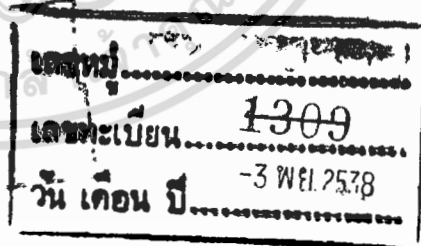


ปริญญานิพนธ์
เครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสง
TELEVISION SIGNAL TRANSMITTER AND RECIEVER
BY OPTICAL FIBER

- 
1. นายสินิล ลิธิทวีป
 2. นายสุธรรม ล้าลิขิตการ
 3. นายสถาพร จันทจันทร์
 4. นางสาวสมศรี ชันธิกุล



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

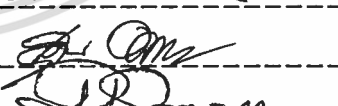
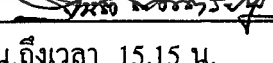
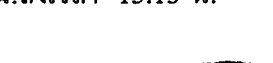
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสง
TELEVISION SIGNAL TRANSMITTER AND RECIEVER
BY OPTICAL FIBER

ชื่อนักศึกษา 1. นายสินิล กิริทวีป รหัสประจำตัว 36031138
2. นายสุธรรม ล้าลิขิตการ รหัสประจำตัว 36031139
3. นายสถาพร จันทพันธ์ รหัสประจำตัว 36031131
4. นางสาวสมศรี ชันธิกุล รหัสประจำตัว 36031136

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

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

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์วิสุทธิ อธิพรธรรม	
2. อาจารย์กิตติพงศ์ มะโน	
3. อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์	
4. อาจารย์สุชิน อาจหาญ	
5. อาจารย์สันติ ดันตระกูล	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 25 มีนาคม 2538 เวลา 13.30 น.ถึงเวลา 15.15 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.301 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

ลงนาม.....
(ผศ.ดร.ธีรพล นิพนธ์คุณ ณ อยุธยา)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
วันที่.....เดือน.....ปี.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสง

TELEVISION SIGNAL TRANSMITTER AND RECIEVER BY OPTICAL FIBER

ผู้จัดทำ

1. นายสินิล คีรีทวีป
2. นายสุธรรม ลำลิจิตการ
3. นายสถาพร จันทพันธ์
4. นางสาวสมศรี ชันธิกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงนาม.....
(อาจารย์วิสุทธิ อธิพรธรรม)

ลงนาม.....
(อาจารย์กิตติพงศ์ มะโน)

ลงนาม.....
(อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรม

ลงนาม.....
(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสง

TELEVISION SIGNAL TRANSMITTER AND RECIEVER BY OPTICAL FIBER

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบการสื่อสารโดยแสง
2. เพื่อศึกษาการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง และอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า
3. เพื่อศึกษาการออกแบบวงจรส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบการสื่อสารโดยแสง
4. เพื่อสร้างเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบการสื่อสารโดยแสง
5. เพื่อวัดและเปรียบเทียบสัญญาณจากจุดต่างๆของเครื่องรับและเครื่องส่ง
6. เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นสื่อในการศึกษาระบบการสื่อสารโดยแสงได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อสามารถนำไปใช้ศึกษาหลักการทำงานของระบบการสื่อสารโดยแสง
2. เพื่อสามารถนำไปใช้ศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง และอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า
3. เพื่อสามารถใช้ในการเรียนรู้การออกแบบวงจรส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบการสื่อสารโดยแสง
4. เพื่อสามารถเรียนรู้และได้ประสบการณ์จากการสร้างเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบการสื่อสารโดยแสง
5. เพื่อสามารถใช้ศึกษาและวัดเปรียบเทียบสัญญาณจากจุดต่างๆของเครื่องรับและเครื่องส่ง
6. เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นสื่อในการศึกษาระบบการสื่อสารโดยแสงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสง

นายสินิล ศิริทวีป
 นายสุธรรม ลำเลิศการ
 นายสถาพร จันทพันธ์
 นางสาวสมศรี ชันธิกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์วิสุทธิ อธิพรธรรม

อาจารย์กิตติพงศ์ มะโน

อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์

ปีการศึกษา 2537

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสง เป็นการนำเอาสัญญาณโทรทัศน์ทั้งภาพและเสียงส่งเข้าไปในเส้นใยแสง . สัญญาณโทรทัศน์ขาเข้าสามารถนำมาจากสายอากาศหรือจากเครื่องกำเนิดสัญญาณโทรทัศน์ การส่งและรับจะเป็นแบบอนาล็อก โดยนำสัญญาณโทรทัศน์เปลี่ยนเป็นสัญญาณแสงและส่งออกปาด้านรับแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณโทรทัศน์ให้เหมือนเดิมทุกประการ

II

TELEVISION SIGNAL

TRANSMITTER AND RECIEVER BY OPTICAL FIBER

MR.SINIL

KHIRITHAWIP

MR.SUTHUM

LAMLIKITKARN

MR.SATAPORN

JANTAKAN

MISS SOMSRI

KUNTHIGUL

ADVISOR

MR.WISUIT

ATIPORNTUM

MR.KITIPONG

MANO

MR.PEERAWUT

SUWANJAN

1994

ABSTRACT

This thesis presents the television signal transmitter and reciever by optical fiber . It send TV signal that include or video and audio signal into optical fiber. TV signal input,it can take from antenna or TV signal generator. Transmission and reception are analog system. TV signal is converted to optical signal and transmitted to receiver . The receiver converted optical signal to TV signal as the input signal.

กิติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงลงได้เนื่องมาจากการให้ความช่วยเหลือจาก ท่านอาจารย์ วิสุทธิ์ อธิพรธรรม อาจารย์กิติพงศ์ มะโน อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ อาจารย์ประจำภาควิชาครู ศาสตร์วิศวกรรมทุกท่าน และ อาจารย์พงษ์สวัสดิ์ อำนางกิติกร วิทยาลัยเทคนิคชลบุรี ที่ได้กรุณา ให้ข้อเสนอแนะพร้อมทั้งแนวทางในการแก้ไขปัญหา ในการดำเนินงาน รวมถึงเพื่อนๆทุกคนที่คอย ให้กำลังใจตลอดมา



สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 การแนะนำเรื่องการสื่อสารทางแสง	2
2.1.1 รูปแบบของการสื่อสารทางแสง	2
2.1.2 การสื่อสารด้วยเส้นใยแสง	9
2.2 แสงและอุปกรณ์ทางแสง	17
2.2.1 คุณสมบัติและคุณลักษณะของแสง	17
2.2.2 การเปล่งแสงและการดูดกลืนแสงของการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็ก	17
2.2.3 กฎ 3 ข้อของแสง	26
2.2.4 คุณสมบัติต่างๆ ของคลื่น	31
2.2.5 โคอีเร็นซ์ของแสง	35
2.2.6 การเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสง	37
2.2.7 การเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า	58
2.2.8 อุปกรณ์แสงอื่นๆ	67
2.3 เส้นใยแสง(Optical)	77
2.3.1 ลักษณะการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง	78
2.3.2 ชนิดของเส้นใยแสง	86
2.3.3 โครงสร้างของเส้นใยแสง	90
2.3.4 วิธีการผลิตเส้นใยแสง	94
2.4 ระบบสื่อสารเส้นใยแสง	107
2.4.1 วงจรภาคส่ง	108

	หน้า
2.4.2 วงจรไครเวอร์	118
2.4.3 วงจรดีเทคเตอร์	121
2.4.4 ระบบติดต่อสื่อสาร	123
2.4.5 สถานีทวนสัญญาณ (รีพีตเตอร์)	127
2.4.6 ตัวอย่างการออกแบบระบบ	128
2.4.7 ประสิทธิภาพของระบบ	131
2.4.8 การสูญเสียสัญญาณในเส้นใยแสง	132
บทที่ 3 การออกแบบ	134
3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศนโดยเส้นใยแสง	134
3.2 วงจรภาคส่ง	135
3.2.1 จูนเนอร์และภาคขยายไอเอฟ	135
3.2.2 หน้าที่การทำงานแต่ละขาของจูนเนอร์ UV 711	136
3.2.3 การทำงานของอิเล็กทรอนิกส์จูนเนอร์	137
3.2.4 ภาคขยายสัญญาณไอเอฟและดีมอดูเลเตอร์ (IF Amplifier and Demodulator)	139
3.2.5 วงจรขยาย (Amplifier)	140
3.2.6 วงจรมอดูเลตทางแสง (E/O Converter)	141
3.2.7 วงจรรวมด้านเครื่องส่ง	143
3.3 วงจรภาครับ	149
3.3.1 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นไฟฟ้า (O/E Converter)	149
3.3.2 วงจรขยาย	151
3.3.3 ภาคแยกสัญญาณเสียง (Detector Audio Signal)	152
3.3.4 ภาคแยกสัญญาณภาพ (Detector Video Signal)	153
3.3.5 วงจรรวมทางด้านเครื่องรับ	154
3.4 วงจรจ่ายไฟ (Power Supply)	158
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	162
4.1 ลักษณะการต่อใช้งาน	162
4.2 การทดสอบ	164
4.2.1 การทดสอบโดยใช้สายนำสัญญาณแกนร่วม	164
4.2.2 การทดสอบโดยใช้เส้นใยแสงเป็นสายนำสัญญาณ	170

	หน้า
4.3 วิธีการใช้เครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสง	177
บทที่ 5 บทวิจารณ์ สรุป และแนวทางในการพัฒนา	178
5.1 บทสรุป	178
5.2 ปัญหาในการทำงาน	178
5.3 แนวทางการพัฒนา	178
บรรณานุกรม	179
ภาคผนวก	180



สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1. รูปที่ 2.1 รูปแบบพื้นฐานของการสื่อสารระบบแสง	4
2. รูปที่ 2.2 การพัฒนาของการสื่อสารทางแสง	6
3. รูปที่ 2.3 เส้นใยแสงชนิดมัลติโหมด	9
4. รูปที่ 2.4 เทเบิลเส้นใยแสงชนิด 24 เส้นใย	10
5. รูปที่ 2.5 อุปกรณ์หลักการเชื่อมโยงส่งผ่านเส้นใยแสง	13
6. รูปที่ 2.6 การลดทอนของเส้นใยแสงขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น	14
7. รูปที่ 2.7 อะตอมของฮีเลียม	18
8. รูปที่ 2.8 อะตอมของคาร์บอน	19
9. รูปที่ 2.9 การกระจายของแสงอาทิตย์ที่ผ่านปริซึม	21
10. รูปที่ 2.10 การสังเคราะห์แสงโดยการหมุนแผ่นกลม	22
11. รูปที่ 2.11 การกระจายแสงจากหยดน้ำที่ทำให้เกิดผลของสีรุ้ง	24
12. รูปที่ 2.12 ตัวอย่างกฎ 3 ข้อของแสง	26
13. รูปที่ 2.13 กฎการสะท้อนกลับของแสง	27
14. รูปที่ 2.14 กฎการสะท้อนกลับของมุมที่ตกกระทบของแสง	28
15. รูปที่ 2.15 การสะท้อนกลับหมดของแสงที่ผิวน้ำ	30
16. รูปที่ 2.16 การเดินทางของแสงภายในแกนของเส้นใยแสง	30
17. รูปที่ 2.17 การขยายตัวของคลื่นของผิวน้ำ	31
18. รูปที่ 2.18 การเดินทางของแสงในตัวกลางที่มีเนื้อเดียวกัน	32
19. รูปที่ 2.19 คลื่นอยู่กับที่ที่เกิดในการแกว่งเส้นเชือกที่ยึดปลายทั้งสองเอาไว้	33
20. รูปที่ 2.20 การทดลองการอินเตอร์เฟอเรนซ์ของ YOUNG	35
21. รูปที่ 2.21 การถ่ายพลังงานและปรากฏการณ์ปล่อยพลังงานออกมา	37
22. รูปที่ 2.22 โครงสร้างและระดับพลังงานของอะตอม	38
23. รูปที่ 2.23 ระดับพลังงานและขั้นตอนของการถ่ายเท	40
24. รูปที่ 2.24 ตัวอย่างการจัดอิเล็กตรอนและนิวเคลียสในสารกึ่งตัวนำ	40
25. รูปที่ 2.25 ระดับพลังงานในสารกึ่งตัวนำ	41
26. รูปที่ 2.26 หลักการของการออสซิลเลชันของแสง	42
27. รูปที่ 2.27 การเกิดสแตนด์-เวฟของแสง	43
28. รูปที่ 2.28 ความยาวคลื่นต่างๆ ของ LASER	44

	หน้า
1. รูปที่ 2.29 ช่วงความยาวคลื่นแสงของ LED	45
2. รูปที่ 2.30 ความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาของสารประกอบกึ่งตัวนำแต่ละชนิด	46
3. รูปที่ 2.31 ระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำแบบ P-type และ N-type	46
4. รูปที่ 2.32 สนามไฟฟ้าภายในและระดับพลังงานของ P-N JUNCTION	47
5. รูปที่ 2.33 โครงสร้างทั่วไปของ LD	49
6. รูปที่ 2.34 โครงสร้าง, ระดับพลังงานและลักษณะการเปลี่ยนแปลง	
7. ค่าดัชนีการหักเหของ LD	50
8. รูปที่ 2.35 โครงสร้างแบบพลาแนร์-สตรีฟ	51
9. รูปที่ 2.36 โครงสร้างของเอ็มเบดดิ้ง-สตรีฟ-ไทป์	52
10. รูปที่ 2.37 โครงสร้างและระดับพลังงานของ LED	53
11. รูปที่ 2.38 ตัวอย่างโครงสร้างของ LED แบบปล่อยแสงทางด้านหน้า	54
12. รูปที่ 2.39 ตัวอย่างโครงสร้างของ LED แบบปล่อยแสงออกทางด้านข้าง	54
13. รูปที่ 2.40 รูปคลื่นทางด้านเอทท์พทของแสงและการมอดูเลชันในการส่งสัญญาณดิจิทัล	55
14. รูปที่ 2.41 การมอดูเลชันแบบ LIGHT INTENSITY MODULATION	56
15. รูปที่ 2.42 การเชื่อมแสงระหว่างอุปกรณ์ปล่อยแสงกับเส้นใยแสง	57
16. รูปที่ 2.43 ตัวอย่าง LD- Module และ LED-Module	58
17. รูปที่ 2.44 Depletion Zone	59
18. รูปที่ 2.45 ความยาวคลื่นในการรับแสงของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิด	60
19. รูปที่ 2.46 หลักการทำงานการรับแสง และระดับพลังงานของ PIN-PD	62
20. รูปที่ 2.47 หลักการทำงานการรับแสง และระดับพลังงานของ APD	63
21. รูปที่ 2.48 แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และโฟโต้ เคอร์เร็นท์	65
22. รูปที่ 2.49 ตัวอย่าง โครงสร้างภายในของ APD MODULE	66
23. รูปที่ 2.50 PIN-PD MODULE และ APD MODULE	67
24. รูปที่ 2.51 เลนส์แบบแท่ง และลักษณะการเดินทางของแสง	68
25. รูปที่ 2.52 โครงสร้างของอุปกรณ์ลดปริมาณแสงแบบเปลี่ยนค่าได้อย่างต่อเนื่อง	69
26. รูปที่ 2.53 อุปกรณ์ลดปริมาณแสงแบบเปลี่ยนค่าได้อย่างต่อเนื่อง	69
27. รูปที่ 2.54 การทำงานของ Optical Multiplexer และ Optical Demultiplexer	71
28. รูปที่ 2.55 ลักษณะภายนอกของ Optical Multiplexer และ Optical Demultiplexer	
29. แบบ Interference Film	73

	หน้า
1. รูปที่ 2.56 อุปกรณ์ Directional Coupler แบบ MIRROR TYPE	74
2. รูปที่ 2.57 อุปกรณ์ OPTICAL STAR COUPLER	75
3. รูปที่ 2.58 Optical Switch	76
4. รูปที่ 2.59 หลักการทำงานของ Non-Mechanic Optical Switch	77
5. รูปที่ 2.60 มุมรับแสงของเส้นใยแสง	78
6. รูปที่ 2.61 ผลของ NA และขนาดของ Core ที่มีต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่าง	
7. ต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสง	80
8. รูปที่ 2.62 เส้นใยแสงแบบกลมและแบบระนาบแบน	82
9. รูปที่ 2.63 การสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของตัวกลาง	83
10. รูปที่ 2.64 มุมสะท้อนกลับของแสงที่ทำให้เกิดคลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี	84
11. รูปที่ 2.65 Propagation Mode ภายในเส้นใยแสง	85
12. รูปที่ 2.66 ลักษณะการเดินทางของแสงใน CORE ของเส้นใยแสงแต่ละชนิด	88
13. รูปที่ 2.67 ลักษณะการเดินทางของแสงใน GI FIBER	89
14. รูปที่ 2.68 Parameter ทางโครงสร้างของ Multimode Optic Fiber	90
15. รูปที่ 2.69 แผนผังคุณสมบัติต่างๆ ของ Parameter ทางโครงสร้างของเส้นใยแสง	91
16. รูปที่ 2.70 เส้นผ่าศูนย์กลาง Mode Field	92
17. รูปที่ 2.71 วิธีการผลิต Preform โดย VAD Method	96
18. รูปที่ 2.72 อุปกรณ์การผลิต Preform โดย VAD Method	97
19. รูปที่ 2.73 วิธีการผลิต Preform โดย CVD Method	98
20. รูปที่ 2.74 ตัวอย่างของ Preform ที่ผลิตโดยวิธี VAD Method และ CVD Method	99
21. รูปที่ 2.75 การดึงเส้นใยแสงจาก Preform	99
22. รูปที่ 2.76 โครงสร้างแบบ Tight Structure หลังจากหุ้ม Second Cover	100
23. รูปที่ 2.77 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการต่อเชื่อมสายไฟโลหะกับ	
24. การต่อเชื่อมเส้นใยแสง	101
25. รูปที่ 2.78 การสูญเสียจากการต่อเชื่อมเส้นใยแสงเนื่องจากความคลาดเคลื่อนต่างๆ	102
26. รูปที่ 2.79 ผิวหน้าตัดของเส้นใยแสง	104
27. รูปที่ 2.80 ช่วงระยะเวลาขณะที่ทำการเชื่อมด้วย ELECTRIC ARC FUSION	105
28. รูปที่ 2.81 การต่อเชื่อมด้วย Connector	106
29. รูปที่ 2.82 ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง	107

	หน้า
1. รูปที่ 2.83 เทคนิคการเข้ารหัสทางดิจิทัล	109
2. รูปที่ 2.84 บล็อกไดอะแกรมของระบบ PAM	110
3. รูปที่ 2.85 การมอดูเลตแบบ PAM	110
4. รูปที่ 2.86 บล็อกไดอะแกรมของระบบ PCM	111
5. รูปที่ 2.87 รูปคลื่นของสัญญาณระบบมอดูเลตแบบ PCM	112
6. รูปที่ 2.88 เทคนิคของ PPM และ PWM	113
7. รูปที่ 2.89 การทำงานของระบบ TDM	115
8. รูปที่ 2.90 บล็อกไดอะแกรมของ FDM	116
9. รูปที่ 2.91 ช่วงพาหะย่อยในแต่ละช่องสัญญาณของ FDM	117
10. รูปที่ 2.92 การทำงานของระบบ WDM	118
11. รูปที่ 2.93 วงจรไครเวอร์ LED แบบดิจิทัล	119
12. รูปที่ 2.94 วงจรไครเวอร์ LED แบบอนาล็อก	120
13. รูปที่ 2.95 บล็อกการทำงานของวงจรเลเซอร์ไดโอด	120
14. รูปที่ 2.96 วงจรทำงานของโฟโตไดโอด	121
15. รูปที่ 2.97 วงจรโฟโตดีเทคเตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์	122
16. รูปที่ 2.98 ระบบการสื่อสารแบบสองทางหรือดูเพล็กซ์	123
17. รูปที่ 2.99 ทางเลือกในการออกแบบระบบสื่อสารเส้นใยแสง	125
18. รูปที่ 2.100 สถานีทวนสัญญาณ	127
19. รูปที่ 2.101 ระบบ FDM ที่ถูกออกแบบ	128
20. รูปที่ 2.102 ระบบ TDM ที่ถูกออกแบบ	130
21. รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของภาครับ	135
22. รูปที่ 3.3 ตำแหน่งขา TUNER	136
23. รูปที่ 3.4 วงจรภายในจูนเนอร์ระบบ UHF และ VHF	137
24. รูปที่ 3.5 วงจรขยายสัญญาณไอเอฟและดีมอดูเลเตอร์	139
25. รูปที่ 3.6 วงจรขยาย	140
26. รูปที่ 3.7 วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง	141
27. รูปที่ 3.8 วงจรของภาคส่ง	143
28. รูปที่ 3.9 วงจรพิมพ์ของภาคส่ง	145
29. รูปที่ 3.10 การวางอุปกรณ์ภาคส่ง	147

	หน้า
1. รูปที่ 3.11 วงจรเปลี่ยนแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า	149
2. รูปที่ 3.12 วงจรขยาย 2 สเตท	151
3. รูปที่ 3.13 วงจรแยกสัญญาณภาพและเสียงและวงจรผสมสัญญาณภาพและเสียง	152
4. รูปที่ 3.14 วงจรรวมของภาครับ	154
5. รูปที่ 3.15 วงจรพิมพ์ของภาครับ	155
6. รูปที่ 3.16 การวางอุปกรณ์ภาครับ	156
7. รูปที่ 3.17 วงจรจ่ายไฟ	158
8. รูปที่ 3.18 แผ่นวงจรพิมพ์ของภาคจ่ายไฟ	159
9. รูปที่ 3.19 การวางอุปกรณ์ของภาคจ่ายไฟ	160
10. รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบในการส่งสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสง	162
11. รูปที่ 4.2 การเชื่อมต่อในการใช้งานจริงของเครื่องรับ-ส่งสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสง	163
12. รูปที่ 4.3 การต่อเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยใช้สายนำสัญญาณแกนร่วม	164
13. รูปที่ 4.4 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ออสซิลอสโคป ที่จุดทดสอบของเครื่องส่ง	165
14. รูปที่ 4.5 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ออสซิลอสโคป ที่จุดทดสอบที่ 1 ของเครื่องรับ	165
15. รูปที่ 4.6 สัญญาณที่ได้จากการแยกภาพและสี (จุดทดสอบที่ 2)	166
16. รูปที่ 4.7 สัญญาณที่ได้จากการแยกสัญญาณเสียง (จุดทดสอบที่ 3)	166
17. รูปที่ 4.8 การต่อเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยใช้สายนำสัญญาณแกนร่วม	
18. ต่อกับสายอากาศ	167
19. รูปที่ 4.9 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ออสซิลอสโคป ที่จุดทดสอบของเครื่องส่ง	167
20. รูปที่ 4.10 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ออสซิลอสโคป ที่จุดทดสอบที่ 1 ของเครื่องรับ	168
21. รูปที่ 4.11 สัญญาณที่ได้จากการแยกภาพและสี (จุดทดสอบที่ 2)	169
22. รูปที่ 4.12 สัญญาณที่ได้จากการแยกสัญญาณเสียง (จุดทดสอบที่ 3)	169
23. รูปที่ 4.13 การต่อเครื่องส่งและรับโดยใช้เส้นใยแสง	170
24. รูปที่ 4.14 สัญญาณภาพที่ได้จากการวัดक्रम LED	170
25. รูปที่ 4.15 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ออสซิลอสโคป ที่จุดทดสอบที่ 1 ของเครื่องรับ	171
26. รูปที่ 4.16 สัญญาณที่ได้จากการแยกภาพและสี (จุดทดสอบที่ 2)	172
27. รูปที่ 4.17 สัญญาณที่ได้จากการแยกสัญญาณเสียง (จุดทดสอบที่ 3)	172
28. รูปที่ 4.18 การต่อเครื่องส่งและรับโดยใช้เส้นใยแสง	173
29. รูปที่ 4.19 สัญญาณภาพที่ได้จากการวัดक्रम LED	173

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
1. รูปที่ 4.20 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ฮอสซิลโคป ที่จุดทดสอบที่ 1 ของเครื่องรับ	174
2. รูปที่ 4.21 แสดงสัญญาณที่ได้จากการแยกภาพและสี (จุดทดสอบที่ 2)	175
3. รูปที่ 4.22 แสดงสัญญาณที่ได้จากการแยกสัญญาณเสียง (จุดทดสอบที่ 3)	175
4. รูปที่ 4.23 ส่วนหน้าปัดของเครื่องส่ง	176
5. รูปที่ 4.24 ส่วนหน้าปัดของเครื่องรับ	176



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1. ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์ปล่อยแสง	56
2. ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง	66
3. ตารางที่ 2.3 วิธีการสร้าง Optical Multiplexer และ Optical Demultiplexer	72
4. ตารางที่ 2.4 การแบ่งชนิดของเส้นใยแสง	87
5. ตารางที่ 2.5 ค่ามาตรฐาน ทางโครงสร้างของเส้นใยแสงที่ CCITT แนะนำ	93
6. ตารางที่ 3.1 การเลือกแถบความถี่	138



บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันระบบการส่งสัญญาณภาพและเสียงได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเห็นได้ในรูปแบบต่างๆ เช่น การส่งสัญญาณโทรทัศน์จากสถานีทวนสัญญาณที่ตั้งอยู่ตามพื้นดิน จะมีให้เห็นในรูปของสถานีโทรทัศน์ช่อง 3 และช่อง 5 เป็นต้น ต่อมาได้มีการดำเนินธุรกิจทาง โทรทัศน์ ในชื่อของ "เคเบิลทีวี" ซึ่งใช้สายนำสัญญาณแกนร่วม (Coaxial) ในการส่งสัญญาณ โทรทัศน์ โดยมีขอบเขตเฉพาะในชุมชนใดชุมชนหนึ่งเท่านั้น และเมื่อไม่นานมานี้ได้มีการส่งสัญญาณโทรทัศน์ ไปยังที่อยู่อาศัยโดยตรง ซึ่งใช้หลักการของการผ่านดาวเทียม โดยที่ดาวเทียมเปรียบเสมือนเป็น สถานีทวนสัญญาณที่อยู่ในอวกาศและส่งสัญญาณโทรทัศน์นั้นมายังบ้านหรือที่อยู่อาศัย เราเรียกระบบนี้ว่า “ระบบ DTH (Direct To Home)” ระบบนี้กำลังเป็นที่นิยมมากในปัจจุบันซึ่งจะสังเกตได้จากมีการตื่นตัวเกี่ยวกับระบบนี้มากขึ้นทั้งบริษัทผู้ส่งและฝ่ายผู้รับ และสำหรับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอระบบการส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยใช้เส้นใยแสง ซึ่งเป็นการสื่อสารในรูปแบบใหม่อีกแบบหนึ่งนอกเหนือไปจากการสื่อสารผ่านดาวเทียม โดยในระบบนี้จะเปลี่ยนจากการส่งสัญญาณไฟฟ้าเป็นการส่งสัญญาณแสงไปในสายนำสัญญาณที่มีลักษณะเป็นแท่งแก้วที่มีดัชนีการหักเหแสงคล้ายกับกระจกเงา (ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในบทต่อไป) แท่งแก้วนี้เรียกว่า เส้นใยแสงซึ่งมีขนาดเล็กมากประมาณเท่ากับเส้นผมของคนเราทั่วไป ($\approx 125\mu\text{m}$) ซึ่งคาดว่าระบบการสื่อสารเส้นใยแสงจะเข้ามามีบทบาทกับชีวิตประจำวันของคนเรามากขึ้นในอนาคตอันใกล้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การแนะนำเรื่องการสื่อสารทางแสง

2.1.1 รูปแบบของการสื่อสารทางแสง

ทุกคนคงจะเคยใช้การส่งข่าวในรูปแบบของ “ไฟฟ้า” โดยผ่านทางโทรศัพท์, ดาวเทียม, คลื่นวิทยุไมโครเวฟ และอื่นๆ อย่างไรก็ตามยังมีระบบการสื่อสารชนิดใหม่รวมทั้งคลื่นแสงที่ได้รับการพัฒนาจากห้องปฏิบัติการ และได้มีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง แต่การสื่อสารทางแสงคืออะไร?

การพยายามตอบคำถามสำหรับบุคคลที่ยังไม่เคยมีความรู้เกี่ยวกับเรื่องนี้มาก่อนจะต้องกระทำดังต่อไปนี้ในรอบหลายปีที่ผ่านมา การพัฒนาการสื่อสารทางไฟฟ้าได้ดำเนินรุดหน้าไปอย่างรวดเร็ว ปัจจุบันเป็นสิ่งธรรมดาที่พบเห็นกันได้ทั่วไป เช่น การแข่งขันกีฬาโอลิมปิกที่ทำการถ่ายทอดทางโทรทัศน์ โดยการส่งผ่านดาวเทียม นั่นคือมันจะปรากฏภาพทันที แม้ว่าเหตุการณ์นั้นจะได้จัดขึ้นที่อีกซีกหนึ่งของโลกก็ตาม

ในอนาคตชีวิตประจำวันของครอบครัวจะขึ้นอยู่กับโทรทัศน์มากขึ้น เช่น บริการทางการแพทย์และข่าวสารการศึกษาโทรสารสำหรับการส่งจดหมายและหนังสือพิมพ์ ผลที่ได้รับคือ การประหยัดเวลาและทรัพยากรธรรมชาติเป็นอันมากถึงแม้ว่าการส่งข่าวสารและโทรศัพท์ ภาพ อาจจะจัดหาได้ง่ายเพื่อที่จะให้มีบริการในสิ่งเหล่านี้ การส่งจะต้องมีประสิทธิภาพหลายร้อยเท่าของระบบที่มีอยู่ในปัจจุบันสำหรับการส่งข่าวสารที่มีจำนวนมากๆ มันเป็นผลสืบเนื่องมาจากหลักการสื่อสารอย่างง่ายก็คือ คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นคลื่นพาหะนั้นจำเป็นต้องใช้ความถี่สูงมาก การพัฒนาซึ่งเป็นเป้าหมายของวิศวกรการสื่อสารและนักวิจัย

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มแรกการทำงานของระบบการสื่อสารที่ความถี่แสง ถึงแม้ว่าจะเพิ่มประสิทธิภาพการส่งข่าวสารได้มากถึง 100,000 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มีใช้อยู่ อย่างไรก็ตามก่อนที่จะนำมาใช้งานในทางปฏิบัติยังมีปัญหาอีกหลายอย่างที่จะต้องนำไปแก้ไขเช่นเลเซอร์ต้องมีประสิทธิภาพและขนาดต้องเล็ก, ซึ่งสามารถรักษาคุณภาพให้อยู่ในระดับสูงตลอดไปต้องมีการควบคุมทางเอพท์พุท, อุปกรณ์มอดูเลชัน และดีมอดูเลชันที่ความเร็วสูงยังไม่ได้ผลตามที่ต้องการทั้งหมดนี้มีความสำคัญมากที่สุด สิ่งที่ต้องการสำหรับสายรับ-ส่งชนิดใหม่ คือ ต้องมีการสูญเสียต่ำ และที่ยึดหยุ่นได้, ประหยัด, และมีแบนด์วิธกว้าง ปรากฏว่าในตอนแรกนั้นปัญหาเหล่านี้เอาชนะได้ยากมาก

ประมาณปี พ.ศ. 2509 ได้มีการพิจารณาถึงความเหมาะสมที่จะนำเส้นใยแก้วนำแสงมาใช้เป็นสายรับ-ส่งอย่างจริงจัง แต่ในเวลานั้นการสูญเสียยังสูงอยู่ จึงยังไม่ได้นำมาใช้งาน

ในปี พ.ศ. 2513 ได้พบวิธีการที่จะลดการสูญเสียลงได้เป็นจำนวนมากและการทำงานของเลเซอร์สารกึ่งตัวนำสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากอายุการใช้งานของเลเซอร์สามารถเพิ่มได้มากขึ้น และสามารถผลิตเส้นใยแสง ให้มีการสูญเสียต่ำได้ทำให้ การสื่อสารด้วยเส้นใยแสงได้รับการยอมรับในทางปฏิบัติ

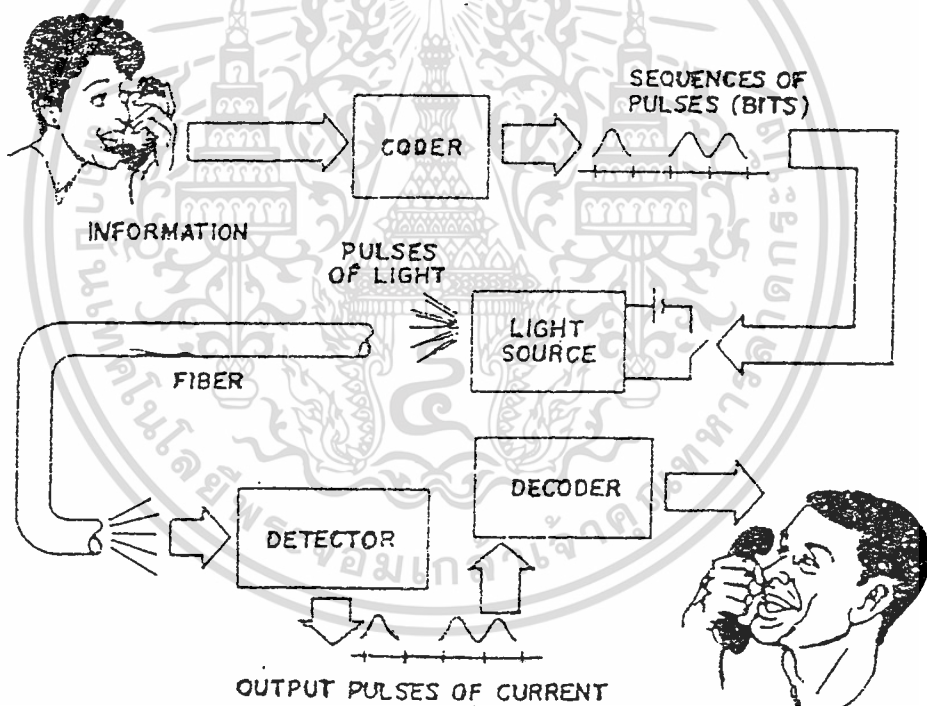
เรายังคงเพิ่งเริ่มต้นในยุคของการสื่อสารทางแสง แต่ขณะนี้มีความเป็นไปได้อย่างมากว่าหน่วยเล็กๆนี้จะเติบโตเป็นต้นไม้มหาศาลในอนาคตรุ่นต่อไป อีกประการหนึ่งความถี่ของแสงอินฟราเรดและรังสีเอ็กซ์-เรย์ สูงกว่าออปติคัล-เรย์ (Optical Ray) และมีความเหมือนกันคือการรวมตัวของโปรตอน ทำให้พลังงานเพิ่มขึ้นผลที่ตามมาคือ ควอนตัม-นอยซ์ (Quantum Noise) สูงมาก และการเชื่อมติดกับสายรับ-ส่งและรีเฟลคเตอร์ทำได้ยากมากในหลักการแล้ว ความถี่เหล่านี้ไม่เหมาะที่จะใช้ส่งข้อมูล เพราะฉะนั้นคลื่นแสงที่มองเห็นได้ อาจเป็นประเภทสุดท้ายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่จะนำมาใช้กับระบบโทรคมนาคมได้

ระบบการสื่อสารทางแสงส่วนใหญ่จะใช้เส้นใยแสงและใช้สารกึ่งตัวนำเป็นแหล่งกำเนิดแสง ในรูปที่ 2.1 ที่จะกล่าวถึงเป็นระบบทั่วไป

ในรูปแบบของการสื่อสารทางแสงนั้น ในขั้นแรกสัญญาณ (คลื่นเสียง) ที่ผู้ใช้งานต้องการจะส่งจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าในเครื่องส่ง ซึ่งมันจะถูกมอดูเลทกับความเข้มของแสงที่แหล่งกำเนิดแสง ซึ่งอาจจะเป็นเลเซอร์หรือไดโอดเปล่งแสง (วิธีการนี้เรียกว่ามอดูเลชัน)

สัญญาณแสงถูกส่งผ่านเข้าไปในทางเดินของแสงในเส้นใยแสง และถูกตรวจรับที่ปลายทางด้านรับด้วยโฟโตดีเทคเตอร์ ซึ่งสัญญาณแสงจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม (เรียกว่าดีมอดูเลชัน)

สุดท้ายสัญญาณไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณเดิมที่ผู้ใช้สามารถเข้าใจได้ เช่น เสียงคำพูด (คลื่นเสียง) หลายศตวรรษมาแล้วที่มนุษย์รู้จักการใช้การสื่อสารด้วยแสง เช่น คบเพลิง, สัญญาณไฟ และโดยการสะท้อนแสงด้วยกระจก จนกระทั่งปัจจุบันสัญญาณแสงก็ยังคงมีใช้อยู่ เช่น การสื่อสารระหว่างเรือ โดยใช้สัญญาณแสงด้วยรหัสมอส การพัฒนาอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำให้ทำงานเป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยอาศัยข้อมูลการวิจัยในยุโรปและอเมริกา เป้าหมายของการพัฒนาของหลอดคายประจุ และหลอดไฟฟ้า หรือปรากฏการณ์ของแสงที่เปล่งออกมาจากแท่งเรืองแสง โดยเฉพาะการเปล่งแสงที่ได้โดยการให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจุดเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำ ในผลึกเชิงเดี่ยวของสารกึ่งตัวนำเช่น ซิลิคอน หรือ เยอรมันเนียม การเปล่งแสงอ่อนมาก แต่ในสารประกอบผลึกกึ่งตัวนำ เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) การเปล่งแสงสูงกว่มาก เพราะฉะนั้นจึงได้มีการพัฒนาวิธีการผลิตสารกึ่งตัวนำให้เหมาะสมที่จะจัดให้เป็นแหล่งกำเนิดแสง



รูปที่ 2.1 รูปแบบพื้นฐานของการสื่อสารระบบแสง

ในอดีตแนวความคิดของการส่งสัญญาณแสง ในสมัยกรีกโบราณ ซึ่งเทคโนโลยีของการผลิตแก้วได้เริ่มขึ้น ได้สังเกตเห็นว่าแสงสามารถผ่านแท่งแก้วได้ ในทำนองเดียวกันในประเทศอังกฤษ ซึ่งมีความรู้เกี่ยวกับแสงรุ่งเรืองมาก ในศตวรรษที่ 19 ได้สังเกตแสงที่ส่งผ่านท่อน้ำที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่างมาก การทดลองเรื่องการส่งแสงผ่านเส้นใยแก้วได้กระทำเป็นครั้งแรกที่ประเทศเยอรมันนี ในปี พ.ศ. 2473

ในปี พ.ศ. 2501 ประเทศอังกฤษได้เสนอแนะรูปร่างของเส้นใยแสง ซึ่งประกอบด้วยส่วนในสุดเป็นแก้วแล้วหุ้มด้วยส่วนประกอบของแก้วที่คล้ายกัน ในตอนต้นปี พ.ศ. 2503 ที่ประเทศญี่ปุ่นได้ผลิตเส้นใยแก้วขึ้นมา เพื่อวัตถุประสงค์ของการส่งภาพโดยเส้นใยแสง(Optical Pictures) แต่การส่งมีการสูญเสียของแสงสูงมาก เพราะว่าความเข้มของแสงที่ส่งผ่านเส้นใยที่มีความยาวไม่ถึง 1 เมตร ได้ลดลงเป็นจำนวนมาก เพราะฉะนั้นการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแสงก็ถูกทิ้งไว้

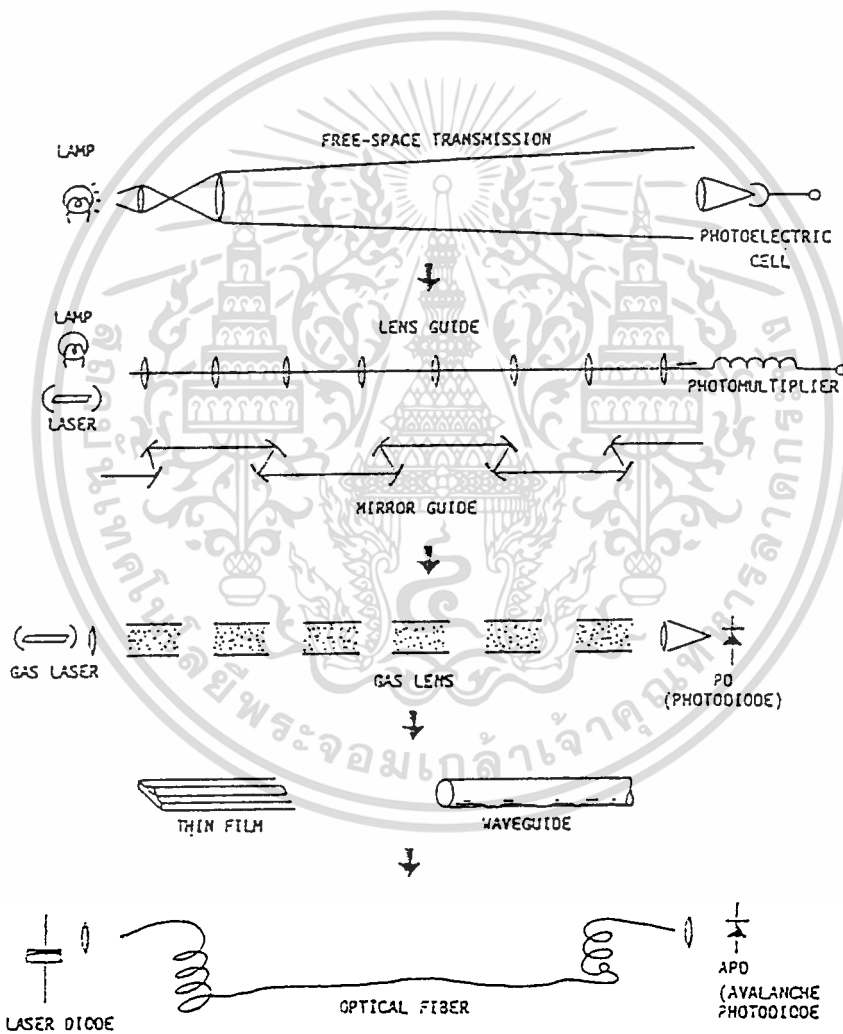
ประมาณปีพ.ศ. 2503 ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ทำการทดลองที่เกี่ยวกับสายส่งประเภทต่างๆ โดยการใช้รูปแบบของท่อนำสัญญาณแสง(Optical Waveguide)ที่ต่างกัน และประกอบด้วยเลนส์ที่รวมแสงเข้าหากันตรงจุดที่แสงอ่อนลงเป็นช่วงๆ เรียงกันไปตามลำดับรูปแบบหนึ่งของระบบนำแสงประกอบด้วยเลนส์ 10 ชุด แต่จุมรวมแสงยาว 50 เมตร และระยะห่างเป็นช่วงๆละ 100 เมตร ภายในท่อขยายให้ยาวได้ถึง 1 กิโลเมตร แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในตอนแรกก็คือ หลอดซีนอน

ในปี พ.ศ. 2503 เป็นช่วงเวลาเดียวกันที่สหรัฐได้ทำการวิจัยอย่างคร่ำเคร่ง ผลที่ได้รับเป็นความสำเร็จครั้งแรก คือการทำงานของ โซลิด-สเตทรูบีเลเซอร์ , ฮีเลียม/นีออนก๊าซเลเซอร์ในปี พ.ศ.2504 และสารกึ่งตัวนำเลเซอร์เกลเลียมอาร์เซไนด์ ในปี พ.ศ. 2505 โดยทั่วไปเข้าใจว่าสิ่งที่ปรากฏขึ้นของสิ่งใหม่ๆเหล่านี้ และแหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว ถือว่าเป็นนิมิต ที่ดีของการสื่อสารทางแสงที่จะให้ระบบของการสื่อสารที่มีคุณภาพสูง หลังจากที่ได้มีการวิจัยกันอย่างต่อเนื่องคุณสมบัติที่เป็นไปได้ของแหล่งกำเนิดแสงเพีย-เพียโรต (Fabry perot Resonator) ซึ่งคลื่นแสงถูกจำกัดอยู่ระหว่างกระจก 2 แผ่นผลที่รับคือหลักฐานทางทฤษฎีได้เป็นที่ยอมรับกันในหลักการของการส่งลำแสงที่คงที่จากแหล่งกำเนิดเลเซอร์ผ่านอวกาศ

ในปี พ.ศ. 2507-2508 ได้มีการเสนอให้ใช้ก๊าซเลนส์เป็นตัวนำแสงและในเวลาเดียวกันก็ได้มีการนำมาทดสอบ อุปกรณ์นี้คือก๊าซเลนส์ ที่มีการสูญเสียต่ำเนื่องจากดัชนีหักเหของแสงลดลงจากแกนกลางของเส้นใยแสงดังนั้นลำแสงของแสงจะถูกจำกัดให้อยู่ใกล้กับแกนกลางในเวลาเดียวกัน หลักการทางคณิตศาสตร์ของทางเดินของแสงที่เคลื่อนที่ไปเรียกว่าเลนส์ไลค์-มิเดียม(Lenslike-Medium) ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป เนื่องจากเป็นระบบที่ต้องการเพาเวอร์เป็นจำนวนมากที่จะทำให้เกิด Refractive-index Profile ในปริมาณของก๊าซจำนวนมากและเหตุผลอย่างอื่น ๆ อีก ความคิดที่จะใช้ก๊าซเลนส์มาเป็นทางเดินของแสงก็หยุดชะงักลง ถึงแม้จะได้รับผลประโยชน์หลายอย่างในเวลานั้นก็ตามรวมทั้งความเชื่อว่าแสงถูกจำกัดให้อยู่ใกล้กับแกนกลางข้อคิดเห็นที่ว่าดัชนีที่แปร

กระจายในรูปของพาราโบลาในเส้นใยแสงจะชดเชยกลุ่มความเร็วของโหมดที่เคลื่อนที่ในชั้นต่างๆ และวิธีที่จะใช้คำนวณเกี่ยวกับทางเดินของแสง

อีกประการหนึ่งในปี พ.ศ. 2509 ได้มีการประยุกต์ใช้เลเซอร์กับการสื่อสารทางแสงทำให้เกิดความสนใจทั้งในอเมริกาและญี่ปุ่นและทราบว่าการณ์อดุลชั้นที่ความถี่สูงมากนั้นมีความเป็นไปได้ เช่นเดียวกับความคิดที่จะนำเส้นใยแสงนำแสงมาเป็นสายรับ-ส่งได้เริ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่งทั้งในประเทศอังกฤษและญี่ปุ่น และความพยายามที่จะลดการสูญเสียจากการส่งให้ต่ำลง และการวิจัยเกี่ยวกับแบนด์วิดท์ก็ได้เริ่มขึ้น



รูปที่ 2.2 การพัฒนาของการสื่อสารทางแสง

ประมาณปี พ.ศ. 2513 ผลจากการวิจัยทั้งสองอย่างมีความสำคัญอย่างมากต่อการสื่อสารทางแสงอย่างแรกก็คือการทำงานอย่างต่อเนื่องของเลเซอร์ที่อุณหภูมิห้องในอเมริกา ต่อไปก็คือการปรับปรุงเรื่องอายุการใช้งานทั้งในอเมริกาและญี่ปุ่น อีกอย่างก็คือการลดลงอย่างมากของการสูญเสียจากการส่งจากที่อังกฤษได้ทำไว้ระหว่าง 150 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ได้ลดลงเหลือประมาณ 20 เดซิเบลต่อกิโลเมตรทั้งในอเมริกาและญี่ปุ่น เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการพัฒนาเกี่ยวกับอุปกรณ์ทางแสงและสายรับ-ส่งเส้นใยแสงเป็นหลัก ปัจจุบันนี้ในทางปฏิบัติได้พิสูจน์ให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะนำการสื่อสารทางแสงมาใช้กันอย่างกว้างขวางขึ้น สายรับ-ส่งเส้นใยแสงได้มีการปรับปรุงกันอย่างรวดเร็ว บางส่วนได้นำวิธีการผลิตสารกึ่งตัวนำมาใช้ ซึ่งได้มีการพัฒนามาอย่างดีแล้ว ซึ่งให้ทั้งการสูญเสียต่ำและมีแบนด์วิดท์กว้างกว่าสายรับ-ส่งอย่างอื่น

ได้มีข้อเสนอแนะที่แตกต่างกันหลายประการที่ใช้กับการส่งสำหรับการสื่อสารทางแสง เพราะว่าบางวิธีอาจจะใช้บางโอกาสในอนาคต ซึ่งเราจะได้ศึกษากันอย่างย่อและเปรียบเทียบวิธีเหล่านั้นกับเส้นใยแสง รูปที่ 2.2 ข้างล่างนี้ แสดงให้เห็นถึงวิธีการพัฒนาของการสื่อสารทางแสง เริ่มต้นด้วยการเดินทางของลำแสงจากหลอดไฟแสงสว่างผ่านไปสู่อากาศ การนำทางของแสงจากเลเซอร์ไดโอดไปตามเส้นใยแสง

2.1.1.1 การเดินทางเป็นเส้นตรงของลำแสงเลเซอร์ผ่านชั้นบรรยากาศ

ลำแสงของเลเซอร์ที่แพร่กระจายในอากาศมีทิศทางที่แน่นอนมาก ดังนั้นมันจึงถูกส่งไปได้เป็นระยะทางไกลๆ ตอนนี้ให้มาพิจารณาถึงสิ่งที่เรียกว่า Gaussian คลื่นลำแสงที่มีความเข้มของแสงที่แผ่กระจายออกไป I ตามขวางกำหนดจาก

$$I = I(0) \exp(r^2/w_0^2)$$

ซึ่ง r คือระยะทางจากแกนลำแสง และ w_0 คือค่าคงที่เรียกว่า Spot Size ของ Gaussian Beam และตรงกับรัศมีที่มีความเข้มของแสงลดลงที่ $1/\ell$ ($\ell \cong 2.718$) ของค่ายอดของมัน* (*บางครั้ง Spot Size กำหนดจากรัศมีของลำแสง w' ซึ่งเป็นขอบเขตของแอมพลิจูด และไม่ใช้ความเข้มของลำแสงต่างจาก $1/\ell$ ของค่ายอด ในกรณีนี้ $w' = 2w_0$) ความกว้างของมุมที่แพร่ออกของลำแสง $\Delta\theta$ กำหนดจาก

$$= \lambda / 2\pi w_0 = 0.32 * \lambda / 2w_0 \text{ rad.}$$

เส้นผ่าศูนย์กลาง d' ของลำแสงที่จุดใดๆ ขึ้นอยู่กับ $\Delta\theta$ จะเห็นได้ว่า $\Delta\theta$ มีมุมที่แคบมาก เมื่อ Spot Size w_0 เพิ่มขึ้นที่จุดแพร่กระจายจากศูนย์กลางและความยาวคลื่นสั้นมากเหมือนกัน

เช่น ตัวอย่างที่ความยาวคลื่น $\lambda = 0.63$ และ 10.6 ไมโครเมตร กับ $W_0 = 1$ มิลลิเมตร $\Delta\theta$ คือ $0.006^\circ = 10^{-4}$ rad และ $0.01^\circ = 1.7 \times 10^{-3}$ rad ตามลำดับ ซึ่งเป็นมุมที่แคบมาก เนื่องจากมุมเหล่านี้แคบ พลังงานที่มันเดินทางไประยะทาง 1 กิโลเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของลำแสงที่กระจายออกไปมีขนาดเพียง 10 เซนติเมตร และ 1.7 เมตร ตามลำดับ ในอวกาศภายนอกชั้นบรรยากาศของโลก ลำแสงที่มีมุมแคบนี้ทำให้มันเดินทางไปได้ระยะทางไกลมาก

ภายในชั้นบรรยากาศของโลก การสูญเสียที่เกิดจากการดูดซับขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสง จึงจำเป็นต้องเลือกใช้ความยาวคลื่นแสงที่มีการดูดซับต่ำตรงกับที่เรียกชั้นบรรยากาศนี้ว่าวินโดว์ (Window) นอกจากนั้นในสายฝนหรือภาวะของอากาศที่เกิดเป็นหมอกลำแสงของแสงจะถูกดูดซับมากและทำให้แสงเกิดการกระจาย และมีการสูญเสียมากกว่า 20-30 เดซิเบลต่อกิโลเมตรในสภาพที่เลว ถึงแม้ว่าอากาศจะดีและไม่มีกระแสนลมลำแสงก็เคลื่อนที่อย่างไม่มีการหักเหเนื่องจาก “ปรากฏการณ์ภาพลวงตา” (Mirage Phenomenon) ซึ่งเป็นสาเหตุจากอุณหภูมิและดัชนีหักเหลดลง และทำให้ลำแสงไม่คงที่ เช่นเดียวกัน ถ้าเลนส์ทางด้านส่งและด้านรับเกิดการสั่น จะทำให้เพาเวอร์ที่ได้รับเกิดการแปรผันอย่างมาก เนื่องจากผลที่เกิดขึ้นเหล่านี้ เช่น ไม่มีการป้องกันลำแสงขณะที่กำลังเดินทางไปในชั้นบรรยากาศ และนั่นมันจึงไม่เหมาะที่จะใช้ส่งในระยะทางไกลได้ อย่างไรก็ตาม สำหรับระยะทางใกล้ๆ ที่มีระยะไม่กี่สิบลเมตรวิธีการสื่อสารแบบง่ายๆ นี้ก็สามารถเชื่อถือได้ และยังสามารถใช้ประโยชน์ได้ในอีกหลายเรื่องด้วยกัน

2.1.1.2 วิธีการเกี่ยวกับ Lens Waveguide

ได้เคยกล่าวมาแล้วว่าระบบเวฟไกด์ (Waveguide) ซึ่งลำแสงจะถูกนำทางโดยเลนส์หรือจากกระจกที่วางอยู่ภายในท่อที่ได้มีการทดสอบไปแล้ววิธีนี้สามารถส่งลำแสงที่มีจุดขนาดเล็กได้ตลอดโดยการโฟกัสมันเป็นช่วงๆ และป้องกันไม่ให้ถูกรบกวนจากสภาพอากาศภายนอก

สำหรับเลนส์ที่ใช้เป็นตัวนำแสงเป็นเลนส์บางๆ (Thin Lens) ระยะศูนย์กลางจากเลนส์ไปยังจุดรวมแสง (Focal length) F , และระยะห่าง $2L$, ขนาดจุดรวมแสง w ที่อยู่ในระนาบเดียวกับเลนส์จะมีขนาดเล็กที่สุดที่ตำแหน่ง $f=L$ จาก

$$w = \sqrt{L\lambda / \pi}$$

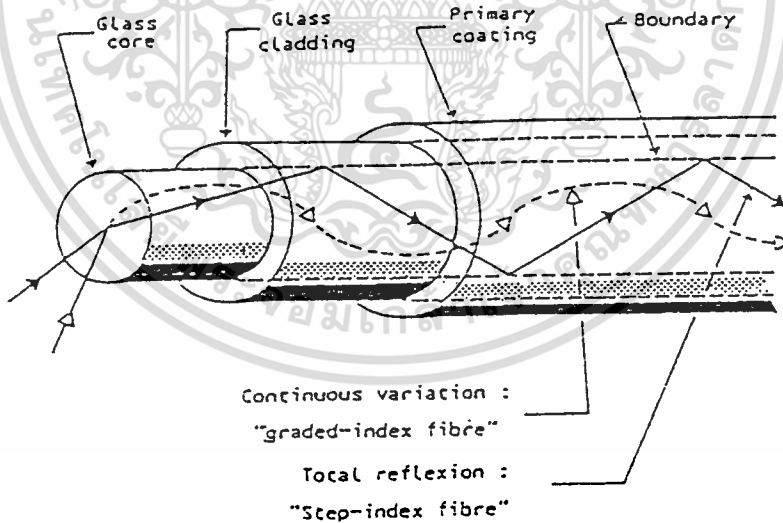
เช่นตัวอย่าง $w=3.2$ มิลลิเมตร สำหรับ $2L = 100$ เมตร และ $\lambda=0.63$ ไมโครเมตร เพราะฉะนั้นเพื่อความเหมาะสมสำหรับเลนส์แต่ละชุดซึ่งเป็นจุดรวมแสงยอมให้ตำแหน่งของเลนส์นี้แปรผันได้เล็กน้อย เส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์ต้องมีขนาดหลายเซนติเมตร ถ้าใช้เลนส์เคลือบน้ำยา

เพื่อป้องกันการสะท้อน จะทำให้ได้ค่าการสูญเสียในสายส่ง(Transmission Loss) ต่ำประมาณ 0.5 dB/km

อย่างไรก็ตามในระบบเวฟไกด์ นี้ตำแหน่งของเลนส์อาจคลาดเคลื่อนได้เล็กน้อยเนื่องจากการสั่นสะเทือนของแผ่นดิน รวมทั้งแผ่นดินไหวและอื่นๆ ในทำนองนั้น ดังนั้นขีดชั้นทางโครงสร้างจะลดลง ทำให้ลำแสงไม่คงตัว เช่นเดียวกัน ถ้าอุณหภูมิที่มีอยู่ระหว่างคอนตันและคอนปลายของท่อแตกต่างกัน จะเป็นเหตุให้ลำแสงเกิดการเบี่ยงเบนเนื่องมาจากอากาศภายในท่อทำให้เกิดปริซึมขึ้น เพราะฉะนั้นส่วนปลายของท่อต้องมีฉนวนมาปิดหรือต้องขจัดอากาศออกไป จากเหตุผลเหล่านี้และอื่นๆ อีก จะไม่ใช่เลนส์เป็นตัวนำแสง หรือพูดโดยทั่วไปว่าไม่เหมาะที่จะใช้เป็นสายรับ-ส่ง อีกประการหนึ่ง ถ้าโครงสร้างมีการปรับแต่งโดยอัตโนมัติรวมกันเข้าเป็นระบบก็สามารถใช้มันเป็นเครื่องตรวจสอบการสั่นสะเทือนของแผ่นดินได้ ซึ่งก็เป็นการใช้งานอีกวิธีหนึ่งของระบบนี้

2.1.2 การสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

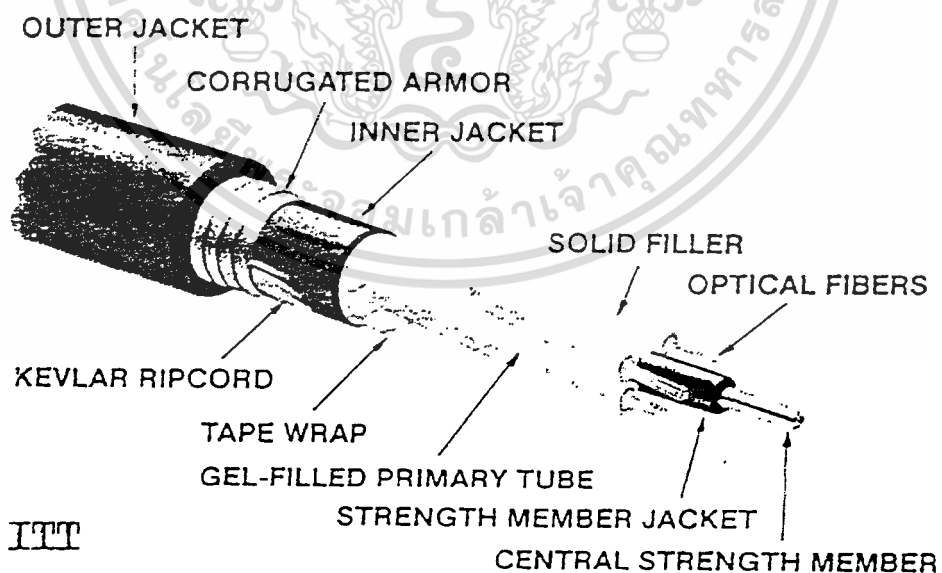
2.1.2.1 สายรับ-เส้นใยแสง



รูปที่ 2.3 เส้นใยแสงชนิดมัลติโหมด

โครงสร้างของสายรับ-ส่งเส้นใยแสง ประกอบด้วยส่วนตรงกลางที่เรียกว่าคอร์(Core) มีดัชนีหักเหของแสง n_1 , วัสดุที่หุ้มรอบๆเรียกว่าแคลดดิ้ง(Cladding) มีดัชนีหักเหของแสง n_2 , ต่ำกว่า n_1 ดังนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกจำกัดอยู่ในส่วนของคอร์ และถูกส่งต่อโดยหลักการสะท้อนกลับตรงเขตแดนระหว่างคอร์กับแคลดดิ้ง ที่อยู่ภายในทั้งหมด เส้นใยแสงเป็นรูปแบบของไดอิเล็กทริก-เวฟไกด์(Dielectric Waveguide)ซึ่งเป็นชนิดซิลิกาแก้วและมัลติคอมโพเนนท์ที่กลาสปกติใช้เป็นส่วนประกอบของฉนวนไฟฟ้า ในบางกรณีอาจใช้สารพลาสติก หรือของเหลวก็สามารถนำมาเป็นส่วนประกอบอย่างหนึ่งของสารประกอบเหล่านี้ได้ ในวงจรแสงที่เคลือบด้วยแผ่นฟิล์มบางซึ่งมีความหนาเพียง 2-3 มิลลิเมตร วัสดุอื่นที่สามารถนำมาใช้ได้ เช่น แก้ว, พลาสติก, วัสดุที่มีองค์ประกอบอย่างเดียวกันหรือสารกึ่งตัวนำ

เส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์ ของเส้นใยแสง ปกติจะอยู่ในย่าน 2-3 ไมโครเมตร ถึง 20-30 ไมโครเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอกของแคลดดิ้งอยู่ระหว่าง 100-200 ไมโครเมตร อย่างไรก็ตามเส้นใยแสงที่ยังไม่ได้หุ้มมีความเปราะมาก และเป็นเหตุเริ่มต้นให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีจากความชื้นดังนั้นเส้นใยแสงจึงถูกกำหนดให้มีการหุ้มครั้งแรกเสียชั้นหนึ่งก่อนด้วยพลาสติก ต่อไปหุ้มด้วยในลอนอีกชั้นหนึ่งยิ่งกว่านั้นยังจัดเป็นกลุ่มเข้าด้วยกันในรูปเคเบิลเส้นใยแสงซึ่งทำให้เคเบิลมีเส้นใยแสงเป็นร้อยเส้นได้



รูปที่ 2.4 เคเบิลเส้นใยแสงชนิด 24 เส้นใย

ปัจจุบันซิลิก้ากลาสเป็นส่วนประกอบที่ทำให้การสูญเสียต่ำมากโดยการทำให้ซิลิก้ากลาสมีความบริสุทธิ์มากขึ้นทำให้สามารถผลิตเส้นใยแสง ที่มีการลดทอนประมาณ 0.2 เดซิเบลต่อกิโลเมตรที่ความยาวคลื่น 1.55 ไมโครเมตรได้ ประกอบมีแบนด์วิธกว้างและการสูญเสียต่ำจึงเชื่อได้ว่าเส้นใยแสงจะเป็นสายรับ-ส่งที่เหมาะสมที่สุด

ในตอนนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดที่เกี่ยวกับความยาวคลื่น 0.85 ไมโครเมตร ที่ให้การสูญเสียต่ำ ซึ่งเป็นข้อกำหนดอย่างหนึ่งที่เรียกว่า ออปติคัล-ไฟเบอร์-วินโดว์ (Optical Fiber Windows) บังเอิญสารกึ่งตัวนำเลเซอร์ที่ประกอบด้วยแกเลียม อะลูมิเนียม อาร์เซไนด์ (GaAlAs) และซิลิกอน (Si) โฟโตนิกเทคเตอร์มีความไวสูง ที่ความยาวคลื่นนี้ ในทางตรงกันข้าม เส้นใยมีความสูญเสียต่ำมากจะอยู่ย่านความยาวคลื่น 1.0-1.6 ไมโครเมตร การวิจัยเกี่ยวกับเลเซอร์และตัวรับแสงความไวสูงที่กำลังทำกันในปัจจุบันและอนาคตถือเป็นกุญแจสำคัญที่ต้องพัฒนาต่อไปในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

2.1.2.2 ข้อดีของการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงคืออะไร

ในการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแสงมีข้อดีเหนือกว่าระบบออปติคัล-เวฟไกด์ อื่นๆทั้งหมด และมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. มีการสูญเสียต่ำตลอดย่านความยาวคลื่นที่ใช้งาน (น้อยกว่า 1 เดซิเบลต่อกิโลเมตร)
2. มีแบนด์วิธกว้าง [1-10 GHz, สำหรับมัลติ-โหมด(Multi-mode) และซิงเกิล-โหมด(Single-mode) ตลอดความยาว 1 กิโลเมตรตามลำดับ]
3. มีความยืดหยุ่น
4. ขนาดเล็ก (เส้นใยแก้วมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 100 ไมโครเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางทั้งหมด ซึ่งรวมทั้งที่หุ้มพลาสติก ประมาณ 1-2 มิลลิเมตร)
5. น้ำหนักเบา
6. ไม่มีสิ่งรบกวนจากแม่เหล็กไฟฟ้า
7. Crosstalk ต่ำและมีมาตรการการป้องกันสูง
8. ส่วนประกอบของแก้วที่ใช้เป็นวัสดุทางธรรมชาติมีเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะความเข้มข้นของซิลิก้ามีสูงมาก
9. มีความต้านทานต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี และการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิมาก

เนื่องจากเส้นใยแสงมีข้อดีเหล่านี้จึงมีความพยายามที่จะปรับปรุงคุณสมบัติที่ได้กล่าวไปแล้วอย่างต่อเนื่องต่อไป โดยเฉพาะการวิจัยที่จะดำเนินการตามทิศทางต่อไปนี้

1. อะไรคือลักษณะรูปร่างที่ดีที่สุดของดัชนีหักเหของแสงนำเอาปัจจัยทั้งหมดมาพิจารณา
2. อะไรคือการกระทำที่ทำให้ได้การสูญเสียต่ำที่สุด
3. ความยาวคลื่นเท่าไรที่เหมาะสมที่สุดของใช้ทำงาน
4. อะไรเป็นส่วนสำคัญที่กำหนดแบนด์วิธ
5. สาเหตุใดที่ทำให้คุณลักษณะของการเดินทางเปลี่ยนไปโดยแมชชีนนิคอล-เอฟเฟกต์ (Mechanical Effects) เช่นการ โก่งอย่างนั้นหรือ
6. อายุการใช้งานจะเป็นสาเหตุให้คุณลักษณะเปลี่ยนไปหรือไม่
7. ปัญหาทางเทคนิคของการวางและการต่อเคเบิลสามารถแก้ไขปรับปรุงได้หรือไม่
8. ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ลดลงโดยการผลิตเป็นจำนวนมากได้หรือไม่

2.1.2.3 อุปกรณ์การเชื่อมโยงการส่งผ่านเส้นใยแสง

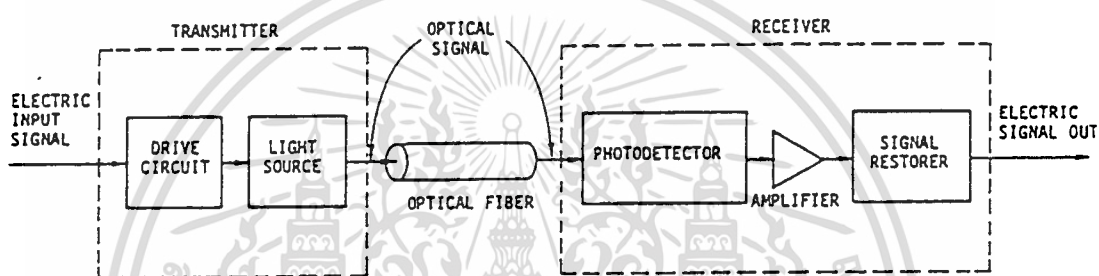
ในการเชื่อมโยงการส่งผ่านเส้นใยแสงส่วนสำคัญต่างๆคือ เครื่องส่งที่ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสงและร่วมกับวงจรกระตุ้น(Drive Circuit), เคเบิลเส้นใยแสง ,และเครื่องรับที่ประกอบด้วย โฟโตดีเท็คเตอร์ รวมกับวงจรขยายสัญญาณและวงจรที่ทำให้สัญญาณกลับคืนสู่สภาพเดิม

เคเบิลใยแสงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในการเชื่อมต่อเส้นใยแสง นอกจากจะได้มีการป้องกันเส้นใยแสงระหว่างการติดตั้ง และการให้บริการ ภายในเคเบิลอาจจะบรรจุสายทองแดงสำหรับเพาเวอร์ที่จะจ่ายให้กับส่วนทวนสัญญาณ ซึ่งต้องการสำหรับการขยายสัญญาณและการสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่เป็นช่วงๆ เมื่อต้องการขยายระยะทางให้ไกลออกไปอีก เคเบิลโดยทั่วไปแล้วประกอบด้วยเส้นใยแสงรูปทรงกระบอกที่มีขนาดเท่าเส้นผมเป็นจำนวนมาก แต่ละเส้นไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนวงจรของการสื่อสาร

การติดตั้งเคเบิลใยแสงสามารถติดตั้งได้ทั้งในอากาศ, ในท่อร้อยสาย, ใต้ทะเลหรือฝังดินโดยตรง ทำนองเดียวกันกับเคเบิลทองแดง ความยาวของเคเบิลแต่ละเส้นจะมีความยาวตั้งแต่หลายร้อยเมตรจนถึงหลายกิโลเมตรสำหรับการใช้งานทางไกล ขึ้นอยู่กับการติดตั้งและหรือข้อจำกัดของการผลิต ความยาวจริงๆ ของเคเบิลในช่วงหนึ่งๆกำหนดจากการพิจารณาในการใช้งานเช่นขนาดของระวิงและน้ำหนักของเคเบิล ถ้าการวางเคเบิลผ่านท่อร้อยสาย มักจะใช้เคเบิลที่มีความยาวสั้นกว่า ส่วนเคเบิลที่มีความยาวมากๆ มักจะใช้แขวนในอากาศหรือฝังดินโดยตรง ถ้าจะให้ได้ความยาวที่จะใช้งานกับทางไกลจริงๆ ต้องนำเคเบิลแต่ละช่วงความยาวมาต่อเข้าด้วยกัน ถึงจะได้ความยาวที่สมบูรณ์ตามต้องการ

คุณสมบัติอันดับแรกๆของเส้นใยแสงคือการลดทอน ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น เทคโนโลยีในตอนต้นๆ นั้นใช้ความยาวคลื่นแถบ 800-900 นาโนเมตรอย่างเดียวนั้น เนื่องจากในแถบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวคลื่นนี้เส้นใยแสงที่ผลิตได้ในเวลานั้นแสดงค่าการลดทอนต่ำสุดและแหล่งกำเนิดแสงและโฟโตนิกส์ที่ทำงานในย่านความยาวคลื่นนี้จัดหาได้ง่าย โดยการลดความเข้มข้นประจุของไฮดรอกซิล (Hydroxyl ions) และประจุของโลหะ (Metalic ions) ที่เจือปนอยู่ในส่วนประกอบของเส้นใยแก้ว ทำให้ผู้ผลิตสามารถผลิตเส้นใยที่มีการสูญเสียต่ำมากในย่านความยาวคลื่น 1100-1600 นาโนเมตรได้ ปกติความกว้างของแบนด์วิดท์ (Spectrum bandwidth) จะอ้างถึงในย่านลอง-เวฟเล็นท์ (long-wavelength) ลักษณะสำคัญเพิ่มขึ้นหลังจากได้พัฒนาที่ความยาว 1300 นาโนเมตรแล้ว เนื่องจากในย่านนี้เส้นใยซิลิกาบริสุทธิ์มีความเพี้ยนต่ำมาก

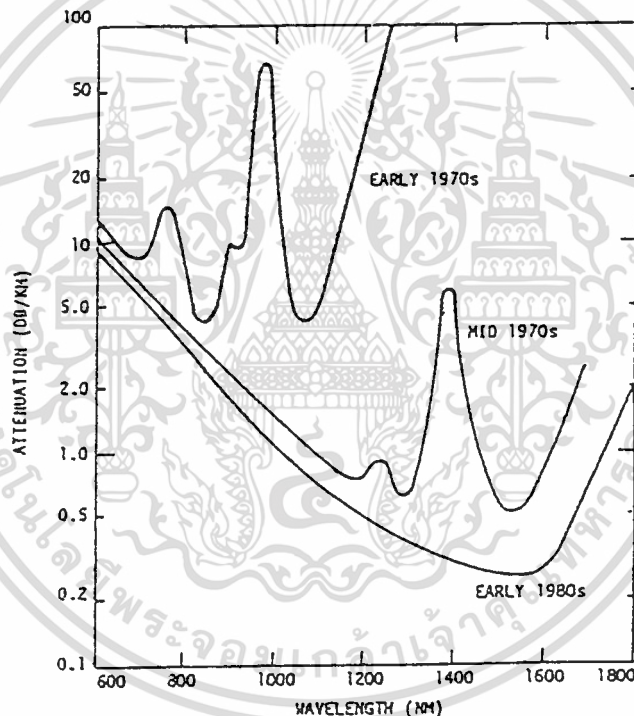


รูปที่ 2.5 อุปกรณ์หลักการเชื่อมโยงส่งผ่านเส้นใยแสง

ได้มีการเริ่มต้นวิจัยส่วนประกอบของเส้นใยชนิดใหม่ๆ สำหรับใช้ในย่านความยาวคลื่น 3-5 ไมโครเมตร เริ่มต้นจากจุดสำคัญที่น่าสนใจเกี่ยวกับโลหะฮาไลด์ ที่มีผลึกมากกว่าหลายผลึก เช่น ซิงค์คลอไรด์ (SnCl₂), ธอเลียมโบรไมด์ (TlBr), และธอเลียมโบรไมด์ไอโอไดด์ (KPS-5) การพยากรณ์เป็นเพียงสมมุติฐานคาดว่า เส้นใยเหล่านี้มีการลดทอนน้อยกว่า 0.01 เดซิเบลต่อ กิโลเมตร ความสำเร็จจากการผลิตเส้นใยที่มีการสูญเสียต่ำเหล่านี้จะก่อให้เกิดผลต่อการสื่อสารทางไกลอย่างมาก เมื่อเคเบิลได้ติดตั้งไปแล้วแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นส่วนสำคัญที่จะใช้ส่งถ่ายพลังงานของแสงเข้าไปในเส้นใยจะต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับคอร์ของเส้นใย

