

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

PCM ในสื่อสัญญาณแสง



นายปดิพันธ์ ป็องกัน
นายรณพ ตีระวัฒน์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....

ปีการศึกษา 2541

เลขทะเบียน 36709

วัน, เดือน, ปี 23 ส.ค. 2543

สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ให้มีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PCM for Fiber Optics



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Bachelor of Science

Faculty of Science

Department of Applied Physics

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
1998

หัวข้อโครงการพิเศษ

โดย

ภาควิชา

อาจารย์ที่ปรึกษา

PCM ในสื่อสัญญาณแสง

นายปิติพันธ์ ป้องกัน

นายรณพ ติระวัฒน์

ฟิสิกส์ประยุกต์

ผศ.ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล


ผศ. วิชิต ศิริโชติ

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง อนุมัติให้นำโครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์บัณฑิต

คณะกรรมการโครงการพิเศษ


..... หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
(รศ. สุรพล รัทวิชัย)


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


..... กรรมการ
(อ. สุน จ่างประยูร)


..... กรรมการ
(ผศ. วิชิต ศิริโชติ)

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

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

PCM ในสื่อสัญญาณแสง

โดย

นายปิติพันธ์ ป้องกัน

นายรณพ ติระวัฒน์

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล

ผศ. วิชิต ศิริโชติ

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

ปีการศึกษา

2541


 บทคัดย่อ

โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นเรื่องของการสร้างระบบส่งข้อมูลโดยใช้เทคนิคพัลส์โค้ดมอดูเลชันผ่านตัวกลางเส้นใยนำแสง ในทางภาคส่งใช้ไอซีเบอร์ ADC0820 เป็นตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลและทำหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณและจัดระดับสัญญาณ ในทางภาครับจะใช้ไอซีเบอร์ DAC0832 แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก โดยใช้ LED เป็นตัวกำเนิดแสงส่งผ่านเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก และใช้โฟโตไดโอดเป็นตัวรับแสงและแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และพบว่าระบบสามารถทำงานภายใต้ความเร็วในการส่ง 200 Kbit/sec

Special Project Title	PCM for fiber optics
Name	Mr. Pitipan Pongkun Mr. Ranop Tirawut
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 Pulse Code Modulation (PCM) technique via fiber-optic link . In the PCM circuit , the IC used is ADC0820 which converts analog signal into digital signal and it also has built in quantizing and sampling functions . In addition the IC number ADC0832 is used for converting digital signal into analog signal . A plastic optical fiber is used as a transmission line , a light emitting diode is used as a transmitter and a photodiode is also used as a receiver . It has been found that the system works under a bit rate of 200 Kbit/sec

กิติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้จะไม่สามารสำเร็จลุล่วงโดยสมบูรณ์ได้ ถ้าปราศจากความช่วยเหลือจากบุคคลดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ

บิดา มารดา ผู้ให้ชีวิตและทุกสิ่งทุกอย่าง

ผศ.ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุลและผศ. วิจิต ศรีโชติ ที่ให้คำปรึกษาคำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

อ. สุ่น จ่างประยูร สำหรับอุปกรณ์ Oscilloscope และ Function generator ที่เยี่ยมมาก

อ.ธวัชชัย ขาวประเสริฐ สำหรับห้องทำ Project

คุณเสกสิทธิ์, คุณภาณุ, คุณไพโรจน์และภาณุพงษ์ สำหรับรายงาน,Hardware ,อุปกรณ์จากบ้านหม้อ

คุณเดช สำหรับห้องที่ให้พักพิงตอนทำ project และคำแนะนำต่างๆ

คุณณภัทร สำหรับ printer HP

คุณณัฐพรสำหรับกำลังใจพิเศษสุดที่มอบให้

สุดท้ายขอขอบคุณเพื่อนและน้องๆทุกคนที่ให้กำลังใจเสมอมา

ปิติพันธ์ ป้องกัน

รณพ ตีระวัฒน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาอังกฤษ	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	4
2.3 แสงเป็นอนุภาค	4
2.4 ความเร็วของแสง	5
2.5 การสะท้อนแบบลู่ออกและลู่ออก	7
2.6 กฎของสเนลล์	8
2.7 เส้นโยนำแสง	9
2.8 นิวเมอริคอลอเพอเจอร์	12
2.9 การสะท้อนของเฟรสเนล	12
บทที่ 3 การสื่อสารด้วยเส้นโยนำแสง	
3.1 วิวัฒนาการของการสื่อสารด้วยแสง	13
3.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของการสื่อสารด้วยแสง	15
3.3 เส้นโยนำแสง	16
3.3.1 โครงสร้างพื้นฐานของเส้นโยนำแสง	16
3.3.2 การเคลื่อนที่ของแสงในเส้นโยนำแสง	17
3.3.3 การแตกกระจายของรูปสัญญาณจากเส้นโยนำแสง	20
3.3.4 ชนิดของเส้นโยนำแสง	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ความสูญเสียของสัญญาณในระบบการสื่อสารด้วยแสง	25
3.5 แถบการส่งสัญญาณของเส้นใยนำแสง	26
3.6 ข้อดีของการสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง	27
บทที่ 4 ระบบออปโตอิเล็กทรอนิกส์	
4.1 แหล่งกำเนิดแสง	30
4.1.1 ช่วงทำงานของความยาวคลื่น	31
4.1.2 พลังงานและการเชื่อมต่อของแสง	32
4.1.3 แหล่งกำเนิดแสง LED	33
4.1.4 แหล่งกำเนิดเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์	37
4.1.4.1 การปล่อยแสงด้วยการกระตุ้น	37
4.1.4.2 Population Inversion	38
4.1.4.3 การจัดรูปลำของเลเซอร์	39
4.1.5 ความแตกต่างของแหล่งกำเนิด	40
4.1.6 ความยาวคลื่นของเลเซอร์ไดโอด	41
4.1.7 สเปกตรัมของเลเซอร์	41
4.1.8 Fiber Transmission windows	42
4.2 วงจรขับ	44
4.2.1 การออกแบบตัวส่งแสง	44
4.2.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของตัวส่งแสง	44
4.2.3 การออกแบบตัวส่งแสงโดยใช้ LED อย่างง่าย	48
4.2.4 การออกแบบตัวส่งแสงโดยใช้เลเซอร์ไดโอดอย่างง่าย	48
4.3 อุปกรณ์รับแสง	50
4.3.1 พีเอ็นโฟโอดีไดโอด	51
4.3.2 พีไอเอ็นโฟโอดีไดโอด	52
4.3.3 อะวาแลนซ์โฟโอดีไดโอด	54
4.4 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง	56
4.5 วงจรอุปกรณ์รับแสง	58
4.5.1 วงจรรับแสงแบบโฟโอดีไดโอด	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2	วงจรรับแสงแบบอะวาแลนซ์ไดโอด	60
บทที่ 5 ทฤษฎีและหลักการของ PCM		
5.1	พัลส์โค้ดมอดูเลชัน (PCM)	63
5.1.1	Pulse Amplitude Modulation (PAM)	63
5.1.2	การแซมปลิง (Sampling)	64
5.1.3	การจัดระดับ (Quantizing)	65
5.1.4	การเข้ารหัส (Coding)	65
บทที่ 6 การคำนวณและการออกแบบวงจร		
6.1	ภาคส่ง	
6.1.1	วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาและสัญญาณควบคุม	67
6.1.2	วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D converter)	68
6.1.3	Buffer ข้อมูล 8 บิต และ Buffer รหัสขบวนสัญญาณ	70
6.1.4	วงจรเปลี่ยนข้อมูลแบบขนานเป็นอนุกรม (PISO)	71
6.1.5	วงจรขับสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสง	73
6.2	ภาครับ	
6.2.1	วงจรรับสัญญาณแสง	74
6.2.2	วงจรเปลี่ยนข้อมูลแบบอนุกรมเป็นขนาน (SIPO)	75
6.2.3	วงจรสร้างสัญญาณควบคุมภาครับ	76
6.2.4	วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก (D/A)	78
บทที่ 7 บทสรุปปัญหาและแนวทางแก้ไขปัญหา		
7.1	ปัญหาที่พบในระบบ	83
7.1.1	วงจรส่งสัญญาณแสง	83
7.1.2	วงจรรับสัญญาณแสง	83
7.1.3	วงจรภาครับ	83
7.2	แนวทางแก้ไขปัญหาในระบบ	83
7.2.1	วงจรส่งสัญญาณแสง	83
7.2.2	วงจรรับสัญญาณแสง	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์
เอกสารอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 แสดงลักษณะการเดินทางของแสง	6
รูปที่ 2-2 แสดงแสงที่เกิดการหักเหและเกิดการสะท้อน	7
รูปที่ 2-3 (a) การสะท้อนแบบลู่เข้า , $n_1 < n_2$	7
(b) การสะท้อนแบบลู่ออก , $n_1 > n_2$	7
(c) การสะท้อนกลับหมด , $n_1 \gg n_2$	8
รูปที่ 2-4 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยนำแสง	9
รูปที่ 2-5 แสดงการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง	10
รูปที่ 2-6 แสดง Acceptance Cones	10
รูปที่ 3-1 แสดงการทำงานของโฟโตไดโอด	14
รูปที่ 3-2 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารเส้นใยนำแสง	15
รูปที่ 3-3 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยนำแสง	17
รูปที่ 3-4 แสดงการหักเหของแสง	18
รูปที่ 3-5 แสดงการหักเหของแสงผ่านแท่งแก้วคั่น	19
รูปที่ 3-6 แสดงการเคลื่อนที่ของแสงภายในแท่งแก้ว	19
รูปที่ 3-7 แสดงการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง	22
รูปที่ 3-8 แสดงดัชนีหักเหแสงของเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีชั้นบันได	23
รูปที่ 3-9 แสดงดัชนีหักเหแสงของเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีรูปมน	23
รูปที่ 3-10 แสดงแนวทางของแสงในแกนเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีรูปมน	24
รูปที่ 3-11 แสดงการสูญเสียจากการโค้งงอเส้นใยนำแสง	26
รูปที่ 4-1 แสดงชื่อเรียกและชนิดต่างๆของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	30
รูปที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความกว้างของสเปกตรัมของ LED และเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์	31
รูปที่ 4-3 แสดงการส่องแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสู่เส้นใยนำแสง	32
รูปที่ 4-4 แสดงลักษณะการทำงานของ LED	33
รูปที่ 4-5 แสดงระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำ	35

รูปที่ 4-6 แสดงลักษณะการส่งแสงของ LED	36
รูปที่ 4-7 แสดงการปล่อยแสงของ LED แบบ edge-emitter diode	37
รูปที่ 4-8 แสดงไดอะแกรมของการปล่อยแสงแบบต่างๆ	38
รูปที่ 4-9 แสดงพื้นฐานของการเกิดเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์	39
รูปที่ 4-10 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสกับกำลังของแสงที่ปล่อย	40
รูปที่ 4-11 แสดง Fiber Optic transmission windows	43
รูปที่ 4-12 แสดงส่วนประกอบในการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยนำแสง	45
รูปที่ 4-13 แสดงส่วนเชื่อมต่อทางแสงของตัวส่ง	46
รูปที่ 4-14 แสดงวงจรจับอย่างง่ายสำหรับ LED source	48
รูปที่ 4-15 แสดงวงจรจับของเลเซอร์ไดโอดแบบอนาล็อก	49
รูปที่ 4-16 แสดงวงจรจับของเลเซอร์ไดโอดแบบดิจิทัล	49
รูปที่ 4-17 แสดงลักษณะของ Depletion Zone	50
รูปที่ 4-18 แสดงลักษณะของ PN photodiode	51
รูปที่ 4-19 แสดงลักษณะ โครงสร้างของ PIN photodiode	53
รูปที่ 4-20 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดกลืนทางแสง	54
รูปที่ 4-21 แสดงโครงสร้างของอะวานลานซ์โฟโต้ไดโอด	55
รูปที่ 4-22 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และกระแสโฟโต้	57
รูปที่ 4-23 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรรับแสง	58
รูปที่ 4-24 แสดงวงจรรับแสงของ PIN และ PN photodiode	59
รูปที่ 4-25 แสดงบล็อกไดอะแกรม PIN-FET receiver circuit	59
รูปที่ 4-26 แสดงวงจรรับแบบอะวานลานซ์โฟโต้ไดโอดอย่างง่าย	60
รูปที่ 5-1 กระบวนการเข้ารหัสและถอดรหัสของระบบ PCM	63
รูปที่ 5-2 รูปแสดงสัญญาณ PAM	64
รูปที่ 5-3 การจัดระดับ	65
รูปที่ 6-1 แสดงระบบ PCM ที่นำไปใช้ออกแบบในโครงงานนี้	67
รูปที่ 6-2 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาและสัญญาณควบคุม	68
รูปที่ 6-3 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล	69
รูปที่ 6-4 สัญญาณควบคุมของ ADC 0820	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6-5 วงจร Buffer รหัสขบวนสัญญาณ	71
รูปที่ 6-6 วงจร PISO	72
รูปที่ 6-7 แสดงวงจรขับสัญญาณแสง	73
รูปที่ 6-8 แสดงวงจรรับสัญญาณแสง	75
รูปที่ 6-9 แสดงวงจร SIPO	76
รูปที่ 6-10 แสดงวงจร สร้างสัญญาณควบคุมภาครับ	77
รูปที่ 6-11 แสดงวงจรแปลงดิจิทัลเป็นอนาลอก	78
รูปที่ 6-12 แสดงสัญญาณอนาลอกอินพุท	79
รูปที่ 6-13 แสดงสัญญาณ Frame ข้อมูลด้านส่ง	79
รูปที่ 6-14 แสดงสัญญาณ Frame ข้อมูลด้านรับ	80
รูปที่ 6-15 แสดงสัญญาณอนาลอกเอาต์พุท	80
รูปที่ 6-16 แสดงรูปอุปกรณ์ด้านภาคส่ง	81
รูปที่ 6-17 แสดงรูปอุปกรณ์ด้านภาครับ	81
รูปที่ 6-18 แสดงอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณแสง	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 แสดงหน่วยของความถี่และความยาวคลื่น	2
ตารางที่ 2-2 แสดงช่วงการทำงานของแต่ละความถี่	3
ตารางที่ 2-3 แสดงค่าดัชนีหักเหของวัตถุ	6
ตารางที่ 4-1 แสดงธาตุหมู่ที่ 3a และ 5a ที่มีความสำคัญ	34
ตารางที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง	58
ตารางที่ 4-3 แสดงการเปรียบเทียบตัวรับแสงชนิดต่างๆ	62
ตารางที่ 5-1 รหัสไบนารีแบบธรรมดา	66



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันระบบการสื่อสารได้เข้ามามีบทบาทเกี่ยวกับชีวิตประจำวันของมนุษย์เรามากขึ้นเนื่องจากมนุษย์ต้องมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารกันตลอดเวลาทำให้มนุษย์พยายามที่จะคิดค้นเครื่องมือที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารเพื่อเป็นการตอบสนองความต้องการนี้จึงมีการคิดค้นและพัฒนารูปแบบการส่งสัญญาณข้อมูลผ่านทางเส้นใยแก้วนำแสง (optical fiber) เพื่อเป็นการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากกระบวนการส่งข้อมูลจึงนำเอาเทคนิคการมอดูเลตแบบ PCM เข้ามาใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูลในโครงการนี้ ซึ่งจะมีประโยชน์มากในการสื่อสารในปัจจุบันและอนาคต

1.1 วัตถุประสงค์ในการทำโครงการพิเศษ

1. เพื่อศึกษาหลักการสื่อสารและการใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงในระบบสื่อสาร
2. เพื่อศึกษาการใช้เทคนิคการมอดูเลตสัญญาณแบบพัลส์โค้ดมอดูเลชัน (PCM) ในระบบสื่อสารสัญญาณแสง
3. เพื่อสร้างเครื่องมือที่ใช้เทคนิคการมอดูเลตสัญญาณ แบบพัลส์โค้ดมอดูเลชัน (PCM) เพื่อใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูลผ่านทางเส้นใยแก้วนำแสง

1.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทำให้เข้าใจหลักการทำงานและทฤษฎีของเส้นใยนำแสง
2. เข้าใจหลักการและทฤษฎีของ Pulse Code Modulation (PCM)
3. สามารถที่จะนำเอาความรู้และหลักการที่ได้จากการทำโครงการนี้ไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ลักษณะพื้นฐานของแสง

ก่อนที่เราจะทำความเข้าใจกับเทคโนโลยีทางด้านเส้นใยนำแสงนั้น เราจะต้องมีความเข้าใจในเรื่องของแสงให้ดีเสียก่อน

2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใช้อธิบายในเรื่องของแสงโดยแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง โดยถูกจัดแบ่งไว้ด้วยสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum) ดังในตาราง 2-1 ซึ่งจะแสดงหน่วยของการวัดสำหรับความถี่ และความยาวคลื่น

ตาราง 2-1 แสดงหน่วยของความถี่ และ 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงการทำงานของความถี่ทั่วไปในสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสงจะถูกวัดในเทอมของความยาวคลื่นในช่วงนาโนเมตร (nm) หรือ ไมโครเมตร (μm) ส่วนแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ (Visible light) จะอยู่ในช่วงสเปกตรัมที่แคบคือ 380 (สีม่วง) ถึง 780 (สีแดง) นาโนเมตร ซึ่งการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงจะใช้ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 800 - 1600 นาโนเมตร การเลือกช่วงของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสำหรับเส้นใยนำแสงนั้นแสงจะต้องมีความยาวคลื่นที่ทำให้มีประสิทธิภาพในการส่งผ่านเส้นใยนำแสงมากที่สุด ตามปกติจะนิยมใช้อยู่ที่ 850, 1300 หรือ 1550 นาโนเมตร

ตาราง 2-2 แสดงช่วงการทำงานของแต่ละความถี่

Subsonic	0 - 10 Hz
Sound	$15 - 2 \cdot 10^4$ Hz
Radio frequencies AM , FM , shortwave , television	$10^3 - 10^9$ Hz
Microwaves	$10^9 - 3 \cdot 10^{11}$ Hz
Infrared	$3 \cdot 10^{11} - 5 \cdot 10^{14}$ Hz
Visible light	$5 \cdot 10^{14} - 7.7 \cdot 10^{14}$ 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	$7.7 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{17}$ Hz
X – ray	$3 \cdot 10^{17} - 5 \cdot 10^{19}$ Hz
Gamma rays	$10^{19} - 10^{21}$ Hz
Cosmic rays	10^{22} Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 แสงเป็นคลื่น

แสงจะมีค่าความเร็วประมาณ $3 \cdot 10^8$ เมตร / วินาที หรือ 186,000 ไมล์ / วินาที ในอากาศ แสงจัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหมือนกับคลื่นไมโครเวฟหรือ ความถี่วิทยุอื่น ๆ แต่จะมีความยาวคลื่นสั้นความถี่สูง ซึ่งใช้อธิบายเรื่องคลื่นคือ สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางตั้งฉากซึ่งกันและกัน และสนามไฟฟ้าจะมีผลต่อระบบการสื่อสารด้วยแสงมากกว่าสนามแม่เหล็กโดยแสงจะกล่าวได้ว่าเกิดการโพลาไรซ์ในทิศทางกลับไปกลับมาของสนามไฟฟ้า ถ้าสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้ามีทิศทางไปตามแนวเชิงเส้นคลื่นแบบนี้จะถูกเรียกว่าเกิดโพลาไรซ์ ถ้ามีทิศไปตามแนววงกลมหรือวงรีคลื่นก็จะเกิดโพลาไรซ์เชิงวงกลมหรือวงรี ซึ่งโพลาไรซ์ที่เกิดขึ้นแต่ละชนิดนั้นจะถูกนำไปใช้พิจารณาในการออกแบบเลนส์ของระบบเส้นใยนำแสง

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

$$\lambda = T \cdot c$$

และ $T = 1/f$

ดังนั้น $\lambda = c/f$

โดยที่ λ คือ ความยาวคลื่น

c คือ ความเร็วของแสง

f คือ ความถี่

2.3 แสงเป็นอนุภาค

แสงนอกจากจะเป็นคลื่นแล้วยังมีคุณสมบัติเป็นอนุภาคด้วย ดังเช่นที่รู้จักกันคือ โฟตอน โฟตอนถูกอธิบายได้ด้วยความถี่ของคลื่นกับระดับพลังงานสูงและความถี่สูง ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่จะบ่งบอกถึงการทำงานของ LED (Light Emitting Diode) เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LED ให้แสงออกมาอิเล็กทรอนิกส์ในไดโอดจะเป็นตัวให้พลังงานที่จะทำให้เกิดโฟตอน และอิเล็กทรอนิกส์ใน LED จะกระโดดข้ามพลังงานที่แตกต่างกันเป็นผลทำให้เกิดความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน แม้ว่าแสงจะมาจาก LED ชนิดเดียวกัน ในทางตรงกันข้ามเลเซอร์ให้แสงออกมาอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดจะกระโดดข้ามไปยังระดับพลังงานที่ใกล้เคียงกันและจะมีค่าความยาวคลื่นค่าเดียว พลังงานโฟตอนหนึ่งตัวจะมีค่าคงสมการ

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

พลังงานของโฟตอนไม่สำคัญมากเท่ากับจำนวนของโฟตอน (N) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดค่าของ N แสดงให้เห็นถึงจำนวนของโฟตอนที่ผ่านเข้าไปในเส้นใยนำแสงสมการที่ได้จะเป็นดังนี้

$$N = E.\lambda / h.c$$

โดยที่

N คือ จำนวนของโฟตอน

E คือ พลังงานของโฟตอน (จูล)

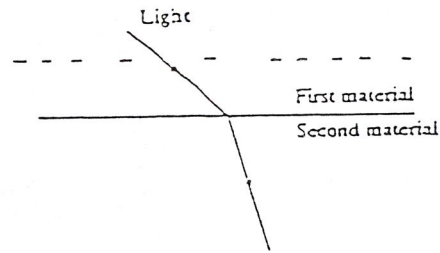
λ คือ ความยาวคลื่น

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (จูล-วินาที)

c คือ ความเร็วของแสง (เมตร/วินาที)

2.4 ความเร็วของแสง

แสงจะมีความเร็ว $3 * 10^8$ เมตร/วินาที ซึ่งเป็นค่าในตัวกลางที่เป็นอากาศแต่ถ้าแสงเคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่ตัวกลางอีกชนิดหนึ่งมันจะเกิดการเปลี่ยนความเร็วและการหักเหดังในรูป



รูปที่ 2-1 แสดงลักษณะการเดินทางของแสง

องค์ประกอบที่ทำให้แสงเกิดการเปลี่ยนค่าความเร็วก็คือ ค่าดัชนีหักเห หรือ ดัชนีของการหักเห ค่าดัชนีของการหักเห (n) ของตัวกลางสามารถอธิบายได้ด้วยอัตราส่วนระหว่างค่าความเร็วแสงในอากาศ (c) กับความเร็วแสงในตัวกลางอีกชนิดหนึ่ง (v) โดยค่าดัชนีหักเหมักมีค่ามากกว่า 1 ซึ่งแปรค่าไปตามช่วงสีของแสง ถ้ามีความยาวคลื่นสั้นจะมีค่าดัชนีหักเหสูง ค่าดัชนีหักเหเป็นไปตามสมการ

$$n = c/v$$

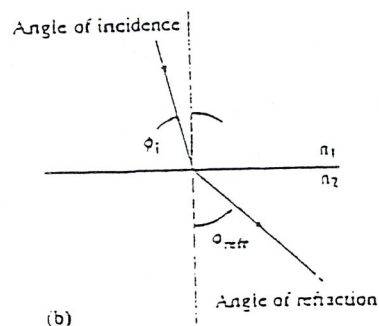
ตาราง 2-3 แสดงค่าดัชนีหักเหของวัตถุ

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

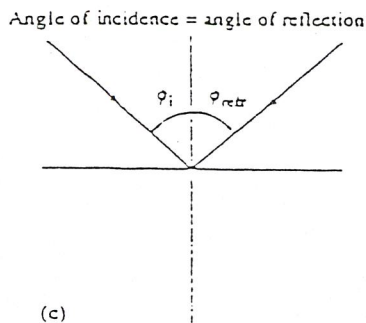
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

2.5 การสะท้อนแบบดู้เข้าและดู้ออก

เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางจากอากาศไปยังตัวกลางอีกชนิดหนึ่งจะเกิดการหักเหเกิดขึ้นนอกจากนั้นจะมีบางส่วนที่สะท้อนกลับไปในทิศทางเดียวกันกับแสงที่ตกกระทบ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าของมุมที่แสงตกกระทบด้วย ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

(b) การสะท้อนแบบลู่ออก $n_1 > n_2$

(c) การสะท้อนกลับหมด $n_1 \gg n_2$

เมื่อแสงผ่านตัวกลางตัวหนึ่งที่มีค่าดัชนีหักเหต่ำกว่าตัวกลางตัวที่สอง ถ้าหักเหของแสงจะลู่เข้าสู่เส้นปกติเรียกว่า การสะท้อนภายใน แต่ถ้าค่ามุมตกกระทบเพิ่มขึ้นและมุมของการสะท้อนมีค่าเข้าสู่ 90° องศา แสงจะไม่ผ่านเข้าสู่ตัวกลางที่สองโดยจะเกิดสะท้อนกลับไปที่ยบริเวณผิวหน้าเราเรียกมุมนี้ว่ามุมวิกฤต (critical angle) ถ้าค่ามุมตกกระทบเพิ่มขึ้นจนมากกว่าค่ามุมวิกฤตจะเกิดการสะท้อนกลับหมดที่ยบริเวณผิวหน้าทั้งหมดโดยไม่ผ่านเข้าไปสู่ตัวกลางตัวที่สองเลย มุมระหว่างแสงที่ตกกระทบกับเส้นปกติเรียกว่า มุมของการสะท้อน โดยมุมของการสะท้อนจะเท่ากับมุมตกกระทบเมื่อมุมตกกระทบมีค่ามากกว่ามุมวิกฤต

2.6 กฎของสเนลล์

กฎของสภาวะหักเหเมื่อค่าของมุมตกกระทบมีค่าไม่เท่ากับมุมสะท้อน แสงจะเกิดการหักเหขึ้นในตัวกลางที่สอง โดยค่าของมุมตกกระทบจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าของมุมวิกฤต ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหของตัวกลางตัวหนึ่งและตัวกลางที่สอง คือ n_1 และ n_2 ส่วนค่าของมุมการตกกระทบและการสะท้อนคือ θ_1 และ θ_2 โดยอธิบายเป็นสมการ ได้ดังนี้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

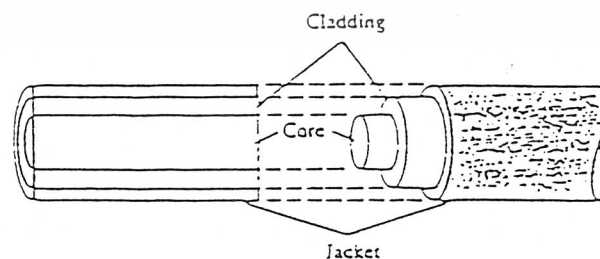
หรือ

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

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

2.7 เส้นใยนำแสง

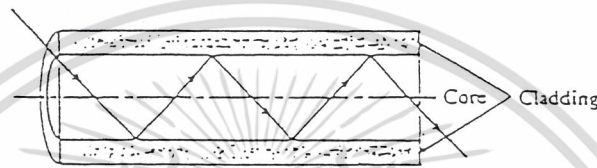
ในสถานะเริ่มต้นแสงจะปฏิบัติตัวเป็นเหมือนรังสี โดยมีการแพร่กระจายไปตามคลื่นตัวนำและมีการจำกัดขอบเขตทางฟิสิกส์แสงบางส่วนจะเคลื่อนที่ไปตามแนวเส้นมีการเคลื่อนที่ขึ้นลงของคลื่นตัวนำเหมือนกับการสะท้อน รังสีบางส่วนจะเกิดการสูญเสียในคลื่นตัวนำแต่ส่วนที่เหลือก็จะเกิดการสะท้อนต่อไป ดังในรูป 2-4



รูปที่ 2-4 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยนำแสง

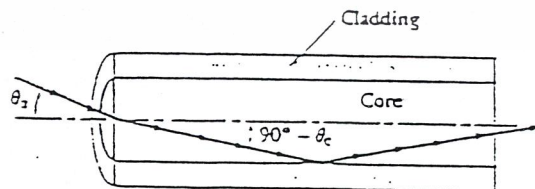
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



รูปที่ 2-5 แสดงการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง

แสงจะถูกส่งผ่านเข้าไปในคอร์ด้วยมุมตกกระทบที่มากกว่ามุมวิกฤตจะเกิดการกลับไปกลับมาที่บริเวณรอยต่อของคอร์และแคลคคิง จากกฎของสเนลล์เมื่อมุมตกกระทบมีค่ามากกว่ามุมวิกฤตแสงทั้งหมดจะเกิดการสะท้อนเมื่อมุมของการตกกระทบเท่ากับมุมของการสะท้อนจะเคลื่อนที่ไปตลอดตามเส้นใยนำแสงด้วยผลรวมการสะท้อนภายใน ทุกลำแสงที่ชนกลับไปกลับมาที่บริเวณรอยต่อที่มีค่ามุมตกกระทบน้อยกว่ามุมวิกฤตแสงจะไม่สะท้อนกลับไปยังแนวขอบเขตจะถูกดูดกลืนหรือสูญเสียไปในแคลคคิงเรียกว่า acceptance cone ดังในรูป 2-6



รูปที่ 2-6 แสดง acceptance cone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งส่วนใหญ่จะเคลื่อนไปตามเส้นใยนำแสงเพื่อรับและแพร่กระจายแสงจาก LED ซึ่งมีสนามของแสงขนาดใหญ่ ปัญหาที่เกิดจากการจัดกระจายของแสงหรือการกระจายของพัลส์เป็นผลมาจากการผลิตเส้นใยนำแสงส่วน acceptance cone ที่แคบต้องการแหล่งกำเนิดแสงคังเช่นเลเซอร์ การรับลำแสงของเส้นใยนำแสงสามารถบ่งบอกได้ด้วยค่าความแตกต่างของการหักเห ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกเรียกว่า ค่าดัชนีหักเหการสะท้อนอธิบายได้ดังสมการ

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

จากสมการใช้สำหรับค่ามุมวิกฤต ถ้ามีค่ามุนน้อยกว่า $90 - \theta_c$ 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 ค่าดัชนีหักเหของแกลดดิ้ง

2.8 นิเวอริคอลลอเพอเจอร์

นิเวอริคอลลอเพอเจอร์ (NA) คือค่าทางตัวเลขที่แสดงถึงขีดขั้นความสามารถของการรับแสงเข้าสู่เส้นใยนำแสง 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

n_2 คือ ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 2

ค่าสูญเสียสามารถคำนวณออกมาได้ในรูปของหน่วยเดซิเบล (dB) ดังนี้

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

บทที่ 3

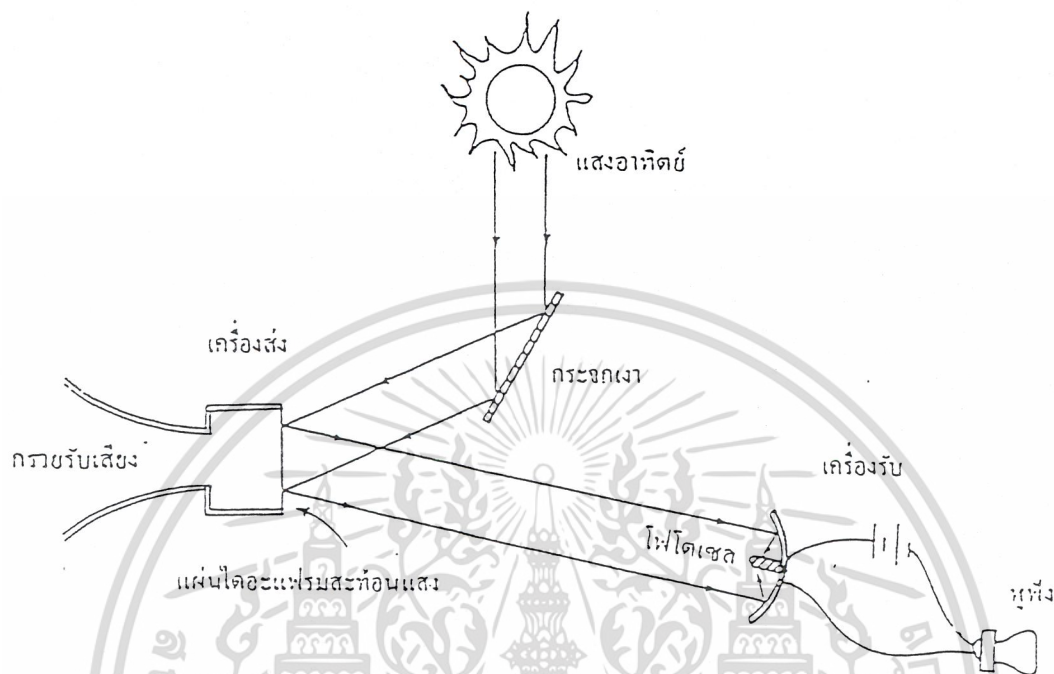
การสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง

การสื่อสารยุคใหม่ที่กำลังมีวิวัฒนาการก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วมากในปัจจุบัน คงได้แก่การสื่อสารด้วยแสง ทั้งนี้เพราะระบบการสื่อสารด้วยแสงที่เราสามารถควบคุม สถานภาพแวลูมได้นั้นจะมีข้อได้เปรียบเหนือการสื่อสารที่ใช้สัญญาณไฟฟ้าอยู่หลายประการจึงทำให้เกิดการค้นคว้าและพัฒนาเกี่ยวกับระบบการสื่อสารนี้อย่างต่อเนื่องและจริงจัง สถานภาพแวลูมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของระบบการสื่อสารด้วยแสงมากที่สุดคือนั่นคือ สถานภาพของตัวกลางที่ใช้สำหรับให้แสงเดินทางจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ สิ่งที่ยอมรับเป็นตัวกลางสำหรับการสื่อสารระบบนี้คือ เส้นใยนำแสงฉะนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงเส้นใยนำแสงเป็นหลัก

3.1 วิวัฒนาการของการสื่อสารด้วยแสง

ในปี 1870 จอห์น ทิดัล (John Tydal) ได้ทำการทดลองให้เห็นว่าแสงนั้นสามารถเดินทางได้ตามสายน้ำที่ถูกเทออกจากภาชนะที่มีแสงสว่างส่องอยู่ภายในได้ และกล่าวกันว่า บันทึกเรื่องราวต่าง ๆ เหล่านี้คือ ต้นเหตุที่มาของการคิดค้นเกี่ยวกับเส้นใยนำแสงในปัจจุบันถ้าไม่นับกระทั่งใช้สะท้อนแสงอาทิตย์หรือการสื่อสารแบบโบราณแล้ว สิ่งประดิษฐ์ชิ้นแรกที่เกี่ยวข้องกับระบบการสื่อสารด้วยแสงนั้นก็คือโฟโตโฟน (Photo Phone) ของอเล็กซานเดอร์ เกรแฮม เบล (Alexander Graham Bel) ซึ่งได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นในปี 1880 ส่วนประกอบนั้นมีแสดงไว้ในรูปที่ 3-1 การทำงานของโฟโตโฟนนั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อมีเสียงพูดเข้าไปในกรวยรับเสียง เสียงจะทำให้แผ่นไดอะแฟม (diaframe) ซึ่งสะท้อนแสงติดอยู่กับกรวยรับเสียงนั้นสั่นเป็นเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแสงที่สะท้อนออกมาจากแผ่นไดอะแฟมนั้น ดังนั้นแสงที่ถูกสะท้อนนี้จะพุ่งไปยังเครื่องรับซึ่งมีโฟโตเซล (photo cell) เป็นตัวรับแสงและควบคุมการไหลของไฟฟ้าในวงจรที่มีแสงไว้ค้ำรูป เพราะฉะนั้นโฟโตโฟนจึงสามารถที่จะส่งข่าวสารที่เป็นเสียงได้โดยใช้แสงเป็นตัวพาห้จากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากสถานภาพของสิ่งแวลูมต่าง ๆ มีอิทธิพล ต่อการส่งสัญญาณในระบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้มาก จึงทำให้ระยะเวลาใช้งานของโฟโตโฟนนั้นสั้นมากคือเพียงประมาณ 200 เมตร เท่านั้น จึงทำให้ไม่มีบทบาทที่สำคัญมากนัก



รูปที่ 3-1 แสดงการทำงานของโฟโตโฟน

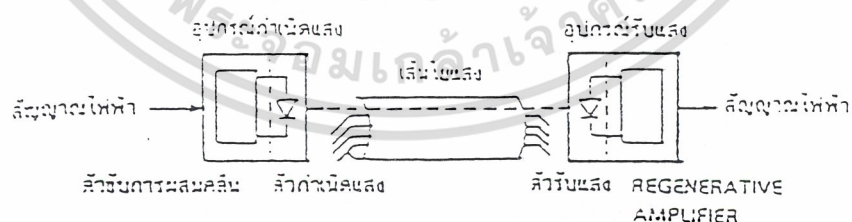
แม้ว่าในปี 1960 Dr. Theodore Maiman จะคิดค้นวิธีผลิตแสงเลเซอร์ออกมาได้เป็นผลสำเร็จ แต่แสงเลเซอร์ที่ผลิตออกมาได้เป็นผลสำเร็จก็ตาม แต่แสงเลเซอร์ที่ผลิตออกมาด้วยวิธีนี้ก็ยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการสื่อสารจนกระทั่งในปี 1970 จึงได้มีการผลิตเลเซอร์ไดโอดซึ่งสามารถใช้เป็นตัวผลิตสัญญาณเพื่อการสื่อสารขึ้นได้สำเร็จ และทำการสื่อสารร่วมกับเส้นใยแก้วนำแสงขึ้นได้เป็นครั้งแรก อย่างไรก็ตามสมบัติของเลเซอร์ไดโอดและเส้นใยนำแสงสมัยนั้น เมื่อคิดเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียในการสื่อสารในระบบไฟฟ้าที่มีอยู่ก็ยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานจริง อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้ในสมัยนั้นก็ทำให้เกิดแรงบันดาลใจอันยิ่งใหญ่ให้เกิดมีการพัฒนาระบบการสื่อสารด้วยแสงขึ้นมาอย่างจริงจัง ประเด็นสำคัญในการพัฒนาก็คือ ความต้องการที่จะลดค่าความลดทอนในเส้นใยนำแสงให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้จนบัดนี้พบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

