

TDM ในระบบสื่อสัญญาณแสง



นายภาณุ อธิธำจร
นายเศกสิทธิ์ จิตรประทีป

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2541

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 36701
วัน, เดือน, ปี 2 3 ส.ค. 2543

TDM FOR FIBER OPTICS

Mr.Panu Ittikumjon
Mr.Sakesit Jitpratak

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1998

หัวข้อโครงการพิเศษ

TDM ในระบบสื่อสัญญาณแสง

โดย

นายภาณุ อธิธำรง

นายเศกสิทธิ์ จิตรประักษ์

ภาควิชา


ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล

ผศ. วิชิต ศิริโชติ

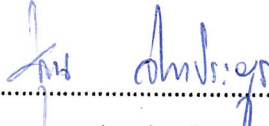
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นับโครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
(รศ. สุรพล รักวิชัย)

คณะกรรมการโครงการพิเศษ


..... ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล)

~~..... กรรมการ
(ผศ.วิชิต ศิริโชติ)~~


..... กรรมการ
(อ.สุ่น ช่างประยูร)


.....กรรมการ
(ผศ.ดร.ปรีชา เทียนสมประสงค์)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	TDM ในระบบสื่อสัญญาณแสง
โดย	นายภาณุ อธิธำจร นายเศกสิทธิ์ จิตรประทักษ์
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล ผศ. วิชิต ศิริโชติ
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2541

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นเรื่องของการประยุกต์ใช้หลักการของแสงในการส่งผ่านข้อมูล และหลักการของการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา โดยชุดมัลติเพลกซ์นี้ที่สร้างขึ้นมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนภาคส่งสัญญาณและส่วนของภาครับสัญญาณมีการส่งสัญญาณระหว่างทั้ง 2 ส่วนนี้โดยผ่านเส้นใยนำแสง สัญญาณหลายช่องสัญญาณสามารถถูกส่งไปได้ภายในช่องสัญญาณเดียว โดยสัญญาณทั้ง 8 ช่องจะถูกแซมปลิงให้เหลือช่องสัญญาณเดียวเรียกว่า การมัลติเพลกซ์ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ MC14051 จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งไปยังตัวกำเนิดแสง ในโครงการนี้ตัวกำเนิดแสงคือ โฟโตนิกไดโอดซึ่งให้ลำแสงต่อเนื่องเข้าไปในเส้นใยนำแสงเส้นหนึ่งและจะมีตัวโฟโตนิกดีเทคเตอร์รับสัญญาณแสงและเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณนี้จะถูกนำมาทำการดีมัลติเพลกซ์สัญญาณให้ออกมา 8 ช่องสัญญาณเหมือนเดิม

Special Project Title	TDM for fiber optic
Name	Mr. Panu Ittikumjon Mr. Sakesit Jitpratak
Special project Advisor	Assistant Professor Dr.Sirisak Techathawiekul Assistant Professor Wichit Sirichote
Department	Applied Physics
Academic	1998

Abstract

The purpose of this project is to build up a system for transferring data by using Time Division Multiplexing (TDM) technique. The Multiplexing system consists of two main parts , namely Multiplexing and Demultiplexing parts. In this case , signals from eight input channels were combined into one output channel by means of TDM and vice versa. The TDM IC used is MC14051 and a plastic optical is also employed as a transmission line. In addition a light emitting diode is used as a transmitter and photodiode is used as a receiver that converts optical signal into electrical signal. It has been found that the system works alright.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้จะไม่สำเร็จล่วงโดยสมบูรณ์ได้ ถ้าปราศจากความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีประสงค์ดีต่อโครงการพิเศษและข้าพเจ้าทั้งสองขอขอบคุณบุคคลดังต่อไปนี้

บิดา มารดา ผู้ให้ชีวิตและทุกสิ่งทุกอย่าง

ผศ.ดร.ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล , ผศ.วิจิต ศรีโชติ และ อ.สุน จ่างประยูร ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือด้านคำ แนะนำและสนับสนุนอุปกรณ์ต่างๆมาโดยตลอด

คุณเรนพ และคุณปิติพันธ์ ที่ช่วยเหลือในด้านรายงานและทางด้านฮาร์ดแวร์

คุณเดช ที่ให้ขิมห้องอันสวยงามในการทำโครงการนี้

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณเพื่อนๆและน้องๆที่คอยเป็นกำลังใจให้แก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

นายภาณุ อธิธิกำจร

นายเสกสิทธิ์ จิตรประทักษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญรูป	ง
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 วัตถุประสงค์ในการทำโครงการพิเศษ	1
1.2 ประโยชน์ที่ได้รับ	1
บทที่ 2 ลักษณะพื้นฐานของแสง	
2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	2
2.2 แสงเป็นคลื่น	3
2.3 แสงเป็นอนุภาค	4
2.4 ความเร็วของแสง	5
2.5 การสะท้อนแบบฉูดเข้าและฉูดออก	6
2.6 กฎของสเนลล์	8
2.7 เส้นใยนำแสง	9
2.8 นิวเมอริคอลลอเพอเจอร์	11
2.9 การสะท้อนของเฟรสเนล	11
บทที่ 3 การสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง	
3.1 วิวัฒนาการของการสื่อสารด้วยแสง	13
3.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของการสื่อสารด้วยแสง	15
3.3 เส้นใยนำแสง	16
3.3.1 โครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยนำแสง	16
3.3.2 การเคลื่อนที่ของแสงในเส้นใยนำแสง	17
3.3.3 การแตกกระจายของรูปสัญญาณจากเส้นใยนำแสง	19
3.3.4 ชนิดของเส้นใยนำแสง	20
3.4 ความสูญเสียของสัญญาณในระบบสื่อสารด้วยแสง	23
3.5 แลบบการส่งสัญญาณของเส้นใยนำแสง	24

บทที่ 4 ระบบออปโตอิเล็กทรอนิกส์

4.1 แหล่งกำเนิดแสง	26
4.1.1 ช่วงทำงานของความยาวคลื่น	27
4.1.2 พลังงานและการเชื่อมต่อของแสง	28
4.1.3 แหล่งกำเนิดแสง LED	29
4.1.4 แหล่งกำเนิดเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์	33
4.1.4.1 การปล่อยแสงด้วยการกระตุ้น	33
4.1.4.2 Population Inversion	34
4.1.4.3 การจัดรูปลำของเลเซอร์	34
4.1.5 ความแตกต่างของแหล่งกำเนิด	35
4.1.6 ความยาวคลื่นของเลเซอร์ไดโอด	36
4.1.7 สเปกตรัมของเลเซอร์	36
4.1.8 Fiber Transmission windows	37
4.2 วงจรขับ	38
4.2.1 การออกแบบตัวส่งแสง	38
4.2.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของตัวส่งแสง	38
4.2.3 การออกแบบตัวส่งโดยใช้ LED อย่างง่าย	41
4.2.4 การออกแบบตัวส่งโดยใช้เลเซอร์ไดโอดอย่างง่าย	42
4.3 อุปกรณ์รับแสง	43
4.3.1 พีเอ็นโฟโตไดโอด	44
4.3.2 พีไอเอ็นโฟโตไดโอด	46
4.3.3 อะวาแลนซ์โฟโตไดโอด	47
4.4 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง	48
4.5 วงจรอุปกรณ์รับแสง	50
4.5.1 วงจรรับแสงแบบโฟโตไดโอด	51
4.5.2 วงจรรับแบบอะวาแลนซ์ไดโอด	52

บทที่ 5 การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา

5.1 ทฤษฎีการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา	54
5.1.1 การมัลติเพลกซ์สัญญาณอนาล็อก	54
5.1.2 การมัลติเพลกซ์สัญญาณดิจิทัล	55

บทที่ 6 การออกแบบและส่วนประกอบของระบบมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา

6.1 ภาคส่งสัญญาณมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา	57
6.1.1 ระบบมัลติเพลกซ์	57
6.1.1.1 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาและสัญญาณควบคุม	58
6.1.1.2 วงจรขระดับสัญญาณ	58
6.1.1.3 วงจรสวิตช์เลือกช่องสัญญาณ	59
6.1.2 วงจรขับสัญญาณแสง	60
6.2 ภาครับสัญญาณมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา	61
6.2.1 วงจรรับสัญญาณแสง	61
6.2.2 ระบบดีมัลติเพลกซ์	62
6.2.2.1 วงจรชิงโครไนซ์เซชัน	62
6.2.2.2 วงจรสวิตช์แยกช่องสัญญาณ	63
6.2.2.3 วงจรลดระดับสัญญาณ	64
6.2.2.4 วงจรกรองความถี่ต่ำ	65
6.3 หลักการทำงานของชุดมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา	65

บทที่ 7 ผลการทดลองและแนวทางการพัฒนา

7.1 รูปสัญญาณที่ได้จากส่วนต่างๆ	71
7.1.1 ส่วนสัญญาณอินพุท	71
7.1.2 ส่วนสัญญาณที่ถูกมัลติเพลกซ์เรียบร้อยแล้ว	72
7.1.3 ส่วนสัญญาณที่ตัวกำเนิดแสง	72
7.1.4 ส่วนสัญญาณที่ตัวรับสัญญาณแสง	73
7.1.5 ส่วนส่วนสัญญาณที่ถูกดีมัลติเพลกซ์แล้ว(สัญญาณเอาต์พุท)	73
7.2 ปัญหาในการทำโครงการพิเศษ	74
7.2.1 การไม่แมทช์กันของวงจร	74
7.2.2 วงจรขยายแสง	
7.2.3 วงจรชิงโครไนซ์เซชัน	74

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 แสดงลักษณะการเดินทางของแสง	5
รูปที่ 2-2 แสดงแสงที่เกิดการหักเหและเกิดการสะท้อน	6
รูปที่ 2-3 (a) การสะท้อนแบบฉู่เข้า , $n_1 < n_2$	7
(b) การสะท้อนแบบฉู่ออก , $n_1 > n_2$	7
(c) การสะท้อนกลับหมด , $n_1 \gg n_2$	7
รูปที่ 2-4 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยนำแสง	9
รูปที่ 2-5 แสดงการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง	9
รูปที่ 2-6 แสดง Acceptance Cones	10
รูปที่ 3-1 แสดงการทำงานของโฟโตโพน	14
รูปที่ 3-2 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารเส้นใยนำแสง	15
รูปที่ 3-3 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยนำแสง	16
รูปที่ 3-4 แสดงการหักเหของแสง	17
รูปที่ 3-5 แสดงการหักเหของแสงผ่านแท่งแก้วตัน	18
รูปที่ 3-6 แสดงการเคลื่อนที่ของแสงภายในแท่งแก้ว	18
รูปที่ 3-7 แสดงการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง	20
รูปที่ 3-8 แสดงดัชนีการหักเหแสงของเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีชั้นบันได	21
รูปที่ 3-9 แสดงดัชนีการหักเหแสงของเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีรูปมน	21
รูปที่ 3-10 แสดงแนวทางของแสงในแกนเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีรูปมน	22
รูปที่ 3-11 แสดงการสูญเสียจากการโค้งงอเส้นใยนำแสง	24
รูปที่ 4-1 แสดงชื่อเรียกและชนิดต่างๆของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	26
รูปที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความกว้างของสเปกตรัมของ LED และเซมิคอนดัคเตอร์เลเซอร์	27
รูปที่ 4-3 แสดงการส่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสู่เส้นใยนำแสง	28
รูปที่ 4-4 แสดงลักษณะการทำงานของ LED	29
รูปที่ 4-5 แสดงระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำ	30
รูปที่ 4-6 แสดงลักษณะการส่งแสงของ LED	32
รูปที่ 4-7 แสดงการปล่อยแสงของ LED แบบ edge-emitter diode	32
รูปที่ 4-8 แสดงไดอะแกรมของการปล่อยแสงแบบต่างๆ	33

รูปที่ 4-9	แสดงพื้นฐานการเกิดเคมีคอนดัคเตอร์เลเซอร์	34
รูปที่ 4-10	แสดงความสัมพันธ์ของกระแสกับกำลังของแสงที่ปล่อย	35
รูปที่ 4-11	แสดง Fiber Optic transmission windows	37
รูปที่ 4-12	แสดงส่วนประกอบในการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยนำแสง	39
รูปที่ 4-13	แสดงส่วนเชื่อมต่อทางแสงของตัวส่ง	40
รูปที่ 4-14	แสดงวงจรขับอย่างง่ายของ LED source	41
รูปที่ 4-15	แสดงวงจรขับของเลเซอร์ไดโอดแบบอนาล็อก	42
รูปที่ 4-16	แสดงวงจรขับของเลเซอร์ไดโอดแบบดิจิทัล	43
รูปที่ 4-17	แสดงลักษณะของ Depletion Zone	44
รูปที่ 4-18	แสดงลักษณะของ PN Photodiode	45
รูปที่ 4-19	แสดงโครงสร้างของ PIN Photodiode	46
รูปที่ 4-20	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดกลืนทางแสง	47
รูปที่ 4-21	แสดงโครงสร้างของอะวาลันซ์โฟโอดีไดโอด	48
รูปที่ 4-22	แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และกระแสโฟโอดี	49
รูปที่ 4-23	แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรรับแสง	50
รูปที่ 4-24	แสดงวงจรรับแสงของ PIN และ PN Photodiode	51
รูปที่ 4-25	แสดงบล็อกไดอะแกรม PIN-FET reciever circuit	51
รูปที่ 4-26	แสดงวงจรรับแบบอะวาลันซ์โฟโอดีไดโอดอย่างง่าย	52
รูปที่ 5-1	แสดงการมัลติเพลกซ์สัญญาณอนาล็อก	54
รูปที่ 5-2	แสดงการมัลติเพลกซ์สัญญาณดิจิตอล	55
รูปที่ 6-1	แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบทั้งหมด	57
รูปที่ 6-2	แสดงวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาและสัญญาณควบคุม	58
รูปที่ 6-3	แสดงวงจรขั้วระดับสัญญาณ	59
รูปที่ 6-4	แสดงวงจรอนาล็อกสวิทช์ของไอซีเบอร์ MC14501B	60
รูปที่ 6-5	แสดงวงจรขับสัญญาณ	60
รูปที่ 6-6	แสดงวงจรรับสัญญาณแสง	62
รูปที่ 6-7	แสดงวงจรเฟลตริฟท์	63
รูปที่ 6-8	แสดงวงจรดีมัลติเพลกซ์	64
รูปที่ 6-9	แสดงวงจรลดระดับสัญญาณ	64
รูปที่ 6-10	แสดงวงจรรองความถี่ต่ำ	65
รูปที่ 6-11	แสดงวงจรสมมุติของระบบมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา	67

รูปที่ 6-12 แสดงลักษณะภายนอกของระบบมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา	68
รูปที่ 6-13 แสดงลักษณะภายนอกของวงจรขับและรับสัญญาณแสง	69
รูปที่ 6-14 แสดงลักษณะภายนอกของระบบดีมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา	70
รูปที่ 7-1 แสดงสัญญาณอินพุท	71
รูปที่ 7-2 แสดงสัญญาณที่ถูกมัลติเพลกซ์เรียบร้อยแล้ว	72
รูปที่ 7-3 แสดงสัญญาณที่ตัวกำเนิดแสง	72
รูปที่ 7-4 แสดงสัญญาณที่ตัวรับสัญญาณแสง	73
รูปที่ 7-5 แสดงสัญญาณเอาต์พุท	73

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 แสดงหน่วยของความถี่และความยาวคลื่น	2
ตารางที่ 2-2 แสดงช่วงการทำงานของแต่ละความถี่	3
ตารางที่ 2-3 แสดงค่าดัชนีหักเหของวัสดุ	6
ตารางที่ 4-1 แสดงธาตุหมู่ที่ 3a และ 5a ที่มีความสำคัญ	30
ตารางที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง	50
ตารางที่ 4-3 แสดงการเปรียบเทียบตัวรับแสงชนิดต่างๆ	53

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์เรามากขึ้นเนื่องจากมนุษย์ต้องมีการแลกเปลี่ยนข่าวสารกันตลอดเวลา ทำให้ความต้องการในการแลกเปลี่ยนข่าวสารและข้อมูลมีมากขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการตอบสนองความต้องการนี้ในปัจจุบันและอนาคตจึงมีการคิดค้นและนำเอาระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง (optical fiber) ซึ่งสามารถส่งข่าวสารและข้อมูลต่างๆได้เป็นจำนวนมากในเวลาเดียวกันมาประยุกต์ใช้งาน และนอกจากนี้หากเรานำระบบมัลติเพลกซ์ซึ่งเป็นเทคนิคที่ทำให้สามารถส่งและรับข้อมูลจากแหล่งต่างๆจำนวนมากได้ในช่วงเวลาและตัวกลางเดียวกันมาใช้กับระบบสื่อสารใยแก้วนำแสงทำให้สามารถสื่อสารข้อมูลจำนวนมากในเวลาเดียวกัน โดยในโครงการนี้เราจะทำการมัลติเพลกซ์ข้อมูลผ่านเส้นใยแก้วนำแสงแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiplexings , TDM) ซึ่งจะมีประโยชน์มากในการสื่อสารในปัจจุบันและอนาคต

1.1 วัตถุประสงค์ในการทำโครงการพิเศษ

- 1). ศึกษาถึงระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง
- 2). ศึกษาเทคนิคการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา (TDM) แล้วนำมาใช้ร่วมกับการสื่อสารด้วยใยแก้วนำแสงได้
- 3). ศึกษาและทำการประยุกต์ในการนำเอาเส้นใยนำแสงมาใช้ร่วมกับชุดมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา

1.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1). ทำให้เข้าใจหลักการทำงานและทฤษฎีของเส้นใยนำแสง
- 2). เข้าใจหลักการและทฤษฎีของการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา (TDM)
- 3). สามารถที่จะนำเอาความรู้และหลักการที่ได้จากการทำโครงการนี้ไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้

บทที่ 2

ลักษณะพื้นฐานทางแสง

ก่อนที่เราจะทำความเข้าใจกับเทคโนโลยีทางด้านเส้นใยนำแสงนั้น เราจะต้องมีความเข้าใจในเรื่องของแสงให้ดีเสียก่อน

2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใช้อธิบายในเรื่องของแสงโดยแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง โดยถูกจัดแบ่งไว้ด้วยสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum) ดังในตาราง 2-1 ซึ่งจะแสดงหน่วยของการวัดสำหรับความถี่และ ความยาวคลื่น

	Frequency Designations	
10^{12} Hz	Terahertz	THz
10^9 Hz	Gigahertz	GHz
10^6 Hz	Megahertz	MHz
10^3 Hz	Kilohertz	kHz
	Wavelength Designations	
10^{-6} m	Micrometer	μm
10^{-9} m	Nanometer	nm
10^{-12} m	Femtometer	fm

ตาราง 2-1 แสดงหน่วยของความถี่ และ ความยาวคลื่น

ช่วงการทำงานของความถี่ทั่วไปในสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสงจะถูกวัดในเทอมของความยาวคลื่นในช่วงนาโนเมตร (nm) หรือ ไมโครเมตร (μm) ส่วนแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ (Visible light) จะอยู่ในช่วงสเปกตรัมที่แคบคือ 380 (สีม่วง) ถึง 780 (สีแดง) นาโนเมตร ซึ่ง

การสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงจะใช้ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 800 - 1600 นาโนเมตร การเลือกช่วงของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสำหรับเส้นใยนำแสงนั้นแสงจะต้องมีความยาวคลื่นที่ทำให้มีประสิทธิภาพในการส่งผ่านเส้นใยนำแสงมากที่สุด ตามปกติจะนิยมใช้อยู่ที่ 850 , 1300 หรือ 1550 นาโนเมตร

Subsonic	0 - 10 Hz
Sound	15 - $2 * 10^4$ Hz
Radio frequencies AM , FM , shortwave , television	$10^3 - 10^9$ Hz
Microwaves	$10^9 - 3*10^{11}$ Hz
Infrared	$3*10^{11} - 5*10^{14}$ Hz
Visible light	$5*10^{14} - 7.7*10^{14}$ Hz
Red	384 - 482 THz
Orange	482 - 503 THz
Yellow	503 - 520 THz
Green	520 - 610 THz
Blue	610 - 659 THz
Violet	659 - 769 THz
Ultraviolet	$7.7*10^{14} - 3*10^{17}$ Hz
X - ray	$3*10^{17} - 5*10^{19}$ Hz
Gamma rays	$10^{19} - 10^{21}$ Hz
Cosmic rays	10^{22} Hz

ตาราง 2-2 แสดงช่วงการทำงานของแต่ละความถี่

2.2 แสงเป็นคลื่น

แสงจะมีค่าความเร็วประมาณ $3*10^8$ เมตร / วินาที หรือ 186,000 ไมล์ / วินาที ในอากาศ แสงจัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหมือนกับคลื่นไมโครเวฟ หรือ ความถี่วิทยุอื่น ๆ แต่จะมีความยาวคลื่นสั้นความถี่สูง ซึ่งใช้อธิบายเรื่องคลื่นคือ สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจะเคลื่อนที่

ไปในทิศทางตั้งฉากซึ่งกันและกัน และสนามไฟฟ้าจะมีผลต่อระบบการสื่อสารด้วยแสงมากกว่าสนามแม่เหล็กโดยแสงจะกล่าวได้ว่าเกิดการโพลาไรซ์ในทิศทางกลับไปกลับมาของสนามไฟฟ้า ถ้าสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้ามีทิศทางไปตามแนวเชิงเส้นคลื่นแบบนี้จะถูกเรียกว่าเกิดโพลาไรซ์ ถ้ามีทิศไปตามแนววงกลมหรือวงรี คลื่นก็จะเกิดโพลาไรซ์เชิงวงกลมหรือวงรี ซึ่งโพลาไรซ์ที่เกิดขึ้นแต่ละชนิดนั้นจะถูกนำไปใช้พิจารณาในการออกแบบเลนส์ของระบบเส้นใยนำแสง

ความยาวคลื่นคือคลื่นไซน์ที่เคลื่อนที่ในทิศทาง Z จุดบนคลื่นที่เคลื่อนที่ไปได้ระยะทางหนึ่งในช่วงเวลา T โดยมีค่าความเร็วของแสงในอากาศคือ c (3×10^8 เมตร / วินาที) ค่าที่ได้ออกมาคือ ความยาวคลื่นแสดงให้เห็นได้ในรูป $T * c$ คลื่นไซน์สามารถแสดงในรูปของค่าความถี่โดยค่าเวลา T จะเป็นส่วนกลับกับค่าความถี่สามารถเขียนได้เป็นสมการได้ดังนี้

$$\lambda = T * c$$

และ $T = 1 / f$

ดังนั้น $\lambda = c / f$

โดยที่ λ คือ ความยาวคลื่น

c คือ ความเร็วของแสง

f คือ ความถี่

2.3 แสงเป็นอนุภาค

แสงนอกจากจะเป็นคลื่นแล้วยังมีคุณสมบัติเป็นอนุภาคด้วย ดังเช่นที่รู้จักกันคือโฟตอน โฟตอนถูกอธิบายได้ด้วยความถี่ของคลื่นกับระดับพลังงานสูงและความถี่สูง ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่จะบ่งบอกถึงการทำงานของ LED (Light Emitting Diode) เมื่อ LED ให้แสงออกมาอิเล็กทรอนิกส์ในไดโอดจะให้พลังงานที่จะทำให้เกิดโฟตอนอิเล็กทรอนิกส์ใน LED จะกระโดดข้ามพลังงานที่แตกต่างกันเป็นผลทำให้เกิดความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน แม้ว่าแสงจะมาจาก LED ชนิดเดียวกัน ในทางตรงกันข้ามเลเซอร์ให้แสงออกมาอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดจะกระโดดข้ามไปยังระดับพลังงานที่ใกล้เคียงกันและจะมีค่าความยาวคลื่นค่าเดียว พลังงานโฟตอนหนึ่งตัวจะมีค่าดังสมการ

$$E = h.f = (h.c) / \lambda \quad (\text{จูล})$$

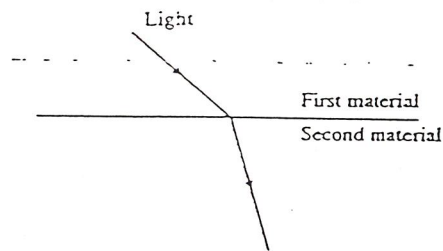
พลังงานของโฟตอนไม่สำคัญมากเท่ากับจำนวนของโฟตอน (N) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดค่าของ N แสดงให้เห็นถึงจำนวนของโฟตอนที่ผ่านเข้าไปในเส้นใยนำแสงสมการที่ได้จะเป็นดังนี้

$$N = \frac{E \cdot \lambda}{h \cdot c}$$

- โดยที่
- N คือ จำนวนของโฟตอน
 - E คือ พลังงานของโฟตอน (จูล)
 - λ คือ ความยาวคลื่น
 - h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (จูล-วินาที)
 - c คือ ความเร็วของแสง (เมตร/วินาที)

2.4 ความเร็วของแสง

แสงจะมีความเร็ว 3×10^8 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นค่าในสุญญากาศแต่ถ้าแสงเคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่ตัวกลางอีกชนิดหนึ่งมันจะเกิดการเปลี่ยนความเร็วและการหักเห ดังในรูป



รูปที่ 2-1 แสดงลักษณะการเดินทางของแสง

องค์ประกอบที่ทำให้แสงเกิดการเปลี่ยนค่าความเร็วก็คือ ค่าดัชนีหักเห หรือ ดัชนีของการหักเหค่าดัชนีของการหักเห(n)ของตัวกลางสามารถอธิบายได้ด้วยอัตราส่วนระหว่างค่าความเร็วแสงในอากาศ(c)กับความเร็วแสงในตัวกลางอีกชนิดหนึ่ง(v) โดยค่าดัชนีหักเหมักมีค่ามากกว่า 1 ซึ่งแปรค่าไปตามช่วงสีของแสง ถ้ามีความยาวคลื่นสั้นจะมีค่าดัชนีหักเหสูง ค่าดัชนีหักเหเป็นไปได้ตามสมการ

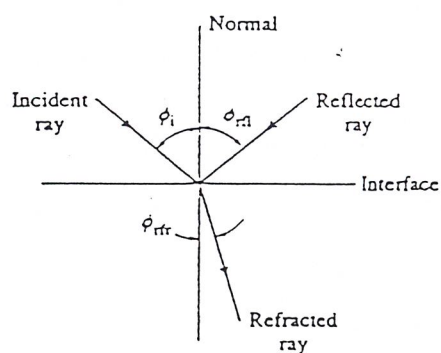
$$n = \frac{c}{v}$$

วัตถุ	ดัชนีหักเห (n)	ความเร็วแสงในวัตถุ v ($\times 10^6$ m/s)
สุญญากาศ	1.000	300
อากาศ	1.0003	299.9
น้ำ	1.33	225.56
แก้ว	1.46-1.96	205.48-153
เพชร	2.42	123.97
ซิลิกอน	3.4	88.23
แกเลียมอาร์เซไนด์	3.6	83.33

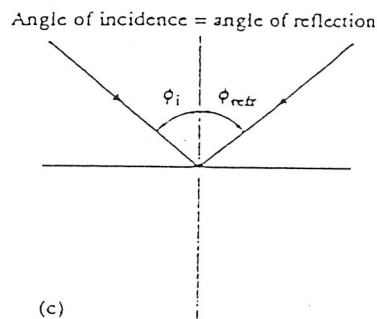
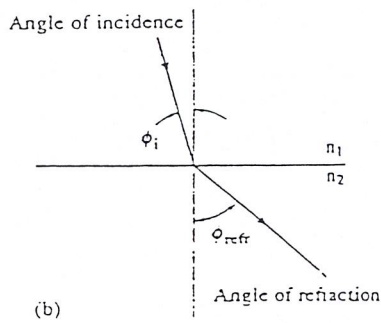
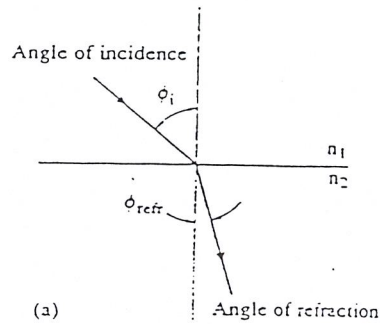
ตาราง 2-3 แสดงค่าดัชนีหักเหของวัตถุ

2.5 การสะท้อนแบบคู่เข้าและคู่ออก

เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางจากอากาศไปยังตัวกลางอีกชนิดหนึ่งจะเกิดการหักเหเกิดขึ้น นอกจากนั้นจะมีบางส่วนที่สะท้อนกลับไปในทิศทางเดียวกันกับแสงที่ตกกระทบ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าของมุมที่แสงตกกระทบด้วย ดังรูป



รูปที่ 2-2 แสดงแสงที่เกิดการหักเหและเกิดการสะท้อน



รูปที่ 2-3 (a) การสะท้อนแบบลู่เข้า $n_1 < n_2$

(b) การสะท้อนแบบลู่ออก $n_1 > n_2$

(c) การสะท้อนกลับหมด $n_1 \gg n_2$

เมื่อแสงผ่านตัวกลางตัวหนึ่งที่มีค่าดัชนีหักเหต่ำกว่าตัวกลางตัวที่สอง ลำหักเหของแสงจะลู่เข้าสู่เส้นปกติเรียกว่า การสะท้อนภายใน แต่ถ้าค่ามุมตกกระทบเพิ่มขึ้นและมุมของการสะท้อนมีค่าเข้าสู่ 90 องศา แสงจะไม่ผ่านเข้าสู่ตัวกลางที่สองโดยจะเกิดสะท้อนกลับไปที่บริเวณผิวหน้าเราเรียกมุมนี้ว่า มุมวิกฤต (critical angle) ถ้าค่ามุมตกกระทบเพิ่มขึ้นจนมากกว่าค่า

มุมวิกฤตจะเกิดการสะท้อนกลับหมดที่บริเวณผิวหน้าทั้งหมดโดยไม่ผ่านเข้าไปสู่ตัวกลางตัวที่สองเลย มุมระหว่างแสงที่ตกกระทบกับเส้นปกติเรียกว่า มุมของการสะท้อน โดยมุมของการสะท้อนจะเท่ากับมุมตกกระทบเมื่อมุมตกกระทบมีค่ามากกว่ามุมวิกฤต

2.6 กฎของสเนลล์

กฎของสเนลล์จะหักเหเมื่อค่าของมุมตกกระทบมีค่าไม่เท่ากับมุมสะท้อน แสงจะเกิดการหักเหขึ้นในตัวกลางที่สอง โดยค่าของมุมตกกระทบจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าของมุมวิกฤต ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหของตัวกลางตัวที่หนึ่งและตัวกลางที่สอง คือ n_1 และ n_2 ส่วนค่าของมุมการตกกระทบและการสะท้อนคือ θ_1 และ θ_2 โดยอธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

$$\sin\theta_1/\sin\theta_2 = n_2/n_1$$

กฎของสเนลล์เป็นเรื่องที่สำคัญเรื่องหนึ่งในเรื่องเส้นใยนำแสง ถูกใช้เป็นทฤษฎีที่ใช้อธิบายการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง โดยการที่แสงเดินทางไปในเส้นใยนำแสงค่าของมุมการตกกระทบจะมากกว่าค่าของมุมวิกฤต มุมวิกฤตที่เกิดขึ้นเมื่อมุมของการตกกระทบจากรังสีการส่งผ่านจะเกิดการสะท้อนไปตามผิวของรอยต่อได้ดีกว่ามุมของการตกกระทบจากรังสีที่เข้ามา จากกฎของสเนลล์เมื่อกำหนดให้ $\theta_1 = \theta_c$ เมื่อ θ_2 มีค่าเท่ากับ 90 องศา และ $\sin\theta_2 = 1$

$$\sin\theta_c = n_2/n_1$$

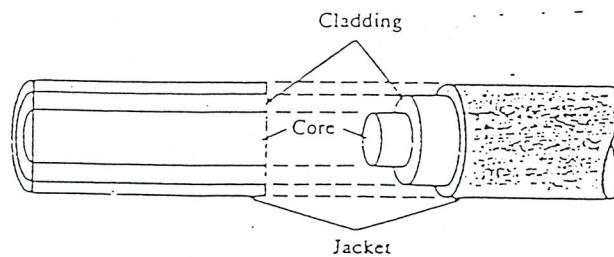
หรือ

$$\theta_c = \sin^{-1} n_2/n_1$$

สำหรับกรณีที่ $\theta = 90 - \theta_c$ สำหรับค่าของมุมที่น้อยกว่ามุมวิกฤต สำหรับผลรวมของการสะท้อนภายในจะถูกนำไปแทน ดังนั้นถ้าทราบค่ามุมวิกฤตก็จะทราบค่าอัตราส่วนของการหักเหซึ่งเป็นค่าที่จะนำไปใช้ตัดสินใจในการออกแบบชนิดของวัสดุที่ใช้ทำคอร์ (core) หรือแคลดดิง(cladding)

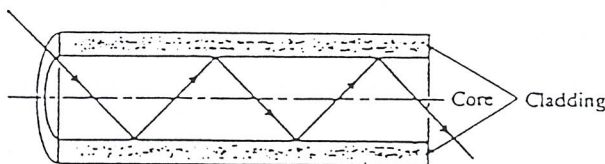
2.7 เส้นใยนำแสง

ในสถานะเริ่มต้นแสงจะปฏิบัติตัวเป็นเหมือนรังสี โดยมีการแพร่กระจายไปตามคลื่นตัวนำและมีการจำกัดขอบเขตทางฟิสิกส์แสงบางส่วนจะเคลื่อนที่ไปตามแนวเส้นมีการเคลื่อนที่ขึ้นลงของคลื่นตัวนำเหมือนกับการสะท้อน รังสีบางส่วนจะเกิดการสูญเสียในคลื่นตัวนำแต่ส่วนที่เหลือก็จะเกิดการสะท้อนต่อไป ดังในรูป 2-4



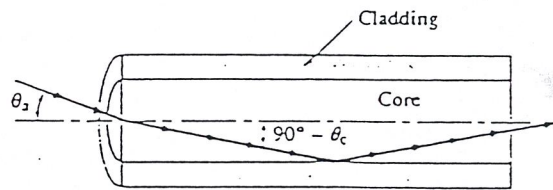
รูปที่ 2-4 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยนำแสง

สายตัวนำจะประกอบไปด้วย 2 ชั้นที่เป็นแก้วหรือพลาสติก โดยชั้นในหรือคอร์เป็นส่วนที่แสงมีการเคลื่อนที่มีค่าดัชนีหักเห คือ n_1 และรอบๆคอร์จะหุ้มด้วยชั้นที่เรียกว่า แคลดคิง มีค่าดัชนีหักเหคือ n_2 และชั้นทั้ง 2 จะมีสารที่เป็นตัวหุ้มอีกชั้นหนึ่ง ค่าดัชนีหักเหของคอร์จะมีค่าสูงกว่าของแคลดคิงซึ่งผลรวมการสะท้อนภายในจะเกิดขึ้นเมื่อ $n_{\text{core}} > n_{\text{cladding}}$ ดังในรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 แสดงการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง

แสงจะถูกส่งผ่านเข้าไปในคอร์ด้วยมุมตกกระทบที่มากกว่ามุมวิกฤตจะเกิดการกลับไปกลับมาที่บริเวณรอยต่อของคอร์และแคลคดิง จากกฎของสเนลล์เมื่อมุมตกกระทบมีค่ามากกว่ามุมวิกฤตแสงทั้งหมดจะเกิดการสะท้อนเมื่อมุมของการตกกระทบเท่ากับมุมของการสะท้อนจะเคลื่อนที่ไปตลอดตามเส้นใยนำแสงด้วยผลรวมการสะท้อนภายใน ทุกลำแสงที่ชนกลับไปกลับมาที่บริเวณรอยต่อที่มีค่ามุมตกกระทบน้อยกว่ามุมวิกฤตแสงจะไม่สะท้อนกลับไปยังแนวขอบเขตจะถูกดูดกลืนหรือสูญเสียไปในแคลคดิงเรียกว่า acceptance cone ดังในรูป 2-6



รูปที่ 2-6 แสดง Acceptance Cones

ซึ่งส่วนใหญ่จะเคลื่อนไปตามเส้นใยนำแสงเพื่อรับและแพร่กระจายแสงจาก LED ซึ่งมีสนามของแสงขนาดใหญ่ ปัญหาที่เกิดจากการกระจัดกระจายของแสงหรือการกระจายของพัลส์เป็นผลมาจากการผลิต