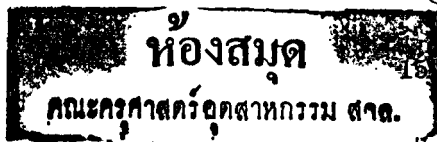
สารกึ่งตัวนำไดโอดเปล่งแสง (LED) และเลเซอร์ไดโอดเหมาะสมที่จะใช้เป็นแหล่งกำเนิดเครื่องส่งเพื่อจุดประสงค์นี้ เนื่องจากเอาต์พุตของแสงสามารถมอดูเลตโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าไบอัสที่แปรค่าได้อย่างรวดเร็ว สัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเครื่องส่งอาจเป็นอนาล็อก หรือดิจิตอลอย่างหนึ่งอย่างใดก็ได้ ที่เครื่องส่งจะมีวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเหล่านี้ให้เป็นสัญญาณแสงจากการแปรค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแหล่งกำเนิดแสง แหล่งกำเนิดแสงเป็นสแคว-ลอร์-ดีไวซ์

(Square law device) ซึ่งหมายความว่า การแปรผันเป็นเส้นตรง (linear) ในวงจรขับกระแสจะมีผลตรงกันกับการเปลี่ยนแปลงเป็นเส้นตรงในวงจรออปติคอล เอทพุท เพาเวอร์ ในย่านความยาวคลื่น 800-900 นาโนเมตร โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดแสงเป็นโลหะผสมของ GaAlAs ที่มีความยาวคลื่นที่ยาวกว่า (1100-1600 นาโนเมตร) ส่วนประกอบที่สำคัญของแหล่งกำเนิดแสงเป็นโลหะผสมของ อินเดียม-แกลเลียม-อาเซไนซ์-ฟอสฟอรัส (InGaAsP) หลังจากสัญญาณถูกส่งเข้าไปในเส้นใยแก้ว แล้วการลดทอนและความเพี้ยนจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางไปตามลำดับเนื่องจากการ กระจาย, การดูดซึม, และโครงสร้างที่ทำให้แสงกระจายในทางเดินของแสง ทางด้านรับ การลดทอนและความเพี้ยนของออปติคอลเพาเวอร์เอทพุทจะถูกตรวจจับโดยโฟโตรีเซ็ปเตอร์



รูปที่ 2.6 การลดทอนของเส้นใยแสงขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น

ในการทำงานเดียวกันกับแหล่งกำเนิดแสง โฟโตรีเซ็ปเตอร์ก็เป็นสแคว-ลอว์-ดีไวซ์ ด้วยเหมือนกัน เนื่องจากมันเปลี่ยนพลังงานแสงที่ได้รับเป็นกระแสไฟฟ้าทางเอทพุท (Photo-current) สารกึ่งตัวนำ PIN และ APD โฟโตรีเซ็ปเตอร์ทั้งสองตัวนี้ส่วนใหญ่ใช้ในการเชื่อมโยงการสื่อสารทางแสง อุปกรณ์ทั้งสองชนิดนี้ให้ประสิทธิภาพและการตอบสนองต่อความเร็วสูงมาก สำหรับการใช้งานปกติ APD โฟโตรีเซ็ปเตอร์จะใช้กับสัญญาณแสงที่รับได้ที่มีเพาเวอร์ระดับต่ำเนื่องจากมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ความไวสูง และโครงสร้างภายในมีการขยาย ซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำตัวของมัน จีลิคอนโฟโตนิกส์ใช้กันในย่านความยาวคลื่น 800-900 นาโนเมตร ออปติคอลลีเทคเตอร์ชนิดต่างๆ สามารถนำมาใช้กับความยาวคลื่นที่ยาวกว่าได้ ส่วนประกอบที่ถูกเลือกใช้ในครั้งแรกในย่านความยาวคลื่น 1100-1600 นาโนเมตร ก็คือโลหะผสมอินเดียม-แกลเลียม-อาเซนไนด์(InGaAs)

การออกแบบเครื่องรับมีความยุ่งยากมากกว่าของเครื่องส่ง เนื่องจากมันต้องมีการขยายสัญญาณและมีการสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่จากสัญญาณที่ได้รับจากโฟโตนิกส์ที่เทคเตอร์ที่มีระดับสัญญาณต่ำที่มีอยู่เป็นประจำ คุณภาพของเครื่องรับที่ต้องการเป็นอันดับแรกก็คือค่าออปติคอลลีเพาเวอร์(Optical power) ต่ำสุดที่จำเป็นต้องใช้ในการคงค่าเออเรอร์พروبาบิลิตี้ Error probability สำหรับระบบดิจิทัล(Digital) หรือS/Nสำหรับระบบอนาล็อกให้ได้ตามกำหนด สำหรับแต่ละดาต้า-เรท(Data rate) ที่ต้องการ เราจะเห็นได้ว่าความสามารถของเครื่องรับที่จะบรรลุผลในระดับที่ต้องการนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของโฟโตนิกส์ที่เทคเตอร์, สิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบ, และคุณสมบัติของภาควิทยุในเครื่องรับ

เมื่อสัญญาณแสงเดินทางไปในเส้นใยในระหว่างทางพอสมควร สัญญาณจะถูกลดทอนเกิดความเพี้ยนจนถึงองศา (Degree of distortion เป็น %) ที่จะต้องการทวนสัญญาณในสายรับ-ส่ง เพื่อที่จะทำการขยายสัญญาณ, สร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่ สถานีทวนสัญญาณแสงประกอบด้วยเครื่องรับและเครื่องส่ง ติดตั้งแบบหลังชนกัน ภาควิทยุรับตรวจรับสัญญาณแสงและเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งต้องทำการขยายสัญญาณสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่ และส่งสัญญาณไฟฟ้าให้กับภาควิทยุส่ง ภาควิทยุส่งเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้ากับเป็นสัญญาณแสงใหม่ และส่งเข้าไปในเส้นใยแสง เงื่อนไขที่จะเป็นตัวกำหนดรายละเอียดว่าเมื่อไรจึงจะต้องการสถานีทวนสัญญาณแสงในระบบเชื่อมโยงทางแสงจะได้กล่าวพร้อมกันกับระบบเวฟเล็ทซ์-ดิวิชัน-มัลติเพล็กซ์(Wavelength division multiplexing) และระบบการจัดการเรื่องไลน์-โคดดิ้ง(Line-coding)

2.1.2.4 ระบบเส้นใยแสง

แรกเริ่มการนำเทคโนโลยีของเส้นใยแสงมาใช้ มีจุดประสงค์เพื่อการเชื่อมโยงระบบโทรคมนาคมแบบดิจิทัลระหว่างจุดต่อจุด การเชื่อมโยงที่กำเนิดขึ้นครั้งแรก ส่วนใหญ่ได้ออกแบบสำหรับขนาดบิตจาก 2-50 Mb/s อุปกรณ์ไฟฟ้า-แสงที่ใช้ในระบบเหล่านี้ทำงานในย่านความยาวคลื่น 810-890 นาโนเมตร ซึ่งการสูญเสียจากการส่งผ่านเคเบิลใยแสงมีค่าที่กำหนดให้ 4-6 เดซิเบลต่อกิโลเมตร หลังจากการวางและต่อเคเบิลเข้าด้วยกันแล้ว ทำให้ได้ระยะทางระหว่างเทอร์มินอล 5-10 กิโลเมตร โดยไม่ต้องมีสถานีทวนสัญญาณ ซึ่งทำให้ไม่ต้องใช้บ่อพักสำหรับสถานีทวนสัญญาณในพื้นที่ที่มีชุมชนหนาแน่น และทำให้ลดสถานีทวนสัญญาณในโครงข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรคมนาคมในนครหลวงให้ไกลออกไปได้อีก ในยุคที่สองของระบบทำงานที่ความยาวคลื่น 1.3 ไมโครเมตร ซึ่งการสูญเสียจากการส่งผ่านเคเบิลใยแสง ประมาณ 0.5 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ซึ่งสามารถขยายการส่งสัญญาณให้ไกลออกไปอีก โดยไม่ต้องใช้สถานีทวนสัญญาณ

นอกจากการใช้งานด้านโทรคมนาคมแล้ว ก็ได้มีการติดตั้งเชื่อมโยงใยแสงใน โรงไฟฟ้ากำลัง การเชื่อมโยงเหล่านี้ใช้ในการส่งข่าวสารสำหรับการป้องกัน, การอำนวยความสะดวก, และการควบคุม ซึ่งมีความสำคัญที่สุดในโรงไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่และประกอบด้วยเครื่องมือทันสมัย ข่าวสารดังกล่าวนี้จะถูกส่งโดยระบบการสื่อสารไมโครเวฟธรรมดาพร้อมกับสายส่งกำลังต่างๆ และกับระบบการสื่อสาร อย่างไรก็ตามในเมืองใหญ่ สิ่งรบกวนที่เกิดจากการวางโครงข่ายสายไฟฟ้าแรงสูงขนาด 275 กิโลโวลต์ ระบบการสื่อสารด้วยไมโครเวฟที่มีคุณภาพสูง ไม่สามารถที่จะ ดำเนินการด้วยความมั่นใจได้ อาคารสูงๆ ก็เป็นอุปสรรคสำคัญสำหรับการส่งสัญญาณไมโครเวฟ ด้วย เส้นใยแสงมีภูมิคุ้มกันต่อการเหนี่ยวนำสิ่งรบกวน ทำให้มีการส่งข้อมูลที่มีความจุสูงๆ ได้ ด้วย เหตุนี้จึงเป็นอีกระบบหนึ่งของการสื่อสารที่ดีมาก

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเส้นใยแสงขยายเข้าไปในวงจรมหาชนผู้เช่า นี่เป็นส่วนหนึ่งของ โครงข่ายโทรคมนาคมที่เชื่อมต่อกับเครื่องปลายทางของผู้เช่าที่ตั้งอยู่ใกล้กับชุมสายกลาง สื่อการ นำส่งที่ใช้กันมานานในโครงข่ายนี้คือ สายคู่ไขว้ทองแดง สายคู่ไขว้ทองแดงเหล่านี้ได้มีการ ปรับปรุงเป็นอย่างดี, อายุการใช้งานนาน, และการลงทุนสำหรับการใช้งานอย่างคุ้มค่าเป็นเวลา หลายสิบปีเพื่อใช้ส่งสัญญาณเสียงคำพูด อย่างไรก็ตามยังไม่เพียงพอสำหรับความต้องการที่เพิ่มขึ้น สำหรับการให้บริการหลายอย่างที่กว้างขึ้นอยู่กับที่อยู่อาศัยหรือสำนักงาน เช่น การชำระเงิน หรือ การศึกษาทางโทรทัศน์, ห้องสมุดและการค้นหาข่าวสาร การประมวลผลทางวิดีโอ, อิเล็กทรอนิกส์ เมล, การธนาคาร, และการซื้อของ

นี่คือสิ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างมากที่จะนำไปสู่การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเส้นใยแสงกับวงจร ผู้เช่าจากชุมสายท้องถิ่นกับที่อยู่อาศัยหรือสำนักงาน ในทางตรงข้ามกับสายคู่ไขว้ทองแดง เส้นใย แสงจะให้การลดทอนต่ำ, ส่งข้อมูลได้จำนวนมาก, มีภูมิคุ้มกันต่อฟ้าผ่าและการรบกวนจากสนาม แม่เหล็กไฟฟ้า, ไม่มีการรบกวนระหว่างเส้นใย, และไม่ขึ้นกับสัญญาณความถี่จริงๆ ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีวงจรออสซิลโลส ซึ่งตรงกันข้ามกับสายคู่ไขว้ทองแดง โดยการนำลักษณะเด่นๆ เหล่านี้มาใช้ เส้นใยแสงสำหรับวงจรผู้เช่าจะต้องออกแบบไว้ล่วงหน้าทั้งปัจจุบันและอนาคต สำหรับความ ต้องการการบริการหลายๆ อย่างที่เพิ่มมากขึ้น

2.2 แสงและอุปกรณ์ทางแสง

2.2.1 คุณสมบัติและคุณลักษณะของแสง

2.2.1.1 ประวัติของแสง

หลายศตวรรษมาแล้วที่มนุษย์ให้ความสนใจปรากฏการณ์ของแสง และได้พยายามศึกษาธรรมชาติของแสง ในงานด้านโทรคมนาคม การปรากฏตัวของเส้นใยแสงทำให้สามารถส่งข่าวสาร(Information) โดยใช้แสงได้

ในสมัยโบราณได้พบพยานหลักฐานถึงความสนใจของประชาชนที่เกี่ยวกับแสงได้ในถ้ำต่างๆ นักปราชญ์ชาวกรีกมีความสนใจในเรื่องของแสงด้วยเหมือนกัน และ EUCLID ได้สังเกตว่าแสงเดินทางเป็นเส้นตรง อย่างไรก็ตาม ความจริงแล้วนักวิทยาศาสตร์เพิ่งเริ่มศึกษาเกี่ยวกับแสงในศตวรรษที่ 17 นี้เอง

DESCARTES ได้ยืนยันเกี่ยวกับแสงไว้อย่างชัดเจนว่าเป็นสสารที่กระจกระบายซึ่งมากระทบกับน้ำตา และยังได้อธิบายถึงวิธีการสะท้อนกลับและการหักเหของแสงอีกด้วย

NEWTON ได้แสดงถึงลักษณะของแสง เมื่อแสงอาทิตย์ผ่านแท่งปริซึมทำให้เกิดสีรุ้ง

HUYGENS ได้กำหนดทฤษฎีของคลื่น

ปลายศตวรรษที่ 19 MAXWELL ได้อธิบายเรื่องของแสงในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และ MICHELSON ได้พิสูจน์ว่าความเร็วของแสงคงที่

แนวความคิดเหล่านี้เป็นรากฐานของทฤษฎีสัมพัทธภาพของ Einstein และ Planck ได้แสดงให้เห็นว่าแสงประกอบด้วยอนุภาคของพลังงาน ซึ่งขัดกับทฤษฎีของคลื่น ในปี 1924 Louis de Broglie ได้อธิบายลักษณะสองประการของแสงคือเป็นคลื่นและอนุภาค

2.2.2 การเปล่งแสงและการดูดกลืนแสงของการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็ก

2.2.2.1 อะตอม

ในปี พ.ศ. 2452 Rutherford ได้ให้ความสนใจในเรื่องโครงสร้างของอะตอมเป็นแนวทางทดลอง และข้อสมมุติอันไม่ต้องพิสูจน์ของ BOHR และ SOMMERFORD ว่าวัตถุที่ล้อมรอบตัวเรา เช่น ของแข็ง, ของเหลว, และ ก๊าซอยู่ในรูปของอะตอมที่เชื่อมโยงเข้าด้วยกันในวิถีทางต่างๆกัน

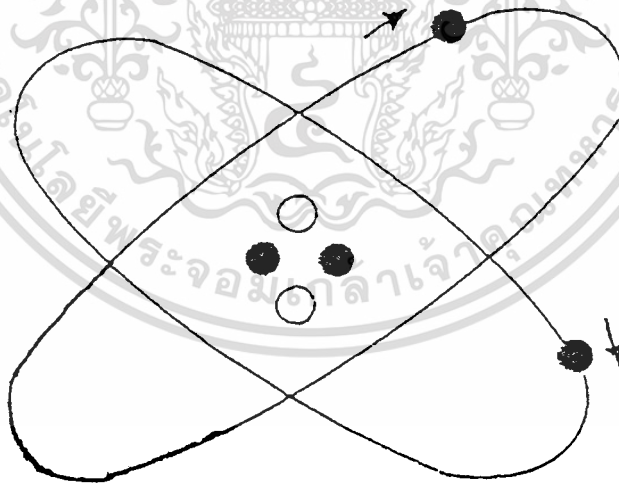
2.2.2.2 นิวคลีออนส์ (NUCLEONS)

ที่จุดศูนย์กลางของอะตอม คือ นิวเคลียส ประกอบด้วยอนุภาคของสสารที่เรียกว่า นิวคลีออนส์(Nucleons) มี 2 ชนิดคือ

- 1) โปรตอนซึ่งเป็นประจุบวก จำนวนของโปรตอนของธาตุแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน (เช่น นิวเคลียสของอะตอมไฮโดรเจนประกอบด้วยโปรตอน 1 ตัว, อะตอมของยูเรเนียมมีโปรตอน 92 ตัว, และอะตอมของซีเลียมมีโปรตอน 105 ตัว)
- 2) นิวตรอน ซึ่งเป็นกลางทางไฟฟ้า (ไม่มีประจุ)

2.2.2.3 อิเล็กตรอน

อิเล็กตรอนซึ่งเป็นประจุลบโคจรรอบๆ นิวเคลียส เพื่อความเหมาะสมพูดได้ว่าการโคจรของอิเล็กตรอนแต่ละตัวได้กำหนดวงไว้อย่างแน่นอน อิเล็กตรอนกระจายอยู่ในชั้นต่างๆ (เรียกว่า เซลล์) รอบๆ นิวเคลียส เซลที่อยู่ใกล้นิวเคลียส (เซลล์ K) ประกอบด้วยอิเล็กตรอน 2 ตัว เซลล์ต่อไปคือ L ประกอบด้วยอิเล็กตรอน 4 ตัวต่อไปเป็นเซลล์ M ประกอบด้วยอิเล็กตรอน 18 ตัว และเซลล์ N ประกอบด้วยอิเล็กตรอน 32 ตัว รูปที่ 2.7 และ 2.8



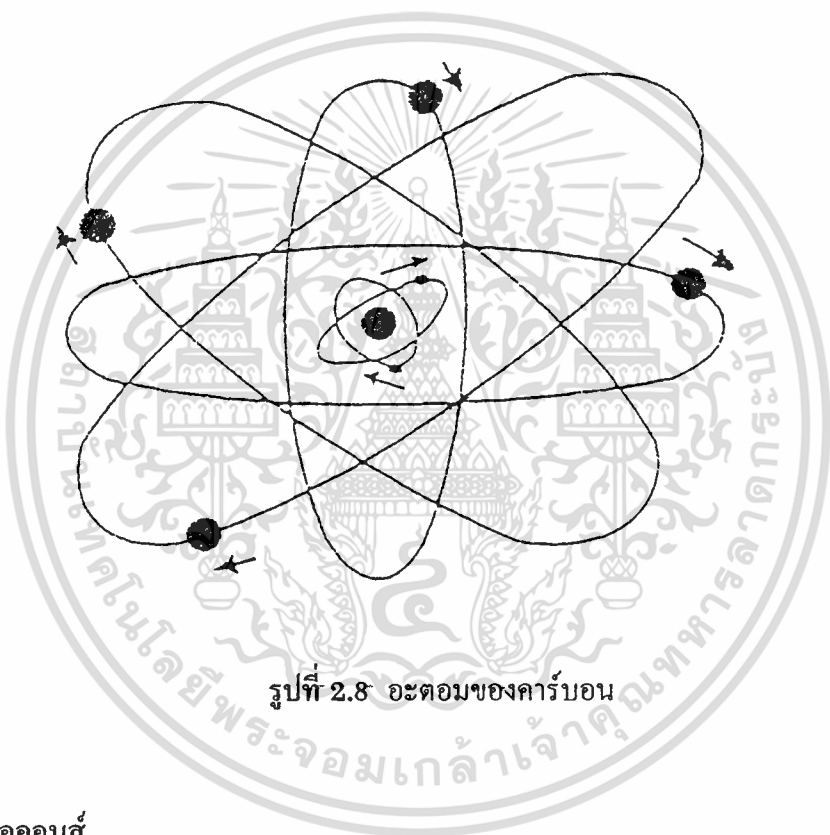
รูปที่ 2.7 อะตอมของซีเลียม

อะตอมของซีเลียมมีนิวคลีออนส์ประกอบด้วยโปรตรอน 2 ตัว และนิวตรอน 2 ตัว โดยมี

อิเล็กตรอน 2 ตัวโคจรรอบๆ นิวเคลียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะตอมของคาร์บอน มีนิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอน 6 ตัว และนิวตรอน 6 ตัว โดยมีอิเล็กตรอน 6 ตัว โคจรรอบๆ นิวเคลียส (มีอิเล็กตรอน 2 ตัว ในเชลล์ K และมีอิเล็กตรอน 4 ตัว อยู่ในเชลล์ L) แรงดึงดูดของอิเล็กตรอนควบคุมโดยกฎของควอนตัม-แมชชีน(Quantum mechanics) ความจริงวงโคจรจะเปลี่ยนไปในแต่ละครั้งในเวลาเคลื่อนที่ และไม่ทราบทางเดินที่แน่นอนของอิเล็กตรอน จากเหตุผลอันนี้ เราพูดถึงกลุ่มของอิเล็กตรอนที่ขึ้นๆ ลงๆ ที่เกิดขึ้นเป็นประจำมาแทนแนวความคิดของ “การโคจร” สำหรับการโคจรและกล่าวถึงอะตอมในเทอมของความเป็นไปได้ของการค้นพบอิเล็กตรอนอยู่ในแถบนั้น



รูปที่ 2.8 อะตอมของคาร์บอน

2.2.2.4 ไอออนส์

โดยทั่วไปแล้ว อะตอมเป็นกลางทางไฟฟ้า เนื่องจากมันประกอบด้วย โปรตอน และอิเล็กตรอนลบเป็นจำนวนเท่าๆ กัน อย่างไรก็ตามภายใต้ภาวะบางอย่างอาจจะมีอิเล็กตรอนตัวหนึ่งหรือมากกว่าหลุดออกไปจากวงโคจรของมัน และทำให้อิเล็กตรอนเป็นประจุบวก ในทางกลับกันถ้าอิเล็กตรอนที่โคจรรอบๆ นิวเคลียสมากเกินไป อะตอมกลายเป็นประจุลบ

2.2.2.5 โปรตอน

ในบางครั้งนิวเคลียสไม่คงที่ โปรตอนอาจเปลี่ยนกลับเป็นนิวตรอน ในขบวนการอย่างนี้ อิเล็กตรอนบวก (หรือ Positron) ถูกปล่อยออกมา ซึ่งจะพบได้ทันทีว่าอิเล็กตรอนสูญหายไปหนึ่ง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัว ที่หลุดออกจากโฮลส์(holes) สำหรับอนุภาค 2 ตัวของพลังงานซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วของแสง ขบวนการนี้รู้จักกันในชื่อของ ภาวะการทำลายล้าง (Annihilation) ของอิเล็กตรอนและโพสิตรอน และนำไปสู่การผลิตแม่เหล็กไฟฟ้ารังสีแกมมา

ในปี 2443 PLANCK ได้สังเกตว่าการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างสสารกับการแผ่รังสีของคลื่นแสงเป็นลักษณะไม่ต่อเนื่อง และตั้งเป็นทฤษฎี ควอนตัม อนุภาคของพลังงานนี้ได้ชื่อว่า เอ็นเนอร์ยี-ควอนตา(Energy quanta) และคือ โพสิตรอนนั่นเอง

ในการทดลองของ PLANCK พลังงาน E ที่ปล่อยออกมาเท่ากับผลคูณ $E=mc^2$ ซึ่งคือ มวลของอิเล็กตรอนที่สูญหายไป 2 ตัวในแต่ละครั้ง พลังงาน E นี้เป็นสัดส่วนกับความถี่ของการแผ่กระจายที่ปล่อยออกมาด้วยเหมือนกัน

$E = h \nu$ ซึ่ง h คือ ค่าคงที่ รู้จักกันในนามของค่าคงที่ของ PLANCK ผลคูณ $h \nu$ คือค่าพลังงานของโพสิตรอนอนุมาณได้ว่าความถี่ที่แผ่กระจายยิ่งสูงมากพลังงานที่เกิดขึ้นในรูปของโพสิตรอนก็มีมากขึ้น และรังสีที่เกิดขึ้นก็มีอำนาจทะลุทะลวงมากขึ้นด้วย ตารางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงให้เห็นว่าทำไมรังสีอัลตราไวโอเลตถึงผ่านผิวหนังของเราได้, รังสีเอ็กซ์ผ่านร่างกายของเราได้ตลอด, รังสีแกมมาผ่านกำแพงคอนกรีตได้ และรังสีคอสมิกผ่านตะกั่วที่มีความหนา 1 เมตรได้

สังเกตว่าแสงที่มองเห็นได้คือโพสิตรอนประกอบด้วยพลังงานมากพอที่จะเคลื่อนอิเล็กตรอนหรือจะพูดว่าเป็นกระแสไฟฟ้าก็ได้

2.2.2.6 รังสีอินฟราเรด

การค้นพบ

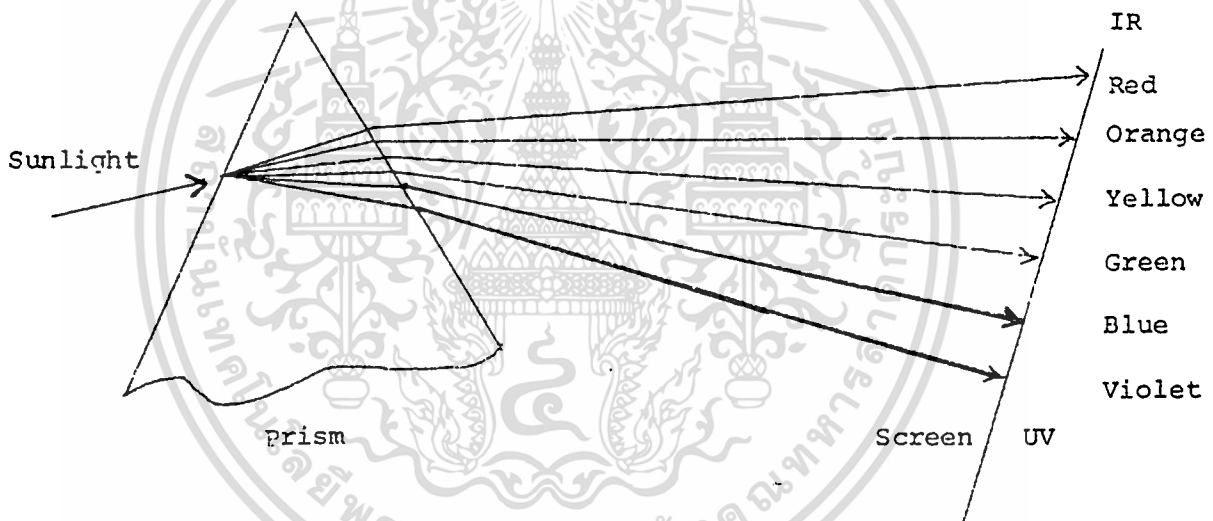
ต้นศตวรรษที่ 19 HERSCHEL นักดาราศาสตร์ชาวอังกฤษได้ค้นพบว่าการแผ่กระจายของรังสีอินฟราเรดในขณะที่เขาพยายามที่จะสังเกตแสงอาทิตย์ผ่านกล้องจุลทรรศน์โดยใช้แผ่นกรองแสงสีดำ เขาประหลาดใจที่รู้สึกว่าได้สัมผัสกับความร้อน เขาใช้เทอร์โมมิเตอร์ตรวจสอบโซลาร์-สเปกตรัม(Solar spectrum) ทั้งหมดและสังเกตพบว่าการแผ่กระจายของรังสีบางอย่างที่มองไม่เห็นด้วยนัยตามีกำลังความร้อนผิดปกติ เขาได้เขียนรายงานถึง Royal Society ในกรุงลอนดอน : “Solar radiation is at least partially, is not principally, if I may use the expression, invisible light “ ครั้งแรกรังสีนี้เรียกรวมกันว่า “ รังสีอินฟราเรด ”

แหล่งกำเนิด

สสารที่อยู่ในลักษณะที่สั่นตลอดเวลาและที่อยู่รอบตัวเราแพร่กระจายรังสีอินฟราเรด แหล่งกำเนิดที่รู้จักกันดีและเห็นได้ง่ายที่สุดคือ แสงอาทิตย์, หลอดไฟไอระเหยของปรอท, หลอดไฟไอระเหยจากธาตุซีเซียม, หลอดไส้แสงสว่าง (คาร์บอนหรือทังสเตน) เป็นต้น ส่วนใหญ่เลเซอร์จะปล่อยรังสีในแถบอินฟราเรด โดยเฉพาะกรณีของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ (± 10 ไมโครเมตร) ที่ใช้ในศัลยกรรมทางการแพทย์

ตัวรับรังสีอินฟราเรดบางอย่างที่มีความไวมากสามารถตรวจพบแสงอินฟราเรดที่อยู่ไกลออกไปถึง 100 กิโลเมตร ได้

การส่งผ่านชั้นบรรยากาศ



รูปที่ 2.9 การกระจายของแสงอาทิตย์ที่ผ่านปริซึม

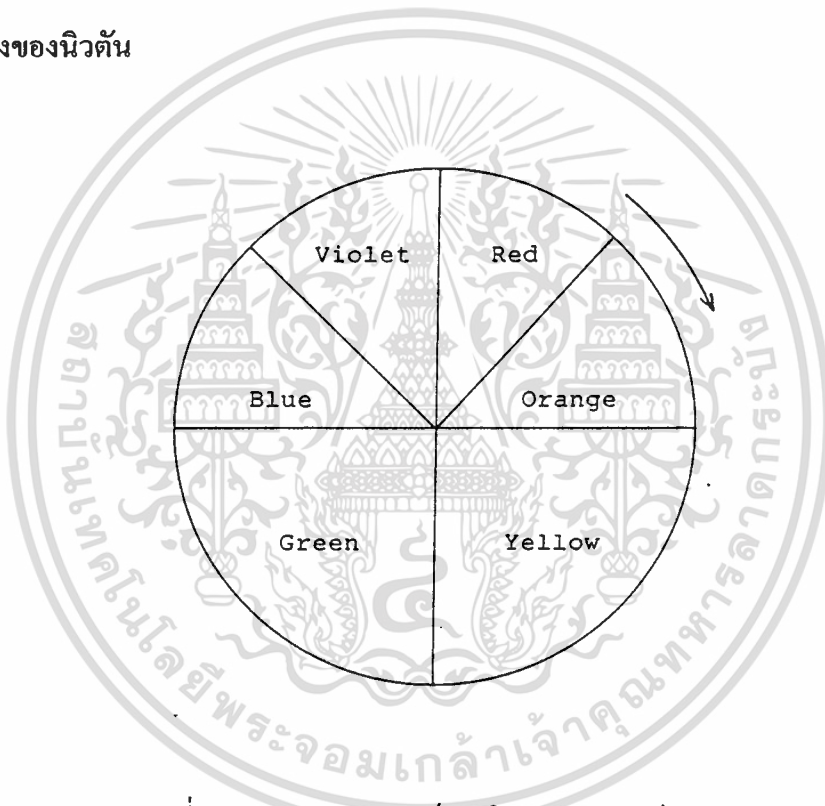
เนื่องจากรังสีอินฟราเรดมีความยาวคลื่นยาวกว่าแสงที่ตามองเห็นได้จึงมีการหักเหน้อยกว่า ฉะนั้นอุปสรรคต่างๆ เช่น เมฆหมอกจึงมีผลน้อยกว่า จากเหตุนี้จึงได้มีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในการถ่ายภาพทางอากาศ

ระหว่างสงครามโลกครั้งที่สอง เยอรมันได้ใช้เทเลโฟโกลีนส์ซึ่งมีความยาวของจตุรวมแสง 30 เมตรเพื่อถ่ายภาพหน้าผาที่โดเวอร์(Dover) และสายอากาศรับส่งของอังกฤษจากชายฝั่งทะเลของฝรั่งเศสด้วยแสงอินฟราเรดแม้จะมีหมอกจากทะเลซึ่งอาจทำให้มองไม่เห็น

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าโมเลกุลของไนโตรเจนและออกซิเจนในอากาศ ยอมให้แสงอินฟราเรดผ่านได้ตลอด แต่จะนำมาใช้กับก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์หรือไอน้ำไม่ได้ ซึ่งก๊าซที่กล่าวถึงนั้นจะเลือกดูดกลืนแสงเฉพาะบางความยาวคลื่นเท่านั้น

2.2.2.7 รังสีที่มองเห็นได้

การทดลองของนิวตัน



รูปที่ 2.10 การสังเคราะห์แสงโดยการหมุนแผ่นกลม

การทดลองครั้งแรกของนิวตัน ประกอบด้วยการให้ลำแสงของแสงอาทิตย์ผ่านปริซึม หลังจากรังสีได้มีการหักเหของแสงในปริซึมแล้ว ลำแสงพุ่งตรงไปยังจอสีขาวและจะปรากฏเป็นแถบสีรุ้ง (ดูรูปที่ 2.9)

จากการวิเคราะห์แสงอาทิตย์โดยวิธีนี้ เห็นได้ว่ามันประกอบด้วยรังสีต่างๆ เป็นจำนวนมาก โดยแต่ละรังสีจะมีความยาวคลื่นและสีของมันเอง การแผ่รังสีแต่ละรังสีเรียกว่าโมโนโครเมติก-เรดิเอชัน(Monochromatic radiation) แถบของการแผ่รังสีซึ่งนัยตาของเราได้เริ่มจากปลาย

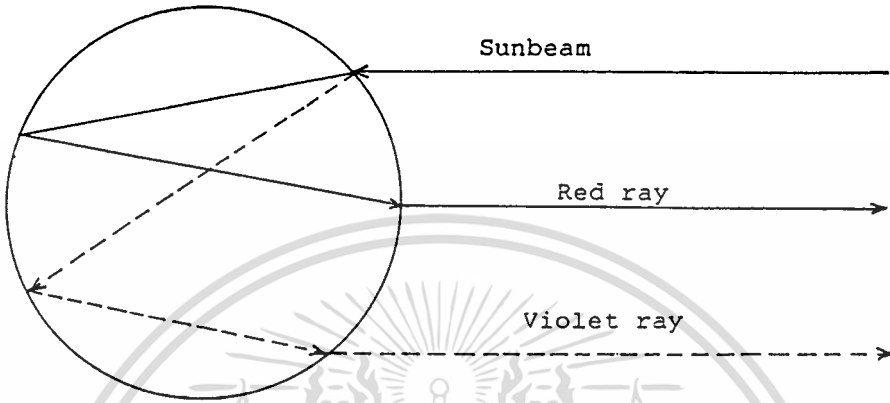
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีแดงสด (ความยาวคลื่น 0.75 ไมโครเมตร) ที่ปลายแต่ละด้านของแถบแสงที่มองเห็นได้คือ แสง
อินฟราเรดและอุลตราไวโอเล็ต ซึ่งเป็นแสงที่มองไม่เห็น

สีแดง	หมายถึงความยาวคลื่นสีแดง	0.65 ไมโครเมตร
สีส้ม	หมายถึงความยาวคลื่นสีส้ม	0.60 ไมโครเมตร
สีเหลือง	หมายถึงความยาวคลื่นสีเหลือง	0.58 ไมโครเมตร
สีเขียว	หมายถึงความยาวคลื่นสีเขียว	0.53 ไมโครเมตร
สีน้ำเงิน	หมายถึงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน	0.47 ไมโครเมตร
สีม่วง	หมายถึงความยาวคลื่นสีม่วง	0.41 ไมโครเมตร

การนำเอาสเปกตรัมเข้ามารวมในแถบสีนี้เป็นความผิดพลาดอย่างหนึ่ง สเปกตรัมเป็นสีที่ได้จาก
การสังเคราะห์ โดยการผสมสีน้ำเงินกับสีเทาเข้าด้วยกัน ภายหลังจากการวิเคราะห์แสงอาทิตย์เข้า
ไปยังองค์ประกอบของมันที่แผ่กระจายออกไป นิวตันได้พยายามอ้างเหตุผลสรุปโดยตรงจาก
สมมุติฐานและกฎเกณฑ์ที่มีอยู่จากแสงอาทิตย์ เขาได้ทำสีลงบนแผ่นกระดาษแข็งกลมด้วยแถบสีดัง
ในรูปที่ 2.10 เมื่อหมุนแผ่นกระดาษกลมด้วยความเร็ว นิวตันได้สังเกตจากผลที่ได้รับคือ มีสีเพิ่ม
ขึ้นเนื่องจากภาพลวงตาของแสงที่เห็น ปรากฏว่าแผ่นกระดาษกลมนั้นเป็นสีขาว เขาได้ประสบ
ความสำเร็จในการสังเคราะห์แสงสีขาว

2.2.2.8 สีรุ้ง



รูปที่ 2.11 การกระจายแสงจากหยดน้ำที่ทำให้เกิดผลของสีรุ้ง

นิวตันเป็นนักวิทยาศาสตร์คนแรกที่พบความหมายของสีรุ้งเมื่อดวงอาทิตย์ฉายแสงหลังฝนตกหยดน้ำในชั้นบรรยากาศแสดงตัวเป็นปริซึม (ดูรูปที่ 2.11) รังสีที่เกิดจากการหักเหจากหยดน้ำแต่ละหยดที่มุมต่างๆ กันและนักสังเกตการณ์สามารถเห็นรังสีได้เพียงรังสีเดียวที่ตรงกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์, หยดน้ำ, และนักตาเท่านั้น

2.2.2.9 รังสีอุลตราไวโอเล็ต

การค้นพบ

หลังจากที่ค้นพบรังสีอินฟราเรดได้ไม่นาน RITTER ได้สังเกตว่าผลึกของซิลเวอร์คลอไรด์ที่ถูกแสงอุลตราไวโอเล็ตในโซลาร์-สเปกตรัมจะกลายเป็นเงินกึ้นรูป รังสีนี้ได้ชื่อว่ารังสีชิมิคอล(Chemical) เนื่องจากผลของการแผ่รังสีของมัน เส้นแบ่งเขตระหว่างแสงที่มองเห็นได้กับรังสีอุลตราไวโอเล็ต ขึ้นอยู่กับนักสังเกตการณ์แต่ละคนและจะอยู่ที่ตำแหน่งของความยาวคลื่นประมาณ 0.4 ไมโครเมตร หรือ 4000 อามสตรอง

แหล่งกำเนิด

หลอดไฟฟ้าให้แสงอุลตราไวโอเล็ตน้อยมาก ในจำพวกแหล่งกำเนิดที่รู้จักกันดีที่สุด คือ หลอดไฟอาร์ค ซึ่งเปล่งแสง เมื่อไฟฟ้าคายประจุพร้อมแท่งคาร์บอนหรือแท่งโลหะอิเล็กโทด

ทั้งสองหลอดคายประจุเรืองแสง เช่น หลอดปรอทไอระเหยที่มีความดันต่ำ, หลอดไฮโดรเจน และ หลอดนีออน แหล่งกำเนิดที่สำคัญที่สุดของแสงอุลตราไวโอเล็ต คือ ดวงอาทิตย์นั่นเอง

การส่งผ่านชั้นบรรยากาศ

รังสีจากดวงอาทิตย์เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศจะเกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากปรากฏการณ์ สแคตเทอริง(Scattering) ซึ่งมีผลต่อการแผ่รังสีอุลตราไวโอเล็ตมาก และบางส่วนถูกดูดซึมโดยเฉพาะในชั้นโอโซนที่ระยะความสูงเหนือระดับน้ำทะเลระหว่าง 15-30 กิโลเมตร โอโซนจะดูดซึมแสงอุลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่นน้อยกว่า 2950 อามสตรอง ซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายต่อชีวิตพืชและสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กได้เช่นเดียวกัน

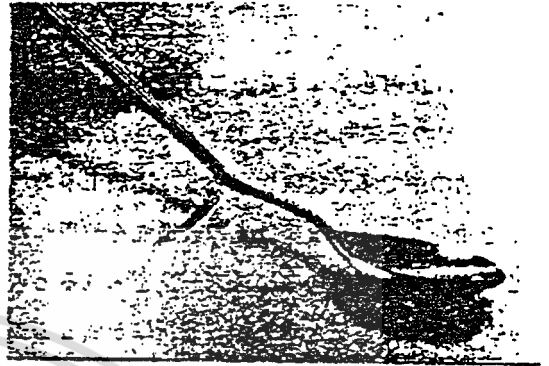
ผลทางชีววิทยา

แสงอุลตราไวโอเล็ต มีผลทางชีววิทยา เนื่องจากมันมีผลต่อเซลล์ที่มีชีวิต แสงอุลตราไวโอเล็ตมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากมันจะขัดขวางการเจริญเติบโตของสิ่งที่มีชีวิตขนาดเล็ก ผิวหนังและร่างกายจะดูดซึมแสงอุลตราไวโอเล็ต และจะทำให้สีของผิวหนังเปลี่ยนไป บางทีก็เป็นสาเหตุให้ผิวหนังผิดปกติเป็นระยะเวลานานๆ ถ้าผิวหนังนั้นมีความไวต่อแสงอุลตราไวโอเล็ต

2.2.3 กฎ 3 ข้อของแสง



(a) แสงเดินทางเป็นเส้นตรงในตัวกลางชนิดเดียวกัน



(b) การหักเหของแสงทำให้เห็นซอนงอ



(c) การสะท้อนกลับของแสงทำให้เห็นหัวที่ซ่อนอยู่ใต้น้ำ

รูปที่ 2.12 ตัวอย่างกฎ 3 ข้อของแสง

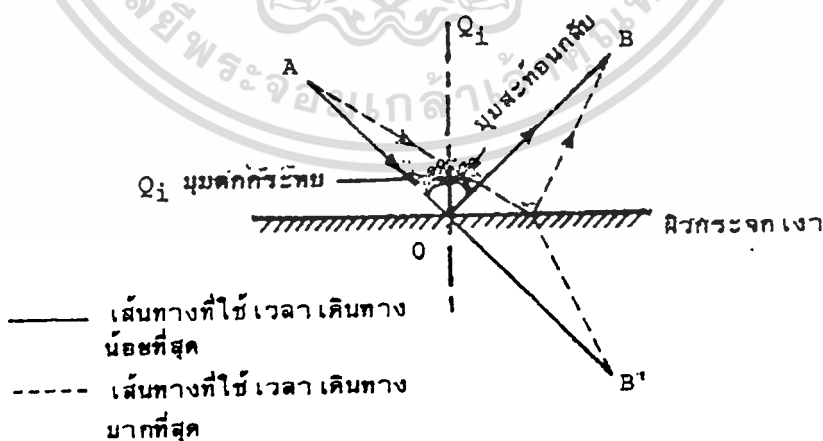
ตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงค่าเดียวกันนั้น แสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง ส่วนตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงต่างกันนั้นตรงรอยต่อของตัวกลางทั้งสอง แสงจะเกิดการหักเห (Refraction) และเกิดการสะท้อนกลับ (Reflection) ปรากฏการณ์เหล่านี้แสดง คุณสมบัติการเดินทางเป็นเส้นตรงของแสง คุณสมบัติการหักเหของแสง และคุณสมบัติการสะท้อนกลับของแสง เรียกว่ากฎ 3 ข้อของแสง ซึ่งปรากฏการณ์เหล่านี้จะพบเห็นได้บ่อยในชีวิตประจำวัน ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.12 กล่าวคือรูปที่ 2.12 (a) แสดงการใช้กล้องวัดระยะทางในการสร้างถนนกล้องวัดระยะทางนี้ใช้คุณสมบัติการเดินทางเป็นเส้นตรงของแสง รูปที่ 2.12 (b) เมื่อเอาช้อนกาน้ำใส่ลงในถ้วยแก้วที่เติมน้ำอยู่เกือบเต็มจะมองเห็นคล้ายกับว่าช้อนกาน้ำนั้นงอ เหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า

ตรงรอยต่อของน้ำกับอากาศซึ่งเป็นตัวกลางที่มีดัชนีการหักเหของแสงต่างกันนั้น แสงจะเกิดการหักเห ส่วนรูปที่ 2.12 (c) นั้นเป็นตัวอย่างการสะท้อนกลับของแสงคือ ภาพของทิวทัศน์จะปรากฏบนผิวน้ำและภาพที่เราเห็นตัวเองบนกระจก ก็เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของการสะท้อนกลับของแสงเช่นกัน นอกจากนี้คุณสมบัติอีกอันหนึ่งที่สำคัญของแสงก็คือ ความเร็วของแสงจะต่างกันที่มีค่าดัชนีการหักเหต่างกัน สำหรับความเร็วของแสงในอากาศนั้นมีค่าประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที (ค่าที่ถูกต้องก็คือ 2.9979×10^8 เมตรต่อวินาที) ซึ่งความเร็วนี้สามารถเดินทางได้รอบโลก 7.5 รอบในหนึ่งวินาที ตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงเป็น n นั้น แสงจะมีความเร็วลดลงเป็น $1/n$ ของความเร็วในอากาศ

อนึ่งโดยการใช้หลักความจริงเกี่ยวกับความเร็วของแสงและทฤษฎีของ FERMA ซึ่งกล่าวว่า “ในเส้นทางต่างๆ ที่ต่อระหว่างจุดสองจุดนั้นแสงจะเดินทางในเส้นทางที่ใช้เวลาน้อยที่สุด” นี้ นำมาอธิบายกฎ 3 ข้อของแสงที่กล่าวข้างบนได้

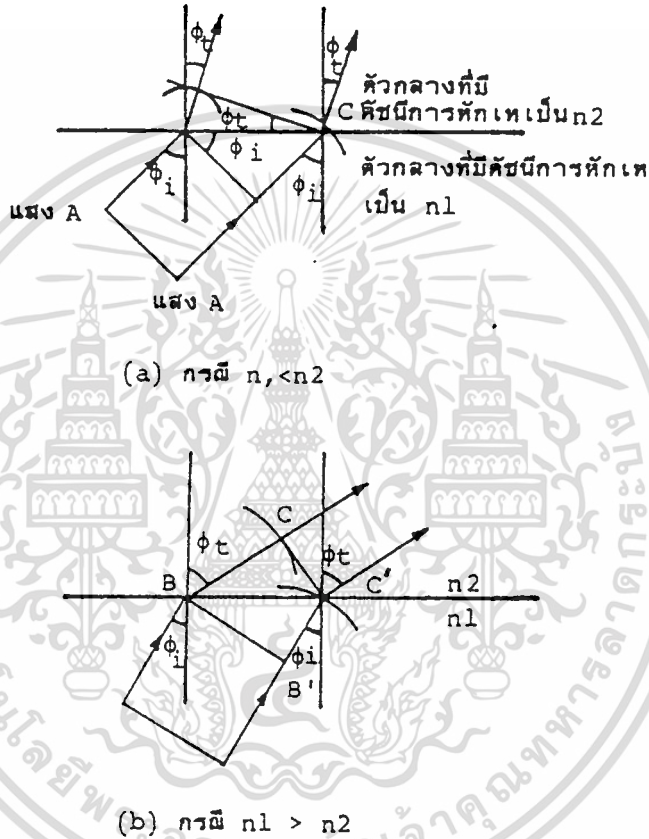
สำหรับกฎข้อแรกที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติการเดินทางเป็นเส้นตรงของแสงนั้น เป็นทฤษฎีของ PERMA จะไม่ขอกล่าวถึงจะกล่าวเฉพาะกฎการสะท้อนกลับของแสง และกฎการหักเหของแสงเท่านั้น

จากรูป 2.13 สมมติว่าแสงเดินทางจากจุด A สะท้อนกลับที่ผิวของกระจกเงาที่จุด O และเดินทางไปจุด B มุมตกกระทบของแสงที่จุด O คือมุม ϕ_i และมุมสะท้อนของแสงที่จุด O คือมุม ϕ_r จะเท่ากัน ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า กฎการสะท้อนกลับของแสง



รูปที่ 2.13 กฎการสะท้อนกลับของแสง

ในรูปที่ 2.13 นี้ถ้าหากพิจารณาเส้นทางเดินของแสงจากจุด A ไปยังจุด B ด้วยเวลาน้อยที่สุด (เส้นทางที่สั้นที่สุด) ก็คือเส้นตรง AOB' ซึ่งจุด B' อยู่ตรงกันข้ามกับจุด B ดังรูป และกรณีนี้ก็เช่นกัน มุมตกกระทบ ϕ_i เท่ากับมุมสะท้อน ϕ_r



รูปที่ 2.14 กฎการสะท้อนกลับของมุมที่ตกกระทบของแสง

สำหรับกฎการหักเหของแสงนั้นแสดงดังรูปที่ 2.1 รูปที่ 2.14 (a) นั้นเป็นกรณีที่ค่าดัชนีการหักเห $n_1 < n_2$ และรูปที่ 2.14 (b) เป็นกรณีที่ค่าดัชนีการหักเห $n_1 > n_2$ โดยที่สมมติว่าแสงที่เดินทางจากต้นกำเนิดแสงเป็นลำแสงขนาน 2 อัน คือ A, A' โดยที่แสงทั้งสองเดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเห n_1 ไปยังตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเห n_2 เมื่อลำแสง A เดินทางไปถึงจุด B ที่รอยต่อของตัวกลางทั้งสองนั้นลำแสง A' ยังเดินทางไปไม่ถึงจุด C' เมื่อลำแสง A เดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเห n_1 ไปถึงจุด C ของตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเห n_2 นั้นเป็นเวลาพอดี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันกับที่ลำแสง A' เดินทางไปถึงจุด C' ที่รอยต่อของตัวกลางทั้งสอง โดยที่แสงใช้เวลาเดินทางในเส้นทาง BC และ $B'C'$ เท่ากัน

สมมติว่าความเร็วของแสงในอากาศเป็น V และให้ความเร็วของแสงในตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเห n_1, n_2 เป็น V/n_1 และ V/n_2 ตามลำดับ

จะได้ว่า

$$BC / (V / n_2) = B'C' / (V / n_1) \text{-----}(1)$$

ดังนั้นถ้ากำหนดให้ มุมตกกระทบและมุมหักเหของลำแสง A เป็น ϕI และ ϕt และมุมตกกระทบของลำแสง A' มีค่าเท่ากับ ϕI แล้ว จากความสัมพันธ์ทางตรีโกณ จะได้ว่า

$$BC = BC' \sin \phi t \text{-----}(2)$$

$$B'C' = BC' \sin \phi i \text{-----}(3)$$

โดยใช้ (1) เราสามารถพิสูจน์ได้ว่า

$$n_1 \sin \phi i = n_2 \sin \phi t \text{-----}(4)$$

นี้เรียกว่ากฎของ SNELL (SNELL'S LAW)

สำหรับกรณีของรูปที่ 2.14 (c) นั้นเป็นการสะท้อนกลับหมดของแสงในกรณีของ $n_1 > n_2$ ยกตัวอย่างเช่น แสงที่เดินทางจากน้ำไปยังอากาศถ้าหากมุมตกกระทบ ϕI มีค่ามากขึ้นๆ จะทำให้มุมหักเห ϕt มีค่าเข้าใกล้ 90 องศามากขึ้น และเมื่อมุมตกกระทบ ϕI มีค่าถึงค่าหนึ่งแล้ว จะทำให้แสงไม่สามารถเดินทางเข้าไปในตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเห n_2 ได้เลย นั่นคือเกิดการสะท้อนกลับหมดนั่นเอง ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “การสะท้อนกลับหมด” และมุมตกกระทบที่ทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมดนี้เรียกว่า “มุมวิกฤติ (Critical Angle)”

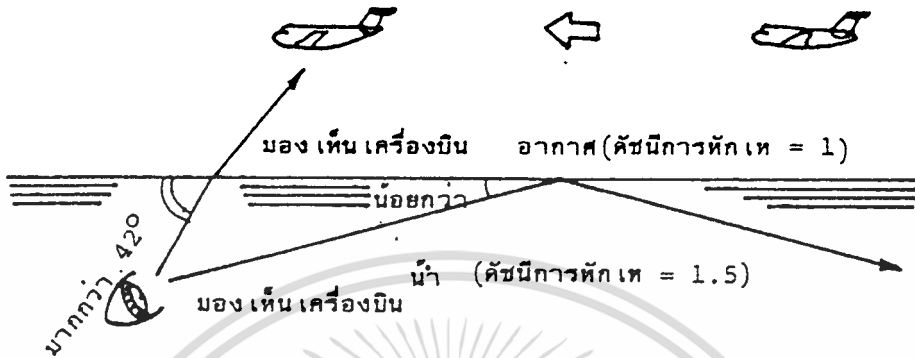
ดังนั้น ถ้าให้มุมวิกฤติเป็น ϕC ในกรณีนี้มุมหักเห $\phi t = 90$ องศา ดังนั้น $\sin \phi t = \sin 90^\circ = 1$ กฎของ SNELL ในกรณีเกิดการสะท้อนกลับหมดจะเป็นดังสมการต่อไปนี้

$$\sin \phi c = n_2 / n_1 \text{-----}(5)$$

จาก (5) จะสามารถหาค่าของ ϕC ได้

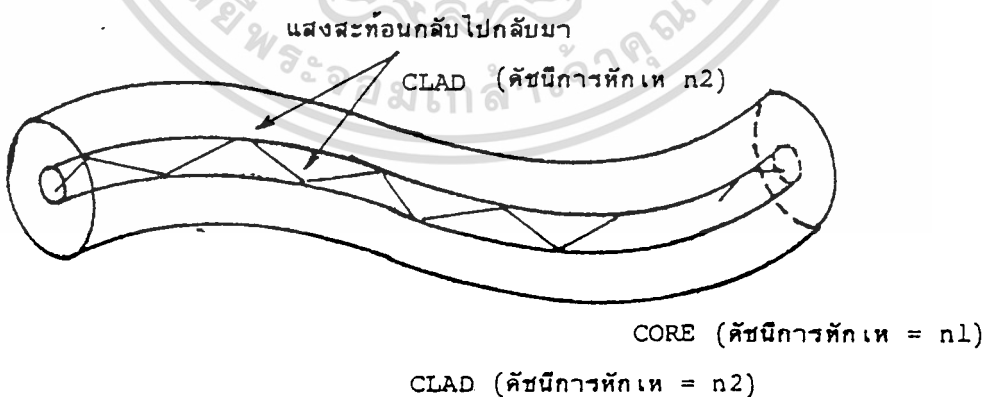
ตัวอย่างของปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมด แสดงดังรูปที่ 2.15 กล่าวคือเมื่อเรานำแสงลงไปใ้ในสระว่ายน้ำแล้วลื้ตามองจากใ้มน้ำไปยังอากาศ เนื่องจากค่าดัชนีการหักเหของน้ำมีค่าประมาณ 1.5 และของอากาศเป็น 1 จาก (5) เราจะได้ $\phi C = 42$ องศา ถ้าหากเรามองทำมุมกับผิวน้ำที่มีค่า

มากกว่า 42 องศา แล้วเราจะมองไม่เห็นอะไรเลย การที่เรามองเห็นผิวน้ำในสระเป็นแสงระยิบระยับนั้นก็คือปรากฏการณ์การสะท้อนกลับหมดนั่นเอง



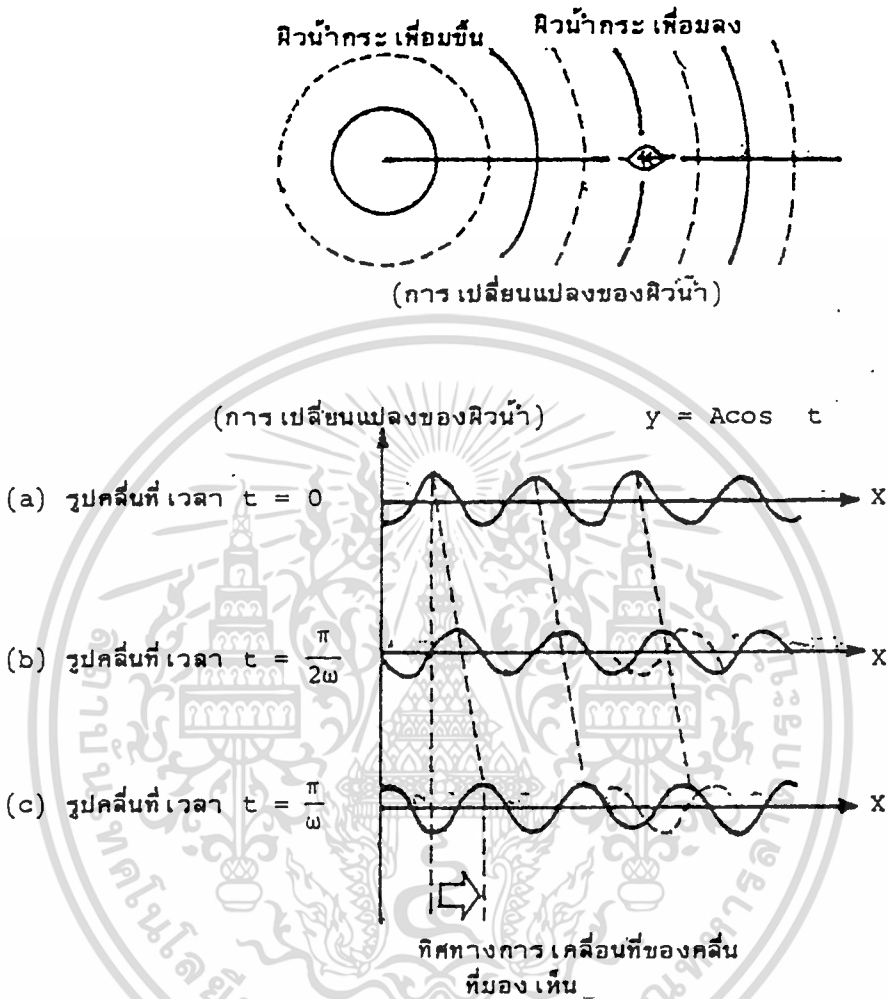
รูปที่ 2.15 การสะท้อนกลับหมดของแสงที่ผิวน้ำ

เส้นใยแสง (Fiber) มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.16 ประกอบด้วยส่วนในเรียกว่า แกน (Core) ทำด้วยสารที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า (Dielectric) และส่วนนอกที่หุ้มแกนอยู่นั้นเรียกว่าเคลด (Clad) ทำด้วยสารที่มีดัชนีการหักเหของแสงต่ำกว่าแกนเล็กน้อย สำหรับการสื่อสารใยแสงนั้นใช้ปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสงที่กล่าวข้างต้น โดยให้แสงเดินทางในแกนด้วยการสะท้อนกลับไปมาภายในแกนดังรูป



รูปที่ 2.16 การเดินทางของแสงภายในแกนของเส้นใยแสง

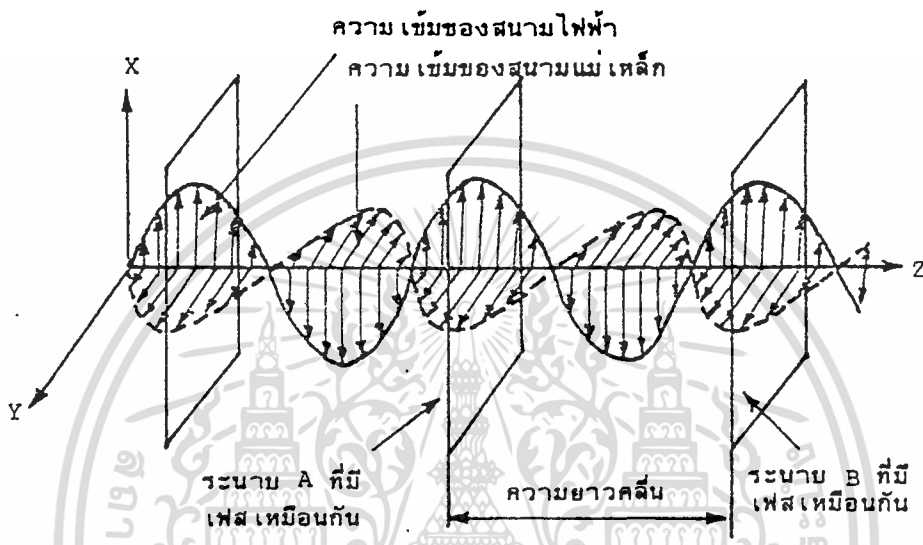
2.2.4 คุณสมบัติต่างๆ ของคลื่น



รูปที่ 2.17 การขยายตัวของคลื่นของผิวน้ำ

ในการที่จะเข้าใจการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง และทฤษฎีการเกิดแสงเลเซอร์ได้นั้น นอกจากปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสงที่กล่าวมาแล้วนั้น ยังจำเป็นต้องมีความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปรากฏการณ์ของการเคลื่อนที่ของคลื่นอีกด้วย ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติพื้นฐานของการเคลื่อนที่ของคลื่น ด้วยเหตุที่ว่าแสงก็เป็นคลื่นอย่างหนึ่งเหมือนกัน

อันดับแรกจะเริ่มต้นจากคลื่นที่เราพบเห็นใกล้ตัวเรามากที่สุด นั่นคือเมื่อเราเอาก้อนหินขว้างลงไปตรงกลางบ่อที่มีผิวน้ำสงบราบเรียบ เราจะเห็นว่ามันจะเกิดคลื่นที่เป็นวงกลมจากตรงกลางค่อยๆ ขยายวงกว้างออกไป ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.18 การเดินทางของแสงในตัวกลางที่มีเนื้อเดียวกัน

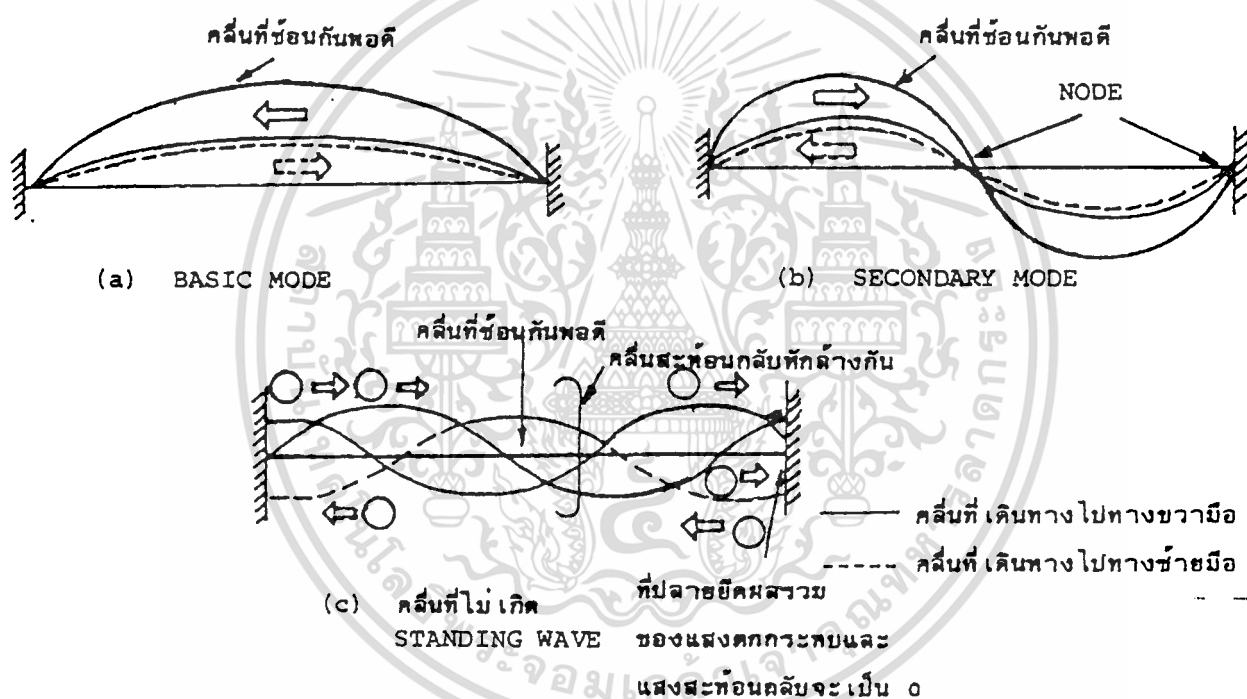
ปรากฏการณ์เช่นนี้ เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของผิวน้ำตรงจุดที่ก้อนหินตกลงไปนั้น ทำให้ผิวน้ำบริเวณข้างเคียงเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จนในที่สุดเกิดการเปลี่ยนแปลงของผิวน้ำขยายวงกว้างออกไปทั่วบ่อน้ำ

คราวนี้เราลองมาพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของผิวน้ำที่เวลาหนึ่ง โดยการพิจารณาจุดจุดต่างๆบนแกน X ของรูปที่ 2.17 เห็นว่าผิวน้ำเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีระเบียบดังรูปที่ 2.17(a) นอกจากนั้นรูปที่ 2.17(b) และ (c) แสดงการเปลี่ยนแปลงของผิวน้ำภายหลังจากที่เวลาค่าหนึ่งผ่านไป จะเห็นได้ว่าคลื่นเดินทางไปตามแกน X และในเวลาเดียวกันแต่ละจุดของผิวน้ำจะเกิดการกระเพื่อมขึ้นลงอย่างมีระเบียบ นั่นคือ กรณีที่เราพิจารณาจุดใดจุดหนึ่งที่อยู่บนผิวน้ำตรงจุดๆหนึ่งนั้น เราจะพบว่าไบนั่นเพียงแต่สั่นขึ้นลงบนผิวน้ำเท่านั้นไม่ได้เคลื่อนที่ตามไปกับคลื่นเลย

การสั่นขึ้นลงของไบนั่นบนผิวน้ำนี้ สามารถแสดงได้ด้วยสมการของ $A \cos wt$ ในที่นี้ A เป็นความสูงของคลื่นหรือคือขนาดของคลื่นนั่นเอง. wt เป็นเฟส (Phase) ที่เวลา t , w เป็นความเร็วเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเปลี่ยนแปลงของเฟส ในเวลาหนึ่งวินาทีซึ่งเรียกว่าความเร็วเชิงมุม(Angular Velocity) และการเปลี่ยนแปลงของเฟสตามเวลานี้จะเกิดขึ้นซ้ำกันเป็นช่วงๆ ความยาวที่คลื่นเดินทางไปในแต่ละช่วงนี้เรียกว่า ความยาวคลื่น

คลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงแต่ละจุดตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่เหมือนอย่างคลื่นของผิวน้ำเรียกว่า คลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงตามขวาง (Transverse Wave) แสงก็เป็นคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงตามขวางเช่นกัน โดยที่สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของแสงเปลี่ยนแปลงในแนวตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ ลักษณะการเดินทางของแสงในตัวกลางที่มีเนื้อเดียวกันแสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.19 คลื่นอยู่กับที่ที่เกิดในการแกว่งเส้นเชือกที่ยึดปลายทั้งสองเอาไว้

จากรูปจะเห็นได้ว่าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของมันเปลี่ยนแปลงในแนวตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่และพร้อมกันนั้นแสงก็เคลื่อนที่ไปด้วย องค์ประกอบสำคัญที่จำเป็นในการแสดงลักษณะการเดินทางของแสงได้แก่ ความยาวคลื่น (λ), ความเร็ว, เฟส และอีกสิ่งหนึ่งที่ช่วยให้เข้าใจการเดินทางของแสงคือ ระนาบที่มีเฟสเหมือนกัน (Inphase Plane) ระนาบที่มีเฟสเหมือนกัน หมายถึงระนาบตรงจุดที่ขนาดของสนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็กมีค่า

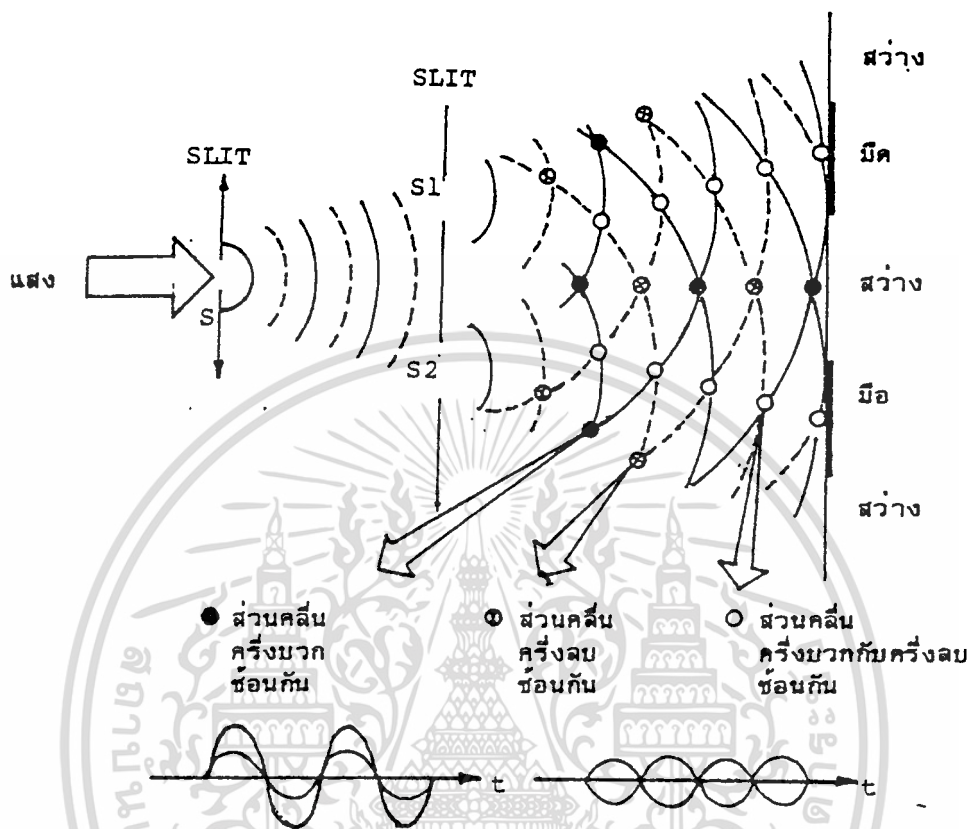
เท่ากัน ในเวลาเดียวกัน ระยะเวลาที่มีเฟสเหมือนกันของรูปที่ 2.18 นั้นแสดงตรงจุดที่สนามไฟฟ้ามีค่าสูงสุด ระยะห่างระหว่างระยะนาบ A กับระยะนาบ B จะมีค่าเท่ากับหนึ่งความยาวคลื่น (λ) และการเปลี่ยนแปลงของเฟสในหนึ่งความยาวคลื่นจะเป็น 360° หรือ 2π เรเดียน

2.2.4.1 คลื่นที่อยู่กับที่ (Standing Wave)

คลื่นที่กล่าวมาแล้วนั้น เป็นคลื่นที่เดินทางในทิศทางไม่มีอะไรขวางกั้น คราวนี้ลองมาพิจารณาคุณสมบัติของคลื่นที่เดินทางในระหว่างผนังกั้น ตัวอย่างก็คือเส้นเชือกที่ตรึงปลายเอาไว้ทั้งสองด้านดังแสดงในรูป 2.19

จากรูป คลื่นที่มีผนังกั้นไว้ทั้งสองด้านนั้นจะเกิดการสะท้อนกลับป้อนมาระหว่างผนังทั้งสอง และเกิดการซ้อนกันระหว่างคลื่นที่เดินทางไปทางขวา และที่เดินทางไปทางซ้าย ปรากฏการณ์ที่คลื่นซ้อนกันนี้เรียกว่าอินเตอร์เฟอเรนซ์(Interference) รูป 2.19(a) นั้นเป็นคลื่นที่มีความยาวของครึ่งคลื่น (Half Wave Length) เท่ากับความยาวของเชือก ส่วนรูป 2.19(b) นั้นเป็นคลื่นที่มีจำนวนเท่าที่เป็นเลขเต็มหน่วย (2, 3, 4, 5---) ของครึ่งคลื่นเท่ากับความยาวของเชือก ทั้ง 2.19(a) และ 2.19(b) คลื่นจะเสริมกัน ส่วนรูป 2.13 ฉะนั้น เป็นกรณีตรงกันข้ามกล่าวคือความยาวคลื่นไม่เท่ากับความยาวของเชือกจากการเกิดการสะท้อนกลับป้อนของคลื่น $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow \dots$ ทำให้เฟสของการแกว่งของเชือกที่จุดต่างๆ มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่แน่นอน (Random) ทำให้ขนาดรวมของคลื่นซ้อนเป็นศูนย์ จากผลเหล่านี้ทำให้เห็นได้ว่าการแกว่งของเชือกจะเกิดเฉพาะคลื่นที่มีความยาวคลื่นเหมาะสมเท่านั้น และคลื่นอย่างนี้จะอยู่กับที่ ไม่เคลื่อนที่ไปทางใดทางหนึ่ง จึงเรียกว่าคลื่นอยู่กับที่ (Standing Wave) และลักษณะการสั่นของเชือกตามคลื่นอยู่กับที่แต่ละอันนั้นเรียกว่าโหมด รูปที่ 2.19(a) เรียกว่าเบสิก-โหมด(Basic Mode) รูปที่ 2.19(b) เรียกว่าเซ็คคอร์ด-โหมด (Second Mode) อนึ่งปลายทั้งสองของเชือกและตรงกึ่งกลางของรูปที่ 2.13(b) เรียกว่าโนด (Node) ซึ่งขนาดของมันเป็น 0 และไม่เคลื่อนที่ไปตามเวลา ปรากฏการณ์ที่คลื่นสะท้อนกลับป้อนและอินเตอร์เฟอเรนซ์ กันจนเกิดสแตนด์เวฟ(Standing Wave)ต่างๆ ขึ้นมานี้ เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการที่จะช่วยทำให้เข้าใจเรื่องโหมดของการเดินทางของแสงในเส้นใยแสงและทฤษฎีการทำงานของเลเซอร์

2.2.5 โคฮีเรนซ์ของแสง



รูปที่ 2.20 การทดลองการอินเตอร์เฟอเรนซ์ของ YOUNG

ในการแสดงขนาดการอินเตอร์เฟอเรนซ์นั้น ส่วนมากนิยมใช้คำว่าโคฮีเรนซ์(Coherence) เพื่อเป็นการตรวจสอบเกี่ยวกับคุณสมบัติการอินเตอร์เฟอเรนซ์ของแสง จะขออ้างถึงการทดลองของYOUNG ดังแสดงในรูปที่ 2.20 ในการทำให้เกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ของแสงนั้น อย่างที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ที่ระนาบซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ เฟสจะต้องเหมือนกัน สำหรับการทดลองของYOUNG นั้นใช้หลอดไฟที่มีเฟสไม่เหมือนกันทำให้เกิดการอินเตอร์เฟอเรนซ์ กล่าวคือให้แสงที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงไปผ่านช่อง(SLIT) S จากนั้นเมื่อแสงผ่านช่อง S_2 และช่อง S_1 แล้วแสงที่ผ่านช่อง S_1 และช่อง S_2 จะเกิดการอินเตอร์เฟอเรนซ์กัน ทำให้เกิดแสงสว่าง, มืดสลับกันบนจอ

ในกรณีนี้ ถ้าหากต้นกำเนิดแสงที่จะอินเตอร์เฟอเรนซ์ ใช้หลอดไฟต่างกันคนละดวงแล้วจะไม่เกิดแถบสว่างมืด สำหรับเซมิคอนดักเตอร์-เลเซอร์(Semiconductor Laser) ที่จะได้กล่าวถึงในภายหลังนั้น เป็นต้นกำเนิดแสงประดิษฐ์ที่มีเฟสเหมือนกัน เพราะการกระตุ้นให้เกิดแสงของ

อะตอมนั้นเกิดขึ้นที่เฟสเดียวกัน กรณีที่เฟสของแสงเหมือนกันในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่นี้เรียกว่าสเปซ-โคฮีเร้นท์-ไลท์(Space Coherent Light) เส้นใยแสงเป็นตัวกลางที่ทำการส่งสัญญาณแสงด้วยโหมดการเดินทาง(Propagation Mode) ที่เกิดจากผลของการอินเตอร์เฟอเรนซ์ของแสงที่จุดต่างๆภายในคอร์ของเส้นใยแสง ดังนั้นต้นกำเนิดแสงเลเซอร์ที่มีคุณสมบัติเป็นสเปซ-โคฮีเร้นท์-ไลท์ จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง ส่วนต้นกำเนิดแสงที่ไม่มีคุณสมบัติเป็นสเปซ-โคฮีเร้นท์-ไลท์(Incoherent) เช่นหลอดไฟที่ใช้ตามบ้านทั่วไปนั้นไม่สามารถนำมาใช้เป็นต้นกำเนิดแสงของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงได้

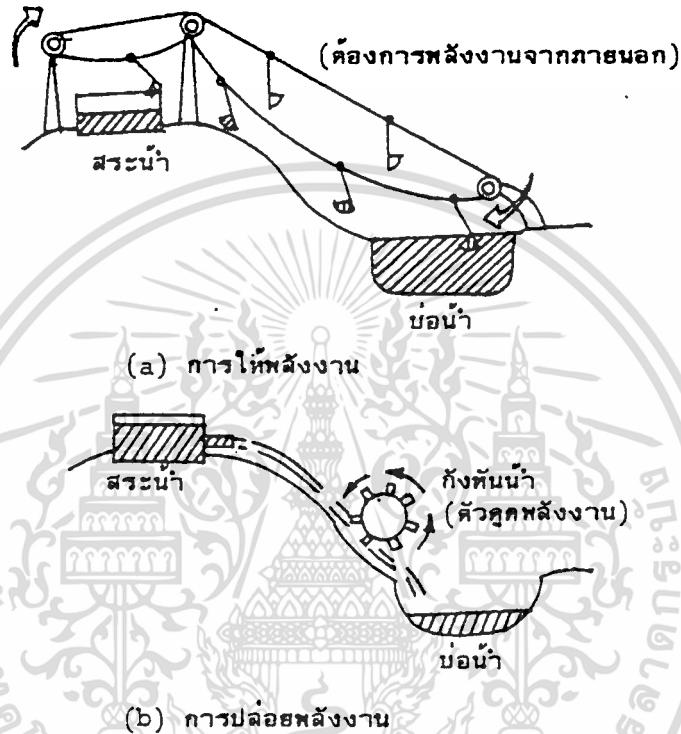
อนึ่ง ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง ในการป้อนแสงจากอุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงเข้าไปในเส้นใยแสงนั้น มีปัญหาเกี่ยวกับปรากฏการณ์เบี่ยงเบนของแสง กล่าวคือ แสงจะกระจายกว้างออกไปทำให้ประสิทธิภาพการป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสงไม่ดี เพื่อแก้ปัญหานี้ต้องใช้เลนส์ทำการรวมแสงเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการป้อนแสงเข้าคอร์ขนาดเล็กของเส้นใยแสงได้ดี

นอกจากสเปซ-โคฮีเร้นซ์ ที่กล่าวมาแล้วยังมีอีกสิ่งหนึ่งที่ช่วยทำให้โคฮีเร้นซ์ของแสงสูงขึ้น สิ่งนั้นคือการมีความยาวคลื่นเดียว (Unity Wave Length) แสงที่เกิดต่อเนื่องกันโดยมีเพียงความยาวคลื่นเพียงอันเดียวนั้นเรียกว่าไทม์-โคฮีเร้นซ์ ในการทดลองของ YOUNG นั้นถ้าหากแสงมีไทม์-โคฮีเร้นซ์สูงมากเท่าไร แถบสว่างมืดที่เกิดขึ้นจะชัดเจนมากขึ้นเท่านั้น ตัวอย่างของต้นกำเนิดแสงที่ไม่เป็นทั้งสเปซและไทม์-โคฮีเร้นซ์ คือดวงไฟที่ใช้ตามบ้าน กล่าวคือมันจะมีแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ เป็นต้นว่า ความยาวคลื่นของสีแดง, สีเหลือง, สีเขียว, สีน้ำเงิน และอื่นๆ รวมซ้อนกันจนมองดูคล้ายกับเป็นสีขาว

สำหรับแสงที่เป็นทั้งสเปซและไทม์-โคฮีเร้นซ์ อย่างเลเซอร์นั้นไม่มีอยู่ในธรรมชาติ แสงเลเซอร์เป็นต้นกำเนิดแสงประดิษฐ์อันแรกที่สามารถให้แสงที่เป็นสเปซ-โคฮีเร้นซ์ และไทม์-โคฮีเร้นซ์ซึ่งเป็นต้นกำเนิดแสง ที่มีบทบาทอย่างมาก ในการนำไปใช้งานในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงในปัจจุบัน ถ้าหากว่าต่อไปในอนาคตการวิจัยเกี่ยวกับเซมิคอนดักเตอร์-เลเซอร์ สามารถทำให้ได้แสงที่เป็นไทม์-โคฮีเร้นซ์ อย่างสมบูรณ์แล้วละก็จะทำให้ได้ระบบการสื่อสารที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงของเฟสของแสงแทนการสื่อสารที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

2.2.6 การเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสง

2.2.6.1 โครงสร้างของการกำเนิดแสง



รูปที่ 2.21 การจ่ายพลังงานและปรากฏการณ์ปล่อยพลังงานออกมา

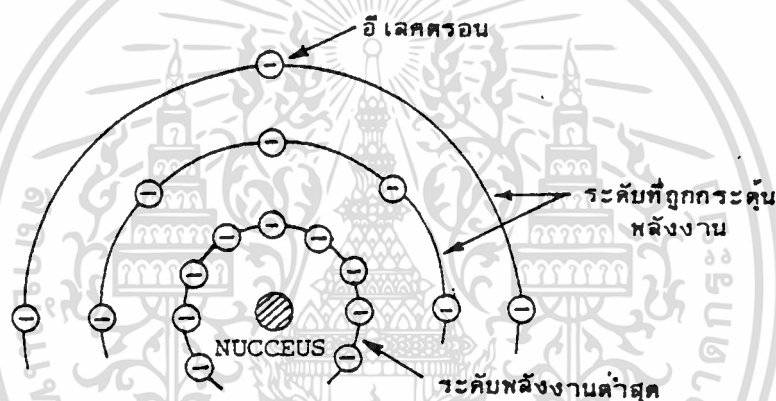
เป็นที่ทราบกันทั่วไปแล้วว่า การที่กระแสไหลนั้นเป็นปรากฏการณ์ที่อิเล็กทรอนิกส์ภายในสารที่ประกอบเป็นตัวกลางนั้นเคลื่อนที่ไปนั่นเอง แต่ทว่าอิเล็กทรอนิกส์ถ้าหากไม่มีแรงภายนอกมากกระทำแล้ว มันจะอยู่ในตำแหน่งที่มันคงไม่เปลี่ยนแปลง เช่นเดียวกันกับกระแสน้ำในแม่น้ำที่ไหลจากที่สูงไปยังที่ต่ำ คราวนี้เราลองมาพิจารณาความสัมพันธ์ของกระแสน้ำกับกังหันน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.21.