การพัฒนาได้ประสบความสำเร็จเป็นอย่างมาก 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 converter) เปลี่ยนให้เป็นสัญญาณแสง (นั่นคือ ความแรงของสัญญาณไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นความเข้มของแสง หรือ “1” , “0” ของสัญญาณไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นแสงสว่างและมีค) และส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสง สัญญาณที่เดินทางเข้าไปในเส้นใยนำแสงนั้นสัญญาณของมันจะอ่อนลง เมื่อเดินทางในระยะทางที่เพิ่มขึ้นพร้อมทั้งรูปคลื่นก็ขยายกว้างออกไปด้วย เมื่อไปถึงอุปกรณ์ที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้า (O / E converter) ของทางด้านรับสัญญาณ แสงที่ถูกส่งออกมาจะถูกเปลี่ยนจากแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และส่งไปยังอุปกรณ์ปลายเพื่อทำให้เปลี่ยนเป็นสัญญาณของ โทรศัพท์ เครื่องป้อนข้อมูล โทรภาพ และอื่นๆ



รูปที่ 3-2 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง

อนึ่ง อุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสงนั้นทำได้ โดยใช้อุปกรณ์กำเนิดแสงได้แก่ LED หรือ Semiconductor laser ส่วนอุปกรณ์เปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้านั้นทำได้โดยใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดโอดแสง (photodiode), ทรานซิสเตอร์แสง (phototransistor) นอกจากนี้กรณีในระยะทางของสายส่งยาวอาจจำเป็นต้องติดตั้งตัวทวนสัญญาณ (repeater) ณ ตำแหน่งที่เหมาะสม ตัวทวนสัญญาณนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงที่เข้ามาให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นจึงทำการขยายแล้วเปลี่ยนกลับให้เป็นสัญญาณแสงอีกและส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสง ในช่วงต่อไป

3.3 เส้นใยนำแสง

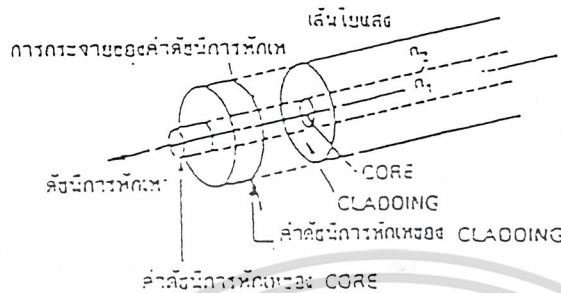
3.3.1 โครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยนำแสง

โดยทั่วไปแล้วเส้นใยนำแสงเป็นเส้นใยขนาดเล็กที่ทำจากแก้ว สิ่งที่เราพบเห็นบ่อย ๆ คือ เส้นใยที่ใช้ในการนำแสงของดอกไม้เรืองแสงสำหรับตั้งประดับเพื่อความสวยงามที่มีขายตามห้างสรรพสินค้าทั่วไป โดยการป้อนแสงสีแดง สีเหลือง สีเขียวเข้าไปปลายข้างหนึ่งของเส้นใยนำแสง และเราจะมองเห็นแสงออกมาจากปลายอีกข้างหนึ่งของเส้นใยนำแสงนี้ได้

โครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยนำแสงประกอบด้วยสาร ไดอิเล็กทริก 2 ชนิด ที่มีค่าดัชนีหักเหไม่เท่ากัน โดยสารไดอิเล็กทริกที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงต่ำจะเป็นส่วนที่ห่อหุ้มส่วนที่อยู่ตรงกลาง ส่วนตรงกลางนั้นมีค่าดัชนีหักเหของแสงสูงเรียกว่า คอร์ และส่วนหุ้มด้านนอกที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงต่ำเรียกว่า แคลดคิง ยกตัวอย่างเช่น ที่คอร์ของเส้นใยนำแสง มีค่าดัชนีหักเหของแสงคงที่ แต่มีค่าดัชนีหักเหของ คอร์ และ แคลดคิงเปลี่ยนแปลงในลักษณะของขั้นบันได เส้นใยนำแสงแบบนี้เรียกว่า step-index optical fiber ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในรูป 3-3 เส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์และเส้นผ่าศูนย์กลางของแคลดคิง จะมีค่าต่างกันตามชนิดของเส้นใยนำแสง สำหรับเส้นใยนำแสงแบบ Multimode นั้น เส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์มีค่า 40-100 μm ส่วนเส้นใยนำแสงแบบ single mode นั้น เส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์มีค่า 5-15 μm สำหรับส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกของแคลดคิงนั้น กำหนดให้มีค่าเหมือนกันหมดไม่ว่าจะเป็นเส้นใยนำแสงแบบ ไทโชนโดยมีค่า 100-200 μm นอกจากนี้ค่าดัชนีหักเหของคอร์จะมีค่ามากกว่าค่าดัชนีหักเหของแคลดคิง โดยที่เส้นใยนำแสงแบบ Multimode จะมีค่า 1-5 % แต่ถ้าเป็นเส้นใยนำ

แสงแบบ single mode จะมีค่า 0.1-0.5 % มากกว่าค่าดัชนีหักเหของแคลดคิง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



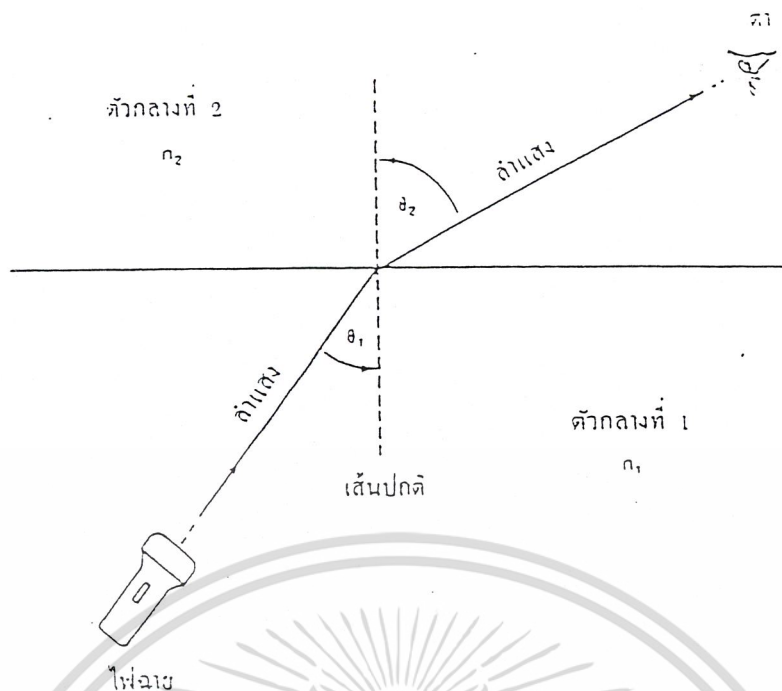
รูปที่ 3-3 แสดง โครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยนำแสง

3.3.2 การเคลื่อนที่ของแสงในเส้นใยนำแสง

ดังเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางสองชนิดที่มีค่าดัชนีหักเหต่างกันแล้ว 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) บนผิวรอยต่อของตัวกลางทั้งสองแสดงดังรูป 3-4

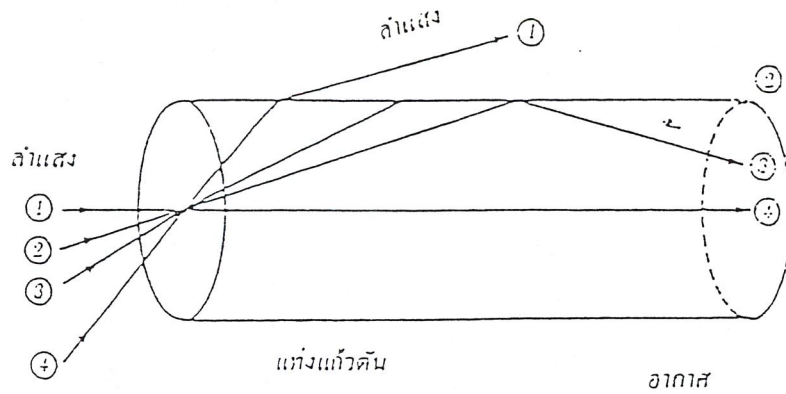


รูปที่ 3-4 แสดงการหักเหของแสง

ดังนั้นเมื่อมีการฉายแสงเข้าสู่แท่งแก้วคันที่วางอยู่ในอากาศด้วยค่ามุมตกกระทบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3-5 แล้วเราจะพบว่าเนื่องจากมุมตกกระทบของลำแสงที่ 1 มีขนาดเล็กดังนั้นลำแสงนี้จึงเดินทางหักเหทะลุผ่านแท่งแก้วออกไปได้ เมื่อมุมตกกระทบของลำแสงนั้น โตขึ้นเรื่อยๆ แล้ว ก็ย่อมจะมีค่ามุมตกกระทบอยู่มุมหนึ่งที่ทำให้แสงนั้นเกิดการหักเหไปในแนวที่ขนานไปกับผนังของแท่งแก้วนั้นพอดี ซึ่งเรียกมุมตกกระทบที่สามารถทำให้แสงเดินทางขนานไปกับแท่งแก้วได้นั้น เรียกว่ามุมรับแสงสูงสุด (θ_{max}) ดังเช่นการเดินทางของลำแสงที่ 2 ค่ามุมตกกระทบของลำแสงดังกล่าวมีชื่อว่า มุมวิกฤต (critical angle) โดยค่าของมุมวิกฤตนี้สามารถหาได้จากสมการ

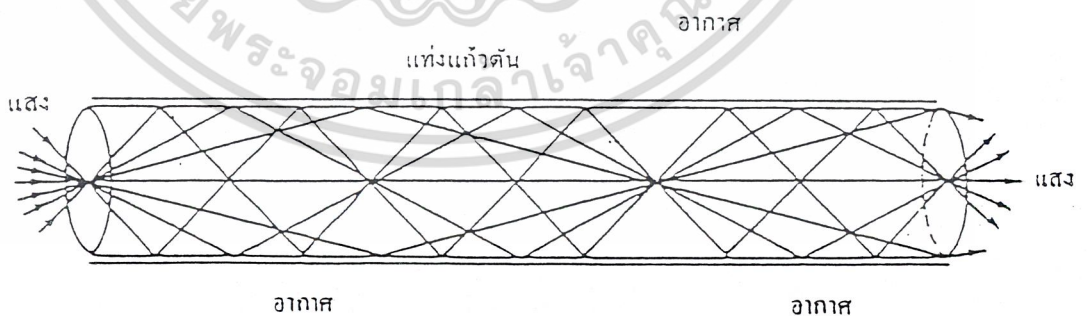
$$\theta_{max} = \sin^{-1}[(n_1/n_2)\sin\theta_c] \dots\dots\dots(2)$$

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



รูปที่ 3-5 แสดงการหักเหของแสงผ่านแท่งแก้วตัน

สิ่งที่เราทราบกันคืออยู่แล้วว่า เมื่อมุมตกกระทบของลำแสง โคไซน์เกินกว่ามุมวิกฤต ดังกรณีของลำแสงที่ 3 นั้น ลำแสงนี้ก็จะไม่สามารถหักเหออกไปจากแท่งแก้วได้ และจะเกิดการสะท้อนกลับของลำแสงนั้นกลับไปในแท่งแก้วนั้นอีก และถ้าแท่งแก้วนี้ยาวมาก ลำแสงนี้ก็จะสะท้อนกลับไปกลับมาอยู่ในแท่งแก้วนี้เรื่อยไป ดังแสดงในรูปที่ 3-6 โดยการสะท้อนของแสงในลักษณะนี้เรียกว่าการสะท้อนกลับหมด ลักษณะเช่นนี้เอง ทำให้แสงสามารถเดินทางจากปลายข้างหนึ่ง ไปยังปลายอีกข้างหนึ่งของแท่งแก้วนั้นได้ ในทำนองเดียวกัน ลักษณะการเคลื่อนที่ของแสงในเส้นใยนำแสงนั้นก็จะเป็นเช่นเดียวกับ การเคลื่อนที่ของแสงตามรูปที่ 3-6 นี้เอง เพราะแกนของเส้นใยนำแสงซึ่งใช้เพื่อเป็นทางเดินของสัญญาณแสงนั้น ก็มีลักษณะโครงสร้างเหมือนกับแท่งแก้วทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็กๆมากเท่านั้น



รูปที่ 3-6 แสดงการเคลื่อนที่ของแสงภายในแท่งแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การแตกกระจายของรูปสัญญาณจากเส้นใยนำแสง

จากรูปที่ 3-5 เราจะพบว่า เพราะแท่งแก้วนั้นมีขนาดใหญ่ ดังนั้นแนวของลำแสงที่มีมุมตกกระทบมากกว่ามุมวิกฤตก็ย่อมมีได้หลายแนว จึงทำให้แนวการเดินทางของลำแสงที่สะท้อนไปมาระหว่างผนังของแท่งแก้วนี้เกิดขึ้นได้หลายแนวด้วยกัน ฉะนั้นจึงเป็นการแน่นอนว่าแสงที่เดินทางไปแต่ละแนวทางนี้ย่อมจะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ผ่านจากปลายข้างหนึ่งของแท่งแก้ว ไปสู่ปลายอีกข้างหนึ่งนั้นจะไม่เท่ากัน ดังนั้นถ้าลำแสงแต่ละลำแสงที่เคลื่อนที่ผ่านแท่งแก้วนี้ทำหน้าที่เป็นคลื่นพาห้ของสัญญาณเดียวกันอยู่แล้ว สัญญาณนั้นก็จะเดินทางไปยังปลายอีกข้างหนึ่งของแท่งแก้วได้ไม่พร้อมกัน จึงเป็นเหตุให้สัญญาณผลลัพธ์ที่เกิดจากผลรวมของสัญญาณจากลำแสงแต่ละลำนั้นเกิดการกระจัดกระจายตัวอย่างเช่น ถ้าลักษณะของสัญญาณที่มีก่อนหน้านั้นเป็นพัลส์สี่เหลี่ยมแคบๆ สัญญาณผลลัพธ์ก็อาจจะกลายเป็นพัลส์กว้างๆ ที่มีลักษณะไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยม ดังนั้นเป็นต้น ลักษณะที่สัญญาณเกิดความผิดเพี้ยนดังกล่าวมาแล้วนี้ เราเรียกว่า ยืดขยายตัว (dispersion) ของสัญญาณนั้น จากเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นจึงเกิดความจำเป็นที่ต้องสร้างเส้นใยนำแสงให้มีขนาดเล็กทั้งนี้เพื่อลดจำนวนของแนวแสงให้น้อยลง อันจะทำให้เกิดการแตกกระจายของสัญญาณนั้นน้อยลงด้วยนั่นเอง

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

การแตกกระจายของสัญญาณอันเนื่องมาจากที่แสงแต่ละโหมดเดินทางโดยใช้ระยะเวลาที่แตกต่างกันมีชื่อว่า โหมดดิสเพอร์ชัน (mode dispersion) นอกจากการแตกกระจายของสัญญาณชนิดนี้แล้ว ยังมีสาเหตุอื่นที่ทำให้เกิดการแตกกระจายของสัญญาณอีกก็คือการแตกกระจายของสัญญาณอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอกันในเนื้อสารในเส้นใยนำแสงนั้นซึ่งเรียกว่า แมทริเรียลดิสเพอร์ชัน (material dispersion) นอกจากนี้แล้ว ยังมีการแตกกระจายของสัญญาณอันเนื่องมาจากความแตกต่างของความยาวคลื่นในลำแสงที่เคลื่อนที่ไปตามเส้นใยนำแสงนั้นซึ่งเราเรียกว่าเวฟเลนทด์ิสเพอร์ชัน (wavelength dispersion) ข้อดีของเส้นใยนำแสงแบบโหมดเดียวจะเกิดการแตกกระจายของสัญญาณน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเส้นใยนำแสงแบบมัลติโหมด

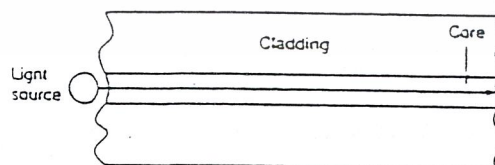
3.3.4 ชนิดของเส้นใยนำแสง

ชนิดของเส้นใยนำแสงสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆได้ตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเห แบ่งตามจำนวน โหมด แบ่งตามสารที่ใช้ผลิต แบ่งตามกรรมวิธีการผลิต แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเส้นใยนำแสงเพียง 3 ชนิดเท่านั้นคือ

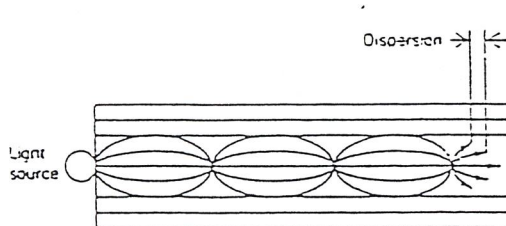
1. แบ่งตามลักษณะการเดินทางของแสง (propagation mode) คือ

1.1 เส้นใยนำแสง single mode โดยแนวลำแสงที่เคลื่อนที่ภายในเส้นใยนำแสงมีเพียงแนวลำแสงเดียวเท่านั้น

1.2 เส้นใยนำแสง Multimode โดยแนวลำแสงที่เคลื่อนที่อยู่ภายในเส้นใยนำแสงมีหลายแนวลำแสงด้วยกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึ(a)ษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b)

รูปที่ 3-7 แสดงการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง

a) Single mode step-index cable

b) multimode graded-index cable

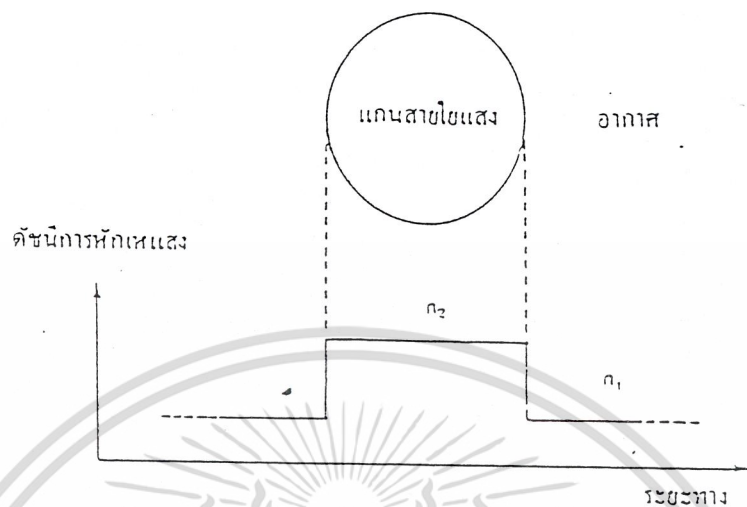
2. แบ่งตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของ ค่าดัชนีหักเหของแสงคือ

2.1 เส้นใยนำแสงชนิดดัชนีชั้นบันได (step-index fiber)

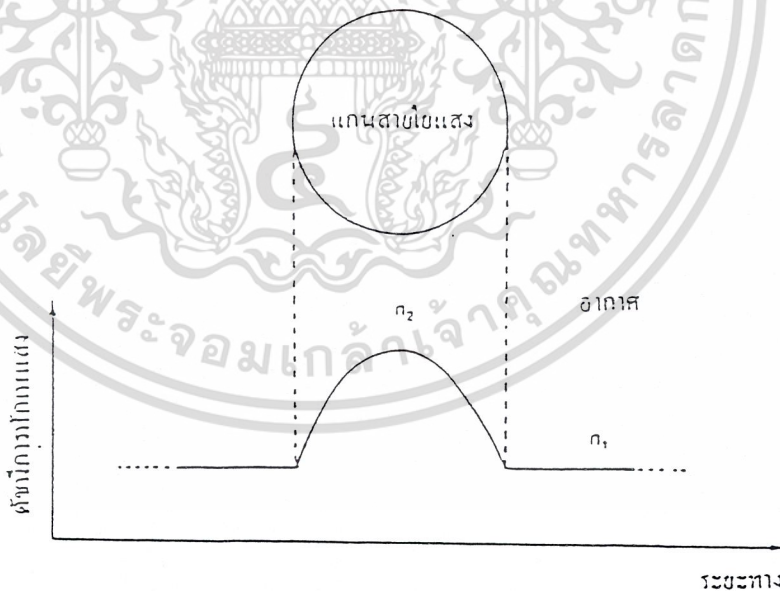
2.2 เส้นใยนำแสงชนิดดัชนีรูปมน (graded-index fiber)

โดยเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีชั้นบันไดนั้นแกนของตัวเส้นใยนำแสงดังกล่าวมีค่าดัชนีหักเหของแสงที่สม่ำเสมอเท่ากันตลอดทั้งเส้นซึ่งเขียนกราฟแสดงค่าดัชนีหักเหแสงของแกนของเส้นใยนำแสง เมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีหักเหแสงของอากาศที่มีอยู่รอบตัวมันแล้วจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3-8 ซึ่งมีลักษณะเหมือนว่าเป็นชั้นบันได ส่วนเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีรูปมนนั้นดัชนีหักเหของแสงค่อยๆเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆเมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีหักเหของแสงของอากาศที่อยู่รอบตัวมันแล้วจะมีลักษณะตามรูปที่

3-9



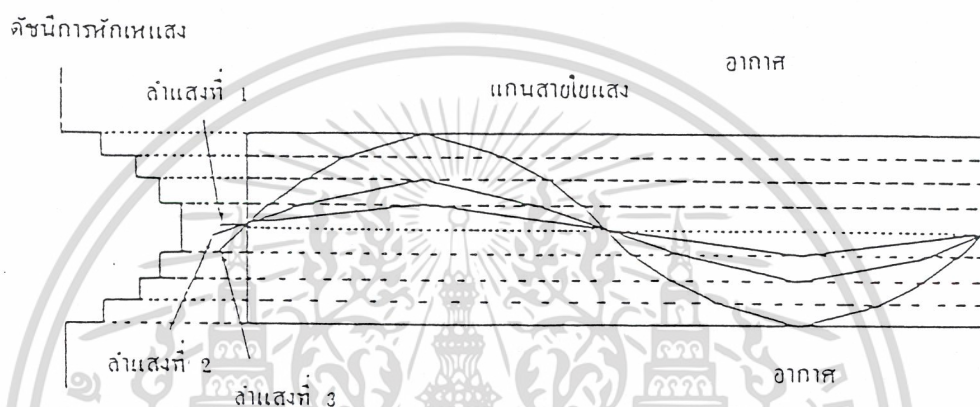
รูปที่ 3-8 แสดงดัชนีหักเหของแสงของเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีขั้นบันได(step-index fiber)



รูปที่ 3-9 แสดงดัชนีหักเหของแสงของเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีรูปมน(graded-index fiber)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยนำแสงชนิดดัชนีรูปมน (graded-index fiber) ถูกสร้างขึ้นเพื่อปรับปรุงลดการแตกกระจายของสัญญาณที่เกิดขึ้นจากเส้นใยนำแสงแบบมัลติโหมดให้น้อยลง โดยลำแสงทุกลำที่เคลื่อนที่ผ่านเส้นใยนำแสงชนิดนี้จะมีเวลาการเดินทางในเวลาที่เท่ากันจึงเป็นเหตุให้เกิดการแตกกระจายของเส้นใยนำแสงน้อยลง ลักษณะแนวทางการเดินของแสงภายในเส้นใยนำแสงชนิดนี้จะแสดงได้ดังรูปที่ 3-10



รูปที่ 3-10 แสดงแนวทางของแสงในแกนเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีรูปมน

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 ซึ่งเป็นสารไดออกไซด์ทริกที่เป็น Silica glass นอกจากจะใช้ซิลิกา (SiO_2) ที่บริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่แล้วยังใช้สารอื่นเติมลงไปเพื่อทำให้ค่าดัชนีหักเหเปลี่ยนแปลงตามต้องการ สารอื่นที่เติมลงไปนี้เรียกว่า โดแพนท (dopant) ได้แก่ เจอร์มันเนียม(Ga), โบรอน (B), ฟลูออรีน(FI) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 Multi component glass optic fiber ซึ่งใช้สารไดออกไซด์ที่ เป็นแก้วหลายชนิดปนกัน ส่วนมากจะใช้โซดาแคลเซียม (soda calcium) แก้วที่โบรอนและซิลิคอนผสมสารอื่นๆเป็นหลักส่วนสารเจือได้แก่ โซเดียม (Na) แคลเซียม (Ca)

3.3 Plastic optic fiber ซึ่งใช้สารไดออกไซด์ที่ เป็นพลาสติกในการทำเส้นใยนำแสง เป็นพวกที่มีดัชนีหักเหสูงส่วนมากทำจาก สารโพลิมethylเมทาไครเลท (polymethyl methacrylate) เรียกชื่อย่อๆว่า PMMA ส่วนใหญ่แล้วเส้นใยนำแสงแบบพลาสติกนิยมใช้กันมากเนื่องจากราคาถูก มีการยืดหยุ่นที่ดี และสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและไม่แตกหักง่าย ส่วนข้อเสียของมันคือเส้นใยนำแสงแบบพลาสติกมีการลดทอนของสัญญาณมาก ส่วนใหญ่เส้นใยนำแสงแบบพลาสติกจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 85-300 ไมครอน

3.4 ความสูญเสียของสัญญาณในระบบการสื่อสารด้วยแสง

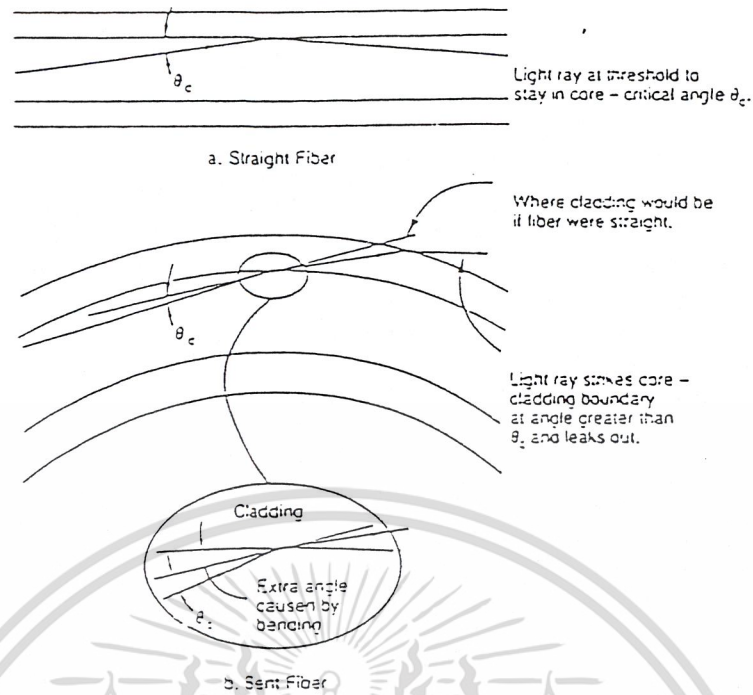
สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการลดทอนของ สัญญาณในระบบการสื่อสารด้วยแสงที่ผ่านเส้นใยนำแสงนั้นเกิดจากการสูญเสียโดยสาเหตุ 4 ประการ

1. ความสูญเสียอันเนื่องมาจากการแผ่รังสีหรือการกระจัดกระจายของคลื่น (scattering loss) ซึ่งเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของเนื้อสารเพราะมีสิ่งเจือปนอื่นๆเช่นอนุภาคของน้ำแฝงปนอยู่ในสารซึ่งเป็นแกนของเส้นใยนำแสงนั้นเป็นเหตุให้แสงที่เคลื่อนที่ผ่านไปนั้นเกิดการกระจัดกระจาย ทำให้สูญเสียพลังงานไป

2. ความสูญเสียเพราะถูกดูดซับพลังงาน (absorption loss) เกิดขึ้นเนื่องจากเนื้อสารนั้นได้ซึมซับเอาพลังงานของแสงไว้ โดยแปรรูปของพลังงานแสงไปเป็นพลังงานรูปอื่น เช่นพลังงานความร้อน เป็นต้น

3. ความสูญเสียที่จุดต่ออุปกรณ์ (connection loss) เกิดขึ้นเพราะการที่เราไม่สามารถติดตั้งเครื่องมืออย่างมีประสิทธิภาพเหมือนคังอุคมคิได้

4. ความสูญเสียจากการ โค้งงอของเส้นใยนำแสง (bending loss) เมื่อเกิดการโค้งงอของสายเส้นใยนำแสงจะทำให้ค่ามุมตกกระทบที่ผนังของเส้นใยนำแสงเปลี่ยนแปลงไปและถ้าความโค้งนั้นมีค่ามากพอสมควรแล้วก็จะทำให้แสงบางส่วนเกิดการหักเหออกจากเส้นใยนำแสงได้ จึงทำให้เกิดมีการสูญเสียเกิดขึ้น ดังรูปที่ 3-11



รูปที่ 3-11 แสดงการสูญเสียจากการโค้งงอเส้นใยนำแสง

3.5 แลบบการส่งสัญญาณของเส้นใยนำแสง

องค์ประกอบสำคัญที่กำหนดระยะห่างของตัวทวนสัญญาณ (repeater) ในการสื่อสารเส้นใยนำแสงได้แก่การสูญเสียแสง (loss) และ Transmission bandwidth ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า เส้นใยนำแสงมีหลายชนิดคือเส้นใยนำแสง multimode แบบ step-index เส้นใยนำแสง multimode แบบ graded index และเส้นใยนำแสง single mode สำหรับเส้นใยนำแสง multimode ทั้ง 2 แบบนั้นความเร็วในการเดินทางของแสงจะแตกต่างกันตาม mode ทำให้ระยะที่แสงเดินทาง ความกว้างของรูปคลื่นขยายกว้างออกตามระยะทาง นอกจากนั้นทั้งเส้นใยนำแสง multimode และ single mode ค่า Propagation constant ของสารที่ใช้ทำเส้นใยนำแสงจะมีค่าแตกต่างกันตามความยาวคลื่นของแสง ดังนั้นแสง incoherent light ในขณะที่เดินทาง ความกว้างของรูปคลื่นจะขยายกว้างออกตามระยะทางนั้นคือรูปคลื่นของสัญญาณแสงจะมีรูปร่างผิดไปจากเดิมในการสื่อสารเส้นใยนำแสงความเร็วในการส่งและระยะห่างของตัวทวนสัญญาณ (repeater) จะขึ้นอยู่กับ Transmission bandwidth นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบที่กำหนด Transmission bandwidth สำหรับเส้นใยนำแสง single mode ซึ่งมี Propagation mode เพียงอันเดียวจึงไม่มีปัญหาจากผลของ dispersion ดังนั้น bandwidth ของการส่งสัญญาณจึงไม่ขึ้นกับความไม่สมบูรณ์ของความเป็น coherent light 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

3.6 ข้อดีของการสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง

- มีแบนด์วิดท์การใช้งานที่กว้างมาก

ความถี่พาหะที่ใช้ในเส้นใยนำแสงอยู่ในช่วง 10^{13} ถึง 10^{16} Hz (ซึ่งอยู่ใกล้ๆกับความถี่อินฟราเรด คือ 10^{14} Hz หรือ 10^5 GMz) นั่นคือมีแบนด์วิดท์การส่งที่กว้างกว่าระบบสายส่งที่เป็นโลหะ เช่น เคเบิลแกนร่วมมีแบนด์วิดท์ประมาณ 500 MHz หรือระบบคลื่นวิทยุที่ใช้ในการทหารมีการมอดูเลชันแบนด์วิดท์ประมาณ 700 Hz

ปัจจุบันนี้แบนด์วิดท์ของระบบการสื่อสาร เส้นใยนำแสงยังไม่ได้ใช้งานทั้งหมดอย่างเต็มที่แต่ได้ใช้งานในย่าน gigahertz สำหรับการมอดูเลชัน เพื่อส่งสัญญาณในระยะทางไม่กี่กิโลเมตร และในย่าน 100 gigahertz สำหรับการมอดูเลชัน เพื่อส่งสัญญาณในระยะทางกว่า 10 กิโลเมตรโดยปราศจากรีพีทเตอร์ หรือรีเจนเนอเรเตอร์ (regenerator)

ดังนั้นการขนส่งข่าวสารบนเส้นใยนำแสงซึ่งเป็นระบบที่มีความจุปริมาณการสื่อสารได้มาก และดีกว่าระบบสายส่งที่เป็นทองแดง

- มีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา

สายส่งเส้นใยนำแสงมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กมาก ซึ่งโดยปกติแล้วมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่าเส้นผมของคนเราด้วยซ้ำ เมื่อทำการหุ้มเส้นใยนำแสงด้วยวัสดุป้องกันแล้ว มันยังจะมีขนาดเล็ก และน้ำหนักเบากว่าสายส่งที่เป็นทองแดงมาก นอกจาก

นี้ยังเป็นระบบสายส่งที่เหมาะสมสำหรับการขยายการส่งสัญญาณในรูปแบบการสื่อสารเคลื่อนที่ เช่น ระบบควมเทียม , ยานอวกาศ , เรือเคินมหาสมุทร และอื่นๆ

- ไม่มีการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าเกิดขึ้น

เส้นใยนำแสงที่มีฉนวนเป็นสารพลาสติกพอลิเมอร์ หรือ fabricated ที่นำมาจากแก๊ส จะเป็นสารฉนวนที่แยกพลังงานไฟฟ้าออกได้ดี จากระบบการส่งสัญญาณภายในสายส่งซึ่งไม่เหมือนกับสายส่งที่เป็นโลหะที่มีปัญหาในเรื่องการรบกวนทางไฟฟ้า คุณสมบัติของระบบสายส่งเส้นใยนำแสงที่ทำการออกแบบ และสร้างขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาในเรื่องการ Spalte หรือการ short circuit อันเนื่องมาจากสภาวะรอบข้างสายส่งที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าอยู่เสมอ

- ไม่มีปัญหาการแทรก (interference) และ Cross talk ของสัญญาณ

เส้นใยนำแสงที่มีตัวกลางเป็นท่อนำคลื่น (waveguide) จะมีปรากฏการแทรกแซงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) , การแทรกแซงของคลื่นความถี่วิทยุ (RFI) หรือพัลส์สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการสวิตชิงเส้นทางสื่อสาร (EMP) แต่การทำงานของระบบสื่อสารเส้นใยนำแสงจะไม่มีผลกระทบจากปรากฏการณ์ที่กล่าวมาไม่ว่าเราจะทำการส่งสัญญาณผ่านสายส่งในสภาวะแวดล้อมที่มีการรบกวนจากสัญญาณไฟฟ้า หรือปัญหา cross talk จากสายส่งเส้นใยนำแสงนำแสงด้วยกัน

- ความปลอดภัยในระบบสัญญาณที่ส่งมีสูง

แสงจากสายส่งเส้นใยนำแสงจะไม่แพร่กระจายสัญญาณออกจากสายส่ง ดังนั้นระดับของความปลอดภัยในการส่งสัญญาณจึงมีค่าสูงมาก ไม่เหมือนกับสายส่งที่เป็นทองแดงการส่งสัญญาณในเส้นใยนำแสงสัญญาณจะอยู่ในเส้นใยนำแสงตลอดไม่มีกำลังงานที่จะหลุดออกมาจากสายส่งเลย ดังนั้นในทางทฤษฎีแล้ว ข่าวสารที่ทำการส่งอาจจะไม่มีการตรวจสอบเลยในระหว่างที่ทำการส่ง ด้วยเหตุนี้ระบบการขนส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสงจึงถูกนำมาใช้ในทางทหาร , ธนาคาร คอมพิวเตอร์เน็ตเวิร์ค เพื่อทำการสื่อสารข้อมูลที่สำคัญ และการใช้งานอื่นๆ

- มีการสูญเสียการส่งสัญญาณน้อยมาก

การพัฒนาเส้นใยนำแสงเมื่อ 15 ปีให้หลังนี้ปรากฏผลว่าเส้นใยนำแสงสามารถป้องกันการสูญเสียหรือการลดทอนของสัญญาณได้ดี นั่นคือ เมื่อเปรียบเทียบกับสายส่งเคเบิลการสูญเสียเนื่องจากการส่งสัญญาณจะน้อยมาก คือประมาณ 0.2 dB ต่อกิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสามารถลดการสูญเสียให้น้อยกว่า 0.2 dB ต่อกิโลเมตรมากถึง 0.002 ต่อกิโลเมตร ด้วยเหตุนี้จำนวนรีพีทเตอร์ระหว่างสายส่งจึงมีจำนวนน้อยมาก หรือในบางเส้นทาง การสื่อสารที่มีระยะทางไม่มากนักก็จะไม่มีรีพีทเตอร์เลยแม้แต่ตัวเดียว ทำให้ค่าใช้จ่ายต่างๆ ลดลง และเหตุผลเดียวกันนี้เองที่นิยมทำสายส่งเส้นใยนำแสงมาใช้สื่อสารในระยะทางไกลๆ

- ทนทานและมีความอ่อนตัวสูง

เส้นใยนำแสงควรจะผลิตให้มีค่าแรงดึงสูงมาก หรือบางครั้งอาจใช้สารที่เป็นองค์ประกอบของแก้วที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กมากหรือเป็นกลุ่มเกลียวที่ไม่มีการหุ้ม ด้วยฉนวนอย่างไรก็ตาม โครงสร้างของเส้นใยนำแสงก็ได้รับการพัฒนาเรื่อยๆ เพื่อให้เกิดความอ่อนตัวในการประยุกต์ใช้งาน ได้มากที่สุดและมีความทนทานในการใช้งาน โดยยังคงรักษาสภาพของขนาดและน้ำหนักให้น้อยที่สุด

