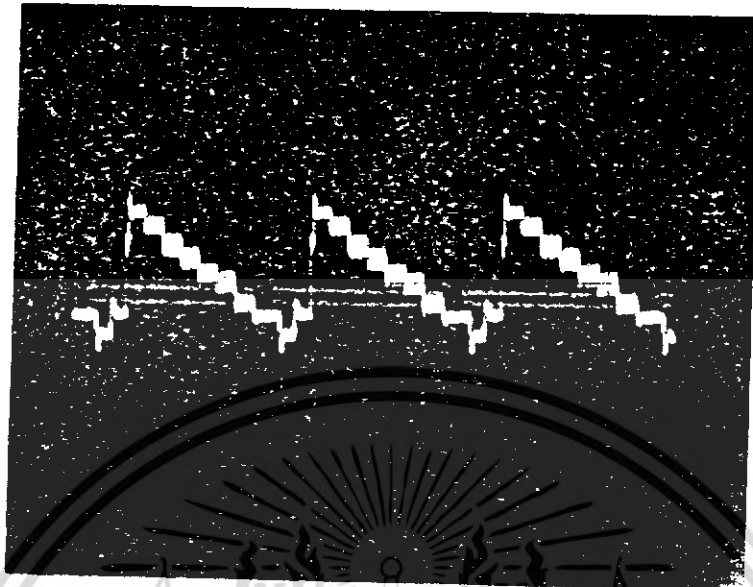
ทำการต่อเครื่องส่งที่จะใช้ทดสอบเข้ากับเครื่องรับโดยใช้เส้นใยแสงเป็นตัวเชื่อมระหว่างเครื่องทั้งสอง ดังรูปที่ 4.14 เมื่อต่อตามรูปแล้วทำการจ่ายสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณภาพเข้าไป แล้วทำการเปิดสวิตช์ให้กับแหล่งจ่ายไฟให้กับเครื่องส่งและเครื่องรับ สังเกตสัญญาณที่ได้จากจอโทรทัศน์ ถ้าไม่ชัดเจนให้ทำการเลือกคลื่น จากสวิตช์จูน เพื่อให้สัญญาณชัดเจน เมื่อสัญญาณชัดเจนแล้วให้นำสายสโคปวัดสัญญาณที่คร่อม LED ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งจะได้สัญญาณภาพที่ส่งออกไปจริงๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.15

ต่อจากนั้นทำการตรวจสอบสัญญาณภาพที่รับได้ทางด้านเครื่องรับดังรูปที่ 4.16

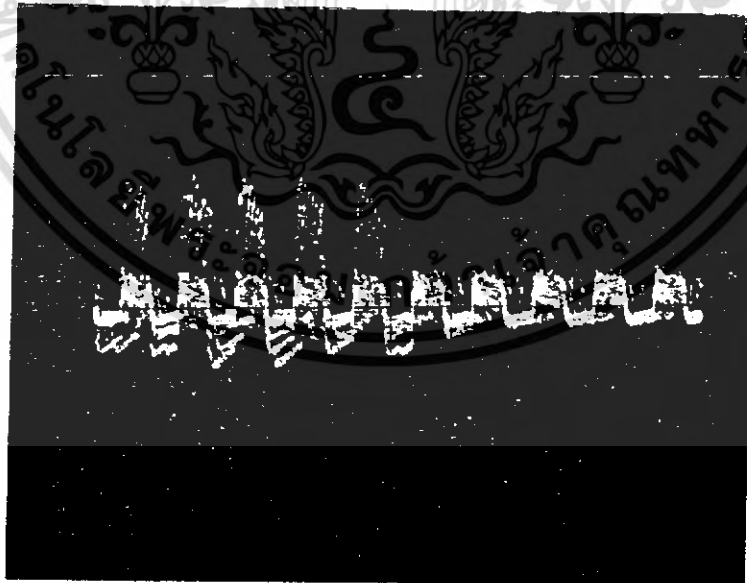


รูปที่ 4.16 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ออสซิลโลสโคปที่จุดทดสอบของเครื่องรับ

จากรูปที่ 4.16 เป็นรูปสัญญาณภาพรวม ซึ่งจะประกอบด้วยสัญญาณภาพ สัญญาณสี และสัญญาณเสียงแบนด์วิดธ์ 5.5 เมกกะเฮิร์ตซ์ เราสามารถตรวจสอบการแยกออกของสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงได้โดยใช้สโคปวัดที่จุดทดสอบทางด้านเครื่องรับ



รูปที่ 4.17 สัญญาณที่ได้จากการแยกภาพและสี



รูปที่ 4.18 สัญญาณที่ได้จากการแยกสัญญาณเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 วิธีการใช้เครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสง

- 1.เตรียมเครื่องเล่นวีดีโอเทปหรือกล้องวีดีโอเทปเครื่องกำเนิดสัญญาณทดสอบ(Pattern Generator) และเครื่องรับโทรทัศน์
- 2.เตรียมเครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสง
- 3.ต่อเครื่องส่งที่จุด Ant input และ Video Audio input
- 4.ต่อเส้นใยแสงเข้าที่หัวส่ง และ หัวรับ ที่เป็น LED และ PD ตามลำดับ
- 5.ต่อสายนำสัญญาณแกนร่วมด้านขาออกของเครื่องรับเข้ากับเครื่องรับโทรทัศน์
- 6.เปิดสวิทช์เพาเวอร์ ของเครื่องส่งและเครื่องรับ
- 7.ทดสอบสัญญาณตามจุดตรวจสอบต่างๆ

#### 4.7 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถรับ-ส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านเส้นใยแสง ผลที่ได้มีความชัดเจนของสัญญาณสังเกตได้จากเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์เมื่อเทียบกับการต่อสายอากาศโดยตรงเข้าเครื่องรับโทรทัศน์ จึงสรุปได้ว่าแทบจะไม่มี ความแตกต่างกันระหว่าง เครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสงและเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์และนอกจากนี้ยังสามารถรับสัญญาณจากสายอากาศ และสามารถจะนำสัญญาณโทรทัศน์จากจุดอื่น ๆ มาส่งเข้าไปในเครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสงนี้ได้ เช่น สัญญาณจากเครื่องเล่นวีดีโอเทป,สัญญาณจากกล้องถ่ายวีดีโอ และ สัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณภาพและเสียง

#### 4.8 ปัญหาในการทำงาน

- 1.การหาข้อมูลของหัวส่งและรับสัญญาณแสงมีข้อมูลน้อยมากจึงเป็นไปได้ยากในการเลือกใช้อุปกรณ์เหล่านี้ มาใช้อย่างถูกต้องประสงค์หรือความต้องการที่ได้กำหนดไว้
- 2.ความคงทนของหัวส่งขาดความคงทนกับกระแสที่ไหลผ่านตัวมัน
- 3.ไอซี TDA 8305 ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญในการดีเทคสัญญาณภาพมีความร้อนสูงมากเนื่องมาจากการต่อใช้งานยังขาดประสิทธิภาพการในการนำไปใช้งาน
- 4.เครื่องจ่ายไฟต้องมีเสถียรภาพในการจ่ายกระแสสูงเพราะใช้ร่วมกับความถี่สูง
- 5.สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบเช่นสัญญาณที่เกิดจากกระป๋องอาร์เอฟคอนเวอร์เตอร์และจากอุปกรณ์ข้างเคียงที่ต่อเข้ามาเช่นหม้อแปลง

#### 4.9 แนวทางการพัฒนา

- 1.พัฒนาให้สามารถส่งสัญญาณ ได้หลายช่องสัญญาณในเวลาเดียวกัน โดยการนำมัลติเพล็กซ์ก่อนส่งเข้าไปในเส้นใยแสง
- 2.พัฒนาให้มีการคอมเพล็กซ์สัญญาณก่อนทำการส่งออก
- 3.พัฒนาให้มีการส่งและรับสัญญาณในระบบดิจิทัล
- 4.พัฒนาในการสร้างเครื่องรับและส่งสัญญาณ โทรศัพท์ระบบภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- 1) วารสารการฝึกอบรม จากศูนย์การฝึกอบรมขององค์การโทรศัพท์ในหัวข้อ “ข่ายสายใยแก้วนำแสง”
- 2) ฝ่ายบริการ, ทฤษฎีการทำงานและคู่มือซ่อมโทรศัพท์ชนิดสี่แท่นเครื่อง GR1-AX, บริษัทฟิลิปส์แห่งประเทศไทย จำกัด
- 3) ฝ่ายบริการ, ทฤษฎีการทำงานและคู่มือซ่อมโทรศัพท์ชนิดสี่แท่นเครื่อง NCF-CR, บริษัทฟิลิปส์แห่งประเทศไทย จำกัด
- 4) อภินันท์ มัชฌานนท์, ทฤษฎีการสื่อสารเส้นใยแสง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2528
- 5) อภินันท์ มัชฌานนท์, การสื่อสารเส้นใยแสง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2528
- 6) พันศักดิ์ ศรีทรัพย์ , การสื่อสารด้วยไฟเบอร์ ออปติก , บริษัท อีเลคเวลดส์ จำกัด
- 7) ราชัญ บุญเจือจันทร์ , ปริญญาธิพนธ์ เครื่องส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสง , ปีการศึกษา 2537
- 8) Motorola Inc. Fiber optic Communication Prentice Hall
- 9) Handbook , “TTL Databook” , Texas Instruments Inc. , U.S.A. , 1981
- 10) Telecommunication Device Data , Motorola Inc. , 1987
- 11) “Optical Fiber Cable Line Design (Junction & Toll Line)” , Nippon Telegraph & Telephone Coeporation (NTT)