สมมุติว่าเราต้องการที่จะขนน้ำในบ่อ ไปเก็บเอาไว้ในอ่างเก็บน้ำบนภูเขา ดังแสดงในรูปที่ 2.21 (a) เราจำเป็นต้องใช้รอก, ลิฟต์ หรืออุปกรณ์อย่างอื่นซึ่งเป็นพลังงานจากภายนอกให้แก่น้ำจึงจะขนมันขึ้นไปยังอ่างเก็บน้ำบนภูเขา (ที่สูง) ได้ ในทางตรงกันข้ามกรณีการขนน้ำจากบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภูเขาไปยังบ่อน้ำข้างล่างนี้ไม่จำเป็นต้องให้แรงจากภายนอกเลยน้ำจะไหลลงเอง (จากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ) ตามธรรมชาติและมันยังถ่ายเทพลังงานที่มันสะสมเอาไว้ (gravity : แรงดึงดูดศูนย์ถ่วง) ให้แก่ก้นน้ำทำให้ก้นน้ำหมุนได้ จากหลักการที่กล่าวมานี้สามารถนำมาใช้อธิบายโครงสร้างและการทำงานของหลอดแสงได้โดยเปลี่ยนแสงได้โดยเปลี่ยนจากน้ำมาเป็นกรณีการไหลของอิเล็กตรอน ดังต่อไปนี้

โดยทั่วไปแล้วอะตอม (Atom) ที่ประกอบอยู่ในสารต่างๆ(ก๊าซ,ของเหลว,ของแข็ง) จะมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.22 นั่นคือมีส่วนที่เรียกว่านิวเคลียส(Nucleus) อยู่ตรงกลางและรอบๆนิวเคลียสจะมีอิเล็กตรอน(Electron) จำนวนหนึ่งหมุนอยู่รอบนิวเคลียส โดยมีระยะห่างที่แน่นอน



รูปที่ 2.22 โครงสร้างและระดับพลังงานของอะตอม

อิเล็กตรอนเหล่านี้จะมีพลังงานที่เป็นสัดส่วนกับระยะทางจากนิวเคลียสพลังงานนี้เรียกว่าระดับพลังงาน(Energy Level) ระดับพลังงานที่ต่ำที่สุดเรียกว่ากราวด์-สเตท-เลเวล (Ground State Level) และระดับพลังงานที่สูงกว่านี้เรียกว่าสตีมิเลต-เลเวล(Stimulated Level)จำนวนอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในระดับพลังงานนี้จะมีจำนวนแน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดของสาร แต่โดยปกติแล้วอิเล็กตรอนจะออกันอยู่ที่ระดับพลังงานต่ำ อันนี้เป็นคุณสมบัติโดยธรรมชาติของอิเล็กตรอน

คราวนี้เราลองสมมุติว่า มีอิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงาน 1 (ระดับพลังงานต่ำ) และไม่
มีอิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงาน 2 (ระดับพลังงานสูง) เลย์ดังแสดงในรูปที่ 2.23 (a) ในสภาพนี้ถ้า
หากเราให้พลังงานที่มีค่าเท่ากับผลต่างของระดับพลังงานทั้งสอง (นั่นคือถ้า E_1 เป็นพลังงาน
ของระดับพลังงาน 1 และ E_2 เป็นพลังงานของระดับพลังงาน 2 จะได้เป็น $E_2 - E_1$) แล้วอิเล็กตรอนจะ
ดูดเอาพลังงานนี้ และจะเลื่อนจากระดับพลังงานต่ำ E_1 ขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูง E_2 ดังรูปที่
2.23 (b) การให้พลังงานจากภายนอกแก่อิเล็กตรอนเพื่อทำให้มันเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูง
นี้เรียกว่า การกระตุ้น (Stimulation) และการที่อิเล็กตรอนเลื่อนไปยังระดับพลังงานอื่นนั้นเรียกว่า
การถ่ายเท (Transfer) และเมื่อปล่อยอิเล็กตรอนที่อยู่ในสภาพเลื่อนขึ้นไปอยู่ในระดับพลังงานสูง E_2
ไว้อย่างนั้นมันจะถูกนิเวศดึงดูดกลับลงมาอยู่ในสภาพเดิมซึ่งเรียกว่าสเทเบิล-สเตท (Stable State)
ดังรูปที่ 2.23 (a) อีก ในการที่อิเล็กตรอนกลับลงมาสู่สภาพเดิม นั่นคือลงมาสู่ระดับพลังงานต่ำ E_1
นั้นจะเหมือนกันกับ กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ ตามที่กล่าวมาแล้วใน รูปที่ 2.21
อิเล็กตรอนจะปล่อยพลังงาน (Emission) เท่ากับ $E_2 - E_1$ ออกมาดังรูปที่ 2.23 (c) ปรากฏการณ์
เช่นนี้เรียกว่าการปล่อยพลังงานออกมาตามธรรมชาติ (Natural Emission) กรณีที่ปล่อยพลังงานออก
มาในรูปของแสงจะเรียกว่าการปล่อยพลังงานแสงออกมาตามธรรมชาติ (Natural Light Emission)
เนื่องจากว่าสารต่างๆ แบ่งออกได้เป็นพวกที่ทำให้เกิดแสงได้ง่ายกับพวกที่ทำให้เกิดแสงได้ยาก ดัง
นั้นจึงไม่สามารถกำหนดลงไปได้ว่าสารทุกชนิดจะทำให้เกิดแสงขึ้นได้ จากทฤษฎีของ Quantum
Dynamics ความยาวคลื่นที่ได้จากการปล่อยแสงออกมานี้หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\lambda = (C * h) / (E_2 - E_1) \text{-----(1)}$$

ในที่นี้ λ : ความยาวคลื่นแสง

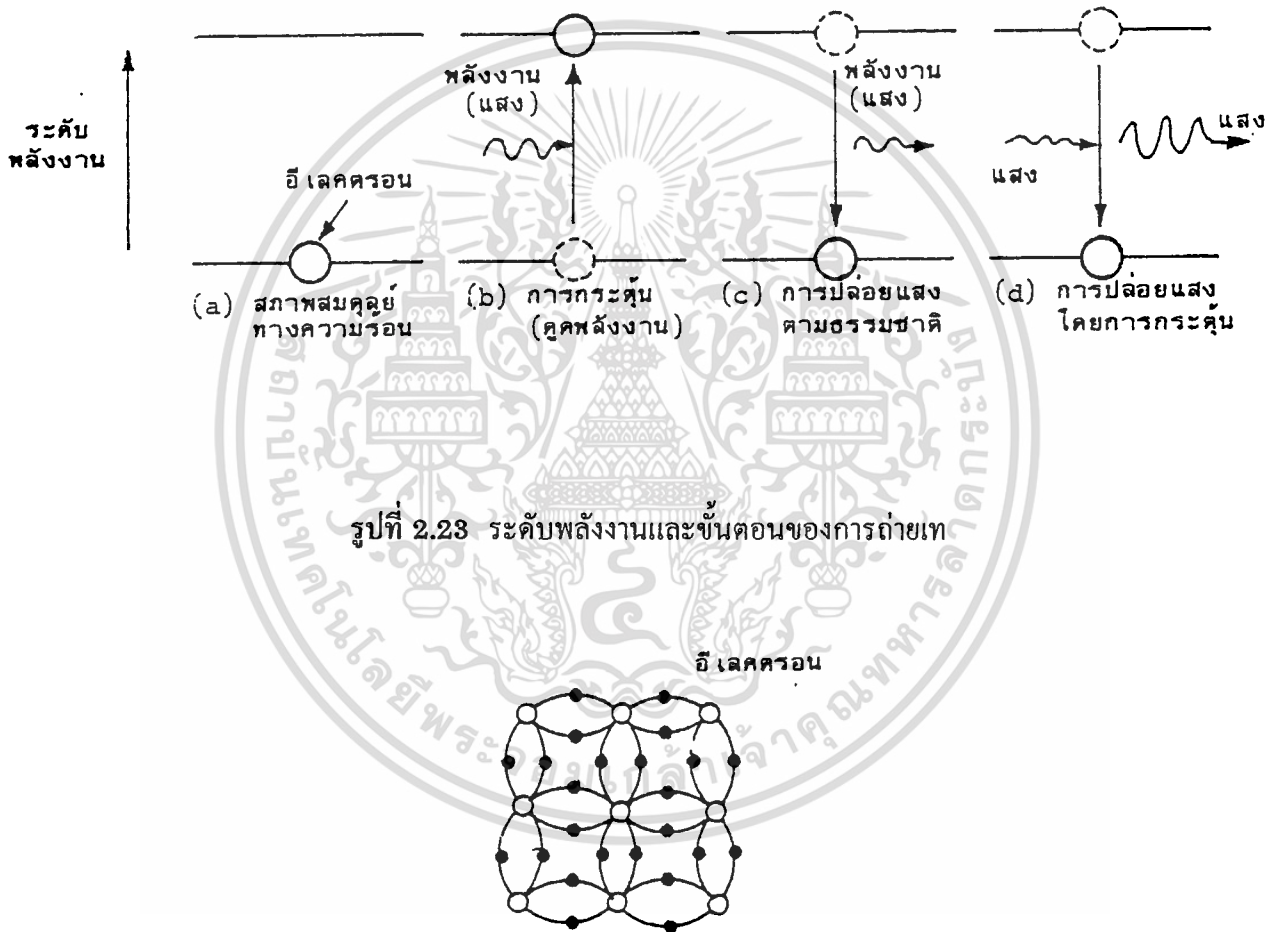
C : ความเร็วของคลื่น ($= 3 * 10^8$ m/sec)

h : PLANK CONSTANT มีค่า $= 6.625 * 10^{-34}$ JOULE.sec

นั่นคือความยาวคลื่นแสง จะเป็นสัดส่วนกลับกับผลต่างของพลังงาน และผลต่างของ พลังงานนี้กำหนดจากชนิดของอะตอมที่ประกอบเป็นอุปกรณ์กำเนิดแสงด้วย ดังนั้นความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาจึงมีค่าจำเพาะ อุปกรณ์กำเนิดแสงที่ใช้การปล่อยแสงตาม ธรรมชาตินี้ได้แก่ หลอดนีออนและไดโอดกำเนิดแสง (Light Emitting Diode : LED)

สมมุติว่าเราป้อนแสงที่มีพลังงานเท่ากับ $E_2 - E_1$ ที่ใช้ในการกระตุ้นอิเล็กตรอนให้ไปอยู่ในระดับพลังงานสูงดังรูปที่ 2.23 (b) อิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงาน E_2 ซึ่งพยายามที่จะกลับลงมาสู่ระดับพลังงานต่ำ E_1 อยู่แล้วนั้น ก็จะดูดพลังงานของแสงที่ป้อนให้ไว้ และกลับลงมาสู่

พลังงานต่ำ E_1 ในลักษณะถูกบังคับให้ลงมาเร็วกว่ากำหนดดังแสดงในรูปที่ 2.23 (d) ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่าการกระตุ้นให้ปล่อยแสง (Stimulated Emission) และพลังงานแสงที่เกิดขึ้นในกรณีนี้จะมีค่ามากกว่ากรณีของการปล่อยแสงตามธรรมชาติและแสงที่ได้เรียกว่าสตีมิเลท-อิมิชัน-ไลต์ (Stimulated Emission Light) ความยาวคลื่นแสงที่ได้จากการกระตุ้นให้ปล่อยแสงออกมาจะเหมือนกันกับกรณีของการปล่อยแสงตามธรรมชาติ นั่นคือ เป็นสัดส่วนกลับกับผลต่างของพลังงาน $E_2 - E_1$ อุปกรณ์กำเนิดแสงที่ใช้หลักการของการกระตุ้นให้ปล่อยแสงออกมานี้ ได้แก่ Laser

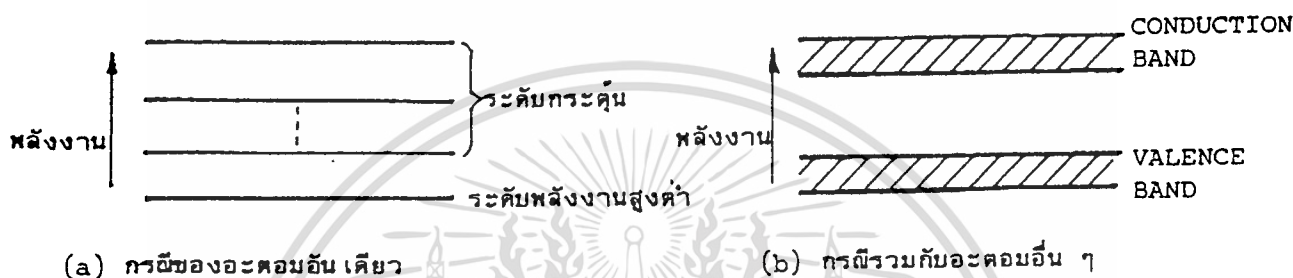


รูปที่ 2.23 ระดับพลังงานและขั้นตอนของการถ่ายเท

รูปที่ 2.24 ตัวอย่างการจัดอิเล็กตรอนและนิวเคลียสในสารกึ่งตัวนำ

2.2.6.2 โครงสร้างและการทำงานของสารกึ่งตัวนำ(Semiconductor)

จากข้างต้นเป็นหลักการพื้นฐานของการเปล่งแสง คราวนี้เรามาดูโครงสร้างการเปล่งแสงของสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor : ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติต่างกับโลหะ เช่น ทองแดง และอื่นๆ กล่าวคือมันเป็นสารที่ไม่ค่อยจะยอมให้กระแสไหลผ่านตัวมันได้มากนัก) ที่ใช้ในการสื่อสารทั่วไป

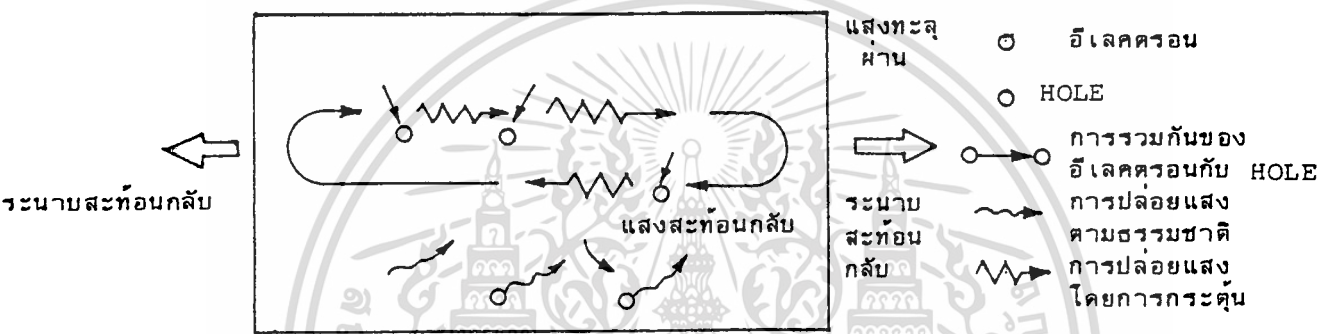


รูปที่ 2.25 ระดับพลังงานในสารกึ่งตัวนำ

สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้น จะมี อะตอมจำนวนมากจัดเรียงกันอย่างเป็นระเบียบดังรูปที่ 2.24 ด้วยเหตุนี้อิเล็กตรอนของแต่ละอะตอมจะทำหน้าที่เชื่อมโยงกับอะตอมข้างเคียง และมีตำแหน่งอยู่ระหว่างอะตอมทั้งสองนั้นคือมันจะรับผลการดึงดูดจากอะตอมข้างเคียง สภาพพลังงานที่อะตอมได้รับนั้นถ้าหากจะกล่าวในทางควอนตัม-ไดนามิค(Quantum Dynamic) แล้วจะแตกต่างกับกรณีที่มีอะตอมเพียงอันเดียว ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในรูปที่ 2.22 กล่าวคือในกรณีนี้มันจะแบ่งออกเป็น 2 สภาพ สภาพหนึ่งเป็นระดับพลังงานสูงเรียกว่าคอนดักชัน-แบนด์(Conduction Band) และอีกสภาพหนึ่งเป็นระดับพลังงานต่ำเรียกว่าวาเลนซ์-แบนด์(Valence Band) และสภาพ ทั้งสองนี้ต่างก็มีความกว้างของพลังงานอยู่ดังแสดงในรูปที่ 2.25

โดยปกติแล้วอิเล็กตรอนจำนวนมากจะรวมตัวกันอยู่ที่วาเลนซ์-แบนด์ ซึ่งมีระดับพลังงานต่ำ และจะมีอิเล็กตรอนจำนวนเล็กน้อยอยู่ในคอนดักชัน-แบนด์ ซึ่งเป็นระดับพลังงานสูง ในขั้นแรก จะอธิบายเกี่ยวกับโครงสร้าง และการทำงานของเลเซอร์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Laser Diode เรียกชื่อย่อว่า LD) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีระดับพลังงานตามที่กล่าวมาแล้ว และใช้วิธีการกระตุ้นให้เปล่งแสงออกมา สมมุติว่าจำนวนอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำมีค่าเป็น N และในจำนวน N นี้แบ่งไปอยู่ในวาเลนซ์-แบนด์เสีย n_1 ตัว และไปอยู่ใน

คอนดักชัน-แบนด์ n_2 ตัว ในสภาพปกติ นั้น n_1 จะมากกว่า n_2 และในสภาพเช่นนี้ ถ้าหากเราให้แสงจากภายนอกเข้ามา จะทำให้เกิดการกระตุ้นให้ปล่อยแสง และการดูดพลังงาน(Absorption) ซึ่งขนาดของมันจะเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนของ n_2 และ n_1 แต่โดยทั่วไปแล้ว การดูดพลังงานจะมีขนาดมากกว่าทำให้แสงที่ป้อนเข้ามามีขนาดลดลงไป แต่ทว่าหากมีวิธีอย่างใดอย่างหนึ่งที่ทำให้ $n_2 > n_1$ (เรียกว่าเกิด Inversion Distribution) ได้แล้วละก็จะทำให้การกระตุ้นให้ปล่อยแสงออกมามีค่ามากกว่าการดูดพลังงาน ในกรณีนี้จะทำให้ความเข้มของแสงที่ป้อนเข้ามาเพิ่มมากขึ้น และเกิดปฏิกิริยาการขยายแสง(Light Amplification Action)



รูปที่ 2.26 หลักการของการออสซิลเลชันของแสง

เราอาจจะไม่ค่อยคุ้นกับคำว่าอินเวอร์ชัน-ดิสทริบิวชัน(Inversion Distribution) แต่ทว่า มันสามารถถูกทำให้เกิดขึ้นมาได้จริงๆ ด้วยการให้พลังงานจากภายนอก จากที่ได้ยกตัวอย่างการกระตุ้นอิเล็กตรอนด้วยการดูดพลังงานมาแล้วในรูปที่ 2.23(b) แต่สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้นปกติจะใช้วิธีการที่เรียกว่า ฉีด (Injection) อิเล็กตรอนโดยทำให้กระแสไหล ก็จะเกิดปฏิกิริยาการขยายทางกระแสได้ ดังนั้นในกรณีของสารกึ่งตัวนำพลังงานจากภายนอกที่เป็นตัวทำให้เกิดการกระตุ้นให้ปล่อยแสง เพื่อปล่อยแสงออกมานั้นก็คืออิเล็กตรอนที่ฉีดเข้าไปนั่นเอง เมื่อสามารถทำให้เกิดการขยายดังกล่าวข้างต้นได้ และเช่นเดียวกันกับกรณีของวงจรไฟฟ้า กล่าวคือโดยการทำให้ขยายกลับไปมาจะสามารถทำให้แสงเกิดการออสซิลเลชัน(Oscillation) ได้ การขยายกลับไปมานั้นเป็นการทำให้เกิดคุณสมบัติพิเศษของแสงขึ้น หลักการขยายกลับไปมาทำได้ โดยใช้ระนาบสะท้อนกลับ (Reflecting Plane) 2 อันวางหันหน้าเข้าหากันดังแสดงในรูปที่ 2.26 นั่นคือแสงที่เกิดจากการกระตุ้นให้ปล่อยแสง (stimulated emission) นี้จะถูกขยายไปพร้อมกับเคลื่อนที่ไปด้วย และเมื่อไป

กระทบกับระนาบสะท้อนกลับแล้ว ส่วนหนึ่งของมันจะทะลุออกไปข้างนอก และส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับไปในทิศทางตรงกันข้ามกับครั้งแรก และเมื่อแสงที่สะท้อนกลับนี้เมื่อไปถึงระนาบสะท้อนกลับอีกด้านหนึ่งก็จะเกิดผลเช่นเดียวกับในตอนแรกที่กำลังกล่าวมาแล้วคือ ส่วนหนึ่งจะทะลุออกไปข้างนอกและส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับไปในทิศทางตรงกันข้ามอีกในระหว่างที่ทำให้เกิดการป้อนกลับ (Feedback ซึ่งเป็นการนำเอาส่วนหนึ่งของ Out Put ของการขยายกลับไปป้อนเข้าทาง Input อีก) ซ้ำกลับไปมาอยู่อย่างนี้ จะถึงจุดหนึ่งที่พลังงานที่ถูกขยายโดยการกระตุ้นให้ปล่อยแสงมีค่ามากกว่าพลังงานที่สูญเสียไป เนื่องจากการดูดของอิเล็กตรอนที่อยู่ในวาเลียนซ์แบนด์ และที่ทะลุออกไปจากระนาบการสะท้อนกลับ ณ จุดนี้การออสซิลเลชันจะเริ่มขึ้นการทำให้เกิดแสงเช่นนี้เรียกว่าเลเซอร์(Laser:Light Amplification By Stimulated Emission Of Radiation)



รูปที่ 2.27 การเกิดสแตนด์-เวฟของแสง

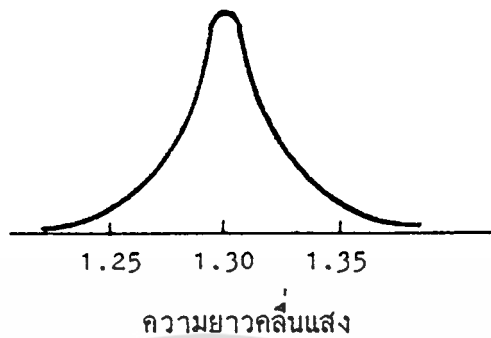
ในการที่ทำให้การออสซิลเลชันเริ่มขึ้นได้นั้นต้องใช้พลังงานจากภายนอก (การฉีดกระแสเข้าไป) ที่มีจำนวนมากกว่าค่าหนึ่งขึ้นไป และจำนวนกระแสที่ฉีดเข้าไปตอนทำให้เกิดการออสซิลเลชันเริ่มขึ้นนั้นเรียกว่าเทรชโฮลด์-วาลู-เคอเร้นท์(Threshold Value Current) ต่อไปเรามาศึกษาถึงความยาวคลื่นแสงของ LD จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ความยาวคลื่นแสงนั้นกำหนดจากผลต่างของพลังงานในคอนดักชัน-แบนด์และในวาเลียนซ์-แบนด์ แต่เนื่องจากว่าในระดับพลังงานทั้งสองต่างก็มีความกว้างของพลังงานอยู่ ทำให้ความยาวคลื่นแสงก็มีค่าอยู่ในช่วงหนึ่งด้วยเช่นกัน แต่เนื่องจากขั้นตอนของการปล่อยแสงตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าทำให้เกิดการสะท้อนกลับไปมา (Resonance)ระหว่างระนาบสะท้อนกลับ นั่นคือสามารถทำให้เกิดความยาวคลื่นแสงของสแตนด์-เวฟเท่านั้นภายในรีโซเนเตอร์ (Resonator) เท่านั้นดังรูปที่ 2.27

และเงื่อนไขที่ทำให้เกิดการรีโซแนนซ์นี้ก็คือ ความยาวของรีโซเนเตอร์(ระยะห่างของระนาบสะท้อนกลับ) จะต้องมามีค่าเป็นจำนวนเท่าที่เป็นเลขเต็มหน่วยของครึ่งหนึ่งของความยาวแสง นั่นคือ $= n \cdot (\lambda/2)$ โดยปกติแล้วความยาวของรีโซเนเตอร์จะมากกว่าความยาวแสงมาก ดังนั้นแสงที่ได้จาก LD จะมีความยาวแสงกระจายออกเป็นจำนวนมากดังแสดงในรูปที่ 2.28



อันนี้เกี่ยวกับคุณสมบัติของ LD นั้นต้องการให้มีการขยายกว้างออกของความยาวคลื่น (Wave Length Dispersion) น้อย ต้องทำให้จำนวนของความยาวคลื่นแสงมีน้อยมากเท่าไรยิ่งดี ด้วยเหตุนี้ได้มีการพัฒนาทำให้ความยาวคลื่นแสงมีค่าเดียวโดยการสร้าง Distributed Feed Back Semiconductor Laser เรียกว่า DFB Laser ขึ้นมา จะเห็นได้ว่า Laser Oscillation นั้นจะเกิดขึ้นได้จะต้องมีครบ 3 อย่าง คือ Inversion Distribution , Stimulated Emission และ Resonance

ส่วนทางด้านไดโอดเปล่งแสง (LED : Light Emitting Diode) นั้นต่างกับ LD คือแทนที่จะใช้ปรากฏการณ์กระตุ้นให้เปล่งแสง แต่จะใช้ปรากฏการณ์ของการเปล่งแสงตามธรรมชาติแทน ดังนั้นแสงที่ได้ออกมาจะมีช่วงความยาวคลื่นแสงกว้างมากทั้งนี้ เพราะกำหนดจากความสัมพันธ์ของพลังงานของคอนดักชัน-แบนด์กับวาเลียนซ์-แบนด์ ที่มีความกว้างของพลังงานอยู่ในตัว และช่วงความยาวคลื่นแสง(Spectrum Width) และกำลังขาออก(output power)ของ LED เมื่อเทียบกับ LD แล้วมีค่าน้อยกว่า แต่มีข้อดีคือ โครงสร้างของ LED ไม่ยุ่งยากทำให้สร้างได้ง่าย และมีราคาถูกกว่ามาก ช่วงความยาวคลื่นแสงของ LED ดังรูปที่ 2.29



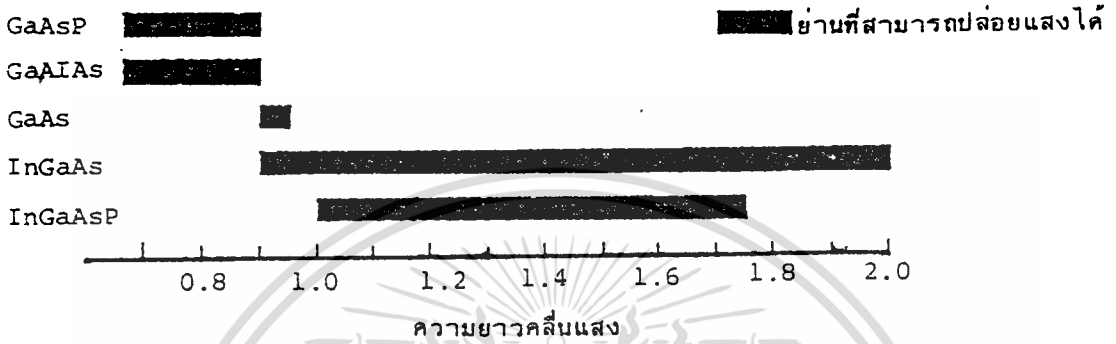
รูปที่ 2.29 ช่วงความยาวคลื่นแสงของ LED

2.2.6.3 สารที่ใช้ในการสร้างและโครงสร้างของอุปกรณ์ปล่อยแสง

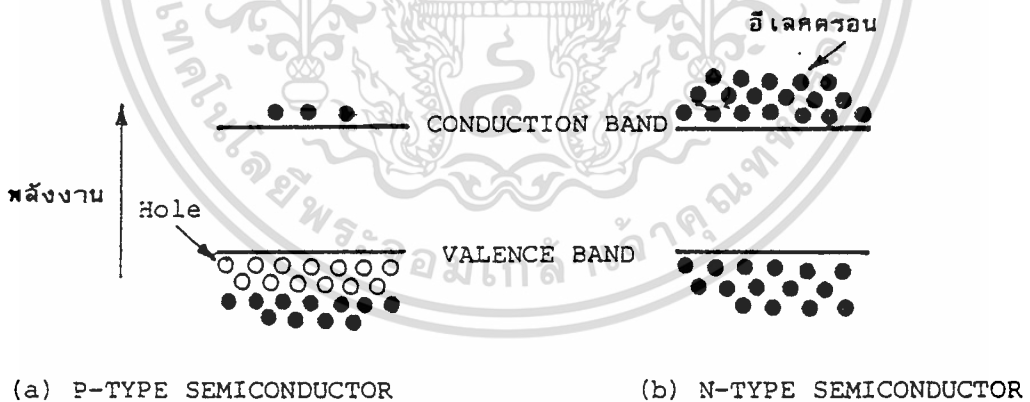
(1) สารที่ใช้ในการสร้างอุปกรณ์ปล่อยแสง

จากที่กล่าวมาแล้วนั้นว่าปรากฏการณ์ปล่อยแสงนั้นไม่ได้เกิดขึ้นกับสารกึ่งตัวนำทุกชนิด ทั้งนี้ก็เพราะว่ามีสารพวกที่เกิดปรากฏการณ์ปล่อยแสงง่ายกับสารพวกที่เกิดการปล่อยแสงยาก เนื่องจากการปล่อยแสงนั้นเกิดจากการที่อิเล็กตรอนถ่ายเทจากคอนดักชัน-แบนด์ไปยังวาเลียนซ์-แบนด์จึงแบ่งสารออกเป็นพวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเทได้ง่ายกับพวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเทได้ยาก พวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเทได้ง่ายเรียกว่า ไคเร็กต์-ทรานเฟอร์-เซมิคอนดักเตอร์ (Direct Transfer Semiconductor) พวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเทได้ยากเรียกว่าอินไดเร็กต์-ทรานเฟอร์-เซมิคอนดักเตอร์ (Indirect Transfer Semiconductor) ตัวอย่างของสารพวกไคเร็กต์-ทรานเฟอร์-เซมิคอนดักเตอร์ ได้แก่ สารประกอบของ Indium (In), Gallium (Ga), Arsenide (As) และฟอสฟอรัส (P) คือ InGaAsP, สารประกอบของ Gallium, Aluminum, Arsenide คือ GaAlAs เป็นต้น อนึ่งสารพวก Silicon (Si) Germanium (Ge) ที่ใช้ทำทรานซิสเตอร์, IC ส่วนใหญ่เป็นอินไดเร็กต์-ทรานเฟอร์-เซมิคอนดักเตอร์ ซึ่งปล่อยแสงออกมายาก เนื่องจากความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมานั้นเป็นสัดส่วนกับผลต่างของพลังงานของคอนดักชัน-แบนด์กับวาเลียนซ์-แบนด์แต่ที่ผลต่างของพลังงานนี้จะมีค่าแตกต่างกันตามส่วนประกอบสารกึ่งตัวนำจึงทำให้มีความยาวคลื่นแสงค่าต่างๆ ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับสารประกอบของอุปกรณ์ปล่อยแสง แสดงดังรูปที่ 2.30 และจากการพิจารณาถึงคุณสมบัติต่างๆ ของสารในทางปฏิบัตินั้นสำหรับย่านความยาวคลื่นสั้น $0.85 \mu\text{m}$

นิยมใช้ GaAlAs และผ่านความยาวคลื่นยาว 1.3 μm นิยมใช้ InGaAsP ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง การเลือกใช้ความยาวคลื่นแสงถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากจึงมีผลจำกัดต่อการเลือกใช้สารประกอบ



รูปที่ 2.30 ความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาของสารประกอบกึ่งตัวนำแต่ละชนิด

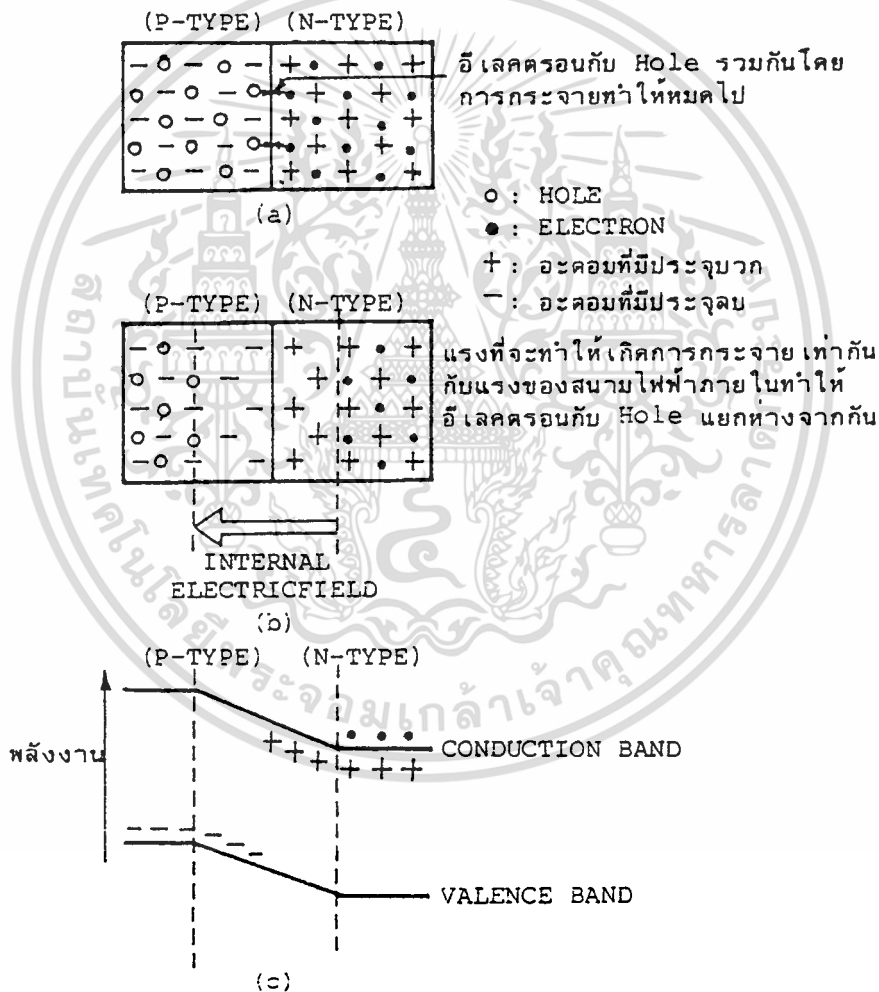


รูปที่ 2.31 ระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำแบบ P-type และ N-type

2.2.6.4 โครงสร้างของอุปกรณ์เปล่งแสง

a) P-N JUNCTION

เกี่ยวกับโครงสร้างของอุปกรณ์เปล่งแสง จากทางด้านการใช้งานเพื่อให้ได้กำลังการเปล่งแสงที่มีประสิทธิภาพสูงนั้น การนำสารกึ่งตัวนำ P และ N มาเชื่อมต่อกัน (Junction) นั้นเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ดังนั้นเพื่อให้เข้าใจการขั้นตอนเปล่งแสง อันเนื่องมาจากโครงสร้างของอุปกรณ์เปล่งแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำนั้นในที่นี่จะกล่าวถึง คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำแบบ P-type และแบบ N-type ก่อน



รูปที่ 2.32 สนามไฟฟ้าภายในและระดับพลังงานของ P-N JUNCTION

สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้นปกติจำนวนของอิเล็กตรอน (หรือจำนวนโฮล) ที่มีอยู่นั้นจะมีค่าคงที่ตามชนิดของอะตอม และอิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะรวมตัวกันอยู่ในวาเลนซ์-แบนด์ สารกึ่งตัวนำที่มีสภาพอย่างนี้เรียกว่าจีเนียร์-เซมิคอนดักเตอร์(Genuine Semiconductor) แต่สารที่เรียกว่าพี-ไทป์-เซมิคอนดักเตอร์(P-type Semiconductor) นั้นมีสภาพที่มีจำนวนโฮล (อนุภาคที่มีประจุบวกในตัว) และมีอิเล็กตรอน (มีประจุลบในตัว) น้อยดังแสดงในรูปที่ 2.31 (a) ส่วนสารที่เรียกว่าเอ็น-ไทป์-เซมิคอนดักเตอร์(N-type Semiconductor) นั้นจะมีสภาพตรงกันข้ามกับพี-ไทป์-เซมิคอนดักเตอร์ กล่าวคือมีอิเล็กตรอนมากกว่าโฮลและจำนวนอิเล็กตรอนที่มากเกินไปนี้จะรวมตัวกันอยู่ในคอนดักชันแบนด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.31 (b)

คราวนี้สมมติว่าเรานำสารกึ่งตัวนำทั้งสองแบบมาเชื่อมต่อกัน และบริเวณที่เชื่อมต่อกันนั้นอิเล็กตรอนที่มีจำนวนมากใน N-type จะรวมตัวกับโฮลที่มีจำนวนมากใน P-type ดังรูปที่ 2.32 (a) และจากปริมาณการรวมตัวที่เพิ่มขึ้นเรื่อนั้น ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าลบใน P-type และเกิดประจุไฟฟ้าบวกขึ้นใน N-type (เพราะว่าอิเล็กตรอนลดลงเหลือแต่โฮล) ดังรูปที่ 2.32 (b) จากผลอันนี้ทำให้เกิดสภาพดีพลีชัน-โซน(Depletion Zone) ขึ้นตรงบริเวณใกล้ๆ รอยเชื่อมต่อและได้โครงสร้างของระดับพลังงานดังรูปที่ 2.32 (c) เกี่ยวกับโครงสร้างของระดับพลังงานนี้มีความหมายสำคัญอย่างยิ่งยวดในการนำไปใช้พิจารณาโครงสร้างของอุปกรณ์เปล่งแสง

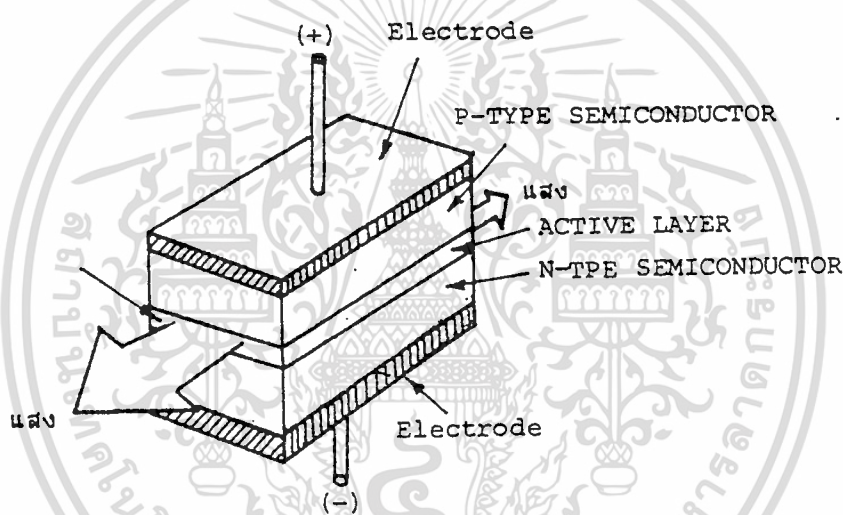
b) โครงสร้างของ LD

โดยทั่วไปแล้ว LD จะมีโครงสร้างเป็น 3 ชั้น (Three Layers) ดังแสดงในรูปที่ 2.33 ในการทำให้เกิดเลเซอร์-ออสซิลเลชัน(Laser Oscillation) นั่นคือส่วนที่ทำหน้าที่เป็น รีโซเนเตอร์ ซึ่งเรียกว่าแอกทีฟ-เลเยอร์(Active Layer) ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ระหว่าง พี-ไทป์-เซมิคอนดักเตอร์กับเอ็น-ไทป์-เซมิคอนดักเตอร์

จากรูปที่ 2.33 ถ้าหากทำให้กระแสไหลจากขั้วบวก ไปยังขั้วลบ (ทำการฉีดกระแส: Current Injection) จะเกิดแสงเลเซอร์ออกมาในทิศทางที่แสดงด้วยลูกศร เกี่ยวกับวิธีการเกิดออสซิลเลชันของ LD นั้นอธิบายโดยเน้นตรงบริเวณชั้นทั้ง 3 ของ P-type , N-type และแอกทีฟ-เลเยอร์นี้สำหรับโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำอย่างนี้เรียกว่าดับเบิล-ฮิเทอ-จังชัน(Double Hetero Junction) คำว่า"ดับเบิล-ฮิเทอ-จังชัน" นั้นหมายความว่า Junction ของชั้นของสารที่มีส่วนประกอบต่างกันนั้นมี 2 ด้าน โครงสร้าง , ระดับพลังงานและลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหการหักเหของ LD แสดงดังรูปที่ 2.34

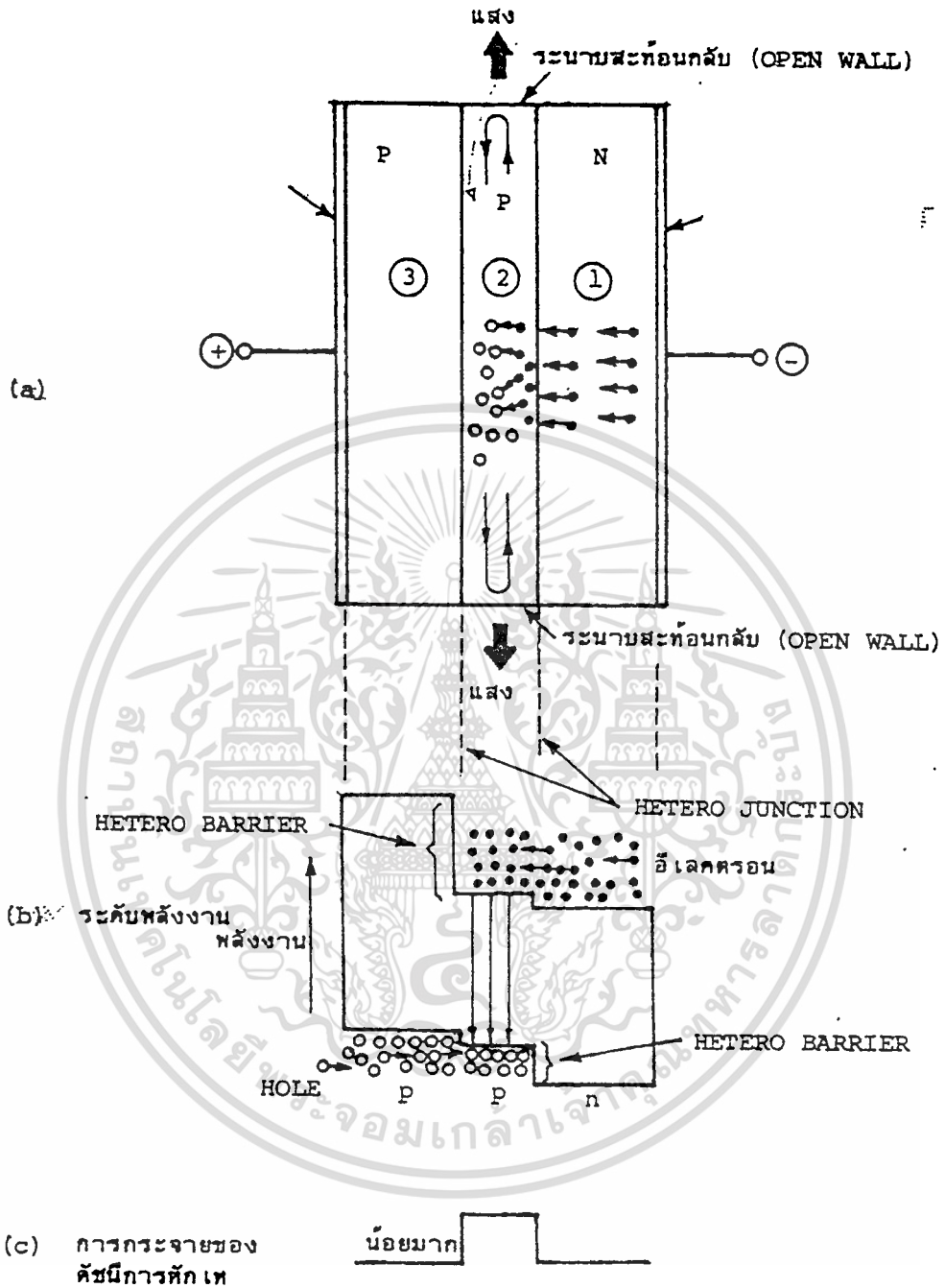
ในการทำให้เกิดเลเซอร์-ออสซิลเลชันนั้น จะต้องทำให้ผลต่างระหว่างระดับพลังงานคอนดักชัน-แบนด์ ของพี-ไทป์-เซมิคอนดักเตอร์ และคอนดักชัน-แบนด์ ของ แอกทีฟ-เลเยอร์

มีค่ามาก พร้อมทั้งทำให้ผลต่างระหว่าง พลังงานของคอนดักชันแบนด์ กับวาเลนซ์แบนด์ ของ พี-ไทป์-เซมิคอนดักเตอร์ มีค่ามากด้วย นอกจากนั้นยังจะต้องทำให้ระดับพลังงานของวาเลนซ์-แบนด์ ของเอ็น-ไทป์-เซมิคอนดักเตอร์ มีค่าต่ำกว่าระดับพลังงานของแอกติฟ-เลเยอร์ ด้วย จากนั้น จึงนำมาเชื่อมต่อกันจะได้ระดับพลังงานดังแสดงในรูปที่ 2.34 (b) เมื่อทำให้มีกระแสไหลในเซมิคอนดักเตอร์ ที่มีการเชื่อมต่อกันในลักษณะที่กล่าวข้างต้นโดยให้มีทิศทางไหลจาก P-type ไปหา N-type จะเป็นผลให้อิเล็กตรอนส่วนเกินที่มีอยู่ใน N-type (แสดงด้วย (1) ในรูป) ดังแสดงในรูปที่ 2.34 (a) เคลื่อนที่ไปยัง P-type และโฮลส่วนเกินที่มีอยู่ใน P-type (แสดงด้วย (3) ในรูป)



รูปที่ 2.33 โครงสร้างทั่วไปของ LD

เคลื่อนที่ไปยัง N-type ผลของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลเหล่านี้ ทำให้เกิดมีอิเล็กตรอนและโฮลอยู่ภายในแอกติฟ-เลเยอร์(แสดงด้วย (2)ในรูป และโดยทั่วไปแอกติฟ-เลเยอร์นี้จะใช้สาร P-type) เมื่อมาถึงจุดนี้ให้สังเกตระดับพลังงานของเลเยอร์ทั้ง 3 ที่แสดงในรูปที่ 2.34 (b) จะเห็นว่าเกิดมีกำแพงของพลังงาน (เรียกว่า Hetero Barrier) ขึ้น ทำให้เกิดอิเล็กตรอนและโฮลที่เคลื่อนที่ไปนั้นถูกขังอยู่ในแอกติฟ-เลเยอร์ เป็นผลให้เกิดสภาพอินเวอร์ชัน-คิสทริบิวชัน (Inversion Distribution) ได้อย่างดีทำให้มีผลการขยายความเข้มของการปล่อยแสง

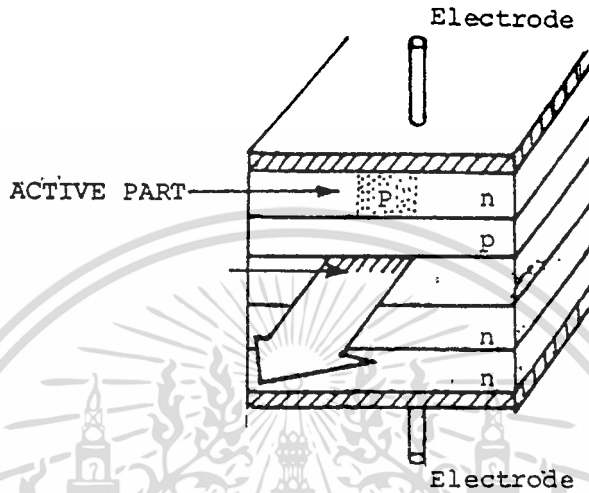


รูปที่ 2.34 โครงสร้าง, ระดับพลังงานและลักษณะการเปลี่ยนแปลง
ค่าดัชนีการหักเหของ LD

อนึ่ง โดยการทำให้ดัชนีการหักเหของแอกติฟ-เลเซอร์ มีค่ามากกว่าเลเซอร์ข้างเคียง
ดังแสดงในรูปที่ 2.34 (c) แสงที่ปล่อยออกมาจะถูกกัก และเดินทางอยู่ในแอกติฟ-เลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการกักอิเล็กตรอนและโฮลเอาไว้ในแอคทีฟ-เลเยอร์และผลการกักแสงไว้ในแอคทีฟ-เลเยอร์ ทำให้ได้การปล่อยแสงที่มีประสิทธิภาพที่ดีได้

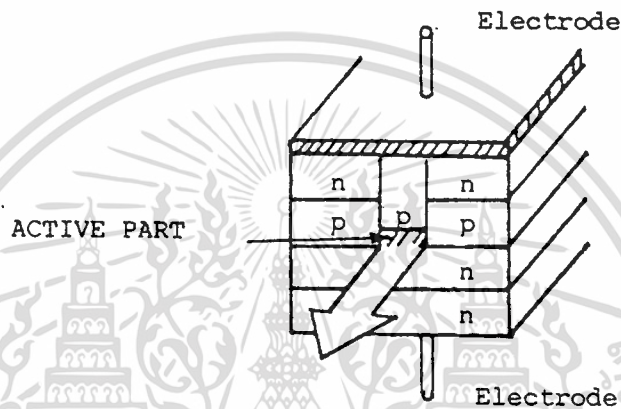


รูปที่ 2.35 โครงสร้างแบบพลาแนร์-สตริป

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าแสงจะออกมาจากระนาบสะท้อนกลับ โดยที่ระนาบสะท้อนกลับนี้ ทำจากการใช้สิ่งที่คมมากๆ คล้ายใบมีดโกนไปตัดสารกึ่งตัวนำที่ประกอบกันเป็น LD ให้มีช่องเปิด เรียกว่าโอเพิน-วอลล์(Open Wall) โดยการทำเช่นนี้แสงเลเซอร์จะถูกกักขังอยู่ในแอคทีฟ-เลเยอร์ได้ดี แต่ทว่าเมื่อมันเดินทางมาถึงโอเพิน-วอลล์มันจะหลุดออกมาข้างนอกตลอดแนวของโอเพิน-วอลล์ นี่ทำให้ประสิทธิภาพการเชื่อมแสงเข้ากับเส้นใยแสงไม่ดีด้วยเหตุนี้เพื่อเป็นการทำให้ประสิทธิภาพดีจำเป็นต้องมีการปรับปรุงต่างเพื่อให้มีปฏิกิริยาการนำคลื่นแสงในทิศทางแนวนอน(Horizontal) ด้วยตัวอย่างอันหนึ่งของวิธีการปรับปรุงก็คือสิ่งที่เรียกว่าพลาแนร์-สตริป-สตรัคเจอร์(Planar Stripe Structure) ดังแสดงในรูปที่ 2.35

เพื่อให้การผลิต LD ทำได้ง่าย (การสร้างผลึกและการสร้างขั้วไฟฟ้า) จะทำให้มีโครงสร้างเป็น 5 ชั้น และทำให้บริเวณที่มีกระแสไหลมีขนาดแคบ ส่วนเลเซอร์-ออสซิลเลเตอร์ เป็นการใช้หลักการที่ทำให้ออสซิลเลชันเกิดขึ้นเฉพาะตรงส่วนที่กระแสไหลนั้นคือ ตรงส่วนที่มีการกระตุ้น (Stimulation) เท่านั้นจากรูป 2.35 จะเห็นว่าชั้นบนสุดมีขั้วไฟฟ้าบวก ติดอยู่เป็น N-type เกือบทั้งหมด แต่จะมีเฉพาะส่วนหนึ่งเท่านั้นซึ่งแคบมากเป็น P-type เมื่อทำดังนี้จะไม่มีการแสไหลตรงส่วนเชื่อมต่อของ P-type ,แอคทีฟ-เลเยอร์ และ N-type (ทั้งนี้เพราะว่าจากคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวนำกระแสจะไม่ไหลจาก N-type ไปยัง P-type) แต่ในทางตรงกันข้ามกระแสจะไหลเฉพาะตรงส่วนเชื่อมต่อของ P-type , N-type , แอคทีฟ-เลเยอร์นั่นคือส่วน P-type ของชั้นที่ 1 จะทำหน้าที่เป็นทางไหลเข้าของกระแสกลายเป็นแถบ(Stripe) ส่วนหนึ่งของแอคทีฟ-เลเยอร์จึงเรียกว่าฟลานาร์-สตริป-ไทป์ โครงสร้างแบบอื่นที่มีคุณสมบัติดีกว่าแบบฟลานาร์-สตริป-ไทป์และนิยมใช้กันมากคือแบบเอ็มเบดดิ้ง-สตริป-ไทป์(Embedding Stripe Type) ดังแสดงในรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.36 โครงสร้างของเอ็มเบดดิ้ง-สตริป-ไทป์

โครงสร้างนี้มีลักษณะพิเศษตรงที่ทำให้ค่าดัชนีการหักเหของแอคทีฟ-เลเยอร์ มีค่าสูงทั้งส่วนบน, ล่าง, ซ้าย, ขวา นั่นคือส่วนบนของแอคทีฟ-เลเยอร์มีเลเยอร์ของ P-type อยู่ซึ่งจะเหมือนกับฟลานาร์-สตริป-ไทป์และกระแสจะไหลเฉพาะในส่วนนี้เท่านั้นจากข้างบนไปข้างล่างนอกจากจะสามารถทำให้เกิดเลเซอร์-ออสซิลเลชัน ด้วยกระแสที่มีค่าน้อยแล้ว ยังทำให้ค่าดัชนีการหักเหของแอคทีฟ-เลเยอร์มีค่าสูงมากขึ้นอีก จึงเป็นผลให้ประสิทธิภาพของการกักแสงเพิ่มขึ้น สามารถให้แสงที่ปล่อยออกมาเป็นลำแสงที่คม (Sharp) มาก

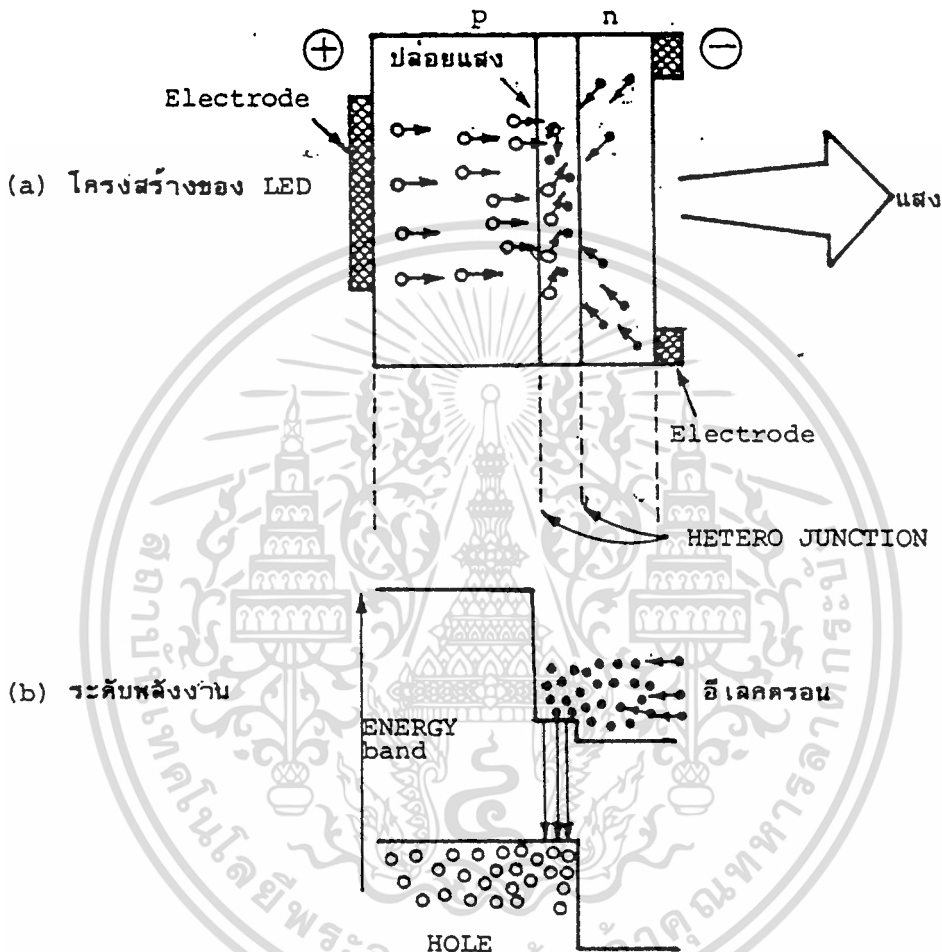
c) โครงสร้างของ LED (Light Emitting Diode)

โครงสร้างพื้นฐานของ LED เหมือนกันกับของ LD กล่าวคือเป็นดับเบิล-ฮีเทอโร-จังชัน อิเล็กตรอนที่ไหลผ่าน P-N junction จะไปรวมกับโฮลภายในแอคทีฟ-เลเยอร์เช่นเดียวกันกับกรณีของ LD ดังแสดงในรูปที่ 2.37 (a) และจะเกิดการปล่อยแสงขึ้นภายในแอคทีฟ-เลเยอร์ เนื่องจากถูกกักด้วยกำแพงของฮีเทอโร-จังชัน แต่สำหรับกรณีของ LED นั้น โครงสร้างของมันไม่มีการขยายออสซิลเลชันของแสงเหมือนอย่าง LD (ไม่มีระนาบสะท้อนแสง) แสงที่ปล่อยออกมาตรงส่วนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

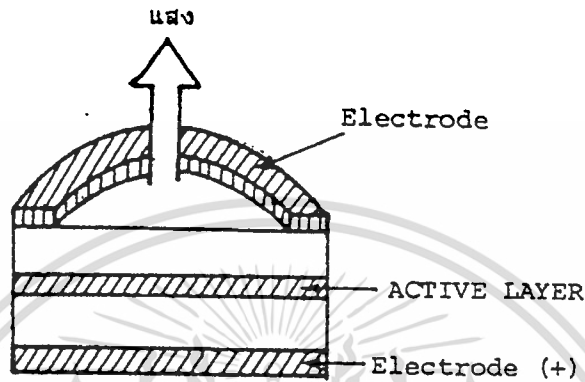
อยู่ห่างจากด้านข้างนั้น จึงออกจากด้านข้างได้ยาก ด้วยเหตุนี้ LED ทัวไปจึงให้แสงปล่อยออกมาข้างนอกจากด้านหน้าซึ่งตรงกับขั้วไฟฟ้างรูปที่ 2.37 (a)



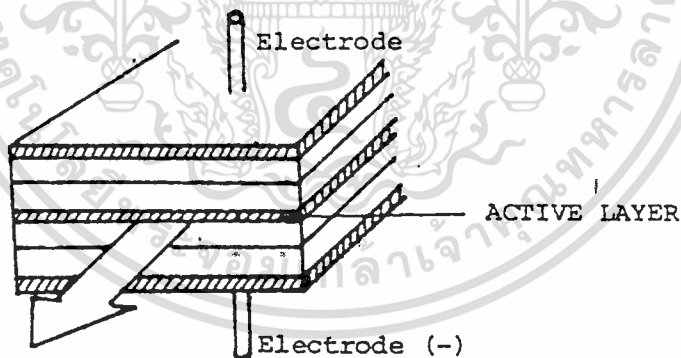
รูปที่ 2.37 โครงสร้างและระดับพลังงานของ LED

ตัวอย่างโครงสร้างของ LED แบบที่ปล่อยแสงออกมาทางด้านหน้า (Face Emission Type Led) แสดงดังรูปที่ 2.38 จากรูปจะเห็นได้ว่าเป็นการทำให้แสงปล่อยออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ขั้วไฟฟ้าทางด้านที่ปล่อยแสงออกมาจะต้องมีรูปร่างเป็นรูปวงแหวน

นอกจากนี้ในปัจจุบันได้มีการผลิต LED อีกแบบหนึ่งขึ้นมา โดยการทำให้ค่าดัชนีการหักเหของแอกติฟ-เลเยอร์มีค่าสูง และทำให้เกิดปฏิกิริยาการนำแสงขึ้นในแอกติฟ-เลเยอร์และให้ปล่อยแสงออกมา จากทางด้านข้างของแอกติฟ-เลเยอร์เหมือนกันกับ LD ดังแสดงในรูปที่ 2.39



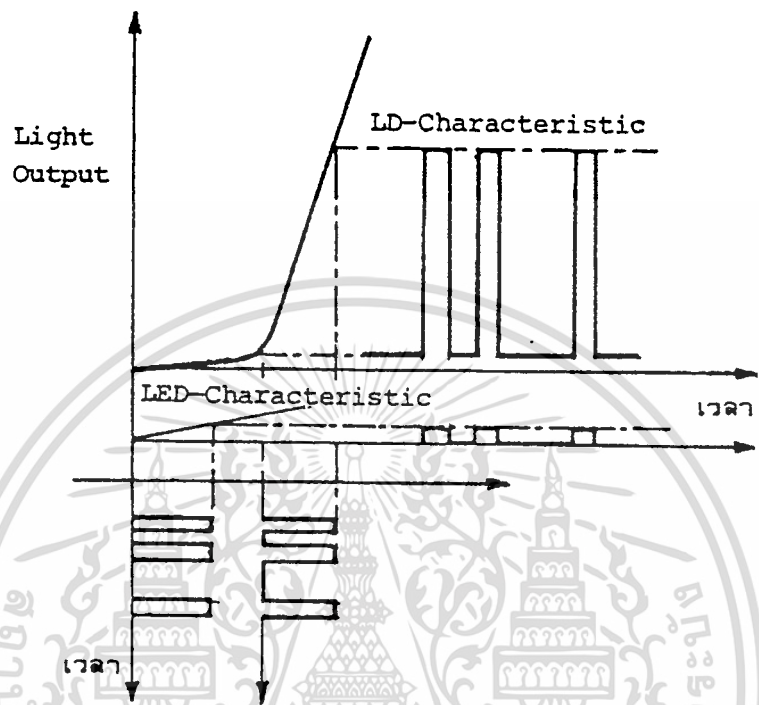
รูปที่ 2.38 ตัวอย่างโครงสร้างของ LED แบบปล่อยแสงทางด้านหน้า



รูปที่ 2.39 ตัวอย่างโครงสร้างของ LED แบบปล่อยแสงออกทางด้านข้าง

LED แบบนี้เรียกว่า LED แบบปล่อยแสงออกทางด้านข้าง (Side Emission Type Led) และเมื่อเปรียบเทียบกับแบบปล่อยแสงออกทางด้านหน้า แล้วปรากฏว่า โดยการให้กระแสผ่านเท่ากัน

แสง (Directivity) ดีกว่า เป็นผลให้มีการสูญเสียการเชื่อมแสงกับเส้นใยแสงต่ำ ทำให้กำลังของแสง
ป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงได้มาก