- เป็นระบบที่ให้ความเชื่อมั่นได้และง่ายต่อการบำรุงรักษา

เนื่องจากเคเบิลเส้นใยนำแสงมีคุณสมบัติการสูญเสียของสายส่งน้อยมาก ซึ่งทำให้สามารถลดจำนวนรีพีทเตอร์ที่ต้องใช้ (หรือ line amplifiers to boost) ในการส่งสัญญาณให้มีค่าสัญญาณแรงอยู่เสมอ จึงถือได้ว่าเป็นระบบที่วางใจได้เมื่อเทียบกับระบบการสื่อสารที่สายส่งเป็นอย่างอื่น

- ค่าใช้จ่ายของสายส่งน้อยลง

สายส่งเส้นใยนำแสงทำมาจากทราย เมื่อเทียบกับตัวนำที่เป็นทองแดงแล้วจะเป็นตัวสายที่ใช้ในการสื่อสารที่มีรอกต่ำมาก เพราะเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายมีราคาถูก นอกจากนี้ยังเป็นสิ่งที่ง่ายต่อการขนส่ง ติดตั้ง และบำรุงรักษา เนื่องจากมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา

หมายเหตุ ข้อเสียข้อเดียวของการใช้สายส่งเส้นใยนำแสงคือ การสื่อสารเส้นใยนำแสงจะมีพลังงานไฟตอนสูงมากที่ความถี่แสง ผลคือความต้องการกำลังงานในการรับสัญญาณจะมีค่ามากเมื่อเทียบกับขั้วของขั้วสาร

บทที่ 4 ระบบออปโตอิเล็กทรอนิกส์

4.1 แหล่งกำเนิดแสง

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



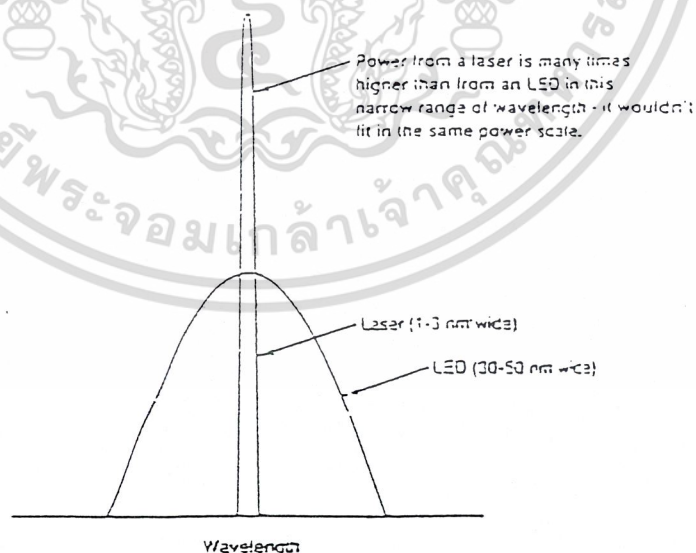
รูปที่ 4-1 แสดงชื่อเรียกและชนิดต่างๆของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

การเลือกช่วงของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสำหรับเส้นใยนำแสงนั้นแสงจะต้องมีความยาวคลื่นที่ทำให้ประสิทธิภาพในการส่งเส้นใยนำแสงมากที่สุด ตามปกติจะใช้กันในช่วง 850 , 1300 หรือ 1550 นาโนเมตร สำหรับเส้นใยนำแสงแบบแก้ว ช่วงของความยาวคลื่นนี้สำคัญมากเนื่องจากช่วงความกว้างของมันมากก็จะเกิดปัญหาการเพี้ยนและการกระจายของสัญญาณ แหล่งกำเนิดแสงจะต้องสามารถให้พลังงานที่เพียงพอที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสามารถส่งสัญญาณผ่านเข้าไปในเส้นใยนำแสงได้และไม่มีผลต่อการเพี้ยนของสัญญาณที่เครื่องรับด้วย แหล่งกำเนิดแสงส่วนมากที่ใช้ในระบบการสื่อสารทางแสงนี้จะเป็นอุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำ คือ light emitter diode หรือ LED และ เซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์ (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



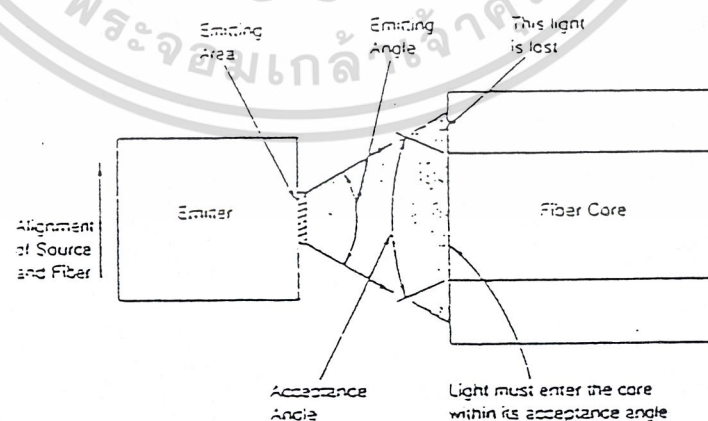
รูปที่4-2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความกว้างของสเปกตรัมของ LED และเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาและช่วงความกว้างของสเปกตรัมขึ้นอยู่กับความแตกต่างของส่วนประกอบความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาขึ้นอยู่กับสารกึ่งตัวนำที่นำมาทำแหล่งกำเนิดแสงส่วนช่วงสเปกตรัมขึ้นอยู่กับโครงสร้างของอุปกรณ์ ทั้งแหล่งกำเนิดที่เป็นเลเซอร์และ LED นั้นทำมาจากสารกึ่งตัวนำเหมือนกัน แต่ LED จะมีความกว้างของช่วงสเปกตรัมมากกว่าซึ่งถ้าเป็นเลเซอร์ 2 อันที่มีโครงสร้างเหมือนกันแต่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันช่วงสเปกตรัมแคบคล้ายกันแต่ความยาวคลื่นต่างกัน

4.1.2 พลังงานและการเชื่อมต่อของแสง (Output Power and Light Coupling)

พลังงานที่ใช้ในการสื่อสารทางแสงนี้แหล่งกำเนิดแสงต้องมีพลังงานที่สอดคล้องกับเส้นใยนำแสงที่ใช้ โดยปกติจะใช้พลังงานอยู่ในช่วงมากกว่า 100 มิลลิวัตต์ สำหรับแหล่งกำเนิดที่เป็นเลเซอร์และ 100 ไมโครวัตต์สำหรับแหล่งกำเนิดที่เป็น LED พลังงานเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับมุมของแสงที่ปล่อยออกจากแหล่งกำเนิด ขนาดของพื้นที่หน้าตัดของช่องปล่อยแสง การจัดเรียงของแหล่งกำเนิดกับเส้นใยนำแสง และลักษณะการรับแสงของเส้นใยนำแสง ดังรูปที่ 4 - 3 ความเข้มของแสงที่ปล่อยออกมาจะไม่สม่ำเสมอที่แสงถูกปล่อยออกมาแต่แสงจะมีความเข้มมากตรงตำแหน่งศูนย์กลางการปล่อยปกติเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์จะไม่มีกระจายของแสงที่มุมประมาณ $10 - 20^\circ$ และแสงจาก LED จะกระจายแสงด้วยมุมที่ใหญ่กว่ามุมของเลเซอร์

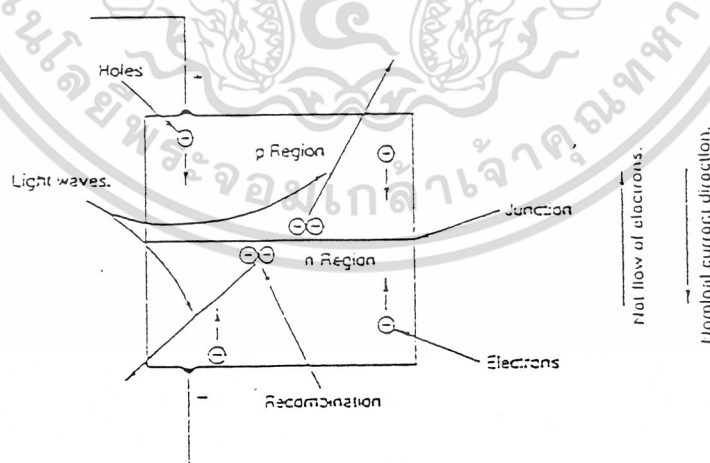


รูปที่ 4 - 3 แสดงการส่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสู่เส้นใยนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 แหล่งกำเนิดแสงของ LED (Light - Emission Diode Source)

LED เป็นแหล่งกำเนิดแสงในช่วงที่ตามองไม่สามารถมองเห็นได้อยู่ในช่วงของแสงอินฟราเรด (infrared light) โดยปกติแหล่งกำเนิดนี้จะใช้ในการสื่อสารระยะสั้นๆ แนวคิดพื้นฐานของการปล่อยแสงของ LED นี้แสดงดังรูปที่ 4-4 ถ้ามีแรงดันไฟอย่างอ่อนตกคร่อมเซมิคอนดักเตอร์ไดโอด (semiconductor diode) จะมีผลทำให้มีการไหลของกระแสตกคร่อมในรอยต่อ เนื่องจากไดโอดทำขึ้นจากพื้นที่ 2 บริเวณ แต่ละบริเวณมีการเจือสารไม่บริสุทธิ์ (impurities) ทำให้มีลักษณะความต้องการทางไฟฟ้าต่างกัน บริเวณด้าน P จะถูกเจือด้วยสารเจือไม่บริสุทธิ์ที่น้อยกว่าอะตอมของสารกึ่งตัวนำจะทำให้เกิดโฮล (hole) บริเวณด้านเอ็นจะถูกเจือด้วยสารเจือไม่บริสุทธิ์ ซึ่งจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระเกิดขึ้น (free electron) ดังนั้นจึงมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่มากมายในโครงสร้างผลึก ถ้าใส่แรงดันไฟบวกให้กับด้านพีและใส่แรงดันไฟลบที่ด้านเอ็นมีผลทำให้อิเล็กตรอนและโฮลเคลื่อนที่มารวมตัวกันตรงรอยต่อของทั้ง 2 บริเวณ ถ้าให้แรงดันไฟอย่างต่อเนืองอิเล็กตรอนก็จะเคลื่อนที่ผ่านไปเป็นไดโอดและเกิดการรวมตัวกันอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 4-4 แสดงลักษณะการทำงานของ LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารกึ่งตัวนำหลายชนิดไม่จำเป็นต้องเป็นซิลิคอนและเจอร์มาเนียมจะมีการปล่อยพลังงานความร้อนซึ่งเกิดจากการสั้นในโครงสร้างผลึก ซึ่งในสารที่นำมาทำเป็น LED นี้การรวมตัวกันของพาหะจะทำให้เกิดโฟตอนของแสงขึ้นซึ่งเกิดจากการปล่อยมาจากสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำที่มีความสำคัญที่สุดคือ แกลเลียมอะเซไนด์ (Gallium arsenide) และอื่นๆ ธาตุในหมู่ที่ 3a และ 5a ในตารางธาตุดังแสดงในตารางที่ 4-1

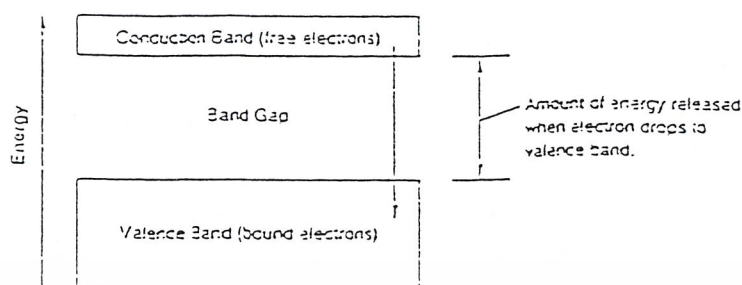
3a	5a
อะลูมิเนียม (Al)	ไนโตรเจน (N)
แกลเลียม (Ga)	อะเซไนด์ (As)
อินเดียม (In)	ฟอสฟอรัส (P)
	แอสโตโนมี (Sb)

ตาราง 4-1 แสดงธาตุหมู่ที่ 3a และ 5a ที่มีความสำคัญ

ช่วงความยาวคลื่นที่ถูกปล่อยออกมานั้นขึ้นอยู่กับระดับพลังงานภายในของสารกึ่งตัวนำ ถ้าเป็นสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิต่ำ อิเล็กตรอนทั้งหมดจะมีพันธะอยู่ในโครงสร้างผลึก ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นอิเล็กตรอนบางตัวจะแตกจากพันธะแล้วกระโดดสู่ระดับพลังงานที่สูงกว่าเรียกว่า ระดับคอนดักชัน (conduction level) ทำให้พวกมันสามารถจะเคลื่อนที่อย่างอิสระในโครงสร้างผลึกนั้นแถบพลังงานชั้นวาเลนซ์ (valence band) และแถบพลังงานคอนดักชัน (conduction band) จะแยกกันอยู่โดยมีระดับพลังงานที่แบ่งกันเอาไว้เรียกว่า แถบพลังงานหวงห้าม (band gap) ซึ่งจะเป็นตัวบอกคุณลักษณะหลายอย่างของสารกึ่งตัวนำ

แถบพลังงานคอนดักชันจะมีอิเล็กตรอนอิสระหลังจากเกิดโฮลที่แถบพลังงานวาเลนซ์ซึ่งมันจะถูกพิจารณาว่าเป็นประจุบวก โฮลนี้สามารถเคลื่อนที่ได้โดยอิเล็กตรอนจากตำแหน่งอื่นๆ ใน โครงสร้างผลึกจะเคลื่อนที่มารวมตัวกับ โฮลและแตกออกเป็น โฮลตามเดิมอีกครั้ง สารเจือที่ไม่บริสุทธิ์ของสารกึ่งตัวนำจะเป็นตัวกำเนิดอิเล็กตรอนและโฮลเมื่ออิเล็กตรอนตกจากแถบพลังงานคอนดักชันลงสู่แถบพลังงานวาเลนซ์จะเกิดการปล่อยพลังงานที่มีค่าเท่ากับความแตกต่างของพลังงานของทั้งสองระดับ ดังรูปที่ 4-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-5 แสดงระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำ

ความแตกต่างของระดับพลังงานทั้งสองหรือแถบพลังงานหวงห้ามซึ่งทำให้เกิดจำนวนพลังงานที่คายออกมาและความยาวคลื่นที่ถูกปล่อยซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารกึ่งตัวนำนั้น ตามปกติแล้วจะใช้ LED ในเส้นใยนำแสงแบบพลาสติกซึ่งทำจากแกเลียมอะลูมิเนียมอะเซไนด์ (Gallium aluminum arsenide) หรือแกเลียมอะเซไนด์ (Gallium arsenide) LED แบบแกเลียมอะเซไนด์จะให้แสงอยู่ในช่วง 930 นาโนเมตร ถ้าเพิ่มอะลูมิเนียมเข้าไปจะเกิดการลดลงของค่าขีดเริ่ม (threstold current) ซึ่งทำให้มีช่วงชีวิตดีขึ้นและสามารถเพิ่มพลังงานในแถบพลังงานหวงห้ามทำให้แสงที่ปล่อยออกมาอยู่ในช่วง 750 - 900 นาโนเมตร ความยาวคลื่นที่ใช้งานอยู่ที่ 820 - 850 นาโนเมตร ที่อุณหภูมิห้อง

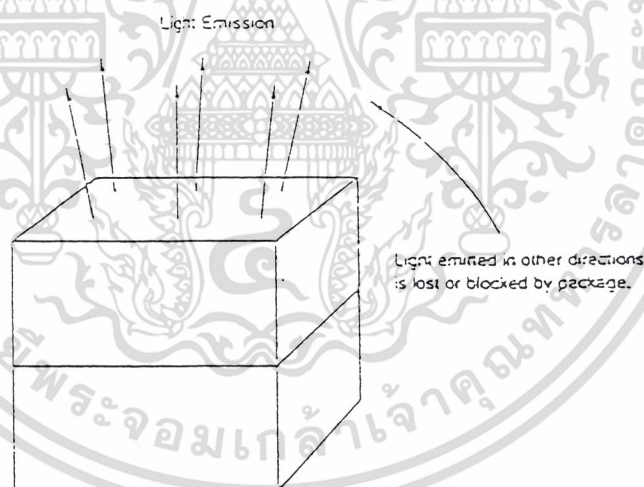
สารประกอบสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น ๆ ก็สามารถนำมาใช้ทำ LED ได้ซึ่งจะมีช่วงความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาแตกต่างกันออกไป เช่น แกเลียมอะเซไนด์ฟอสไฟด์ (Gallium arsenide phophide) ให้แสงในช่วง 665 นาโนเมตร เป็นแสงสีแดง แต่จะไม่ดีเท่าแกเลียมอะลูมิเนียมอะเซไนด์ (GaAlAs) และ GaAsP มีราคาถูกกว่า GaAlAs แต่มีคุณภาพในการทำงานต่ำกว่า

สารประกอบสารกึ่งตัวนำที่สำคัญมีคุณภาพสูงคืออินเดียมแกเลียมอะเซไนด์ฟอสไฟด์ (InGaAsP) ทำจากอินเดียมแกเลียมอะเซไนด์และฟอสฟอรัสรวมกันด้วยจำนวนของอินเดียม (Indium) อย่างเท่าๆกัน และเติมอะเซไนด์กับฟอสฟอรัสลงไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของสารประกอบนี้คือเขียนได้เป็น $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ เมื่อ x เป็นสัดส่วนของอินเดียม และ y เป็นสัดส่วนของอาร์เซนิกซึ่งพวกนี้จะถูกเรียกว่า ควอเตอร์นารี (quaternary) เป็นพวกที่มี 4 สารประกอบพวกนี้ทำยากกว่าเทอร์นารี (ternary) พวก 3 สารประกอบ คือ GaAlAs ซึ่งให้ความยาวคลื่น 1300 และ 1550 nm LED บ่อยครั้งใช้ในระยั้งันๆโดย ใช้ความยาวคลื่น 1300 nm เพื่อความสะดวกและการแตกกระจายของสีน้อย แต่ 1550 nm นั้นความแตกกระจายมีมากกว่า

คุณลักษณะอื่นๆของ LED ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์และโครงสร้างภายใน ซึ่งไม่สามารถอธิบายทิศทางของการเกิดแสงได้ ในความจริงแล้วตัวอย่างการเกิดแสงในทุกทิศทางแสดงดังรูปที่ 4-6 และรูปแบบส่วนใหญ่จะเกิดการปล่อยแสงจากผิวหน้าของมัน แสงที่ถูกปล่อยออกมาจะเป็นรูปทรงกรวยแบบกว้างๆ ซึ่งความเข้มของแสงจะตกมาก และจะเป็นไปตามมุมของรอยต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำ เรียกว่า เป็นการกระจายแบบแลมเบิร์ตเทียน (Lambertian ditribution)

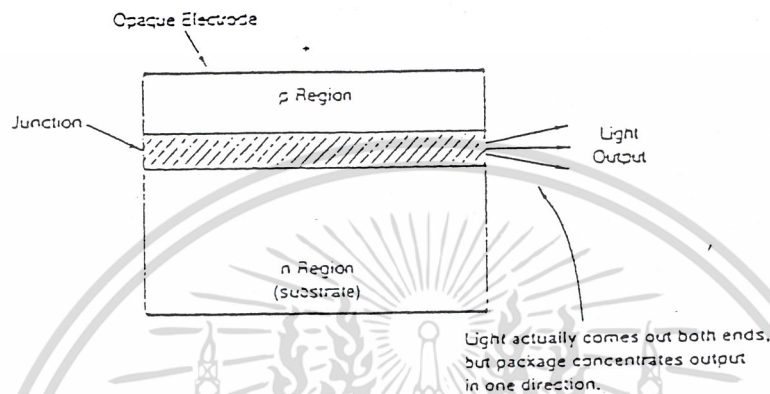


รูปที่ 4-6 แสดงลักษณะการส่งแสงของ LED

โครงสร้างพื้นฐานที่แตกต่างกันคือไดโอดที่เปล่งแสงทางขอบ (edge emitter diode) ดังแสดงในรูป 4-7 บริเวณที่สัมผัสกับคุณสมบัติของไฟฟ้าจะครอบคลุมทั้งด้านบนสุดและล่างสุดของขอบอิมิตเตอร์ ดังนั้นแสงจึงไม่สามารถออกมาได้ LED จะจำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงให้อยู่ในแนวแคบในระนาบของรอยต่อ 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)

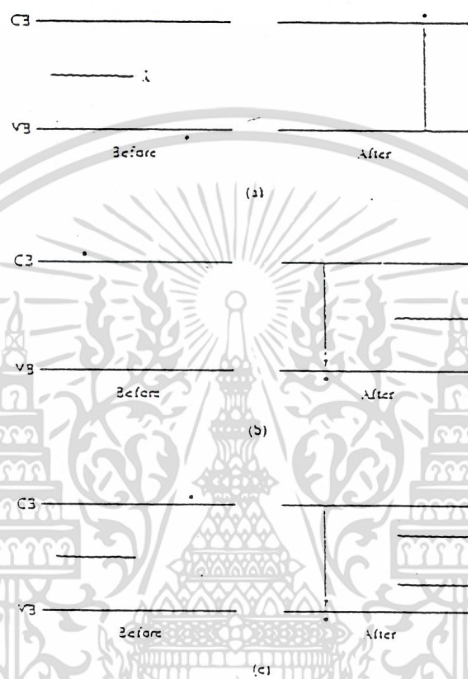
ถึงแม้ว่าเซมิคอนดักเตอร์จะมีพื้นที่ในการปล่อยแสงเหมือน LED แต่จะให้แสงในช่วงที่ต่างกัน ซึ่งมีผลต่อพลังงานที่ดีกว่าและทิศทางที่แน่นอนกว่า

4.1.4.1 การปล่อยแสงด้วยการกระตุ้น (Stimulated Emission)

แสงจะถูกปล่อยออกมาเมื่อมีอิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าตกลงสู่ระดับพลังงานที่ต่ำกว่าซึ่งจะให้พลังงานออกมา โดยจะปลดปล่อยแสงที่มีอิทธิพลจากภายนอกซึ่งเรียกว่า การปล่อยแสงตามธรรมชาติ (spontaneous emission) แต่ก็จะเป็นเพียงชั่วขณะเท่านั้น ถ้าเราใช้เวลารอบๆการเกิดแสงอย่างการปล่อยแสงตามธรรมชาตินี้โดยสมมติว่ามีอิเล็กตรอนอยู่ที่ระดับพลังงานบนซึ่งพร้อมที่จะปลดปล่อยพลังงานอยู่แล้วและใส่พลังงานโฟตอนเข้าไป ซึ่งจะเป็นจำนวนของพลังงานที่อิเล็กตรอนต้องการที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะปลดปล่อย โฟตอนภายนอกนี้สามารถกระตุ้นให้อิเล็กตรอนจากระดับพลังงานชั้นบนสู่ระดับพลังงานชั้นล่างและคายพลังงานออกมาเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นเดิมได้ กระบวนการนี้เรียกว่า การขยายแสงด้วยการกระตุ้น (Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation) หรือเรียกย่อๆว่า LASER ซึ่งแสดงได้ตาม โค้ดแกรมของการปล่อยแสงแบบต่างๆ ในรูปที่ 4-8



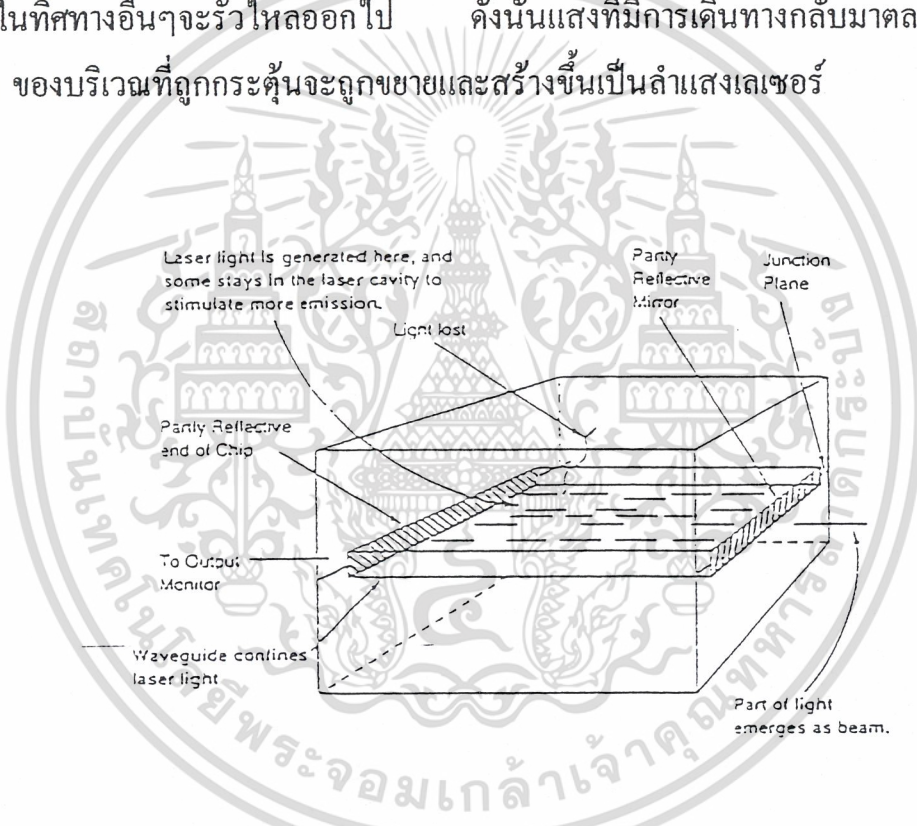
รูป 4-8 a) การดูดกลืนพลังงาน b) การปล่อยตามธรรมชาติ c) การปล่อยโดยการกระตุ้น

4.1.4.2 Population Inversion

เงื่อนไขพิเศษที่ต้องสนใจของการเกิดเลเซอร์คือมีจำนวนอิเล็กตรอนหรืออะตอมหรือโมเลกุลอยู่มากในชั้นระดับพลังงานด้านบนมากกว่าชั้นระดับพลังงานด้านล่าง เงื่อนไขนี้เรียกว่า population inversion เนื่องจากตามปกติอิเล็กตรอนมากมายอยู่ในชั้นล่างอยู่แล้ว สิ่งนี้เป็นสิ่งจำเป็นเนื่องจากอะไรก็ตามที่อยู่ในระดับพลังงานชั้นล่างนั้นสามารถดูดกลืนแสงถูกปล่อยออกมาได้ โดยจะมีการดูดกลืนแสงมากกว่าการปล่อยแสง ถ้ามีเงื่อนไขเกิดขึ้น การกระตุ้นให้เกิดการปล่อยแสงก็จะหยุดลงในทุกทิศทาง

4.1.4.3 การจัดรูปของลำเลเซอร์ (Laser Beam Formation)

ลำแสงเลเซอร์ถูกจัดรูปแบบโดยอุปกรณ์สำหรับเพิ่มค่าเรโซแนนซ์ (resonator) ซึ่งเป็นตัวจำกัดขอบเขตของแสงและทำให้ผ่านมาอีกครั้งในตัวกลางที่ถูกกระตุ้น คังรูปที่ 4-9 สำหรับเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์ เรโซเนเตอร์นี้สามารถทำได้จากส่วนของกระจกที่ขอบแต่ละด้านของบริเวณที่อะตอมถูกกระตุ้นนั้นอยู่ แสงที่ถูกปล่อยออกมาจะเคลื่อนไปข้างหน้าตรงไปกระจกด้านหนึ่งแล้วจะสะท้อนกลับและเป็นอย่างนี้ต่อไปแสงที่ถูกกระตุ้นให้ปล่อยอิเล็กตรอนจะรวมกันเข้ากับแสงที่ผ่านระนาบของรอยต่อ แสงที่ถูกปล่อยในทิศทางอื่นๆจะรั่วไหลออกไป ดังนั้นแสงที่มีการเดินทางกลับมาตลอดทางแคบๆ ของบริเวณที่ถูกกระตุ้นจะถูกขยายและสร้างขึ้นเป็นลำแสงเลเซอร์



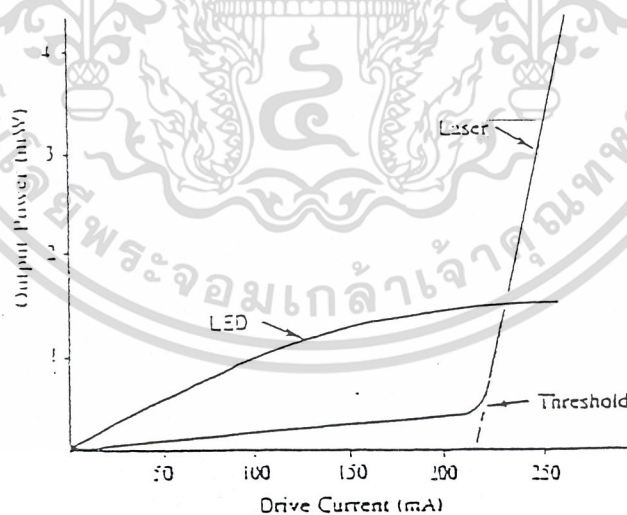
รูปที่ 4-9 แสดงพื้นฐานการเกิดเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์

ส่วนปีกกันที่เห็นแสดงอยู่นั้นเป็นกระบวนการที่ยุ่งยากเล็กน้อยกระจกจะอยู่ส่วนขอบล่างของโครงสร้างผลึกของสารกึ่งตัวนำที่เรียกว่า แฟคเค็ท (facets) ซึ่งแฟคเค็ทคอนท่ายจะทำให้แสงทะลุออกมาแต่จะควบคุมการสะท้อนของแสงส่วนใหญ่ ในทางปฏิบัติแฟคเค็ทที่อยู่ด้านหน้าจะไม่ทำให้แสงออกมาแต่จะทำให้แสงสะท้อนไปมาใน

สารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำเป็นสารที่ถูกกระตุ้นให้ปล่อยแสงมาก ดังนั้นที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นจึงจำเป็นต่อการสร้างลำแสงเลเซอร์

4.1.5 ความแตกต่างของแหล่งกำเนิด (Functional Differences)

สิ่งที่แตกต่างกันระหว่าง LED กับเลเซอร์ไดโอดนั้นมีอยู่สองประการคือ ถ้าเป็น LED นั้นจะไม่มีตัวเรโซเนเตอร์ แต่ก็สามารถสร้างให้มีขนาดเล็กได้และเลเซอร์นั้นต้องทำเป็นแรงขับเคลื่อนสูงเพื่อที่จะได้ความหนาแน่นของเลเซอร์มากเอาที่พุทของเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์ขึ้นอยู่กับแรงขับเคลื่อนที่ผ่านทะลุตัวมัน โดยต้องมีแรงดันไบอัสที่มีค่าแรงขับเคลื่อนอย่างน้อยตามต้องการและยาวนาน ที่ค่ากระแสต่ำๆเลเซอร์ที่ถูกปล่อยออกมาจะอ่อนเหมือนการปล่อยแสงตามธรรมชาติ (spontaneous emission) ซึ่งมีประสิทธิภาพเหมือนกับ LED ถ้ากระแสที่ให้ผ่านค่าขีดเริ่มไปแล้วนั้นก็จะเกิดเป็นลำแสงเลเซอร์ และเพิ่มความเข้มข้นเรื่อยๆ ดังรูป 4-10



รูป 4-10 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสขับกับกำลังของแสงที่ปล่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = N \cdot h \cdot c / \lambda = (\eta \cdot E_g \cdot I) / e \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ	N	คือ	จำนวนของการประจุต่อวินาที
	η	คือ	อัตราส่วนการแพร่กระจายประจุที่ถูกรวมตัว
	E_g	คือ	พลังงานแถบหวงห้ามของสารในหน่วยของจูล

ความแตกต่างในโครงสร้างนี้เป็นส่วนสำคัญ เลเซอร์นั้นสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า LED ธรรมดาและให้กระแสขั้วที่สูงด้วย ดังนั้นเลเซอร์จึงมีกำลังงานมากกว่า LED ความเข้มของแสงที่ปล่อยออกมานั้นจะเป็นลำแคบกว่าแสงจาก LED ซึ่งสามารถดูได้จากรูปที่ 4-1 ที่กล่าวมาแล้ว

4.1.6 ความยาวคลื่นของเลเซอร์ไดโอด

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

1. $Ga_{(1-x)}Al_xAs$ บน GaAs ความยาวคลื่น 780 nm ถึง 850 nm
2. $In_{0.73}Ga_{0.27}As_{0.58}P_{0.42}$ บน InP ความยาวคลื่น 1310 nm
3. $In_{0.58}Ga_{0.42}As_{0.9}P_{0.1}$ 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 มาก จึงทำให้เลเซอร์ไดโอดมีความสามารถในการส่งสัญญาณด้วยความเร็วสูงผ่านเส้นใยนำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงโดยทำให้มีการแตกกระจายของสัญญาณน้อย แต่ถึงอย่างไรก็ตามก็คิขนาดของแถบสเปกตรัมที่มีขนาด 1-3 nm ก็ใหญ่เพียงพอที่จะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการแตกกระจายของสัญญาณสเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอด ถึงแม้ว่าจะมีความเข้มของกำลังงานมากที่สุดที่ความยาวคลื่นหนึ่งก็ตาม แต่ในเลเซอร์ไดโอดการเกิดเลเซอร์ออสซิลเลชัน (Laser Oscillation) ที่ต่อเนื่องกันทำให้อัตราการขยายซึ่งมีผลต่อการเกิดความยาวคลื่นอื่นๆ คืบ แต่ความยาวคลื่นเดียวเท่านั้นที่มีอัตราขยายสูงสุดระหว่างระยะทางของตัวเรโซเนเตอร์ที่กำเนิดเลเซอร์โดยความยาวคลื่นหาได้จาก

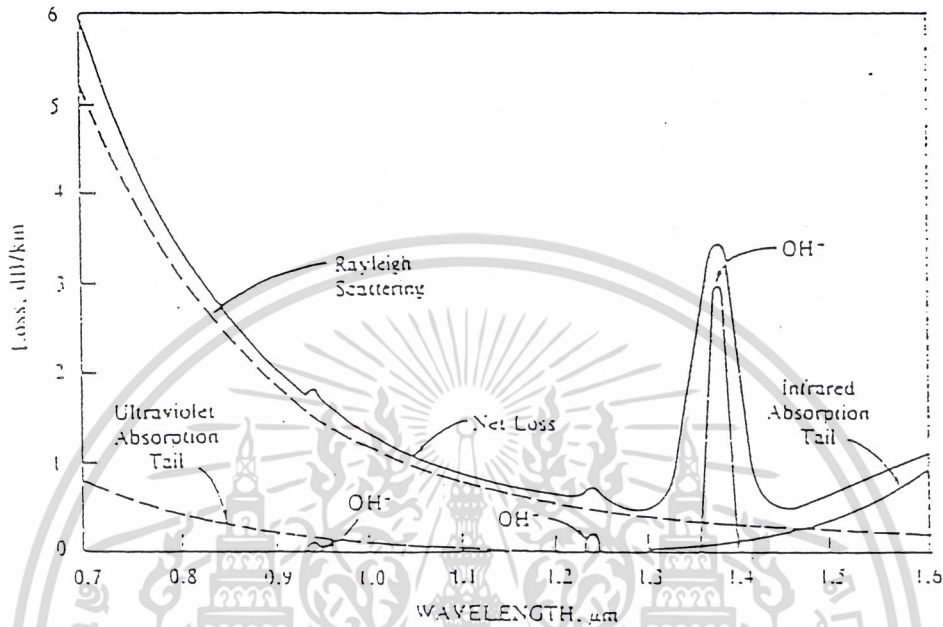
$$2D = N\lambda \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อ 2D คือ ระยะไปกลับระหว่างเรโซเนเตอร์ในหนึ่งรอบ
N คือ จำนวนเต็ม

โดยความยาวคลื่นนั้นต้องอยู่ในขอบเขตของความยาวคลื่นของเลเซอร์ที่เกิดจากการปล่อยโดยการกระตุ้น

4.1.8 Fiber Transmission Windows

ทั้งแหล่งกำเนิดที่เป็น LED และเลเซอร์ไดโอดจะมีลักษณะการส่งผ่านเหมือนกันถึงแม้ว่าจำนวนค่านิวเมอริกัล (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

อัตราส่วนของการ ใ้ปในสารที่เป็นวัสดุที่ใช้ทำเลเซอร์ไดโอดจะสามารถหา ช่องว่างแถบพลังงาน (band gap) ของสารผสมนั้นได้ ซึ่งจะทำให้ได้ความยาวคลื่นที่ ปล่อยออกมาด้วย สมการด้านล่างนี้ใช้ในการหาความคลื่นที่ปล่อยออกมาเมื่อทราบค่า ช่องว่างแถบพลังงานของสารผสมนั้น

$$\lambda (\mu\text{m}) = 1.24 / E_g (\text{eV}) \quad \dots\dots\dots(3)$$

เมื่อ λ คือ ความยาวคลื่นที่ต้องการหา
 E_g คือ ช่องว่างแถบพลังงานในหน่วยอิเล็กตรอน โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วงจรขับ

เป็นส่วนที่ในการมอดูเลทสัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสงเข้ากับแสงโดยใช้ความเข้มของกระแสเป็นตัวกำหนดความเข้มของแสงที่จะปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดที่ใช้แล้วส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสงเรียกว่าอินเทินซิติมอดูเลชัน (Intensity Modulation) โดยความยาวคลื่นของสัญญาณแสงจะมีค่าสั้นกว่า (ความถี่มากกว่า) ความยาวคลื่นของสัญญาณไฟฟ้ามักคั้งนั้นความถี่ของสัญญาณไฟฟ้า จึงเป็นตัวที่ทำหน้าที่เป็นเอ็นเวลลอปของสัญญาณแสงที่ออกมา

4.2.1 การออกแบบตัวส่งแสง (Transmitter Design)