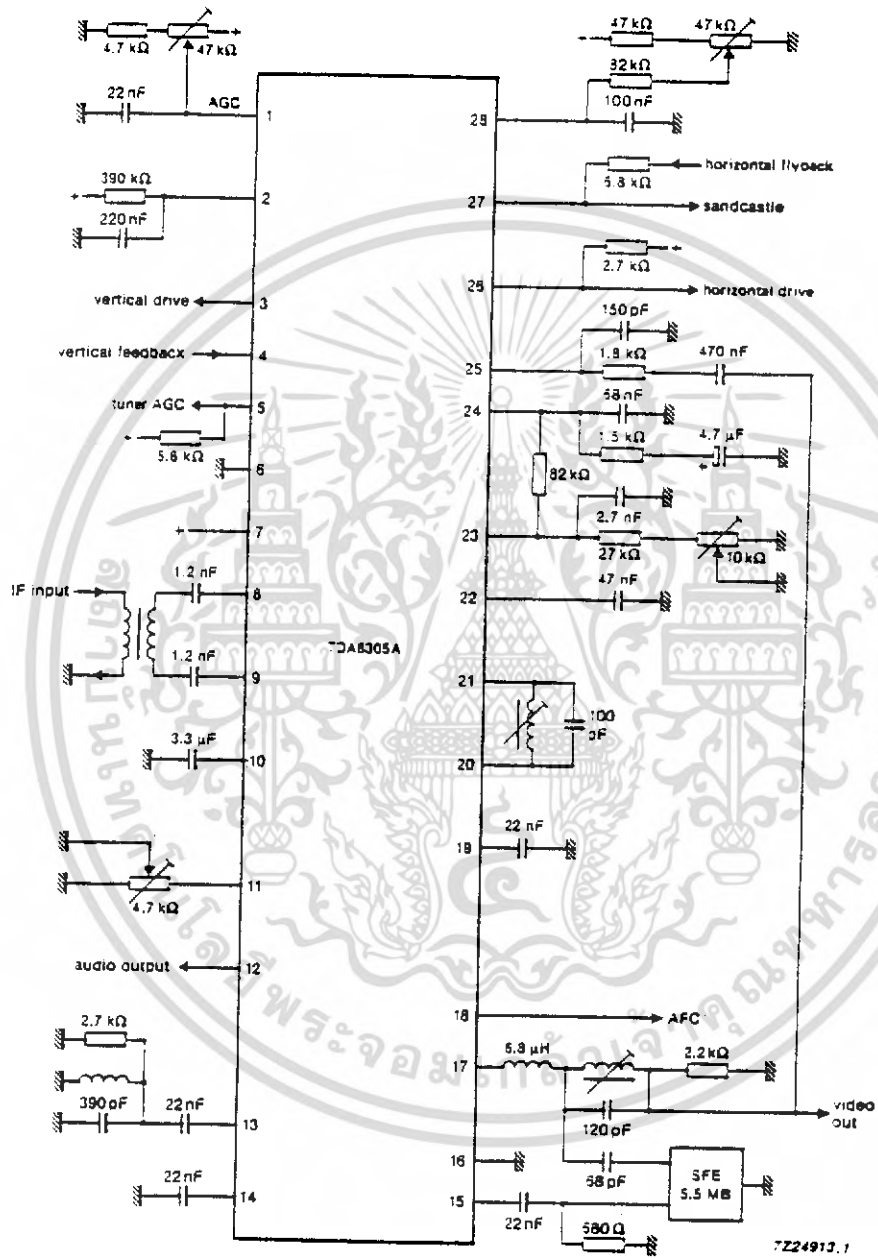
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

parameter	conditions	symbol	min.	typ.	max.	unit
<i>Coincidence detector</i>						
Voltage for:						
synchronized condition		V <sub>22</sub>	—	9.8	—	V
no signal condition		V <sub>22</sub>	—	1.5	—	V
Switching level to switch the phase detector from fast to slow		V <sub>22</sub>	6.2	6.7	7.2	V
Hysteresis slow to fast		V <sub>22</sub>	—	0.6	—	V
Switching level to activate the mute function (transmitter identification)		V <sub>22</sub>	2.5	2.8	3.1	V
Hysteresis mute function		V <sub>22</sub>	—	2	—	V
Delay time of mute release after transmitter insertion					300	μs
Allowable load on pin 22					10	μA
External video mode		V <sub>22</sub>	—	—	0.7	V
Current at pin 22	V <sub>22</sub> = 0 V	I <sub>22</sub>	—	—	0.8	mA
Vertical circuit	note 25					
<i>Vertical ramp generator</i>						
Input current during scan		I <sub>2</sub>	—	—	2	μA
Discharge current during retrace		I <sub>2</sub>	—	0.8	—	mA
Sawtooth amplitude (peak-to-peak value)		V <sub>2(p-p)</sub>	—	1.9	—	V
Interlace timing of the internal pulses			30	32	34	μs
<i>Vertical output</i>						
Available output current	V <sub>3</sub> = 4 V	I <sub>3</sub>	—	—	3	mA
Maximum output voltage	I <sub>3</sub> = 0.1 mA	V <sub>3</sub>	4.4	5	—	V
<i>Vertical feedback input</i>						
Input voltage						
DC component		V <sub>4</sub>	2.9	3.3	3.7	V
AC component (peak-to-peak value)		V <sub>4(p-p)</sub>	—	1	—	V
Input current		I <sub>4</sub>	—	—	12	μA
Internal precorrection to sawtooth		Δt <sub>p</sub>	—	3	—	%
Deviation amplitude	50/60 Hz		—	—	2	%
Temperature dependence of the amplitude	T <sub>amb</sub> = 20 °C to 65 °C		—	—	2	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

parameter	conditions	symbol	min.	typ.	max.	unit
Temperature dependence of the output signal amplitude	$T_{amb} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; -30 dB volume control and voltage of pin 11 fixed; note 27	$V_{12}$	-	2.5	-	dB
Volume control	note 17; see Fig.8					
External control resistor	note 17	$R_{11}$	-	4.7	-	k $\Omega$
Suppression output signal during mute condition		$QSS$	60	66	-	dB
Horizontal synchronization circuit	see Fig.9					
<i>Sync separator</i>						
Required sync pulse amplitude	note 20	$V_{25}$	200	750	-	mV
Input current pin 25	$V_{25} > 5\text{ V}$ $V_{25} = 0\text{ V}$	$I_{25}$ $I_{25}$	-	8	-	$\mu\text{A}$ mA
<i>First control loop</i>						
Holding range PLL		$\pm \Delta f$	-	1500	2000	Hz
Catching range PLL		$\pm \Delta f$	600	1500	-	Hz
Control sensitivity to oscillator	note 21					see Fig.10
IF input signal at which the time constant is switched (RMS value)	strong to weak	$V_{8-9}$	-	2.2	-	mV
<i>Second control loop</i>						
Control sensitivity	note 22	$\Delta t_d / \Delta t_o$	-	100	-	-
Control range		$t_d$	-	25	-	$\mu\text{s}$
Controlled edge					positive	
<i>Phase adjustment (via second control loop)</i>						
Control sensitivity			-	25	-	$\mu\text{A}/\mu\text{s}$
Maximum allowed phase shift		$\alpha$	-	$\pm 2$	-	$\mu\text{s}$
<i>Horizontal oscillator (pin 23)</i>						
Free running frequency	$R = 34.3\text{ k}\Omega$ ; $C = 2.7\text{ nF}$	$f_{fr}$	-	15625	-	Hz
Spread with fixed external components		$\Delta f$	-	-	4	%
Frequency variation	$\Delta V_p = 9.5\text{ to }13.2\text{ V}$	$\Delta f_{fr}$	-	-	2	%
Frequency variation with temperature	note 27	TC	-	-1.6	-	Hz/ $^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHARACTERISTICS (continued)

parameter	conditions	symbol	min.	typ.	max.	unit
<i>Horizontal oscillator</i> (pin 23) (continued)						
Maximum frequency deviation at start of horizontal output		$\Delta f_{fr}$	—	—	10	%
Frequency variation when only noise is received	note 27	$\Delta f_{fr}$	—	—	500	Hz
<i>Horizontal output</i>						
Output limiting voltage		$V_{26}$	—	—	16.5	V
Output voltage LOW	$I_{sink} = 10 \text{ mA}$	$V_{26}$	—	0.2	0.5	V
Maximum sink current		$I_{26}$	10	—	—	mA
Duty cycle output signal			—	46	—	%
Rise time of output pulse		$t_r$	—	260	—	ns
Fall time of output pulse		$t_f$	—	100	—	ns
<i>Flyback input and sandcastle output</i> note 23						
Input current required during flyback pulse		$I_{27}$	0.1	—	2	mA
Output voltage:						
during burst key pulse		$V_{27}$	8	—	—	V
during horizontal blanking		$V_{27}$	4	4.4	5	V
during vertical blanking		$V_{27}$	2.1	2.5	2.9	V
Pulse width:						
burst key pulse	60 Hz	$t_w$	2.9	3.3	3.7	$\mu\text{s}$
burst key pulse	50 Hz	$t_w$	3.2	3.6	4.0	$\mu\text{s}$
horizontal blanking pulse						flyback pulse width
Vertical blanking pulse:						
50 Hz divider in search window			—	21	—	lines
60 Hz divider in search window			—	17	—	lines
50 Hz divider in narrow window			—	25	—	lines
60 Hz divider in narrow window			—	21	—	lines
Delay between start of sync pulse at the video output and the burst key pulse						
trailing edge	60 Hz		—	—	9.3	$\mu\text{s}$
rising edge			4.7	5.4	6.1	$\mu\text{s}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