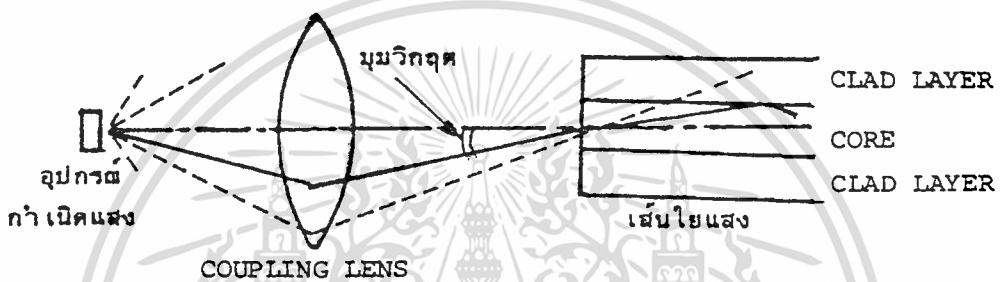
รูปที่ 2.41 การมอดูเลชันแบบ LIGHT INTENSITY MODULATION

อุปกรณ์ที่ปล่อยแสง	LED	LD
หัวข้อ		
OUT POWER	2.5 mW	10 mW
INPUT POWER	≤0.05 mW	≤3 mW
ความกว้างของ SPECTRUM ที่จุด POWER ตกลงครึ่งหนึ่ง	100 nm	3 nm
FREQUENCY RESPONSE SPEED	≤หลายร้อย MHz	≤หลาย GHz
อายุการใช้งาน	≤10 ⁶ ชั่วโมง	≤10 ⁶ ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์ปล่อยแสงขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6.6 การเชื่อมอุปกรณ์ปล่อยแสงกับเส้นใยแสง

โดยทั่วไปแล้วแสงที่ปล่อยออกจากอุปกรณ์ปล่อยแสงจะกว้างออก เนื่องด้วยปรากฏการณ์การเบี่ยงเบนของแสง (Diffraction) การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสงที่มีขนาดเล็กมากประมาณ $10\sim$ หลายสิบ μm จึงเป็นการยาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการใช้วิธีการต่างๆ เช่น ใช้เลนส์มาทำการบีบแสงให้เล็กลง ในการเชื่อมแสงระหว่างอุปกรณ์ปล่อยแสง กับเส้นใยแสง ดังแสดงในรูปที่ 2.42

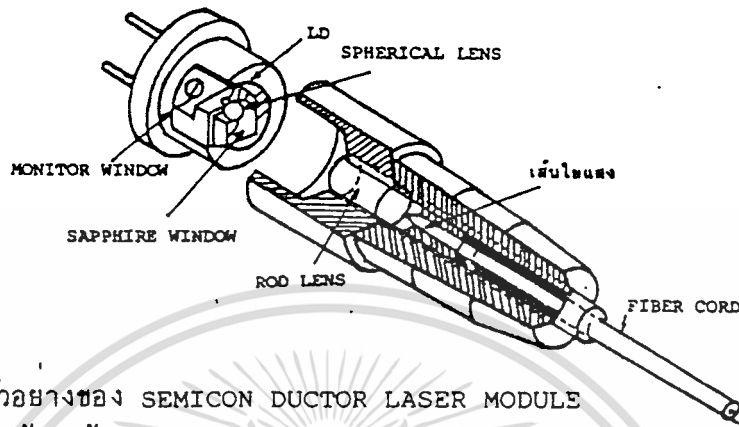


รูปที่ 2.42 การเชื่อมแสงระหว่างอุปกรณ์ปล่อยแสงกับเส้นใยแสง

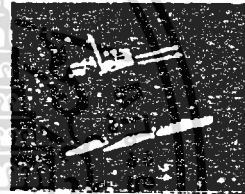
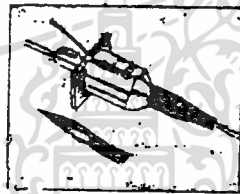
ในการป้อนแสงเข้าไปในคอร์ของเส้นใยแสง จำเป็นต้องปล่อยแสงเข้าไปด้วยค่าของมุมตกกระทบที่อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า มุมรับแสงสูงสุดของเส้นใยแสง ตัวอย่างเช่น สมมติว่าป้อนแสงเข้าไปด้วยมุมตกกระทบที่มีค่ามากกว่ามุมรับแสงสูงสุดของเส้นใยแสง ดังแสดงด้วยเส้นประในรูปที่ 2.42 จะเห็นว่าแสงที่ป้อนเข้าไปนี้จะทะลุออกไปยังแคสิดหมด ด้วยเหตุนี้จึงต้องใช้เลนส์นำปาวางใกล้ๆ อุปกรณ์ปล่อยแสงเพื่อบีบแสงให้แคบลง ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากวางตำแหน่งของเลนส์ใกล้กับอุปกรณ์ปล่อยแสงมากเกินไปจะทำให้ลำแสงถูกขยายกว้างมากกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์ของเส้นใยแสงทำให้ประสิทธิภาพการเชื่อมแสงต่ำลงไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับแต่งเลนส์ที่ใช้และปรับแต่งตำแหน่งของเลนส์ ระหว่างอุปกรณ์ปล่อยแสงกับเส้นใยแสงให้เหมาะสมถูกต้องซึ่งเป็นการปรับแต่งที่ละเอียดมาก

ตัวอย่างของโครงสร้างของ LD-Module ที่เชื่อมต่อแสงกับเส้นใยแสงแบบ SM-type และตัวอย่างด้านนอกของ LD-Module, LED-Module แสดงดังรูป 2.43 โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับ SM-type, LD-Module เพื่อให้ประสิทธิภาพการบีบแสงเข้าไปในเส้นใยแสงดีนั้น นิยมใช้เลนส์ 2 ลักษณะคือ ทรงกลม กับทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) ตัวอย่างของ SEMICON DUCTOR LASER MODULE
ที่เข้ากับเส้นใยแสงแบบ SM-type



(b) ตัวอย่างลักษณะภายนอกของ LD และ LED

รูปที่ 2.43 ตัวอย่าง LD-Module และ LED-Module

2.2.7 การเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า

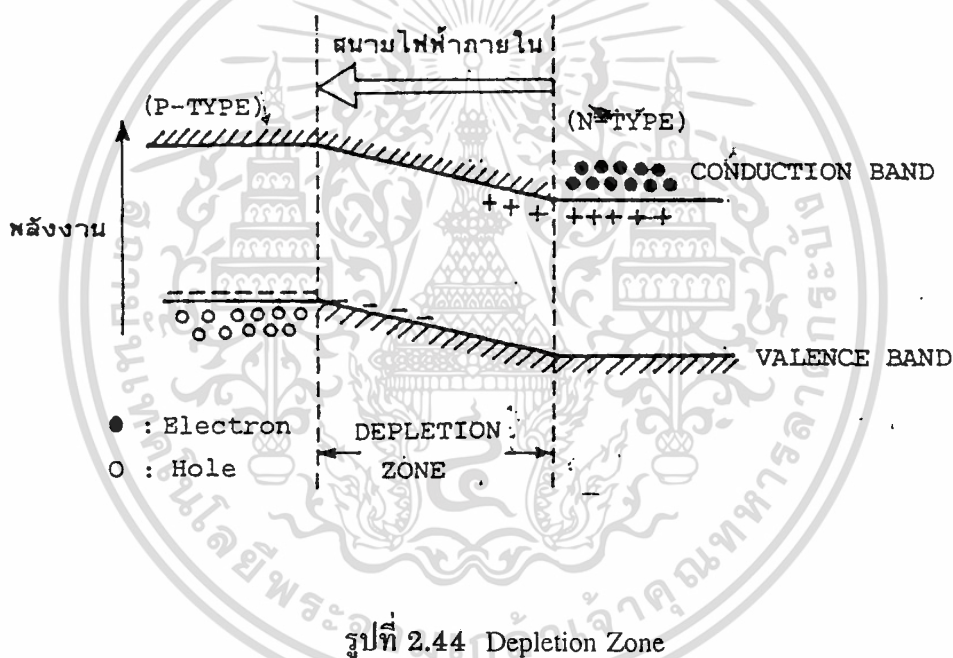
2.2.7.1 โครงสร้างและการทำงานของารรับแสง

การรับแสงหมายถึงการเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้าในการทำงานแบ่งออกได้เป็น2วิธีคือวิธีที่หนึ่งเป็นการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้าโดยตรงวิธีที่สองทำได้โดยการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานความร้อนก่อนแล้วจึงเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าวิธีที่หนึ่งนั้นเรียกว่าphoto electric effect ส่วนวิธีที่สองเรียกว่า Sensitivitive Heat Effect Sentivitive Heat Effect นั้นโดยทั่วไปจะมีการตอบสนองช้ามาก และความไวไม่ดีจึงใช้กับ Termocouple, borometer และอื่นๆแต่นำมาใช้ในการสื่อสารด้วยแสง ดังนั้นสำหรับการสื่อสารด้วยแสงจึงควรทำความเข้าใจโครงสร้าง และการทำงานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการรับแสงโดย photo electric effect สำหรับสารกึ่งตัวนำต่อไปนี้จะกล่าวถึง photo electric effect

หลักการของ photo electric effect ใช้ขบวนการดูดพลังงานตามที่ได้อธิบายมาแล้ว นั่นคือ เมื่อมีแสงมากระทบสารกึ่งตัวนำอิเล็กตรอนที่อยู่ใน Valence Band จะเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่ Conduction Band แต่การเลื่อนขึ้นไปนี้เป็นแต่เพียงอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปเท่านั้น และในที่สุดมันจะไปรวมกันใหม่กับ Hole ใน Valence band อีก ทำให้ไม่ได้รับ photo electric effect ด้วยเหตุนี้ เพื่อที่จะเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้าจะต้องใช้สภาพการแยกกันของอิเล็กตรอนกับ Hole ก่อนที่มันจะรวมกัน



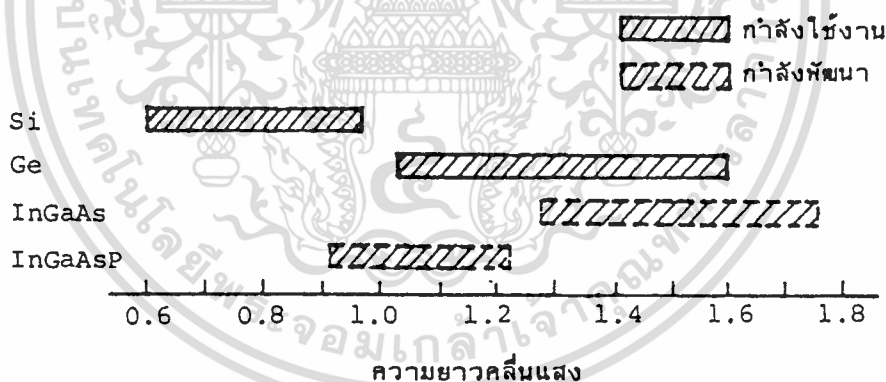
สำหรับอุปกรณ์รับแสงสารกึ่งตัวนำก็เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสง นั่นคือเพื่อที่จะแยกอิเล็กตรอนกับ Hole นั้นโดยทั่วไปใช้ PN-junction จากที่กล่าวมาแล้วว่า ที่รอยต่อของ P-N นั้นจะเกิดสนามไฟฟ้าที่ว่าง (Space Electric Field) ขึ้น มันจะถูกดึงดูดด้วยอิเล็กตรอนของ N-type และ Hole ของ P-type ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นลบและบวก เป็นผลให้เกิดบริเวณที่ไม่มีอิเล็กตรอนและ Hole ขึ้นตรงบริเวณรอยต่อนี้เรียกว่า Depletion Zone ดังแสดงในรูปที่ 2.44

ในสภาพอย่างนี้เมื่อมีแสงมากระทบจากทางด้านบริเวณ P-Type แสงนั้นจะถูกดูด พร้อมทั้งเคลื่อนที่ไปทางบริเวณ N-Type แต่ที่ Depletion Zone อิเล็กตรอนและ Hole ที่เกิดจากการดูด

พลังงานจากแสงจะถูก Space Electric Field แยกไปในทิศทางตรงกันข้ามกล่าวคือ อิเล็กตรอนไปทางด้าน N และโฮล ไปทางด้าน P อนึ่งที่บริเวณซึ่งอยู่ห่างจาก Depletion Zone นั้น เนื่องจากไม่มีสนามไฟฟ้า อิเล็กตรอนและโฮล ซึ่งเกิดจาก photo electric effect จะรวมตัวกันใหม่ในระหว่างเคลื่อนที่ แต่สำหรับอิเล็กตรอนและโฮล ที่เคลื่อนที่เข้าไปใน Space Electric Field แล้วนั้นจะสามารถเข้าไปยังบริเวณตรงกันข้ามได้ ผลที่ได้ก็คือ จะเกิดแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับปริมาณของอิเล็กตรอนและโฮล ที่ถูกแยกขึ้นระหว่างปลายทั้งสองของ P-Type และ N-Type ถ้าหากนำวงจรภายนอกมาต่อกับปลายทั้งสองนี้จะทำให้อิเล็กตรอนและ HOLE สามารถรวมตัวกันได้โดยผ่านวงจรภายนอก นั่นคือจะมีกระแสไหลนั่นเองกระแสที่เกิดขึ้นที่ Depletion Zone เรียกว่า Drift Current ส่วนกระแสที่เกิดขึ้นบริเวณที่อยู่ห่างจาก Depletion Zone เรียกว่า Diffusion Current และกระแสนี้เป็นหลักการของการเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า

2.2.7.2 สารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง

(1) สารของอุปกรณ์รับแสง



รูปที่ 2.45 ความยาวคลื่นในการรับแสงของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิด

สำหรับอุปกรณ์รับแสงก็เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสงนั่นคือมีสารหลายชนิด นอกจากนั้นผลต่างของพลังงานของ Conduction Band และ Valence Band ของอุปกรณ์รับแสงมีค่าแตกต่างกันทำให้มีย่านความยาวคลื่นต่างกันที่ดูดกลืนแสงที่เข้ามาได้ง่าย (ความไวในการรับแสงดี) คุณสมบัติความไวในการรับแสงของสารแต่ละชนิดแสดงดังรูปที่ 2.45

ในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงนั้นจะต้องเลือกอุปกรณ์รับแสงที่เหมาะสมกับความยาวคลื่นที่ใช้เช่นเดียวกับอุปกรณ์กำเนิดแสง สำหรับย่านความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า $1\mu\text{m}$ จะใช้ Si (Silicon) สำหรับย่านความยาวคลื่นจาก $1\sim 1.7\mu\text{m}$ ใช้ Ge (Germanium) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นในปัจจุบันสำหรับความยาวคลื่นในช่วง $1.55\mu\text{m}$ เป็นความยาวคลื่นที่มีการสูญเสียในเส้นใยแสงน้อยมาก และเป็นความยาวคลื่นที่อยู่ใน Third Window การใช้งานอุปกรณ์รับแสงชนิดใหม่ที่ทำจากสารที่เป็นสารประกอบของสารกึ่งตัวนำ InGaAs และอื่นๆ ซึ่งมีความไวในการรับแสงดีมากนั้น กำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

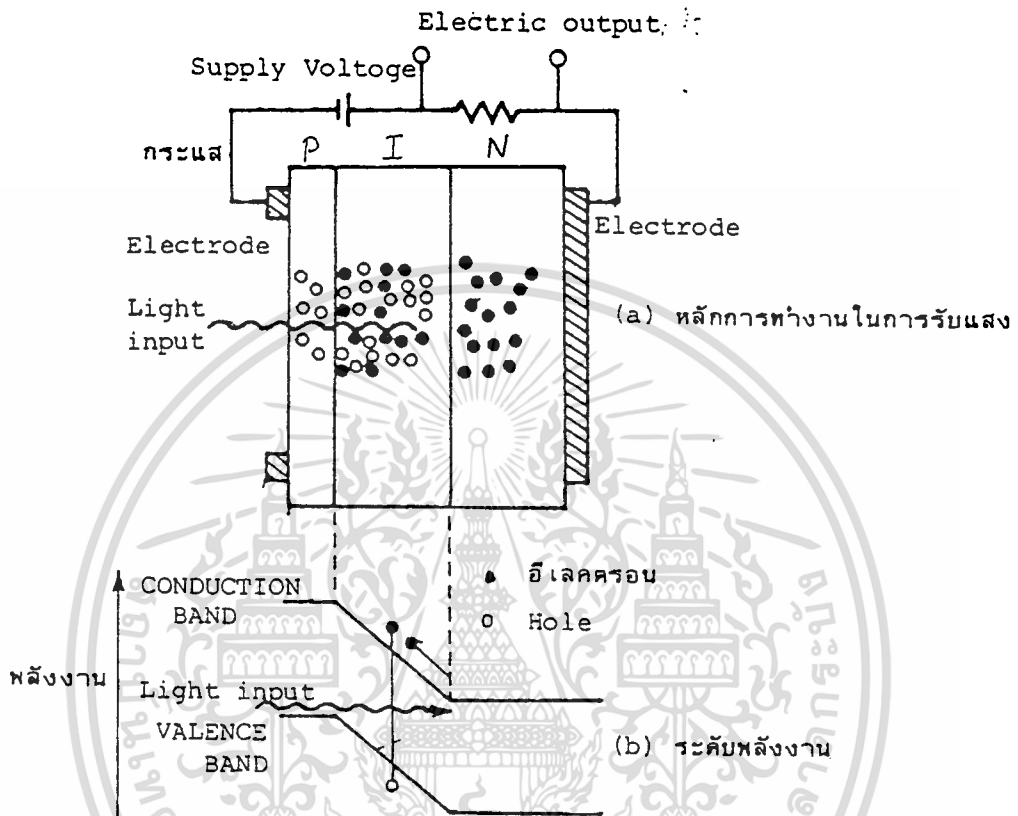
2.2.7.3 โครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง

จากที่กล่าวมาแล้วว่า Space Electric Field ตรงรอยต่อ PN-JUNCTION ที่ทำให้อิเล็กตรอนและโฮล เคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้าม แต่ถ้าแรงดันไฟฟ้ากลับทิศทางจากภายนอกกล่าวคือทางด้าน P ให้โฟลว และทางด้าน N ให้โฟววก จะทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮล ตรงรอยต่อมีอัตราเร่งเพิ่มขึ้น

อุปกรณ์รับแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำนี้แบ่งออกเป็นพวกใหญ่ๆ ได้ 2 พวก ตามปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้จากภายนอก คือ

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

ตัวอย่างของ PD คือ PIN-PD ดังแสดงในรูปที่ 2.46 PIN หมายถึง ว่าในระหว่างสารกึ่งตัวนำ P-Type และ N-Type มีสารกึ่งตัวนำแบบที่เรียกว่า Intrinsic : I คั่นอยู่ จากที่ว่า Drift Current นั้นเกิดขึ้นใน Depletion Zone และผลของสนามไฟฟ้าทำให้มีการตอบสนองเร็ว แต่ในทางตรงกันข้าม Diffusion Current ที่เกิดขึ้นภายนอก Depletion Zone นั้นมีการตอบสนองช้า ดังนั้นถ้าความกว้างของ Depletion Zone ยิ่งกว้างมากเท่าใด Quantum Efficiency และความเร็วของการตอบสนองความถี่ยิ่งดีขึ้น ความกว้างของ Depletion Zone นี้ ถ้าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนและโฮล ของ P-Type และ N-Type ยิ่งต่ำจะยิ่งกว้าง ดังนั้นสารกึ่งตัวนำแบบ I ที่คั่นกลางระหว่าง P-Type กับ N-Type จึงมีหน้าที่เพื่อทำให้ความกว้างของ Depletion Zone กว้างขึ้นนั่นเอง เนื่องจาก PD ที่ใช้ในระบบการสื่อสารนั้น โดยทั่วไปต้องการความเร็วในการตอบสนองสูง ดังนั้นส่วนใหญ่จะใช้ PIN-PD

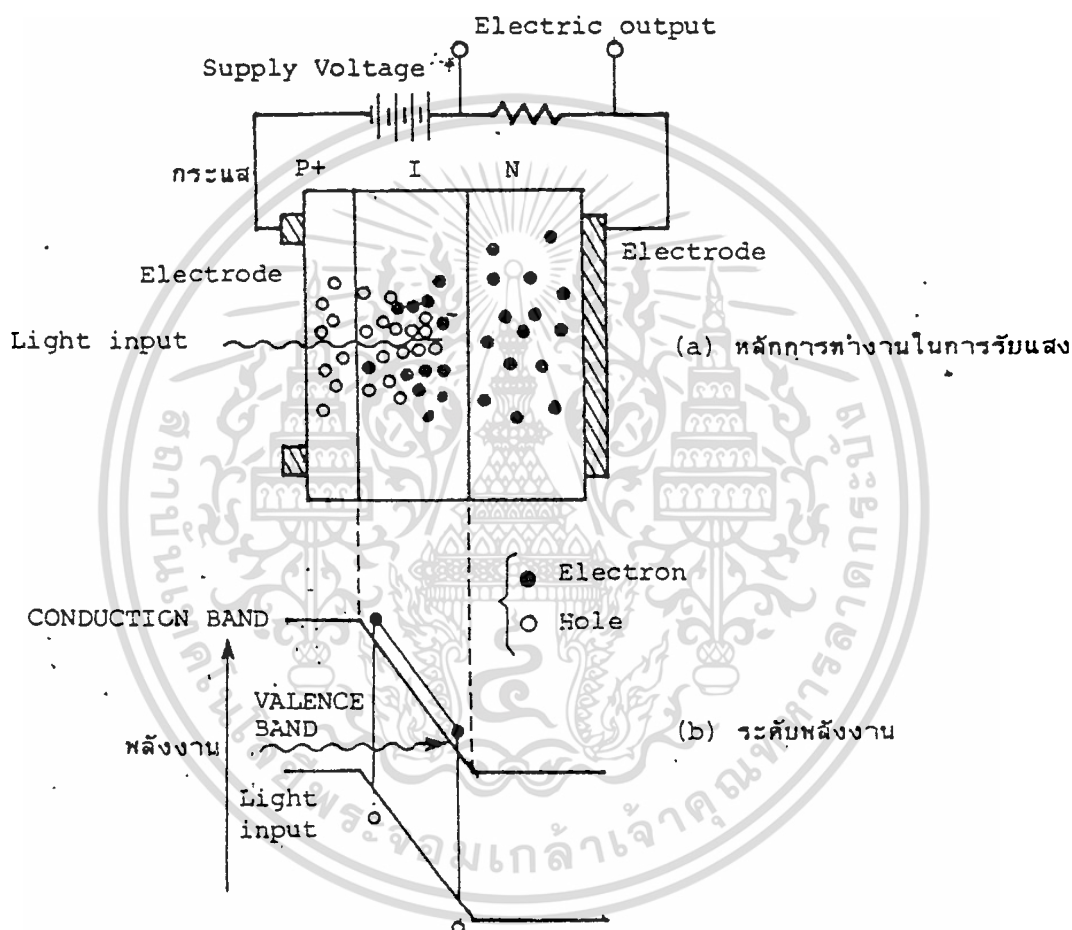


รูปที่ 2.46 หลักการทำงานการรับแสง และระดับพลังงานของ PIN-PD

อนึ่ง APD นั้นใช้ปฏิกิริยาการขยาย Avalanche ของอิเล็กตรอนและโฮล ในสารกึ่งตัวนำ เมื่อเปรียบเทียบกับ PD แล้ว เป็นอุปกรณ์ที่ให้แสงจำนวนมาก หลักการทำงานของ APD แสดงดังรูปที่ 2.41 สำหรับโครงสร้างนั้นส่วนใหญ่ทางด้าน P ของ PN-Junction จะมีสารกึ่งตัวนำแบบ P-Type ที่มีความหนาแน่นของ โฮล สูงติดอยู่ (ส่วนที่แสดงด้วย P+ ในรูป) โดยการทำเช่นนี้จะทำให้สนามไฟฟ้าภายในของบริเวณใกล้เคียงรอยต่อที่มี P-Layer เป็นศูนย์กลางมีค่ามาก อิเล็กตรอนที่ดูดแสงที่มาจากกระทบจากด้าน P+ และถูกกระตุ้นจาก Valence Band ไปยัง Conduction Band ในระหว่างที่มันได้รับอัตราเร่งและผ่าน P-Layer นั้นมันจะได้รับพลังงานจำนวนมากกว่า ผลต่างของพลังงานของ Conduction Band กับ Valence Band จากผลนี้ทำให้สามารถกระตุ้นอิเล็กตรอนที่อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน Valence Band และทำให้เกิดอิเล็กตรอนกับโฮล ใหม่ได้ และอิเล็กตรอนกับโฮล ใหม่ยังถูกสนามไฟฟ้าเร่งอัตราเร่งให้อีก ทำให้เกิดอิเล็กตรอนกับโฮล ใหม่ออกมาอีก เมื่อขบวนการนี้เกิดอย่างต่อเนื่องกัน จำนวนของอิเล็กตรอนกับโฮล จะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากมาย (Avalence) เป็นผลให้เกิดการขยายที่เรียกว่า Avalence Multiplication ผลนี้ทำให้กระแสถูกขยายนั่นเอง



รูปที่ 2.47 หลักการทำงานการรับแสง และระดับพลังงานของ APD

๕.2.7.4 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์รับแสงประเมินจากคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ Quantum Efficiency ซึ่งแสดงว่าแสงที่รับมานั้นถูกเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าได้มากน้อยเพียงใด ความไวการรับแสง (ระดับรับแสงต่ำสุดที่ต้องการสำหรับการส่งที่มีคุณภาพ) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ในการออกแบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และระยะการถ่ายทอดของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง, สัญญาณรบกวน(noise) ที่เกิดขึ้นและความเร็วของการตอบสนองการทำงาน สำหรับ Quantum Efficiency กำหนดจากสารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง แต่สำหรับความไวการรับแสงนั้นจะเกี่ยวข้องกับขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้

เนื่องจาก APD ใช้ปรากฏการณ์การขยาย Avalanche ดังนั้นจึงมีความไวสูงประมาณ 10~20 dB (10~100 เท่า) เมื่อเทียบกับ PD สัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดในอุปกรณ์รับแสงมีสิ่ง queเรียกว่า 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 PD)

F เป็น Excess Noise Figure มีค่ามากเมื่อเทียบกับ M

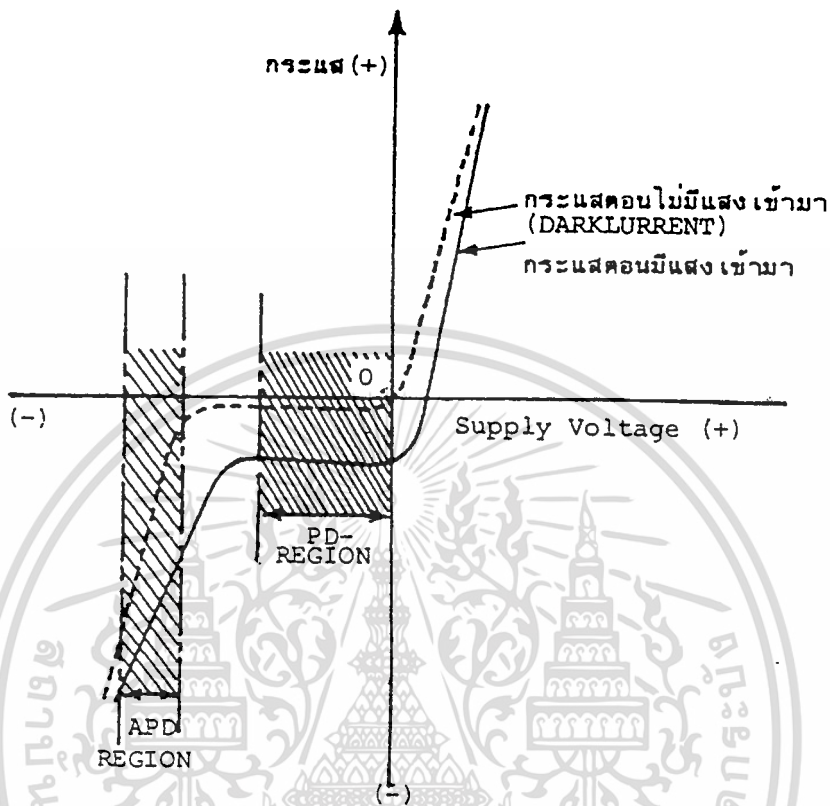
นั่นคือ จากสมการจะเห็นว่าที่ระดับการรับแสงเท่ากัน ถ้าหากทำให้แรงดันไฟฟ้าใน ทิศทางกลับที่ป้อนให้มีความสูง และทำให้อัตราการขยายกระแสเพิ่มมากขึ้นนั้น สัญญาณออก (out put signal $I_0 M^2$) จะเพิ่มมากขึ้นด้วยแต่ Shot noise ก็เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน

คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสงทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2.48 จากรูปจะช่วยให้เข้าใจความแตกต่างของบริเวณการทำงานของ APD และ PD ได้ดีและในรูปที่ 2.48 นี้ ได้แสดงการไหลของกระแสที่เรียกว่า Dark Current ที่เกิดในสภาพที่มีแรงดันไฟฟ้าในทิศทางป้อนกลับให้แต่ไม่มีแสงเข้ามาด้วย

กระแส Dark Current นี้มีลักษณะพิเศษคือมันจะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการเพิ่มขึ้นของสัญญาณออก (out put signal) Shot Noise เป็นสิ่งที่เกิดจาก Dark Current และอื่นๆ ที่เป็นแหล่งต้นกำเนิดกรณีของ PD เนื่องจาก $M = 1$ ดังนั้น Shot Noise จึงไม่มีค่ามาก แต่สำหรับกรณีของ APD จำเป็นต้องระวังเกี่ยวกับค่าของ M

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



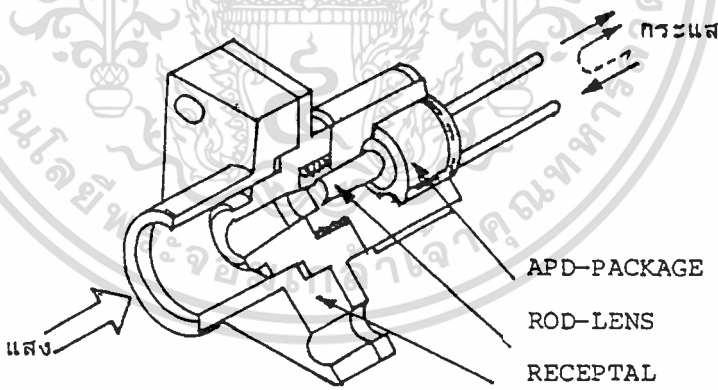
รูปที่ 2.48 แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และโฟโต้ เคอร์เร็นท์

ความเร็วการตอบสนองต่อความถี่ เป็นสิ่งที่กำหนดจากเวลาที่สัญญาณแสงเข้ามา จนกระทั่งเกิดปรากฏการณ์ดูดแสง แต่ในปัจจุบันเนื่องจากทั้ง PD และ APD สามารถตอบสนองความเร็วได้ถึงหลาย GHz จึงไม่มีปัญหาในการใช้งาน การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของ PD กับ APD แสดงดังตาราง 2.2

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

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

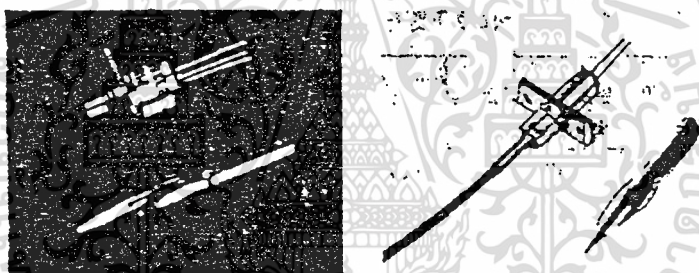
2.2.7.5 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์รับแสงกับเส้นใยแสง



รูปที่ 2.49 ตัวอย่าง โครงสร้างภายในของ APD MODULE

สำหรับอุปกรณ์รับแสงก็เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสง นั่นคือการเชื่อมต่อกับเส้นใยแสงเป็นองค์ประกอบสำคัญอันหนึ่งในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง แสงที่เดินทางมาในเส้นใยแสง ในกรณีที่ถูกปล่อยไปในอากาศจากปลายของเส้นใยแสงนั้นมันจะถูกปล่อย

ออกไปจากปลายเส้นใยแสงในลักษณะที่มีความกว้างใกล้เคียงกับค่า NA (Numerical Aperture) ของเส้นใยแสง ด้วยเหตุนี้เพื่อที่จะทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์รับแสงเข้ากับเส้นใยแสง จะต้องทำให้อุปกรณ์รับแสงอยู่ใกล้กับปลายของเส้นใยแสงให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ หรือ ต้องทำอุปกรณ์รับแสงให้มีพื้นที่รับแสงกว้างมาก เส้นผ่าศูนย์กลางการรับแสงของอุปกรณ์รับแสงที่ทำงานด้วยความเร็วสูงนั้น โดยทั่วไปต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 100 μm ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการรวมแสงให้แก่ด้านรับแสงโดยใช้ ROD Lens (เลนส์ที่มีลักษณะเป็นแท่งกลมยาว) ไปวางไว้ข้างหน้าอุปกรณ์รับแสง เพื่อทำหน้าที่รวมแสงที่ปล่อยออกมาจากเส้นใยแสงให้แก่ด้านรับแสง ของอุปกรณ์รับแสง ROD lens และอุปกรณ์รับแสงที่ประกอบเป็นชิ้นเดียวกันนี้เรียกว่า โมดูล อุปกรณ์รับแสง (module) ตัวอย่างโครงสร้างภายในของ Module นี้แสดงดังรูปที่ 2.49 และตัวอย่างของ PIN-PD Module และ APD Module แสดงดังรูปที่ 2.50



รูปที่ 2.50 PIN-PD MODULE และ APD MODULE

2.2.8 อุปกรณ์แสงอื่นๆ

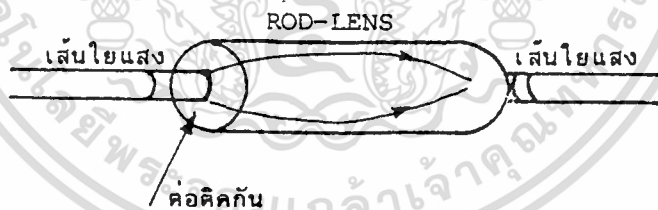
ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง นอกจากอุปกรณ์กำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสงแล้วยังใช้อุปกรณ์แสงอื่นๆ อีกจำนวนมากเป็นชิ้นส่วนประกอบของระบบ หรือเครื่องวัดต่างๆ ที่ใช้ในการก่อสร้างและการบำรุงรักษาระบบ

2.2.8.1 เลนส์

เลนส์เป็นสิ่งที่รู้จักกันคืออยู่แล้วที่ใช้สำหรับรวมแสง หรือใช้ทำให้เกิดลำแสงขนาน มีทั้งเลนส์นูนและเลนส์เว้า ในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงส่วนใหญ่จะใช้เลนส์ เพื่อต่อเชื่อมแสงที่ออก

มาจากอุปกรณ์กำเนิดแสงเข้ากับส่วนในของ Core ของเส้นใยแสง และใช้เป็นชิ้นส่วนประกอบของ Variable Attenuator, Multiplexer, Demultiplexer ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวทำให้เกิดลำแสงขนาน

ชิ้นส่วนอุปกรณ์แสงที่ใช้ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงนั้น ถ้าทำให้มีขนาดเล็กมากเท่าใดจะใช้สะดวกมากขึ้น นอกจากนั้นยังเป็นการสะดวกในการนำไปประกอบในอุปกรณ์ด้วย ดังนั้นเลนส์ที่ใช้ก็เช่นกันจำเป็นต้องใช้เลนส์ที่มีระยะทางของจุดโฟกัสสั้นที่สุดเท่าที่จะสั้นได้ (มีค่าต่ำกว่าหลายมิลลิเมตร) เลนส์ที่ใช้กับแว่นตาทั่วไปนั้นมีระยะของจุดโฟกัสยาวหลายสิบเซนติเมตรไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง อนึ่ง มีเลนส์ที่มีระยะโฟกัสสั้นซึ่งใช้ในกล้องจุลทรรศน์ แต่สำหรับเลนส์หนึ่งอันนั้นรูปที่มองเห็นจะไม่ชัดเจนจะต้องใช้เลนส์หลายอันมาประกอบกันทำให้ราคาของเลนส์แพงมาก นอกจากนั้นยังมีข้อเสียที่ ต้องการความแม่นยำสูงในการปรับวิธีการซ้อนของเลนส์จะไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการสื่อสารแสง เลนส์ที่มีเพียงอันเดียวและมีระยะโฟกัสสั้นหลายสิบมิลลิเมตร และมีความชัดเจนของภาพดีตามความต้องการก็คือเลนส์แบบแท่ง (ROD Lens) ดังนั้นในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง โดยทั่วไปจะนิยมใช้เลนส์แบบแท่ง (ROD Lens) ที่เปลี่ยนดัชนีการหักเหให้มีลักษณะเป็น Parabola เหมือนอย่างเส้นใยแสงแบบ GI ดังแสดงในรูปที่ 2.51

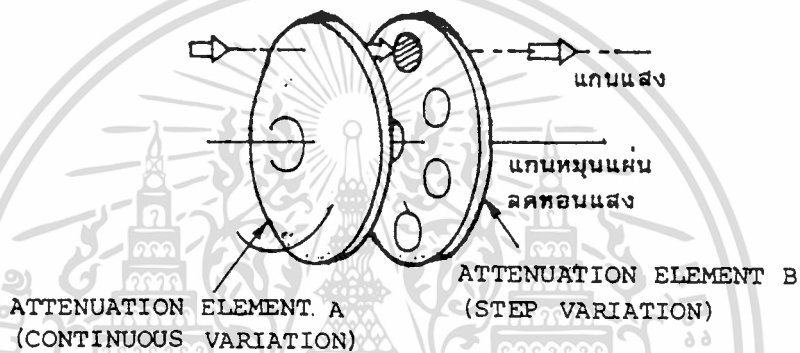


รูปที่ 2.51 เลนส์แบบแท่ง และลักษณะการเดินทางของแสง

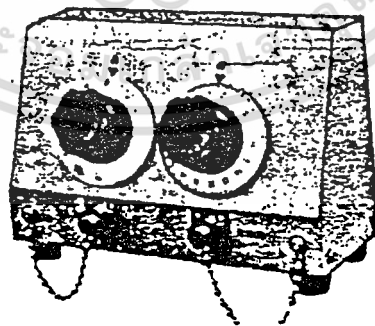
2.2.8.2 อุปกรณ์ลดปริมาณแสง (Optical Attenuator)

Optical Attenuator หรือตัวลดปริมาณแสง เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ลดปริมาณของสัญญาณแสงลงด้วยค่าคงที่ ใช้ในการวัดคุณสมบัติของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงและอื่นๆ ในการลดปริมาณความเข้มของแสงนั้น วิธีโดยทั่วไปก็คือการทำให้ส่วนหนึ่งของแสงถูกสาร ดูดไป สารที่ทำหน้าที่ดูดแสงนั้นคือ แผ่นโลหะบางๆ (Metalic Film) ที่มีอัตราการยอมให้แสงผ่านเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transmitivity หรืออัตราการสะท้อนกลับคงที่ (Reflection Rate) ที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อย ไปเคลือบติดบนแผ่นแก้ว แผ่นโลหะบางๆ ที่ใช้นั้นเป็นสารผสมของ Ni (Nickel) และ Cr (Chromium) หรือสารอื่นๆ ปริมาณการลดความเข้มของแสงขึ้นอยู่กับความหนา อุปกรณ์ลดปริมาณแสง แบ่งออกเป็นแบบเปลี่ยนค่าได้ (Variable Type Optical Attenuator) กับแบบค่าคงที่ (Fixed Type Optical Attenuator) สำหรับ Variable Type Optical Attenuator นั้นส่วนใหญ่จะใช้เป็นอุปกรณ์ปรับระดับอินพุตของเครื่องรับสัญญาณแสง เพื่อวัดคุณสมบัติความไวของอุปกรณ์รับแสง โครงสร้างของมันโดยทั่วไปจะแสดงดังรูปที่ 2.52



รูปที่ 2.52 โครงสร้างของอุปกรณ์ลดปริมาณแสงแบบเปลี่ยนค่าได้อย่างต่อเนื่อง



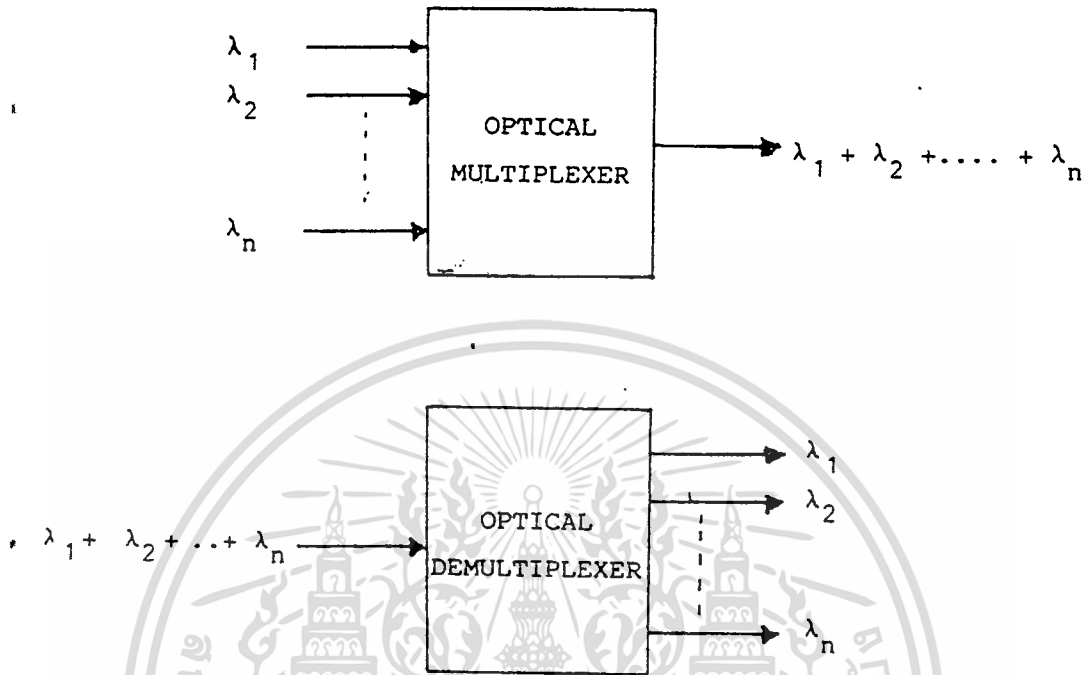
รูปที่ 2.53 อุปกรณ์ลดปริมาณแสงแบบเปลี่ยนค่าได้อย่างต่อเนื่อง

นั่นคือแผ่นลดปริมาณแสง A เป็นแผ่นลดปริมาณแสงอย่างต่อเนื่องตามการเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นโลหะบางๆ ที่เคลื่อนอยู่ตามมุมที่หมุนไป ส่วนแผ่นลดปริมาณแสง B มี โครงสร้างแบบให้ปริมาณการลดปริมาณแสงเป็นขั้นๆ อนึ่ง แผ่นลดปริมาณแสง A และแผ่นลดปริมาณแสง B จะตะแคงทำมุมกับลำแสงที่เข้ามา ทั้งนี้ก็เนื่องจากว่าเมื่อแสงสะท้อนกลับมากจะเป็นสาเหตุให้เกิดการผิดพลาดขึ้นจึงต้องทำให้แสงสะท้อนกลับจากแผ่นลดปริมาณแสงไม่ย้อนกลับไปสู่เส้นใยแสงที่ต่ออยู่กับอุปกรณ์ลดปริมาณแสง รูปร่างด้านนอกของอุปกรณ์ลดปริมาณแสงแบบเปลี่ยนค่าได้ แสดงดังรูปที่ 2.53

ส่วนอุปกรณ์ลดปริมาณแสงแบบค่าคงที่นั้น ส่วนใหญ่ใช้สำหรับการปรับการสูญเสียของเส้นใยแสง เพื่อป้องกันอุปกรณ์รับแสงไม่ให้เกิดเสียหาย เมื่อกำลังของแสงที่รับเข้ามามีค่ามากเกินไป การสร้างแผ่นลดปริมาณแสงเหมือนกันกับของอุปกรณ์ลดแสงอย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไปจะมีอยู่ในอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ Repeater และส่วนมากจะใช้เป็นส่วนหนึ่งของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง ดังนั้นจึงต้องการให้มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา

2.2.8.3 Optical Multiplexer และ Optical Demultiplexer

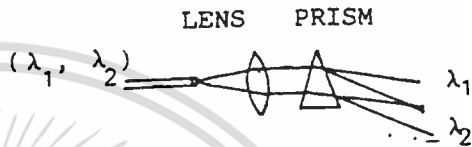
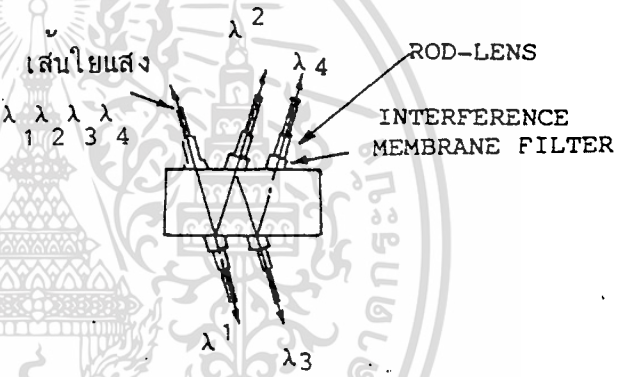
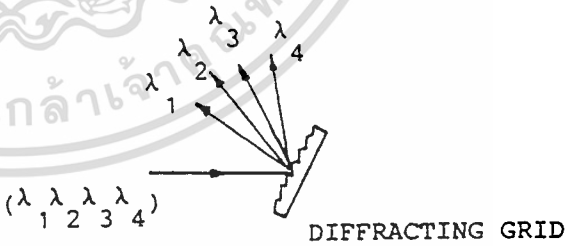
Optical Multiplexer และ Optical Demultiplexer ใช้ในการทำ Multiplexing แบบ Wavelength Division Multiplexing:WDM Optical Multiplexer เป็นอุปกรณ์แสงที่ทำหน้าที่รวมสัญญาณแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน แล้วป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงเส้นเดียว ส่วน Optical Demultiplexer เป็นอุปกรณ์แสงที่ทำหน้าที่ตรงกันข้ามกล่าวคือ จะทำหน้าที่แยกสัญญาณแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน ที่ส่งมาในเส้นใยแสง หนึ่งเส้นออกเป็นความยาวคลื่นต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.54



รูปที่ 2.54 การทำงานของ Optical Multiplexer และ Optical Demultiplexer

วิธีการสร้าง Optical Multiplexer และ Optical Demultiplexer แสดงดังตาราง 2.3 มีการใช้แท่งแก้วปริซึม Interference Film Filter และ Diffracting Lattice วิธีการใช้แท่งแก้วปริซึม ก็คือการใช้ความแตกต่างของดัชนีการหักเหตามความยาวคลื่นของแสง เหมือนอย่างที่เราเห็นแสงอาทิตย์ที่เข้ามาถูกแยกออกเป็น 7 สี (มุมมองของแสงที่ออกจากแท่งแก้วปริซึมจะมีค่าต่างกัน) วิธีนี้มีข้อดีคือ แม้ความยาวคลื่นแสงจะมีจำนวนมากก็ตาม แต่โครงสร้างของมันจะไม่ยุ่งยากแต่มีข้อเสียคือสารที่ใช้ทำตัวแท่งแก้วปริซึมนั้นมีราคาสูงไม่ค่อยนิยมใช้เท่าไรนัก ส่วนวิธีที่ใช้ Interference Film ค่า Transmittivity ของ Interference Film Filter ที่ใช้จะเปลี่ยนค่าจาก 0% ไปจนถึงเกือบ 90% ตามความยาวคลื่นต่างๆ เพื่อทำการแยกแสงที่ส่งผ่านและแสงที่สะท้อนกลับ วิธีนี้สามารถใช้ Interference Filter ซึ่งนำ Metallic Film ที่มีคุณสมบัติให้ความยาวคลื่นแสงผ่านได้ (หรือสะท้อนกลับได้) เช่นสาร TiO_2 และอื่นๆ ไปเคลือบบนแผ่นแก้ว แล้วนำไปประกอบร่วมกับเลนส์แบบแท่งดังแสดงในรูปของตาราง 2.3 วิธีนี้มีข้อดีคือ ถ้าหากจำนวน Multiplex ยิ่งมีค่าน้อย โครงสร้างของ

มันจะไม่ยุ่งยากและมีการสูญเสียน้อยด้วย วิธีนี้นำมาใช้ในระบบการ สื่อสารด้วยเส้นใยแสง ซึ่ง เหมาะกับข่ายโทรคมนาคม (Telecommunication Network) และอื่นๆ

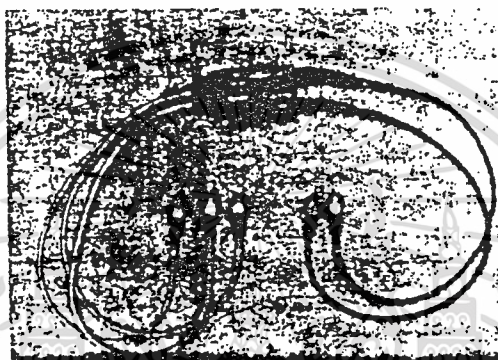
ชิ้นส่วนที่ใช้	วิธีการสร้าง Optical Multiplexer และ Optical Demultiplexer
แท่งแก้วปริซึม	
Interference Film Filter	
Diffracting Lattice	

ตารางที่ 2.3 วิธีการสร้าง Optical Multiplexer และ Optical Demultiplexer

วิธีสุดท้ายคือการใช้ Diffracting Lattice (Lattice ที่ทำให้แสงเบี่ยงเบน) เป็นวิธีที่ว่แสง ที่มาตกกระทบที่ Diffracting Lattice นั้นจะมีมุมสะท้อนกลับแตกต่างกันตามความสัมพันธ์ของ ความยาวคลื่น และระยะห่างของ Lattice ดังแสดงในรูปของตาราง 2.3 วิธีนี้มีข้อดีคือ มีขนาด เล็ก แม้ว่าจำนวน Multiplex จะมีค่ามากก็ตาม โครงสร้างของมันไม่ยุ่งยาก และยังมีการ สูญเสีย

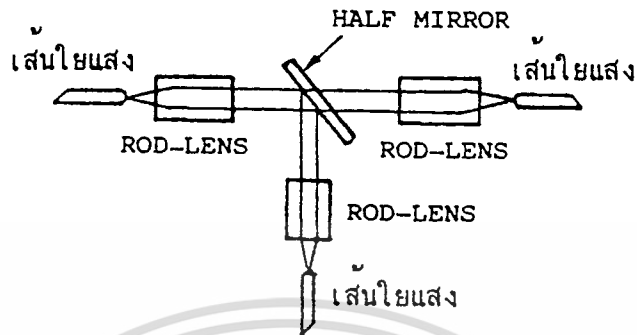
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยอีกด้วย ในปัจจุบันนิยมใช้กันมาก ลักษณะภายนอกของอุปกรณ์ Optical Multiplexer และ Optical Demultiplexer ที่ใช้ Interference Film Filter แสดงดังรูปที่ 2.55

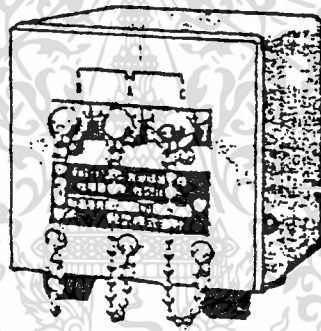


รูปที่ 2.55 ลักษณะภายนอกของ Optical Multiplexer และ Optical Demultiplexer
แบบ Interference Film

2.2.8.4 อุปกรณ์แยกรวมสัญญาณแสง (Optical Divider และ Optical Coupler)



(a) รูปแสดงหลักการ



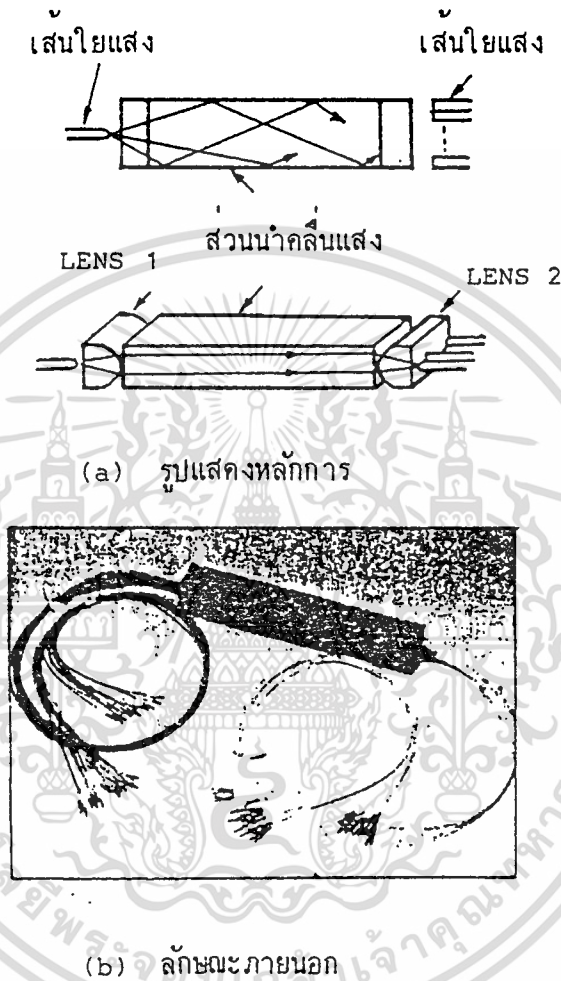
(b) ลักษณะภายนอก

รูปที่ 2.56 อุปกรณ์ Directional Coupler แบบ MIRROR TYPE

อุปกรณ์แยกและรวมสัญญาณแสงมีหน้าที่แยกสัญญาณแสงหนึ่งออกเป็นจำนวน N อัน และรวมสัญญาณแสงจำนวน N อันเข้าด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ $N = 2$ นั้นเรียกว่า Optical Directional Coupler เมื่อ N มีค่ามากขึ้นจะเรียกว่า STAR Coupler ตัวอย่างของ Optical Directional Coupler คือ แบบ Mirror type ซึ่งใช้ Half Mirror เป็นตัวแยกแสงที่สะท้อนกลับและแสงที่ส่งผ่าน หลักการและลักษณะภายนอกของมันแสดงดังรูปที่ 2.56 Half Mirror เป็นแผ่นแก้วที่เคลือบด้วย Direct Multilayer Film อัตราการแบ่งลำแสงสามารถเลือกค่าได้ตามความหนาของ Multilayer Film optical Directional coupler ใช้งานด้านต่างๆ ได้มากมาย เช่น ใช้สำหรับแยกและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใส่สัญญาณแสงที่จุด NODE ของ Optical Data Link หรือของ LAN, ใช้กับระบบสัญญาณสื่อสาร 2 ทาง (Duplex) ใช้กับสายส่งแสง อุปกรณ์ควบคุม การวัด การทดลอง เป็นต้น



รูปที่ 2.57 อุปกรณ์ OPTICAL STAR COUPLER

สำหรับหลักการและลักษณะภายนอกของ Optical Star Coupler แสดงดังรูปที่ 2.56 โดยทั่วไป Star coupler จะประกอบด้วยเลนส์ 1, และเลนส์ 2 ที่มีการทำงานรวมแสงเฉพาะในทิศทางตั้งฉากเท่านั้น และส่วนนำแสงซึ่งอยู่ระหว่างเลนส์ 1 และเลนส์ 2 แสงที่เข้ามาจะถูกเลนส์ 1 รวมให้อยู่ในทิศทางตั้งฉาก แล้วส่งผ่านไปยังส่วนนำแสง แสงที่เดินทางผ่านส่วนนำแสงมาและขยายกว้างออกเฉพาะในทิศทางแนวนอนนั้นจะถูกเลนส์ 2 รวมให้อยู่บนเส้นตรงเดียวกัน แล้วป้อนให้

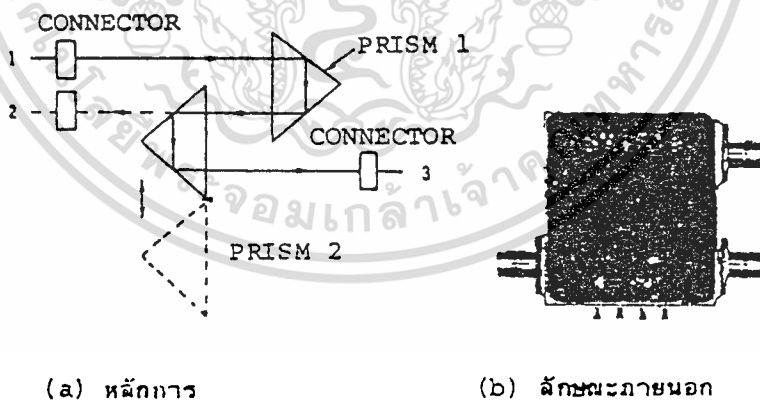
แก่เส้นใยแสงจำนวนหลายเส้น ไปจนถึงหลายสิบเส้น ที่จัดเรียงอยู่ที่ตำแหน่งรวมแสงนั้น ในปัจจุบันสามารถทำได้ถึง 100 port

อุปกรณ์ Optical Star Coupler นิยมใช้เป็นสายส่ง (แบบ Bus, Star) ของ Lan และอื่นๆ ซึ่งใช้กับ Optical Catv, Data Transmission Network ซึ่งคาดกันว่าจะมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในอนาคต

2.3.8.5 สวิตช์แสง (Optical Switch)

Optical Switch เป็นอุปกรณ์ที่ใส่อยู่ในสายส่งสัญญาณแสง เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนเส้นทางเดินของแสง ใช้กับระบบที่ต้องการความเชื่อถือได้(Reliability) สูง ซึ่งไม่ต้องการให้เกิดการขัดข้องขึ้นเลย

Optical Switch แบ่งออกเป็นพวกใหญ่ๆ ได้เป็น 2 พวก คือ Mechanic Optical Switch ซึ่งทำการเปลี่ยนแปลงเส้นทางเดินของแสง โดยการขับเคลื่อนอุปกรณ์แสงของเส้นใยแสง แท่งแก้ว ปริซึม และอื่นๆ ทางเมคานิค และ Non-Mechanic Optical Switch ซึ่งทำการเปลี่ยนแปลงเส้นทางเดินของแสงโดยใช้ Electrooptical effect หรือ Acoustic Optical effect หลักการและลักษณะภายนอกของ Mechanic Optical Switch ซึ่งเป็นสวิตช์พื้นฐานเบื้องต้น แสดงดังรูปที่ 2.58

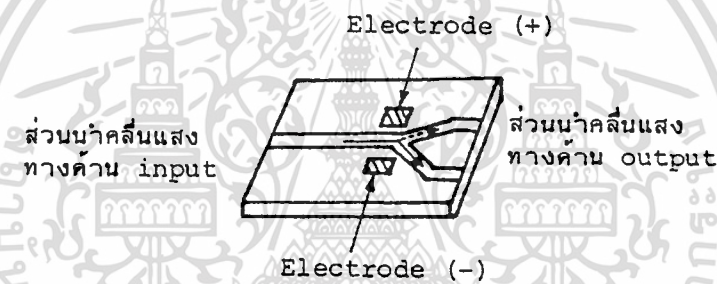


รูปที่ 2.58 Optical Switch

การทำงานของมันเมื่อแท่งแก้วปริซึม2อยู่ที่ตำแหน่งเส้นที่ปconnector1และ3จะต่อกัน เมื่อแท่งแก้วปริซึม 2 อยู่ที่ตำแหน่งเส้นประ connector 1 และ 2 จะต่อกัน Mechanic Optical Switch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้เมื่อเปรียบเทียบกับ Non-Mechanic Optical Switch แล้วปรากฏว่ามีความเร็วในการสับเปลี่ยนช้า และมีการสูญเสียต่ำและมีการรบกวนของสัญญาณต่ำ จึงเหมาะแก่การใช้งานในทางปฏิบัติ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาสร้าง Optical Switch ที่ทำหน้าที่สับเปลี่ยนระหว่าง input 1 อัน กับ output 2 อัน (หรือระหว่าง input 2 อัน กับ output 1 อัน) ซึ่งเรียกว่า 1*2 Optical Switch, 2*2 Optical Switch, 8*8 Optical Switch และอื่นๆ สำหรับ Non-Mechanic Optical Switch นั้นไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ได้เลย แต่ทำงานได้โดยอาศัยสนามไฟฟ้าหรือ Acoustic Wave ไปทำให้ดัชนีการหักเหของตัวกลางเปลี่ยน จะทำให้การเปลี่ยนเส้นทางเดินของแสงได้ดังแสดงในรูปที่ 2.53 แต่สวิตช์แบบนี้มีการสูญเสียของแสงมาก และมีปัญหาเกิดการรบกวนของสัญญาณแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสงอื่น ปัจจุบันยังไม่ค่อยใช้กันมากนัก แต่ในอนาคตข้างหน้าอาจมีการนำมาใช้กันมากขึ้น



รูปที่ 2.59 หลักการทำงานของ Non-Mechanic Optical Switch

2.3 เส้นใยแสง(Optical)

เส้นใยแสง คือ เส้นใยขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำแสง โครงสร้างของเส้นใยแสง ประกอบด้วยส่วนที่แสงเดินทางผ่านเรียกว่า คอร์ และส่วนที่หุ้ม คอร์ เรียกว่า แคลด ทั้ง คอร์ และแคลด เป็น Dielectric ใส 2 ชนิด (Dielectric หมายถึงสารที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า เช่น แก้ว พลาสติก) โดยทำให้ค่าดัชนีการหักเหของ แคลด มีค่าน้อยกว่าค่าดัชนีการหักเหประมาณ 0.2~3% และอาศัยปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสง สามารถทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปใน คอร์ เดินทางไปได้ นอกจากนั้นเนื่องจากกล่าวกั้นว่า เส้นใยแสงมีขนาดเล็กมากเท่าเส้นผม นั้น หมายถึง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกของ Clad ซึ่งมีขนาดประมาณ 0.1 มม. ส่วน คอร์ ที่แสงเดินทางผ่านนั้นมีขนาดเล็กลงไปอีกคือประมาณหลาย μm ($1 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{ mm}$) ซึ่งมีค่าหลายสิบเท่าของความยาวคลื่นแสงที่ใช้งาน ค่าต่างๆ เหล่านี้เป็นค่าที่กำหนดขึ้นจากคุณสมบัติการส่งและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

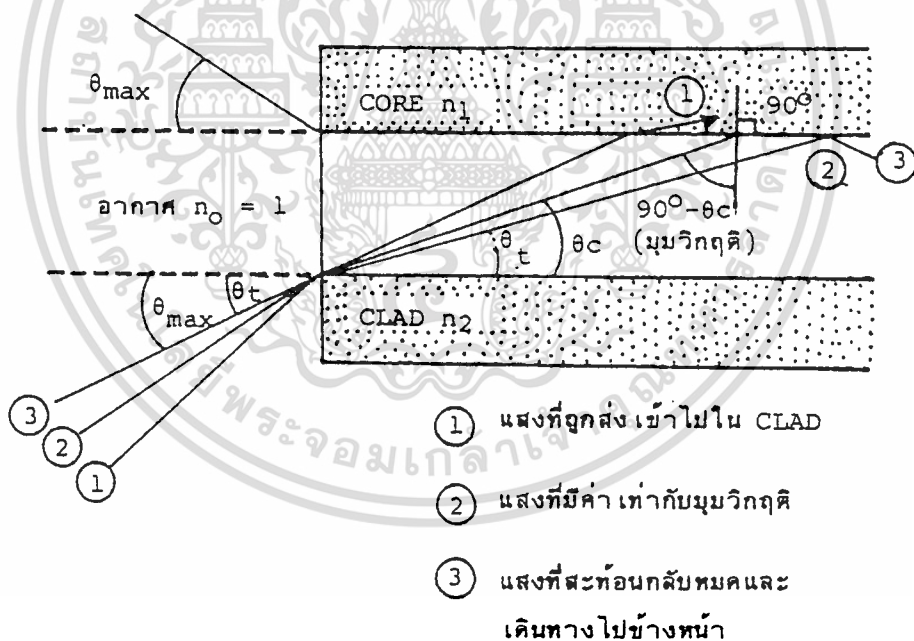
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางเมคานิกส์ที่ต้องการ เส้นใยแสงนอกจากมีคุณสมบัติการส่งดีเยี่ยมแล้วยังมีลักษณะเด่นอย่างอื่นอีก เช่น ขนาดเล็ก น้ำหนักเบาอีกด้วย

2.3.1 ลักษณะการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง

2.3.1.1 การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง

เนื่องจากว่าแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้น จะกระจายกว้างออกเนื่องจากปรากฏการณ์การเบี่ยงเบนของแสง ในการที่จะป้อนแสงเข้าไปใน คอรั ที่มีขนาดเล็กมากนั้นต้องใช้เลนส์ทำการรวมแสง แต่ว่าแสงที่รวมนั้นไม่ใช่ว่าจะถูกป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงได้ทั้งหมด แสงที่มีมุมตกกระทบที่เหมาะสมเท่านั้นจึงจะสามารถเข้าไปในเส้นใยแสงได้ รูปที่ 2.60 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยแสง จากรูปจะเห็นว่าที่จุดป้อนแสงของเส้นใยแสงนั้นจะมีจุดต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงต่างกัน 3 ชนิด



รูปที่ 2.60 มุมรับแสงของเส้นใยแสง

ตัวกลางทั้ง 3 ชนิดนี้ คือ อากาศ คอรั ของเส้นใยแสง และ แคลด ของเส้นใยแสง ถ้าให้ค่าดัชนีการหักเหของแสงของตัวกลางทั้ง 3 ชนิด เป็น N_0 ($N_0 = 1$), N_1 และ N_2 ตามลำดับ จะเกิดการหักเห, การสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของอากาศกับ คอรั และ คอรั กับ แคลด ในที่นี้มุมรับแสงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเส้นใยแสงที่มีค่ามากที่สุดเป็น $\theta_{\max}$ จากรูปที่ 2.60 จะเห็นว่า อย่างเช่น ถ้าแสง 2 นั้น มุมรับแสงตรงรอยต่อของ คอร์ กับ แคลด นั้นมีค่าเป็นมุมวิกฤต (Critical Angle) ตรงรอยต่อของ อากาศกับ คอร์ และของ คอร์ กับ แคลด นั้นจากกฎของ Snell จะได้ว่า

$$\sin \theta_{\max} = n_1 \sin \theta \quad \text{-----}(1)$$

$$\sin(90^\circ - \theta_c) = \cos \theta_c = n_2 / n_1 \quad \text{-----}(2)$$

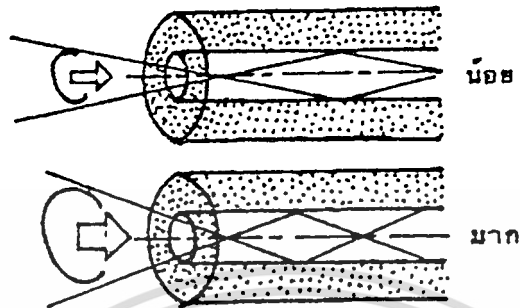
ดังนั้นกรณีที่มุมรับแสง $\theta_{\max}$ มีค่าสูงสุดได้นั้น n_1/n_2 จากสมการ (1) และ (2) จะได้ว่า

$$\sin \theta_{\max} = \sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2}} = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad \text{-----}(3)$$

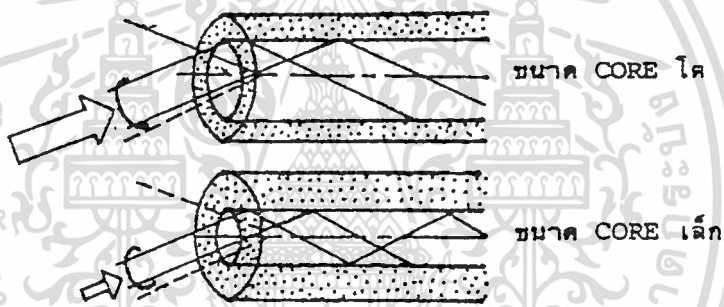
ในที่นี้

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

เรียกว่า อัตราส่วนของผลต่างของดัชนีการหักเหของแสง



(a) กรณีขนาด CORE ใดเท่ากันแต่ค่า NA ต่างกัน



(b) กรณีค่า NA เท่ากันแต่ขนาด CORE ต่างกัน

รูปที่ 2.61 ผลของ NA และขนาดของ Core ที่มีต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่าง
ต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสง

สำหรับ $\sin \theta_{\max}$ นี้ ตามศัพท์เทคนิคของวิชาแสงเรียกว่า Numerical Aperture เขียนย่อว่า “NA” หมายถึงการเปิดรับให้แสงผ่าน และใช้เป็นตัวแสดงเงื่อนไขการป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง นอกจากนั้นยังถือเป็นตัวประกอบพื้นฐานอันหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสงด้วย ยกตัวอย่างเช่น สมมติว่า เส้นใยแสงมี $n_1 = 1.475$ และ $n_2 = 1.46$ (ค่าอัตราส่วนผลต่างของดัชนีการหักเหของแสง = 1%) ในกรณีนี้มีค่า $NA = 0.21$

รูปที่ 2.61 แสดงความหมายของ NA และขนาดของ Core ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างดักกำเนิดแสงกับเส้นใยแสง

จากรูปจะเห็นว่าถ้าหากขนาดของ Core และ NA มีค่าคงที่แล้วจะกำหนดปริมาณของแสงที่ป้อนเข้าไปใน Core ได้ทันที เส้นใยแสงที่มีขนาดใหญ่และมีค่า NA มากจะมีประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างดักกำเนิดแสงกับเส้นใยแสงสูงมาก

2.3.1.2 MODE การเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง (Propagation Mode)

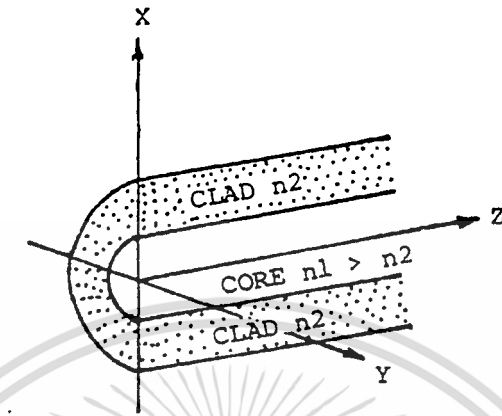
แสงที่ป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงด้วยค่าของมุมรับแสงที่อยู่ในช่วงของมุมรับแสงสูงสุดนั้น แสงจะเดินทางในเส้นใยแสงด้วยลักษณะที่เกิดการสะท้อนกลับไปมาตรงรอยต่อของ Core กับ Clad โดยที่สะท้อนกลับไปมาและเคลื่อนที่ไปข้างหน้าพร้อมกันด้วย แต่ทว่าจาก Interference ของแสงภายใน Core นั้นมุมสะท้อนกลับที่รอยต่อจะเกิดขึ้นได้จำเป็นต้องมีเงื่อนไขที่เหมาะสม และเพื่อเป็นการช่วยให้เข้าใจได้ง่าย จะใช้เส้นใยแสงที่มีรูปร่างเป็นแผ่นแบนดังแสดงใน รูปที่ 2.62 (b) แทนลักษณะเส้นใยแสงที่มีรูปร่างกลมดังรูปที่ 2.62 (a) และเพื่อทำให้ง่ายขึ้นจะพิจารณาเฉพาะสนามไฟฟ้าเท่านั้น

(1) INTERFERENCE ของแสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับ

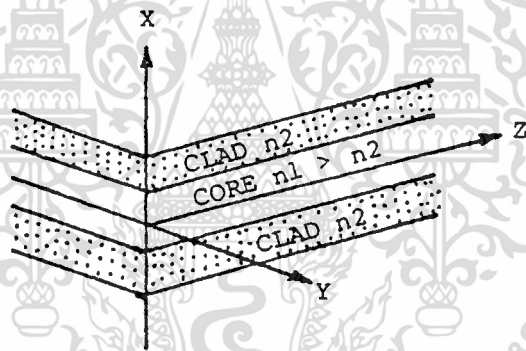
แสงที่สะท้อนกลับตรงรอยต่อของตัวกลางแสดงด้วยลำแสงดังรูปที่ 2.63 (a) และลำแสงนี้เป็นเสมือนตัวแทนของทิศทางเดินของแสงที่สนามไฟฟ้าของมัน มีการเปลี่ยนแปลงตามจุดต่างๆ ใน คอร์ ของเส้นใยแสง รูปที่ 2.63 (b) แสดงการพิจารณาถึงระนาบที่มีเฟสเหมือนกันของสนามไฟฟ้า ซึ่งระนาบที่มีเฟสเหมือนกันของแสงตกกระทบ และของแสงสะท้อนกลับจะซ้อนกัน (เป็นไปตามปรากฏการณ์ของการเกิดคลื่นอยู่กับที่) ดังนั้นแสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับ จะเกิดการ Interference กันที่จุดต่างๆ ใน คอร์