แหล่งกำเนิดแสงเป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบโดยตัวส่งแสงจะต้องสอดคล้องกับประเภทของแหล่งกำเนิดแสงด้วย และสอดคล้องกับประเภทของสัญญาณที่ส่งด้วยว่าเป็นอนาลอกหรือดิจิทัล โดยการออกแบบจะต้องมีตัวเรือน ซึ่งถือว่าเป็นส่วนที่ต้องการเพื่อช่วยป้องกันแหล่งกำเนิดไม่ให้เกิดความเสียหายและช่วยในการสร้างสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์และช่วยในการส่งแสงผ่านเส้นใยนำแสง โดยส่วนประกอบภายในจะต้องเป็นส่วนช่วยในการต่อแสงเชื่อมกับเส้นใยนำแสง และยังต้องการวงจรขับเพื่อขับกระแสและการควบคุมอุณหภูมิ

4.2.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของตัวส่งแสง

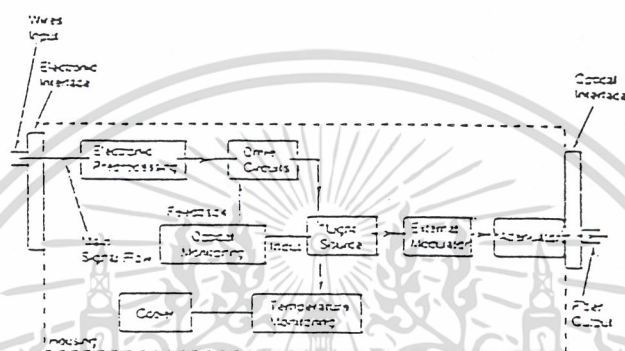
ในตัวเรือนของตัวส่งแสงจะต้องประกอบไปด้วยอุปกรณ์พื้นฐานที่จะกล่าวนี้ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้สามารถแสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 4-12

1. ตัวเรือน (housing)
2. ส่วนเชื่อมต่อทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic interfaces)
3. ส่วนเชื่อมต่อทางแสง (Optical interfaces)
4. วงจรขับ (Drive circuitry)
5. ส่วนควบคุมอุณหภูมิและส่วนหล่อเย็น (Temperature sensing and cooling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic processing)
7. ส่วนของมอนิเตอร์ทางแสง (Optical monitoring)
8. ตัวลดทอนสัญญาณ (Attenuator)

โดยบางครั้งอาจจะมีอุปกรณ์ส่วนอื่นๆเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเช่น External modulator ในกรณีที่แหล่งกำเนิดไม่สามารถมอดูเลตแสงได้เอง หรือส่วนของการลดทอนสัญญาณในกรณีที่มีการติดต่อสื่อสารในระบบสั้นๆ

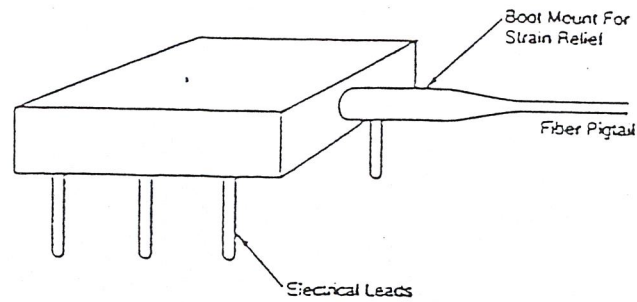


รูปที่ 4-12 แสดงส่วนประกอบในการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยนำแสง

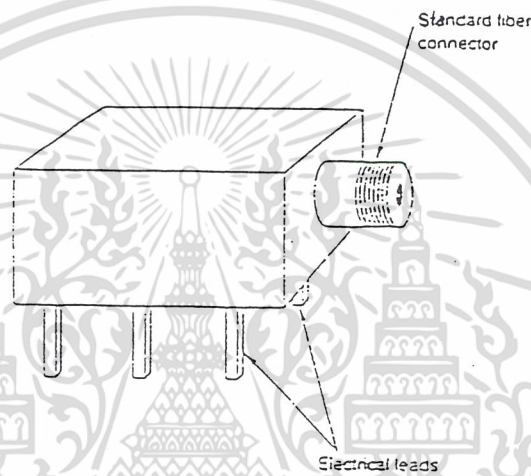
1. ตัวเรือน (housing) ตัวเรือนนี้จะมีรูปแบบอย่างง่ายๆ โดยจะออกแบบเป็นกล่องสี่เหลี่ยมเพื่อความสะดวกซึ่งจะมีหัวต่อสองส่วนคือ ส่วนเชื่อมต่อทางแสงและส่วนเชื่อมต่อทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งส่วนใหญ่จะออกแบบเป็นมาตรฐาน

2. ส่วนเชื่อมต่อทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic interfaces) ส่วนนี้อาจจะเป็นสายไฟ (wire) ธรรมดา หรือเป็นขั้วยื่นออกมาจากรูทรงของหีบห่อ (packages) ตัวส่งแสงอย่างง่ายสามารถที่จะจับกระแสด้วยสัญญาณไฟฟ้าที่เข้าไปได้โดยตรง

3. ส่วนเชื่อมต่อทางแสง (Optical interfaces) เป็นการเชื่อมต่อแหล่งกำเนิดและเส้นใยนำแสง ดังแสดงในแสง ซึ่งเป็นหัวต่ออยู่ในตัวเรือน แสงจะถูกส่งไปยังเส้นใยนำแสงโดยเลนส์ข้างในที่ประกอบด้วย collimating lens และส่วนเส้นใยนำแสงส่วน Fiber Pigtail จะทำการรวมแสงจากบริเวณที่มีแสงเปล่งออกมาและส่งไปข้างนอกซึ่งสามารถต่อเข้ากับเส้นใยนำแสงภายนอกได้



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) คุณสมบัติการทำงานของเซมิคอนดักเตอร์ อันได้แก่ threshold current กำลังเอาต์พุต และความยาวคลื่นจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ค่า threshold current จะเพิ่มขึ้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกซ์โปเนนเชียลตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป $\Delta T = (T_1 - T_2) / T_1$ ซึ่ง T_1 คืออุณหภูมิตอนเริ่มต้น T_2 คืออุณหภูมิต่ำสุด เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตเป็นสัดส่วนกับกระแสขั้วที่มีค่ามากกว่า threshold current กำลังเอาต์พุตลดลงขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น กำลังเอาต์พุตจะถูกทำให้หมดไปภายในเลเซอร์ ดังนั้นช่วงชีวิต (life time) ของเลเซอร์จะลดลงตามอุณหภูมิทำงาน การเปลี่ยนแปลงในเรื่องความยาวคลื่นมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในดัชนีหักเหของสารกึ่งตัวนำและในช่องว่างเลเซอร์ (laser cavity)

Thermoelectric cooler ในตัวส่งแสงสามารถทำให้การทำงานมีความแน่นอนที่อุณหภูมิกึ่ง การควบคุมอุณหภูมิของเลเซอร์สามารถลดความไม่คงที่ของกำลังเอาต์พุตอันเนื่องมาจากอุณหภูมิ จะทำให้กำลังเอาต์พุตที่คงที่ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการทำงานของอุปกรณ์รับแสง ขณะที่กำลังเอาต์พุตที่ตรวจวัดได้ลดลงอัตราบิตคลาดเคลื่อน (bit-error rate) เพิ่มขึ้นในระบบดิจิทัล และ s/n ratio ลดลงในระบบอนาล็อก จะทำให้ระบบการทำงานของอุปกรณ์กำเนิดแสงลดลงและขั้นตอนนี้จะทำให้ความยาวคลื่นของแสงคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง กระแสขีดเริ่มมีค่าคงที่ (threshold current)

6. กระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic processing) เป็นกระบวนการขั้นต้นที่วงจรขั้วของตัวส่งแสงจะทำการใส่สัญญาณไฟฟ้าทางอินพุตให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมสำหรับทำการขับแหล่งกำเนิดแสง ตัวอย่างเช่นการแปลงสัญญาณจากแรงดันซึ่งจะขั้ววงจรอิเล็กทรอนิกส์ไปเป็นกระแสซึ่งจะมอดูเลต Laser และ LED

7. ส่วนของมอนิเตอร์ทางแสง (Optical monitoring) ตัวส่งแสงชนิดเลเซอร์ประกอบด้วยวงจรเอาต์พุตที่มีเสถียรภาพ โฟโตดีเทคเตอร์จะตรวจจับแสงที่แผ่ออกจากส่วนหน้าของเลเซอร์และขั้ววงจรการป้อนกลับ (Feedback circuit) ซึ่งจะปรับกระแสขั้วจนกำลังเอาต์พุตทั้งหมดคงที่

นอกจากนี้วงจรลดทอนสัญญาณ (Attenuator) ตัวส่งแสงจะสร้างระดับกำลังที่เป็นมาตรฐาน แต่ในบางกรณีระดับกำลังเหล่านี้อาจจะสูงกว่าที่ต้องการเนื่องจากตัวรับแสงสามารถรับกำลังเอาต์พุตได้จำกัด ในบางครั้งจะใช้ตัวลดทอนสัญญาณเพื่อที่จะลดกำลังเอาต์พุตของตัวส่งแสงให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับตัวรับแสง

4.2.3 การออกแบบตัวส่งโดยใช้ LED อย่างง่าย

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

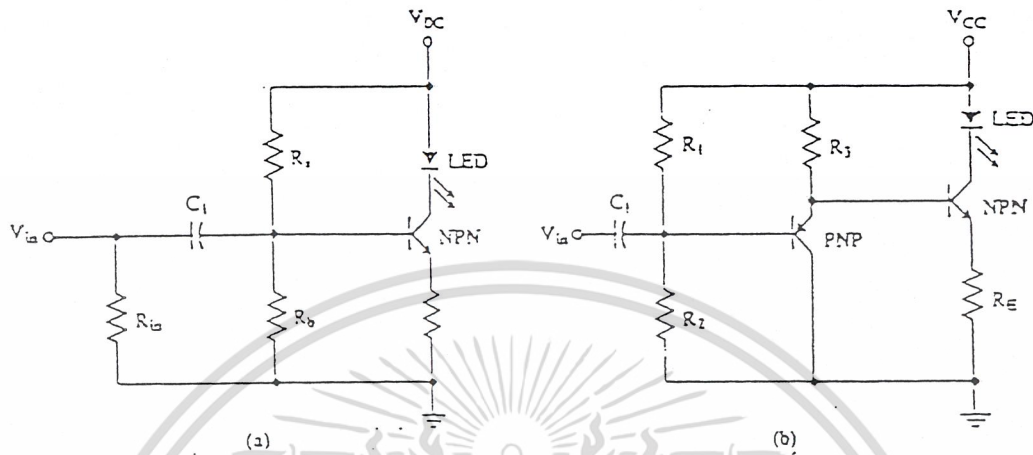


รูปที่ 4-14 แสดงวงจรขับอย่างง่ายสำหรับ LED source

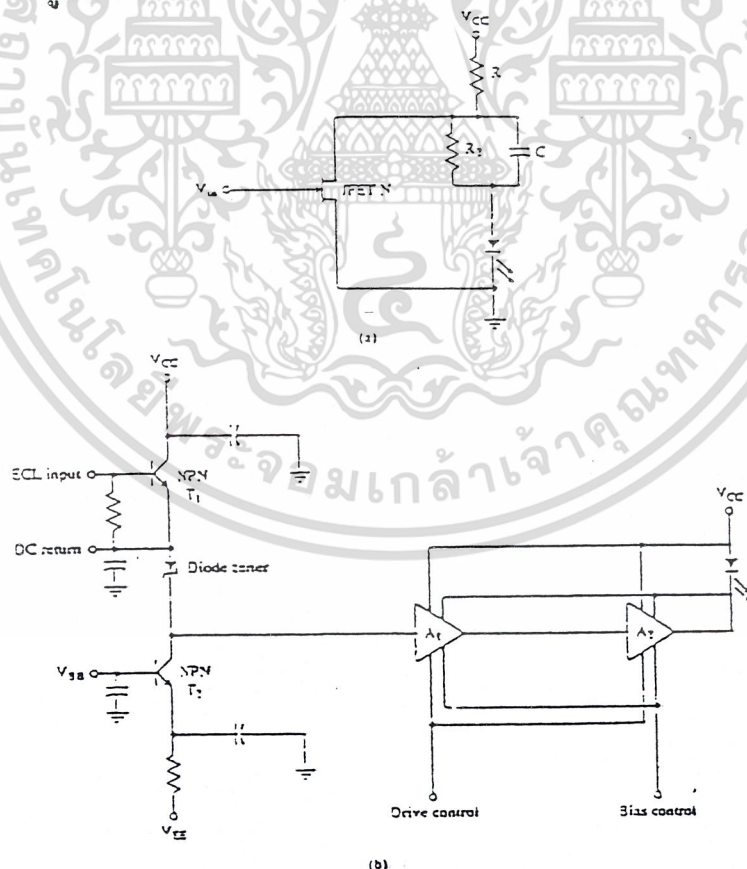
4.2.4 การออกแบบตัวส่งแสงโดยใช้เลเซอร์ไดโอดอย่างง่าย

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์จะเหมือนกับ LED เนื่องจากทั้งคู่เป็นแหล่งกำเนิดแบบใช้สารกึ่งตัวนำทั้งคู่ แต่เลเซอร์จะให้แสงออกมาที่ต่อเมื่อแรงขับกระแสสูงกว่าค่าแรงขับกระแสขีดเริ่ม (threshold current) เนื่องจากต้องการกระแสขั้วที่มากคั้งนั้นตัวต้านทานที่ใช้จำกัดกระแสจึงต้องมีค่าน้อย โดยค่าแรงขับกระแสอยู่ในช่วง 100 - 200 mA และแรงเคลื่อนไฟฟ้า 1.6 - 1.8 V วงจรขับของเลเซอร์ไดโอดในรูปที่ 4-16 ใช้ในทางคิจิตอล ซึ่งในวงจรที่ 4.16 a ใช้วงจรขับแบบแบ่งกระแส (shut driver) และทรานซิสเตอร์แบบฟิลด์เอฟเฟ็คท์ (field effect transistor) โดยค่า R_2

และ C ใช้ในการไบแอสกับทรานซิสเตอร์ โครงสร้างของวงจรนี้สามารถที่จะมอดูเลตแสงได้มากถึงจิกะ (10^9)



รูปที่ 4-15 แสดงวงจรขับของเลเซอร์ไดโอดแบบอนาล็อก



รูปที่ 4-16 แสดงวงจรขับของเลเซอร์ไดโอดแบบดิจิทัล

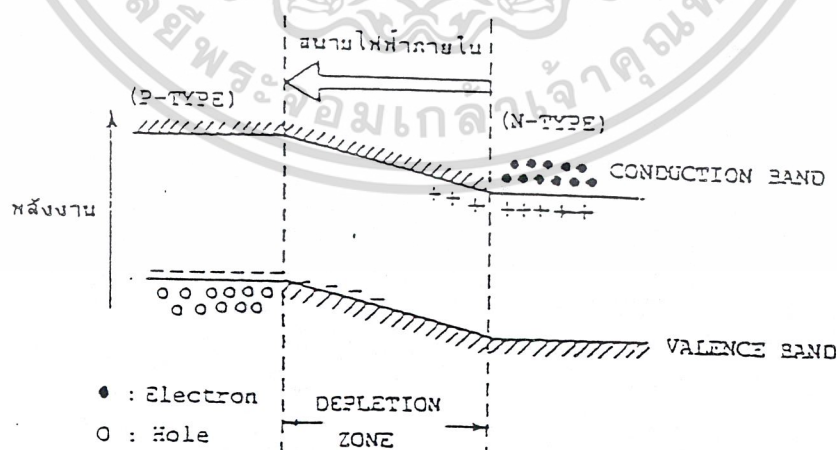
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 อุปกรณ์รับแสง

การรับแสงคือการเปลี่ยนแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ในการทำงานนี้สามารถแบ่งได้ 2 วิธี วิธีที่หนึ่งคือการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งเรียกวินี้ว่า Photo electric effect โดยใช้กระบวนการดูดพลังงานนั้นคือ เมื่อมีแสงมาตกกระทบบสารกึ่งตัวนำ อิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบวาเลนซ์แบนด์จะเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่แถบคอนดักชันแบนด์แต่การเลื่อนขึ้นไปนี้เป็นแค่เพียงอิเล็กตรอนเคลื่อนที่เท่านั้นและในที่สุดจะกลับมารวมกับโฮลอีกครั้งในแถบวาเลนซ์แบนด์ทำให้ไม่ได้รับ photo electric effect ด้วยเหตุนี้เพื่อที่จะเปลี่ยนแสงให้เป็นกระแสไฟฟ้าจะต้องใช้สภาพการแยกกันของอิเล็กตรอนกับโฮลก่อนที่จะมารวมตัวกัน

วิธีที่สองทำได้โดยการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานความร้อนแล้วจึงเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า Sensitive Heat effect โดยทั่วไปจะมีการตอบสนองช้ามากและความไวไม่ค้ำกึ่งใช้ เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) และโบโรมิเตอร์และอื่นๆแต่นำมาใช้ในการสื่อสารด้วยแสง

สำหรับอุปกรณ์รับแสงสารกึ่งตัวนำก็เช่นเดียวกันกับแหล่งกำเนิดแสง นั่นคือเพื่อที่จะแยกอิเล็กตรอนกับโฮลนั้นโดยทั่วไปใช้ PN-junction ซึ่งที่รอยต่อของ P-N นั้นจะเกิดสนามไฟฟ้าในที่ว่างขึ้นโดยมันจะถูกดึงด้วยอิเล็กตรอนของ N-type ของ โฮลของ P-type ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นลบและบวกตามลำดับ เป็นผลให้ไม่มีอิเล็กตรอนและโฮลขึ้นตรงบริเวณรอยต่อนี้ เรียกว่า Depletion zone ดังในรูปที่ 4-17



รูป 4-17 แสดงลักษณะของ Depletion zone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

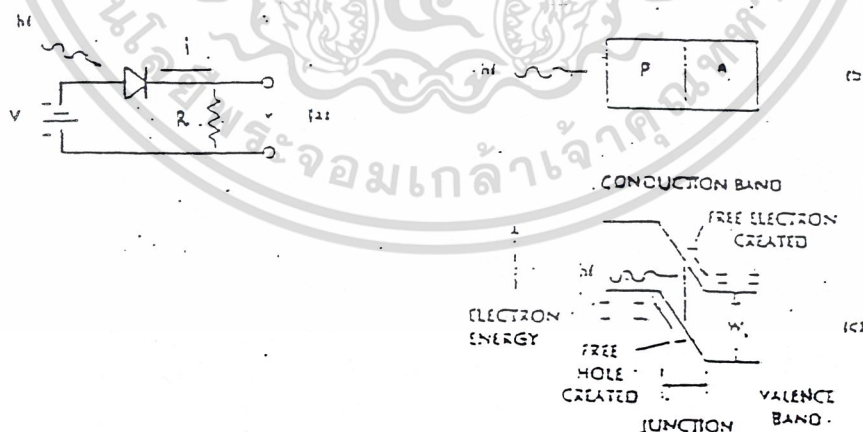
อุปกรณ์รับแสงที่ใช้ในการสื่อสารทางแสงส่วนใหญ่จะเป็นพวกโฟโตดีเทคเตอร์ (photodetector) โดยทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานทางแสงเป็นพลังงานทางไฟฟ้า โฟโตดีเทคเตอร์ในอุดมคติจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. จะต้องมีความสามารถรับแสงที่เบาบางที่ตกกระทบอุปกรณ์
2. จะต้องสามารถทำงานในช่วงใกล้อินฟราเรด (850 , 1300 , 1500 nm)
3. จะต้องมีความเร็วเพียงพอต่อการเปลี่ยนแสงเป็นอิเล็กตรอน
4. จะต้องมีขนาดเล็กเข้ากับเส้นใยนำแสงได้ดี
5. จะต้องมียุคที่ต่ำ
6. จะต้องไม่ไวต่อสิ่งแวดล้อม

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อให้แรงดันไฟไบอัสกลับจะกลับจะทำให้ค่าพลังงานกำแพงศักย์ (energy barrier) ระหว่างรอยต่อพีและเอ็นเพิ่มขึ้นทำให้อิเล็กตรอนอิสระทางด้านเอ็นและโฮลอิสระทางด้านพีไม่สามารถข้ามบริเวณที่เกิดกำแพงศักย์ได้จึงไม่มีกระแสไหล บริเวณรอยต่อที่ไม่มีประจุใดๆเลยนี้เรียกว่า Depletion zone ตามที่กล่าวมาแล้ว บริเวณความต้านทานสูงเป็นผลให้โวลเตจทั้งหมดที่ตกคร่อมไดโอดจะตกคร่อมบริเวณนี้เกือบทั้งหมด

พิจารณารูปที่ 4-18 (c) เมื่อกลุ่มก้อนโฟตอนถูกดูดกลืนในรอยต่อที่ผ่านด้านพีมาแล้ว การดูดกลืนพลังงานทำให้อิเล็กตรอนข้ามแถบช่องว่างพลังงาน (band gap) จากวาเลนซ์แบนด์ไปยังคอนดักชันแบนด์ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้โดยอิสระและทำให้โฮลออกจากวาเลนซ์แบนด์ ดังนั้นจะมีประจุอิสระที่ถูกสร้างขึ้นจากการดูดกลืนโฟตอนซึ่งอิเล็กตรอนจะเคลื่อนตัวลงไปยังกำแพงศักย์และโฮลจะเคลื่อนที่ไปยังกำแพงศักย์ซึ่งเป็นสาเหตุให้กระแสไหลผ่าน วงจรภายนอกเหมือนกับการปลดปล่อยแสงของอิเล็กตรอน ซึ่งในกรณีนี้จะเกิดกระแสไหลในหลอดโฟโตไดโอดเมื่อโฮลและอิเล็กตรอนรวมตัวกันใหม่ที่บริเวณนั้นจะเกิดกระแสไฟฟ้าอ่อนๆซึ่งจะทำให้ประจุต่างๆหยุดเคลื่อนที่ทำให้กระแสหยุดไหล นอกจากนี้ประจุพาหะจะถูกสร้างขึ้นใกล้ Depletion zone และมันสามารถที่จะแพร่ผ่านบริเวณนี้ไปได้ ดังนั้นจะเกิดสนามไฟฟ้าจำนวนมากที่บริเวณรอยต่อทำให้มีกระแสภายนอกเกิดขึ้น

4.3.2 พีไอเอ็นโฟโตไดโอด (PIN Photodiode)

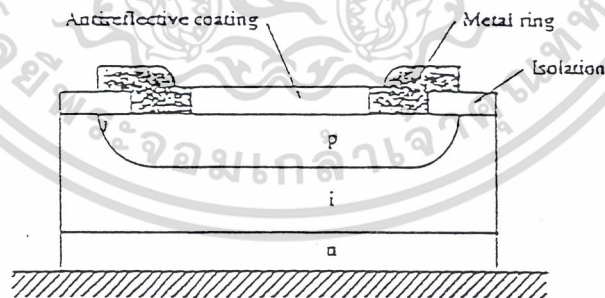
พีไอเอ็นโฟโตไดโอดเป็นอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ชั้นของ depletion-layer เข้ามาใช้ในการทำงานเรียกเต็มๆว่า positive-intrinsic-negative เป็นที่นิยมใช้มากในระบบสื่อสารในการเป็นดีเทกเตอร์รับแสง พีไอเอ็นจะมีชั้นอินทรินสิค (intrinsic) อยู่ระหว่างกลางของชั้นที่มีการโด๊ปเป็นพาหะบวก หรือด้านพีและชั้นที่มีการโด๊ปเป็นพาหะลบหรือด้านเอ็น มีโครงสร้างดังรูป 4-19 แสงจะตกกระทบบนด้านพีของโฟโตไดโอด และมีการดูดกลืนแสงโดยอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่เข้าไปข้างหน้าเข้าไปยังชั้นอินทรินสิคเลเยอร์ที่ไม่มีประจุอยู่เลยดังนั้นจึงมีความต้านทานสูงจึงทำให้โวลเตจตกคร่อมไดโอดจะตกคร่อมที่ชั้นนี้เกือบทั้งหมดและมีแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้ามาก โดยระหว่างนั้นต้องมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไบอัสแรงดันแบบกลับให้กับโฟโตไดโอดด้วย โดยในการสร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮล นั้นจะต้องมีพลังงานอย่างเพียงพอ พลังงานโฟตอนที่ใช้ทำให้เราทราบค่าความยาวคลื่นคัทออฟ (Cutoff wavelength) ไม่อย่างนั้นโฟโตไดโอดจะไม่เปลี่ยนแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้ ซึ่งความยาวคลื่นคัทออฟสามารถหาได้จากแถบพลังงานช่องว่างของสารที่นำมาทำโฟโตไดโอดได้ดังสมการ

$$\lambda_c = (h \cdot c) / E_g = 1.24 / E_g \dots\dots\dots(4)$$

- เมื่อ λ_c คือ ความยาวคลื่นที่ทำงาน ในหน่วย ไมโครเมตร
- h คือ ค่าคงที่ของพลังค์
- c คือ ความเร็วแสง
- E_g คือ แถบพลังงานช่องว่างของสารที่นำมาทำโฟโตไดโอด (eV)



รูปที่ 4-19 แสดงโครงสร้างของ PIN photodiode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กตรอนจะต้องอยู่ในชั้นของคอนดักชันแบนด์ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าหรือกระแสโฟตอน คู่อิเล็กตรอน-โฮล จะถูกแยกโดยค่าสนามไฟฟ้าในชั้นอินทริเนสิกเลเยอร์ ความหนาของชั้นอินทริเนสิกเลเยอร์ควรจะบางแต่กว้างสำหรับการดูดกลืน (บริเวณที่ทำให้เกิดประจุลบ) ตามรูปที่ 4-20 ความบางเป็นส่วนสำคัญเนื่องจากมันจะอำนวยความสะดวกในการตกกระทบของโฟตอนและสร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้นมา บริเวณด้านเอ็นควรจะแคบมากๆ อิเล็กตรอนจะได้ไม่เคลื่อนที่ออกจากอุปกรณ์ PIN photodiode จะใช้ในการสื่อสารระยะสั้นๆ และมีการมอดูเลทด้วยความถี่ต่ำ เหมาะสำหรับเป็นตัวรับของ LED ซึ่งปกติจะใช้แรงดันไบอัสกลับ 7-10 โวลต์

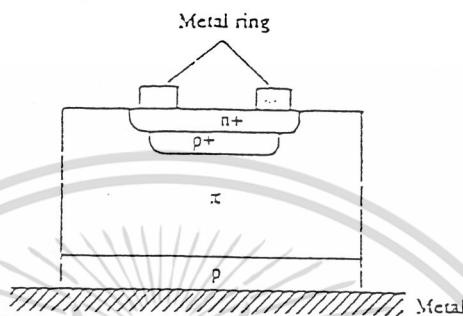


รูปที่ 4-20 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดกลืนทางแสง

4.3.3 อะวาลานซ์โฟโตไดโอด (Avalanch Photodiode)

อุปกรณ์รับแสงจะทำงานเมื่อมีแรงดันไบอัสที่สูงมากตามปกติแล้วจะมากกว่า 300 โวลต์โดยมีภาคขยายหรือการเพิ่มขึ้นอย่างทวีคูณของกระแสโฟโต้ที่เกิดขึ้น AVD หรืออะวาลานซ์โฟโตไดโอดเหมาะสำหรับการสื่อสารที่ใช้ในระยะทางไกลๆและความถี่ที่มอดูเลตสูง (ประมาณ 100 Mhz) ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้กับแหล่งกำเนิดที่เป็นเลเซอร์ไดโอด ซึ่งโดยปกติจะใช้โครงสร้างที่เรียกว่า reach-through construction APD (RAPD) โดยที่ reach-through avalanche photodiode จะเรียงจากด้านพี (P-type) ซึ่งมี p^+ วางอยู่ และมี n^+ วางอยู่ตามรูปที่ 4-21 โครงสร้างนี้เป็นโครงสร้างแบบ $p^+ \pi p^+$ ชั้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ π เลเยอร์นี้เป็นชั้นของอินทรีนสิกเลเยอร์ซึ่งมีการโด๊ปเป็นชนิดพีด้วยโบรอนหรือฟอสฟอรัส ลักษณะของ APD เหมือนกับ PN-junction สนามไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากชั้น depletion region



รูปที่ 4-21 แสดง โครงสร้างของอะวาแลนซ์โฟโตไดโอด

แสงที่เข้ามาจะต้องผ่านชั้น p^+ และจะถูกดูดกลืนโดยชั้น π เลเยอร์ โฟตอนจะสร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้น อิเล็กตรอนจะเคลื่อนลอยมาที่รอยต่อพีเอ็นซึ่งมีสนามไฟฟ้าสูงซึ่งสนามนี้จะไปเร่งให้อิเล็กตรอน-โฮลเร็วขึ้นเป็นผลให้เกิดการชนกับคู่อิเล็กตรอนคู่อื่นๆ ซึ่งการชนนี้จะเกิดขบวนการเพิ่มขึ้นอย่างทวีคูณของพาหะโดยนิยามไว้ว่า

$$M = 1/(1 - V/V_B)^n \dots\dots\dots(5)$$

- เมื่อ V คือ แรงดันไบอัสกลับที่ใส่เข้าไป
- V_B คือ แรงดันพังทลาย (breakdown voltage)
- n คือ ค่าคงที่ระหว่าง 3 กับ 6 ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของสารที่ทำอุปกรณ์รับแสง

จำนวนเฉลี่ยของการเกิดอิเล็กตรอน-โฮลที่เกิดจากการสร้างโฟตอนต่อหนึ่งหน่วยความยาวเรียกว่า ไอออไนซ์เซชันเรท (ionization rate) บอกถึงความแตกต่างสำหรับอิเล็กตรอนกับโฮล

4.4 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์รับแสงประเมินได้จากคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพทางควอนตัม (Quantum efficiency) ซึ่งแสดงว่าแสงที่รับมาได้นั้นเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าได้มากเท่าใด ความไวการรับแสง (ระดับรับแสงต่ำสุดที่ต้องการสำหรับการส่งที่มีคุณภาพ) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบระยะเวลาการถ่ายทอดของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง สัญญาณรบกวน (noise) ที่เกิดขึ้นและความเร็วที่ตอบสนองการทำงานสำหรับประสิทธิภาพทางควอนตัมกำหนดจากสารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง แต่สำหรับความไวการรับแสงนั้นจะเกี่ยวข้องกับขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้

เนื่องจาก APD ใช้ปรากฏการณ์การขยายแบบอะวาแลนซ์ตามที่กล่าวมาแล้วนั้น ดังนั้นจึงมีความไวสูงประมาณ 10 -20 dB (10 - 100 เท่า) เมื่อเทียบกับโฟโตไดโอดธรรมดา สัญญาณรบกวนที่เกิดในอุปกรณ์รับแสงมีสิ่งๆที่เรียกว่า Shot noise ซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสโฟโต (photo current) ที่เกิดจากการกระตุ้นอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นระเบียบทางเวลา โดย Shot noise เป็นดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Shot noise current} = I_0 M^2 {}^+F \dots\dots\dots(6)$$

เมื่อ M คือ อัตราการขยายกระแสของอุปกรณ์รับแสง

I_0 คือ กระแสโฟโตในกรณีที่ $M = 1$

F คือ Excess noise figure มีค่ามากเมื่อเทียบกับ M

นั่นคือจากสมการจะเห็นว่าที่ระดับการรับแสงที่เท่ากันถ้าหากว่าทำให้แรงดันไบแอสแบบย้อนกลับที่ป้อนให้ มีค่าสูงและทำให้ อัตราการขยายกระแสเพิ่มขึ้นนั้น สัญญาณออก (Output signal $I_0 M^2 {}^+F$) จะเพิ่มขึ้นมากด้วย แต่ shot noise ก็เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสงโดยทั่วไปแสดงดังรูป 4-22 จากรูปจะช่วยให้เข้าใจ

ใจความแตกต่างของบริเวณการทำงานของ APD และ photodiode ได้ดี และในรูปนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงถึงการไหลของกระแสที่เรียกว่า dark current ที่เกิดในสภาพที่มีแรงดันไบแอสกลับแต่ไม่มีแสงเข้า



รูป 4-22 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และกระแสโฟโต้

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

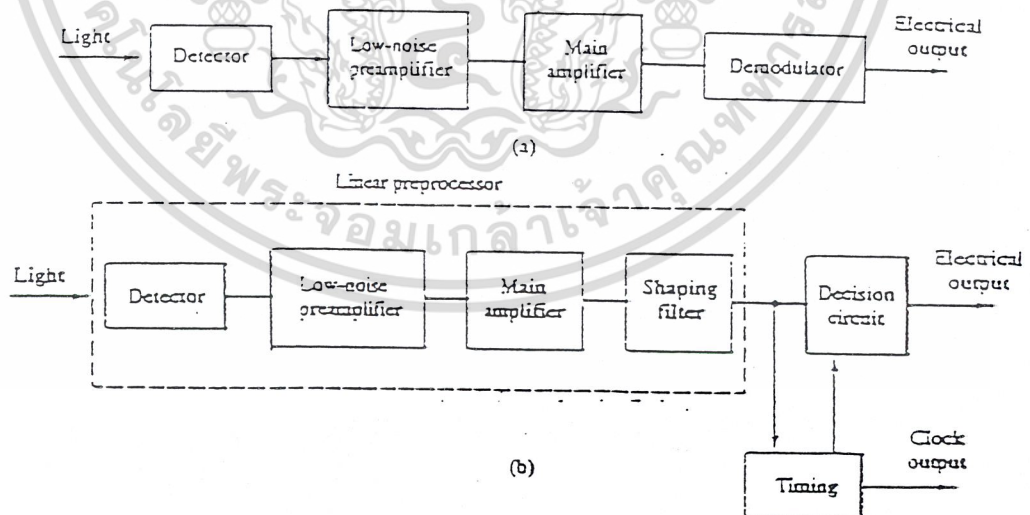
ความเร็วในการตอบสนองต่อความถี่เป็นสิ่งที่กำหนดจากเวลาที่มีสัญญาณเข้ามา จนกระทั่งเกิดปรากฏการณ์คู่แสง แต่ปัจจุบันเนื่องจากทั้ง APD และ photodiode สามารถตอบสนองความเร็วได้ถึงหลาย GHz จึงไม่มีปัญหาใช้งานการเปรียบเทียบคุณสมบัติของ APD และ photodiode แสดงดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

	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

4.5 วงจรอุปกรณ์รับแสง

ตามรูปที่ 4-23 แสดงลักษณะของบล็อกไดอะแกรมของวงจรรับแสงทั้งสัญญาณที่เป็นดิจิทัลและอนาลอกจะคล้ายกันมาก เอาท์พุทที่ออกมาจากดีเทคเตอร์จะมาเข้าในวงจรขยายเพื่อทำให้กระแสมากขึ้น



รูปที่ 4-23 บล็อกไดอะแกรมของวงจรรับแสง a) analog b) digital

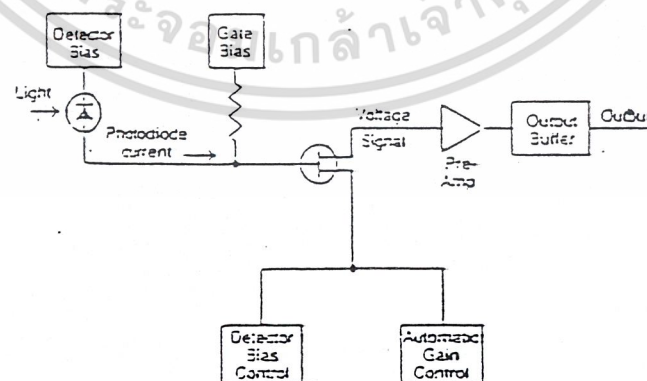
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1 วงจรรับแสงแบบโฟโตไดโอด

ตามปกติ PN และ 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

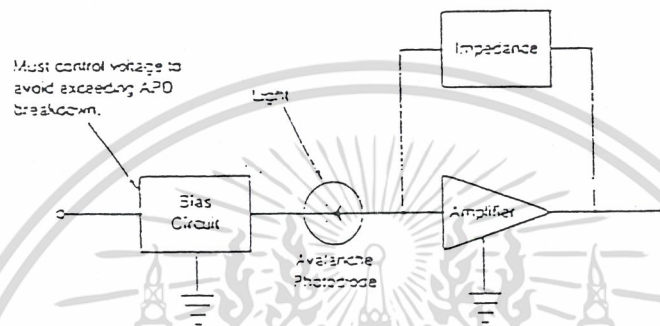


รูปที่ 4-25 แสดงบล็อกไดอะแกรม PIN-FET receiver circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 วงจรรับแบบอะวาลานซ์โฟโตไดโอด

รูปแบบของวงจรถูกคล้ายกับวิธีแรกเนื่องจากต้องการแรงดันไบอัสเหมือนกันแต่ต้องการมากกว่าซึ่งแต่ละขั้นตอนต้องใช้ความแน่นอนในการทำซึ่งรูปแบบแสดงในรูปที่ 4-26



รูปที่ 4-26 แสดงวงจรรับแบบอะวาลานซ์โฟโตไดโอดอย่างง่าย

ในทางปฏิบัติมีค่าๆหนึ่งที่มีความสำคัญกับโฟโตดีเทคเตอร์ คือค่า Responsivity (R) บางครั้งอาจเรียกว่า radiant sensitivity ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนของกระแสโฟโต (กระแสที่เกิดจากการดูดกลืนโฟตอน) กับพลังงานที่ตกกระทบ

$$R = I_p/P_t \quad \dots\dots\dots(7)$$

โดย R มีหน่วยเป็นแอมแปร์ต่อวัตต์ (Ampere/ watt)

และ
$$I_p = (N_e * e) / s \quad \dots\dots\dots(8)$$

โดย e คือ ประจุของอิเล็กตรอน

N_e คือ จำนวนของอิเล็กตรอนที่ถูกสร้างขึ้น

และ $P_i = (N_p E_p / s) \dots\dots\dots(9)$

โดย E_p คือ พลังงานของโฟตอน

N_p คือ จำนวนโฟตอนที่ตกกระทบ

ดังนั้นจะได้ว่า

$$R = (N_c * e) / (N_p E_p) = (n_q e) / E_p \dots\dots\dots(10)$$

$$R = (n_q e) / hf = [n_q (e\lambda)] / (hc) \dots\dots\dots(11)$$

เมื่อ λ มีหน่วยเป็นเมตร
 c มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที
 R มีหน่วยเป็นแอมแปร์ต่อวัตต์
 e มีหน่วยเป็นคูลอมบ์

ดังนั้นจะได้

$$R = (n_q \lambda) / 1.24 \dots\dots\dots(12)$$

จากสมการข้างต้นและ responsivity จะเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มความยาวคลื่น เมื่อแสงพุ่งเข้าโฟโอดีโอดที่บรรจุภายในแก้วหรือพลาสติก โดยแสงต้องทะลุผ่านชั้นเอ็นหรือชั้นพีเข้าสู่ดีพลีชันหรืออินทรินสิค โดยการผ่านเข้าได้ก็ขึ้นอยู่กับกำลังส่งของแสงด้วย

ตาราง 4-3 ตารางเปรียบเทียบตัวรับแสงชนิดต่างๆ

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



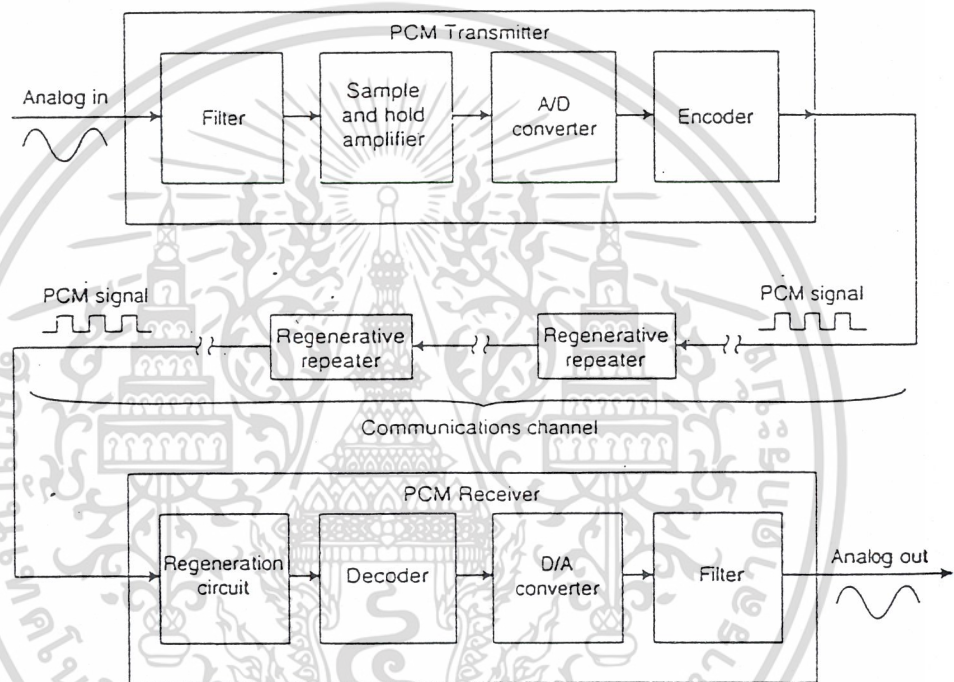
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ทฤษฎีและหลักการของ PCM

5.1 พัลส์โค้ดมอดูเลชัน (Pulse Code Modulation)

เป็นเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบสื่อสาร ลักษณะการทำงานของระบบ PCM แสดงดังรูป!