parameter	conditions	symbol	min.	typ.	max.	unit
Maximum source current		I <sub>17</sub>	10	—	—	mA
Bandwidth of demodulated output signal		B	5	7	—	MHz
Differential gain	note 8	G <sub>17</sub>	—	4	8	%
Differential phase	note 8	φ	—	2	5	deg.
Video non-linearity	note 9	NL	—	2	5	%
Intermodulation	note 10					
f = 1.1 MHz (blue)			50	60	—	dB
f = 1.1 MHz (yellow)			50	60	—	dB
f = 3.3 MHz (blue)			55	65	—	dB
f = 3.3 MHz (yellow)			55	65	—	dB
Signal-to-noise ratio	note 11					
V <sub>i</sub> = 10 mV		S/N	50	57	—	dB
end of gain control range		S/N	50	62	—	dB
Residual carrier signal		V <sub>17</sub>	—	2	10	mV
Residual 2nd harmonic of carrier signal		V <sub>17</sub>	—	2	10	mV
<b>Tuner AGC</b>						
Minimum starting point tuner take-over (RMS value)		V <sub>8-9(rms)</sub>	—	—	0.2	mV
Maximum starting point tuner take-over (RMS value)		V <sub>8-9(rms)</sub>	100	150	—	mV
Maximum tuner AGC output swing	V <sub>5</sub> = 3 V	I <sub>5(max)</sub>	4	—	—	mA
Output saturation voltage	I <sub>5</sub> = 2 mA	V <sub>5(sat)</sub>	—	—	300	mV
Leakage current (pin 5)		I <sub>L</sub>	—	—	1	μA
Input signal variation complete tuner control		ΔV <sub>i</sub>	0.5	2	4	dB
Minimum voltage tuner take-over		V <sub>1</sub>	—	—	1	V
Voltage to switch on the X-ray protection	horizontal output high resistance	V <sub>1</sub>	—	—	0.8	V
<b>AFC circuit</b>						
<i>AFC sample-and-hold/switch</i>						
AFC switch-off current		I <sub>19</sub>	0.1	—	—	mA
Output current	V <sub>19</sub> = 0 V	I <sub>19</sub>	—	0.1	0.3	mA
Leakage current at pin 19		I <sub>LO</sub>	—	—	2	μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHARACTERISTICS (continued)

parameter	conditions	symbol	min.	typ.	max.	unit
<b>AFC circuit (continued)</b>						
<i>AFC output</i>						
AFC output voltage swing	notes 18, 19	V <sub>18</sub>	10.5	—	11.5	V
Available output current		I <sub>18</sub>	0.2	—	—	mA
Control steepness			—	100	—	mV/kHz
AFC output voltage with AFC off		V <sub>18</sub>	5.5	6	6.5	V
AFC output resistance		R <sub>18</sub>	—	40	—	k $\Omega$
Measured with an input signal amplitude = 150 $\mu$ V (RMS value)						
Output voltage swing	note 27	V <sub>18</sub>	—	11	—	V
Control steepness	note 27		—	80	—	mV/kHz
Output voltage shift with respect to V <sub>i</sub> = 10 mV (RMS value)	note 27		—	-2	—	V
<b>Sound circuit</b>						
Input limiting voltage	note 12					
Input resistance	V <sub>o(max)</sub> = -3 dB	V <sub>15</sub>	—	400	800	$\mu$ V
Input capacitance		R <sub>15</sub>	—	2.6	—	k $\Omega$
AM suppression		C <sub>15</sub>	—	6	—	pF
AM suppression	note 13	AMS	53	58	—	dB
AF output signal (RMS value)	note 14	V <sub>12(rms)</sub>	400	600	800	mV
AF output signal when pin 11 is used as a starting pin or connected to V <sub>p</sub> (RMS value)	$\Delta f = 50$ kHz	V <sub>12(rms)</sub>	500	900	1500	mV
AF output impedance		Z <sub>12</sub>	—	25	100	$\Omega$
Total harmonic distortion	note 15	THD	—	0.5	2	%
Ripple rejection	volume control 20 dB; f <sub>k</sub> = 100 Hz	RR	—	35	—	dB
Output voltage when muted		V <sub>12</sub>	—	2.5	—	V
Output level shift due to muting	volume control -20 dB	V <sub>12</sub>	—	—	0.5	V
Signal-to-noise ratio	note 16	S/N	—	47	—	dB
Voltage with pin 11 disconnected		V <sub>11</sub>	—	6.0	—	V
Current with pin 11 short circuited to ground		I <sub>11</sub>	—	1	—	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHARACTERISTICS (continued)

parameter	conditions	symbol	min.	typ.	max.	unit
Vertical circuit (continued)						
Vertical guard	note 26					
Active switching level at a deviation with respect to the DC feedback level:	$V_{27} = 2.5 \text{ V}$					
guard level LOW		$\Delta V_4$	—	2.1	—	V
guard level HIGH		$\Delta V_4$	—	2	—	V

Notes to the characteristics

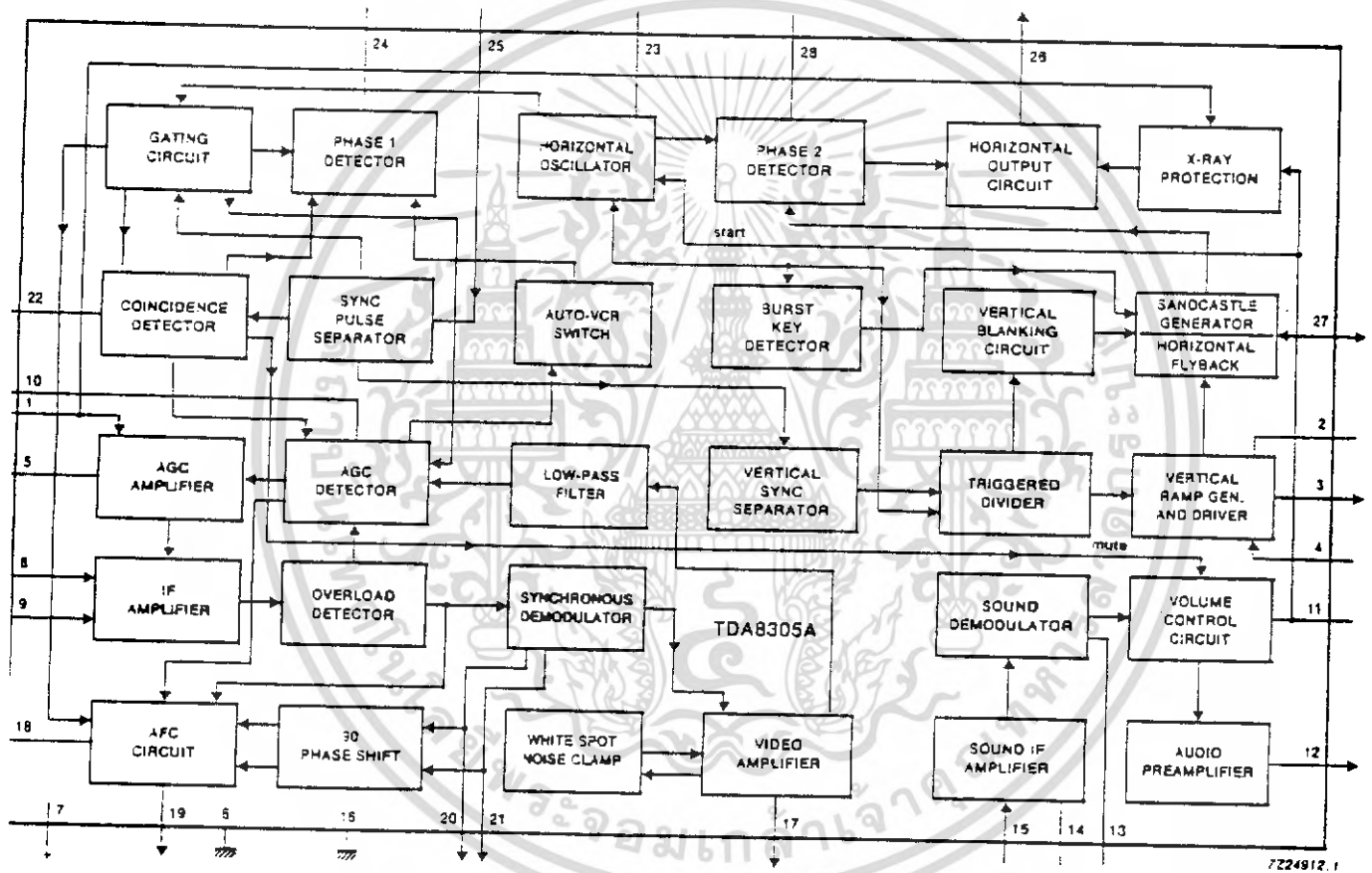
- Pin 11 has a double function. When during switch-on a current of 9.0 mA is supplied to this pin, it is used to start the horizontal oscillator. The main supply can then be obtained from the horizontal deflection stage. When no current is supplied to this pin it can be used as a volume control.
- On set AGC.
- The input impedance has been chosen such that a SAW-filter can be applied.
- Measured with 0 dB = 450  $\mu\text{V}$ .
- Measured at 10 mV (RMS value) top sync input signal.
- So-called projected zero point; i.e. with switched demodulator.
- White 10% of the top sync amplitude.
- Measured according to the test line illustrated by Fig.2:
  - The differential gain is expressed as a percentage of the difference in peak amplitudes between the largest and smallest value relative to the subcarrier amplitude at blanking level.
  - The differential phase is defined as the difference in degrees between the largest and smallest phase angle. The differential gain and phase are measured with a DSB signal.
- This figure is valid for the complete video signal amplitude (peak white-to-black); see Fig.3. The non-linearity is expressed as a percentage of the maximum deviation of a luminance step from the mean step, with respect to the mean step.
- The test set-up and input conditions are illustrated by Fig.4. The figures are measured at an input signal of 10 mV (RMS value).
- Measured with a source impedance of 75  $\Omega$ .  