เส้นใยนำแสงส่วน acceptance cone ที่แคบต้องการแหล่งกำเนิดแสงดังเช่นเลเซอร์ การรับลำแสงของเส้นใยนำแสงสามารถบ่งบอกได้ด้วยค่าความแตกต่างของการหักเห ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกเรียกว่า ค่าดัชนีหักเหการสะท้อน อธิบายได้ดังสมการ

$$\Delta = (n_{\text{core}} - n_{\text{cladding}}) / n_{\text{core}}$$

จากสมการใช้สำหรับค่ามุมวิกฤต ถ้ามีค่ามุมน้อยกว่า $90 - \theta_c$ จะถูกนำหรือจะผ่านเข้าไปในคอร์แสงที่ผ่านเข้าไปในคอร์บางส่วนอาจจะผ่านเข้ามาจากภายนอก ค่าของมุมที่แสงเข้ามาจากภายนอกระหว่างลำแสงกับแกนเส้นใยนำแสงสามารถเขียนออกมาได้โดยกฎของการหักเห

$$\sin \theta_1 / \sin (90^\circ - \theta_c) = n_2 / n_1$$

เมื่อกำหนดค่าดัชนีหักเหของอากาศเป็น 1 และ n_1 มีค่าเท่ากับ 1 จะได้ว่า

$$\sin \theta = n_2 \sqrt{1 - \sin^2 \theta_c}$$

จากสมการข้างบนและจากสมการมุมวิกฤต จะได้ค่ามุม acceptance θ ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงสารที่ผ่านเข้ามาในคอร์และยังคงทำให้เกิดการนำในคลื่นตัวนำได้

$$\sin \theta = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

เมื่อ

n_1 คือ ค่าดัชนีหักเหของคอร์

n_2 คือ ค่าดัชนีหักเหของเคลดดิ้ง

2.8 นิวเมอริกอลอเพอเจอร์

นิวเมอริกอลอเพอเจอร์ (NA) คือค่าทางตัวเลขที่แสดงถึงขีดความสามารถของการรับแสงเข้าสู่เส้นใยนำแสง มีสมการทั่วไปเป็นดังนี้

$$NA = \sin \theta$$

หรือ

$$NA = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

ค่า NA มักจะมีค่าน้อยกว่า 1

2.9 การสะท้อนของเฟรสเนล

แสงที่ผ่านมาจากค่าดัชนีหักเหของตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่ง จะมีบางส่วนของแสงจะสะท้อนกลับไปเรียกว่า การสะท้อนเฟรสเนล สามารถอธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

$$\rho = (n_2 - n_1 / n_2 + n_1)^2$$

เมื่อ

n_1 คือ ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 1

m_2 คือ ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 2

ค่าสูญเสียสามารถคำนวณออกมาได้ในรูปของหน่วยเดซิเบล (dB) ดังนี้

$$\text{dB} = 10 \log_{10} (1 - \rho)$$

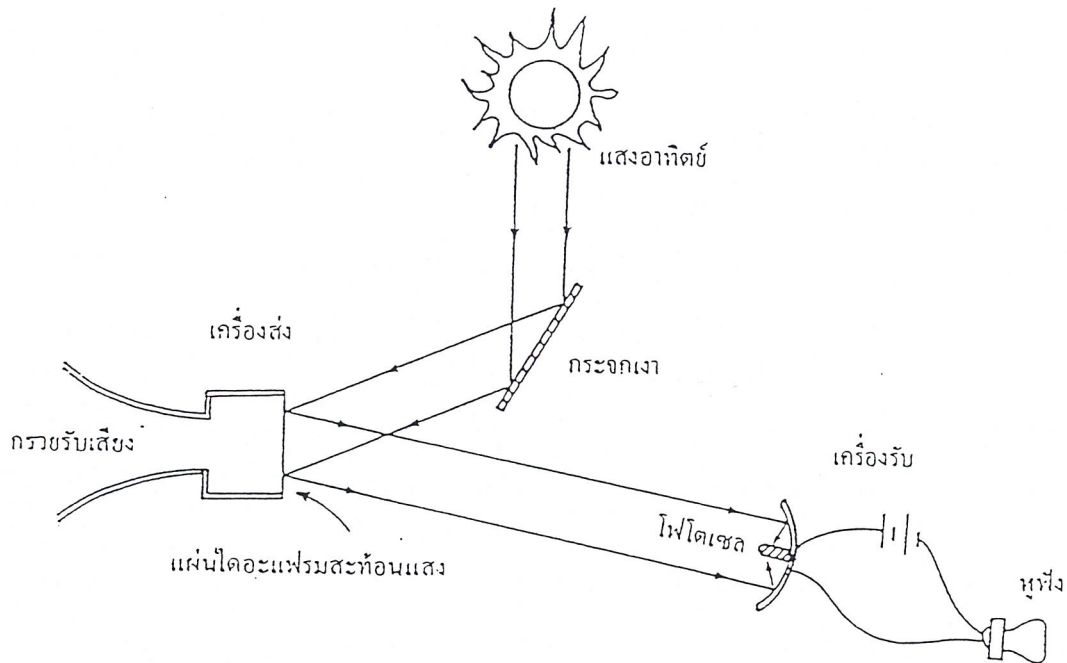
บทที่ 3

การสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง

การสื่อสารยุคใหม่ที่กำลังมีวิวัฒนาการก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วมากในปัจจุบันคงได้แก่ การสื่อสารด้วยแสง ทั้งนี้เพราะระบบการสื่อสารด้วยแสงที่เราสามารถควบคุมสถานภาพแวดล้อม ได้นั้นจะมีข้อได้เปรียบเหนือการสื่อสารที่ใช้สัญญาณไฟฟ้าอยู่หลายประการจึงทำให้เกิดการค้นคว้าและพัฒนาเกี่ยวกับระบบการสื่อสารนี้อย่างต่อเนื่องและจริงจัง สถานภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของระบบการสื่อสารด้วยแสงมากที่สุดนั่นคือ สถานภาพของตัวกลางที่ใช้สำหรับให้แสงเดินทางจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ สิ่งที่น่าสนใจใช้เป็นตัวกลางสำหรับการสื่อสารระบบนี้คือ เส้นใยนำแสงฉะนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงเส้นใยนำแสงเป็นหลัก

3.1 วิวัฒนาการของการสื่อสารด้วยแสง

ในปี 1870 จอห์น ทิคัล (John Tydal) ได้ทำการทดลองให้เห็นว่าแสงนั้นสามารถเดินทางได้ตามสายน้ำที่ถูกเทออกจากภาชนะที่มีแสงสว่างส่องอยู่ภายในได้และกล่าวกันว่า บันทึกเรื่องราวต่าง ๆ เหล่านี้คือ ต้นเหตุที่มาของอาการติดกันเกี่ยวกับเส้นใยนำแสงในปัจจุบันถ้าไม่นับกระจากที่ใช้สะท้อนแสงอาทิตย์หรือการสื่อสารแบบโบราณแล้ว สิ่งประดิษฐ์ชิ้นแรกที่เกี่ยวข้องกับระบบการสื่อสารด้วยแสงนั้นก็คือโฟโตโฟน (Photo Phone) ของอเล็กซานเดอร์ เกรแฮม เบล (Alexander Graham Bel) ซึ่งได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นในปี 1880 ส่วนประกอบนั้นมีแสดงไว้ในรูปที่ 3 - 1 การทำงานของโฟโตโฟนนั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อมีเสียงพูดเข้าไปในกรวยรับเสียงเสียงจะทำให้แผ่นไดอะแฟรม (diaframe) ซึ่งสะท้อนแสงติดอยู่กับกรวยรับเสียงนั้นสั่นเป็นเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแสงที่สะท้อนออกมาจากแผ่นไดอะแฟรมนั้น ดังนั้นแสงที่ถูกสะท้อนนี้จะพุ่งไปยังเครื่องรับซึ่งมีโฟโตเซล (photo cell) เป็นตัวรับแสงและควบคุมการไหลของไฟฟ้าในวงจรที่มีแสงไว้ด้วยรูป เพราะฉะนั้นโฟโตโฟนจึงสามารถที่จะส่งข่าวสารที่เป็นเสียงได้โดยใช้แสงเป็นตัวพาห้จากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากสถานภาพของสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ มีอิทธิพลต่อการส่งสัญญาณในระบบนี้มาก จึงทำให้ระยะการใช้งานของโฟโตโฟนนั้นสั้นมากคือเพียงประมาณ 200 เมตร เท่านั้น จึงทำให้ไม่มีบทบาทที่สำคัญมากนัก

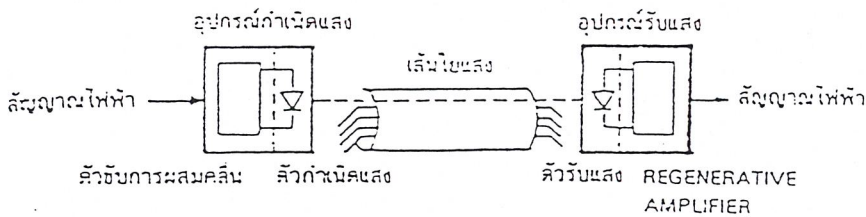


รูป 3-1 แสดงการทำงานของโฟโตโฟน

แม้ว่าในปี 1960 Dr. Theodore Maiman จะคิดค้นวิธีผลิตแสงเลเซอร์ออกมาได้เป็นผลสำเร็จ แต่แสงเลเซอร์ที่ผลิตออกมาได้เป็นผลสำเร็จก็ตาม แต่แสงเลเซอร์ที่ผลิตออกมาด้วยวิธีนี้ก็ยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการสื่อสารจนกระทั่งในปี 1970 จึงได้มีการผลิตเลเซอร์ไดโอดซึ่งสามารถใช้เป็นตัวผลิตสัญญาณเพื่อการสื่อสารขึ้นได้สำเร็จ และทำการสื่อสารร่วมกับเส้นใยแก้วนำแสงขึ้นได้เป็นครั้งแรก อย่างไรก็ตามคุณสมบัติของเลเซอร์ไดโอดและเส้นใยนำแสงสมัยนั้น เมื่อคิดเปรียบเทียบกับข้อดีข้อเสียในการสื่อสารในระบบไฟฟ้าที่มีอยู่ก็ยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานจริง อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้ในสมัยนั้นก็ทำให้เกิดแรงบันดาลใจอันยิ่งใหญ่ให้เกิดมีการพัฒนาระบบการสื่อสารด้วยแสงขึ้นมาอย่างจริงจัง ประเด็นสำคัญในการพัฒนาก็คือ ความต้องการที่จะลดค่าความลดทอนในเส้นใยนำแสงให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้จนบัดนี้นับว่าการพัฒนาได้ประสบความสำเร็จเป็นอย่างมาก โดยพิจารณาจากปี 1970 ค่าความลดทอนในเส้นใยนำแสงมีค่ามากถึง 20 dB / กิโลเมตร แต่ในปัจจุบันการลดทอนของเส้นใยนำแสงนั้นได้มีการปรับปรุงให้มีค่าลดลงเหลือเพียงประมาณ 0.2 dB / กิโลเมตร เท่านั้น

3.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของการสื่อสารด้วยแสง

ส่วนประกอบพื้นฐานของการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง แสดงดังรูปที่ 3-2 โดยทั่วไปแล้วสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งจากอุปกรณ์ปลาย (Terminal equipment) ต่างๆ เช่น โทรศัพท์ เครื่องป้อนข้อมูล (data terminal) โทรสาร (Facsimile) เป็นต้น จะถูกอุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสง (E/O convertor) เปลี่ยนให้เป็นสัญญาณแสง (นั่นคือความแรงของสัญญาณไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นความเข้มของแสง หรือ “ 1 ” , “ 0 ” ของสัญญาณไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นแสงที่สว่างและมีด) และส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสง สัญญาณที่เดินทางเข้าไปในเส้นใยนำแสงนั้นสัญญาณของมันจะอ่อนลง เมื่อเดินทางในระยะทางที่เพิ่มขึ้นพร้อมทั้งรูปคลื่นก็ขยายกว้างออกไปด้วย เมื่อไปถึงอุปกรณ์ที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้า (O/E convertor) ของทางด้านรับสัญญาณ แสงที่ถูกส่งออกมาจะถูกเปลี่ยนจากแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และส่งไปยังอุปกรณ์ปลาย เพื่อให้เปลี่ยนเป็นสัญญาณของโทรศัพท์ เครื่องป้อนข้อมูล โทรภาพ และอื่นๆ



รูปที่ 3-2 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง

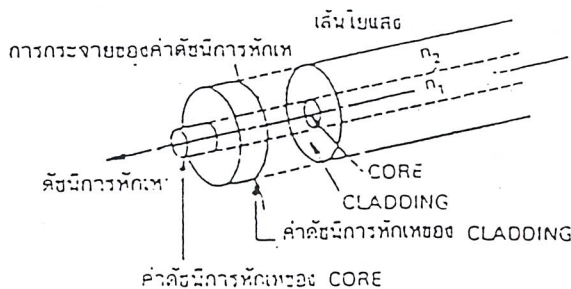
อนึ่งอุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสงนั้นทำได้ โดยใช้อุปกรณ์กำเนิดแสงได้แก่ LED หรือ Semiconductor laser ส่วนอุปกรณ์เปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้านั้นทำได้โดยใช้ไดโอดแสง (photodiode), ทรานซิสเตอร์แสง (phototransistor) นอกจากนี้กรณีที่ระยะทางของสายส่งยาวอาจจำเป็นต้องติดตั้งตัวทวนสัญญาณ (repeator) ณ ตำแหน่งที่เหมาะสม ตัวทวนสัญญาณนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงที่เข้ามาให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นจึงทำการขยายแล้วเปลี่ยนกลับให้เป็นสัญญาณแสงอีกและส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสง ในช่วงต่อไป

3.3 เส้นใยนำแสง

3.3.1 โครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยนำแสง

โดยทั่วไปแล้วเส้นใยนำแสงเป็นเส้นใยขนาดเล็กที่ทำจากแก้ว สิ่งที่เราพบเห็นบ่อย ๆ คือเส้นใยที่ใช้ในการนำแสงของดอกไม้เรืองแสงสำหรับตั้งประดับเพื่อความสวยงามที่มีขายตามห้างสรรพสินค้าทั่วไป โดยการป้อนแสงสีแดง สีเหลือง สีเขียวเข้าไปปลายข้างหนึ่งของเส้นใยนำแสง และเราจะมองเห็นแสงออกมาจากปลายอีกข้างหนึ่งของเส้นใยนำแสงนี้ได้

โครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยนำแสงประกอบด้วยสารไดอิเล็กตริก 2 ชนิด ที่มีค่าดัชนีหักเหไม่เท่ากัน โดยสารไดอิเล็กตริกที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงต่ำจะเป็นส่วนที่ห่อหุ้มส่วนที่อยู่ตรงกลาง ส่วนตรงกลางนั้นมีค่าดัชนีหักเหของแสงสูงเรียกว่า คอร์ และส่วนหุ้มด้านนอกที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงต่ำเรียกว่า แคลดคิง ยกตัวอย่างเช่น ที่คอร์ของเส้นใยนำแสง มีค่าดัชนีหักเหของแสงคงที่ แต่มีค่าดัชนีหักเหของ คอร์ และ แคลดคิง เปลี่ยนแปลงในลักษณะของขั้นบันได เส้นใยนำแสงแบบนี้เรียกว่า step-index optical fiber ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในรูป 3-3 เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของคอร์และเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของแคลดคิง จะมีค่าต่างกันตามชนิดของเส้นใยนำแสง สำหรับเส้นใยนำแสงแบบ Multimode นั้น เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของคอร์มีค่า 40-100 μm ส่วนเส้นใยนำแสงแบบ single mode นั้น เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของคอร์มีค่า 5-15 μm สำหรับส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกของแคลดคิงนั้น กำหนดให้มีค่าเหมือนกันหมดไม่ว่าจะเป็นเส้นใยนำแสงแบบไหนโดยมีค่า 100-200 μm นอกจากนี้ค่าดัชนีหักเหของคอร์จะมีค่ามากกว่าค่าดัชนีหักเหของแคลดคิง โดยที่เส้นใยนำแสงแบบ Multimode จะมีค่า 1-5 % แต่ถ้าเป็นเส้นใยนำแสงแบบ single mode จะมีค่า 0.1-0.5 % มากกว่าค่าดัชนีหักเหของแคลดคิง เป็นต้น



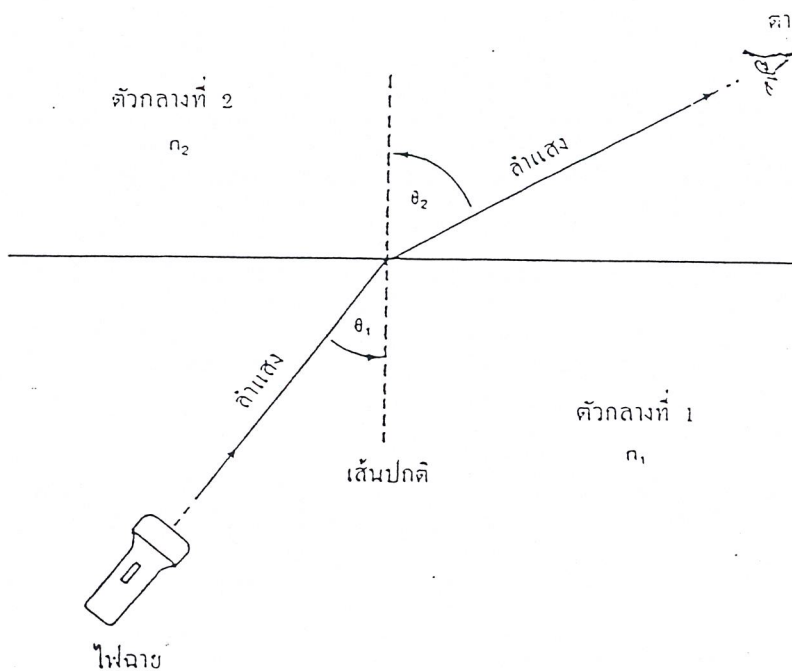
รูปที่ 3-3 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยนำแสง

3.3.2 การเคลื่อนที่ของแสงในเส้นใยนำแสง

ดังเป็นที่ทราบกันคืออยู่แล้วว่า เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางสองชนิด ที่มีค่าดัชนีหักเหต่างกัน แล้ว ก็จะมีการหักเหของแสงเกิดขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกฎของสเนลล์ (snell' s law) คือ

$$\sin \theta_1 / \sin \theta_2 = n_2 / n_1 \dots\dots\dots(1)$$

โดยในที่นี้ n_1 และ n_2 คือค่าดัชนีหักเหของแสงของตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 ตามลำดับ ส่วน θ_1 และ θ_2 คือค่าของมุมที่ลำแสงทำกับเส้นปกติ (normal line) บนผิวรอยต่อของตัวกลางทั้งสองแสง ดังรูป 3-4

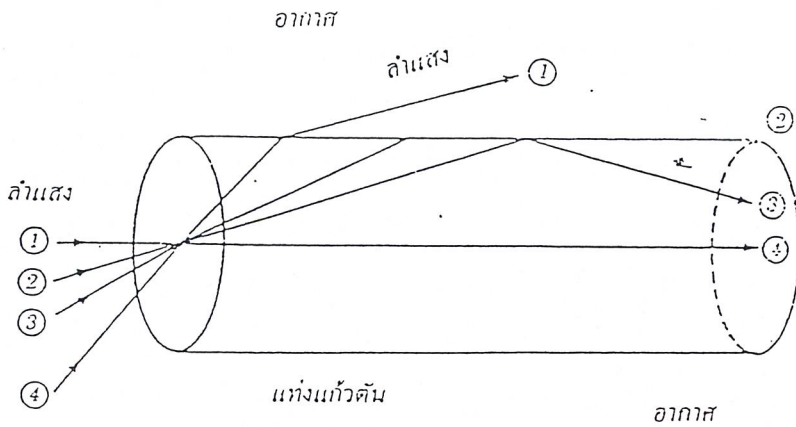


รูปที่ 3-4 แสดงการหักเหของแสง

ดังนั้นเมื่อมีการฉายแสงเข้าสู่แท่งแก้วตันที่วางอยู่ในอากาศด้วยค่ามุมตกกระทบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3-5 แล้วเราจะพบว่าเนื่องจากมุมตกกระทบของลำแสงที่ 1 มีขนาดเล็กดังนั้นลำแสงนี้จึงเดินทางหักเหทะลุผ่านแท่งแก้วออกไปได้ เมื่อมุมตกกระทบของลำแสงนั้นโตขึ้นเรื่อยๆ แล้ว ก็ย่อมจะมีค่ามุมตกกระทบอยู่มุมหนึ่งที่ทำให้แสงนั้นเกิดการหักเหไปในแนวที่ขนานไปกับผนังของแท่งแก้วนั้นพอดี ซึ่งเรียกมุมตกกระทบที่สามารถทำให้แสงเดินทางขนานไปกับแท่งแก้วได้นั้นเรียกว่ามุมรับแสงสูงสุด (θ_{max}) ดังเช่นการเดินทางของลำแสงที่ 2 ค่ามุมตกกระทบของลำแสงดังกล่าวมีชื่อว่า มุมวิกฤต (critical angle) โดยค่าของมุมวิกฤตนี้สามารถหาได้จากสมการ

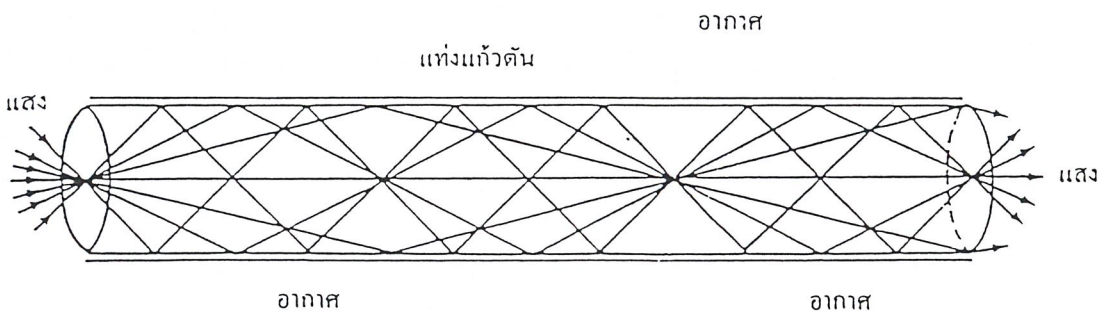
$$\theta_{\max} = \sin^{-1}[(n_1/n_0)\sin\theta_c] \dots\dots\dots(2)$$

$$\theta_c = \cos^{-1}(n_2/n_1) \dots\dots\dots(3)$$



รูปที่ 3-5 แสดงการหักเหของแสงผ่านแท่งแก้วตัน

ดังที่เราทราบกันดีอยู่แล้วว่า เมื่อมุมตกกระทบของลำแสงโตขึ้นเกินกว่ามุมวิกฤตตั้งกรณีของลำแสงที่ 3 นั้น ลำแสงนี้ก็จะไม่สามารถหักเหออกไปจากแท่งแก้วได้ และจะเกิดการสะท้อนกลับของลำแสงนั้นกลับไปในแท่งแก้วนั้นอีก และถ้าแท่งแก้วนี้ยาวมากลำแสงนี้ก็จะสะท้อนกลับไปกลับมาอยู่ในแท่งแก้วนี้เรื่อยไป ดังแสดงในรูปที่ 3-6 โดยการสะท้อนของแสงในลักษณะนี้เรียกว่าการสะท้อนกลับหมด ลักษณะเช่นนี้เอง ทำให้แสงสามารถเดินทางจากปลายข้างหนึ่งไปยังปลายอีกข้างหนึ่งของแท่งแก้วนั้นได้ ในทำนองเดียวกัน ลักษณะการเคลื่อนที่ของแสงในเส้นใยนำแสงนั้นก็จะเป็นอย่างเช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ของแสงตามรูปที่ 3-6 นี้เอง เพราะแกนของเส้นใยนำแสงซึ่งใช้เพื่อเป็นทางเดินของสัญญาณแสงนั้น ก็มีลักษณะ โครงสร้างเหมือนกับแท่งแก้วทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็กๆมากเท่านั้น



รูปที่ 3-6 แสดงการเคลื่อนที่ของแสงภายในแท่งแก้ว

3.3.3 การแตกกระจายของรูปสัญญาณจากเส้นใยนำแสง

จากรูปที่ 3-5 เราจะพบว่า เพราะแท่งแก้วนั้นมีขนาดใหญ่ ดังนั้นแนวของลำแสงที่มีมุมตกกระทบมากกว่ามุมวิกฤตก็ย่อมมีได้หลายแนว จึงทำให้แนวการเดินทางของลำแสงที่สะท้อนไปมาระหว่างผนังของแท่งแก้วนี้เกิดขึ้นได้หลายแนวด้วยกัน ฉะนั้นจึงเป็นการแน่นอนว่าแสงที่เดินทางไปแต่ละแนวทางนี้ย่อมจะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ผ่านจากปลายข้างหนึ่งของแท่งแก้ว ไปสู่ปลายอีกข้างหนึ่งนั้นจะ ไม่เท่ากัน ดังนั้นถ้าลำแสงแต่ละลำแสงที่เคลื่อนที่ผ่านแท่งแก้วนี้ทำหน้าที่เป็นคลื่นพาห้ของสัญญาณเดียวกันอยู่แล้ว สัญญาณนั้นก็จะต้องเดินทางไปยังปลายอีกข้างหนึ่งของแท่งแก้วได้ไม่พร้อมกัน จึงเป็นเหตุให้สัญญาณผลลัพธ์ที่เกิดจากผลรวมของสัญญาณจากลำแสงแต่ละลำนั้นเกิดการกระจัดกระจายตัวอย่างเช่น ถ้าลักษณะของสัญญาณที่มีก่อนหน้านั้นเป็นพัลส์สี่เหลี่ยมแคบๆ สัญญาณผลลัพธ์ก็อาจจะกลายเป็นพัลส์กว้างๆที่มีลักษณะไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยม ดังนี้ เป็นต้น ลักษณะที่สัญญาณเกิดความผิดเพี้ยนดังกล่าวมาแล้วนี้ เราเรียกว่า ชีตขยายตัว (dispersion) ของสัญญาณนั้น จากเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นจึงเกิดความจำเป็นที่ต้องสร้างเส้นใยนำแสงให้มีขนาดเล็กทั้งนี้เพื่อลดจำนวนของแนวแสงให้น้อยลง อันจะทำให้เกิดการแตกกระจายของสัญญาณนั้นน้อยลงด้วยนั่นเอง

โดยวิธีวิเคราะห์คุณสมบัติของแสงด้วยทฤษฎีขั้นสูงแล้ว พบว่า ในการที่แสงสะท้อนไปมาอยู่ได้ในแท่งแก้วหรือเส้นใยนำแสงนั้น นอกจากมุมตกกระทบของลำแสงแต่ละลำบนผนังของแท่งแก้วหรือเส้นใยนำแสงนั้นต้องมีค่าโตกว่ามุมวิกฤตแล้ว เรายังได้ทราบเพิ่มเติมอีกว่า ค่าของมุมตกกระทบของลำแสงเหล่านั้นมีค่าไม่ต่อเนื่องกัน หากแต่จะมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแบบคี่สลับกัน ซึ่งก็หมายความว่า ลำแสงต่างๆ ที่เคลื่อนที่อยู่ได้ในเส้นใยนำแสงนั้นจะเกิดขึ้นโดยแยกกันออกเป็นลำๆ ซึ่งสามารถนับจำนวนได้อย่างแน่นอน ในเส้นใยนำแสงนั้นจำนวนลำแสงที่เกิดขึ้นเหล่านั้นจะเป็นตัวบอกจำนวนโหมด (mode) ของเส้นใยนำแสงยกตัวอย่างเช่น เส้นใยนำแสงที่มีแนวลำแสงอยู่เพียงแนวเดียวเราเรียกว่า เส้นใยนำแสงโหมดเดี่ยว (single mode fiber) แต่ในเส้นใยนำแสงที่มีแนวลำแสงเกิดขึ้นได้เป็นจำนวนมากเราเรียกเส้นใยนำแสงนั้นว่าเป็นเส้นใยนำแสงมัลติโหมด (multimode fiber)

การแตกกระจายของสัญญาณอันเนื่องมาจากที่แสงแต่ละโหมดเดินทางโดยใช้ระยะเวลาที่แตกต่างกันมีชื่อว่า โหมดคิสเพอร์ชัน (mode dispersion) นอกจากการแตกกระจายของสัญญาณชนิดนี้แล้ว ยังมีสาเหตุอื่นที่ทำให้เกิดการแตกกระจายของสัญญาณอีกก็คือการแตกกระจายของสัญญาณอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอในเนื้อสารในเส้นใยนำแสงนั้นซึ่งเรียกว่า แมทริเรียลคิสเพอร์ชัน (material dispersion) นอกจากนี้แล้วยังมีการแตกกระจายของสัญญาณอันเนื่องมาจากความแตกต่างของความยาวคลื่นในลำแสงที่เคลื่อนที่ไปตามเส้นใยนำแสงนั้น ซึ่งเราเรียกว่า เวฟ

เลนที่ดิสเพอร์ชัน (wavelength dispersion) ข้อดีของเส้นใยนำแสงแบบโหมคเดี่ยวจะเกิดการแตกกระจายของสัญญาณน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเส้นใยนำแสงแบบมัลติโหมค

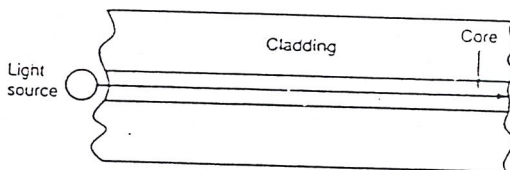
3.3.4 ชนิดของเส้นใยนำแสง

ชนิดของเส้นใยนำแสงสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆได้ตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเห แบ่งตามจำนวนโหมค แบ่งตามสารที่ใช้ผลิต แบ่งตามกรรมวิธีการผลิต แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเส้นใยนำแสงเพียง 3 ชนิดเท่านั้นคือ

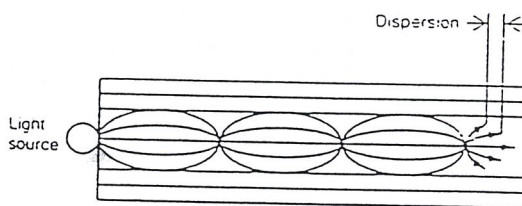
1. แบ่งตามลักษณะการเดินทางของแสง (propagation mode) คือ

1.1 เส้นใยนำแสง single mode โดยแนวลำแสงที่เคลื่อนที่ภายในเส้นใยนำแสงมีเพียงแนวลำแสงเดียวเท่านั้น

1.2 เส้นใยนำแสง Multimode โดยแนวลำแสงที่เคลื่อนที่อยู่ภายในเส้นใยนำแสงมีหลายแนวลำแสงด้วยกัน



(a)



(b)

รูปที่ 3-7 แสดงการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง

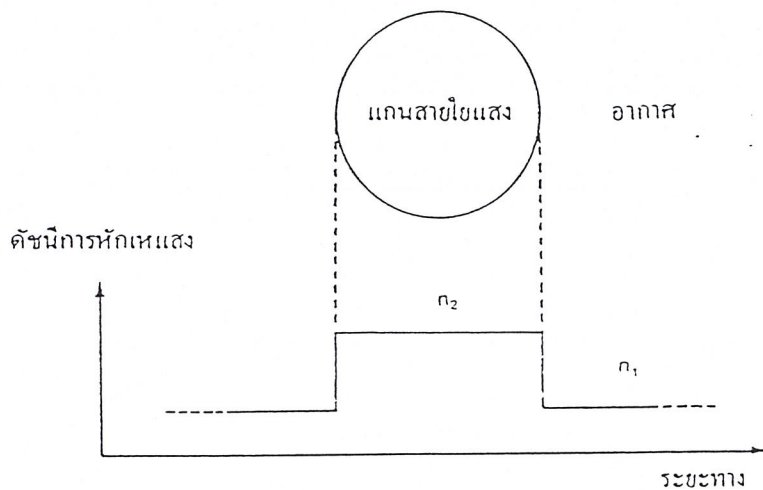
- a) Single mode step-index cable
- b) multimode graded-index cable

2.แบ่งตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของ ค่าดัชนีหักเหของแสงคือ

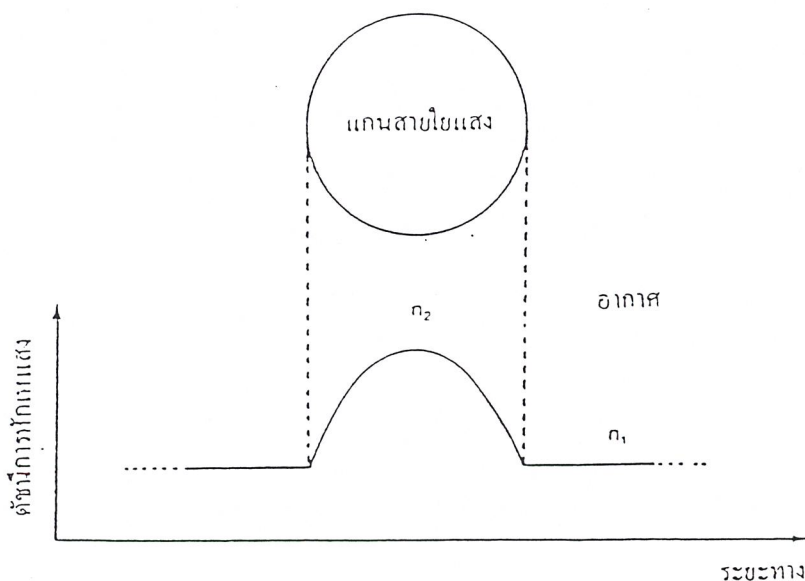
2.1เส้นใยนำแสงชนิดดัชนีชั้นบันได (step-index fiber)

2.2เส้นใยนำแสงชนิดดัชนีรูปมน (graded-index fiber)

โดยเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีชั้นบันไดนั้นแกนของตัวเส้นใยนำแสงดังกล่าวมีค่าดัชนีหักเหของแสงที่สม่ำเสมอเท่ากันตลอดทั้งเส้น ซึ่งเขียนกราฟแสดงค่าดัชนีหักเหแสงของแกนของเส้นใยนำแสง เมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีหักเหแสงของอากาศที่มีอยู่รอบตัวมันแล้วจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3-8 ซึ่งมีลักษณะเหมือนว่าเป็นชั้นบันได ส่วนเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีรูปมนนั้นดัชนีหักเหของแสงค่อยๆเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ เมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีหักเหของแสงของอากาศที่อยู่รอบตัวมันแล้วจะมีลักษณะตามรูปที่ 3-9

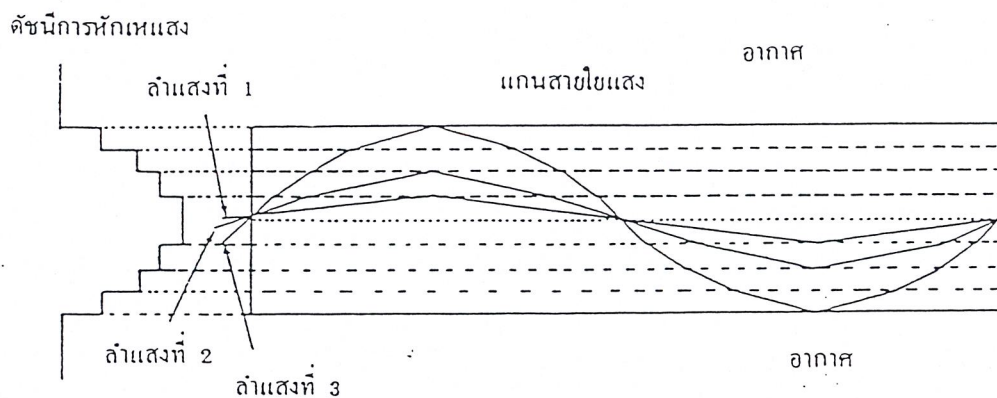


รูปที่ 3-8 แสดงดัชนีหักเหของแสงของเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีชั้นบันได (step-index fiber)