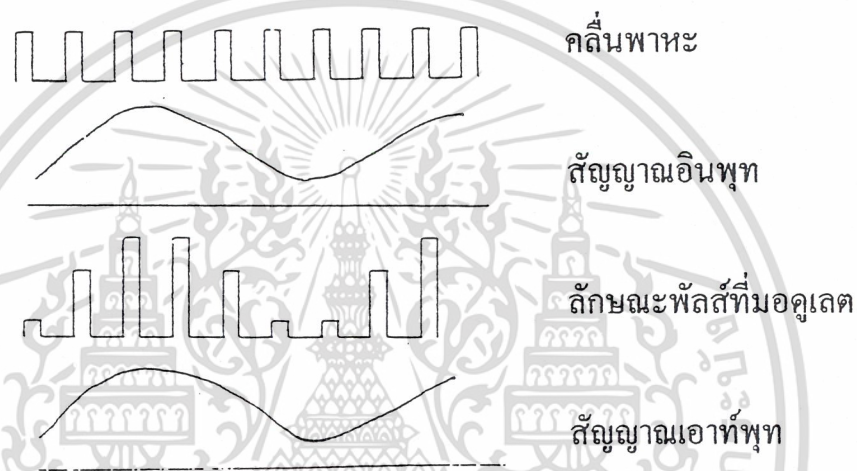
รูปที่ 5-1 กระบวนการเข้ารหัสและถอดรหัสของระบบ PCM

ซึ่งมีหลักการดังต่อไปนี้

5.1.1 Pulse Amplitude Modulation (PAM)

ซึ่งเป็นการมอดูเลตสัญญาณ โดยใช้ขนาดของสัญญาณทางอินพุตที่เป็นสัญญาณอนาลอกเป็นตัวกำหนดขนาดของสัญญาณพัลส์โดยตรง ขนาดความถี่ของพัลส์ที่เป็นคลื่นพาหะต้องมีค่ามากกว่าความถี่ของสัญญาณอินพุตอย่างน้อย 2 เท่า ค่าความถี่ของคลื่นพาหะนี้เรียกว่า อัตราการสุ่ม (sampling rate) ในระบบทั่วไปอาจใช้อัตราการสุ่มเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่าความถี่สัญญาณอินพุตประมาณ 3 หรือ 4 เท่า ตัวอย่างเช่น ในระบบที่ต้องการส่งข้อมูลที่เป็นสัญญาณเสียงพูด (โทรศัพท์) ซึ่งมีค่าแบนด์วิธของสัญญาณข้อมูลประมาณ 4,000 Hz อาจใช้สัญญาณพัลส์ที่เป็นคลื่นพาหะที่มีความถี่ประมาณ 16 KHz เป็นตัวส่งข้อมูล โดยปกติวิธีการมอดูเลตแบบ PAM ไม่ค่อยนิยมใช้กันมากนัก เว้นแต่ใช้ในระบบการสื่อสารระยะใกล้ ทั้งนี้เพราะ PAM มีข้อเสียตรงที่มีความไวต่อการเกิดสัญญาณรบกวนลักษณะการทำงานแสดงดังรูป



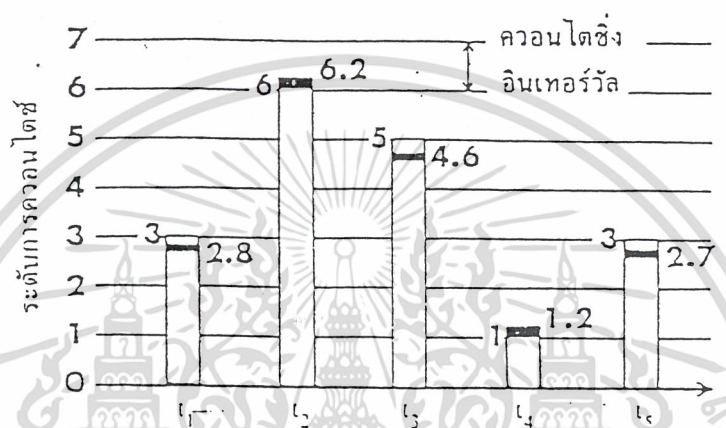
รูปที่ 5-2 รูปแสดงสัญญาณ PAM

5.1.2 การแซมปลิง (Sampling)

คือการทำสัญญาณซึ่งมีค่าต่อเนื่องให้เป็นแบบคิสคริตในช่วงเวลาที่เท่า ๆ กัน ทฤษฎีการแซมปลิงนั้นถ้าเก็บแซมเปิ้ลด้วยอัตราสองเท่าหรือมากกว่าความถี่สูงสุดของสัญญาณอนาลอกแล้วจะสามารถจะทำให้สัญญาณเดิมกลับคืนมาได้การแซมปลิงนี้จะแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นขบวนพัลส์ซึ่งเรียกว่า PAM

5.1.3 การจัดระดับ (Quantizing)

ขบวนพัลส์ PAM ที่ผ่านการแซมปลิงมาแล้วยังถือว่าเป็นอนาลอกอยู่คือมันจะมีแอมพลิจูดที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องไปกับเวลาที่เป็นช่วง ๆ การจัดระดับคือกระบวนการที่เปลี่ยนแอมพลิจูดของ PAM เหล่านั้นให้เป็นค่าตัวเลขแบบคิสตรีทแสดงคังรูป



รูปที่ 5-3 การจัดระดับ

5.1.4 การเข้ารหัส (Coding)

หลังจากขบวนพัลส์ PAM ได้ผ่านขั้นตอนการจัดระดับมาแล้วจะต้องเปลี่ยนขนาดเหล่านั้นให้เป็นรหัสไบนารี (Binary Codes) กรณีที่เป็นสัญญาณเสียงสำหรับการส่งทางโทรศัพท์จะถูกเปลี่ยนเป็นรหัส 8 บิต ซึ่งสามารถแสดงค่าแอมพลิจูดได้ 2^8 (เท่ากับ 256) ระบบการเข้ารหัสมีหลายแบบ แต่แบบที่นิยมใช้เป็นแบบรหัสไบนารีแบบธรรมดาซึ่งแสดงคังตารางที่ 5-1 ซึ่งแสดงไว้เพียง 3 บิตเพื่อง่ายต่อการเข้าใจ

ตาราง 5-1 รหัสไบนารีแบบธรรมดา

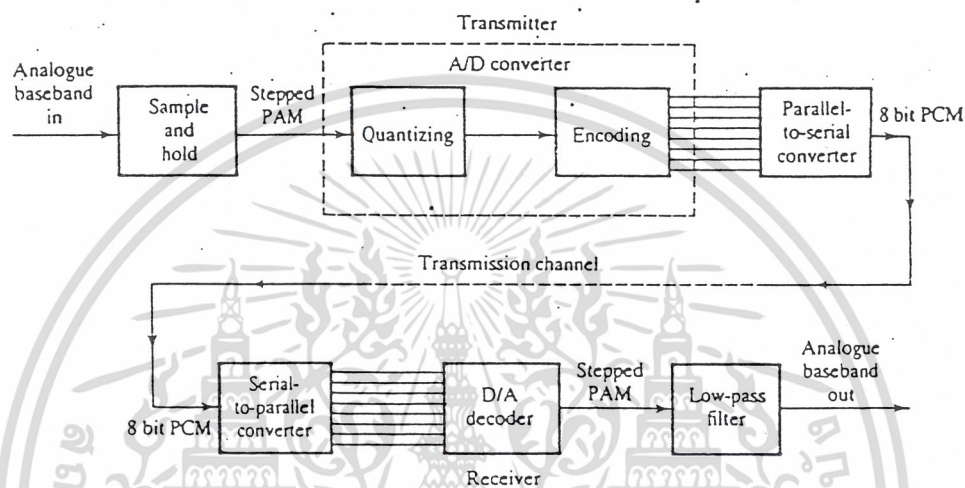
ระดับการควอนไทซ์	รหัสไบนารีแบบธรรมดา
0	000
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101
6	110
7	111

ข้อมูลดิจิทัลที่ถูกเข้ารหัสแล้วจะทำหน้าที่ควบคุมแหล่งกำเนิดแสงให้ส่งข้อมูลออกไปในลักษณะของสวิตช์ ปิด-เปิด ดังนั้นในระบบนี้สัญญาณแสงที่เป็นข้อมูลจะไม่คำนึงถึงระดับความเข้มแสงเลยนอกจากการเปิด-ปิด แสงในช่วงเวลาที่กำหนดในแต่ละบิตข้อมูลทำให้ลดการเกิดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบ PAM ลงได้มาก สัญญาณดิจิทัลที่รับได้ในภาครับจะถูกแปลงกลับสู่สัญญาณอนาล็อกอีกครั้งหนึ่ง ก่อนถูกส่งผ่านวงจรกรองความถี่เพื่อทำให้ได้สัญญาณที่มีลักษณะเดียวกับสัญญาณอินพุทก่อนนำไปขยายสัญญาณเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

บทที่ 6

การคำนวณและการออกแบบวงจร

จากหลักการต่างๆที่กล่าวมาแล้วนั้น เมื่อนำมาประกอบเข้าด้วยกันจะสามารถแสดงระบบของโครงการนี้เป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 6-1



รูปที่ 6-1 แสดงระบบ PCM ที่นำไปใช้ออกแบบในโครงการนี้

และกำหนดคุณสมบัติของโครงการนี้ โดยสามารถรองรับการนำไปประยุกต์ใช้ในการส่งสัญญาณเสียงโดยผ่านการมัลติเพล็กซ์ได้ 6 ช่องสัญญาณและใช้สายเส้นใยนำแสงแบบพลาสติกเป็นตัวกลาง

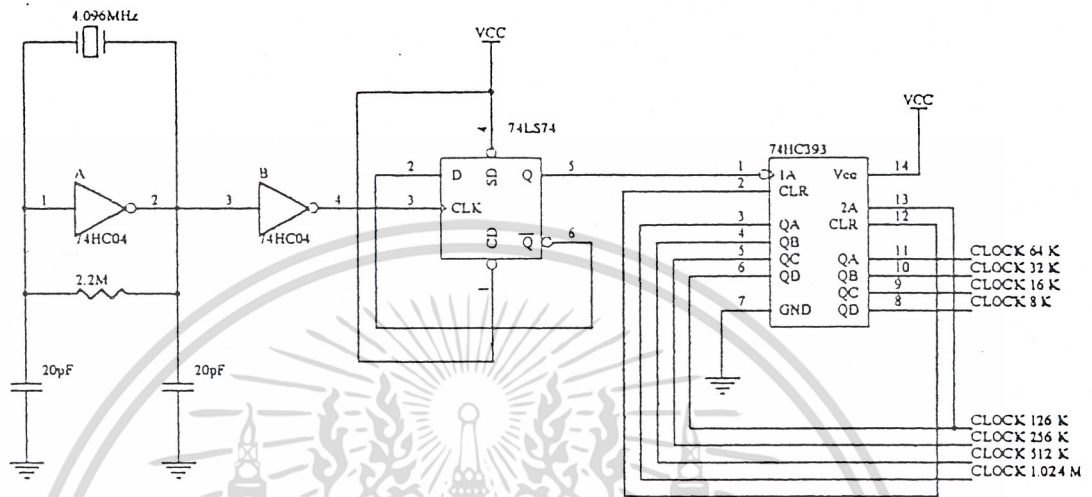
6.1 ภาคส่ง

6.1.1 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาและสัญญาณควบคุม

ใช้ในการกำเนิดสัญญาณนาฬิกาโดยใช้ crystal ความถี่ 4.096 MHz ซึ่งให้ความเที่ยงตรงสูงผ่านวงจรหารสองที่ใช้ IC 74LS74 ได้ความถี่ 2.048 MHz ป้อนเข้าสู่วงจร Binary Counter ซึ่งใช้ IC 74HC393 เพื่อให้ได้ความถี่ 1.024 MHz , 512 KHz , 256

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

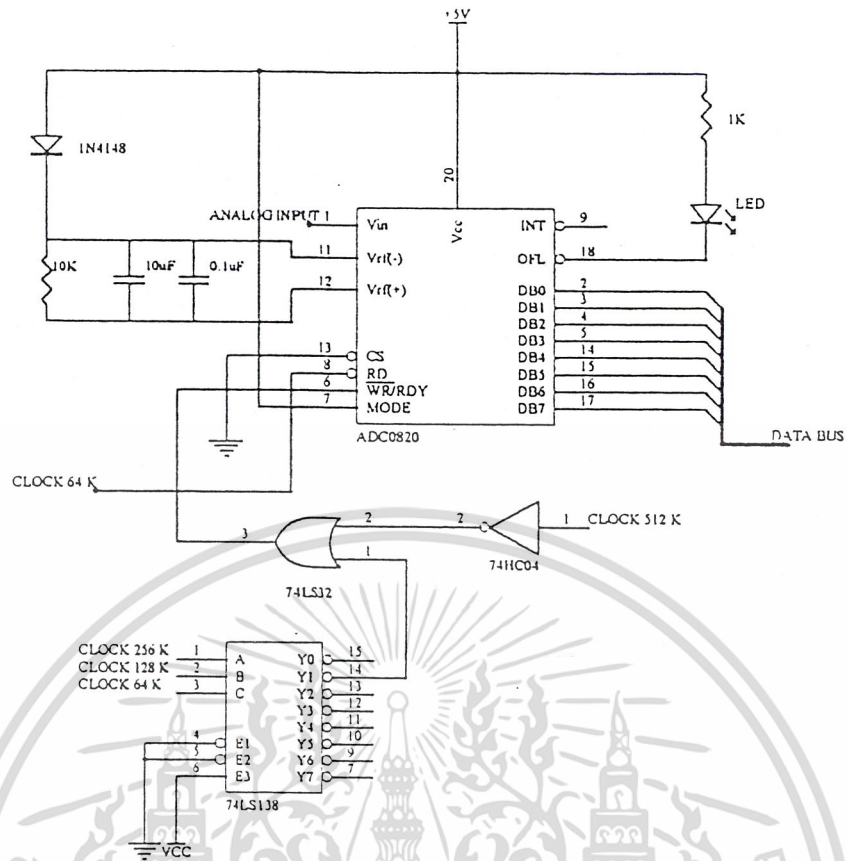
KHz ,128 KHz , 64 KHz ,32 KHz , 16 KHz , 8 KHz โดยจะใช้ความถี่ที่ได้ไปควบคุมการทำงานของวงจรทั้งหมดในภาคส่ง โดยมีการจัดวงจรตามรูปที่ 6-2



รูปที่ 6-2 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาและสัญญาณควบคุม

6.1.2 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D Converter)

สัญญาณอนาลอกที่ถูกป้อนเข้ามาจะต้องถูกแปลงเป็นดิจิตอลภายในเวลา 15.625 μ S ดังนั้นจึงเลือกใช้ A/D Converter เบอร์ ADC 0820 ซึ่งเป็น 8 Bite A/D ชนิดความเร็วสูงมีความเร็วในการแปลงประมาณ 2.5 μ S ในงานใช้งานแบบเดี่ยว ไม่ได้ต่อร่วมกับ CPU (stand Alone) ซึ่งเพียงพอที่จะรองรับการแปลงสัญญาณอนาลอกที่เข้ามา โดยมี การออกแบบวงจรตามรูป 6-3



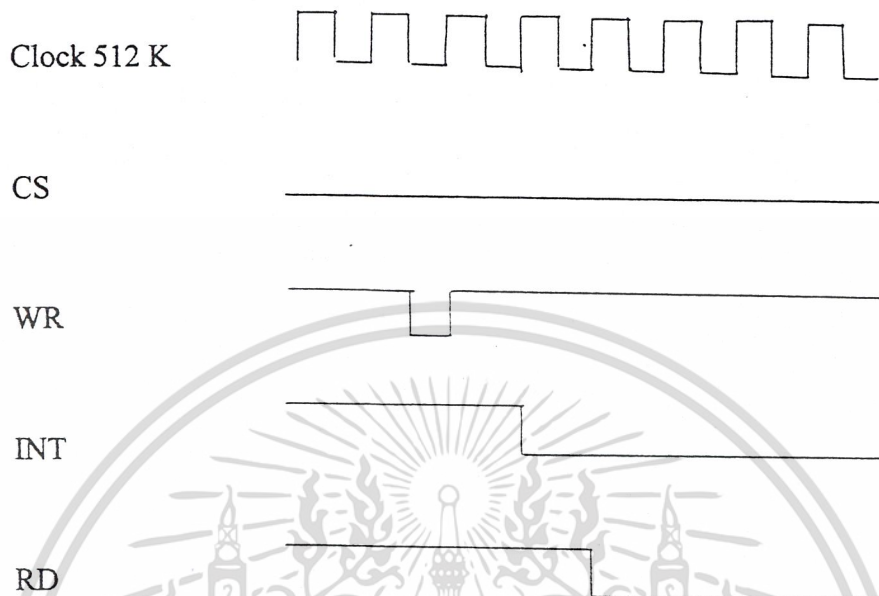
รูปที่ 6-3 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

จากวงจรจะใช้การจัดระดับสัญญาณโดย $V_{ref}(+)$ เท่ากับ $V_{cc} - 0.7$ หรือประมาณ 4.3 V ทั้งนี้เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงปัญหาสัญญาณรบกวนจาก V_{cc} โดยตรงเป็นระดับเปรียบเทียบ (สัญญาณรบกวนจากชุดจ่ายไฟหรือจากการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้ไฟเลี้ยง V_{cc} เหมือนกัน) ADC 0820 มีการจัดระดับสัญญาณ 256 ระดับ (ข้อมูล 8 บิต) ดังนั้นแต่ละระดับจะมีความแตกต่าง

$$4.3V / 256 = 16.8 \text{ mV}$$

ซึ่งภายใน ADC 0820 นี้จะมีวงจร Sampling & Hold อยู่ภายในตัวแล้ว เมื่อสัญญาณที่ขา WR active (เปลี่ยนสถานะจาก High เป็น Low) ADC 0820 จะเริ่มขบวนแปลงสัญญาณ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2.5 μs หลังจากเสร็จสิ้นแล้ว สัญญาณที่ขา INT จะ Active (Low) ซึ่งทำการอ่านข้อมูลได้โดยจัดให้ขา RD Active ข้อมูลจะถูกส่งต่อไปยัง Buffer ข้อมูล 8 บิตและ Buffer รหัสขบวนสัญญาณ ซึ่งมี IC เบอร์ 74LS32 , 74HC04 ,

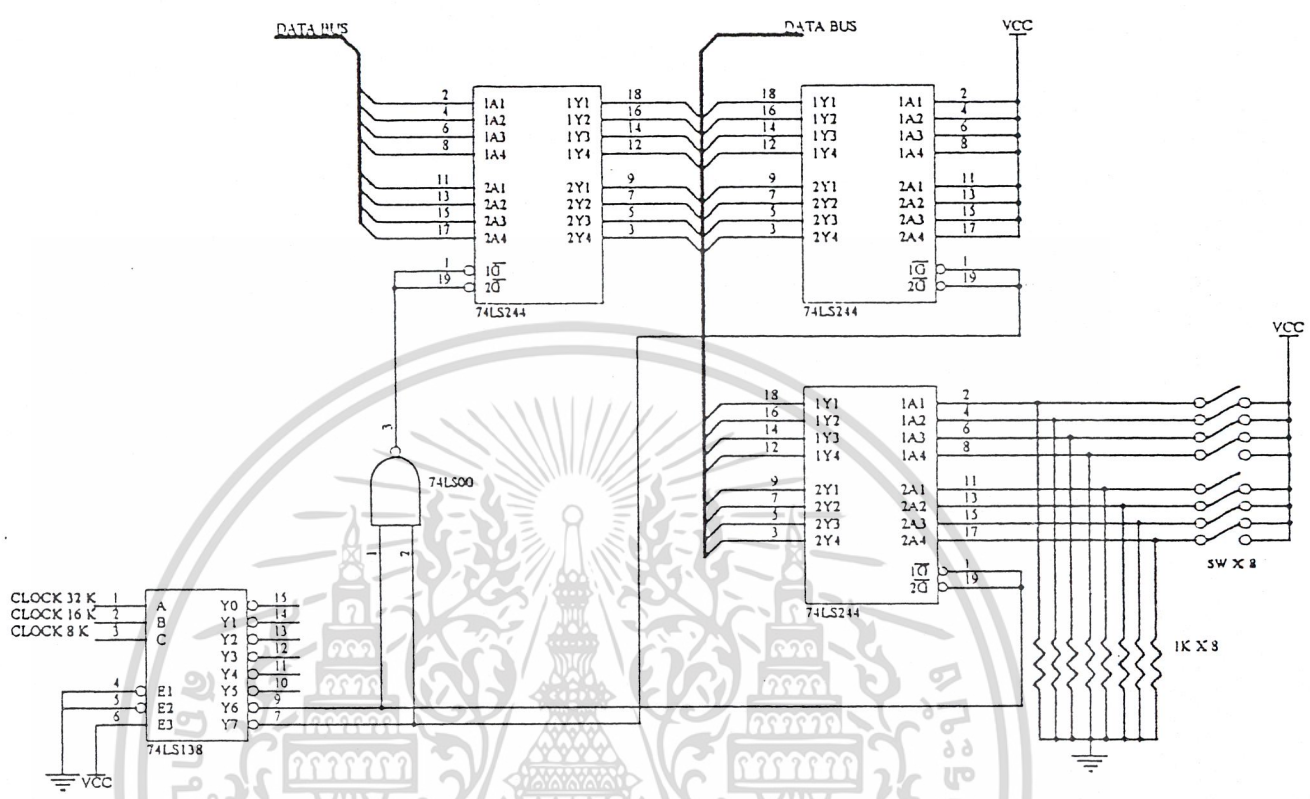
74LS138 สร้างสัญญาณควบคุมให้กับ ADC 0820 เพื่อรอการจัด Time slot เพื่อการส่งต่อไป



รูปที่ 6-4 สัญญาณควบคุมของ ADC0820

6.1.3 Buffer ข้อมูล 8 บิต (8 Bit Data Buffer) และ Buffer รหัสขบวนสัญญาณ (Frame Sync. Code Buffer)

ในโครงงานนี้ออกแบบให้มีการส่งสัญญาณโดยมี Start frame และ Stop frame ซึ่งใช้ IC เบอร์ 74LS244 2 ตัว โดย Start frame กำหนดให้เป็น High ทั้งหมด 8 บิต และ Stop frame สามารถเปลี่ยนแปลงรหัสได้ในการส่ง frame ข้อมูลและจะมี Buffer ข้อมูลอีก 1 ตัวใช้ IC เบอร์ 74LS244 ในการจัดส่งข้อมูลจะใช้ IC เบอร์ 74LS138 และ 74LS00 เป็นตัวสร้างสัญญาณเพื่อควบคุมการจัดส่ง frame ข้อมูล Start frame และ Stop frame



รูปที่ 6-5 วงจร Buffer รหัสขบวนสัญญาณ

6.1.4 วงจรเปลี่ยนข้อมูลแบบขนานเป็นอนุกรม (PISO, Parallel In Serial Out)

เป็นวงจรเปลี่ยนข้อมูล 8 บิตที่เป็นแบบขนาน ให้เป็นอนุกรมเพื่อการส่งไปยังปลายทาง ในโครงการนี้ มีการสุ่มตัวอย่างด้วยอัตรา 8,000 ครั้ง / วินาที แต่ละครั้งจะได้ 8 บิตข้อมูล ดังนั้นในการส่ง frame ข้อมูลจะใช้อัตราการส่งข้อมูล

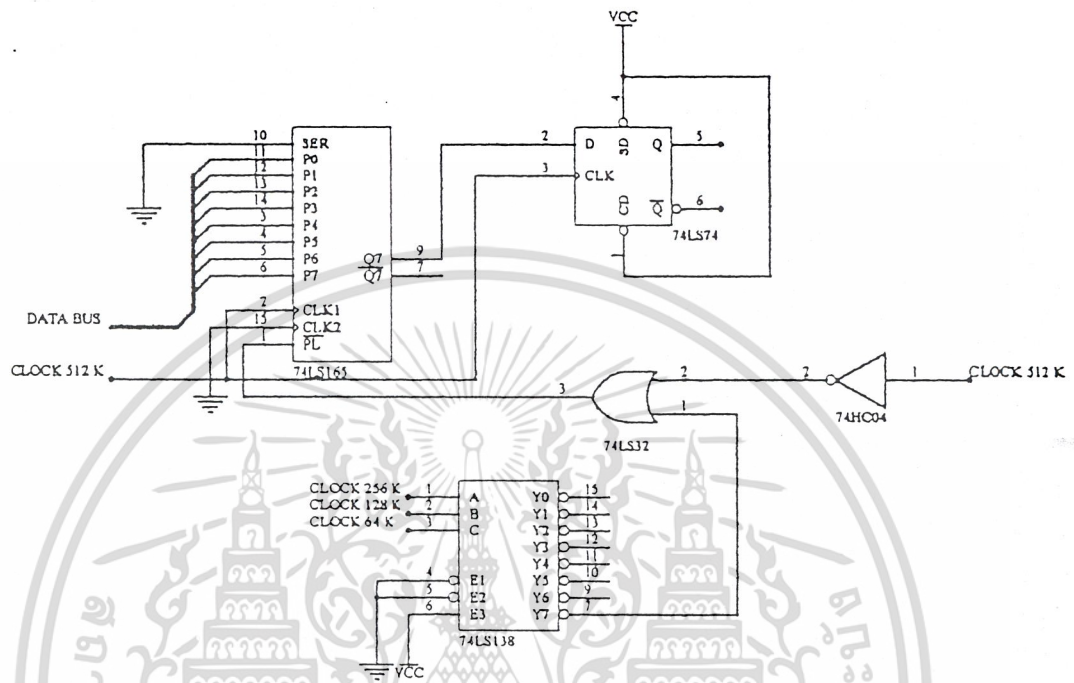
$$8000 \times 8 = 64 \text{ Kbits / Sec}$$

และใน 1 ขบวนสัญญาณมีข้อมูล 8 ชุด ดังนั้นจึงต้องส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว

$$64 \text{ Kbits / Sec} \times 8 = 512 \text{ Kbits / Sec}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุด PISO จะรับข้อมูลของแต่ละช่องสัญญาณทีละ 8 บิต และส่งออกทีละบิต เรียงตามบิตนัยสำคัญต่ำสุดหรือ LSB (D0) ด้วยความเร็ว 512 Kbits / Sec ทั้งนี้จากการควบคุมของวงจร clock timing control โดยมีการจัดวงจรตามรูปที่ 6-6



รูปที่ 6-6 วงจร PISO

วงจร PISO วงจรเปลี่ยนข้อมูลแบบขนาน 8 บิต เป็นข้อมูลแบบอนุกรม โดยส่งบิตนัยสำคัญต่ำสุด (LSB) เป็นบิตแรกแล้วเรียงตามลำดับไปจนถึงบิตสูงสุด (MSB) ใช้ IC เบอร์ 74LS165 และอุปกรณ์ประกอบพร้อมดังรูป 6-6

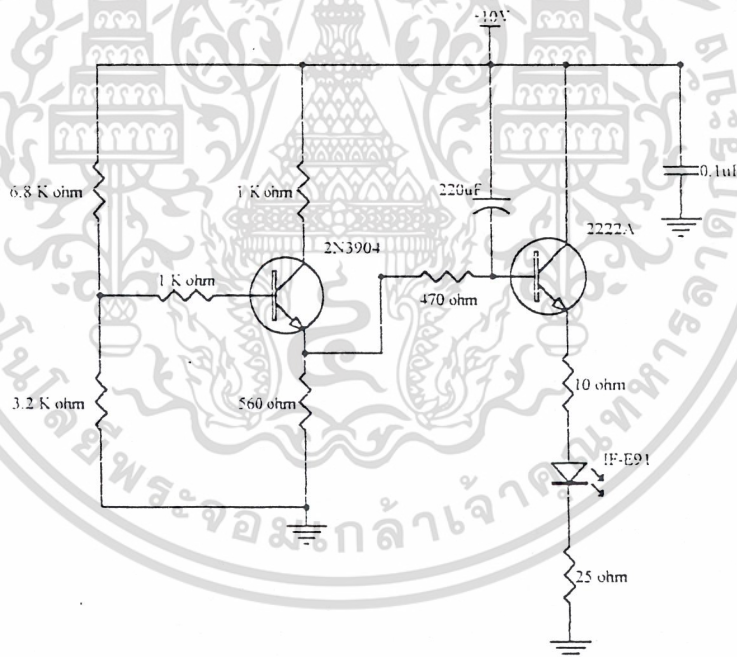
การทำงานของวงจรอธิบายได้ดังนี้ 74LS165 เริ่มการส่งข้อมูลขนาน 8 บิต ออกไปทีละ 1 บิต ตามจังหวะสัญญาณนาฬิกา 512 KHz ที่ป้อนที่ขา 2 ของ IC 74LS165 ส่วน IC 74LS32 และ 74HC04 ต่อร่วมกันเป็นวงจรนับ 0-7 เพื่อสร้างสัญญาณการไหลคข้อมูลชุดใหม่ให้กับ 74LS165 เมื่อข้อมูลบิต 7 คือ บิต 0 ถูกส่งออกไปครบหมดแล้ว ส่วน IC เบอร์ 74LS74 ที่ต่ออยู่ตรง สัญญาณข้อมูลอนุกรมของ 74LS165 (ขา 9) นั้น จะเป็นตัวจัดสร้างข้อมูลที่ได้ให้มีขนาดความกว้างของบิตข้อมูลเท่ากับ 1 คาบสัญญาณนาฬิกา หรือ 1 / 512 KHz ทั้งนี้เพราะสัญญาณที่ได้จาก 74LS165 โดยตรงนั้นบิต 7 หรือบิตแรกที่ได้จากการไหลคข้อมูล จะมีความกว้างของบิตไม่แน่นอน ทั้งนี้เพราะการไหลคข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ 74LS165 เป็นแบบโพลคโคโดยตรงทันทีทันใด (Direct Access) ไม่มีการรอจังหวะของสัญญาณนาฬิกา ดังนั้นจึงต้องใช้ 74LS74 ซึ่งเป็น D-Flip Flop มาเป็นตัวช่วยสร้างสัญญาณเอาต์พุตที่ตรงกับสัญญาณนาฬิกาจริงๆ

6.1.5 วงจรขับสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสง (Driver Circuit)

เป็นส่วนที่ส่งสัญญาณข้อมูลที่ต้องการเข้าไปในเส้นใยนำแสงโดยผ่านโฟโตรีโอดโคโดยให้ความเข้มของกระแสเป็นตัวกำหนดความเข้มของแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงซึ่งกระแสที่ใช้ขับโฟโตรีโอดจะอยู่ในช่วง 100 มิลลิแอมป์ เนื่องจากในช่วงนี้กระแสที่ใช้ขับโฟโตรีโอดจะเป็นเชิงเส้นกับกำลังแสงที่ออกจากโฟโตรีโอดและให้กำลังทางแสงออกมาได้มากโดยรูปวงจรแสดงดังรูป 6-7



รูปที่ 6-7 แสดงวงจรขับสัญญาณแสง

ในที่นี้เราใช้โฟโตรีโอดแบบอินฟาเรดเบอร์ IF - E91 และจากโฟโตรีโอดแบบอินฟาเรดตัวนี้จะมีช่วงใช้งานในย่านความยาวคลื่น 888 นาโนเมตร มีกำลังส่งที่สูงและสามารถใช้กับเส้นใยนำแสงแบบพลาสติกได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรถ่ายที่ใช้เป็นวงจรถับกระแสแบบ Common Collector ซึ่งจะเป็นวงจรที่มี อัตราการขยายกระแสที่สูง โดยจะไม่คำนึงถึงอัตราขยายแรงดันทางเอาต์พุตเท่าใดนัก ส่วนทรานซิสเตอร์ที่ใช้เป็นทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N2222A เพราะสามารถตอบสนอง ความถี่ได้ถึง 400 MHz และให้กระแสคอลเลกเตอร์ได้สูงถึง 400 มิลลิแอมป์ วงจรภาค แรกคือวงจรถ่ายที่สามารถปรับเปลี่ยนกระแสไบอัสเบสได้จาก R_{B1} และ R_{B2} ทำให้ กระแสอิมิตเตอร์ I_{E1} ที่ควบคุมกระแสเบส I_{B2} เปลี่ยนซึ่งทำให้ระดับกระแส I_{dc} (I_{E2}) ที่ไบ อัสโฟลด์ไดโอดเปลี่ยนแปลงได้

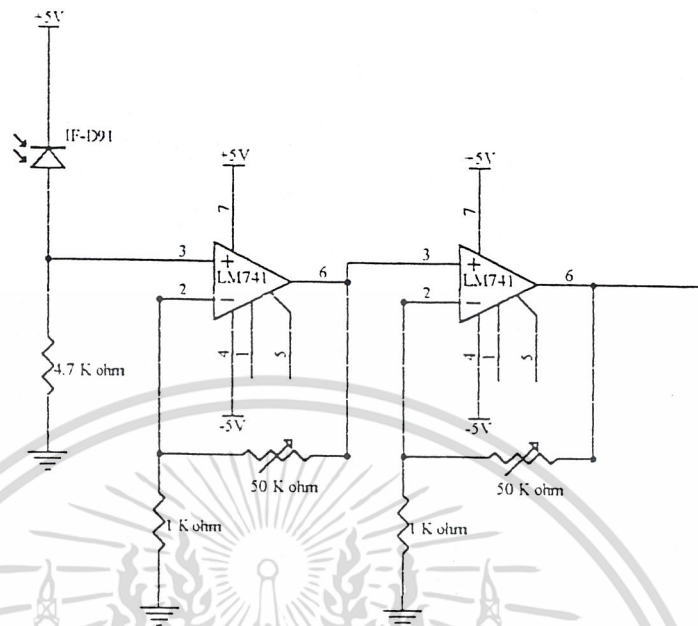
6.2 ภาครับ

6.2.1 วงจรรับสัญญาณแสง

ในวงจรรับสัญญาณแสงจะใช้ตัวรับสัญญาณแสงแบบโฟลด์ไดโอดเบอร์ IF-D91 เนื่องจากโฟลด์ไดโอดตัวนี้มีการตอบสนองสัญญาณแสงได้ดีโดยมีย่านการใช้งานอยู่ใน ช่วงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นประมาณ 850 นาโนเมตรและมีความเป็นเชิงเส้นสูงและมี เคสที่สามารถใช้เชื่อมต่อกับเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกได้

ซึ่งคุณสมบัติที่ใช้พิจารณาเลือกตัวรับสัญญาณแสงและออกแบบวงจรรับ สัญญาณแสงคือ ตัวรับสัญญาณแสงต้องมีความไวต่อการตอบสนองสัญญาณแสงเพียงพอ ตัวรับสัญญาณแสงสามารถเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้โดยไม่เกิด ความเพี้ยนของสัญญาณ และวงจรรับสัญญาณควรมีสัญญาณรบกวนต่ำ