(2) เงื่อนไขที่รอยต่อของตัวกลาง

แสงที่สะท้อนกลับหมดที่รอยต่อของตัวกลางพร้อมทั้งเดินทางไปด้วยนั้น สนามไฟฟ้าของแสงจำเป็นต้องอยู่ภายใน คอร์ ด้วย ดังนั้นที่รอยต่อของตัวกลางความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากการ interference ของแสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับจะต้องเป็นศูนย์ด้วย



(a) ท่อนำคลื่นแบบกลม (n_1, n_2 เป็นดัชนีการหักเห)

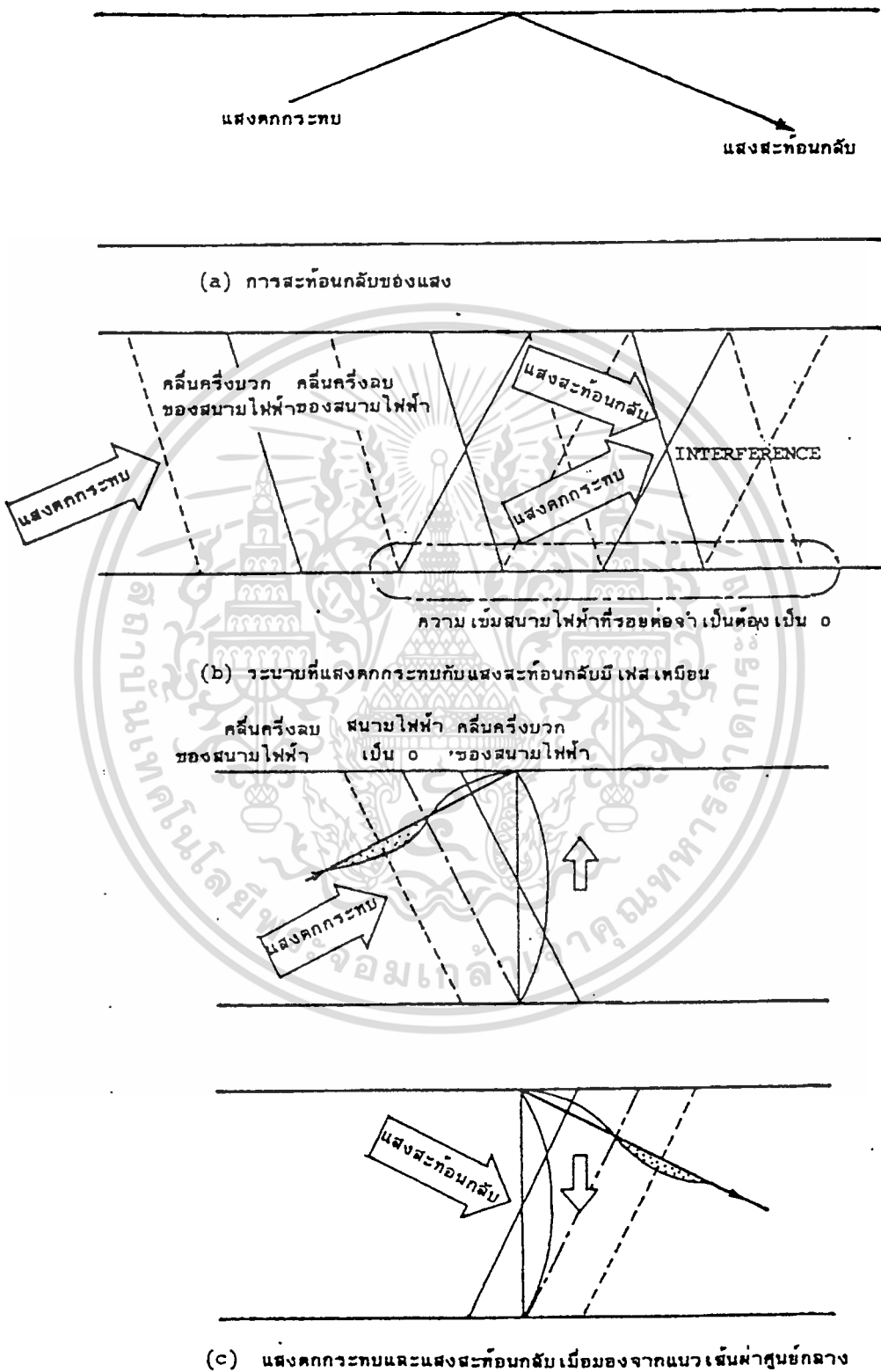


(b) ท่อนำคลื่นแบบแผ่นแบน (n_1, n_2 เป็นดัชนีการหักเห)

รูปที่ 2.62 เส้นใยแสงแบบกลมและแบบระนาบแบน

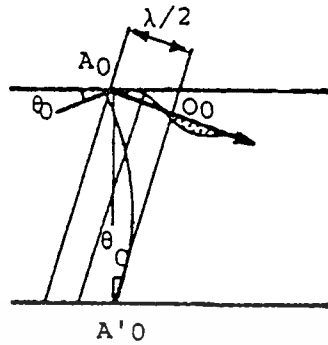
แต่เนื่องจากเส้นใยแสงที่ผลิตขึ้นมานั้น $n_1 =$ ดังนั้นจะมีสนามไฟฟ้าจำนวนหนึ่งปรากฏที่เคลด ด้วยเหมือนกันแต่ในที่นี้เราสมมุติให้ สนามไฟฟ้าที่ เคลด เป็นศูนย์

(3) คลื่นที่อยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี

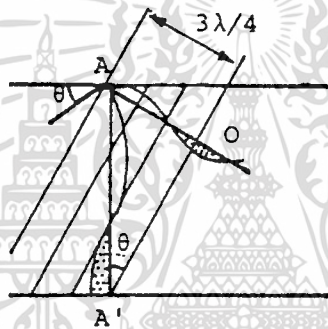


รูปที่ 2.63 การสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของตัวกลาง

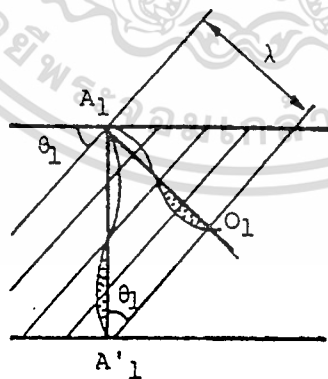
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

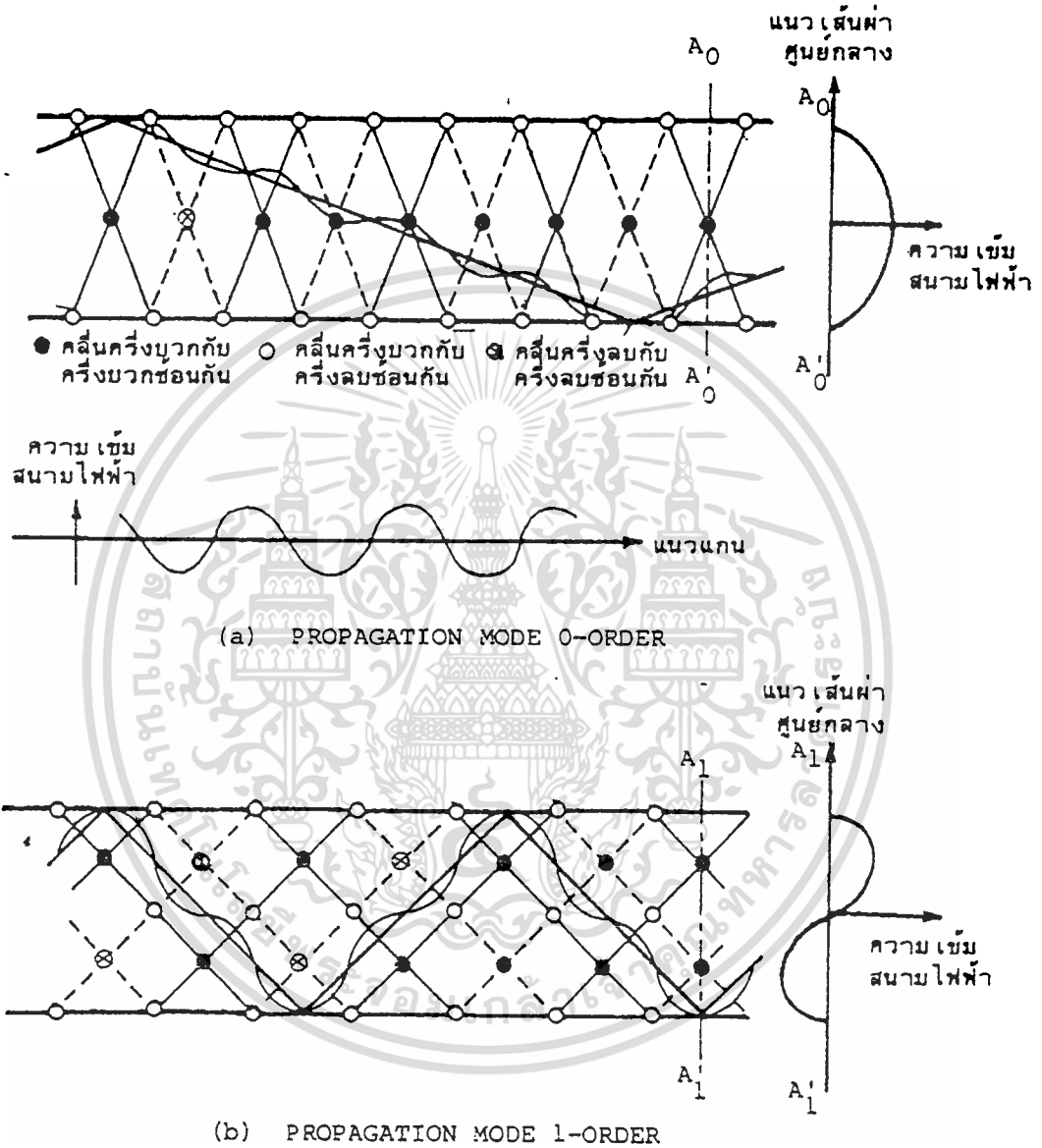


- (b) ไม่มีคลื่นอยู่จริงในแนวเส้นผ่าศูนย์กลาง



- (c) เฟสของความเข้มสนามไฟฟ้าในแนวเส้นผ่าศูนย์กลาง เปลี่ยนแปลง 180°

รูปที่ 2.64 มุมสะท้อนกลับของแสงที่ทำให้เกิดคลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี



รูปที่ 2.65 Propagation Mode ภายในเส้นใยแสง

เพื่อให้เงื่อนไขของตัวกลางที่กล่าวมาใน (2) เป็นจริงได้นั้น จำเป็นต้องมีคลื่นที่อยู่กับที่ ซึ่งเกิดจาก Interference ของแสงตกกระทบกับแสงสะท้อนกลับ) ในทิศทางของรัศมี รูปที่ 2.63 (c) เป็นรูปที่แสดงการเปลี่ยนแปลงทางเฟสของความเข้มของสนามไฟฟ้า ตามการเดินทางของแสงตก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทบและแสงสะท้อนกลับ ซึ่งมองในทิศทางรัศมีจะเห็นว่าการซ้อนกันของคลื่นที่มีทิศทางสวนกัน ปรากฏการณ์นี้เหมือนกับปรากฏการณ์ที่เกิดคลื่นอยู่กับที่ในเส้นเชือกที่ตรึงปลายทั้งสองเอาไว้ ดังนั้นในระหว่างที่แสงเดินทางเป็นระยะทางเป็นจำนวนเท่าของเลขเต็มหน่วยของครึ่งความยาวคลื่น ($\lambda/2$) ดังแสดงในรูปที่ 2.64 (a) และ (c) นั้นจะเกิดคลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี ในกรณีที่แสงมีมุมสะท้อนกลับมีค่าเป็นจำนวนเท่าของเลขเต็มหน่วยของมุม 180° ของความเข้มสนามไฟฟ้าตามทิศทางของรัศมีส่วนรูปที่ 2.64 (b) นั้นเป็นกรณีตรงกันข้ามกล่าวคือ แสงที่มีมุมสะท้อนกลับมีค่า $\theta_0 < \theta$ จะไม่เกิดคลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมีสามารถสรุปได้ว่า มุมสะท้อนกลับของแสงที่เดินทางไปได้ภายในเส้นใยแสงนั้นมีค่าจำกัดเป็นพิเศษเฉพาะบางค่า เท่านั้น

(4) โหมดการเดินทางของแสง (PROPAGATION MODE)

รูปที่ 2.65 แสดงลักษณะของความเข้มของสนามไฟฟ้าภายใน คอรั ของเส้นใยแสงที่เกิดขึ้นจากการ Interference ของแสงตกกระทบและแสงสะท้อนที่มีค่ามุมสะท้อนกลับเป็นพิเศษเฉพาะ

จากตัวอย่างทั้งสองของรูป 2.65 จะเห็นได้ว่าเป็นการแสดง Interference ของแสงที่มีมุมสะท้อนกลับเป็นพิเศษเฉพาะ ซึ่งทำให้ความเข้มของสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง 180° - 360° ในทิศทางของรัศมีลักษณะการเดินทางของแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าเป็นพิเศษเฉพาะภายใน คอรั ของเส้นใยแสงนี้เรียกว่า Propagation Mode ของแสงภายในเส้นใยแสง มีค่าจำกัดตามเงื่อนไขของการสะท้อนกลับหมดและนิยมนับชื่อ Mode ตามลำดับจาก Propagation Mode ที่มีค่ามุมสะท้อนกลับน้อยไปหามากคือ Mode 0, Mode 1, Mode 2, ----- Mode (N-1)

2.3.2 ชนิดของเส้นใยแสง

วิธีการแบ่งชนิดของเส้นใยแสงมีหลายวิธีกล่าวคือ แบ่งตามชนิดของสาร Dielectric ที่ใช้, แบ่งตามจำนวน Propagation Mode , แบ่งตามลักษณะดัชนีการหักเหของ คอรั ดังแสดงในตาราง 2.4

แบ่งตามชนิดของสาร DIELECTRIC ที่ใช้	1.Silica glass optic fiber 2.Multi component glass optic fiber 3.Plastic optic fiber
แบ่งตามจำนวน PROPAGATION MODE	1.Single Mode optic fiber 2.Multi Mode optic fiber
แบ่งตามลักษณะของ ดัชนีการหักเหของ CORE	1.Step Index optic fiber 2.Graded Index optic fiber

ตารางที่ 2.4 การแบ่งชนิดของเส้นใยแสง

2.3.2.1 การแบ่งชนิดของเส้นใยแสงตามชนิดของ DIELECTRIC

การแบ่งชนิดของเส้นใยแสงตามชนิดของ Dielectric ที่ใช้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

- (1) Silica glass optic fiber ซึ่งใช้ Dielectric ที่เป็น Silica glass
- (2) Multi component glass optic fiber ซึ่งใช้ Dielectric ที่เป็นแก้วหลายชนิดผสมกัน
- (3) Plastic optic fiber ซึ่งใช้ Dielectric ที่เป็นพลาสติก

สำหรับ (1) นั้นนอกจากจะใช้ Silica (SiO_2) ที่บริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่แล้วยังใช้สารอื่นเติมลงไป เพื่อให้ค่าดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงตามต้องการ สารอื่นที่เติมลงไปนี้เรียกว่า Dopant ได้แก่ Germanium (Ge), Boron (B), Fluorine (F) เป็นต้น

สำหรับ (2) นั้นส่วนมากจะใช้ Soda Calcium, แก้ว, แก้วที่มี Boron และ Silicon ผสมและอื่นๆ เป็นสารหลัก ส่วน Dopant ได้แก่ โซเดียม (Na), แคลเซียม (Ca)

สำหรับ (3) นั้นใช้สารพวก Silicon Resin, Acryl Resin (เช่น Polymetacryl Methyl Acid : PMMA)

อนึ่ง สำหรับเคเบิลเส้นใยแสงที่ใช้ในข่ายการสื่อสารโทรคมนาคม (Telecommunication Network) นั้นนิยมใช้ Silica glass optic fiber เพราะมีข้อดีคือ การสูญเสีย (loss) ต่ำ และ คุณสมบัติการส่ง (Transmission Characteristic) คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

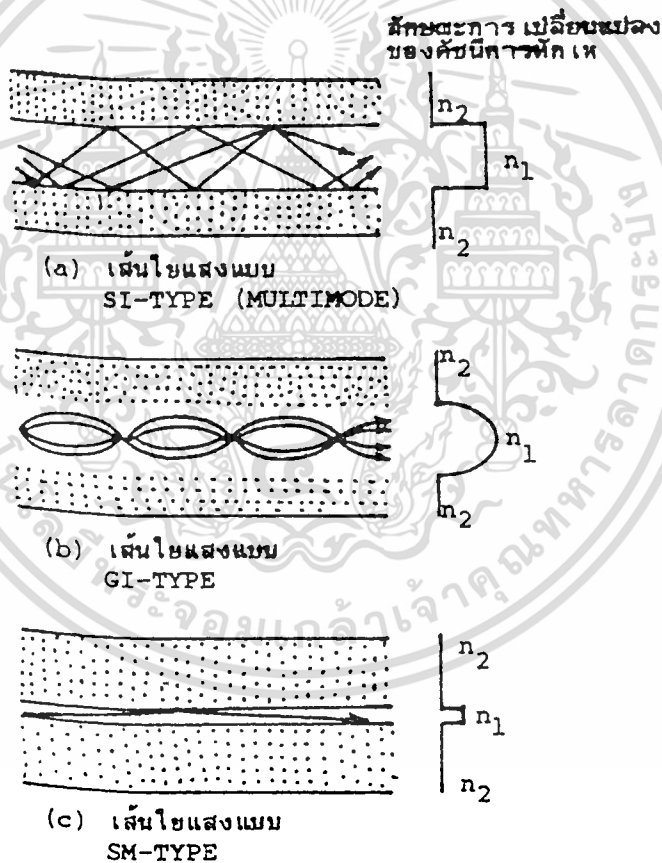
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่สำหรับงานที่ต้องการคุณสมบัติการส่งด้อยลงมา, ใช้งานง่าย (ต่อง่าย, หักยากแม้จะจอเส้นใยแสงมากๆ เป็นต้น) และใช้กับการสื่อสารระยะทางใกล้ ใช้กับการเดินสายภายในรถยนต์ (wire harness) และอื่นๆ ในกรณีนี้นิยมใช้ เส้นใยแสงที่เป็น plastic optic fiber

2.3.2.2 การแบ่งชนิดของเส้นใยแสงตามจำนวน PROPAGATION MODE

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

2.3.2.3 การแบ่งชนิดของเส้นใยแสงตามลักษณะของดัชนีการหักเห

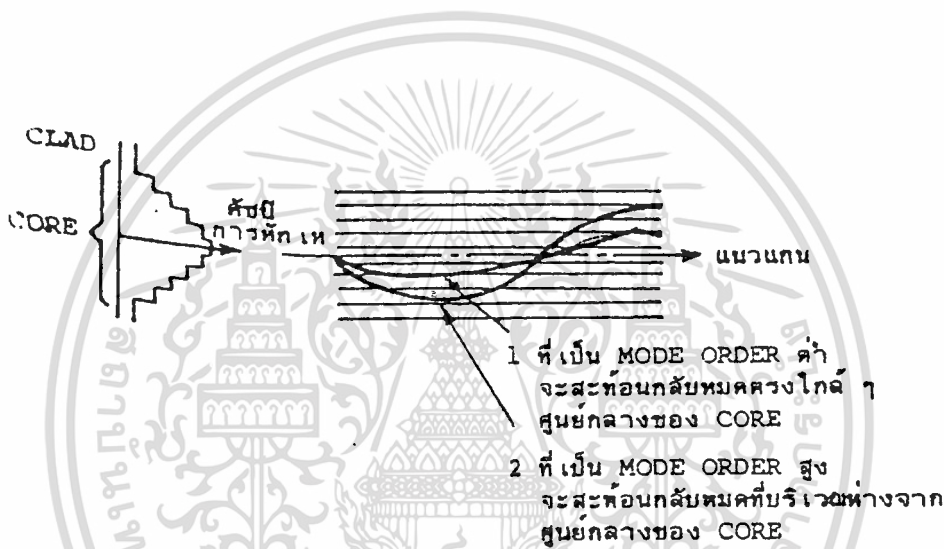


รูปที่ 2.66 ลักษณะการเดินทางของแสงใน CORE ของเส้นใยแสงแต่ละชนิด

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเห คือ

(1) Step Index optic fiber (SI-fiber) เป็นเส้นใยแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่าง คอร์ กับ แคลด เป็นลักษณะขั้นบันได(STEP) จึงเรียกว่า Step Index optic fiber

(2) Graded Index optic fiber (GI fiber) เป็นเส้นใยแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่าง Core กับ Clad ค่อยๆ ลดลงทีละน้อยต่างกับ (1) จึงเรียกว่า Graded Index optic fiber



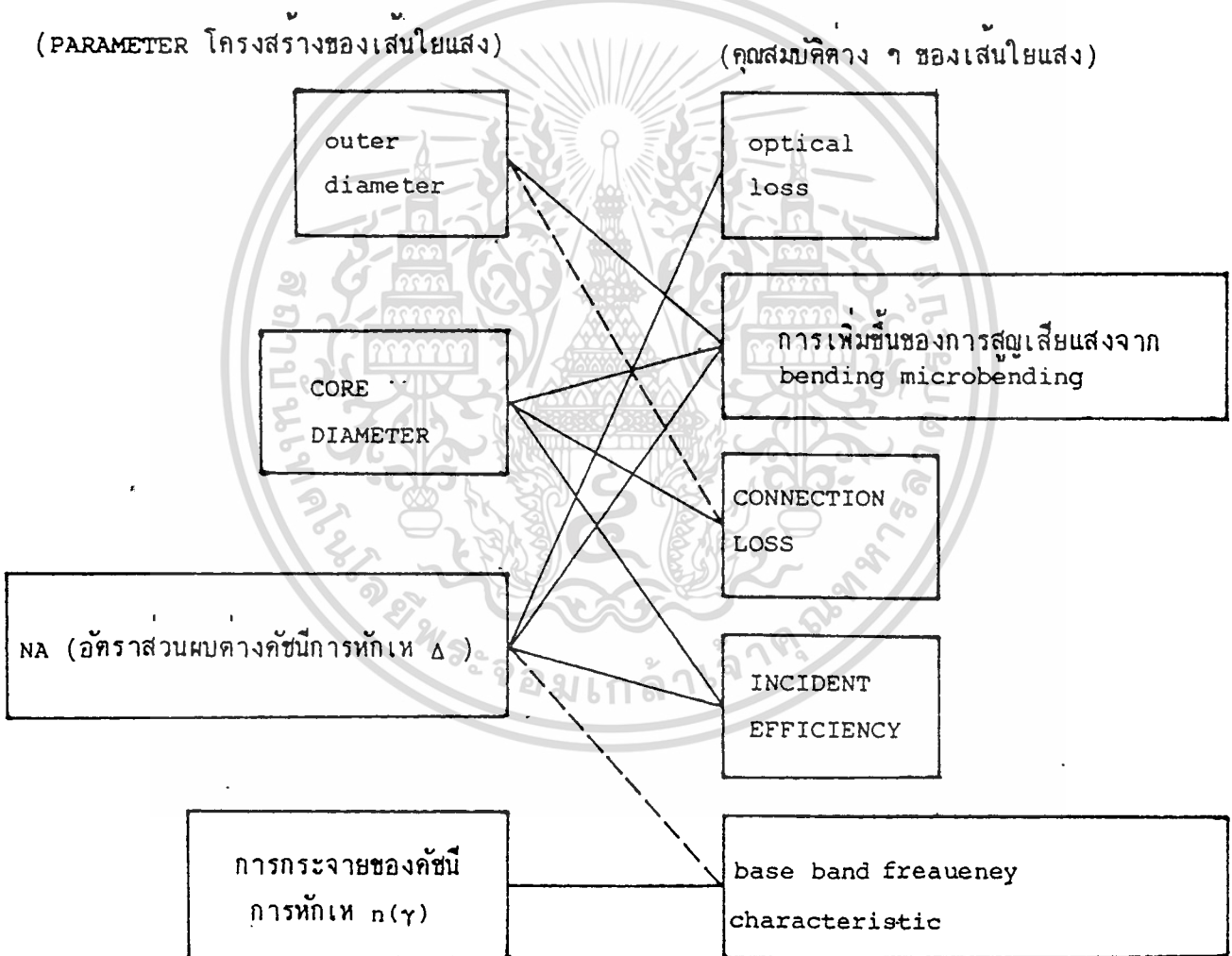
รูปที่ 2.67 ลักษณะการเดินทางของแสงใน GI FIBER

SM fiber นั้นจัดอยู่ในพวกของ SI fiber เหมือนกันแต่ว่า เนื่องจากจุดประสงค์ต้องการให้เป็น Single Mode จึงทำให้อัตราส่วนผลต่างของค่าดัชนีการหักเหของ Core และ Clad มีค่าน้อยมาก จึงแบ่งชนิดแยกออกมาต่างหาก ดังนั้นในกรณีที่เราเรียกว่า SI fiber นั้น โดยทั่วไปจะหมายถึง Multi Mode optic fiber ที่มีผลต่างของดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงเป็นขั้นบันได (Step)

ลักษณะการเดินทางของแสงภายใน Core ของเส้นใยแสงแต่ละชนิดแสดงดังรูปที่ 2.66

GI fiber เป็นเส้นใยแสงที่จัดทำเป็นพิเศษเพื่อการส่ง Multi Mode รูปที่ 2.67 แสดงถึง Propagation Mode ของ GI fiber

transmission band width , ความแข็งแรงทาง เมคานิกและคุณสมบัติอื่นๆ ของเส้นใยแสงแล้ว ยังเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับการเชื่อมต่อของเส้นใยแสงกับเส้นใยแสง หรือการต่อของเส้นใยแสงกับอุปกรณ์แสง (optic device) อีกด้วย นอกจากนี้ยังมี parameter ประกอบทางโครงสร้างเพิ่มเติมอีกได้แก่ เปอร์เซ็นต์การคลาดเคลื่อนของศูนย์กลาง (ด้านEccentricity), อัตราความเพี้ยนของวงกลม (Non-Circular Rate) สำหรับ Parameter ประกอบนี้จะไม่มีผลอะไรทางคุณสมบัติการส่ง (Transmission Characteristic) แต่วามันจะมีผลอย่างมากต่อการสูญเสียของการต่อ(Connection Loss) ของเส้นใยแสง

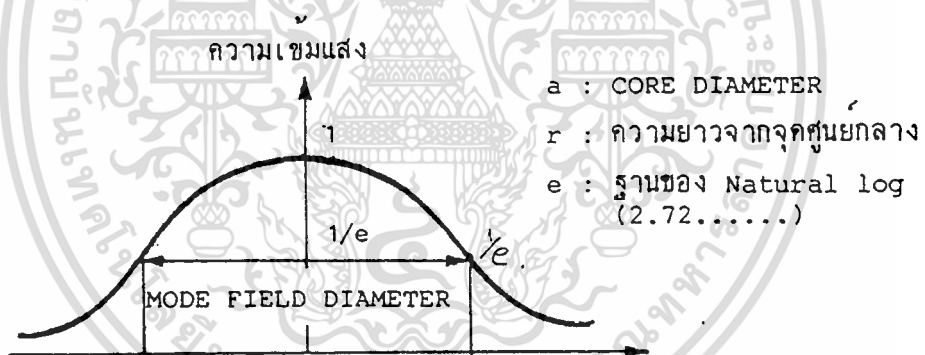


รูปที่ 2.69 แผนผังคุณสมบัติต่างๆ ของ Parameter ทางโครงสร้างของเส้นใยแสง

ตัวอย่างเช่น ในการกำหนดโครงสร้างของเส้นใยแสงชนิด Multimode Optic Fiber จะต้องอาศัย Parameter 4 อย่าง คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ Core , เส้นผ่าศูนย์กลางนอก , Numerical Aperture (NA) และลักษณะของค่าดัชนีการหักเห ดังแสดงในรูปที่ 2.68

ในการกำหนดค่าต่างๆ ของ Parameter ทางโครงสร้างทั้ง 4 เหล่านี้ จำเป็นต้องคำนึงถึงผล Parameter ทางโครงสร้างแต่ละอย่างที่มีต่อคุณสมบัติต่างๆ ของเส้นใยแสง การสร้างได้ง่ายและความประหยัด ดังแสดงในแผนผังของรูปที่ 2.69

สำหรับโครงสร้างของ Single Mode Optic Fiber จะกำหนดจาก Parameter 3 อย่าง คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ Mode Field , เส้นผ่าศูนย์กลางนอก และ Cut Off Wave Length ซึ่งต่างกับกรณีของ Multi Mode Optic Fiber สาเหตุที่ใช้เส้นผ่าศูนย์กลางของ Mode Field เป็น Parameter ทางโครงสร้างของ Single Mode Optic Fiber แทนการใช้เส้นผ่าศูนย์กลางของ Core นั้นก็คือว่า เส้นผ่าศูนย์กลางของ Mode Field มีค่ามากดังแสดงในรูปที่ 2.70



รูปที่ 2.70 เส้นผ่าศูนย์กลาง Mode Field

กล่าวคือเป็นค่าเส้นผ่าศูนย์กลางตรงจุดที่ความเข้มของแสงลดลงเป็น $1/e$ (e ในที่นี้มีค่า 2.71828) ของค่าสูงสุด (คือค่าตรงจุดศูนย์กลางของ Core) และค่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของ Core ของ Single Mode Optic Fiber มีค่าน้อยยิ่งกว่านั้น อัตราส่วนของผลต่างของค่าดัชนีการหักเหก็มีค่าน้อยด้วย ทำให้เป็นการยากที่จะบ่งบอกส่วนที่เป็นรอยต่อของ Core กับ Clad ได้ ชัดเจน ด้วยเหตุนี้เพื่อความสะดวกจึงใช้ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของ Mode Field แทนค่ามาตรฐานของ Parameter ทางโครงสร้างของเส้นใยแสงที่ CCITT (International Telegraph And Consultative Committee)

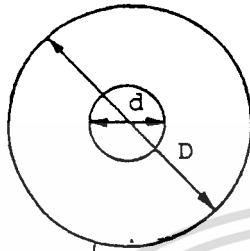
แนะนำแสดงดังตาราง 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

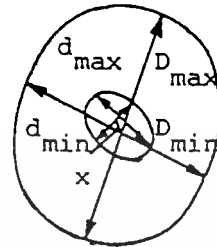
ชนิด หัวข้อ	Graded Index Optic Fiber	Single Mode Optic Fiber
ความยาวคลื่นที่ใช้	(a) 0.85 μm (b) 1.30 μm	(a) 1.30 μm (b) 1.55 μm
เส้นผ่าศูนย์กลางของ Core	50 $\mu\text{m} \pm 6\%$	-
เส้นผ่าศูนย์กลางของ Mode Field	-	9 ~ 10 $\mu\text{m} \pm 10\%$ (1.30 μm)
Cut Off Wave Length	-	1.10 ~ 1.28 μm (I)
เส้นผ่าศูนย์กลางนอก	125 $\mu\text{m} \pm 2.4\%$	12.5 $\mu\text{m} \pm 2.4\%$
เปอร์เซ็นต์การคลาดเคลื่อน ของศูนย์กลาง	< 6%	0.5 ~ 3.0 μm
อัตราความเพี้ยนของ วงกลมของ Core	< 6%	-
อัตราความเพี้ยนของ วงกลมของ Clad	< 2%	< 2%
Numeral Aperture (NA)	(a) 0.18 ~ 0.24 ± 0.02 (0.85 μm) (b) 0.15 ~ 0.30 ± 0.02 (1.3 μm)	(2)

ตารางที่ 2.5 ค่ามาตรฐาน ทางโครงสร้างของเส้นใยแสงที่ CCITT แนะนำ

- หมายเหตุ : (1) CCITT กำลังพิจารณาอยู่
- (2) ถ้าบอกค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของ Mode Field และ Cut Off Wave Hlength แล้วไม่จำเป็นต้องบอกค่า NA



(a) เส้นใยแสงที่คี่เลข



(b) เส้นใยแสงในทางปฏิบัติ

CORE DIAMETER : d
OUTER DIAMETER : D

$$\text{Corediameter : } d = \frac{d_{\max} + d_{\min}}{2}$$

$$\text{Router Diamete : } D = \frac{D_{\max} + D_{\min}}{2}$$

$$\text{อัตราการใช้วงกลมของ Core : } e = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{d} * 100(\%)$$

$$\text{อัตราการใช้วงกลมของ Clad : } E = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D} * 100(\%)$$

$$\text{อัตราความคลาดเคลื่อนของจุดศูนย์กลาง : } C = \frac{x}{d} * 100(\%)$$

ปริมาณความคลาดเคลื่อนของจุดศูนย์กลาง : x

2.3.4 วิธีการผลิตเส้นใยแสง

2.3.4.1 การผลิตแท่งแก้ว PREFORM ด้วยวิธี VAD และ วิธี CVD

โดยทั่วไปแล้วเส้นใยแสงเป็นสิ่งที่มีความละเอียดมาก ประมาณ $125 \mu\text{m}$ ถ้าหากจะทำการผลิตเส้นใยแสงขนาดเล็ก $125 \mu\text{m}$ โดยตรงทันทีเลยนั้นจะเกิดความยุ่งยากอย่างมากในการควบคุมลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหให้เหมาะสมถูกต้องตามความต้องการ ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาในการสร้างเส้นใยแสงนั้นจะต้องผ่านขั้นตอนต่างๆ จำนวนหนึ่งก่อนที่จะได้เส้นใยแสงออกมา กล่าวคือ อันดับแรกจะทำแท่งแก้วที่มีความหนาเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่หลาย ๆ มิลลิเมตร ไปจนถึงหลาย ๆ สิบมิลลิเมตร และมีความยาวประมาณ 30~100 เซนติเมตร โดย ที่แท่งแก้วนี้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหเหมือนกันกับเส้นใยแสงทุกประการ แท่งแก้วนี้เรียกว่า แท่งแก้วต้นแบบ (Preform) อันดับต่อไปโดยการให้ความร้อนแก่ Preform นี้และทำการดึง Preform ให้ยืดออกเป็นเส้นยาวขนาดเล็กลงตามต้องการ พร้อมทั้งรักษาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของมันให้คงที่สม่ำเสมอตลอดความยาวที่ทำการดึงยืดออก โดยการทำเช่นนี้จะได้เส้นใยแสงตามที่ต้องการ สำหรับ Preform หนึ่งแท่งนั้นจะสามารถดึงให้เป็นเส้นใยแสงได้ยาวตั้งแต่หลายสิบกิโลเมตรไปจนถึงหลายร้อยกิโลเมตร ส่วนวิธีการผลิต Preform นั้นมีมากมายหลายวิธี แต่จะอธิบายเฉพาะวิธีที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ VAD Method (VAD ย่อมาจาก Vapor phase Axial Deposition) และ CVD Method (CVD ย่อมาจาก Chemical Vapor Deposition)

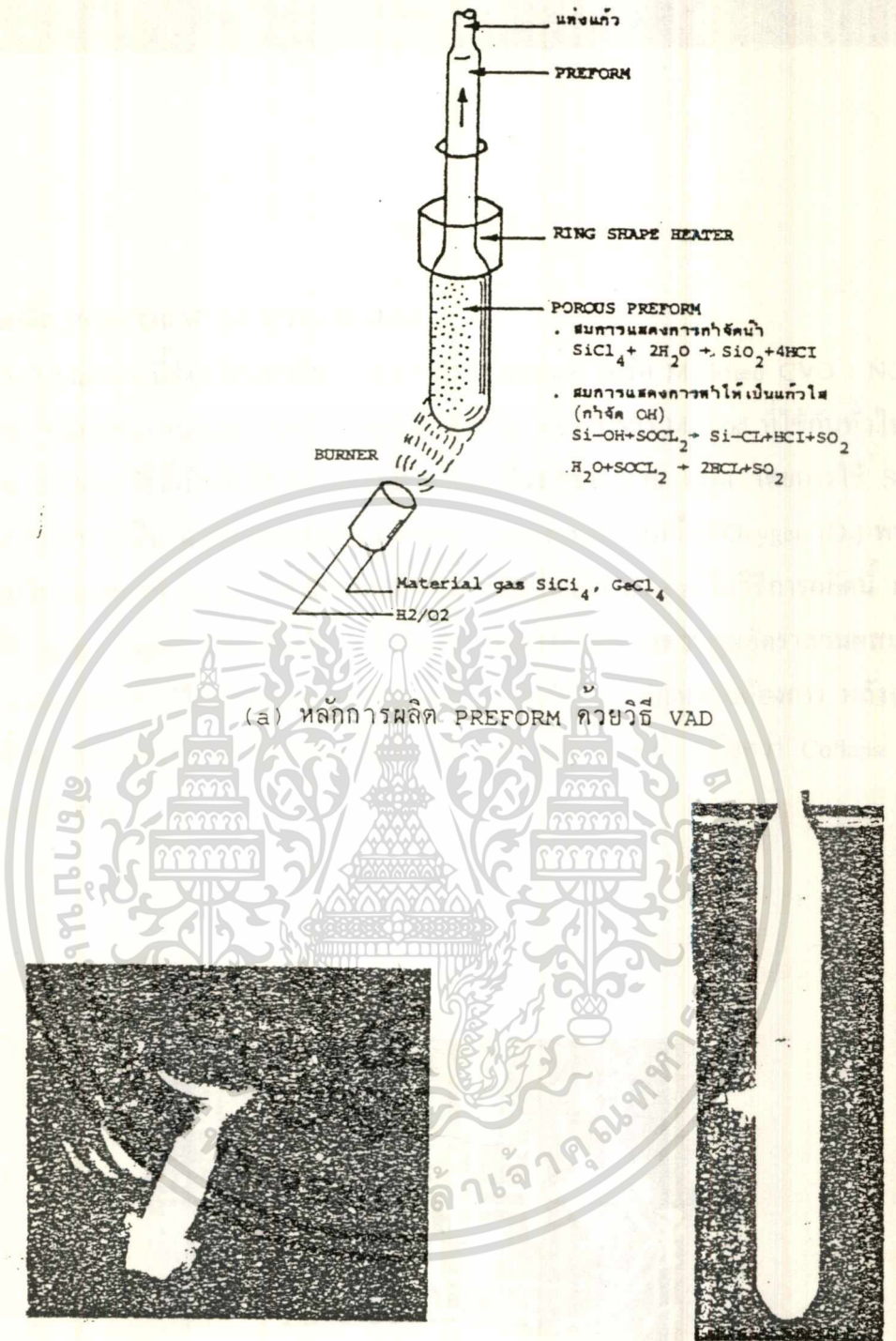
(1) วิธีการผลิต PREFORM ด้วยวิธีของ VAD Method

VAD Method นี้เป็นวิธีที่บริษัท NTT(Nippon Telegraph and Telephone) ของประเทศญี่ปุ่นได้พัฒนาขึ้นมาเอง มีข้อดีหลายอย่างคือ ขั้นตอนการผลิตไม่ยุ่งยาก สามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถผลิต Preform ให้มีขนาดใหญ่ได้ตามต้องการ วิธีของ VAD Method แสดงดังรูปที่ 2.71 (a) จากรูปจะเห็นว่ามีการนำสารที่เป็นวัตถุดิบของเส้นใยแสงคือ Silicon chloride (SiCl_4) สาร dopant ที่จำเป็นในการควบคุมค่าดัชนีการหักเหของเส้นใยแสงคือ Germanium Chloride (GeCl_4) เป็นต้น นำไปพ่นรวมกับก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ก๊าซออกซิเจน (O_2) โดยพ่นติดเข้าไปตรงส่วนล่างของแท่งแก้ว quartz ที่กำลังหมุนอยู่ และทำให้เกิดปฏิกิริยา Hydrolysis (การรวมตัวกันเป็นน้ำ) oxyhydrogen burner (หัวเชื่อมก๊าซ) โดยการทำเช่นนี้จะทำให้ส่วนล่างของแท่งแก้ว quartz มี Preform ของ SiO_2 ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปพญานาคขี้นมาจับอยู่รอบแกนของแท่งแก้ว quartz ไปพร้อมกับดึงแท่งแก้ว quartz ขึ้นข้างบนไปด้วยและขณะเดียวกันให้ความร้อนแก่แท่งแก้ว quartz นี้ด้วย ตัวทำความร้อน (Heater) ที่มีรูปร่างเป็นวงแหวนดังรูปที่ 2.71 (b) จะทำให้ Preform ที่เป็นรูปพญานาคกลายเป็นแก้วใสสามารถผลิตเป็น Preform ได้

ในวิธีของ VAD Method นี้เนื่องจากการทำให้เกิด Preform ตรงส่วนล่างในแนวแกน (Axial Direction) ของแท่งแก้ว quartz ได้อย่างต่อเนื่องกัน ดังนั้นจึงสามารถผลิต Preform ขนาดใหญ่ได้ตามต้องการและเหมาะสมแก่การผลิตเป็นจำนวนมาก นอกจากนั้นจากการที่ทำให้เป็น Preform ที่เป็นรูปพญานาคแล้วจึงทำให้เป็นแก้วใสโดยการให้ความร้อนภายในบรรยากาศของเกลือ thionyl SOCl_2 ทำให้สามารถกำจัด Hydroxyl ion (OH) ออกไปได้อย่างเพียงพอ เป็นเหตุให้ได้เส้นใยแสงที่มีการสูญเสียต่ำมาก

ในการผลิต Preform สำหรับใช้ทำเส้นใยแสงแบบ GI นั้นจะใช้ผลของปฏิกิริยาทางอุณหภูมิจึงทำให้ความเข้มข้นการผสมของสาร dopant แตกต่างกันไปและทำการควบคุมการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจายของอุณหภูมิของเปลวไฟจาก burner จะทำให้ได้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหตามต้องการ สำหรับอุปกรณ์การผลิต Preform โดย VAD Method แสดงดังรูปที่ 2.72

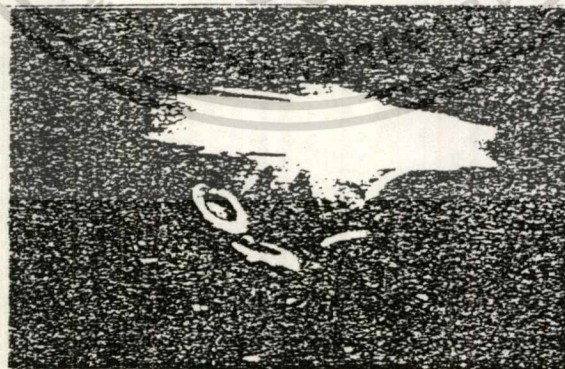
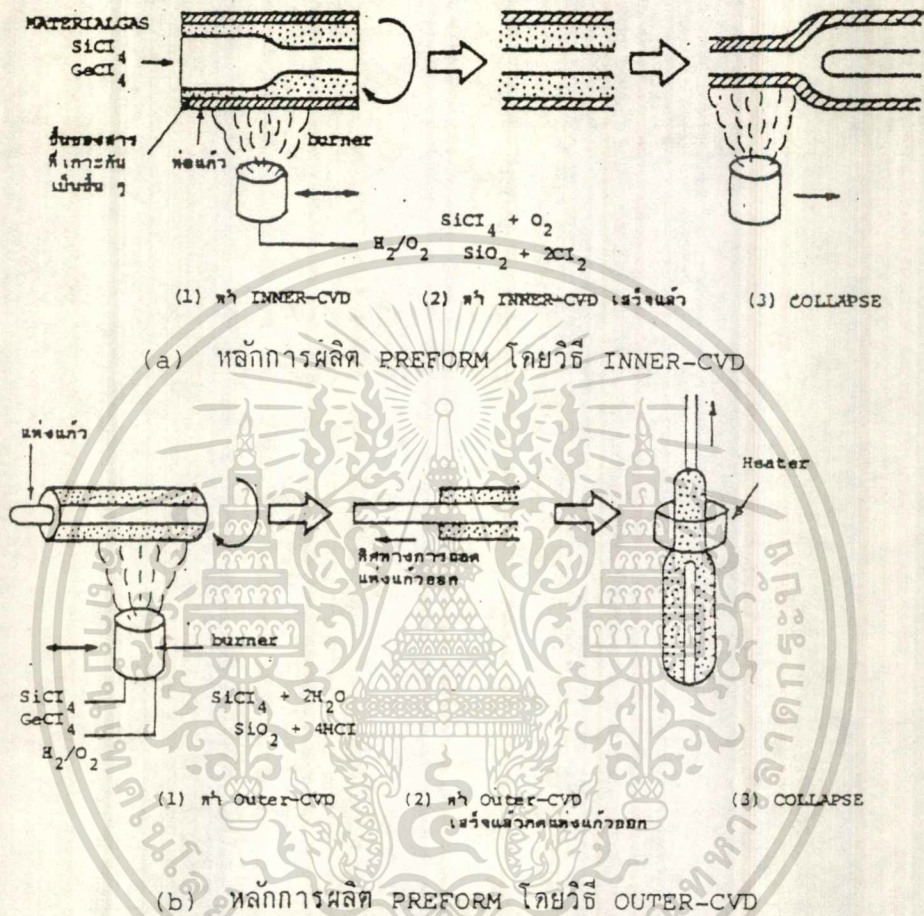


รูปที่ 2.71 วิธีการผลิต Preform โดย VAD Method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... Outer-CVD Method (หรือ OVD) นั้นแสดงดังรูปที่ 2.73(b) กล่าวคือเป็นวิธีการทำให้เกิดแก้วขึ้นที่ด้านนอกของแท่งแก้ว quartz และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปแล้ว ในวิธี CVD Method นั้นขนาดของ Preform ถูกจำกัดด้วยขนาดของท่อแก้ว quartz และแท่งแก้ว quartz ดังนั้นการผลิต Preform ขนาดใหญ่จึงมีขีดจำกัด และการผลิตจำนวนมาก

มากก็ด้อยกว่าวิธี VAD Method ด้วย Preform หนึ่งแท่งที่ผลิตด้วยวิธี VAD Method นั้น สามารถดึงให้เป็นเส้นใยแสงได้ยาวประมาณหลายกิโลเมตรเท่านั้น ตัวอย่างของ Preform ที่ผลิตโดยวิธี VAD METHOD และ CVD method แสดงดังรูปที่ 2.74



(c) สภาพการผลิตโดยวิธี INNER-CVD

รูปที่ 2.73 วิธีการผลิต Preform โดย CVD Method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

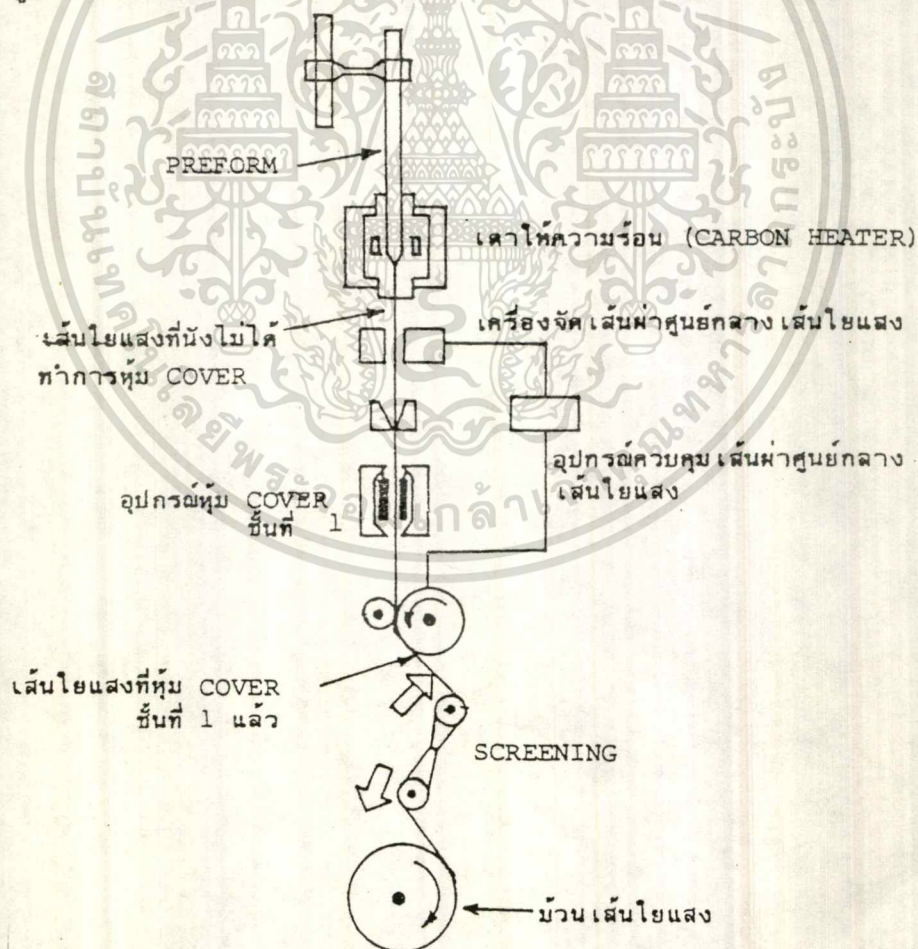
2.3.4.2 การทำ PREFORM ให้เป็นเส้นใยแสง

(a) PREFORM ที่ทำโดยวิธี CVD (สามารถดึงเป็นเส้นใยแสงได้ 5 กม.)



(b) PREFORM ที่ทำโดยวิธี VAD (สามารถดึงเป็นเส้นใยแสงได้ 100 กม.)

รูปที่ 2.74 ตัวอย่างของ Preform ที่ผลิตโดยวิธี VAD Method และ CVD Method

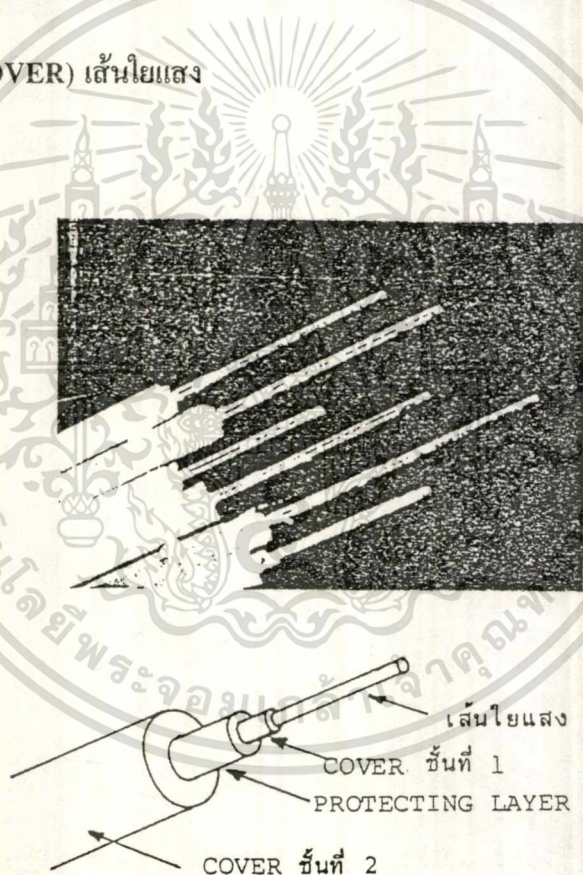


รูปที่ 2.75 การดึงเส้นใยแสงจาก Preform

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทำเส้นใยแสง Preform แสดงดังรูปที่ 2.75 ในการทำเส้นใยแสงจาก Preform นั้นจำเป็นต้องให้ความร้อนสูงประมาณ 2000°C แก่ Preform เพื่อให้ Preform อ่อนตัวลงและดึงยืดออกให้เป็นเส้นใยแสงขนาดเล็ก (ขั้นตอนนี้เรียกว่าการดึงให้เป็นเส้น Threading) จากการดึงให้เป็นเส้นด้วยอุปกรณ์ที่มีการควบคุมอย่างถูกต้องทำให้สามารถผลิตเส้นใยแสงขนาดเล็กที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหภายในเป็นไปตามที่ต้องการได้ และเพื่อเป็นการป้องกันเส้นใยแสงที่ถูกดึงให้เป็นเส้นปราศจากรอยขีดข่วนที่ผิวด้านนอกพร้อมทั้งเพิ่มความแข็งแรงในการโค้งงอ ดังนั้นหลังจากที่ดึงให้เป็นเส้นแล้วจะทำการหุ้มครั้งที่ 1 ด้วยวัสดุหุ้มเส้นใยแสง (First Cover) ถ้าเป็นกรณีของเส้นใยแสงที่มีโครงสร้างแบบ Tight Structure จะทำการหุ้มด้วยชั้นป้องกันซึ่งเรียกว่า Protecting Layer อีกชั้นหนึ่งด้วย พร้อมทั้งทำ Screening Test

2.3.4.3 การหุ้ม (COVER) เส้นใยแสง

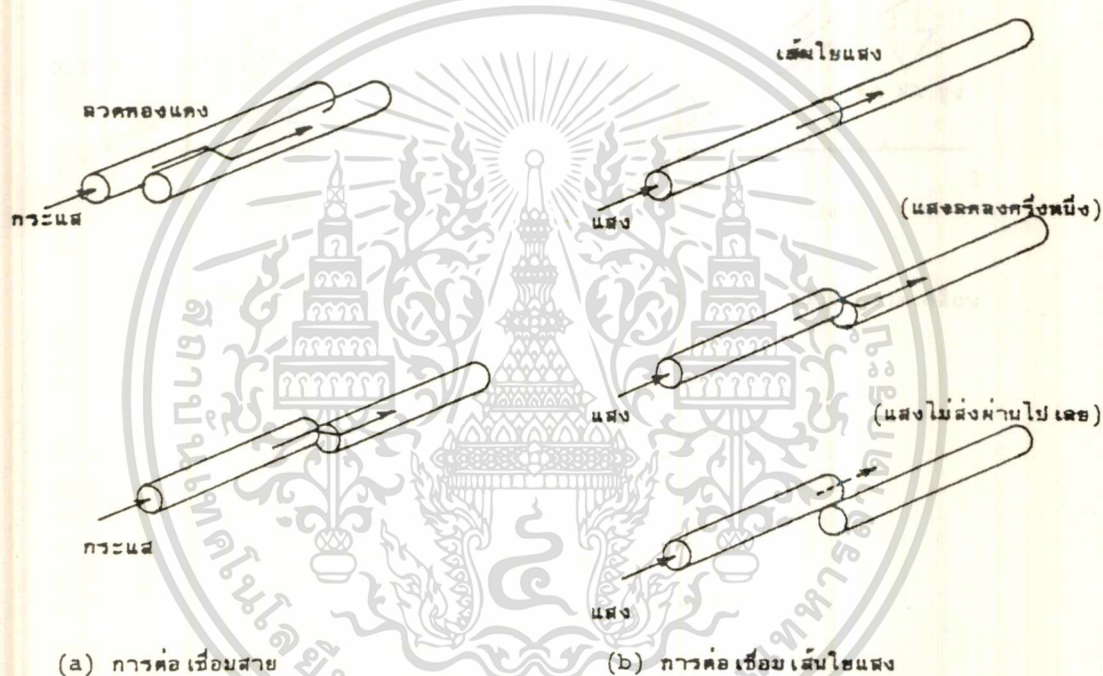


รูปที่ 2.76 โครงสร้างแบบ Tight Structure หลังจากหุ้ม Second Cover

เพื่อเป็นการป้องกันเส้นใยแสงที่ดึงเป็นเส้นแล้วปราศจากรอยขีดข่วน ซึ่งจะทำให้ความแข็งแรงของมันลดลง จะเพิ่มวัสดุหุ้ม (Cover) ชั้นที่หนึ่งให้แก่เส้นใยแสง นอกจากนั้นเพื่อช่วยทำให้

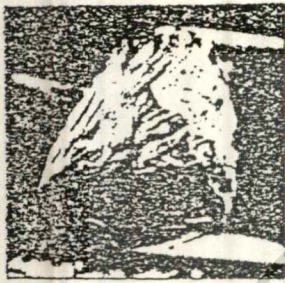
สะดวกในการจำแนกในการใช้งานเส้นใยแสง และรักษาความแข็งแรงที่ต้องการในตอนทำงาน ต่อเชื่อมเส้นใยแสง จะทำการหุ้มอีกครั้งหนึ่งเรียกว่า การหุ้มครั้งที่สอง (Second Cover) ดังแสดง ในรูปที่ 2.76 จะเห็นว่าในกรณีของเส้นใยแสงที่มีโครงสร้างแบบ Tight Structure นั้นจะหุ้ม Cessond Cover ลงไปบนชั้นป้องกัน (Protecting Layer) ส่วนเส้นใยแสงที่มีโครงสร้างเป็นแบบ Loose Structure นั้นจะนำเส้นใยแสงที่หุ้มด้วย First Cover เท่านั้นจำนวนประมาณ 1~10 เส้น รวมกันใส่ในท่อ (PIPE) ในกรณีนี้ อากาศหรือสาร Compound ภายในท่อจะทำหน้าที่เป็น Protecting Layer

2.3.4.4 วิธีการเชื่อมต่อเส้นใยแสง



รูปที่ 2.77 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการต่อเชื่อมสายไฟโลหะ กับ การต่อเชื่อมเส้นใยแสง

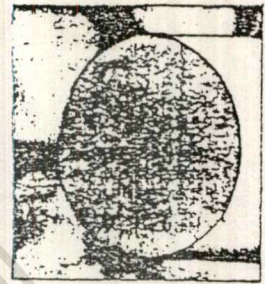
เครื่องมือตัดเส้นใยแสงโดยเฉพาะ (เรียกว่า Fiber Cutter) ซึ่งใช้หลักการการตัดแก้ว โดยการทำให้มีรอยขีดบนเส้นใยแสงก่อนแล้วงอเส้นใยแสงมันจะขาดจากกันได้โดยง่ายดังรูปที่ 2.79 (b) และจะได้ผลการตัดที่มีผิวหน้าตัดเรียบสม่ำเสมอติดรูปที่ 2.79 (c)



(a) คัดด้วยคีมตัดธรรมดา



(b) หลักการตัดโดยใช้ FIBER CUTTER



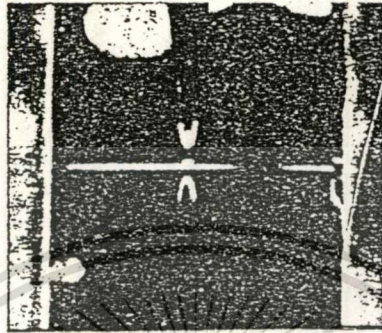
(c) คัดด้วย FIBER CUTTER

รูปที่ 2.79 ผิวหน้าตัดของเส้นใยแสง

ขั้นตอนต่อไปคือ วิธีปรับแกนของเส้นใยแสงที่ตัดแล้วให้ตรงกัน ในกรณีของเส้นใยแสงแบบ GI นั้น เนื่องจากเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของ Core มีขนาดใหญ่ถึง $50\mu\text{m}$ แม้ว่าจะยอมให้เปอร์เซ็นต์การคลาดเคลื่อนของศูนย์กลางของ Core มีค่าสูงสุดถึง 6% ก็ตาม แต่ก็ไม่ทำให้การสูญเสียจากการต่อเชื่อมเพิ่มขึ้นจนเป็นปัญหามากเท่าใด ดังนั้นเพียงแต่นำเส้นใยแสงที่จะต่อเชื่อมไปวางบนร่องที่มีรูปร่างเป็นรูปตัวอักษร V (V-Type groove) ซึ่งปรับแกนให้ตรงกันไว้แล้ว เท่านั้นก็เป็นอันใช้ได้ (การทำเช่นนี้เรียกว่าการปรับเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก) อนึ่งในกรณีของเส้นใยแสงแบบ SM เนื่องจากเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของมันมีขนาดเล็กมาก การปรับเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกแต่เพียงอย่างเดียวเท่านั้นไม่พอ เพราะผลจากการคลาดเคลื่อนของศูนย์กลาง จะทำให้การสูญเสียเพิ่มขึ้นอย่างมาก เพื่อเป็นการลดการสูญเสียนี้จำเป็นต้องใช้ Core Monitor หรือ Power Monitor

นอกจากนี้ เพื่อเป็นการทำให้ผิวด้านหน้าของเส้นใยแสงที่ตัดด้วย Fiber Cutter เรียบสม่ำเสมอดีนั้นจะใช้วิธีที่ให้ผลดีคือ จะให้ความร้อนแก่ด้านปลายของเส้นใยแสงที่จะทำการต่อเชื่อมเสียก่อน เพื่อทำให้หลอมตัวและหลังจากที่ทำให้ด้านปลายของเส้นใยแสงสม่ำเสมอเท่ากันด้วยแรงดึงผิวด้านนอกแล้ว จึงให้ความร้อนใหม่อีกครั้งหนึ่งเพื่อต่อเชื่อมเข้าด้วยกัน วิธีการเช่นนี้

เรียกว่า Preheat Splicing Method รูปที่ 2.80 แสดงช่วงระยะเวลาที่ทำการต่อเชื่อมด้วยการให้ Electric Arc แก่เส้นใยแสง



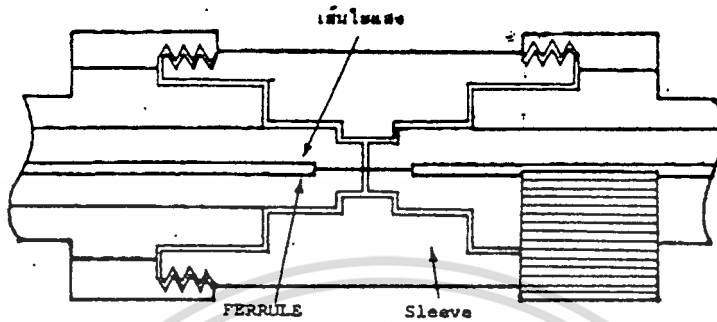
รูปที่ 2.80 ช่วงระยะเวลาระยะที่ทำการเชื่อมด้วย ELECTRIC ARC FUSION

อนึ่ง ในการต่อเชื่อมเส้นใยแสงนั้น เนื่องจากต้องปก Cover ออกหมดทำให้ความแข็งแรงทาง Mechanic ลดลงจึงจำเป็นต้องหาวิธีการอย่างใดอย่างหนึ่งเพื่อเพิ่มความแข็งแรงขึ้นให้เหมือนเดิม สำหรับจุดประสงค์นี้ NTT ใช้วิธีการนำท่อที่หดตัวได้เมื่อได้รับความร้อน (Heat Contracting Tube) ไปหุ้มตรงส่วนที่ปก Cover ออกหมด หลังจากที่ต่อเชื่อมเสร็จแล้ว เพื่อเพิ่มความแข็งแรงขึ้นให้เหมือนเดิม

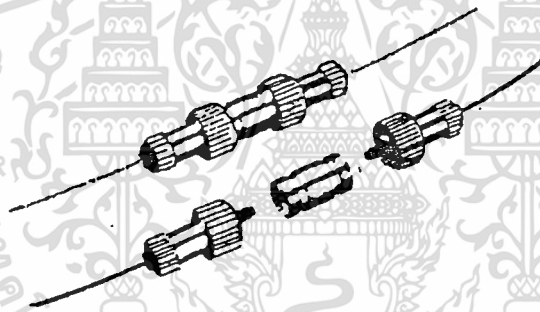
การต่อเชื่อมด้วย CONNECTER

การต่อเชื่อมด้วย Connector จะใช้กับส่วนที่มีการต่อเข้าและถอดออกบ่อยๆ การต่อเชื่อมด้วย Connector ก็เช่นเดียวกันกับกรณีของการต่อเชื่อมด้วย Electric Arc Splicing กล่าวคือด้านปลายทั้งสองของ Core ของเส้นใยแสงจะต้องตรงกันพอดี โดยทั่วไปนิยมใช้ Connector แบบ Ferrule โครงสร้างหลักของ Connector แบบ Ferrule แสดงดังรูป 2.81(a) Ferrule เป็นส่วนที่ทำให้ศูนย์กลางของ Core ของเส้นใยแสงตรงพอดีกับศูนย์กลางของ Connector และตัวที่ทำหน้าที่เป็น Sleeve(ปลอก) นำให้ Ferrule กับ Core สามารถปรับต่อกันได้อย่างถูกต้องแน่นอนนั้นเรียกว่า Ferrule Type Connector ในการประกอบ Connector นั้นจะต้องสอดเส้นใยแสงเข้าไปใน Ferrule แล้วยึดให้แน่น จากนั้นจึงทำการขัดผิวหน้าด้านปลายของ Ferrule ให้เรียบ เหตุผลของการขัดผิว

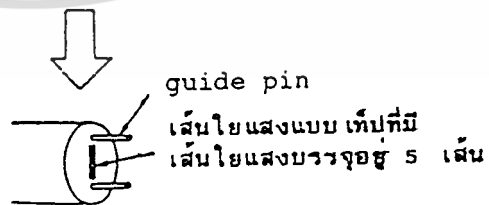
หน้าด้านปลายของ Ferrule ก็เพื่อลดการสูญเสียอันเนื่องมาจากผิวหน้าของเส้นใยแสงไม่เรียบนั่นเอง



(a) แสดงรูปตัดขวางของ CONNECTOR แบบ FERRULE



(b) CONNECTOR แบบใช้กับเส้นใยแสงเส้นเดียว



(c) CONNECTOR แบบใช้กับเส้นใยแสง 5 เส้น

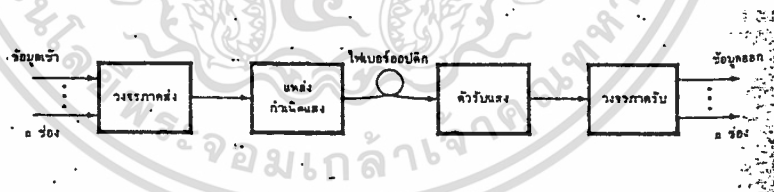
รูปที่ 2.81 การต่อเชื่อมด้วย Connector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับรูปที่ 2.81(b) แสดงตัวอย่าง Connector สำหรับเส้นใยแสง 1 เส้นที่ NTT ใช้งานอยู่ ส่วนรูปที่ 2.81 (c) นั้นแสดงตัวอย่างของ Connector สำหรับเส้นใยแสง 5 เส้น โดยที่ทำให้เส้นใยแสงจำนวน 5 เส้นรวมเข้าด้วยกัน สามารถต่อเข้าด้วยกันพร้อมๆ กันได้ ซึ่งก็เป็น Connector ที่ NTT ใช้งานอยู่เช่นกัน

2.4 ระบบสื่อสารเส้นใยแสง

ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงมีโครงสร้างคล้ายกับระบบการสื่อสารด้วยสายเคเบิล เพียงแต่ใช้ตัวกลางนำข้อมูลที่แตกต่างกัน กล่าวคือเมื่อต้องการส่งข้อมูลที่อยู่ในรูปของสัญญาณเสียง สัญญาณภาพ หรือข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ วงจรภาคส่งจะทำหน้าที่จัดรูปสัญญาณให้เหมาะสมด้วยวิธีการเข้ารหัสและมอดูเลต โดยลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่ มักจัดให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัลเพราะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า จากนั้นวงจรในส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงหรือไดโอดเปล่งแสงสัญญาณ จะแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้ให้เป็นสัญญาณแสงส่งไปยังสถานีรับ โดยมีเส้นใยแสงเป็นท่อนำสัญญาณ ที่สถานีรับจะมีโฟโตรีเซปเตอร์คอยเปลี่ยนสัญญาณแสงที่รับได้ให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า แล้วส่งไปยังวงจรภาครับเพื่อถอดรหัสและดีมอดูเลตสัญญาณ ทำให้ได้สัญญาณที่มีลักษณะเดียวกับสัญญาณเดิมเป็นข้อมูลขาออกที่นำไปใช้งานต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2.82



รูปที่ 2.82 ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

ในช่วงระหว่างสถานีส่งสัญญาณและสถานีรับสัญญาณที่เชื่อมด้วยเส้นใยแสง จะต้องมีการมีสถานีทวนสัญญาณ (Repeater) ทำหน้าที่ขยายและจัดรูปสัญญาณที่เกิดการผิดเพี้ยนไปในการเดินทาง ในการใช้งานจริงระยะห่างระหว่างสถานีทวนสัญญาณมีค่าประมาณ 10 กิโลเมตร ขึ้นไปโดยจะขึ้นกับขนาดหรือปริมาณของข้อมูลที่ได้รับส่งสำหรับระบบที่มีประสิทธิภาพสามารถ

รับส่งสัญญาณข้อมูลที่มีขนาด 2 Gb/s (สองพันล้านบิตในหนึ่งวินาที) ไปเป็นระยะทาง 2200 กิโลเมตร โดยมีสถานีทวนสัญญาณเพียง 25 สถานี ในทุกๆระยะ 80 กิโลเมตร

2.4.1 วงจรภาคส่ง

เนื่องจากเส้นใยแสงมีขนาดของแบนด์วิธกว้างมาก เมื่อเทียบกับสายเคเบิลทำให้สามารถส่งข้อมูลจำนวนมาจากหลายๆแหล่งได้ภายในช่วงเวลาเดียวกัน ยกตัวอย่าง หากระบบถูกออกแบบให้ใช้คลื่นแสงที่มีขนาดความยาวคลื่น 0.63 ไมครอน หรือมีค่าความถี่ 4.7×10^{14} เฮิรตซ์ เป็นตัวส่งสัญญาณข้อมูล โดยกำหนดให้ช่วงแบนด์วิธของการส่งข้อมูลมีเพียง 1 เปอร์เซนต์ของค่าความถี่แสงที่ใช้ จะได้แบนด์วิธที่มีความกว้างถึง 4700 จิกะเฮิรตซ์ นั่นหมายความว่า เราสามารถส่งสัญญาณโทรทัศน์ได้เกือบ 1 ล้านช่อง ในช่วงเวลาเดียวกัน หลักการสำคัญที่จะส่งสัญญาณจำนวนมากพร้อมกันให้มีประสิทธิภาพขึ้นกับวิธีการเข้ารหัส การมอดูเลตและการมัลติเพล็กซ์สัญญาณในวงจรภาคส่ง

2.4.1.1 การเข้ารหัส

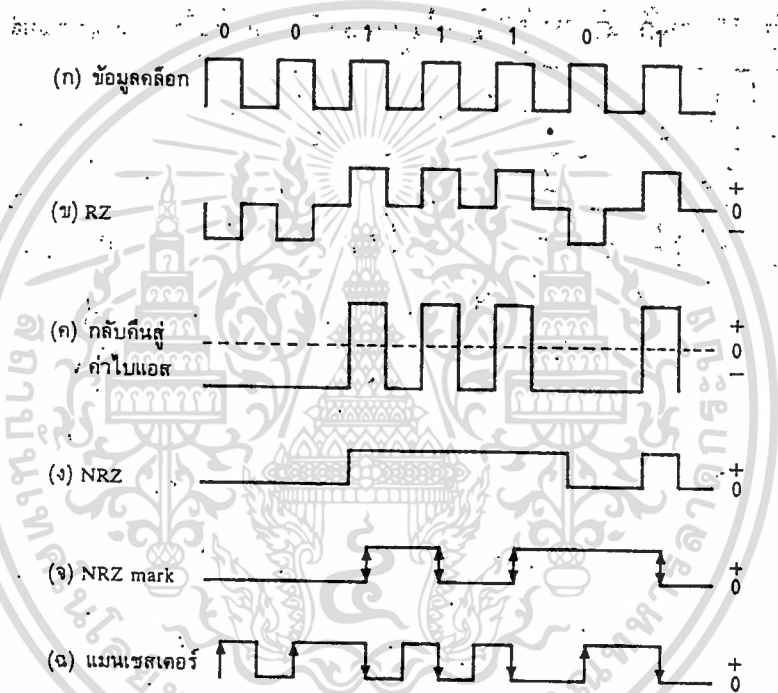
การเข้ารหัสแบบดิจิทัลที่ใช้ในระบบสื่อสารเส้นใยแสงมีหลายวิธีดังแสดงในรูปที่ 2.83 ซึ่งเป็นตัวอย่างการเข้ารหัสข้อมูล 0011101 โดยมีระยะเวลาของการแสดงค่าข้อมูลถูกกำหนดด้วยสัญญาณนาฬิกา (Clock)

วิธีการแรกในรูปที่ 2.83(b) มีชื่อว่า RZ (Return to Zero) เป็นการกำหนดสถานะของข้อมูลให้มีค่าเป็นไฟบวก(+) หรือไฟลบ(-) ขึ้นกับชนิดของข้อมูลว่าเป็น 1 หรือ 0 ตามลำดับ โดยสถานะของสัญญาณจะแสดงในทุกๆ ครึ่งลูกคลื่นแรกของสัญญาณคล็อก และจะกลับคืนสู่สถานะศูนย์ในช่วงครึ่งลูกคลื่นที่เหลือ

ในรูปที่ 2.83 (c) เป็นการเข้ารหัสแบบกลับคืนสู่ค่าไบอัส(Return to Bias) ลักษณะของสัญญาณจะแสดงเพียงสองสถานะคือบวกกับลบโดยสัญญาณในครึ่งลูกคลื่นแรกเป็นตัวแสดงชนิดของข้อมูลด้วยสถานะบวกเมื่อข้อมูลเป็น 1 และมีสถานะเป็นลบเมื่อข้อมูลเป็น 0 สัญญาณในครึ่งลูกคลื่นหลังต้องมีค่าอยู่ในสถานะลบเท่านั้น

