



การส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสง  
VIDEO SIGNAL TRANSMITTING BY OPTIC FIBER

โดย

นางสาวแดงไทย	บ้านมะหิงษ์
นางสาวศุภวรรณ	เสวตกิตติกุล
นางสาวสุวิมล	เข้มสาคร

วัน เดือน ปี.....	18.คค. 2541
เลขทะเบียน.....	0-39080
เลขเรียกหนังสือ.....	ท. 20321 ๓๘12 ก.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

039080

การส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสง  
VIDEO SIGNAL TRANSMITTING BY OPTIC FIBER

โดย

นางสาวแดงไทย	ชำนาญมะหิงษ์	37014131
นางสาวศุภวรรณ	เศวตกิตติกุล	37014445
นางสาวสุวิมล	เข้มสาคร	37014540

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. อภิวัฒน์ มัญยานนท์

ดร. สุทธิชัย นพนาศิพงษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

ปริญญาโทปีการศึกษา 2540

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

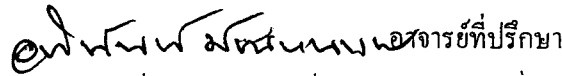
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


เรื่อง การส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสง

VIDEO SIGNAL TRANSMITTING BY OPTIC FIBER

ผู้จัดทำ

- |                 |              |          |
|-----------------|--------------|----------|
| 1.นางสาวแดงไทย  | บ้านมะหิงษ์  | 37014131 |
| 2.นางสาวศุภวรรณ | เสวตกิตติกุล | 37014445 |
| 3.นางสาวอุวิมล  | เข้มสาคร     | 37014540 |

  
(ผศ.อนันต์ มัณยานนท์)

  
(ดร.สุทธิชัย นพนาศัพท์พงษ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

## การส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสง

### VIDEO SIGNAL TRANSMITTING BY OPTIC FIBER

โดย นางสาวแดงไทย บัณฑิตปริญญาตรี 37014131

นางสาวศุภวรรณ เสวตกิตติกุล 37014445

นางสาวสุวิมล แซ่มสาคร 37014540

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.อภิรักษ์ มั่นยานนท์

ดร.สุทธิชัย นพนาตีพงษ์

#### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาในขอบข่ายของการสื่อสารเส้นใยแสง โดยได้ทำการศึกษาถึงทฤษฎีและหลักการพื้นฐานต่าง ๆ ของระบบการสื่อสารเส้นใยแสง รวมทั้งได้ออกแบบและทำการสร้าง อุปกรณ์ส่งและรับสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสง โดยนำสัญญาณภาพจากแหล่งกำเนิดสัญญาณมาป้อนเข้าเครื่องส่งสัญญาณ จากนั้นจึงนำสัญญาณที่รับได้ นำไปผ่านวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงเพื่อส่งไปตามเส้นใยแสง ส่วนที่ภาครับนั้น เมื่อรับสัญญาณแสงมาแล้ว จะทำการเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยใช้โฟโตไดโอด รวมทั้งทำการขยายสัญญาณเนื่องจากสัญญาณที่ได้รับจะเป็นสัญญาณที่อ่อนมาก โดยในการขยายจะให้มีความแรงระดับหนึ่งโดยที่ยังไม่ทำให้ภาพผิดเพี้ยนไป จากนั้นจึงนำไปแสดงผลทางจอมอนิเตอร์ต่อไป

#### ABSTRACT

This Project is to study in Optical Communication with fiber optic. We had studied about the theorem and fundamental concept of fiber optic communication system . Conclude design, construct and test device that transmits and receives video signal . The transmitter will use video signal that will change to optical signal by E/O circuit by photo diode to send via fiber optic.

In receiver state, will convert from optical signal to electrical signal and then amplify that signal for expand power level , cause receive signal is very small and low power . And we will use buffer to improve signal and then displays its by monitor .

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	42
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	56
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	72
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ</b>	
รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยดัชนีชั้น	3
รูปที่ 2.2 การปล่อยแสงของโมเลกุลและอะตอม	4
รูปที่ 2.3 แสดงระดับพลังงานของสาร	6
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของอะตอม	7
รูปที่ 2.5 แสดงระดับพลังงาน	8
รูปที่ 2.6 แสดงการเกิดเรโซแนนซ์	9
รูปที่ 2.7 แสดงการเกิดคลื่นนิ่งในเรโซเนเตอร์	9
รูปที่ 2.8 แสดงสเปกตรัมของแสงจากเลเซอร์ไดโอด	10
รูปที่ 2.9 แสดงสเปกตรัมของแสงจากไดโอดปล่อยแสง	11
รูปที่ 2.10 แสดงระบบการส่งผ่านเส้นใยนำแสง	12
รูปที่ 2.11 แสดงการขยายกว้างออกของพัลส์แสงที่เกิดในเส้นใยแสง	12
รูปที่ 2.12(ก) แสดงโครงสร้างของ LED แบบปล่อยแสงด้านหน้า	14
รูปที่ 2.12(ข) แสดงโครงสร้างของ LED แบบปล่อยแสงด้านข้าง	14
รูปที่ 2.13 แสดงการผสมคลื่นของ LED	15
รูปที่ 2.14 แสดงการรวมที่ปล่อยแสงและไม่ปล่อยแสง	17
รูปที่ 2.15 แสดงความถี่คัทออฟของแสงเอทพุทและความหนาแน่นโวล ของบริเวณแอคทีฟใน LED ที่มีความสว่างสูง	17
รูปที่ 2.16 แสดง LED Array	18
รูปที่ 2.17 รูปแสดงการป้อนรีเวอร์สไบอัสแก่พีเอ็นจังก์ชัน	24
รูปที่ 2.18 แสดงความเร็วลอยเลื่อนของพาหะกับสนามอิเล็กตรอน	25
รูปที่ 2.19 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของสารกึ่งตัวนำชนิดต่าง ๆ	28
รูปที่ 2.20 แสดงบล็อกไดอะแกรมของสัญญาณรบกวนของวงจรส่วนหน้า	29
รูปที่ 2.21 แสดงวงจรสมมูลย์ของวงจรส่วนหน้า	30
<b>บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง</b>	
รูปที่ 3.1 แสดงขบวนการส่ง-รับสัญญาณผ่านเส้นใยแสง	42
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของภาคส่ง	43
รูปที่ 3.3 แสดงหน้าที่การทำงานของแต่ละขาของจูนเนอร์ UV711	44
รูปที่ 3.4 แสดงการใช้งานของจูนเนอร์	46
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรภาคขยายสัญญาณไอเอฟ	47

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.6	แสดงวงจรภาคขยายสัญญาณไอเอฟ	47
รูปที่ 3.7	แสดงวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสง	48
รูปที่ 3.8	แสดงบล็อกไดอะแกรมของภาครับ	51
รูปที่ 3.9	แสดงวงจรเปลี่ยนแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า	51
รูปที่ 3.10	แสดงวงจรขยายสัญญาณ	55

### บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

รูปที่ 4.1	แสดงสัญญาณคัลเลอร์บาร์รูปแบบที่ 1 ที่เครื่องรับโทรทัศน์	57
รูปที่ 4.2	แสดงสัญญาณอินพุทที่เครื่องส่ง โดยใช้สัญญาณคัลเลอร์บาร์รูปแบบที่ 1	58
รูปที่ 4.3	แสดงสัญญาณเอาต์พุทที่เครื่องส่ง โดยใช้สัญญาณคัลเลอร์บาร์รูปแบบที่ 1	59
รูปที่ 4.4	แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรแปลงแสงเป็นไฟฟ้า โดยใช้สัญญาณคัลเลอร์บาร์รูปแบบที่ 1	60
รูปที่ 4.5	แสดงสัญญาณเอาต์พุทที่เครื่องรับ โดยใช้สัญญาณคัลเลอร์บาร์รูปแบบที่ 1	61
รูปที่ 4.6	แสดงสัญญาณคัลเลอร์บาร์รูปแบบที่ 2 ที่เครื่องรับโทรทัศน์	62
รูปที่ 4.7	แสดงสัญญาณอินพุทที่เครื่องส่ง โดยใช้สัญญาณคัลเลอร์บาร์รูปแบบที่ 2	63
รูปที่ 4.8	แสดงสัญญาณเอาต์พุทที่เครื่องส่ง โดยใช้สัญญาณคัลเลอร์บาร์รูปแบบที่ 2	64
รูปที่ 4.9	แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรแปลงแสงเป็นไฟฟ้า โดยใช้สัญญาณคัลเลอร์บาร์รูปแบบที่ 2	65
รูปที่ 4.10	แสดงสัญญาณเอาต์พุทที่เครื่องรับ โดยใช้สัญญาณคัลเลอร์บาร์รูปแบบที่ 2	66
รูปที่ 4.11	แสดงสัญญาณอินพุทที่เครื่องส่ง โดยใช้สัญญาณวีดีโอ	68
รูปที่ 4.12	แสดงสัญญาณเอาต์พุทที่เครื่องส่ง โดยใช้สัญญาณวีดีโอ	69
รูปที่ 4.13	แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรแปลงแสงเป็นไฟฟ้า โดยใช้สัญญาณวีดีโอ	70
รูปที่ 4.14	แสดงสัญญาณเอาต์พุทที่เครื่องรับ โดยใช้สัญญาณวีดีโอ	71

## สารบัญตาราง

	หน้า
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ</b>	
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใยแสง	32
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่าง ๆ	32
ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของโฟโตไดโอด	33
ตารางที่ 2.4 แสดงการแบ่งช่องสัญญาณโทรทัศน	41
<b>บทที่ 3 การสร้างและการออกแบบ</b>	
ตารางที่ 3.1 แสดงการเลือกช่องสัญญาณของจูนเนอร์	46

## บทที่ 1

### บทนำ

เนื่องจากความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีการสื่อสารได้มีการพัฒนาไปอย่างกว้างไกล และมีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้นตามลำดับ การติดต่อธุรกิจทั้งหลายล้วนแล้วแต่ต้องใช้การสื่อสารทั้งสิ้นนับตั้งแต่โทรศัพท์ เทลีสกซ์ การสื่อสารข้อมูลและโทรสาร เป็นต้น การขยายตัวของสังคมในปัจจุบันทำให้มีความต้องการในการแลกเปลี่ยนข่าวสารและข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อเป็นการตอบสนองความต้องการทั้งในปัจจุบันและอนาคตจึงได้มีการพัฒนาระบบการสื่อสารรูปแบบใหม่ขึ้นมา เรียกว่า “ระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแสง” ซึ่งใช้แสงในการสื่อสาร ระบบนี้ยังมีข้อดีอื่น ๆ อีกมากเมื่อเทียบกับระบบสื่อสารด้วยสายเคเบิลที่ใช้ยูเคเบิล จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงทำให้มีความจำเป็นต้องศึกษาหลักการของการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่จะเข้ามาแทนที่ระบบการสื่อสารเดิมที่ใช้กันในปัจจุบัน

ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารเส้นใยแสงโดยทั่วไปแล้วจะประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้คือ อุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสง(E/O Converter) เส้นใยแสง อุปกรณ์ทวนสัญญาณ(Repeater) อุปกรณ์เปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า (O/E Converter) ของทางด้านรับสัญญาณ โดยระบบการสื่อสารเส้นใยแสงนี้มีหลักการคือ สัญญาณไฟฟ้าที่ส่งมาจากอุปกรณ์ต่าง ๆ จะถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณแสงโดยอุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสง จากนั้นจะส่งผ่านตัวกลางซึ่งเป็นเส้นใยแสง สัญญาณที่เดินทางในเส้นใยแสงนี้ในระยะไกล ๆ จะมีกำลังอ่อนลง จึงอาจใช้อุปกรณ์ทวนสัญญาณเมื่อถึงด้านรับ แสงที่ส่งมาจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยอุปกรณ์เปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้าและส่งไปยังอุปกรณ์ปลายทางต่อไป

สำหรับในโครงการนี้ จะทำการศึกษาถึงทฤษฎีและหลักการสำหรับออกแบบเครื่องรับในระบบการสื่อสารเส้นใยแสง โดยในส่วนแรกจะทำการศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณรบกวนชนิดต่าง ๆ ในเครื่องรับว่ามีผลต่อการออกแบบเครื่องรับอย่างไร และเพื่อให้เข้าใจคุณลักษณะของสัญญาณรบกวนและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้ดียิ่งขึ้น

จากนั้นจะทำการออกแบบและสร้างเครื่องส่งและเครื่องรับเพื่อรับส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสงโดยนำสัญญาณภาพ จากแหล่งกำเนิดสัญญาณป้อนเข้าเครื่องส่งสัญญาณซึ่งจะมีอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงเพื่อส่งผ่านเส้นใยแสงไปยังเครื่องรับสัญญาณ ที่เครื่องรับสัญญาณนี้จะมีส่วนแปลงสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้างเดิม และมีส่วนของภาคขยายสัญญาณเพื่อให้สัญญาณมีความแรงขึ้น ณ ค่าหนึ่งเพื่อให้แสดงผลออกมาได้ทางมอนิเตอร์ นอกจากนั้นยังอาจมีส่วนของวงจรมัลติเพล็กซ์เพื่อให้สัญญาณที่ได้รับมีความคมชัดขึ้น

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 เส้นใยแสง(Optic Fiber)

ระบบการสื่อสารเส้นใยแสงเป็นระบบการสื่อสารที่ใช้แสงเป็นพาหะนำพาข่าวสาร โดยส่งผ่านเส้นใยแสง การสื่อสารแสงสามารถส่งผ่านอากาศได้โดยตรง แต่แสงที่เดินทางไปในอากาศนั้นจะได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศซึ่งจะดูดแสงและกีดขวางการเดินทางของแสงทำให้ไม่สามารถส่งเป็นระยะทางไกล ๆ ตามต้องการได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาเหล่านี้จึงทำการส่งแสงผ่านเส้นใยแสงที่ทำด้วยแก้วหรือพลาสติกในลักษณะที่คล้ายคลึงกับการสื่อสารสายเคเบิล(Cable Communication) โดยการทำเช่นนี้ทำให้สามารถส่งแสงเป็นระยะทางไกล ๆ ได้

##### 2.1.1 คุณสมบัติเส้นใยแสง

1. การสูญเสียต่ำ
2. แบนด์วิธกว้าง แบนด์วิธจะมีค่าแตกต่างกันตามลักษณะการกระจายของค่าดัชนีการหักเห และชนิดของสารที่ใช้ทำเส้นใยแสง
3. ขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ทำให้สามารถขนส่งและปฏิบัติการวางสายและอื่น ๆ ได้สะดวกมากขึ้น
4. ไม่มีผลกระทบจากการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า ด้วยเหตุว่าไม่ยอมให้ไฟฟ้าผ่านจึงปลอดภัยจากการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า
5. ปลอดภัยจากการดักฟัง

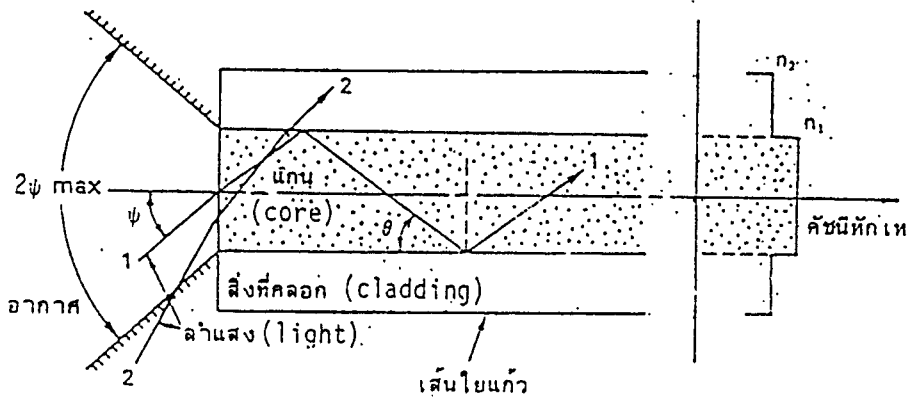
##### 2.1.2 โครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยแสง

เส้นใยแสงนำ(Guide) กลืนแสงได้เพราะเกิดการสะท้อนภายในทั้งหมด จะพิจารณาเส้นใยดัชนีชั้น (Step Index fiber) ก่อน ดังรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าประกอบด้วยไดอิเล็กตริกที่ไม่มีการสูญเสีย(Lossless Dielectrics) และมีค่าดัชนีการหักเหของแกนสม่ำเสมอเท่ากับ  $n_1$  และมีค่าดัชนีหักเหต่ำกว่าของส่วนที่หุ้มอยู่คือ  $n_2$  เส้นใยแสงที่ใช้งานส่วนมากมีค่าความแตกต่างของดัชนีหักเหเพียงเล็กน้อย ค่าความแตกต่างนี้ เท่ากับ

$$\Delta = n_1 - n_2 \quad (2.1)$$

ซึ่งจะมีค่าตั้งแต่เศษพันจนถึงเศษร้อย ในภาคตัดตามแกนยาวของเส้นใยดังรูป 2.1 นั้น ถ้าพิจารณาว่ามีลำแสงเดินทางในระนาบของภาพและทำมุมกับแกนเป็นมุม  $\Psi$  ถ้า  $\Psi \leq (2\Delta)^{1/2}$  ลำแสงนี้จะสะท้อนภายในทั้งหมด ในขณะที่ตกกระทบกับรอยต่อระหว่างแกนและสิ่งที่หุ้มอยู่(Cladding) และจะสะท้อนซิกแซกครั้งแล้วครั้งเล่าในเส้นใยโดยไม่ถูกลดกำลังมากนัก และทำมุม  $\Psi$  กับแกนตลอดเวลาที่เดินทางในเส้นใย ดังที่แสดงด้วยลำแสงที่ 1 ในรูป 2.1 ในทางตรงกันข้ามถ้าลำแสงแกนยาว(Meridional Ray) ทำมุมกับแกนมากกว่า  $(2\Delta)^{1/2}$  ลำแสงจะหัก-

เหวออกจากแกน(Core) และถูกดูดซึมในปลอกหุ้มที่มีค่าสูญเสียมาก ดังที่แสดงด้วยลำแสงที่ 2 ในรูปที่ 2.1 สำหรับค่าความแตกต่างของดัชนีหักเห  $= 0.01$  มุมวิกฤต  $(2\Delta)/2$  ที่จะเกิดการสะท้อนภายในทั้งหมดของลำแสงเท่ากับ 0.14 เรเดียน



รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยดัชนีชั้น

ค่าความแตกต่างของดัชนีหักเหคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังนี้

$$\Delta = (n_1 - n_2) / n_1 \times 100(\%) \quad (2.2)$$

มุมวิกฤตที่เกิดการสะท้อนภายในทั้งหมด  $\theta_c$  สามารถได้ดังนี้

$$\theta_c = \sin^{-1} \sqrt{2\Delta} \approx \sqrt{2\Delta} \quad (2.3)$$

มุมลำแสงคำนวณได้ดังนี้

$$2\varphi_{\max} = 2 \sin^{-1} (n_1 \sin \theta_c) \approx 2\sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.4)$$

ที่ปลายหน้าตัดของเส้นใย ลำแสงที่นำผ่านเส้นใยแสงจะหักเหและทำมุม  $n_1\theta$  กับแกนลำแสงตามยาว ที่ตกกระทบแกนของเส้นใยตรงปลายและทำมุมเล็กกว่า  $n_1(2\Delta)^{1/2}$  กับแกน จะถูกนำผ่านเส้นใย ผลอันนี้ใช้ได้ไม่เพียงแต่กับลำแสงตามแกนยาวเท่านั้น แต่ยังสามารถใช้กับทุกลำแสงที่ตกกระทบกับแกนของเส้นใยได้อีกด้วย ฉะนั้นมุม  $n_1(2\Delta)^{1/2}$  จึงเป็นการวัดความสามารถในการรวมแสงของเส้นใยและเรียกว่าอะเพอร์เจอร์เลขหลัก (Numerical Aperture) ของเส้นใย

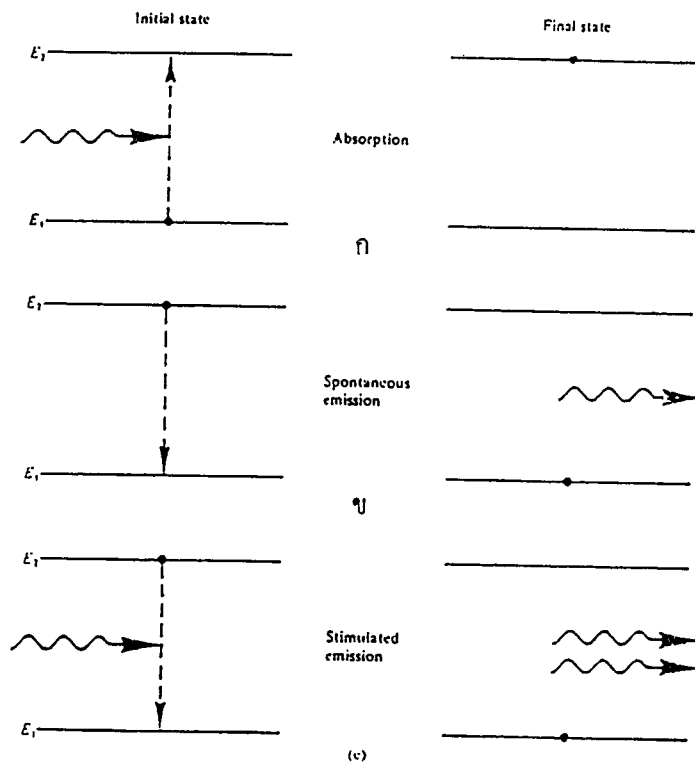
## 2.2 อุปกรณ์แสง

ในการสื่อสารเส้นใยแสง อุปกรณ์กำเนิดแสงทำหน้าที่เป็นเครื่องส่ง เกี่ยวกับอุปกรณ์กำเนิดแสงนี้ถ้ารวมถึงอุปกรณ์กำเนิดแสงที่ได้พัฒนาขึ้นมาโดยไม่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารเส้นใยแสงแล้วมีหลายชนิด แต่ที่น่าดึงดูดตั้งแต่การประสบผลสำเร็จของเลเซอร์สารกึ่งตัวนำ ที่ทำงานแบบต่อเนื่อง (Continuous Oscillation) ได้ดีในอุณหภูมิห้องปกติแล้ว ทำให้เป็นที่คาดหวังว่าจะเป็นต้นกำเนิดแสงที่ใช้ในการสื่อสารเส้นใยแสง

### 2.2.1 การทำงานของการปล่อยแสง

LED และเลเซอร์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Laser) ซึ่งเป็นต้นกำเนิดแสงที่ใช้ในการสื่อสารเส้นใยแสงนั้นทำงานอย่างไรถึงได้ปล่อยแสงออกมา โดยจะกล่าวถึงหลักการพื้นฐานของการปล่อยแสง และหลักการทำงานของ LED, LD และอุปกรณ์ปล่อยแสงที่กล่าวถึงนี้ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงจากแสงที่มองเห็นด้วยตา (Visible Light) ไปจนถึงช่วง Near Infrared

สำหรับอุปกรณ์กำเนิดแสงนั้นจะต้องทำให้มีประสิทธิภาพการปล่อยแสงสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงการทำงานของการทำงานการปล่อยแสง และการทำงานที่ไม่ปล่อยแสง(การทำงานที่ให้พลังงานอย่างอื่นที่นอกเหนือจากแสงได้แก่ความร้อน)



รูปที่ 2.2 การปล่อยแสงของโมเลกุลและอะตอม

### 2.2.2 หลักการปล่อยแสงของโมเลกุลและอะตอม

กรณีที่พิจารณาโมเลกุลหรืออะตอมเพียงอันเดียวนั้นพลังงานของอิเล็กตรอนแสดงดังรูป 2.2 ซึ่งเรียกว่าสภาพพลังงาน สภาพพลังงานอย่างนี้เรียกว่า ระดับพลังงาน (Energy Level) และระดับพลังงานต่ำสุดเรียกว่าระดับพลังงานต่ำสุด (Bottom Level) ส่วนระดับพลังงานสูงเรียกว่าระดับพลังงานที่ถูกกระตุ้น

(Stimulated Level) จำนวนอิเล็กตรอนที่สามารถมีได้ในแต่ละระดับพลังงานนั้นมีจำนวนที่แน่นอน ในสภาพที่ไม่มีพลังงานจากภายนอกมาป้อนให้ (Thermal Equilibrium Condition) นั้นอิเล็กตรอนจะออกันอยู่ในระดับพลังงานต่ำ

### (1) การปล่อยแสงตามธรรมชาติ

สมมติว่าพิจารณาเฉพาะระดับพลังงาน 2 ระดับคือ ระดับพลังงาน 1 และ 2 โดยให้มีอิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงาน 1 และระดับพลังงาน 2 ไม่มีอิเล็กตรอนอยู่เลยดังแสดงในรูป 2.2 (ก) ในสภาพเช่นนี้ถ้าให้แสงซึ่งมีพลังงานใกล้เคียงกับผลต่างของระดับพลังงานทั้ง 2 นั่นคือ  $E_2 - E_1$  ดังรูป 2.2 พลังงานนี้จะถูกดูด และอิเล็กตรอนจะเลื่อนไปอยู่ในระดับพลังงาน 2 ในการเลื่อนจากระดับพลังงานต่ำไปสู่ระดับพลังงานสูงของอิเล็กตรอนนั้นนอกจากการดูดพลังงานจากแสงแล้ว ยังสามารถเกิดจากการถ่ายเทพลังงานอันเนื่องมาจากการชนกันของอิเล็กตรอนกับอะตอม หรืออิเล็กตรอนกับอิเล็กตรอนด้วย การให้พลังงานจากภายนอกเพื่อทำให้เลื่อนไปสู่ระดับพลังงานสูงนี้เรียกว่า การกระตุ้น(Stimulated) ในกรณีที่ทำให้การกระตุ้นด้วยแสงเรียกว่า Light Stimulation นอกจากนั้น การที่อิเล็กตรอนเลื่อนไปอยู่ที่ระดับพลังงานอื่นนั้นเรียกว่า การถ่ายเท (Transfer)

ถ้าหากปล่อยให้อิเล็กตรอนที่เลื่อนไปอยู่ในระดับพลังงาน 2 ดังรูป 2.2 (ก) อยู่อย่างนั้น อิเล็กตรอนจะกลับลงมาสู่สภาพเดิม นั่นคือรูป 2.2(ข) ในขณะที่กลับลงมาสู่สภาพเดิมนั้นหมายความว่าอิเล็กตรอนถ่ายเทลงมาสู่ระดับพลังงานต่ำนั่นเอง ทำให้พลังงาน  $E_2 - E_1$  กลายเป็นพลังงานส่วนเกินและจะปล่อยออกมาดังรูป 2.2(ข) กรณีที่พลังงานส่วนเกินกลายเป็นแสงนั้นจะเกิดการปล่อยแสงในสภาพเช่นนี้เรียกว่าเป็นการปล่อยแสงตามธรรมชาติ และแสงที่ปล่อยออกมานี้เรียกว่าแสงที่ปล่อยออกมาตามธรรมชาติ พลังงานควอนตัมของแสงนี้มีค่าเท่ากับ  $E_2 - E_1$  และความถี่ของแสงจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานนี้ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$h\nu = E_2 - E_1 \quad \text{(ev)} \quad (2.5)$$

ในที่นี้  $\nu$  เป็นความถี่ของแสง  
 $h$  เป็นค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's Constant)

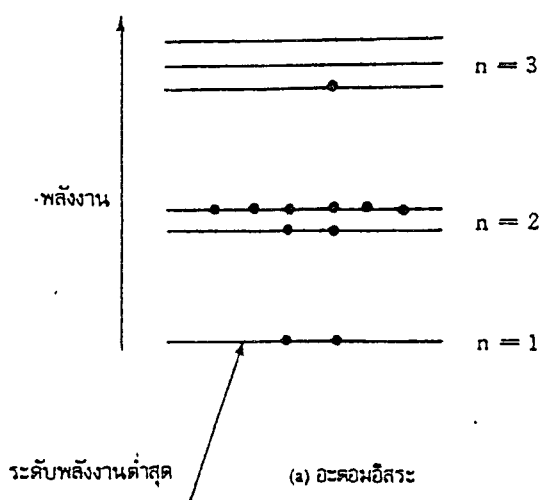
ความยาวคลื่น  $\lambda$  ของแสงหาได้จากสมการ

$$\lambda = c/\nu \quad (2.6)$$

ในที่นี้  $c$  เป็นความเร็วของแสง  
 ดังนั้นจากสมการแรกเขียนใหม่ได้ว่า

$$\lambda = \frac{hc}{E_2 - E_1} = \frac{1.24}{E_2 - E_1} \quad (2.7)$$

เนื่องจากความแตกต่างของระดับพลังงานเป็นค่าเฉพาะของอะตอมและโมเลกุล ดังนั้น แต่ละอะตอมและโมเลกุลจะปล่อยแสงที่มีความยาวเฉพาะ(สี)ของมันออกมา สำหรับอะตอมและโมเลกุลตามความเป็นจริงแล้วจะมีระดับพลังงานมากมายหลายระดับดังแสดงในรูป 2.3 ดังนั้นจึงมีการปล่อยแสงจากระดับพลังงานต่างๆ ออกมาสำหรับหลอดไฟธรรมดา หลอดนีออน และอื่น ๆ นั้นจะเกิดการกระตุ้นจากการที่อะตอม โมเลกุลที่อยู่ในหลอด Discharge และปล่อยแสงที่มีสเปกตรัมเฉพาะค่าหนึ่งออกมา แสงที่เรามองเห็นนั้นส่วนใหญ่จะเป็นกรณีของการปล่อยแสงตามธรรมชาติ ในกรณีนี้อิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานสูงจะปล่อยแสงหลังจากที่อยู่ในระดับพลังงานสูงนานเท่ากับค่าเฉลี่ย (ค่าเวลาเฉลี่ยนี้เรียกว่า เวลาของอายุการปล่อยแสงตามธรรมชาติ หรือ Life Time) แต่ทว่าอิเล็กตรอนส่วนใหญ่ที่ถูกกระตุ้นนั้นต่างถ่ายเทจากพลังงานระดับสูงไปสู่พลังงานระดับต่ำไม่พร้อมเพรียงกัน ทำให้ความสัมพันธ์ทางเวลาของแสงที่ออกมาไม่สม่ำเสมอ(เรียกว่าเฟส) แสงในลักษณะนี้เรียกว่า Incoherent Light และเป็นคุณลักษณะของแสงที่ปล่อยออกมาตามธรรมชาติ



รูปที่ 2.3 แสดงระดับพลังงานของสาร

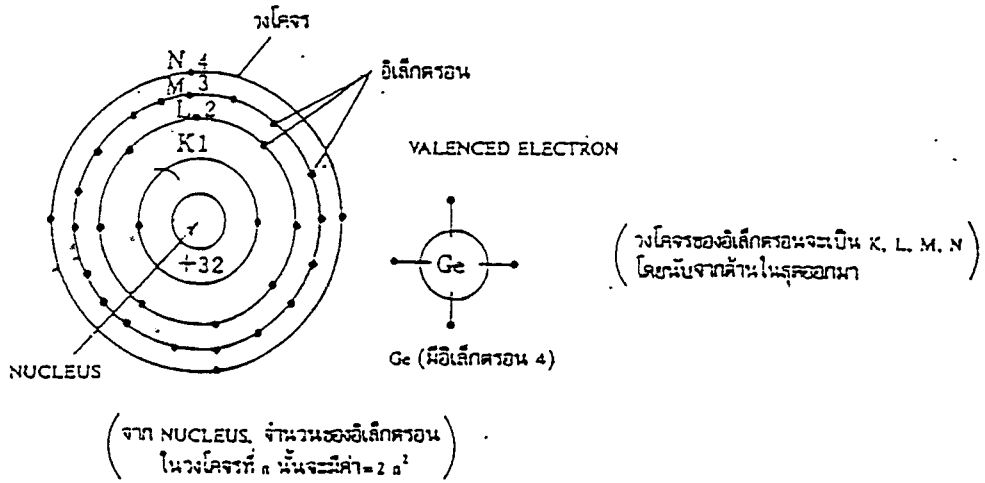
## (2) การปล่อยแสงโดยการกระตุ้น

ในสภาพที่อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นดังรูป 2.2(ค) ถ้าหากมีแสงที่มีค่าเท่ากับพลังงานในสมการที่ 2.5 มาป้อนให้ จะทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงาน 2 ถูกบังคับให้ตกลงมาอยู่ที่ระดับพลังงาน 1 ดังรูป 2.2(ค) ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า การปล่อยแสงด้วยการกระตุ้น และแสงที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า แสงที่เกิดจากการกระตุ้น เนื่องจากแสงที่เกิดจากการกระตุ้นนี้จะเรโซแนนซ์กับแสงที่เข้ามากระตุ้น จึงมีความถี่หรือความยาวคลื่นเหมือนกัน นั่นคือมีเฟสเท่ากันนั่นเอง การที่แสงที่ปล่อยออกมามีเฟสเหมือนกันเรียกว่าแสงโคฮีเรนต์

(Coherent light) ต้นกำเนิดแสงที่ใช้หลักการกระตุ้นให้ปล่อยแสงออกมานี้คือเลเซอร์(LASER) การกระตุ้นให้ปล่อยแสงมีขั้นตอนตรงกันข้ามกับการดูดแสงในรูป 2.2(ก) ปริมาณพลังงานทางควอนตัมแสง ของการปล่อยแสงโดยการกระตุ้นหาได้จากสมการ 2.5 และค่าความยาวคลื่นแสงหาได้จากสมการ 2.4

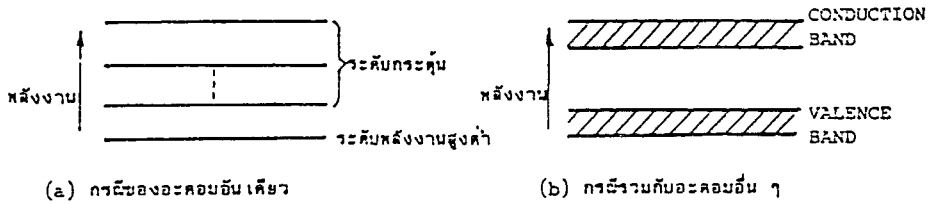
### 2.2.3 โครงสร้างและการทำงานของสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor)

ที่กล่าวมาเป็นหลักการพื้นฐานของการปล่อยแสง สำหรับโครงสร้างของการปล่อยแสงของสารกึ่งตัวนำที่ใช้ในการสื่อสารทั่วไปจะพิจารณาได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของอะตอม

สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้นจะมีอะตอมจำนวนมากจัดเรียงกันอย่างมีระเบียบดังรูป 2.4 ด้วยเหตุนี้อิเล็กตรอนของแต่ละอะตอมจะทำหน้าที่เชื่อมโยงกับอะตอมข้างเคียงและมีตำแหน่งอยู่ระหว่างอะตอมทั้งสองนั้นคือมันจะรับผลจากการดึงดูดจากอะตอมข้างเคียงสภาพพลังงานที่อะตอมได้รับนั้นถ้าหากจะกล่าวในทางควอนตัมไดนามิค (Quantum Dynamics) แล้วจะแตกต่างกันกับกรณีที่มีอะตอมเพียงอันเดียว ดังรูปที่ 2.5 กล่าวคือในกรณีนี้มันจะแบ่งออกเป็น 2 สภาพ สภาพหนึ่งเป็นระดับพลังงานสูงเรียกว่าแถบความนำ (Conduction Band) และอีกสภาพหนึ่งเป็นระดับพลังงานต่ำเรียกว่าแถบวาเลนซ์ และสภาพทั้งสองนี้ต่างก็มีความกว้างของพลังงานอยู่ดังแสดงในรูปที่ 2.5