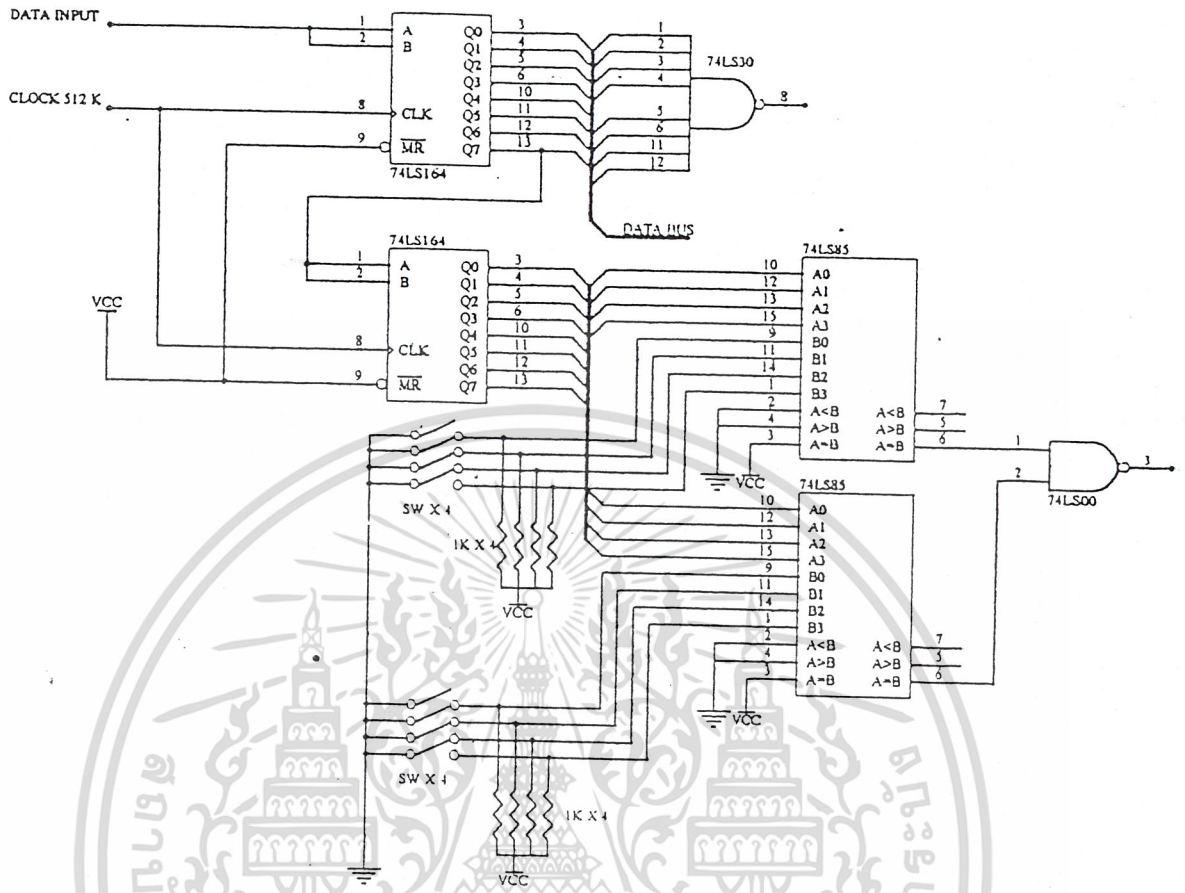
ในที่นี้จำเป็นต้องมีวงจรถ่ายสัญญาณเพื่อที่จะขยายสัญญาณที่ได้จากโฟลด์ได โอดให้มีขนาดที่เหมาะสมโดยวงจรถ่ายสัญญาณที่ใช้จะต้องมีอัตราขยายที่สูง, มี สัญญาณรบกวนต่ำและเกิดความเพี้ยนของสัญญาณน้อย ซึ่งในโครงการพิเศษนี้จะใช้ ออปแอมป์เบอร์ 741 เป็นตัวขยายสัญญาณทางไฟฟ้าโดยต้องวงจรเป็นแบบขยายไม่กลับ เฟสและอัตราขยายสามารถควบคุมได้จากตัวต้านทานปรับค่าได้ $50\text{ K}\Omega$ สำหรับวงจรร รับสัญญาณแสงจะแสดงดังรูปที่ 6-8



รูปที่ 6-8 แสดงวงจรรับสัญญาณแสง

6.2.2 วงจรเปลี่ยนข้อมูลอนุกรมเป็นข้อมูลขนาน (SIPO)

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่รับสัญญาณข้อมูลที่ทำกรส่งมาเป็นแบบอนุกรมทำการเปลี่ยนเป็นสัญญาณข้อมูลเป็นแบบขนาน 8 บิตโดยใช้ไอซี SIPO เบอร์ 74LS164 ตัวที่ 1 โดยมีอัตราการเลื่อนข้อมูลตามจังหวะของสัญญาณนาฬิกา 512 MHz โดยจะมีส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจสอบขบวนของข้อมูลที่เข้ามา โดยสามารถตรวจสอบ start frame และ stop frame ซึ่ง stop frame จะต้องทำการกำหนดโค้ดที่ด้านส่งและด้านรับให้ตรงกัน เพื่อสร้างสัญญาณเพื่อส่งต่อให้วงจรสร้างสัญญาณควบคุมภาครับต่อไปซึ่งจะใช้ไอซีเบอร์ 74LS164 ตัวที่ 2 เป็นตัวจัดข้อมูลเพื่อป้อนให้กับ 74LS85 สองตัวซึ่งเป็นตัวเปรียบเทียบข้อมูลเพื่อตรวจจับหา stop frame และ 74LS30 ซึ่งเป็น NAND GATE 8 INPUT ทำหน้าที่ตรวจจับหา start frame แสดงดังรูปที่ 6-9



รูปที่ 6-9 แสดงวงจร SIPO

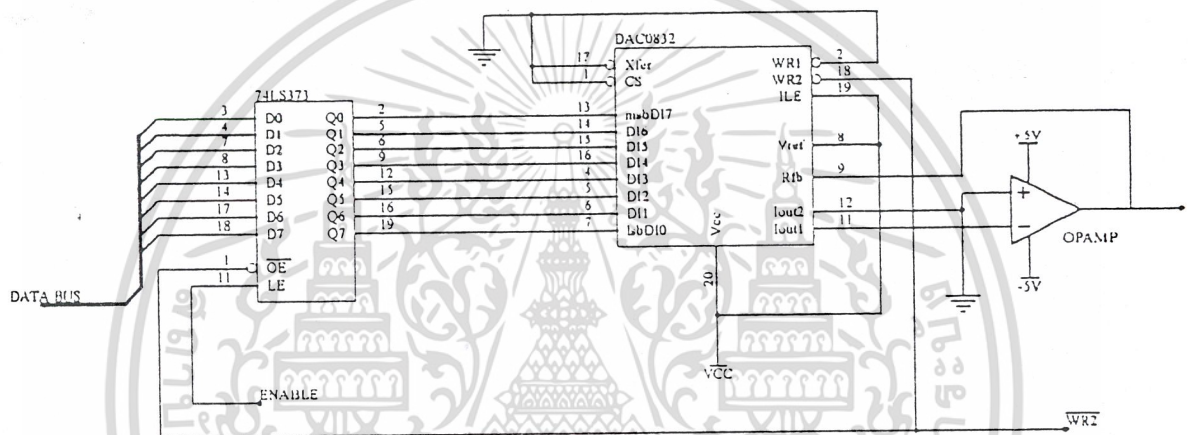
6.2.3 วงจรสร้างสัญญาณควบคุมภาครับ

ทำหน้าที่สร้างสัญญาณเพื่อนำไปควบคุมการแยก frame ข้อมูลทั้ง 6 และสัญญาณที่ใช้ทำการแลทข้อมูล เก็บไว้เพื่อทำการส่งต่อให้วงจร Digital to Analog converter ซึ่งวงจรสร้างสัญญาณควบคุมภาครับจะสร้างสัญญาณควบคุมการแปลงสัญญาณข้อมูลดิจิทัล 8 บิตให้เป็นสัญญาณอนาลอกด้วย โดยใช้ไอซีเบอร์ 74LS74 เป็นตัวรับสัญญาณการตรวจสอบ start frame และ stop frame จากวงจร SIPO เพื่อเริ่มต้นการทำงานของไอซีเบอร์ 74HC393 และ 74LS138 สองตัว เพื่อสร้างสัญญาณที่ใช้แลท และสัญญาณการแปลงข้อมูลของ Digital to Analog converter โดยมีไอซีเบอร์ 74LS32 สองตัว , 74LS04 , 74LS86 และ 74LS00 เป็นตัวสร้างสัญญาณควบคุมด้วย แสดงดังรูปที่ 6-1

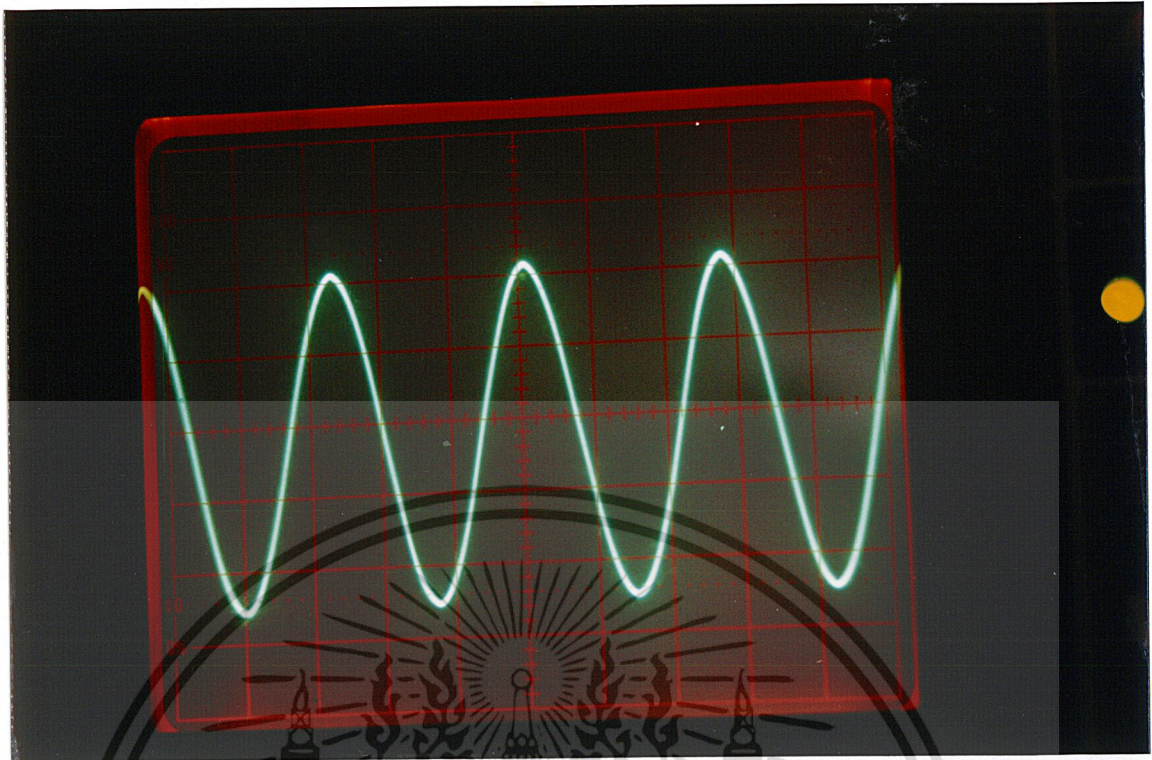
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.4 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก (D / A)

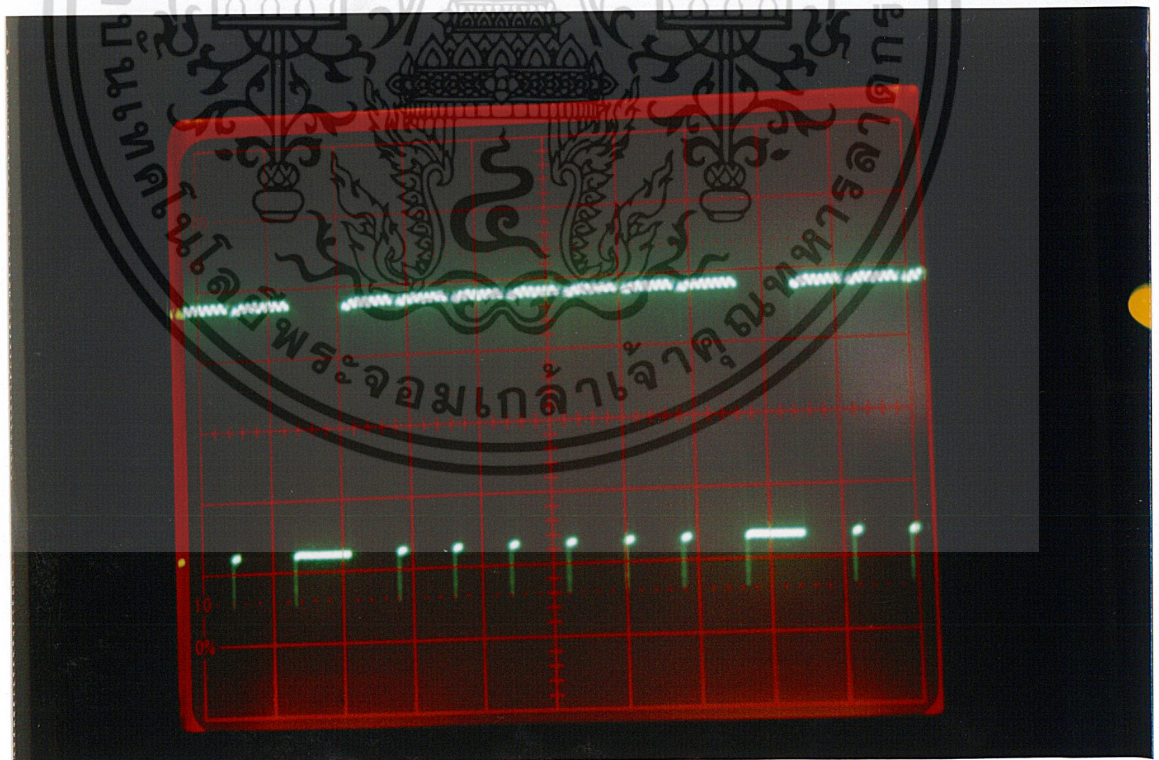
เป็นวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลที่ได้จาก SIPO ในตำแหน่งของช่องสัญญาณที่ต้องการให้กลับมาอยู่ในรูปของสัญญาณอนาลอก โดยใช้ IC DAC0832 ซึ่งเป็น 8 บิต Digital to Analog converter สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะอยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงกระแสระหว่าง I_{out1} และ I_{out2} จึงต้องผ่านออปแอมป์เพื่อให้อยู่ในรูปอนาลอกโวลต์ที่แสดงดังรูปที่ 6-11



รูปที่ 6-11 แสดงวงจรแปลงดิจิทัลเป็นอนาลอก

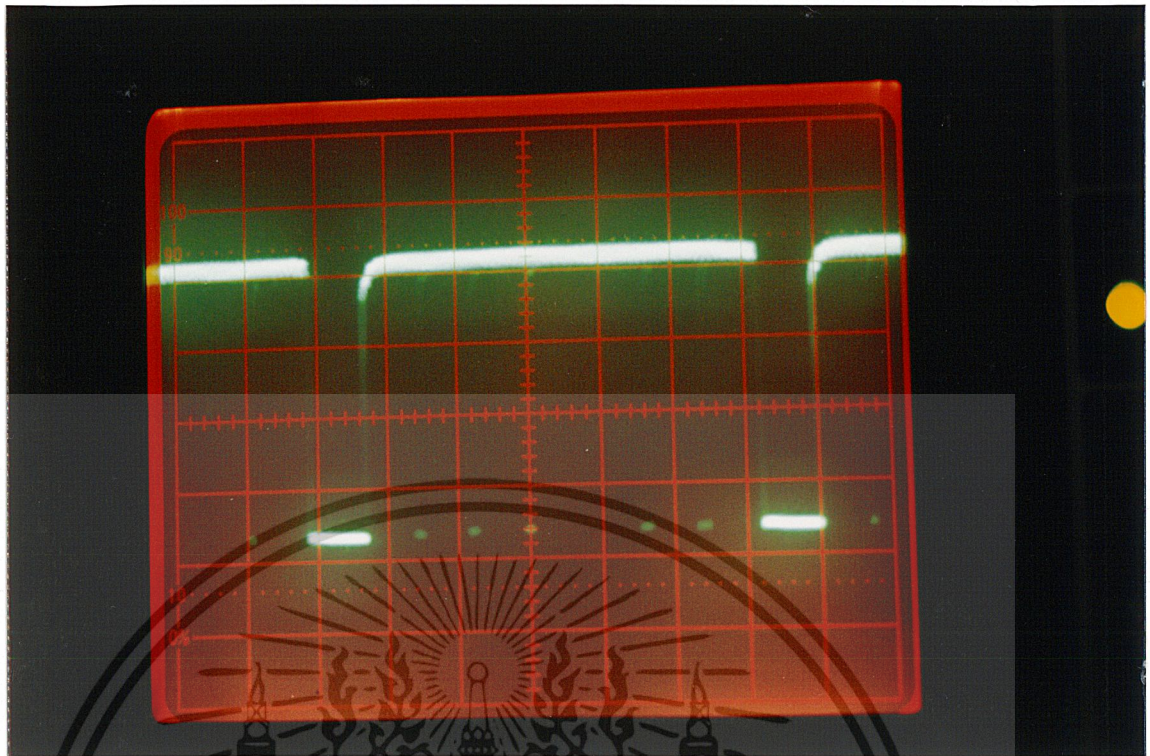


รูปที่ 6-12 แสดงสัญญาณอนาล็อกอินพุท

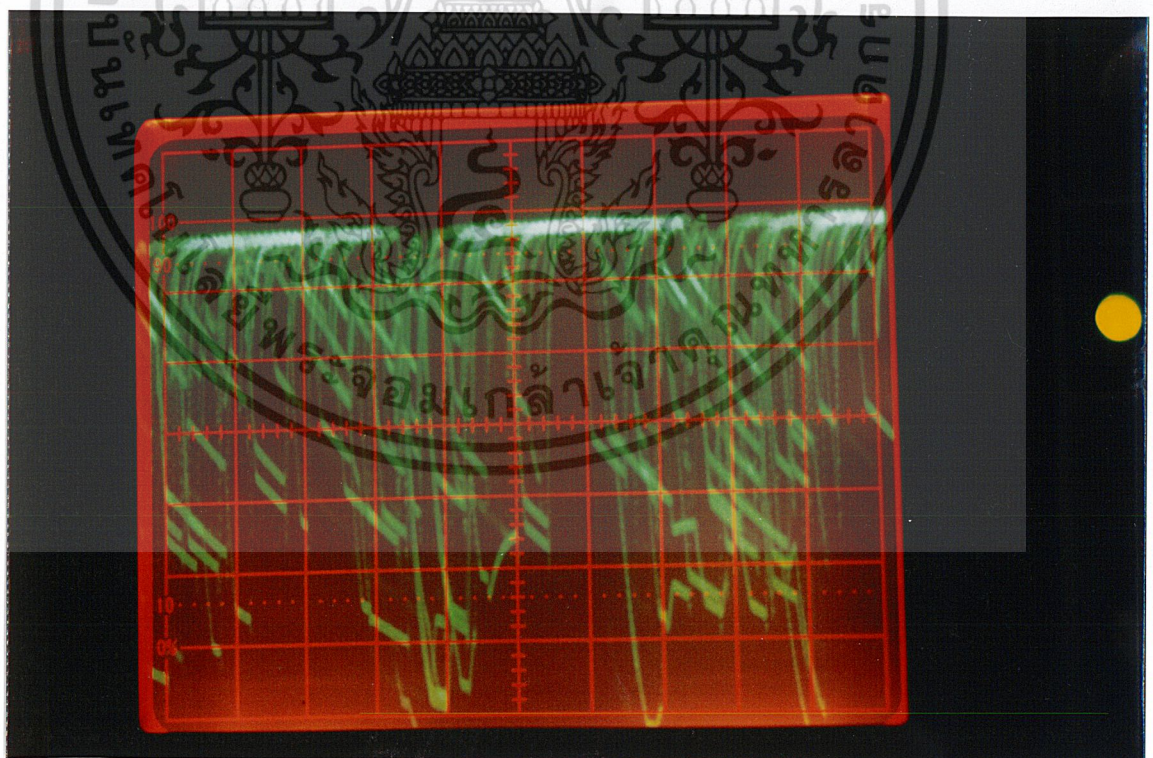


รูปที่ 6-13 แสดงสัญญาณ Frame ข้อมูลด้านส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีก้ารนำไปใช้

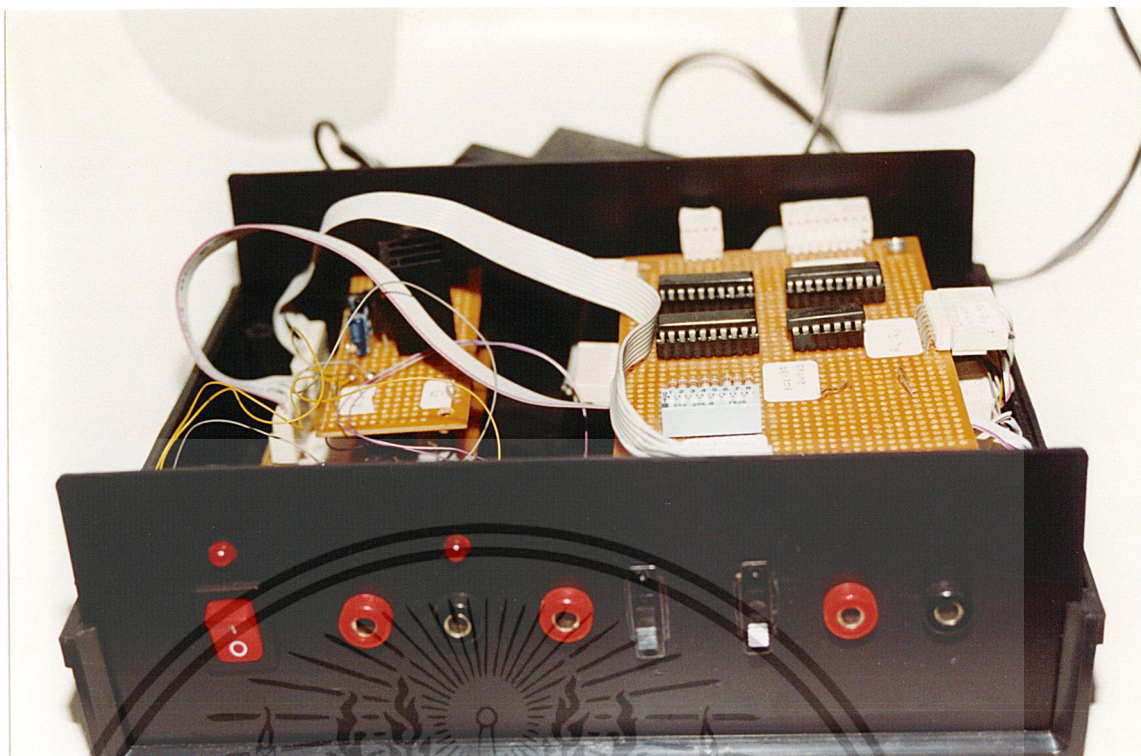


รูปที่ 6-14 แสดงสัญญาณ Frame ข้อมูลด้านรับ

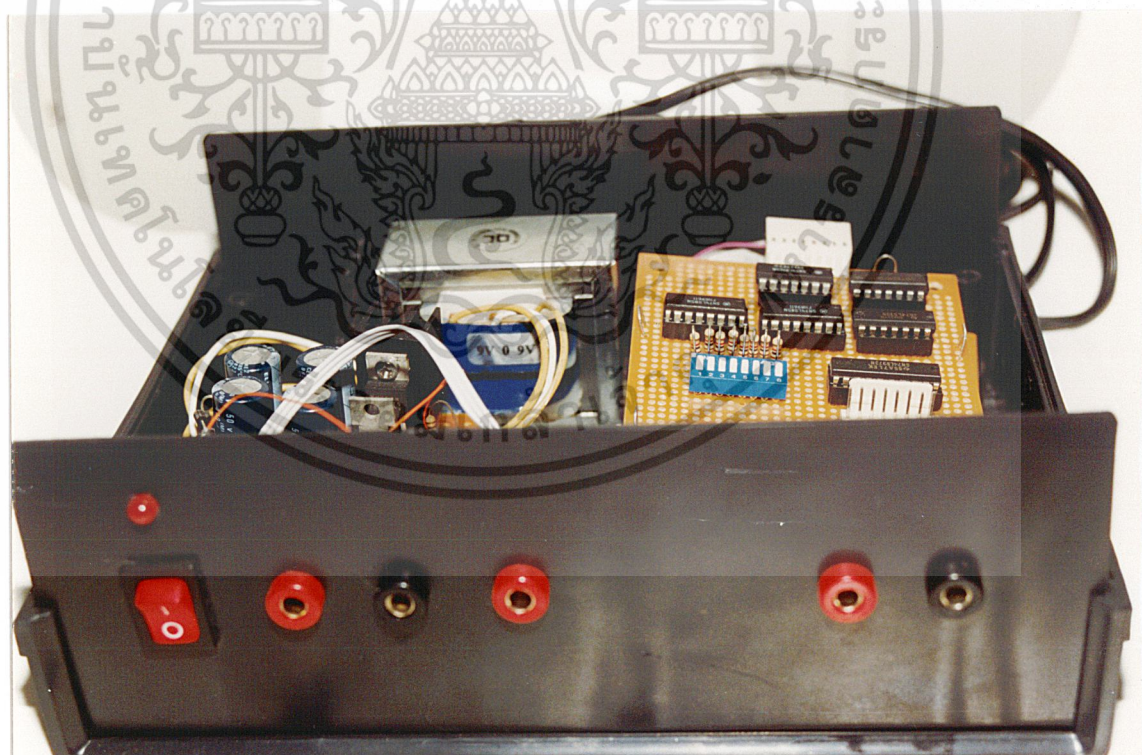


รูปที่ 6-15 แสดงสัญญาณอนาล็อกเอาต์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-16 แสดงรูปอุปกรณ์ด้านภาคส่ง



รูปที่ 6-17 แสดงรูปอุปกรณ์ด้านภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-18 แสดงอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

บทสรุปปัญหาและแนวทางแก้ไขปัญหา

จากการศึกษาการมอดูเลชันแบบพัลส์โค้ดมอดูเลชันทำให้สามารถออกแบบวงจรเพื่อใช้ในการส่งสัญญาณผ่านทางเส้นใยนำแสงได้ โดยจากการศึกษาและทำการทดลองวงจรต่างๆ ในระบบนั้นพบปัญหาและข้อผิดพลาด ซึ่งได้ศึกษาและหาแนวทางแก้ไขปัญหาดังต่อไปนี้

7.1 ปัญหาที่พบในระบบ

7.1.1 วงจรส่งสัญญาณแสง

เนื่องจากการส่งเป็นแบบดิจิทัลทำให้ต้องใช้ความถี่ในการส่งสูงมีผลทำให้ตัวส่งแบบ LED ที่ใช้และวงจรส่งที่ใช้มีขีดจำกัดต่อความเร็วในการส่งสัญญาณ

7.1.2 วงจรรับสัญญาณแสง

การสูญเสียที่เกิดจากการส่งผ่านเส้นใยนำแสงและสัญญาณรบกวนจากวงจรภายนอกและวงจรภายในมีผลทำให้สัญญาณที่ได้เกิดการผิดเพี้ยนไป

7.1.3 วงจรภาครับ

เนื่องจากสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ของวงจรภาครับและวงจรภาคส่งเป็นสัญญาณนาฬิกาคนละตัวทำให้เกิดการไม่ซิงโคร ในซักระหว่างกันมีผลทำให้การไหลคข้อมูลทางภาครับมีบิตที่ผิดพลาดได้

7.2 แนวทางแก้ไขปัญหในระบบ

7.2.1 วงจรส่งสัญญาณแสง

ออกแบบวงจรส่งสัญญาณแสงให้เหมาะสมและเลือกตัวส่งสัญญาณแสงที่มีคุณสมบัติใช้ในความถี่สูงได้

7.2.2 วงจรรับสัญญาณแสง

เลือกตัวรับและออกแบบวงจรรับให้เหมาะสมกับการใช้งานในความถี่สูงและออกแบบแหล่งจ่ายไฟให้มีสัญญาณรบกวนน้อยที่สุด

7.2.3 วงจรภาครับ

ต้องทำการปรับสัญญาณนาฬิกาทางด้านส่งและด้านรับให้ตรงกัน

ก่อนทำการส่งสัญญาณข้อมูลเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการไหลคข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

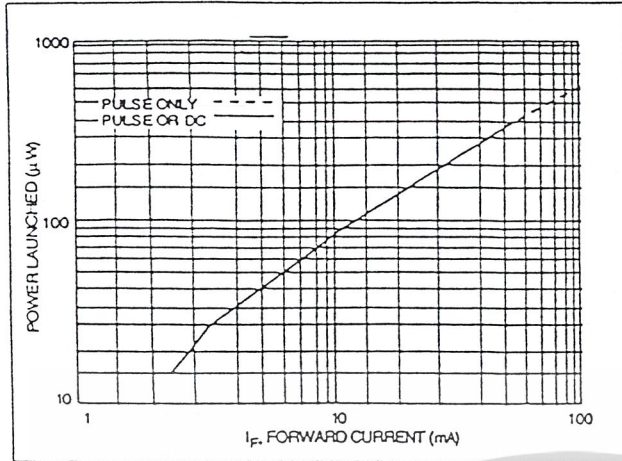


Figure 1. Normalized power launched versus forward current.

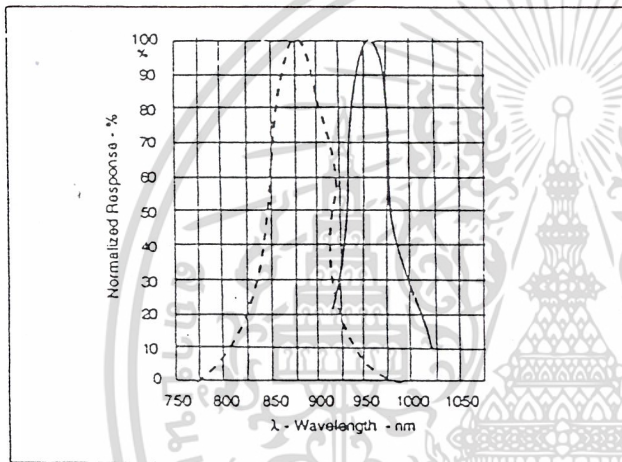


Figure 2. Typical spectral output versus wavelength.

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.

NOTES:

1. Y AND Z ARE DATUM DIMENSIONS AND T IS A DATUM SURFACE.
2. POSITIONAL TOLERANCE FOR D ϕ (2 PL): $\pm 0.25(0.010) \text{ (T | Y | Z)}$
3. POSITIONAL TOLERANCE FOR F DIM (2 PL): $\pm 0.25(0.010) \text{ (T | Y | Z)}$
4. POSITIONAL TOLERANCE FOR H DIM (2 PL): $\pm 0.25(0.010) \text{ (T | Y | Z)}$
5. POSITIONAL TOLERANCE FOR Q ϕ : $\pm 0.25(0.010) \text{ (T | Y | Z)}$
6. POSITIONAL TOLERANCE FOR E: $\pm 0.25(0.010) \text{ (T)}$
7. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
8. CONTROLLING DIMENSION: INCH

STYLE 1:
PIN 1. ANODE
PIN 2. CATHODE

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	23.24	25.27	.915	.995
B	8.84	9.14	.340	.360
C	9.91	10.41	.390	.410
D	1.52	1.63	.060	.064
E	4.19	4.70	.165	.185
F	0.43	0.58	.017	.023
G	2.54 BSC		.100 BSC	
H	0.43	0.58	.017	.023
J	7.62 BSC		.300 BSC	
K	10.35	11.87	.408	.468
L	1.14	1.65	.045	.065
M	2.54 BSC		.100 BSC	
Q	3.05	3.30	.120	.130
R	10.48	10.99	.413	.433
S	6.98 BSC		.275 BSC	
U	0.83	1.04	.032	.042
V	6.86	7.11	.270	.280
W	5.08 BSC		.200 BSC	
X	10.10	10.68	.397	.427

Figure 4. Case outline.

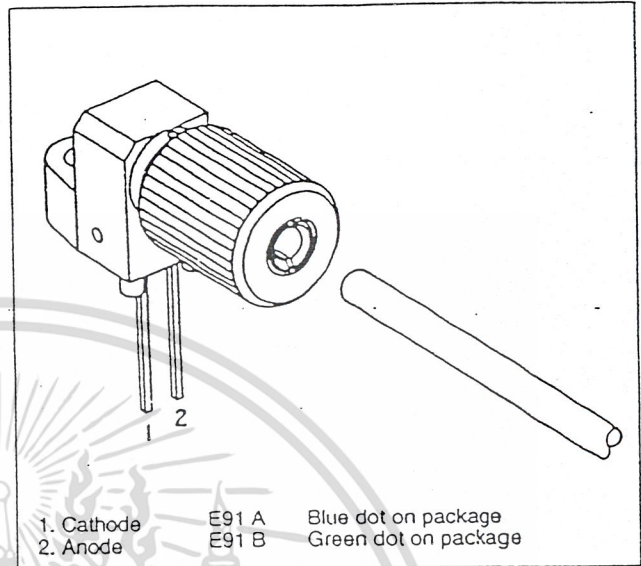
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

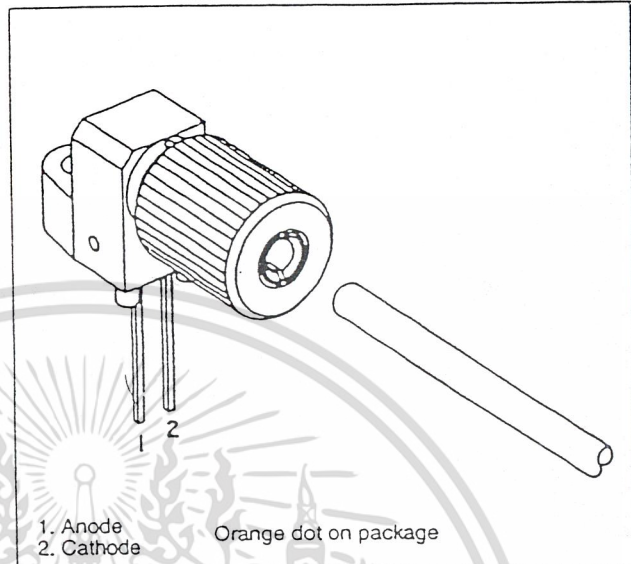
Parameter	Symbol	IF-E91A	IF-E91B	Unit
Peak Wavelength	λ_{PEAK}	950	880	nm
Spectral Bandwidth, 50% I_{MAX}	$\Delta\lambda$	40	80	nm
Output Power Coupled into Plastic Fiber (1 mm core diameter). Distance lens to fiber ≤ 0.1 mm, 10 cm polished fiber, $I_F=100$ mA	Φ_{min}	50	100	μW
Switching Times (10% to 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

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) $\leq 5s$	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 SMA)	$\Delta\lambda$	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 ($V_R=30\text{ volts}, E_E=0$)	I_D	<60	nA
Reverse Breakdown Voltage	$V_{(BR)R}$	60	V
Forward Voltage	V_f	1.2	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น ไม่นับเป็นเทคโนโลยีที่เปิดเผยสู่สาธารณะ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

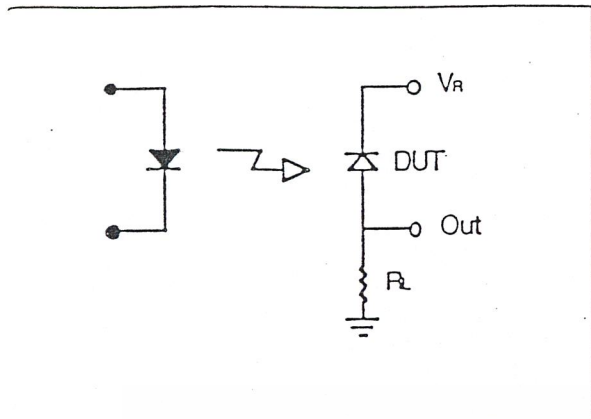
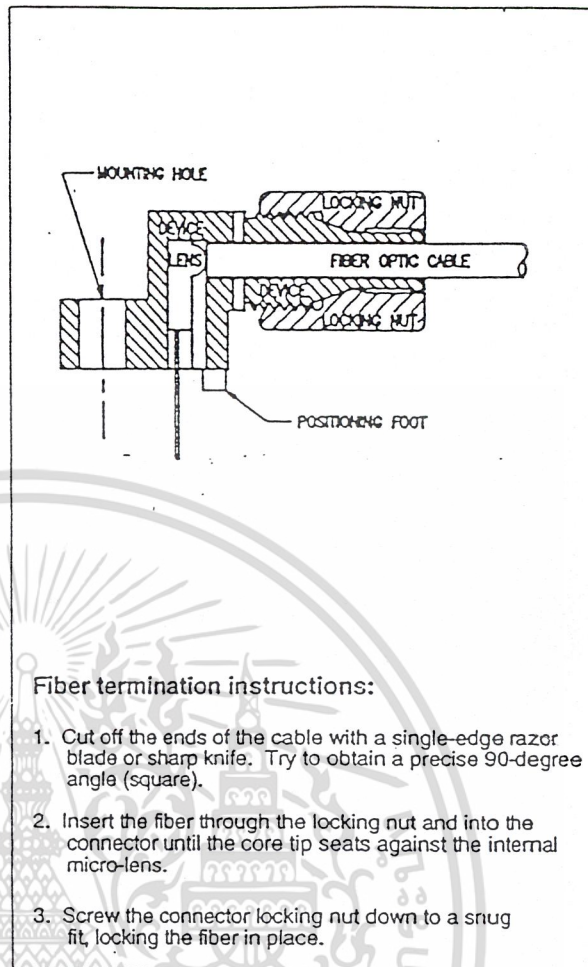


Figure 1. Circuit diagram for measuring rise and fall times.