$$\text{Signal-to-noise ratio} = 20 \log \frac{V_{\text{out black-to-white}}}{V_{n(\text{rms})} \text{ at } B = 5 \text{ MHz}}$$
- The sound circuit is measured (unless otherwise specified) with an input signal of  $V_{15}$  of 50 mV (RMS value), a carrier frequency of 5.5 MHz at a  $\Delta f$  of 27.5 kHz and an AF frequency of 1 kHz. The QL of the demodulator tuned circuit is 16 and the volume control is connected to the supply. The reference circuit must be tuned in such a way that the output is symmetrical clipping at maximum volume.
- The test set-up is illustrated by Fig.6. The AM rejection curve (typical) is illustrated by Fig.7.
- The output signal is measured at  $a\Delta f = 7.5 \text{ kHz}$  and maximum volume control.
- The demodulator tuned circuit must be tuned at minimum distortion.
- Weighted noise, measured according to; CCIR 468.
- See also note 1. The volume can be controlled by using a potentiometer connected to ground (value 10 k $\Omega$ ) or by means of a variable direct voltage. In the latter case the relatively low input impedance (pin 11) must be taken into account.

13. The AFC control voltage is obtained by multiplying the IF output signal (which is also used to drive the synchronous demodulator) with a reference carrier. This reference carrier is obtained from the demodulator tuned circuit via a 90 degree phase shift network. The IF output signal has an asymmetrical frequency spectrum with respect to the carrier frequency. To avoid problems due to this asymmetrical signal the AFC circuit is followed by a sample-and-hold circuit which samples during the sync level. As a result the AFC output voltage contains no video information. The specified control steepness is without using an external load resistor. The control steepness decreases when the AFC output is loaded with two resistors between the voltage supply and ground.
19. At very weak input signals the drive signal for the AFC circuit will have a high noise content. This noise input has an asymmetrical frequency spectrum which will cause an offset of the AFC output voltage. To avoid problems due to this effect a notch filter can be built in to the demodulator tuned circuit. The characteristics given for weak input signals are measured without a notch circuit, with a SAW filter connected in front of the IC (input signal such that the input signal of the IC is 150  $\mu$ V (RMS value).
20. The minimum value is obtained with a 1.8 k $\Omega$  series resistor connected between pin 17 and pin 25. The slicing level can be varied by changing the value of this resistor (a higher resistance results in a larger value of the minimum sync pulse amplitude). The slicing level is independent of the video information.
21. Frequency control is obtained by supplying a correction current to the oscillator RC-network. This is achieved via a resistor connected between the phase 1 detector output and the oscillator network. The oscillator can be adjusted to the correct frequency by:
  - short-circuit the sync separator bias network (pin 25) to the voltage supply.

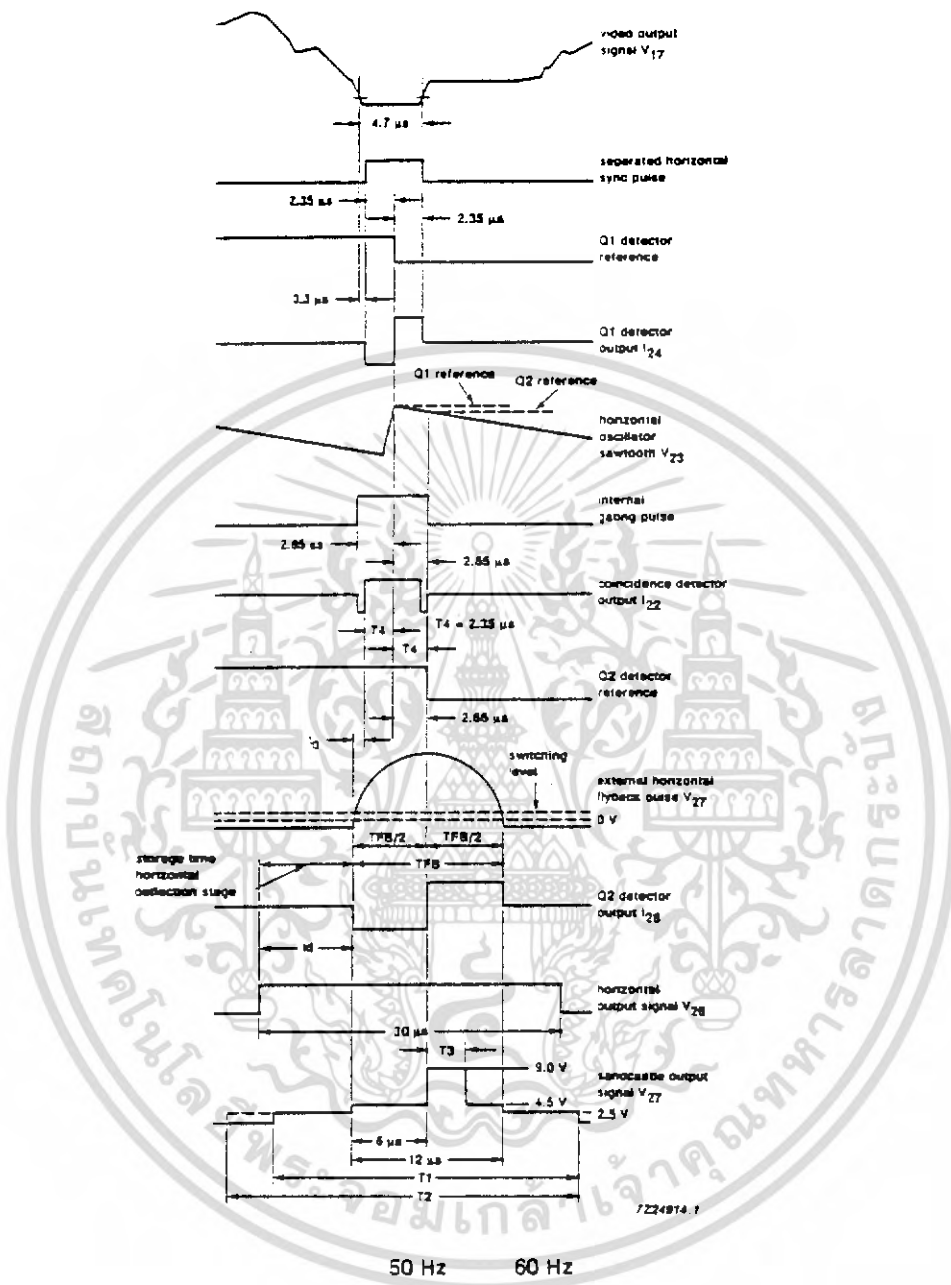
To avoid the necessity of a VCR switch, the time constant of the phase detector at strong input signals is sufficiently short to obtain a stable picture during VCR playback. During the vertical retrace period the time constant is even shorter so that VCR head errors are compensated for at the beginning of the scan. During weak signal conditions (information derived from the AGC circuit) the time constant is increased to obtain a good noise immunity.
22. This figure is valid for an external load impedance of 82 k $\Omega$  connected between pin 28 and the shift adjustment potentiometer.
23. The horizontal flyback input and the sandcastle output have been combined on pin 27. The flyback pulse is clamped to a level of 4.5 V. The minimum current to drive the second control loop is 0.1 mA.
24. The functions in-sync/out-of-sync and transmitter identification have been combined on pin 22. The capacitor is charged during the sync pulse and discharged during the time difference between gating and sync pulse.
25. The vertical scan is synchronized by means of a divider system, therefore no adjustment is required for the ramp generator. The divider detects whether the incoming signal has a vertical frequency of 50 or 60 Hz and corrects the vertical amplitude.
26. To avoid screen burn due to a collapse of the vertical deflection, a continuous blanking level is inserted into the sandcastle pulse when the feedback voltage of the vertical deflection is not within the specified limits.
27. These figures are based on sampled tests.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



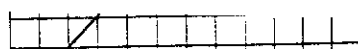
Block diagram.