รูปที่ 3-9 แสดงดัชนีหักเหของแสงของเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีรูปมน (graded-index fiber)

เส้นใยนำแสงชนิดดัชนีรูปม่น(graded-index fiber) ถูกสร้างขึ้นเพื่อปรับปรุงลดการแตกกระจายของสัญญาณที่เกิดขึ้นจากเส้นใยนำแสงแบบมัลติโหมดให้น้อยลง โดยลำแสงทุกลำที่เคลื่อนที่ผ่านเส้นใยนำแสงชนิดนี้จะมีเวลาการเดินทางในเวลาเท่ากันจึงเป็นเหตุให้เกิดการแตกกระจายของเส้นใยนำแสงน้อยลง ลักษณะแนวทางการเดินของแสงภายในเส้นใยนำแสงชนิดนี้จะแสดงได้ดังรูปที่ 3-10



รูปที่ 3-10 แสดงแนวทางการเดินของแสงในแกนเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีรูปม่น

สำหรับเส้นใยนำแสงเหล่านี้ ถ้าหากจะแสดงการสูญเสียของแสงเมื่อแสงเดินทางในเส้นใยนำแสงแล้วจะไม่ต่างกัน แต่ถ้าหากแสดงด้วย Transmission bandwidth ว่าสามารถส่งปริมาณข่าวสารได้มากเท่าไรนั้น เส้นใยนำแสงทั้งหลายแบบจะแตกต่างกันมากทีเดียว โดยทั่วไปแล้วเส้นใยนำแสง single mode มี bandwidth กว้างที่สุด รองลงมาคือเส้นใยนำแสง multimode แบบ graded index และถัดมาคือเส้นใยนำแสง multimode แบบ step-index

3. แบ่งตามชนิดของสารที่ใช้ผลิต

3.1 Silica glass optic fiber ซึ่งเป็นสารไดอิเล็กทริกที่เป็น Silica glass นอกจากจะใช้ซิลิกา(SiO_2) ที่บริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่แล้วยังใช้สารอื่นเติมลงไปเพื่อให้ค่าดัชนีหักเหเปลี่ยนแปลงตามต้องการ สารอื่นที่เติมลงไปนี้เรียกว่า โดแพนท (dopant) ได้แก่ เจอร์มันเนียม(Ga), โบรอน (B), ฟลูออรีน(FI) เป็นต้น

3.2 Multi component glass optic fiber ซึ่งใช้สารไดอิเล็กทริกที่เป็นแก้วหลายชนิดปนกัน ส่วนมากจะใช้โซดาแคลเซียม (soda calcium) แก้วที่โบรอนและซิลิคอนผสมสารอื่นๆเป็นหลักส่วนสารเจือได้แก่ โซเดียม(Na) แคลเซียม(ca)

3.3 plastic optic fiber ซึ่งใช้สารไดอิเล็กตริกที่เป็นพลาสติกในการทำเส้นใยนำแสงเป็นพวกที่มีดัชนีหักเหสูง ส่วนมากทำจาก สารโพลิมิทธิลเมทาไครเลท (polymethyl methacrylate) เรียกชื่อย่อๆว่า PMMA ส่วนใหญ่แล้วเส้นใยนำแสงแบบพลาสติกนิยมใช้กันมากเนื่องจากราคาถูก มีการขีดข่วนที่ดี และสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและไม่แตกหักง่าย ส่วนข้อเสียของมันคือเส้นใยนำแสงแบบพลาสติกมีการลดทอนของสัญญาณมาก ส่วนใหญ่เส้นใยนำแสงแบบพลาสติกจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 85-300 ไมครอน

3.4 ความสูญเสียของสัญญาณในระบบการสื่อสารด้วยแสง

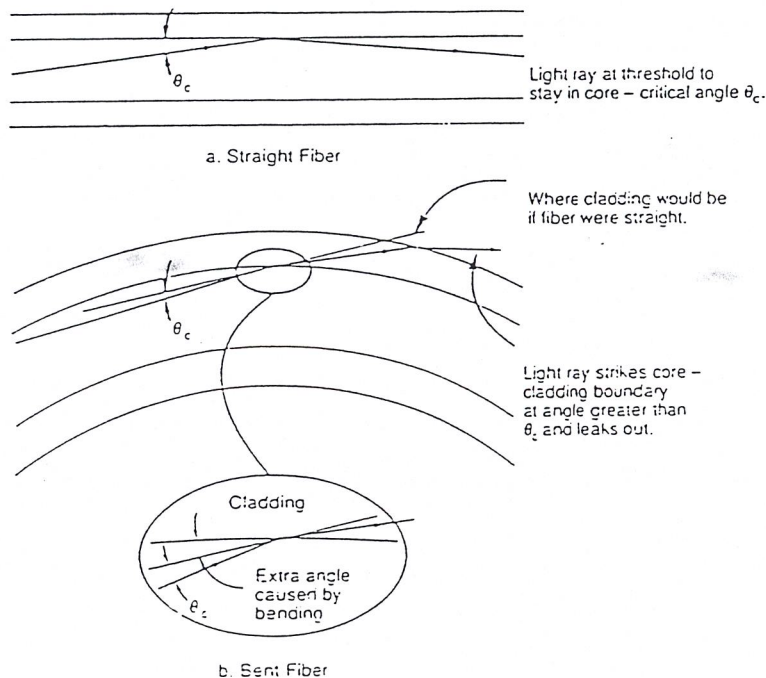
สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการลดทอนของ สัญญาณในระบบการสื่อสารด้วยแสงที่ผ่านเส้นใยนำแสงนั้นเกิดจากการสูญเสียโดยสาเหตุ 4 ประการ

1.ความสูญเสียอันเนื่องมาจากการแผ่รังสีหรือการกระจัดกระจายของคลื่น(scattering loss) ซึ่งเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของเนื้อสารเพราะมีสิ่งเจือปนอื่นๆเช่น อนุภาคของน้ำแฝงปนอยู่ในสาร ซึ่งเป็นแกนของเส้นใยนำแสงนั้น เป็นเหตุให้แสงที่เคลื่อนที่ผ่านไปนั้นเกิดการกระจัดกระจาย ทำให้สูญเสียพลังงานไป

2.ความสูญเสียเพราะถูกดูดซับพลังงาน (absorbtion loss) เกิดขึ้นเนื่องจากเนื้อสารนั้นได้ ซึมซับเอาพลังงานของแสงไว้ โดยแปรรูปของพลังงานแสงไปเป็นพลังงานรูปอื่น เช่นพลังงาน ความร้อน เป็นต้น

3.ความสูญเสียที่จุดต่ออุปกรณ์ (connection loss) เกิดขึ้นเพราะการที่เราไม่สามารถติดตั้ง เครื่องมืออย่างมีประสิทธิภาพเหมือนดังอุดมคติได้

4.ความสูญเสียจากการโค้งงอของเส้นใยนำแสง (bending loss) เมื่อเกิดการโค้งงอของ สายเส้นใยนำแสงจะทำให้ค่ามุมตกกระทบที่ผนังของเส้นใยนำแสงเปลี่ยนแปลงไปและถ้าความโค้งนั้นมีค่ามากพอสมควรแล้วก็จะทำให้แสงบางส่วนเกิดการหักเหออกจากเส้นใยนำแสงได้ จึงทำให้เกิดมีการสูญเสียเกิดขึ้น ดังรูปที่ 3-11



รูปที่ 3-11 แสดงการสูญเสียจากการโค้งงอเส้นใยนำแสง

3.5 แอชการส่งสัญญาณของเส้นใยนำแสง

องค์ประกอบสำคัญที่กำหนดระยะห่างของตัวทวนสัญญาณ (repeater) ในการสื่อสารเส้นใยนำแสง ได้แก่ การสูญเสียแสง (loss) และ Transmission bandwidth ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า เส้นใยนำแสงมีหลายชนิดคือเส้นใยนำแสง multimode แบบ step-index เส้นใยนำแสง multimode แบบ graded index และเส้นใยนำแสง single mode สำหรับเส้นใยนำแสง multimode ทั้ง 2 แบบนั้น ความเร็วในการเดินทางของแสงจะแตกต่างกันตาม mode ทำให้ระยะห่างที่แสงเดินทาง ความกว้างของรูปคลื่นขยายกว้างออกตามระยะทาง นอกจากนั้น ทั้งเส้นใยนำแสง multimode และ single mode ค่า Propagation constant ของสารที่ใช้ทำเส้นใยนำแสงจะมีค่าแตกต่างกันตามความยาวคลื่นของแสง ดังนั้นแสง incoherent light ในขณะที่เดินทาง ความกว้างของรูปคลื่นจะขยายกว้างออกตามระยะทางนั้นคือรูปคลื่นของสัญญาณแสงจะมีรูปร่างผิดไปจากเดิมในการสื่อสารเส้นใยนำแสง

ความเร็วในการส่งและระยะห่างของตัวต้านทานสัญญาณ (repeater) จะขึ้นอยู่กับ Transmission bandwidth นี้

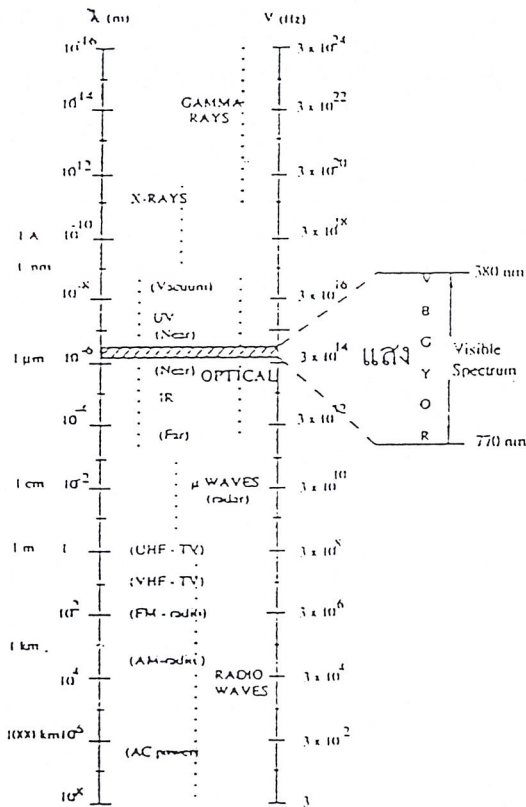
องค์ประกอบที่กำหนด Transmission bandwidth สำหรับเส้นใยนำแสง single mode ซึ่งมี Propagation mode เพียงอันเดียวจึงไม่มีปัญหาจากผลของ dispersion ดังนั้น bandwidth ของการส่งสัญญาณจึงไม่ขึ้นกับความไม่สมบูรณ์ของความเป็น coherent length ของต้นกำเนิดแสง ส่วนเส้นใยนำแสง multimode แบบ graded-index ให้ผลต่างของความเร็วในการเดินทางระหว่าง mode น้อยมาก จึงมี bandwidth กว้างต่างกับ multimode แบบ step-index ที่ให้ dispersion เกิดขึ้น ดังนั้นเส้นใยนำแสงแบบ multimode แบบ graded-index จึงมีสมบัติรองลงมาจากเส้นใยนำแสงแบบ single mode ซึ่งเหมาะแก่การใช้งานในระยะทางไกลและการส่งช่วงสัญญาณจำนวนมากได้

บทที่ 4

ระบบออปโตอิเล็กทรอนิกส์

4.1 แหล่งกำเนิดแสง

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง แสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ (visible light) จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 0.4 μm - 0.7 μm คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้มีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปตามช่วงความยาวคลื่นและช่วงความถี่ ดังแสดงในรูป 4-1



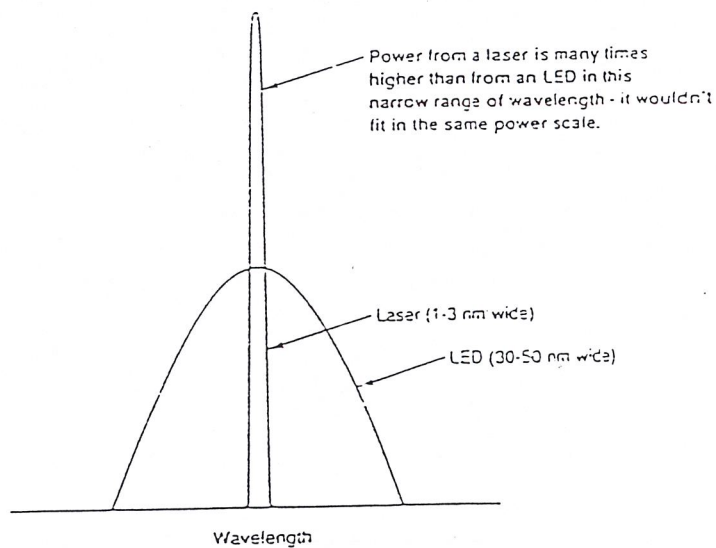
รูปที่ 4-1 แสดงชื่อเรียกและชนิดต่างๆของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

การเลือกช่วงของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสำหรับเส้นใยนำแสงนั้นแสงจะต้องมีความยาวคลื่นที่ทำให้ประสิทธิภาพในการส่งเส้นใยนำแสงมากที่สุด ตามปกติจะใช้กันในช่วง 850 , 1300 หรือ 1550 นาโนเมตร สำหรับเส้นใยนำแสงแบบแก้ว ช่วงของความยาวคลื่นนี้สำคัญมากเนื่องจากช่วงความกว้างของมันมากก็จะเกิดปัญหาการเพี้ยนและการกระจายของสัญญาณ แหล่งกำเนิดแสงจะต้องสามารถให้พลังงานที่เพียงพอที่จะสามารถส่งสัญญาณผ่านเข้าไปในเส้นใยนำแสงได้ และไม่มีผลต่อการเพี้ยนของสัญญาณที่เครื่องรับด้วย แหล่งกำเนิดแสงส่วนมากที่ใช้ในระบบการสื่อสารทางแสงนี้จะเป็นอุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำ คือ light emitter diode หรือ

LED และเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์ (semiconductor laser) และบ่อยครั้งที่จะได้ยินว่า เลเซอร์ไดโอด (laser diode หรือ LD) อุปกรณ์พวกนี้ส่วนมากจะเป็นมาตรฐานที่ใช้ควบคู่กับวงจรที่ใช้ในการสื่อสารระบบนี้ด้วย

4.1.1 ช่วงทำงานของความยาวคลื่น (operating wavelength)

แหล่งกำเนิดแสงความยาวคลื่นมีผลทั้งต่อการลดทอนของสัญญาณและการกระจายของสัญญาณในการส่งผ่านเส้นใยนำแสง ปกติจะใช้ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 750 - 850 , 1300 และ 1500 นาโนเมตร ในเส้นใยนำแสงชนิดซิลิกอน และประมาณ 660 ในเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกความกว้างของช่วงสเปกตรัมหรือช่วงความยาวที่ส่งนี้ สำหรับแหล่งกำเนิดที่เป็น LED และแหล่งกำเนิดเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์จะมีความแตกต่างกันตามรูปที่ 4 -2



รูปที่ 4 -2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความกว้างของ

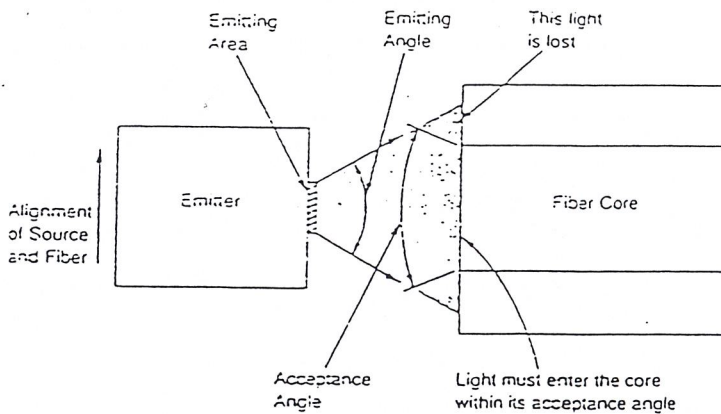
สเปกตรัมของ LED และเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์

ความยาวคลื่นที่ปลดปล่อยออกมาและช่วงความกว้างของสเปกตรัมขึ้นอยู่กับความแตกต่างของส่วนประกอบความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาขึ้นอยู่กับสารกึ่งตัวนำที่นำมาทำแหล่งกำเนิดแสงส่วนช่วงสเปกตรัมขึ้นอยู่กับโครงสร้างของอุปกรณ์ ทั้งแหล่งกำเนิดที่เป็นเลเซอร์และ LED นั้นทำมาจากสารกึ่งตัวนำเหมือนกัน แต่ LED จะมีความกว้างของช่วงสเปกตรัมมากกว่าซึ่งถ้าเป็น

เลเซอร์ 2 อัน ที่มีโครงสร้างเหมือนกันแต่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกัน ช่วงสเปกตรัมแคบ คล้ายกันแต่ความยาวคลื่นต่างกัน

4.1.2 พลังงานและการเชื่อมต่อของแสง (Output Power and Light Coupling)

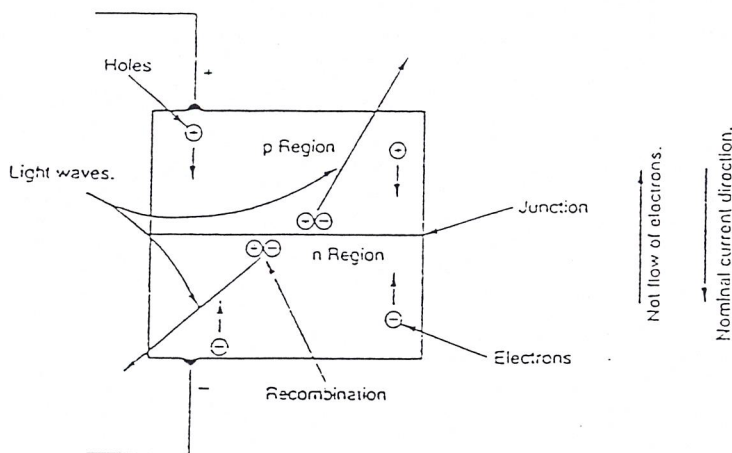
พลังงานที่ใช้ในการสื่อสารทางแสงนี้แหล่งกำเนิดแสงต้องมีพลังงานที่สอดคล้องกับเส้นใยนำแสงที่ใช้ซึ่งโดยปกติจะใช้พลังงานอยู่ในช่วงที่มากกว่า 100 มิลลิวัตต์ สำหรับแหล่งกำเนิดที่เป็นเลเซอร์และ 100 ไมโครวัตต์สำหรับแหล่งกำเนิดที่เป็น LED พลังงานเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับมุมของแสงที่ปล่อยออกจากแหล่งกำเนิด ขนาดของพื้นที่หน้าตัดของช่องปล่อยแสง การจัดเรียงของแหล่งกำเนิดกับเส้นใยนำแสง และลักษณะการรับแสงของเส้นใยนำแสง ดังรูปที่ 4 - 3 ความเข้มของแสงที่ปล่อยออกมาจะไม่สม่ำเสมอที่แสงถูกปล่อยออกมาแต่แสงจะมีความเข้มมากตรงตำแหน่งศูนย์กลางการปล่อยปกติเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์จะไม่มีการกระจายของแสงที่มุมประมาณ 10 - 20 ° และแสงจาก LED จะกระจายแสงด้วยมุมที่ใหญ่กว่ามุมของเลเซอร์



รูปที่ 4 - 3 แสดงการส่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสู่เส้นใยนำแสง

4.1.3 แหล่งกำเนิดแสงของ LED (light - emission diode source)

LED เป็นแหล่งกำเนิดแสงในช่วงที่ตามองไม่สามารถมองเห็นได้อยู่ในช่วงของแสงอินฟราเรด (infrared light) โดยปกติแหล่งกำเนิดนี้ใช้ในการสื่อสารระยะสั้นๆ แนวคิดพื้นฐานของการปล่อยแสงของ LED นี้แสดงดังรูปที่ 4-4 ถ้ามีแรงดันไฟอย่างอ่อนตกคร่อมเซมิคอนดักเตอร์ไดโอด (semiconductor diode) จะมีผลทำให้มีการไหลของกระแสตกคร่อมในรอยต่อ เนื่องจากไดโอดทำขึ้นจากพื้นที่ 2 บริเวณ แต่ละบริเวณมีการเจือสารไม่บริสุทธิ์ (impurities) ทำให้มีลักษณะความต้องการทางไฟฟ้าต่างกัน บริเวณด้าน P จะถูกเจือด้วยสารเจือไม่บริสุทธิ์ที่น้อยกว่า อะตอมของสารกึ่งตัวนำจะทำให้เกิดโฮล (hole) บริเวณด้านเอ็นจะถูกเจือด้วยสารเจือไม่บริสุทธิ์ซึ่งจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระเกิดขึ้น (free electron) ดังนั้นจึงมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่มากมายในโครงสร้างผลึก ถ้าใส่แรงดันไฟบวกให้กับด้านพีและใส่แรงดันไฟลบที่ด้านเอ็นมีผลทำให้อิเล็กตรอนและโฮลเคลื่อนที่มารวมตัวกันตรงรอยต่อของทั้ง 2 บริเวณ ถ้าให้แรงดันไฟอย่างต่อเนื่องอิเล็กตรอนก็จะเคลื่อนที่ผ่านไปเป็นไดโอดและเกิดการรวมตัวกันอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 4-4 แสดงลักษณะการทำงานของ LED

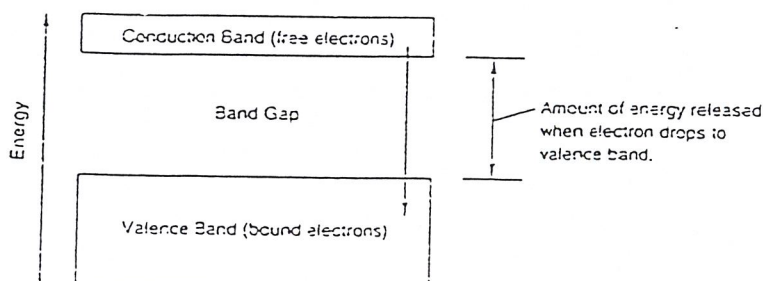
สารกึ่งตัวนำหลายชนิดไม่จำเป็นต้องเป็นซิลิคอนและเจอร์มาเนียมจะมีการปล่อยพลังงานความร้อนซึ่งเกิดจากการสั่นในโครงผลึก ซึ่งในสารที่นำมาทำเป็น LED นี้การรวมตัวกันของพาหะจะทำให้เกิดโฟตอนของแสงขึ้นซึ่งเกิดจากการปล่อยมาจากสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำที่มีความสำคัญที่สุดคือ แกลเลียมอะเซไนด์ (Gallium arsenide) และอื่นๆ ชาติในหมู่ที่ 3a และ 5a ในตารางธาตุดังแสดงในตาราง

3a	5a
อะลูมิเนียม (Al)	ไนโตรเจน (N)
แกเลียม (Ga)	อะเซนิค (As)
อินเดียม (In)	ฟอสฟอรัส (P)
	แอสโตโนมี (Sb)

ตาราง 4 - 1 แสดงธาตุหมู่ที่ 3a และ 5a ที่มีความสำคัญ

ช่วงความยาวคลื่นที่ถูกปล่อยออกมานั้นขึ้นอยู่กับระดับพลังงานภายในของสารกึ่งตัวนำ ถ้าเป็นสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิค่า อิเล็กตรอนทั้งหมดจะมีพันธะอยู่ภายในโครงสร้างผลึก ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นอิเล็กตรอนบางตัวจะแตกจากพันธะแล้วกระโดดสู่ระดับพลังงานที่สูงกว่าเรียกว่าระดับคอนดักชัน (conduction level) ทำให้พวกมันสามารถที่จะเคลื่อนที่อย่างอิสระในโครงสร้างผลึกนั้น แถบพลังงานชั้นวาเลนซ์ (valence band) และแถบพลังงานคอนดักชัน (conduction band) จะแยกกันอยู่โดยมีระดับพลังงานที่แบ่งกันเอาไว้เรียกว่า แถบพลังงานหวงห้าม (band gap) ซึ่งจะเป็นตัวบอกคุณลักษณะหลายอย่างของสารกึ่งตัวนำ

แถบพลังงานคอนดักชันจะมีอิเล็กตรอนอิสระหลังจากเกิดโฮลที่แถบพลังงานวาเลนซ์ซึ่งมันจะถูกพิจารณาว่าเป็นประจุบวก โฮลนี้สามารถเคลื่อนที่ได้ อิเล็กตรอนจากตำแหน่งอื่นๆในโครงสร้างผลึกจะเคลื่อนที่มารวมตัวกับโฮลและแตกออกเป็นโฮลตามเดิมอีกครั้ง สารเจือที่ไม่บริสุทธิ์ของสารกึ่งตัวนำจะเป็นตัวกำเนิดอิเล็กตรอนและโฮล เมื่ออิเล็กตรอนตกจากแถบพลังงานคอนดักชันลงสู่แถบพลังงานวาเลนซ์จะเกิดการปล่อยพลังงานที่มีค่าเท่ากับความแตกต่างของพลังงานของทั้งสองระดับ ดังรูป 4.5



รูปที่ 4-5 แสดงระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำ

ความแตกต่างของระดับพลังงานทั้งสองหรือแถบพลังงานหวงห้ามซึ่งทำให้เกิดจำนวนพลังงานที่คายออกมาและความยาวคลื่นที่ถูกปล่อยซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารกึ่งตัวนำนั้นตามปกติแล้วจะใช้ LED ในเส้นใยนำแสงแบบพลาสติกซึ่งทำจากแกเลเลียมอะลูมิเนียมอะเซไนด์ (Gallium aluminum arsenide) หรือแกเลเลียมอะเซไนด์

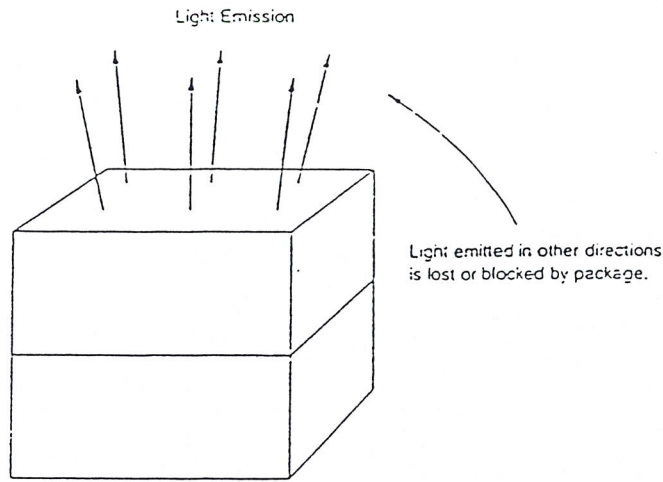
(Gallium arsenide) LED แบบแกเลเลียมอะเซไนด์จะให้แสงอยู่ในช่วง 930 นาโนเมตร ถ้าเพิ่มอุณหภูมิเข้าไปจะเกิดการลดลงของค่าขีดเริ่ม (threstold current) ซึ่งทำให้มีช่วงชีวิตดีขึ้นและสามารถเพิ่มพลังงานในแถบพลังงานหวงห้ามทำให้แสงที่ปล่อยออกมาอยู่ในช่วง 750 - 900 นาโนเมตร ความยาวคลื่นที่ใช้งานอยู่ที่ 820 - 850 นาโนเมตร ที่อุณหภูมิห้อง

สารประกอบสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น ๆ ก็สามารถนำมาใช้ทำ LED ได้ซึ่งจะมีช่วงความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาแตกต่างกันออกไป เช่น แกเลเลียมอะเซไนด์ฟอสไฟด์ (Gallium arsenide phophide) ให้แสงในช่วง 665 นาโนเมตร เป็นแสงสีแดง แต่จะไม่ดีเท่าแกเลเลียมอะลูมิเนียมอะเซไนด์ (GaAlAs) และ GaAsP มีราคาสูงกว่า GaAlAs แต่มีคุณภาพในการทำงานต่ำกว่า

สารประกอบสารกึ่งตัวนำที่สำคัญมีคุณภาพสูงคือ อินเดียมแกเลเลียมอะเซไนด์ฟอสไฟด์ (InGaAsP) ทำจากอินเดียมแกเลเลียมอะเซไนด์และฟอสฟอรัสรวมกันด้วยจำนวนของอินเดียม (Indium) อย่างเท่าๆกัน และเติมอะเซไนด์กับฟอสฟอรัสลงไปด้วย ผลของสารประกอบนี้คือเขียนได้เป็น $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$ เมื่อ x เป็นสัดส่วนของอินเดียมและ y เป็นสัดส่วนของอาร์เซนิกซึ่งพวกนี้จะถูกเรียกว่า ควอเทอร์นารี

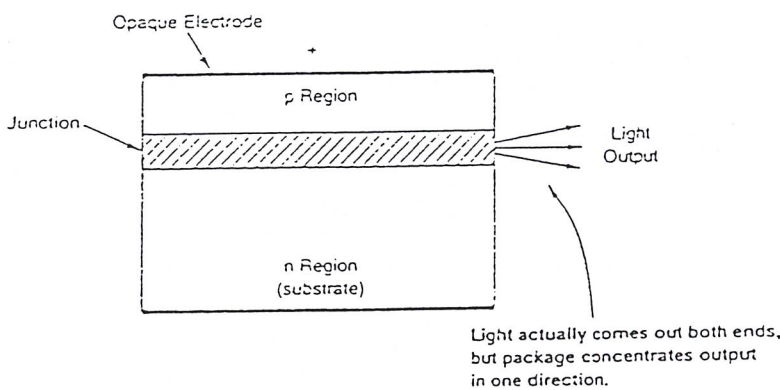
(quaternary) เป็นพวกที่มี 4 สารประกอบพวกนี้ทำยากกว่าเทอร์นารี (ternary) พวก 3 สารประกอบคือ GaAlAs ซึ่งให้ความยาวคลื่น 1300 และ 1550 nm LED บ่อยครั้งใช้ในระบะสั้นๆโดยใช้ความยาวคลื่น 1300 nm เพื่อความสะดวกและการแตกกระจายของสีน้อย แต่ 1550 nm นั้นความแตกกระจายมีมากกว่า

คุณลักษณะอื่นๆของ LED ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์และโครงสร้างภายใน ซึ่งไม่สามารถอธิบายทิศทางของการเกิดแสงได้ ในความจริงแล้วตัวอย่างการเกิดแสงในทุกทิศทางแสดงดังรูปที่ 4-6 และรูปแบบส่วนใหญ่จะเกิดการปล่อยแสงจากผิวหน้าของมัน แสงที่ถูกปล่อยออกมาจะเป็นรูปทรงกรวยแบบกว้างๆ ซึ่งความเข้มของแสงจะตกมากและจะเป็นไปตามมุมของรอยต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำ เรียกว่าเป็นการกระจายแบบแลมเบิร์ตเทียช (Lambertian ditribution)



รูปที่ 4-6 แสดงลักษณะการส่องแสงของ LED

โครงสร้างพื้นฐานที่แตกต่างกันคือ ไดโอดที่เปล่งแสงทางขอบ (edge emitter diode) ดังแสดงในรูป 4-7 บริเวณที่สัมผัสกับคุณสมบัติของไฟฟ้าจะครอบคลุมทั้งด้านบนสุดและล่างสุดของขอบอิมิตเตอร์ ดังนั้นแสงจึงไม่สามารถออกมาได้ LED จะจำกัดแสงให้อยู่ในแนวแถบในระนาบของรอยต่อ p/n ซึ่ง LED ที่สร้างขึ้นนี้จะถูกล้อมรอบด้วยบริเวณที่มีดัชนีหักเหต่ำกว่า โดยการสร้างท่อนำคลื่น (waveguide) ซึ่งมีหน้าที่เหมือนกันกับเส้นใยแสงและทำการปล่อยแสงออกจากปลายทั้งสองซึ่งสามารถที่จะต่อเชื่อมเข้าไปในเส้นใยแสง ข้อเสียคือเมื่อปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้นจะทำให้ LED เสียหาย



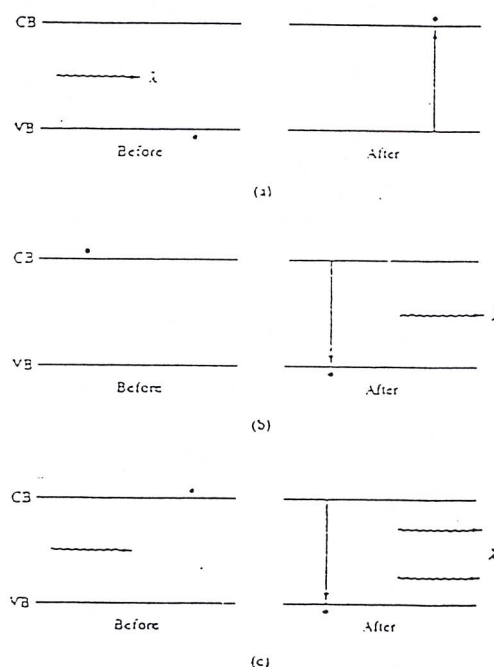
รูปที่ 4-7 แสดงการปล่อยแสงของ LED แบบ edge-emitter diode

4.1.4 แหล่งกำเนิดเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์ (Semiconductor Laser Sources)

ถึงแม้ว่าเซมิคอนดักเตอร์จะมีพื้นที่ในการปล่อยแสงเหมือน LED แต่จะให้แสงในช่วงที่ต่างกัน ซึ่งมีผลต่อพลังงานที่ดีกว่าและทิศทางที่แน่นอนกว่า

4.1.4.1 การปล่อยแสงด้วยการกระตุ้น (Stimulated Emission)

แสงจะถูกปล่อยออกมาเมื่อมีอิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าตกลงสู่ระดับพลังงานที่ต่ำกว่าซึ่งจะให้พลังงานออกมา โดยจะปลดปล่อยแสงที่มีอิทธิพลจากภายนอกซึ่งเรียกว่า การปล่อยแสงตามธรรมชาติ (spontaneous emission) แต่ก็จะเป็นเพียงชั่วขณะเท่านั้น ถ้าเราใช้เวลารอบๆการเกิดแสงอย่างการปล่อยแสงตามธรรมชาตินี้โดยสมมติว่ามีอิเล็กตรอนอยู่ที่ระดับพลังงานบนซึ่งพร้อมที่จะปลดปล่อยพลังงานอยู่แล้วและใส่พลังงานโฟตอนเข้าไป ซึ่งจะเป็นจำนวนของพลังงานที่อิเล็กตรอนต้องการที่จะปลดปล่อย โฟตอนภายนอกนี้สามารถกระตุ้นให้อิเล็กตรอนจากระดับพลังงานชั้นบนสู่ระดับพลังงานชั้นล่างและคายพลังงานออกมาเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นเดิมได้ กระบวนการนี้เรียกว่า การขยายแสงด้วยการกระตุ้น (Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation) หรือเรียกย่อๆว่า LASER ซึ่งแสดงได้ตามไดอะแกรมของการปล่อยแสงแบบต่างๆ ในรูปที่ 4-8



รูป 4-8 a) การดูดกลืนพลังงาน

b) การปล่อยตามธรรมชาติ

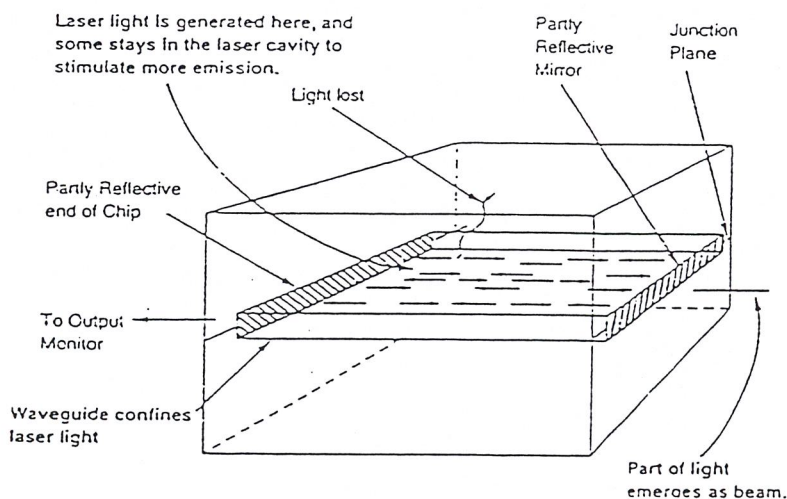
c) การปล่อยโดยการกระตุ้น

4.1.4.2 Population Inversion

เงื่อนไขพิเศษที่ต้องสนใจของการเกิดเลเซอร์ คือ มีจำนวนอิเล็กตรอนหรืออะตอมหรือโมเลกุลอยู่มากในชั้นระดับพลังงานด้านบนมากกว่าชั้นระดับพลังงานด้านล่าง เงื่อนไขนี้เรียกว่า population inversion เนื่องจากตามปกติอิเล็กตรอนมากมายอยู่ในชั้นล่างอยู่แล้ว สิ่งนี้เป็นสิ่งจำเป็นเนื่องจากอะไรก็ตามที่อยู่ในระดับพลังงานชั้นล่างนั้นสามารถดูดกลืนแสงที่ถูกปล่อยออกมาได้ โดยจะมีการดูดกลืนแสงมากกว่าการปล่อยแสง ถ้ามีเงื่อนไขนี้เกิดขึ้น การกระตุ้นให้เกิดการปล่อยแสงก็จะหยุดลงในทุกทิศทาง