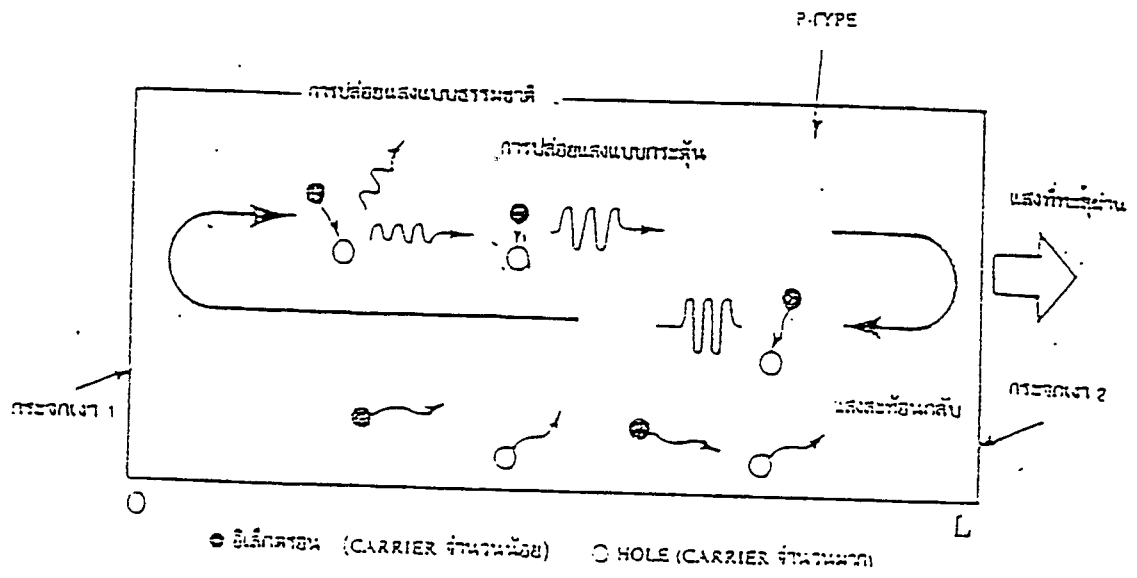


รูปที่ 2.5 แสดงระดับพลังงาน

โดยปกติแล้วอิเล็กตรอนจำนวนมากจะรวมตัวกันอยู่ที่แถบวาเลนซ์ ซึ่งมีระดับพลังงานต่ำและจะมีอิเล็กตรอนจำนวนเล็กน้อยอยู่ในแถบความนำซึ่งเป็นระดับพลังงานสูง ในตอนแรกจะอธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของเลเซอร์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor LASER Diode เรียกชื่อย่อว่า LD) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีระดับพลังงานตามที่กล่าวข้างต้น และใช้วิธีการกระตุ้นให้ปล่อยแสงออกมา (Stimulated Emission) สมมติว่าจำนวนอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำมีค่าเป็น  $N$  และในจำนวน  $N$  นี้แบ่งไปอยู่ในแถบวาเลนซ์เสีย  $n_1$  ตัวและไปอยู่ในแถบความนำ  $n_2$  ตัวในสภาพปกติ นั้น  $n_1$  จะมากกว่า  $n_2$  และในสภาพเช่นนี้ถ้าหากให้แสงจากภายนอกเข้ามาจะทำให้เกิดการกระตุ้นให้ปล่อยแสงและการดูดพลังงาน (Absorption) ซึ่งขนาดของมันเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนของ  $n_1$  และ  $n_2$  แต่โดยทั่วไปแล้วการดูดพลังงานจะมีขนาดมากกว่าทำให้แสงที่ป้อนเข้ามา มีขนาดลดลงไป แต่ทว่าถ้าหากมีวิธีอย่างใดอย่างหนึ่งที่ทำให้  $n_2 > n_1$  (เรียกว่าเกิด Inversion Distribution) ได้แล้วก็จะทำให้การกระตุ้นให้ปล่อยแสงออกมามีค่ามากกว่าการดูดพลังงาน ในกรณีนี้จะทำให้ความเข้มของแสงที่ป้อนเข้ามาเพิ่มมากขึ้น และเกิดปฏิกิริยาการขยายแสง (Light Amplification Action)

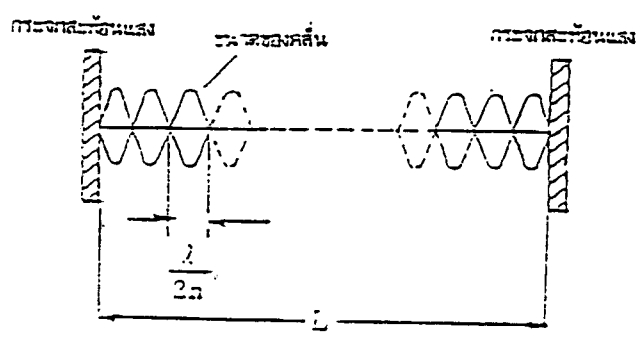
สำหรับอินเวอร์ชัน ดิสทริบิวชัน สามารถทำให้เกิดขึ้นมาได้จริง ๆ ด้วยการให้พลังงานจากภายนอกสำหรับสารกึ่งตัวนำนั้นปกติจะใช้วิธีฉีด (Injection) อิเล็กตรอนโดยการทำให้กระแสไหล ก็จะเกิดปฏิกิริยาการขยายทางกระแสได้ ดังนั้นในกรณีของสารกึ่งตัวนำ พลังงานจากภายนอกที่เป็นตัวทำให้เกิดการปล่อยแสงโดยการกระตุ้นเพื่อปล่อยแสงออกมานั้นก็คืออิเล็กตรอนที่ฉีดเข้าไปนั่นเอง เมื่อสามารถทำให้เกิดการขยายดังกล่าวได้และเช่นเดียวกันกับกรณีของวงจรไฟฟ้ากล่าวคือโดยการทำให้การขยายกลับไปมาจะสามารถทำให้แสงเกิดการออสซิลเลชัน (Oscillation) ได้ การขยายกลับไปมานั้นเป็นการทำให้เกิดคุณสมบัติพิเศษของแสงขึ้น หลักการขยายกลับไปมาทำได้โดยใช้ระนาบสะท้อนกลับ (Reflecting Emission) 2 อันวางหันหน้าเข้าหากันดังแสดงในรูป 2.6 นั่นคือแสงที่เกิดจากการกระตุ้นได้ปล่อยแสงซึ่งจะถูกขยายไปพร้อมกับเคลื่อนที่ไปด้วย และเมื่อแสงที่สะท้อนกลับนี้เมื่อไปถึงระนาบสะท้อนกลับแล้ว ส่วนหนึ่งของมันจะทะลุผ่านออกไปข้างนอก และส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับไปในทิศทางตรงกันข้ามกับครั้งแรก และเมื่อแสงที่สะท้อนกลับนี้เมื่อไปถึงระนาบสะท้อนกลับอีกด้านหนึ่งก็จะเกิดผลเช่นเดียวกับในตอนแรกที่กล่าวมาแล้วคือ ส่วนหนึ่งจะทะลุออกไปข้างนอก และส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับไปในทางตรงกันข้ามอีกในระหว่างที่ทำให้เกิดการป้อนกลับ (Feedback ซึ่ง

เป็นการนำเอาส่วนหนึ่งของเอาท์พุท ของการขยายกลับไปป้อนเข้าทางอินพุทอีก) ซ้ำไปซ้ำมาอยู่อย่างนี้ จะถึงจุดหนึ่งที่พลังงานที่ถูกขยายโดยการกระตุ้นให้ปล่อยแสงมีค่ามากกว่าพลังงานที่สูญเสียไป เนื่องจากการดูดของอิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบวาเลนซ์ และที่ทะลุออกไปจากระนาบสะท้อนกลับ ณ จุดนี้ออสซิลเลชันจะเริ่มขึ้น การทำให้เกิดแสงเช่นนี้เรียกว่าเลเซอร์(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)



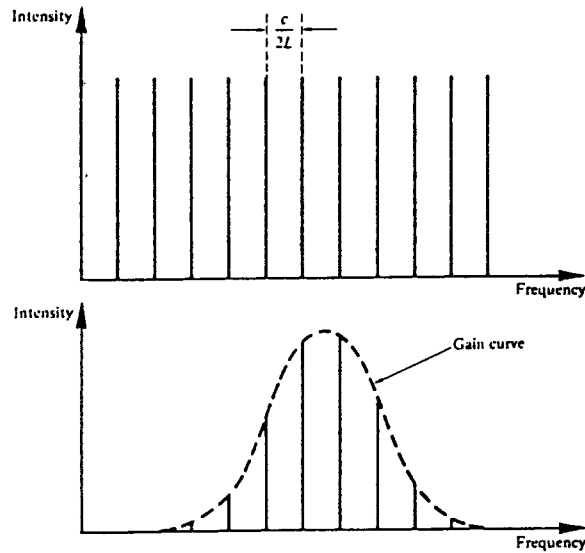
รูปที่ 2.5 แสดงการเกิดเรโซแนนซ์

ในการทำให้ออสซิลเลชันเริ่มขึ้นได้นั้น ต้องใช้พลังงานจากภายนอก(การฉีดกระแสเข้าไป) ที่มีจำนวนมากกว่าค่าหนึ่งขึ้นไปจำนวนกระแสที่ฉีดเข้าไปตอนทำให้เกิดออสซิลเลชันเริ่มขึ้นนั้นเรียกว่าค่ากระแสเทรชโฮลด์(Threshold Value Current) สำหรับความยาวคลื่นแสงของเลเซอร์ไดโอด จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าความยาวคลื่นแสงนั้นกำหนดจากผลต่างของพลังงานในแถบความนำ และในแถบวาเลนซ์แต่เนื่องจากว่าในระดับพลังงานทั้งสองต่างก็มีความกว้างของพลังงานอยู่ ทำให้ความยาวคลื่นแสงก็มีค่าอยู่ในช่วงหนึ่งด้วยเช่นกัน แต่เนื่องจากในขั้นตอนของการปล่อยแสงตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าทำให้เกิดเรโซแนนซ์ระหว่างระนาบสะท้อนกลับ นั่นคือสามารถทำให้เกิดความยาวคลื่นแสงของคลื่นนิ่งเท่านั้นภายในเรโซเนเตอร์(Resonator) ดัง



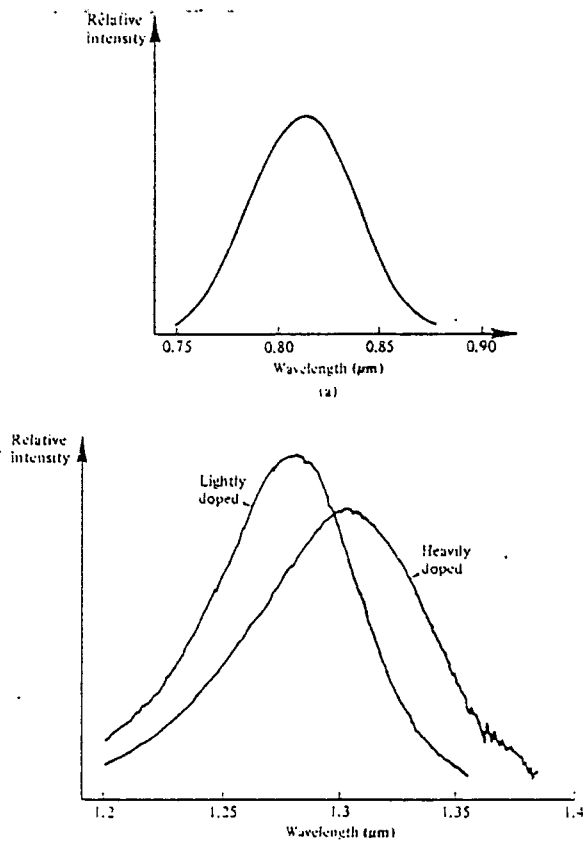
รูปที่ 2.7 แสดงการเกิดคลื่นนิ่งในเรโซเนเตอร์

และเงื่อนไขที่ทำให้เกิดเรโซแนนซ์นี้ก็คือความหมายของเรโซเนเตอร์(ระยะห่างของระนาบสะท้อนกลับ) จะต้องมามีค่าเป็นจำนวนเท่าที่เป็นเลขเต็มหน่วยของครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นแสงนั้นคือเท่ากับ  $n\lambda/2$  โดยปกติแล้วความยาวของเรโซเนเตอร์จะมากกว่าความยาวแสงมาก ดังนั้นแสงที่ได้จาก LD จะมีความยาวแสงกระจาย ออกเป็นจำนวนมากดังแสดงในรูป 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงสเปกตรัมของแสงจากเลเซอร์ไดโอด

ส่วนทางด้านไดโอดเปล่งแสง(LED) นั้นต่างกับเลเซอร์ไดโอด คือแทนที่จะใช้ปรากฏการณ์กระตุ้นให้เปล่งแสงแต่จะใช้ปรากฏการณ์ของการเปล่งแสงตามธรรมชาติ(Natural Emission) ดังนั้นแสงที่ได้ออกมาจะมีช่วงความยาวคลื่นแสงกว้างมากทั้งนี้เพราะกำหนดจากความสัมพันธ์ของพลังงานของแถบความนำกับแถบวาเลนซ์ที่มีความกว้างของพลังงานอยู่ในตัวและช่วงความยาวคลื่นแสงนี้เรียกว่าความกว้างสเปกตรัม(Spectrum Width) และค่ากำลังงานเอาท์พุทของไดโอดเปล่งแสงเมื่อเทียบกับเลเซอร์ไดโอดแล้วมีค่าน้อยกว่า แต่มีข้อดีคือโครงสร้างของไดโอดเปล่งแสงไม่ยุ่งยากทำให้สร้างได้ง่าย และมีราคาถูกกว่ามาก ช่วงความยาวคลื่นแสงของไดโอดเปล่งแสงแสดงดังรูป 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงสเปกตรัมของแสงจาก LED

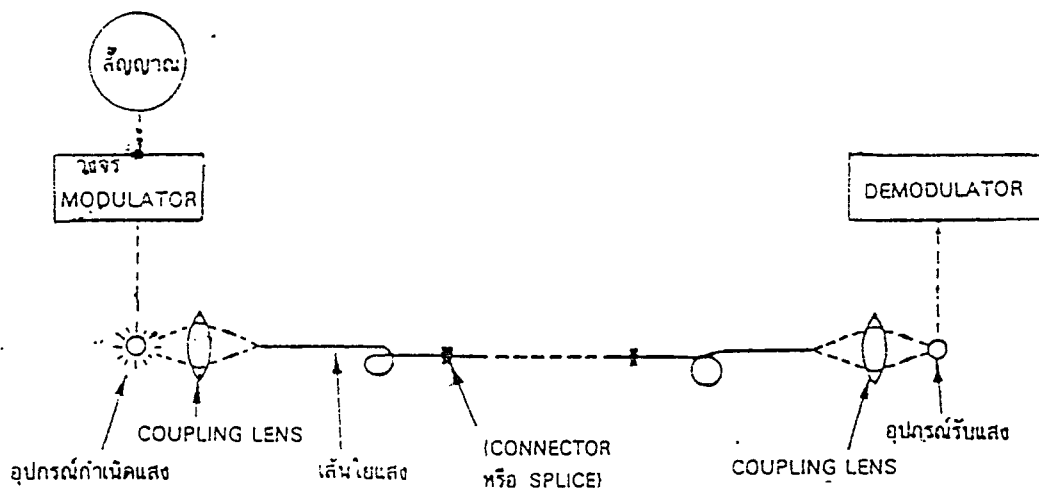
2.2.4 อุปกรณ์กำเนิดแสงที่ใช้กับการสื่อสาร

สำหรับอุปกรณ์กำเนิดแสงที่ใช้กับการสื่อสารนั้นจะต้องมีความสว่างสูง และมีความเชื่อถือได้ ซึ่งจะกล่าวถึง LED และ Semiconductor Laser ที่สำคัญที่ใช้เป็นต้นกำเนิดแสงสำหรับการสื่อสารและคุณสมบัติต่าง ๆ

(1) เงื่อนไขที่ต้องการของอุปกรณ์กำเนิดแสงที่ใช้กับการสื่อสาร

(1.1) กำลังแสงที่ปล่อยออกมา

ในการส่งแสงเป็นระยะไกลโดยไม่ต้องมีตัวทวนสัญญาณ ดังรูป 2.10 นั้น ควรจะต้องให้กำลังแสงที่ปล่อยออกมามีค่ามาก ๆ ในการบีบลำแสงที่ปล่อยจากอุปกรณ์กำเนิดแสงด้วยเลนส์ป้อนแสง(Coupling Lens) เพื่อป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงเล็ก ๆ นั้น การป้อนแสงทั้งหมดเข้าไปในเส้นใยแสงเป็นเรื่องยากมาก ในกรณีนี้จะเกิดการสูญเสียการคับปลิงแสงเข้าไปในเส้นใยแสงเรียกว่า Coupling Loss ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของต้นกำเนิดแสง เลนส์และเส้นใยแสง ในกรณีของ LED จะมีค่าประมาณ 10-15 dB ส่วนกรณีของ เลเซอร์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Laser) ในปัจจุบันมีค่า 3-5 dB แสงที่สามารถป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงได้เรียกว่า Optical Fiber Input และค่ากำลังแสงโดยทั่วไปนั้น กรณีของ LED มีค่าหลายสิบถึงหลายร้อย  $\mu W$  ส่วนกรณีของเลเซอร์สารกึ่งตัวนำมีค่า 1- หลาย mW ซึ่งมีค่าสูงกว่า LED ประมาณหนึ่งหลัก นอกจากนั้นแสงที่ออกจากเส้นใยแสงนำไปผ่านเลนส์เช่นเดียวกับแสงที่ออกจากต้นกำเนิดแสงและไปยังอุปกรณ์รับแสง ในกรณีนี้จะเกิด Coupling Loss เช่นกัน แต่ค่านี้เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีของต้นกำเนิดแสงแล้วมีค่าน้อยมาก ต่ำกว่า 1 dB และอุปกรณ์รับแสงจะทำหน้าที่เปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า นำไปขยายและแยกเอาสัญญาณออกมา ระดับการรับแสงต่ำสุดที่สามารถแยกสัญญาณได้นั้นกำหนดจากประสิทธิภาพของวงจรไฟฟ้า อุปกรณ์รับแสงและต้นกำเนิดแสง

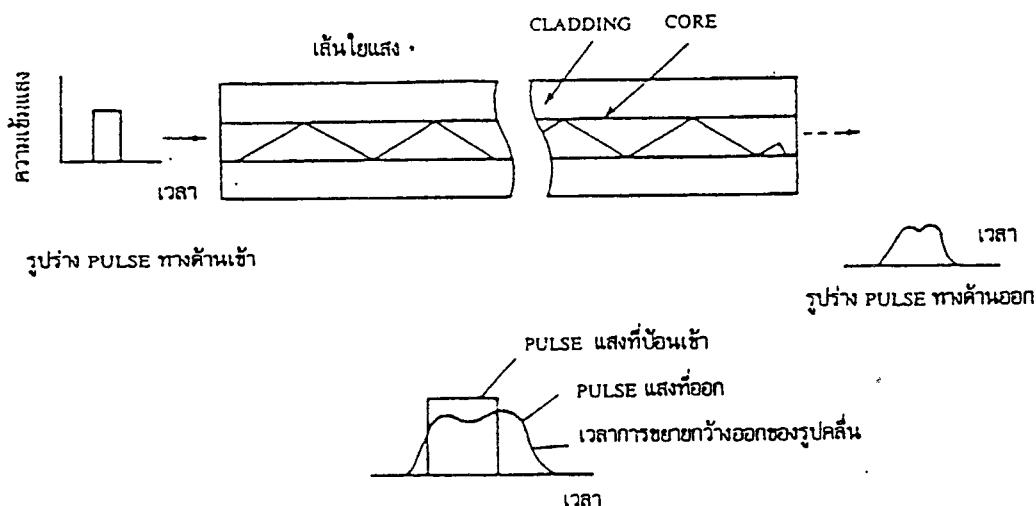


รูปที่ 2.10 แสดงระบบการส่งผ่านเส้นใยแสง

(1.2) ความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมา

- ความยาวคลื่นสั้น

สำหรับอุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงนั้นต้องการให้ปล่อยแสงออกมาด้วยความยาวคลื่นที่ทำให้การสูญเสียในเส้นใยแสงมีค่าต่ำ สำหรับความยาวคลื่น 0.8 ไมครอน ที่มีการสูญเสียในเส้นใยแสงต่ำนั้นจะเป็นอุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงพวก AlGaAs ในย่านความยาวคลื่นนี้มีอุปกรณ์รับแสงที่มีประสิทธิภาพสูง ที่ทำจาก Si ในย่านความยาวคลื่นนี้ Material Dispersion มีค่ามาก นั่นคือ ถ้าหากค่าความยาวคลื่นต่างกันจะมีความเร็วของการเดินทางในเส้นใยแสงต่างกัน ดังนั้น สำหรับต้นกำเนิดแสงที่ปล่อยออกมา มีสเปกตรัมกว้างนั้น แม้จะปล่อยแสงออกมาเป็นพัลส์แคบ ๆ ก็ตาม ส่วนที่มีความยาวคลื่นยาวจะเดินทางเร็วและส่วนที่มีความยาวคลื่นสั้นจะเดินทางช้าไปยังอุปกรณ์รับแสง ทำให้เกิดการขยายกว้างออกของพัลส์ดังรูป 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงการขยายกว้างออกของพัลส์แสงที่เกิดในเส้นใยแสง

ดังนั้น สำหรับการส่งความเร็วสูง (ค่า Bit Rate สูง) ซึ่งระยะห่างระหว่างพัลส์มีค่าน้อยและพัลส์ถูกต่อไปตามมาอย่างรวดเร็ว ที่อุปกรณ์รับแสงจะทำให้ส่วนของพัลส์แสงที่เดินทางเข้าไปซ้อนทับกับส่วนของพัลส์แสงที่เดินทางเร็ว LED นั้นเนื่องจากมีสเปกตรัมของแสงกว้างหลายร้อยนาโนเมตร ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับการส่งความเร็วสูงและการส่งระยะไกล ส่วนเลเซอร์สารกึ่งตัวนำ มีสเปกตรัมของแสงแคบน้อยกว่าหลายนาโนเมตร จึงเหมาะกับการส่งความเร็วปานกลาง และความเร็วสูงและการส่งระยะไกล โดยทั่วไปแล้ว ความยาวคลื่นสั้นจะเหมาะกับการส่งความเร็วต่ำและปานกลางและเหมาะกับการส่งระยะทางไกลก็กระยะทางปานกลาง

- ความยาวคลื่นยาว

ความยาวคลื่นจาก 1.1-1.7 ไมครอน นั่นคือมากกว่า 1 ไมครอนนั้นเป็นช่วงความยาวคลื่นที่มีการสูญเสียต่ำกล่าวคือ การสูญเสียในเส้นใยแสงมีค่าต่ำกว่า 1dB/Km ดังนั้น โดยการใช้ต้นกำเนิดแสงที่มีกำลังส่งแสงหลาย mW สามารถส่งได้ไกลหลายสิบล้อมเมตรโดยไม่ต้องมีตัวทวนสัญญาณโดยเฉพาะ ความยาวคลื่น 1.3 ไมครอน นั้น ขณะที่แสงเดินทางในเส้นใยแสง แม้ว่าจะมีค่าความยาวคลื่นต่างกันก็ตาม ความเร็วของมันจะไม่เปลี่ยนแปลง นั่นคือ ไม่มี Material Dispersion ดังนั้น แม้ความยาวคลื่นจะกว้างหลายสิบล้อมนาโนเมตรอย่างเช่น LED ก็ตาม ความยาวคลื่นทั้งหมดจะเดินทางไปพร้อม ๆ กัน ทำให้การเพี้ยนของรูปร่างสัญญาณมีค่าน้อยเหมาะกับการส่งความเร็วสูง และการส่งระยะไกล รูป 2.11 ประกอบ ความยาวคลื่น 1.55  $\mu\text{m}$  เป็นความยาวคลื่นที่มีการสูญเสียต่ำมาก คือการสูญเสียในเส้นใยแสงมีค่า 0.2 dB/Km ถ้าหากใช้เลเซอร์สารกึ่งตัวนำพวก InGaAsP และมีอุปกรณ์รับแสง Ge หรือ InGaAs

### (1.3) คุณสมบัติการผสมคลื่น

สำหรับ LED และเลเซอร์สารกึ่งตัวนำนั้นหากทำให้กระแสไหลเป็นลักษณะ ON-OFF ไปด้วยลักษณะเช่นนี้เรียกว่าการผสมคลื่นโดยตรง (Direct Modulation) ซึ่งเป็นการผสมที่ง่าย และเป็นระบบผสมคลื่นที่มีประสิทธิภาพดี ความเร็วการ ON-OFF ของ LED (ความเร็วในการตอบสนอง) กำหนดจาก Life Time ของพาหะที่ฉีด (Inject Carrier) ซึ่งมีค่าหลาย nsec ถ้าเป็นความถี่ก็จะมีค่าหลายสิบล้อม MHz อนึ่งสำหรับเลเซอร์สารกึ่งตัวนำ เนื่องจากทำงานในสภาพกระตุ้นให้ปล่อยแสงออกมาจึงมีความเร็วในการตอบสนองสูง สามารถทำการผสมที่ความถี่เป็น GHz ได้

### (1.4) ความเชื่อถือได้

สำหรับการใช้งานการสื่อสารนั้น จุดประสงค์อันหนึ่งก็คืออายุการใช้งานเฉลี่ยจะต้องนาน  $10^6$  ชั่วโมง แต่อย่างไรก็ตามถ้าหากในระบบการสื่อสารนั้นใช้ต้นกำเนิดแสง 100 อันจะมีเปอร์เซ็นต์ความน่าจะเป็นได้ของการขัดข้องเป็น  $(1/100) * 10^6 = 10^4$  ชั่วโมง (1 ปี) นั่นคือ ใน 1 ปีจะเกิดการขัดข้องเฉลี่ย 1 ครั้ง

สำหรับ LED AlGaAs หรือ InGaAsP นั้นมีรายงานอายุการใช้งานว่ามีค่า  $10^6$ - $10^7$  ชั่วโมง อนึ่ง AlGaAs Laser ก็เช่นกันมีการรายงานว่ามียุอายุการใช้งาน  $10^5$ - $10^6$  ชั่วโมง และ InGaAsP ก็มีอายุการใช้งานใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงว่ามีคุณสมบัติเหมาะที่จะใช้เป็นอุปกรณ์กำเนิดแสงสำหรับการสื่อสาร

### (1.5) คุณสมบัติอื่น ๆ

อันดับแรก ต้องมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และจะต้องทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้แก่ การสั่นสะเทือน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้น นอกจากนั้นจำเป็นจะต้องมีราคาถูก LED และเลเซอร์สาร

กึ่งตัวนำมีขนาดโตเท่ากับทรานซิสเตอร์ และยังทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ด้วย ซึ่งปรากฏว่าอุปกรณ์กำเนิดแสงที่ใช้กับการสื่อสารที่มีคุณสมบัติตามต้องการดังกล่าวคือ LED และเลเซอร์สารกึ่งตัวนำ

## (2) LED

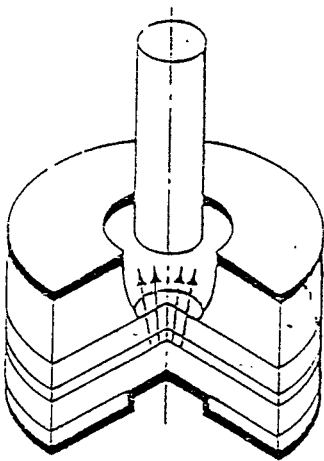
LED ย่อมาจาก Light Emitting Diode สำหรับ LED ที่ใช้กับการสื่อสารเส้นใยแสงนั้นสามารถแบ่งออกเป็นพวกใหญ่ ๆ ได้คือ LED ที่มีความไวสูงใช้กับความเร็วปานกลาง และระยะทางปานกลาง LED ใช้กับระยะทางใกล้ และ LED Array

### (2.1) LED ที่มีความสว่างสูง

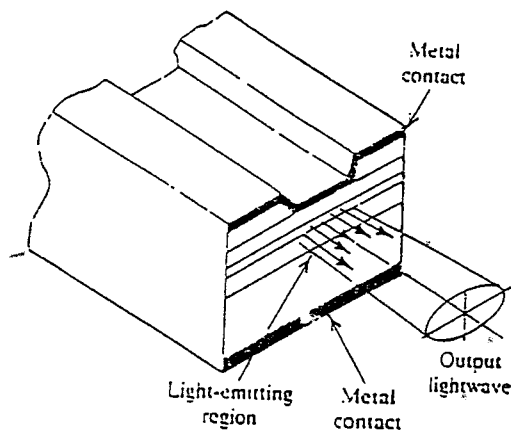
สำหรับใช้กับการสื่อสารระยะทางปานกลางนั้นจะต้องปล่อยแสงในย่านความยาวคลื่นแคบ และมีกำลังแสงที่ปล่อยออกมาหลาย mW ดังนั้นจึงเรียกว่า LED ที่มีความสว่างสูง สำหรับ LED ที่มีความสว่างสูงนี้มีโครงสร้างพื้นฐาน 2 ชนิด ตามทิศทางการปล่อยแสง ได้แก่ แบบปล่อยแสงจากด้านหน้า กับแบบปล่อยแสงจากด้านข้าง และทั้งสองแบบส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างเป็น Double Hetero Junction เช่นเดียวกับเลเซอร์สารกึ่งตัวนำ

#### (2.1.1) แบบปล่อยแสงจากด้านหน้า (Face Emission Type)

ตัวอย่างของโครงสร้างแบบปล่อยแสงจากด้านหน้า แสดงดังรูป 2.12 (ก) จากรูปจะเห็นได้ว่าเพื่อเป็นการทำให้แสงปล่อยออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นขั้วไฟฟ้าทางด้านที่ปล่อยแสงออกมจะต้องมีรูปร่างเป็นวงแหวน



ก



ข

รูปที่ 2.12 แสดง โครงสร้างของ LED

(ก) แบบปล่อยแสงด้านหน้า

(ข) แบบปล่อยแสงด้านข้าง

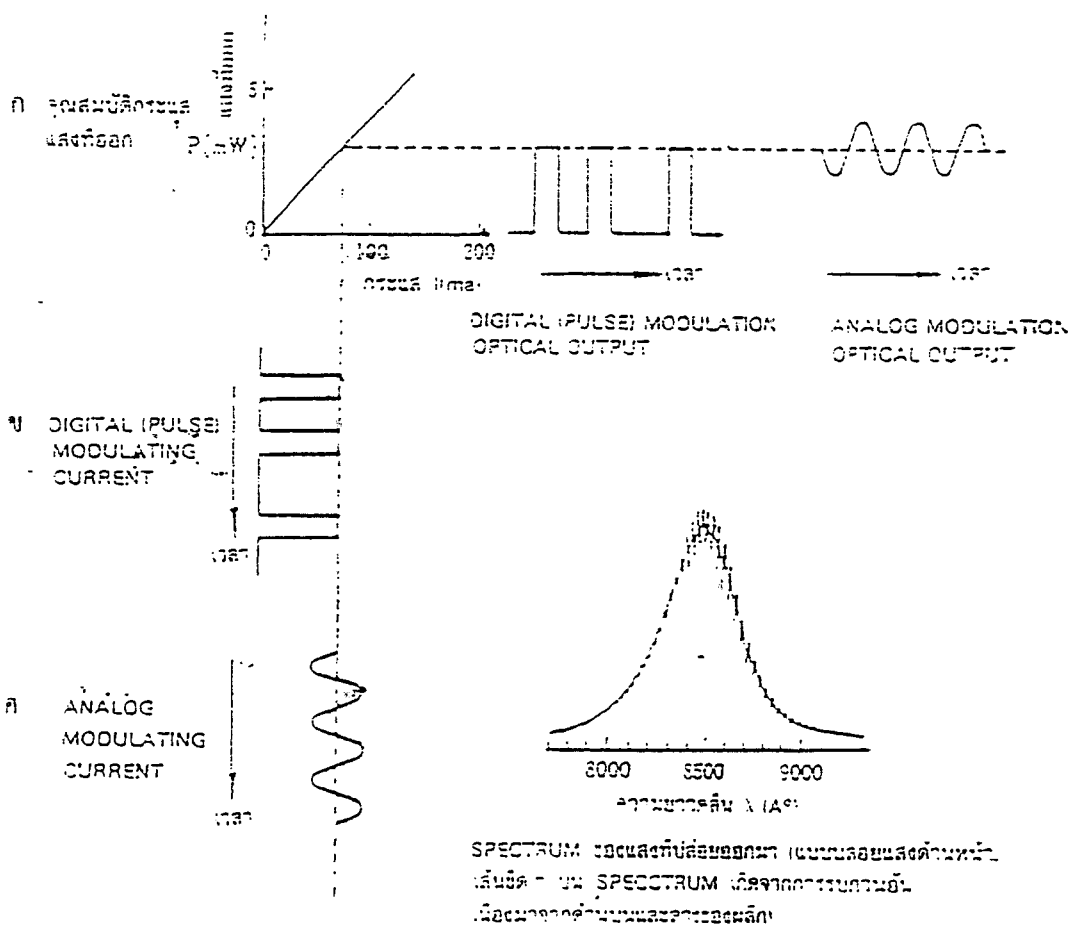
(2.1.2) แบบปล่อยแสงจากด้านข้าง (Side Emission Type LED)

ในปัจจุบันได้มีการผลิต LED แบบหนึ่งขึ้นมาโดยการทำให้ค่าดัชนีการหักเหของบริเวณแอคทีฟ มีค่าสูง และทำให้เกิดปฏิกิริยานำแสงขึ้นในบริเวณแอคทีฟ และให้ปล่อยแสงออกมาจากทางด้านข้างเหมือนกันกับ LD ดังแสดงในรูป 2.12 (ข)

LED แบบนี้เรียกว่า LED แบบปล่อยแสงออกทางด้านข้าง และเมื่อเปรียบเทียบกับแบบปล่อยแสงออกทางด้านหน้าแล้วพบว่า โดยการให้กระแสไหลผ่านเท่ากัน จะได้แสงออกมามีกำลังน้อยกว่าแบบปล่อยแสงออกทางด้านหน้า แต่เนื่องจากบริเวณการปล่อยแสงมีขนาดแคบมากกว่าจึงมีข้อดีที่ว่ามีประสิทธิภาพการเชื่อมแสงกับเส้นใยสูงกว่า

(2.1.3) คุณสมบัติการผสมคลื่น

คุณสมบัติของกระแสกับกำลังแสงที่ปล่อยออกมาเป็นเส้นตรง ดังแสดงในรูป 2.13 (ก) ดังนั้นถ้าหากป้อน กระแสพัลส์ดังแสดงในรูป 2.13 (ข) จะเกิดพัลส์แสงตามกระแสที่ป้อนเข้าไป ทำให้ได้พัลส์มอดูเลชัน (Pulse Modulation) นอกจากนี้ถ้าหากป้อนกระแสรูปไซน์เข้าไปดังรูป 2.13 (ค) จะได้อาห์พุทเป็นไซน์ทำให้ได้การผสมแบบอนาลอก (Analog Modulation)



รูปที่ 2.13 แสดงการผสมคลื่นของ LED

#### (2.1.4) Life Time ของพาหะและความเร็วในการตอบสนอง

ความเร็วการปล่อยแสงและหยุดปล่อยแสงนั้นกำหนดโดย Life Time ของพาหะที่ฉีดเข้าไป นั่นคือ ถ้าหาก Life Time มีค่าน้อยเมื่อตัดกระแสที่ฉีดเข้าไปพาหะที่ฉีดเข้าไปจะหมดไปทันทีรูปร่างการปล่อยแสงจะตอบสนองตามรูปร่างของกระแสอย่างรวดเร็ว Life Time นี้ถ้าหากจำนวนของฝ่ายตรงข้ามที่จะทำการรวม (Recombination) นั่นคือ ฝ่ายตรงข้ามที่จะมารวมกับอิเล็กตรอนคือจำนวนของโฮล ถ้าหากมีมากจะทำให้ความน่าจะเป็นของการรวมมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ Life Time ต่ำลงสำหรับสภาพที่ไม่ใส่สารโดป (Dopant) เข้าไปในบริเวณแอคทีฟ อิเล็กตรอนและโฮลที่ฉีดเข้าไปต่างจะรวมตัวกันโดยตรง ดังนั้นถ้าหากฉีดพาหะเข้าไปน้อยหรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือ เมื่อกระแสการทำงานมีค่าน้อย การรวมจะช้า ทำให้ความเร็วการตอบสนองจะช้าลงด้วย แต่ทว่าสำหรับ LED ที่มีความสว่างสูงและต้องการกำลังแสงที่ปล่อยออกมามีค่า 1~หลาย mW นั้น จะทำงานด้วยความหนาแน่นกระแสสูงมาก หลาย KA/cm อยู่แล้วจึงไม่มีปัญหามากนัก

แต่ Life Time จะได้ผลมาจากการรวม อันเนื่องมาจากการไม่ปล่อยแสงในขั้นตอนที่พาหะที่ถูกกระตุ้นและทำการรวมนั้น นอกจากมีขั้นตอนที่ปล่อยแสงออกมาแล้วยังมีขั้นตอนที่ไม่ปล่อยแสงอีก 2 ขั้นตอน ขั้นตอนหนึ่งก็คือการให้พลังงานของการปล่อยแสงแก่อิเล็กตรอน และโฮลที่อยู่ใกล้เคียง นั่นคือการชนกันของพาหะและการสั่นของแลตทิซ ผลก็คือเป็นขั้นตอนการกลายเป็นความร้อนและสูญเสียไป เช่นสมมติว่า เราพิจารณาเน้นเฉพาะอิเล็กตรอนที่ฉีดเข้าไป ถ้าหากมีโฮลมากอยู่บริเวณที่ฉีดอิเล็กตรอนเข้าไปจะทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้สูง นั่นคือ ถ้ายิ่งเพิ่มตัวรับมากเท่าใด จะทำให้ความหนาแน่นของโฮลเพิ่มขึ้นเท่านั้น ทำให้การรวมที่ไม่ปล่อยแสงนี้เพิ่มมากขึ้น ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากเราพิจารณาเน้นเฉพาะโฮลที่ฉีดเข้าไป ก็จะขึ้นอยู่กับสารโดปที่ใส่เข้าไป ขั้นตอนอีกอันหนึ่งคือ การรวมที่เกิดขึ้นโดยผ่านการเปลี่ยนระดับพลังงานหรือผ่านสารเจือปนชนิดต่าง ๆ และผ่านจุดบกพร่องของสาร ในขั้นตอนนั้นพลังงานจะเปลี่ยนเป็นความร้อนและสูญเสียไป เรียกว่า เป็นการบกพร่องของสาร และในทำนองเดียวกันถ้าหากใส่สารเจือปนเข้าไปมาก ก็จะทำให้เกิดขั้นตอนนี้ได้ง่าย