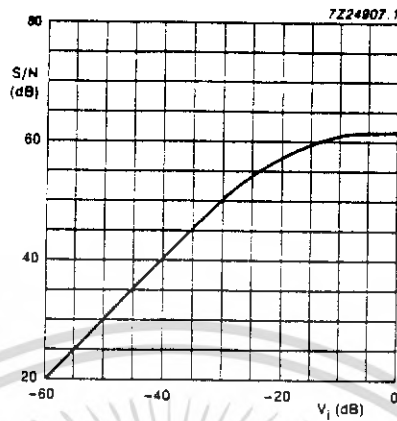
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



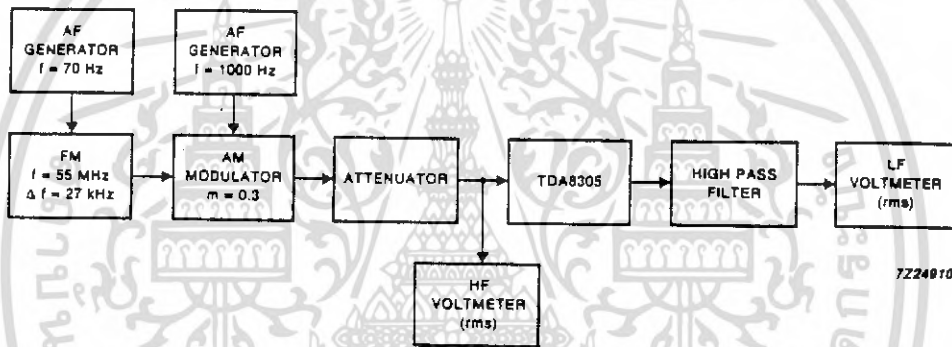
Timing diagram.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

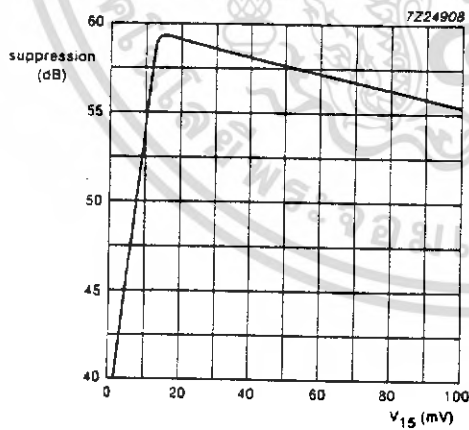




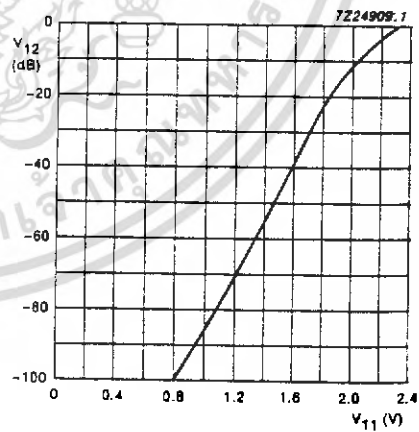
Signal-to-noise ratio as a function of input voltage; 0 dB = 100 mV.



Test set-up AM suppression.



AM suppression.

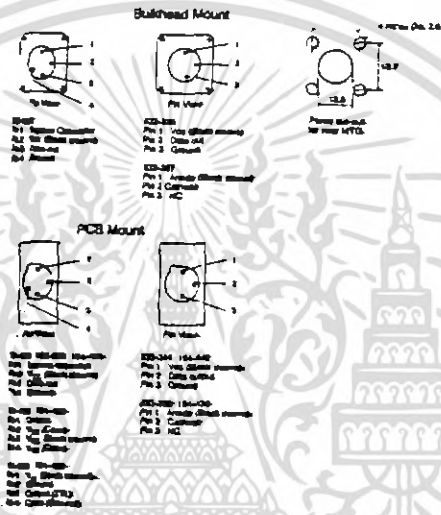


Volume control characteristics.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High power emitter	
(a) 50/125 $\mu\text{m}$ glass	10 $\mu\text{W}$ min (-20dBm)
(b) 200 $\mu\text{m}$ P.C.S.	160 $\mu\text{W}$ min (-8dBm)

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

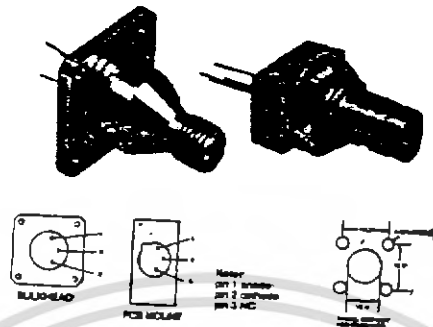
50 MHz PIN Diode

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 upto 50 MHz. The active device is an HFD3022-002

Technical specification	
Peak spectral response (typ.)	850nm
Peak responsivity 850nm (50 $\mu\text{m}$ )	0.85A/W
Dark current (max)	2nA
Capacitance	2.1pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## SMA/ ST Emitters/ Transmitters



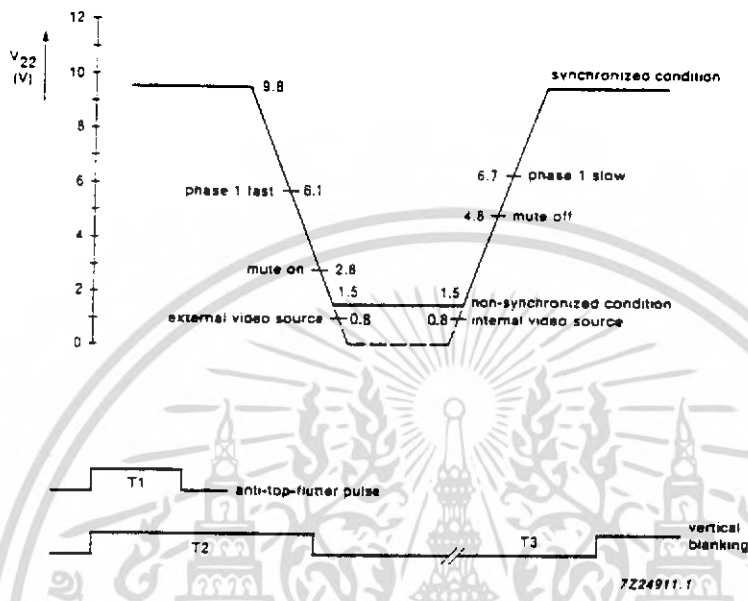
supplied to RS by Honeywell optoelectronics

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 $\mu$ A)	1V		
Operating temperature range	-40°C to +100°C		
Optoelectronic characteristics at 25°C			
	min	typ.	max
$V_F$ , at $I_F = 100$ mA		1.6V	1.8V
Peak emission wavelength ( $I_F = 100$ mA)	850nm		
Spectral bandwidth	50nm		
Response time	$\tau_r$	4ns	8ns
( $I_{PK} = 100$ mA)	$\tau_f$	6ns	10ns
Launch power*			
low power emitter			
(a) 50/125 $\mu$ m glass	3 $\mu$ W min (-25dBm)		
(b) 200 $\mu$ P.C.S.	50 $\mu$ W min (-13dBm)		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และห้ยังยั้งถึงเจ้าหน้าที่ขององค์กรผู้จัดให้มีการนำไปใช้



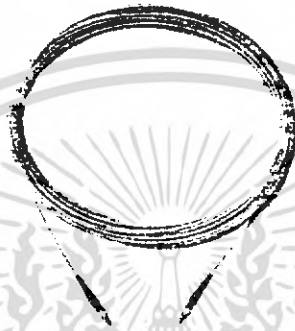
condition	control sensitivity horizontal oscillator		vertical sync separation pulse after
	T2 - T1	T3 = scan	
$V_{22} > 6.7 \text{ V}$ strong signal weak signal	11.3 kHz/ $\mu\text{s}$ 1.3 kHz/ $\mu\text{s}$	7.6 kHz/ $\mu\text{s}$ 1.3 kHz/ $\mu\text{s}$	16 $\mu\text{s}$ 16 $\mu\text{s}$
$1 < V_{22} < 5.7 \text{ V}$ strong signal weak signal	11.3 kHz/ $\mu\text{s}$ 11.3 kHz/ $\mu\text{s}$	7.6 kHz/ $\mu\text{s}$ 7.6 kHz/ $\mu\text{s}$	16 $\mu\text{s}$ 16 $\mu\text{s}$
$V_{22} < 0.7 \text{ V}$	11.3 kHz/ $\mu\text{s}$	7.6 kHz/ $\mu\text{s}$	16 $\mu\text{s}$

Switching levels coincidence detector.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reverse breakdown voltage (type)	250 V
Rise/Fall time (5V)	17ns
(90 V)	1 ns
Operating temperature	-40 °C to + 100 ° C

**Fiber Optic Cable**  
**50/125 μm Terminated Optical Leads**



ลักษณะของเส้นใยแสง

Lengths of LSOH polyethyleng coated fiber optic cable having 50 μm core diameter , 125 μm 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 (820nm) 3 dB/km typ., 4 dB/km max. Bandwidth 400 Mhz/km. minimum bend radius 3. mm , maximum tensile load 100N. Operating temperature rang -15 °C to + 60 °C

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

Caution : Do not exceed the minimum bend radius.

