

การสื่อสารข้อมูลผ่านเส้นใยแสง

DATA COMMUNICATION BY USING OPTICAL FIBER



โดย

นาย เอกรัฐ

อ่อนลมุล

40011037

นาย เอกราช

ภัทรเวสสกุล

40011038

เลขที่.....
เลขทะเบียน... 42174
วัน, เดือน, ปี 14 พ.ศ. 2545

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสื่อสารข้อมูลผ่านเส้นใยแสง
DATA COMMUNICATION BY USING OPTICAL FIBER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใดๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การสื่อสารข้อมูลผ่านเส้นใยแสง

DATA COMMUNICATION BY USING OPTICAL FIBER

ผู้จัดทำ

1. นายเอกรัฐ อ่อนลมุด 40011037
2. นายเอกราช กัทรเวตสกูล 40011038

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ.พิเชฐ ม่วงนวล)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสื่อสารข้อมูลผ่านเส้นใยแสง

DATA COMMUNICATION BY USING OPTICAL FIBER

โดย นาย เอกรัฐ อ่อนลมุล 40011037

นาย เอกราช ภัทรเวสสกุล 40011038

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.พิเชฐ ม่วงนวล

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการเสนอเกี่ยวกับการส่งข้อมูลพร้อม ๆ กัน 8 ช่องสัญญาณโดยใช้ระบบมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (Time Division Multiplex) ข้อมูลที่ทำการมัลติเพล็กซ์เรียบร้อยแล้วจะผ่านตัวกลางที่เป็นเส้นใยแสง ทางด้านรับจะทำการดีมัลติเพล็กซ์เอาข้อมูลของช่องต่าง ๆ ออกมา วิธีการดังกล่าวนี้เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการสื่อสารสมัยใหม่ที่ต้องการความถูกต้องของสัญญาณสูง เนื่องจากการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแสงนั้นมีประสิทธิภาพสูงกว่าลวดทองแดง เพราะสามารถหลีกเลี่ยงการรบกวนจากสนามไฟฟ้าที่เกิดจากเครื่องมือหรืออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า อันจะเป็นสาเหตุให้ข้อมูลที่ด้านรับเกิดการผิดพลาดได้

ABSTRACT

This project presents the transmission of the message on eight channels simultaneously by Time Division Multiplex. The multiplexing message will be converted through the Fiber Optics media. Next, the receiver will de-multiplex the message from all the channels. The methodology is very applicable to be used in the modern communication that high reliable signal is necessary, in the reason of transmission by fiber optic line is more efficiently than coaxial line because of avoiding the static of the magnetic from the electrical equipment or any appliance, for example, motor which could causes an inaccurate message to the destination.

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1	
บทนำ	1
บทที่ 2	
ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 สายเคเบิลใยแก้ว	2
2.1.1 ประวัติความเป็นมาของการสื่อสารเส้นใยแสงโดยสังเขป	2
2.1.2 ลักษณะของเส้นใยแสง	2
2.1.3 ส่วนประกอบของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง	3
2.1.4 คุณสมบัติพิเศษของเส้นใยแสง	3
2.1.5 ชนิดของเส้นใยนำแสง	4
2.1.6 การสูญเสียแสงในเส้นใยแสง	9
2.2 ตัวกำเนิดแสง (Light Source)	13
2.2.1 Light Emitting Diodes (LEDs)	15
2.2.2 เลเซอร์ไดโอด (Laser Diode)	19
2.3 LIGHT DETECTOR	22
2.3.1 โฟโอดีไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำ	22
2.3.2 โฟโอดีไดโอด (PIN photodiode)	23
บทที่ 3	
การคำนวณและการสร้าง	27
3.1 การออกแบบภาคส่ง	27
3.1.1 ฟังก์ชันการทำงานของภาคส่งทางด้านไฟฟ้า	28
3.1.2 การทำงานภาคส่งไฟเบอร์ออฟติก	33
3.2 การออกแบบวงจรภาครับ	35
3.2.1 ภาครับทางด้าน ไฟเบอร์ออฟติก	35
3.2.2 ภาครับสัญญาณไฟฟ้า	36
บทที่ 4	
การทดลองและผลการทดลอง	45
4.1 การทดลองส่วนของวงจรภาคส่งสัญญาณทางไฟฟ้า	45
4.2 การทดลองภาคส่งและรับสัญญาณแสง	45
4.3 การทดลองส่วนของวงจรภาครับสัญญาณทางไฟฟ้า	45
4.4 ผลการทดลองของวงจรส่วนต่างๆ	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ปัญหาที่พบในการทดลอง	58
บทที่ 5	
บทวิจารณ์และสรุปผลการทดลอง	59
5.1 สรุปผลการทดลอง	59
5.2 บทวิจารณ์	59

ภาคผนวก

หนังสืออ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

บทที่ 2

รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง	3
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างทั่วไปแบบ multimode step index	4
รูปที่ 2.3 แสดงถึงสเปกตรัมของการลดทอนของเส้นใยนำแสง	5
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงแบบ glass multimode grades index	6
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงแบบ silica single mode step index	7
รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างทั่วไปของเส้นใยนำแสงแบบ PCS fiber	8
รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างโดยทั่วไปของ All – plastic fiber	9
รูปที่ 2.8 แสดงสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสียของแสง	10
รูปที่ 2.9 แสดงคุณสมบัติการสูญเสียของแสงจากการดูดแสงของเส้นใยแสงที่ทำด้วยแก้ว	11
รูปที่ 2.10 แสดงสาเหตุต่าง ๆ ของการสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแสง	13
รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างเพาเวอร์และกระแสไฟฟ้า	16
รูปที่ 2.12 แสดง Digital modulation ของ LED	17
รูปที่ 2.13 แสดง Analog modulation ของ LED	17
รูปที่ 2.14 แสดง Variation of ac optic power with modulation frequency	18
รูปที่ 2.15 แสดง rise time ของแหล่งกำเนิดแสง	19
รูปที่ 2.16 (1) แสดงคุณลักษณะของค่าเพาเวอร์ทางด้านแสงเอาต์พุตกับกระแสอินพุต (2) แสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันเลเซอร์ไดโอด	20 20
รูปที่ 2.17 แสดง Digital modulation ของเลเซอร์ไดโอด	20
รูปที่ 2.18 แสดง Analog modulation ของเลเซอร์ไดโอด	21
รูปที่ 2.19 แสดง Photodetector rise time	22
รูปที่ 2.20 แสดงถึงกลไกการตรวจจับแสงของตัวตรวจจับแบบรอยต่อ	23
รูปที่ 2.21 แสดง PIN photodiode	24
รูปที่ 2.22 แสดงผลการตอบสนองของสเปกตรัมของ Silicon และ InGaAs	25
รูปที่ 2.23 (a) แสดงวงจรพื้นฐานของ PIN ไดโอด (b) แสดงการวิเคราะห์ด้วยกราฟของวงจร	26 26

บทที่ 3

รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรม ภาคส่ง	27
รูปที่ 3.2 ผังการทำงานของภาคส่งทางด้านไฟฟ้า	28
รูปที่ 3.3 วงจรเข้ารหัสสัญญาณ PCM และมัลติเพล็กซ์	29

รูปที่ 3.4 วงจรเข้ารหัส	30
รูปที่ 3.5 สัญญาณที่จุดต่าง ๆ ของวงจรเข้ารหัส	31
รูปที่ 3.6 วงจรสร้างสัญญาณคลิก	32
รูปที่ 3.7 วงจรจัดช่องสัญญาณ	32
รูปที่ 3.8 แสดง Timing Diagram ของวงจรจัดช่องสัญญาณ	33
รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรม ภาคส่งไฟเบอร์ออฟติก	34
รูปที่ 3.10 วงจรส่งไฟเบอร์ออฟติก	34
รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรม ภาครับไฟเบอร์ออฟติก	35
รูปที่ 3.12 วงจรภาครับไฟเบอร์ออฟติก	35
รูปที่ 3.13 บล็อกไดอะแกรมภาครับสัญญาณไฟฟ้า	36
รูปที่ 3.14 ส่วนของวงจร Monostable Multivibrator	37
รูปที่ 3.15 Timing Diagram แสดงการทำงานของวงจร Monostable Multivibrator	37
รูปที่ 3.16 บล็อกไดอะแกรม ส่วนของ Phase Locked Loop	38
รูปที่ 3.17 ส่วนของวงจร Phase Lock Loop	38
รูปที่ 3.18 Timing Diagram แสดงการทำงานของวงจร Phase Locked Loop	39
รูปที่ 3.19 วงจร Low Pass Filter	39
รูปที่ 3.20 แสดงการทำงานของ Data & Sync Separator	40
รูปที่ 3.21 แสดง Timing Diagram ของวงจรแยกสัญญาณซิงค์	41
รูปที่ 3.22 วงจรแยกสัญญาณซิงค์	42
รูปที่ 3.23 แสดงแผนผังการทำงานของวงจร SIPO & Channel Assignment	42
รูปที่ 3.24 แสดง Timing Diagram ของวงจรจัดช่องสัญญาณด้านรับ	43
รูปที่ 3.25 วงจรรวมทางด้านรับ	44
บทที่ 4	
รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรสร้างสัญญาณ คลิก	47
รูปที่ 4.2 สัญญาณที่วัดที่ CH0 และ CH1 ของวงจรจัดช่องสัญญาณ	48
รูปที่ 4.3 สัญญาณคลิก เมื่อเปรียบเทียบกับ สัญญาณจากวงจรจัดช่องสัญญาณ	49
รูปที่ 4.4 แสดงเอาต์พุตของ CH ₀ ที่เป็น NRZ เปรียบเทียบกับ เอาต์พุตของ CH ₀ ที่เปลี่ยนเป็น RZ และมีการเพิ่มบิตซิงค์แล้ว	50
รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณเอาต์พุตเปรียบเทียบกับเวลาในการจัดช่องสัญญาณของแซแนลศูนย์	51
รูปที่ 4.6 ผลจากการทดลองการทำงานของวงจร Monostable Multivibrator	52
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างสัญญาณอินพุตกับคลิกของภาค Clock Recovery	53
รูปที่ 4.8 ผลจากการทดลองแสดงการทำงานของภาค Data & Sync Separator	54
รูปที่ 4.9 ผลจากการทดลองแสดงการทำงานของส่วน Channel Assignment	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณต่างๆ ของส่วนจัดช่องสัญญาณ	56
รูปที่ 4.11 แสดงการจัดวางแผงวงจรภายในเครื่องส่ง	57
รูปที่ 4.12 แสดงการจัดวางแผงวงจรภายในเครื่องรับ	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
บทที่ 2	
ตารางที่ 2.1 แสดงวัสดุที่ใช้ทำ Emitter ความยาวคลื่นและแถบพลังงานช่องว่างโดยประมาณ	16
ตารางที่ 2.2 แสดงคุณลักษณะของแหล่งกำเนิดแบบสารกึ่งตัวนำ	21
ตารางที่ 2.3 แสดงการสรุปพิสัยที่ใช้งานของวัสดุ PIN photodiode ที่นิยมใช้กันมากที่สุด	24
ตารางที่ 2.4 แสดงพารามิเตอร์ที่สำคัญของ Photodiode	26