การเข้ารหัสแบบ NRZ (Non Return to Zero) ในรูปที่ 2.83 (d) มีหลักการทำงานคล้ายกับสองแบบแรก เพียงแต่ไม่จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ในครึ่งลูกคลื่นหลังสถานะของสัญญาณขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูลขณะเวลานั้นๆ เป็นหลัก

ในรูปที่ 2.83 (c) เป็นการเข้ารหัสที่ปรับปรุงมาจากชนิด NRZ โดยสัญญาณจะมีการเปลี่ยนสถานะ (จาก 0 ไป 1 หรือจาก 1 ไป 0) ทุกครั้งเมื่อข้อมูลบิตมีค่าเป็น 1 และจะไม่เปลี่ยนสถานะเมื่อข้อมูลเป็น 0

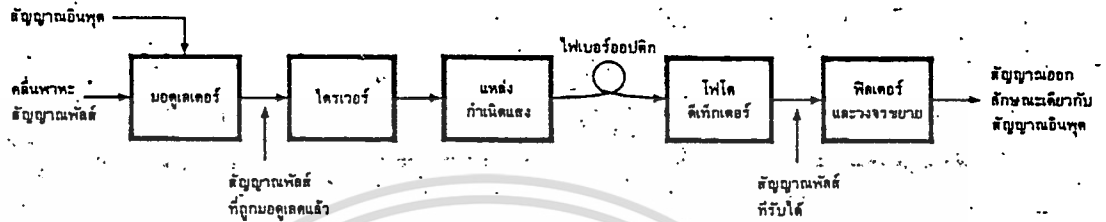


รูปที่ 2.83 เทคนิคการเข้ารหัสทางดิจิทัล

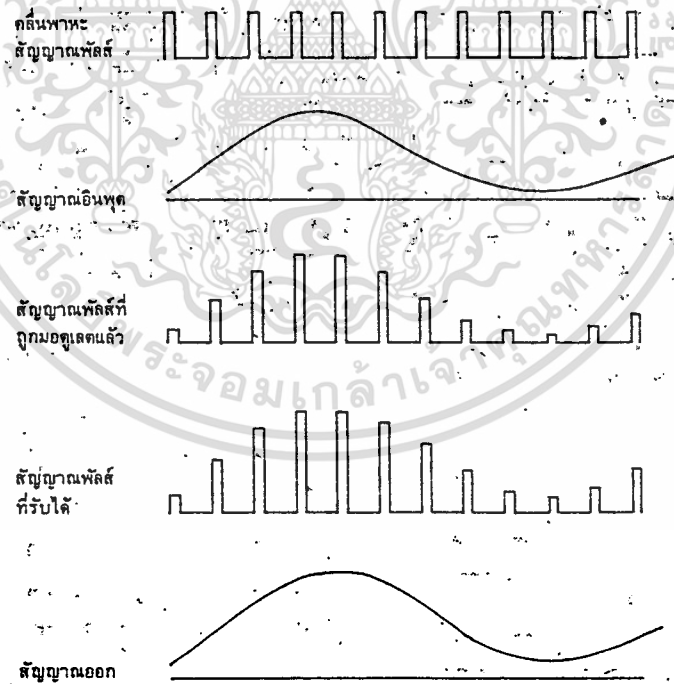
การเข้ารหัสในรูปที่ 2.83 (ก) มีชื่อว่าแมนเชสเตอร์ หรือ ไบเฟส โดยสัญญาณจะมีการเปลี่ยนแปลงทางขบขึ้นเมื่อข้อมูลเป็น 0 และเปลี่ยนแปลงทางขบลงเมื่อข้อมูลมีค่าเป็น 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.2 การมอดูเลต



รูปที่ 2.84 บล็อกไดอะแกรมของระบบ PAM



รูปที่ 2.85 การมอดูเลตแบบ PAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

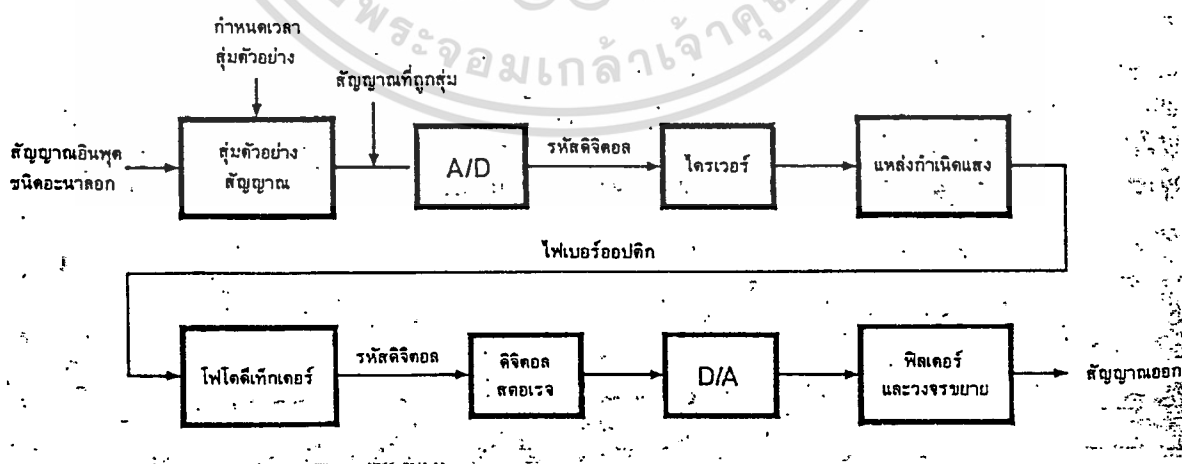
การมอดูเลตเป็นการผสมสัญญาณข้อมูลกับสัญญาณที่เป็นคลื่นพาหะเข้าด้วยกันในลักษณะใดลักษณะหนึ่ง เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลนั้นไปในระยะทางไกลได้ การมอดูเลตสัญญาณที่ภาคส่งของระบบการสื่อสารแบบดิจิทัลด้วยเส้นใยแสงอาจทำได้หลายวิธีดังนี้

1.พัลส์แอมพลิจูดมอดูเลชัน(PAM)

ลักษณะการทำงานของระบบ PAM แสดงดังรูปที่ 2.84 และรูปที่ 2.85 ซึ่งเป็นการมอดูเลตสัญญาณโดยใช้ขนาดของสัญญาณทางอินพุตที่เป็นสัญญาณอนาล็อกเป็นตัวกำหนดขนาดของสัญญาณพัลส์ที่ทำหน้าที่เป็นคลื่นพาหะ สัญญาณพัลส์ที่ถูกมอดูเลตแล้วจะทำหน้าที่ควบคุมแหล่งกำเนิดแสงให้ส่งสัญญาณข้อมูลที่เป็นพลังงานความเข้มของแสงขึ้นกับแอมพลิจูดของพัลส์โดยตรง ขนาดความถี่ของพัลส์ที่เป็นคลื่นพาหะ ต้องมีค่ามากกว่าความถี่ของสัญญาณอินพุตอย่างน้อยสองเท่า ค่าความถี่ของคลื่นพาหะนี้เรียกว่า “อัตราการแซมปลิง” (Sampling Rate) ในระบบทั่วไปอาจใช้อัตราการแซมปลิงมากกว่าความถี่สัญญาณอินพุตประมาณ 3 หรือ 4 เท่า ตัวอย่างเช่น ในระบบที่ต้องการส่งข้อมูลที่เป็นสัญญาณเสียงพูด (โทรศัพท์) ซึ่งมีค่าแบนด์วิดธ์ของสัญญาณข้อมูล (เสียงพูด) ประมาณ 4000 เฮิรตซ์ อาจใช้สัญญาณพัลส์ที่เป็นคลื่นพาหะมีค่าความถี่ประมาณ 16 กิโลเฮิรตซ์ เป็นตัวส่งข้อมูล

โดยปกติการมอดูเลตแบบ PAM ไม่ค่อยนิยมใช้กันมากนัก เว้นแต่จะใช้กับระบบสื่อสารระยะใกล้ ทั้งนี้ก็เพราะ PAM มีข้อเสียตรงที่มีความไวต่อการเกิดสัญญาณรบกวนสูงมาก

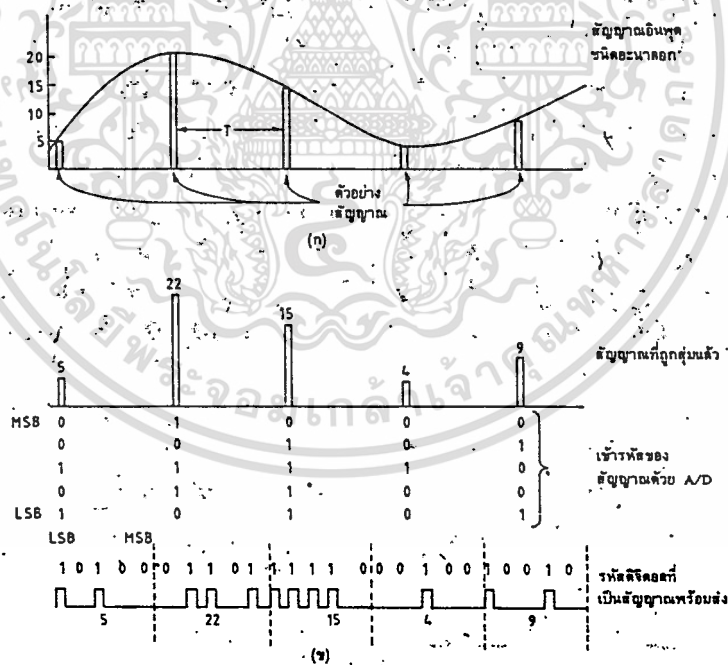
2.พัลส์โค้ดมอดูเลชัน (PCM)



รูปที่ 2.86 บล็อกไดอะแกรมของระบบ PCM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเทคนิคการมอดูเลตที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบสื่อสาร โดยเฉพาะระบบ โทรศัพท์ทางไกล ลักษณะการทำงานของระบบ PCM แสดงดังรูปที่ 2.86 และรูปที่ 2.87 ในตอนแรกสัญญาณอินพุตจะถูกสุ่มตัวอย่างหรือแซมเปิ้ล(Sample) ด้วยอัตราการแซมปลิงเหมือนกับระบบ PAM จากนั้นขนาดของสัญญาณที่ถูกสุ่มออกมา (ซึ่งก็คือแอมพลิจูดของพัลส์ในระบบPAM) จะถูกทำการเข้ารหัสเป็นข้อมูลทางดิจิทัลด้วยระบบไบนารี ความละเอียดของระดับสัญญาณขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่ใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลดิจิทัล (รูปที่ 2.87(b)) ที่ถูกเข้ารหัสแล้วจะทำหน้าที่ควบคุมแหล่งกำเนิดแสงให้ส่งข้อมูลออกไปในลักษณะของสวิตช์ปิด-เปิด ดังนั้นในระบบนี้สัญญาณแสงที่เป็นข้อมูลจะไม่คำนึงถึงระดับความเข้มแสง นอกจากการปิด-เปิดแสงในช่วงเวลาที่กำหนดในแต่ละบิตข้อมูล ทำให้ลดการเกิดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบ PAM ลงได้มาก สัญญาณดิจิทัลที่รับได้ในภาครับจะถูกแปลงกลับสู่สัญญาณอนาล็อกอีกครั้งหนึ่ง ก่อนถูกส่งผ่านวงจรกรองความถี่เพื่อทำให้ได้สัญญาณที่มีลักษณะเดียวกับสัญญาณอินพุตก่อนนำไปขยายสัญญาณเพื่อนำไปใช้งาน



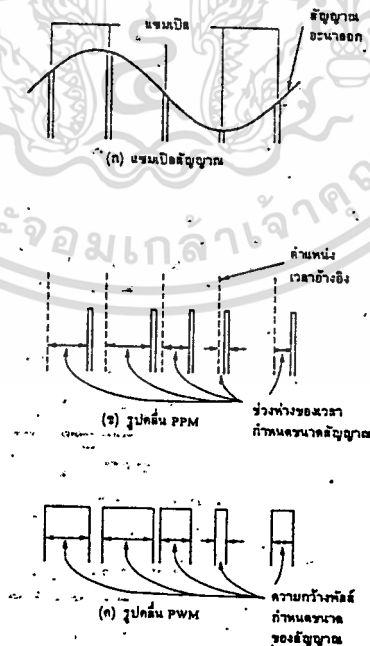
รูปที่ 2.87 รูปคลื่นของสัญญาณระบบมอดูเลตแบบ PCM

ประสิทธิภาพการส่งข้อมูลทางดิจิทัล สามารถกำหนดได้จากอัตราการส่งข้อมูลหรือ บิตเรต (bit rate) ในลักษณะของจำนวนบิตต่อเวลา ตัวอย่างเช่น ระบบโทรศัพท์ที่มีค่าแบนด์วิดท์ของข้อมูล (เสียงพูด) 4 กิโลเฮิร์ตซ์ หากใช้อัตราการแซมปลิงเป็น 4 เท่า คือใช้ค่าความถี่เท่ากับ 16 กิโลเฮิร์ตซ์ และให้ข้อมูลแต่ละค่าที่เกิดจากการสุ่มตัวอย่าง ถูกแปลงเป็นเลขไบนารีชนิด 8 บิต จะทำให้ได้บิตเรตของระบบมีค่าเท่ากับ 128 kb/s (กิโลบิตต่อวินาที) หรืออาจเขียนเป็นสูตรการคำนวณได้ว่า

$$\text{บิตเรต} = \text{แบนด์วิดท์} \times \text{อัตราการแซมปลิง} \times \text{จำนวนบิตต่อข้อมูล}$$

3.พัลส์โพซิชั่นมอดูเลชัน (PPM)

เป็นการมอดูเลตโดยใช้ขนาดของสัญญาณที่ถูกสุ่มตัวอย่าง เป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการส่งสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 2.88 (b) ข้อมูลแสงที่ถูกส่งออกจะเป็นลักษณะของการปิด-เปิดแสง โดยมีช่วงเวลาเริ่มต้นของการเปิดแสงที่เปลี่ยนไปจากจุดเวลาเริ่มต้นของการสุ่มตัวอย่างเป็นตัวบอกขนาดของข้อมูล ดังนั้นอัตราการแซมปลิงในระบบ PPM จะต้องมีช่วงเวลาดำของการสุ่มตัวอย่างมากพอที่จะไม่ทำให้ระยะเวลาของการส่งข้อมูลแสงเกิดการซ้อนทับกันได้



รูปที่ 2.88 เทคนิคของ PPM และ PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.พัลส์วิดธ์มอดูเลชัน(PWM)

มีลักษณะการทำงานแสดงดังรูป 2.88(c) ซึ่งมีหลักการคล้ายกับระบบ PPM เพียงแต่สัญญาณที่เป็นข้อมูลแสงจะเริ่มทำงาน (เปิดแสง) ณ เวลาของการเริ่มต้นสุ่มตัวอย่าง โดยช่วงเวลาการเปิดแสงหรือขนาดความกว้างของพัลส์จะเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมกับขนาดของข้อมูลที่ถูกสุ่มตัวอย่าง

ในระบบ PPM และ PWM ระยะเวลาของการปิด-เปิดแสงเพื่อส่งข้อมูลต้องมีความแน่นอนสูง มิฉะนั้นข้อมูลที่รับได้อาจเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ง่ายในขณะเดียวกันระบบการส่งสัญญาณแสงในช่วงระยะทางหนึ่ง มีผลทำให้สัญญาณข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงในเรื่องของขนาดความกว้างสัญญาณได้ จึงทำให้ระบบดังกล่าวไม่เป็นที่นิยมกันมากนัก

2.4.1.3 ระบบมัลติเพล็กซ์

ระบบมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) เป็นระบบที่ทำให้สามารถส่งและรับข้อมูลจากแหล่งต่างๆ จำนวนมากในช่วงเวลาเดียวกัน โดยใช้ตัวกลางนำข้อมูลเดียวกัน ในระบบสื่อสารเส้นใยแสงนับว่ามีประโยชน์มาก เพราะเป็นระบบที่มีช่วงของแบนด์วิธกว้างมากอยู่แล้ว ดังนั้นหากมีการนำเอาระบบมัลติเพล็กซ์ที่มีประสิทธิภาพสูงมาใช้ร่วมกัน ย่อมทำให้สามารถสื่อสารข้อมูลจำนวนมหาศาลได้ภายในช่วงเวลาเดียวกัน ระบบมัลติเพล็กซ์ที่ใช้กันอยู่พอจำแนกได้ดังนี้

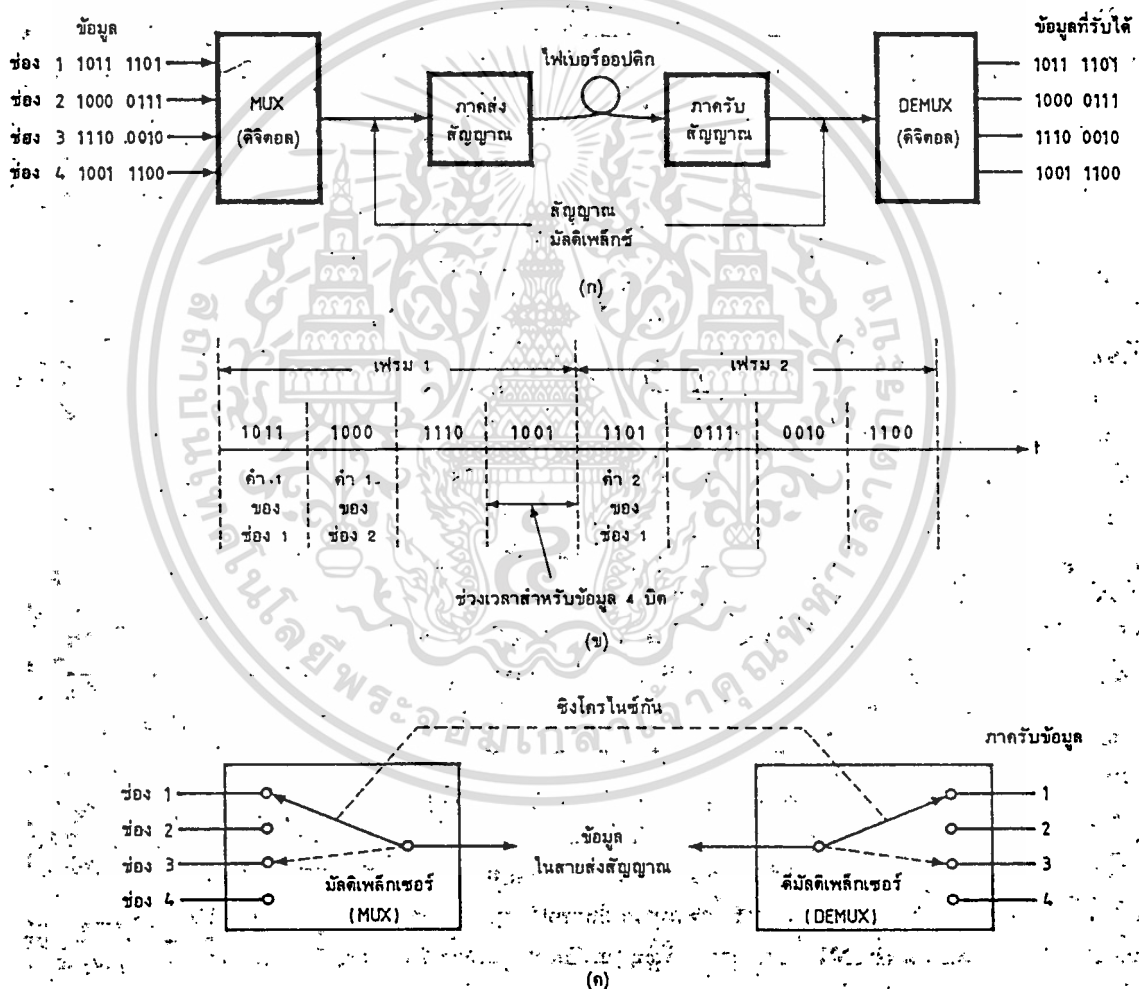
1.ระบบการแบ่งเวลา หรือ TDM (Time Division Multiplexing)

เป็นระบบที่ใช้การแบ่งเวลาเป็นช่วงๆ โดยในแต่ละช่วงจะใช้สำหรับการบรรจุข้อมูลที่มาจากแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ต่างๆเรียงกันไป

ในรูปที่ 2.89 เป็นการทำงานของระบบ TDM ที่ต้องการส่งข้อมูลจาก 4 ช่องสัญญาณพร้อมกัน โดยในแต่ละช่องสัญญาณจะส่งข้อมูลเป็นคำๆ ละ 4 บิต ข้อมูลทั้ง 4 ช่องจะถูกเลือกด้วยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่คล้ายสวิตช์ เชื่อมระหว่างภาคส่งและภาครับอย่างสัมพันธ์กัน โดยมีสัญญาณซิงโครไนซ์คอยควบคุม ระยะเวลาที่ใช้สำหรับส่งข้อมูลในแต่ละช่องต้องเท่ากัน (จำนวนบิตของข้อมูลแต่ละช่องควรเท่ากัน) และต้องมีช่วงเวลาพอที่จะส่งข้อมูลทั้งคำหรือ 4 บิตได้ เมื่อเริ่มต้นทำงานสวิตช์เลื่อนไปครบ 1 รอบ ข้อมูลที่เป็นคำแรกของทุกช่องสัญญาณจะถูกส่งไปยังภาครับทั้ง 4 ช่อง ชุดของข้อมูลที่ส่งไปในหนึ่งรอบนี้เรียกว่า “เฟรม” ดังแสดงด้วยไทม์มิงไดอะแกรมในรูปที่ 2.89(b) ในแต่ละเฟรมของข้อมูลควรมีสัญญาณอื่นแทรกไว้ เพื่อบอกให้ทราบว่ามีข้อมูลหมดเฟรมแล้ว ภาครับจะได้เตรียมตัวสำหรับสัญญาณในเฟรมใหม่ต่อไป

ในทางปฏิบัติ สัญญาณข้อมูลอินพุตอาจถูกมอดูเลตและเข้ารหัสด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งดังกล่าวข้างต้น จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งเข้าไปเก็บไว้ในวงจร “บัฟเฟอร์” สำหรับพักข้อมูลและรอเวลาถูกอ่านในระบบมัลติเพล็กซ์ ดังนั้นระบบ TDM จึงเหมาะสำหรับข้อมูลที่มีอัตราการส่งช้า โดยจะช่วยให้สามารถส่งข้อมูลได้พร้อมกันหลายช่อง ด้วยระบบที่มีอัตราการส่งข้อมูลของระบบมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) สามารถคำนวณได้จาก

อัตราการส่ง Multiplex = จำนวนช่อง*อัตราการส่งแต่ละช่อง

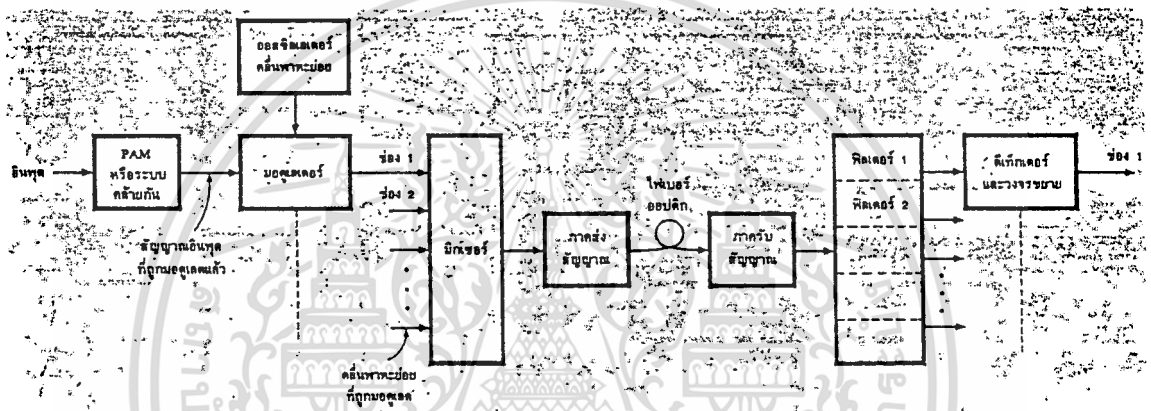


รูปที่ 2.89 การทำงานของระบบ TDM

ตัวอย่างเช่น เราต้องการส่งข้อมูลจำนวน 8 ช่องสัญญาณพร้อมกัน โดยในแต่ละช่องสัญญาณมีอัตราการส่งข้อมูล 1000 ไบต์ต่อวินาที หรือ 8000 บิตต่อวินาที (1 ไบต์ มี 8 บิต) สามารถใช้ระบบมัลติเพล็กซ์ชนิด TDM ที่มีอัตราการส่งข้อมูล $8 \times 8000 = 64$ กิโลบิตต่อวินาทีได้

2.ระบบการแบ่งความถี่ หรือ FDM (Frequency Division Multiplexing)

เป็นระบบมัลติเพล็กซ์ที่แบ่งช่วงความถี่ของสัญญาณส่งออกเป็นช่วงความถี่ย่อย เพื่อทำหน้าที่เป็นพาหะย่อยของข้อมูลในแต่ละช่องสัญญาณ ดังแสดงด้วยบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.90



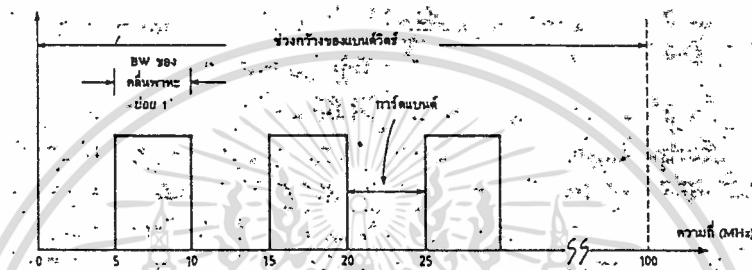
รูปที่ 2.90 บล็อกไดอะแกรมของ FDM

สมมุติว่าระบบเส้นใยแสงมีช่วงของแบนด์วิดท์หรือความถี่มากที่สุดที่จะใช้ส่งสัญญาณได้เป็น 100 เมกะเฮิร์ตซ์ เราอาจแบ่งช่วงความถี่ดังกล่าวออกเป็นช่วงความถี่ย่อยที่มีขนาด 5 เมกะเฮิร์ตซ์ (รูปที่ 2.91) ช่วงความถี่ย่อยนี้จะถูกใช้สำหรับการมอดูเลตสัญญาณอินพุตในแต่ละช่วง จะถูกกันด้วยช่วงความถี่ป้องกันหรือการ์ดแบนด์ (guard band) เพื่อกันมิให้สัญญาณข้อมูลมีการปะปนกันสัญญาณที่ถูกมอดูเลตแล้วทั้งหมดจะถูกจัดเรียงเป็นระเบียบและถูกส่งรวมกันอยู่ในรูปของสัญญาณแสงในเส้นใยแสง

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ภาครับของระบบ FDM โฟโตดีเทกเตอร์จะแปลงสัญญาณแสงทั้งหมดที่ได้รับได้ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าของคลื่นความถี่ที่ส่งออกมา แล้วผ่านเข้าไปในวงจรกรองความถี่ที่เหมาะสม เช่น จากตัวอย่างข้างต้น อาจใช้วงจรกรองในช่วงความถี่ 5-10 เมกะเฮิร์ตซ์ เป็นต้นข้อมูลสัญญาณที่ถูกกรองแล้วจะถูกคิ่บมอดูเลตเพื่อทำกลับคืนสู่รูปสัญญาณเดิมอีกครั้งหนึ่งในแต่ละช่องสัญญาณของมัน ก่อนนำไปใช้งานต่อไป



รูปที่ 2.91 ช่วงพาหะย่อยในแต่ละช่องสัญญาณของ FDM

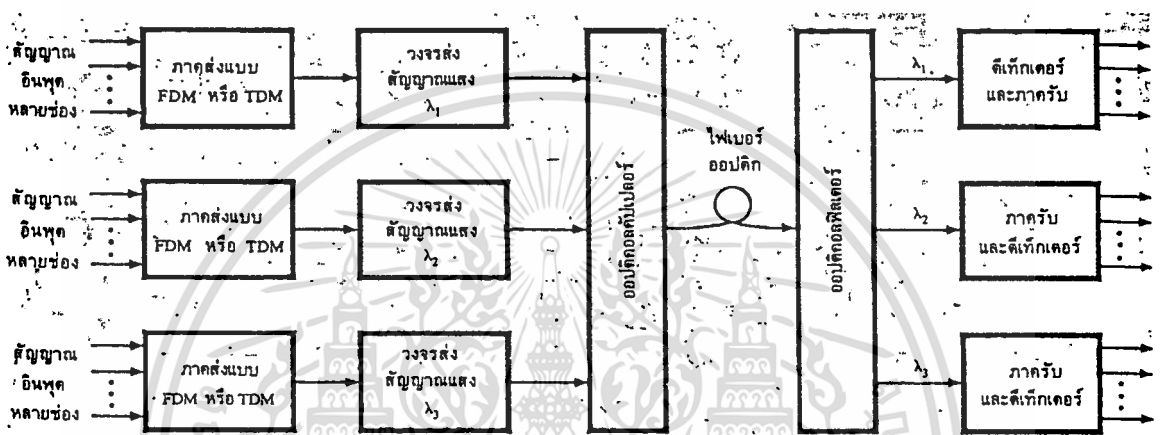
ปัญหาการใช้งานของระบบ FDM จะเกิดขึ้นในขณะที่มีการผสมคลื่นพาหะย่อยทั้งหมดเข้าด้วยกัน โดยใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ เพราะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนที่เรียกว่า ครอสทอล์ก (cross talk) ขึ้นได้ง่าย การแก้ไขทำได้ด้วยวิธีทางออปติก โดยการสร้างสัญญาณแสงของข้อมูลในแต่ละช่องสัญญาณก่อน จากนั้นทำการรวมสัญญาณแสงทั้งหมดให้เป็นสัญญาณเดียวด้วยอุปกรณ์ทางแสงที่เรียกว่า “ออปติคอลคัปเปิลเลอร์” ทำให้ได้สัญญาณแสงรวมส่งไปยังผู้รับ ลักษณะของสัญญาณแสงนี้อาจใช้ระดับความเข้มแสงช่วยกำหนดชนิดของข้อมูลได้

3. ระบบแบ่งความยาวคลื่น หรือ WDM (Wavelength Division Multiplexing)

เป็นระบบมัลติเพล็กซ์ที่ใช้คลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันเป็นพาหะนำข้อมูล โดยแสงทั้งหมดจะถูกรวมกันก่อนส่งออกด้วย ออปติคอลคัปเปิลเลอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.92 ซึ่งคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นค่าหนึ่ง สามารถบรรจุข้อมูลได้ 1 ชุด และข้อมูลแต่ละชุดนี้อาจเป็นข้อมูลจำนวนมากที่มาจากหลายช่องสัญญาณก็ได้ เพราะการจัดระบบข้อมูลสามารถเลือกใช้ระบบ TDM หรือ FDM ก็ได้ มาทำการมอดูเลตกับคลื่นแสงที่เป็นตัวนำส่งข้อมูล และเนื่องจากสัญญาณคลื่นแสงที่มีค่าความยาวคลื่นต่างกันยอมให้ค่าสีที่ต่างกัน บางครั้งระบบ WDM จะถูกเรียกว่า ระบบการผสมสีของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ภาครับ ข้อมูลแสงจะถูกแยกออก ในแต่ละช่วงของความยาวคลื่น ด้วย วงจรกรองแบบ ออปติคัล สัญญาณแสงที่ถูกแยกแล้ว จะถูกตีโมดูลेटและถอดรหัสด้วยวิธีที่เหมาะสมกับขบวนการทางอินพุต (ในลักษณะของ TDM หรือ FDM) ระบบ WDM นี้เป็นเทคนิคใหม่ที่เพิ่งถูกนำมาใช้ เพราะสามารถส่งข้อมูลจำนวนมหาศาลได้ เท่าที่ปรากฏในปัจจุบัน WDM สามารถใช้กับคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันไม่เกิน 3 ค่าเท่านั้น



รูปที่ 2.92 การทำงานของระบบ WDM

2.4.2 วงจรไดรเวอร์

วงจรไดรเวอร์หรือวงจรขับสัญญาณเป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยให้แหล่งกำเนิดแสงที่เป็น LED หรือ เลเซอร์ไดโอด ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลักษณะวงจรไดรเวอร์สำหรับ LED ก่อนข้างแตกต่างจากวงจรของเลเซอร์ไดโอด ทั้งนี้เนื่องจาก LED มีคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นในการเปล่งแสงตามค่ากระแสไบอัสโดยตรงทำให้เหมาะสำหรับระบบสื่อสารที่ใช้ข้อมูลแบบอนาล็อก ในขณะที่พลังงานแสงที่เปล่งออกมาจากเลเซอร์ไดโอด มักมีการเปลี่ยนแปลงสูงมากอย่างรวดเร็ว ทั้งๆที่กระแสไบอัสมีมากกว่ากระแสเทรชโฮลด์ (I_{th}) มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จึงนิยมใช้เลเซอร์ไดโอดกับวงจรขับสัญญาณที่มีข้อมูลเป็นแบบดิจิทัล

2.4.2.1 วงจรสำหรับ LED

แม้ว่า LED จะเหมาะสำหรับการส่งสัญญาณแบบอนาล็อก แต่ในระบบสื่อสารระยะไกล อาจสามารถใช้ส่งข้อมูลที่เป็นดิจิทัลได้ ดังเช่น วงจรในรูปที่ 2.93 ซึ่งเป็นวงจรใช้งานแบบง่าย ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรในรูปที่ 2.93 (a) ใช้สำหรับส่งข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 ทางดิจิทัลโดยค่าของกระแสที่ไหลผ่าน LED (I_F) ถูกกำหนดโดยกระแสคอลเลกเตอร์ (I_C) ของทรานซิสเตอร์ Q_1 และคำนวณได้ด้วย

$$I_F = I_C = (V_{CC} - V_F) / R_1$$

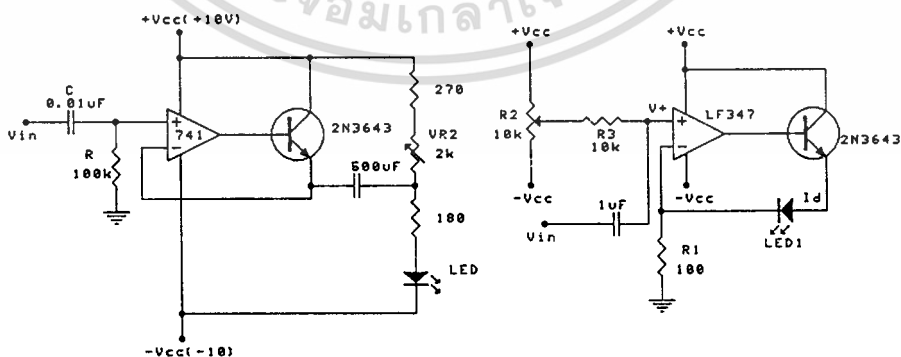
เมื่อ V_F เป็นแรงดันตกคร่อม LED ขณะไบอัสมีค่าตามสเปกที่กำหนด กระแสเบส I_B เป็นตัวควบคุมกระแส I_C อีกทีหนึ่งตามสูตรของ $I_B = I_C / \beta$ เมื่อ β คือ กำลังขยายของทรานซิสเตอร์ และ I_B คำนวณได้จาก

$$I_B = (V_{i(MAX)} - V_{BE} - V_F) / R_B$$

เมื่อ $V_{i(MAX)}$ คือ ค่าแรงดันสูงสุดของสัญญาณเข้า หรือก็คือ ระดับแรงดันขณะข้อมูลทางดิจิทัลเป็น “1”

วงจรในรูปที่ 2.93 (b) เป็นอีกลักษณะหนึ่งของการส่งข้อมูลดิจิทัล ที่มีเสถียรภาพมากกว่าวงจรในรูปที่ 2.93 (a) โดยใช้ IC เบอร์ 75451 หรือ 75450 เพียงบางส่วน ที่ขาหนึ่งของแอนด์เกตถูกกำหนดสถานะทางลอจิกเป็น “1” (+5V) ขาที่เหลือใช้สำหรับส่งข้อมูล โดยขณะข้อมูลเป็น “1” LED จะไม่ทำงานและเมื่อข้อมูลเป็น “0” LED จะส่งสัญญาณแสงออกมา ส่วนตัวเก็บประจุ (C) ใช้สำหรับลดผลของการเกิดแรงดันกระชาก ซึ่งปกติจะใช้ค่าประมาณ 1 μF และค่าของตัวต้านทาน R_1 สามารถคำนวณได้จากกระแสไบอัสตรง I_F ของ LED ที่กำหนดตามสเปกของมัน โดยใช้สูตรการคำนวณ

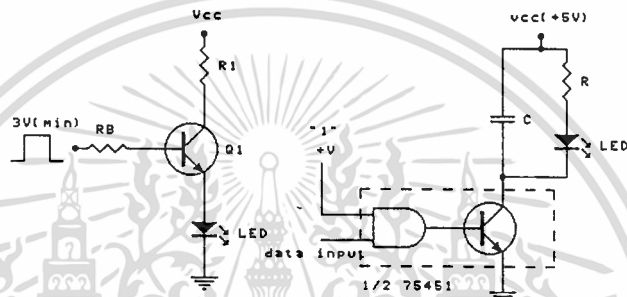
$$R_1 = (V_{CC} - V_F) / I_F$$



รูปที่ 2.93 วงจรไดรเวอร์ LED แบบดิจิทัล

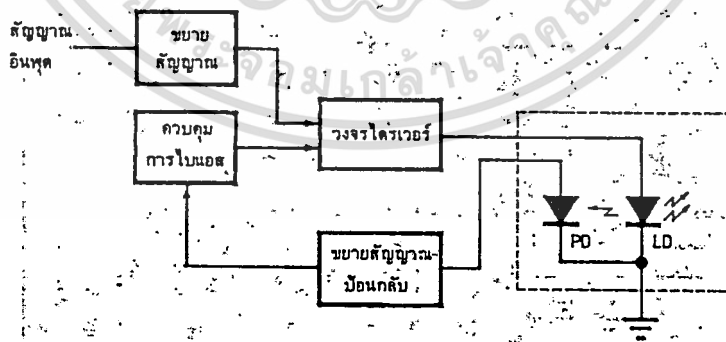
วงจรไครเวอร์ LED สำหรับสัญญาณอนาล็อก แสดงดังรูปที่ 2.94 โดยในรูปที่ 2.94 (a) เป็นตัวอย่างวงจรที่ถูกออกแบบให้มีค่ากระแสไบอัส LED อยู่ระหว่าง 7.5-40 มิลลิแอมป์ ขึ้นกับค่าของตัวต้านทาน VR1 ขนาดของสัญญาณอินพุตมีค่าอยู่ระหว่าง +2 โวลต์ ซึ่งจะถูกลบแปลงเป็นกระแสไหลผ่าน LED ที่มีค่าระหว่าง ± 10 มิลลิแอมป์

วงจรในรูปที่ 2.94 (b) ใช้กระแสขับ LED เป็นสัญญาณที่ป้อนกลับในวงจร ทำให้มีวงจรมีเสถียรภาพมากขึ้น ตัวต้านทานปรับค่าได้ VR₂ ใช้กำหนดขนาดกระแสไบอัสให้กับวงจร



รูปที่ 2.94 วงจรไครเวอร์ LED แบบอนาล็อก

2.4.2.2 วงจรเลเซอร์ไดโอด

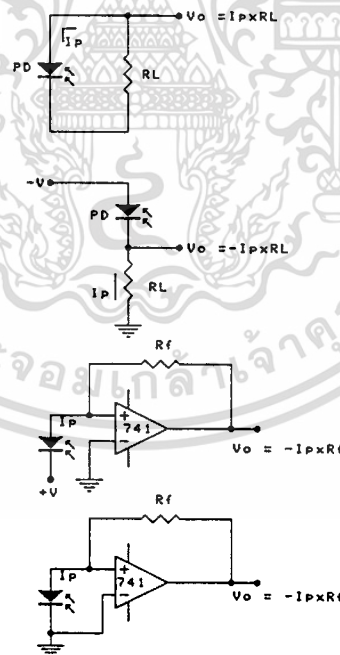


รูปที่ 2.95 บล็อกการทำงานของวงจรเลเซอร์ไดโอด

การใช้งานเลเซอร์ไดโอดในระบบสื่อสาร ก่อนข้างจะยุ่งยากในการออกแบบวงจร เพราะวงจรต้องมีประสิทธิภาพและความเที่ยงตรงสูง บล็อกไดอะแกรมของวงจรใช้งานเลเซอร์ไดโอดแสดงดังรูปที่ 2.95 ซึ่งมีหลักการไม่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับวงจร LED เพียงแต่เพิ่มส่วนป้อนกลับหรือฟีดแบ็คสัญญาณ เพื่อทำหน้าที่ควบคุมวงจรไดรเวอร์ให้เกิดความแน่นอน

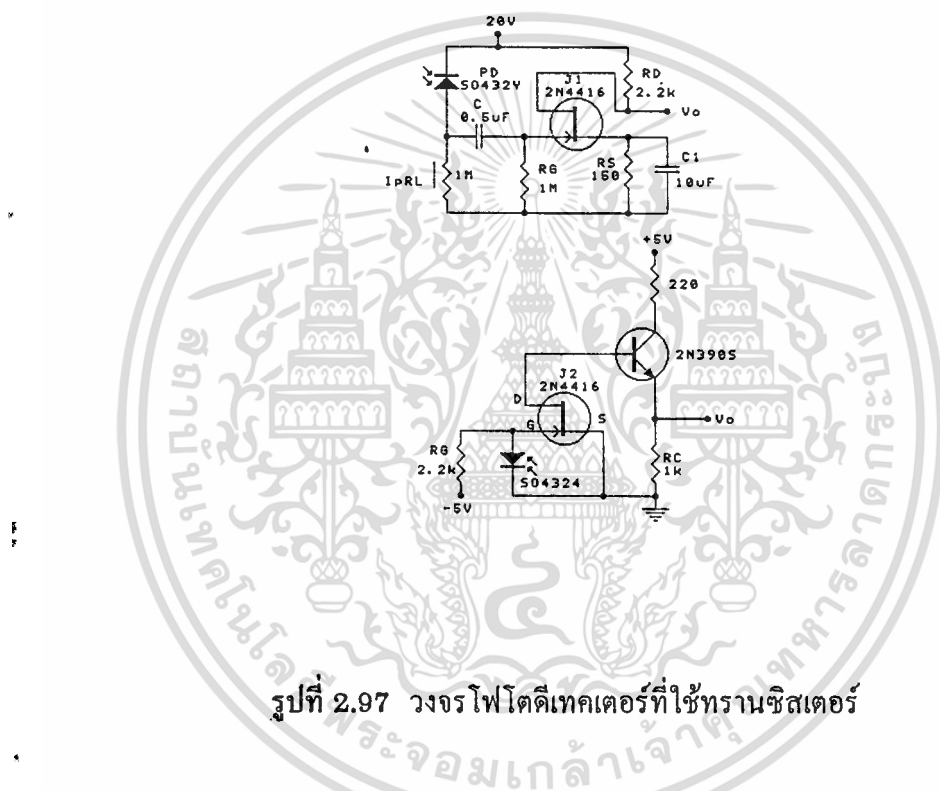
สัญญาณป้อนกลับอาจได้จากการใช้โฟโตดีเทคเตอร์ ที่มีประกอบอยู่ภายในตัวถังเดียวกันกับเลเซอร์ไดโอดในระบบสื่อสาร เป็นตัวดีเทคเตอร์แสงที่ส่งออกไป หากพลังงานแสงมีมากเกินไปสัญญาณป้อนกลับ จะควบคุมให้วงจรไดรเวอร์ลดกระแสขับเลเซอร์ไดโอดลง ในทางกลับกันหากความเข้มแสงที่ส่งออกมามีค่าน้อย วงจรไดรเวอร์จะช่วยเพิ่มกระแสไบอัสเลเซอร์ไดโอด ทำให้ระดับพลังงานแสงของระบบที่ส่งออกไปมีความเที่ยงตรงแน่นอน

2.4.3 วงจรดีเทคเตอร์



รูปที่ 2.96 วงจรทำงานของโฟโตไดโอด

ลักษณะวงจรทำงานในแบบของโหมคโฟโวลตาอิก แสดงดังรูปที่ 2.96 (a) โดยการต่อโฟโตไดโอดอนุกรมกับตัวต้านทานโหลด R_L เมื่อมีแสงตกกระทบบจะเกิดกระแสไหลทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมโหลด R_L มีค่าเท่ากับ $I_p * R_L$ เมื่อ I_p คือ กระแสที่ไหลในวงจรอนุกรมซึ่งมีค่าไม่มาก หากต้องการให้กระแส I_p มีค่ามากขึ้นต้องเพิ่มแรงดันไบอัสให้กับโฟโตไดโอดดังรูปที่ 2.96 (b) เพื่อให้เกิดการทำงานในโหมคโฟโตคอนดักทีฟ



รูปที่ 2.97 วงจรโฟโตดีเทคเตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์

ในทางปฏิบัติมักจะใช้วงจรที่ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมโฟโตไดโอดมีค่าคงที่ตลอดเวลาเพื่อช่วยให้สามารถสร้างกระแส I_p ได้อย่างมีเสถียรภาพดังเช่นวงจรในรูปที่ 2.96 (c) และรูปที่ 2.96 (d) ที่ทำงานในโหมคต่างกัน แต่ค่าของแรงดันเอาต์พุต V_{OUT} ที่ต้องการมีค่าเป็นไปตามสมการเดียวกันคือ

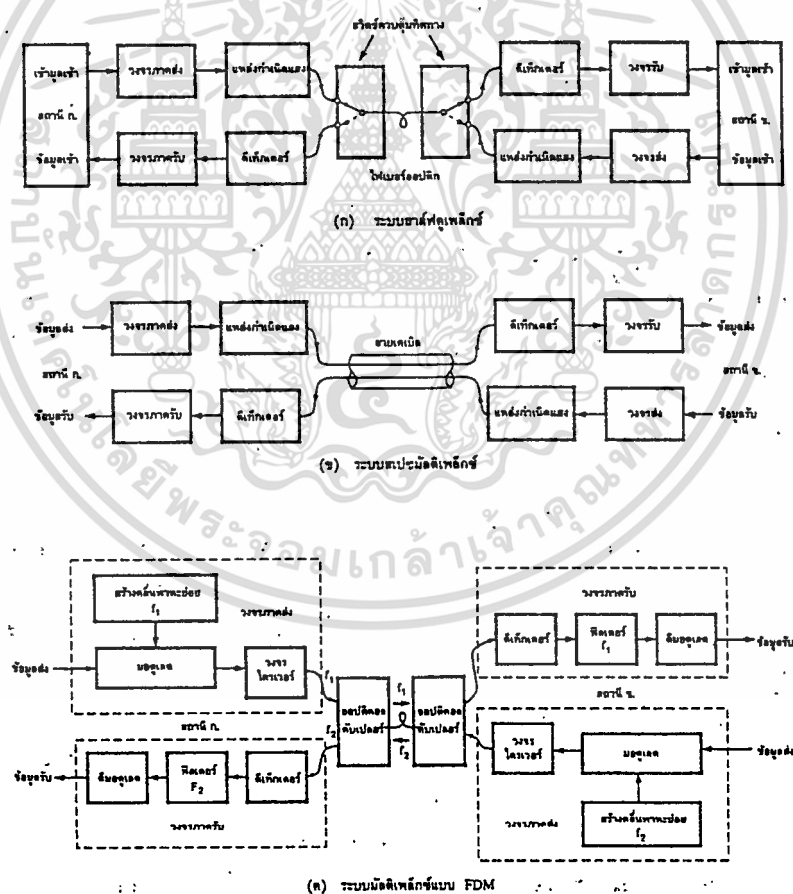
$$V_{OUT} = -I_p * R_F$$

วงจรในรูปที่ 2.96 (d) มีโหมคการทำงานแบบโฟโตคอนดักทีฟ จะทำงานได้เร็วกว่าวงจรในรูปที่ 2.96 (c) ซึ่งเป็นชนิดโหมคโฟโวลตาอิก ค่าของกระแส I_p เป็นผลอันเนื่องมาจากผลของแสงตกกระทบบ และคำนวณได้จาก

เมื่อ R เป็นค่าของกระแสต่อพลังงาน (แอมป์/วัตต์) กำหนดด้วยสเปกของมัน และ P_{in} เป็นพลังงานแสงหรือ ขนาดความเข้มแสงที่ตกกระทบโฟโตไดโอด ในการออกแบบวงจรต้องคำนึงถึงค่าของกระแสที่เกิดจากโฟโตไดโอด ขณะมีการไบอัสกลับรวมเข้าไปกับ I_p ด้วย จึงจะได้ค่าจริงออกมา

วงจรในรูปที่ 2.97 เป็นวงจรโฟโตไดโอดที่ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นส่วนขยายสัญญาณขั้นต้น โดยที่ทั้งวงจรในรูปที่ 2.97(a) เหมาะสำหรับการใช้งานในระบบบอานาล็อก และวงจรในรูปที่ 2.97(b) นั้นใช้กับระบบดิจิทัล

2.4.4 ระบบติดต่อสื่อสาร



รูปที่ 2.98 ระบบการสื่อสารแบบสองทางหรือดูเพล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของการติดต่อสื่อสารจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆคือ “ระบบซิมเพล็กซ์” (simplex) ซึ่งสถานีส่งมีหน้าที่ส่งข้อมูลเพียงอย่างเดียว และในทำนองเดียวกันสถานีรับก็ไม่มีความสามารถในการส่งข้อมูลกลับ ซึ่งในทางปฏิบัติมีใช้กันอยู่น้อยมาก และระบบสื่อสารที่แต่ละสถานีสามารถทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลได้เรียกว่า ระบบสื่อสารสองทาง หรือ “ระบบดูเพล็กซ์” (duplex) ในการสื่อสารข้อมูลสองทางอย่างง่าย อาจใช้สวิตช์เป็นตัวติดต่อสัญญาณรับ-ส่ง และสัญญาณส่ง-รับ ให้มีความสัมพันธ์กันระหว่าง 2 สถานี ดังรูปที่ 2.98 (a) ระบบนี้สถานีทั้งสองยังไม่สามารถโต้ตอบข้อมูลได้ทันทีทันใด ต้องรอจังหวะช่วงเวลาที่ยสวิตช์ต่อสัญญาณก่อน จึงเรียกลักษณะเช่นนี้ว่า ระบบกึ่งสองทาง หรือ “ฮาล์ฟดูเพล็กซ์”

การแก้ไขให้สถานีทั้งสองสามารถรับส่งข้อมูลได้ในช่วงเวลาเดียวกันอย่างง่าย ทำได้โดยนำระบบซิมเพล็กซ์ 2 ชุดเข้ามาใช้ เรียกว่า ระบบสเปซมัลติเพล็กซ์ (space multiplex) ดังรูปที่ 2.98(b) แต่ก็ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเกี่ยวกับอุปกรณ์นำสัญญาณ หรือเส้นใยแสงอีกเส้นหนึ่ง วิธีแก้ปัญหานั้นมีด้วยกันคือ การนำระบบมัลติเพล็กซ์แบบFDM หรือ TDM เข้ามาใช้ ดังแสดงในรูปที่ 2.98 (c) การเลือกใช้ระบบ FDM หรือ TDM นั้นขึ้นกับวัตถุประสงค์และอุปกรณ์ใช้งานในระบบเป็นหลัก

ในส่วนของวงจรจับสัญญาณหรือไดรเวอร์ ต้องออกแบบให้เหมาะสมกับแหล่งกำเนิดแสง ที่ใช้ว่าเป็นชนิดใด เช่น LED หรือ เลเซอร์ไดโอด เป็นต้น บริเวณช่วงรอยต่อระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับไฟเบอร์ออปติก ต้องมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า “คัปเปิลอร์” ทำหน้าที่รวบรวมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงให้ผ่านเข้าไปในเส้นใยแสงให้หมดหรือมากที่สุด เพื่อลดกำลังการสูญเสียสัญญาณ ตัวอย่างของคัปเปิลอร์แบบง่ายๆ ได้แก่ การใช้เลนส์รวบรวมแสง เป็นต้น

การเลือกใช้เส้นใยแสงขึ้นกับ ลักษณะของข้อมูลแสงที่ถูกส่งออกมารวมทั้งงบประมาณ ในการสร้างระบบ ซึ่งนั่นก็หมายถึง การเลือกเส้นใยแสง ให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานนั่นเอง ตัวอย่างเช่น ในระบบที่เส้นใยแสงโหมคร่วม สามารถทำงานได้คืออยู่แล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องใช้เส้นใยแสงโหมคเดี่ยว แม้ว่าจะดีกว่าก็ตาม เพราะมีราคาแพงกว่า อย่าลืมนะระยะทางระหว่างสถานีมิได้ห่างกันเพียงแค่นไม่กี่สิบเมตร แต่ห่างกันเป็นสิบกิโลเมตร และทั้งระบบอาจต้องใช้เส้นใยแสงหลายร้อยกิโลเมตรทีเดียว ต้นทุนของเส้นใยแสงจึงนับเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบด้วย

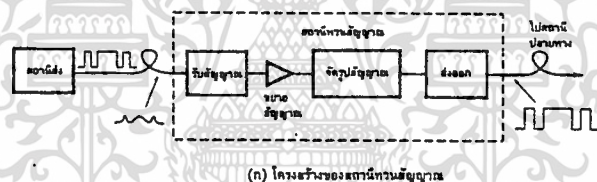
สถานีทวนสัญญาณมีความสำคัญต่อระบบสื่อสารที่มีระยะห่างระหว่างสถานีมากๆ ตำแหน่งของสถานีทวนสัญญาณขึ้นกับประสิทธิภาพของระบบ เทคโนโลยีในปัจจุบันสามารถสร้างระบบที่มีระยะห่างระหว่างสถานีทวนสัญญาณได้ประมาณ 100 กิโลเมตรเลยทีเดียว แต่ทั้งนี้ก็ต้องขึ้นอยู่กับปริมาณข้อมูลที่ใช้สื่อสารถึงกันด้วย เช่นถ้าปริมาณข้อมูลมีมาก ระยะห่างระหว่างสถานีทวนสัญญาณก็จะสั้นลง

ที่สถานีรับข้อมูลแสงจากเส้นใยแสง จะถูกถ่ายทอดสู่ตัวรับแสงหรือโฟโตดีเทคเตอร์ด้วย อุปกรณ์คัปเปิลอร์เช่นเดียวกันกับการส่งสัญญาณแสง. โฟโตดีเทคเตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า การเลือกใช้ชนิดของโฟโตดีเทคเตอร์ขึ้นอยู่กับความยาวของคลื่นแบบควิเวิร์ และกำลังความเข้มแสงที่ปลายเส้นใยแสง สัญญาณไฟฟ้าที่ถูกแปลงแล้วจะมีกำลังอ่อนมาก ต้องทำการขยายสัญญาณเสียก่อน แล้วจึงส่งเข้าไปสู่วงจรแยกสัญญาณ ซึ่งอาจเป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชียล หรือเป็นวงจรกรองสัญญาณในระบบ FDM ตามความเหมาะสมของระบบ สัญญาณข้อมูลที่ถูกแยกออกแล้วจะถูกถอดรหัส หรือดีมอดูเลตให้ได้สัญญาณที่มีลักษณะเดิมก่อนส่งออกไปใช้งานต่อไป

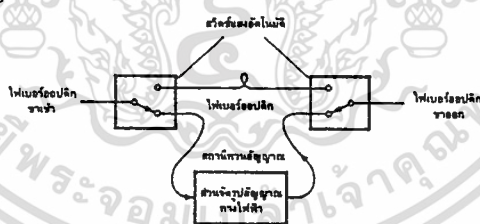
2.4.5 สถานีทวนสัญญาณ (รีพีตเตอร์)

สถานีทวนสัญญาณมีความจำเป็นในระหว่างช่วงของระยะสถานี เพื่อเสริมสร้างประสิทธิภาพของระบบและลดการผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในระบบสื่อสารแบบอนาล็อกมักไม่ค่อยเห็นสถานีทวนสัญญาณถูกใช้มากนัก ผิดกับระบบดิจิทัลที่สถานีทวนสัญญาณมีความสำคัญและจำเป็นมาก

โดยเฉพาะการสื่อสารระยะทางไกล เมื่อข้อมูลแสงที่เป็นดิจิทัลถูกส่งออกจากต้นทางไปเป็นระยะทางหนึ่ง ซึ่งจะไกลมากไกลน้อยขึ้นกับคุณภาพของระบบ สัญญาณจะถูกลดทอนและสูญเสียไปบ้าง อันเนื่องมาจากคุณสมบัติของไฟเบอร์อปติกเอง ทำให้ลักษณะสัญญาณผิดเพี้ยนไป ดังแสดงในรูปที่ 2.100 (a) ในตำแหน่งที่สัญญาณเดิมผิดเพี้ยนไปมากที่สุด ที่ยังพอจะมองรูปสัญญาณเดิมออก จะเป็นที่ตั้งของสถานีทวนสัญญาณ ซึ่งจะทำหน้าที่รับสัญญาณที่เข้ามาแปลงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า แล้วผ่านวงจรขยายก่อน ทำการจัดรูปสัญญาณเสียใหม่ ให้มีรูปแบบเหมือนเดิมเช่นเดียวกับที่ถูกส่งออกมาจากสถานีต้นทาง แล้วส่งออกไปยังสถานีปลายทาง



(ก) โครงสร้างของสถานีทวนสัญญาณ



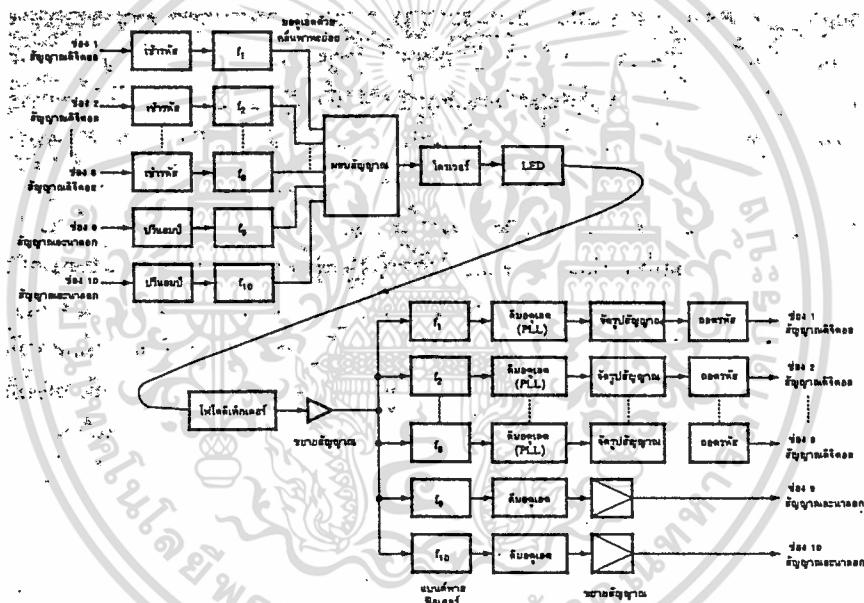
(ข) สถานีทวนสัญญาณกับสวิตช์แบบพาส

รูปที่ 2.100 สถานีทวนสัญญาณ

ดังนั้นหากระยะทางระหว่างสถานีรับและสถานีส่งไกลกันมาก จำเป็นต้องใช้สถานีทวนสัญญาณหลายสถานี สถานีทวนสัญญาณที่ดีต้องออกแบบให้สามารถทำงานแบบอัตโนมัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีอายุการทำงานนานๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการซ่อมแซมบ่อยๆ มิฉะนั้นจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายมาก ดังเช่น สถานีทวนสัญญาณที่อยู่ใต้มหาสมุทร เป็นต้น

ในกรณีที่สถานีทวนสัญญาณชำรุดหรือเกิดการผิดพลาดขึ้น จะทำให้ข้อมูลถูกปิดกั้น และไม่สามารถเดินทางต่อไปยังสถานีปลายทางได้ จึงต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์อัตโนมัติเรียกว่า สวิตช์บายพาส (bypass switch) ขึ้นภายในสถานี โดยสวิตช์บายพาสมีลักษณะการทำงานเชิงแสงเส้นใยแสงโดยจะทำหน้าที่เชื่อมออปติคระหว่างจุดที่รับสัญญาณและส่งสัญญาณเข้าด้วยกันอัตโนมัติ เมื่อสถานีทวนสัญญาณ ไม่สามารถทำหน้าที่ตามปกติของมันได้ วิธีนี้ถึงแม้ข้อมูลจะมีคุณภาพที่แย่งแต่ก็ยังดีกว่าการไม่มีข้อมูลส่งออกไปเลย

2.4.6 ตัวอย่างการออกแบบระบบ



รูปที่ 2.101 ระบบ FDM ที่ถูกออกแบบ

ในการออกแบบ ก่อนอื่นเราต้องทราบหรือกำหนดสเปกของระบบเสียก่อน ซึ่งจะมีค่าขึ้นอยู่กับการใช้งานเป็นสำคัญ ในที่นี้สมมุติระบบมีสเปกการทำงานดังนี้

- มีสัญญาณอินพุตแบบดิจิตอล 8 ช่อง แต่ละช่องส่งข้อมูลแบบอนุกรมขนาด 1250 คำต่อวินาที และข้อมูล 1 คำ ประกอบด้วยข้อมูลดิจิตอล 8 บิต

-มีสัญญาณอินพุตที่เป็นอนาล็อก 2 ช่อง แต่ละช่องมีแบนด์วิดท์ 5 กิโลเฮิร์ตซ์ ถ้าหากมีการเข้ารหัสให้ใช้แบบ PCM ที่มีข้อมูลดิจิทัล 6 บิตต่อหนึ่งแซมเปิล และควรมีอัตราการส่งอย่างน้อย 10000 แซมเปิลต่อวินาทีต่อช่องสัญญาณ

-ระยะห่างระหว่างสถานีส่งและสถานีรับมีค่าเท่ากับ 5 กิโลเมตร

-ใช้ LED หรือ เลเซอร์ไดโอดเป็นตัวส่งสัญญาณ

จากข้อกำหนดของระบบสัญญาณอินพุตมีจำนวนทั้งสิ้น 10 ช่อง ที่เป็นทั้งอนาล็อกและดิจิทัล เมื่อย้อนกลับไปพิจารณาทางเลือกของการออกแบบในรูปแบบที่ 2.99

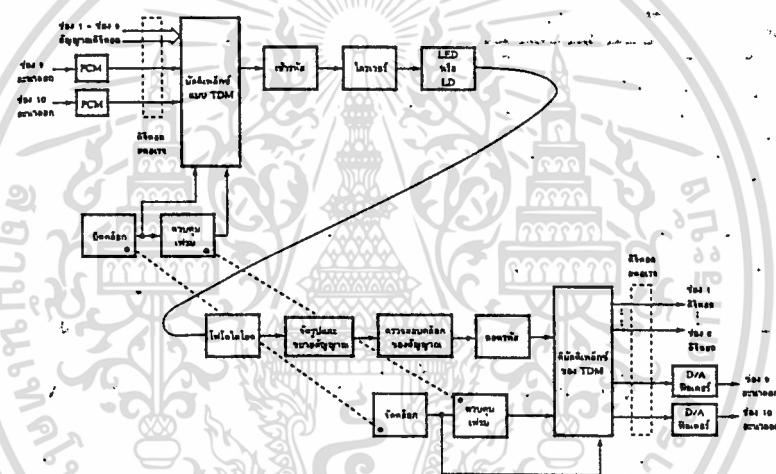
ทางเลือกแรก ที่เป็นไปได้คือ ใช้ระบบมัลติเพล็กซ์แบบ FDM ดังเช่นรูปที่ 2.101 โดยแบ่งคลื่นพาหะย่อยออกเป็น 10 ช่วง คือ $f_1, f_2, f_3, \dots, f_{10}$ เพื่อใช้สำหรับนำพาข้อมูลทั้งที่เป็นอนาล็อกและดิจิทัลทั้ง 10 ช่องไปพร้อมๆ กันเลย โดยสัญญาณดิจิทัลทั้ง 8 ช่อง อาจต้องถูกเข้ารหัสด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งก่อนถูกมอดูเลตกับคลื่นพาหะย่อย

ส่วนสัญญาณอนาล็อก หลังจากมีการขยายสัญญาณด้วยภาคปริแอมป์ก็สามารถมอดูเลตได้เลย การมอดูเลตก็เลือกใช้ระหว่าง AM และ FM จากนั้นทำการผสมสัญญาณทั้งหมดเพื่อส่งออกพร้อมกัน การเลือกใช้ LED เป็นแหล่งกำเนิดแสงก็เพราะว่าในระบบใช้งานนี้ต้องการความเป็นเชิงเส้นมากกว่า (อันเนื่องมาจากสัญญาณอินพุตที่เป็นอนาล็อก)

เนื่องจากระยะห่างระหว่างสถานีเพียงแค่ 5 กิโลเมตร จึงไม่จำเป็นต้องใช้ สถานีทวนสัญญาณแต่ประการใด ที่สถานีรับก็ใช้การสร้างวงจรกรองช่วงความถี่ ของแต่ละความถี่ของคลื่นพาหะย่อย เพื่อแยกสัญญาณแต่ละช่วงออกมาแล้วทำการดีมอดูเลต และถอดรหัสสำหรับสัญญาณดิจิทัล สำหรับสัญญาณอนาล็อก อาจนำสัญญาณที่ถูกดีมอดูเลตแล้วมาใช้ได้เลย ในกรณีที่สัญญาณดิจิทัลมีการมอดูเลตแบบ FM วงจรดีมอดูเลตอาจทำได้ไม่ยากนัก โดยใช้ไอซีประเภทเฟสล็อกกลูป (PLL) เพียงตัวเดียวเท่านั้น

ทางเลือกที่สอง ของการออกแบบแสดงดังรูปที่ 2.102 ซึ่งใช้ระบบมัลติเพล็กซ์แบบ TDM สัญญาณอนาล็อกสองช่องจะต้องถูกแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลแบบ PCM เสียก่อน ตามเงื่อนไขของสเปคที่กำหนด เนื่องจากสัญญาณดิจิทัล 8 ช่อง มีจำนวนข้อมูล 8 บิตต่อหนึ่งคำ แต่สเปคของสัญญาณอนาล็อกที่ถูกแปลงให้เป็นดิจิทัลต้องการเพียง 6 บิตต่อหนึ่งแซมเปิล (หรือต่อคำ) ดังนั้นเราจะเพิ่ม 2 บิต ที่ไม่มีค่าใดๆ (เหมือนกันหมดทุกคำในตำแหน่งเดียวกัน) รวมเข้าไปเพื่อให้ดูเหมือนข้อมูลมี 8 บิตต่อหนึ่งคำ

อัตราการส่งที่กำหนดต้องการอย่างน้อย 10000 คำต่อวินาทีต่อช่องสัญญาณ (1 คำมี 8 บิต) หรือนั่นก็คือส่ง 1 คำในทุกๆ 100 ไมโครวินาที ช่องสัญญาณทั้งหมดมี 10 ช่อง จึงต้องทำการแบ่งเวลา 100 ไมโครวินาที ออกเป็น 10 ช่อง เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลทุกช่องได้พร้อมกันในทีเดียว จะได้ว่าเวลาในการส่งข้อมูล 1 คำของแต่ละช่องคือ 10 ไมโครวินาที เมื่อนำมาจัดเป็นเฟรมสำหรับระบบ TDM จะได้ดังรูปที่ 2.102 ที่นี้ย้อนกลับมาคำนวณความเร็วของระบบหรือบิตเรทจะได้เท่ากับ 8 บิต ต่อ 10 ไมโครวินาที หรือ 800 กิโลบิตต่อวินาที (ไม่รวมเวลาที่ใช้ในการซิงโครไนซ์) แต่ถ้าจะคิดบิตเรทเฉพาะช่องสัญญาณที่เป็นดิจิทัลแล้ว ตามสเป็คกำหนดไว้ว่าแต่ละช่องจะส่งข้อมูล 10000 บิตต่อวินาที ซึ่งช้ากว่าระบบที่ออกแบบมาก ทำให้เวลาในการส่งข้อมูลสูญเสียไป



รูปที่ 2.102 ระบบ TDM ที่ถูกออกแบบ

การแก้ไขทำได้โดยการส่งข้อมูลเป็นอะซิงโครนัส เพื่อให้เวลาในการรับข้อมูลในแต่ละช่องไม่ต้องถูกจำกัดด้วยเวลาที่เท่ากัน การคิดบิตเรทจริงของระบบต้องคำนวณจากค่าของบิตเรทในแต่ละช่องรวมกัน ในที่นี้ระบบที่ใช้งานมีบิตเรทเท่ากับ 240 กิโลบิตต่อวินาที

การจัดเฟรมในระบบ TDM จะถูกควบคุมด้วยสัญญาณบิตคล็อกและส่วนควบคุมเฟรมเพื่อใช้เป็นสัญญาณซิงโครไนซ์ที่สถานีรับ ข้อมูลดิจิทัลที่ถูกจัดในแต่ละเฟรมอาจมีการเข้ารหัสในลักษณะของ RZ, NRZ หรือแมนเชสเตอร์ เพื่อให้สามารถส่งออกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ตัวกำเนิดแสงอาจเลือกใช้ LED หรือเลเซอร์ไดโอดตามความเหมาะสม

ที่ภาครับข้อมูลที่ได้รับได้จะถูกจัดรูปและตรวจสอบสัญญาณ เพื่อชิงโครโนซ์สัญญาณให้ได้ ข้อมูลที่ถูกต้อง และหากมีการเข้ารหัส (เช่น RZ, NRZ) มาก่อนจะต้องถูกถอดรหัสเสียก่อน แล้วจึงทำการดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณออกมาขณะทำการดีมัลติเพล็กซ์ สัญญาณคล็อกในสถานีส่งจะเป็นตัวกำหนดการชิงโครโนซ์ให้ถูกต้องยิ่งขึ้น สัญญาณคล็อกที่มาจากสถานีส่ง อาจใช้เส้นใยแสงอีกเส้นหนึ่งส่งมาพร้อมกันกับข้อมูล แต่วิธีการเช่นนี้ทำให้งบประมาณการใช้จ่ายมีค่าเพิ่มขึ้น การแก้ไขสามารถทำได้โดย วิธีเข้ารหัสข้อมูลที่จะส่งเป็นแบบแมนเชสเตอร์ซึ่งจะทำให้รับทราบตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสุดท้ายของข้อมูลได้ โดยการตรวจสอบด้วยตนเองจึงไม่จำเป็นต้องใช้ไฟเบอร์ออปติกเส้นอื่นเพื่อส่งสัญญาณคล็อกหรือสัญญาณชิงโครโนซ์อีกต่อไป

สัญญาณที่ถูกแยกออกมาแล้วในแต่ละช่อง จะผ่านขบวนการที่เหมาะสมของมันก่อนนำไปใช้งานต่อไป ดังเช่นสัญญาณอนาล็อกที่ถูกส่งมาแบบดิจิตอลจะต้องถูกแปลงกลับด้วยวงจรดีทูเอคอนเวอร์เตอร์ (D/A) เสียก่อน

2.4.7 ประสิทธิภาพของระบบ

ในระบบเส้นใยแสง ที่ถูกออกแบบต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพของมันว่าอยู่ในระดับใดและมีความสามารถในการใช้งานได้แค่ไหน โดยทั่วไปประสิทธิภาพของระบบมักจะพูดกันในเทอมของสิ่งเหล่านี้ เช่น กำลังการสูญเสีย (เดซิเบลต่อกิโลเมตร) ปริมาณข้อมูลในการรับส่งหรือบิตเรต (กิโลบิตต่อวินาที) ระยะทางทั้งหมดของระบบระหว่างสถานีต้นทางและสถานีปลายทางหรือตลอดสายเส้นใยแสง (กิโลเมตร) จำนวนสถานีทวนสัญญาณ เป็นต้น แต่ก็ยังมีบางครั้งคุณภาพของระบบอาจถูกแสดงด้วยศัพท์เทคนิคบางอย่าง เช่น

-BER เป็นคำย่อมาจากคำว่า Bit Error Rate หมายถึง จำนวนข้อมูลที่เกิดผิดพลาดในการรับต่อปริมาณข้อมูลทั้งหมดที่ส่งออกมา ค่าของ BER มากที่สุดที่ยอมรับได้ตามข้อมาตรฐานคือ ในการส่งข้อมูลจำนวน 10^9 บิต (หนึ่งพันล้านบิต) จะมีข้อมูลผิดพลาดได้เพียง 1 บิต นั่นคือค่าของ BER มีค่าเท่ากับ 10^{-9} หากค่าของ BER ในระบบมีค่าน้อยกว่านี้ (เช่น 10^{-14}) แสดงว่าระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น

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

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

เมื่อ P มีหน่วยเป็น มิลลิวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเช่น ระบบมีการส่งข้อมูลขนาด 100 เมกกะบิตต่อวินาที มีค่าความไวในการรับประมาณ -40 dBm จะสามารถใช้พลังงานแสงต่ำสุด (P) ได้เท่ากับ 100 นาโนวัตต์