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.

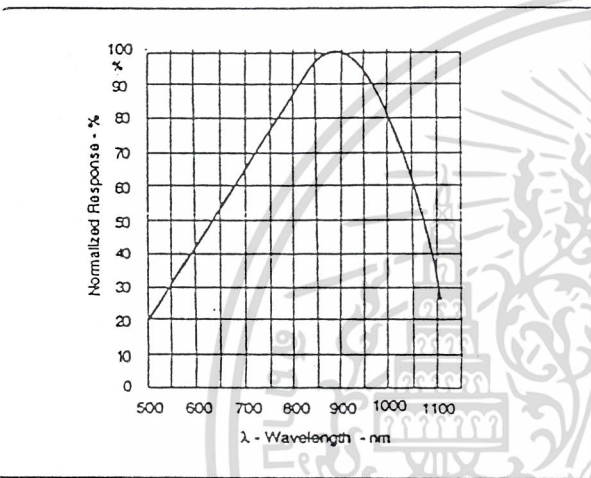


Figure 2. Typical detector response versus wavelength.

Figure 3. Cross-section of fiber optic device.

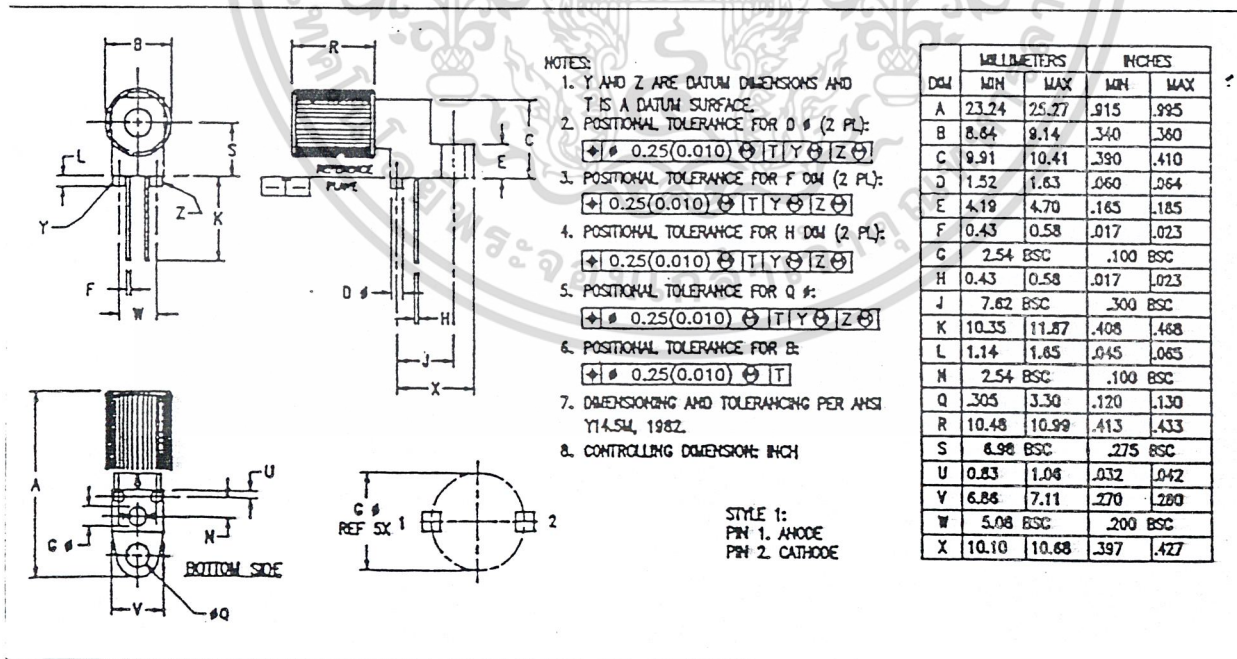


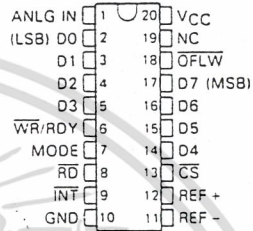
Figure 4. Case outline.

TLC0820A, TLC0820B, ADC0820B, ADC0820C
Advanced LinCMOS™ HIGH-SPEED 8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL
CONVERTERS USING MODIFIED "FLASH" TECHNIQUES

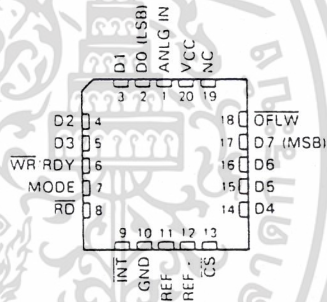
D2873, SEPTEMBER 1986 - REVISED FEBRUARY 1989

- Advanced LinCMOS™ Silicon-Gate Technology
- 8-Bit Resolution
- Differential Reference Inputs
- Parallel Microprocessor Interface
- Conversion and Access Time Over Temperature Range
Write-Read Mode . . . 1.18 μ s and 1.92 μ s
Read Mode . . . 2.5 μ s Max
- No External Clock or Oscillator Components Required
- On-Chip Track-and-Hold
- Low Power Consumption . . . 50 mW Typ
- Single 5-V Supply
- TLC0820B is Direct Replacement for National Semiconductor ADC0820B/BC and Analog Devices AD7820L/C/U;
TLC0820A is Direct Replacement for National Semiconductor ADC0820C/CC and Analog Devices AD7820K/B/T

ALL TYPES . . . DW OR N PACKAGE
TLC0820_M . . . J PACKAGE
(TOP VIEW)



TLC0820_M . . . FK PACKAGE
TLC0820_I, TLC0820_C . . . FN PACKAGE
ADC0820_C1, ADC0820_C . . . FN PACKAGE
(TOP VIEW)



NC = No internal connection

description

The TLC0820A, TLC0820B, ADC0820B, and ADC0820C are Advanced LinCMOS™ 8-bit analog-to-digital converters each consisting of two 4-bit "flash" converters, a 4-bit digital-to-analog converter, a summing (error) amplifier, control logic, and a result latch circuit. The modified "flash" technique allows low-power integrated circuitry to complete an 8-bit conversion in 1.18 μ s over temperature. The on-chip track-and-hold circuit has a 100 ns sample window and allows these devices to convert continuous analog signals having slew rates of up to 100 mV/ μ s without external sampling components. TTL-compatible three-state output drivers and two modes of operation allow interfacing to a variety of microprocessors. Detailed information on interfacing to most popular microprocessors is readily available from the factory.

The M-suffix devices are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C. The I-suffix devices are characterized for operation from -40°C to 85°C. The C-suffix devices are characterized for operation from 0°C to 70°C. See Available Options.

Advanced LinCMOS is a trademark of Texas Instruments Incorporated.

PRODUCTION DATA documents contain information current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

TEXAS INSTRUMENTS
POST OFFICE BOX 655012 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1986, Texas Instruments Incorporated

2-18C

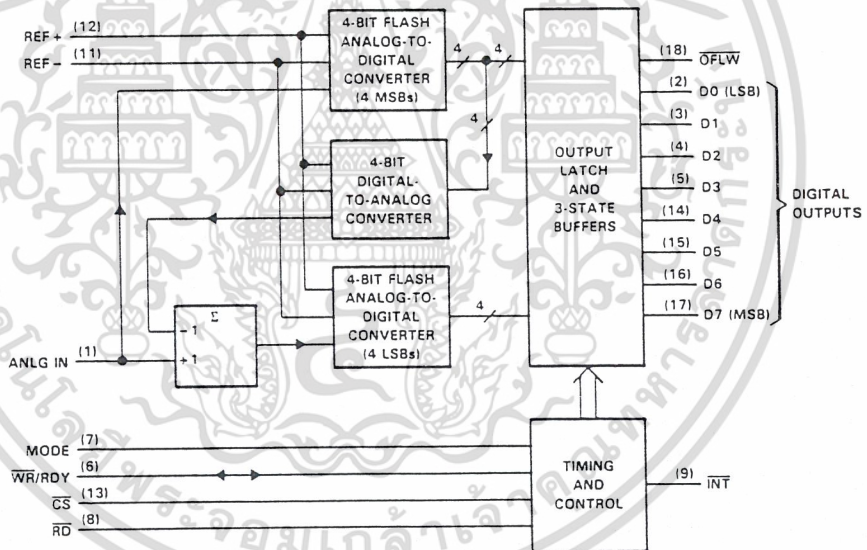
TLC0820A, TLC0820B, ADC0820B, ADC0820C
Advanced LinCMOS™ HIGH-SPEED 8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL
CONVERTERS USING MODIFIED "FLASH" TECHNIQUES

AVAILABLE OPTIONS

SYMBOLIZATION†		OPERATING TEMPERATURE RANGE	TOTAL UNADJUSTED ERROR
DEVICE	PACKAGE SUFFIX		
TLC0820AC	DW, FN, N	0°C to 70°C	± 1 LSB
TLC0820AI	DW, FN, N	-40°C to 85°C	± 1 LSB
TLC0820AM	DW, FK, J, N	-55°C to 125°C	± 1 LSB
TLC0820BC	DW, FN, N	0°C to 70°C	± 0.5 LSB
TLC0820BI	DW, FN, N	-40°C to 85°C	± 0.5 LSB
TLC0820BM	DW, FK, J, N	-55°C to 125°C	± 0.5 LSB
ADC0820BC	DW, FN, N	0°C to 70°C	± 0.5 LSB
ADC0820BCI	DW, FN, N	-40°C to 85°C	± 0.5 LSB
ADC0820CC	DW, FN, N	0°C to 70°C	± 1 LSB
ADC0820CCI	DW, FN, N	-40°C to 85°C	± 1 LSB

† In many instances, these ICs may have both TLC0820 and ADC0820 labeling on the package.

Functional block diagram



TLC0820A, TLC0820B, ADC0820B, ADC0820C
Advanced LinCMOS™ HIGH-SPEED 8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL
CONVERTERS USING MODIFIED "FLASH" TECHNIQUES

PIN		DESCRIPTION
NAME	NUMBER	
ANLG IN	1	Analog input
CS	13	This input must be low in order for \overline{RD} or \overline{WR} to be recognized by the ADC.
D0	2	Three-state data output, bit 1 (LSB)
D1	3	Three-state data output, bit 2
D2	4	Three-state data output, bit 3
D3	5	Three-state data output, bit 4
D4	14	Three-state data output, bit 5
D5	15	Three-state data output, bit 6
D6	16	Three-state data output, bit 7
D7	17	Three-state data output, bit 8 (MSB)
GND	10	Ground
INT	9	In the WRITE READ mode, the interrupt output, \overline{INT} , going low indicates that the internal count-down delay time, $t_{d(INT)}$, is complete and the data result is in the output latch. $t_{d(INT)}$ is typically 800 ns starting after the rising edge of the \overline{WR} input (see operating characteristics and Figure 3). If \overline{RD} goes low prior to the end of $t_{d(INT)}$, \overline{INT} goes low at the end of $t_{d(INT)}$ and the conversion results are available sooner (see Figure 2). \overline{INT} is reset by the rising edge of either \overline{RD} or \overline{CS} .
MODE	7	Mode-selection input. It is internally tied to GND through a 50 μ A current source, which acts like a pull-down resistor. READ mode. Occurs when this input is low WRITE READ mode. Occurs when this input is high
NC	19	No internal connection
OFLW	18	Normally the OFLW output is a logical high. However, if the analog input is higher than the V_{REF+} , OFLW will be low at the end of conversion. It can be used to cascade 2 or more devices to improve resolution (9 or 10 bits).
\overline{RD}	8	In the WRITE READ mode with \overline{CS} low, the 3-state data outputs D0 through D7 are activated when \overline{RD} goes low. \overline{RD} can also be used to increase the conversion speed by reading data prior to the end of the internal count-down delay time. As a result, the data transferred to the output latch is latched after the falling edge of \overline{RD} . In the READ mode with \overline{CS} low, the conversion starts with \overline{RD} going low. \overline{RD} also enables the three-state data outputs upon completion of the conversion. The RDY output going into the high-impedance state and \overline{INT} going low indicates completion of the conversion.
REF	11	This input voltage is placed on the bottom of the resistor ladder.
REF-	12	This input voltage is placed on the top of the resistor ladder.
VCC	20	Power supply voltage
\overline{WR} RDY	6	In the WRITE READ mode with \overline{CS} low, the conversion is started on the falling edge of the \overline{WR} input signal. The result of the conversion is strobed into the output latch after the internal count-down delay time, $t_{d(INT)}$, provided that the \overline{RD} input does not go low prior to this time. $t_{d(INT)}$ is approximately 800 ns. In the READ mode, RDY (an open drain output) will go low after the falling edge of \overline{CS} , and will go into the high-impedance state when the conversion is strobed into the output latch. It is used to simplify the interface to a microprocessor system.

Data Sheets 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLC0820A, TLC0820B, ADC0820B, ADC0820C
Advanced LinCMOS™ HIGH-SPEED 8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL
CONVERTERS USING MODIFIED "FLASH" TECHNIQUES

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	TLC0820_M	TLC0820_I ADC0820_CI	TLC0820_C ADC0820_C	UNIT
Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)	10	10	10	V
Input voltage range, all inputs (see Note 1)	-0.2 to $V_{CC}+0.2$	-0.2 to $V_{CC}+0.2$	-0.2 to $V_{CC}+0.2$	V
Output voltage range, all outputs (see Note 1)	-0.2 to $V_{CC}+0.2$	-0.2 to $V_{CC}+0.2$	-0.2 to $V_{CC}+0.2$	V
Operating free-air temperature range	-55 to 125	-40 to 85	0 to 70	°C
Storage temperature range	-65 to 150	-65 to 150	-65 to 150	°C
Case temperature for 60 seconds: FK package	260			°C
Case temperature for 10 seconds: FN package		260	260	°C
Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds: J package	300			°C
Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds: DW or N package	260	260	260	°C

NOTE 1: All voltages are with respect to network ground terminal, pin 10.

recommended operating conditions

	TLC0820_M			TLC0820_I ADC0820_CI			TLC0820_C ADC0820_C			UNIT			
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX				
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	8	4.5	5	8	4.5	5	8	V			
Analog input voltage	-0.1		$V_{CC}-0.1$	-0.1		$V_{CC}+0.1$	-0.1		$V_{CC}-0.1$	V			
Positive reference voltage, V_{REF+}	V_{REF-}		V_{CC}	V_{REF-}		V_{CC}	V_{REF-}		V_{CC}	V			
Negative reference voltage, V_{REF-}	GND		V_{REF-}	GND		V_{REF+}	GND		V_{REF+}	V			
High-level input voltage, V_{IH}	$V_{CC} = 4.75$ V to 5.25 V			CS, WR/RDY, RD MODE			2			V			
Low-level input voltage, V_{IL}	$V_{CC} = 4.75$ V to 5.25 V			CS, WR/RDY, RD MODE			0.8 1.5			V			
Delay to next conversion, $t_d(INC)$ (see Figures 1, 2, 3, and 4)	500			500			500			ns			
Delay time from WR to RD in write-read mode, t_{dWR} (see Figure 2)	0.4			0.4			0.4			μs			
Write-pulse duration in write-read mode, t_{wW} (see Figures 2, 3, and 4)	0.5			50			0.5			50	μs		
Operating free-air temperature, T_A	-55			125			-40			85	0	70	°C

TLC0820A, TLC0820B, ADC0820B, ADC0820C
Advanced LinCMOS™ HIGH-SPEED 8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL
CONVERTERS USING MODIFIED "FLASH" TECHNIQUES

electrical characteristics at specified operating free-air temperature. $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP [†]	MAX	UNIT
V _{OH}	High-level output voltage	Any D, $\overline{\text{INT}}$, or $\overline{\text{OFLW}}$	$V_{CC} = 4.75\text{ V}$, $I_{OH} = -360\ \mu\text{A}$	Full range	2.4		V
			$V_{CC} = 4.75\text{ V}$, $I_{OH} = -10\ \mu\text{A}$	Full range 25 °C	4.5 4.6		
V _{OL}	Low-level output voltage	Any D, $\overline{\text{OFLW}}$, $\overline{\text{INT}}$, or $\overline{\text{WR/RDY}}$	$V_{CC} = 5.25\text{ V}$, $I_{OL} = 1.6\text{ mA}$	Full range		0.4	V
				25 °C		0.34	
I _{IH}	High-level input current	CS or $\overline{\text{RD}}$ $\overline{\text{WR/RDY}}$ MODE	$V_{IH} = 5\text{ V}$	Full range	0.005	1	μA
				25 °C	0.1	0.3	
				Full range 25 °C		200 170	
I _{IL}	Low-level input current	CS, $\overline{\text{WR/RDY}}$, $\overline{\text{RD}}$, or MODE	$V_{IL} = 0$	Full range	-0.005	-1	μA
I _{OZ}	Off-state (high-impedance state) output current	Any D or $\overline{\text{WR/RDY}}$	$V_O = 5\text{ V}$	Full range		3	μA
			$V_O = 0$	25 °C	0.1	0.3	
I _I	Analog input current	CS at 5 V, $V_I = 5\text{ V}$ CS at 5 V, $V_I = 0$	Full range		3	μA	
			25 °C		0.3		
			Full range		3		
			25 °C		-0.3		
I _{OS}	Short-circuit output current	Any D, $\overline{\text{OFLW}}$, $\overline{\text{INT}}$, or $\overline{\text{WR/RDY}}$	$V_O = 5\text{ V}$	Full range	7	mA	
			25 °C	8.4	14		
		Any D or $\overline{\text{OFLW}}$ $\overline{\text{INT}}$	$V_O = 0$	Full range	-6		-12
			25 °C	-7.2			
R _{ref}	Reference resistance		Full range	1.25	6	k Ω	
			25 °C	1.4	2.3		5.3
I _{CC}	Supply current		CS, $\overline{\text{WR/RDY}}$, and $\overline{\text{RD}}$ at 0 V	Full range		15	mA
25 °C		7.5	13				
C _I	Input capacitance		Any digital ANLG IN	Full range		5 45	pF
C _O	Output capacitance		Any digital	Full range		5	

[†] All typical values are at $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$.

Data Sheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLC0820A, TLC0820B, ADC0820B, ADC0820C
Advanced LinCMOS™ HIGH-SPEED 8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL
CONVERTERS USING MODIFIED "FLASH" TECHNIQUES

operating characteristics, $V_{CC} = 5\text{ V}$, $V_{REF+} = 5\text{ V}$, $V_{REF-} = 0$, $t_r = t_f = 20\text{ ns}$, $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$
(unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TLC0820B ADC0820B			TLC0820A ADC0820C			UNIT	
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
k_{SVS}	Supply voltage sensitivity	$V_{CC} = 5\text{ V} \pm 5\%$, $T_A = \text{MIN to MAX}$						LSB	
	Total unadjusted error†	MODE pin at 0 V, $T_A = \text{MIN to MAX}$						LSB	
t_{convR}	Read mode conversion time	MODE pin at 0 V, See Figure 1			1.6	2.5	1.6	2.5	μs
$t_{d(int)}$	Internal count-down delay time	MODE pin at 5 V, $C_L = 50\text{ pF}$, See Figures 3 and 4			800	1300	800	1300	ns
t_{aR}	Access time from \overline{RD} !	MODE pin at 0 V, See Figure 1			$t_{convR} + 20$	$t_{convR} + 50$	$t_{convR} - 20$	$t_{convR} - 50$	ns
t_{aR1}	Access time from \overline{RD} ! $t_{dWR} < t_{d(int)}$, See Figure 2	$C_L = 15\text{ pF}$			190	280	190	280	ns
		$C_L = 100\text{ pF}$			210	320	210	320	
t_{aR2}	Access time from \overline{RD} ! $t_{dWR} > t_{d(int)}$, See Figure 3	$C_L = 15\text{ pF}$			70	120	70	120	ns
		$C_L = 100\text{ pF}$			90	150	90	150	
t_{aINT}	Access time from \overline{INT} !	MODE pin at 5 V, See Figure 4			20	50	20	50	ns
t_{dis}	Disable time from \overline{RD} !	$R_L = 1\text{ k}\Omega$, $C_L = 10\text{ pF}$, See Figures 1, 2, 3, and 5			70	95	70	95	ns
t_{dRDY}	Delay time from \overline{CS} ! to \overline{RDY} !	MODE pin at 0 V, $C_L = 50\text{ pF}$, See Figure 1			50	100	50	100	ns
t_{dRIH}	Delay time from \overline{RD} ! to \overline{INT} !	$C_L = 50\text{ pF}$, See Figures 1, 2, and 3			125	225	125	225	ns
t_{dRIL}	Delay time from \overline{RD} ! to \overline{INT} !	MODE pin at 5 V, $t_{dWR} < t_{d(int)}$, See Figure 2			200	290	200	290	ns
t_{dWIH}	Delay time from \overline{WR} ! to \overline{INT} !	MODE pin at 5 V, $C_L = 50\text{ pF}$, See Figure 4			175	270	175	270	ns
	Slew rate tracking				0.1		0.1		$\text{V}/\mu\text{s}$

† Total unadjusted error includes offset, full-scale, and linearity errors.

TLC0820A, TLC0820B, ADC0820B, ADC0820C
Advanced LinCMOS™ HIGH-SPEED 8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL
CONVERTERS USING MODIFIED "FLASH" TECHNIQUES

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

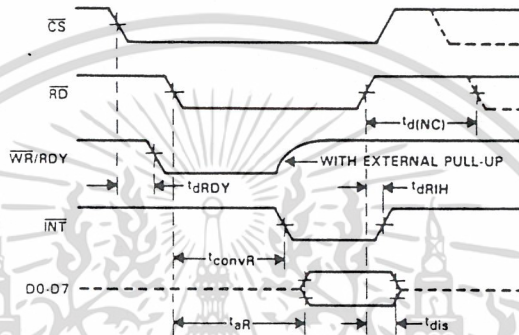


FIGURE 1. READ MODE WAVEFORMS (MODE PIN LOW)

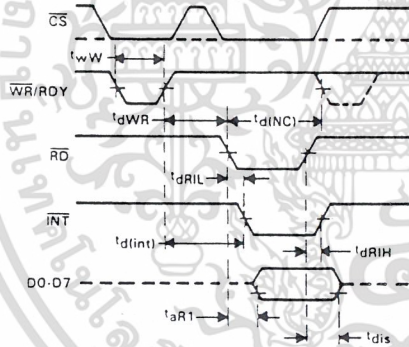


FIGURE 2. WRITE-READ MODE WAVEFORMS
(MODE PIN HIGH AND $t_{dWR} < t_{d(int)}$)

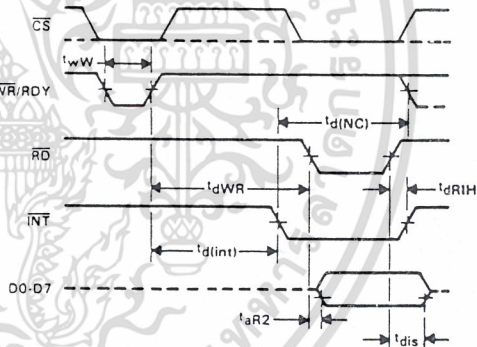


FIGURE 3. WRITE-READ WAVEFORMS
(MODE PIN HIGH AND $t_{dWR} > t_{d(int)}$)

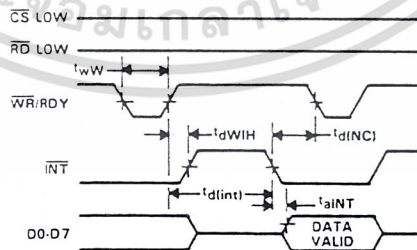


FIGURE 4. WRITE-READ MODE WAVEFORMS
(STAND-ALONE OPERATION, MODE PIN HIGH, AND \overline{RD} LOW)

TLC0820A, TLC0820B, ADC0820B, ADC0820C
Advanced LinCMOS™ HIGH-SPEED 8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL
CONVERTERS USING MODIFIED "FLASH" TECHNIQUES

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

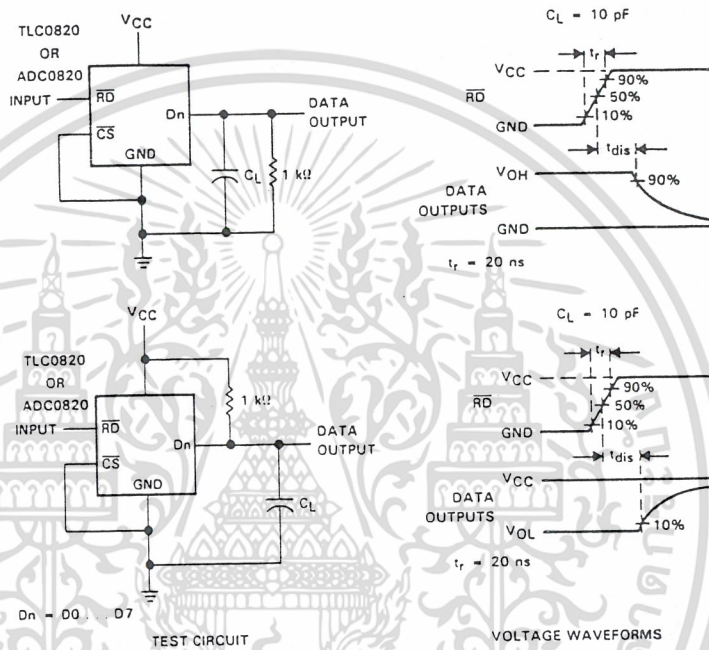


FIGURE 5. TEST CIRCUIT AND VOLTAGE WAVEFORMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLC0820A, TLC0820B, ADC0820B, ADC0820C
Advanced LinCMOS™ HIGH-SPEED 8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL
CONVERTERS USING MODIFIED "FLASH" TECHNIQUES

PRINCIPLES OF OPERATION

The TLC0820A, TLC0820B, ADC0820B and ADC0820C each employ a combination of "sampled-data" comparator techniques and "flash" techniques common to many high-speed converters. Two 4-bit "flash" analog-to-digital conversions are used to give a full 8-bit output.

The recommended analog input voltage range for conversion is -0.1 V to $V_{CC} + 0.1\text{ V}$. Analog input signals that are less than $V_{REF-} + \frac{1}{2}\text{ LSB}$ or greater than $V_{REF+} - \frac{1}{2}\text{ LSB}$ convert to 00000000 or 11111111 respectively. The reference inputs are fully differential with common-mode limits defined by the supply rails. The reference input values define the full-scale range of the analog input. This allows the gain of the ADC to be varied for ratiometric conversion by changing the V_{REF+} and V_{REF-} voltages.

The device operates in two modes, read (only) and write-read, which are selected by the MODE pin (pin 7). The converter is set to the read (only) mode when pin 7 is low. In the read mode, the $\overline{WR/RDY}$ pin is used as an output and is referred to as the "ready" pin. In this mode, a low on the "ready" pin while \overline{CS} is low indicates that the device is busy. Conversion starts on the falling edge of \overline{RD} and is completed no more than $2.5\ \mu\text{s}$ later when \overline{INT} falls and the "ready" pin returns to a high-impedance state. Data outputs also change from high-impedance to active states at this time. After the data is read, \overline{RD} is taken high, \overline{INT} returns high, and the data outputs return to their high-impedance states.

The converter is set to the write-read mode when pin 7 is high and $\overline{WR/RDY}$ is referred to as the "write" pin. Taking \overline{CS} and the "write" pin low selects the converter and initiates measurement of the input signal. Approximately 600 ns after the "write" pin returns high, the conversion is completed. Conversion starts on the rising edge of $\overline{WR/RDY}$ in the write-read mode.

The high-order 4-bit "flash" ADC measures the input by means of 16 comparators operating simultaneously. A high precision 4-bit DAC then generates a discrete analog voltage from the result of that conversion. After a time delay, a second bank of comparators does a low-order conversion on the analog difference between the input level and the high-order DAC output. The results from each of these conversions enter an 8-bit latch and are output to the three-state buffers on the falling edge of \overline{RD} .

5404/7404 Hex Inverter

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL											
	Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package									
	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF								
T.I.	SN54S04	J	D	W	SN54H04	J	D	W	SN54LS04	J	D	W	SN5404	J	D	W	SN54L04	J	D	W	SN74S04	J	D	W	SN74LS04	J	D	W
FAIRCHILD	FMS4S04	F	N	D	FMS4H04	F	N	D	FMS4LS04	F	N	D	FMS404	F	N	D	FMS4L04	F	N	D	DM74S04	D	M	N	DM74LS04	D	M	N
MOTOROLA	MC34S04	M	C	D	MC34H04	M	C	D	MC34LS04	M	C	D	MC3404	M	C	D	MC34L04	M	C	D	DM74S04	D	M	N	DM74LS04	D	M	N
N. S. C.	DM74S04	D	M	N	DM74H04	D	M	N	DM74LS04	D	M	N	DM7404	D	M	N	DM74L04	D	M	N								
PHILIPS	N74S04	N	7	D	N74H04	N	7	D	N74LS04	N	7	D	FJH7411 7404	F	J	H												
SIGNETICS	SS4S04	S	S	A	SS4H04	S	S	A	SS4LS04	S	S	A	SS404	S	S	A	SS4L04	S	S	A								
SIEMENS	N74S04	N	7	D	N74H04	N	7	D	N74LS04	N	7	D	FLH211	F	L	H												
FUJITSU									74LS04	F	J	L	MB418	M	B													
HITACHI	HD74S04	H	D	S	HD74H04	H	D	S	HD74LS04	H	D	S	HD7404 HD2522	H	D													
MITSUBISHI	M5S004	M	5	S					M74LS04	M	7	L	M53204	M	5													
NEC	74S04	N	7	D					74LS04	N	7	L	μ PB235	N	E													
TOSHIBA													TD3404A	T	D													

Electrical Characteristics SN54LS04/SN74LS04

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V _{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	7V	Storage temperature range	SN74LS	0°C to 70°C
				-65°C to 150°C

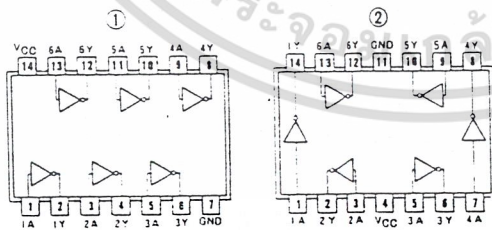
recommended operating conditions

	SN54LS04			SN74LS04			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V _{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I _{OH}			-400			-400	μ A
Low-level output current, I _{OL}			4			4	mA
Operating free-air temperature, T _a	-55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

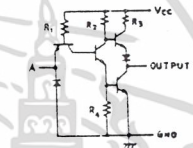
PARAMETER	TEST CONDITIONS †	MIN	TYP ‡	MAX	UNIT
V _{IH}	High-level input voltage		2		V
V _{IL}	Low-level input voltage		0.8		V
V _I	Input clamp voltage	V _{CC} = MIN, I _I = -18mA		-1.5	V
V _{OH}	High-level output voltage	V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX	2.7	3.4	V
V _{OL}	Low-level output voltage	V _{CC} = MIN, I _{OL} = 4mA, V _{IH} = 2V		0.4	V
I _I	Input current at maximum input voltage	V _{CC} = MAX, V _I = 7V		0.1	mA
I _{IH}	High-level input current	V _{CC} = MAX, V _{IH} = 2.7V		20	μ A
I _{IL}	Low-level input current	V _{CC} = MAX, V _{IL} = 0.4V		-0.4	mA
I _{OS}	Short-circuit output current	V _{CC} = MAX		-100	mA
I _{COH}	Supply current	V _{CC} = MAX, Total, outputs high	1.2	2.4	mA
I _{COL}	Supply current	V _{CC} = MAX, Total, outputs low	3.6	6.6	mA
I _{CC}	Supply current	V _{CC} = 5V, Average, per gate (50% duty cycle)		0.4	mA
t _{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	V _{CC} = 5V, T _a = 25°C, C _L = 15PF, R _L = 2K Ω	9	15	ns
t _{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output		10	15	ns

Pin Assignments (Top View)



positive logic:
Y = \bar{A}

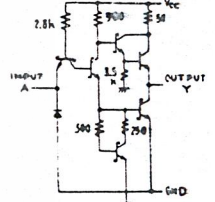
Schematics (each gate)



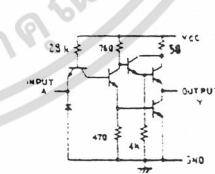
CIRCUIT	R1	R2	R3	R4
'04	4K	1.5K	130	1K
'L04	40K	20K	500	12K

Input clamp diodes not on SN54L/SN74L circuits.

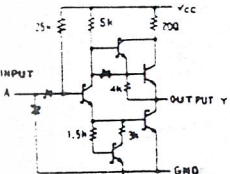
'04, 'L04 CIRCUITS



'04 CIRCUIT



H04 CIRCUIT



'LS04 CIRCUIT

Resistor values shown are nominal and in ohms.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
‡ All typical values are at V_{CC} = 5V, T_a = 25°C.
* Not more than one output should be shorted at a time, and for SN54H, SN74H and SN54S, SN74S, duration of short-circuit should not exceed 1 second.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5430/7430 8-Input Positive-NAND Gate

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL			
	Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package		
		C	P	MCF		C	P	MCF		C	P	MCF		C	P	MCF		C	P	MCF
T. I.	SN54S30	J	Q		SN54H30	J	Q		SN54LS30	J	Q		SN5430	J	Q		SN54L30	J	Q	
FAIRCHILD	SN74S30	J	Q		SN74H30	J	Q		SN74LS30	J	Q		SN7430	J	Q		SN74L30	J	Q	
MOTOROLA	MC5430	J	Q		MC7430	J	Q		MC54LS30	J	Q		MC5430	J	Q		MC54L30	J	Q	
N. S. C.	DM74S30	J	Q		DM74H30	J	Q		DM74LS30	J	Q		DM7430	J	Q		DM74L30	J	Q	
PHILIPS					GJH101/74H30				N74LS30				FJH101/7430							
SIGNETICS	N74S30	A	Q		S54H30	F	Q		N74LS30	A	Q		S5430	F	Q		N74L30	F	Q	
SIEMENS													FLH131							
FUJITSU					MB604				74LS30				MB403							
HITACHI									HO74LS30				HO7430/HO2508							
MITSUBISHI	M5S030								M74LS30				M53230/M5310							
NEC									74LS30				μPB204							
TOSHIBA													TD3430A							

Electrical Characteristics SN54LS30/SN74LS30

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V _{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	7V	Storage temperature range	SN74LS	0°C to 150°C
Intermittent voltage	5.5V	Storage temperature range		-55°C to 150°C

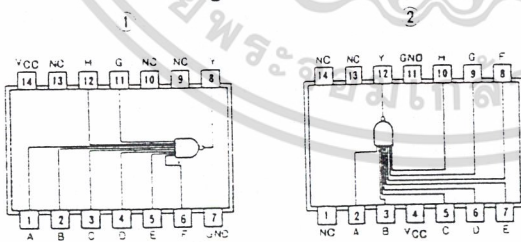
recommended operating conditions

	SN54LS30			SN74LS30			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V _{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I _{OH}			-400			-400	μA
Low-level output current, I _{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature, T _A	-55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

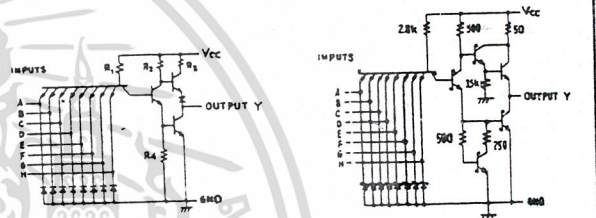
PARAMETER	TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT	
V _{IH}	High-level input voltage		2		V	
V _{IL}	Low-level input voltage		0.8		V	
V _I	Input clamp voltage	V _{CC} - MIN, I _I = -18mA		-1.5	V	
V _{OH}	High-level output voltage	V _{CC} - MIN, I _{OH} = MAX	2.7	3.4	V	
V _{OL}	Low-level output voltage	V _{CC} - MIN, I _{OL} = 4mA		0.4	V	
I _I	Input current at maximum input voltage	V _{CC} - MAX, V _I = 7V		0.1	mA	
I _{IH}	High-level input current	V _{CC} - MAX, V _{IH} = 2.7V		20	μA	
I _{IL}	Low-level input current	V _{CC} - MAX, V _{IL} = 0.4V		-0.4	mA	
I _{OS}	Short-circuit output current	V _{CC} - MAX	54LS Family	-20	-100	mA
I _{CCH}	Supply current	V _{CC} - MAX	Total, outputs high	0.35	0.5	mA
I _{CCL}	Supply current	V _{CC} - MAX	Total, outputs low	0.6	1.1	mA
I _{CC}	Supply current	V _{CC} = 5V	Average per gate, 50% duty cycle	0.48		mA
t _{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	V _{CC} = 5V, T _A = 25°C		8	15	ns
t _{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output	C _L = 15pF, R _L = 2kΩ		13	20	ns

Pin Assignments (Top View)



positive logic:
 † A-B-C-D-E-F-G-H
 NC No internal connection

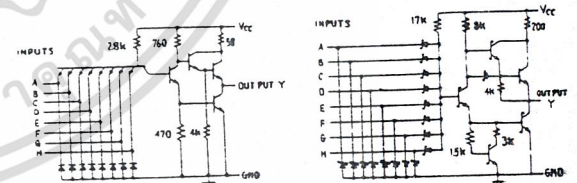
Schematics (each gate)



CIRCUIT	R1	R2	R3	R4
'30	30k	4k	13k	12k
'LS30	40k	20k	500	12k

Input clamp diodes not on SN54L/SN74L circuits.