4.1.4.3 การจัดรูปของลำเลเซอร์ (Laser Beam Formation)

ลำแสงเลเซอร์ถูกจัดรูปแบบโดยอุปกรณ์สำหรับเพิ่มค่าเรโซแนนซ์ (resonator) ซึ่งเป็นตัวจำกัดขอบเขตของแสงและทำให้ผ่านมาอีกครั้งในตัวกลางที่ถูกกระตุ้น ดังรูปที่ 4-9 สำหรับเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์ เรโซเนเตอร์นี้สามารถทำได้จากส่วนของกระจกที่ขอบแต่ละด้านของบริเวณที่อะตอมถูกกระตุ้นนั้นอยู่ แสงที่ถูกปล่อยออกมาจะเคลื่อนไปข้างหน้าตรงไปกระจกด้านหนึ่งแล้วจะสะท้อนกลับและเป็นอย่างนี้ต่อไปแสงที่ถูกกระตุ้นให้ปล่อยอิเล็กตรอนจะรวมกันเข้ากับแสงที่ผ่านระนาบของรอยต่อ แสงที่ถูกปล่อยในทิศทางอื่นๆจะรั่วไหลออกไป ดังนั้นแสงที่มีการเดินทางกลับมามาตลอดทางแคบๆ ของบริเวณที่ถูกกระตุ้นจะถูกขยายและสร้างขึ้นเป็นลำแสงเลเซอร์

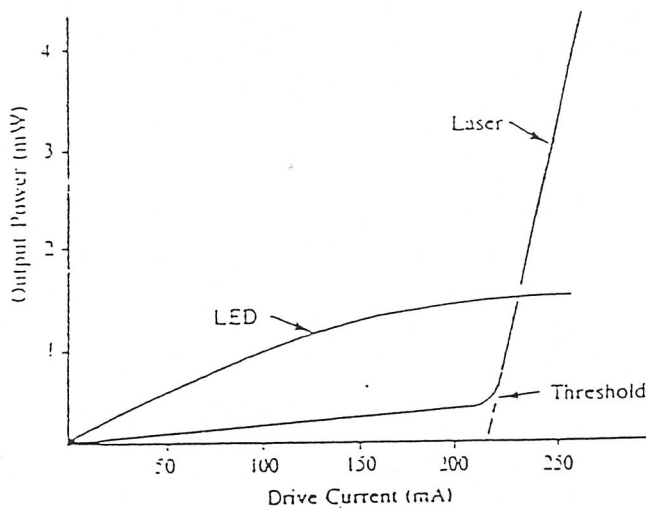


รูปที่ 4-9 แสดงพื้นฐานการเกิดเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์

ส่วนปิดกั้นที่เห็นแสดงอยู่เป็นกระบวนการที่ยุ่งยากเล็กน้อยจะอยู่ส่วนขอบล่างของโครงสร้างผลึกของสารกึ่งตัวนำที่เรียกว่าแฟคเค็ต (facets) ซึ่งแฟคเค็ตตอนท้ายจะทำให้แสงทะลุออกมาแต่จะควบคุมการสะท้อนของแสงส่วนใหญ่ ในทางปฏิบัติแฟคเค็ตที่อยู่ด้านหน้าจะไม่ทำให้แสงออกมาแต่จะทำให้แสงสะท้อนไปมาในสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำเป็นสารที่ถูกกระตุ้นให้ปล่อยแสงมาก ดังนั้นที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นจึงจำเป็นต่อการสร้างลำแสงเลเซอร์

4.1.5 ความแตกต่างของแหล่งกำเนิด (Functional Differences)

สิ่งที่แตกต่างกันระหว่าง LED กับเลเซอร์ไดโอดนั้นมีอยู่สองประการคือ ถ้าเป็น LED นั้นจะไม่มีตัวเรโซเนเตอร์ แต่ก็สามารถสร้างให้มีขนาดเล็กได้และเลเซอร์นั้นต้องทำเป็นแรงขับกระแสสูงเพื่อที่จะได้ความหนาแน่นของเลเซอร์มากเอาที่พู่ของเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์ขึ้นอยู่กับแรงขับกระแสที่ผ่านทะลุตัวมันโดยต้องมีแรงดันไบอัสที่มีค่าแรงขับกระแสอย่างน้อยตามต้องการและยาวนาน ที่ค่ากระแสต่างๆเลเซอร์ที่ถูกปล่อยออกมาจะอ่อนเหมือนการปล่อยแสงตามธรรมชาติ (spontaneous emission) ซึ่งมีประสิทธิภาพเหมือนกับ LED ถ้ากระแสที่ให้ผ่านค่าขีดเริ่มไปแล้วนั้นก็จะเป็นลำแสงเลเซอร์ และเพิ่มความเข้มข้นเรื่อยๆ ดังรูป 4-10



รูป 4-10 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสขับกับกำลังของแสงที่ปล่อย

$$P = N \cdot hc / \lambda = (\eta \cdot E_g \cdot I) / e$$

เมื่อ N คือ จำนวนของการประจุต่อวินาที

η	คือ	อัตราส่วนการแพร่กระจายประจุที่ถูกรวมตัว
E_g	คือ	พลังงานแถบหวงห้ามของสารในหน่วยของจูล

ความแตกต่างในโครงสร้างนี้เป็นส่วนสำคัญ เลเซอร์นั้นสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า LED ธรรมดาและให้กระแสขั้วที่สูงด้วยคั้งนั้นเลเซอร์จึงมีกำลังงานมากกว่า LED ความเข้มของแสงที่ปล่อยออกมานั้นจะเป็นลำแคบกว่าแสงจาก LED ซึ่งสามารถดูได้จากรูป 4-1 ที่กล่าวมาแล้ว

4.1.6 ความยาวคลื่นของเลเซอร์ไดโอด

แสงเลเซอร์ของเลเซอร์ไดโอดนั้นขึ้นอยู่กับสิ่งทีประกอบขึ้นของชั้นรอยต่อของสารกึ่งตัวนำเหมือนกับ LED สารประกอบของสารกึ่งตัวนำส่วนใหญ่ที่นำมาทำเป็นแหล่งกำเนิดแสงสำหรับเส้นใยแก้วนำแสงจะใช้สารประกอบสารกึ่งตัวนำหมู่ที่ 3 รวมกับหมู่ที่ 5 เช่น แกลเลียมอะเซไนด์ (Gallium arsenide) หรืออินเดียมฟอสไฟด์ (Indium phosphide) โดย

1. $\text{Ga}_{(1-x)}\text{Al}_x\text{As}$ บน GaAs ความยาวคลื่น 780 nm ถึง 850 nm

2. $\text{In}_{0.73}\text{Ga}_{0.27}\text{As}_{0.58}\text{P}_{0.42}$ บน InP ความยาวคลื่น 1310 nm

3. $\text{In}_{0.58}\text{Ga}_{0.42}\text{As}_{0.9}\text{P}_{0.1}$ บน InP ความยาวคลื่น 1550 nm

โดยที่ InGaASP ยังให้ความยาวคลื่นอยู่ในช่วงระหว่าง 1100 nm ถึง 1600 nm และ InGaAs ให้ความยาวคลื่น 980 nm

4.1.7 สเปกตรัมของเลเซอร์ (Laser output spectrum)

เป็นที่รู้กันอยู่แล้วว่าเลเซอร์ไดโอดจะให้แถบสเปกตรัมที่แคบกว่า LED มากจึงทำให้เลเซอร์ไดโอดมีความสามารถในการส่งสัญญาณด้วยความเร็วสูงผ่านเส้นใยนำแสงโดยทำให้มีการแตกกระจายของสัญญาณน้อย ถึงอย่างไรก็ตามก็ขึ้นอยู่กับขนาดของแถบสเปกตรัมที่มีขนาด 1-3 nm ก็ใหญ่เพียงพอที่จะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการแตกกระจายของสัญญาณสเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอด ถึงแม้ว่าจะมีความเข้มของกำลังงานมากที่สุดที่ความยาวคลื่นหนึ่งก็ตาม แต่ในเลเซอร์ไดโอดการเกิดเลเซอร์ออสซิลเลชัน (Laser Oscillation) ที่ต่อเนื่องกันทำให้อัตราการขยายซึ่งมีผลต่อการเกิดความยาวคลื่นอื่นๆ ด้วย แต่ความยาวคลื่นเดียวเท่านั้นที่มีอัตราขยายสูงสุดระหว่างระยะทางของตัวเรโซเนเตอร์ที่กำเนิดเลเซอร์โดยความยาวคลื่นหาได้จาก

$$2D = N\lambda$$

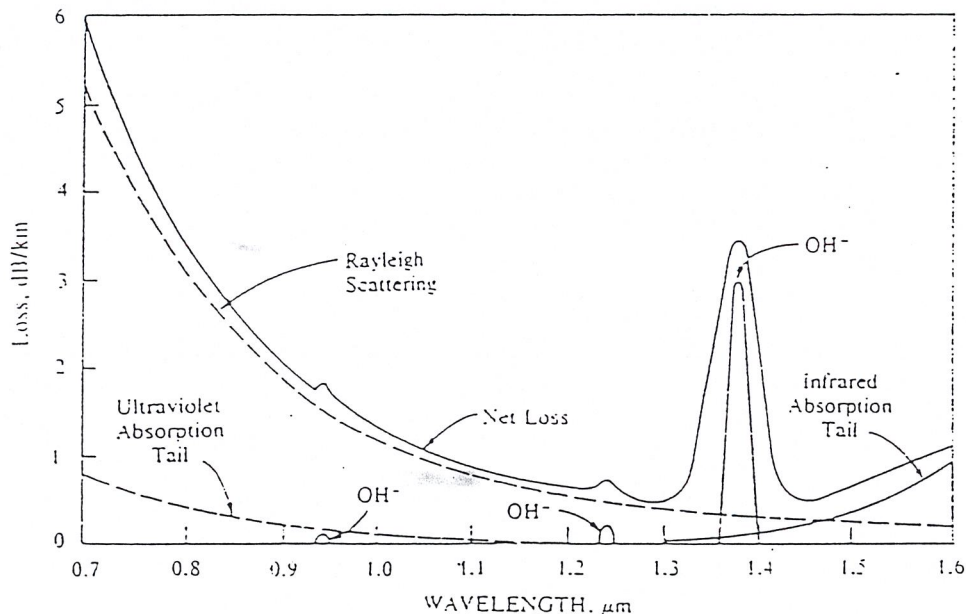
เมื่อ $2D$ คือ ระยะไปกลับระหว่างเรโซเนเตอร์ในหนึ่งรอบ

N คือ จำนวนเต็ม

โดยความยาวคลื่นนั้นต้องอยู่ในขอบเขตของความยาวคลื่นของเลเซอร์ที่เกิดจากการปล่อยโดยการกระตุ้น

4.1.8 Fiber Transmission Windows

ทั้งแหล่งกำเนิดที่เป็น LED และเลเซอร์ไดโอดจะมีลักษณะการส่งผ่านเหมือนกันถึงแม้ว่าจำนวนค่าตัวเลข (numerical value) จะต่างกัน คุณลักษณะเด่นของการปล่อยแสงนั้นจะต้องเข้ากันได้กับช่องการปล่อยให้ผ่านของเส้นใยนำแสง (Fiber Transmission Windows) ซึ่งตามปกติจะมีค่าอยู่ที่ 0.85, 1.3 และ 1.5 ไมโครเมตร โดยแสดงไว้ดังรูปที่ 4-11 ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียในเส้นใยนำแสงน้อย วัสดุที่ใช้ทำแหล่งกำเนิดนั้นสามารถทำให้มีพฤติกรรมตามช่องทางนี้ได้



รูปที่ 4-11 Fiber Transmission Windows

อัตราส่วนของการได้ป็นสารที่เป็นวัสดุที่ใช้ทำเลเซอร์ไดโอด จะสามารถหาช่องว่างแถบพลังงาน (band gap) ของสารผสมนั้นได้ ซึ่งจะทำให้ได้ความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาด้วย สมการด้านล่างนี้ใช้ในการหาความคลื่นที่ปล่อยออกมาเมื่อทราบค่าช่องว่างแถบพลังงานของสารผสมนั้น

$$\lambda (\mu\text{m}) = 1.24 / E_g (\text{eV})$$

เมื่อ λ คือ ความยาวคลื่นที่ต้องการหา
 E_g คือ ช่องว่างแถบพลังงานในหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์

4.2 วงจรขับ

เป็นส่วนที่ในการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสงเข้ากับแสง โดยให้ความเข้มของกระแสเป็นตัวกำหนดความเข้มของแสงที่จะปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดที่ใช้แล้วส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสงเรียกว่าอินเทนซิติมอดูเลชัน (Intensity Modulation) โดยความยาวคลื่นของสัญญาณแสงจะมีค่าสั้นกว่า (ความถี่มากกว่า) ความยาวคลื่นของสัญญาณไฟฟ้า มากดังนั้นความถี่ของสัญญาณไฟฟ้า จึงเป็นตัวที่ทำหน้าที่เป็นอินเวลลอปของสัญญาณแสงที่ออกมา

4.2.1 การออกแบบตัวส่งแสง (Transmitter design)

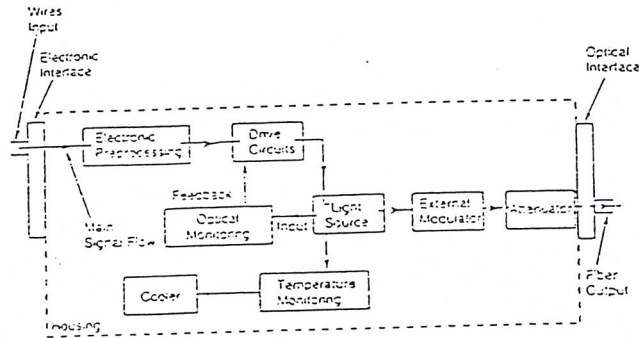
แหล่งกำเนิดแสงเป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบ โดยตัวส่งแสงจะต้องสอดคล้องกับประเภทของแหล่งกำเนิดแสงด้วย และสอดคล้องกับประเภทของสัญญาณที่ส่งด้วยว่าเป็นอนาลอกหรือดิจิทัล โดยการออกแบบจะต้องมีตัวเรือน ซึ่งถือว่าเป็นส่วนที่ต้องการเพื่อช่วยป้องกันแหล่งกำเนิดไม่ให้เกิดความเสียหายและช่วยในการสร้างสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์และช่วยในการส่งแสงผ่านเส้นใยนำแสง โดยส่วนประกอบภายในจะต้องเป็นส่วนช่วยในการต่อแสงเชื่อมกับเส้นใยนำแสง และยังต้องการวงจรขับเพื่อขับกระแสและการควบคุมอุณหภูมิ

4.2.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของตัวส่งแสง

ในตัวเรือนของตัวส่งแสงจะต้องประกอบไปด้วยอุปกรณ์พื้นฐานที่จะกล่าวนี้ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้สามารถแสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 4 -12

1. ตัวเรือน (housing)
2. ส่วนเชื่อมต่อทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic interfaces)
3. ส่วนเชื่อมต่อทางแสง (Optical interfaces)
4. วงจรขับ (Drive circuitry)
5. ส่วนควบคุมอุณหภูมิและส่วนหล่อเย็น (Temperature sensing and cooling)
6. กระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic processing)
7. ส่วนของมอนิเตอร์ทางแสง (Optical monitoring)
8. ตัวลดทอนสัญญาณ (Attenuator)

โดยบางครั้งอาจจะมีอุปกรณ์ส่วนอื่นๆเข้ามาเกี่ยวข้องกับข้อด้วยเช่น External modulator ในกรณีที่แหล่งกำเนิดไม่สามารถมอดูเลตแสงได้เอง หรือส่วนของการลดทอนสัญญาณในกรณีที่มีการติดต่อสื่อสารในระบบสั้นๆ

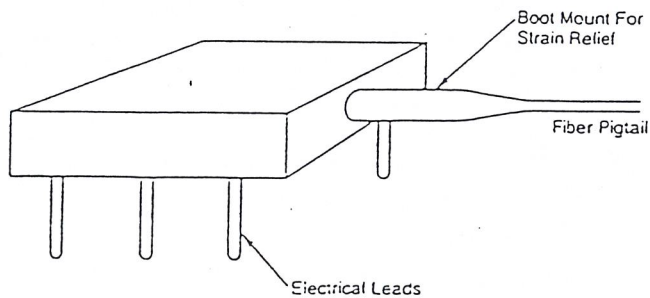


รูปที่ 4-12 แสดงส่วนประกอบในการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยนำแสง

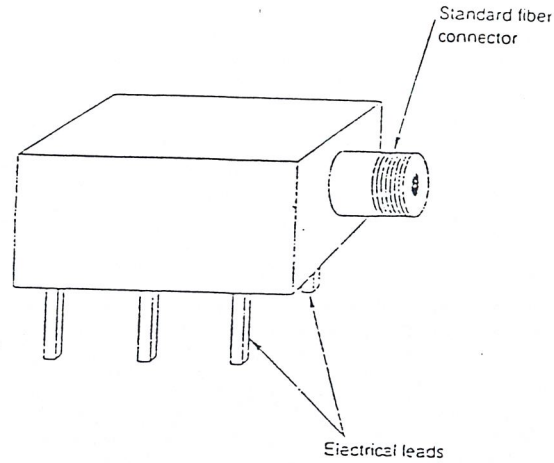
1. ตัวเรือน (housing) ตัวเรือนนี้จะมีรูปแบบอย่างง่าย ๆ โดยจะออกแบบเป็นกล่องสี่เหลี่ยมเพื่อความสะดวกซึ่งจะมีหัวต่อสองส่วนคือ ส่วนเชื่อมต่อทางแสงและส่วนเชื่อมต่อทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งส่วนใหญ่จะออกแบบเป็นมาตรฐาน

2. ส่วนเชื่อมต่อทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic interfaces) ส่วนนี้อาจจะเป็นสายไฟ (wire) ธรรมดา หรือเป็นขาขึ้นออกมาจากรูปทรงของหีบห่อ (packages) ตัวส่งแสงอย่างง่ายสามารถที่จะขับเคลื่อนด้วยสัญญาณไฟฟ้าที่เข้าไปได้โดยตรง

3. ส่วนเชื่อมต่อทางแสง (Optical interfaces) เป็นการเชื่อมต่อแหล่งกำเนิดและเส้นใยนำแสง ดังแสดงในแ ซึ่ง เป็นหัวต่ออยู่ในตัวเรือน แสงจะถูกส่งไปยังเส้นใยนำแสงโดยเลนส์ข้างในที่ประกอบด้วย collimating lens และส่วนเส้นใยนำแสง ส่วน Fiber Pigtail จะทำการรวมแสง จากบริเวณที่มีแสงเปล่งออกมาและส่งไปยังข้างนอกซึ่งสามารถต่อเข้ากับเส้นใยนำแสงภายนอกได้



a) Transmitter with Fiber Pigtail



(b) Transmitter with Integral Connector

รูปที่ 4-13 แสดงส่วนเชื่อมต่อทางแสงของตัวส่ง

4. วงจรขับ (Drive circuitry) ขึ้นอยู่กับชนิดของการใช้งาน ขนาดข้อมูล และแหล่งกำเนิดแสง LED สามารถถูกขับได้โดยตรง โดยอาศัยแหล่งกำเนิดกระแส (current source) ที่เหมาะสม (ถึงแม้ว่าสัญญาณส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแรงดันและจะต้องถูกแปลงให้เป็นกระแส) อย่างไรก็ตาม เซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์จะต้องถูกไบอัสจนถึงระดับกระแสที่ใกล้เคียงกับค่า laser threshold

5. ส่วนควบคุมอุณหภูมิและส่วนหล่อเย็น (Temperature sensing and cooling) คุณลักษณะการทำงานของเซมิคอนดักเตอร์ อันได้แก่ threshold current กำลังเอาต์พุตและความยาวคลื่นจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ค่า threshold current จะเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โปเนนเชียลตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป $\Delta T = (T_1 - T_2) / T_1$ ซึ่ง T_1 คืออุณหภูมิตอนเริ่มต้น T_2 คืออุณหภูมิสุดท้าย เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตเป็นสัดส่วนกับกระแสขับที่มีค่ามากกว่า threshold current กำลังเอาต์พุตลดลงขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น กำลังเอาต์พุตจะถูกทำให้หมดไปภายในเลเซอร์ ดังนั้นช่วงชีวิต (life time) ของเลเซอร์จะลดลงตามอุณหภูมิทำงาน การเปลี่ยนแปลงในเรื่องความยาวคลื่นมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในดัชนีหักเหของสารกึ่งตัวนำและในช่องว่างเลเซอร์ (laser cavity)

Thermoelectric cooler ในตัวส่งแสงสามารถทำให้การทำงานมีความแน่นอนที่อุณหภูมิคงที่ การควบคุมอุณหภูมิของเลเซอร์สามารถลดความไม่ดีของกำลังเอาต์พุตอันเนื่องมาจากอุณหภูมิ จะทำให้กำลังเอาต์พุตที่คงที่เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการทำงานของอุปกรณ์รับแสง ขณะที่กำลังเอาต์พุตที่ตรวจวัดได้ลดลงอัตราบิตคลาดเคลื่อน (bit - error rate) เพิ่มขึ้นในระบบดิจิทัล และ s/n ratio ลดลงในระบบอนาล็อก จะทำให้ระบบการทำงานของอุปกรณ์กำเนิดแสงลดลง และขั้นตอนนี้จะทำให้ความยาวคลื่นของแสงคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง กระแสขีดเริ่มมีค่าคงที่ (threshold current)

6. กระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic processing) เป็นกระบวนการขั้นต้นที่วงจรขับของตัวส่งแสงจะทำการใส่สัญญาณไฟฟ้าทางอินพุตให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมสำหรับการขับ

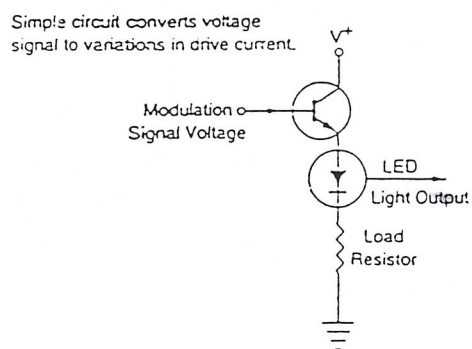
แหล่งกำเนิดแสง ตัวอย่างเช่นการแปลงสัญญาณจากแรงดันซึ่งจะขับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไปเป็นกระแสซึ่งจะมอดคูเลท Laser และ LED

7. ส่วนของมอนิเตอร์ทางแสง (Optical monitoring) ตัวส่งแสงชนิดเลเซอร์ประกอบด้วยวงจรเอาต์พุตที่มีเสถียรภาพ โฟโตดีเทคเตอร์จะตรวจจับแสงที่แผ่ออกจากส่วนหน้าของเลเซอร์และขับวงจรการป้อนกลับ (Feedback circuit) ซึ่งจะปรับกระแสขับจนกำลังเอาต์พุตทั้งหมดคงที่

นอกจากนี้วงจรลดทอนสัญญาณ (Attenuator) ตัวส่งแสงจะสร้างระดับกำลังที่เป็นมาตรฐาน แต่ในบางกรณีระดับกำลังเหล่านี้อาจจะสูงกว่าที่ต้องการเนื่องจากตัวรับแสงสามารถรับกำลังเอาต์พุตได้จำกัด ในบางครั้งจะใช้ตัวลดทอนสัญญาณเพื่อที่จะลดกำลังเอาต์พุตของตัวส่งแสงให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับตัวรับแสง

4.2.3 การออกแบบตัวส่งโดยใช้ LED อย่างง่าย

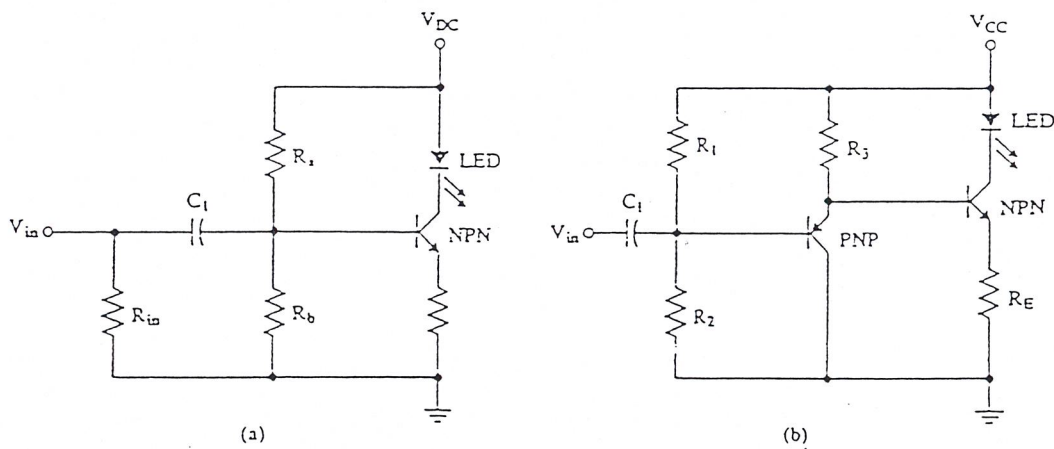
LED เป็นแหล่งกำเนิดที่จะเปล่งแสงเมื่อทำการไบแอสแรงดันซึ่งมีค่าอย่างน้อยสูงกว่าแรงดันในช่องว่างหรือดีฟิสิชัน โดยมีค่าประมาณ 1.5 โวลต์สำหรับ LED ที่ทำจาก GsAlAs ความยาวคลื่น 800 - 900 nm และประมาณ 1 โวลต์สำหรับ GaAsP ที่มีความยาวคลื่น 1300 nm วงจรขับสำหรับแหล่งกำเนิด LED แสดงดังรูปที่ 4-14



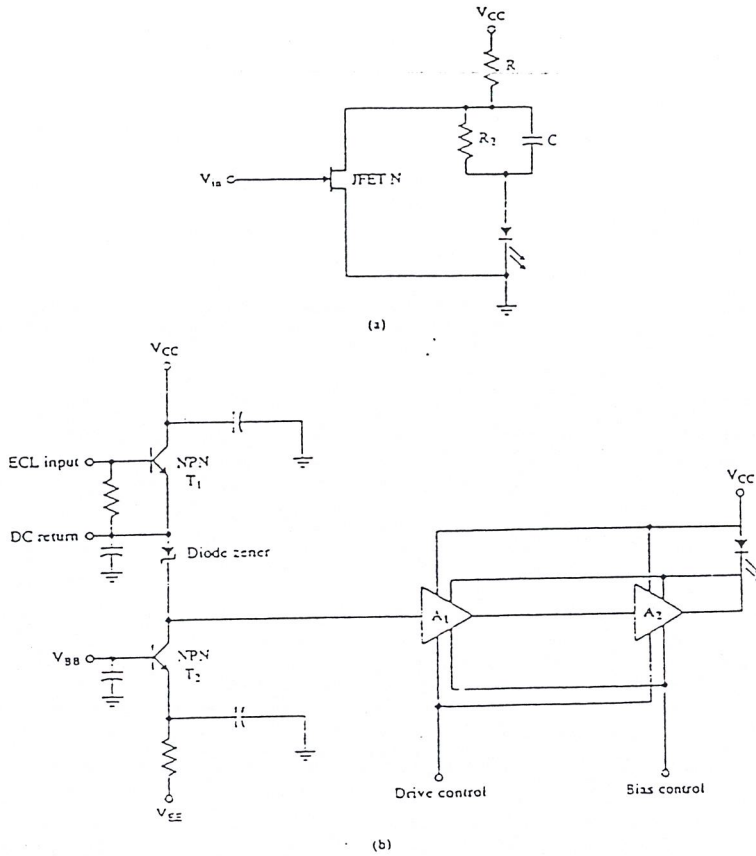
รูปที่ 4-14 แสดงวงจรขับอย่างง่ายสำหรับ LED source

4.2.4 การออกแบบตัวส่งแสงโดยใช้เลเซอร์ไดโอดอย่างง่าย

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์จะเหมือนกับ LED เนื่องจากทั้งคู่เป็นแหล่งกำเนิดแบบใช้สารกึ่งตัวนำทั้งคู่ แต่เลเซอร์จะให้แสงออกมากี่ต่อเมื่อแรงขับกระแสสูงกว่าค่าแรงขับกระแสขีดเริ่ม (threshold current) เนื่องจากต้องการกระแสขับที่มากกว่านั้นตัวด้านทานที่ใช้จำกัดกระแสจึงต้องมีค่าที่น้อย โดยค่าแรงขับกระแสอยู่ในช่วง 100 -200 mA และแรงเคลื่อนไฟฟ้า 1.6 -1.8 V วงจรขับของเลเซอร์ไดโอดในรูปที่ 4-16 ใช้ในทางดิจิทัล ซึ่งในวงจรที่ 4.16 a ใช้วงจรขับแบบแบ่งกระแส (shunt driver) และทรานซิสเตอร์แบบฟิลด์เอฟเฟ็คท์ (field effect transistor) โดยค่า R_2 และ C ใช้ในการไบแอสกับทรานซิสเตอร์ โครงสร้างของวงจรนี้สามารถที่จะมอดดูเลขแสงได้มากถึงจิกะ (10^9)



รูปที่ 4.15 แสดงวงจรขับของเลเซอร์ไดโอดแบบอนาลอก



รูปที่ 4.16 แสดงวงจรขับของเลเซอร์ไดโอดแบบคิวิตอล

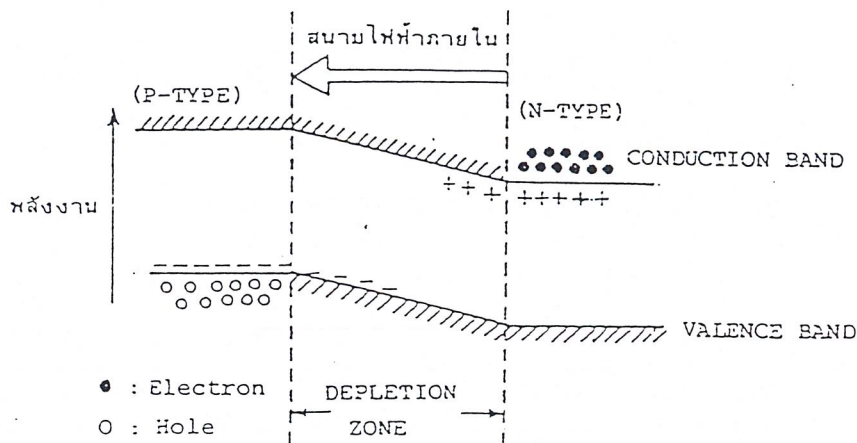
4.3 อุปกรณ์รับแสง

การรับแสงคือการเปลี่ยนแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ในการทำงานนี้สามารถแบ่งได้ 2 วิธี วิธีที่หนึ่งคือการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งเรียกวิธีนี้ว่า Photo electric effect โดยใช้กระบวนการดูดพลังงานนั้นคือ เมื่อมีแสงมาตกกระทบบสารกึ่งตัวนำ อิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบวาเลนซ์แบนด์จะเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่แถบคอนดักชันแบนด์แต่การเลื่อนขึ้นไปนี้เป็นแต่เพียงอิเล็กตรอนเคลื่อนที่เท่านั้นและในที่สุดจะกลับมารวมกับโฮลอีกครั้งในแถบวาเลนซ์แบนด์ทำให้ไม่ได้รับ photo electric effect ด้วยเหตุนี้เพื่อที่จะเปลี่ยนแสงให้เป็นกระแสไฟฟ้าจะต้องใช้สภาพการแยกกันของอิเล็กตรอนกับโฮลก่อนที่จะมารวมตัวกัน

วิธีที่สองทำได้โดยการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานความร้อนแล้วจึงเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า Sensitive Heat effect โดยทั่วไปจะมีการตอบสนองช้ามากและความไวไม่คืนกจึงใช้ เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) และ โบโรมิเตอร์และอื่นๆแต่นำมาใช้ในการสื่อสารด้วยแสง

สำหรับอุปกรณ์รับแสงสารกึ่งตัวนำก็เช่นเดียวกับแหล่งกำเนิดแสง นั่นคือเพื่อที่จะแยกอิเล็กตรอนกับโฮลนั้นโดยทั่วไปใช้ PN-junction ซึ่งที่รอยต่อของ P-N นั้นจะเกิดสนามไฟฟ้าในที่ว่างขึ้นโดยมันจะถูกดึงด้วยอิเล็กตรอนของ N-type ของโฮลของ P-type ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ

และบวกตามลำดับ เป็นผลให้ไม่มีอิเล็กตรอนและโฮลขึ้นตรงบริเวณรอยต่อนี้ เรียกว่า Depletion zone ดังในรูปที่ 4-17



รูป 4-17 แสดงลักษณะของ Depletion zone

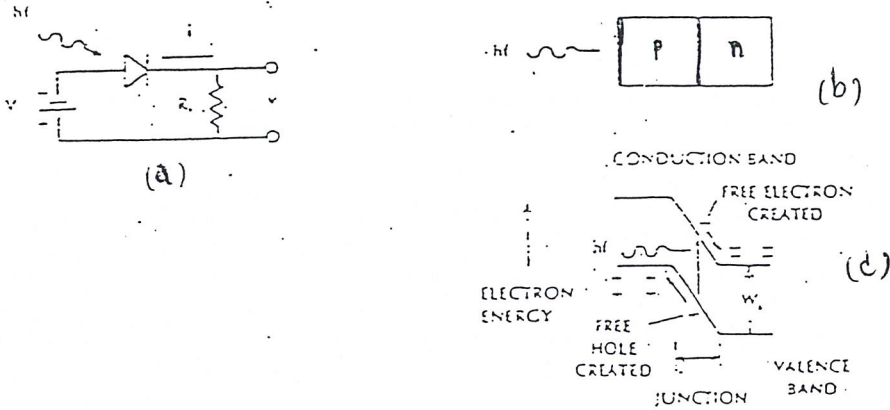
อุปกรณ์รับแสงที่ใช้ในการสื่อสารทางแสงส่วนใหญ่จะเป็นพวกโฟโตดีเทคเตอร์ (photodetector) โดยทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานทางแสงเป็นพลังงานทางไฟฟ้า โฟโตดีเทคเตอร์ในอุดมคติจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. จะต้องมีความสามารถรับแสงที่เบาบางที่ตกกระทบอุปกรณ์
2. จะต้องสามารถทำงานในช่วงใกล้อินฟราเรด (850 , 1300 , 1500 nm)
3. จะต้องมีความเร็วเพียงพอต่อการเปลี่ยนแสงเป็นอิเล็กตรอน
4. จะต้องมีความละเอียดเข้ากับเส้นใยนำแสงได้ดี
5. จะต้องมียุทธศาสตร์ที่ต่ำ
6. จะต้องไม่ไวต่อสิ่งแวดลอม

โดยปกติทั่วไปจะใช้ตัวรับแสงชนิดที่เรียกว่า PN Photodiode , PIN photodiode , AVD(avalanche diode)

4.3.1 พีเอ็นโฟโตไดโอด (PN Photodiode)