บทที่ 1

บทนำ

ความเจริญก้าวหน้าทางธุรกิจและการขยายตัวทางสังคมในปัจจุบันทำให้มีความต้องการในการแลกเปลี่ยนข่าวสารและข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้เทคโนโลยีการสื่อสารได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องหนึ่งในจำนวนนั้นก็คือการพัฒนาระบบการสื่อสารที่ใช้เส้นใยแสงเพื่อนำมาทดแทนการใช้สายเคเบิลที่ทำจากโลหะด้วยเหตุผลที่ว่าเส้นใยแสงมีข้อดีหลายๆอย่าง เช่น ไม่มีผลต่อการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า มีการสูญเสียในสายน้อย มีแถบความถี่กว้าง น้ำหนักเบา มีความสะดวกในการก่อสร้างวางสาย การบำรุงรักษา และสามารถลดจำนวนสถานีทวนสัญญาณได้มากขึ้น

ดังนั้น โครงการนี้จึงได้นำเส้นใยแสงมาใช้ประโยชน์ในการส่งสัญญาณ โดยข้อมูลที่ส่งเป็นสัญญาณ อนาล็อกที่ได้จากตัวเซ็นเซอร์ต่างๆ 8 แหล่งด้วยกันแล้วทำการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัลก่อน โดยใช้เทคนิคของพัลส์โค้ดมอดูเลชัน เมื่อได้สัญญาณรหัสดิจิทัลแล้วก็ทำการมัลติเพล็กซ์สัญญาณดิจิทัลทั้ง 8 แหล่ง โดยใช้เทคนิคมัลติเพล็กซ์แบบ TDM เมื่อผ่านการมัลติเพล็กซ์แล้วสัญญาณแต่ละแขนแนจะถูกส่งเรียงกันออกมา จากนั้นทำการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง แล้วส่งไปในเส้นใยแสง ส่วนทางด้านรับจะทำการแปลงจากสัญญาณแสงกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้า แล้วทำการแยกแต่ละแขนแนออกมา

ด้วยเหตุนี้จึง ได้ออกแบบเครื่องรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแสงเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาโครงการด้านนี้ต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีหรือหลักการ

ในปัจจุบันนี้เราถือว่าเทคโนโลยีทางการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงได้มีบทบาทในชีวิตประจำวันของเรามากเนื่องจากคุณสมบัติที่พิเศษแตกต่างไปจากสายตัวนำชนิดอื่นสำหรับในบทนี้เพื่อเป็นการแสดงถึงความสำคัญของการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงจะกล่าวถึงประวัติ โครงสร้างและลักษณะพิเศษต่าง ๆ ของการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

2.1 สายเคเบิลใยแก้ว

2.1.1 ประวัติความเป็นมาของการสื่อสารเส้นใยแสงโดยสังเขป

การวิจัยเกี่ยวกับสายเคเบิลใยแก้วเพื่อที่จะทำการลดพลังงานที่สูญเสีย เริ่มจากการที่บริษัทโทรเลขและโทรศัพท์แห่งประเทศไทยได้เริ่มทดลองค้นคว้าในปี ค.ศ.1971 และหลังจากนั้น 1 ปีต่อมา บริษัท CORNING GLASS WORKS แห่งประเทศสหรัฐอเมริกาได้ผลิตสายใยแก้วที่มีการสูญเสียพลังงานในสาย 20dB/km ระยะแรกส่วนใหญ่การวิจัยมุ่งไปที่วัสดุแก้วที่มีส่วนประกอบหลายชนิดแต่ต่อมาก็ค่อย ๆ ลดน้อยลงและเปลี่ยนมาค้นคว้าวิจัยวัสดุแก้วที่มีส่วนประกอบของสาร silica

การลดการสูญเสียในสายใยแก้วเป็นสิ่งจำเป็นที่สุดซึ่งได้ค้นคว้าหามาอย่างมหาศาลจึงพบว่า การที่จะลดพลังงานที่สูญเสียในสายก็โดยการกำจัดสิ่งเจือปนต่าง ๆ ออกไปโดยทำให้สารนั้นมีความบริสุทธิ์พร้อมทั้งความเจริญก้าวหน้าในเทคนิคการผลิตและเทคนิคอื่น ๆ ในปี ค.ศ. 1976 การผลิตสายใยแก้วแบบมัลติโหมด ซึ่งมีการสูญเสียในสาย 0.5 dB/km ที่ความยาวคลื่น 1.2 μm ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดในขณะนั้น (ในปี ค.ศ.1979 สามารถคิดค้นและผลิตสายแบบซิงเกิลโหมดซึ่งมีพลังงานสูญเสียในสาย 0.2 dB/km ที่ความยาวคลื่น 1.55 μm) เทคนิคการผลิตสายเคเบิลใยแก้วได้ถูกนำมาผลิตสายเพื่อใช้งานจริง โดยเน้นการควบคุมพารามิเตอร์ ความแข็งแรงของสายพร้อมกับการลดพลังงานที่เสียไปในสาย

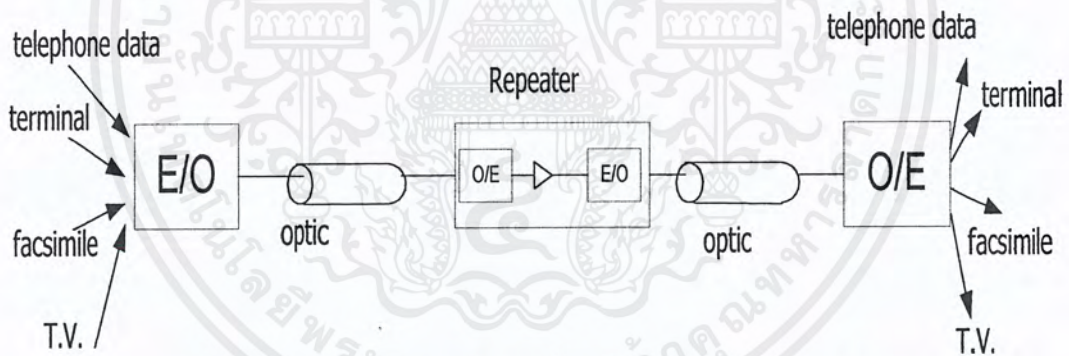
2.1.2 ลักษณะของเส้นใยแสง

เส้นใยแสง คือ เส้นใยขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำแสง โครงสร้างของเส้นใยประกอบด้วยส่วนที่แสงเดินทางผ่านเรียกว่า core และส่วนที่หุ้ม core อยู่เรียกว่า clad เป็นไดอิเล็กทริกใส 2 ชนิดโดยการทำให้อัตราหักเหของ clad มีค่าน้อยกว่าค่าดัชนีการหักเหของ core เล็กน้อยประมาณ 0.2~3% และอาศัยปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสงสามารถทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปใน core เดินทางไปได้ไกลจากนั้นเนื่องจากกล่าวกันว่าเส้นใยแสงมีขนาดเล็กมากเท่าเส้นผม นั้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกของ clad ซึ่งมีขนาดประมาณ 0.1 mm ส่วน core ที่แสงเดินทางผ่านนั้นมีขนาดเล็กลงไปอีกคือประมาณหลายเท่าจนถึงหลายสิบเท่าของความยาวคลื่นของแสงที่ใช้งาน ค่าต่าง ๆ เหล่านี้เป็นค่าที่กำหนดขึ้นจากคุณสมบัติการส่งและคุณสมบัติทางเมคานิกส์ที่ต้องการเส้นใยแสงนอกจากมีคุณสมบัติการส่งดีเยี่ยมแล้วยังมีลักษณะเด่นอย่างอื่นอีกเช่น ขนาดเล็กน้ำหนักเบาอีกด้วย