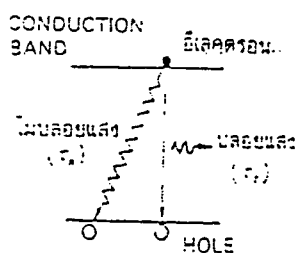
จากที่กล่าวข้างบนจะเห็นว่า การฉีดพาหะเข้าไปจะมีขั้นตอนการรวมไม่ปล่อยแสงนอกเหนือจากขั้นตอนการปล่อยแสงด้วย ดังนั้น Life Time ( $\tau$ ) ของการฉีดพาหะ สามารถแสดงด้วยสมการต่อไปนี้

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_r} + \frac{1}{\tau_n} \quad (2.8)$$

ในที่นี้  $\tau_r$  : Life Time ของการรวมที่ปล่อยแสงออกมา

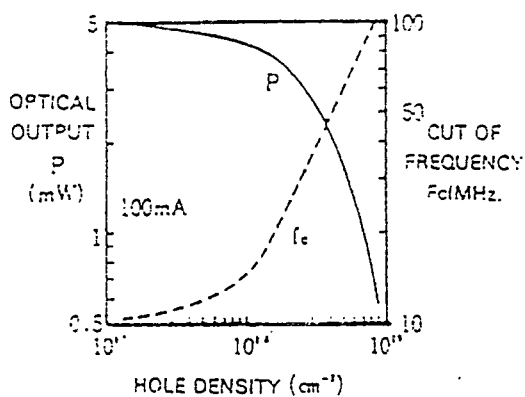
$\tau_n$  : Life Time ของการรวมที่ไม่ปล่อยแสง

นั่นคือ การสูญเสียจากการรวมในเวลา 1 วินาทีที่ฉีดพาหะเข้าไป มีค่าเท่ากับผลบวกของการสูญเสียจากการรวมปล่อยแสง กับ การสูญเสียจากการรวมไม่ปล่อยแสง (โปรดดูรูป 2.14 ประกอบ)



รูปที่ 2.14 แสดงการรวมที่ปล่อยแสงและไม่ปล่อยแสง

ดังนั้น ถ้าหากเพิ่มส่วนที่ไม่ปล่อยแสงจะทำให้กำลังการปล่อยแสงน้อยลง แต่ความเร็วการตอบสนองจะเพิ่มขึ้น รูป 2.15 แสดง LED แบบปล่อยแสงจากด้านหน้าของรูป 2.12 (ก) ซึ่งเป็น AlGaAs Double Hetero Junction เมื่อเพิ่มโวลต์ให้มีค่ามากขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพการปล่อยแสงตกลงและการตอบสนองจะเร็วขึ้น



รูป 2.15 แสดง Cut Off Frequency Optical Output และ Hole Density ของบริเวณแอกทีฟ ใน LED ที่มีความสว่างสูงแบบ AlGaAs ที่ปล่อยแสงด้านหน้า

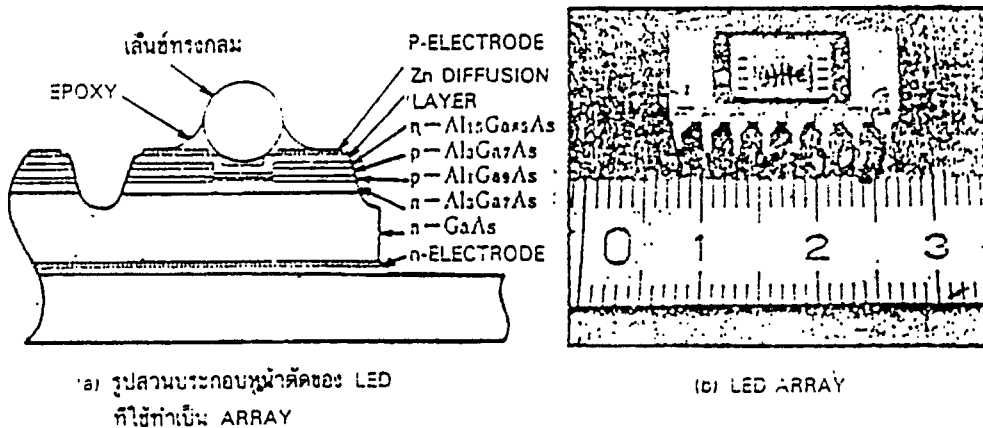
ด้วยเหตุดังกล่าวข้างต้น LED ความสว่างสูง จะต้องควบคุมความหนาแน่นของพาหะในบริเวณที่ปล่อยแสงโดยปรับค่าความหนาแน่นตามจุดประสงค์การใช้งานในทางปฏิบัตินั้น ถ้าหากกำลังการปล่อยแสงมีค่าตกลงมากจะไม่มีดี และค่าความเร็วการตอบสนองสูงสุด มีค่าประมาณ 100 MHz และกล่าวกันว่า LED นั้นไม่เหมาะกับการส่งความเร็วสูงที่มีความถี่สูงกว่า 50 MHz เพราะในทางปฏิบัติจะทำความเร็วได้ในช่วง 30-40 MHz เท่านั้น

## (2.1.5) การขยายกว้างออกของพัลส์แสง

สเปกตรัมการปล่อยแสงของ LED จะเห็นได้จากรูป 2.15 ว่า ถ้าหากความหนาแน่นของโฮลยิ่งมากจะยิ่งกว้าง แต่สำหรับ AlGaAs-LED จะมีค่าสเปกตรัมประมาณ 40 nm และสำหรับ InGaAsP-LED จะมีความกว้างประมาณ 100 nm

เกี่ยวกับ AlGaAs-LED ที่ความยาวคลื่น 0.8 ไมครอนนั้น เนื่องจากเส้นใยแสงมี Material Dispersion 1 ns/10nm.Km ดังนั้น เมื่อเดินทางไปในเส้นใยแสงเป็นระยะทาง 1 Km พัลส์แสงจะขยายกว้างออกประมาณ 4 ns ถ้าเดินทางไปเป็นระยะทาง 5 Km จะขยายกว้างออก 20 ns ดังนั้นสัญญาณที่มีความถี่มากกว่า 50 MHz ขึ้นไป จะไม่สามารถส่งในระยะทาง 5 Km โดยไม่มีตัวทวนสัญญาณเลยไม่ได้

สำหรับ InGaAsP-LED ย่านความยาวคลื่น 1 ไมครอน ที่ใกล้ๆความยาวคลื่น 1.3 ไมครอนนั้น Material Dispersion ของเส้นใยแสงแทบไม่มีเลย ทำให้ความเร็วการตอบสนองส่วนใหญ่จะกำหนดด้วย Life Time ของพาหะที่ฉีดเข้าไปของ LED และเป็นช่วงความยาวคลื่นที่การสูญเสียในเส้นใยแสงมีค่าน้อย แม้ประสิทธิภาพการปล่อยแสงจะต่ำก็สามารถใช้งานได้ ดังนั้น ช่วงการทำงานในทางปฏิบัติจะสามารถยืดออกไปประมาณ 100 MHz ได้



รูปที่ 2.16 แสดง LED Array

## (2.2) LED ที่มีกำลังปล่อยแสงต่ำ และ LED Array

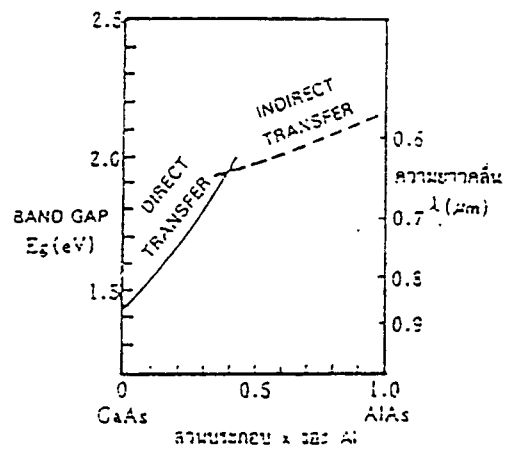
อุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังสูงที่มี Noise ทางไฟฟ้ามากหรือวงจรระหว่างคอมพิวเตอร์, เครื่องบินที่อยากใช้เส้นใยแสงนำหนักเบาแทนสายไฟ โลหะที่มีน้ำหนักมากและการสื่อสารเส้นใยแสงที่จำเป็นต้องใช้ในตึกสูง ๆ นั้น ส่วนมากระยะทางส่งไม่มากและความเร็วการตอบสนองก็ไม่ค่อยเร็วมากเท่าไร สำหรับการสื่อสารเส้นใยแสงอย่างนี้ จำนวน LED ที่ใช้จะมีมาก จำเป็นต้องมีราคาถูก ในปัจจุบัน LED ที่ใช้สารกึ่งตัวนำ GaP เช่นเดียวกันกับ LED ที่ใช้สำหรับแสดงเพื่อจุดประสงค์ต่าง ๆ ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดนั้น นอกจากจะสามารถมีการ



ตอบสนองต่ำกว่าหลายร้อยนาโนเมตร แล้วยังมีราคาถูกด้วย LED ชนิดนี้ใช้สำหรับการสื่อสารเส้นใยแสงความเร็วต่ำ

นอกจากนั้น ยังมีการผลิตลงทำ LED Array โดยสร้าง LED จำนวนมากเรียงอยู่ในผลึกเดียวกันดังแสดงในรูป 2.16 การทำแบบนี้เรียกว่าเป็นไอซี (IC) ชนิดหนึ่งทำให้เทคนิคการทำคุณสมบัติของอุปกรณ์เหมือนกันและเทคนิคการคัปปลิงกับเส้นใยแสงจำนวนมากกลายเป็นสิ่งจำเป็น

สำหรับ LED นั้นไม่ว่าจะเป็นแบบที่มีความสว่างสูงหรือต่ำ โดยการปรับสารที่ใช้ทำบริเวณแอกทิฟ จะสามารถเปลี่ยนความยาวคลื่นได้ ดังแสดงในรูป 2.17 ดังนั้นจึงสามารถทำการส่งระบบมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น (Wave Length Division Multiplex) โดยการใช้ LED จำนวนมากที่ปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันแล้วป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงหนึ่งเส้นพร้อมกันทางด้านส่ง ส่วนทางด้านรับจะแยกเอาสัญญาณของแต่ละความยาวคลื่นออกมาได้



รูปที่ 2.17 แสดงแบนด์แกปและความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมา

## 2.3 อุปกรณ์รับแสง

### อุปกรณ์รับแสงคืออะไร

อุปกรณ์รับแสงคืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งมี 2 วิธีคือ ทำการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้าโดยตรง กับวิธีเปลี่ยนแสงให้เป็นความร้อนก่อนจากนั้นจึงเปลี่ยนความร้อนให้เป็นไฟฟ้า วิธีแรกเรียกว่า Photo-Electric-Effect ส่วนวิธีหลังเรียกว่า Thermal Effect ผลการเปลี่ยนต่าง ๆ เหล่านี้เมื่อทำการแบ่งชนิดละเอียดลงไปจะได้อีกดังต่อไปนี้

#### (1) Photo-Electromotive-Effect

Photo-Electromotive-Effect ถูกนำมาใช้กับอุปกรณ์รับแสงอย่างจริงจัง ในปี ค.ศ.1950 และทำให้ได้ Photo Electric Cell ที่เป็นของแข็ง (Solid) ออกมา และ โฟโตเซลล์(Photo Cell) ที่ใช้ในตอนแรกเป็น โฟโตเซลล์ที่ใช้สาร Selenium(Se) และใช้กันมาเป็นระยะเวลาช้านาน ต่อมาสามารถผลิตสารกึ่งตัวนำ Silicon Germanium ที่มีจังก์ชันซึ่งให้คุณสมบัติได้ จึงทำให้เกิดโฟโตเซลล์,โฟโตไดโอด ที่ใช้สารกึ่งตัวนำเหล่านี้เป็นอุปกรณ์รับแสง นอกจากนั้น การใช้งานอุปกรณ์รับแสงก็เช่นกัน มีการนำไปใช้งานด้านต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เช่น Photo Relay Circuit การอ่านข้อมูลจาก การ์ด เทป การวัดแสงในกล้องถ่ายภาพ และอื่น ๆ แต่เมื่อได้มีการประดิษฐ์เลเซอร์ขึ้นมาแล้ว ก็ได้มีการพัฒนาอุปกรณ์รับแสงที่มีความไวสูง และมีความเร็วการตอบสนองสูงที่เหมาะสมกับการสื่อสารด้วยแสงกันอย่างแพร่หลาย

#### (2)Photo Conduction Effect

Photo Conduction Effect นั้นเมื่อมีแสงมากระทบ จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ความต้านทานของสารเปลี่ยนแปลง ดังนั้นเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าให้แก่ปลายทั้งสองของสารจะทำให้กระแสเปลี่ยนแปลงตามปริมาณแสง ผลอันนี้ถูกค้นพบเมื่อปี ค.ศ.1873 แต่ทว่าการนำมาใช้เป็นโฟโตดีเทคเตอร์กันอย่างกว้างขวางนั้นเกิดขึ้นหลังจากการค้นพบผลนี้เป็นเวลานานพอสมควร ในปีค.ศ. 1950 ได้มีการสร้าง Photo Conduction Cell ซึ่งใช้ CdS และเป็นที่ยอมรับกันว่ามีความไวสูงกว่า Se-Photo cell CdS-Photo Conduction Cell นี้แม้กระทั่งในปัจจุบันก็ยังใช้กันอย่างกว้างขวางในการวัดแสงของกล้องถ่ายภาพ และอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมี Photo Conduction Cell ที่ทำจาก Ge,PbS,PbTe และอื่น ๆ และใช้กับแสงในย่านอินฟราเรดสำหรับ Photo Conduction Effect นั้น โดยทั่วไปแล้วจะมีการตอบสนองช้าแต่ทว่าสามารถทำให้มีพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ ดังนั้นจึงนิยมใช้กับการดีเทคชันปริมาณแสงมากกว่าใช้กับการดีเทคชันสัญญาณแสง

#### (3) ปรากฏการณ์ Photo Electric Radiation

การค้นพบปรากฏการณ์ Photo Electric Radiation นั้นค่อนข้างช้านานกล่าวคือในปี ค.ศ.1887 ชาวเยอรมันชื่อ Hertz เป็นผู้ค้นพบ และในปีค.ศ.1889 ชาวเยอรมันสองคนชื่อ Elstar และ Gaitel ได้ทำการพิสูจน์ยืนยันว่าจากการให้แสงไปกระทบกับขั้วโลหะ อัลคาไลของหลอดสุญญากาศจะมีอิเล็กตรอนออกมา และทำให้มีกระแสไหล ในปีค.ศ. 1929 ได้มีการค้นพบคาโทด ที่ทำด้วยCesium Oxide ซึ่งมีความไวดีมาก และสารนี้ได้กลายเป็นสารหลักที่ใช้ทำแคโทดของหลอดโฟโต หลอด Photo Electronic Amplification Tube ในปัจจุบัน เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการพัฒนาแคโทดที่ใช้ Negative Electron Affinity ของสารกึ่งตัวนำและผลิตหลอดโฟโตที่มีประสิทธิภาพควอนตัมสูง จากการค้นพบอุปกรณ์รับแสงที่ทำจากสารกึ่งตัวนำที่มีประสิทธิภาพสูงแม้ว่าจะได้รับความนิยมนำมาใช้แทนหลอด Photo Tube อยู่เรื่อย ๆก็ตาม แต่เนื่องจากหลอด Photo Tube มีกระแส Dark-

Current (ซึ่งเป็นตัวทำให้ความไวลดลง)น้อยมาก จึงนำไปใช้กับการดิเทกชันแสงที่มีความเข้มต่ำๆและใช้ในการวัดแสงย่านอุลตราไวโอเล็ตที่สารกึ่งตัวนำไม่สามารถดิเทกหรือตรวจจับได้

#### (4) Thermal Effect

วิธีการดิเทกชันแสงโดยใช้ Thermal Effect นั้นโดยทั่วไปจะมีความเร็วในการตอบสนองช้าและความไวไม่ดี จึงไม่นิยมนำมาใช้กับการสื่อสารแสง แต่เนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษคือให้เอาท์พุทออกมาคงที่โดยไม่ขึ้นกับความยาวคลื่น จึงนิยมนำมาใช้ในการวัดสเปกตรัมของแสง ในวิธีต่าง ๆ ของThermal Effect นั้น นิยมใช้วิธีThermo Couple กันมากซึ่งมีหลักการว่าเมื่อทำให้เกิดผลต่างทางอุณหภูมิที่จุดต่อของเส้นลวดโลหะต่างชนิดกันกับที่ปลายของเส้นลวดแล้วจะเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น ในการใช้กับสเปกตรัมแสงนั้นจะนำ Thermo Couple ไปต่อเข้ากับด้านหลังของแผ่นทองที่ทำให้ดำ และจากการฉายแสงอุณหภูมิต่ำที่เพิ่มขึ้นของแผ่นทองจะเปลี่ยนเป็น Thermal Electromotive Force

สิ่งที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็นการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานของอุปกรณ์เรียกว่า Bolometer สำหรับ Bolometer มี Metallic Bolometer, Thermister Bolometer ในปัจจุบันได้มีการพัฒนา แบบสารกึ่งตัวนำและ Super Conductor Bolometer และอื่น ๆ ขึ้นมาด้วย

Collective Electric Effect เป็นผลจากการที่แสงอินฟราเรดไปกระทบกับสารไดอิเล็กตริกแล้วจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโพลาไรเซชัน และจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสตามการเปลี่ยนแปลงของโพลาไรเซชัน และเมื่อนำมาใช้เป็นโฟโต ดิเทกเตอร์ แล้วความไวจะไม่ค่อยดี

นอกจากนี้ยังมีสิ่งอื่นที่พิเศษซึ่งใช้ Thermal Effect ได้แก่ Ghorey Cell ทำจากการเอาแก๊ส Xe ใส่เข้าไปในทิวาง เล็ก ๆ และปล่อยแสงไปกระทบมัน การขยายตัวตามความร้อนของแก๊สที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนเป็นไฟฟ้า และทำการวัดทาง Photo Electric ออกมา มีข้อดีคือสามารถใช้งานที่อุณหภูมิห้องได้ และใช้สำหรับการดิเทกชันแสงย่าน Near Infraredที่มีความยาวคลื่นมากกว่า-Visible Light

## 2.4 เครื่องรับสำหรับการสื่อสารด้วยแสง (Optical Receivers)

องค์ประกอบของคุณสมบัติเบื้องต้นที่ควรคำนึงถึงของเครื่องรับในการสื่อสารด้วยแสงคือ ความยาวคลื่นที่รับได้ ความไว (Sensitivity) และแบนด์วิธ ความไวของเครื่องรับคือ ความสามารถในการรับแสงที่มีกำลังต่ำสุดที่สามารถขยายเป็นสัญญาณรูปเดิมออกมาจากเครื่องรับได้ แต่เนื่องจากสัญญาณรบกวนทางภาครับนั้นถ้ามีค่าต่ำมากแล้วก็จำเป็นต้องเพิ่มกำลังแสงที่จะเข้าเครื่องรับให้สูงขึ้น

ข้อกำหนดคุณสมบัติของระบบเครื่องรับของการสื่อสารเส้นใยแสงแบ่งได้เป็น 4 ส่วนดังนี้

(1) การตรวจจับแสง (Photodetection) เป็นการเปลี่ยนสัญญาณแสงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยที่ข่าวสารที่ใช้ติดต่อสื่อสารกันนั้นสามารถถูกแยกออกมาได้

(2) การขยายแสง (Amplification) เป็นการเพิ่มขนาดของสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากตัวโฟโตดีเทคเตอร์ไปยังระดับที่ต้องการ

(3) การกรองสัญญาณ (Filtering) เป็นการจำกัดแบนด์วิธของเครื่องรับตามความต้องการสำหรับรูปแบบของสัญญาณและการออกแบบความตอบสนองความถี่ของเครื่องรับเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ดีที่สุดเอาท์พุทของคุณลักษณะของสัญญาณตามความต้องการของผู้ใช้

(4) กระบวนการจัดสัญญาณ (Signal Processing) เป็นขบวนการขยายและกรองสัญญาณเพื่อให้ได้เอาท์พุทของคุณลักษณะของสัญญาณตามความต้องการของผู้ใช้

(5) โดยการขยายสัญญาณอาจจำเป็นต้องมีหลายขั้นตอนทั้งนี้ก็เพื่อที่จะได้ขนาดของสัญญาณเป็นไปตามระดับความต้องการที่จะผ่านไปยังขั้นตอนของกระบวนการจัดสัญญาณ การขยายสัญญาณนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนพรีแอมพลิฟายเออร์ (Preamplifier) และส่วนแอมพลิฟายเออร์หลัก (Main Amplifier)

### 2.4.1 อุปกรณ์ตรวจจับแสง (Photodetector)

อุปกรณ์ตรวจจับแสง เป็นส่วนหนึ่งของเครื่องรับในระบบเส้นใยนำแสง ซึ่งจะมิขบวนการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยทั่วไปอุปกรณ์ตรวจจับแสงจะประกอบด้วยโฟโตไดโอด ตามด้วยวงจรรีเลย์ทรอนิกส์

เพื่อที่จะสามารถออกแบบระบบตรวจจับแสงสำหรับเครื่องรับได้นั้นเราควรจะทำความเข้าใจ โครงสร้างและหลักการทำงานของโฟโตไดโอด รวมทั้งคุณลักษณะที่สำคัญต่าง ๆ ซึ่งในการออกแบบที่ดีนั้น โฟโตไดโอดควรมีคุณสมบัติตามเงื่อนไขต่อไปนี้

(1) มีความไวสูงที่ความยาวคลื่นแสงที่ใช้งาน ความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในการส่งต้องเป็นความยาวคลื่นที่มีการสูญเสียในการส่งน้อย ซึ่งอยู่ในช่วง 0.8-0.9 ไมครอน กับ 1.1-1.7 ไมครอน โดยเฉพาะที่ความยาวคลื่นแสง ~1.3 ไมครอน การลดทอนและ Material Dispersion จะลดน้อยที่สุด ค่าความไวจะดีหรือไม่ดีพิจารณาจากสารที่ใช้ทำโฟโตไดโอด

(2) ค่าประสิทธิภาพควอนตัมควรจะสูง ตัวตรวจจับแสงควรจะผลิตสัญญาณไฟฟ้าให้ได้สูงสุดสำหรับกำลังงานแสงที่เข้ามาตกกระทบ

(3) เวลาการตอบสนองสั้น อยู่ในรูปของแบนด์วิธที่เหมาะสม ในปัจจุบัน โฟโตไดโอดสามารถทำงานในช่วงอัตรากะฮิรัตและเป็นไปได้ที่จะสูงกว่านี้

(4) สัญญาณรบกวนที่เกิดจากการตรวจจ็บบมีค่าต่ำ สัญญาณรบกวนที่มาจากกระแสคาร์ก(Dark Current) และกระแสลึกลับ (Leakage Current) และค่าความนำที่ขนาน (Shunt Conductance)ควรมีค่าต่ำ สำหรับอุปกรณ์แสงที่มีการขยายภายใน (APD) สัญญาณรบกวนที่เกิดจากการขยาย ควรจะต่ำด้วยเหมือนกัน

(5) คุณสมบัติต่าง ๆ ในการทำงานมีความเสถียรภาพ ในทางอุดมคตินั้น คุณสมบัติการทำงานของตัวตรวจจ็บบสัญญาณจะไม่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่ล้อมรอบ อย่างไรก็ตามตัวตรวจจ็บบสัญญาณที่ใช้กันอยู่มีคุณสมบัติต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ ดังนั้นการชดเชยเนื่องจากอุณหภูมิจึงเป็นสิ่งจำเป็น เช่น อาจติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อน

นอกจากนี้คุณสมบัติอื่นที่ควรมีคือ

- ขนาดเล็ก เพื่อที่จะได้เชื่อมต่อกับเส้นใยแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพและประกอบกับวงจรได้ง่าย
- แรงดันไบอัสต่ำ ในทางทฤษฎีแล้วตัวตรวจจ็บบสัญญาณจะไม่ต้องการไบอัสทั้งสักคาและกระแสเลย
- มีความเชื่อถือได้สูง ตัวตรวจจ็บบที่ดีควรมีความคงที่ในการทำงานอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ๆ
- ราคาต่ำ

#### 2.4.2 ประสิทธิภาพควอนตัม (Quantum Efficiency)

เป็นตัวบอกประสิทธิภาพของการเปลี่ยนแสงเป็น ไฟฟ้าหรือเปลี่ยน ไฟฟ้าเป็นแสง(Photo Electric Conversion) ดังแสดงด้วยสมการต่อไปนี้

$$\eta = \frac{I_p / q}{P_o / h\nu} \quad (2.9)$$

ในที่นี้  $I_p$  เป็นกระแสโฟโต

$q$  เป็นประจุของอิเล็กตรอน

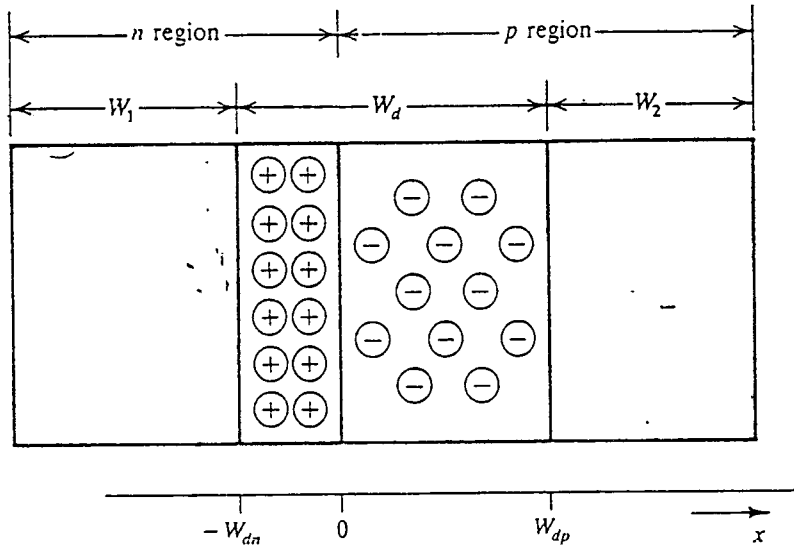
$P_o$  เป็นกำลังของสัญญาณแสง

$h\nu$  เป็นพลังงานของโฟตอนที่จำนวนการสั้นเท่ากับ  $\nu$

สำหรับ โฟโต ไดโอด ที่มีชั้นอินทรินสิก (Intrinsic Layer) หนานั้นจะเห็นว่าประสิทธิภาพควอนตัมทางด้านความยาวคลื่นยาวจะดีและประสิทธิภาพควอนตัมทางด้านความยาวคลื่นสั้นจะเห็นว่าแบบShottky นั้นดีกว่าแบบจั้งชั้น ชิดจำกัดการตรวจจ็บบแสงของซิลิคอน โฟโตไดโอด ทำการตรวจจ็บบแสงได้ถึง 1.1 ไมครอน ส่วนเจอร์มาเนียม โฟโตไดโอดทำการตรวจจ็บบได้ถึง 1.6 ไมครอน นอกจากนี้ยังมีสารที่สามารถใช้ตรวจจ็บบแสงได้ถึง Far Infraredด้วย สำหรับย่านความยาวคลื่นหลายไมครอนนั้นมี InAs, InSb โฟโตไดโอด และสามารถได้ความเร็วในการตอบสนองต่ำกว่า 1 ไมโครวินาที สำหรับความยาวคลื่น Near อินฟราเรด ที่มีความยาวคลื่นหลายสิบไมครอนนั้น ได้มีการพัฒนาโฟโตไดโอดที่ทำจากสารประกอบ 3 ชนิดเช่น HgCdTe, PbSSe เป็นต้น

จากรูปแสงที่เข้ามาทางซ้ายผ่าน  $W1$  และ  $Wd$  พลังงานที่เข้าไปยัง  $W2$  จะไม่มีผลต่อการทำงานของโฟโตไดโอด เทอม  $W2$  จะไม่ปรากฏในสมการ

พลังงานแสงที่ตกกระทบบน โฟโต ไดโอด มี 4 องค์ประกอบ



รูปที่ 2.17 รูปแสดงการป้อนริเวอร์สไบอัสแก่ PN จั๋งชั้น

- 1) การสะท้อนจากผิวหน้า
- 2) การส่งผ่านตัวตรวจจับแสงโดยไม่ถูกดูดกลืน
- 3) การดูดกลืนโดยการชนกันของอะตอมในบริเวณปลอดพาหะ (Depletion Region)
- 4) การดูดกลืนในบริเวณอื่น

สัญลักษณ์ของประสิทธิภาพควอนตัมคือ  $\eta$  ซึ่งเป็นอัตราส่วนของกำลังงานที่ถูกดูดกลืนในบริเวณปลอดพาหะ ต่อกำลังงานที่ตกกระทบ โดยการสะท้อนที่ผิวหน้าของโฟโตไดโอดแสดงโดยค่า  $R$  (Reflectivity) กำลังงานแสงที่ผ่านผิวหน้าเข้าไปยังโฟโตดีเทคเตอร์จะเท่ากับ  $(1-R)P_i$

$\alpha_p$  คือ ค่าคงที่การดูดกลืน (Absorption constant) แล้วคลื่นที่แพร่ผ่านในทิศ  $x$  จะมีกำลังงานเป็น

$$\begin{aligned}
 P(x) &= P(0)\exp(-\alpha x) \\
 &= (1-R)P_i \exp(-\alpha x)
 \end{aligned}
 \tag{2.10}$$

คลื่นที่เข้ามาจากทางด้านซ้ายตอนแรกจะผ่านชั้น  $n$  ที่มีความกว้าง  $W_1$  ตรงนี้จะไม่มีการดูดกลืนไฟฟ้า ประจุในบริเวณนี้ที่เกิดการรวมกันใหม่จะไม่ค่อยมีผลต่อกระแสโฟโต และความเข้มของคลื่นจะถูกลดทอนด้วยแฟกเตอร์  $\exp(-\alpha W_1)$

คลื่นที่เดินทางเข้ามาถึงบริเวณปลอดพาหะที่มีความกว้าง  $W_d$  จะถูกดูดกลืนมาก การลดทอนในบริเวณนี้ถูกแสดงด้วย  $\exp(-\alpha_p W_d)$  ซึ่งเป็นแฟกเตอร์การลดทอนแต่ไม่ได้หมายความว่าสูญเสียไปเท่านั้น พลังงานที่เหลือออกจากบริเวณปลอดพาหะ จะไม่มีผลต่อการสร้างกระแสจะได้ค่า  $\eta$  ดังนี้

จากสมการถ้าต้องการให้ค่า  $\eta$  สูง จะต้องให้ค่า  $R$  และ  $\alpha_p W_i$  มีค่าน้อย และ  $\alpha_p W_d$  มีค่ามาก ค่า  $\alpha$  กับ  $\alpha_p$  จะเท่ากัน ดังนั้น  $W_i$  จะต้องน้อยและ  $W_d$  จะต้องมาก

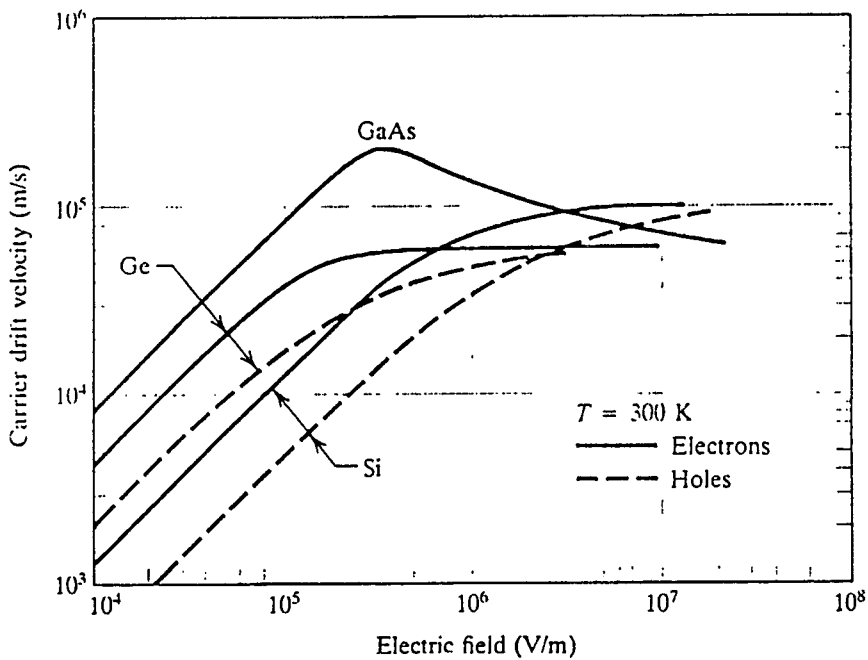
สำหรับที่ความยาวคลื่นบางค่า สามารถทำให้  $R$  มีค่าเป็น 0 ได้โดยใช้ Antireflection Coating ติดที่ผิวหน้าป้องกันการสะท้อน จะสามารถประมาณค่าประสิทธิภาพควอนตัมได้ดังนี้

$$\eta = 1 - \exp(-\alpha_p W_d) \quad (2.11)$$

และการทำให้  $\eta$  มีค่าสูง จะต้องให้มีการดูดกลืนโฟตอนที่บริเวณปลอดพาหะมาก ๆ และดูดกลืนในบริเวณอื่นน้อย ๆ

สำหรับพินไดโอด บริเวณปลอดพาหะจะรวมบริเวณอินทรีนสิกและบริเวณที่ได้ปัสารพีและเอ็นมาก ค่า  $W_i$  ยังมีค่ามากกว่า  $\exp(-\alpha_p W_i)$  ก็ยังมีค่าน้อย ดังนั้นจะมีพลังงานเพียงเล็กน้อยที่เหลือออกจากบริเวณปลอดพาหะและจะไม่สร้างพาหะของแสง(Photo Carriers)

สามารถเพิ่มค่าประสิทธิภาพควอนตัมได้ถ้าแสงเข้ามาที่ด้านเอ็น และเลือกให้พลังงานของแบนด์แกปมีค่ามากกว่าพลังงานโฟตอน จะทำให้ไม่มีการดูดกลืนพลังงานจากคลื่น



รูป 2.18 แสดงความเร็วลอยเลื่อนของพาหะ กับสนามอิเล็กตรอน

### 2.4.3 ความเร็วในการตอบสนอง (Speed Of Response)

อัตราที่โฟโตไดโอดสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงอินพุต ถูกวัดในรูปแบบดีวีซของโฟโตไดโอด จะตรวจสอบความเร็วการตอบสนองของโฟโตไดโอดในแกนเวลา(Time Domain) โดยการหาการตอบสนองอิมพัลส์ (Impulse Response)ของมัน และสามารถนำไปคำนวณหาความถี่ตอบสนอง(Frequency Response)ของโฟโตไดโอดได้

ความเร็วการตอบสนองของโฟโตไดโอดถูกจำกัดโดยทรานซิทไทม์ (Transit Time)ของพาหะแสง(พาหะถูกเร่งโดยสนามไฟฟ้าในบริเวณปลอดพาหะและเคลื่อนที่ออกจากบริเวณปลอดพาหะด้วยความเร็วจำกัด) ทรานซิทไทม์ คือ เวลาที่พาหะอิสระเคลื่อนจากจุดที่ถูกสร้างไปยังขอบของบริเวณปลอดพาหะ

ความเร็วที่พาหะแสงเคลื่อนผ่านบริเวณปลอดพาหะขึ้นกับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำสารกึ่งตัวนำและขึ้นกับความแรงของสนามไฟฟ้า ความเร็วของอิเล็กตรอนและโฮลไม่จำเป็นต้องเท่ากันถ้าสนามไฟฟ้าเพิ่มความเร็วก็คจะเพิ่มจนถึงจุดที่ความเร็วอิ่มตัว พอหลังจากนี้จะมีการชนกันกับโฮสแลตทิซ(Host Lattice) ซึ่งทำให้ความเร็วลดลง

ผลจากการเคลื่อนที่ของพาหะแสงจะทำให้เกิดกระแสโฟโตโพลในวงจรรภายนอก การตอบสนองอิมพัลส์ของตัวตรวจจับแสงก็คือกระแสโฟโต  $i_{ph}$  ซึ่งโพลในวงจรรภายนอกเกิดจากอิมพัลส์ของแสงอินพุต

แสงที่เข้ามาบริเวณ  $n^-$  ทางด้านซ้าย อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปทางซ้ายด้วยความเร็ว  $\bar{V}_e$  และโฮลจะเคลื่อนที่ไปทางขวาด้วยความเร็ว  $\bar{V}_h$  ทรานซิทไทม์สำหรับอิเล็กตรอนและโฮลซึ่งเคลื่อนที่ผ่านระยะทางทั้งหมด  $W_d$  คือ  $\tau_e = W_d/\bar{V}_e$  และ  $\tau_h = W_d/\bar{V}_h$  ระยะเวลาของการตอบสนองอิมพัลส์จะมากกว่าสองทรานซิทไทม์นี้

อิเล็กตรอนที่เกิดที่ด้านขวาของบริเวณปลอดพาหะจะเคลื่อนที่จากขวาไปซ้ายด้วยความเร็ว  $\bar{V}_e$  จะเกิดพัลส์กระแสด้วยเวลา  $\tau_e$  และพื้นที่  $\int i dt = q$  พัลส์กระแสที่ถูกสร้างโดยอิเล็กตรอนนี้มีขนาดเฉลี่ย  $q/\tau_e$  พัลส์กระแสที่ถูกสร้างขึ้นที่อื่นในบริเวณปลอดพาหะจะมีขนาดเฉลี่ยเหมือนกันแต่ระยเวลาน้อยกว่า