**S.S.M.=I**

length (m)	stock no.
20	361-260

25 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2N2218,A, 2N2219,A, 2N2221,A, 2N2222,A, 2N5581, 2N5582 (continued)

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

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit	
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>					
Collector-Emitter Breakdown Voltage ( $I_C = 10\text{ mAdc}, I_B = 0$ )	Non-A Suffix A-Suffix, 2N5581, 2N5582	$BV_{CEO}$	30 40	– –	Vdc
Collector-Base Breakdown Voltage ( $I_C = 10\text{ }\mu\text{Adc}, I_E = 0$ )	Non-A Suffix A-Suffix, 2N5581, 2N5582	$BV_{CBO}$	60 75	– –	Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage ( $I_E = 10\text{ }\mu\text{Adc}, I_C = 0$ )	Non-A Suffix A-Suffix, 2N5581, 2N5582	$BV_{EBO}$	5.0 6.0	– –	Vdc
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 60\text{ Vdc}, V_{EB}(\text{off}) = 3.0\text{ Vdc}$ )	A-Suffix, 2N5581, 2N5582	$I_{CEX}$	–	10	nAdc
Collector Cutoff Current ( $V_{CB} = 50\text{ Vdc}, I_E = 0$ )	Non-A Suffix	$I_{CBO}$	–	0.01	$\mu\text{Adc}$
( $V_{CB} = 60\text{ Vdc}, I_E = 0$ )	A-Suffix, 2N5581, 2N5582		–	0.01	
( $V_{CB} = 50\text{ Vdc}, I_E = 0, T_A = 150^\circ\text{C}$ )	Non-A Suffix		–	10	
( $V_{CB} = 60\text{ Vdc}, I_E = 0, T_A = 150^\circ\text{C}$ )	A-Suffix, 2N5581, 2N5582		–	10	
Emitter Cutoff Current ( $V_{EB} = 3.0\text{ Vdc}, I_C = 0$ )	A-Suffix, 2N5581, 2N5582	$I_{EBO}$	–	10	nAdc
Base Cutoff Current ( $V_{CE} = 60\text{ Vdc}, V_{EB}(\text{off}) = 3.0\text{ Vdc}$ )	A-Suffix	$I_{BL}$	–	20	nAdc
<b>ON CHARACTERISTICS</b>					
DC Current Gain ( $I_C = 0.1\text{ mAdc}, V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ )	2N2218,A, 2N2221,A, 2N5581(1) 2N2219,A, 2N2222,A, 2N5582(1)	$h_{FE}$	20 35	– –	–
( $I_C = 1.0\text{ mAdc}, V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ )	2N2218,A, 2N2221,A, 2N5581 2N2219,A, 2N2222,A, 2N5582		25 50	– –	
( $I_C = 10\text{ mAdc}, V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ )	2N2218,A, 2N2221,A, 2N5581(1) 2N2219,A, 2N2222,A, 2N5582(1)		35 75	– –	
( $I_C = 10\text{ mAdc}, V_{CE} = 10\text{ Vdc}, T_A = -55^\circ\text{C}$ )	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582		15 35	– –	
( $I_C = 150\text{ mAdc}, V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ (1))	2N2218,A, 2N2221,A, 2N5581 2N2219,A, 2N2222,A, 2N5582		40 100	120 300	
( $I_C = 150\text{ mAdc}, V_{CE} = 1.0\text{ Vdc}$ (1))	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582		20 50	– –	
( $I_C = 500\text{ mAdc}, V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ (1))	2N2218, 2N2221 2N2219, 2N2222 2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582		20 30 25 40	– – – –	
Collector-Emitter Saturation Voltage(1) ( $I_C = 150\text{ mAdc}, I_B = 15\text{ mAdc}$ )	Non-A Suffix A-Suffix, 2N5581, 2N5582	$V_{CE(\text{sat})}$	–	0.4 0.3	Vdc
( $I_C = 500\text{ mAdc}, I_B = 50\text{ mAdc}$ )	Non-A Suffix A-Suffix, 2N5581, 2N5582		–	1.6 1.0	
Base-Emitter Saturation Voltage(1) ( $I_C = 150\text{ mAdc}, I_B = 15\text{ mAdc}$ )	Non-A Suffix A-Suffix, 2N5581, 2N5582	$V_{BE(\text{sat})}$	0.6 0.6	2.0 1.2	Vdc
( $I_C = 500\text{ mAdc}, I_B = 50\text{ mAdc}$ )	Non-A Suffix A-Suffix, 2N5581, 2N5582		– –	2.6 2.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N2218,A, 2N2219,A, 2N2221,A, 2N2222,A, 2N5581, 2N5582 (continued)

\*ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Continued)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit	
<b>SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS</b>					
Current-Gain-Bandwidth Product <sup>(2)</sup> ( $I_C = 20 \text{ mA dc}$ , $V_{CE} = 20 \text{ V dc}$ , $f = 100 \text{ MHz}$ )	All Types, Except 2N2219A, 2N2222A, 2N5582	$f_T$	250 300	— —	MHz
Output Capacitance <sup>(3)</sup> ( $V_{CB} = 10 \text{ V dc}$ , $I_E = 0$ , $f = 100 \text{ kHz}$ )		$C_{ob}$	—	8.0	pF
Input Capacitance <sup>(3)</sup> ( $V_{EB} = 0.5 \text{ V dc}$ , $I_C = 0$ , $f = 100 \text{ kHz}$ )	Non-A Suffix A-Suffix, 2N5581, 2N5582	$C_{ib}$	— —	30 25	pF
Input Impedance ( $I_C = 1.0 \text{ mA dc}$ , $V_{CE} = 10 \text{ V dc}$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ )	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582	$h_{ie}$	1.0 2.0	3.5 8.0	k ohms
( $I_C = 10 \text{ mA dc}$ , $V_{CE} = 10 \text{ V dc}$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ )	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582		0.2 0.25	1.0 1.25	
Voltage Feedback Ratio ( $I_C = 1.0 \text{ mA dc}$ , $V_{CE} = 10 \text{ V dc}$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ )	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582	$h_{re}$	— —	5.0 8.0	$\times 10^{-4}$
( $I_C = 10 \text{ mA dc}$ , $V_{CE} = 10 \text{ V dc}$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ )	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582		— —	2.5 4.0	
Small-Signal Current Gain ( $I_C = 1.0 \text{ mA dc}$ , $V_{CE} = 10 \text{ V dc}$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ )	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582	$h_{fe}$	30 50	150 300	—
( $I_C = 10 \text{ mA dc}$ , $V_{CE} = 10 \text{ V dc}$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ )	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582		50 75	300 375	
Output Admittance ( $I_C = 1.0 \text{ mA dc}$ , $V_{CE} = 10 \text{ V dc}$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ )	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582	$h_{oe}$	3.0 5.0	15 35	$\mu\text{mhos}$
( $I_C = 10 \text{ mA dc}$ , $V_{CE} = 10 \text{ V dc}$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ )	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582		10 25	100 200	
Collector-Base Time Constant ( $I_E = 20 \text{ mA dc}$ , $V_{CB} = 20 \text{ V dc}$ , $f = 31.8 \text{ MHz}$ )	A-Suffix, 2N5581, 2N5582	$t_b/C_c$	—	150	ps
Noise Figure ( $I_C = 100 \mu\text{A dc}$ , $V_{CE} = 10 \text{ V dc}$ , $R_G = 10 \text{ k ohm}$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ )	2N2219A, 2N2222A	NF	—	4.0	dB

SWITCHING CHARACTERISTICS (A-Suffix, 2N5581 and 2N5582)

Delay Time	(V <sub>CC</sub> = 30 Vdc, V <sub>BE(off)</sub> = 0.5 Vdc, I <sub>C</sub> = 150 mA dc, I <sub>B1</sub> = 15 mA dc) (Figure 14)	t <sub>d</sub>	—	10	ns
Rise Time		t <sub>r</sub>	—	25	ns
Storage Time	(V <sub>CC</sub> = 30 Vdc, I <sub>C</sub> = 150 mA dc, I <sub>B1</sub> = I <sub>B2</sub> = 15 mA dc) (Figure 15)	t <sub>s</sub>	—	225	ns
Fall Time		t <sub>f</sub>	—	60	ns
Active Region Time Constant** (I <sub>C</sub> = 150 mA dc, V <sub>CE</sub> = 30 Vdc)		T <sub>A</sub>	—	2.5	ns

\*Indicates JEDEC Registered Data.

\*\*Motorola Guarantees this Data in Addition to JEDEC Registered Data.

(1) Pulse Test: Pulse Width  $\leq 300 \mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$ .

(2)  $f_T$  is defined as the frequency at which  $|h_{fe}|$  extrapolates to unity.