2.4.8 การสูญเสียสัญญาณในเส้นใยแสง

เมื่อมีการป้อนข้อมูลที่เป็นสัญญาณแสงให้กับเส้นใยแสง ในช่วงระยะทางหนึ่ง สัญญาณอาจสูญหายที่ใดย่อมมีการสูญเสียหรือผิดเพี้ยนไปบ้าง เช่นเดียวกับการส่งข้อมูลด้วยสายเคเบิลลักษณะการสูญเสียในไฟเบอร์ออปติก แบ่งออกได้ดังนี้

1.การสูญเสียเนื่องจากวัสดุตัวกลาง

เป็นผลมาจากการดูดซับพลังงานภายในเนื้อสารที่ใช้ทำเส้นใยแสง ในขณะที่แสงเดินทางและชนกับโมเลกุลของมัน หากการดูดซับพลังงานในเนื้อสารมีมาก จนก่อให้เกิดการสูญเสียสัญญาณมากขึ้นด้วยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางโมเลกุลและความบริสุทธิ์ของเนื้อสารที่ใช้ทำเส้นใยแสง

2.การสูญเสียจากการกระจายของแสง

เมื่อแสงเดินทางในไฟเบอร์ออปติก จะเกิดการกระจายของแสงอันเนื่องมาจากการชนกับโมเลกุลของเนื้อสารทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณไป โดยอัตราการสูญเสียขึ้นอยู่กับโครงสร้างที่ไม่สมบูรณ์ของเนื้อสาร อีกทั้งขึ้นกับความยาวคลื่นของแสงที่เดินทางในเส้นใยแสงด้วย

3.การสูญเสียจากท่อนำสัญญาณ

เป็นการสูญเสียอันเนื่องมาจากการจัดวางของสายเส้นใยแสงที่ทำหน้าที่เป็นท่อนำ สัญญาณในลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรง ทำให้มุมของการตกกระทบของแสงที่ผนังระหว่าง Core กับ Clad เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นสัญญาณอาจสูญหายในระบบการสื่อสารชนิดโหมคร่วมจึงเกิดการผิดเพี้ยนได้ง่าย โดยมีขนาดความกว้างของสัญญาณมากขึ้นกว่าเดิม

การคิดค่ากำลังการสูญเสีย (L) ในเส้นใยแสง มักกระทำในเทอมของเดซิเบล (dB) โดยการคำนวณจากสูตร

$$L_{dB} = 10 \log(P_o / P_i)$$

เมื่อ

P_o คือ ค่าพลังงานเอาต์พุต

P_i คือ ค่าพลังงานอินพุตที่ป้อนให้กับเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมุติเราต้องการคำนวณหาค่าการสูญเสียจากเส้นใยแสงที่มีขนาดความยาว 100 เมตร เมื่อป้อนสัญญาณแสงที่มีพลังงาน $P_i = 10 \mu\text{W}$ เข้าไปในสาย และวัดสัญญาณขาออก $P_o = 9 \mu\text{W}$ จะได้ค่าการสูญเสียคำนวณจากสูตรได้

$$L_{dB} = 10 \log(9 / 10) = -0.458 \text{ dB}$$

หรืออาจจะคิดค่าการสูญเสียต่อหนึ่งหน่วยความยาว ก็นำค่าความยาว 100 เมตร (0.1 กิโลเมตร) ไปหารจะได้

$$L = -0.458 / 0.1 = -4.58 \text{ dB / km}$$

ค่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าเป็นลบหมายความว่า ค่าที่คำนวณได้เป็นค่าการสูญเสียนั่นเอง

ค่าการสูญเสียต่ำสุดของเส้นใยแสง ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ขึ้นอยู่กับค่าความยาวคลื่นของแสงที่ใช้สัญญาณข้อมูล (ผลจากการกระเจิงของแสง) กล่าวคือ

ที่ความยาวคลื่นแสง $1.55 \mu\text{m}$ ค่าการสูญเสียต่ำสุด 0.2 dB/km

ที่ความยาวคลื่นแสง $1.3 \mu\text{m}$ ค่าการสูญเสียต่ำสุด 0.4 dB/km

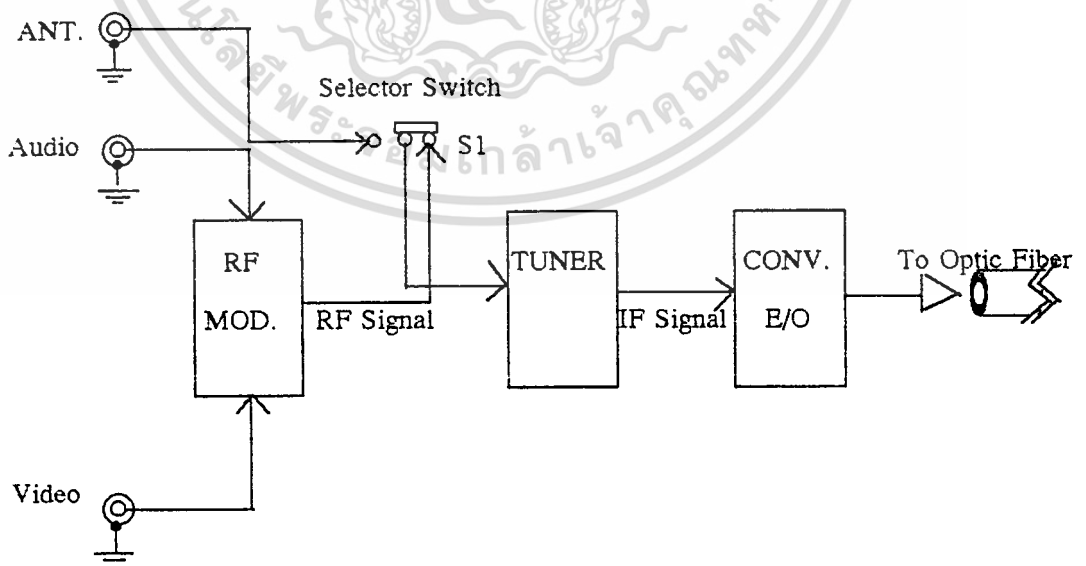
ที่ความยาวคลื่นแสง $0.85 \mu\text{m}$ ค่าการสูญเสียต่ำสุด 2.0 dB/km

บทที่ 3

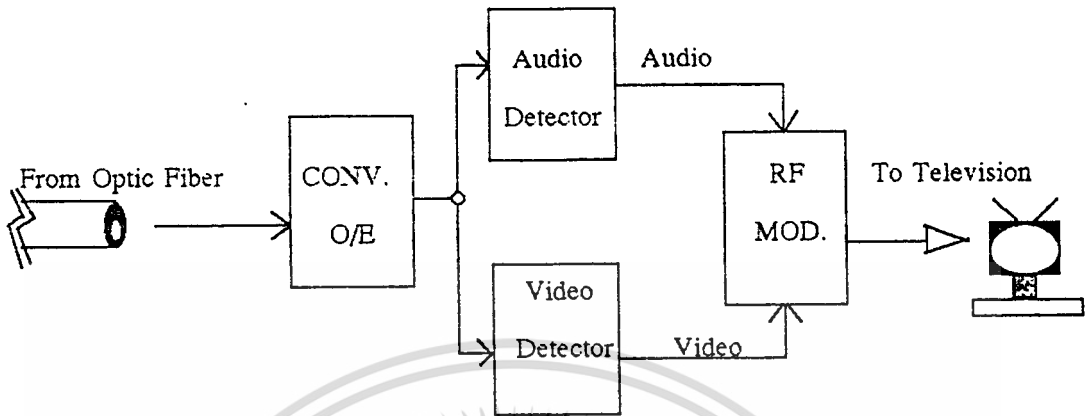
การออกแบบ

ในบทนี้ จะกล่าวถึงเรื่องของการออกแบบระบบและการสร้างวงจรส่วนต่างๆของโครงงานนี้ ซึ่งองค์ประกอบของโครงงาน จะสามารถแยกออกได้เป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือ วงจรทางด้านส่ง เช่น วงจรสร้างสัญญาณภาพโทรทัศน์ วงจรขยาย และวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง และวงจรทางด้านรับ เช่น วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้า วงจรแยกสัญญาณภาพ (video detector) วงจรแยกสัญญาณเสียง (audio detector) เป็นต้น จะกล่าวรายละเอียดต่อไป โดยทั่วไปแล้วระบบอนาล็อกสามารถจะนำเอา LED มาเป็นตัวเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้ LD ในการส่ง และในทำนองเดียวกันทางด้านรับก็จะใช้ PD เป็นตัวรับแสงแล้วทำการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้า จากข้อสรุปคุณสมบัติของอุปกรณ์ทั้งสอง คือ จะใช้ LED ทางด้านส่ง และ PD ทางด้านรับสามารถจะตอบสนองความถี่ที่จะใช้ในโครงงานนี้ได้ดี และมีประสิทธิภาพสูงพอสมควร และประหยัด

3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสง



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของภาคส่ง



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของภาครับ

3.2 วงจรภาคส่ง

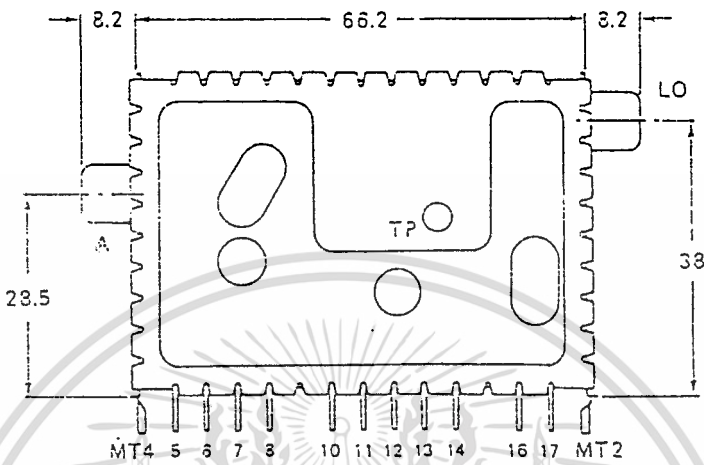
3.2.1 จูนเนอร์และภาคขยายไอเอฟ

จูนเนอร์คือการรับสัญญาณจากสถานีโทรทัศน์แล้วแปรเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณภาพ และเสียง ขึ้นที่เครื่องรับโทรทัศน์ หน้าที่การทำงานของจูนเนอร์พอสรุปได้ดังนี้คือ

1. เปลี่ยนสัญญาณจากสายอากาศ (ซึ่งจะมีขนาดตั้งแต่ 50MHz-1GHz) เป็นความถี่ไอเอฟค่าคงที่
2. ทำการขยายสัญญาณที่รับมาให้แรงขึ้นซึ่งขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณที่เข้ามา
3. ขจัดสัญญาณที่อยู่นอกย่านความถี่สัญญาณโทรทัศน์และสัญญาณรบกวนต่างๆ

สำหรับจูนเนอร์ที่ใช้ก็คือ UV 711 จูนเนอร์แบบนี้รับความถี่ได้ทั้งย่าน UHF และ VHF ในระบบโทรทัศน์ CCIR สำหรับตำแหน่งขาและหน้าที่การทำงานของขาต่างๆ แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.3

3.2.2 หน้าี่การทำงานแต่ละขาของจูนเนอร์ UV 711



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งขา TUNER

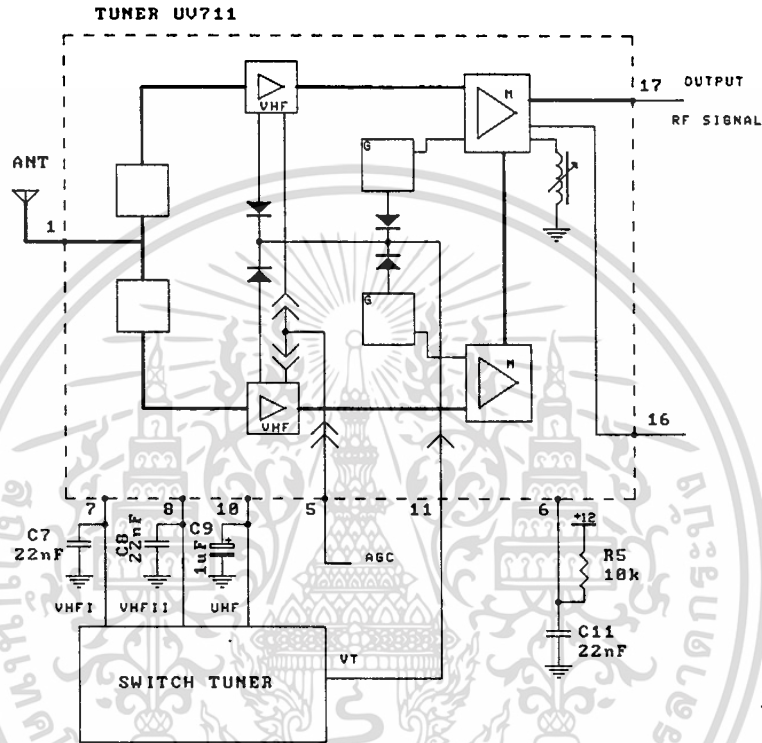
- ขา 1 เป็นขาสำหรับป้อนสัญญาณอาร์เอฟจากเสาอากาศเข้าที่ขา 1 โดยตรง
- ขา 5 เป็นขาสำหรับสัญญาณ เอจิจี ที่ป้อนกลับมาจากภาคไอเอฟ
- ขา 6 เป็นขาสำหรับป้อนไฟ +12 โวลต์ มาเลี้ยงที่ขานี้
- ขา 7 เป็นขาสำหรับเลือกความถี่ทางแบนด์ I หรือแบนด์ a หรือแบนด์ VHF_u ถ้ามีไฟ +11 ถึง +12 โวลต์ มาป้อนที่ขานี้
- ขา 8 เป็นขาสำหรับเลือกย่านความถี่ทางแบนด์ II หรือ แบนด์ b หรือแบนด์ VHF_u ถ้ามีไฟ +11 ถึง +12 โวลต์ มาป้อนที่ขานี้
- ขา 10 เป็นขาสำหรับเลือกย่านความถี่ทางแบนด์ IV หรือแบนด์ c หรือแบนด์ UHF ถ้ามีไฟ +11 ถึง +12 โวลต์ มาป้อนที่ขานี้
- ขา 11 เป็นขาป้อนศักย์ไฟจูนนิ่งโวลต์เตจ หรือวีจูน หรือวีแวร์ ซึ่งเป็นศักย์ไฟดิจิมีค่าตั้งแต่ 0 โวลต์ ถึง 24.5 โวลต์ ขณะที่กำลังค้นหาสถานีอยู่ศักย์ไฟจะเปลี่ยนแปลงจากต่ำไปสูง กลับไปมาตลอดเวลาที่กำลังค้นหาสถานีอยู่ หากพบสถานีที่ต้องการแล้ว ศักย์ไฟที่ขา 11 นี้จะต้องนิ่งไม่เปลี่ยนแปลงเลย หากศักย์ไฟเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจะทำให้สถานีเคลื่อนด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา 15 เป็นขากราวด์ของจูนเนอร์

ขา 17 เป็นขาเอาต์พุตของจูนเนอร์ ป้อนยังภาคไอเอฟต่อไป

3.2.3 การทำงานของอิเล็กทรอนิกส์จูนเนอร์



รูปที่ 3.4 วงจรภายในจูนเนอร์ระบบ UHF และ VHF

จากรูปที่ 3.4 แสดงวงจรภายในจูนเนอร์ UV 711 และวงจรประกอบ สัญญาณอาร์เอฟจากสายอากาศจะถูกรวมวงจรฟิลเตอร์แยกออกเป็น 2 ทาง คือ ทาง VHF และทาง UHF โดยที่ VHF จะแยกผ่านทางวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) และ UHF จะแยกผ่านทางวงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter) สัญญาณอาร์เอฟจะถูกขยายให้แรงขึ้นและป้อนเข้าไปผสมกับความถี่ออสซิลเลเตอร์ ในวงจรผสมคลื่นหรือมิกเซอร์ เพื่อให้ได้ความถี่ไอเอฟออกมาที่ขา 17 เพื่อจ่ายให้กับภาคไอเอฟ หลักการทำงานของจูนเนอร์นี้ก็ใช้หลักการทำงานแบบซูเปอร์เฮเทอโรไดน์นั่นเอง

หน่วยขยายสัญญาณอาร์เอฟบล็อก A และ B จะถูกควบคุมด้วยสัญญาณ เอจีซี แบ่งหน่วยเวลา (Delayed AGC) โดยถูกป้อนมาจากขา 5 ของภาคไอเอฟ มาที่ขา 5 ของจูนเนอร์ การควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเป็นไปในทางลบ หมายความว่า ถ้าสัญญาณจากสายอากาศมีความแรงมาก (เกินจากระดับที่ตั้งไว้) ศักย์แรงไฟฟ้า 5 ของจูนเนอร์จะลดลงทำให้อัตราการขยายของจูนเนอร์ลดลง โดยอัตราการขยายนี้สามารถตั้งได้ด้วย R_3 ที่ขา 1 ของไอซี TDA 8305 ในภาคไอเอฟ

ส่วนการจูนเพื่อรับสถานีนั้น จะใช้ควบคุมความจุของตัวแปรแคป โดยการป้อนศักย์แรงไฟตรงที่มีความเที่ยงตรงสูง ศักย์แรงไฟนี้เรียกว่า “จูนนิ่งโวลต์เตจ”(V-TUNE หรือ V-VARI) ศักย์แรงไฟนี้มีค่าประมาณ 0 ถึง 24.5 โวลต์ ป้อนมาที่ขา 11 ของจูนเนอร์ ศักย์แรงไฟนี้ได้มาจากชุด Switch Tuner หรือ PRE SET ผ่าน R_7 เพื่อใช้ค้นหาสถานีหลังจากจูนหาสถานีพบแล้ว แรงไฟที่ได้นี้ต้องคงที่ตลอดเวลา หากแรงดันเปลี่ยนจะทำให้สถานีที่รับได้คลาดเคลื่อน ฉะนั้นเมื่อรับสถานีได้ชัดแล้ว ที่ภาคไอเอฟของเครื่องรับจะมีหน่วย เอ.เอฟ.ที. เพื่อควบคุมและชดเชยการทำงานของหน่วยผลิตศักย์ไฟจูนนิ่งโวลต์เตจให้สร้างศักย์ไฟชดเชยการเปลี่ยนแปลงนี้

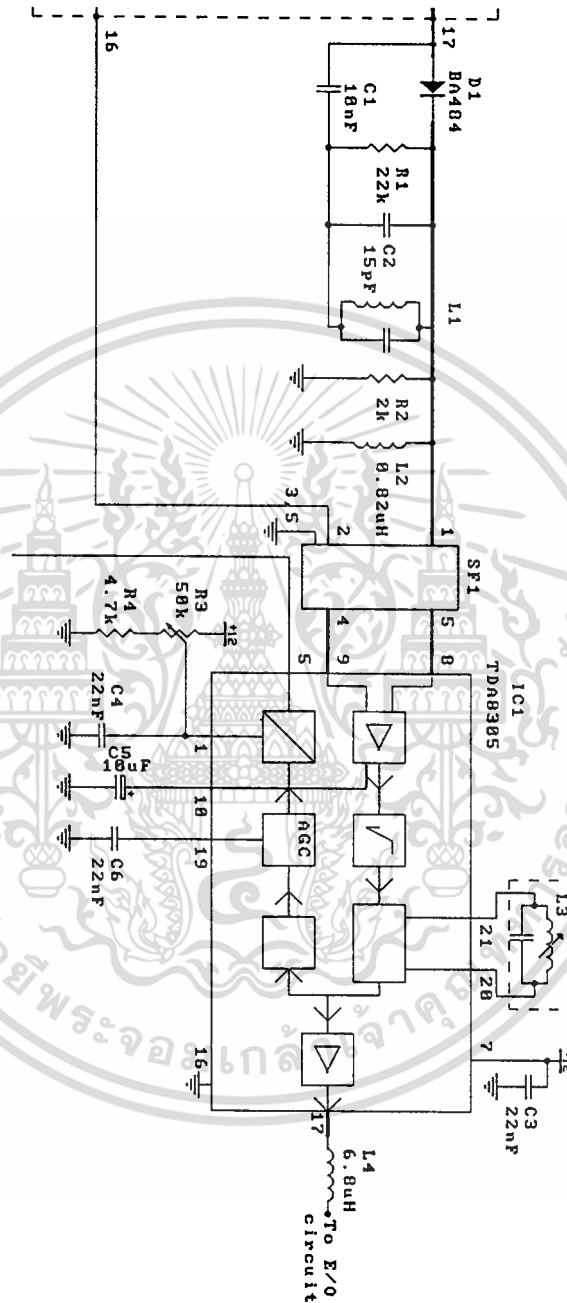
สำหรับการเลือกย่านความถี่หรือแบนด์ต่างๆ ของระบบโทรทัศน์ ทำการเลือกแถบความถี่โดยป้อนไฟตรงประมาณ 12 โวลต์ เข้าที่ขา 7,8 หรือ 10 ของจูนเนอร์เพื่อเลือกแถบความถี่ VHF_L, VHF_H หรือ UHF ตามลำดับ โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1

ศักย์ไฟจ่ายออกที่			จูนเนอร์เบอร์ UV711	
ตำแหน่งของสวิทช์เลือก			X	แถบความถี่ที่เลือกรับ
a	b	c	-	-
12 V	0 V	0 V	7	VHF แบนด์ I หรือ a หรือรับช่อง 2 ถึง 4
0 V	12 V	0 V	8	VHF แบนด์ III หรือ b หรือรับช่อง 5 ถึง 12
0 V	0 V	12 V	10	UHF แบนด์ IV หรือ c หรือรับช่อง 21 ถึง 69

X หมายถึง ตำแหน่งขาของจูนเนอร์

ตารางที่ 3.1 การเลือกแถบความถี่

3.2.4 ภาควิชาสัญญาณไอเอฟและดีมอดูเลเตอร์ (IF Amplifier and Demodulator)



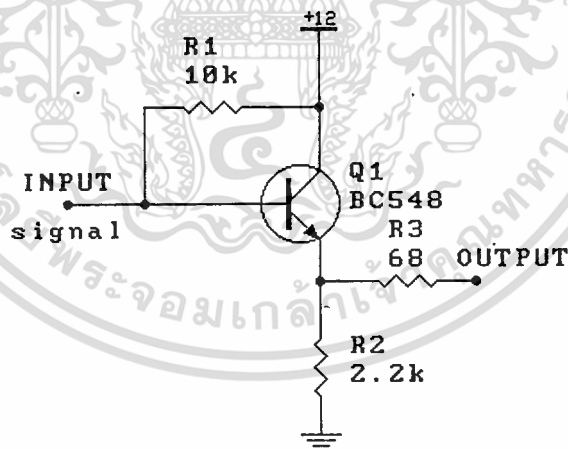
รูปที่ 3.5 วงจรขยายสัญญาณไอเอฟและดีมอดูเลเตอร์

สัญญาณไอเอฟที่ออกจากขา 17 ของตัวจูนเนอร์จะผ่านวงจรซอร์ฟิลเตอร์ SF₁ ซึ่งทำหน้าที่กรองสัญญาณให้ผ่านได้เฉพาะสัญญาณไอเอฟเท่านั้น เพื่อส่งเข้าขา 8 และขา 9 ของไอซี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TDA 8305 (IC₁) และสัญญาณที่ออกจากไอซีตัวนี้ จะมีสัญญาณภาพ, เสียง และซิงค์ โดยสัญญาณทั้งหมดจะออกมาทางขา 17 ของไอซีตัวนี้

จากรูปที่ 3.5 สัญญาณไอเอฟที่ผ่านเข้ามาทางขา 8 และขา 9 ของ IC₁ นี้ จะถูกขยายด้วยหน่วยขยายสัญญาณและหน่วยกำจัดการความแรงของสัญญาณ สัญญาณไอเอฟที่ผ่านเข้ามานี้จะถูกแยกคลื่นพาห์ของภาพ (Picture Carrier) ความถี่ 38.9 เมกกะเฮิรตซ์ ออก โดยความถี่นี้ถูกกำหนดด้วย L₃ ที่ภาคคิมอดูเลเตอร์ สัญญาณด้านออกของหน่วยคิมอดูเลเตอร์จะประกอบด้วยสัญญาณภาพ, สัญญาณเสียง, และซิงค์ ซึ่งจะถูกขยายและส่งออกออกมาทางขา 17 ของ IC₁ และในขณะเดียวกันสัญญาณนี้จะถูกส่งกลับผ่านหน่วยกรองความถี่ ที่ให้ผ่านเฉพาะความถี่ต่ำมายังหน่วยควบคุมอัตราการขยายโดยอัตโนมัติ (Automatic Gain Control) หน่วยนี้จะให้แรงดันไฟตรงซึ่งขึ้นอยู่กับการเฉลี่ยของสัญญาณภาพ มาควบคุมอัตราการขยายของหน่วยขยายภาพ ไอเอฟภายใน IC₁ และอัตราการขยายของหน่วยขยายสัญญาณอาร์เอฟภายในจูนเนอร์ด้วย

3.2.5 วงจรขยาย (Amplifier)



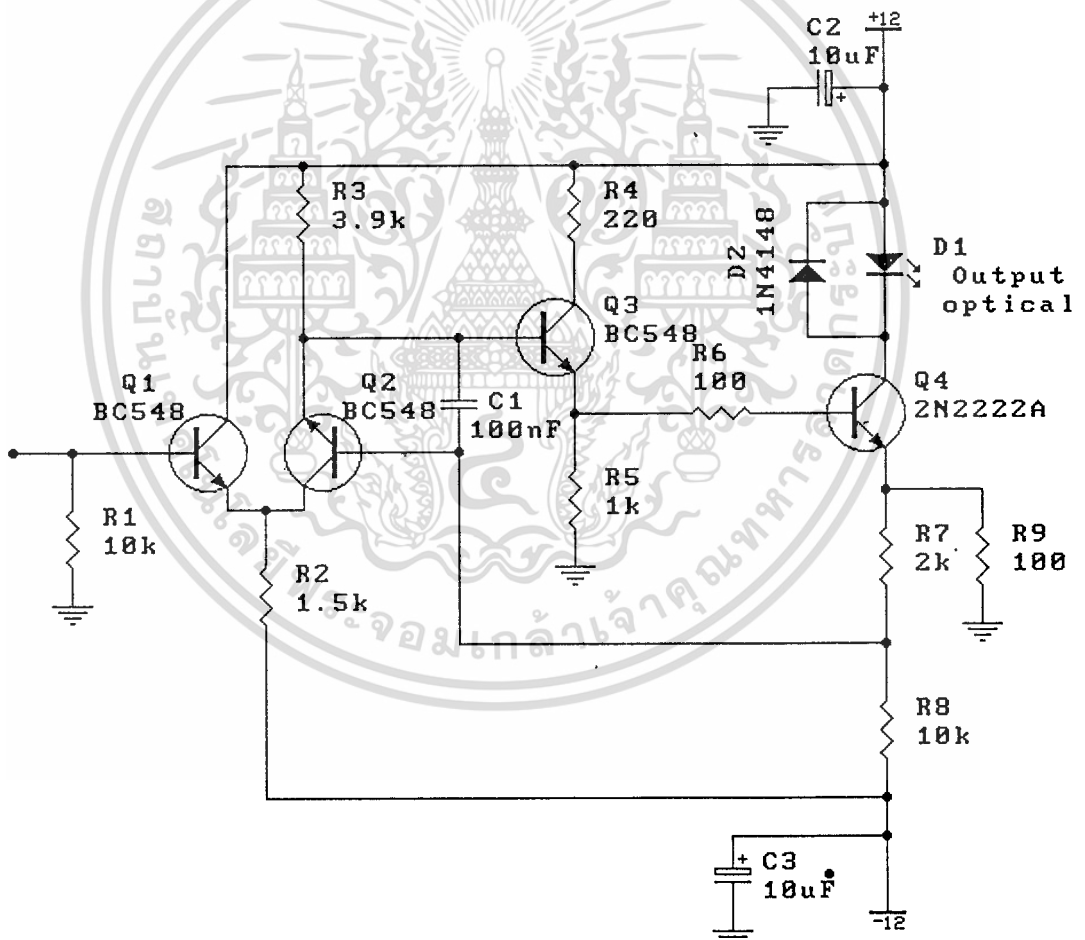
รูปที่ 3.6 วงจรขยาย

การทำงานของวงจร

จากวงจรในรูปที่ 3.6 เป็นวงจรขยายแบบเข้าหนึ่งออกหนึ่งหรือเรียกว่าวงจรบัฟเฟอร์ (Buffer) ซึ่งจะขยายสัญญาณในอัตราขยาย(Gain) เท่ากับ 1 (G=1) ซึ่งจะทำให้การขยายสัญญาณภาพเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากขา 17 ของ TDA 8305 ผ่านคาปาซิเตอร์อินพุตเข้าขาเบส(Base) ของทรานซิสเตอร์ BC548 ซึ่งมีความถี่กว้าง(Bandwidth Frequency) 300 เมกกะเฮิร์ซ เพราะฉะนั้นจะสามารถขยายสัญญาณภาพที่ถูกกำจัดคลื่นพาหะ(Carrier) ออกแล้ว โดยTDA 8305 เหลือเพียง 5.5 เมกกะเฮิร์ซ และจะได้สัญญาณขาออกที่ขาอีมิเตอร์(Emitter) ของทรานซิสเตอร์ BC 548 สัญญาณที่ได้จะมีความชัดคือขอบของสัญญาณจะคมขึ้น สัญญาณขาออกที่ได้จะป้อนเข้าสู่วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสง (E/O Converter) ต่อไป

3.2.6 วงจรมอดูเลตทางแสง (E/O Converter)

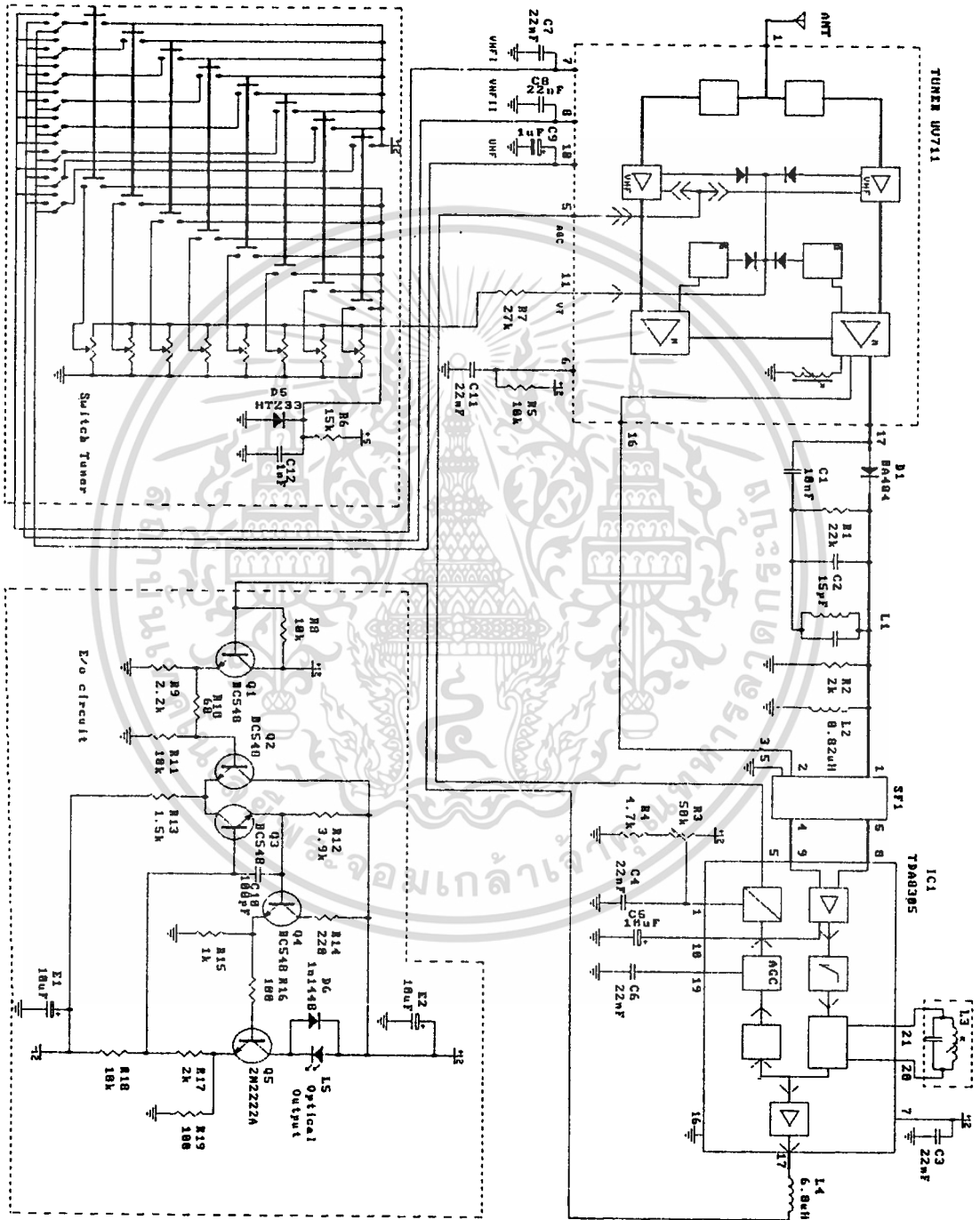


รูปที่ 3.7 วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

การทำงานของวงจร

จากรูปที่ 3.7 เป็นวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง จากวงจรจะประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 4 ตัว ซึ่งทำหน้าที่ต่างๆดังนี้ จากรูป ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 จะต่ออยู่ในลักษณะวงจรดิฟเฟอเรนเชียล(Differential) จะทำการเปรียบเทียบระดับสัญญาณอินพุตที่เข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 กับสัญญาณที่ถูกป้อนกลับเข้ามาจากขาอีมิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q4 มายังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q2 ถ้าสัญญาณอินพุตที่เข้ามาทางขาเบส Q1 มีขนาดเท่ากับสัญญาณที่เข้าขาเบสของ Q2 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 นำกระแส กระแสที่ขาคอลเลคเตอร์ของ Q2 จะแยกไปไบอัส(Bias) ยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q3 ก็จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q3 นำกระแส เมื่อทรานซิสเตอร์ Q3 นำกระแสก็จะเกิดกระแส I_b ที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q4 เมื่อกระแสเบสมีค่าสูงพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q4 นำกระแสก็จะเกิดมีกระแสคอลเลคเตอร์ไหลผ่านไปยังขาอีมิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q4 ซึ่งที่ขาคอลเลคเตอร์จะมี LED ต่ออยู่ในลักษณะฟอร์เวิร์ดไบอัส (Forward Bias) ดังนั้นเมื่อทรานซิสเตอร์ Q4 นำกระแสก็จะเกิดมีกระแสคอลเลคเตอร์ไหลผ่าน LED ทำให้มีแสงถูกปล่อยออกไปยังเส้นใยแสง ส่วนกระแสคอลเลคเตอร์จะสามารถกำหนดได้ โดยขึ้นอยู่กับค่าของความต้านทานที่ต่อกับขาอีมิเตอร์ของ Q4 ลงกราวด์

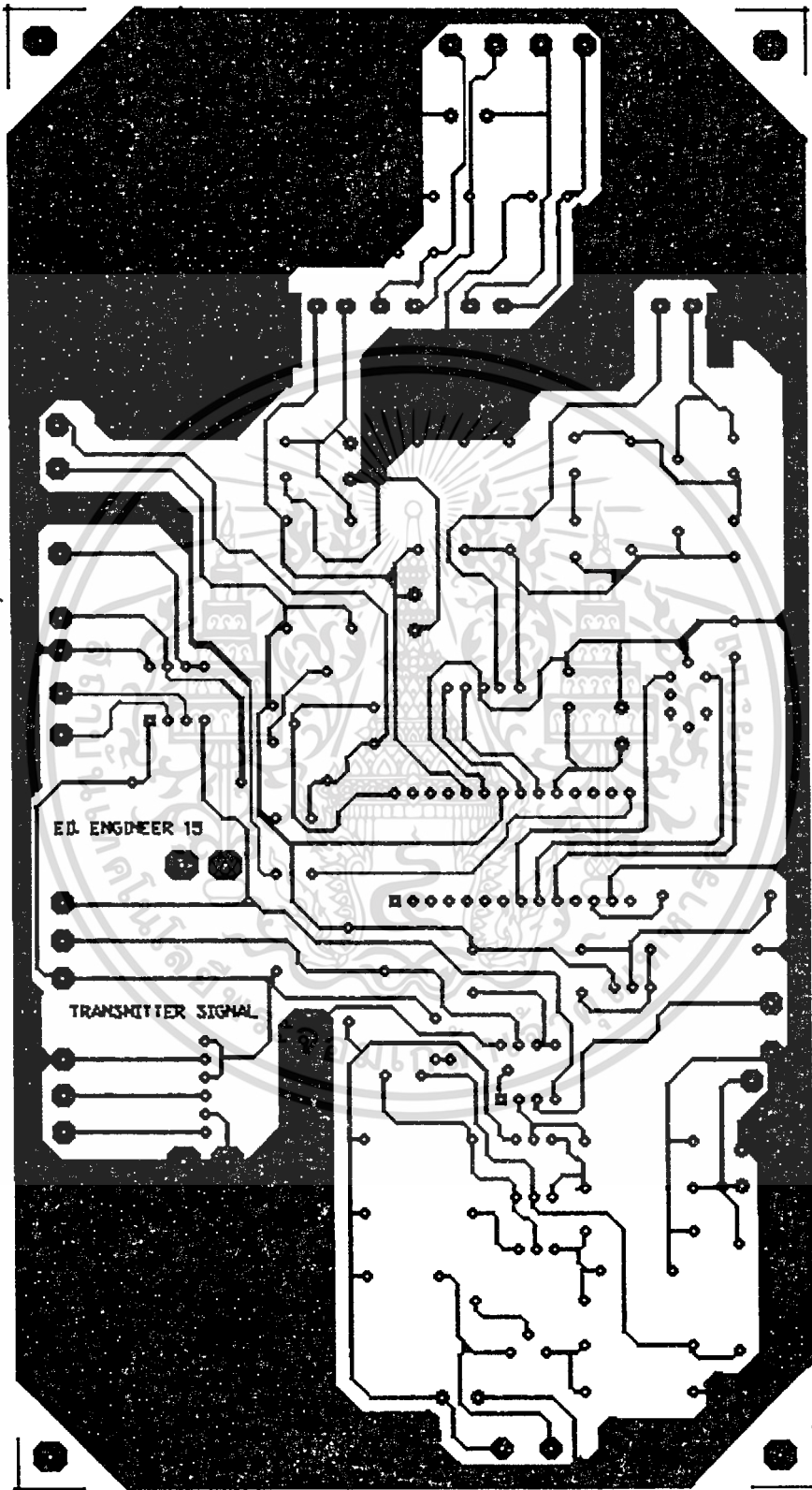
3.2.7 วงจรรวมด้านเครื่องส่ง



รูปที่ 3.8 วงจรของภาคส่ง

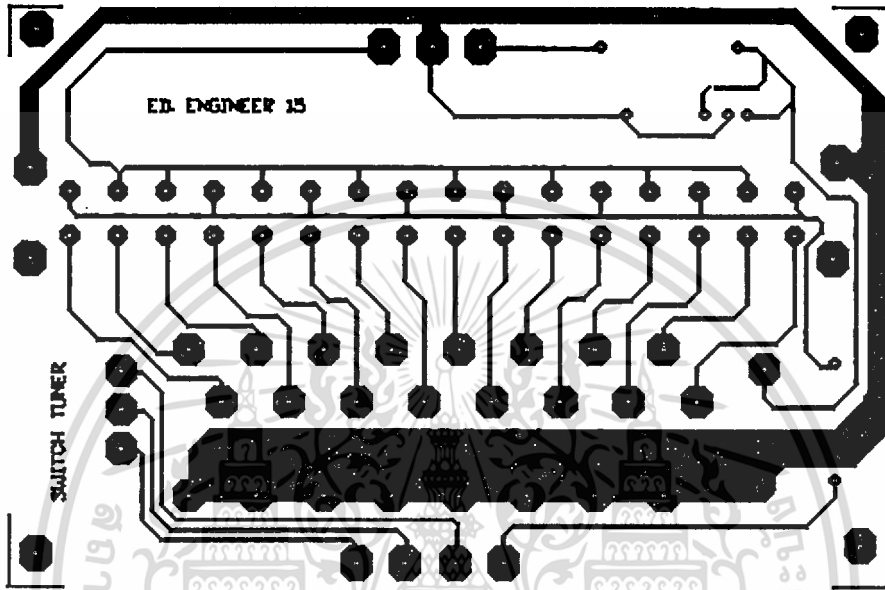
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายปริ๊นซ์และการวางอุปกรณ์ชุดของภาคส่ง



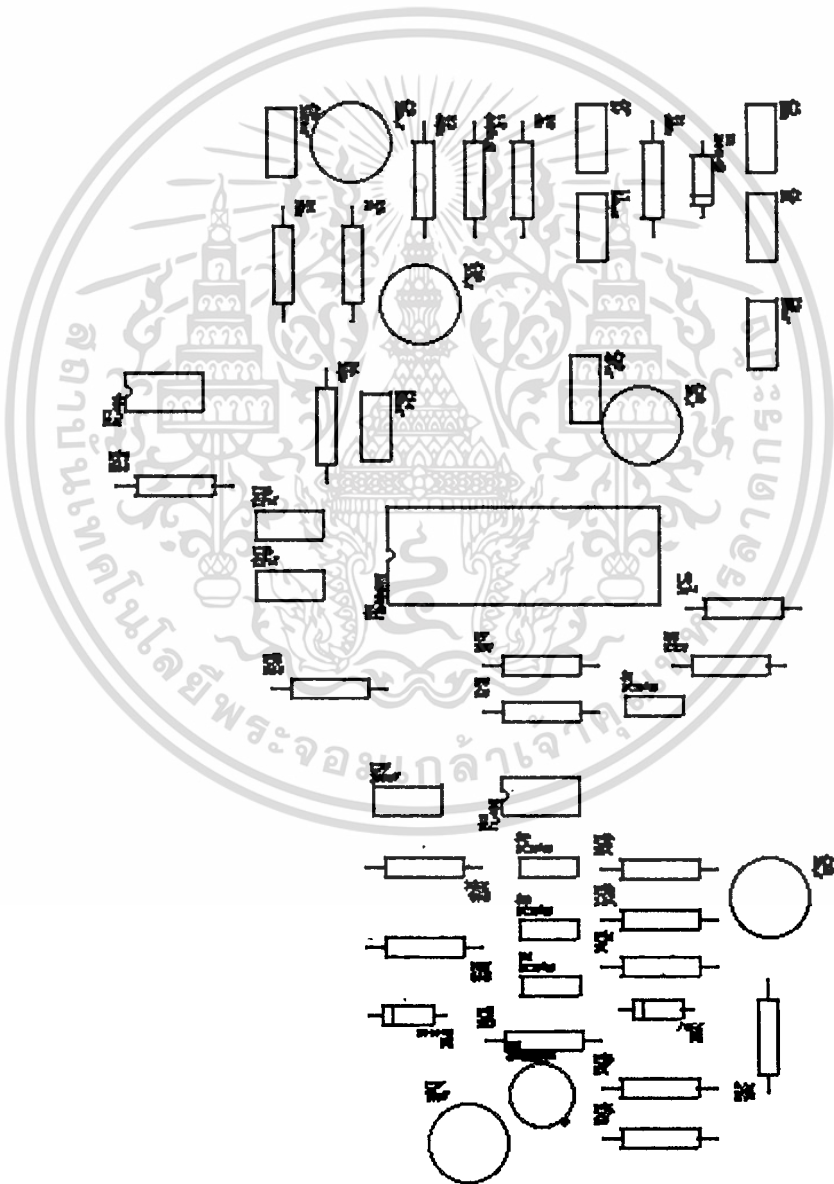
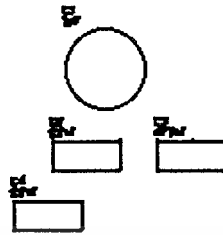
ก) แสดงวงจรพิมพ์ของภาคส่งสัญญาณโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

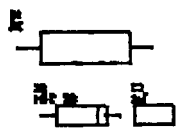


ข) แสดงวงจรพิมพ์ของสวิตช์จูนเนอร์

รูปที่ 3.9 วงจรพิมพ์ของภาคส่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข) แสดงการวางอุปกรณ์ของสวิทช์จูนเนอร์

รูปที่ 3.10 การวางอุปกรณ์ภาคส่ง

รายการอุปกรณ์ภาคส่ง

PART	MODEL	DESCRIPTION	QUANTITY
R_1	Carbon	22 k ohm	1
R_2, R_{17}	"	2 k ohm	2
R_3	Potentionmeter	50 k ohm	1
R_4	Carbon	4.7 k ohm	1
R_5, R_8, R_{11}, R_{18}	"	10 k ohm	4
R_7	"	27 k ohm	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R ₉	”	2.2 k ohm	1
R ₁₀	”	68 ohm	1
R ₁₂	”	3.9 k ohm	1
R ₁₃	”	1.5 k ohm	1
R ₁₄	”	220 ohm	1
R ₁₅	”	1 k ohm	1
R ₁₆ , R ₁₉	”	100 ohm	2
L ₁	Inductor	0.32 uH	1
L ₂	”	0.02 uH	1
L ₃	Inductor Variable		1
L ₄	Inductor	6.8 uH	1
C ₁	Milar	10 nF	1
C ₂	Ceramic	15 pF	1
C ₃ ,C ₄ ,C ₆ ,C ₇ ,C ₈ ,C ₁₁	Milar	22 nF	6
C ₅	Electrolitics	10 uF	1
C ₉	Ceramic	100 pF	1
C ₁₃ ,C ₁₄	Electrolitics	10 uF	2
D ₁	Silicon	BA 484	1
D ₃	”	1N 4148	1
D ₄	LED	HFE 4070	1
Q ₁ ,Q ₂ ,Q ₃ ,Q ₄	NPN	BC 548	4
Q ₅	NPN	2N 2222A	1
TUNER		UV 711	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

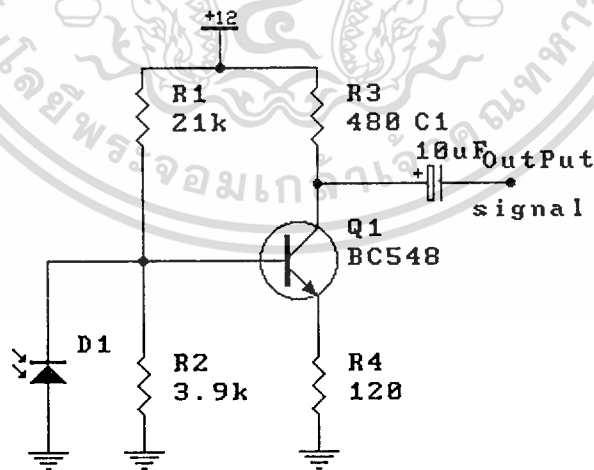
IC ₁		TDA 8305	1
IC ₂	Ceramic Filter	OFWB 1950	1

Switch Tuner

	Sector band switch		1
	Preset		1
	Switch Channal		1
R ₆	Carbon	15 k ohm	1
C ₁₂	Ceramic	1 nF	1
D ₂		HTZ 33	1

3.3 วงจรภาครับ

3.3.1 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นไฟฟ้า (O/E Converter)



รูปที่ 3.11 วงจรเปลี่ยนแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

การทำงานของวงจร

จากรูปเป็นวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เมื่อด้านส่งสัญญาณแสงเข้ามาในเส้นใยแสง โดย LED ทางด้านรับก็จะรับสัญญาณแสงที่ส่งเข้ามาโดยใช้โฟโตไดโอด(Photo Diode) จากรูปเมื่อมีแสงเข้ามายังโฟโตไดโอดก็จะทำให้ค่าความต้านทานภายในของโฟโตไดโอดลดลง ซึ่งสามารถทำให้กระแสไหลผ่านตัวโฟโตไดโอดได้ ดังนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลมาไบอัสแก่ทรานซิสเตอร์ตามสถานะของแสงที่เข้ามา เมื่อกระแสที่ไบอัสให้แก่ทรานซิสเตอร์ตามความถี่ของแสงที่ส่งมาจะทำให้สัญญาณขาออกที่ขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ จะมีลักษณะเหมือนทางด้านส่งทุกประการ สัญญาณขาออกจะผ่านคาปาซิเตอร์ไปยังวงจรขยาย 2 สเตท (State) ต่อไป

การออกแบบ

1. กำหนดเบอร์ทรานซิสเตอร์ที่เหมาะสมและเลือกจุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ จากกราฟคุณสมบัติ

จากความถี่ของสัญญาณภาพมีค่า แบนด์วิธ 5.5 Mhz กำหนดใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC 548 ซึ่งมี Bandwidth Frequency 300 Mhz , $h_{fe} = 333$, $V_{CE} = 40\text{ V}$, $I_{C_{max}} = 600\text{ mA}$ พิจารณาจากกราฟคุณสมบัติจะเลือกใช้จุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ BC 548 ที่ $V_{CC} = 12\text{ V}$ จะได้

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

2. โดย V_E กำหนดให้มีค่า $1/10\text{ }V_{CC}$

$$V_E = 1.2\text{ V}$$

3. เพราะฉะนั้นคำนวณหาค่าความต้านทาน R_E

$$R_E = V_E / I_E = 120\text{ }\Omega$$

4. คำนวณหาค่าความต้านทาน R_C

$$R_C = (V_{CC} - V_{CE} - V_E) / I_C = 480\text{ }\Omega$$

5. คำนวณหาค่าความต้านทาน R_{B2}

$$R_{B2} \leq 1/10 (\beta R_E) = 3.996\text{ กิโลโห์ม}$$

$$\therefore R_{B2} \approx 3.9\text{ กิโลโห์ม}$$

6. คำนวณหาค่าความต้านทาน R_{B1}

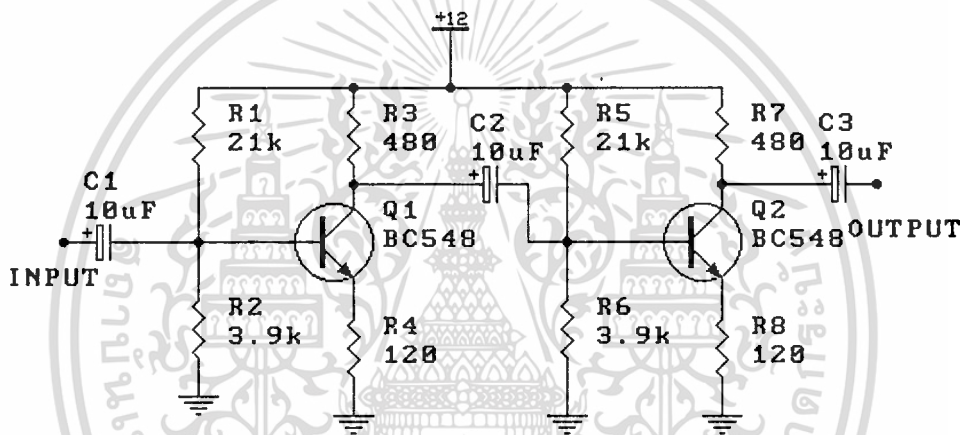
$$\text{เมื่อ } V_{B1} = V_E + V_{BE} = 1.9 \text{ V}$$

$$\text{หา } R_{B1} \text{ จากสูตร } V_B = (R_{B2} / R_{B1} + R_{B2}) V_{CC}$$

$$\therefore R_{B1} = 21 \text{ กิโลโห์ม}$$

นำค่าความต้านทานค่าต่างๆที่คำนวณได้ไปแทนลงในวงจรรูปที่ 3.11

3.3.2 วงจรขยาย



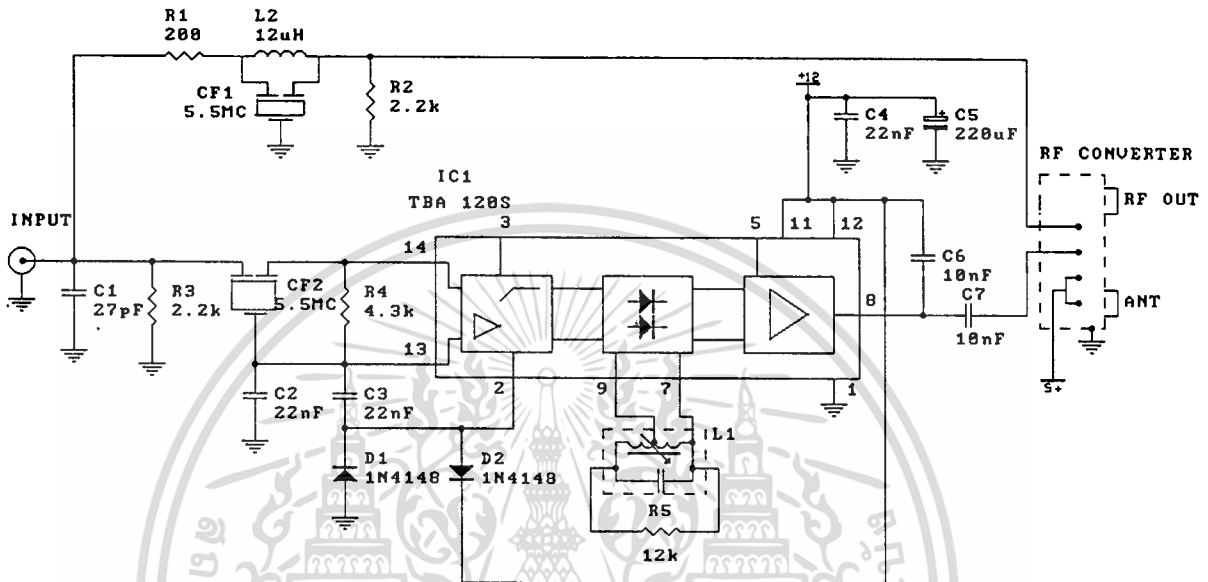
รูปที่ 3.12 วงจรขยาย 2 สเตจ

การทำงานของวงจร

จากรูปเป็นวงจรขยาย 2 สเตจ สัญญาณที่ได้จากวงจรเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า ก็จะได้สัญญาณภาพ แล้วทำการขยายโดยวงจรขยายที่ได้ออกแบบให้มีการทำงานที่ถูกต้อง เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้ามีค่าน้อยมากๆ แม้จะผ่านวงจรทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ในลักษณะขยายครั้งหนึ่งแล้วก็ตาม ดังรูปที่ 3.12 ดังนั้นจึงต้องนำเอาสัญญาณนี้มาขยายให้สูงขึ้นเพื่อให้เพียงพอที่จะนำไปดีเท็คเตอร์(Detector)ต่อไปได้ จากรูปเมื่อสัญญาณไฟฟ้าเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานตามที่ออกแบบไว้ สัญญาณก็จะถูกขยายขึ้น ต่อจากนั้นก็ให้นำเอาสัญญาณที่ได้จากขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q1 ไปขยายอีกครั้งหนึ่งเพราะยังมีขนาดต่ำอยู่ ดังนั้นจึงนำเอาสัญญาณขาออกที่ขาคอลเลคเตอร์ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้อนให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q2 เพื่อทำการขยายอีกครั้งหนึ่ง เมื่อสัญญาณขาออกที่ได้จากการขยายสเตจที่ 2 มีค่าสูงพอความต้องการแล้วก็จะนำไปป้อนให้กับวงจรดีเท็คเตอร์ และอาร์เอฟคอนเวอร์เตอร์ ต่อไป



รูปที่ 8.13 วงจรแยกสัญญาณภาพและเสียงและวงจรผสมสัญญาณภาพและเสียง

3.3.3 ภาคแยกสัญญาณเสียง (Detector Audio Signal)

สัญญาณไอเอฟเสียงที่ได้จาก หน่วยคิมอดูเลเตอร์สัญญาณภาพปรากฏที่ขาคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ (Q_3) แล้วผ่านคาปาซิเตอร์ (C) ค่า $10 \mu F$ ของภาคขยายสัญญาณรวมที่ได้จากวงจรแปลงแสงเป็นไฟฟ้า มาผ่านเซรามิกฟิลเตอร์ CF_2 มายังขา 14 ของไอซี TBA 120S (IC_1) ตัวเซรามิกฟิลเตอร์ซึ่งได้จูนไว้ที่ความถี่ปานกลางของเสียง (Sound Intermediate Frequency) คือ 5.5 MHz เท่านั้นผ่านไปได้ สัญญาณจะป้อนเข้าขา 14 มายังภาคขยายภายใน และสัญญาณนี้ก็จะผ่านหน่วยลิมิตเตอร์แบบสมมาตรคือ จะจำกัดหรือขลิบยอดทั้งบนและล่างของสัญญาณออกเท่าๆ กัน สัญญาณเอเอ็มที่แปลกปลอมเข้ามาก็จะถูกขจัดทิ้งไป เมื่อสัญญาณได้ถูกขยายแล้วจะป้อนไปยังหน่วยบาลานซ์คิมอดูเลเตอร์ สัญญาณอ้างอิงคิมอดูเลเตอร์นี้ได้จาก คอยล์ L_1 เข้ามายังขา 7 และขา 9 ของไอซี (IC_1) TBA 120S L_1 นี้ จะจูนให้ตรงกับความถี่ปานกลางของเสียง (IF Sound) หลังจากหน่วยคิมอดูเลเตอร์ หรือการดีเท็คสัญญาณไอเอฟเสียงแล้วจะได้สัญญาณเสียงออกมาส่งไปยังขา 2 ของ RF Converter เพื่อนำไปผสมรวมกับสัญญาณภาพโดยใช้ความถี่คลื่นพาห์ของช่อง 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

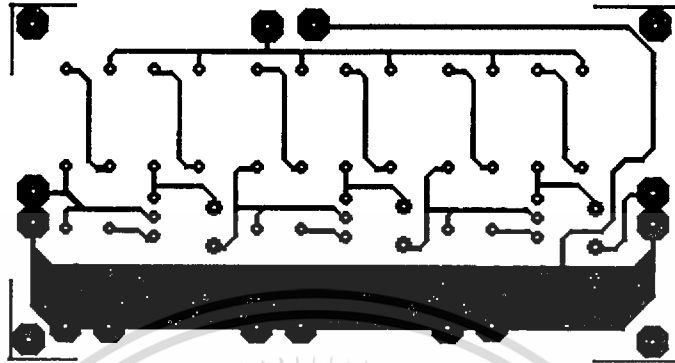
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 ภาคแยกสัญญาณภาพ (Detector Video Signal)

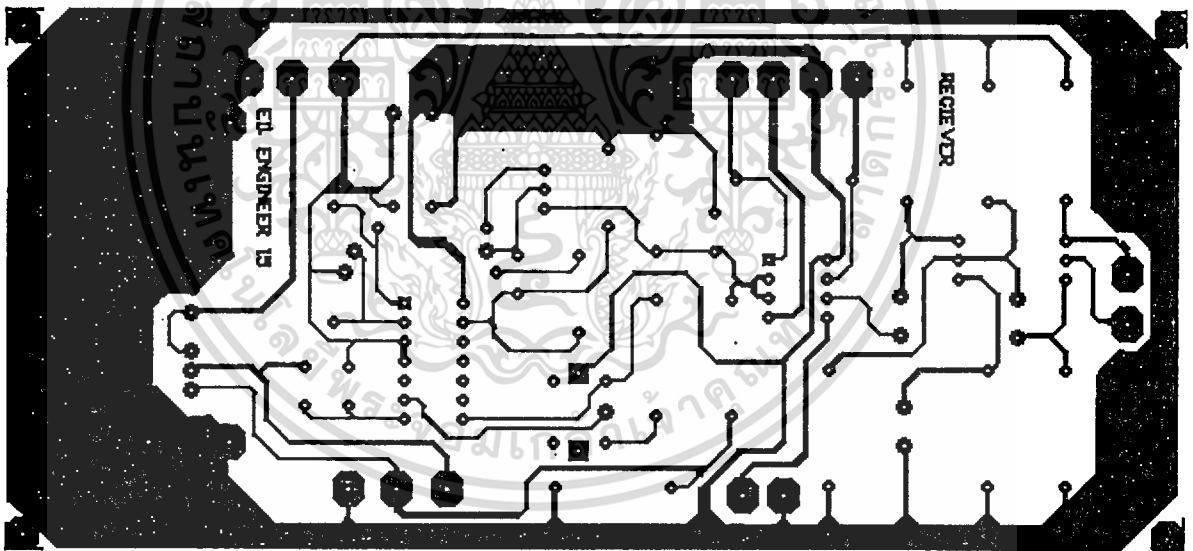
สัญญาณไอเอฟที่ผ่านขา 17 ของไอซี TDA 8305 (ทางด้านส่ง) จะถูกส่งมายังด้านรับ ปรากฏที่ขาคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ (Q_3) และผ่านคาปาซิเตอร์ค่า $10\ \mu\text{F}$ จะประกอบด้วย สัญญาณภาพ, สัญญาณเสียง และซิงค์ ผ่านความต้านทาน R_1 ผ่าน L_2 และเซรามิคฟิลเตอร์ CF_1 จะทำหน้าที่กำจัดสัญญาณไอเอฟเสียงออกไป หลังจากนั้นจะเหลือเพียงสัญญาณภาพและซิงค์เท่านั้น แล้วส่งไปยังขา 1 ของ RF Converter เพื่อผสมกับสัญญาณไอเอฟเสียงต่อไป



ลายปริ้นซ์และการอุปกรณ์ของชุดภาครับ

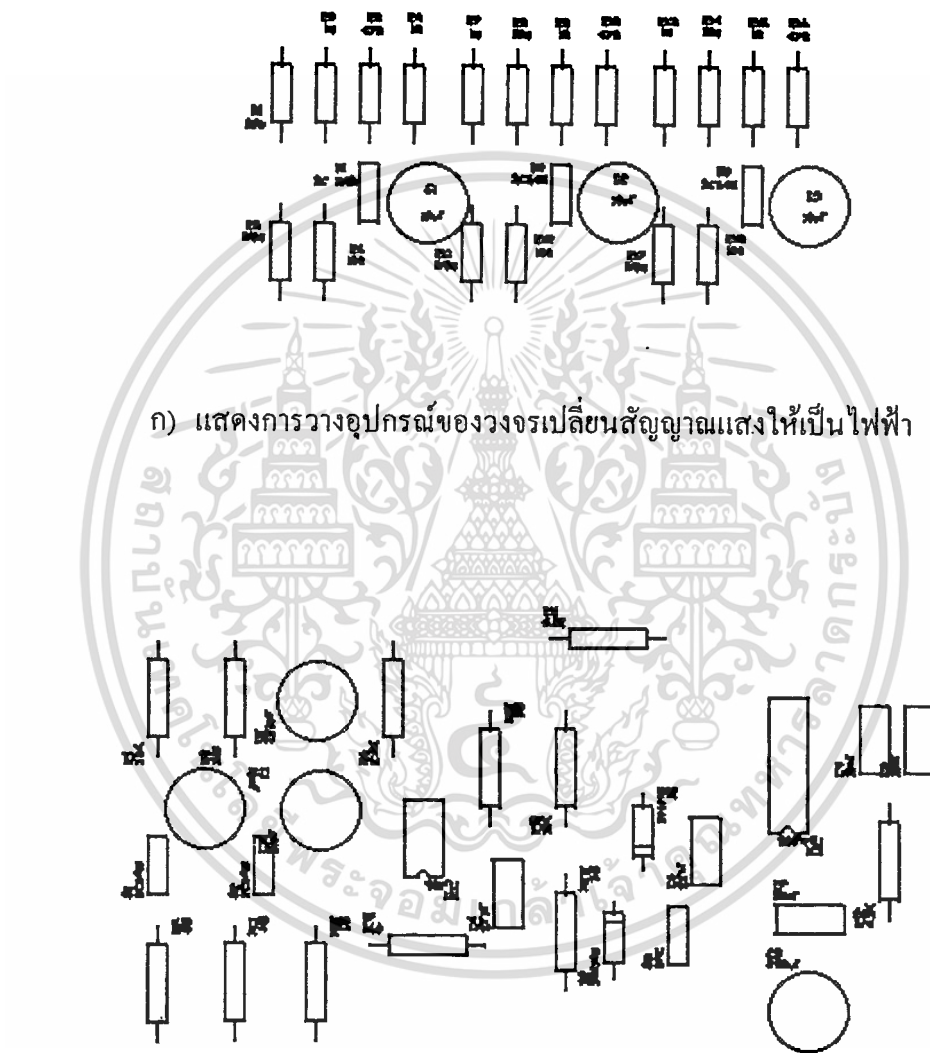


ก) แสดงวงจรพิมพ์ของวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้า



ข) แสดงวงจรพิมพ์ของภาคแยกสัญญาณโทรทัศน์

รูปที่ 3.15 วงจรพิมพ์ของภาครับ



ข) แสดงการวางอุปกรณ์ของภาคแยกสัญญาณโทรทัศน์

รูปที่ 3.16 การวางอุปกรณ์ภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

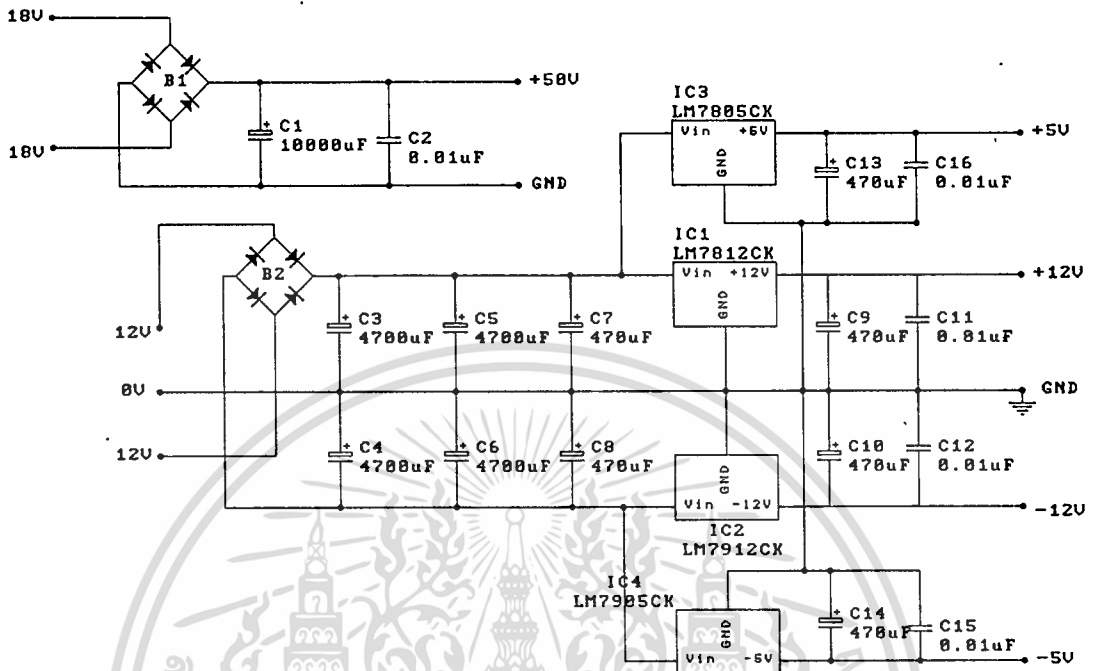
รายการอุปกรณ์ภาครับ

วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

Part	Model	Description	Quantity
R_1, R_5, R_9	Carbon	21 k ohm	3
R_2, R_6, R_{10}	"	3.9 k ohm	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	BC 548	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			1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรจ่ายไฟ (Power Supply)



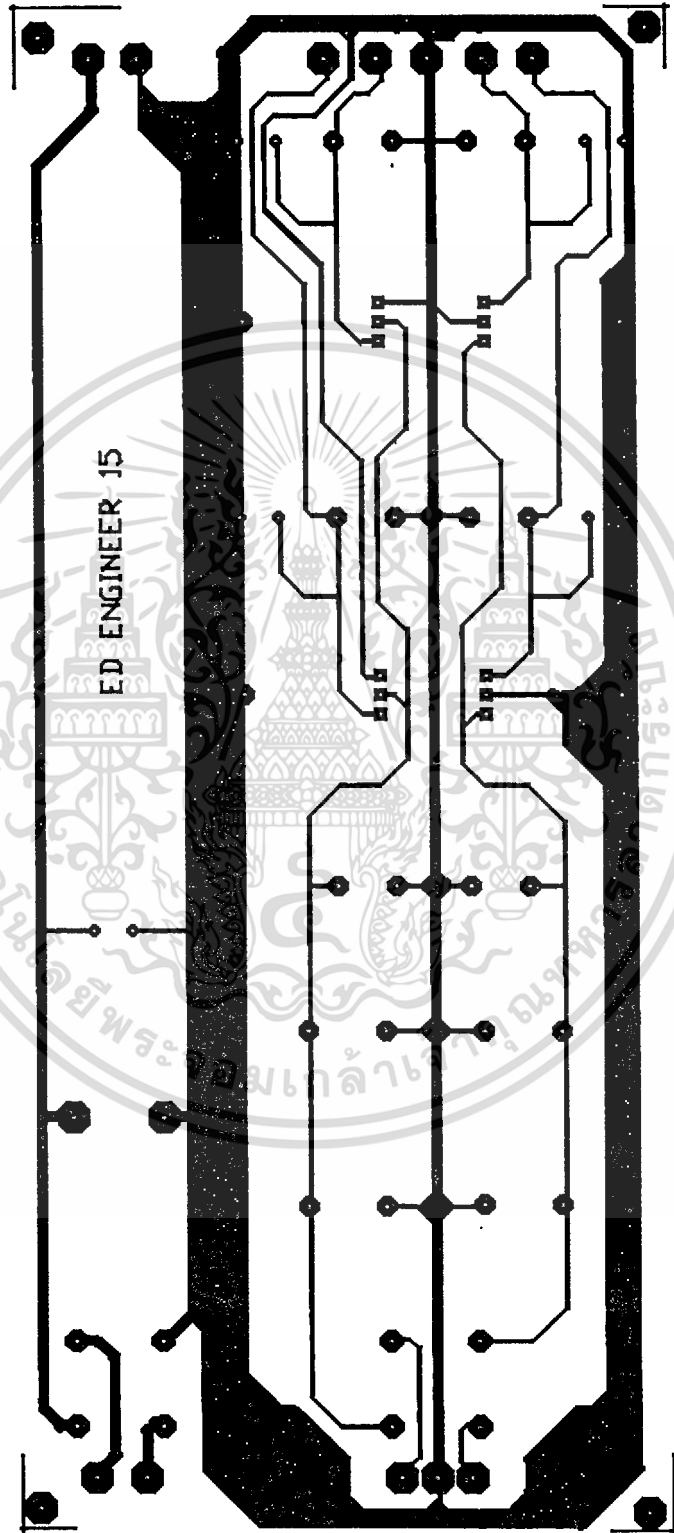
รูปที่ 3.17 วงจรจ่ายไฟ

การทำงานของวงจร

จากรูปแสดงวงจรจ่ายไฟซึ่งสามารถแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่จ่ายให้กับสวิทช์จูน (Switch Tune) จะมีระดับแรงดันเท่ากับ +50 โวลต์ ส่วนที่สองจะใช้ในการจ่ายให้กับที่จุดต่างๆ ของวงจรทั้งหมด จะมีทั้งหมด 2 ระดับคือ 12 โวลต์(บวก,ลบ) และ 5 โวลต์(บวก,ลบ) จากวงจรในส่วนที่หนึ่งจะนำเอาระดับแรงไฟจากหม้อแปลงขนาด 36 โวลต์ ป้อนให้กับไดโอด เร็คติไฟร์ (Rectifier) ก็จะได้สัญญาณเป็นประมาณ 50 โวลต์ ผ่านคาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์ให้เกิดระดับไฟดีซี 50 โวลต์ เรียบขึ้นและนำไปใช้งานต่อไป