ณ ที่เวลา  $t$  มีอิเล็กตรอนอิสระ  $N_e$  ในบริเวณปลอดพาหะดังนั้นกระแสโฟโตรวมที่เกิดจากอิเล็กตรอนจะเป็น

$$i_e(t) = \frac{N_e q}{\tau_e} = \frac{N_e q \bar{V}_e}{W_d} \quad (2.12)$$

สำหรับโฮล

$$i_h(t) = \frac{N_h q \bar{V}_h}{W_d} \quad (2.13)$$

กระแสโฟโตรวม

$$\begin{aligned} i_{ph}(t) &= i_e(t) + i_h(t) \\ &= \frac{q}{W_d} [N_e(t) \bar{V}_e + N_h(t) \bar{V}_h] \end{aligned} \quad (2.14)$$

#### 2.4.4 ค่าการตอบสนอง (Responsivity)

เป็นค่าที่ใช้แสดงคุณลักษณะการทำงานของตัวตรวจจับแสงซึ่งกำหนดให้เป็น

$$R = \frac{I_p}{P_i} \quad (2.15)$$

$I_p$  คือกระแสเอาต์พุตที่ผลิตจากโฟโตไดโอด

$P_i$  คือ กำลังงานแสงที่ตกกระทบ

ความสัมพันธ์ของค่าการตอบสนองที่อยู่ในรูปของประสิทธิภาพควอนตัมพิจารณาจาก

$$\text{พลังงานโฟตอน } E = hf \quad (2.16)$$

ดังนั้นอัตราจำนวนโฟตอนที่ตกกระทบ  $r_p$  สามารถเขียนอยู่ในเทอมของกำลังงานแสงที่ตกกระทบ และพลังงาน โฟตอน

$$r_p = \frac{P_i}{hf} \quad (2.17)$$

จาก

$$\eta = \frac{r_s}{r_p} \quad (2.18)$$

$r_s$  คือจำนวนอิเล็กตรอนที่ทำให้เกิดกระแส โฟโต

$r_p$  คือจำนวนโฟตอนที่ตกกระทบ

จะได้

$$\begin{aligned} r_s &= \eta r_p \\ r_s &= \eta \frac{P_i}{hf} \end{aligned} \quad (2.19)$$

ดังนั้นกระแสเอาต์พุต(กระแส โฟโต)จะเป็น

$$I_p = \frac{qP_i\eta}{hf} \quad (2.20)$$

$q$  คือประจุของอิเล็กตรอน =  $1.6 \times 10^{-19}$  คูลอมบ์

จากสมการ(2.15) ได้

$$R = \frac{\eta q}{hf} \tag{2.21}$$

$$R = \frac{\eta q \lambda}{h \nu_0}$$

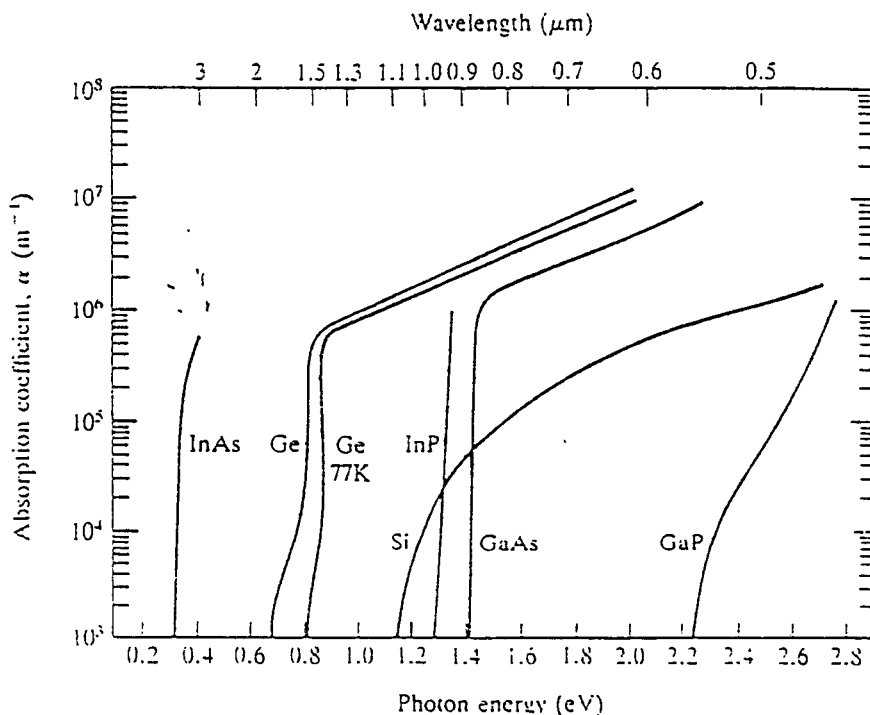
2.4.5 สารที่ใช้ทำโฟโตไดโอด (Material For Photodiodes)

ตัวแปรที่สำคัญของสารที่ใช้ทำโฟโตไดโอดคือ แบนด์แกปซึ่งเป็นพลังงานที่ต้องการใช้ในการเคลื่อน อิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบความนำซึ่งพลังงาน 1 โฟตอน  $E = hf = hc/\lambda$  นั้นต้องมากกว่าพลังงาน แบนด์แกป  $E_g$  โฟโตไดโอดที่ออกแบบมาจะสัมพันธ์กับค่าความยาวคลื่นที่เฉพาะหรือช่วงความยาวคลื่นหนึ่ง วัสดุที่เหมาะสมต้องมี  $E_g$  น้อยกว่าพลังงาน 1 โฟตอนที่ทุก ๆ ช่วงความยาวคลื่นที่ใช้งาน

นอกจากนี้ยังมีตัวแปรที่สำคัญ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง(Absorption Coefficiency) ของ สารกึ่งตัวนำซึ่งจะมีค่าเท่ากับศูนย์ถ้าพลังงานโฟตอนน้อยกว่าพลังงานแบนด์แกปคือ จะไม่มีการดูดกลืนแสง เกิดขึ้นเลย ถ้าพลังงานโฟตอนมากกว่าพลังงานแบนด์แกป ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงก็เพิ่มขึ้น อย่างรวดเร็ว ซึ่งค่า  $\alpha$  ขึ้นอยู่กับ  $\lambda$

ในการออกแบบนั้น ต้องเลือกอุปกรณ์รับแสงที่เหมาะสม(วัสดุที่ใช้ทำ) กับความยาวคลื่นที่ใช้ เช่น ความยาวคลื่นที่สั้นกว่า 1 ไมครอนจะใช้ซิลิคอนเป็นวัสดุที่ใช้สำหรับโฟโตไดโอด

สรุปได้ว่า  $E_g$  มีค่าแตกต่างกัน ทำให้มีย่านความยาวคลื่นที่ต่างกันที่จะดูดกลืนแสงเข้ามาได้ง่าย



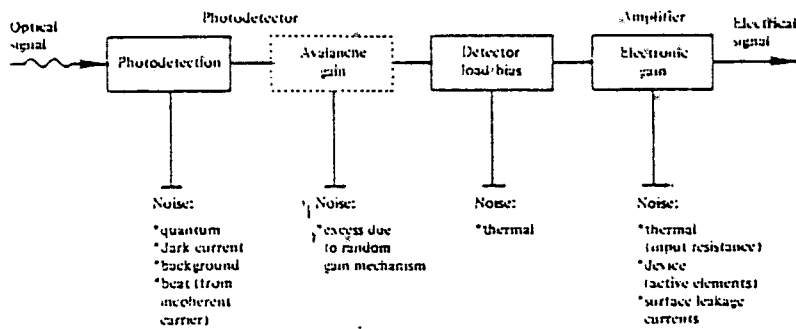
รูปที่ 2.19 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของสารกึ่งตัวนำชนิดต่าง ๆ

## 2.5 สัญญาณรบกวนในเครื่องรับ (Receiver Noise)

ในการศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมของเครื่องรับในการสื่อสารเส้นใยแสงนั้นจะทำการศึกษาถึงความสำคัญและความสัมพันธ์ของสัญญาณรบกวนชนิดต่าง ๆ ซึ่งกล่าวไปในหัวข้อที่แล้ว โดยจะขึ้นกับวิธีการมอดูเลชันและชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับสัญญาณ

สำหรับการตรวจจับสัญญาณแบบโคฮีเรนต์ (Coherent Detection) ปัจจุบันยังไม่มีการใช้ ด้วยเหตุนี้ การตรวจจับแบบเฮเทอโรไดน์ (Heterodyne) ซึ่งมีความไวมากและไม่เกิดการรบกวนต่อช่องสัญญาณข้างเคียงจึงไม่มีการนำมาใช้ นั่นคือ สัญญาณแสงที่เดินทางมาถึงเครื่องรับจะเป็นแบบอินโคฮีเรนต์ (Incoherent) ในทางปฏิบัติการสื่อสารเส้นใยแสงปัจจุบันจะใช้อินโคฮีเรนต์หรือการตรวจจับโดยตรงด้วยระดับสัญญาณต่าง ๆ กัน และไม่มีข่าวสารที่มากับเฟสหรือความถี่ของสัญญาณเลย นั่นคือ การพิจารณาสัญญาณรบกวนจะเป็นการพิจารณาเครื่องรับที่ใช้การตรวจจับแบบโดยตรงของพาหะแสงซึ่งจะให้ค่า S/N (Signal To Noise Ratio) เช่นเดียวกับพาหะแสงที่ไม่มีการมอดูเลต

รูปที่ 2.20 แสดงบล็อกของสัญญาณรบกวนในส่วนของวงจรส่วนหน้าและแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนหลัก ๆ ในพินและอวาลานซ์โฟโตไดโอด สัญญาณรบกวนที่เกิดจาก Background Radiation จะแพร่กระจายในชั้นบรรยากาศและในระบบที่ใช้สายทองแดง ซึ่งสัญญาณรบกวนที่กล่าวมานี้จะสามารถละทิ้งได้ เช่นเดียวกับ Beat Noise ซึ่งเกิดจากสเปกตรัมต่าง ๆ ของพาหะแบบอินโคฮีเรนต์ ก็จะละการพิจารณาเช่นกัน อย่างไรก็ตามจำเป็นจะต้องคำนึงถึงแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ที่แสดงในรูป 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงบล็อกไดอะแกรมของสัญญาณรบกวนของวงจรส่วนหน้า

ในเครื่องรับแบบอวาลานซ์โฟโตไดโอด จะมีความซับซ้อนกว่าคือ ผลของสัญญาณรบกวนจะมาจากธรรมชาติของการสุ่ม (Random Nature) ของเคนภายใน (แสดงเป็นเส้นประตามรูป) ดังนั้นสำหรับโฟโตไดโอด จะพิจารณาสัญญาณรบกวนซึ่งไม่ได้เกิดจากเคนภายในก่อน

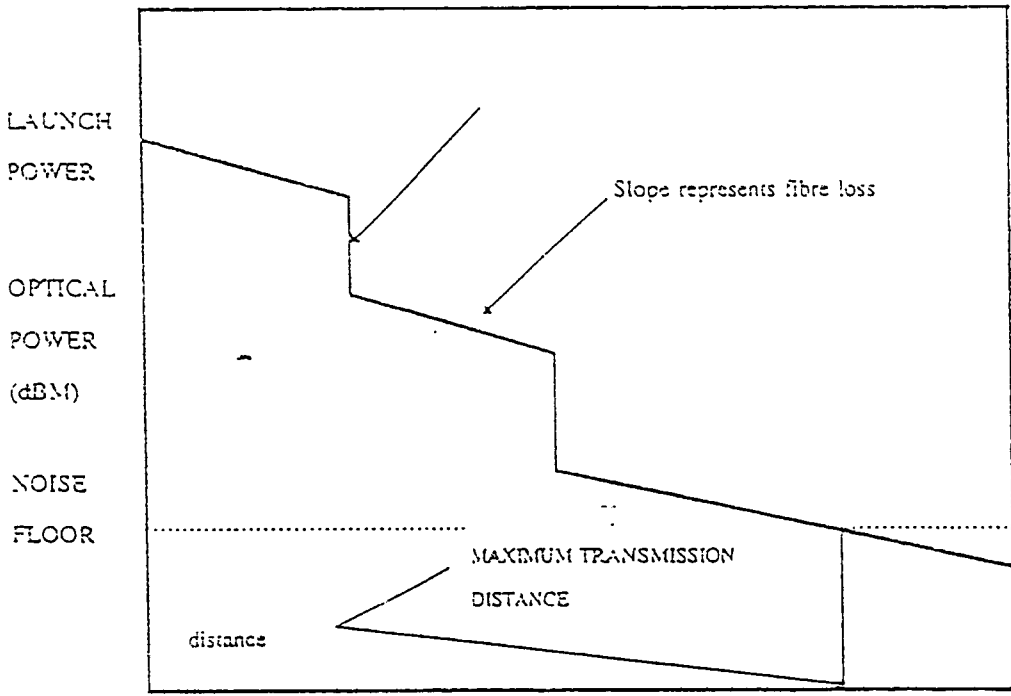
2.6 การคำนวณกำลังสูญเสียทั้งหมดของระบบการสื่อสารเส้นใยแสง

2.6.1 เพาเวอร์บัตเจต(Power Budget)

เพาเวอร์บัตเจต คือ ค่าสูญเสียกำลังทั้งหมดของแสงที่ยอมได้ระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและเครื่องตรวจจับแสง ถ้าให้  $P_s$  คือกำลังของแสงที่ป้อนให้กับระบบและ  $P_r$  คือความไวของเครื่องรับ เพาเวอร์บัตเจตจะเท่ากับ  $P_s - P_r$

ในการออกแบบระบบนั้นจำเป็นต้องมีค่ากำลังเผื่อของระบบ(Power Margin) ซึ่งจะเท่ากับผลต่างระหว่างเพาเวอร์บัตเจตและค่าสูญเสียในระบบค่ากำลังเผื่อของระบบควรมีค่าเป็นบวก ค่าสูญเสียในระบบนั้นจะเกิดจากค่าสูญเสียที่ข้อต่อ ค่าสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแก้วและค่าสูญเสียเนื่องจากการลดทอนกำลังเป็นต้น การสูญเสียภายในเส้นใยแสงแสดงได้ดังรูป 2.21

Point loss such as connector or defect



รูปที่ 2.21 แสดงการสูญเสียภายในระบบเส้นใยแสง

2.6.2 แบนด์วิธบัตเจต

ในการออกแบบนั้นแบนด์วิธของระบบจะต้องมีความกว้างพอที่จะรองรับแบนด์วิธของข่าวสารหรือข้อมูลที่ส่งผ่านระบบ แบนด์วิธของระบบหมายถึงแบนด์วิธรวมของเครื่องส่งเส้นใยนำแสงและเครื่องรับ

ในการคำนวณแบนด์วิธของระบบนั้นจะคำนวณเป็นค่าเวลาขึ้น(Rise Time) ซึ่งจะได้ว่า

$$f_{3-dB} = 0.35/t_r \tag{2.22}$$

เมื่อ  $t_s$  คือเวลาขึ้นของระบบและ  $t_s$  จะมีความสัมพันธ์กับเวลาขึ้นของแหล่งกำเนิดแสง  $t_{LS}$  เวลาขึ้นของเส้นใยแสง  $t_f$  และเวลาขึ้นของโฟโตไดโอด  $t_{PD}$  ดังนี้

$$t_s^2 = t_{LS}^2 + t_f^2 + t_{PD}^2 \tag{2.23}$$

$f_{3dB}$  ในสมการข้างต้นจะเป็นความถี่ที่ทำให้กำลังไฟฟ้าลดลงเป็นครึ่งหนึ่ง แต่ในการคำนวณแบนด์วิธของเส้นใยแสงให้อ้างอิงกับกำลังไฟฟ้า เนื่องจาก

$$P_{out} \propto I$$

$$P_{ELEC} \propto I^2$$

ดังนั้น

$$P_{ELEC} \propto P_{out}^2$$

นั่นคือ

$$dB_{ELEC} = 2dB_{out} \tag{2.24}$$

หรือ

$$dB_{out} = 0.5dB_{ELEC} \tag{2.25}$$

จากสมการข้างบนแสดงให้เห็นว่าในขณะที่สัญญาณไฟฟ้าลดลง 3dB สัญญาณแสงลดลง 1.5 dB และเราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง  $f_{3dB}(\text{Electrical})$  และ  $f_{3dB}(\text{Optical})$  ได้ดังนี้

$$f_{3dB}(\text{electrical}) = 0.71f_{3dB}(\text{optic}) \tag{2.26}$$

รายละเอียด	เส้นผ่านศูนย์กลาง Core	ค่า NA	ค่าการสูญเสีย (dB/km)	$\Delta(\tau/L)$ (ns/km)	$f_{3dB} \times L$ (MHzxkm)	แหล่งกำเนิดแสง	ความยาวคลื่น (nm)
Multimode Glass							
SI	50	0.24	0.5	1.5	33	LED	850
Grin	50	0.24	5	1	500	LD	850
Grin	50	0.20	1	0.5	1000	LED,LD	1300
PCS							
SI	200	0.41	8	50	10	LED	800

Single Mode							
Glass							
Glass	5	0.01	4	<0.5	>1000	LD	850
Glass	10	0.10	0.5	0.006	83000	LD	1300
	10	0.01	0.2	0.006	83000	LD	1550
พลาสติก							
SIO	1000	0.48	200	-	-	LED	580

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใยแสง

เวลาขึ้นของแหล่งกำเนิดแสงขึ้นอยู่กับชนิดของแหล่งกำเนิดแสง เช่น เป็น LED หรือ LD ซึ่งในตาราง

ที่ 2.2 แสดงตัวอย่างคุณสมบัติของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่าง ๆ

เวลาขึ้นของโฟโตไดโอดขึ้นอยู่กับชนิดของโฟโตไดโอดและวงจร ตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างคุณสมบัติของโฟโตไดโอดชนิดต่าง ๆ

คุณสมบัติ	LED	LD	Single Mode LD
ความกว้างสเปกตรัม (nm)	20-100	1-5	<0.2
Rise Time (ns)	2-250	0.0-1	0.05-1
แบนด์วิธการมอดูเลต (MHz)	<300	2000	6000
ประสิทธิภาพการคัปปลิ่ง	ต่ำมาก	ปานกลาง	สูง
เปรียบเทียบเส้นใย	Multimode SI Multimode Grin	Multimode Grin Single-mode	Single-mode
ความไวต่ออุณหภูมิ	ต่ำ	สูง	สูง
วงจรรวม	รูปแบบง่าย	ซับซ้อน	ซับซ้อน
Life Time(ชั่วโมง)	$10^5$	$10^4$ - $10^5$	$10^4$ - $10^5$
ราคา	ต่ำ	สูง	สูงสุด
การใช้งานขั้นต้น	ระยะทางปานกลาง อัตราความเร็ว ข้อมูลปานกลาง	ระยะทางไกล อัตราความเร็ว ข้อมูลสูง	ระยะทางไกลที่สุด อัตราความเร็ว ข้อมูลสูงสุด

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่าง ๆ

ชนิดของวัสดุ	โครงสร้าง	Rise Time (ns)	ความยาวคลื่น (nm)	Responsivity (A/W)	Dark Responsivity (nA)	Current Grin
Silicon	PIN	0.5	300-1100	0.5	1	1
Germanium	PIN	0.1	500-1800	0.7	200	1
InGaAs	PIN	0.3	1000-1700	0.6	10	1
Silicon	APD	0.5	400-1000	77	15	150
Germanium	APD	1	1000-1600	30	700	50

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของโฟโตไดโอด

Rise Time ของเส้นใยแสงขึ้นอยู่กับ Dispersion ของเส้นใยแก้วโดยที่

$$t_F^2 = t_{\text{mod}}^2 + t_{\text{dis}}^2 \quad (2.27)$$

$t_{\text{mod}}$  เท่ากับเวลาขึ้นของเส้นใยแสงเนื่องจาก โหมด ดิสเพอร์ชัน ซึ่งสามารถหาค่าแบนด์วิธ

$t_{\text{dis}}$  เท่ากับเวลาขึ้นที่เกิดจากการดิสเพอร์ชันจากวัสดุและดิสเพอร์ชันจากท่อนำคลื่น โดยที่

$$t_{\text{dis}} = -(M + M') \Delta \lambda \quad (2.28)$$

ในกรณีที่สัญญาณข้อมูลหรือข่าวสารเป็นสัญญาณดิจิทัลเราสามารถหาแบนด์วิธได้จากการพิจารณาว่ารูปร่างของสัญญาณดิจิทัลเป็นแบบ NRZ หรือเป็นแบบ RZ โดยที่

$$f_{3\text{dB}}(\text{electrical}) = R_{\text{NRZ}}/2 \quad (2.29)$$

และ  $f_{3\text{dB}} = R_{\text{RZ}}$

เมื่อ  $R_{\text{NRZ}}$  และ  $R_{\text{RZ}}$  เป็นอัตราบิตของข้อมูลที่เป็นแบบ NRZ และ RZ ตามลำดับ

## 2.7 เครื่องรับโทรทัศน์

กล่าวโดยทั่วไป เครื่องรับโทรทัศน์ในปัจจุบันได้ใช้วิธีเปลี่ยนความถี่โทรทัศน์ที่รับได้ให้ต่ำกว่าเดิมเพราะความสะดวกในการออกแบบวงจรขยายกำลัง กล่าวคือ เครื่องรับโทรทัศน์มีวงจรส่วนหน้าสำหรับใช้ในการเปลี่ยนความถี่คลื่นพาห์ทั้งของเสียงและภาพ ที่อยู่ในย่านความถี่สูงมากระหว่าง 54 ถึง 223 MHz ให้กลับเป็นความถี่กลาง (IF Frequency) สองความถี่ด้วยกัน ซึ่งอาจเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมในระหว่าง 20 ถึง 60 เมกกะเฮิร์ตซ์ สัญญาณคลื่นพาห์ที่มีความถี่ ไอ.เอฟ. ทั้งสองความถี่นี้ จะถูกแยกออกจากกันและเมื่อผ่านวงจรดีเทคเตอร์แล้วจะให้สัญญาณภาพกับสัญญาณเสียงออกมาในที่สุด เนื่องจากการส่งโทรทัศน์จำเป็นต้องใช้คลื่นพาห์สองความถี่สำหรับภาพและเสียง จึงทำให้มีเครื่องรับโทรทัศน์อยู่สองประเภทตามลักษณะการทำงานแยกคลื่นพาห์ทั้งสองออกจากกัน ดังนี้

ก) เครื่องรับโทรทัศน์ที่มีวงจรแยกคลื่นพาห์ของเสียงออกจากคลื่นพาห์ของภาพหลังจากผ่านวงจรส่วนหน้ามาแล้ว (Separate IF Receiver หรือ Split-Sound Receiver) วงจรขยายกำลังคลื่นพาห์ของเสียงที่มีความถี่กลาง กับวงจรขยายกำลังคลื่นพาห์ของภาพที่มีความถี่กลางจะมีความถี่ 21.25 และ 25.75 เมกกะเฮิร์ตซ์ หรือ 41.25 และ 45.75 เมกกะเฮิร์ตซ์ หรือ 22.25 และ 26.75 เมกกะเฮิร์ตซ์ หรือ 33.4 และ 38.9 เมกกะเฮิร์ตซ์ ตามลำดับ แล้วแต่ประเทศที่ผลิตเครื่องรับโทรทัศน์นั้น ๆ

ข) เครื่องรับโทรทัศน์ที่ยังคงรวมคลื่นพาห์ของเสียงและคลื่นพาห์ของภาพที่มีความถี่กลางเอาไว้ด้วยกันจนถึงวงจรดีเทคเตอร์ด้านภาพ (Intercarrier Receiver) ซึ่ง ณ จุดนี้คลื่นพาห์ของเสียงจะเปลี่ยนไปมีความถี่ใหม่เป็น 4.5 หรือ 5.5 เมกกะเฮิร์ตซ์แล้วแต่กรณี อันเป็นผลต่างของความถี่ระหว่างคลื่นพาห์ของเสียงกับคลื่นพาห์ของภาพ ความถี่ของวงจรขยายกำลังคลื่นพาห์ของเสียงที่มีความถี่กลาง จึงมีค่าเป็น 4.5 หรือ 5.5 เมกกะเฮิร์ตซ์อย่างใดอย่างหนึ่ง

สำหรับหลักการการทำงานทั่ว ๆ ไปแล้วเครื่องรับโทรทัศน์ทั้งสองประเภทนี้ไม่ต่างกันมากนัก

เครื่องรับโทรทัศน์จะรับสัญญาณอ่อน ๆ จากสายอากาศสัญญาณนี้ประกอบด้วยสัญญาณเสียงและสัญญาณภาพ ที่มอดูเลตกับคลื่นพาห์จากเครื่องส่ง สัญญาณภาพจะมอดูเลตแบบเอเอ็ม ส่วนสัญญาณเสียงจะมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม สัญญาณทั้งสองจะถูกขยายและทำการดีมอดูเลตเพื่อให้ได้เสียงออกทางลำโพงและภาพออกทางจอภาพ เครื่องรับโทรทัศน์ใช้หลักการทำงานของซูเปอร์เฮเทอโรไดน์ (Super Heterodyne) คล้าย ๆ กับเครื่องรับวิทยุ สัญญาณครั้งแรกจะถูกขยายที่ภาคอาร์เอฟแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไอเอฟที่มีกำลังขยายเพียงพอที่จะดีมอดูเลต สัญญาณที่ดีมอดูเลตแล้วจะประกอบด้วยสัญญาณที่สำคัญ 3 ประการคือ

1. สัญญาณภาพเพื่อป้อนให้กับหลอดภาพ โดยผ่านวงจรขยายสัญญาณภาพ
2. สัญญาณซิงค์เพื่อป้อนให้กับภาคสแกนทางแนวนอนและแนวตั้งเพื่อทำให้เกิดการล็อกของสัญญาณทางด้านรับและด้านส่ง
3. สัญญาณเสียงเพื่อป้อนให้กับลำโพง

วงจรส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องรับโทรทัศน์มีอยู่หลายอย่างด้วยกัน เช่น วงจรส่วนหน้า วงจรของภาพ วงจรของเสียง วงจรของการหักเหทางแนวนอน วงจรของการหักเหทางแนวตั้ง วงจรควบคุมการขยายสัญญาณอัตโนมัติ วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงสูง และวงจรจ่ายไฟฟ้าแรงต่ำ เหล่านี้เป็นต้น ซึ่งแต่ละวงจรมีหน้าที่ดังนี้ คือ

ก) วงจรส่วนหน้า สัญญาณโทรทัศน์ที่ได้รับจากสายอากาศของเครื่องรับโทรทัศน์นั้น เป็นสัญญาณซึ่งมีคลื่นพาห์ของภาพที่ผสมกับสัญญาณภาพรวมในรูปร่างของสัญญาณเอ.เอ็ม. กับคลื่นพาห์ของเสียงที่ผสมกับสัญญาณเสียงในรูปร่างของสัญญาณเอฟ.เอ็ม. สัญญาณโทรทัศน์ที่สายอากาศนี้ยังอ่อนกำลังมาก คลื่นพาห์ของภาพอาจมีความเข้มของสัญญาณเพียงประมาณ 500 ไมโครโวลต์หรือน้อยกว่าก็ได้ จึงจำเป็นต้องหาวิธีทำให้สัญญาณนี้มีความแรงมากขึ้น โดยผ่านเข้าไปในวงจรขยายสัญญาณคลื่นโทรทัศน์ และวงจรขยายอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง จนมีการขยายทั้งหมดเป็นแสนหรือล้านเท่า หรือทำให้สัญญาณภาพมีความแรงอย่างน้อยประมาณ 80 โวลต์ (ค่าสูงสุดถึงค่าสูงสุด) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของหลอดภาพ ซึ่งจะส่งสัญญาณภาพไปให้แคโทดของหลอดภาพได้ การขยายกำลังมาก ๆ สำหรับสัญญาณที่มีความถี่สูงเช่นนี้ ภาพทางจอหลอดภาพอาจถูกรบกวนได้ง่าย หากวงจรขยายสัญญาณคลื่นโทรทัศน์มีสัญญาณรบกวนสูง ฉะนั้น วงจรส่วนหน้าจึงมีความสำคัญมาก ซึ่งวงจรส่วนหน้าประกอบไปด้วยวงจรขยายกำลังคลื่นโทรทัศน์ วงจรออสซิลเลเตอร์ประจำส่วนหน้า และวงจรผสมสัญญาณ วงจรส่วนหน้ามีหน้าที่หลายอย่าง เช่น

- เลือกรับความถี่ของช่องโทรทัศน์ที่ต้องการ โดยการใช่วิธีเปลี่ยนช่องโทรทัศน์เข้าช่วยเหลือ
- ขยายกำลังของสัญญาณโทรทัศน์ที่ได้รับได้
- เปลี่ยนความถี่คลื่นพาห์ของสัญญาณโทรทัศน์ จากความถี่สูงมากให้เป็นความถี่กลาง
- เป็นส่วนที่ทำการปรับให้อินพุทอิมพีแดนซ์ของเครื่องรับโทรทัศน์เท่ากับอิมพีแดนซ์ของสายฟีดเดอร์ เพื่อที่จะได้พลังงานจากสัญญาณโทรทัศน์มากที่สุด

ข) วงจรของภาพ ประกอบด้วยวงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์ของภาพ (และคลื่นพาห์ของเสียง) ที่มีความถี่กลาง วงจรดีเทคเตอร์ด้านภาพ และวงจรขยายกำลังสัญญาณภาพ หน้าที่ของวงจรนี้มีดังนี้

- ขยายสัญญาณคลื่นพาห์ของภาพ (และคลื่นพาห์ของเสียง) ที่มีความถี่กลาง
- ผลิตสัญญาณภาพจากคลื่นพาห์ของภาพ สัญญาณภาพในที่นี้หมายถึง สัญญาณภาพรวม
- ส่งสัญญาณภาพส่วนหนึ่งไปยังวงจรแยกสัญญาณซิงค์ เพื่อทำการแยกสัญญาณซิงค์ออกจากสัญญาณภาพ โดยการเปรียบเทียบขนาดของสัญญาณ

- ส่งสัญญาณภาพส่วนหนึ่งไปยังวงจรควบคุมการขยายสัญญาณอัตโนมัติ เพื่อควบคุมการขยายสัญญาณของวงจรอาร์.เอฟ. และวงจรไอ.เอฟ. และเพื่อทำให้สัญญาณภาพที่ได้รับมีค่าคงที่ตลอดเวลา รวมทั้งเป็นอิสระเท่าที่อาจจะเป็นไปได้จากอาการจางหายที่อาจเกิดขึ้นทางคลื่นโทรทัศน์ด้วย

- ขยายกำลังสัญญาณภาพ เพื่อส่งเข้าวงจรของหลอดภาพ

ค) วงจรของเสียง ประกอบด้วยวงจรขยายกำลังคลื่นพาห์ของเสียงที่มีความถี่กลาง และวงจรขยายกำลังสัญญาณเสียง ซึ่งมีหน้าที่ดังนี้

- ขยายสัญญาณคลื่นพาห์ของเสียงที่มีความถี่กลาง
- ผลิตสัญญาณเสียงจากคลื่นพาห์ของเสียง
- ขยายกำลังสัญญาณเสียง เพื่อส่งไปยังลำโพงที่เครื่องรับโทรทัศน์

ง) วงจรของการหักเหทางแนวนอน และวงจรของการหักเหทางแนวตั้ง วงจรนี้ประกอบด้วยวงจรแยกสัญญาณซิงค์ วงจรผลิตรหัสรูปพื้นเลื้อยสำหรับการหักเหทางแนวตั้ง วงจรผลิตรหัสรูปพื้นเลื้อยสำหรับการหักเหทางแนวนอน และวงจรควบคุมความถี่อัตโนมัติ ซึ่งมีหน้าที่ดังนี้

- แยกสัญญาณซิงค์ออกจากสัญญาณภาพ โดยการเปรียบเทียบขนาดของสัญญาณ

- แยกสัญญาณเชิงค้ทางแนวนอนออกจากสัญญาณเชิงค้ทางแนวดิ่ง โดยการเปรียบเทียบความถี่ของสัญญาณทั้งสอง

- ผลัดกระแสรูปพื้นเลื้อย สำหรับวงจรของการหักเหทั้งทางแนวนอนและทางแนวดิ่ง
- ผลิตพัลส์แรงไฟสูง สำหรับวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงสูง

จ) วงจรควบคุมการขยายสัญญาณอัตโนมัติ เป็นวงจรที่ส่งสัญญาณภาพย้อนกลับจากเอาต์พุทของวงจรดีเทคเตอร์ภาพไปยังกริดของหลอดขยายสัญญาณที่มีความถี่ไอ.เอฟ. อันจะเป็นการช่วยเหลือให้สัญญาณภาพคงที่ตลอดเวลา ไม่ว่าสัญญาณโทรทัศน์ทางด้านสายอากาศจะสูงขึ้น หรือลดลงจนหายไปมากน้อยเพียงไรก็ตามในขอบเขตที่เป็นไปได้

ฉ) วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงสูง เป็นวงจรที่จ่ายกำลังไฟฟ้าแรงสูงให้กับหลอดภาพ ความต่างศักย์สูง ๆ นี้ได้มาจากฟลายแบ็ค ทรานสฟอเมอร์ และเรกติไฟเออร์ ในวงจรของการหักเหทางแนวนอน ซึ่งมีความถี่ 15,750 เฮิร์ตซ์

ช) วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงต่ำ เป็นวงจรที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้เพลทและสกรีนกริดของหลอดต่าง ๆ รวมทั้งฮีเตอร์และอื่น ๆ ตามความต้องการด้วย วงจรนี้อาจมีหรือไม่มี เพาเวอร์ทรานสฟอเมอร์ก็ได้

### 2.7.1 ส่วนอาร์เอฟจูนเนอร์

จะเป็นกระป๋องแยกไว้ต่างหาก ทำหน้าที่เปลี่ยนความถี่อาร์เอฟที่คงที่โดยการเปลี่ยนความถี่อาร์เอฟเข้ามาให้เป็นความถี่ไอเอฟที่คงที่โดยการเปลี่ยนความถี่ของออสซิลเลเตอร์ภายใน จูนเนอร์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ ภาคขยายอาร์เอฟ ,ภาคมิกเซอร์(Mixer) และภาคออสซิลเลเตอร์ ภาคขยายอาร์เอฟจะมีความกว้างของแบนด์ประมาณ 7 MHz เพื่อที่จะสามารถรับสัญญาณทั้งภาพและเสียงได้ และภาคนี้ยังควบคุมการขยายด้วย เอจีซี (AGC=Automatic Gain Control) ภาคมิกเซอร์จะทำหน้าที่ผสมสัญญาณระหว่างสัญญาณอาร์เอฟและออสซิลเลเตอร์ภายในเพื่อให้ได้ความถี่ไอเอฟคงที่

$$\text{ความถี่ไอเอฟภาพ} = 38.9 \text{ MHz}$$

$$\text{ความถี่ไอเอฟเสียง} = 33.4 \text{ MHz}$$

ไฟน์จูนนิ่งทำหน้าที่ปรับความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ไปผสมกับสัญญาณอาร์เอฟ เพื่อให้ได้ความถี่ไอเอฟที่ถูกต้อง อาร์เอฟจูนเนอร์โดยทั่วไปจะมี 2 แบบ คือ

VHF จูนเนอร์ ใช้รับในแบนด์ I และแบนด์ III

UHF จูนเนอร์ ใช้รับในแบนด์ IV และแบนด์ V

สัญญาณขาออกของจูนเนอร์จะมีกำลังต่ำเพียง 2 หรือ 3 มิลลิวัตต์ สัญญาณนี้จะส่งไปภาคไอเอฟโดยผ่านสายโคแอกเซียลเคเบิล

### 2.7.2 วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห้ของภาพที่มีความถี่กลาง

ความจริงควรเรียกวงจรนี้ว่า วงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห้ที่มีความถี่กลาง เพราะจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณทั้งคลื่นพาห้ของภาพ และคลื่นพาห้ของเสียงที่มีความถี่กลาง แต่เพื่อให้ชื่อนี้เป็นชื่อที่กว้าง ๆ และใช้ได้กับเครื่องรับโทรทัศน์ทั้งสองประเภท จึงยังคงนิยมเรียกใช้กันอยู่ การทำให้วงจรนี้สามารถมีการขยายสัญญาณกว้างถึง 6 เมกกะเฮิร์ตซ์ ที่ความถี่กลางเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการของสแทกเกอร์จูนนิ่งเข้าช่วยเหลือ กล่าวคือ แต่ละวงจรเล็กในวงจรใหญ่นี้ จะให้การขยายกำลังสูงสุดที่ความถี่แตกต่างกันเล็ก

น้อย หลายความถี่สลับกัน เพื่อให้คุณลักษณะของวงจรรวมดีขึ้น และมีขอบเขตของความถี่กว้างมากขึ้นตามต้องการ

ภาคนี้จะมีการขยายสูงประมาณ 60 ถึง 80 dB และต้องมีการตอบสนองความถี่ที่เหมาะสม โดยจะต้องมีการขยายความถี่คลื่นพาหะภาพเพียง 50 % เพื่อชดเชยการส่งแบบเวสติเกิลไซด์แบนด์ (Vestigial Sideband) ที่ความถี่ 35-38 MHz ซึ่งเป็นความถี่ของสัญญาณภาพจะมีการขยายสูงสุด คลื่นพาหะเสียงจะมีการขยายเพียง 5 ถึง 10 % ของสัญญาณภาพความถี่ 31.9 และ 40.4 MHz จะมีการขยายต่ำกว่าการขยายสัญญาณภาพถึง 40-45 dB ทั้งนี้เพื่อป้องกันการรบกวนจากคลื่นพาหะเสียงและคลื่นพาหะภาพของข้างเคียง