(3) 2N5581 and 2N5582 are Listed C<sub>cb</sub> and C<sub>cb</sub> for these conditions and values.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N2218,A, 2N2219,A, 2N2221,A, 2N2222,A, 2N5581, 2N5582 (continued)

FIGURE 1 - NORMALIZED DC CURRENT GAIN

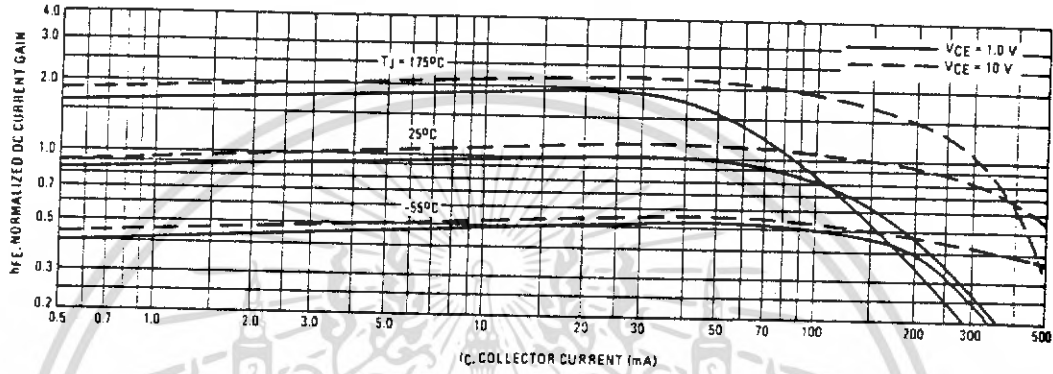
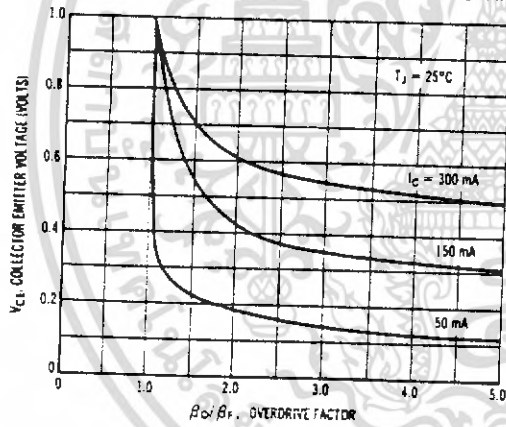


FIGURE 2 - COLLECTOR CHARACTERISTICS IN SATURATION REGION



This graph shows the effect of base current on collector current. β<sub>o</sub> (current gain at the edge of saturation) is the current gain of the transistor at 1 volt, and β<sub>r</sub> (forced gain) is the ratio of I<sub>C</sub>/I<sub>B</sub> in a circuit.

EXAMPLE: For type 2N2219, estimate a base current (I<sub>B</sub>) to insure saturation at a temperature of 25°C and a collector current of 150 mA.

Observe that at I<sub>C</sub> = 150 mA an overdrive factor of at least 2.5 is required to drive the transistor well into the saturation region. From Figure 1, it is seen that h<sub>FE</sub> @ 1 volt is approximately 0.62 of h<sub>FE</sub> @ 10 volts. Using the guaranteed minimum gain of 100 @ 150 mA and 10 V, β<sub>o</sub> = 62 and substituting values in the overdrive equation, we find:

$$\frac{\beta_o}{\beta_r} = \frac{h_{FE} @ 1.0V}{I_C/I_B} \quad 2.5 = \frac{62}{150/I_B} \quad I_B \approx 6.0 \text{ mA}$$

FIGURE 3 - "ON" VOLTAGES

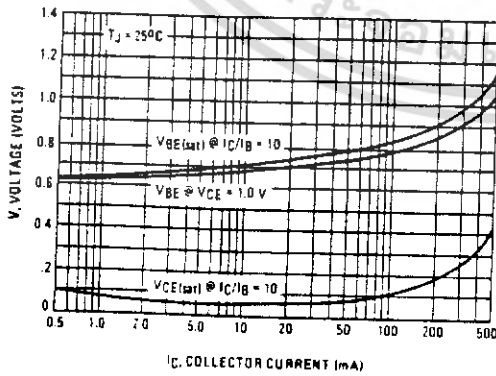
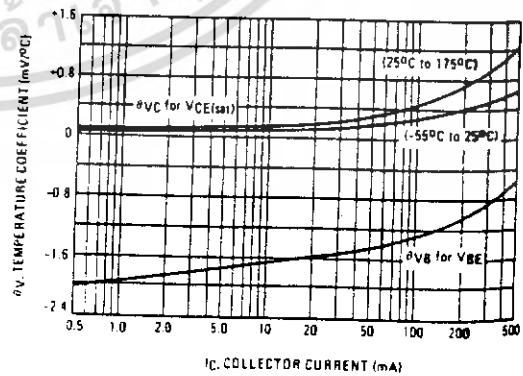


FIGURE 4 - TEMPERATURE COEFFICIENTS

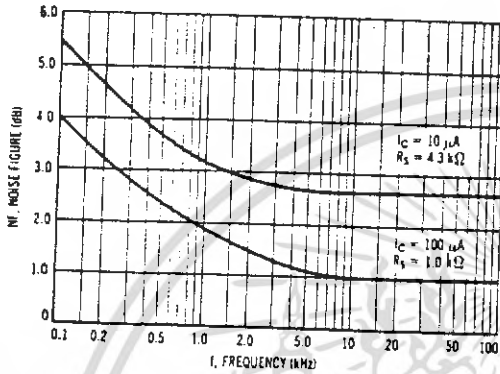


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

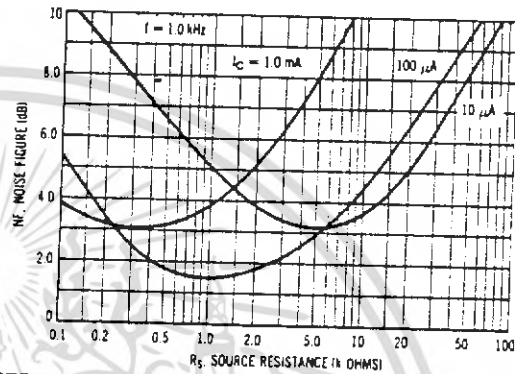
2N2218,A, 2N2219,A, 2N2221,A, 2N2222,A, 2N5581, 2N5582 (continued)

**NOISE FIGURE**  
VCE = 10 V, TA = 25°C

**FIGURE 5 - FREQUENCY EFFECTS**



**FIGURE 6 - SOURCE RESISTANCE EFFECTS**

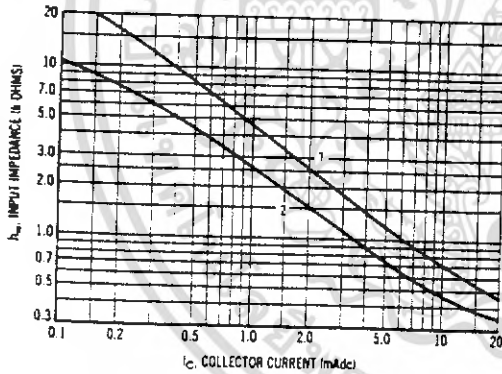


**h PARAMETERS**

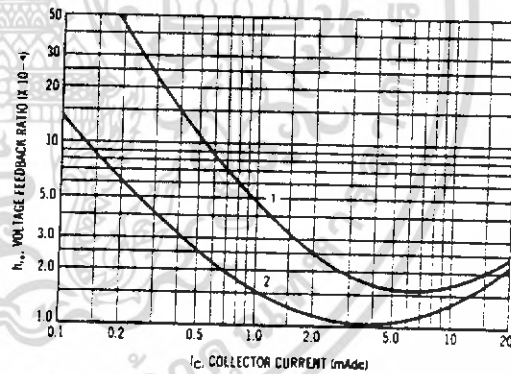
VCE = 10 Vdc, f = 1.0 kHz, TA = 25°C

This group of graphs illustrates the relationship between  $h_{fe}$  and other "h" parameters for this series of transistors. To obtain these curves, a high-gain and a low-gain unit were selected and the same units were used to develop the correspondingly numbered curves on each graph.