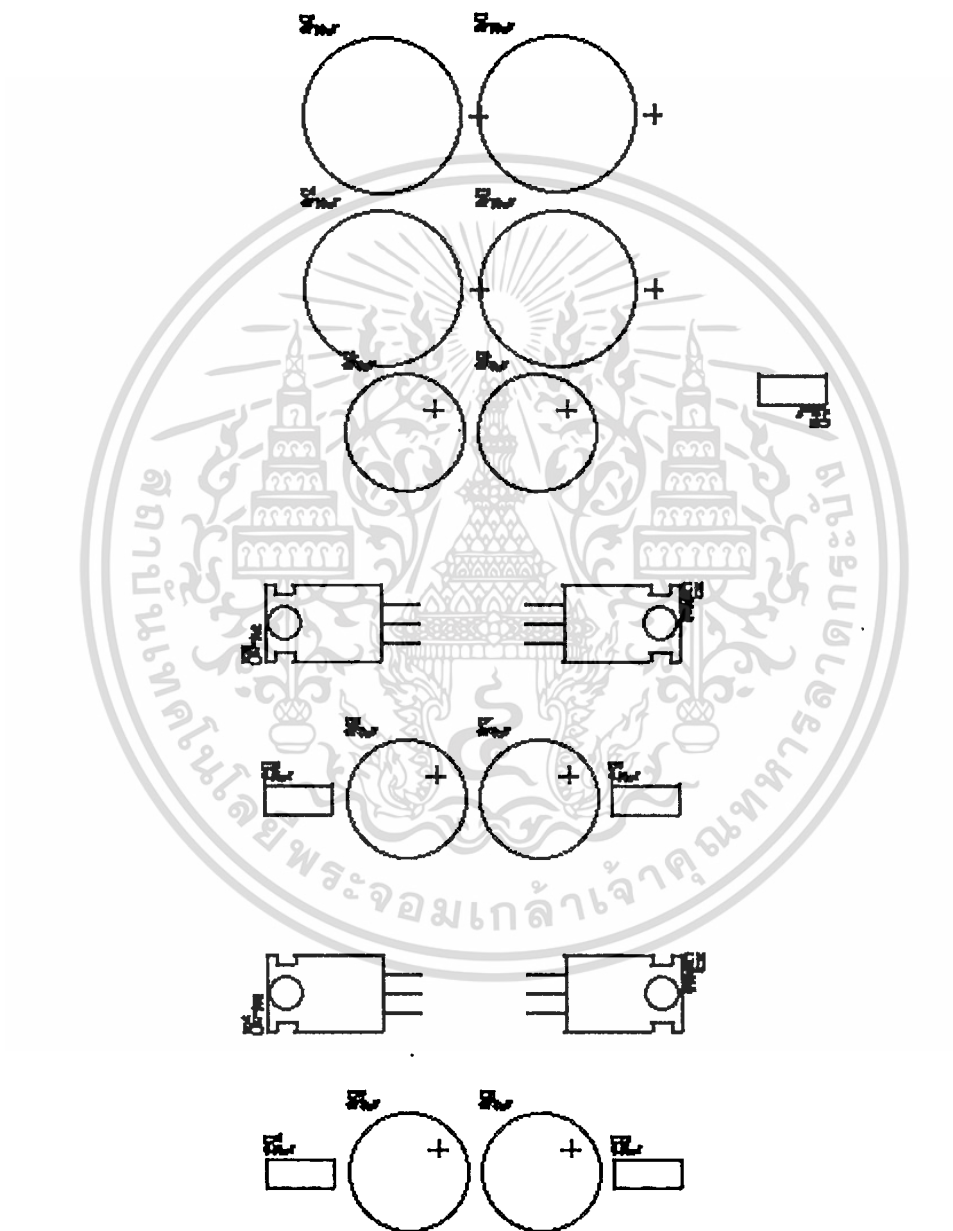
ส่วนที่สองเป็นวงจรจ่ายไฟ +5โวลต์,-5โวลต์,+12โวลต์,-12โวลต์ ตามลำดับ จากวงจรจะนำเอาแรงดันไฟเอซี 12-0-12 จากหม้อแปลงป้อนให้กับไดโอดเร็คติไฟร์ แล้วผ่านคาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์ จากนั้นก็จะนำเอาไอซีเร็คกูเรเตอร์(IC Recgulator) เบอร์ LM 7805,LM 7905,LM 7812 และ LM 7912 เพื่อที่จะจัดระดับแรงไฟให้ได้แรงดันไฟดีซี+5 โวลต์ ,-5 โวลต์,+12 โวลต์,-12 โวลต์ ตามลำดับ และจะสามารถนำเอาไปจ่ายยังจุดต่างๆของวงจรต่อไปได้

ลายปริ้นซ์และการวางอุปกรณ์ภาครับ



รูปที่ 3.18 แผ่นวงจรพิมพ์ของภาคจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **รูปที่ 8.19 การวางอุปกรณ์ของภาคจ่ายไฟ** เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ภาคจ่ายไฟ

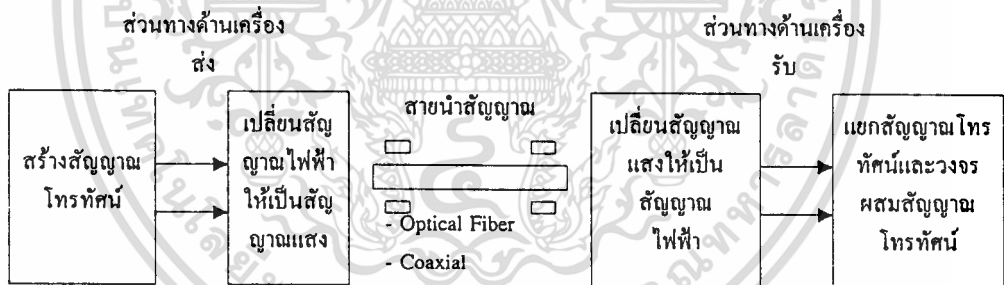
Part	Model	Description	Quantity
D ₂	Bridg	6 A	1
C ₃ ,C ₄ ,C ₅ ,C ₆	Electrolitcs	47000 uF	4
C ₇ ,C ₈ ,C ₉ ,C ₁₀ ,C ₁₃ ,C ₁₄	”	470 uF	6
C ₁₁ ,C ₁₂ ,C ₁₅ ,C ₁₆	Milar	0.01 uF	4
IC ₁	Recgulatop	LM 7812 CK	1
IC ₂	Recgulatop	LM 7912 CK	1
IC ₃	Recgulatop	LM 7805 CK	1
IC ₄	Recgulatop	LM 7905 CK	1
แรงไฟที่ใช้ในการฐน			
D ₁	bridg	6 A	1
C ₁	Electrolitcs	10,000 uF	1
C ₂	Milar	0.01 uF	1

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ลักษณะการใช้งาน

ระบบที่ใช้ในการส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสงนี้จะแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเครื่องส่ง, ส่วนที่เป็นสายนำสัญญาณ และส่วนที่เป็นเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ ซึ่งส่วนด้านเครื่องส่งจะประกอบด้วย ส่วนที่เป็นภาควิทยาสร้างสัญญาณโทรทัศน์ และภาคการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง ส่วนทางด้านเครื่องรับประกอบด้วย ส่วนที่เป็นวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และส่วนที่แยกสัญญาณโทรทัศน์กับวงจรผสมสัญญาณโทรทัศน์ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.1 และส่วนที่สามจะเป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ ซึ่งในโครงงานนี้จะใช้ได้ทั้งสายนำสัญญาณแกนร่วม และเส้นใยแสง



รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบในการส่งสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสง

เครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสงนี้ จะสามารถใช้งานดังรูปที่ 4.1 ซึ่งจะนำเอาสัญญาณภายนอกมาป้อนให้กับทางเครื่องส่ง เช่น สัญญาณจากสายอากาศโทรทัศน์ และจากเครื่องเล่นวีดีโอเทปโดยตรง แล้ววงจรสร้างสัญญาณโทรทัศน์ในเครื่องส่งก็จะทำการกระบวนการกำจัดสัญญาณพาหะ ซึ่งมีความถี่เท่ากับ 38.9 เมกกะเฮิร์ตซ์ จากนั้นก็จะนำเอาสัญญาณภาพ, เสียง ซึ่งมีแบนด์วิดท์ 5.5 เมกกะเฮิร์ตซ์ แล้วนำสัญญาณภาพและเสียงที่ได้นั้นไปเปลี่ยนเป็นแสง กล่าวคือ การนำเอาสัญญาณภาพและเสียงไปผสมกับความถี่ของแสงเพราะฉะนั้นอาจกล่าวได้ว่า ความถี่ของ

แสงเปลี่ยนเป็นคลื่นพาหะนั้นเอง เมื่อได้แสงที่ผลิตมาจาก LED แล้วทำการส่งไปในเส้นใยแสง ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนทางด้านรับก็จะรับแสงที่เดินทางมาทางเส้นใยแสงเข้าโฟโตไดโอด เพื่อเป็นตัวเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า โดยจะใช้ร่วมกับวงจรทรานซิสเตอร์ จะได้สัญญาณภาพและเสียงออกมาเหมือนกับด้านส่ง และนำสัญญาณที่ได้นั้นไปเข้าสู่ภาคแยกสัญญาณภาพและเสียงออกจากกัน จากนั้นก็ทำการรวมสัญญาณภาพและเสียงเข้าด้วยกันโดยใช้วงจรอาร์เอฟคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้สัญญาณโทรทัศน์ที่มีคลื่นพาหะผสมออกมาด้วยเหมือนสัญญาณที่เข้าทางด้านเครื่องส่งทุกประการ จากนั้นจะสามารถนำไปต่อกับเครื่องรับโทรทัศน์ได้โดยตรงและอีกระบบหนึ่ง เครื่องส่งและรับสามารถใช้สายสายแกนร่วมได้ โดยไม่ต้องทำการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสง โดยส่งเข้าไปยังภาคดีเท็คเตอร์ทางด้านเครื่องรับโดยสายแกนร่วมโดยตรง ซึ่งจะให้ผลเหมือนกับใช้เส้นใยแสงในการเชื่อมต่อ ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดของการเชื่อมต่อทั้งสองแบบต่อไปในผลการทดลอง การใช้งานเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 4.1 สามารถเปรียบเทียบกับ การเชื่อมต่อใช้งานจริงได้ดังรูปที่ 4.2



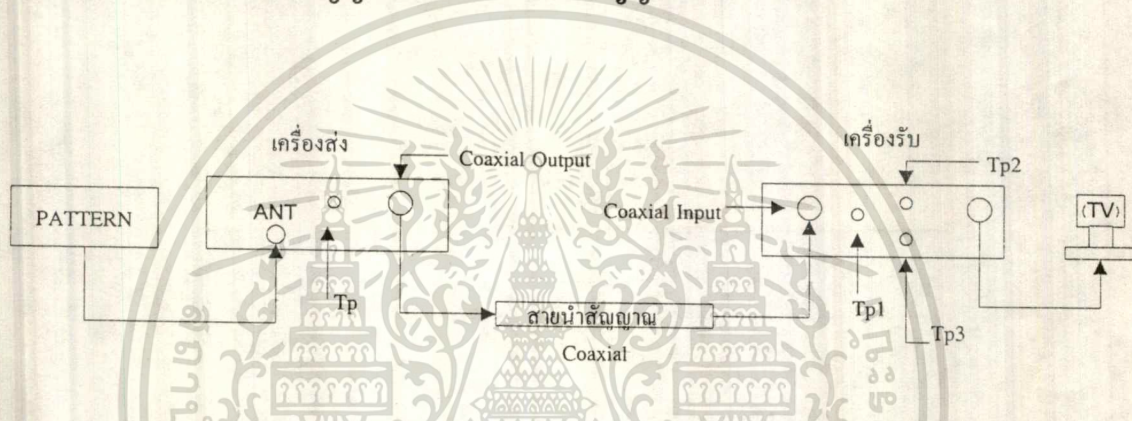
รูปที่ 4.2 การเชื่อมต่อในการใช้งานจริงของเครื่องรับ-ส่งสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสง

4.2 การทดสอบ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ในการส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ของโครงงานนี้สามารถใช้สายนำสัญญาณเชื่อมต่อได้ทั้ง สายนำสัญญาณแกนร่วมและเส้นใยแสง ในการทดสอบจะทำการเปรียบเทียบการส่งโดยใช้สายนำสัญญาณทั้งสองชนิด ซึ่งจะสามารถทำได้ตามขั้นตอนดังนี้

4.2.1 การทดสอบโดยใช้สายนำสัญญาณแกนร่วม

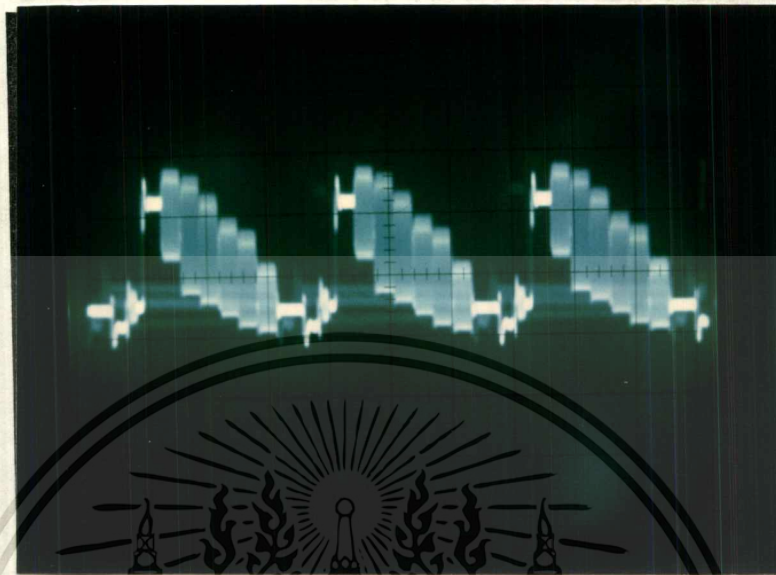
4.2.1.1 ทดสอบโดยป้อนสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณภาพ



รูปที่ 4.3 การต่อเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยใช้สายนำสัญญาณแกนร่วม

ทำการต่อเครื่องส่งที่จะใช้ทดสอบเข้ากับเครื่องรับโดยใช้สายนำสัญญาณแกนร่วมเป็นตัวเชื่อมระหว่างเครื่องทั้งสอง(หรือใช้สายนำสัญญาณแกนร่วมเป็นสายนำสัญญาณโทรทัศน์) ดังรูปที่ 4.3 เมื่อต่อตามรูปแล้วทำการจ่ายสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณโทรทัศน์เข้าไป จึงเปิดเครื่องทั้งด้านส่งและรับ สังเกตสัญญาณที่ได้จากจอโทรทัศน์ถ้าไม่ชัดเจนให้ทำการเลือกคลื่น จากสวิทช์จูน เพื่อให้สัญญาณชัดเจน เมื่อสัญญาณชัดเจนแล้วให้นำสายสโคปวัดสัญญาณที่จุดตรวจสอบ(test point) ที่เครื่องส่งจะได้สัญญาณภาพที่ถูกจัดสัญญาณพาหะออกแล้ว

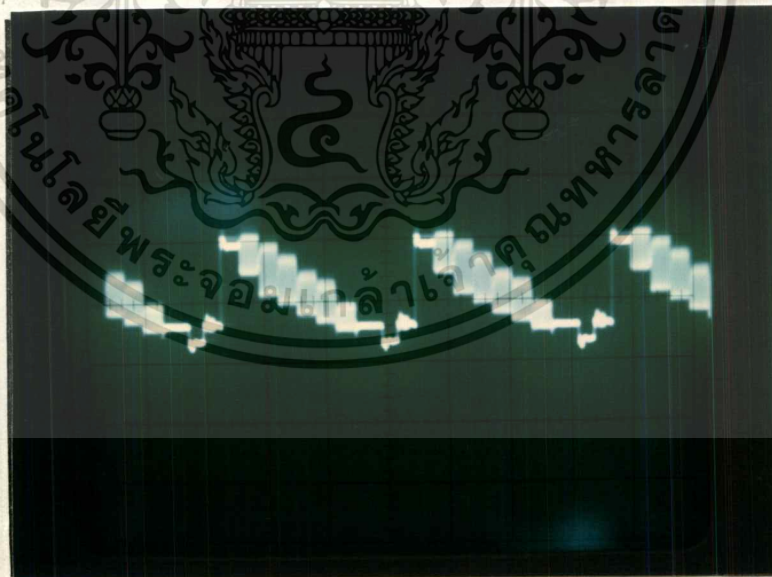
ต่อจากนั้นทำการตรวจสอบสัญญาณโทรทัศน์ที่รับได้ทางด้านเครื่องรับที่จุดตรวจสอบที่ 1 จะได้สัญญาณโทรทัศน์ดังรูปที่ 4.5



Time/div = 20uS

Volt/div = 1V

รูปที่ 4.4 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ออสซิลโลสโคป ที่จุดทดสอบของเครื่องส่ง



Time/div = 20uS

volt/div = 0.5V

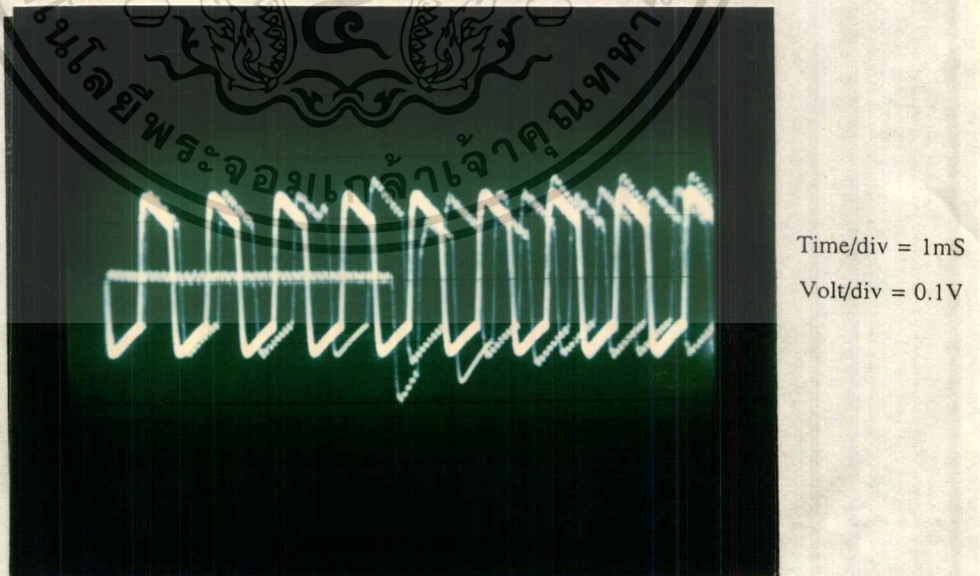
รูปที่ 4.5 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ออสซิลโลสโคป ที่จุดทดสอบที่ 1 ของเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 เป็นรูปสัญญาณภาพรวม ซึ่งจะประกอบด้วยสัญญาณภาพ สัญญาณสี และ สัญญาณเสียง แบนด์วิดท์ 5.5 เมกกะเฮิร์ตซ์ เราสามารถจะตรวจสอบการแยกออกของสัญญาณภาพ และสัญญาณเสียงได้โดยใช้สโคปตรวจวัดที่จุดตรวจสอบ 2 , 3 ตามลำดับดังรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 สัญญาณที่ได้จากการแยกภาพและสี (จุดทดสอบที่ 2)

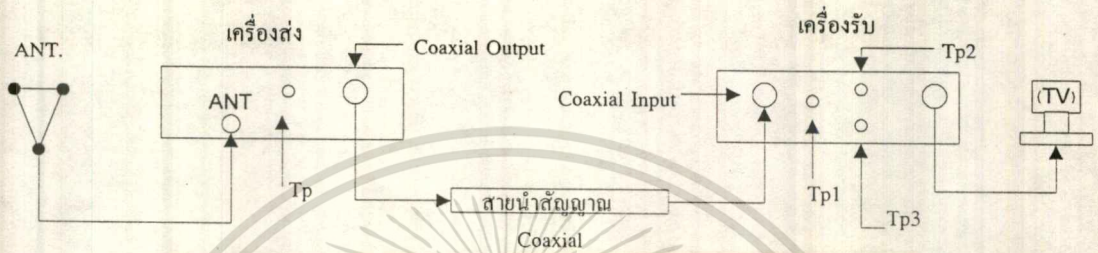


รูปที่ 4.7 สัญญาณที่ได้จากการแยกสัญญาณเสียง (จุดทดสอบที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณโทรทัศน์ที่รับได้จะมีรูปร่างและลักษณะเหมือนกับทางด้านส่งทุกประการ

4.2.1.2 ทดสอบโดยป้อนสัญญาณจากสายอากาศ



รูปที่ 4.8 การต่อเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยใช้สายนำสัญญาณแกนร่วม
ต่อกับสายอากาศ



Time/div = 20uS
Volt/div = 1V

รูปที่ 4.9 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ออสซิลอสโคป ที่จุดทดสอบของเครื่องส่ง

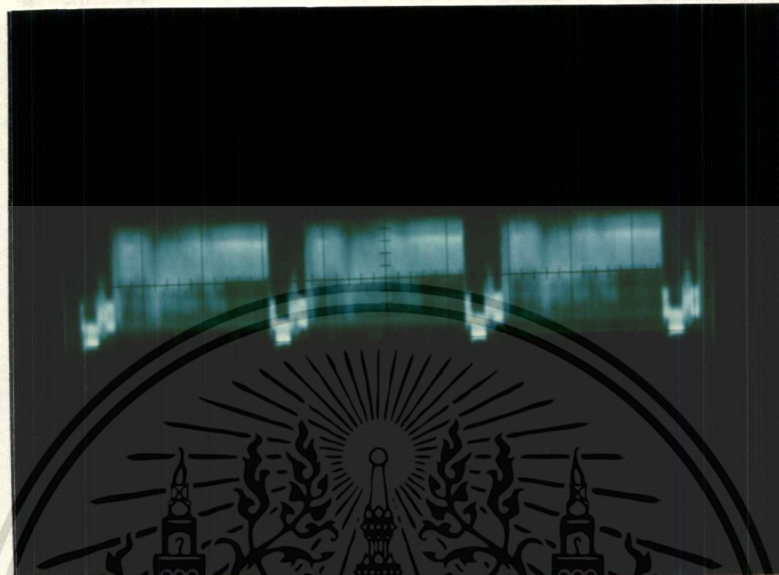
ทำการต่อเครื่องส่งที่จะใช้ทดสอบเข้ากับเครื่องรับโดยใช้สายนำสัญญาณแแกนร่วมเป็นตัวเชื่อมระหว่างเครื่องทั้งสอง (หรือใช้สายนำสัญญาณแแกนร่วมเป็นสายนำสัญญาณโทรทัศน์) ดังรูปที่ 4.8 เมื่อต่อตามรูปแล้วทำการจ่ายสัญญาณจากสายอากาศเข้าไป แล้วเปิดเครื่องทั้งด้านส่งและรับ สังเกตสัญญาณที่ได้จากจอโทรทัศน์ถ้าไม่ชัดเจนให้ทำการเลือกคลื่น จากสวิทช์จูน เพื่อให้สัญญาณชัดเจน เมื่อสัญญาณชัดเจนแล้วให้นำสายสโคปวัดสัญญาณที่จุดตรวจสอบ(test point) ที่เครื่องส่งจะได้สัญญาณภาพที่ถูกขจัดสัญญาณพาหะออกแล้ว

ต่อจากนั้นทำการตรวจสอบสัญญาณโทรทัศน์ที่รับได้ทางด้านเครื่องรับ ที่จุดตรวจสอบที่ 1 จะได้สัญญาณโทรทัศน์ดังรูป



รูปที่ 4.10 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ออสซิลอสโคป ที่จุดทดสอบที่ 1 ของเครื่องรับ

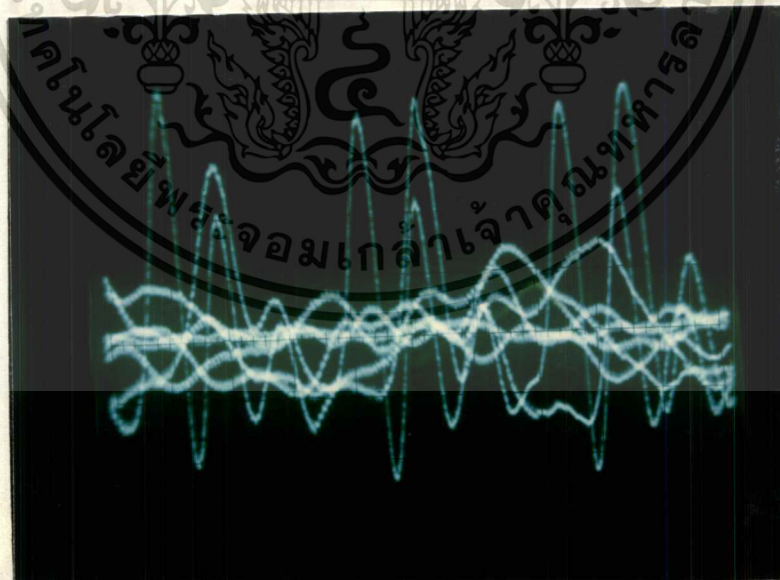
จากรูปที่ 4.10 เป็นรูปสัญญาณภาพรวม ซึ่งจะประกอบด้วยสัญญาณภาพ สัญญาณสี และสัญญาณเสียง แบบควอดซ์ 5.5 เม็กกะเฮิรซ์ เราสามารถจะตรวจสอบการแยกออกของสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงได้โดยใช้สโคปตรวจวัดที่จุดตรวจสอบ 2 , 3 ตามลำดับดังรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12



Time/div = 20uS

Volt/div = 0.2V

รูปที่ 4.11 สัญญาณที่ได้จากการแยกภาพและสี (จุดทดสอบที่ 2)



Time/div = 1mS

Volt/div = 0.1V

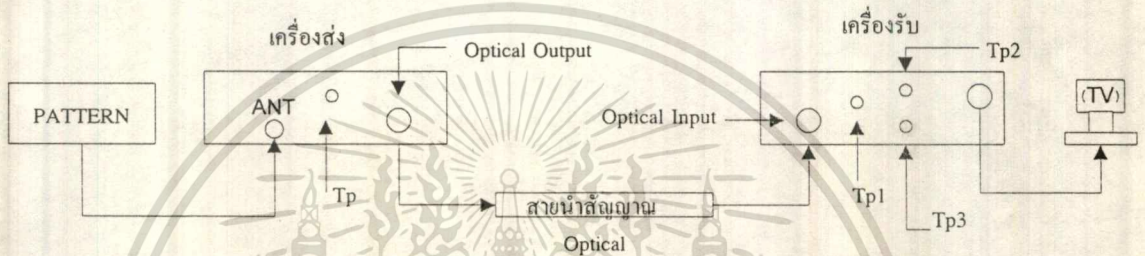
รูปที่ 4.12 สัญญาณที่ได้จากการแยกสัญญาณเสียง (จุดทดสอบที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า-
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

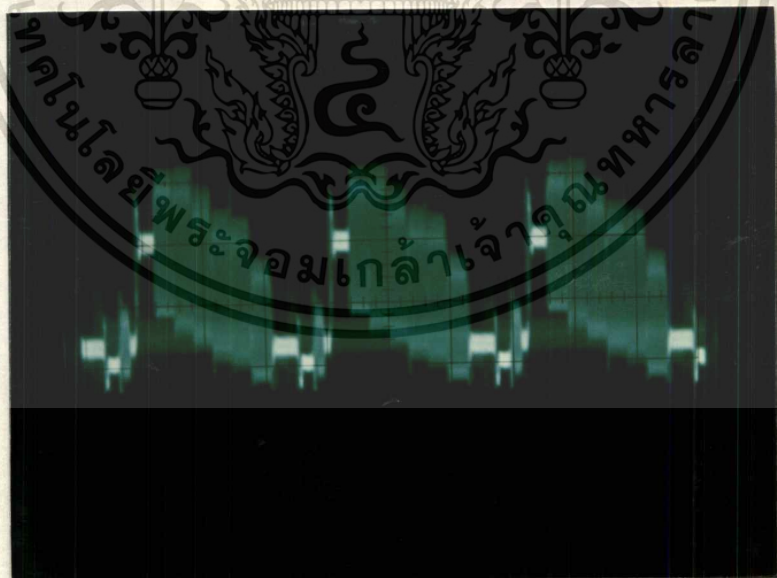
ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณโทรทัศน์ที่ได้รับได้ จะมีรูปร่างและลักษณะเหมือนกับทางด้านส่ง
ทุกประการ

4.2.2 การทดสอบโดยใช้เส้นใยแสงเป็นสายนำสัญญาณ

4.2.2.1 ทดสอบโดยป้อนสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณภาพ



รูปที่ 4.13 การต่อเครื่องส่งและรับ โดยใช้เส้นใยแสง



Time/div = 20uS

Volt/div = 1V

รูปที่ 4.14 สัญญาณภาพที่ได้จากการวัดคร่อม LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการต่อเครื่องส่งที่จะใช้ทดสอบเข้ากับเครื่องรับโดยใช้เส้นใยแสงเป็นตัวเชื่อมระหว่างเครื่องทั้งสอง (หรือใช้เส้นใยแสงเป็นสายนำสัญญาณโทรทัศน) ดังรูปที่ 4.13 เมื่อต่อตามรูปแล้วทำการจ่ายสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณโทรทัศนเข้าไป แล้วทำการเปิดสวิทช์ให้กับแหล่งจ่ายไฟให้กับเครื่องส่งและเครื่องรับ สังเกตสัญญาณที่ได้จากจอโทรทัศน ถ้าไม่ชัดเจนให้ทำการเลือกคลื่น จากสวิทช์จน เพื่อให้สัญญาณชัดเจน เมื่อสัญญาณชัดเจนแล้วให้นำสายสโคปวัดสัญญาณที่คร่อมLED ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งจะได้สัญญาณภาพที่ส่งออกไปจริงๆดังแสดงในรูปที่ 4.14

ต่อจากนั้นทำการตรวจสอบสัญญาณโทรทัศนที่รับได้ทางด้านเครื่องรับ ที่จุดตรวจสอบที่ 1 จะได้สัญญาณโทรทัศนดังรูป

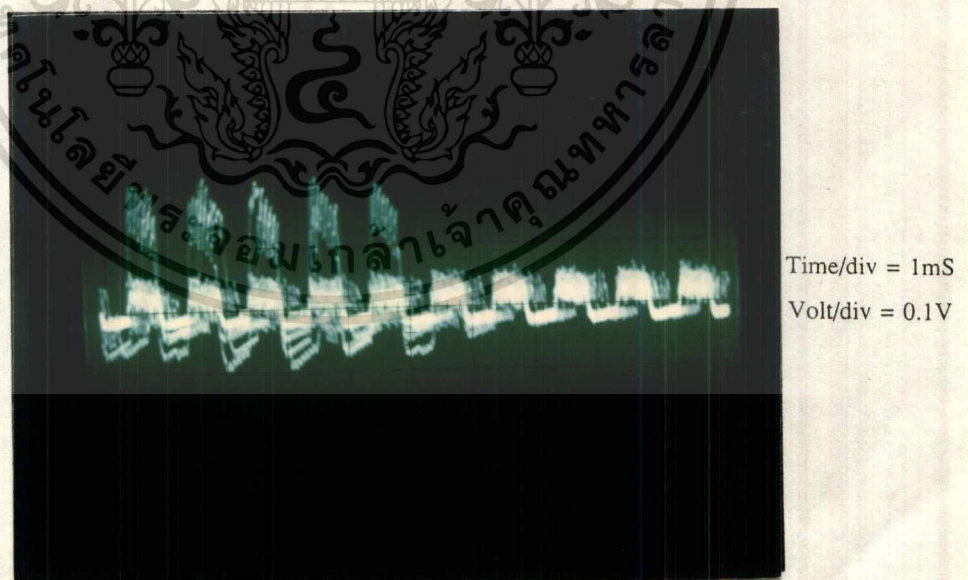


รูปที่ 4.15 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ฮอสซิลอสโคป ที่จุดทดสอบที่ 1 ของเครื่องรับ

จากรูปที่ 4.15 เป็นรูปสัญญาณภาพรวม ซึ่งจะประกอบด้วยสัญญาณภาพ สัญญาณสี และสัญญาณเสียงแบนด์วิดท์ 5.5 เมกกะเฮิร์ตซ์ เราสามารถจะตรวจสอบการแยกออกของสัญญาณภาพ และสัญญาณเสียงได้โดยใช้สโคปตรวจวัดที่จุดตรวจสอบ 2 , 3 ตามลำดับดังรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.16 สัญญาณที่ได้จากการแยกภาพและสี (จุดทดสอบที่ 2)

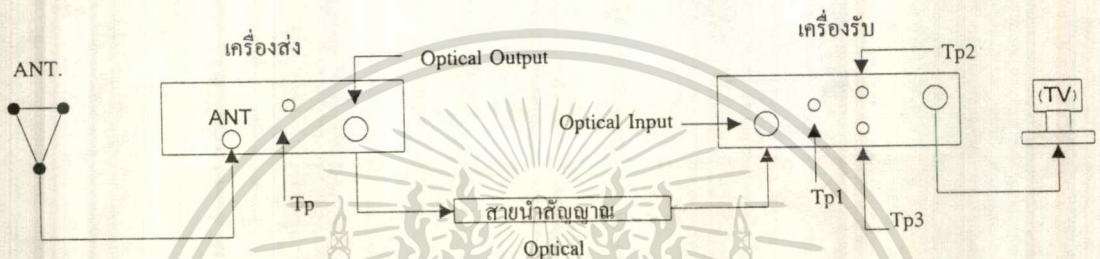


รูปที่ 4.17 สัญญาณที่ได้จากการแยกสัญญาณเสียง (จุดทดสอบที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณโทรทัศน์ที่รับได้จะมีรูปร่างของสัญญาณจะมีขนาดเล็กลงเนื่องจากคุณภาพของการรับไม่ดีพอ แต่สัญญาณที่ได้นั้นจะมีครบทั้งสัญญาณภาพ สัญญาณซิงค์ และสัญญาณเสียงพิจารณาได้จากรูปที่ 4.15 กับรูปที่ 4.14 ซึ่งรูปที่ 4.14 เป็นสัญญาณด้านส่งที่ตกแต่ง LED ส่วนรูปที่ 4.15 เป็นสัญญาณทางด้านขาออกจากวงจรขยาย 2 สเตท

4.2.2.2 ทดสอบโดยป้อนสัญญาณจากสายอากาศ



รูปที่ 4.18 การต่อเครื่องส่งและรับโดยใช้เส้นใยแสง



Time/div = 20uS

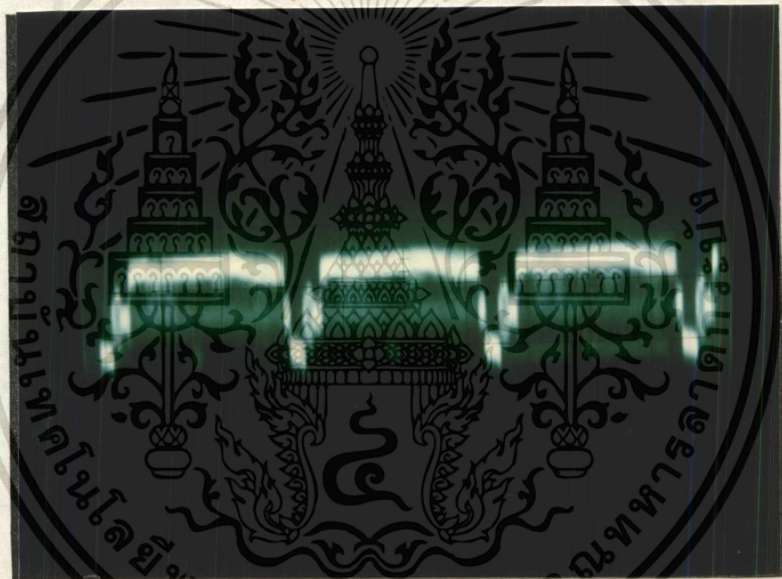
Volt/div = 1V

รูปที่ 4.19 สัญญาณภาพที่ได้จากการตกแต่ง LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการต่อเครื่องส่งที่จะใช้ทดสอบเข้ากับเครื่องรับโดยใช้เส้นใยแสงเป็นตัวเชื่อมระหว่างเครื่องทั้งสอง (หรือใช้เส้นใยแสงเป็นสายนำสัญญาณโทรทัศน) ดังรูปที่ 4.18 เมื่อต่อตามรูปแล้วทำการจ่ายสัญญาณจากสายอากาศเข้าไป แล้วทำการเปิดสวิทช์ให้กับแหล่งจ่ายไฟให้กับเครื่องส่งและเครื่องรับ สังเกตสัญญาณที่ได้จากจอโทรทัศน ถ้าไม่ชัดเจนให้ทำการเลือกคลื่น จากสวิทช์จนเพื่อให้สัญญาณชัดเจน เมื่อสัญญาณชัดเจนแล้วให้นำสายสโคปวัดสัญญาณที่ครอบLED ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งจะได้สัญญาณภาพที่ส่งออกไปจริงๆดังแสดงในรูปที่ 4.19

ต่อจากนั้นทำการตรวจสอบสัญญาณโทรทัศนที่รับได้ทางด้านเครื่องรับ ที่จุดตรวจสอบที่ 1 จะได้สัญญาณโทรทัศนดังรูป



รูปที่ 4.20 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ฮอสซิลอสโคป ที่จุดทดสอบที่ 1 ของเครื่องรับ

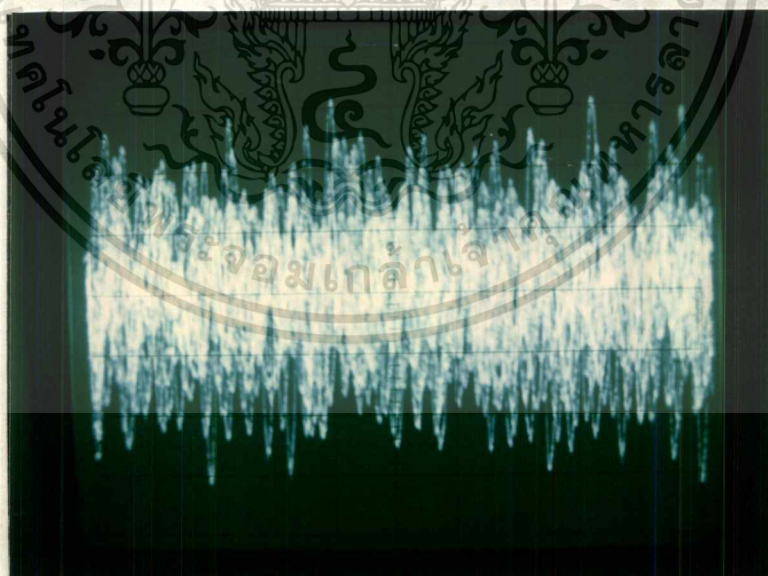
จากรูปที่ 4.20 เป็นรูปสัญญาณภาพรวม ซึ่งจะประกอบด้วยสัญญาณภาพ สัญญาณซิงค์ และสัญญาณเสียง แบนด์วิดท์ 5.5 เมกกะเฮิร์ซ เราสามารถจะตรวจสอบการแยกออกของสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงได้โดยใช้สโคปตรวจวัดที่จุดตรวจสอบ 2 , 3 ตามลำดับดังรูปที่ 4.21 และรูปที่ 4.22



Time/div = 20uS

Volt/div = 0.2V

รูปที่ 4.21 แสดงสัญญาณที่ได้จากการแยกภาพและสี (จุดทดสอบที่ 2)



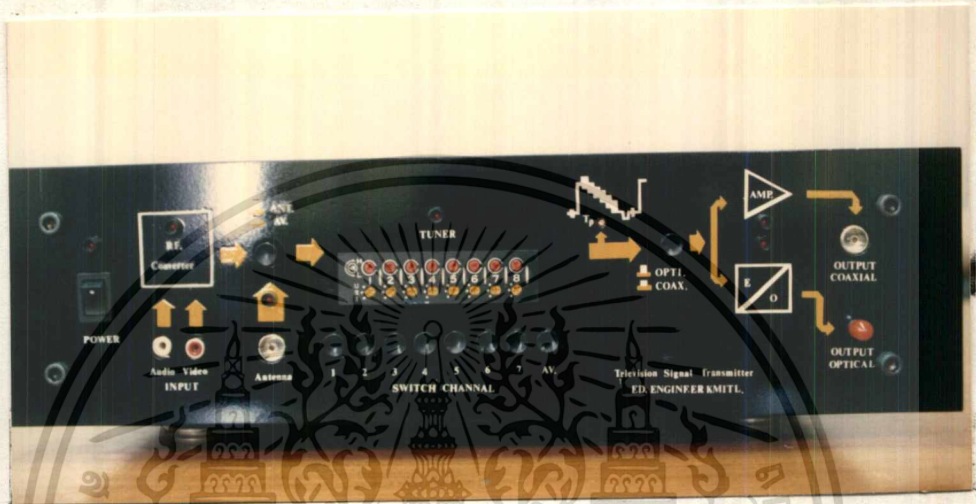
Time/div = 1mS

Volt/div = 0.1V

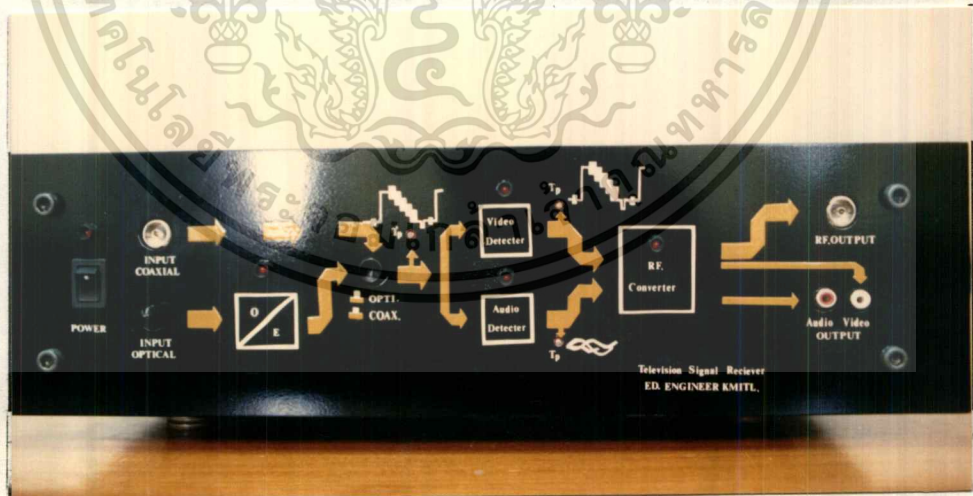
รูปที่ 4.22 แสดงสัญญาณที่ได้จากการแยกสัญญาณเสียง (จุดทดสอบที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณโทรทัศน์ที่รับได้จะมีรูปร่างของสัญญาณจะมีขนาดเล็กลงเนื่องจากคุณภาพของการรับไม่ดีพอ แต่สัญญาณที่ได้นั้นจะมีครบทั้งสัญญาณภาพ สัญญาณสี และสัญญาณเสียงพิจารณาได้จากรูปที่ 4.21 กับรูปที่ 4.13 ซึ่งรูปที่ 4.13 เป็นสัญญาณด้านส่งที่ตกคร่อม LED ส่วนรูปที่ 4.21 เป็นสัญญาณทางด้านขาออกจากวงจรขยาย 2 สเตท



รูปที่ 4.23 ส่วนหน้าปัดของเครื่องส่ง



รูปที่ 4.24 ส่วนหน้าปัดของเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 วิธีการใช้เครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสง

1. เตรียมเครื่องเล่นวีดีโอเทป หรือกล่องวีดีโอเทป เครื่องกำเนิดสัญญาณทดสอบ (Pattern Generator) และเครื่องรับโทรทัศน์
2. เตรียมเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสง
3. ต่อเครื่องเล่นวีดีโอเทปหรือเครื่องกำเนิดสัญญาณทดสอบ หรือสายอากาศ ต่อเข้ายังจุดอินพุทของเครื่องส่งที่จุด ANT.input และ Video Audio input
4. ต่อเส้นใยแสงเข้าที่หัวส่ง และหัวรับ ที่เป็น LED และ PD ตามลำดับ
5. ต่อสายนำสัญญาณแกนร่วมด้านขาออกของเครื่องรับเข้ากับเครื่องรับโทรทัศน์
6. เปิดสวิทช์เพาเวอร์ ของเครื่องส่งและเครื่องรับ
7. ทดสอบสัญญาณตามจุดตรวจสอบต่างๆ

บทที่ 5

บทวิจารณ์ สรุป และแนวทางในการพัฒนา

5.1 บทสรุป

จากการทดลองส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสง ผลที่ได้มีความชัดเจนของสัญญาณที่สังเกตได้จากเครื่องรับโทรทัศน์เมื่อเทียบกับการต่อสายอากาศโดยตรงเข้าเครื่องรับโทรทัศน์ สามารถสรุปได้ว่าแทบจะไม่มีข้อแตกต่างกันระหว่าง 2 เงื่อนไขนี้เลย และนอกเหนือจากนี้ยังส่งสัญญาณจากสายอากาศและสามารถจะนำเอาสัญญาณโทรทัศน์จากจุดอื่นๆมาส่งเข้าไปในการทดลองหรือใช้งานจริงได้ เช่น สัญญาณจากเครื่องเล่นภาพเคลื่อนไหว หรือสัญญาณจากเครื่องทดสอบสัญญาณภาพ

5.2 ปัญหาในการทำงาน

1. การหาข้อมูลของหัวส่งและรับสัญญาณแสงมีข้อมูลน้อยจึงเป็นไปได้ยากในการเลือกใช้อุปกรณ์เหล่านี้ มาใช้อย่างถูกต้องประสงค์หรือความต้องการที่ได้กำหนดไว้
2. ความคงทนของหัวส่งหรือ LED ขาดความคงทนกับกระแสที่ไหลผ่านตัวมัน
3. เครื่องจ่ายไฟจะต้องมีเสถียรภาพในการจ่ายกระแสสูงเพราะใช้ร่วมกับความถี่ที่สูง
4. สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบเช่นสัญญาณที่เกิดจากกระเบื้องอาร์เอฟคอนเวอร์เตอร์และจากอุปกรณ์ข้างเคียงที่ต่อเข้ามาเช่นหม้อแปลง

5.3 แนวทางการพัฒนา

1. พัฒนาให้สามารถส่งสัญญาณ ได้หลายช่องสัญญาณในเวลาเดียวกัน โดยการทำมัลติเพล็กซ์ก่อนส่งเข้าไปในเส้นใยแสง
2. พัฒนาให้มีการคอมเพรสส์(Compress) สัญญาณก่อนทำการส่งออก
3. พัฒนาให้มีการส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยใช้ระบบดิจิทัล
4. พัฒนาในการสร้างเครื่องรับและส่งสัญญาณโทรศัพท์ระบบภาพ(Telephon Picture)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

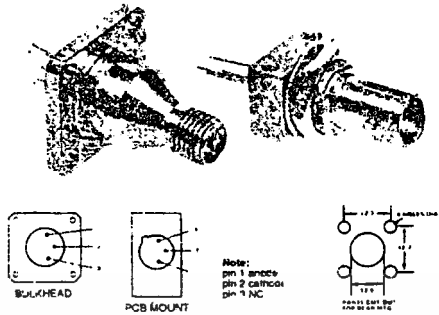
- 1) ไซยงค์ สุวรรณชีวะศิริ , ปฐมบทของไฟเบอร์อปติก , เซมิกอนดัคเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 115 , 2535
- 2) ฝ่ายบริการ , ทฤษฎีการทำงานและคู่มือซ่อมโทรทัศน์สีแท่นเครื่อง GR1-AX , บริษัท ไฟฟ้าฟิลิปส์แห่งประเทศไทย จำกัด
- 3) ฝ่ายบริการ , ทฤษฎีการทำงานและคู่มือซ่อมโทรทัศน์สีแท่นเครื่อง NCF-CR , บริษัท ไฟฟ้าฟิลิปส์แห่งประเทศไทย จำกัด
- 4) อธิคม ฤกษ์บุตร , ระบบสื่อสารด้วยไฟเบอร์อปติก ตอน1 , เซมิกอนดัคเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 118 , 2535
- 5) อธิคม ฤกษ์บุตร , ระบบสื่อสารด้วยไฟเบอร์อปติก ตอน2 , เซมิกอนดัคเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 119 , 2535
- 6) อธิคม ฤกษ์บุตร , ระบบสื่อสารด้วยไฟเบอร์อปติก ตอนจบ , เซมิกอนดัคเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 120 , 2535
- 7) อภินันท์ มัญยานนท์ , การสื่อสารเส้นใยแสง , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2528
- 8) อภินันท์ มัญยานนท์ , ทฤษฎีการสื่อสารเส้นใยแสง , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2528
- 9) HANDBOOK , “TTL Databook” , Texas Instruments Inc. , U.S.A. , 1981.
- 10) KENICHI, N. and SHIRAKAWA, H. OPTIC FIBER COMUNICATION MADE EASY (YASASHII HIKARI FAIBA TSUUSHIN). Tokyo . OHM company. 1995.
- 11) Morris Tischler , Optoelectronics : Fiber Optics and Lasers ,A Text-Lab Manual (second edition) , McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS , 1992.
- 12) Telecommunication Device Data , Motorola Inc. , 1987.

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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

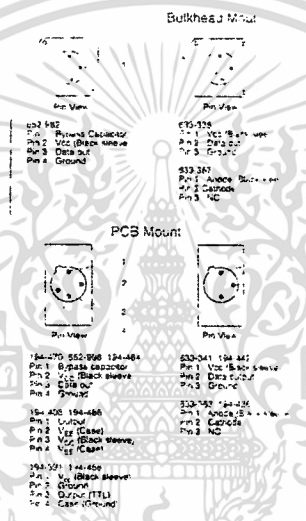
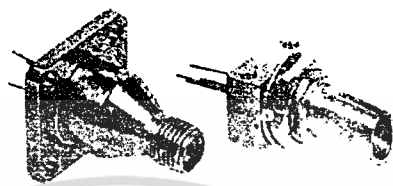
Forward current I_F	100mA
Reverse voltage V_R (at 10 μ A)	1V
Operating temperature range	-40°C to +100°C

Optoelectronic characteristics at 25°C

	min	typ.	max
V_F , at $I_F = 100\text{mA}$		1.6V	1.8V
Peak emission wavelength ($I_F = 100\text{mA}$)		850nm	
Spectral bandwidth		50nm	
Response time	t_r	4ns	8ns
($I_{PK} = 100\text{mA}$)	t_r	6ns	10ns
Launch power*			
low power emitter			
(a) 50/125 μm glass		3 μW min (-25dBm)	
(b) 200 μm P.C.S.		50 μW min (-13dBm)	

High power emitter	
(a) 50/125 μm glass	10 μW min (-20dBm)
(b) 200 μm P.C.S.	160 μW 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 up to 50 MHz. The active device is an HFD3022-002

technical specification	
Peak spectral response (typ.)	850nm
Peak responsivity 850nm (50 μm)	0.85A/W
Dark current (max)	2nA
Capacitance	2.1pF

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

Fiber Optic Cable

50/125 μm Terminated Optical Leads



Lengths of LSOH polyethylene 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 (820 nm) 3 dB/km typ., 4 dB/km max. Bandwidth 400 Mhz/km . minimum bend radius 3. mm, maximum tensile load 100 N. Operating temperature rang -15°C to +60°C

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

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

NPN SILICON ANNULAR HERMETIC TRANSISTORS

widely used "Industry Standard" transistors for applications as medium-speed switches and as amplifiers from audio to VHF frequencies.

- DC Current Gain Specified -- 1.0 to 500 mAdc
- Low Collector-Emitter Saturation Voltage -
 $V_{CE(sat)}$ @ $I_C = 500$ mAdc
 = 1.6 Vdc (Max) -- Non-A Suffix
 = 1.0 Vdc (Max) -- A-Suffix
- High Current Gain-Bandwidth Product -
 $f_T = 250$ MHz (Min) @ $I_C = 20$ mAdc -- All Types Except
 $= 360$ MHz (Min) @ $I_C = 20$ mAdc -- 2N2219A, 2N2222A, 2N5582
- Complements to PNP 2N2904, A thru 2N2907, A
- JAN/JANTX Available for all devices

NPN SILICON SWITCHING AND AMPLIFIER TRANSISTORS

SELECTION GUIDE

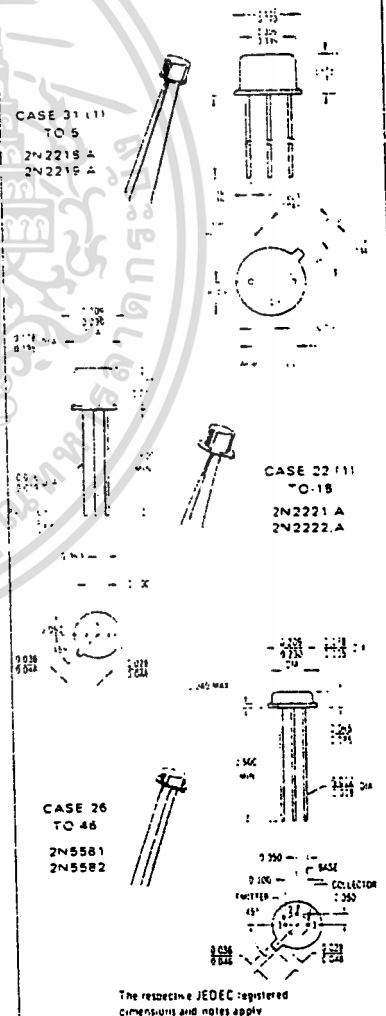
Device Type	BV _{CEO} $I_C = 10$ mAdc Volts	Characteristic		Package
		$I_C = 150$ mAdc Min/Max	h_{FE} $I_C = 500$ mAdc Min	
2N2218 2N2219	30	40/120 100/300	20 30	TO-5
2N2221 2N2222	30	40/120 100/300	20 30	TO-18
2N5581 2N5582	40	40/120 100/300	25 40	TO-46
2N2218A 2N2219A	40	40/120 100/300	25 40	TO-5
2N2221A 2N2222A	40	40/120 100/300	25 40	TO-18

*MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	2N2218 2N2219 2N2221 2N2222	2N2218A 2N2219A 2N2221A 2N2222A	2N5581 2N5582	Unit
Collector-Emitter Voltage	V _{CEO}	30	40	40	Vdc
Collector-Base Voltage	V _{CB}	60	75	75	Vdc
Emitter-Base Voltage	V _{EB}	5.0	6.0	6.0	Vdc
Collector Current - Continuous	I _C	800	800	800**	mAdc
Total Device Dissipation @ T _A = 25°C Derate above 25°C	P _D	0.8 5.33	0.5 3.33	0.5 3.33	Watt mW/°C
Total Device Dissipation @ T _C = 25°C Derate above 25°C	P _D	3.0 20	1.8 12	2.0 11.43	Watts mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T _J , T _{stg}	-65 to +200			°C

* Indicates JEDEC Registered Data.

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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
OFF CHARACTERISTICS				
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 10\text{ mA}$, $I_B = 0$)	BV_{CEO}	30 40	-	Vdc
Collector-Base Breakdown Voltage ($I_C = 10\text{ }\mu\text{A}$, $I_E = 0$)	BV_{CBO}	60 75	-	Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage ($I_E = 10\text{ }\mu\text{A}$, $I_C = 0$)	BV_{EBO}	5.0 6.0	-	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 60\text{ Vdc}$, $V_{EB(\text{off})} = 3.0\text{ Vdc}$)	I_{CEX}	-	10	nA
Collector Cutoff Current ($V_{CB} = 50\text{ Vdc}$, $I_E = 0$)	I_{CBO}	-	0.01	μA
($V_{CB} = 60\text{ Vdc}$, $I_E = 0$)		-	0.01	
($V_{CB} = 50\text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $T_A = 150^\circ\text{C}$)		-	10	
($V_{CB} = 60\text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $T_A = 150^\circ\text{C}$)		-	10	
Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = 3.0\text{ Vdc}$, $I_C = 0$)	I_{ERO}	-	10	nA
Base Cutoff Current ($V_{CE} = 60\text{ Vdc}$, $V_{EB(\text{off})} = 3.0\text{ Vdc}$)	I_{BL}	-	20	nA
ON CHARACTERISTICS				
DC Current Gain ($I_C = 0.1\text{ mA}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$)	h_{FE}	20 35	-	-
($I_C = 1.0\text{ mA}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$)		25 50	-	
($I_C = 10\text{ mA}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$)		35 75	-	
($I_C = 10\text{ mA}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $T_A = -55^\circ\text{C}$)		15 35	-	
($I_C = 150\text{ mA}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$) (1)		40 100	120 300	
($I_C = 150\text{ mA}$, $V_{CE} = 1.0\text{ Vdc}$) (1)		20 50	-	
($I_C = 500\text{ mA}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$) (1)		20 30 25 40	-	
Collector-Emitter Saturation Voltage (1) ($I_C = 150\text{ mA}$, $I_B = 15\text{ mA}$)	$V_{CE(\text{sat})}$	-	0.4 0.3	Vdc
($I_C = 500\text{ mA}$, $I_B = 50\text{ mA}$)		-	1.6 1.0	
Base-Emitter Saturation Voltage (1) ($I_C = 150\text{ mA}$, $I_B = 15\text{ mA}$)	$V_{BE(\text{sat})}$	0.6 0.6	2.0 1.2	Vdc
($I_C = 500\text{ mA}$, $I_B = 50\text{ mA}$)		-	2.6 2.0	

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

*ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Continued)

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

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

Delay Time	(V _{CC} = 30 Vdc, V _{BE(off)} = 0.5 Vdc, I _C = 150 mA dc, I _{B1} = 15 mA dc) (Figure 14)	t _d	—	10	ns
Rise Time		t _r	—	25	ns
Storage Time	(V _{CC} = 30 Vdc, I _C = 150 mA dc, I _{B1} = I _{B2} = 15 mA dc) (Figure 15)	t _s	—	225	ns
Fall Time		t _f	—	60	ns
Active Region Time Constant** (I _C = 150 mA dc, V _{CE} = 30 Vdc)		T _A	—	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_{cb} and C_{eo} for these conditions and values.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

FIGURE 1 – NORMALIZED DC CURRENT GAIN

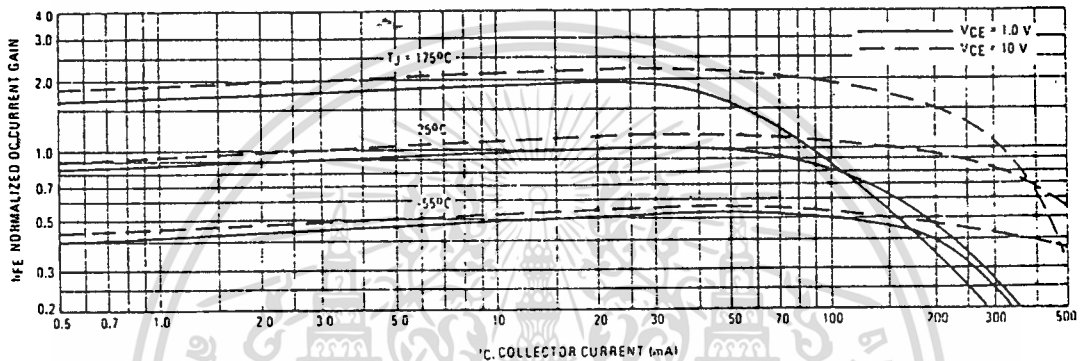
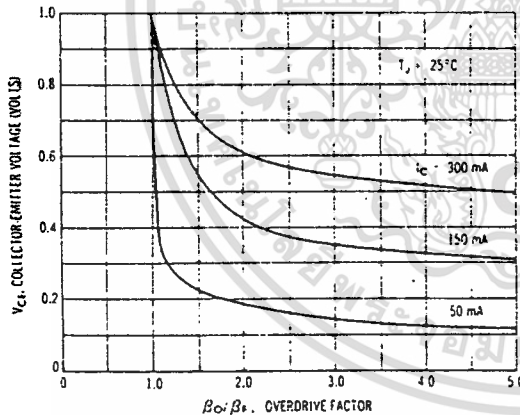


FIGURE 2 – COLLECTOR CHARACTERISTICS IN SATURATION REGION



This graph shows the effect of base current on collector current. β_s (current gain at the edge of saturation) is the current gain of the transistor at 1 volt, and β_f (forced gain) is the ratio of I_c/I_b in a circuit.

EXAMPLE: For type 2N2219, estimate a base current (I_b) to insure saturation at a temperature of 25°C and a collector current of 150 mA.

Observe that at $I_c = 150$ 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_{fe} at 1 volt is approximately 0.62 of h_{fe} at 10 volts. Using the guaranteed minimum gain of 100 at 150 mA and 10 V, $\beta_f = 62$ and substituting values in the overdrive equation we find:

$$\frac{\beta_f}{\beta_s} = \frac{h_{fe} @ 1.0 V}{I_c/I_b} \quad 2.5 = \frac{62}{150/I_b} \quad I_b \approx 60 \text{ mA}$$

FIGURE 3 – "ON" VOLTAGES

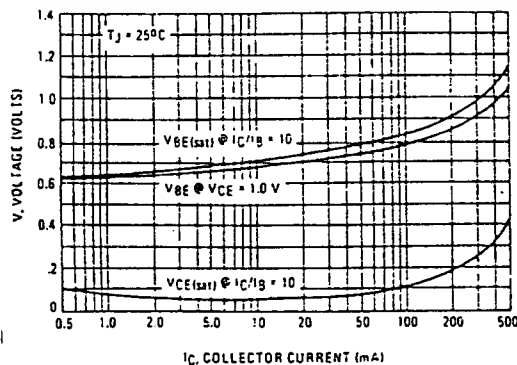
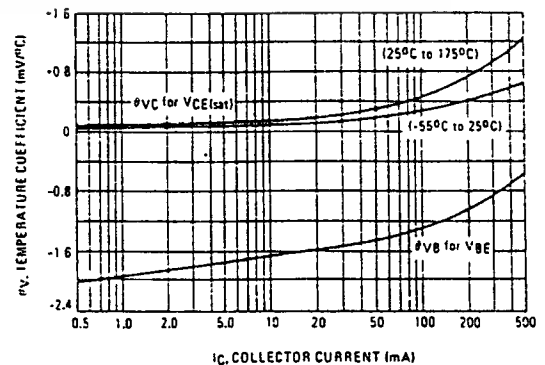


FIGURE 4 – TEMPERATURE COEFFICIENTS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

NOISE FIGURE

$V_{CE} = 10 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

FIGURE 5 — FREQUENCY EFFECTS

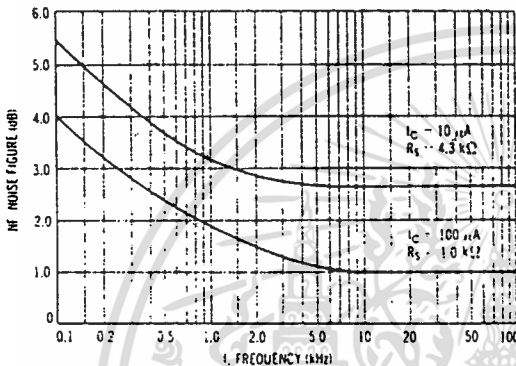
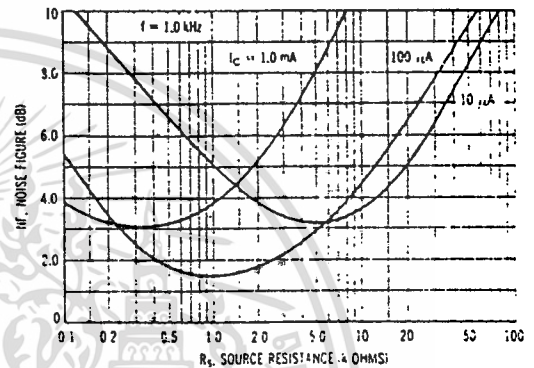


FIGURE 6 — SOURCE RESISTANCE EFFECTS



h PARAMETERS

$V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

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

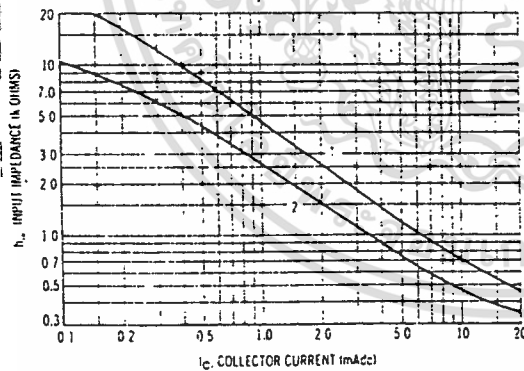


FIGURE 8 — VOLTAGE FEEDBACK RATIO

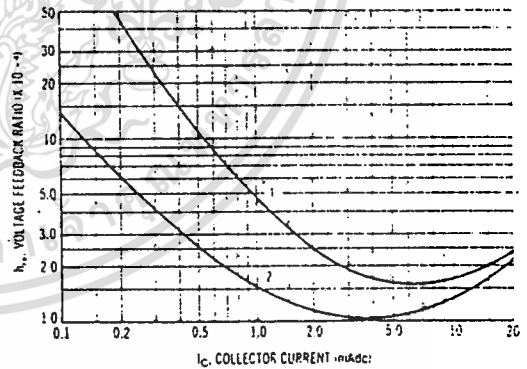


FIGURE 9 — CURRENT GAIN

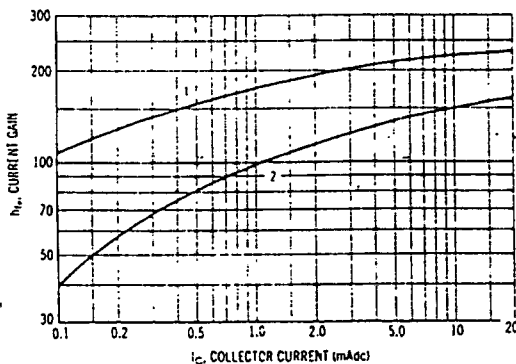
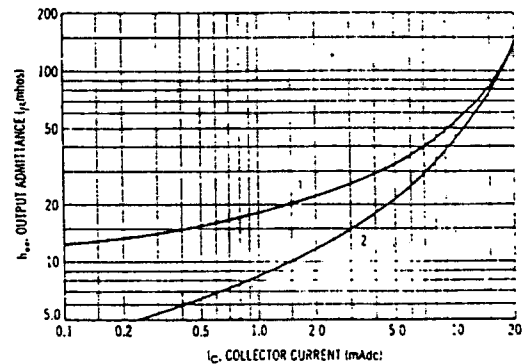


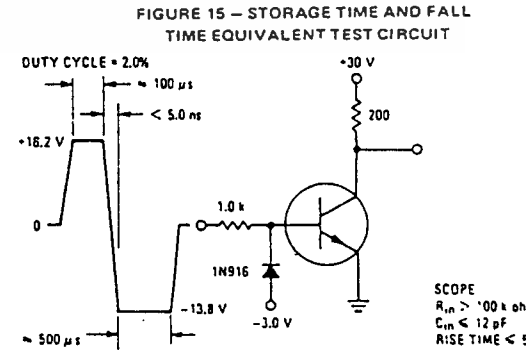
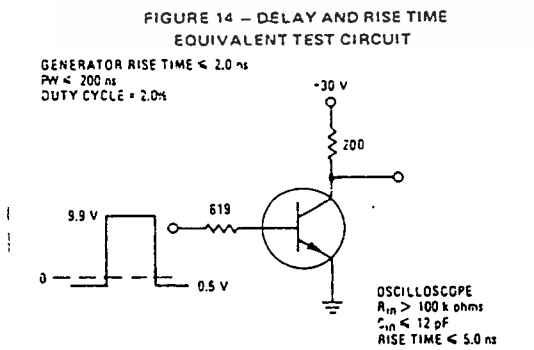
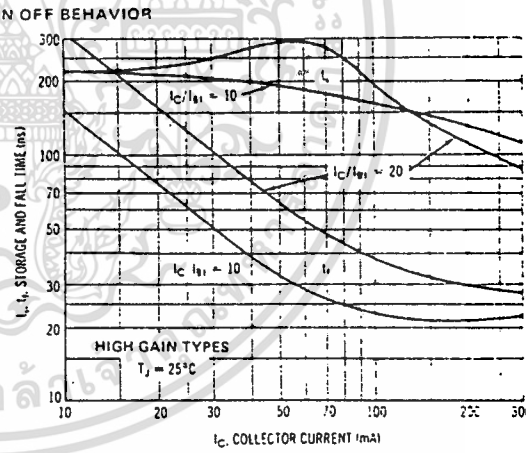
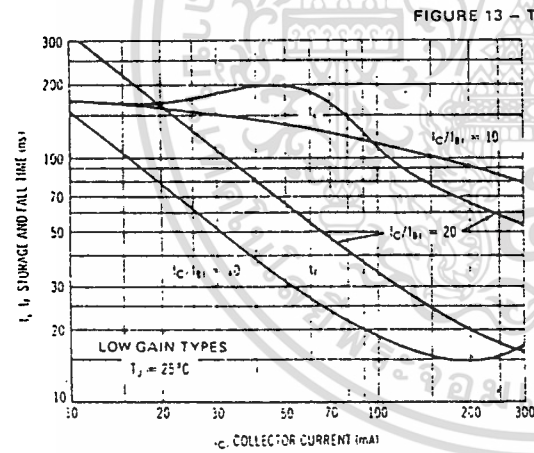
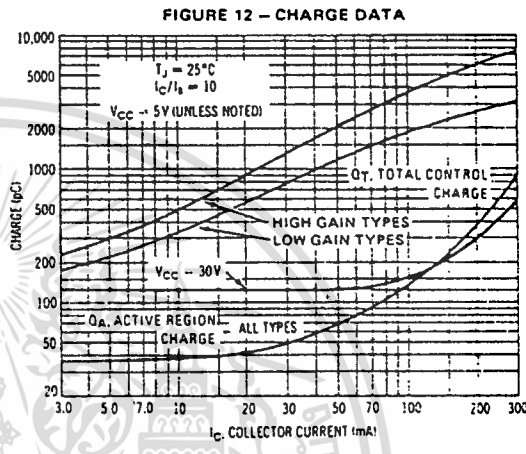
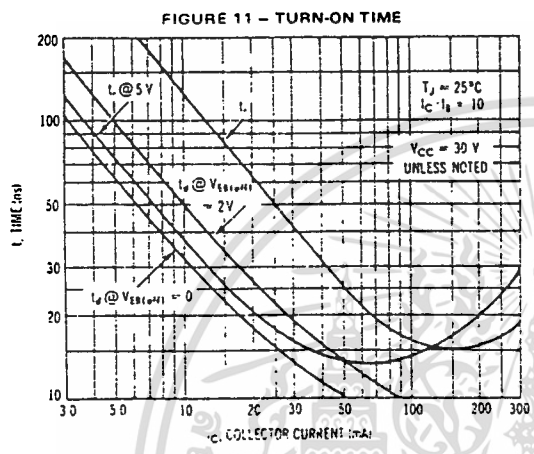
FIGURE 10 — OUTPUT ADMITTANCE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

SWITCHING TIME CHARACTERISTICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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

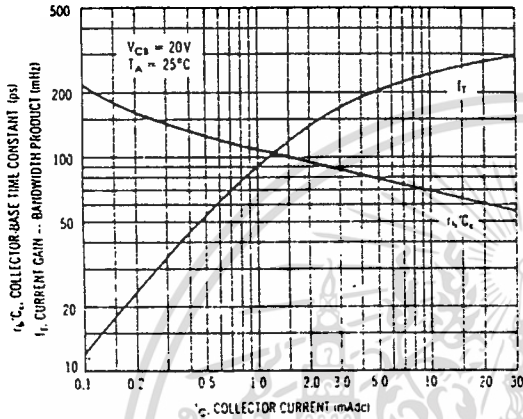


FIGURE 17 — CAPACITANCES

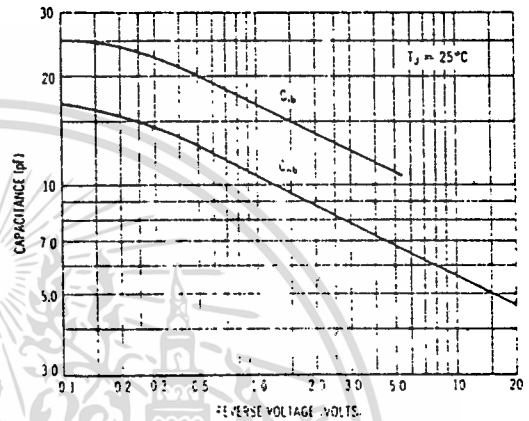
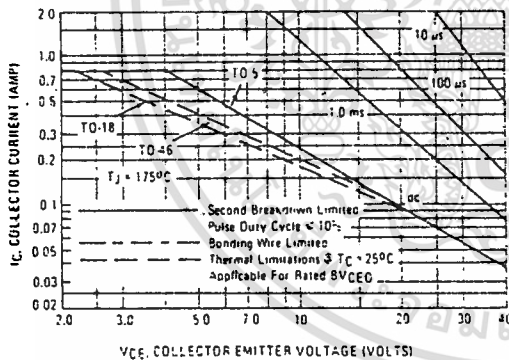


FIGURE 18 — ACTIVE-REGION SAFE OPERATING AREAS

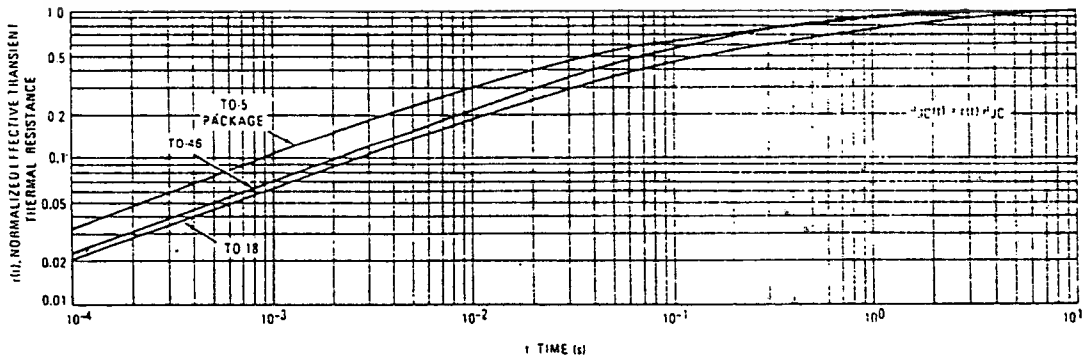


This graph shows the maximum $I_C V_{CE}$ limits of the device both from the standpoint of thermal dissipation (at $25^\circ C$ case temperature), and secondary breakdown. For case temperatures other than $25^\circ C$, the thermal dissipation curve must be modified in accordance with the derating factor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