2.1.3 ส่วนประกอบของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงแสดงดังรูปที่ 2.1 โดยทั่วไปแล้วสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งจากอุปกรณ์ปลายทางต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์ เครื่องป้อนข้อมูล โทรสาร เป็นต้น จะถูกอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสงเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณนั้นคือ ความแรงของสัญญาณไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นความร้อนของแสง หรือ “1”, “0” ของสัญญาณไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นแสงที่สว่างมืดตามลำดับ แล้วส่งเข้าไปในเส้นใยแสงสัญญาณที่เดินทางในเส้นใยแสงนั้นกำลังของมันจะอ่อนลงเมื่อเดินทางในระยะที่เพิ่มขึ้นพร้อมทั้งรูปคลื่นก็ขยายกว้างออกไปด้วยเมื่อไปถึงอุปกรณ์เปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้าของทางด้านรับสัญญาณแสงที่ส่งมาจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าของโทรศัพท์ เครื่องป้อนข้อมูลโทรภาพและอื่น ๆ

หนึ่งอุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสงนั้นทำได้โดยใช้ตัวกำเนิดแสงได้แก่ LED, LASER – DIODE(LD) ส่วนอุปกรณ์เปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้านั้นทำได้โดยใช้ไดโอดแสง ทราบซิสเตอร์แสงนอกจากนี้กรณีที่ระยะทางของสายส่งยาวอาจจำเป็นต้องติดตั้งตัวทวนสัญญาณในระหว่างทางที่ส่งตัวทวนสัญญาณนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงที่เข้ามาให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าจากนั้นจึงทำการขยายแล้วเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณแสงอีกแล้วส่งเข้าไปในเส้นใยแสง



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

2.1.4 คุณสมบัติพิเศษของเส้นใยแสง

ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารที่ใช้สายเคเบิลทำด้วยโลหะแล้วมีข้อดีต่าง ๆ ที่เกิดจากคุณสมบัติของเส้นใยแสง อุปกรณ์กำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสงดังนี้

1. การสูญเสียของแสงต่ำ : เส้นใยแสงเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสายเคเบิลโลหะที่ทำด้วยลวดทองแดงเคเบิลแกนร่วมอย่างใดอย่างหนึ่งแล้วปรากฏว่ามีการสูญเสียต่ำกว่า
2. Band Width กว้าง : เส้นใยแสงมีแบนด์วิธกว้าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยแสงด้วยแต่ ถ้าพิจารณาเปรียบเทียบกับสายเคเบิลแกนร่วม แล้วสามารถส่งสัญญาณที่มีความถี่สูงได้ดีกว่ามาก
3. ขนาดเล็กและน้ำหนักเบา : เส้นใยแสงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวกลางชนิดอื่นที่ใช้ส่ง จะ

มีขนาดเล็ก เช่น เคเบิลใยแสงขนาด 18 เส้น เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสายเคเบิลแกนร่วมขนาด 18 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมือนกันแล้วปรากฏว่ามีพื้นที่หน้าตัดประมาณ $1/30$ มีน้ำหนักเป็น $1/20$ ดังนั้นถ้าหากเส้นใยแสงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกเท่ากับสายเคเบิลทำด้วยโลหะแล้ววนออกจะสามารถบรรจุเส้นใยแสงได้จำนวนมากกว่าแล้วยังให้ความสะดวกในการวางสายเคเบิลด้วยเพราะน้ำหนักเบา

4. ไม่มีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า : แก้วพวก silica และอื่น ๆ จะไม่ยอมให้ไฟฟ้าผ่านดังนั้นจึงไม่มีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกจึงมีข้อดีในการนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ ที่ต้องการความปลอดภัยจากการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า

5. สายใยแสงไม่เป็นสนิม จึงไม่เกิดการผุกร่อนเหมือนสายโลหะ

6. ช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติ : silica ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของเส้นใยแสงเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งทรัพยากรทองแดงที่สำคัญแล้วมีปัญหาไม่น้อยนอกจากนั้นยังมีข้อดีคือสามารถผลิตเส้นใยแสงได้ยาวมาก อย่างไรก็ตามสำหรับการสื่อสารผ่านสายใยแสงก็ยังมีข้อเสียเกิดขึ้นเช่นกัน คือ

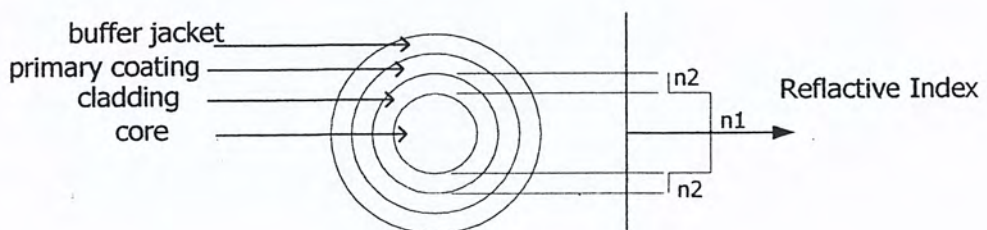
1. เส้นใยแสงแตกหักได้ง่าย
2. สายใยแสงต้องการการเชื่อมต่อที่มีความแน่นหนาถูกต้องสูงมาก
3. ยากแก่การคัปปลิง และการแยกสัญญาณ
4. ใช้ส่งกำลังงานไฟฟ้า สำหรับเลี้ยงระบบต่าง ๆ ไม่ได้

จากข้อเสียที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้จะไม่เป็นเรื่องสำคัญเลยเมื่อเปรียบเทียบกับข้อได้เปรียบของการสื่อสารด้วยแสงดังกล่าวมาแล้ว

2.1.5 ชนิดของเส้นใยนำแสง

1. Multimode Step Index Fiber

เป็นเส้นใยนำแสงที่ผลิตจากสารประกอบแก้วหลาย ๆ ชนิดหรือ silica ที่ผ่านการเจือสารเส้นใยนำแสงชนิดนี้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่และมีค่า numerical aperture ขนาคกว้างมาก ซึ่งจะช่วยให้สามารถทำการ เชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์กำเนิดแสงเช่น LED คุณสมบัติในการปฏิบัติของเส้นใยนำแสงประเภทนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุและวิธีการทำเส้นใยนำแสงแบบ doped silica นั้นจะมีคุณสมบัติดีกว่าแบบที่ผลิตจากสารประกอบแก้วหลาย ๆ ชนิด ในบางครั้งจะเรียกรวมทั้ง 2 ชนิดว่า glass-clad glass โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงแบบ glass multimode step index แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างทั่วไปแบบ multimode step index

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

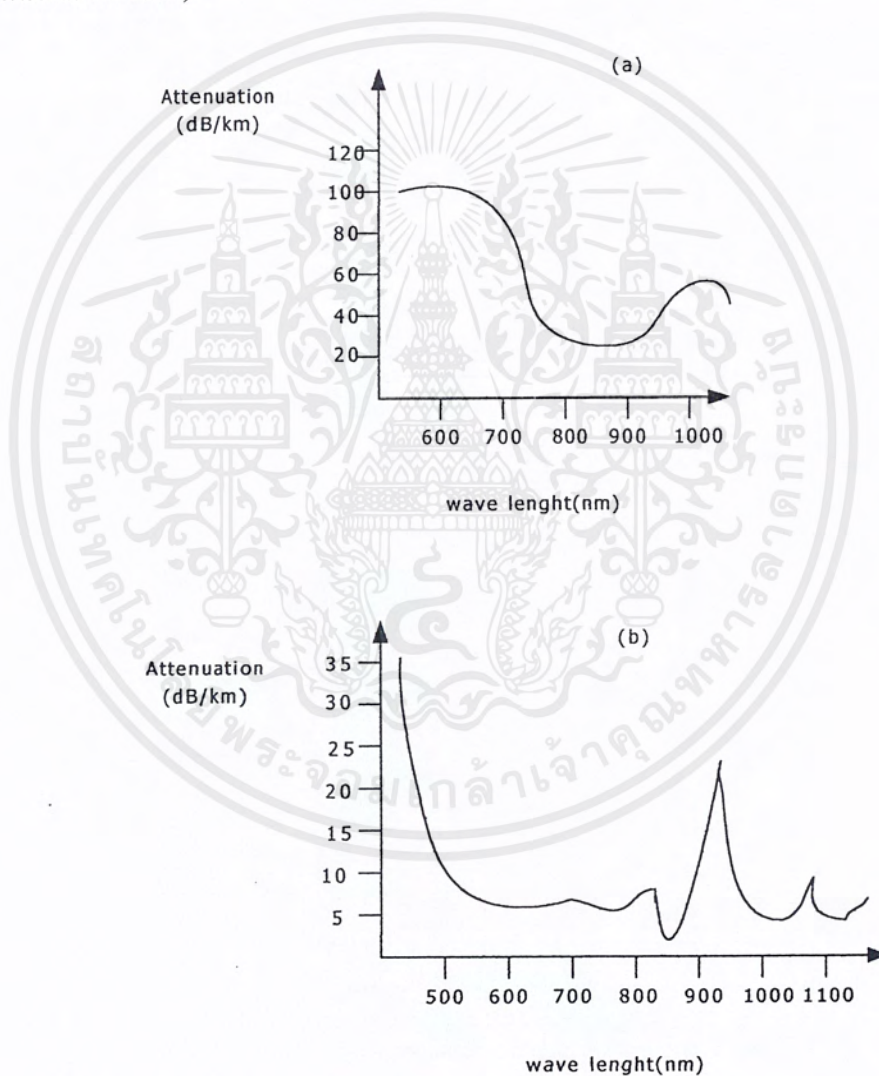
โครงสร้าง

เส้นผ่าศูนย์กลาง core 50 – 400 μm เส้นผ่าศูนย์กลาง cladding 125 – 500 μm เส้นผ่าศูนย์กลาง buffer jacket 250-1000 μm

Numerical Aperture 0.16-05

คุณลักษณะในทางปฏิบัติ

การลดทอน 4 dB/ 5 db/km จำกัด โดยค่า absorbtion หรือ scattering การเปลี่ยนแปลงของการลดทอนนี้เกิดขึ้น เนื่องจากความแตกต่างอย่างมากทั้งภายในและระหว่าง 2 วิธีในการเตรียมการ (จากการหลอมและรวมตัว)