เป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่าโฟโตไดโอดจะทำงานเมื่อมีแรงดันไบอัสให้กับตัวโฟโตไดโอดแบบไบอัสกลับ (reverse bias) ตามรูปที่ 4-18 แสดงลักษณะของ PN photodiode



รูปที่ 4-18 a) เมื่อป้อนแรงดัน reverse bias

b) ลักษณะของ PN junction

c) แสดงระดับพลังงาน

เมื่อให้แรงดันไฟไบอัสกลับจะกลับจะทำให้ค่าพลังงานกำแพงศักย์ (energy barrier) ระหว่างรอยต่อพีและเอ็นเพิ่มขึ้นทำให้อิเล็กตรอนอิสระทางด้านเอ็นและโฮลอิสระทางด้านพีไม่สามารถข้ามบริเวณที่เกิดกำแพงศักย์ได้จึงไม่มีกระแสไหล บริเวณรอยต่อที่ไม่มีประจุใดๆเลยนี้เรียกว่า Depletion zone ตามที่กล่าวมาแล้ว บริเวณความต้านทานสูงเป็นผลให้โวลเตจทั้งหมดที่ตกคร่อมไดโอดจะตกคร่อมบริเวณนี้เกือบทั้งหมด

พิจารณารูปที่ 4-18 (c) เมื่อกลุ่มก้อนโฟตอนถูกดูดกลืนในรอยต่อที่ผ่านด้านพีมาแล้ว การดูดกลืนพลังงานทำให้อิเล็กตรอนข้ามแถบช่องว่างพลังงาน (band gap) จากวาเลนซ์แบนด์ไปยังคอนดักชันแบนด์ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระและทำให้โฮลออกจากวาเลนซ์แบนด์ ดังนั้นจะมีประจุอิสระที่ถูกสร้างขึ้นจากการดูดกลืนโฟตอนซึ่งอิเล็กตรอนจะเคลื่อนตัวลงไปยังกำแพงศักย์และโฮลจะเคลื่อนที่ไปยังกำแพงศักย์ซึ่งเป็นสาเหตุให้กระแสไหลผ่าน วงจรภายนอกเหมือนกับกรปลดปล่อยแสงของอิเล็กตรอน ซึ่งในกรณีนี้จะเกิดกระแสไหลในหลอดโฟโตไดโอดเมื่อโฮลและอิเล็กตรอนรวมตัวกันใหม่ที่บริเวณนั้นจะเกิดกระแสไฟฟ้าเล็กๆซึ่งจะทำให้ประจุต่างๆหยุดเคลื่อนที่ทำให้กระแสหยุดไหล นอกจากนี้ประจุพาหะจะถูกสร้างขึ้นใกล้ Depletion zone และมันสามารถที่จะแพร่ผ่านบริเวณนี้ไปได้ ดังนั้นจะเกิดสนามไฟฟ้าจำนวนมากที่บริเวณรอยต่อทำให้มีกระแสภายนอกเกิดขึ้น

4.3.2 พีไอเอ็นโฟโตไดโอด (PIN photodiode)

พีไอเอ็นโฟโตไดโอดเป็นอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ชั้นของ depletion-layer เข้ามาใช้ในการทำงาน เรียกเต็มๆว่า positive-intrinsic-negative เป็นที่นิยมใช้มากในระบบสื่อสารในการเป็นดีเทคเตอร์รับแสง พีไอเอ็นจะมีชั้นอินทริสิก (intrinsic) อยู่ระหว่างกลางของชั้นที่มีการโด๊ปเป็นพาหะบวก หรือ ด้านพีและชั้นที่มีการโด๊ปเป็นพาหะลบหรือด้านเอ็น

มีโครงสร้างดังรูป 4-19 แสงจะตกกระทบบนด้านพีของโฟโตไดโอด และมีการดูดกลืนแสงโดย อิเล็กตรอน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่เข้าไปข้างหน้าเข้าไปยังชั้นอินทริสิกเลเยอร์ที่ไม่มีประจุอยู่เลย ดังนั้นจึงมีความต้านทานสูงจึงทำให้โวลเตจตกคร่อมไดโอดจะตกคร่อมที่ชั้นนี้เกือบทั้งหมดและมีแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้ามาก โดยระหว่างนั้นต้องมีการไบอัสแรงดันแบบกลับให้กับโฟโตไดโอด ด้วย โดยในการสร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮลนั้นจะต้องมีพลังงานอย่างเพียงพอ พลังงานโฟตอนที่ใช้ทำให้เราทราบค่าความยาวคลื่นคัทออฟ (Cutoff wavelength) ไม่อย่างนั้นโฟโตไดโอดจะไม่เปลี่ยนแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้ ซึ่งความยาวคลื่นคัทออฟสามารถหาได้จากแถบพลังงานช่องว่างของสารที่นำมาทำโฟโตไดโอดได้ดังสมการ

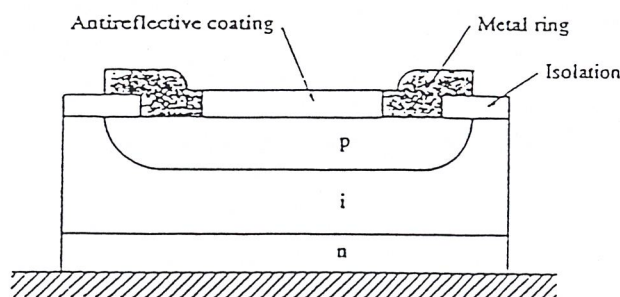
$$\lambda_c = (h \cdot c) / E_g = 1.24 / E_g \quad \dots\dots\dots(3)$$

เมื่อ λ_c คือ ความยาวคลื่นที่ทำงาน ในหน่วย ไมโครเมตร

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์

c คือ ความเร็วแสง

E_g คือ แถบพลังงานช่องว่างของสารที่นำมาทำโฟโตไดโอด (eV)



รูปที่ 4-19 แสดงโครงสร้างของ PIN photodiode

4.3.2 พีไอเอ็นโฟโตไดโอด (PIN photodiode)

พีไอเอ็นโฟโตไดโอดเป็นอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ชั้นของ depletion-layer เข้ามาใช้ในการทำงาน เรียกเต็มๆว่า positive-intrinsic-negative เป็นที่นิยมใช้มากในระบบสื่อสารในการเป็นคิเทคเตอร์รับแสง พีไอเอ็นจะมีชั้นอินทริเนติก (intrinsic) อยู่ระหว่างกลางของชั้นที่มีการโด๊ปเป็นพาหะบวก หรือ ด้านพีและชั้นที่มีการโด๊ปเป็นพาหะลบหรือด้านเอ็น

มีโครงสร้างดังรูป 4-19 แสงจะตกกระทบบนด้านพีของโฟโตไดโอด และมีการถูกดูดกลืนแสงโดยอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่เข้าไปข้างหน้าเข้าไปยังชั้นอินทริเนติกเลเยอร์ที่ไม่มีประจุอยู่เลย ดังนั้นจึงมีความต้านทานสูงจึงทำให้โวลเตจตกคร่อมไดโอดจะตกคร่อมที่ชั้นนี้เกือบทั้งหมดและมีแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้ามาก โดยระหว่างนั้นต้องมีการไบอัสแรงดันแบบกลับให้กับโฟโตไดโอดด้วย โดยในการสร้างอู่อิเล็กตรอน-โฮลนั้นจะต้องมีพลังงานอย่างเพียงพอ พลังงานโฟตอนที่ใช้ทำให้เราทราบค่าความยาวคลื่นคัทออฟ (Cutoff wavelength) ไม่อย่างนั้นโฟโตไดโอดจะไม่เปลี่ยนแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้ ซึ่งความยาวคลื่นคัทออฟสามารถหาได้จากแถบพลังงานช่องว่างของสารที่นำมาทำโฟโตไดโอดได้ดังสมการ

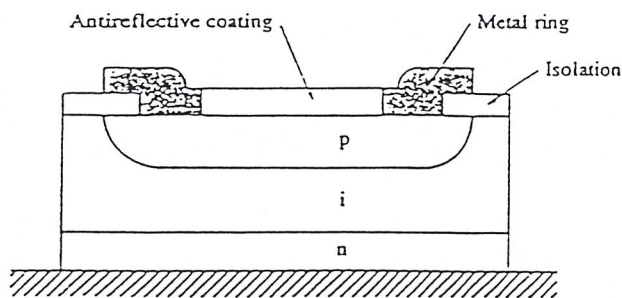
$$\lambda_c = (h \cdot c) / E_g = 1.24 / E_g \quad \dots\dots\dots(3)$$

เมื่อ λ_c คือ ความยาวคลื่นที่ทำงาน ในหน่วย ไมโครเมตร

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์

c คือ ความเร็วแสง

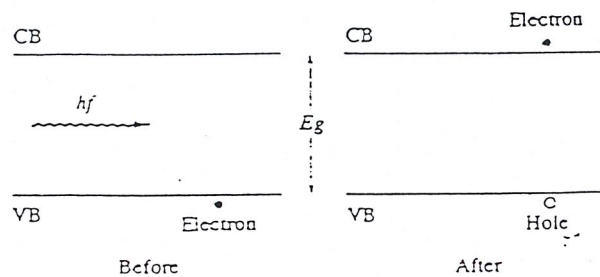
E_g คือ แถบพลังงานช่องว่างของสารที่นำมาทำโฟโตไดโอด (eV)



รูปที่ 4-19 แสดงโครงสร้างของ PIN photodiode

อิเล็กตรอนจะต้องอยู่ในชั้นของคอนดักชันแบนด์ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าหรือกระแสโฟตอน คู่อิเล็กตรอน-โฮลจะถูกแยกโดยค่าสนามไฟฟ้าในชั้นอินทรินสิคเลเยอร์ ความหนาของชั้นอินทรินสิคเลเยอร์ควรจะบางแต่กว้างสำหรับการดูดกลืน

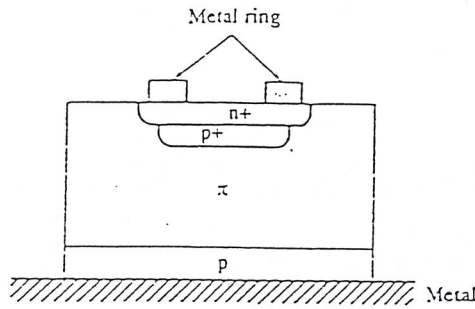
(บริเวณที่ทำให้เกิดประจุลบ) ตามรูปที่ 4-20 ความบางเป็นส่วนสำคัญเนื่องจากมันจะอำนวยความสะดวกในการตกกระทบของโฟตอนและสร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้นมา บริเวณด้านอื่นควรจะแคบมากๆ อิเล็กตรอนจะได้ไม่เคลื่อนที่ออกจากอุปกรณ์ PIN photodiode จะใช้ในการสื่อสารระยะสั้นๆ และมีการมอดูเลตด้วยความถี่ต่ำ เหมาะสำหรับการเป็นตัวรับของ LED ซึ่งปกติจะใช้แรงดันไบอัสกลับ 7-10 โวลต์



รูปที่ 4-20 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดกลืนทางแสง

4.3.3 อะวาแลนซ์โฟโต้ไดโอด (avalanch photodiode)

อุปกรณ์รับแสงจะทำงานเมื่อมีแรงดันไบอัสที่สูงมากตามปกติแล้วจะมากกว่า 300 โวลต์ โดยมีลักษณะหรือการเพิ่มขึ้นอย่างทวีคูณของกระแสโฟโต้ที่เกิดขึ้น AVD หรือ อะวาแลนซ์โฟโต้ไดโอดเหมาะสำหรับการสื่อสารที่ใช้ในระบะทางไกลๆและความถี่ที่มอดูเลตสูง (ประมาณ 100 Mhz) ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้กับแหล่งกำเนิดที่เป็นเลเซอร์ไดโอด ซึ่งโดยปกติจะใช้โครงสร้างที่เรียกว่า reach-through construction APD (RAPD) โดยที่ reach-through avalanch photodiode จะเรียงจากด้านพี (P-type) ซึ่งมี p^+ วางอยู่ และมี n^+ วางอยู่ตามรูปที่ 4-21 โครงสร้างนี้เป็นโครงสร้างแบบ $p^+ \pi p^+$ ชั้นของ π เลเยอร์นี้เป็นชั้นของอินทรินสิคเลเยอร์ซึ่งมีการโด๊ปเป็นชนิดพีด้วยโบรอนหรือฟอสฟอรัส ลักษณะของ APD เหมือนกับ PN-junction สนามไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากชั้น depletion region



รูปที่ 4-21 แสดงโครงสร้างของอะวอลานซ์โฟโตไดโอด

แสงที่เข้ามาจะต้องผ่านชั้น p^+ และจะถูกดูดกลืนโดยชั้น π เลเซอร์ โฟตอนจะสร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้น อิเล็กตรอนจะเลื่อนลงมาที่รอยต่อพีเอ็นซึ่งมีสนามไฟฟ้าสูง ซึ่งสนามนี้จะไปเร่งให้อิเล็กตรอน-โฮลเร็วขึ้นเป็นผลให้เกิดการชนกับคู่อิเล็กตรอนคู่อื่นๆ ซึ่งการชนนี้จะเกิดขบวนการเพิ่มขึ้นอย่างทวีคูณของพาหุโดยนิยามไว้ว่า

$$M = 1/(1 - V/V_B)^n \dots\dots\dots(4)$$

เมื่อ V คือ แรงดันไบอัสกลับที่ใส่เข้าไป

V_B คือ แรงดันพังทลาย

n คือ ค่าคงที่ระหว่าง 3 กับ 6 ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของสารที่ทำอุปกรณ์รับแสง

จำนวนเฉลี่ยของการเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลที่เกิดจากการสร้างโฟตอนต่อหนึ่งหน่วยความยาว เรียกว่า ไอออไนเซชันเรต (ionization rate) บอกถึงความแตกต่างสำหรับอิเล็กตรอนกับโฮล

4.4 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์รับแสงประเมินได้จากคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพทางควอนตัม (Quantum efficiency) ซึ่งแสดงว่าแสงที่รับมาได้นั้นเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าได้มากเท่าใด ความไวการรับแสง (ระดับรับแสงต่ำสุดที่ต้องการสำหรับการส่งที่มีคุณภาพ) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบระยะการถ่ายทอดของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง สัญญาณรบกวน (noise) ที่เกิดขึ้นและความเร็วที่ตอบสนองการทำงาน สำหรับประสิทธิภาพทางควอนตัมกำหนดจากสารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง แต่สำหรับความไวการรับแสงนั้นจะเกี่ยวข้องกับขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้

เนื่องจาก APD ใช้ปรากฏการณ์การขยายแบบอะวอลานซ์ตามที่กล่าวมาแล้วนั้น ดังนั้นจึงมีความไวสูงประมาณ 10 -20 dB (10 - 100 เท่า) เมื่อเทียบกับโฟโตไดโอดราคาสัญญาณรบกวน

ที่เกิดในอุปกรณ์รับแสงมีสิ่งๆที่เรียกว่า Shot noise ซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสโฟโต (photo current) ที่เกิดจากการกระตุ้นอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นระเบียบทางเวลา โดย Shot noise เป็นดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Shot noise current} = I_0 M^2 {}^{\text{+F}}$$

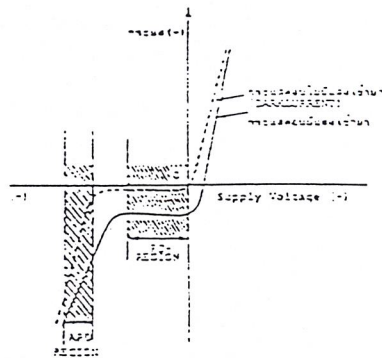
เมื่อ M คือ อัตราการขยายกระแสของอุปกรณ์รับแสง

I_0 คือ กระแสโฟโตในกรณีที่ $M = 1$

F คือ Excess noise figure มีค่ามากเมื่อเทียบกับ M

นั่นคือจากสมการจะเห็นว่าที่ระดับการรับแสงที่เท่ากันถ้าหากว่าทำให้แรงดันไบเอสแบบย้อนกลับที่ป้อนให้มีความสูงและทำให้อัตราการขยายกระแสเพิ่มขึ้นนั้นสัญญาณออก (Output signal $I_0 M^2 {}^{\text{+F}}$) จะเพิ่มขึ้นมากด้วย แต่ shot noise ก็เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสงโดยทั่วไปแสดงดังรูป 4 -22 จากรูปจะช่วยให้เข้าใจความแตกต่างของบริเวณการทำงานของ APD และ photodiode ได้ดี และในรูปนี้ได้แสดงถึงการไหลของกระแสที่เรียกว่า dark current ที่เกิดในสภาพที่มีแรงดันไบเอสกลับแต่ไม่มีแสงเข้า



รูป 4-22 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และกระแสโฟโต

กระแส dark current นี้มีลักษณะพิเศษคือ มันจะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการเพิ่มขึ้นของสัญญาณออก (output signal) shot noise เป็นสิ่งที่เกิดจาก dark current และอื่นๆ ที่เป็นแหล่งต้นกำเนิดในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงนอกจากจะต้องคำนึงถึง shot noise นี้แล้วยังมี thermal noise ที่เกิดจากในวงจรไฟฟ้าไม่เกี่ยวกับสัญญาณแสงที่เข้ามา ดังนั้นในการออกแบบจึงต้องเลือกค่า M ที่เหมาะสมทำให้ผลรวมของ shot noise และ thermal noise มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับค่าระดับของสัญญาณ

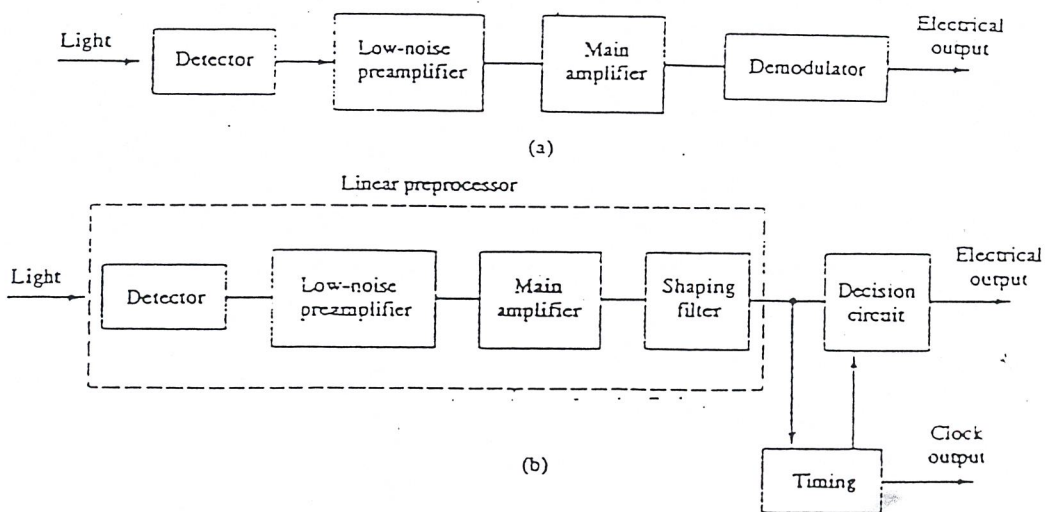
ความเร็วในการตอบสนองต่อความถี่เป็นสิ่งที่กำหนดจากเวลาที่มีสัญญาณเข้ามาจนกระทั่งเกิดปรากฏการณ์แคชเชอร์ แต่ปัจจุบันเนื่องจากทั้ง APD และ photodiode สามารถตอบสนองความเร็วได้ถึงหลาย GHz จึงไม่มีปัญหาใช้งานการเปรียบเทียบคุณสมบัติของ APD และ photodiode แสดงดังตารางที่ 4-2

	อุปกรณ์รับแสง	
หัวข้อ	PD	APD
ประสิทธิภาพทางควอนตัม	80%	80%
ความไวการรับแสง	-15 ถึง -20 dBm ₀	-30 ถึง -40 dBm ₀
ความเร็วการตอบสนองความถี่	หลาย GHz	หลาย GHz
อัตราขยาย	1	500
ค่าแรงดันไฟฟ้าไบอัสที่ต้องการ	0-20 V	30-200 V

ตารางที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

4.5 วงจรอุปกรณ์รับแสง

ตามรูปที่ 4-23 แสดงลักษณะของบล็อกไดอะแกรมของวงจรรับแสงทั้งสัญญาณที่เป็นดิจิทัลและอนาลอกจะคล้ายกันมาก เอาท์พุทที่ออกมาจากคิเทคเตอร์จะมาเข้าในวงจรขยายเพื่อทำให้กระแสมากขึ้น



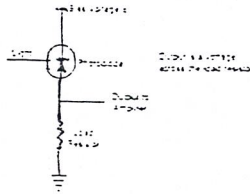
รูปที่ 4-23 บล็อกไดอะแกรมของวงจรรับแสง

a) analog

b) digital

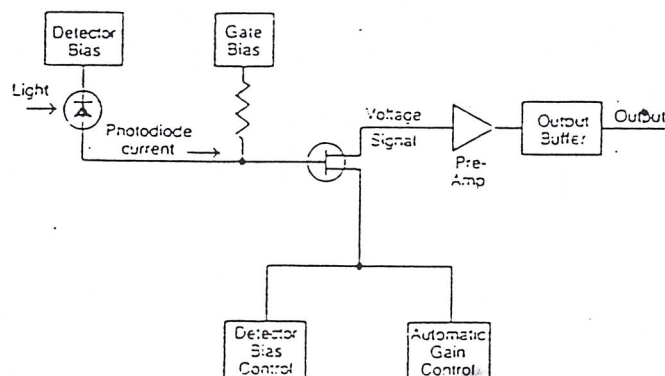
4.5.1 วงจรรับแสงแบบโฟโตไดโอด

ตามปกติ และ PN PIN photodiode ที่ใช้ในการสื่อสารทางแสงมีวงจรการใช้ตามรูปแบบที่กำหนดซึ่งจะต้องมีการไบแอสกลับให้โฟโตไดโอดและความต้านทานที่ต่ออนุกรมเข้ากับโฟโตไดโอดซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4-24 ซึ่งวิธีนี้โฟโตไดโอดจะเป็นตัวนำทางแสง (photoconductive) เนื่องจากกระแสโฟโตที่ไหลเป็นสัดส่วนกับความต้านทานของแสงสว่างของโฟโตไดโอด



รูปที่ 4-24 แสดงวงจรรับแสงของ PN และ PIN photodiode

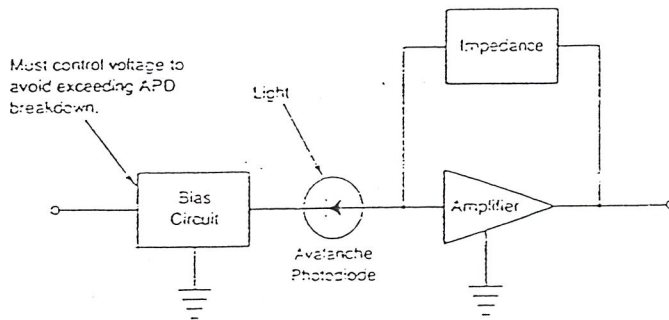
การแบ่งแรงดันระหว่างโฟโตไดโอดกับตัวต้านทานขึ้นอยู่กับความสว่างถ้าสว่างมากโฟโตไดโอดกระแสก็มากในวงจรที่แสดงนี้สัญญาณข้อมูลจะตกคร่อมที่ตัวความต้านทานนอกจากนี้ยังมีวงจรที่ยุ่งยากกว่าโดยมีวงจรขยายด้วยนอกจากตัวต้านทาน คือ PIN-FET and detector preamplifier ในรูปที่ 4-25



รูปที่ 4-25 แสดงบล็อกไดอะแกรม PIN-FET receiver circuit

4.5.2 วงจรรับแบบอะวาแลนซ์โฟโต้ไดโอด

รูปแบบของวงจรก็คล้ายกับวิธีแรกเนื่องจากต้องการแรงดันไบอัสเหมือนกันแต่ต้องการมากกว่า ซึ่งแต่ละขั้นตอนต้องใช้ความแน่นอนในการทำซึ่งรูปแบบแสดงในรูป 4-26



รูปที่ 4-26 แสดงวงจรรับแบบอะวาแลนซ์โฟโต้ไดโอดอย่างง่าย

ในทางปฏิบัติมีค่าๆหนึ่งที่มีความสำคัญกับโฟโต้ดีเทคเตอร์ คือค่า Responsivity (R) บางครั้งอาจเรียกว่า radiant sensitivity ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนของกระแสโฟโต้ (กระแสที่เกิดจากการดูดกลืนโฟตอน) กับพลังงานที่ตกกระทบ

$$R = I_p/P_i \quad \dots\dots\dots(6)$$

โดย R มีหน่วยเป็นแอมแปร์ต่อวัตต์ (Ampere/ watt)

และ
$$I_p = (N_e * e)/s \quad \dots\dots\dots(7)$$

โดย e คือ ประจุของอิเล็กตรอน

N_e คือ จำนวนของอิเล็กตรอนที่ถูกสร้างขึ้น

และ
$$P_i = (N_p E_p/s) \quad \dots\dots\dots(8)$$

โดย E_p คือ พลังงานของโฟตอน

N_p คือ จำนวนโฟตอนที่ตกกระทบ

ดังนั้นจะได้ว่า

$$R = (N_e * e)/(N_p E_p) = (n_e e)/E_p \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$R = (n_e)/hf = [n_e (e\lambda)]/(hc) \quad \dots\dots\dots(10)$$

เมื่อ λ มีหน่วยเป็นเมตร

c มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

R มีหน่วยเป็นแอมแปร์ต่อวัตต์

e มีหน่วยเป็นคูลอมบ์

ดังนั้นจะได้

$$R = (n_q \lambda) / 1.24 \dots\dots\dots(11)$$

จากสมการข้างต้นและ responsivity จะเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มความยาวคลื่น เมื่อแสงพุ่งเข้าโฟโตนิกไดโอดที่บรรจุภายในแก้วหรือพลาสติก โดยแสงต้องทะลุผ่านชั้นเอ็นหรือชั้นพีเข้าสู่ดีพลีชันหรืออินทรินสิค โดยหารค่าเข้าได้ก็ขึ้นอยู่กับกำลังส่งของแสงด้วย

Photo detector	Wavelength (nm)	Responsivity (A/W)	dark current (nA)	rise time (nS)	operating voltage (V)
Si P-N	550-850	0.4-0.7	1-5	5-10	20-40
Si PIN	850-950	0.6-0.8	3-300	1-5	5-40
InGaAs PIN	300-1500	0.8	10-30	1-3	5-40
Si APD	650-900	7.4-100	1	0.5-2	60-120
photo TR	800-900	70	25-100	5-15 μ s	10

ตาราง 4-3 ตารางเปรียบเทียบตัวรับแสงชนิดต่างๆ

บทที่ 5

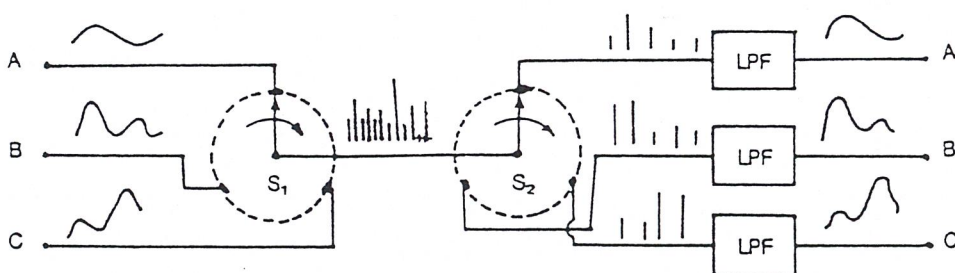
การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

5.1 ทฤษฎีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (TDM) คือระบบที่จะใช้ช่องสัญญาณช่องเดียวสำหรับการส่งสัญญาณย่อยๆหลายๆเครื่องไปยังเครื่องรับสัญญาณย่อยๆหลายๆเครื่องโดยอาศัยการแบ่งเวลา (time sharing) ในการใช้ช่วงเวลานั้นให้กับเครื่อง ส่ง-รับ สัญญาณย่อยๆแต่ละคู่ นั้นเป็นลำดับๆวนกันไป โดยในการมัลติเพล็กซ์นั้นเราสามารถที่จะทำการมัลติเพล็กซ์ได้ทั้งสัญญาณอนาลอกและดิจิทัลดังนี้

5.1.1 การมัลติเพล็กซ์สัญญาณอนาลอก

เราสามารถที่จะส่งสัญญาณมัลติเพล็กซ์อนาลอกส่งผ่านช่องสัญญาณไปได้ดังรูปที่ 5-1

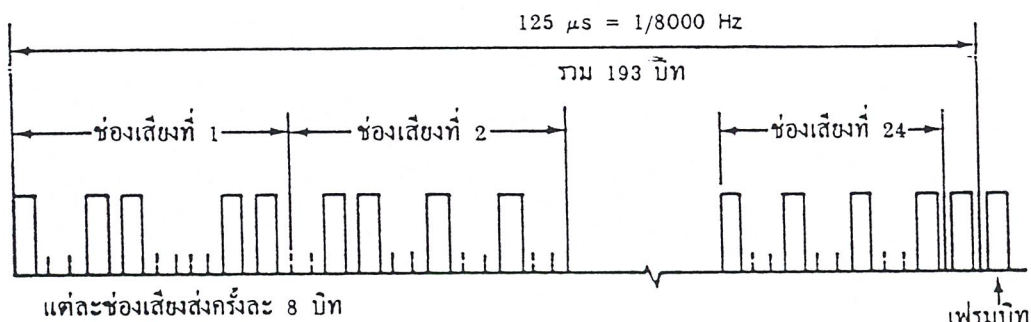


รูปที่ 5-1 แสดงการมัลติเพล็กซ์สัญญาณอนาลอก

ในรูปนี้มีการนำสวิทช์หมุน (rotary switch) 2 ชุดมาต่อประกอบกันเป็นวงจรดังในรูปเพื่อที่จะใช้สวิทช์นี้เป็นตัวช่วยจัดการให้เกิดการส่งสัญญาณระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ 3 ชุด คือ A-A', B-B' และ C-C' ได้โดยใช้สายส่งสัญญาณระหว่างสวิทช์ทั้ง 2 ชุดนั้นเพียงสายส่งสัญญาณเส้นเดียวแทนที่จะใช้สายส่งสัญญาณถึง 3 เส้น โดยถ้าเราสามารถควบคุมการหมุนของสวิทช์ทั้ง 2 ในรูปให้หมุนสัมพันธ์ไปพร้อมๆกันโดยให้มีอัตราการหมุนที่มีจำนวนรอบต่อวินาทีมากกว่า 2 เท่าของค่าความถี่สูงสุดของสัญญาณที่เป็นส่วนประกอบของสัญญาณอินพุททั้ง 3 นั้นแล้ว สวิทช์ S1 จะทำหน้าที่สลับตัวอย่างสัญญาณทั้ง 3 ส่งออกไปยังสายส่งสัญญาณสม่ำเสมอ ในขณะที่สวิทช์ S2 จะทำหน้าที่แยกสัญญาณที่ส่งมาทั้งหมดเหล่านี้จ่ายออกไปตามสาย เอาท์พุทที่เหมาะสมซึ่งสอดคล้องกับสายอินพุทที่เข้ามาสู่ S1 ส่วน LPF ทางด้านเอาท์พุทจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่เกิดจากการสลับตัวอย่างสัญญาณให้กลับเป็นสัญญาณอนาลอกตามเดิม โดยสวิทช์ S1 ทางด้านซ้ายมือจะทำหน้าที่เป็นตัวมัลติเพลกซ์สัญญาณ (multiplex) ในขณะที่สวิทช์ S2 ทางด้านขวามือและ LPF จะทำหน้าที่เป็นตัวดีมัลติเพลกซ์สัญญาณ (demultiplex)

5.1.2 การมัลติเพลกซ์สัญญาณดิจิทัล

การมัลติเพลกซ์สัญญาณดิจิทัลที่ใช้สัญญาณจากแต่ละช่องเสียงที่ถูกมอดูเลตในระบบ PCM โดยใช้ช่องเวลาที่ต่างกันดังแสดงในรูปที่ 5-2



รูปที่ 5-2 แสดงการมัลติเพลกซ์สัญญาณดิจิทัล

ซึ่งจากรูปที่ 5-2 ได้แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างของการจัดช่วงเวลาของการมัลติเพลกซ์สัญญาณเสียงจำนวน 24 ช่องเสียง และในการจัดส่งสัญญาณดิจิทัลของแต่ละช่องเสียงจะส่งสัญญาณครั้งละ 8 บิต แทนที่จะส่งครั้งละบิต เนื่องจากรหัสที่ใช้แทนค่าตัวอย่างสัญญาณต่าง ๆ นั้นมีความยาวของรหัสครั้งละ 8 บิต ดังนั้นการจัดส่งสัญญาณดิจิทัลไปที่ละ 8 บิตจึงมีผลเท่ากับเราได้ส่งค่าของตัวอย่างสัญญาณไปครั้งละ 1 ค่าเท่านั้น โดยในการมัลติเพลกซ์สัญญาณตามระบบที่ได้แสดงในรูปนี้จะมีการใส่สัญญาณเฟรมบิต (frame bit) เพิ่มขึ้นอีก 1 บิต ทั้งนี้เพื่อเป็นเครื่องหมายบอกให้เครื่องรับได้รู้ว่า การเริ่มต้นและการสิ้นสุดของการจัดช่วงเวลาแต่ละชุดนั้นอยู่ ณ ตำแหน่งช่วงเวลาใด ทั้งนี้เพื่อให้เครื่องรับได้มีจุดสังเกตในการปรับตัวให้ทำงานได้สัมพันธ์กับทางด้านเครื่องส่งอย่างถูกต้อง

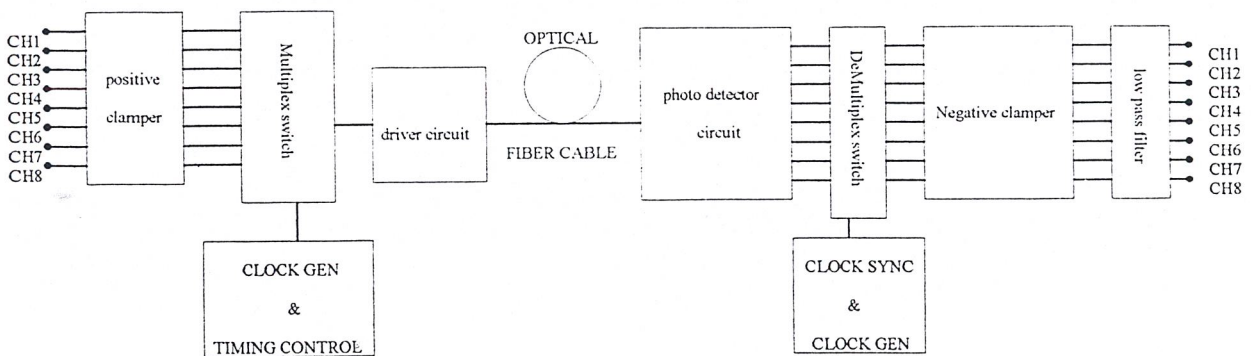
ระบบมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลานี้มีประโยชน์อย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการสื่อสารระบบดิจิทัลซึ่งให้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมกระบวนการมัลติเพลกซ์ต่างๆ

บทที่ 6

การออกแบบวงจรและส่วนประกอบของระบบมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา

ในการออกแบบวงจรการทำงานของระบบมัลติเพลกซ์สัญญาณแบบแบ่งเวลา (TDM) ในโครงการนี้ในส่วนของภาคส่งและภาครับซึ่งได้แสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมอย่างคร่าวๆ ได้ดังรูปที่ 6-1 และได้กำหนดคุณสมบัติต่างๆของโครงการพิเศษนี้ได้ดังนี้

1. สามารถส่งสัญญาณอนาลอกได้สูงสุด 8 ช่องสัญญาณและความถี่สูงสุด 4 kHz
2. สามารถที่จะมัลติเพลกซ์สัญญาณได้ทั้งแบบ PAM Dual และ PAM Single
3. สามารถส่งสัญญาณโดยใช้ตัวกลางได้ทั้งสาย Coaxial และ Optic Cable
4. สามารถพัฒนาระบบและนำไปประยุกต์ใช้ได้โดยง่าย