### 2.7.3 วงจรดีเทกเตอร์ด้านภาพและวงจรควบคุมการขยายสัญญาณอัตโนมัติ

เมื่อสัญญาณโทรทัศน์ที่มีความถี่กลางได้รับการขยายกำลังเพียงพอแล้วจะถูกส่งเข้ามาที่วงจรดีเทกเตอร์ด้านภาพเพื่อแยกสัญญาณภาพออกจากสัญญาณวิทยุพาหะ วงจรนี้ใช้ไดโอดดีเทกเตอร์ เป็นส่วนประกอบสำคัญ และจะยอมให้กระแสไหลผ่านเพียงทางเดียว โดยเฉพาะขณะที่เพลาของไดโอดเป็นบวกเมื่อเปรียบเทียบกับแคโทดของไดโอดเท่านั้น ฉะนั้น คลื่นของสัญญาณภาพในรูปของเอ.เอ็ม.ก็จะถูกตัดออกครึ่งหนึ่ง ทำให้รูปร่างของสัญญาณทางเอาต์พุตมีลักษณะเหมือนกับสัญญาณภาพรวมทั้งส่งไปจากสถานีโทรทัศน์ ส่วนคลื่นพาหะที่มีความถี่กลางนั้นก็จะผ่านคอนเดนเซอร์ลงกราวด์! อนึ่งทางด้านเอาต์พุตของดีเทกเตอร์นี้จะมีสัญญาณคลื่นพาหะของเสียงที่มีความถี่ใหม่ปนอยู่ด้วย ซึ่งเราจะแยกออกมาเสียหลังจากให้ผ่านวงจรขยายกำลังสัญญาณภาพแล้วก็ได้ ด้วยการใช่วงจรจูนนิ่งที่มีความถี่ใหม่ของคลื่นพาหะด้านเสียง (4.5 เมกกะเฮิร์ตซ์) หลังจากนั้นจึงให้ผ่านเข้าไปในวงจรของเสียงเพื่อแยกสัญญาณเสียง และทำให้เกิดเสียงตามความต้องการที่ลำโพงของเครื่องรับโทรทัศน์

วงจรควบคุมการขยายสัญญาณอัตโนมัติเป็นวงจรที่ใช้รักษาระดับของสัญญาณภาพ ให้มีค่าคงที่และเป็นอิสระไม่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณโทรทัศน์ที่รับได้ วิธีการทำงานของวงจรนี้ก็คือ พยายามส่งสัญญาณส่วนหนึ่งทางด้านเอาต์พุตของแอกเตอร์ไปเป็นศักดาไบอัสกลับทางให้กับกริดของหลอดขยายสัญญาณไอ.เอฟ. และอาร์.เอฟ. ในขณะที่สัญญาณโทรทัศน์มีค่าแรงมากก็จะทำให้เกิด ศักดา เอ.จี.ซี. มาก และการขยายสัญญาณจะน้อยลง แต่ถ้าหากสัญญาณโทรทัศน์เริ่มอ่อนลง ก็จะทำให้เกิดศักดา เอ.จี.ซี. น้อย การขยายสัญญาณจะมากขึ้น ซึ่งจะมีผลเท่ากับทำให้ระดับของศักดาเอาต์พุตที่ดีเทกเตอร์มีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ตลอดเวลา การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณโทรทัศน์นั้นมีอยู่สองอย่าง คือสัญญาณจากกล้องโทรทัศน์ที่เปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ อย่างหนึ่ง และการเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ เช่น การเกิดการจางหายไป (fading) เป็นต้น อีกอย่างหนึ่ง วงจรของเอ.จี.ซี. จะออกแบบไว้ให้ทำงานแต่เฉพาะในขณะที่เกิดอาการจางหายทางด้านสัญญาณโทรทัศน์ที่รับได้เท่านั้น โดยไม่รวมถึงการเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ ของสัญญาณจากกล้องโทรทัศน์ซึ่งส่งมาตามแคชชนิดของภาพในห้องส่ง ด้วยเหตุนี้จึงมักใช้ ซิงค์พัลส์ เป็นตัวควบคุมการทำงานของวงจรเอ.จี.ซี. ด้วย โดยทำให้ค่าของศักดาเอ.จี.ซี. ที่จะส่งกลับไปยังกริดของหลอดขยายสัญญาณไอ.เอฟ. และอาร์. เอฟ. นั้น เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าสูงสุดของซิงค์พัลส์ซึ่งมีค่าคงที่ ฉะนั้น ในขณะที่สัญญาณโทรทัศน์แรงมาก ค่าสูงสุดของซิงค์พัลส์ก็จะสูงด้วย ทำให้ได้ศักดาเอ.จี.ซี. และมีศักดาไบอัสมาก ค่าของการขยายสัญญาณก็เริ่มต่ำลง ในขณะเดียวกัน หากสัญญาณโทรทัศน์อ่อนกำลังลงค่าของศักดาเอ.จี.ซี. จะมีน้อยและค่ากำลังขยายจะมีมากกว่าเดิม

#### 2.7.4 วงจรขยายกำลังสัญญาณภาพและวงจรของหลอดภาพ

วงจรขยายกำลังสัญญาณภาพ มีไว้สำหรับการขยายกำลังสัญญาณภาพให้สูงเพียงพอที่จะส่งเข้าหลอดภาพได้ โดยปกติเอาต์พุทของดีเทกเตอร์มีค่าประมาณ 1 ถึง 5 โวลต์ (ค่าสูงสุดถึงค่าสูงสุด) เท่านั้น ซึ่งยังไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องมีการขยายกำลังอีกประมาณ 20 ถึง 30 เท่า หรือ ทำให้มีความแรงประมาณ 60 ถึง 80 โวลต์ (ค่าสูงสุดถึงค่าสูงสุด) เสียก่อนถึงจะใช้ได้ สำหรับโทรทัศน์ที่ใช้ค่าบวกมากที่สุดของสัญญาณภาพ ทำให้เกิดภาพดำที่สุบบนจอหลอดภาพ ระดับของสัญญาณแบล็กคิงกิ้งและระดับของสัญญาณซึ่งจะอยู่สูงเกินกว่าระดับดำของสัญญาณโทรทัศน์ สัญญาณภาพที่ได้รับการขยายกำลังสัญญาณแล้วนี้ มักจะนิยมต่อเข้าโดยตรงกับแคโทดของหลอดภาพ ส่วนกริดนั้นรักษาระดับความต่างศักย์ให้คงที่โดยอาจต่อลงกราวด์ ก่อนที่จะส่งเข้าหลอดภาพจะต้องคำนึงถึงขั้วของซิงค์ด้วย ถ้าซิงค์เป็นบวกจะป้อนเข้าที่แคโทดของหลอดภาพ ถ้าซิงค์เป็นลบจะป้อนเข้ากริดของหลอดภาพทั้งนี้เพื่อสัญญาณภาพที่ออกที่จอภาพจะได้ถูกต้อง ที่ภาคนี้จะมีการควบคุมการขยายสัญญาณภาพ ที่เรียกว่าคอนทราสต์คอนโทรล(Contrast Control) สำหรับสัญญาณควบคุมความสว่างของจอภาพ(Brightness Control) จะได้จากกริปออสให้กับกริดของหลอดภาพ ที่กริดนี้จะมีแบล็กคิงกิ้งพัลส์ทางแนวนอนและแนวตั้งค่อเข้ามาเพื่อป้องกันการสะบัดกลับ(Retrace) ของสัญญาณภาพที่ปรากฏที่จอภาพ

วงจรขยายสัญญาณนี้ ควรสามารถขยายกำลังที่มีความถี่ตั้งแต่ศูนย์จนถึงประมาณ 6 เมกะเฮิร์ตซ์ (ระบบอเมริกัน) และเนื่องจากเราแยกเสียงจากเอาต์พุทของวงจรมีไปยังวงจรของเสียง ดังนั้น ก่อนส่งสัญญาณภาพไปยังหลอดภาพจึงจำเป็นต้องมีฟิลเตอร์หรือเวฟแทรปที่ความถี่ 4.5 เมกะเฮิร์ตซ์ อันเป็นความถี่พาห้ของเสียงในวงจรมี เพื่อป้องกันไม่ให้คลื่นพาห้ของเสียงเข้าไปรบกวนที่หลอดภาพ ในวงจรของหลอดภาพนี้ นอกจากจะมีสัญญาณภาพที่แคโทดแล้ว ยังมีสัญญาณของการหักเหทางแนวนอนและสัญญาณของการหักเหทางแนวตั้ง ที่ส่งเข้ามายังขดลวดของการหักเหทางแนวนอน และขดลวดของการหักเหทางแนวตั้ง และมีไฟฟ้าแรงสูงส่งเข้ามาที่แอโนดของหลอดภาพเพื่อดึงดูดลำอิเล็กตรอนให้วิ่งมากระทบจอหลอดภาพ อันจะทำให้เกิดการเรืองแสงและมองเห็นเป็นภาพขาวดำตามสัญญาณที่ได้รับมา ส่วนเส้นแกนสะบัดกลับนั้น จะมีสัญญาณแบล็กคิงกิ้งเข้ามาข่ม จนทำให้มองไม่เห็นทางจอหลอดภาพ

#### 2.7.5 วงจรแยกสัญญาณซิงค์

การสะแกนของลำอิเล็กตรอนที่กล้องโทรทัศน์กับที่จอหลอดภาพจะต้องเป็นไปในจังหวะที่เหมาะสมพร้อมกันตลอดเวลา เพื่อให้ทำให้เกิดภาพที่จอเครื่องรับ ที่มีลักษณะเดียวกันกับภาพในห้องส่งโทรทัศน์ เนื่องจากวงจรของเครื่องส่งและเครื่องรับมีออสซิลเลเตอร์ที่ทำงาน โดยอิสระสำหรับส่งกระแสฟันเลื่อยให้กับวงจรของการหักเหทางแนวนอนและวงจรของการหักเหทางแนวตั้งอยู่แล้ว จึงจำเป็นต้องอาศัยสัญญาณซิงค์มาช่วยเหลือ ทำให้ความถี่ของออสซิลเลเตอร์เหล่านี้เท่ากัน สัญญาณซิงค์ที่สถานีโทรทัศน์ส่งออกมาพร้อมกับสัญญาณภาพ และสัญญาณแบล็กคิงกิ้ง ในรูปของสัญญาณภาพรวมนี้จะมีทั้งสัญญาณซิงค์ทางแนวนอนและสัญญาณซิงค์ทางแนวตั้ง ซึ่งจะแยกออกจากกันทางเครื่องรับโทรทัศน์ การแยกสัญญาณซิงค์ออกจากสัญญาณภาพ ทำได้โดยอาศัยความจริงที่ว่า ขนาดคลื่นของสัญญาณซิงค์สูงกว่าขนาดของสัญญาณภาพมาก จึงอาจแยกออกจากกันได้ โดยตัดส่วนที่อยู่สูงเกินกว่าระดับของสัญญาณภาพที่กำหนดไว้ สัญญาณซิงค์นี้ยังเป็นสัญญาณซิงค์รวม จึงต้องแยกสัญญาณซิงค์ทางแนวนอนและสัญญาณซิงค์ทางแนวตั้งออกจากกันอีก โดยถือหลักที่ว่า สัญญาณซิงค์ทางแนวนอนมีความถี่ 15,750 เฮิร์ตซ์ ซึ่งสูงมากสามารถผ่านฟิลเตอร์ชนิดที่มีความถี่สูงผ่านได้ง่าย ส่วนสัญญาณ

ซึ่งทิศทางแนวตั้งนั้นมีความถี่เพียง 60 เฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ต่ำจึงควรผ่านฟิลเตอร์ชนิดที่มีความถี่ต่ำผ่านได้ง่าย ความที่แสดงไว้ในรูปที่

สัญญาณภาพพร้อมกับสัญญาณซิงค์จากภาคขยายสัญญาณภาพจะถูกส่งเข้าวงจรกำจัดสัญญาณรบกวนแล้วจึงส่งไปยังภาคแยกซิงค์ ภาคนี้จะคัดสัญญาณภาพออกเป็น 70 % ยังคงเหลือแต่สัญญาณซิงค์ 30 % ออกทางขั้วสัญญาณขาออก สัญญาณซิงค์ส่วนหนึ่งจะส่งผ่านวงจรรวมซึ่งเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำ จะให้สัญญาณซิงค์ทางแนวตั้งนำไปล็อกกับสัญญาณออสซิลเลเตอร์ทางแนวตั้งซึ่งมีความถี่ 50 Hz ความถี่นี้จะถูกส่งเข้าวงจรขับเพื่อป้อนให้กับวงจรขยายสัญญาณขาออกทางแนวตั้ง เพื่อป้อนกระแสรูปพื้นเลื้อยให้กับขดลวดหักเหทางแนวตั้ง และยังส่งฟิลด์แบล็งค์กึ่งฟิลส์ไปให้กับกริดของหลอดภาพด้วย

สัญญาณซิงค์อีกส่วนจะป้อนให้กับวงจรดิฟเฟอเรนเชียลเฟรเควนซี (Differenciator) ซึ่งเป็นวงจรกรองความถี่สูง มีค่าคงตัวเวลาสั้น ๆ เพื่อจะให้ได้สัญญาณเป็นพัลส์ที่เพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว พัลส์นี้จะนำไปควบคุมออสซิลเลเตอร์ทางแนวนอน เนื่องจากการสแกนทางแนวนอนมีความถี่สูงจึงต้องการความแม่นยำมาก ซึ่งต้องใช้ร่วมกับวงจรเอเอฟซี (AFC=Automatic Frequency Control) สัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์จะส่งเข้าวงจรเปรียบเทียบกับที่ออสซิลเลเตอร์สร้างขึ้น สัญญาณขาออกจะเป็นไฟตรง นำไปควบคุมความถี่ภาคออสซิลเลเตอร์ทางแนวนอนให้มีความถี่ตรงกับทางด้านส่ง

ภาคออสซิลเลเตอร์ทางแนวนอนจะผลิตสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมคางหมูป้อนให้กับภาคเอาต์พุตแนวนอน (Horizontal Output) เพื่อป้อนกระแสรูปพื้นเลื้อยให้กับขดลวดหักเหทางแนวนอนผ่านฟลายแบคทรานส์ฟอร์มเมอร์จะยกระดับศักดาตรงขึ้นสูงมากเพื่อป้อนให้กับหลอดภาพ สำหรับไฟก๊สได้จากวงจรนี้โดยผ่านวงจรถูกเตอร์ไดโอด

2.7.5 วงจรของระบบเสียง

จะรวมกันอยู่กับวงจรของระบบภาพมาตั้งแต่สายอากาศ วงจรส่วนหน้า และวงจรขยายสัญญาณคลื่นพาห์ของเสียงก็จะเปลี่ยนความถี่จากย่านความถี่สูงมาก (54 ถึง 225 เมกกะเฮิร์ตซ์) ไปเป็นความถี่ย่านความถี่กลาง (20 ถึง 60 เมกกะเฮิร์ตซ์) เช่นเดียวกับคลื่นพาห์ของภาพ รวมทั้งจะได้รับการขยายกำลังขึ้นด้วยตามลำดับวงจรที่ผ่านมา จนถึงเอาต์พุตของดีเทกเตอร์ด้านภาพ ที่จุดนี้ คลื่นพาห์ของเสียงจะเปลี่ยนจากความถี่กลางไปมีความถี่ใหม่เป็น 4.5 เมกกะเฮิร์ตซ์ อันเป็นผลต่างระหว่างคลื่นพาห์ของภาพกับคลื่นพาห์ของเสียง หลังจากผ่านวงจรถ่ายกำลังสัญญาณภาพแล้ว คลื่นพาห์ของเสียงที่มีความถี่ 4.5 เมกกะเฮิร์ตซ์นี้ จะถูกส่งผ่านแบนด์พาสฟิลเตอร์ไปยังวงจรถ่ายสัญญาณคลื่นพาห์ของเสียงที่มีความถี่กลาง และวงจรดีเทกเตอร์ด้านเสียงเพื่อแยกสัญญาณเสียงออกมาให้วงจรถ่ายกำลังสัญญาณเสียงและลำโพงต่อไป ในเรื่องเอฟเอ็มของโทรทัศน์ระบบอเมริกันนี้ การเปลี่ยนความถี่สูงสุดกำหนดไว้ไม่เกิน 25 กิโลเฮิร์ตซ์ ฉะนั้น แบนด์วิธของสัญญาณเสียงจึงมีเพียงช่องละ 50 กิโลเฮิร์ตซ์เท่านั้น ซึ่งน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับแบนด์วิธของสัญญาณภาพที่สูงถึง 4 เมกกะเฮิร์ตซ์ ส่วนการส่งวิทยุกระจายเสียงในระบบเอฟเอ็ม ในช่วงความถี่ 88 ถึง 108 เมกกะเฮิร์ตซ์ มีข้อกำหนดดังนี้

ระบบอเมริกัน

ความถี่เสียงแบนด์สูงสุด	± 75	กิโลเฮิร์ตซ์
แบนด์วิธของแต่ละสถานี	150	กิโลเฮิร์ตซ์

## ระบบยุโรป

ความถี่เบี่ยงเบนสูงสุด	$\pm 100$ กิโลเฮิร์ตซ์
แบนด์วิธของแต่ละสถานี	200 กิโลเฮิร์ตซ์

### 2.7.7 อัตราการขยายและความกว้างของไอเอฟพาสแบนด์ที่ต้องการในเครื่องรับโทรทัศน์

ความถี่ของสัญญาณอาร์เอฟจะถูกเปลี่ยนเป็นความถี่กลางที่คงที่ โดยหลักการของซูเปอร์เฮเทอโรไดน์ ความไวและการเลือกรับช่องสัญญาณของเครื่องรับโทรทัศน์ จะขึ้นกับการขยายสัญญาณไอเอฟภาพเป็นส่วนใหญ่ ความถี่กลางจะคงที่ตลอดเมื่อถูกขยายให้แรงขึ้น

1. จุดมุ่งหมายในการขยายที่ความถี่กลาง เพื่อที่จะให้ได้รับอัตราการขยายสูงและคงที่ การขยายสัญญาณเพียงไม่กี่มิลลิโวลต์จากภาคมิกเซอร์ จะถูกยกระดับขึ้นเป็น 2 ถึง 3 โวลต์โดยปราศจากการผิดเพี้ยนของสัญญาณการขยายและความคุมโดยใช้วงจรเอจิสซี การขยายวงจรไอเอฟนี้ จะมีการขยายประมาณ 60 ถึง 80 เดซิเบล จากภาคมิกเซอร์ถึงภาคดีเทคเตอร์

2. การขยายสัญญาณไอเอฟจะต้องมีความกว้างของแบนด์เพียงพอประมาณ 5 เมกกะเฮิร์ตซ์ เพื่อที่จะให้ความถี่ภาพทุกความถี่ผ่านได้และมีการขยายที่เหมาะสมกับการรับสัญญาณแบบเวสคิเกลส เพื่อที่สัญญาณภาพขาออกที่ภาคดีเทคเตอร์จะมีขนาดของสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงเท่ากัน

3. วงจรขยายจะต้องประกอบด้วยวงจรที่กำจัดความถี่ช่องข้างเคียงทั้งภาพและเสียงออกไป

4. รูปร่างของพาสแบนด์ควรจะมีอิสระเพียงพอ ไม่กระทบกระเทือนในขณะที่วงจรถูกเอจิสซี เปลี่ยนแปลง การขยายควรจะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ประมาณ 60 เดซิเบล โดยการใช้การควบคุม 1 หรือ 2 ภาค

### 2.8 ช่องโทรทัศน์(Television Channel)

ในระบบ 525 เส้นนั้นช่วงกว้างของความถี่ภาพจากการคำนวณต้องไม่ต่ำกว่า 4 MHz และเมื่อรวมกับเสียงด้วยช่วงกว้างของแต่ละช่องจะต้องไม่ต่ำกว่า 6 MHz ซึ่งจำนวนเส้นในการสแกนยิ่งมากเท่าไร ช่วงกว้างความถี่จะยิ่งมากขึ้น

โดยการกำหนดของ FCC (Federal Communication Commission) ได้แบ่งแบนด์ต่าง ๆ ไว้ดังนี้จาก 54-88MHz เป็น VHF แบนด์ต่ำ จาก 174-216 MHz VHF แบนด์สูง และจาก 470-890 MHz เป็น UHF ช่อง 14 ถึงช่อง 83 เพื่อให้มีช่องการส่งโทรทัศน์ได้มากขึ้นตามความต้องการ

ช่องที่	ย่านความถี่
1	ไม่ได้ใช้
2	54-60
3	60-66
4	66-72
5	76-82
6	82-88
ย่าน FM	88-108

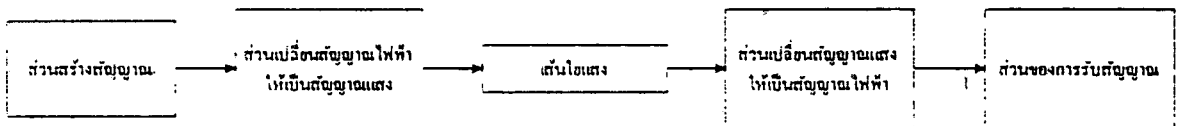
7	174-180
8	180-186
9	186-192
10	192-198
11	198-204
12	204-210
13	210-216
14-83	470-890

ตารางที่ 2.4 แสดงการแบ่งช่องสัญญาณโทรทัศน์

### บทที่ 3

#### การสร้างและการออกแบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบระบบและการสร้างวงจรของโครงการนี้ ซึ่งองค์ประกอบของโครงการจะสามารถแยกออกเป็นสองส่วนใหญ่ ๆ คือ องค์ประกอบทางด้านส่ง เช่น ส่วนของการกำเนิดสัญญาณภาพ ส่วนของการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง และองค์ประกอบทางด้านรับ เช่น ส่วนของการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ส่วนของการขยายสัญญาณและส่วนของการรับสัญญาณ เป็นต้น สำหรับโครงการนี้จะทำการสร้างวงจรภาคส่งโดย นำเอา LED มาเป็นตัวเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าซึ่งก็คือสัญญาณภาพที่รับมาจากแหล่งกำเนิดสัญญาณ ให้เป็นสัญญาณแสง จากนั้นจึงส่งโดยจะส่งผ่านเส้นใยแสงไปยังวงจรภาครับซึ่งใช้โฟโตไดโอดเป็นตัวรับแสง แล้วทำการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าอีกครั้งเหมือนทางด้านส่งเพื่อที่จะนำไปแสดงผลทางมอนิเตอร์



#### องค์ประกอบทางด้านส่ง

#### องค์ประกอบทางด้านรับ

รูปที่ 3.1 แสดงขบวนการส่ง - รับสัญญาณผ่านเส้นใยแสง

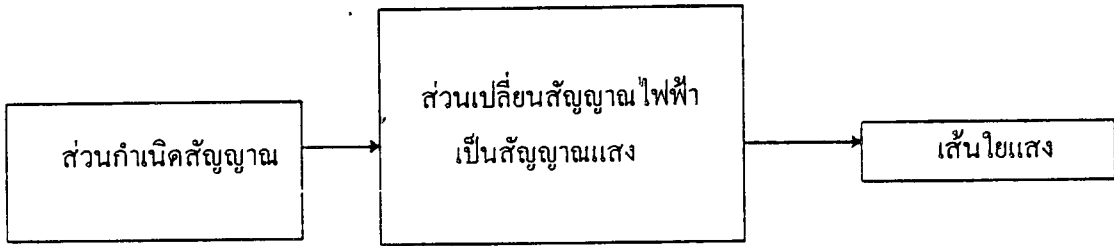
ขบวนการส่งรับสัญญาณผ่านเส้นใยแสงประกอบด้วยองค์ประกอบหลักๆ 3 ส่วน คือ องค์ประกอบทางด้านส่ง เส้นใยแสงและองค์ประกอบทางด้านรับ

องค์ประกอบทางด้านส่งจะประกอบด้วยส่วนของการสร้างสัญญาณ ซึ่งจะนำเอาสัญญาณจากแหล่งกำเนิดมาป้อนให้กับทางเครื่องส่ง ซึ่งสามารถใช้สัญญาณโทรทัศน์หรือจากเครื่องเล่นวีดีโอก็ได้ สัญญาณไฟฟ้าดังกล่าวจะเข้าสู่ส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสง โดยใช้ไดโอดชนิดเลเซอร์-ไดโอด หรือ ไดโอดเปล่งแสงก็ได้ (ในโครงการนี้ใช้ไดโอดเปล่งแสง หรือ LED ) แล้วส่งต่อไปยังเส้นใยแสงไปยังส่วนภาครับต่อไป

องค์ประกอบทางด้านรับ สามารถเลือกใช้ไดโอดชนิด PIN ไดโอด หรือ APD เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งต่อไปยังส่วนของการรับสัญญาณ (สำหรับในโครงการนี้เลือกใช้ PIN) ก็จะได้สัญญาณออกมาที่เหมือนกับสัญญาณที่ส่งมาจากทางด้านส่ง

### 3.1 ภาคส่ง

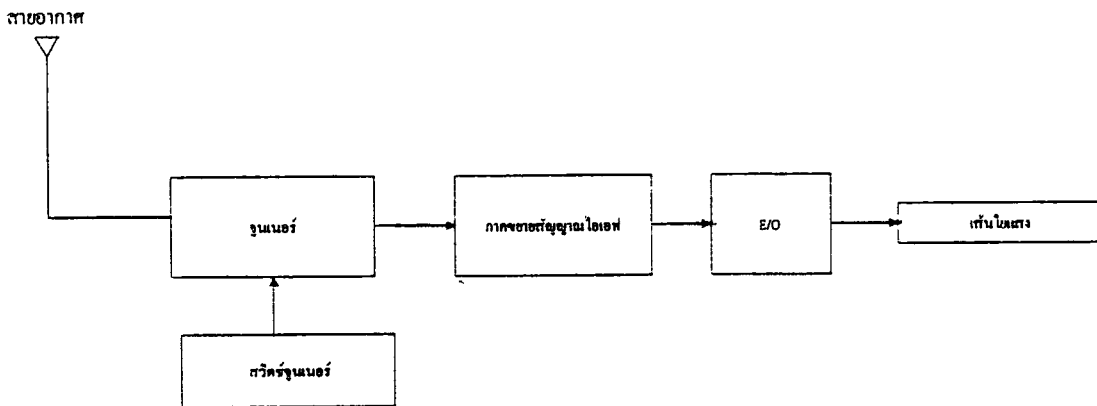
บล็อกไดอะแกรมของภาคส่งแสดงดังรูป



รูปที่ 3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของภาคส่ง

#### 3.1.1 ส่วนกำเนิดสัญญาณ

สามารถใช้สัญญาณจากแหล่งกำเนิดสัญญาณต่าง ๆ เช่น สัญญาณจากเครื่องเล่นวีดีโอเทป สัญญาณจากซิงค์ เจเนอเรเตอร์ (Sync Generator) หรือสัญญาณโทรทัศน์ที่รับจากสายอากาศเป็นต้น สำหรับการเลือกใช้สัญญาณจากเครื่องเล่นวีดีโอเทป หรือ ซิงค์เจเนอเรเตอร์นั้น สามารถป้อนเข้าส่วนของวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงได้โดยตรง แต่หากเป็นสัญญาณโทรทัศน์ที่รับจากสายอากาศนั้นส่วนของการกำเนิดสัญญาณจะประกอบไปด้วย สวิตช์จูนเนอร์ จูนเนอร์ และภาคขยายสัญญาณ ไอเอฟ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของภาคส่งเมื่อใช้สัญญาณ โทรทัศน์จากสายอากาศ

จากรูปที่ 3.3 สามารถอธิบายรายละเอียดของแต่ละบล็อก ได้ดังนี้

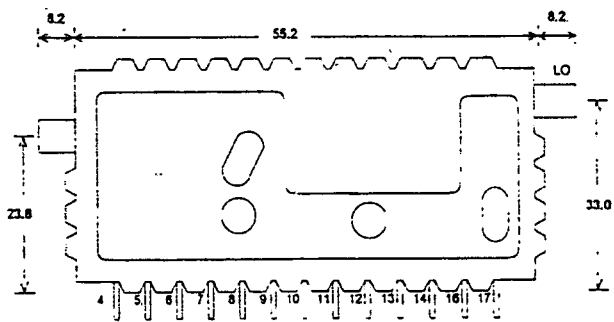
สวิตช์จูนเนอร์

ทำหน้าที่ในการเลือกช่องสัญญาณ โดยการเลือกย่านความถี่ของสัญญาณที่รับจากสายอากาศสำหรับช่องสัญญาณที่ต้องการ สวิตช์จูนเนอร์ที่ใช้ในโครงการนี้มีย่านความถี่ 3 ย่านคือ ย่าน UHF, ย่าน VHF แบนด์ I และย่าน VHF แบนด์ III

จูนเนอร์

จูนเนอร์ คือ ตัวรับสัญญาณจากสถานีโทรทัศน์แล้วแปรเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณภาพและเสียงขึ้นที่เครื่องรับโทรทัศน์ มีหน้าที่การทำงานดังต่อไปนี้

1. เปลี่ยนสัญญาณอาร์เอฟที่รับจากเสาอากาศ (ซึ่งจะมีขนาดตั้งแต่ 50 MHZ ถึง 1 GHZ) ไปเป็นสัญญาณไอเอฟ โดยการผสมสัญญาณอาร์เอฟกับออสซิลเลเตอร์ภายในภาคมิกเซอร์แล้วป้อนสัญญาณไอเอฟที่ได้ไปยังภาคขยายสัญญาณไอเอฟ
2. มีทำหน้าที่ทำให้เกิดเมทซิงระหว่างสายฟีดเดอร์และขั้วขาเข้าของภาคขยายอาร์เอฟ เพื่อที่จะรักษาอัตราส่วนสัญญาณค่อนออยซ์ได้ดี คอยควบคุมอัตราขยายให้เหมาะกับสัญญาณอาร์เอฟที่เข้ามาด้วยวงจรเอจิสซี
3. ทำการขยายสัญญาณ ที่รับมาให้แรงขึ้น ซึ่งขึ้นกับสัญญาณที่รับเข้ามา
4. ทำหน้าที่ขจัดสัญญาณที่อยู่นอกย่านความถี่สัญญาณ โทรทัศน์ ป้องกันสัญญาณรบกวนต่างๆไม่ให้ไปรบกวนสัญญาณไอเอฟ
5. ทำหน้าที่ตัดสัญญาณที่จะทำให้เกิดเงาโดยเลือกวงจรขยายอาร์เอฟที่เหมาะสม



รูปที่ 3.4 แสดงหน้าที่การทำงานแต่ละขงจูนเนอร์ UV 711

ขา 1 เป็นขาสำหรับป้อนสัญญาณอาร์เอฟจากเสาอากาศเข้าที่ขา 1 โดยตรง

ขา 5 เป็นขาสำหรับสัญญาณเอจิส ที่ป้อนกลับมาจากภาคไอเอฟ

ขา 6 เป็นขาสำหรับป้อนไฟ +12 โวลท์ มาเลี้ยงที่ขานี้

ขา 7 เป็นขาสำหรับเลือกย่านความถี่ทางแบนด์ I หรือแบนด์ VHF<sub>2</sub> ถ้ามีไฟ +11 ถึง +12 โวลท์มาป้อนที่ขานี้

ขา 8 เป็นขาสำหรับเลือกย่านความถี่ทางแบนด์ III หรือแบนด์ VHF<sub>6</sub> ถ้ามีไฟ +11 ถึง +12 โวลท์มาป้อนที่ขานี้

ขา 9 เป็นขาดินของจูนเนอร์

ขา 10 เป็นขาสำหรับเลือกย่านความถี่ทางแบนด์ IV หรือแบนด์ c หรือแบนด์ U(UHF) ถ้ามีไฟ +11 ถึง +12 โวลท์มาป้อนที่ขานี้

ขา 11 เป็นขาป้อนศักย์ไฟจูนนิ่ง โวลท์แดง หรือ วิจูน หรือวีแวนี่ ซึ่งเป็นศักย์ไฟดิซิมีค่าตั้งแต่ 0 โวลท์ ถึง 24.5 โวลท์ ขณะที่กำลังค้นหาสถานีอยู่ ศักย์ไฟจะเปลี่ยนแปลงจากศักย์ต่ำไปสูง กลับไปมาตลอดเวลาที่กำลังค้นหาสถานีอยู่ หากพบสถานีที่ต้องการแล้ว ศักย์ไฟที่ขา 11 นี้จะต้องนิ่งไม่เปลี่ยนแปลงเลย หากศักย์ไฟเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย จะทำให้สถานีเคลื่อนที่ด้วย

ขา 12 ไม่ใช้งาน

ขา 13 ไม่ใช้งาน

ขา 14 ไม่ใช้งาน

ขา 15 เป็นขาดินของจูนเนอร์

ขา 16 เป็นขาดินของจูนเนอร์

ขา 17 เป็นเอาต์พุทของจูนเนอร์ไปป้อนยังภาค ไอเอฟต่อไป

สัญญาณอาร์เอฟจากสายอากาศจะถูกวงจรฟิลเตอร์แยกออกเป็น 2 ทางคือ ทาง VHF และทาง UHF โดยที่ VHF จะแยกผ่านทางวงจรฟิลเตอร์ความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) และ UHF จะแยกผ่านทางวงจรฟิลเตอร์ความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter) สัญญาณอาร์เอฟจะถูกขยายให้แรงขึ้นและป้อนเข้าไปผสมกับความถี่ออสซิลเลเตอร์ในวงจรผสมคลื่นหรือมิกเซอร์ เพื่อให้ได้ความถี่ไอเอฟออกมาที่ขา 17 เพื่อจ่ายให้กับภาค ไอเอฟ หลักการทำงานของจูนเนอร์นี้ ใช้หลักการแบบซูเปอร์เฮเตอร์โรคาयน์นั่นเอง

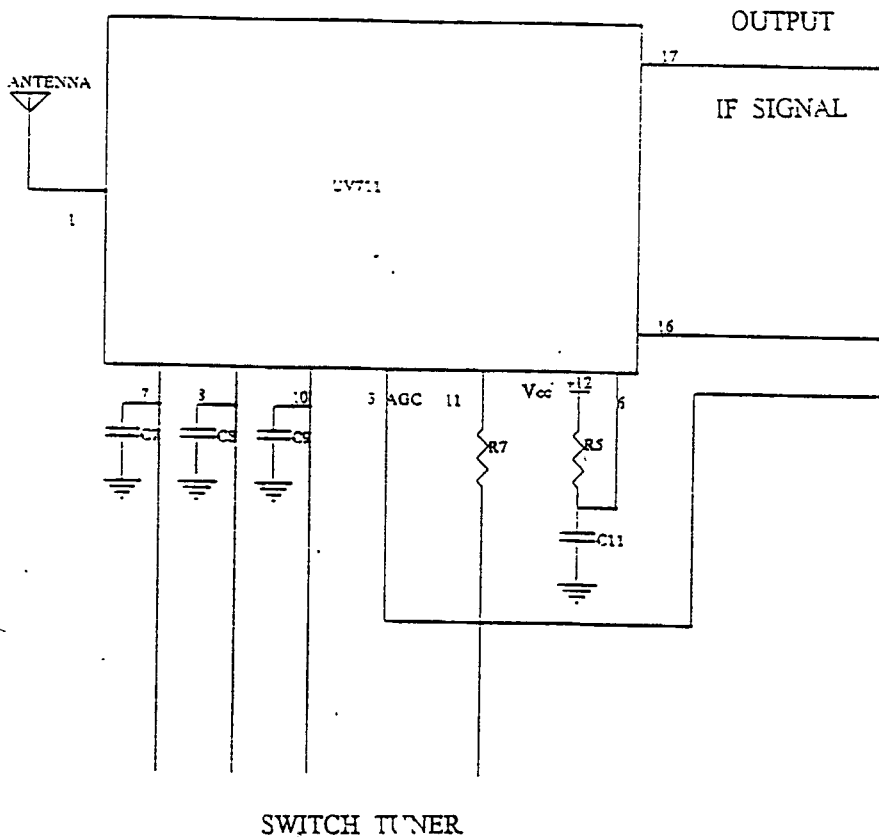
หน่วยขยายสัญญาณอาร์เอฟบล็อก A และบล็อก B จะถูกควบคุมด้วยสัญญาณเอจิส แบ่งหน่วยเวลา (Delayed AGC) โดยถูกป้อนมาจากขา 5 ของจูนเนอร์ การควบคุมจะเป็นไปในทางลบหมายความว่า ถ้าสัญญาณจากสายอากาศมีความแรงมาก (เกินจากระดับที่ตั้งไว้) ศักย์แรงไฟที่ขา 5 ของจูนเนอร์จะลดลง ทำให้อัตราการขยายของจูนเนอร์ลดลง

ส่วนการจูนเพื่อรับสถานีนั้นจะใช้ควบคุมความถี่ของตัววาริแคป โดยการป้อนศักย์แรงไฟตรงที่มีความเที่ยงตรงสูง ศักย์แรงไฟนี้เรียกว่าจูนนิ่ง โวลท์แดง (V-Tune หรือ V-Vari) ศักย์แรงไฟนี้มีค่าประมาณ 0 ถึง 24.5 โวลท์ ป้อนมาที่ขา 11 ของจูนเนอร์ เพื่อใช้ค้นหาสถานี หลังจากจูนหาสถานีพบแล้วแรงไฟที่ได้นี้ต้องคงที่ตลอดเวลา หากแรงดันเปลี่ยนแปลงจะทำให้สถานีที่รับได้คลาดเคลื่อน