รูปที่ 2.3 แสดงถึงสเปกตรัมของการลดทอนของเส้นใยนำแสง

(a) แบบ glass-clad glass (b) แบบ doped – silica

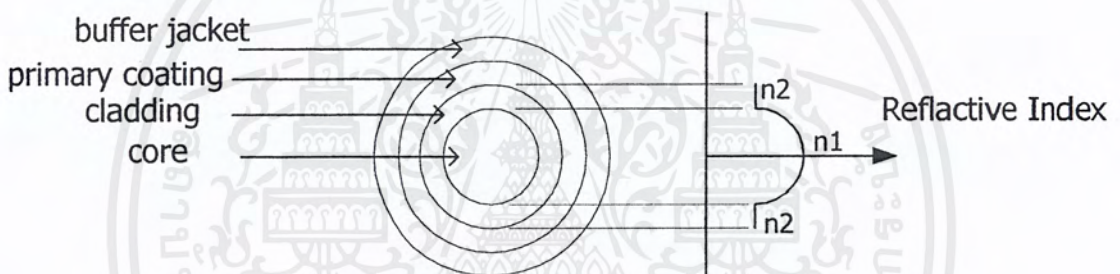
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าเส้นใยนำแสงแบบ multicomponent glass มีการลดทอนประมาณ 40 dB/km ที่ความยาวคลื่น 0.85 μm ในขณะที่เส้นใยแสงแบบ doped – silica มีการลดทอนน้อยกว่า 5 dB/km เมื่อความยาวคลื่นเดียวกันความกว้างขวางของแถบความถี่ 6-25 MHz/km การใช้งานเส้นใยนำแสงชนิดนี้เหมาะสมกับการใช้งานในระยะสั้น ๆ เนื่องจากแบนด์วิธของแถบความถี่ที่จำกัดและมีราคาถูก

2. Multimode Graded index Fiber เส้นใยนำแสงชนิดนี้ผลิตจาก multicomponent หรือ doped-silica แต่จะใช้วัสดุที่มีความบริสุทธิ์ดีกว่าแบบ multimode step index เนื่องจากสามารถลดการสูญเสียของเส้นใยนำแสงได้

คุณลักษณะทั่วไปในทางปฏิบัติ

โดยทั่วไปแล้วจะดีกว่าแบบ multimode step index และมีค่าการลดทอนน้อยกว่ามาก เส้นใยนำแสงแบบนี้จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางของ core เล็กกว่าแบบ multimode step index ถึงแม้ว่าเส้นผ่าศูนย์กลางกลางภายนอกเมื่อรวม buffer jacket แล้วจะมีขนาดเท่ากันก็ตามซึ่งจะทำให้ปัญหาเส้นใยนำแสงนั้นมีความคงทนแข็งแรงแต่สามารถโค้งงอได้



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงแบบ glass multimode grades index

โครงสร้างโดยทั่วไป

เส้นผ่าศูนย์กลาง core	30-60 μm
(ถ้าใช้งานด้านโทรคมนาคมจะใช้ขนาดมาตรฐาน 50 μm)	
เส้นผ่าศูนย์กลาง cladding	100-150 μm
(ถ้าใช้ในงานด้าน โทรคมนาคมจะใช้ขนาดมาตรฐาน 125 μm)	
Buffer jacket	250-1000 μm
Numerical Aperture	0.2 – 0.3

คุณลักษณะในทางปฏิบัติ

การลดทอน	2-10 dB-km
ความกว้างของแถบความถี่	150 MHz/km ถึง 2 GHz/km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

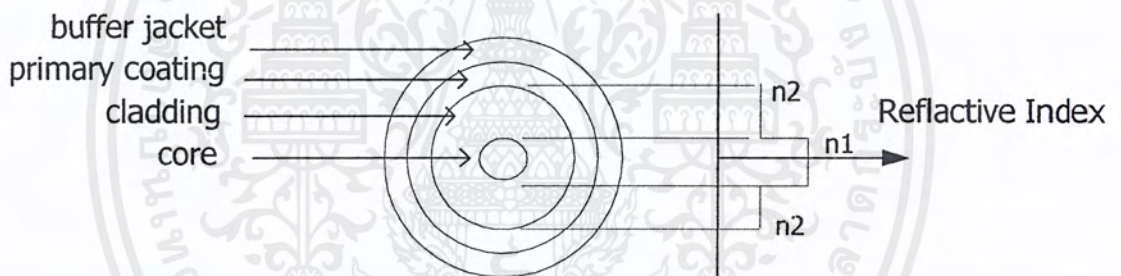
การใช้งาน

เส้นใยนำแสงชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้งานในระยะทางปานกลางที่มีความกว้างของแถบความถี่ปานกลางถึงสูง โดยใช้อุปกรณ์กำเนิดแสงแบบ incoherent และ coherent เช่นพวก LED หรือ injection laser

3. Single Mode Optic Fiber

เส้นใยนำแสงแบบนี้อาจมีรูปแบบได้ทั้งแบบ step index หรือ graded index แต่อย่างไรก็ตาม ส่วนมากจะเป็นแบบ step index แบบ single mode นี้เหมาะในการส่งสัญญาณแบบแถบความถี่กว้างและระยะทางไกล ๆ โดยทั่วไปแล้วผลิตจาก doped silica เพื่อที่จะลดการลดทอน

ถึงแม้ว่าเส้นใยนำแสงแบบ single mode นี้จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ core เล็ก เพื่อให้สัญญาณมีการเดินทางแบบ single mode เส้นผ่าศูนย์กลางของ cladding จะต้องมีความเป็น 10 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง core เป็นอย่างน้อยเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียจากสนามการจางหาย ดังนั้นจึงมีการเพิ่ม buffer jacket เพื่อการป้องกัน และความแข็งแรงของเส้นใยนำแสงแบบ single mode จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่า ๆ กับแบบ multimode โครงสร้างตัวอย่างของเส้นใยนำแสงแบบ single mode แบบ step index ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.5 แสดง โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงแบบ silica single mode step index

โครงสร้าง

เส้นผ่าศูนย์กลาง core	3 – 10 μm
เส้นผ่าศูนย์กลาง cladding	50 – 125 μm
เส้นผ่าศูนย์กลาง buffer jacket	250 – 1000 μm
Numerical Aperture	0.08 – 0.15 โดยปกติประมาณ 0.10

คุณลักษณะในทางปฏิบัติ

การลดทอน	2 – 5 dB/km และประมาณ 1 dB/km เมื่อรวมข้อจำกัดทาง scattering ที่ความยาวคลื่น 0.85 μm
ความกว้างของแถบความถี่	มากกว่า 500 MHz/km

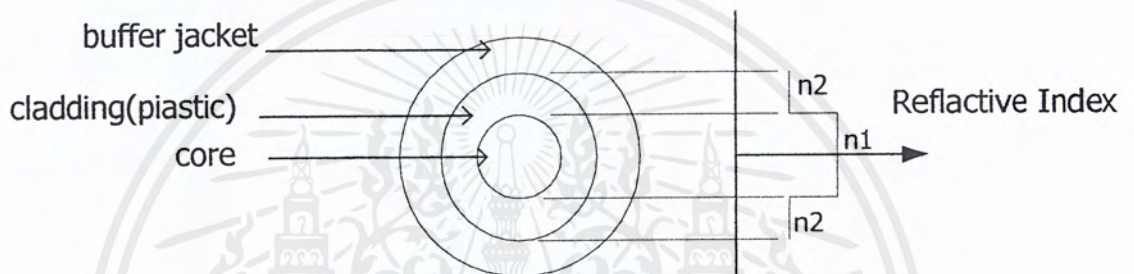
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน

เส้นใยนำแสงชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้งานในระยะทางไกลมาก ๆ และความกว้างของแถบความถี่สูง ๆ โดยอุปกรณ์ปล่อยแสงเป็นแบบ injection laser ที่ใช้กับซิงเกิลโหมด

4. Plastic – Clad Fiber

เป็นเส้นใยนำแสงที่มี clad ทำจากพลาสติกจะเป็นแบบมัลติโหมดมีรูปแบบเป็นได้ทั้ง step index หรือ graded index ชนิดนี้ cladding จะทำด้วยพลาสติก (ยางซิลิโคน) และ core ทำจากแก้วซึ่งโดยปกติเป็น silica อาจเรียกว่า plastic clad silica หรือ PCS fiber จะเกิดการสูญเสียที่เกิดจากการเหนี่ยวนำการแพร่กระจายจะน้อยกว่า silica clad silica fiber ดังนั้นจึงทำให้ประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้นมีราคาถูกลงกว่าเพียงเล็กน้อยแต่มีคุณลักษณะในทางปฏิบัติมีข้อจำกัดมากกว่า



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างทั่วไปของเส้นใยนำแสงแบบ PCS fiber

โครงสร้าง

เส้นผ่าศูนย์กลาง core	step index	100 – 500	μm
	graded index	50 – 100	μm
เส้นผ่าศูนย์กลาง cladding	step index	300 – 800	μm
	graded index	125 – 150	μm
เส้นผ่าศูนย์กลาง buffer jacket	step index	500 – 1000	μm
	graded index	250 – 1000	μm
Numerical aperture	step index	0.2 - 0.5	
	graded index	0.2 – 0.3	