รูปที่ 6-1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบทั้งหมด

6.1 ภาคส่งสัญญาณมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา

จากบล็อกไดอะแกรมของภาคส่งที่แสดงไว้แล้วนั้นสามารถที่จะอธิบายหลักการทำงานของระบบต่างๆได้ดังนี้

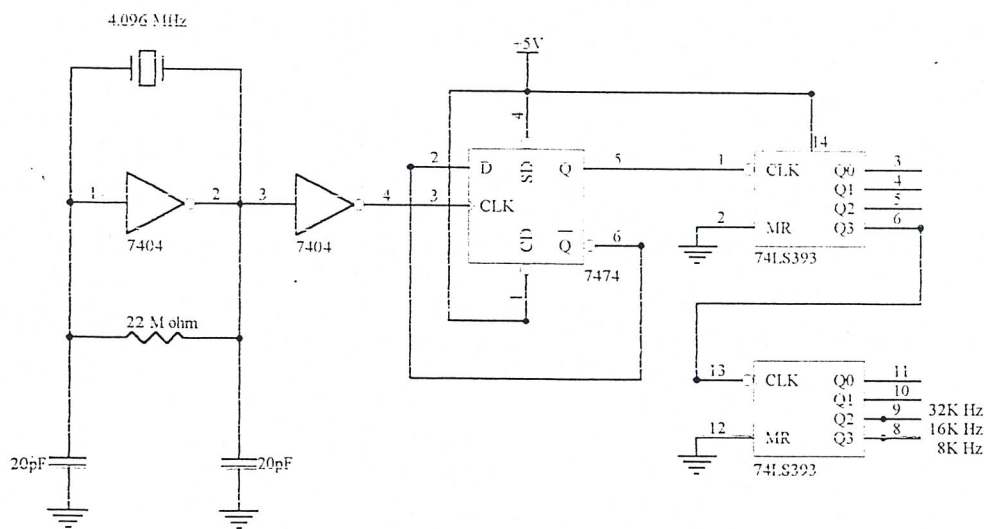
6.1.1 ระบบมัลติเพลกซ์ (Multiplex System)

ระบบนี้จะประกอบด้วยวงจรต่างๆเพื่อประกอบขึ้นเป็นระบบมัลติเพลกซ์ ในส่วนของระบบนี้จะประกอบด้วยวงจรระดับสัญญาณ , วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาและสัญญาณควบคุม

และวงจรสวิทช์เลือกช่องสัญญาณ โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.1.1.1 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาและสัญญาณควบคุม

ก่อนที่จะทำการมัลติเพลกซ์สัญญาณนั้นจะต้องมีการสร้างวงจรถูกกำเนิดสัญญาณนาฬิกาเพื่อที่จะนำไปควบคุมการทำงานของระบบมัลติเพลกซ์ให้สอดคล้องกันได้

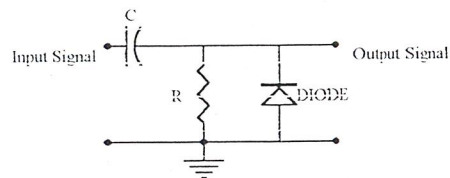


รูปที่ 6-2 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาและสัญญาณควบคุม

ในการกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจะใช้ Crystal ความถี่ 4.096 MHz เป็นสัญญาณความถี่เริ่มต้น ผ่านไปยัง ไอซี 74LS74 เพื่อที่จะหารความถี่ให้เหลือเพียง 2.048 MHz และป้อนเข้าสู่วงจร Binary Counter ซึ่งใช้ ไอซี 74393 เพื่อให้ได้ความถี่ 32 KHz , 16 KHz และ 8 KHz ตามลำดับ เพื่อที่จะนำไปเป็นสัญญาณควบคุมความเร็วในการ Sampling สัญญาณในส่วนของวงจรมัลติเพลกซ์ต่อไป

6.1.1.2 วงจรยกระดับสัญญาณ (Positive Clamper)

เนื่องจากในโครงการพิเศษนี้จะเป็นการมัลติเพลกซ์สัญญาณแบบ PAM Single จึงต้องทำการจัดระดับสัญญาณให้เหมาะสมโดยจะทำการยกระดับสัญญาณที่สวิงอยู่ในค่านบวกและค่านลบให้อยู่ในช่วงค่านบวกกับกราวด์แทนเพื่อป้อนสัญญาณให้กับชุดมัลติเพลกซ์สัญญาณ



รูปที่ 6-3 แสดงวงจรยกกระชับสัญญาณ

6.1.1.3 วงจรสวิตช์เลือกช่องสัญญาณ (Multiplex Switch)

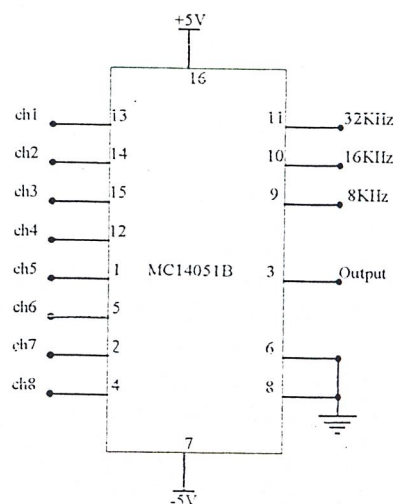
วงจรส่วนนี้จะทำการเลือกสัญญาณอนาลอกชุดใดชุดหนึ่งโดยการควบคุมตำแหน่งช่องสัญญาณให้มีการ Sampling ที่ 8,000 ครั้งต่อวินาที และระยะเวลาของการ Sampling แต่ละครั้งจะเป็น

$$1 / 8000 = 125 \mu\text{s}$$

ดังนั้นเมื่อมีช่องสัญญาณ 8 ช่องสัญญาณจะต้องทำการ Sampling สัญญาณให้ครบทั้ง 8 ช่องสัญญาณภายในเวลา 125 μs ซึ่งในแต่ละช่องสัญญาณจะต้อง Sampling ให้เสร็จภายในเวลา

$$125 \mu\text{s} / 8 = 15.625 \mu\text{s}$$

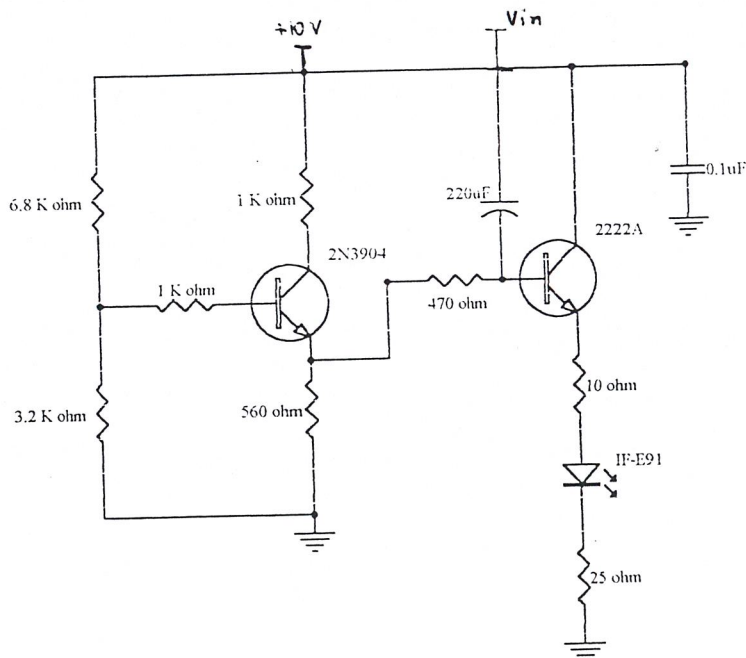
ฉะนั้นชุดสวิตช์เลือกสัญญาณอนาลอกจะต้องมีความเร็วในการเปิด - ปิด สวิตช์ที่สูงและมีสัญญาณรบกวนระหว่างช่องสัญญาณที่ต่ำ โดยในโครงการพิเศษนี้ได้เลือกใช้ ไอซีเบอร์ MC14501B เป็นอนาลอกสวิตช์ซึ่งรูปแบบของวงจรที่ใช้จะเป็นดังรูป 6-4



รูปที่ 6-4 แสดงวงจรสวิตช์เลือกช่องสัญญาณ(multiplex switch)

6.1.2 วงจรขับสัญญาณแสง (Driver Circuit)

เป็นส่วนที่ส่งสัญญาณข้อมูลที่ต้องการเข้าไปในเส้นใยนำแสงโดยผ่านโฟโตรีโอด โดยให้ความเข้มของกระแสเป็นตัวกำหนดความเข้มของแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงซึ่งกระแสที่ใช้ขับโฟโตรีโอดจะอยู่ในช่วง 30 – 50 มิลลิแอมป์ เนื่องจากในช่วงนี้กระแสที่ใช้ขับโฟโตรีโอดจะเป็นเชิงเส้นกับกำลังแสงที่ออกจากโฟโตรีโอดและให้กำลังทางแสงออกมาได้มาก โดยรูปวงจรแสดงดังรูป 6-5



รูป 6-5 แสดงวงจรขับสัญญาณ

ในที่นี้เราใช้ โฟโต้ไดโอดแบบ อินฟราเรดเบอร์ IF - E91 และและจากโฟโต้ไดโอดแบบอินฟราเรดตัวนี้จะมีช่วงใช้งานในย่านความยาวคลื่น 888 นาโนเมตร มีกำลังส่งที่สูงและสามารถใช้กับเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกได้ดี

วงจรขยายที่ใช้เป็นวงจรขับกระแสแบบ Common Collector ซึ่งจะเป็นวงจรที่มีอัตราขยายกระแสที่สูงโดยไม่คำนึงถึงอัตราขยายแรงดันทางเอาต์พุตเท่าใดนักส่วนทรานซิสเตอร์ที่ใช้เป็นทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N2222A เพราะสามารถตอบสนองความถี่ได้ถึง 400 MHz และให้กระแสคอลเลกเตอร์ได้สูงถึง 400 มิลลิแอมป์ วงจรภาคแรกคือวงจรขยายที่สามารถปรับเปลี่ยนกระแสไบอัสเบสได้จาก R_B และ R_{B2} ทำให้กระแสอิมิตเตอร์ I_{E1} ที่ควบคุมกระแสเบส I_{B2} เปลี่ยนซึ่งทำให้ระดับกระแส I_{dc} (I_{E2}) ที่ไบอัสโฟโต้ไดโอดเปลี่ยนแปลงได้

6.2 ภาครับสัญญาณมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา

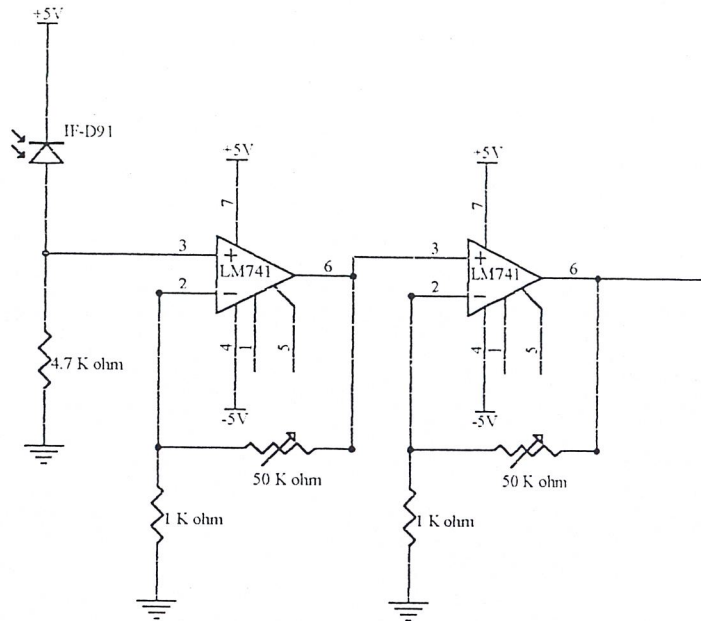
ในส่วนของภาครับเราสามารถแบ่งได้ 2 ส่วนตามบล็อกไดอะแกรมคือส่วนของวงจรรับสัญญาณแสงและส่วนที่ทำการคีมัลติเพลกซ์สัญญาณออกมาตามช่องสัญญาณ

6.2.1 วงจรรับสัญญาณแสง

วงจรรับสัญญาณแสงจำเป็นต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. ตัวรับแสงจำเป็นต้องมีความไวต่อสัญญาณแสงเพียงพอ
2. ตัวรับสัญญาณแสงสามารถเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้โดยไม่เกิดความเพี้ยนของสัญญาณ
3. วงจรรับสัญญาณควรมีสัญญาณรบกวนที่ต่ำ

ในการรับสัญญาณแสงจะใช้ตัวรับสัญญาณแบบโฟโต้ไดโอดเบอร์ IF-D91 เนื่องจากโฟโต้ไดโอดตัวนี้มีการตอบสนองต่อสัญญาณแสงได้ดีโดยมีย่านการใช้งานอยู่ในช่วงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นประมาณ 850 นาโนเมตรและมีความเป็นเชิงเส้นสูงและสามารถใช้กับเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกได้โดยรูปวงจรรับสัญญาณแสงจะเป็นดังรูป 6-6



รูปที่ 6-6 แสดงวงจรรับสัญญาณแสง

ในที่นี้จำเป็นต้องมีวงจรขยายสัญญาณเพื่อที่จะขยายสัญญาณที่ได้จากโฟโตไดโอดให้มีขนาดที่เหมาะสม โดยวงจรขยายสัญญาณที่ใช้จะต้องมีอัตราขยายที่สูง , มีสัญญาณรบกวนต่ำและเกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณน้อย ซึ่งในโครงงานพิเศษนี้จะใช้ออปแอมป์เบอร์ 741 เป็นตัวขยายสัญญาณทางไฟฟ้าโดยต่อวงจรเป็นแบบขยายไม่กลับเฟสและอัตราขยายสามารถควบคุมได้จากตัวต้านทานปรับค่าได้ $50\text{ K}\Omega$

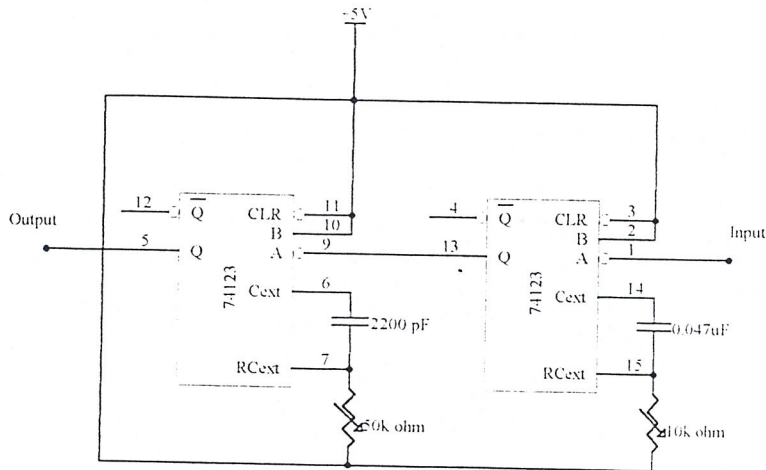
6.2.2 ระบบดีมัลติเพลกซ์ (Demultiplex System)

ในระบบนี้จะประกอบด้วยวงจรที่จะสามารถนำสัญญาณที่เหมือนกับทางด้านอินพุทของภาคส่งให้ออกมาทางเอาต์พุทของระบบนี้ได้ โดยจะประกอบไปด้วยวงจรชิงโครไนซ์เซชัน , วงจรสวิตช์แยกช่องสัญญาณ , วงจรลดระดับสัญญาณ และวงจรกรองความถี่ต่ำ

6.2.2.1 วงจรชิงโครไนซ์เซชัน

ก่อนที่จะนำสัญญาณที่ได้จากส่วนรับสัญญาณแสงไปใช้งานต่อจะพบว่าในการทำงานของสัญญาณนาฬิกาเพื่อควบคุมอัตราการ Sampling ของอนาล็อกสวิตช์ทางด้านมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์สัญญาณจะต้องมีจังหวะการหมุนของสวิตช์ให้หมุนสัมพันธ์ไปพร้อมๆกันหรือมีเฟสที่ตรงกันแต่เนื่องจากสัญญาณข้อมูลที่ได้จากส่วนรับสัญญาณไม่สัมพันธ์หรือมีเฟสไม่ตรงกันกับสัญญาณนาฬิกาที่เราสร้างขึ้นใหม่ในภาครับนี้ ฉะนั้นเพื่อให้สัญญาณข้อมูลมีเฟสที่ตรงกันกับสัญญาณ

นาฬิกาจึงควรต่อวงจรเฟสชิฟท์ (Phase Shift) เพื่อเลื่อนเฟสให้มีความสัมพันธ์กันโดยในที่นี้จะใช้ ไอซีเบอร์ 74123 ซึ่งเป็นไอซีโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ เป็นวงจรเฟสชิฟท์สัญญาณนาฬิกาที่สร้างขึ้นให้มีความสัมพันธ์กับสัญญาณข้อมูลโดยวงจรนี้แสดงในรูป 6-7

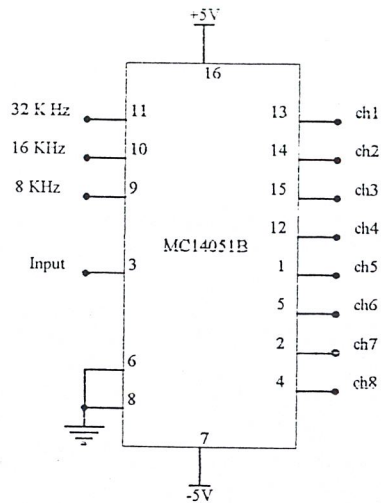


รูป 6-7 แสดงวงจรเฟสชิฟท์

จากวงจรตัวต้านทาน R_1 และตัวเก็บประจุ C_1 ทำหน้าที่ควบคุมความกว้างของสัญญาณเอาต์พุตให้มีความกว้างที่เหมาะสม ส่วนตัวต้านทาน R_2 และตัวเก็บประจุ C_2 ทำหน้าที่ควบคุมองศาในการเลื่อนเฟส

6.2.2.2 วงจรสวิทช์แยกช่วงสัญญาณ (Demultiplex Switch)

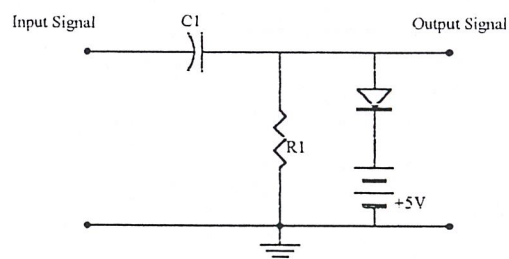
ในวงจรส่วนนี้จะทำการแยกสัญญาณข้อมูลที่ได้รับออกเป็น 8 ช่องสัญญาณดั้งเดิมโดยมีอัตราการหมุนของสวิทช์เลือกช่องสัญญาณที่สัมพันธ์กับทางค่านมัลติเพลกซ์ซึ่งใช้สัญญาณนาฬิกาที่ผ่านการเลื่อนเฟสให้ตรงกับสัญญาณข้อมูลแล้วทำการควบคุมการหมุนของสวิทช์ ส่วนรูปวงจรคีมัลติเพลกซ์จะเป็นดังรูปที่ 6-8 และจะเห็นว่าเป็นวงจรเดียวกันกับทางค่านมัลติเพลกซ์แต่กลับทิศทางกันและใช้ไอซี MC14051B เหมือนกัน



รูปที่ 6-8 แสดงวงจรดีมัลติเพลกซ์

6.2.2.3 วงจรลดระดับสัญญาณ (Negative Clamper)

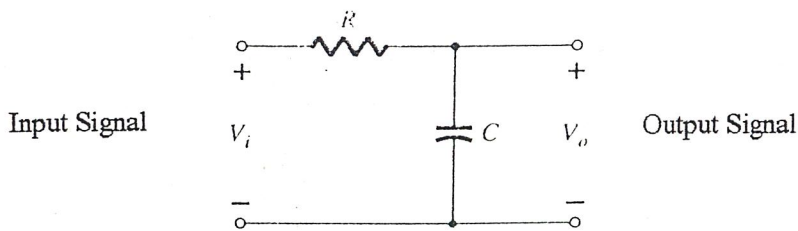
หลังจากที่ทำการแยกสัญญาณเรียบร้อยแล้ว เนื่องจากสัญญาณข้อมูลถูกยกกระดบสัญญาณมาจากด้านส่งเพื่อให้รูปสัญญาณเหมือนเดิมกับสัญญาณอินพุทที่เข้ามาจึงควรลดระดับสัญญาณให้สวิงอยู่ในระดับบวกและลบเช่นเดิมโดยใช้วงจร Negative Clamper ช่วยในการลดระดับสัญญาณลง



รูปที่ 6-9 วงจรลดระดับสัญญาณ

6.2.2.3 วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low-Pass Filter)

วงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่จัดรูปที่ เกิดจากการลุ่มตัวอย่างให้กลับมาเป็นสัญญาณอนาลอกอย่างเดิม ดังแสดงในรูป 6.10



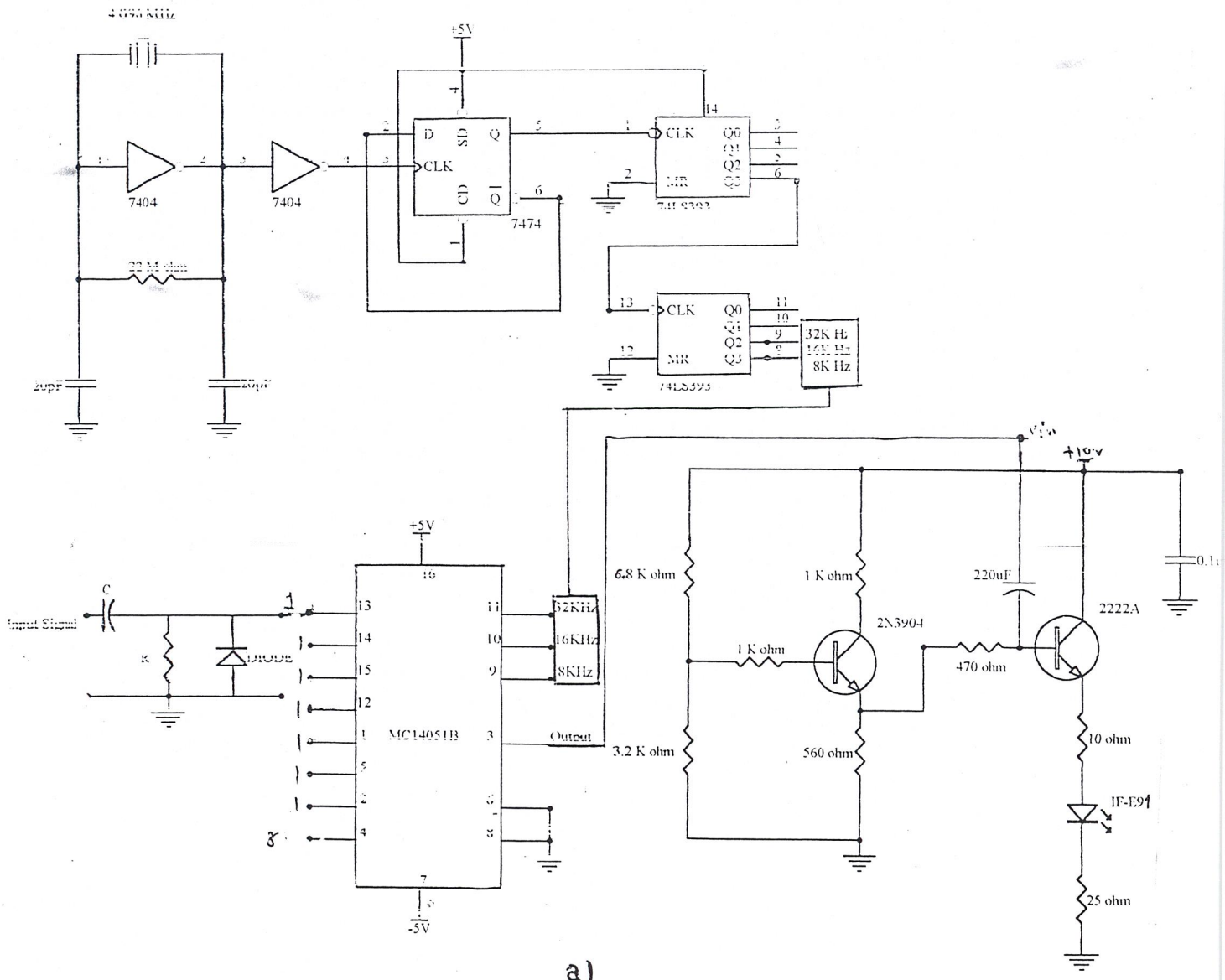
รูป 6.10 แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำ

โดย $f = 1 / (2\pi RC)$

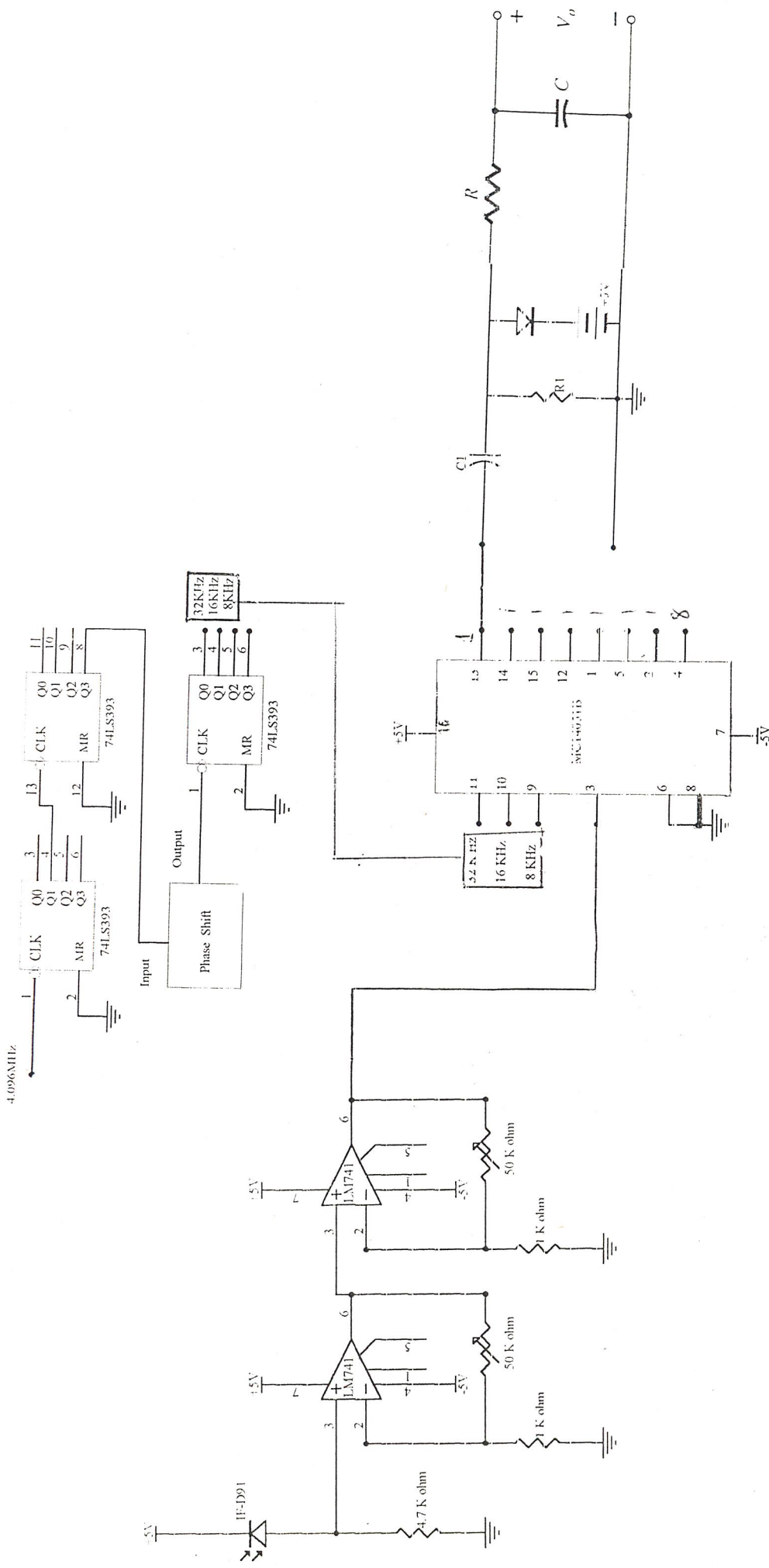
6.3 หลักการทำงานของชุดมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา

เมื่อนำวงจรทั้งหมดมาต่อเข้าด้วยกันจะได้วงจรดังรูป 6-11 โดยหลักการของระบบนี้จะแบ่งออกเป็นภาคส่งและภาครับ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อเราเปิดแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรทั้งหมดแล้วแล้วนำสัญญาณอนาลอกใดๆใส่ลงในช่องอินพุตสัญญาณทั้ง 8 ช่อง สัญญาณนาฬิกาที่ได้จากการสร้างของวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาและสัญญาณควบคุม ค่า 32 KHz ,16 KHz , 8 KHz จะถูกนำไปใช้ในวงจรมัลติเพลกซ์ (วงจรสวิตช์เลือกช่องสัญญาณ) โดยสัญญาณอินพุตที่ถูกยกระดับแล้วจากวงจรยกระดับสัญญาณจะถูกส่งเข้ามา Sampling ที่วงจรมัลติเพลกซ์ จากนั้นสัญญาณที่ถูก Sampling แล้วจะถูกส่งมายังวงจรขับสัญญาณแสงเพียงช่องสัญญาณเดียว(ถูก Sampling จาก 8 ช่องสัญญาณเหลือช่องสัญญาณเดียว) เพื่อขับไฟไดโอดให้ส่งสัญญาณตามข้อมูลที่ผ่านเข้ามาข้อมูลที่ผ่านไฟไดโอดไดโอดจะถูกเปลี่ยนจากสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงเพื่อส่งผ่านเส้นใยนำแสงจากนั้นก็จะเป็นหน้าที่ของวงจรรับทำการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าซึ่งสัญญาณตรงนี้จะต้องมี

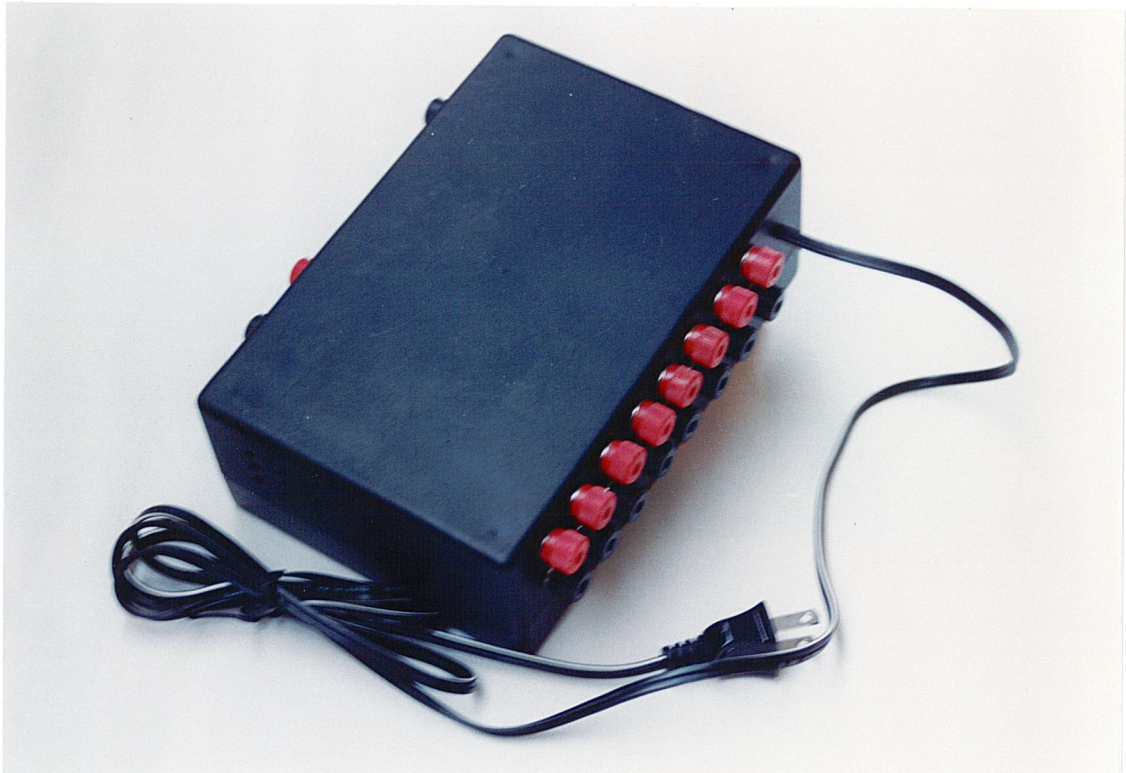
รูปร่างลักษณะที่เหมือนกับสัญญาณก่อนที่จะเข้าวงจรขับสัญญาณแสง เมื่อได้สัญญาณที่ขยายแล้วออกมาจากวงจรรับ สัญญาณนี้จะถูกส่งเข้าสู่ระบบคิมัลติเพลกซ์ซึ่งในส่วนนี้จะมีการรีเฟรชของสัญญาณนาฬิกาให้ตรงกันกับสัญญาณนาฬิกาในภาคส่งเพื่อที่สัญญาณจะได้ออกจากเอาต์พุตอย่างถูกต้อง เมื่อสัญญาณข้อมูลผ่านการคิมัลติเพลกซ์แล้ว เราจะได้สัญญาณกลับคืนมาทั้งหมด 8 ช่องสัญญาณจากนั้นต้องทำให้รูปร่างของสัญญาณเหมือนเดิมต้องผ่านวงจรลดระดับสัญญาณเพื่อลดระดับจากที่ถูกยกกระดัดสัญญาณขึ้นตรงภาคส่งและเข้าวงจรรองความถี่ต่ำเพื่อให้ได้สัญญาณข้อมูลที่ต้องการ



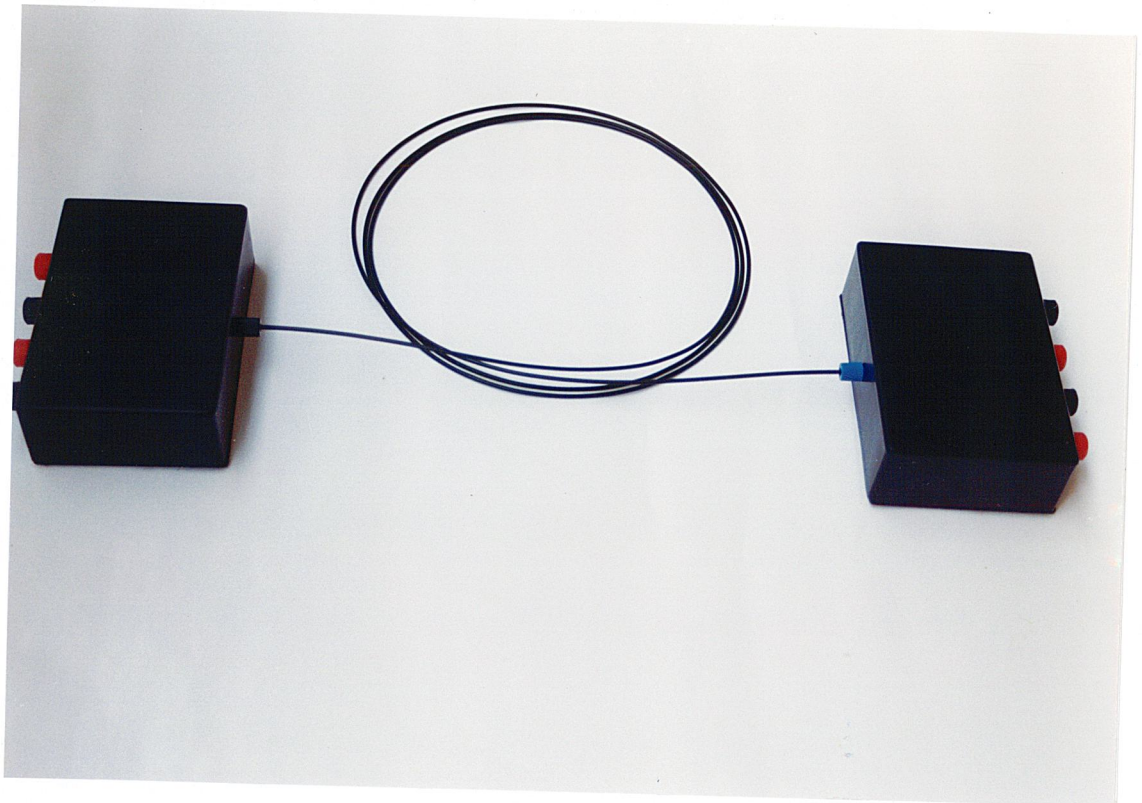
a)