สำหรับการเลือกย่านความถี่หรือแบนด์ต่าง ๆ ของระบบโทรทัศน์ ทำการเลือกแถบความถี่โดยป้อนไฟตรงประมาณ 12 โวลต์ เข้าที่ขา 7,8 หรือ 10 ของจูนเนอร์เพื่อเลือกแถบความถี่ VHF a, VHFb หรือ UHF ตามลำดับ โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1

สวิตช์ไฟจ่ายออกที่ ตำแหน่งของสวิตช์เลือก			จูนเนอร์เบอร์ UV711	
a	b	c	x	แถบความถี่ที่เลือก
12 V	0 V	0 V	7	VHF แบนด์ I หรือ a รับช่อง 2-4
0 V	12 V	0 V	8	VHF แบนด์ III หรือ b รับช่อง 5-12
0 V	0 V	12 V	10	UHF แบนด์ VI หรือ c รับช่อง 21-69

ตารางที่ 3.1 แสดงการเลือกช่องสัญญาณของจูนเนอร์

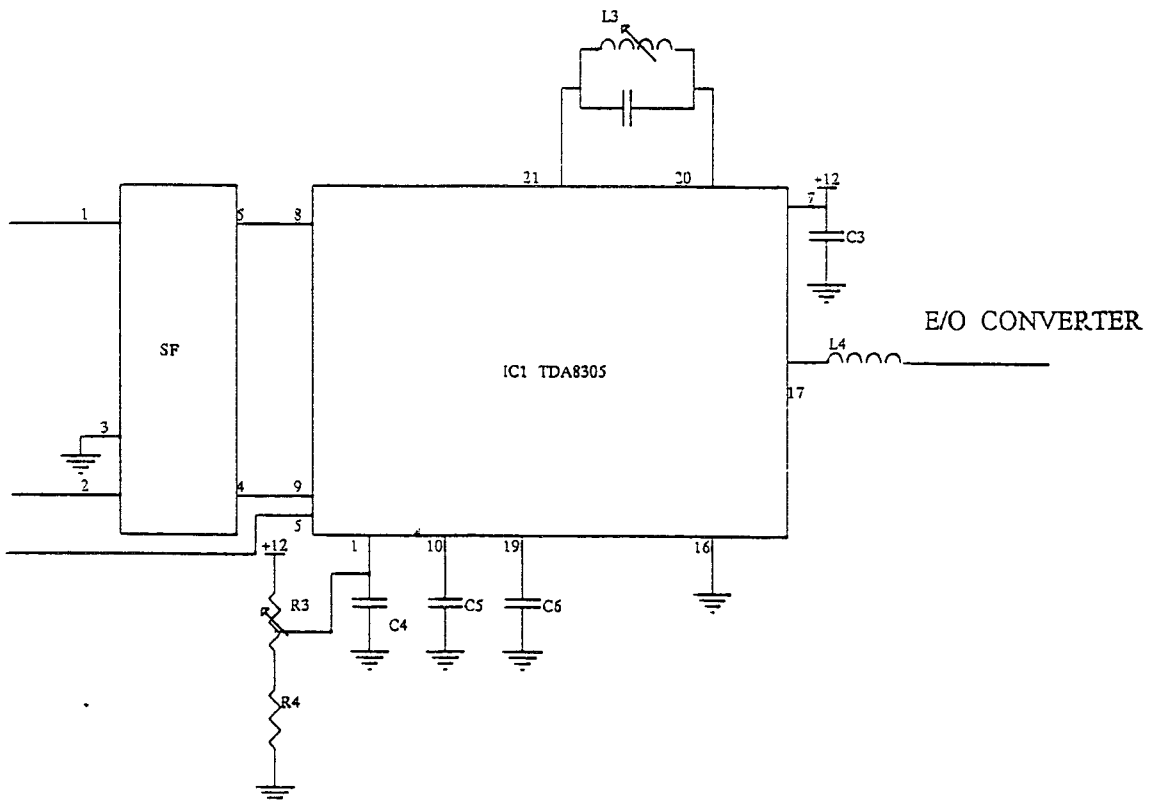


รูปที่ 3.5 แสดงการใช้งานของจูนเนอร์

### ภาคขยายสัญญาณไอเอฟ (IF Amplifier)

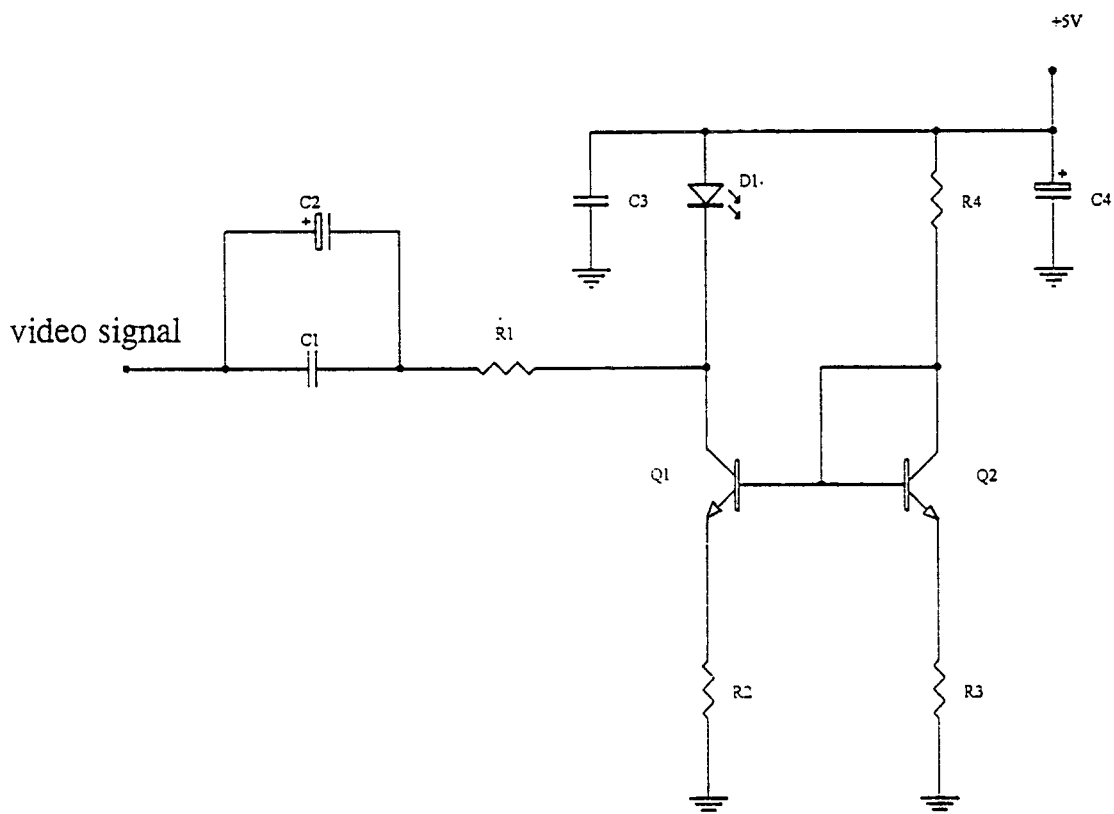
สัญญาณไอเอฟที่ออกจากขา 17 ของจูนเนอร์จะผ่านวงจรซอร์ฟิเคเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่กรองสัญญาณให้ผ่านได้เฉพาะสัญญาณไอเอฟเท่านั้น เพื่อส่งเข้าขา 8 และขา 9 ของไอซี TDA 8305 และสัญญาณไอซีตัวนี้จะมีสัญญาณภาพ เสียง และซิงค์ โดยสัญญาณทั้งหมดจะออกมาทางขา 17 ของไอซีตัวนี้

จากรูปที่ 3.6 สัญญาณไอเอฟที่เข้ามาทางขา 8 และขา 9 จะถูกขยายด้วยหน่วยขยายสัญญาณและหน่วยกำจัดความแรงของสัญญาณ สัญญาณไอเอฟที่ผ่านเข้ามานี้จะถูกแยกคลื่นพาห์ของภาพ (Picture Carrier) ความถี่ 38.9 เมกกะเฮิร์ตซ์ ออกโดยความถี่นี้ถูกกำหนดด้วยค่า L3 ไอซี 8305 ทำหน้าที่แยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียง สัญญาณด้านออกของไอซี 8305 จะประกอบด้วยสัญญาณภาพ เสียง และสัญญาณซิงค์ออกทางขา 17 และในขณะเดียวกัน สัญญาณนี้จะถูกส่งกลับผ่านหน่วยกรองความถี่ที่ให้ผ่านเฉพาะย่านความถี่ต่ำมายังหน่วยควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติซึ่งจะให้แรงดันไฟตรงซึ่งขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยของสัญญาณภาพมาควบคุมอัตราขยายของหน่วยขยายภาคไอเอฟในไอซีตัวที่ 1 และอัตราขยายของหน่วยขยายสัญญาณไอเอฟภายในจูนเนอร์ด้วย



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรภาคขยายสัญญาณ ไอเอฟ

### 3.1.2 ส่วนของการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสง



รูปที่ 3.7 วงจรแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสง

#### การทำงานของวงจร

จากรูปที่ 3.7 เป็นวงจรแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสง จากรูปวงจร ตัวเก็บประจุ  $C1$  และ  $C2$  รวมทั้งตัวต้านทาน  $R1$  จะเป็นตัวกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีในสัญญาณขาเข้า เมื่อมีสัญญาณขาเข้าเข้ามา สัญญาณจะไปไบอัสทรานซิสเตอร์  $Q1$  จะทำให้ทรานซิสเตอร์  $Q1$  นำกระแส และทำให้เกิดกระแส  $I_b$  ที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์  $Q2$  เมื่อกระแสเบสมีค่าสูงพอจะทำให้ทรานซิสเตอร์  $Q2$  ซึ่งที่ขาคอลเลกเตอร์ จะมี LED ต่ออยู่ในลักษณะฟอร์เวิร์ดไบอัส (Forward Bias) นำกระแส ดังนั้น เมื่อทรานซิสเตอร์  $Q2$  นำกระแสก็จะมีกระแสคอลเลกเตอร์ไหลผ่าน LED LED ก็จะมีการผลิตแสง ทำให้มีแสงถูกปล่อยออกไป

ยังเส้นใยแสง ส่วนกระแสคอลเลคเตอร์จะสามารถกำหนดได้โดยขึ้นอยู่กับค่าของความต้านทานที่ต่อกับขา อิมิตเตอร์ของ Q2 ลงกราวด์

รายการอุปกรณ์ภาคส่ง

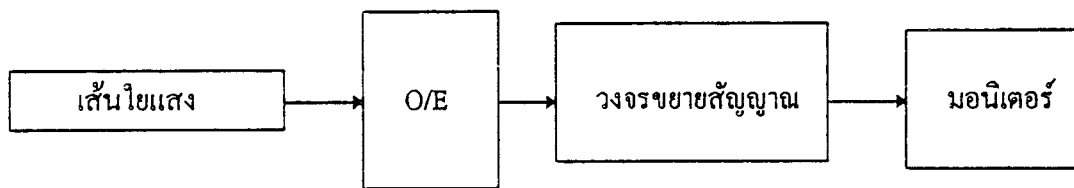
อุปกรณ์	ชนิด	ค่า
R1	คาร์บอน	39 โอห์ม
R2,R3	คาร์บอน	10 โอห์ม
R4	คาร์บอน	100 โอห์ม
D1	ซิลิคอน	1N6264
Q1,Q2	เอ็นพีเอ็น	2N2222A
C1	อิเล็กโตรไลต์	0.1 ไมโครฟารัด
C2	เซรามิก	10 ไมโครฟารัด
C3	อิเล็กโตรไลต์	0.1 ไมโครฟารัด
C4	เซรามิก	10 ไมโครฟารัด

### 3.1.3 วงจรจ่ายไฟ

วงจรจ่ายไฟสามารถแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่จ่ายให้กับสวิทช์จูนเนอร์ (Switch Tuner) จะมีระดับแรงดันเท่ากับ + 50 โวลต์ ส่วนที่ 2 จะใช้ในการจ่ายให้กับที่จุดต่าง ๆ ของวงจรทั้งหมด จะมีทั้งหมด 12 โวลต์(บวกและลบ) จากวงจรในส่วนที่หนึ่ง จะนำเอาระดับแรงไฟจากหม้อแปลงขนาด 30 โวลต์ ป้อนให้กับไดโอดเรกติไฟเออร์คี่ซี 50 โวลต์

ส่วนที่ 2 เป็นวงจรจ่ายไฟ +5 และ -5 โวลต์, +12 และ -12 โวลต์ ตามลำดับ จากวงจรจะนำเอาแรงดันไฟสลับ 12-0-12 จากหม้อแปลงป้อนให้กับไดโอดเรกติไฟเออร์แล้วผ่านฟิลเตอร์ตัวเก็บประจุ จากนั้นก็นำเอาไอซีเรกกูเลเตอร์ เบอร์ LM7805 , LM7905, LM7812 และ LM7912 เพื่อที่จะจัดระดับแรงไฟให้ได้แรงดันไฟตรง +5 และ -5 โวลต์ , +12 และ -12 โวลต์ ตามลำดับ และจะสามารถนำเอาไปจ่ายยังจุดต่าง ๆ ของวงจรต่อไปได้

### 3.2 ภาครับ

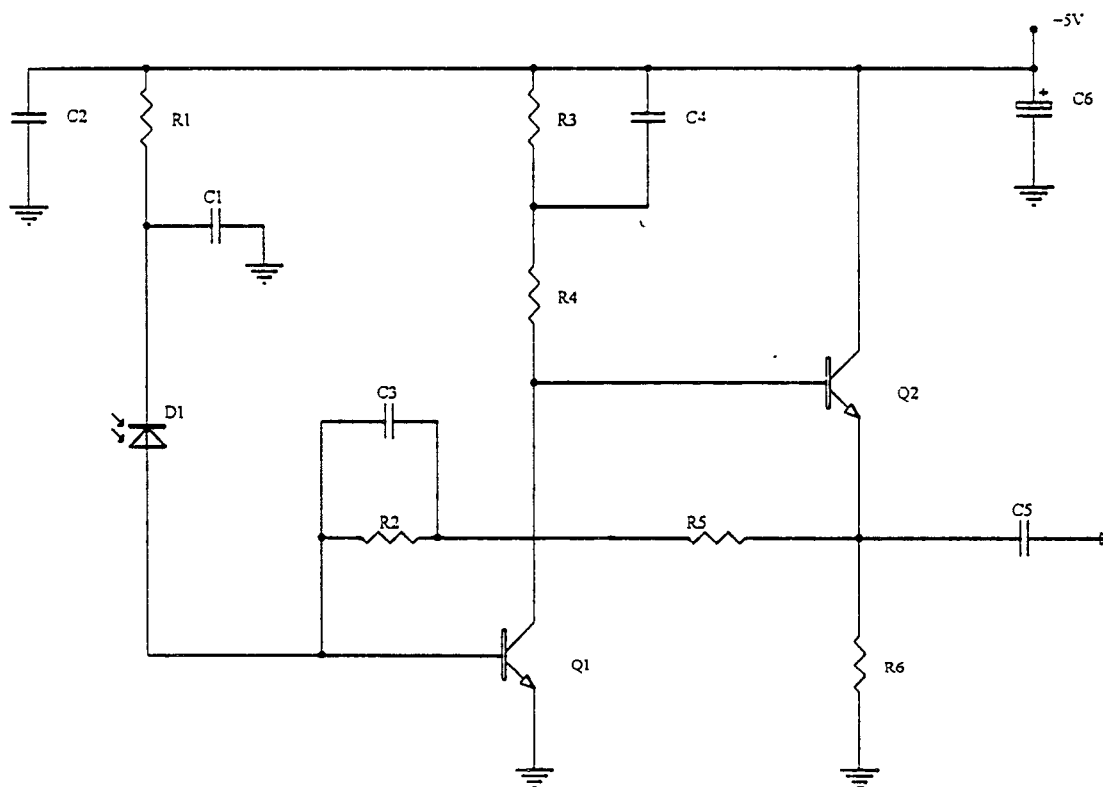


รูปที่ 3.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมของภาครับ

จากรูปที่ 3.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมของภาครับซึ่งประกอบไปด้วย ส่วนเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า, วงจรขยายสัญญาณภาพ และส่วนของมอนิเตอร์

#### 3.2.1 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วงจรเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า

### การทำงานของวงจร

จากรูปเป็นวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เมื่อค่านส่งสัญญาณแสงเข้ามาในเส้นใยแสงโดยการผลิตแสงของ LED ทางด้านรับก็จะรับสัญญาณแสงที่ส่งเข้ามาโดยใช้โฟโตไดโอดจากรูปเมื่อมีแสงเข้ามายังโฟโตไดโอดก็จะทำให้ค่าความต้านทานภายในของโฟโตไดโอดลดลงซึ่งสามารถทำให้กระแสไหลผ่านตัวโฟโตไดโอดได้ ดังนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลมาไบอัสแก่ทรานซิสเตอร์ตามสภาวะของแสงที่เข้ามา เมื่อมีกระแสไบอัสที่ขาเบสของ Q1 ซึ่งต่อแบบคอมมอนอิมิตเตอร์ก็จะสามารถทำงานได้ ส่งผลให้เกิดกระแสคอลเลกเตอร์ไปไบอัสขาเบส Q2 ทำให้ Q2 ซึ่งต่อแบบคอมมอนคอลเลกเตอร์ทำงาน สัญญาณขาออกจะผ่านตัวเก็บประจุไปยังวงจรขยายต่อไป

### รายการอุปกรณ์ภาครับส่วนเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นไฟฟ้า

อุปกรณ์	ชนิด		ค่า
R1	คาร์บอน	1	กิโลโอห์ม
R2	คาร์บอน	150	กิโลโอห์ม
R3	คาร์บอน	1.5	กิโลโอห์ม
R4	คาร์บอน	470	โอห์ม
R5	คาร์บอน	5	กิโลโอห์ม
R6	คาร์บอน	220	โอห์ม
C1	อิเล็กโตรไลต์	0.1	ไมโครฟารัด
C2	อิเล็กโตรไลต์	0.1	ไมโครฟารัด
C3	อิเล็กโตรไลต์	0.1	ไมโครฟารัด
C4	อิเล็กโตรไลต์	0.1	ไมโครฟารัด
C5	อิเล็กโตรไลต์	0.1	ไมโครฟารัด
C6	เซรามิก	10	ไมโครฟารัด
D1	ซิลิคอน	L14C1	
Q1	เอ็นพีเอ็น	2N3904	
Q2	เอ็นพีเอ็น	2N3904	

### 3.2.2 วงจรขยายสัญญาณ

ตามรูปที่ 3.10 เป็นวงจรขยายสัญญาณไฟฟ้าที่รับมาจากวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นไฟฟ้า เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากวงจรส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าจะมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงต้องนำเอาสัญญาณนี้มาขยายให้สูงขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อการนำมาใช้งานในวงจรส่วนต่อไปได้

#### การทำงานของวงจร

จะใช้วงจรขยายแบบวงจรขยายผลต่าง (Differential Amplifier) จะเห็นว่าวงจรขยายผลต่างจะมีอินพุต 2 สัญญาณกับเอาต์พุต 1 สัญญาณ โดยเอาต์พุตคือแรงดันระหว่างคอลเลกเตอร์ทั้งสองข้าง วงจรนี้มีลักษณะสมมาตร คือ ในทางอุดมคติ วงจรทั้งครึ่งซ้ายและครึ่งขวาจะเหมือนกันทุกประการ ซึ่งการสร้างให้มีลักษณะสมมาตรนี้ สามารถสร้างเป็นไอซีได้ไม่ยาก เพราะองค์ประกอบทุกตัวอยู่ในชิพเดียวกัน และเกือบมีคุณสมบัติทุกอย่างเหมือนกัน

วงจรขยายผลต่าง เป็นวงจรที่ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 2 ตัว โดยมีตัวต้านทานอิมิตเตอร์ร่วมกัน ลักษณะคล้ายเป็นหาง กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานร่วมจึงถูกเรียกว่า กระแสเทล (Tail Current)

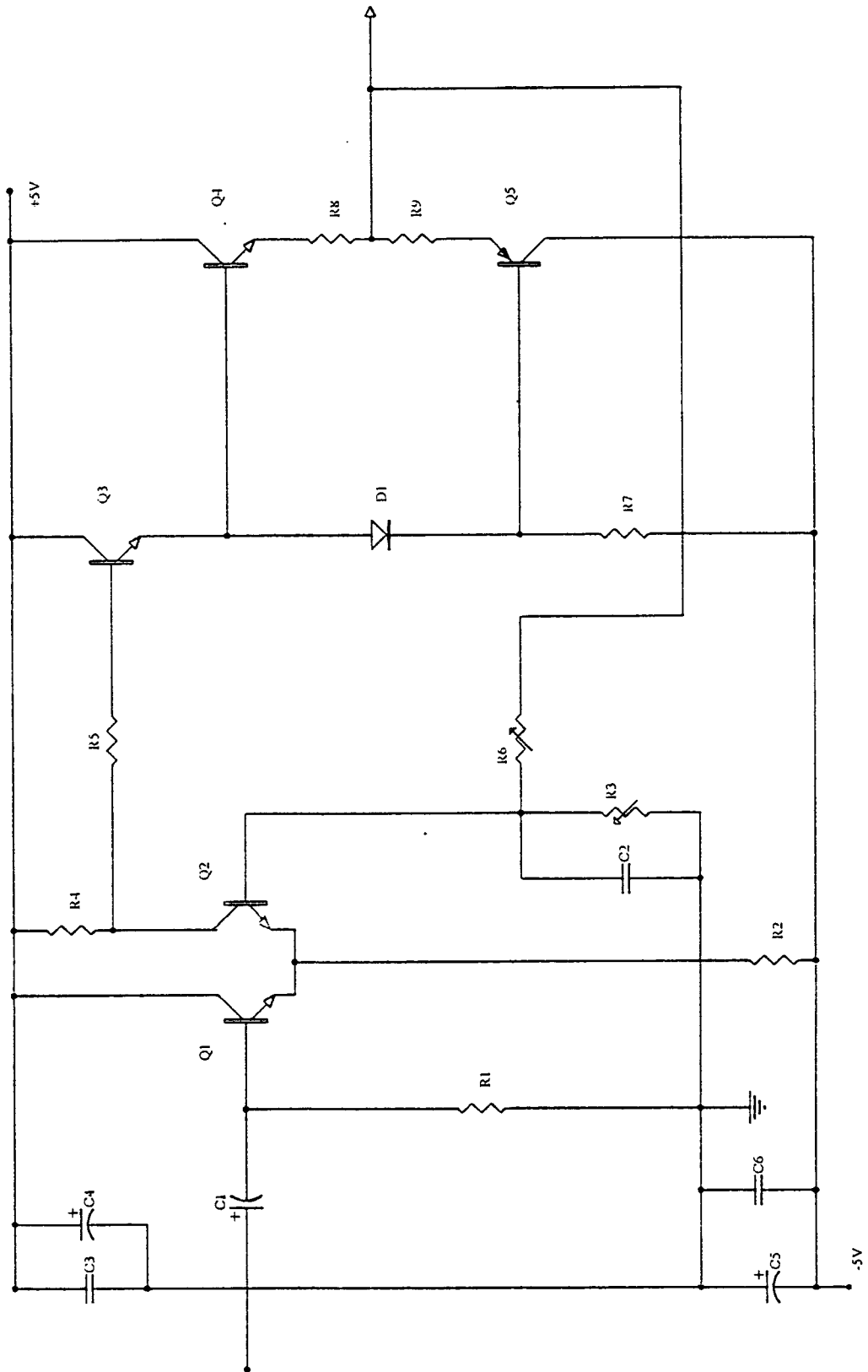
วงจรขยายผลต่างดังรูปที่ 3.10 มีการไบอัสที่ขาอิมิตเตอร์ จุดที่อยู่เหนือตัวต้านทานอิมิตเตอร์ จะประมาณเป็นจุดกราวด์ ดังนั้นแรงดันลบทั้งหมดจึงตกตลอดตัวต้านทานที่ต่อกับขาอิมิตเตอร์

นอกจากนี้ในวงจรขยายยังมีการต่อแบบคอมพลิเมนทารี (Complementary) ซึ่งเป็นการต่อคู่อีกแบบหนึ่งคล้ายกับการต่อแบบคาร์ลิงตัน (Darlington) กระแสอิมิตเตอร์ตัวแรกจะจับเบสของทรานซิสเตอร์ตัวที่ 2 โดยจะมีทั้งทรานซิสเตอร์แบบเอ็นพีเอ็น และพีเอ็นพี ค่า  $\beta$  ทั้งหมดจะเท่ากับผลคูณของค่า  $\beta$  ของทรานซิสเตอร์แต่ละตัว

#### รายการอุปกรณ์ภายในส่วนวงจรขยายสัญญาณ

อุปกรณ์	ชนิด	ค่า
R1	คาร์บอน	10 กิโลโอห์ม
R2	คาร์บอน	1.2 กิโลโอห์ม
R3	โพเทนซิโอมิเตอร์	10 กิโลโอห์ม
R4	คาร์บอน	2.7 กิโลโอห์ม
R5	คาร์บอน	220 โอห์ม
R6	โพเทนซิโอมิเตอร์	100 กิโลโอห์ม
R7	คาร์บอน	1 กิโลโอห์ม
R8	คาร์บอน	10 โอห์ม
R9	คาร์บอน	10 โอห์ม
D1	ซิลิคอน	L14C1
Q1	เอ็นพีเอ็น	2N3904
Q2	เอ็นพีเอ็น	2N3904
Q3	เอ็นพีเอ็น	2N3904

อุปกรณ์	ชนิด	ค่า
Q4	เอ็นพีเอ็น	2N3904
Q5	พีเอ็นพี	2N3906



รูปที่ 3.10 วงจรขยายสัญญาณ

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสง โดยมีแหล่งกำเนิดเป็น สัญญาณวีดีโอ สัญญาณโทรทัศน์ และสัญญาณจากซิงค์เจเนอเรเตอร์

ระบบที่ใช้ในการส่งและรับสัญญาณภาพโดยใช้เส้นใยแสงนี้จะแบ่งได้เป็น 3 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นเครื่องส่ง, ส่วนที่เป็นสายนำสัญญาณ และส่วนที่เป็นเครื่องรับสัญญาณภาพ ซึ่งส่วนที่เป็นเครื่องส่งจะประกอบด้วย ส่วนที่เป็นภาคกำเนิดสัญญาณภาพ และวงจรการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง ส่วนทางด้านเครื่องรับประกอบด้วย ส่วนที่เป็นวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าและส่วนที่ทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณภาพ ส่วนสุดท้ายเป็นส่วนของสายนำสัญญาณซึ่งจะเป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างเครื่องส่งและรับสัญญาณภาพ ซึ่งในโครงการนี้จะใช้เส้นใยแสงเป็นสายเชื่อมต่อ

เครื่องส่งและรับสัญญาณภาพโดยใช้เส้นใยแสงนี้ การต่อใช้งานจะนำเอาสัญญาณภายนอกมาป้อนให้กับทางเครื่องส่ง เช่น สัญญาณจากสายอากาศหรือสัญญาณจากเครื่องเล่นวีดีโอเทป หรือสัญญาณจากซิงค์เจเนอเรเตอร์

ในการทดลอง เมื่อใช้สัญญาณจากเครื่องเล่นวีดีโอเทปหรือสัญญาณจากซิงค์เจเนอเรเตอร์เป็นสัญญาณที่ใช้ในการส่ง-รับผ่านเส้นใยแสง จะทำการป้อนสัญญาณเข้าสู่ส่วนของการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงได้โดยตรง แต่เมื่อใช้สัญญาณจากสายอากาศจะต้องมีวงจรเพิ่มเติมดังที่กล่าวไว้ในบทที่แล้ว ในการทดลอง จะทำการทดสอบทั้งส่วนของภาคส่ง และภาครับ และทดสอบรวมทั้งสองภาคโดยผ่านเส้นใยแสง และให้แสดงผลทางมอเนเตอร์โดยใช้เครื่องรับโทรทัศน์ ทางภาคส่ง เมื่อได้แสงที่ผลิตจาก LED แล้วจะทำการส่งไปบนเส้นใยแสง ส่วนทางด้านรับก็จะรับแสงที่เดินทางเข้ามาจากเส้นใยแสงเข้าทางโฟโตไดโอดเพื่อเป็นตัวเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า จะได้สัญญาณภาพออกมาเหมือนทางด้านส่ง

โครงการนี้ได้ทำการทดลองส่ง-รับสัญญาณภาพ โดยใช้สัญญาณภาพจากแหล่งกำเนิด 3 แหล่ง ดังนี้ คือ จากเครื่องเล่นวีดีโอเทป จากซิงค์เจเนอเรเตอร์ และจากสายอากาศ ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

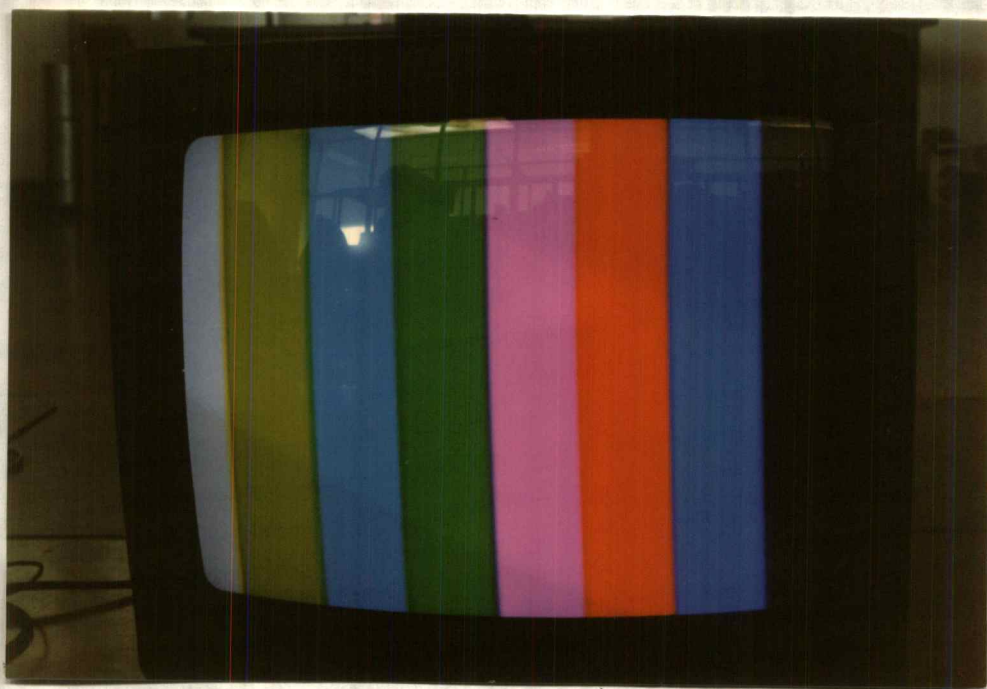
#### 4.1 การทดลองโดยใช้สัญญาณจากซิงค์เจเนอเรเตอร์

ทดลองทำการป้อนสัญญาณคลื่นเลเซอร์รูปแบบต่าง ๆ ที่ได้จากซิงค์เจเนอเรเตอร์เข้าสู่เครื่องส่ง ซึ่งจะแสดงผลการทดลองโดยใช้สัญญาณคลื่นเลเซอร์สองรูปแบบด้วยกัน รูปแบบแรกมีลักษณะแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 และรูปแบบที่สอง แสดงได้ดังรูปที่ 4.6

สัญญาณคลื่นเลเซอร์รูปแบบแรกที่ทำกรป้อนจากซิงค์เจเนอเรเตอร์ เข้าสู่เครื่องส่งแสดงได้จากออสซิลอสโคปดังรูปที่ 4.2 เมื่อสัญญาณผ่านวงจรที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง สัญญาณไฟฟ้าจะถูกแปลงเป็นสัญญาณแสงด้วยหัวส่งแบบ LED เมื่อทำการวัดสัญญาณคร่อม LED ซึ่งเป็นสัญญาณเอาต์พุทของเครื่องส่ง สัญญาณที่ได้จากออสซิลอสโคปแสดงได้ดังรูปที่ 4.3

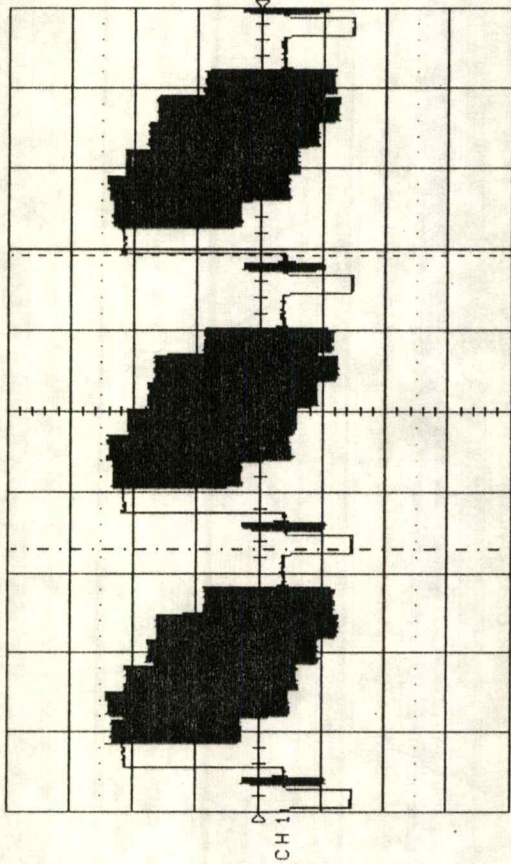
เมื่อสัญญาณจากซิงค์เจนเนอเรเตอร์ถูกแปลงเป็นสัญญาณแสงส่งผ่านเส้นใยแสงไปยังเครื่องรับ ที่อินพุทของเครื่องรับจะใช้หัวรับแบบโฟโตไดโอดทำหน้าที่ในการรับสัญญาณแสงแล้วแปลงกลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยสัญญาณที่รับได้นี้เมื่อผ่านวงจรที่แปลงสัญญาณแสงกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้ว จะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.4

สัญญาณที่ได้จากวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า จะมีขนาดเล็กน้อยมากจากการลดทอนด้วยสาเหตุต่าง ๆ ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 จึงจำเป็นต้องทำการขยายสัญญาณให้มีความมากพอเพื่อที่จะสามารถแสดงผลทางเครื่องรับโทรทัศน์ได้และเพื่อให้ได้สัญญาณที่ดี สัญญาณที่ผ่านวงจรขยายสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5 สัญญาณที่ได้ ณ จุดนี้สามารถป้อนเข้าสู่โทรทัศน์ซึ่งจะได้ตามรูปที่ 4.1 นั่นเอง พบว่าสัญญาณที่ได้มีความคมชัดทั้งสี รูปแบบ และถูกต้องเป็นอย่างดี



รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณคลเลอร์บาร์รูปแบบที่ 1 ที่เครื่องรับโทรทัศน์

CH1  
:2V  
20µs



Smart Probe on CH1  
Not Connected

TRIGGER on CH1  
325mV DC

CURSORS on CH1

--- -35.0µs

--- 37.5µs

Δt -72.5µs

1/Δt 13.79kHz

pkpk

rms

amplitude

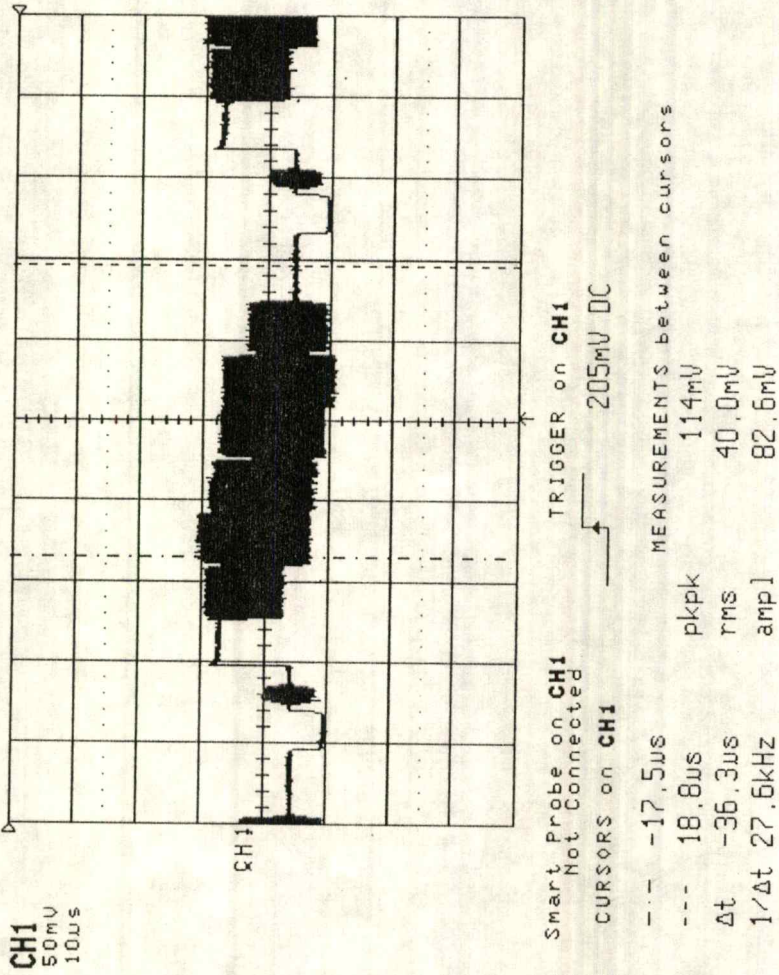
787mV

459.5mV

780.8mV

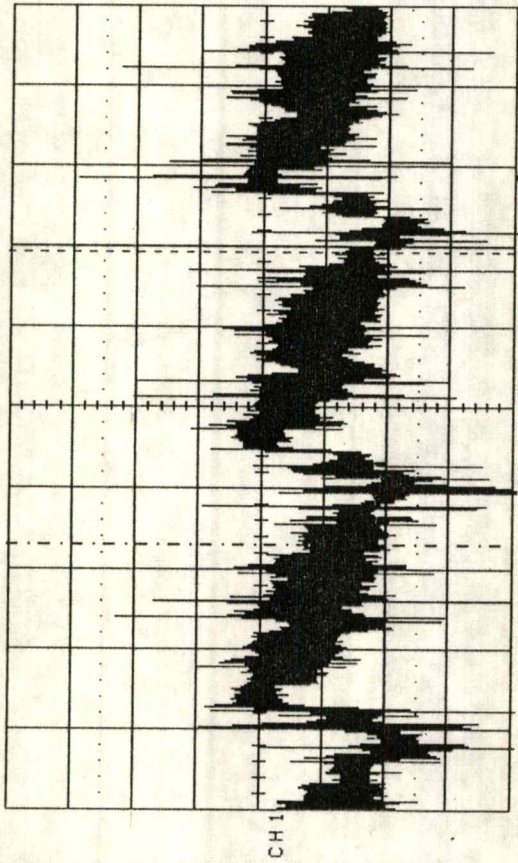
MEASUREMENTS between cursors

รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณอินพุตที่เครื่องส่ง โดยใช้สัญญาณคัลเลอรัปรูปแบบที่ 1



รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่เครื่องส่ง โดยใช้สัญญาณคัลเลกต์บาร์รูปแบบที่ 1

CH1  
5mV  
20µs



Smart Probe on CH1  
Not Connected

CURSORS on CH1

TRIGGER on CH1  
25.0mV AC

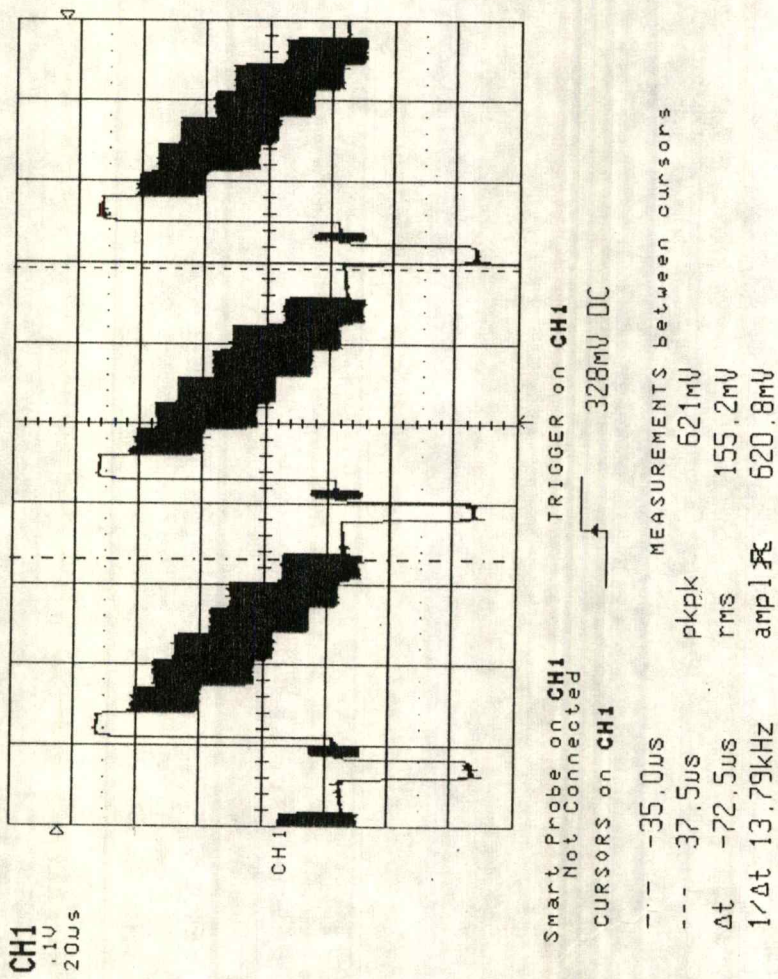
--- -91.5µs  
--- -19.0µs  
Δt -72.5µs  
1/Δt 13.79kHz

MEASUREMENTS between cursors

pkpk ↓ 30.7mV

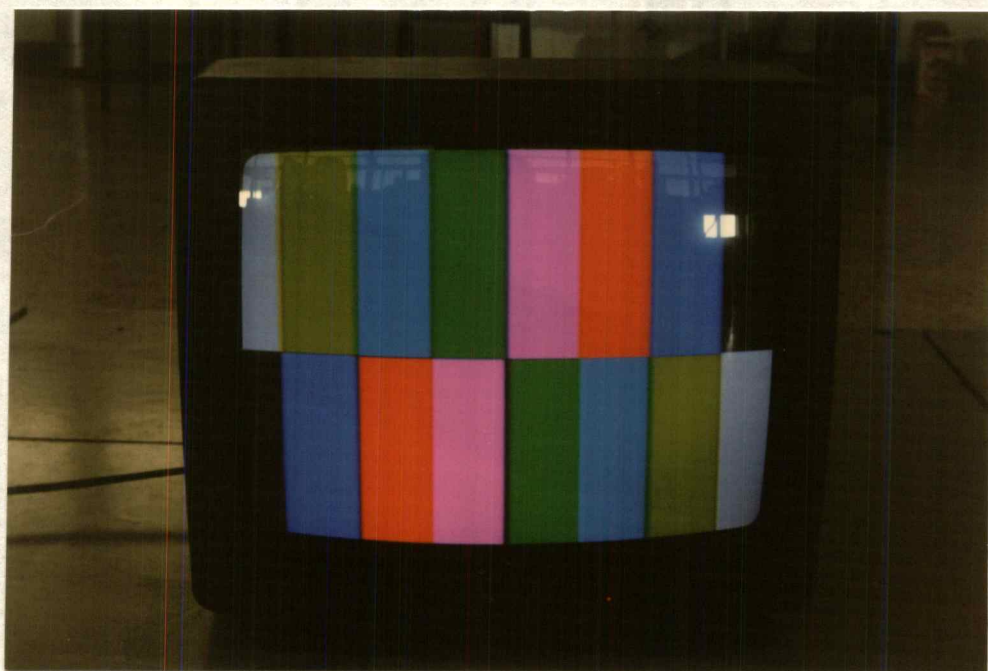
ampI ↓ 30.72mV

รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรแปลงแสงเป็นไฟฟ้าโดยใช้สัญญาณคัลเลอรับารรูปแบบที่ 1

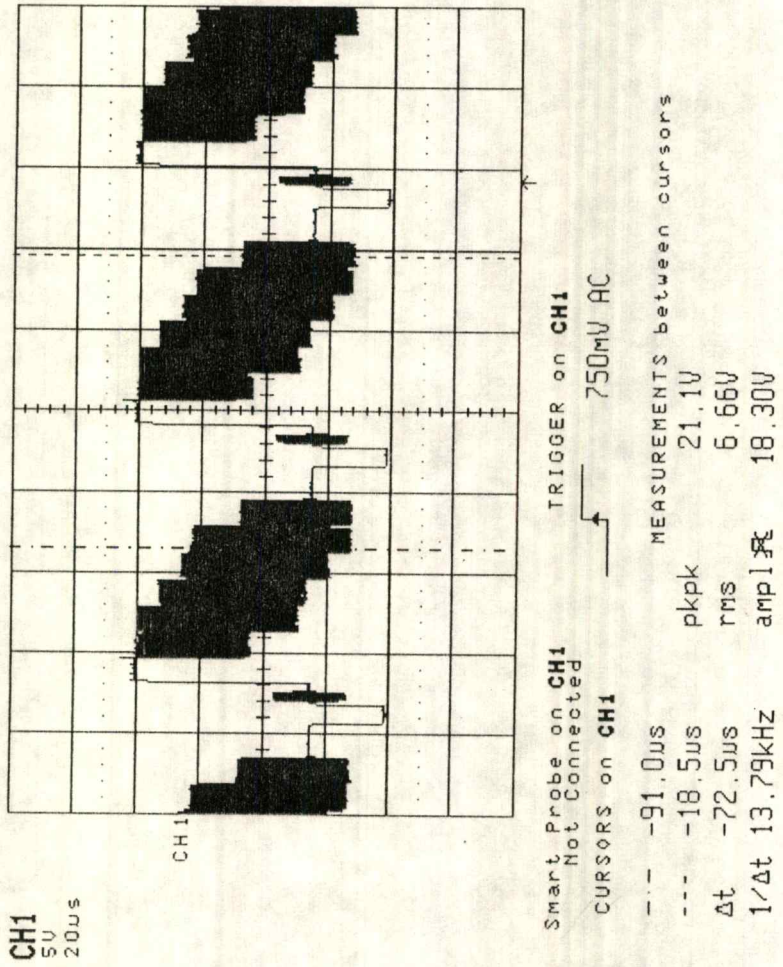


รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณเอาท์พุทที่เครื่องรับโดยใช้สัญญาณคัลเลอรับารูปแบบที่ 1

จากรูปที่ 4.6 เป็นรูปถ่ายที่แสดงสัญญาณคลื่นเลอว์บาร์รูปแบบที่สอง จะทำการวัดในลักษณะเดียวกันกับสัญญาณตามรูปแบบที่ 1 ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.7 ซึ่งเป็นสัญญาณอินพุทของเครื่องส่ง รูปที่ 4.8 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุทที่หัวส่งของเครื่องส่ง รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และรูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณเอาต์พุทของเครื่องรับซึ่งเมื่อนำไปแสดงผลทางเครื่องรับโทรทัศน์ก็จะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.6

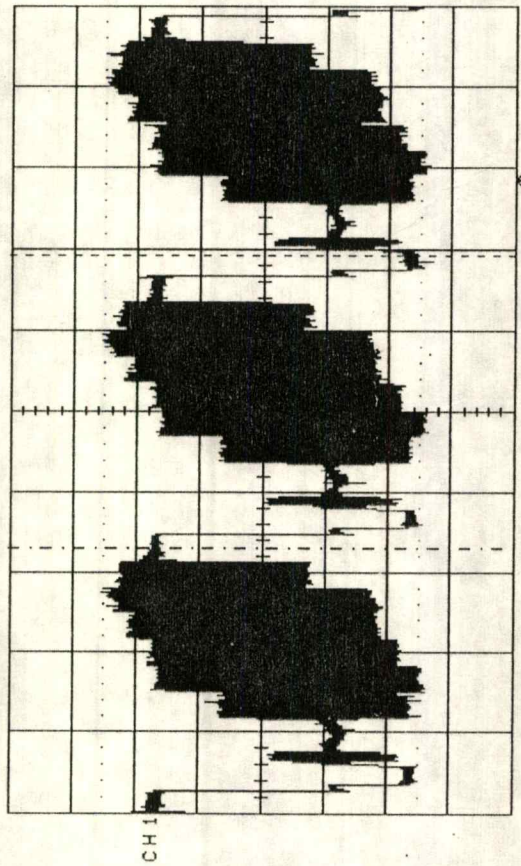


รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณคลื่นเลอว์บาร์รูปแบบที่ 2 ที่เครื่องรับโทรทัศน์



รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณอินพุตที่เครื่องส่งโดยใช้สัญญาณคัลเลกเตอร์บาร์แบบที่ 2

CH1  
.2V  
20us



Smart Probe on CH1  
Not Connected

CURSORS on CH1

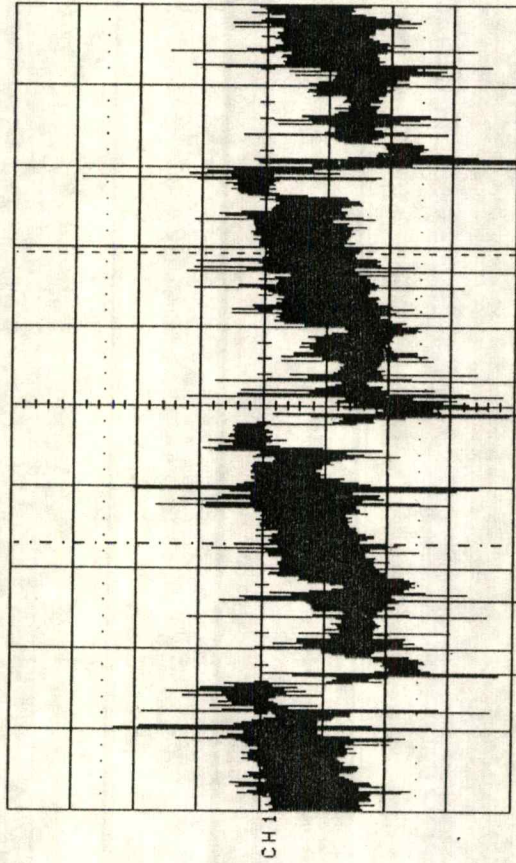
TRIGGER on CH1  
785mV AC

-- -91.0us  
--- -18.5us  
 $\Delta t$  -72.5us  
1/ $\Delta t$  13.79kHz

pkpk 1.062V  
rms 367.4mV  
amplitude 1.0624V  
MEASUREMENTS between cursors

รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่เครื่องส่งโดยใช้สัญญาณคัลเลกต์เลอร์บาร์รูปแบบที่ 2

CH1  
5mV  
20µs



Smart Probe on CH1  
Not Connected

TRIGGER on CH1  
25.0mV AC

Cursors on CH1

--- -91.5µs

--- -19.0µs

Δt -72.5µs

1/Δt 13.79kHz

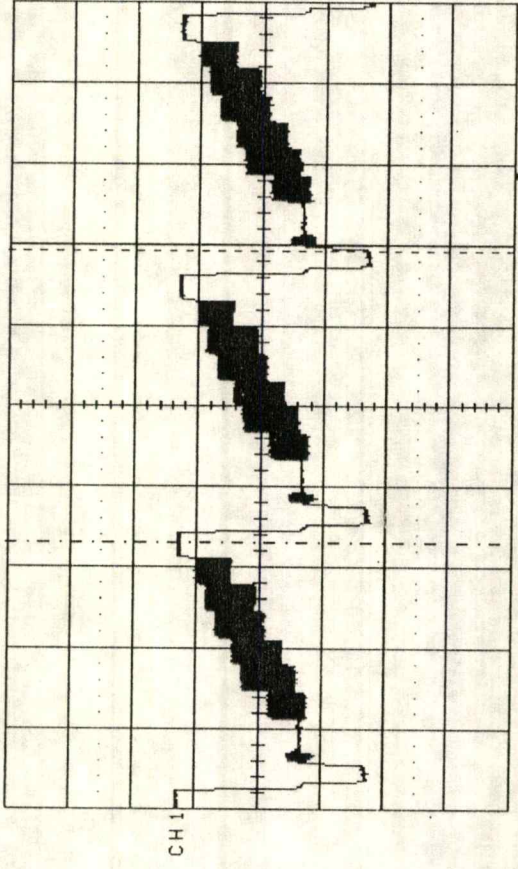
MEASUREMENTS between cursors

pkpk ↓ 30.7mV

amp ↓ 21.31mV

รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณที่ได้จากการแปลงแอมป์เป็นไฟฟ้าโดยใช้สัญญาณคัลเลกต์เรอร์แบบที่ 2

CH1  
2V  
20µs



Smart Probe on CH1  
Not Connected  
CURSORS on CH1 TRIGGER on CH1  
800mV AC

---	pkpk	MEASUREMENTS between cursors
-91.5µs	6.21V	
-19.0µs	rms	1.811V
Δt	amplitude	6.144V
1/Δt		13.79kHz

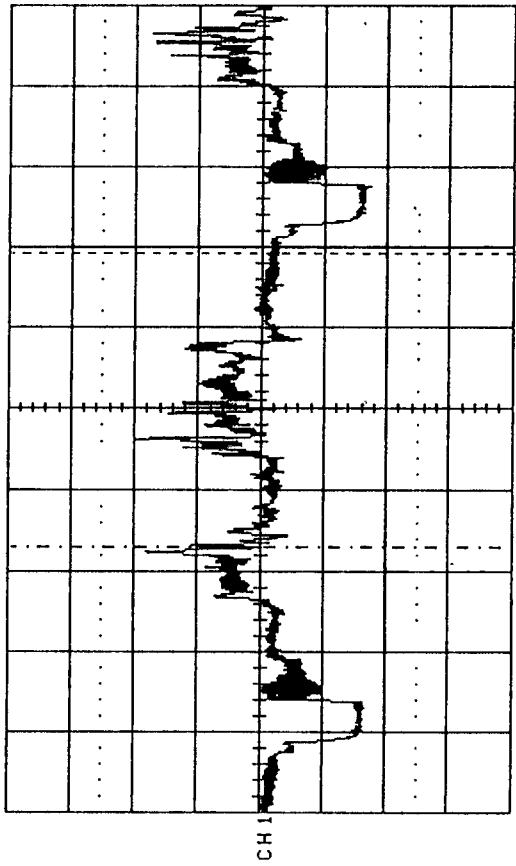
รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณเอาท์พุทที่เครื่องรับโดยใช้สัญญาณคัลเลอรับาร์รูปแบบที่ 2

## 4.2 การทดลองโดยใช้สัญญาณจากเครื่องเล่นวีดีโอเทป

จะทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้สัญญาณจากเครื่องซิงค์เจนเนอเรเตอร์ ต่างกันเพียงแหล่งกำเนิดสัญญาณของการทดลองนี้เป็นสัญญาณจากเครื่องเล่นวีดีโอเทป ซึ่งผลที่ได้ทั้งจากการวัดแสดงได้ดังรูปจากหน้าจอออสซิลโลสโคป

รูปที่ 4.11 แสดงผลซึ่งเป็นสัญญาณอินพุทของเครื่องส่ง รูปที่ 4.12 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุทที่หัวส่งของเครื่องส่ง รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณแสดงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และรูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณเอาต์พุทของเครื่องรับ

สำหรับการทดลองซึ่งใช้สัญญาณโทรทัศน์ซึ่งรับจากสายอากาศโดยตรงนั้น ผลที่ได้จะได้เช่นเดียวกับการใช้สัญญาณจากวีดีโอเทป แต่จะมีสัญญาณรบกวนมากกว่าเพราะมิได้เป็นสัญญาณจากแหล่งกำเนิดโดยตรง



CH1  
 .2V  
 10µs

Smart Probe on CH1  
 Not Connected

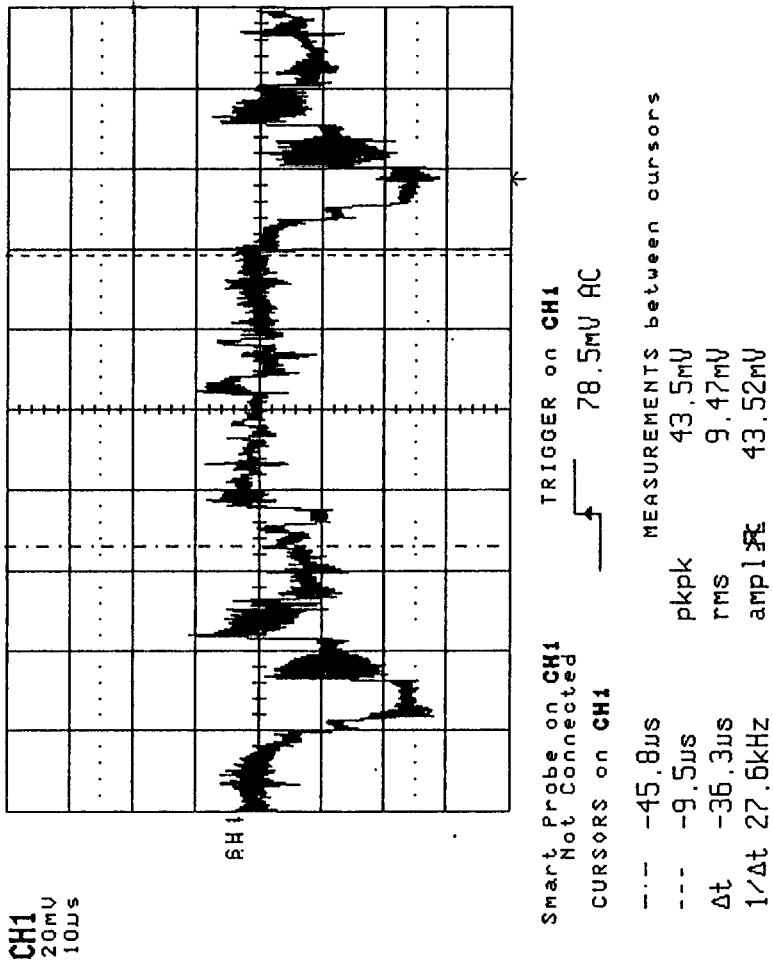
Cursors on CH1

TRIGGER on CH1  
 80mV AC

---	-45.8µs		
---	-9.5µs	pkpk	531mV
Δt	-36.3µs	rms	97.3mV
1/Δt	27.6kHz	amplitude	458.2mV

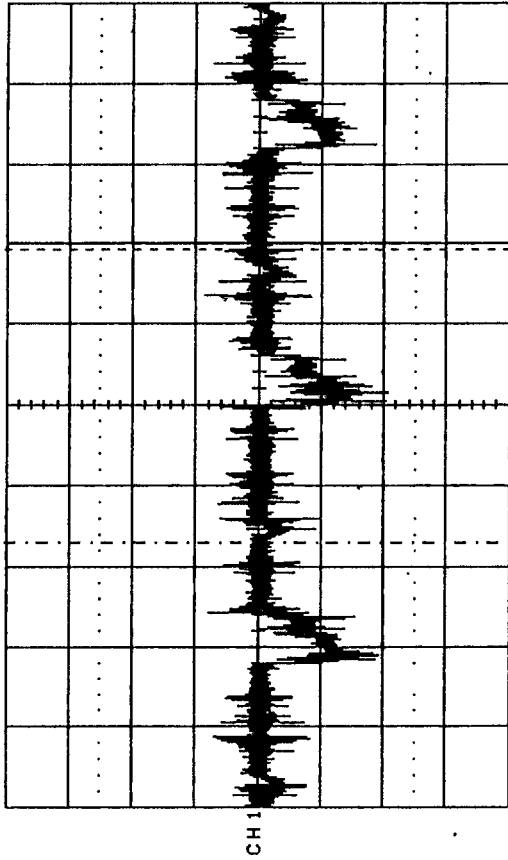
MEASUREMENTS between cursors

รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณอินพุตที่เครื่องส่งโดยใช้สัญญาณวิดีโอ



รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่เครื่องส่งโดยใช้สัญญาณวีดีโอ

CH1  
10mV  
20µs



Smart Probe on CH1  
Not Connected

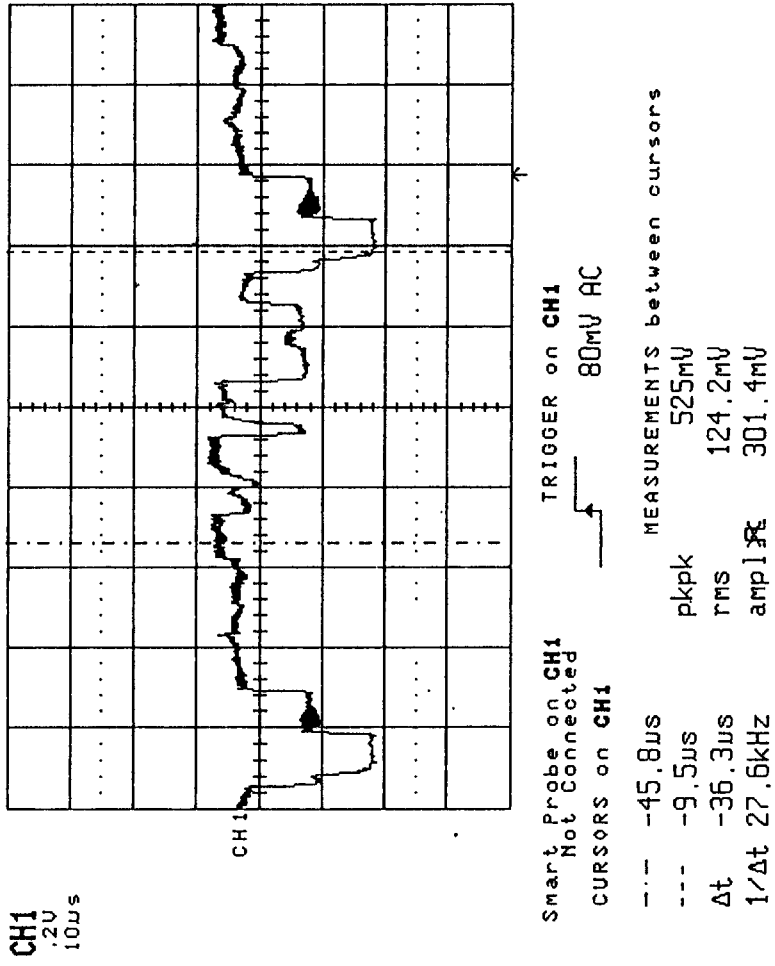
CURSORS on CH1

--- -91.5µs  
--- -19.0µs  
Δt -72.5µs  
1/Δt 13.79kHz

TRIGGER on CH1  
45.0mV AC

MEASUREMENTS between cursors  
pkpk 29.4mV  
rms 5.63mV  
amplitude 21.95mV

รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณที่ได้จกวงจรแปลงแรงแรงเป็นไฟฟ้าโดยใช้สัญญาณวิดีโอ



รูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณเอาท์พุทที่เครื่องรับโคโยใช้สัญญาณวิดีโอ

## บทที่ 5

### บทวิจารณ์และบทสรุป

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาหลักการและทฤษฎี ตลอดจนได้ทำการสร้างและทดลองการส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสง โดยมีส่วนประกอบหลัก ๆ 3 ส่วนดังนี้คือ เครื่องส่ง เครื่องรับและเส้นใยแสง ซึ่งมีหลักการทำงานโดยสรุปดังนี้คือ นำสัญญาณภาพจากแหล่งกำเนิดสัญญาณเข้าสู่เครื่องส่ง เครื่องส่งจะทำการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงโดยใช้ไดโอดเปล่งแสง แล้วส่งผ่านสัญญาณสู่เส้นใยแสงไปยังด้านรับ ทางด้านรับจะทำการเปลี่ยนสัญญาณแสงกลับให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยใช้โฟโตไดโอด แล้วจึงนำสัญญาณที่ได้ไปทำการขยายสัญญาณเพื่อชดเชยการลดทอนที่เกิดขึ้นจากองค์ประกอบต่าง ๆ จากนั้นจึงป้อนไปยังมอโนเตอร์คือเครื่องรับโทรทัศน์เพื่อแสดงผล ที่เครื่องรับโทรทัศน์นี้ จะต้องได้สัญญาณที่เหมือนกันกับสัญญาณที่ส่งมาจากด้านส่ง

จากการทดลอง ทางด้านส่งพบว่า สัญญาณที่ได้ ณ จุดต่าง ๆ เป็นไปตามทฤษฎีแต่ก็ยังมีสัญญาณรบกวนอยู่บ้าง ทางด้านรับพบว่า เมื่อทำการทดลองส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสงจากด้านส่งไปถึงวงจรด้านรับ ก็สามารถแสดงสัญญาณภาพออกมาทางเครื่องรับโทรทัศน์ได้

#### ปัญหาในการทำงาน

1. มีข้อจำกัดเรื่องอุปกรณ์ คือหาซื้อได้ยากและมีราคาแพง ทำให้การเลือกใช้อุปกรณ์ไม่เป็นไปตามความที่ต้องการ
2. ความคงทนต่อกระแสของหัวส่งมีน้อย
3. เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นในระบบ

#### แนวทางการพัฒนา

1. สร้างเครื่องรับ-ส่งที่สามารถส่งสัญญาณได้หลายช่องสัญญาณในเวลาเดียวกัน โดยการ ทำมัลติ-เพล็กซ์ก่อนส่งเข้าไปในเส้นใยแสง
2. พัฒนาให้มีการส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยใช้ระบบดิจิทัล
3. พัฒนาให้มีการคอมเพรส (Compress) สัญญาณก่อนทำการส่งออก
4. สร้างเครื่องรับและส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบภาพ (Picture Telephone)

## ภาคผนวก

# 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 -  
VCE(sat) @ IC = 500 mAdc  
= 1.6 Vdc (Max) - Non-A Suffix  
= 1.0 Vdc (Max) - A-Suffix
- High Current-Gain-Bandwidth Product -  
fT = 250 MHz (Min) @ IC = 20 mAdc - All Types Except  
= 300 MHz (Min) @ IC = 20 mAdc - 2N2219A, 2N2222A, 2N5582
- Complements to PNP 2N2904, A thru 2N2907, A
- JAN/JANTX Available for all devices

### SELECTION GUIDE

Device Type	Characteristic			Package
	VCEO IC = 10 mAdc Volts	IC = 150 mAdc Min/Max	hFE IC = 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

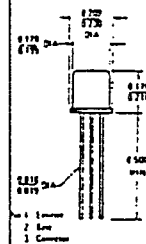
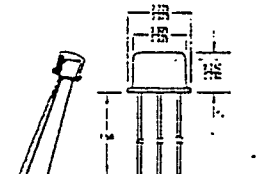
### \*MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	2N2218 2N2219 2N2221 2N2222	2N2218A 2N2219A 2N2221A 2N2222A	2N5581 2N5582	Unit
Collector-Emitter Voltage	VCEO	30	40	40	Vdc
Collector-Base Voltage	VCB	60	75	75	Vdc
Emitter-Base Voltage	VEB	5.0	6.0	6.0	Vdc
Collector Current - Continuous	IC	800	800	800**	mAdc
		2N2218, A 2N2219, A	2N2221, A 2N2222, A	2N5581 2N5582	
Total Device Dissipation @ TA = 25°C Derate above 25°C	PD	0.8 5.33	0.5 3.33	0.5 1.33	Watts mW/°C
Total Device Dissipation @ TC = 25°C Derate above 25°C	PD	3.0 20	1.8 12	2.0 11.43	Watts mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	TJ, Tstg	-65 to +200			°C

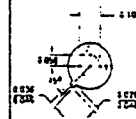
\*Indicates JEDEC Registered Data.  
\*\* Motorola Guarantees this Data in Addition to JEDEC Registered Data.

## NPN SILICON SWITCHING AND AMPLIFIER TRANSISTORS

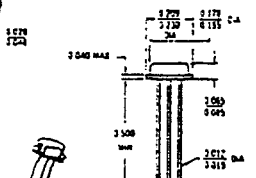
CASE 31 (1)  
TO-5  
2N2218, A  
2N2219, A



CASE 22 (1)  
TO-18  
2N2221, A  
2N2222, A



CASE 26  
TO-46  
2N5581  
2N5582



The respective JEDEC registered dimensions and notes apply.

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

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

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

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

\*ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Continued)

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

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

Delay Time	$(V_{CC} = 30 \text{ V dc}$ , $V_{BE(off)} = 0.5 \text{ V dc}$ , $I_C = 150 \text{ mA dc}$ , $I_{B1} = 15 \text{ mA dc}$ ) (Figure 14)	$t_d$	—	10	ns
Rise Time		$t_r$	—	25	ns
Storage Time	$(V_{CC} = 30 \text{ V dc}$ , $I_C = 150 \text{ mA dc}$ , $I_{B1} = I_{B2} = 15 \text{ mA dc}$ ) (Figure 15)	$t_s$	—	225	ns
Fall Time		$t_f$	—	60	ns
Active Region Time Constant** ( $I_C = 150 \text{ mA dc}$ , $V_{CE} = 30 \text{ V dc}$ )		$T_A$	—	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  $C_{ob}$  and  $C_{ib}$  for these conditions and values.

FIGURE 1 - NORMALIZED DC CURRENT GAIN

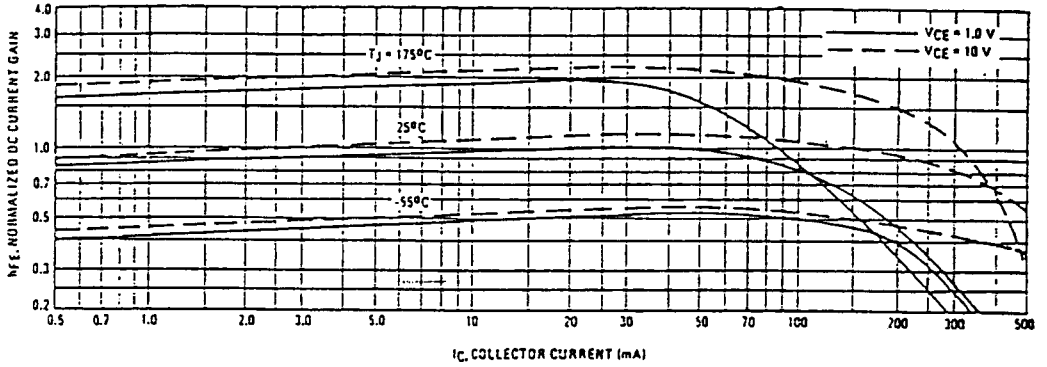
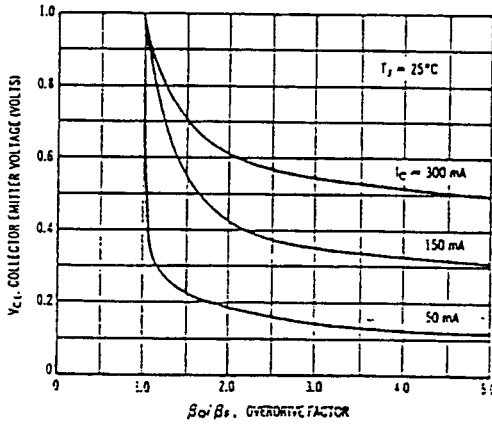


FIGURE 2 - COLLECTOR CHARACTERISTICS IN SATURATION REGION



This graph shows the effect of base current on collector current.  $\beta_o$  (current gain at the edge of saturation) is the current gain of the transistor at 1 volt, and  $\beta_s$  (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  $25^\circ\text{C}$  and a collector current of  $150\text{ mA}$ .