คุณลักษณะในทางปฏิบัติ

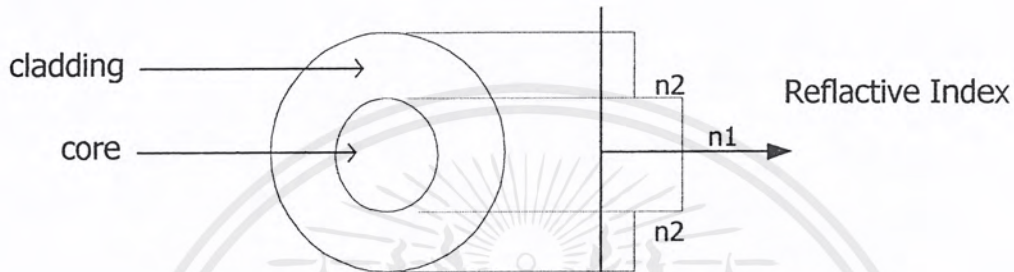
การลดทอน	step index	5 – 50	dB/km
	graded index	4 – 15	dB/km
ความกว้างของแถบความถี่	step index	5 – 25	MHz/km
	graded index	200 – 400	MHz/km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน

เส้นใยนำแสงชนิดนี้ใช้ในงานที่มีแถบความถี่ต่าง ๆ และระยะทางสั้น ๆ ซึ่งมีข้อดีคือสามารถต่อเข้ากับ glass clad multimode fiber ได้

ส่วนมากจะเป็นประเภท multimode step index ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง core และ cladding ขนาดใหญ่จึงจำเป็นต้องลด buffer jacket ลง เส้นใยนำแสงชนิดนี้จะมีราคาถูกกว่าและเคลื่อนย้ายง่ายกว่าที่ทำจากแก้ว แต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจะมีข้อจำกัดในการใช้งาน เส้นใยนำแสงที่ทำจากพลาสติกนั้นโดยทั่วไปจะมีค่า NA ที่กว้างขวาง ซึ่งง่ายต่อการเชื่อมต่อกับแหล่งกำเนิดแสงแบบมัลติโหมด



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างโดยทั่วไปของ All – plastic fiber

โครงสร้าง

เส้นผ่าศูนย์กลาง core	200 – 600 μm
เส้นผ่าศูนย์กลาง cladding	450 – 1000 μm
Numerical Aperture	0.5 – 0.6

คุณลักษณะในทางปฏิบัติ

การลดทอน	350 – 100 dB/km ที่มีความยาวคลื่น 0.65 μm
ความกว้างของแถบความถี่	ปกติไม่ระบุแน่ชัด

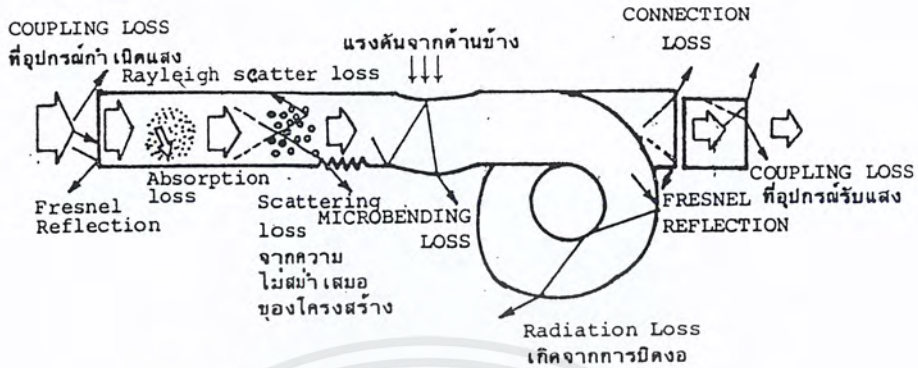
การใช้งาน

จะใช้งานในระยะใกล้ ๆ เช่น ในบ้าน และมีค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ถูก การเชื่อมต่อง่ายมากไม่จำเป็นต้องใช้เทคนิคยุ่งยาก

2.1.6 การสูญเสียแสงในเส้นใยแสง

ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงมีองค์ประกอบสำคัญ 2 อย่างที่จะกำหนดความเร็วในการส่ง และระยะห่างของการถ่ายทอคสัญญาณขององค์ประกอบเหล่านั้นคือการสูญเสียแสงกับแบนด์วิธของการส่ง การสูญเสียแสงเป็นตัวบอกให้ทราบว่ากำลังของแสงที่เดินทางไปในเส้นใยแสงนั้นจะลดลงไปจากเดิมเท่าไร ซึ่งการสูญเสียแสงนี้ยังมีค่าน้อยเท่าไรจะทำให้สามารถส่งสัญญาณแสงได้ไกลมากยิ่งขึ้น สาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสงแสดงดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.8 แสดงสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสียของแสง

จากรูป 2.8 จะเห็นว่าการสูญเสียที่มีอยู่ในตัวของเส้นใยแสงเองนั้นเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ ได้แก่ การดูดแสง การกระจัดกระจายแสงแบบเรย์ลี การกระจัดกระจายแสงเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้าง ส่วนการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมานั้นเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ ได้แก่ การงอโค้งของเส้นใยแสง การงอโค้งแบบ Microbending การต่อเส้นใยแสง (ได้แก่การสูญเสียจากการสะท้อนกลับของแสงจากการที่แสงกระจายแสง) การเชื่อมต่อแสงระหว่างอุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงหรืออุปกรณ์รับแสงกับเส้นใยแสงต่อไปนี้จะอธิบายถึงรายละเอียดของสาเหตุต่าง ๆ ของการเกิดการสูญเสียแสง

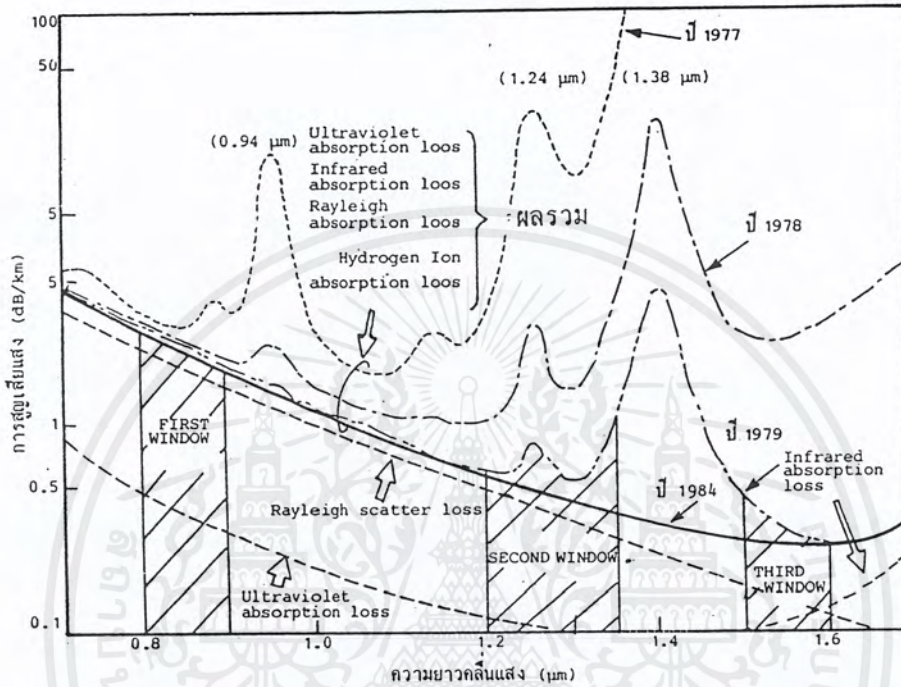
(1) การสูญเสียแสงที่เกิดจากการดูดแสง (Absorbition Loss)

สำหรับการสูญเสียจากการดูดแสงของแก้วนั้นมันจะดูดแสงอุลตราไวโอเล็ตกับแสงอินฟราเรด การดูดแสงอุลตราไวโอเล็ตนั้นจะดูดมากที่สุดที่ความยาวคลื่นใกล้กับ $0.1 \mu\text{m}$ และการดูดแสงอินฟราเรดจะดูดมากที่สุดที่ความยาวคลื่นใกล้กับ $10 \mu\text{m}$ ส่วนที่ความยาวคลื่นอื่น ๆ นั้น การสูญเสียจากการดูดแสงจะลดลงอย่างมากดังแสดงในรูปที่ 2.9 จะเห็นว่าจากความยาวคลื่นประมาณ $1.0 \mu\text{m}$ ไปจนถึงประมาณ $1.6 \mu\text{m}$ การสูญเสียจะตกลงเป็นเสมือนหุบเขา

การสูญเสียจากการดูดแสงอันเนื่องมาจากสารแปลกปลอมปนอยู่นั้น ในตอนแรกที่พัฒนาเส้นใยแสงใหม่นั้นปรากฏว่าส่วนใหญ่เป็น ION ของโลหะต่าง ๆ เช่น ION ของทองแดงและอื่น ๆ แต่ต่อมาเทคนิคในการทำให้การสูญเสียแสงต่ำลงได้พัฒนาไปมากสามารถกำจัด ION ของโลหะต่าง ๆ ออกไปได้ในปัจจุบัน ส่วนใหญ่เป็น Hydroxyl ION (OH^-) นั่นคือกล่าวได้ว่าประวัติศาสตร์ของการทำให้การสูญเสียแสงที่มีอยู่ในเส้นใยแสงให้มีค่าน้อยนั้นเป็นการกำจัด Absorbition Loss อันเนื่องมาจาก ION ของโลหะและ Hydroxyl ION เหล่านี้นั่นเองในรูป 2.9 จะเห็นว่าแสดงการสูญเสียแสงที่ความยาวคลื่นค่าต่าง ๆ ของแสงในเส้นใยแสงที่ทำด้วยแก้วตัวเลข ค.ศ. ที่ค่าสูญเสียสูงสุดต่าง ๆ นั้นบอกให้ทราบถึงประวัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศาสตร์ของการทำให้การสูญเสียแสงน้อยลง ค่าสูญเสียแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 0.94 μm , 1.24 μm และ 1.38 μm นั้นเป็นการสูญเสียที่เกิดจากการดูดของ Hydroxyl ION ที่กล่าวข้างบนและตรงส่วนที่เป็นหุบเขา (เรียกว่า WINDOW ของเส้นใยแสง) บริเวณใกล้ ๆ กับความยาวคลื่น 0.85 μm 1.3 μm และ 1.55 μm (เรียกว่า Window ที่ 1, ที่ 2, ที่ 3) นั้นมีการสูญเสียแสงต่ำซึ่งนำมาใช้ในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง