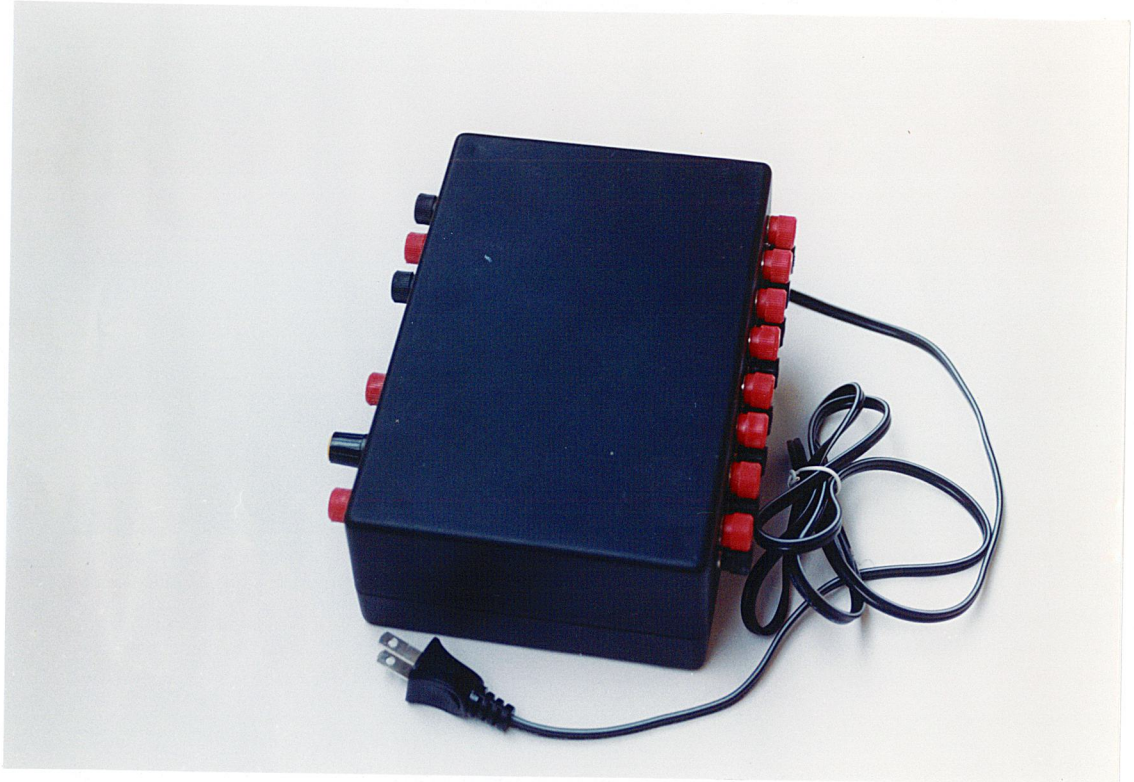
b)
 รูป 6-11 แสดงวงจรสมมูลของชุดมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา
 a) วงจรภาคส่ง b) วงจรภาครับ



รูปที่ 6-12 แสดงลักษณะภายนอกของภาคส่งสัญญาณมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา



รูปที่ 6-13 แสดงลักษณะภายนอกของวงจรขับและรับสัญญาณแสง



รูปที่ 6-14 แสดงลักษณะภายนอกของระบบคีมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา

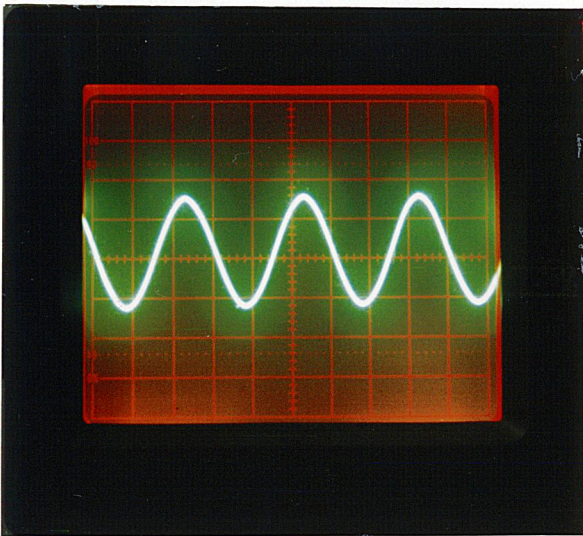
บทที่ 7

ผลการทดลองและแนวทางการพัฒนา

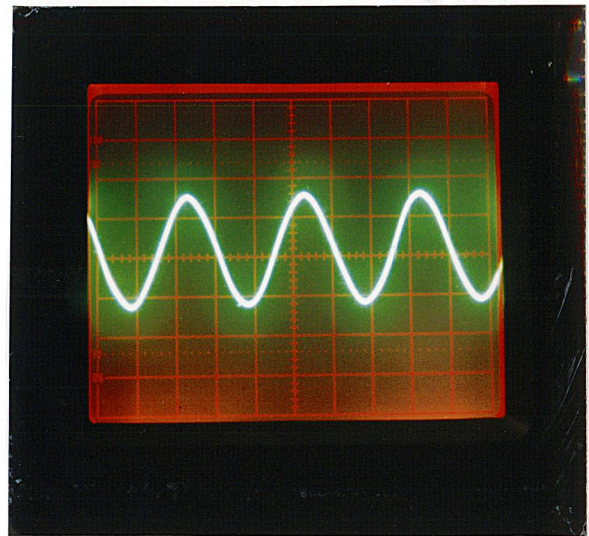
7.1 รูปสัญญาณที่ได้จากส่วนต่างๆ

ประสิทธิภาพของชุดการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลาสามารถแสดงได้จากรูปสัญญาณโดยจะแสดงรูปสัญญาณในส่วนดังนี้

7.1.1 ส่วนสัญญาณอินพุท



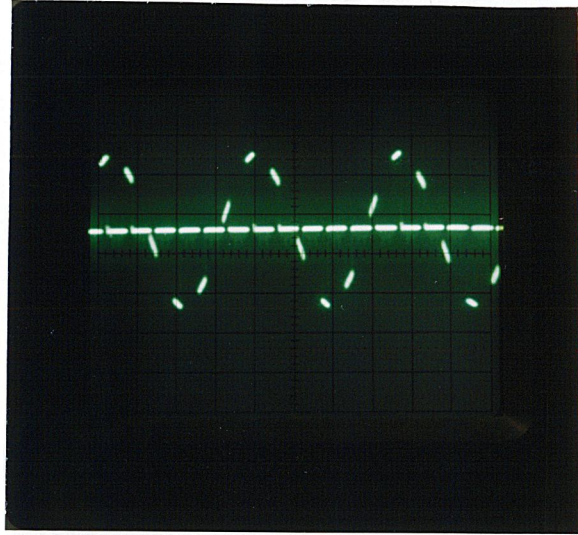
ช่องสัญญาณที่ 1



ช่องสัญญาณที่ 2

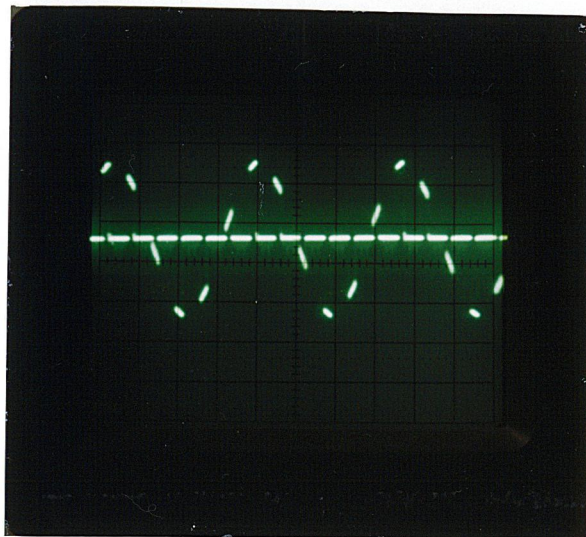
รูปที่ 7-1 แสดงสัญญาณอินพุท

7.1.2 ส่วนสัญญาณที่ถูกมัลติเพลกซ์เรียบร้อยแล้ว



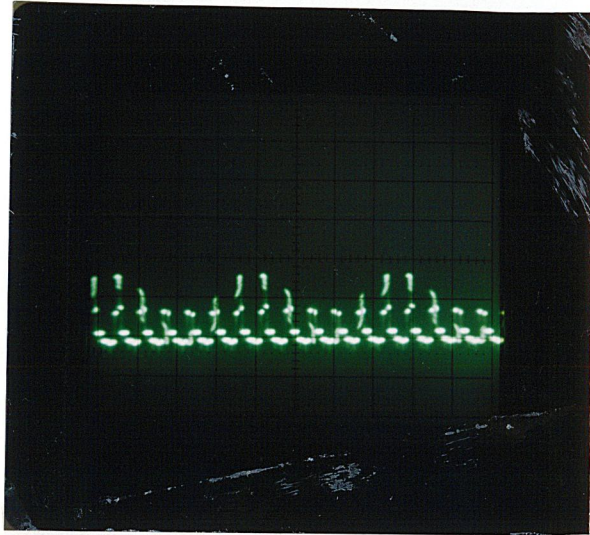
รูปที่ 7-2 แสดงสัญญาณที่ถูกมัลติเพลกซ์เรียบร้อยแล้ว

7.1.3 ส่วนสัญญาณที่ตัวกำเนิดแสง



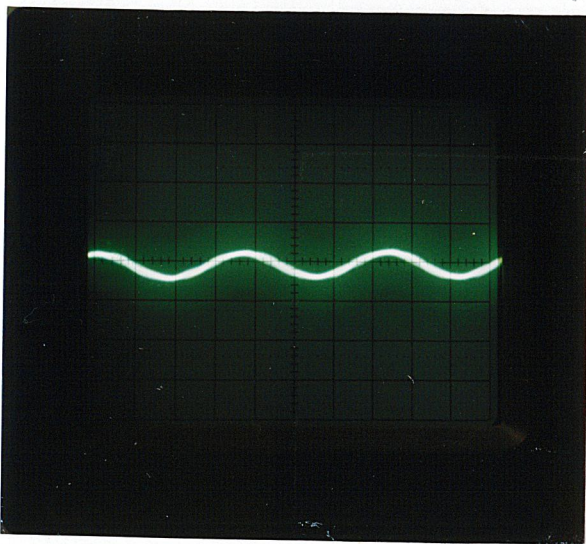
รูปที่ 7-3 แสดงสัญญาณที่ตัวกำเนิดแสง

7.1.4 ส่วนสัญญาณที่ตัวรับสัญญาณแสง

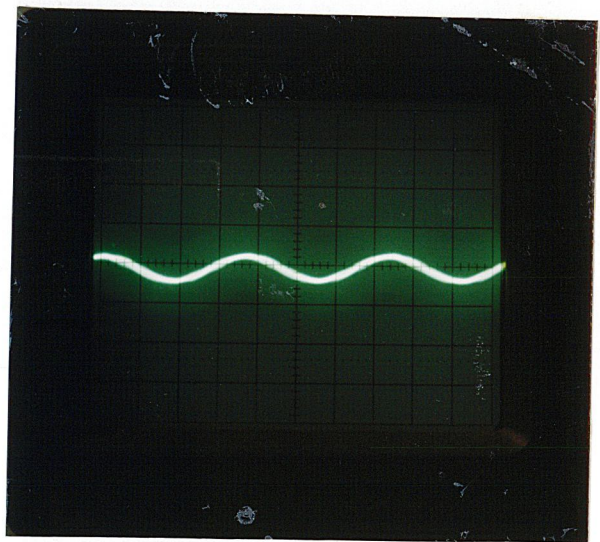


รูปที่ 7-4 แสดงสัญญาณที่ตัวรับสัญญาณแสง

7.1.5 ส่วนสัญญาณที่ถูกหุ้มฉนวนแล้ว (สัญญาณเอาต์พุต)



ช่องสัญญาณที่ 1



ช่องสัญญาณที่ 2

รูปที่ 7-5 แสดงสัญญาณเอาต์พุต

7.2 ปัญหาในการทำโครงการพิเศษ

ในระหว่างการทำโครงการพิเศษนี้ได้พบปัญหาและข้อผิดพลาดซึ่งได้ทำการแก้ปัญหาและข้อผิดพลาดและได้ทำการสรุปไว้ดังนี้

7.2.1 การไม่แมทช์กันของวงจร

วงจรที่เรานำมาทดลองตามทฤษฎี ในแต่ละส่วนนั้นสามารถทำงานได้ตามความต้องการ แต่เมื่อนำวงจรมาประกอบเข้าด้วยกันทั้งหมด จะเกิดการไม่แมทช์กันของวงจรเกิดขึ้นทำให้วงจรทั้งหมดไม่สามารถทำงานได้ตามจุดประสงค์ที่วางไว้

7.2.2 วงจรขยายสัญญาณแอส

ในภาคขยายสัญญาณแอส เมื่อรับสัญญาณแอสจากระบบมัลติเพลกซ์แล้วเข้าสู่ทรานซิสเตอร์เพื่อขยายสัญญาณให้ตัวโฟโต้ไดโอดในการจับสัญญาณแอสจะมีปัญหาในเรื่องของกระแสที่ไม่เพียงพอในการจับโฟโต้ไดโอดให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

7.2.3 วงจรซิงโครไนซ์เซชัน

ในระบบมัลติเพลกซ์นั้นเราต้องใช้สัญญาณนาฬิกาเพื่อควบคุมให้ทำการดีมัลติเพลกซ์สัญญาณได้อย่างถูกต้อง ในโครงการพิเศษนี้ในตอนแรกจะมีปัญหาในเรื่องการไม่สอดคล้องกันของสัญญาณนาฬิกาเกิดขึ้นทำให้สัญญาณที่ถูกดีมัลติเพลกซ์ออกมาไม่ถูกต้องตามช่องสัญญาณเดิม

7.2.4 สัญญาณรบกวนจากหม้อแปลง

เนื่องจากสัญญาณที่ถูกดีมัลติเพลกซ์และกรองความถี่แล้วจะมีสัญญาณรบกวนจากหม้อแปลงมารบกวนสัญญาณที่เราได้ ฉะนั้นในการแก้ไขเราควรจะนำวงจรคิฟเฟอร์เนเชี่ยล แอมพลิไฟเออร์มาช่วยในการขจัดสัญญาณรบกวนจากหม้อแปลง

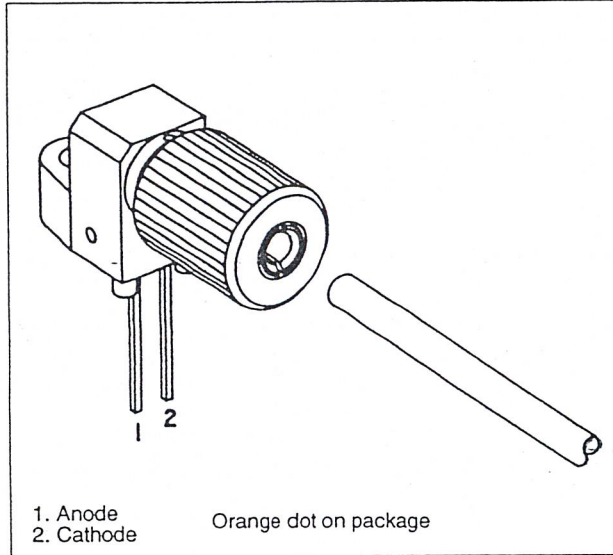
แนวทางการพัฒนา

1. เนื่องจากในโครงการพิเศษนี้เป็นการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา ถ้านำไปใช้ร่วมกับระบบ Pulse Code Modulation จะทำให้การส่งข้อมูลได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของสัญญาณน้อยมาก
2. ในระบบมัลติเพลกซ์ ถ้าเราทำสวิทช์ในการตัดต่อสัญญาณให้ถูกช่องสัญญาณโดยอัตโนมัติจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านการสื่อสารได้เช่น ซุมสายโทรศัพท์ เป็นต้น

ภาคผนวก

FEATURES

- Mates with Standard, 1000 μm Core, Plastic Fiber Cable
- Internal Micro-lens for Efficient Coupling
- Inexpensive Plastic Connector Housing
- Connector-less Interface
- Interference-free Transmission from Light-tight Housing
- Simple Fiber Termination and Connection
- Excellent Linearity



APPLICATIONS

- Household Appliances
- Power Electronics
- Optical Networks
- Medical Instruments
- Automotive Electronics
- Audio Systems
- Electronic Games

DESCRIPTION

The IF-D91 is the active photodiode device in Industrial Fiber Optics' family of low-cost, medium-frequency, short-distance fiber optic emitters and detectors. Each emitter and detector consists of a PVC housing, an internal active element such as an LED or photodetector, and a cinch nut to hold the fiber in place. The PVC housing retains the active element and the cinch nut while optimizing coupling between the active element and the jacketed 1000 μm plastic fiber.

Working with this family of fiber optics is simple: No special tools or training required. Only a sharp knife or razor blade is needed to terminate the plastic fiber. When the fiber is inserted in the emitter or detector, tighten the cinch nut. Thereafter, the fiber can be removed simply by loosening the nut.

Maximum Ratings ($T_A=25^\circ\text{C}$)

Operating and Storage	
Temperature Range (T_{OP}, T_{STG})	-40° to 85°C
Junction Temperature (T_J)	85°C
Soldering Temperature	
(2mm from case bottom) (T_S) $t \leq 5s$	240°C
Power Dissipation (P_{TOT}) $T_A=25^\circ\text{C}$	100 mW
De-rate Above 25°C	1.33 mW/°C

Characteristics ($T_A=25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Maximum Photosensitivity	λ_{PEAK}	850	nm
Spectral Bandwidth ($S=10\%$ of S_{MAX})	$\Delta\lambda$	400-1100	nm
Rise and Fall Times (10% to 90% and 90% to 10%) ($R_L=50\Omega, V_R=20\text{ V}, \lambda=850\text{ nm}$)	t_r, t_f	5	ns
Total Capacitance	C_T	4	pF
Responsivity @ 860 nm	R	0.4	$\mu\text{A}/\mu\text{W}$
@ 632 nm		0.2	$\mu\text{A}/\mu\text{W}$
Dark Current ($V_R=30\text{ volts}, E_F=0$)	I_D	<60	nA
Reverse Breakdown Voltage	$V_{(BR)R}$	60	V
Forward Voltage	V_f	1.2	V

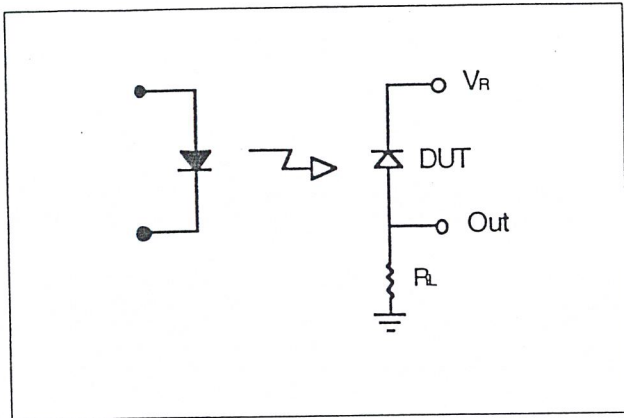


Figure 1. Circuit diagram for measuring rise and fall times.

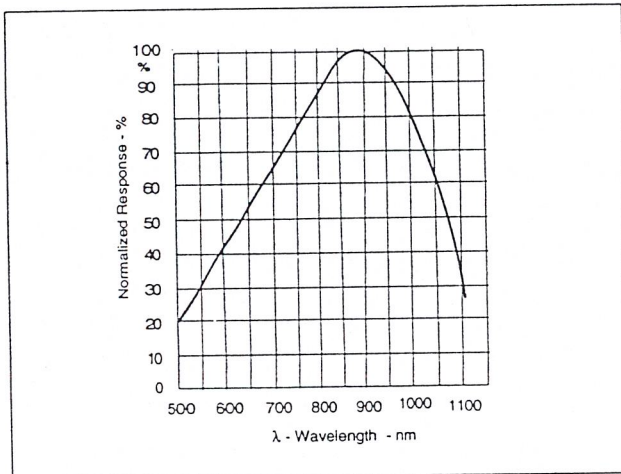
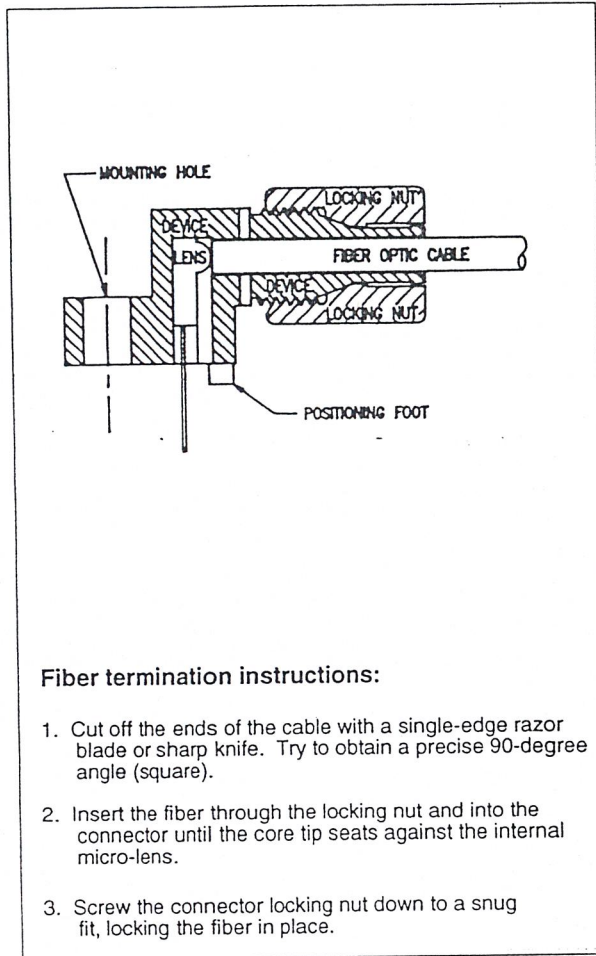


Figure 2. Typical detector response versus wavelength.



Fiber termination instructions:

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

Figure 3. Cross-section of fiber optic device.

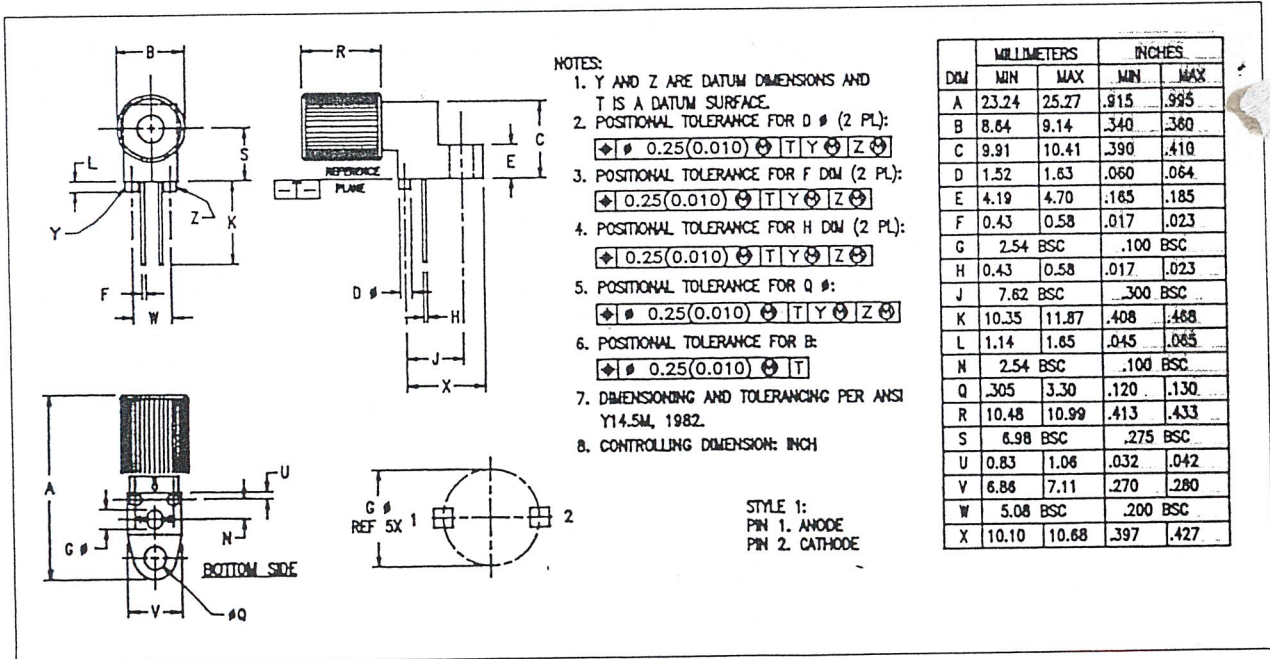


Figure 4. Case outline.

FEATURES

- Mates with Standard, 1000 μm Core, Plastic Fiber Cable
- Internal Micro-lens for Efficient Coupling
- Inexpensive Plastic Connector Housing
- Connector-less Interface
- Interference-free Transmission from Light-tight Housing
- Simple Fiber Termination and Connection
- Excellent Linearity

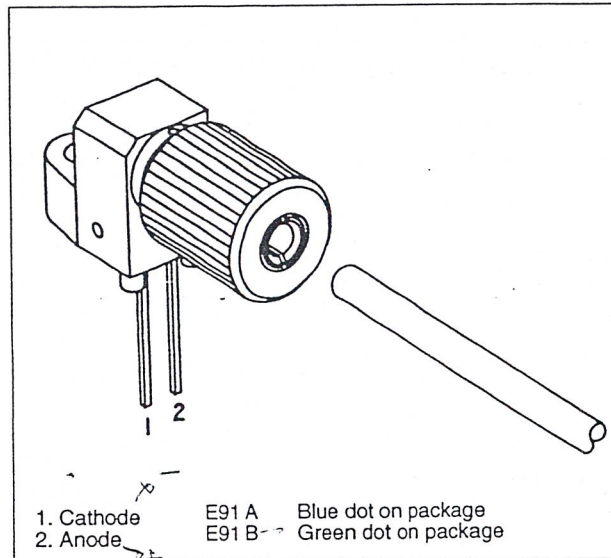
APPLICATIONS

Household Appliances
 Power Electronics
 Optical Networks
 Medical Instruments
 Automotive Electronics
 Audio Systems
 Electronic Games

DESCRIPTION

The IF-E91A and IF-E91B are the infrared LEDs in Industrial Fiber Optics' family of low-cost, medium-frequency, short-distance fiber optic emitters and detectors. Each emitter and detector consists of a PVC housing, an internal active element such as an LED or photodetector and a cinch nut to hold the fiber in place. The PVC housing retains the active element and the cinch nut while optimizing coupling between the active element and the jacketed 1000 μm plastic fiber.

Working with this family of fiber optics is simple: No special tools or training required. Only a sharp knife or razor blade is needed to terminate the plastic fiber. When the fiber is inserted in the emitter or detector, tighten the cinch nut. Thereafter, the fiber can be removed simply by loosening the nut.



Maximum Ratings ($T_A=25^\circ\text{C}$)

Operating and Storage	
Temperature Range (T_{OP}, T_{STG})	-40° to 85° C
Junction Temperature (T_J)	85° C
Soldering Temperature	
(2mm from case bottom) (T_S) $t \leq 5s$	240° C
Reverse Voltage (V_R)	3 V
Power Dissipation (P_{TOT}) $T_A=25^\circ\text{C}$	100 mW
De-rate Above 25° C	1.33 mW/°C

	IF-E91A	IF-E91B
Forward Current, DC (I_F)	50 mA	100 mA
Surge Current (I_{FSM}) $t \leq 10 \mu\text{sec}$	2 A	2 A

Characteristics ($T_A=25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	IF-E91A	IF-E91B	Unit
Peak Wavelength	λ_{PEAK}	950	880	nm
Spectral Bandwidth, 50% I_{MAX}	$\Delta\lambda$	40	80	nm
Output Power Coupled into Plastic Fiber (1 mm core diameter). Distance lens to fiber ≤ 0.1 mm, 10 cm polished fiber, $I_F=100$ mA	Φ_{min}	50	100	μW
Switching Times (10% to 90% and 90% to 10%) ($R_L=47 \Omega$, $I_F=10$ mA)	t_r, t_f	1.0	0.5	μs
Capacitance	C_0	25	25	pF
Forward Voltage ($I_F=50$ mA)	V_f	1.5 max	1.7 max	V
Temperature Coefficient, λ_{PEAK}	TC_λ	0.3	0.3	nm/K

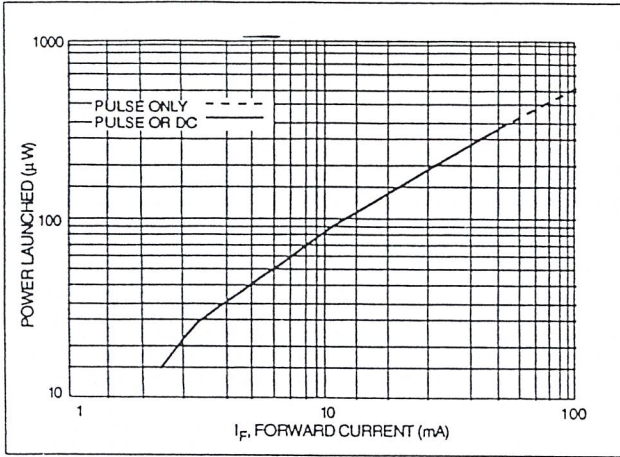


Figure 1. Normalized power launched versus forward current.

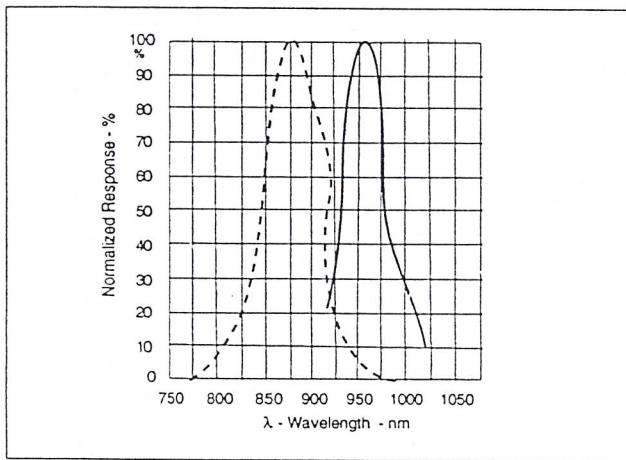
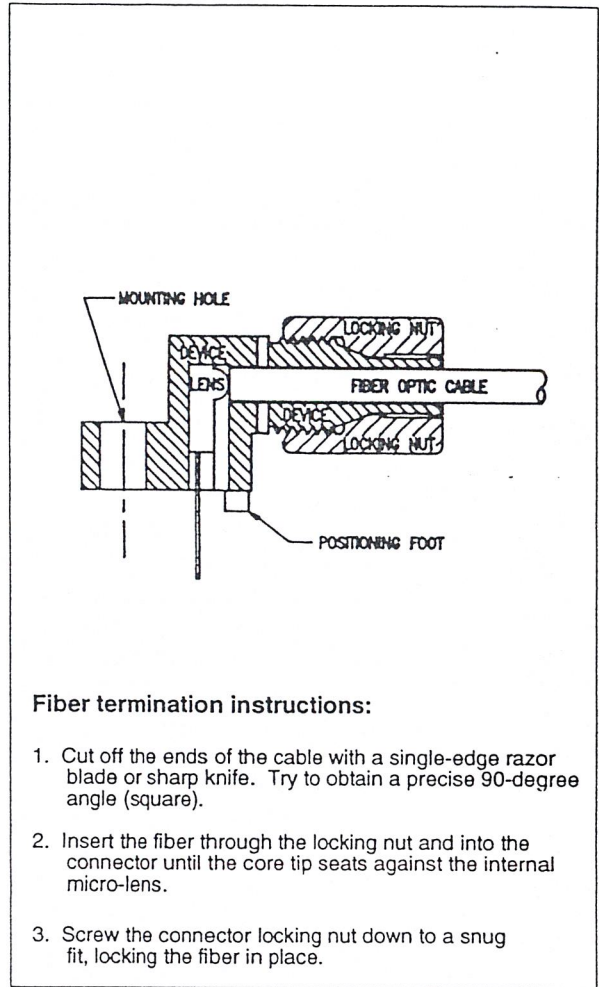


Figure 2. Typical spectral output versus wavelength.



Fiber termination instructions:

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

Figure 3. Cross-section of fiber optic device.

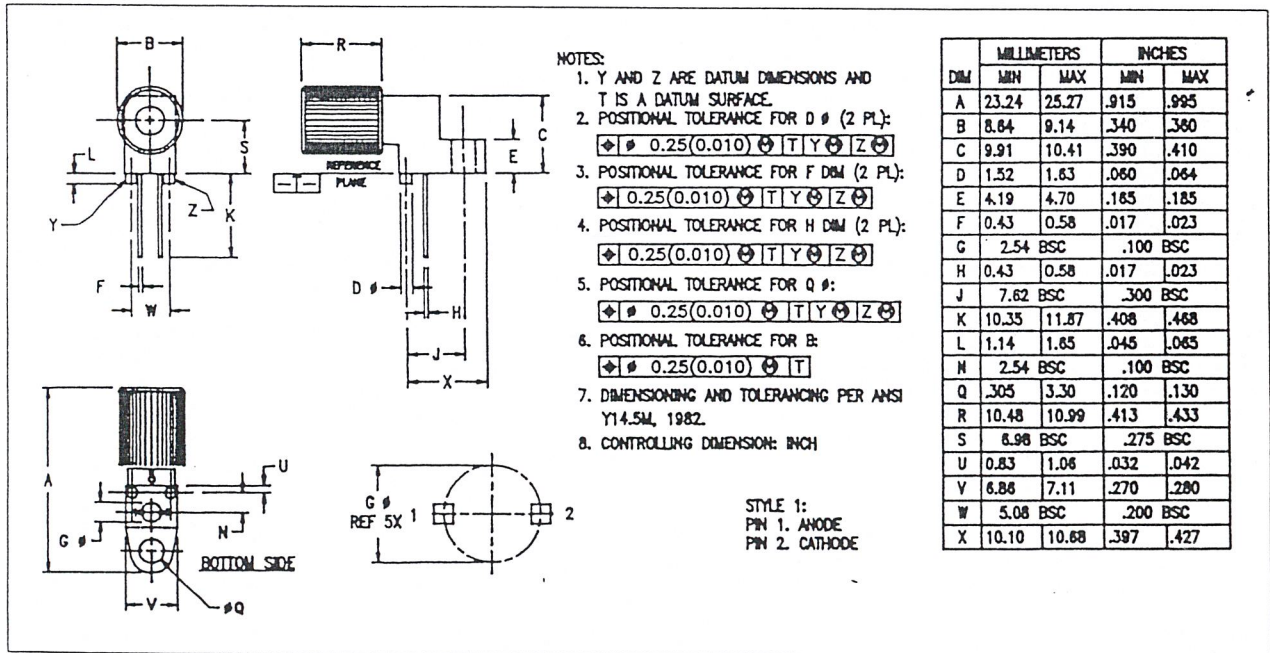


Figure 4. Case outline.

Analog Multiplexers/Demultiplexers

The MC14051B, MC14052B, and MC14053B analog multiplexers are digitally-controlled analog switches. The MC14051B effectively implements an SP8T solid state switch, the MC14052B a DP4T, and the MC14053B a Triple SPDT. All three devices feature low ON impedance and very low OFF leakage current. Control of analog signals up to the complete supply voltage range can be achieved.