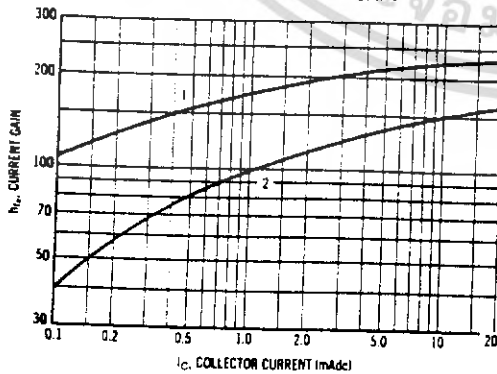
**FIGURE 7 - INPUT IMPEDANCE**



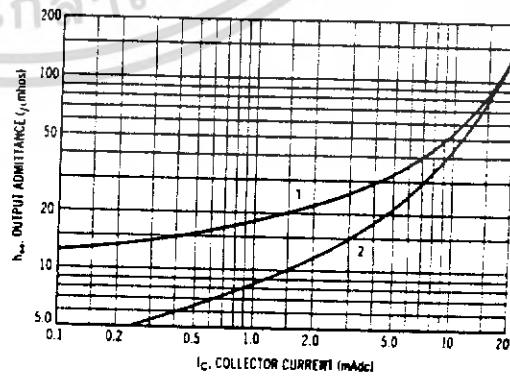
**FIGURE 8 - VOLTAGE FEEDBACK RATIO**



**FIGURE 9 - CURRENT GAIN**



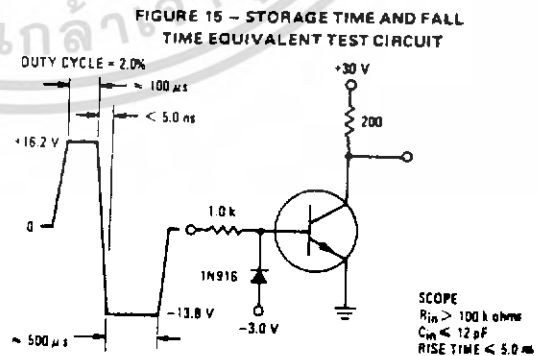
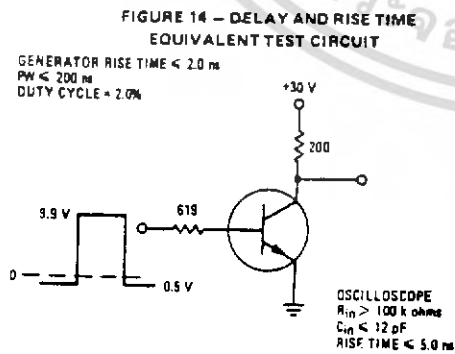
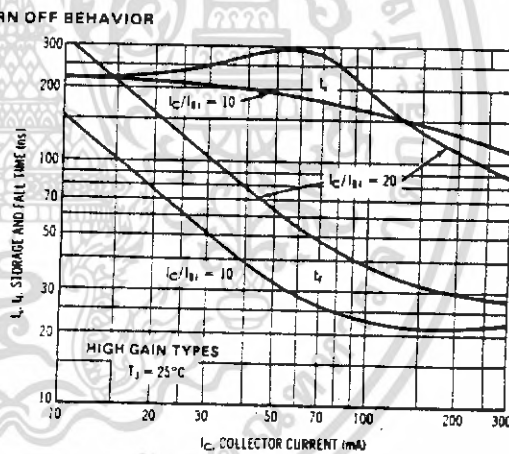
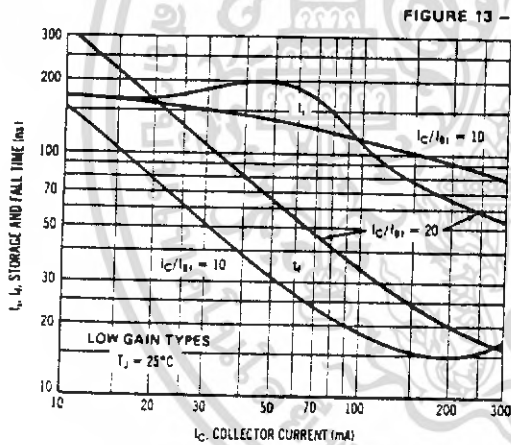
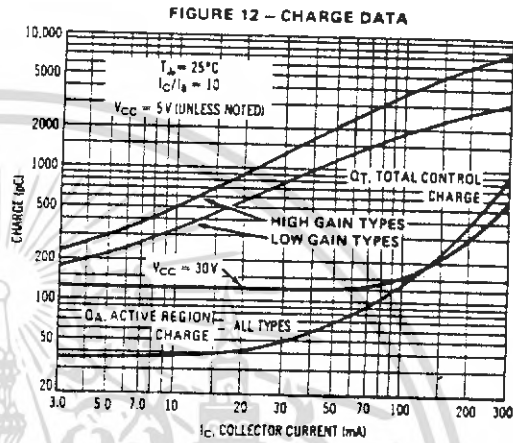
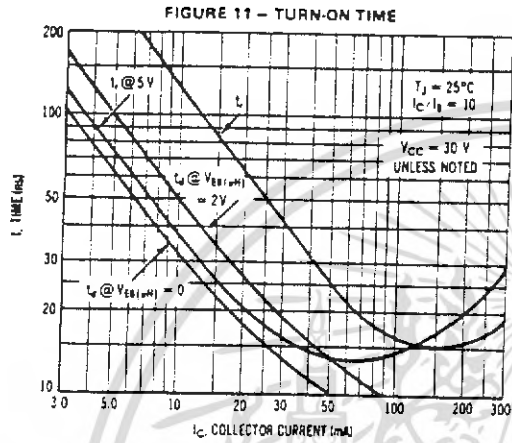
**FIGURE 10 - OUTPUT ADMITTANCE**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N2218,A, 2N2219,A, 2N2221,A, 2N2222,A, 2N5581, 2N5582 (continued)

### SWITCHING TIME CHARACTERISTICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N2218,A, 2N2219,A, 2N2221,A, 2N2222,A, 2N5581, 2N5582 (continued)

FIGURE 16 - CURRENT-GAIN-BANDWIDTH PRODUCT AND COLLECTOR-BASE TIME CONSTANT DATA

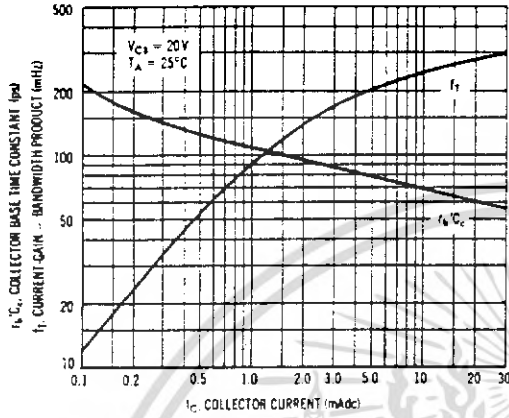


FIGURE 17 - CAPACITANCES

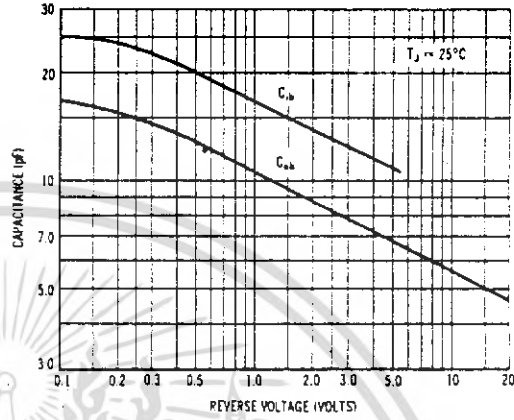
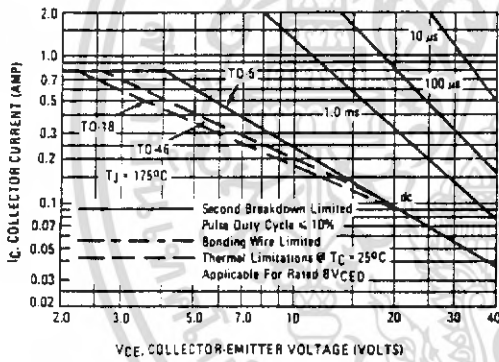


FIGURE 18 - ACTIVE-REGION SAFE OPERATING AREAS

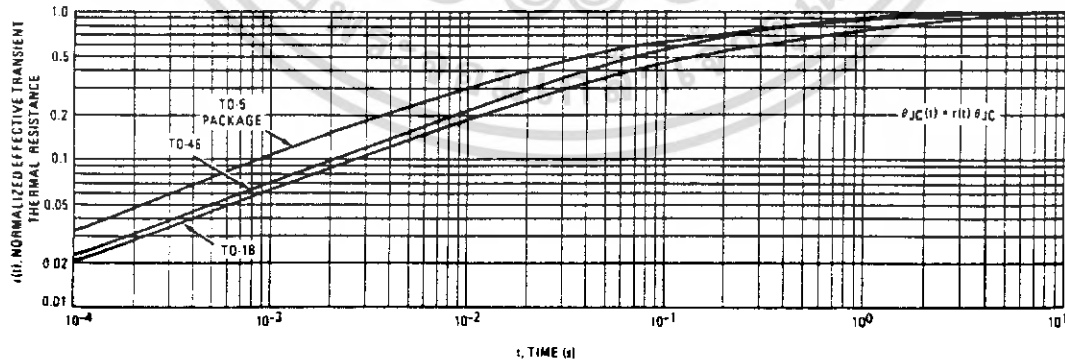


This graph shows the maximum  $I_C$ - $V_{CE}$  limits of the device both from the standpoint of thermal dissipation (at  $25^\circ C$  case temperature), and secondary breakdown. For case temperatures other than  $25^\circ C$ , the thermal dissipation curve must be modified in accordance with the derating factor in the Maximum Ratings table.

To avoid possible device failure, the collector load line must fall below the limits indicated by the applicable curve. Thus, for certain operating conditions the device is thermally limited, and for others it is limited by secondary breakdown.

For pulse applications, the maximum  $I_C$ - $V_{CE}$  product indicated by the dc thermal limits can be exceeded. Pulse thermal limits may be calculated by using the transient thermal resistance curve of Figure 19.

FIGURE 19 - THERMAL RESPONSE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้