รูปที่ 2.9 แสดงคุณสมบัติการสูญเสียของแสงจากการดูดแสงของเส้นใยแสงที่ทำด้วยแก้ว

(2) การสูญเสียแสงที่เกิดจากการกระจัดกระจายแสงแบบเรย์ลี (Rayleigh Scattering Loss)

การสูญเสียแบบนี้เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อแสงไปกระทบกับวัตถุที่มีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น แล้วทำให้แสงนั้นแตกกระจัดกระจายออกไปในทิศทางต่าง ๆ

สำหรับการผลิตเส้นใยแสงนั้นทำได้โดยการให้ความร้อนประมาณ 2,000 °C แก่แท่งแก้วซึ่งเรียกว่า PREFORM ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจากหลายมิลลิเมตร ไปจนถึงหลายสิบลมิลลิเมตร จากนั้นจึงทำการดึงแท่งแก้วให้เป็นเส้นใยแสงขนาดเล็ก และในตอนนี้ต้องทำให้เส้นใยแสงนั้นมีอุณหภูมิลดลงจาก 2,000 °C เป็นอุณหภูมิต่ำประมาณ 20 °C ตกค้างอยู่อย่างนั้นในเส้นใยแสงและเป็นสาเหตุทำให้เกิด Rayleigh Scattering ขึ้นในเส้นใยแสงจัดเป็นสาเหตุการเกิดการสูญเสียแสงที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในขั้นตอนการผลิตถือเป็นการสูญเสียแสงที่มีประจำอยู่ในตัวของเส้นใยแสงขนาดของ Rayleigh Scattering จะเป็นสัดส่วนกลับกับความยาวแสงยกกำลัง 4 ด้วยเหตุนี้จะเห็นว่าในรูปที่ 2.9 ความยาวของคลื่นแสงที่เดินทางยังมีค่ามาก Rayleigh Scattering จะมีค่าน้อยลง ยกตัวอย่างเช่นเมื่อความยาวคลื่นเป็น 1 μm ค่า Rayleigh Loss จะมีค่าประมาณ 1 dB/km และเมื่อความยาวคลื่นเป็น 1.6 μm ค่า Rayleigh Loss จะมีค่าประมาณ 0.1 dB/km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) การสูญเสียจากการกระจายแสงเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในเส้นใยแสง (Ununiformity Loss)

สำหรับเส้นใยแสงที่สร้างขึ้นมาจริง ๆ นั้นจากสาเหตุต่าง ๆ ในการสร้างทำให้ไม่สามารถได้เส้นใยแสงที่มีลักษณะกลม 100% นอกจากนั้น core และ clad ที่ประกอบกันเป็นเส้นใยแสงก็ไม่สามารถทำให้ได้ลักษณะรูปทรงกระบอกที่สม่ำเสมออย่างสมบูรณ์ตลอดความยาวของเส้นใยแสงได้ กล่าวคือ ตรงรอยต่อของ core กับ clad นั้นจะไม่สม่ำเสมอตลอด จะมีลักษณะคล้ายถนนขรุขระ เมื่อมีรอยต่อไม่เรียบสม่ำเสมอเช่นนี้จะทำให้เกิดการกระจายแสงดังในรูปที่ 2.8 ทำให้แสงบางส่วนไม่สามารถเดินทางไปใน core ได้จะกระจายออกไปข้างนอกดังนั้นรอยต่อที่ไม่เรียบสม่ำเสมอจะทำให้แสงที่เดินทางเกิดการสะท้อนกลับอย่างสะเปะสะปะทำให้เกิดการสูญเสียแสงเพิ่มขึ้นการสูญเสียแสงเช่นนี้เรียกว่าการสูญเสียจากการกระจายแสงอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในเส้นใยแสง

(4) การสูญเสียจากการกระจายแสงอันเนื่องมาจากการงอโค้งของเส้นใยแสง (Bending Loss)

เป็นการสูญเสียที่เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยแสงถูกทำให้งอโค้งไป สำหรับการงอโค้งเส้นใยแสงดังแสดงในรูป 2.8 แสงที่มีมุมงอโค้งมากกว่ามุมวิกฤติแล้วแสงนั้นจะกระจายออกไปนอก core ทำให้เกิดการสูญเสียขึ้น ดังนั้นในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงซึ่งจะได้กล่าวถึงในภายหลังนั้นจะต้องระมัดระวังอย่าให้เกิดมีการงอเส้นใยแสงเป็นแสงโค้งที่มีรัศมีเกิดกว่ารัศมีที่ยอมให้งอโค้งได้ เช่น ไม่นเกิน 40 mm เป็นต้น

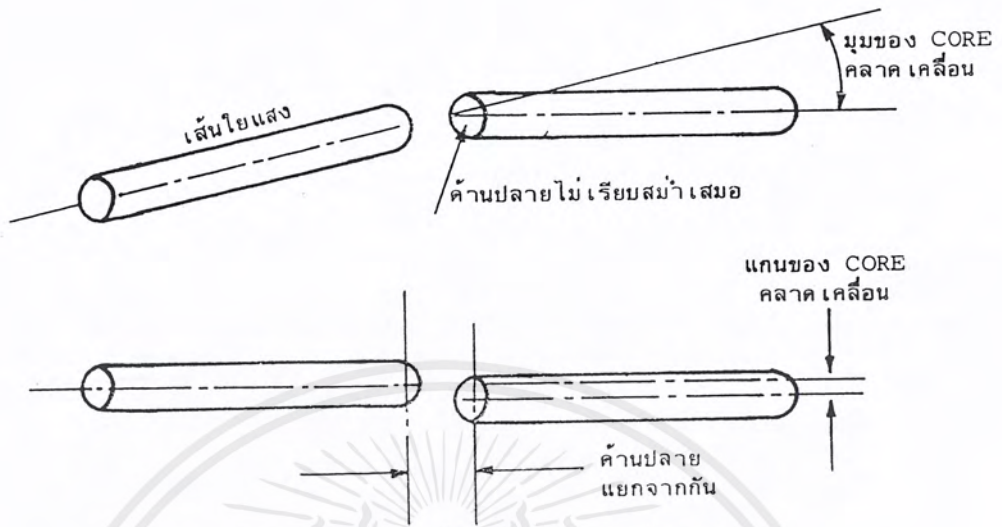
(5) การสูญเสียที่เกิดจากการงอโค้งแบบ Microbending

เป็นการสูญเสียที่เกิดจากการที่มีแรงกดที่ไม่สม่ำเสมอมากระทำต่อด้านข้างของเส้นใยแสง ทำให้แกนของเส้นใยแสงบิดงอไปเล็กน้อย (ประมาณ 2, 3 μm) เป็นเหตุให้การสูญเสียเพิ่มขึ้น การสูญเสียนี้เรียกว่า Microbending Loss ด้วยเหตุนี้ในการออกแบบโครงสร้างจะต้องทำการป้องกันแรงกดจากทางด้านข้าง เช่น ทำชั้น (Layer) ป้องกันการกระแทกหุ้มเส้นใยแสง เป็นต้น

(6) การสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแสง (Connection Loss)

การต่อเส้นใยแสงนั้นคล้ายกับการต่อท่อของน้ำประปาหรือท่อแก๊ส กล่าวคือต้องเข้ากันอย่างดีไม่ให้น้ำประปาหรือแก๊สที่อยู่ข้างในท่อรั่วออกไปข้างนอก กรณีที่ทำการต่อเส้นใยแสง 2 เส้นเข้าด้วยกันนั้นอันดับแรกจำเป็นต้องทำการปรับ core ทั้งสองที่แสงเดินทางผ่านให้ตรงกันพอดีถ้าหากว่า core ทั้งสองต่อกันไม่สนิทอย่างสมบูรณ์นั้นแสงที่ออกจาก core ด้านหนึ่งบางส่วนของมันจะไม่เข้าไปใน core อีกด้านหนึ่งแต่จะกระจายออกไปข้างนอกทำให้เกิดการสูญเสียสาเหตุการเกิดการสูญเสียอย่างนี้แสดงในรูป 2.10 กล่าวคือ มีทั้งการคลาดเคลื่อนของแกนของ core และอื่น ๆ แต่สำหรับค่าการสูญเสียในส่วนใหญ่นั้นจะมาจากคลาดเคลื่อนของแกนของ core หนึ่งตรงส่วนที่ทำการต่อกัน กรณีที่มีช่องว่างเพียงเล็กน้อยจะทำให้เกิดการสูญเสียจากการสะท้อน ถ้าหากช่องว่างโตมากขึ้นกว่านี้จะเกิดการสะท้อนกลับที่เรียกว่า Fresnel Reflection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงสาเหตุต่างๆ ของการสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแสง

- (7) การสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยแสง กับอุปกรณ์กำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสง (Coupling Loss)