- Triple Diode Protection on Control Inputs
- Switch Function is Break Before Make
- Supply Voltage Range = 3.0 Vdc to 18 Vdc
- Analog Voltage Range ($V_{DD} - V_{EE}$) = 3.0 to 18 V
Note: V_{EE} must be $\leq V_{SS}$
- Linearized Transfer Characteristics
- Low-noise - 12 nV/Cycle, $f \geq 1.0$ kHz Typical
- Pin-for-Pin Replacement for CD4051, CD4052, and CD4053
- For 4PDT Switch, See MC14551B
- For Lower R_{ON} , Use the HC4051, HC4052, or HC4053 High-Speed CMOS Devices

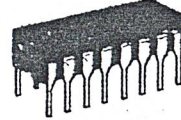
MAXIMUM RATINGS*

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{DD}	DC Supply Voltage (Referenced to V_{EE} , $V_{SS} \geq V_{EE}$)	-0.5 to +18.0	V
V_{in}, V_{out}	Input or Output Voltage (DC or Transient) (Referenced to V_{SS} for Control Inputs and V_{EE} for Switch I/O)	-0.5 to $V_{DD} + 0.5$	V
I_{in}	Input Current (DC or Transient), per Control Pin	± 10	mA
I_{sw}	Switch Through Current	± 25	mA
P_D	Power Dissipation, per Package†	500	mW
T_{stg}	Storage Temperature	-65 to +150	°C
T_L	Lead Temperature (8-Second Soldering)	260	°C

* Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.
† Temperature Derating: "P" and "D/DW" Packages: -7.0 mW/°C From 65°C To 125°C

Ceramic "L" Packages: -12 mW/°C From 100°C To 125°C

MC14051B
MC14052B
MC14053B



L SUFFIX
CERAMIC
CASE 620



P SUFFIX
PLASTIC
CASE 648



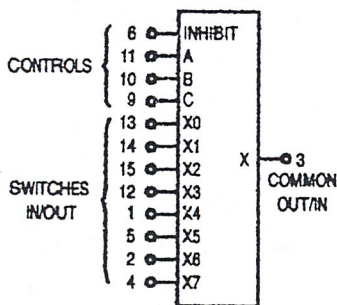
D SUFFIX
SOIC
CASE 751B

ORDERING INFORMATION

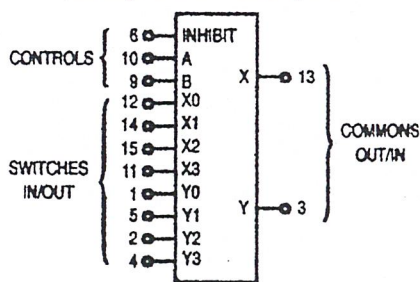
MC14XXXBCP Plastic
MC14XXXBCL Ceramic
MC14XXXBD SOIC

$T_A = -55^\circ\text{C}$ to 125°C for all packages.

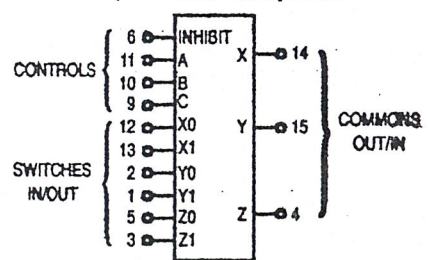
MC14051B
8-Channel Analog Multiplexer/Demultiplexer



MC14052B
Dual 4-Channel Analog Multiplexer/Demultiplexer



MC14053B
Triple 2-Channel Analog Multiplexer/Demultiplexer



Note: Control Inputs referenced to V_{EE} . Analog Inputs and Outputs reference to V_{EE} . V_{EE} must be $< V_{EE}$.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	V _{DD}	Test Conditions	- 55°C		25°C			125°C		Unit
				Min	Max	Min	Typ #	Max	Min	Max	

SUPPLY REQUIREMENTS (Voltages Referenced to V_{EE})

Power Supply Voltage Range	V _{DD}	—	V _{DD} - 3.0 ≥ V _{SS} ≥ V _{EE}	3.0	18	3.0	—	18	3.0	18	V
Quiescent Current Per Package	I _{DD}	5.0	Control Inputs: V _{in} = V _{SS} or V _{DD} , Switch I/O: V _{EE} ≤ V _{I/O} ≤ V _{DD} , and ΔV _{switch} ≤ 500 mV**	—	5.0	—	0.005	5.0	—	150	μA
		10		—	10	—	0.010	10	—	300	
		15		—	20	—	0.015	20	—	600	
Total Supply Current (Dynamic Plus Quiescent, Per Package)	I _{D(AV)}	5.0 10 15	T _A = 25°C only (The channel component, (V _{in} - V _{out})/R _{on} , is not included.)	Typical (0.07 μA/kHz) f + I _{DD} (0.20 μA/kHz) f + I _{DD} (0.36 μA/kHz) f + I _{DD}						μA	

CONTROL INPUTS — INHIBIT, A, B, C (Voltages Referenced to V_{SS})

Low-Level Input Voltage	V _{IL}	5.0	R _{on} = per spec, I _{off} = per spec	—	1.5	—	2.25	1.5	—	1.5	V
		10		—	3.0	—	4.50	3.0	—	3.0	
		15		—	4.0	—	6.75	4.0	—	4.0	
High-Level Input Voltage	V _{IH}	5.0	R _{on} = per spec, I _{off} = per spec	3.5	—	3.5	2.75	—	3.5	—	V
		10		7.0	—	7.0	5.50	—	7.0	—	
		15		11	—	11	8.25	—	11	—	
Input Leakage Current	I _{in}	15	V _{in} = 0 or V _{DD}	—	±0.1	—	±0.00001	±0.1	—	1.0	μA
Input Capacitance	C _{in}	—		—	—	—	5.0	7.5	—	—	pF

SWITCHES IN/OUT AND COMMONS OUT/IN — X, Y, Z (Voltages Referenced to V_{EE})

Recommended Peak-to-Peak Voltage Into or Out of the Switch	V _{I/O}	—	Channel On or Off	0	V _{DD}	0	—	V _{DD}	0	V _{DD}	V _{PP}
Recommended Static or Dynamic Voltage Across the Switch** (Figure 5)	ΔV _{switch}	—	Channel On	0	600	0	—	600	0	300	mV
Output Offset Voltage	V _{OO}	—	V _{in} = 0 V, No Load	—	—	—	10	—	—	—	μV
ON Resistance	R _{on}	5.0	ΔV _{switch} ≤ 500 mV**, V _{in} = V _{IL} or V _{IH} (Control), and V _{in} = 0 to V _{DD} (Switch)	—	800	—	250	1050	—	1200	Ω
		10		—	400	—	120	500	—	520	
		15		—	220	—	80	280	—	300	
ΔON Resistance Between Any Two Channels in the Same Package	ΔR _{on}	5.0		—	70	—	25	70	—	135	Ω
		10		—	50	—	10	50	—	95	
		15		—	45	—	10	45	—	65	
Off-Channel Leakage Current (Figure 10)	I _{off}	15	V _{in} = V _{IL} or V _{IH} (Control) Channel to Channel or Any One Channel	—	±100	—	±0.05	±100	—	±1000	nA
Capacitance, Switch I/O	C _{I/O}	—	Inhibit = V _{DD}	—	—	—	10	—	—	—	pF
Capacitance, Common O/I	C _{O/I}	—	Inhibit = V _{DD} (MC14051B) (MC14052B) (MC14053B)	—	—	—	60	—	—	—	pF
				—	—	—	32	—	—	—	
				—	—	—	17	—	—	—	
Capacitance, Feedthrough (Channel Off)	C _{I/O}	—	Pins Not Adjacent Pins Adjacent	—	—	—	0.15	—	—	—	pF
				—	—	—	0.47	—	—	—	

#Data labeled "Typ" is not to be used for design purposes, but is intended as an indication of the IC's potential performance.

* For voltage drops across the switch (ΔV_{switch}) > 600 mV (> 300 mV at high temperature), excessive V_{DD} current may be drawn, i.e. the current out of the switch may contain both V_{DD} and switch input components. The reliability of the device will be unaffected unless the Maximum Ratings are exceeded. (See first page of this data sheet.)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS* ($C_L = 50$ pF, $T_A = 25^\circ\text{C}$) ($V_{EE} \leq V_{SS}$ unless otherwise indicated)

Characteristic	Symbol	$V_{DD} - V_{EE}$ Vdc	Typ # All Types	Max	Unit			
Propagation Delay Times (Figure 6) Switch Input to Switch Output ($R_L = 10$ k Ω) MC14051 $t_{PLH}, t_{PHL} = (0.17 \text{ ns/pF}) C_L + 26.5 \text{ ns}$ $t_{PLH}, t_{PHL} = (0.08 \text{ ns/pF}) C_L + 11 \text{ ns}$ $t_{PLH}, t_{PHL} = (0.06 \text{ ns/pF}) C_L + 9.0 \text{ ns}$ MC14052 $t_{PLH}, t_{PHL} = (0.17 \text{ ns/pF}) C_L + 21.5 \text{ ns}$ $t_{PLH}, t_{PHL} = (0.08 \text{ ns/pF}) C_L + 8.0 \text{ ns}$ $t_{PLH}, t_{PHL} = (0.06 \text{ ns/pF}) C_L + 7.0 \text{ ns}$ MC14053 $t_{PLH}, t_{PHL} = (0.17 \text{ ns/pF}) C_L + 16.5 \text{ ns}$ $t_{PLH}, t_{PHL} = (0.08 \text{ ns/pF}) C_L + 4.0 \text{ ns}$ $t_{PLH}, t_{PHL} = (0.06 \text{ ns/pF}) C_L + 3.0 \text{ ns}$	t_{PLH}, t_{PHL}	5.0	35	90	ns			
		10	15	40				
		15	12	30				
		5.0	30	75		ns		
		10	12	30				
		15	10	25				
		5.0	25	65		ns		
		10	8.0	20				
		15	6.0	15				
		Inhibit to Output ($R_L = 10$ kΩ, $V_{EE} = V_{SS}$) Output "1" or "0" to High Impedance, or High Impedance to "1" or "0" Level MC14051B MC14052B MC14053B	$t_{PHZ}, t_{PLZ},$ t_{PZH}, t_{PZL}	5.0		350	700	ns
				10		170	340	
				15		140	280	
5.0	300			600	ns			
10	155			310				
15	125			250				
5.0	275			550	ns			
10	140			280				
15	110			220				
Control Input to Output ($R_L = 10$ kΩ, $V_{EE} = V_{SS}$) MC14051B MC14052B MC14053B	t_{PLH}, t_{PHL}			5.0	360	720	ns	
				10	160	320		
				15	120	240		
		5.0	325	650	ns			
		10	130	260				
		15	90	180				
		5.0	300	600	ns			
		10	120	240				
		15	80	160				
Second Harmonic Distortion ($R_L = 10$ k Ω , $f = 1$ kHz) $V_{in} = 5$ V _{PP}	—	10	0.07	—	%			
Bandwidth (Figure 7) ($R_L = 1$ k Ω , $V_{in} = 1/2 (V_{DD} - V_{EE})$ p-p, $C_L = 50$ pF $20 \text{ Log } (V_{out}/V_{in}) = -3$ dB)	BW	10	17	—	MHz			
Off Channel Feedthrough Attenuation (Figure 7) $R_L = 1$ k Ω , $V_{in} = 1/2 (V_{DD} - V_{EE})$ p-p $f_{in} = 4.5$ MHz — MC14051B $f_{in} = 30$ MHz — MC14052B $f_{in} = 55$ MHz — MC14053B	—	10	-50	—	dB			
Channel Separation (Figure 8) ($R_L = 1$ k Ω , $V_{in} = 1/2 (V_{DD} - V_{EE})$ p-p, $f_{in} = 3.0$ MHz)	—	10	-50	—	dB			
Crosstalk, Control Input to Common O/I (Figure 9) ($R_1 = 1$ k Ω , $R_L = 10$ k Ω Control $t_{TLH} = t_{THL} = 20$ ns, Inhibit = V_{SS})	—	10	75	—	mV			

* The formulas given are for the typical characteristics only at 25°C.

#Data labelled "Typ" is not to be used for design purposes but is intended as an indication of the IC's potential performance.

This device contains protection circuitry to guard against damage due to high static voltages or electric fields. However, precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than maximum rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, V_{in} and V_{out} should be constrained to the range $V_{SS} \leq (V_{in} \text{ or } V_{out}) \leq V_{DD}$. Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either V_{SS} , V_{EE} , or V_{DD}). Unused outputs must be left open.

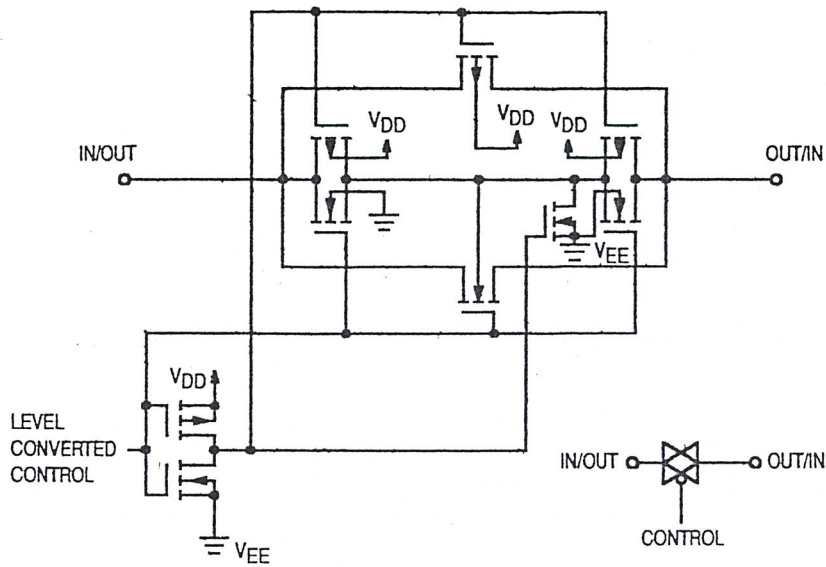


Figure 1. Switch Circuit Schematic

TRUTH TABLE

Control Inputs			ON Switches						
Inhibit	Select			MC14051B			MC14053B		
	C*	B	A	X0	Y0	X0	Z0	Y0	X0
0	0	0	0	X0	Y0	X0	Z0	Y0	X0
0	0	0	1	X1	Y1	X1	Z0	Y0	X1
0	0	1	0	X2	Y2	X2	Z0	Y1	X0
0	0	1	1	X3	Y3	X3	Z0	Y1	X1
0	1	0	0	X4			Z1	Y0	X0
0	1	0	1	X5			Z1	Y0	X1
0	1	1	0	X6			Z1	Y1	X0
0	1	1	1	X7			Z1	Y1	X1
1	x	x	x	None	None	None	None	None	None

* Not applicable for MC14052
x = Don't Care

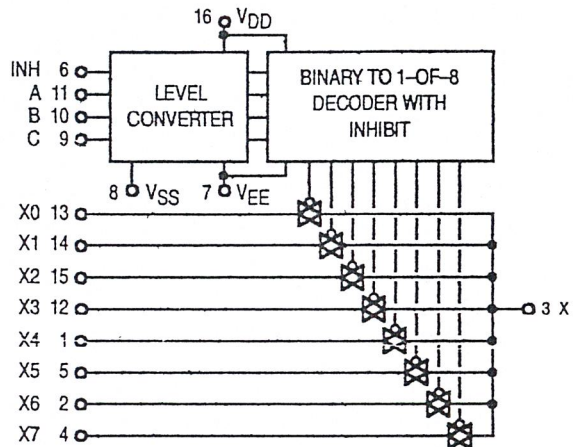


Figure 2. MC14051B Functional Diagram

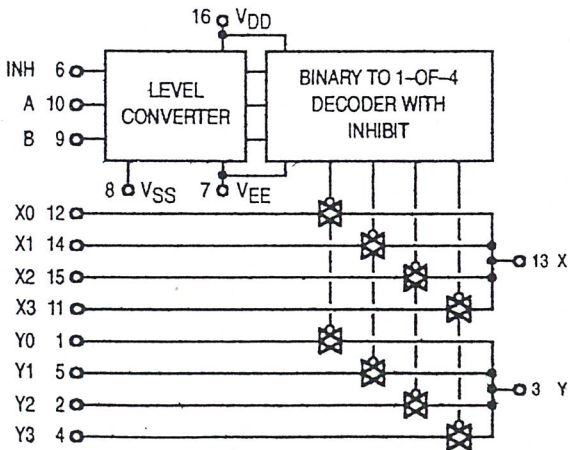


Figure 3. MC14052B Functional Diagram

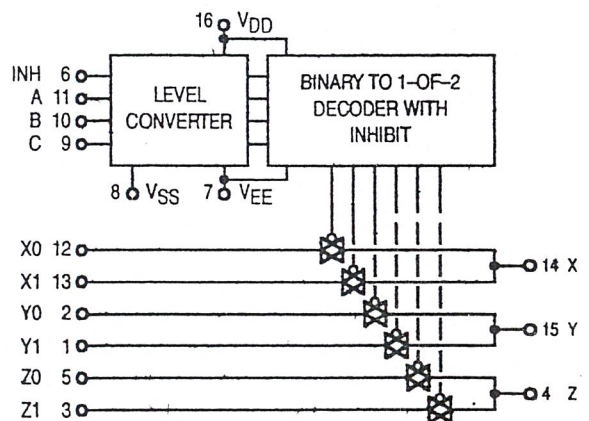


Figure 4. MC14053B Functional Diagram

TEST CIRCUITS

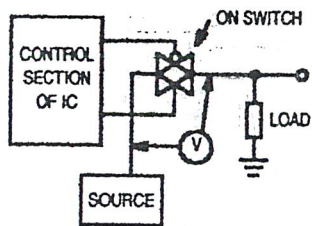


Figure 5. ΔV Across Switch

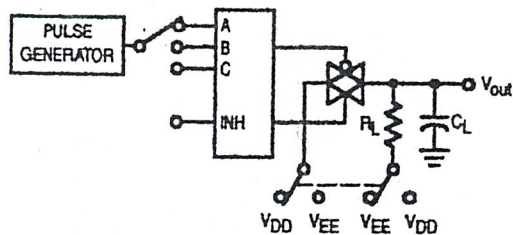


Figure 6. Propagation Delay Times, Control and Inhibit to Output

A, B, and C inputs used to turn ON or OFF the switch under test.

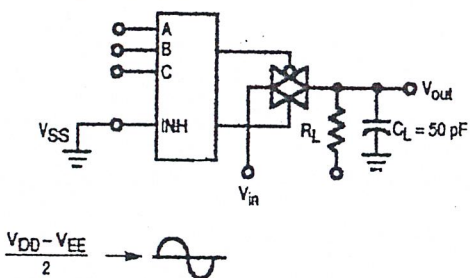


Figure 7. Bandwidth and Off-Channel Feedthrough Attenuation

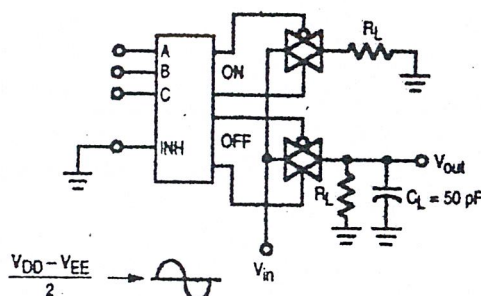


Figure 8. Channel Separation (Adjacent Channels Used For Setup)

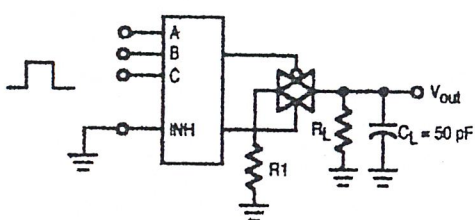


Figure 9. Crosstalk, Control Input to Common O/I

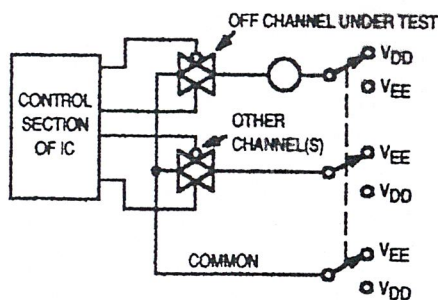


Figure 10. Off Channel Leakage

NOTE: See also Figures 7 and 8 on Page 6-51.

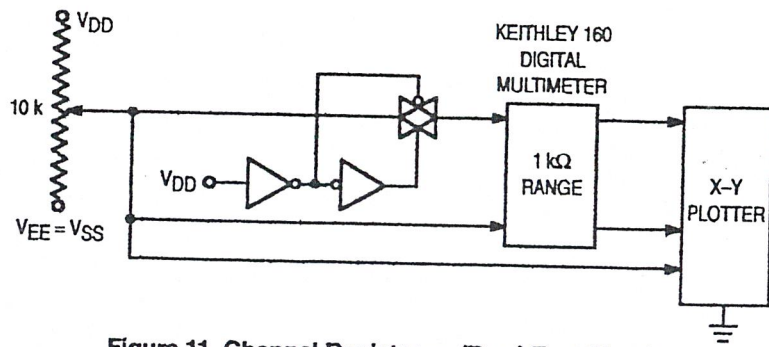


Figure 11. Channel Resistance (R_{ON}) Test Circuit

TYPICAL RESISTANCE CHARACTERISTICS

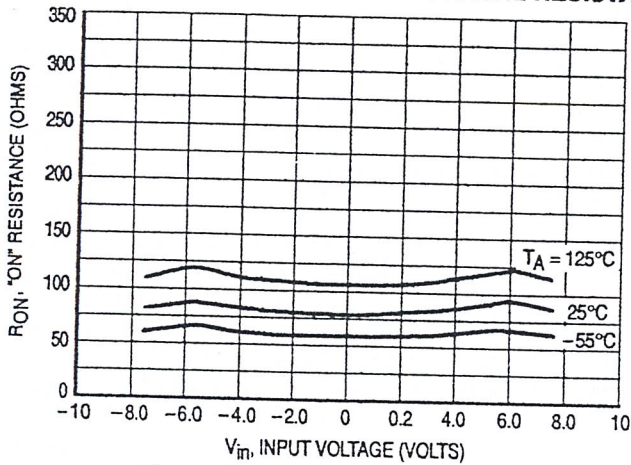


Figure 12. $V_{DD} = 7.5 \text{ V}$, $V_{EE} = -7.5 \text{ V}$

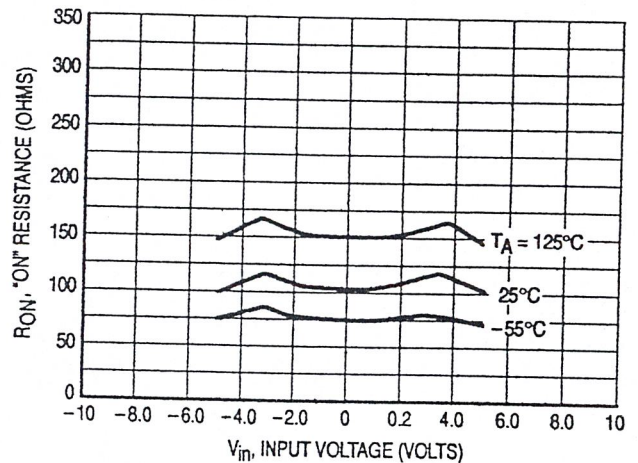


Figure 13. $V_{DD} = 5.0 \text{ V}$, $V_{EE} = -5.0 \text{ V}$

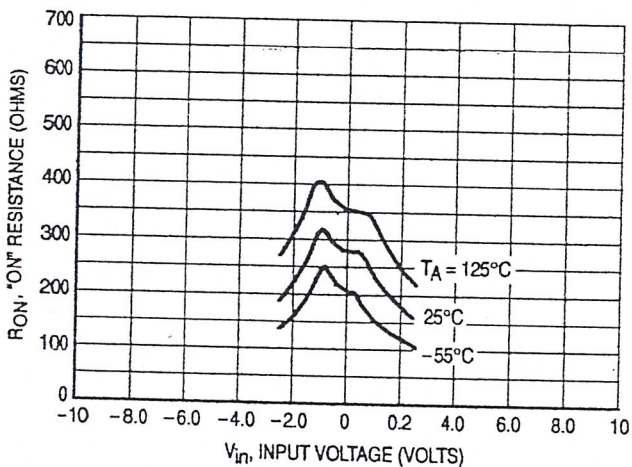


Figure 14. $V_{DD} = 2.5 \text{ V}$, $V_{EE} = -2.5 \text{ V}$

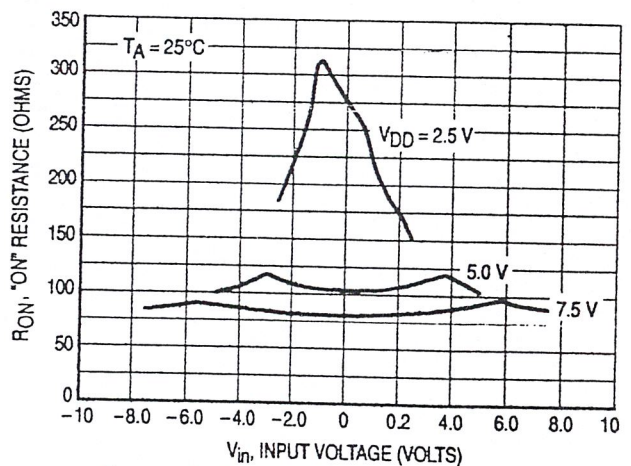
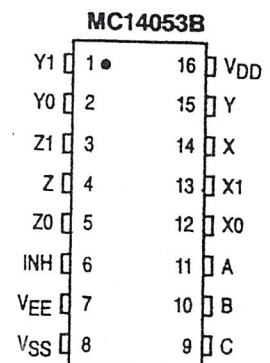
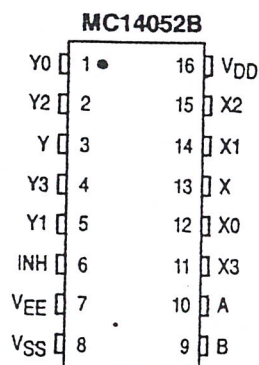
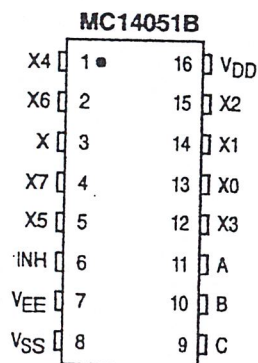


Figure 15. Comparison at 25°C , $V_{DD} = -V_{EE}$

PIN ASSIGNMENT



APPLICATIONS INFORMATION

Figure A illustrates use of the on-chip level converter detailed in Figures 2, 3, and 4. The 0-to-5 V Digital Control signal is used to directly control a 9 V_{p-p} analog signal.

The digital control logic levels are determined by V_{DD} and V_{SS}. The V_{DD} voltage is the logic high voltage; the V_{SS} voltage is logic low. For the example, V_{DD} = +5 V = logic high at the control inputs; V_{SS} = GND = 0 V = logic low.

The maximum analog signal level is determined by V_{DD} and V_{VEE}. The V_{DD} voltage determines the maximum recommended peak above V_{SS}. The V_{VEE} voltage determines the maximum swing below V_{SS}. For the example, V_{DD} - V_{SS} = 5 V maximum swing above V_{SS}; V_{SS} - V_{VEE} = 5 V maximum swing below V_{SS}. The example shows a ± 4.5 V signal which allows a 1/2 volt margin at each peak. If voltage transients

above V_{DD} and/or below V_{VEE} are anticipated on the analog channels, external diodes (D_x) are recommended as shown in Figure B. These diodes should be small signal types able to absorb the maximum anticipated current surges during clipping.

The *absolute* maximum potential difference between V_{DD} and V_{VEE} is 18.0 V. Most parameters are specified up to 15 V which is the *recommended* maximum difference between V_{DD} and V_{VEE}.

Balanced supplies are not required. However, V_{SS} must be greater than or equal to V_{VEE}. For example, V_{DD} = +10 V, V_{SS} = +5 V, and V_{VEE} = -3 V is acceptable. See the Table below.

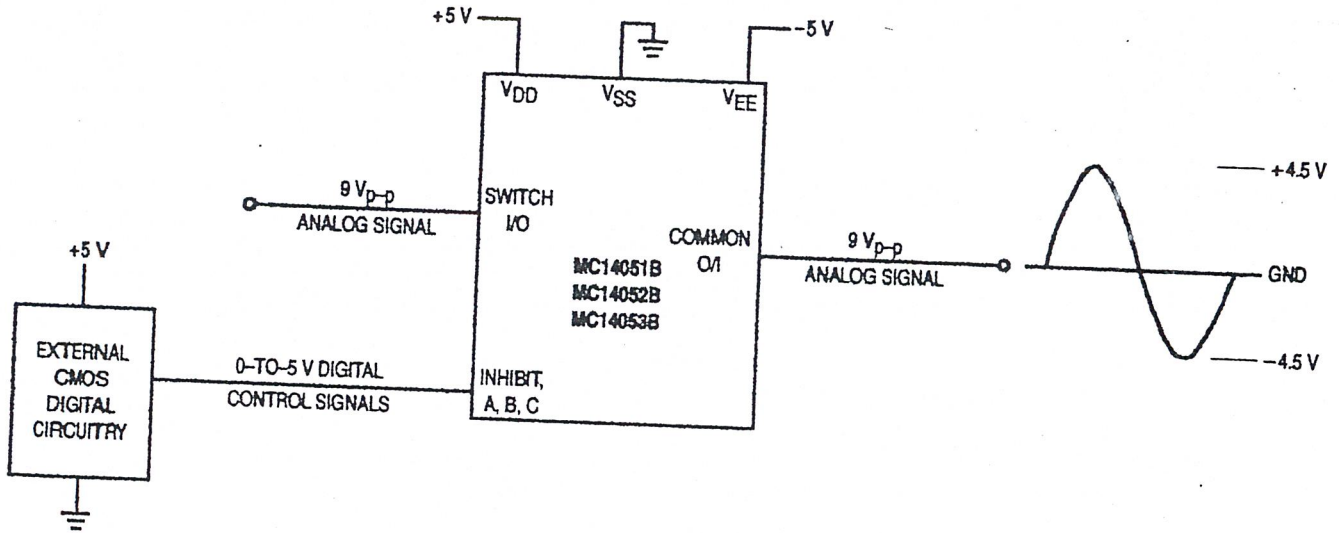


Figure A. Application Example

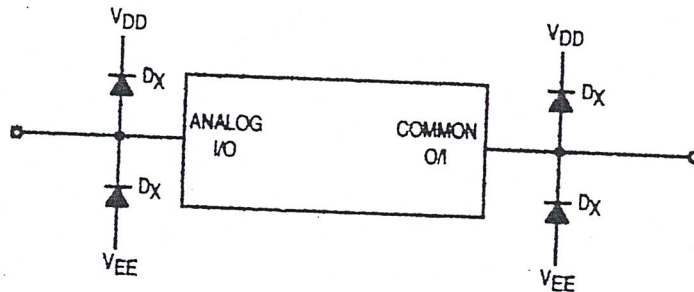


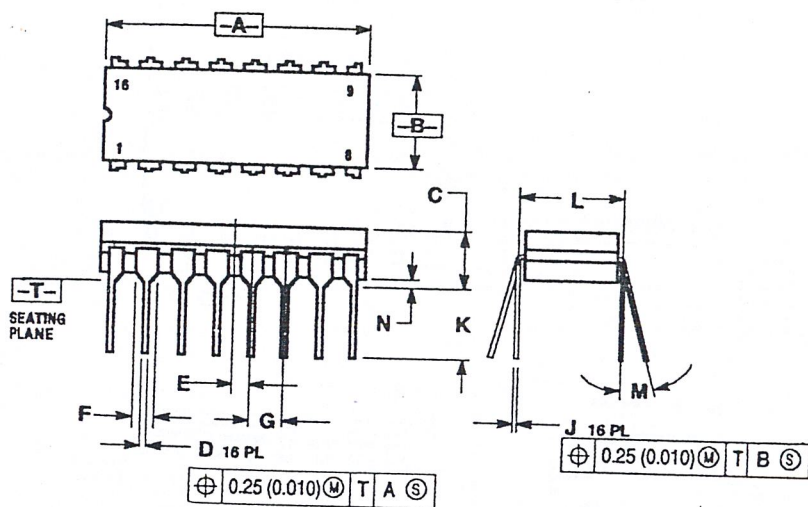
Figure B. External Germanium or Schottky Clipping Diodes

POSSIBLE SUPPLY CONNECTIONS

V _{DD} In Volts	V _{SS} In Volts	V _{VEE} In Volts	Control Inputs Logic High/Logic Low In Volts	Maximum Analog Signal Range In Volts
+ 8	0	- 8	+ 8/0	+ 8 to - 8 = 16 V _{p-p}
+ 5	0	- 12	+ 5/0	+ 5 to - 12 = 17 V _{p-p}
+ 5	0	0	+ 5/0	+ 5 to 0 = 5 V _{p-p}
+ 5	0	- 5	+ 5/0	+ 5 to - 5 = 10 V _{p-p}
+ 10	+ 5	- 5	+ 10/+ 5	+ 10 to - 5 = 15 V _{p-p}

OUTLINE DIMENSIONS

L SUFFIX CERAMIC DIP PACKAGE CASE 620-10 ISSUE V

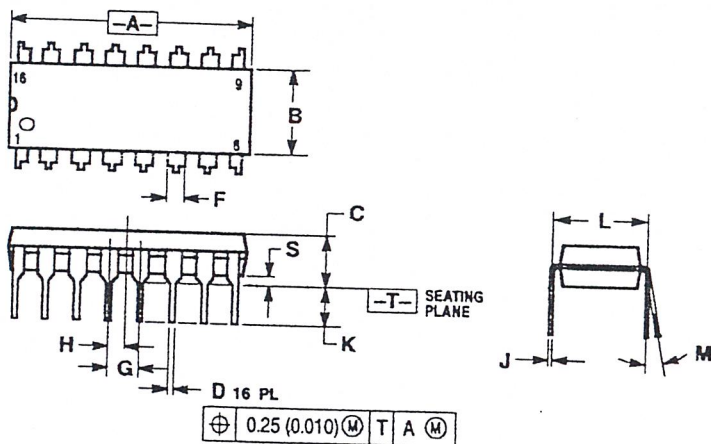


NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.
4. DIMENSION F MAY NARROW TO 0.76 (0.030) WHERE THE LEAD ENTERS THE CERAMIC BODY.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.750	0.785	19.05	19.93
B	0.240	0.295	6.10	7.49
C	—	0.200	—	5.08
D	0.015	0.020	0.38	0.50
E	0.050 BSC	—	1.27 BSC	—
F	0.055	0.065	1.40	1.65
G	0.100 BSC	—	2.54 BSC	—
H	0.008	0.015	0.21	0.38
K	0.125	0.170	3.18	4.31
L	0.300 BSC	—	7.62 BSC	—
M	0°	15°	0°	15°
N	0.020	0.040	0.51	1.01

P SUFFIX PLASTIC DIP PACKAGE CASE 648-08 ISSUE R



NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
4. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
5. ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.740	0.770	18.80	19.55
B	0.250	0.270	6.35	6.85
C	0.145	0.175	3.69	4.44
D	0.015	0.021	0.39	0.53
F	0.040	0.70	1.02	1.77
G	0.100 BSC	—	2.54 BSC	—
H	0.050 BSC	—	1.27 BSC	—
J	0.008	0.015	0.21	0.38
K	0.110	0.130	2.80	3.30
L	0.295	0.305	7.50	7.74
M	0°	10°	0°	10°
S	0.020	0.040	0.51	1.01

เอกสารอ้างอิง

1. รศ.ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์, " การมัลติเพลกซ์ ", " พื้นฐานการสื่อสาร ", วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ 2538 , หน้า 115-122 และ หน้า 131-144
2. Wim Van Etten and Jan Van Der Platts , " Fiber Communication Fundamentals of Optical , 1991
3. Jeff Hecht, "Light Source ", "Transmitter & Reciever " Understanding Fiber Optics , 1993 by Sams Publishing Second Edition pp.100-159
4. S.L. Wymer Meardon , " Introduction to Fiber Opticals ", " Optical Source ", " Principle of light " & " Photodetector " TheElement of Fiber Optics , 1993 by Regent Prentice Hall , pp. 1-10 , 99-134
5. Waldo T. Boyd , " Basic Principles of Fiber Opticals " , Fiber Optics Communication Experiment and Projects , 1986 by Howard W. Sams & Co. , USA , pp. 22-27