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

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

FIGURE 3 - "ON" VOLTAGES

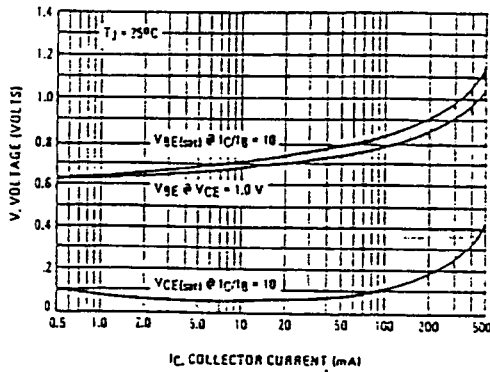
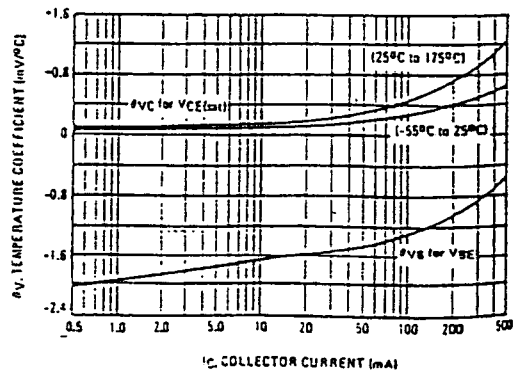


FIGURE 4 - TEMPERATURE COEFFICIENTS



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

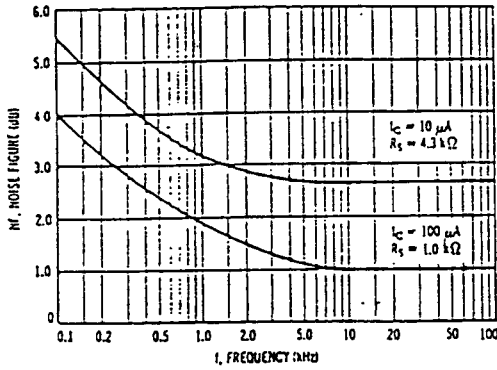
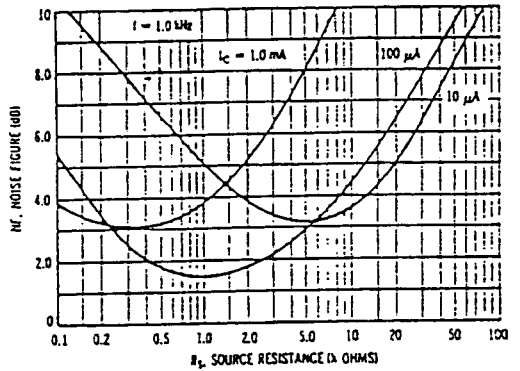


FIGURE 6 - SOURCE RESISTANCE EFFECTS



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

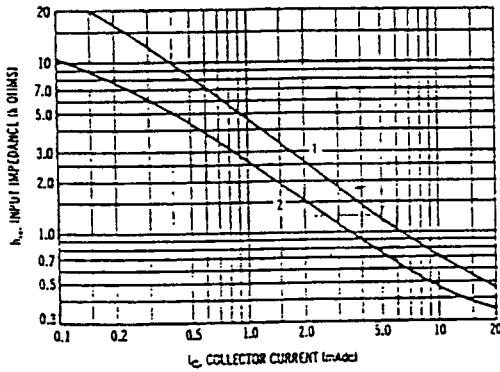


FIGURE 8 - VOLTAGE FEEDBACK RATIO

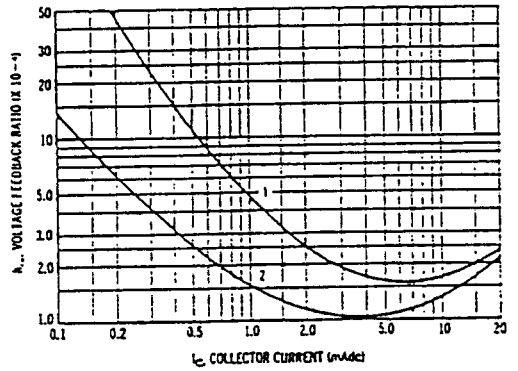


FIGURE 9 - CURRENT GAIN

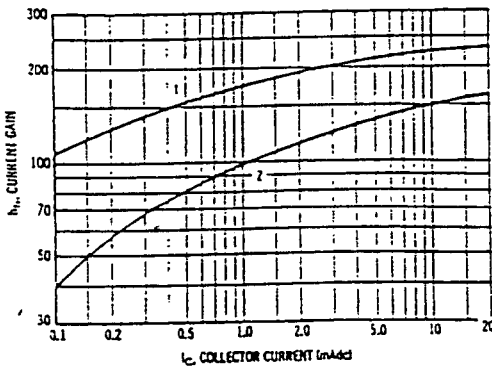
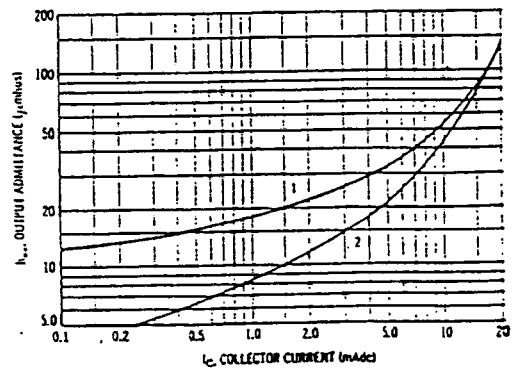
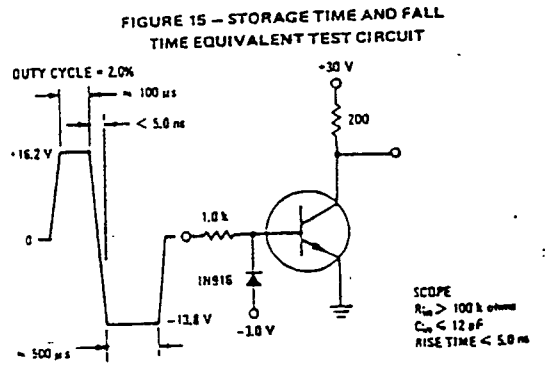
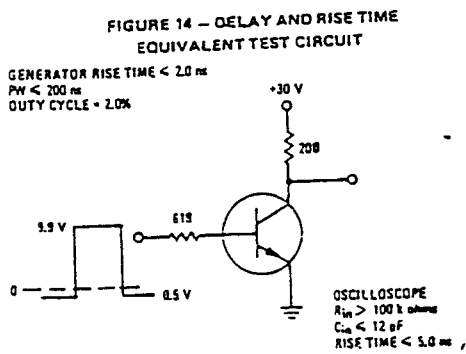
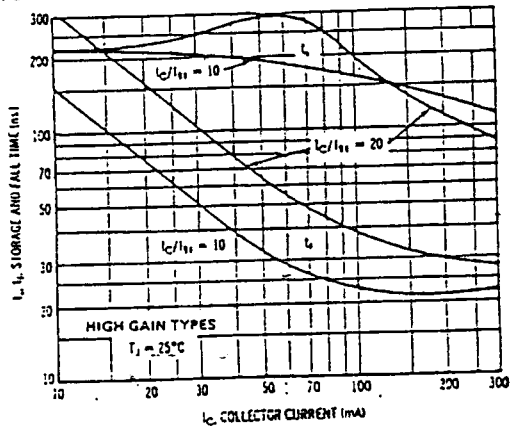
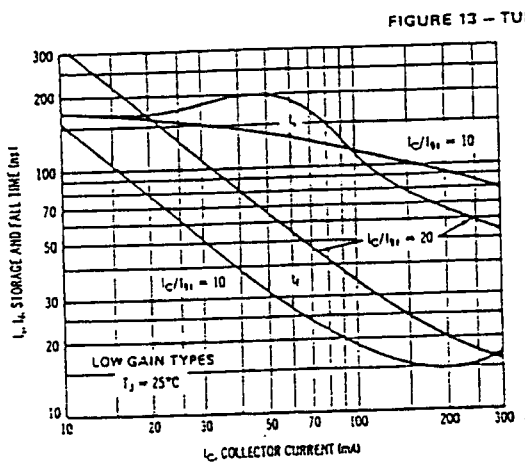
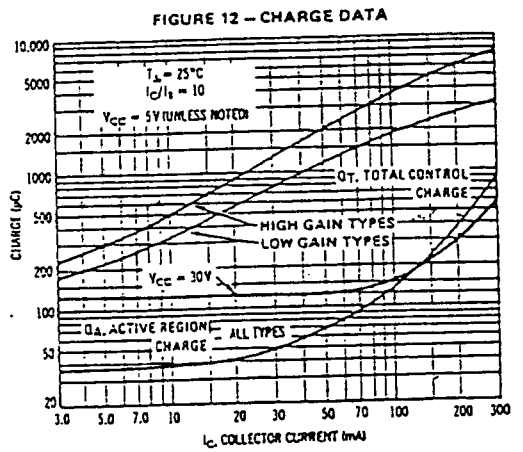
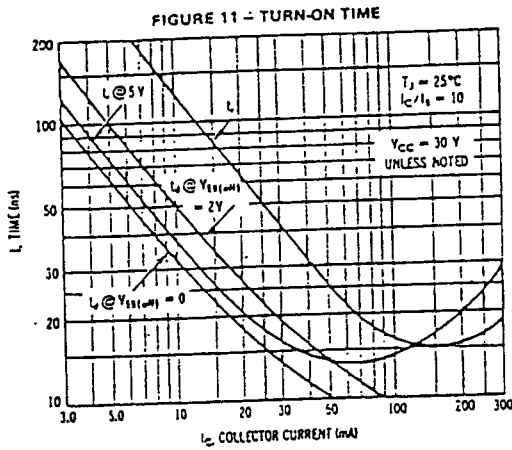


FIGURE 10 - OUTPUT ADMITTANCE



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

SWITCHING TIME CHARACTERISTICS



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

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

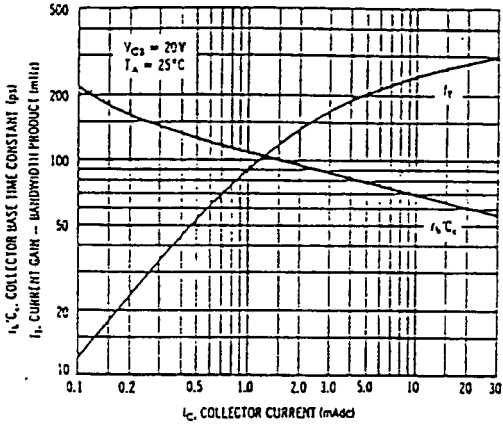


FIGURE 17 - CAPACITANCES

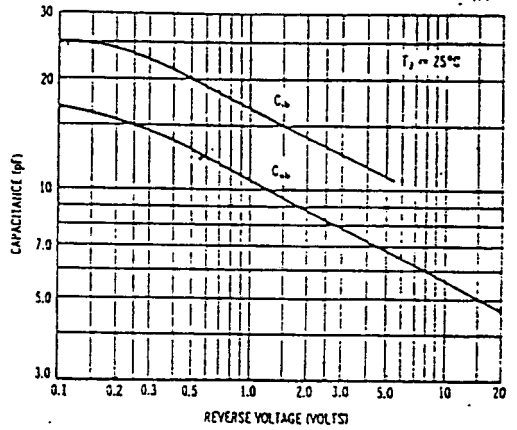
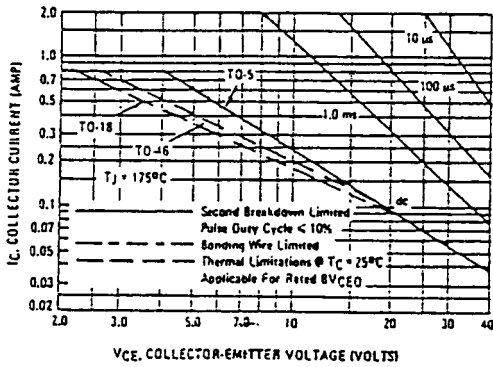


FIGURE 18 - ACTIVE-REGION SAFE OPERATING AREAS

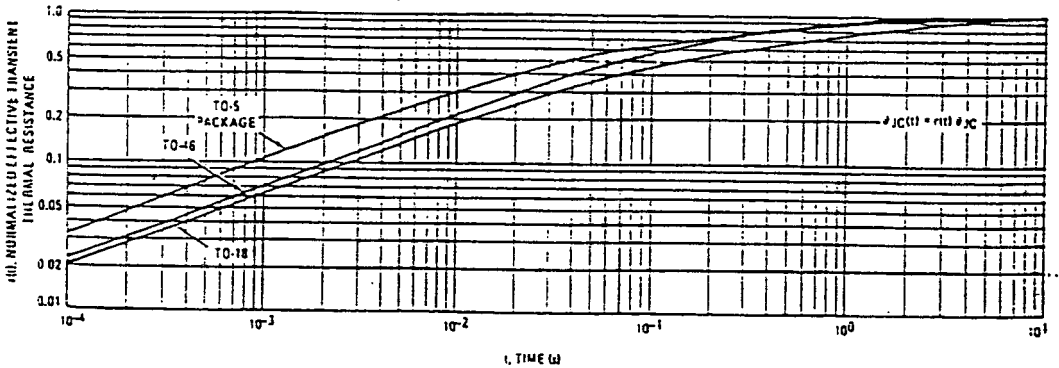


This graph shows the maximum  $I_C$ - $V_{CE}$  limits of the device both from the standpoint of thermal dissipation (at  $25^\circ C$  case temperature), and secondary breakdown. For case temperatures other than  $25^\circ C$ , the thermal dissipation curve must be modified in accordance with the derating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

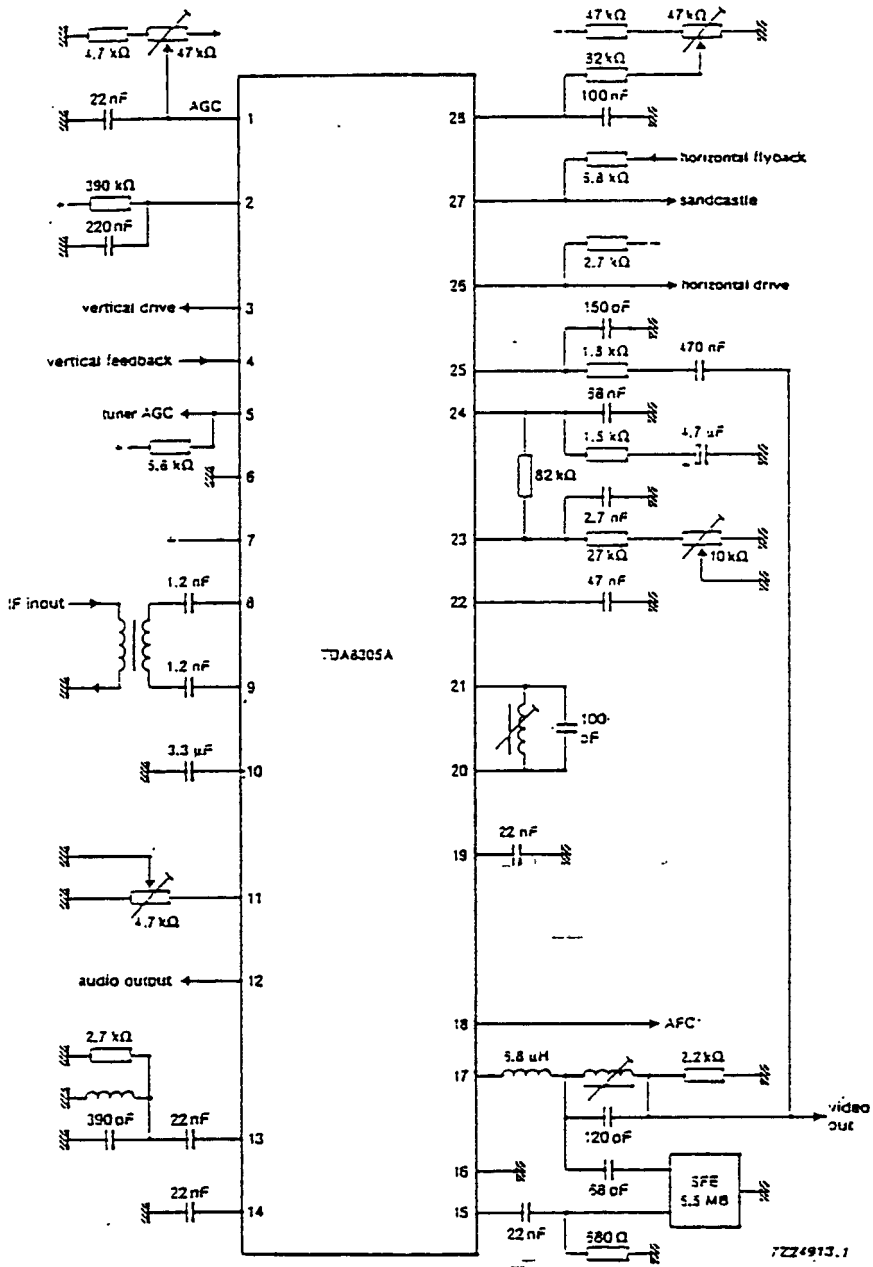
To avoid possible device failure, the collector load line must fall below the limits indicated by the applicable curve. Thus, for certain operating conditions the device is thermally limited, and for others it is limited by secondary breakdown.

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



# APPLICATION INFORMATION



parameter	conditions	symbol	min.	typ.	max.	unit
Temperature dependance of the output signal amplitude	$T_{amb} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; -30 dB volume control and voltage of pin 11 fixed; note 27	$V_{12}$	-	2.5	-	dB
Volume control	note 17; see Fig.8					
External control resistor	note 17	$R_{11}$	-	4.7	-	k $\Omega$
Suppression output signal during mute condition		OSS	60	66	-	dB
Horizontal synchronization circuit	see Fig.9					
<i>Sync separator</i>						
Required sync pulse amplitude	note 20	$V_{25}$	200	750	-	mV
Input current pin 25	$V_{25} > 5\text{ V}$ $V_{25} = 0\text{ V}$	$I_{25}$ $I_{25}$	-	8 -10	-	$\mu\text{A}$ mA
<i>First control loop</i>						
Holding range PLL		$\pm \Delta f$	-	1500	2000	Hz
Catching range PLL		$\pm \Delta f$	600	1500	-	Hz
Control sensitivity to oscillator	note 21			see Fig.10		
IF input signal at which the time constant is switched (RMS value)	strong to weak	$V_{8-9}$	-	2.2	-	mV
<i>Second control loop</i>						
Control sensitivity	note 22	$\Delta t_d / \Delta t_0$	-	100	-	-
Control range		$\tau_d$	-	25	-	$\mu\text{s}$
Controlled edge				positive		
<i>Phase adjustment (via second control loop)</i>						
Control sensitivity			-	25	-	$\mu\text{A}/\mu\text{s}$
Maximum allowed phase shift		$\alpha$	-	$\pm 2$	-	$\mu\text{s}$
<i>Horizontal oscillator (pin 23)</i>						
Free running frequency	$R = 34.3\text{ k}\Omega$ ; $C = 2.7\text{ nF}$	$f_{fr}$	-	15625	-	Hz
Spread with fixed external components		$\Delta f$	-	-	4	%
Frequency variation	$\Delta V_p = 9.5\text{ to }13.2\text{ V}$	$\Delta f_{fr}$	-	-	2	%
Frequency variation with temperature	note 27	TC	-	-1.6	-	Hz/ $^{\circ}\text{C}$

CHARACTERISTICS (continued)

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

parameter	conditions	symbol	min.	typ.	max.	unit
Maximum source current		$I_{17}$	10	—	—	mA
Bandwidth of demodulated output signal		B	5	7	—	MHz
Differential gain	note 8	$G_{17}$	—	4	8	%
Differential phase	note 8	$\varphi$	—	2	5	deg.
Video non-linearity	note 9	NL	—	2	5	%
Intermodulation	note 10					
$f = 1.1$ MHz (blue)			50	60	—	dB
$f = 1.1$ MHz (yellow)			50	60	—	dB
$f = 3.3$ MHz (blue)			55	65	—	dB
$f = 3.3$ MHz (yellow)			55	65	—	dB
Signal-to-noise ratio	note 11					
$V_i = 10$ mV		S/N	50	57	—	dB
end of gain control range		S/N	50	62	—	dB
Residual carrier signal		$V_{17}$	—	2	10	mV
Residual 2nd harmonic of carrier signal		$V_{17}$	—	2	10	mV
Tuner AGC						
Minimum starting point tuner take-over (RMS value)		$V_{8-9(rms)}$	—	—	0.2	mV
Maximum starting point tuner take-over (RMS value)		$V_{8-9(rms)}$	100	150	—	mV
Maximum tuner AGC output swing	$V_5 = 3$ V	$I_5(max)$	4	—	—	mA
Output saturation voltage	$I_5 = 2$ mA	$V_5(sat)$	—	—	300	mV
Leakage current (pin 5)		$I_L$	—	—	1	$\mu$ A
Input signal variation complete tuner control		$\Delta V_i$	0.5	2	4	dB
Minimum voltage tuner take-over		$V_1$	—	—	1	V
Voltage to switch on the X-ray protection	horizontal output high resistance	$V_1$	—	—	0.8	V
AFC circuit						
<i>AFC sample-and-hold/switch</i>						
AFC switch-off current		$I_{19}$	0.1	—	—	mA
Output current	$V_{19} = 0$ V	$I_{19}$	—	0.1	0.3	mA
Leakage current at pin 19		$I_{LO}$	—	—	2	$\mu$ A

CHARACTERISTICS (continued)

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

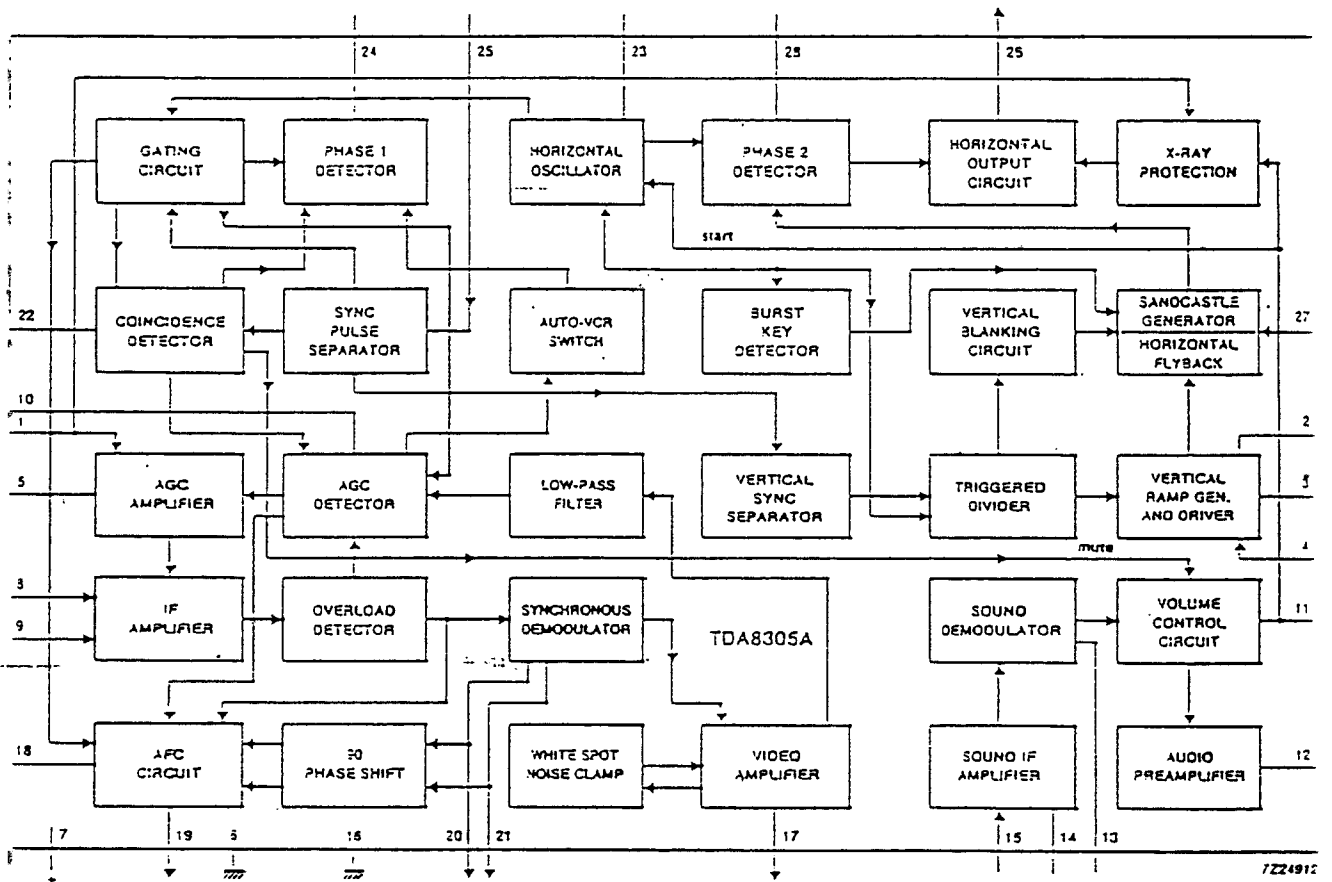
Notes to the characteristics

- Pin 11 has a double function. When during switch-on a current of 9.0 mA is supplied to this pin, it is used to start the horizontal oscillator. The main supply can then be obtained from the horizontal deflection stage. When no current is supplied to this pin it can be used as a volume control.
- On set AGC.
- The input impedance has been chosen such that a SAW-filter can be applied.
- Measured with 0 dB = 450  $\mu$ V.
- Measured at 10 mV (RMS value) top sync input signal.
- So-called projected zero point; i.e. with switched demodulator.
- White 10% of the top sync amplitude.
- Measured according to the test line illustrated by Fig.2:
  - The differential gain is expressed as a percentage of the difference in peak amplitudes between the largest and smallest value relative to the subcarrier amplitude at blanking level.
  - The differential phase is defined as the difference in degrees between the largest and smallest phase angle. The differential gain and phase are measured with a DSB signal.
- This figure is valid for the complete video signal amplitude (peak white-to-black); see Fig.3. The non-linearity is expressed as a percentage of the maximum deviation of a luminance step from the mean step, with respect to the mean step.
- The test set-up and input conditions are illustrated by Fig.4. The figures are measured at an input signal of 10 mV (RMS value).
- Measured with a source impedance of 75  $\Omega$ .
 
$$\text{Signal-to-noise ratio} = 20 \log \frac{V_{\text{out black-to-white}}}{V_{n(\text{rms})} \text{ at } f = 5 \text{ MHz}}$$
- The sound circuit is measured (unless otherwise specified) with an input signal of  $V_{15}$  of 50 mV (RMS value), a carrier frequency of 5.5 MHz at a  $\Delta f$  of 27.5 kHz and an AF frequency of 1 kHz. The QL of the demodulator tuned circuit is 16 and the volume control is connected to the supply. The reference circuit must be tuned in such a way that the output is symmetrical clipping at maximum volume.
- The test set-up is illustrated by Fig.6. The AM rejection curve (typical) is illustrated by Fig.7.
- The output signal is measured at  $\Delta f = 7.5 \text{ kHz}$  and maximum volume control.
- The demodulator tuned circuit must be tuned at minimum distortion.
- Weighted noise, measured according to; CCIR 468.
- See also note 1. The volume can be controlled by using a potentiometer connected to ground (value 10 k $\Omega$ ) or by means of a variable direct voltage. In the latter case the relatively low input impedance (pin 11) must be taken into account.

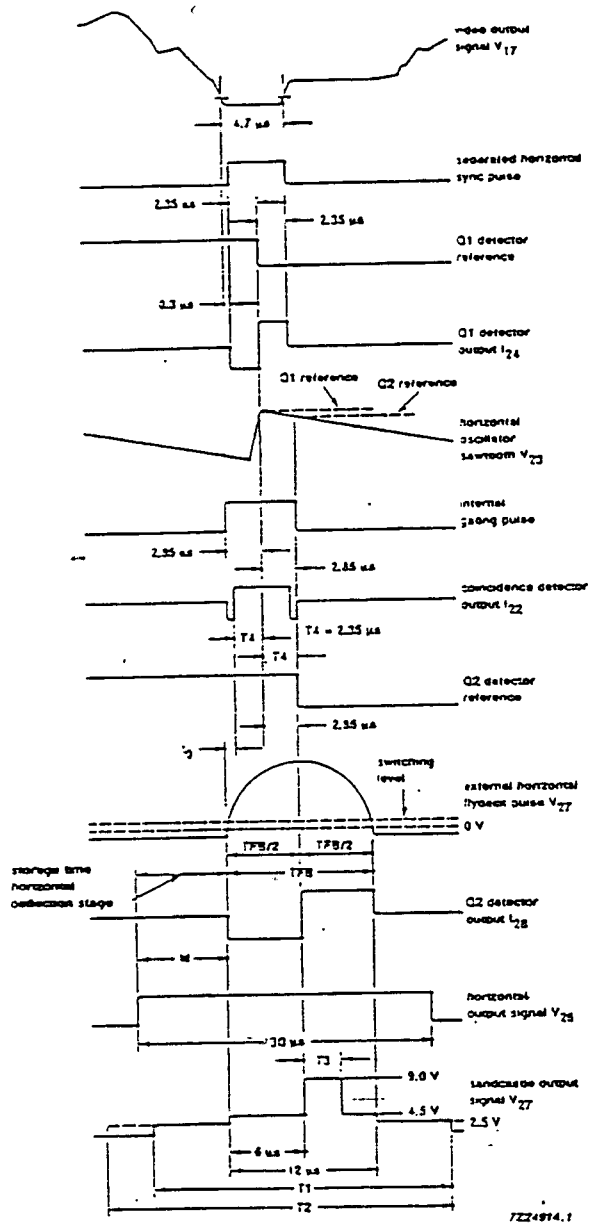
13. The AFC control voltage is obtained by multiplying the IF output signal (which is also used to drive the synchronous demodulator) with a reference carrier. This reference carrier is obtained from the demodulator tuned circuit via a 90 degree phase shift network. The IF output signal has an asymmetrical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

To avoid the necessity of a VCR switch, the time constant of the phase detector at strong input signals is sufficiently short to obtain a stable picture during VCR playback. During the vertical retrace period the time constant is even shorter so that VCR head errors are compensated for at the beginning of the scan. During weak signal conditions (information derived from the AGC circuit) the time constant is increased to obtain a good noise immunity.

22. This figure is valid for an external load impedance of 82 k $\Omega$  connected between pin 28 and the shift adjustment potentiometer.
23. The horizontal flyback input and the sandcastle output have been combined on pin 27. The flyback pulse is clamped to a level of 4.5 V. The minimum current to drive the second control loop is 0.1 mA.
24. The functions in-sync/out-of-sync and transmitter identification have been combined on pin 22. The capacitor is charged during the sync pulse and discharged during the time difference between gating and sync pulse.
25. The vertical scan is synchronized by means of a divider system, therefore no adjustment is required for the ramp generator. The divider detects whether the incoming signal has a vertical frequency of 50 or 60 Hz and corrects the vertical amplitude.
26. To avoid screenburn due to a collapse of the vertical deflection, a continuous blanking level is inserted into the sandcastle pulse when the feedback voltage of the vertical deflection is not within the specified limits.
27. These figures are based on sampled tests.

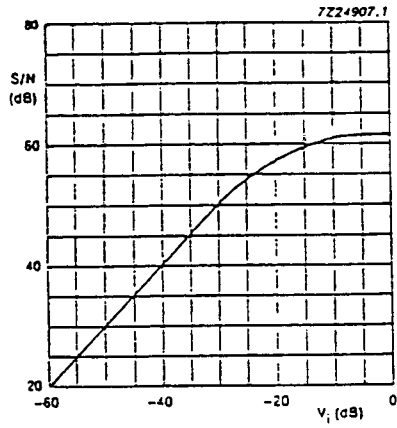


Block diagram.

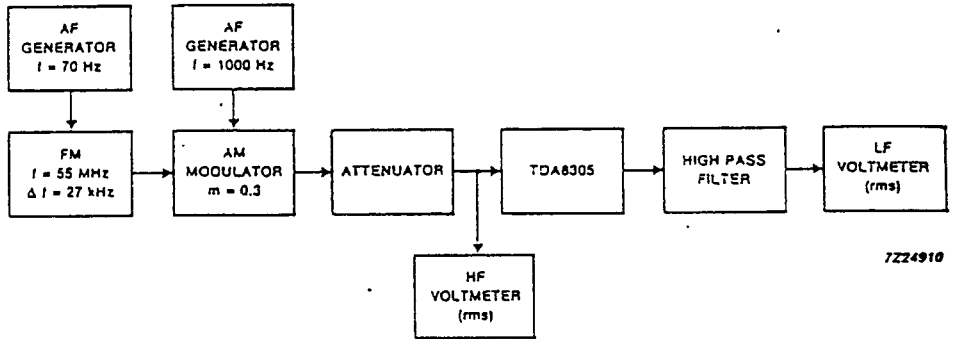


	50 Hz	50 Hz	$P = \frac{1}{2F_H}$
T1 — search window —	42P	34P	
T2 — narrow window —	50P	42P	
T3	3.6 μs	3.3 μs	

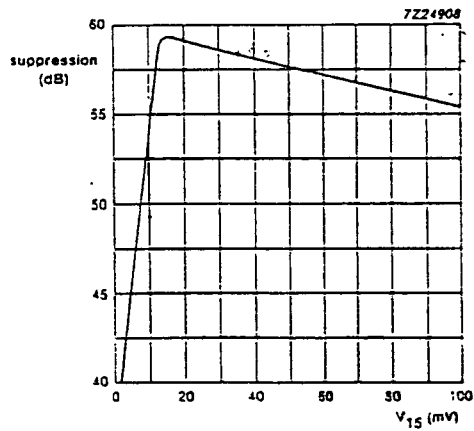
Timing diagram.



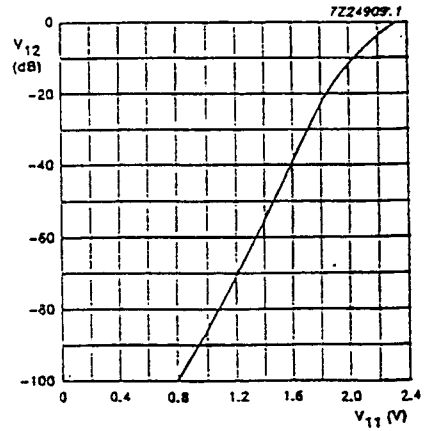
Signal-to-noise ratio as a function of input voltage; 0 dB = 100 mV.



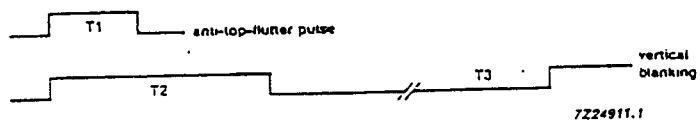
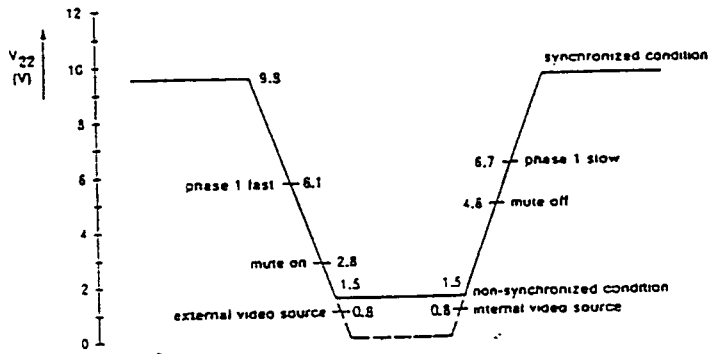
Test set-up AM suppression.



AM suppression.



Volume control characteristics.



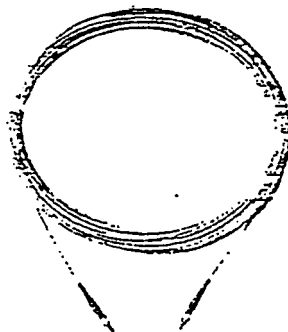
condition	control sensitivity horizontal oscillator		vertical sync separation pulse after
	T2 - T1	T3 = scan	
$V_{22} > 6.7 \text{ V}$ strong signal weak signal	11.3 kHz/ $\mu\text{s}$ 1.3 kHz/ $\mu\text{s}$	7.6 kHz/ $\mu\text{s}$ 1.3 kHz/ $\mu\text{s}$	16 $\mu\text{s}$ 16 $\mu\text{s}$
$1 < V_{22} 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

Switching levels coincidence detector.

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

### Fiber Optic Cable

#### 50/125 $\mu$ m Teminalted Optical Leads



ลักษณะของเส้นใยแสง

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

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

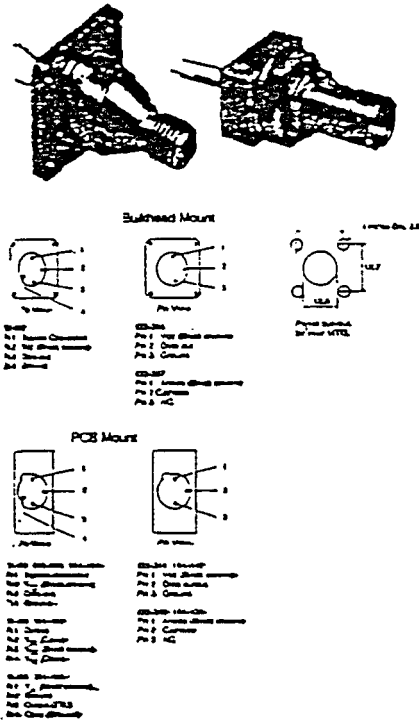
Caution : Do not exceed the minimum bend radius.

S.S.M.=1

length (m)	stock no.
20	361-260
25	361-276

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

SMA/ST Detectors/Receivers



Supplied to RS by Honeywell optoelectronics

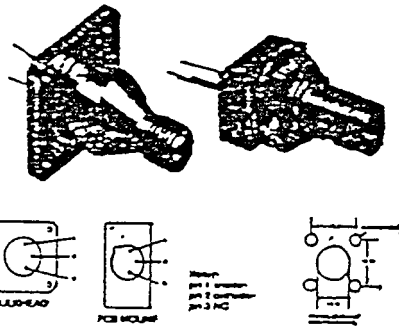
A wide range of analogue and digital receivers designed to match the low and high power emitter

50 MHz PIN Diode

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

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

## 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 specifications

Absolute max ratings

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

Optoelectronic characteristics at 25°C

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

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลงได้ส่วนหนึ่งด้วยความช่วยเหลือและกำลังใจจากหลาย ๆ ฝ่าย ทางคณะผู้จัดทำจึง  
ต้องขอขอบคุณ

1. อาจารย์อภิรักษ์ มัณยานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษา
2. อาจารย์สุทธิชัย นพนาศิพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
3. อาจารย์ชามินทร์ ศรีสุวรรณ อาจารย์ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
4. อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์
5. คุณธีระพล เทียงธรรม และที่ ๆ อีกหลาย ๆ คนรวมทั้งเพื่อน ๆ ที่คอยเป็นกำลังใจให้

คณะผู้จัดทำ

14 กุมภาพันธ์ 2541



1. Govind P. Agrawal ,Fiber-Optic Communication` Systems,John Wiley & Sons,1993
2. Harold B. Killen ,Fiber Optic Communications ,McGraw-Hill,1988
3. John M. Senior ,Optical Communications Principle and Practice ,Prentice Hall International,1990
4. William B. Johnes, Jr. , Introduction to Optical Communication Systems , John Wiley & Sons,1992
5. อภินันท์ มัญยานนท์ , ทฤษฎีการสื่อสารเส้นใยแสง ,คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 2534
6. อภินันท์ มัญยานนท์ , การสื่อสารเส้นใยแสง ,คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 2532
7. สมศักดิ์ เตชะเศรษฐ์ธนะ,ร.ต.อ. สุชาติ กังวารจิตต์, ทฤษฎีและปฏิบัติ โทรทัศน์สีระบบ PAL , ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน)
8. ฝ่ายบริการ บริษัทฟิลิปส์อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด, ทฤษฎีการทำงานและคู่มือซ่อมโทรทัศน์สี แทนเครื่อง GR1-AX ฉบับที่ 3