แสงที่ปล่อยออกจากอุปกรณ์ต้นกำเนิดนั้น มีเงื่อนไขในการที่จะป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสงคือค่า NA กรณีที่ใช้อุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงได้แก่ Laser Diode (LD) หรือ Light Emitting Diode (LED) จะมีความแตกต่างกันทางความกว้างของลำแสงที่ปล่อยออกมาจากต้นกำเนิดแสง แม้จะใช้เลนส์รวมแสงแล้วก็ตาม LD จะมีการสูญเสียของการเชื่อมต่อแสงน้อยกว่า นอกจากนั้นโครงสร้างของเส้นใยแสงที่จะถูกป้อนแสงเข้าในนั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ core ของเส้นใยแสงแบบ SM และแบบ GI จะมีค่าต่างกันทำให้ขนาดของการสูญเสียของการเชื่อมต่อแสงมีค่าต่างกันไปด้วย

2.2 ตัวกำเนิดแสง (Light Source)

ในด้านการสื่อสาร อุปกรณ์ที่ให้กำเนิดพลังงานแม่เหล็กในแถบความยาวคลื่นที่ตามองเห็นและแถบอินฟราเรด เรียกว่า “ตัวกำเนิดแสง” พลังงานที่กำเนิดออกมานี้เป็นตัวพาข่าวสาร (Information Carrier) ถ้าแสงที่เกิดขึ้นมีความยาวคลื่น หรือความถี่เดียว และยังคงมี Phase Front สมบูรณ์เราเรียกแหล่งกำเนิดแสงนั้นว่า Coherent source อย่างไรก็ตาม ตัวกำเนิดแสงส่วนมาก จะให้กำเนิดแสงที่มีหลายความยาวคลื่นแตกต่างกันและ Phase Front ไม่สมบูรณ์ตัวกำเนิดแสงแบบนี้เรียกว่า Incoherent Source

คุณสมบัติของตัวกำเนิดแสงที่ดี

อุปกรณ์ Solid-state เช่น ทรานซิสเตอร์ พิงก์ซีเอ็นไอโอดีมีรูปร่างกระทัดรัดและสามารถออกแบบให้มีกำลังสูง ประสิทธิภาพสูงได้ดำนามาทดแทนโครงข่ายและอุปกรณ์ไฟฟ้าระบบการสื่อสาร ต้องดำเนินไปด้วยดี ดังนั้นคุณสมบัติของตัวกำเนิดแสงจึงมีความสำคัญมากมีความแตกต่างกันบางอย่างในคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุด เช่น Output Intensity และความยาวคลื่นเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการสื่อสารทางแสงผ่านบรรยากาศและเส้นใยแสง แต่ในที่นี้จะได้พิจารณาเฉพาะ คุณสมบัติที่ต้องการสำหรับระบบเส้นใยแสง

ตัวกำเนิดแสงที่ดีควรมีคุณสมบัติพอสรุปได้ดังนี้ คือ

1. Output Power กำลังงานต่ำสุดที่ควรได้รับจากแหล่งกำเนิดแสงพิจารณาได้จากการสูญเสียของเส้นใยแสง (A) และกำลังงานต่ำสุดที่ตัวรับแสงสามารถตรวจรับได้ (S) เช่น $A=45$ dB และ $S=45$ dB กำลังงานจากแหล่งกำเนิดแสงจะต้องมากกว่า 1 mW ในทางปฏิบัติ ตัวกำเนิดแสงที่ดีควรมีสามารถให้กำเนิดแสงที่มีกำลังงานระหว่าง 10 ถึง 100 mW

2. Power Efficiency

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์หาได้จาก

$$P_o/P_m * 100\%$$

เมื่อ P_m คือ Input Power

P_o คือ Output Power

ในปัจจุบันต้องการให้ประสิทธิภาพมากกว่า 10% แต่ในอนาคตอาจจะได้ประสิทธิภาพสูง ถึง 50%

3. Operating Wavelength

ตัวกำเนิดแสงควรเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ $0.95 \mu\text{m}$ หรือ $1.0-1.6 \mu\text{m}$ ซึ่งเส้นใยแสงมีการสูญเสียต่ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความยาวคลื่นใกล้เคียง $1.3 \mu\text{m}$ เส้นใยแสงจะไม่มี Material Dispersion และมีแบนด์วิธกว้าง

4. Spectral Width

Spectral Width มีผลต่อ Transmission Bandwidth อย่างมากในระบบ Low-capacity ที่ต้องการแบนด์วิธหลายเมกกะเฮิรตซ์ แหล่งกำเนิดแสงอาจให้กำเนิดแสงที่มีแบนด์วิธกว้างต้องลด Spectral Width ลงอย่างไรก็ตามก็ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นที่ใช้ด้วยเหมือนกันในระบบที่ใช้เส้นใยแสงแบบเชิงกลไก ส่วนใหญ่ Spectral Width จะเป็นตัวจำกัด Transmission Bandwidth เพราะดัชนีหักเหของ core เปลี่ยนตามความยาวคลื่น

5. Modulation

ปัจจัยสำคัญในการกำหนดความสำเร็จหรือล้มเหลวของตัวกำเนิดแสงที่ใช้ในระบบสื่อสารทางแสง คือ แสงสามารถมอดูเลตกับสัญญาณไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ มากน้อย เพียงไรความสำคัญของการมอดูเลชันอยู่ที่ว่าวงจรมอดูเลเตอร์และแหล่งกำเนิดแสงสามารถเชื่อมต่อซึ่งกันและกันได้

6. อายุการใช้งาน

อายุการใช้งานเป็นสิ่งจำเป็นในปัจจุบันต้องการอายุการใช้งานยาวนานถึง 10 ชั่วโมง (มากกว่า 100 ปี) เหตุผลที่ต้องการให้มีอายุการใช้งานยาวนานก็คือ สมมติว่าระบบหนึ่งใช้ตัวกำเนิดแสง 10 ชุด และระบบทั้งหมดจะใช้งานไม่ได้ ถ้าชุดใดชุดหนึ่งของระบบหยุดทำงาน ตามลักษณะความน่าจะเป็นแหล่งกำเนิดแสงแต่ละชุดอาจจะใช้งานไม่ได้หลังจาก 10 ชั่วโมงหรือเร็วกว่านี้ ยิ่งแหล่งกำเนิดแสงมีจำนวนมากก็ดูเหมือนว่า จะมีโอกาสเกิดการผิดพลาดก่อนอายุการใช้งานจริงเร็วขึ้น

7. รูปร่างและน้ำหนัก

น้ำหนักของอุปกรณ์รวมทั้งแหล่งจ่ายกำลังโดยปกติต้องสามารถจ่ายกำลังได้อย่างสม่ำเสมอและสามารถใช้งานกับอุปกรณ์เครื่องส่งและสถานีทวนสัญญาณได้

8. ราคา

ระบบใหม่ต้องประหยัดกว่าระบบที่มีใช้อยู่แล้ว ความแข็งแรงทนทานขึ้นอยู่กับอายุการใช้งาน การบำรุงรักษาง่าย

2.2.1 Light Emitting Diodes (LEDs)

LED เป็นสารกึ่งตัวนำแบบรอยต่อ pn แถบพลังงานด้านบนเรียกว่า conduction band ในระดับของพลังงานด้านล่างเรียกว่า valence band ผลต่างของระดับแถบพลังงานทั้งสองมีค่าเท่ากับ W_g โยลมีประจุบวกซึ่งเกิดจากอิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมที่เป็นกลางปล่อยให้อะตอมมีประจุบวก อิเล็กตรอนอิสระสามารถรวมตัวกับ โยลแล้วกลับเป็นอะตอมที่มีสภาวะเป็นกลางอีกครั้งหนึ่งปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมา

จากสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน โฟตอนกับความถี่ $w = hf$ จะได้ความยาวคลื่นของแสงที่ส่องสว่างได้

$$\lambda = hc/W_g \quad (1)$$

โดยที่พลังงานช่องว่างมีหน่วยเป็นจูล (joules) และความยาวคลื่นมีหน่วยเป็นเมตร ถ้าเขียนพลังงานช่องว่างอยู่ในรูป electron volts และความยาวคลื่นในหน่วยไมโครเมตร สมการที่ (1) เปลี่ยนเป็น

$$\lambda = 1.24/W_g \quad (2)$$

วัสดุส่วนผสมที่ต่างกันทำให้แถบพลังงานช่องว่างแตกต่างกันด้วยวัสดุที่ใช้ทำ emitter ความยาวคลื่นและแถบพลังงานช่องว่างโดยประมาณแสดงในตารางที่ 2.1 ช่วงความยาวคลื่นที่ใช้งานสามารถเลือกได้โดยการเปลี่ยนอัตราส่วนองค์ประกอบของอะตอมใน AlGaAs InGaAs และ InGaAsP การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้แถบพลังงานช่องว่างและความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลง

Material	Wavelength (μm)	Bandgap Energy eV
GaAs	0.9	1.4
AlGaAs	0.8-0.9	1.4-1.55
InGaAs	1.0-1.3	0.95-1.24
InGaAsP	0.9-1.7	0.73-1.35

ตารางที่ 2.1 แสดงวัสดุที่ใช้ทำ Emitter ความยาวคลื่นและแถบพลังงานช่องว่างโดยประมาณ

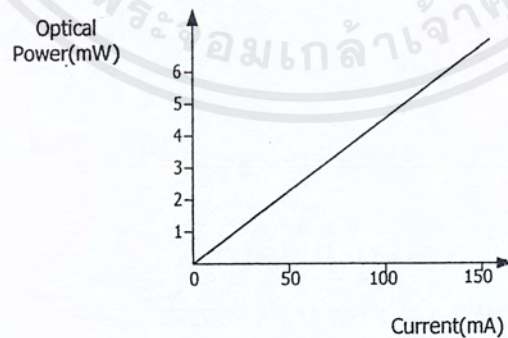
คุณลักษณะการทำงานของ Light Emitting Diodes