'30 'LS30 CIRCUITS



'H30 CIRCUIT

'LS30 CIRCUIT

Resistor values shown are nominal and in ohms.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

• Note: more than one output should be shorted at a time and for SN54H/SN74H and SN54S/SN74S, duration of short-circuit should not exceed 1 second.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5432/7432 Quadruple 2-Input Positive-OR Gate

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL			
	Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package		
		C	P	M CF		C	P	M CF		C	P	M CF		C	P	M CF		C	P	M CF
T.I.	SN54S32	J	Q	WD					SN54LS32	J	Q	WD	SN5432	J	Q	WD				
FAIRCHILD	SN74S32	J	Q	WD					SN74LS32	J	Q	WD	SN7432	J	Q	WD				
	FMS432/FMS32	Q	Q	FD					FMS432/FMS32	Q	Q	FD	FMS432/FM9N32	Q	Q	FD				
MOTOROLA	MC432/MC32	Q	Q	FD					MC432/MC32	Q	Q	FD	FC7432/FC9N32	Q	Q	FD				
									SN74LS32	P	Q									
N.S.C.									DM74LS32	Q			DM5432	J	Q	WD	DM54LS32			
									DM54LS32	Q			DM74232	J	Q	WD	DM74LS32			
PHILIPS	N74S32		Q						N74LS32		Q		N7432		Q					
SIGNETICS													SS432	F	Q	WD				
													MS432	F	Q	WD				
SIEMENS													FLH631		Q					
FUJITSU																				
HITACHI																				
MITSUBISHI																				
NEC																				
TOSHIBA																				

Electrical Characteristics SN54LS32/SN74LS32

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

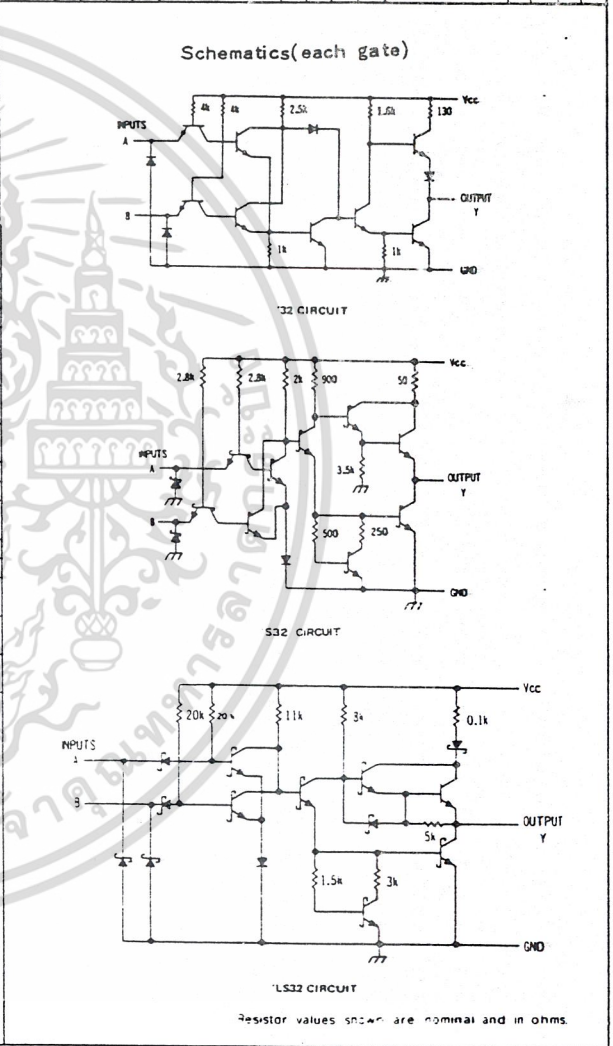
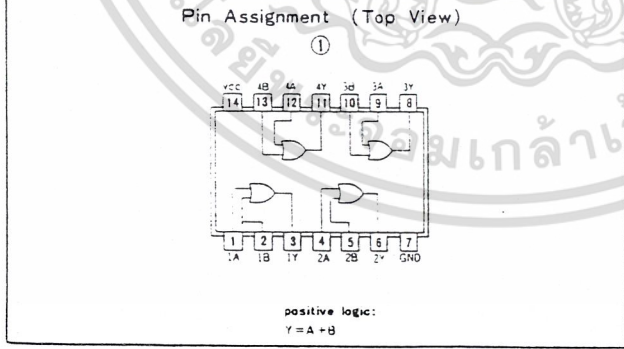
Supply voltage, V _{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	7V		SN74LS	0°C to 75°C
		Storage temperature range		-65°C to 150°C

recommended operating conditions

	SN54LS32			SN74LS32			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V _{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I _{OH}			-400			-400	μA
Low-level output current, I _{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature, T _A	-55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER	TEST CONDITIONS †	MIN	TYP ‡	MAX	UNIT	
V _{IH}	High-level input voltage		2		V	
V _{IL}	Low-level input voltage			0.8	V	
V _I	Input clamp voltage	V _{CC} = MIN, I _I = -1.8 mA		-1.5	V	
V _{OH}	High-level output voltage	V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX, V _{IH} = 2V	2.7	3.4	V	
V _{OL}	Low-level output voltage	V _{CC} = MIN, I _{OL} = 4 mA, V _{IL} = V _{IL} max.	0.25	0.4	V	
I _I	Input current at maximum input voltage	V _{CC} = MAX, V _I = 7V		0.1	mA	
I _{IH}	High-level input current	V _{CC} = MAX, V _{IH} = 2.7V		20	μA	
I _{IL}	Low-level input current	V _{CC} = MAX, V _{IL} = 0.4V		-0.4	mA	
I _{OS}	Short-circuit output current †	V _{CC} = MAX	54LS Family	-20	-100	mA
			74LS Family	-20	-100	mA
I _{QCH}	Supply current	V _{CC} = MAX	Total, outputs high	3.1	6.2	mA
I _{QCL}	Supply current	V _{CC} = MAX	Total, outputs low	4.9	9.8	mA
I _{CC}	Supply current	V _{CC} = 5V	Average per gate (50% duty cycle)	7	0	mA
t _{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	V _{CC} = 5V, T _A = 25°C, C _L = 150pF, R _L = 2kΩ		14	22	ns
t _{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output			14	22	ns



† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
‡ All typical values are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.
♦ Not more than one output should be shorted at a time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5474/7474 Dual D-Type Positive-Edge-Triggered Flip-Flop with Preset and Clear

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL			
	Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package			
		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF
T.I.	SN54S74	J	D	W	SN54H74	J	D	W	SN54LS74	J	D	W	SN5474	J	D	W	SN54L74	J	D	W
	SN74S74	J	D	ND	SN74H74	J	D	ND	SN74LS74	J	D	ND	SN7474	J	D	ND	SN74L74	J	D	ND
FAIRCHILD	FMS4S74/FMS74	D	D		FMS4H74/FMSH74	D	D		FMS4LS74/FMSLS74	D	D		FMS474/FMSH74	D	D		FMS4L74/FMSL74	D	D	
MOTOROLA	MC74S74/FC5S74	D	D		MC74H74/FC5H74	D	D		MC74LS74/FC5LS74	D	D		MC7474/FC5H74	D	D		MC74L74/FC5L74	D	D	
N.S.C.	DM74S74		ND		DM54H74	J	D	ND	DM54LS74	J	D	ND	DM5474	J	D	ND	DM154L74	J	D	ND
					DM74H74	J	D	ND	DM74LS74	J	D	ND	DM7474	J	D	ND	DM74L74	J	D	ND
PHILIPS	N74S74		D		QJJ131/74H74		D		N74LS74		D		FJJ131/7474		D					
SIGNETICS	S54S74				S54H74	F	D	AD	W				S5474	F	D	AD	W			
	N74S74				N74H74	F	D	AD					N7474	F	D	AD				
SIEMENS													FLJ141							
FUJITSU									74LS74		ND		MB420		D	ND				
HITACHI	HD74S74		D	PD					HD74LS74		P	D	HD7474/HO2510		D	P	D			
mitsubishi	M74S74			P					M74LS74		P	D	M5327/M5374		P	D				
NEC	74S74			C					74LS74		C	D	μPB214		D	C	D			
TOSHIBA													TD3474A		P	D				

Electrical Characteristics SN54LS74/SN74LS74

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

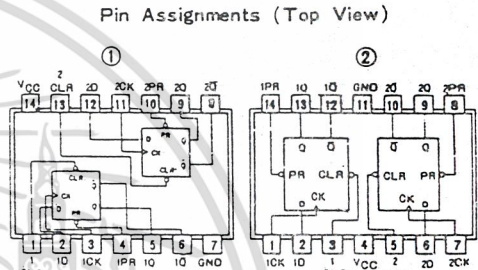
Supply voltage, V _{CC}	TV	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	5.5V	Storage temperature range	SN74LS	-65°C to 150°C

recommended operating conditions

	SN54LS74			SN74LS74			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V _{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I _{OH}			-400			-400	mA
Low-level output current, I _{OL}			4			4	mA
Pulse width, t _p	Clock high	25		25			ns
	Preset or clear low	25		25			ns
Input setup time, t _{su}	High-level data	25		25			ns
	Low-level data	20		20			ns
Input hold time, t _{hd}		5		5			ns
Operating free-air temperature, T _a	-55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

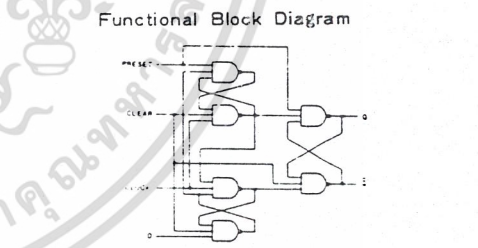
PARAMETER*	TEST CONDITIONS †	MIN.	TYP ‡	MAX.	UNIT
V _{IH}	High-level input voltage		2		V
V _{IL}	Low-level input voltage		0.8		V
V _I	Input clamp voltage	V _{CC} = MIN., I _I = -18 mA		-1.5	V
V _{OH}	High-level output voltage	V _{CC} = MIN., V _{IH} = 2V, V _{IL} = 0.8 V, I _{OH} = MAX	2.7	3.4	V
V _{OL}	Low-level output voltage	V _{CC} = MIN., V _{IH} = 2V, V _{IL} = 0.8 V, I _{OL} = 4 mA	0.25	0.4	V
I _I	Input current at maximum input voltage	D, J, K, Clear		0.1	mA
		Preset		0.2	
		Clock		0.2	
		Clock		0.1	
I _{IH}	High-level input current	D, J, K, Clear		20	μA
		Preset		40	
		Clock		40	
		Clock		20	
I _{IL}	Low-level input current	D, J, K, Clear		0.4	mA
		Preset		-0.3	
		Clock		-0.3	
		Clock		-0.4	
I _{OS}	Short-circuit output current †	Series 54LS	-20	-100	mA
		Series 74LS	-20	-100	
I _{CC}	Supply current (Average per flip-flop)	V _{CC} = MAX., See Note 1	4	8	mA
f	clock frequency	V _{CC} = 5V, T _A = 25°C, C _L = 15pF, R _L = 2kΩ	25	33	MHz
t _{PLH}	from clear, preset or clock (as appropriate) to Q or Q̄		13	25	ns
t _{PHL}			25	40	ns



Functional Block Diagram

74, H74, LS74, S74 (See Note 2)

INPUTS			OUTPUTS	
PRESET	CLEAR	CLOCK	Q	Q̄
L	H	X	X	H L
H	L	X	X	L H
L	L	X	X	H* H*
H	H	?	H	H L
H	H	?	L	L H
H	H	L	X	Q ₀ Q̄ ₀



NOTES: 1 With all outputs open, I_{CC} is measured with the Q and Q̄ outputs high in turn. At the time of measurement, the clock input is grounded.
 2 H = high level (steady state), L = low level (steady state), X = irrelevant, ? = transition from low to high level.
 Q₀ = the level of Q before the indicated input conditions were established.
 * This configuration is nonstable; that is, it will not persist when preset and clear inputs return to their inactive (high) level.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
 ‡ All typical values are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.
 * Not more than one output should be spotted at a time.
 † t_{PLH} = propagation delay time, low-to-high-level output.
 ‡ t_{PHL} = propagation delay time, high-to-low-level output.
 § The arrow indicate the edge of the clock pulse used for reference: † for the rising edge.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5485/7485 4-Bit Magnitude Comparator

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL			
	Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package	
	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF
T.I.	SN54S85	J	J	W		SN54LS85	J	J	W		SN54S85	J	J	W		SN54LS85	J	J	W	
FAIRCHILD	SN74S85	J	J	W		SN74LS85	J	J	W		SN74S85	J	J	W		SN74LS85	J	J	W	
MOTOROLA																				
N.S.C.						DM54LS85					DM74LS85					DM54LS85	J	J	W	F2
PHILIPS	N74S85					N74LS85					N74S85					N74LS85	J	J	W	F2
SIGNETICS	N74S85					N74LS85					N74S85					N74LS85	J	J	W	F2
SIEMENS											FLH431									
FUJITSU						74LS85					MB448									
HITACHI						HD74LS85					HD7485									
MTSUBISHI	M74S85					M74LS85					M53285									
NEC											μPB2085									
TOSHIBA																				

Electrical Characteristics SN54LS85/SN74LS85

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V _{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	7V	Storage temperature range	SN74LS	0°C to 70°C
Interemitter voltage (see Note)	5.5V	Storage temperature range		-65°C to 150°C

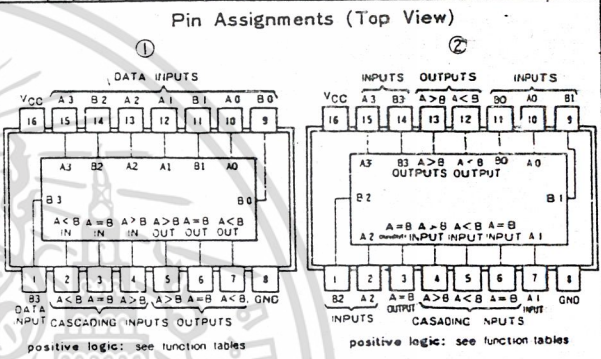
recommended operating conditions

	SN54LS85			SN74LS85			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V _{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I _{OH}			-400			-400	mA
Low-level output current, I _{OL}			4			8	mA
Operating free-temperature, T _A	-55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER*	TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT	
V _{IH} High-level input voltage			2		V	
V _{IL} Low-level input voltage			0.8		V	
V _I Input clamp voltage	V _{CC} = MIN, I _I = -18mA		-1.5		V	
V _{OH} High-level output voltage	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2V, V _{IL} = 0.8V, I _{OH} = -400μA	2.7	3.4		V	
V _{OL} Low-level output voltage	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2V, V _{IL} = 0.8V, I _{OL} = 4mA		0.25	0.4	V	
I _I Input current at maximum input voltage	V _{CC} = MAX, V _I = 7V		0.1		mA	
I _{IH} High-level input current	V _{CC} = MAX, V _I = 2.7V		20		μA	
I _{IL} Low-level input current	V _{CC} = MAX, V _I = 0.4V		-0.4		mA	
I _{OS} Short-circuit output current*	V _{CC} = MAX, V _O = 0	SN54LS85	-20	-100	μA	
		SN74LS85	20	100	μA	
I _{CC} Supply current	V _{CC} = MAX, See Note		10	4	20	μA
t _{PLH} from Any A or B data input to output A (B, A)B	NUMBER	1	14		ns	
		2	19			
		3	24	36		
t _{PHL} from Any A or B data input to output A(B, A)B	NUMBER	1	11		ns	
		2	15			
		3	20	30		
t _{PLH} from A (B) or A = B		1	14	22	ns	
t _{PHL} to output A(B)		1	11	17	ns	
t _{PLH} from A = B		2	13	20	ns	
t _{PHL} to output A = B		2	13	26	ns	
t _{PLH} from A > B or A = B		1	14	22	ns	
t _{PHL} to output A < B		1	11	17	ns	

NOTE: I_{CC} is measured with outputs open, A = B grounded, and all other inputs at 4.5V



Function Table

COMPARING INPUTS				CASCADING INPUTS			OUTPUTS		
A3, B3	A2, B2	A1, B1	A0, B0	A > B	A < B	A = B	A > B	A < B	A = B
A3 > B3	X	X	X	X	X	X	H	L	L
A3 < B3	X	X	X	X	X	X	L	H	L
A3 = B3	A2 > B2	X	X	X	X	X	H	L	L
A3 = B3	A2 < B2	X	X	X	X	X	L	H	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 > B1	X	X	X	X	H	L	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 < B1	X	X	X	X	L	H	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 > B0	X	X	X	H	L	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 < B0	X	X	X	L	H	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	H	L	L	H	L	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	L	H	L	L	H	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	L	L	H	L	L	H

LS85 LS85 LS85

A3, B3	A2, B2	A1, B1	A0, B0	A > B	A < B	A = B	A > B	A < B	A = B
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	X	X	H	L	L	H
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	H	H	L	L	L	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	L	L	L	H	H	L

LS85

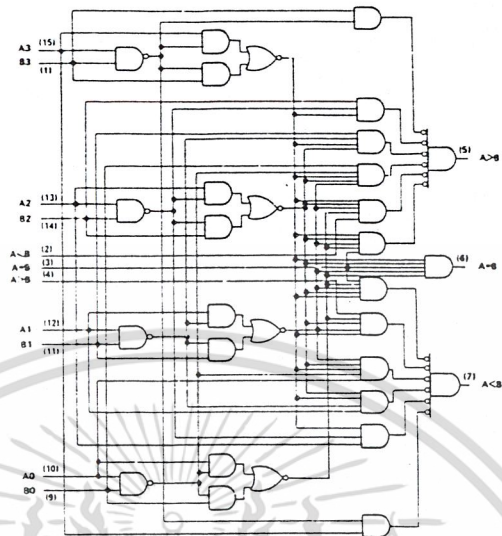
A3, B3	A2, B2	A1, B1	A0, B0	A > B	A < B	A = B	A > B	A < B	A = B
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	L	H	H	L	H	H
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	H	L	H	H	L	H
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	H	H	H	H	H	H
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	H	H	L	H	H	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	L	L	L	L	L	L

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions for the applicable type.
 ‡ All typical values are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.
 * Not more than one output should be shorted at a time.
 t_{PLH} = propagation delay time, low-to-high-level output.
 t_{PHL} = propagation delay time, high-to-low-level output.

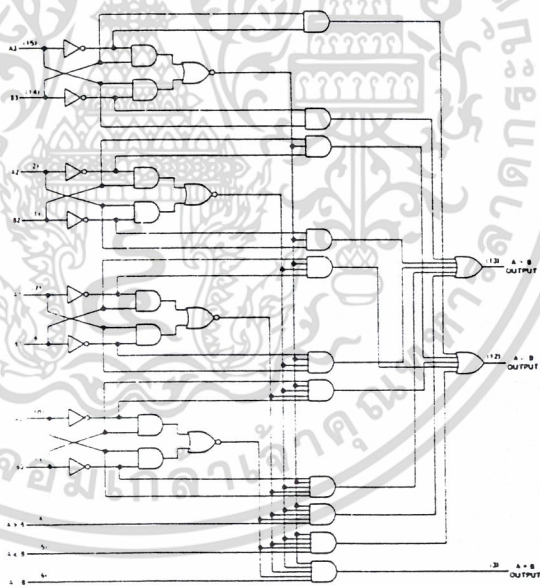
CONTINUED ON NEXT PAGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Block Diagrams



7485, 'S85, 'LS85, 'LS85 4-BIT MAGNITUDE COMPARATOR



'LS85 4-BIT MAGNITUDE COMPARATOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5486 / 7486 Quadruple 2-Input Exclusive-OR Gate

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL			
	Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package		
		C	P	M		C	P	M		C	P	M		C	P	M		C	P	M
T.I.	SN54S86	J	11	W				SN54LS86	J	11	W	SN5486	J	11	W	SN54LS86	J	11	W	
FAIRCHILD	SN74S86	J	11	W				SN74LS86	J	11	W	SN7486	J	11	W					
MOTOROLA	DM74S86	J	11	W				DM74LS86	J	11	W	DM7486	J	11	W					
N.S.C.	DM74S86	J	11	W				DM74LS86	J	11	W	DM7486	J	11	W					
PHILIPS	N74S86	J	11	W				N74LS86	J	11	W	FJH27V7486	J	11	W					
SIGNETICS	S4586	J	11	W				N74LS86	J	11	W	S486	J	11	W					
SIEMENS												FLH341	J	11	W					
FUJITSU								74LS86	J	11	W	MB449	J	11	W					
HITACHI	HD74S86	J	11	W				HD74LS86	J	11	W	HD7486/HD2526	J	11	W					
MSUBISHI								M74LS86	J	11	W	M53286	J	11	W					
NEC								74LS86	J	11	W	PB2086	J	11	W					
TOSHIBA												TD7486	J	11	W					

Electrical Characteristics SN54LS86/SN74LS86

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V _{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	7V		SN74LS	0°C to 70°C
		Storage temperature range		-65°C to 150°C

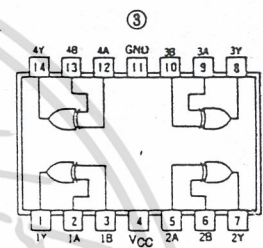
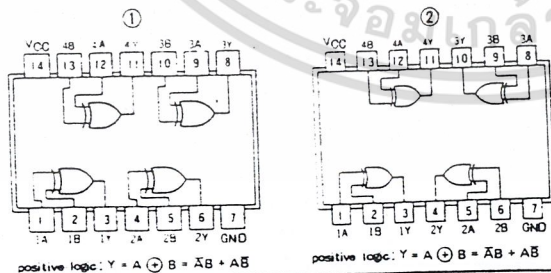
recommended operating conditions

	SN54LS86			SN74LS86			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V _{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I _{OH}			-800			-800	μA
Low-level output current, I _{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature, T _A	-55	125	0	70			°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER	TEST CONDITIONS	SN74LS86		UNIT
		MIN	TYP	
V _{IH}	High-level input voltage		2	V
V _{IL}	Low-level input voltage		0.8	V
V _I	Input clamp voltage	V _{CC} = MIN, I _I = -18mA		-1.5
V _{OH}	High-level output voltage	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2V, V _{IL} = V _{IL} max, I _{OH} = -400μA	2.7	3.4
V _{OL}	Low-level output voltage	V _{CC} = MIN, I _{OL} = 4mA	0.25	0.4
I _I	Input current at maximum input voltage	V _{IH} = 2V, V _{IL} = V _{IL} max	0.35	0.5
I _{IH}	High-level input current	V _{CC} = MAX, V _I = 7V		0.2
I _{IL}	Low-level input current	V _{CC} = MAX, V _I = 0.4V		40
I _{OS}	Short-circuit output current	V _{CC} = MAX, V _O = 0.4V		-0.8
I _{CC}	Supply current	V _{CC} = MAX, See Note 2		5.1
t _P	from A or B	V _{CC} = 5V, T _A = 25°C		12
t _{PHL}	input			10
t _{PLH}	from A or B	C _L = 150pF, R _L = 2kΩ		20
t _{PL}	input			13

Pin Assignments (Top View)



positive logic: Y = A ⊕ B = AB̄ + ĀB

Function Table

INPUTS		OUTPUT
A	B	Y
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	L

H = High-level L = Low-level

NOTE: I_{CC} is measured with the inputs grounded and the outputs open.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions for the applicable type.
 ‡ All typical values are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.
 * Not more than one output should be shorted at a time.
 † t_{PLH} - propagation delay time, low-to-high-level output
 ‡ t_{PHL} - propagation delay time, high-to-low-level output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

54164/74164 8-Parallel-Out Serial Shift Register

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL			
	Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package	
			C	P			M	CF			C	P			M	CF			C	P
T.I.																				
FAIRCHILD																				
MOTOROLA																				
N.S.C.																				
PHILIPS																				
SIGNETICS																				
SIEMENS																				
FUJITSU																				
HITACHI																				
mitsubishi																				
NEC																				
TOSHIBA																				
AMD																				

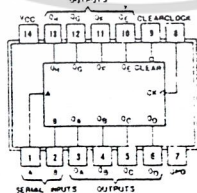
Electrical Characteristics SN54LS164/SN74LS164

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range						
Supply voltage, V_{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54	-55°C to 125°C		
Input voltage	7V	temperature range	SN74	0°C to 70°C		
		Storage temperature range		-65°C to 150°C		
recommended operating conditions						
	SN54LS164		SN74LS164		UNIT	
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25
High-level output current, I_{OH}			-400			-400
Low-level output current, I_{OL}			4			8
Clock frequency, f_{clock}	0		25	0		25
Width of clock or clear input pulse, t_w	20			20		
Data setup time, t_{setup}	15			15		
Data hold time, t_{hold}	5			5		
Operating free-air temperature, T_A	-55		125	0		70

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER	TEST CONDITIONS †	MIN	TYP ‡	MAX	UNIT
V_{IH}	High-level input voltage		2		V
V_{IL}	Low-level input voltage		0.8		V
V_I	Input clamp voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$		-1.5	V
V_{OH}	High-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$ $V_{IL} = 0.8V$ $I_{OH} = -400\mu A$	2.7	3.5	V
V_{OL}	Low-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$ $V_{IH} = 2V$ $V_{IL} = 0.8V$ $I_{OL} = 8mA$	0.35	0.5	V
I_I	Input current maximum input voltage	$V_{CC} = \text{MAX.}$ $V_I = 7V$		0.1	mA
I_{IH}	High-level input current	$V_{CC} = \text{MAX.}$ $V_I = 2.7V$		20	μA
I_{IL}	Low-level input current	$V_{CC} = \text{MAX.}$ $V_I = 0.4V$		0.4	mA
I_{OS}	Short-circuit output current †	$V_{CC} = \text{MAX.}$	SN54LS -20	00	mA
			SN74LS -20	00	
I_{CC}	Supply current	$V_{CC} = \text{MAX.}$ See Note 1	16	27	mA
f_{max}	Maximum clock frequency	$V_{CC} = 5V$ $C_L = 150pF$	25	36	MHz
t_{PHL}	Propagation delay time, high-to-low level 0 outputs from clear input	$V_{CC} = 5V$ $T_A = 25^\circ C$ $R_L = 2k\Omega$		24	36
t_{PLH}	Propagation delay time, low-to-high level 0 outputs from clock input			17	27
t_{PHL}	Propagation delay time, high-to-low level 0 outputs from clock input			21	32

Pin Assignment (Top View)



positive logic: see function table

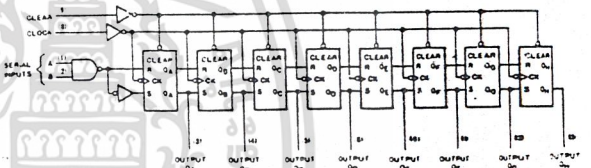
† For conditions shown at MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions for the applicable device type.
‡ All typical values are at $V_{CC} = 5V$, $T_A = 25^\circ C$.
* Not more than two outputs should be shorted at a time.

Function Table

'164, LS164, L164 (see Note 2)

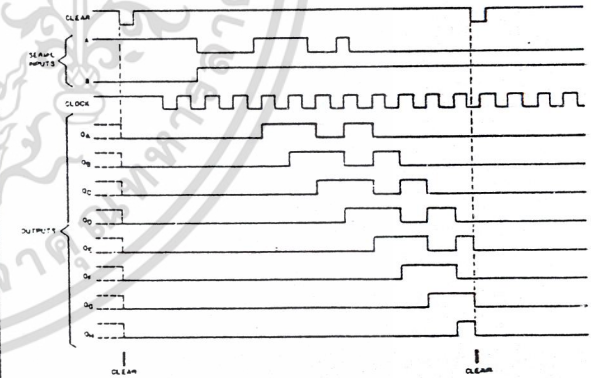
CLEAS	INPUTS				OUTPUTS			
	CLOCK	A	B		QA	QB	...	QH
L	X	X	X		L	L		L
L	X	X	X	0	QA0	QB0		QH0
H	↑	H	H	H	QA _n	QB _n		QH _n
H	↑	L	X	L	QA _n	QB _n		QH _n
H	↑	X	L	L	QA _n	QB _n		QH _n

Functional Block Diagram



164, LS164, L164 8-BIT PARALLEL-OUT SHIFT REGISTER

typical clear, shift and clear sequences



NOTES: 1. I_{CC} is measured with outputs open, serial inputs grounded, and a momentary ground, then 4.5V, applied to clear.
2. H = high level (steady state), L = Low-level (steady state)
X = irrelevant (any input, including transitions)
↑ = transition from low to high level.
QA₀, QB₀, QH₀ = the level of QA, QB, or QH, respectively, before the indicated steady-state input conditions were established.
QA_n, QB_n = the level of QA or QB before the most-recent transition of the clock; indicates a one-bit shift.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

54165/74165 Parallel-Load 9-Bit Shift Register

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL								
	Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package						
	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF					
T.I.									SN54LS165	J	D			SN54165	J	D									
FAIRCHILD									SN74LS165	J	D	N	D	FM54165/FM93165	D	D									
MOTOROLA													MC74165		P	D									
N.S.C.													DM74165		N	D			DM54165A	J	D	N	D	F	D
PHILIPS													N74165		D										
SIGNETICS													S54165		F	D	B	D							
SIGNETICS													N74165		F	D	B	D							
SIEMENS													FLJ451		D										
FUJITSU																									
HITACHI																									
MITSUBISHI													MS3365		P	D									
NEC																									
TOSHIBA																									

Electrical Characteristics NS54LS165/SN74LS165

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range			
Supply voltage, V _{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS -55°C to 125°C
Input voltage	7V		SN74LS 0°C to 70°C
		Storage temperature range	-65°C to 150°C

recommended operating conditions

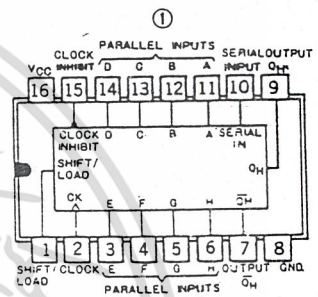
	SN54LS165			SN74LS165			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V _{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I _{OH}			400			400	μA
Low-level output current, I _{OL}			4			8	mA
Clock frequency, f _{clock}	0		20	0		20	MHz
Width of clock input pulse, t _w (clock)			25			25	ns
Width of load input pulse, t _w (load)			15			15	ns
Clock-to-output delay time, t _{clock-to-Q}			30			30	ns
Parallel input setup time, t _{setup}			10			10	ns
Serial input setup time, t _{setup}			20			20	ns
Shift setup time, t _{setup}			45			45	ns
Hold time at any input, t _{hold}			0			0	ns
Operating free-air temperature, T _A			-55			125	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER*	TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
V _{IH} High-level input voltage			2		V
V _{IL} Low-level input voltage				0.8	V
V _I Input clamp voltage	V _{CC} - MIN, I _I = -18 mA			-1.5	V
V _{OH} High-level output voltage	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2V, V _{IL} = 0.8V, I _{OH} = -400 μA	2.7	3.5		V
V _{OL} Low-level output voltage	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2V, V _{IL} = 0.8V, I _{OL} = 8 mA	0.35	0.5		V
I _I Input current at maximum input voltage	SHIFT, load input; Other inputs			0.3	mA
I _{IH} High-level input current	V _{CC} = MAX, V _I = 2.7V			20	μA
I _{IL} Low-level input current	V _{CC} = MAX, V _I = 0.4V			-1.2	mA
I _{CS} Shift control current	V _{CC} = MAX	SN54LS -20		-100	mA
I _{CC} Supply current	V _{CC} = MAX, See Note 2	SN74LS 20		-100	mA
f _{max} Maximum clock frequency		25	35		MHz
t _{PLH} Propagation delay time, low-to-high	V _{CC} = 5V, T _A = 25°C, C _L = 15 pF, R _L = 2kΩ		22	35	ns
t _{PLH} Propagation delay time, low-to-high			27	40	ns
t _{PLH} Propagation delay time, low-to-high			28	40	ns
t _{PLH} Propagation delay time, low-to-high			19	25	ns
t _{PLH} Propagation delay time, low-to-high			21	30	ns
t _{PLH} Propagation delay time, low-to-high			21	30	ns
t _{PLH} Propagation delay time, low-to-high			16	25	ns

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value under recommended operating conditions for the applicable device type.
 ‡ All typical values are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.
 * Not more than one output should be shorted at a time.
 † t_{PLH} = Propagation delay time, low-to-high-level output
 ‡ t_{PHL} = Propagation delay time, high-to-low-level output

Pin Assignment (Top View)



positive logic:

Function Table

165 (see Note 3)

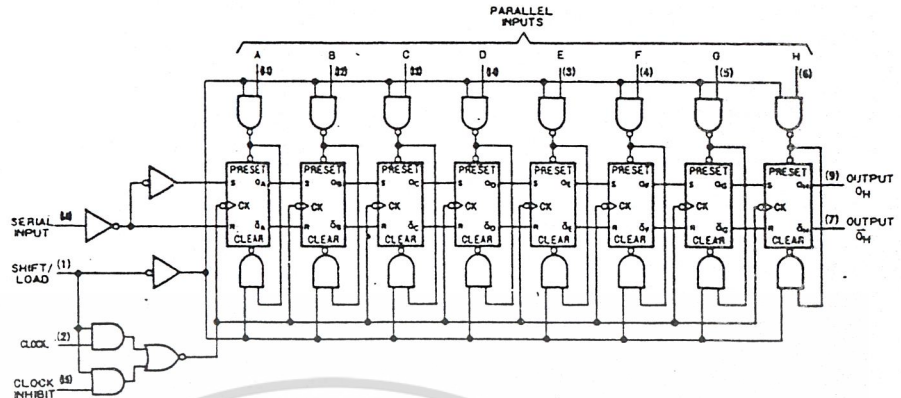
SHIFT/LOAD	CLOCK INHIBIT	INPUTS				INTERNAL OUTPUTS		OUTPUT Q _n
		CLOCK	SERIAL	PARALLEL A...H		Q _A	Q _B	
L	X	X	X	a...h		a	b	h
H	L	L	X	X	X	Q _{A0}	Q _{B0}	Q _{H0}
H	L	↑	L	X	X	H	Q _{An}	Q _{Gn}
H	L	↑	H	X	X	L	Q _{An}	Q _{Gn}
H	H	↑	X	X	X	Q _{A0}	Q _{B0}	Q _{H0}

NOTES: 1. This is the voltage between two emitters of a multiple-emitter transistor. For this circuit, this rating applies to the shift/load input in conjunction with the clock or clock-inhibit inputs.
 2. With the outputs open, clock inhibit and shift/load at 4.5V, and a clock pulse applied to the clock input, I_{CC} is measured first with the parallel inputs at 4.5V, then with the parallel inputs grounded.
 3. H = high level (steady state), L = low level (steady state)
 X = irrelevant (any input, including transitions)
 ↑ = transition from low to high level
 a...h = the level of steady-state input at inputs A thru H, respectively.
 Q_{A0}, Q_{B0}, Q_{H0} = the level of Q_A, Q_B, or Q_H, respectively, before the indicated steady-state input conditions were established.
 Q_{An}, Q_{Gn} = the level of Q_A or Q_G, respectively, before the most recent ↑ transition of the clock.

CONTINUED ON NEXT PAGE.

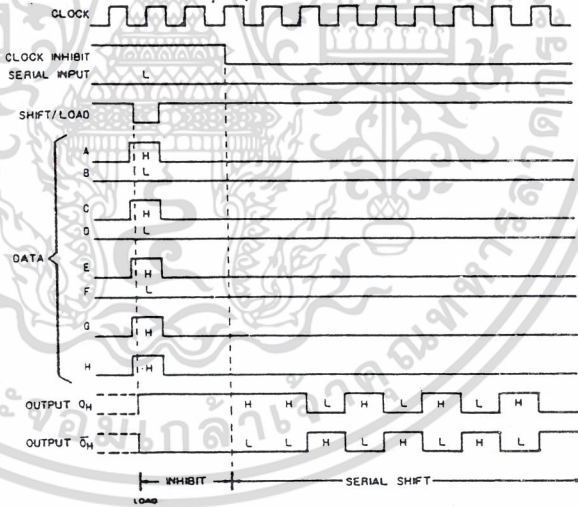
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Block diagram



74165 PARALLEL-LOAD 8-BIT SHIFT REGISTER

typical shift, and load, inhibit sequences



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. “ การสื่อสารด้วยแสง “ , รศ.ดร. วิวัฒน์ กิรานนท์ , พื้นฐานการสื่อสาร , วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ , 2538 พิมพ์ครั้งที่ 3 หน้า 131-144
2. Optical Fiber Communication Principles and Practice , Prentice Hall John M . Senior , 2nd ed , pp613-618
3. Digital Communication , John G. Proakis , Mcgraw-Hill , 2nd ed , pp90-98
4. “ Light Sources ” , “ Transmitter ” & “ Receiver ” Understanding Fiber Optic , Jeff Hecht , 1993 by Sams Publishing Second Edition , pp100-159
5. “ Basic Principles of Fiber Opticals ” , Fiber Optics Communication Experiments and Project , Waldo T. Boyd , 1986 by Howard W. Sams & Co., USA , pp22-27



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package	Device Type	Processor	Device Type	Processor	Device Type	Processor	Device Type	Processor
...

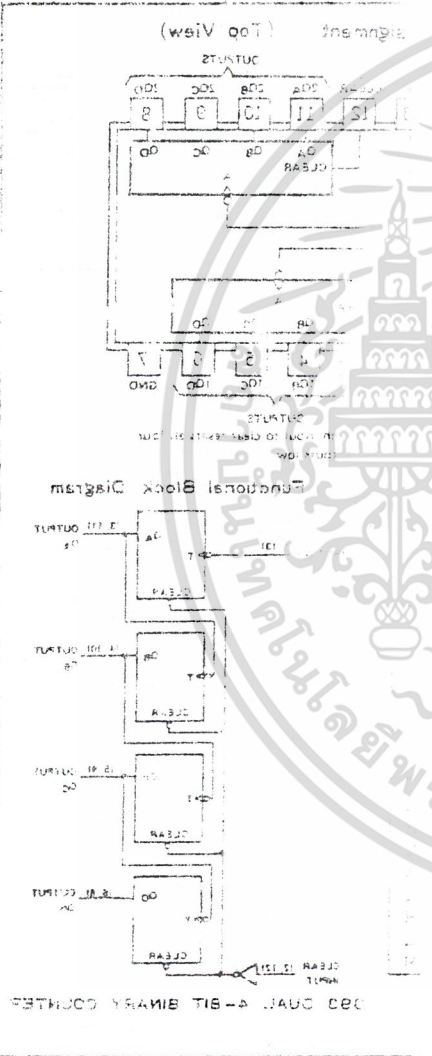


Figure 1: Bus Structure Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