เพาเวอร์ของแสงจาก LED เป็นอัตราส่วนเชิงเส้นกับค่ากระแสตรงแสดงในรูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างเพาเวอร์และกระแสไฟฟ้าอธิบายได้ดังนี้ กระแส I ปล่อยประจุต่อวินาที จำนวนประจุต่อวินาทีเป็น $N = I/c$ โดยที่ c คือ ขนาดของประจุบนอิเล็กตรอนแต่ละตัว ถ้า n คือ อัตราส่วนประจุเหล่านี้ที่มีการรวมตัวและให้โฟตอนออกมากำเพาเวอร์แสงจะเป็น

$$P = \eta N w g = \eta w g i c \quad (3)$$

แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างเพาเวอร์แสงกับค่ากระแสเป็นเชิงเส้นถ้าเขียนให้อยู่ในรูปอิเล็กทรอนิกส์โวลท์จะได้สมการที่เข้าใจได้ง่ายขึ้น

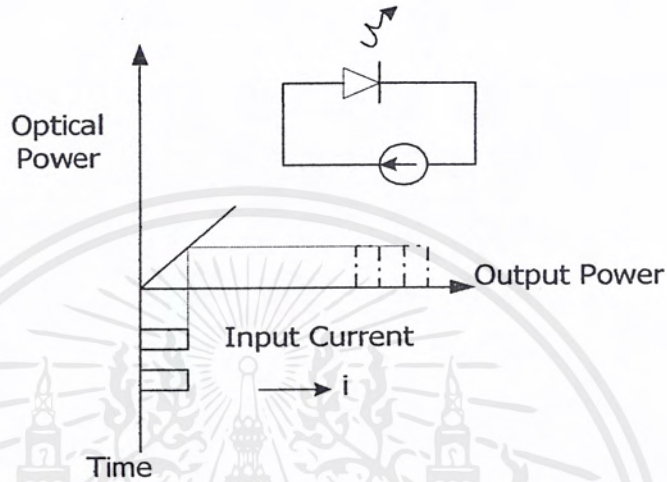
$$P = \eta i w g \quad (4)$$



รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างเพาเวอร์และกระแสไฟฟ้า

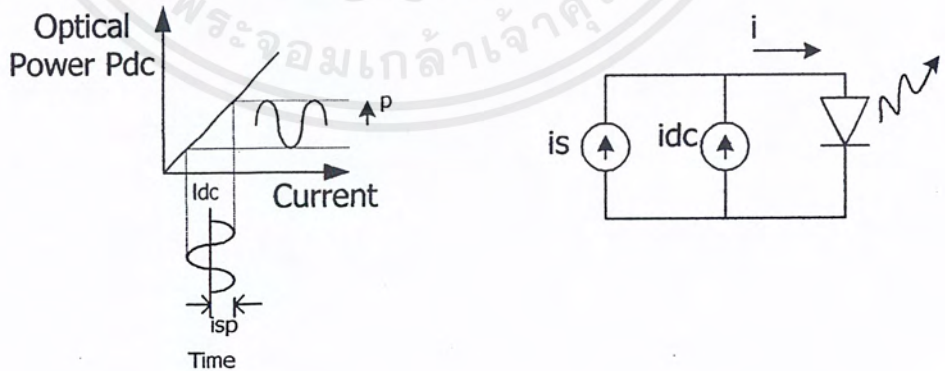
ค่าเพาเวอร์ที่แสดงในรูปที่ 2.11 จะไม่ปรากฏจริงภายในเส้นใยนำแสงเนื่องจากขีดจำกัดทางด้านค่า NA ของเส้นใยนำแสงจะเป็นตัวลคทอนค่าเพาเวอร์ที่เชื่อมร่วมเข้ามาการทำงานปกติจะไบแอสให้กระแสไหลผ่าน LED อยู่ในช่วงประมาณ 50 – 100 mA และต้องการแรงดัน 1.2 – 1.8V

Digital modulation ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.12 ไดโอดถูกมอทลด้วยแหล่งกำเนิดกระแสซึ่งทำให้ LED ติดหรือดับ



รูปที่ 2.12 แสดง Digital modulation ของ LED

Analog modulation ได้แสดงดังรูป 2.13 จะต้องการแรงดันค้ช้ เพื่อให้เกิดกระแสไหลไปหน้า (forward direction) ตลอดเวลา



รูปที่ 2.13 แสดง Analog modulation ของ LED

ถ้าปราศจากกระแสซีการแกว่งของสัญญาณในช่วงลบจะเป็นการ ไบแอสย้อนกลับไดโอดทำให้มันดับ ดังนั้นกระแสรวมทั้งหมด

$$I = I_{dc} + I_{sp} \sin \omega t \quad (5)$$

และสอดคล้องกับเพาเวอร์ของแสง

$$P = P_{dc} + P_{sp} \sin \omega t \quad (6)$$

P_{sp} = peak signal power เรียกว่า ac power

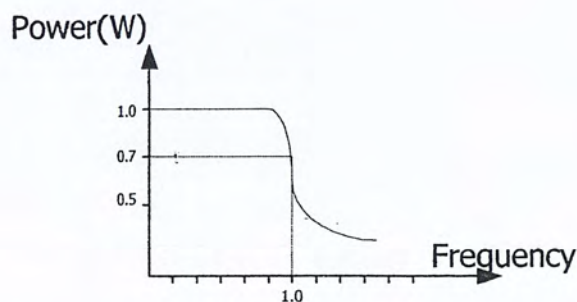
จะสังเกตเห็นว่ารูปร่างของกระแสอินพุทจะเหมือนกับรูปคลื่นเพาเวอร์ของแสงเอาท์พุท อันเนื่องมาจากความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นทำให้เกิดการเพี้ยนของสัญญาณอัตรการรับ-ส่งข้อมูลถูกจำกัดด้วยการแพร่กระจายแสงผ่านเส้นใยนำแสง ความสามารถของระบบอาจถูกจำกัดด้วยแหล่งจ่ายได้เช่นเดียวกัน ที่ความถี่ต่ำ $P_{sp} = a_1 I_{sp}$ โดยที่ $a_1 = P/P_i$ ที่ความถี่สูงขึ้น รอยต่อและความจุไฟฟ้าที่มีอยู่ลัดวงจรทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกระแสที่รวดเร็วเป็นการลดค่าของเพาเวอร์เอซี อย่างไรก็ตามขีดจำกัดของการมอดูเลทที่ความถี่สูง คือ carrier lifetime τ กระแสมอดูเลทต้องเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ เมื่อเทียบกับ τ ค่า Carrier lifetime จำกัดการตอบสนองของ LED ต่อสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งมีความถี่ ω เรเดียนดิ่งนี้ คือ

$$P_{sp} = a_1 I_{sp} / \sqrt{1+(\omega\tau)^2} \quad (7)$$

สมการที่ (7) แสดงภาพได้ดังรูปที่ 2.14 ที่ความถี่ $\omega = 1/\tau$ ว่าเป็น 3-dB modulation bandwidth ของ LED หรือ 3-dB electrical bandwidth ในหน่วยของ hertz 3-dB bandwidth คือ

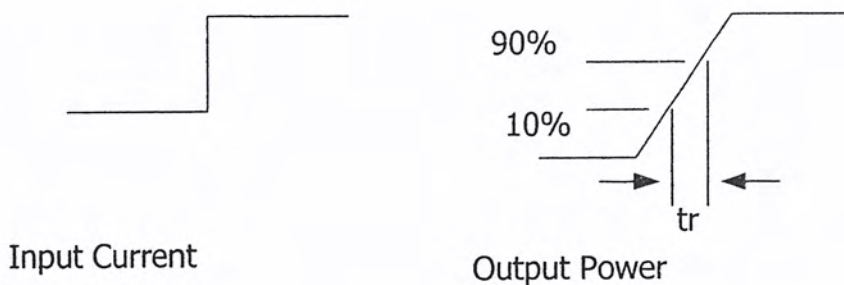
$$F_{3-dB} = 1/2\pi\tau \text{ (Hz)} \quad (8)$$

Modulation bandwidth จนถึง 300 MHz สามารถใช้ได้กับ surface emitter แต่โดยส่วนใหญ่ LED ที่ใช้มักมีแบนด์วิธแคบกว่าค่าปกติอยู่ในช่วง 1-100 MHz และ rise time (τ_r) ของแหล่งกำเนิดเป็นช่วงเวลาที่เอาต์พุทเปลี่ยนจาก 10% ถึง 90% ของค่าสุดท้ายของสัญญาณ เมื่ออินพุทเป็นกระแสแบบสตีปปกติค่า rise time ของ LED อยู่ในช่วง 2-3 ns จนถึง 250 ns



รูปที่ 2.14 แสดง Variation of ac optic power with modulation frequency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แสดง rise time ของแหล่งกำเนิดแสง

ค่า rise time และ 3-dB electrical bandwidth มีความสัมพันธ์กันตามสมการ

$$F_{3\text{-dB}} = 0.35/T_r \quad (9)$$

ค่าปกติ rise time ของ LED อยู่ในช่วง 2-3 ns จนถึง 250 ns

เป็นที่ทราบกันดีว่าสเปกตรัมของแสงของแหล่งกำเนิดมีผลโดยตรงกับวัสดุที่ใช้ทำและการกระจายตามความถี่ในท่อนำคลื่น (waveguide dispersion) การกระจายพัลส์เนื่องจากสาเหตุเหล่านี้เพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นกับความกว้างขวางของ source LED ที่ทำงานในช่วงความยาวคลื่น 0.8-0.9 μm โดยทั่วไปจะมีความกว้างสเปกตรัม 20-50 nm และ LED ที่ส่งความยาวคลื่นที่มากขึ้นก็จะมี ความกว้างสเปกตรัมในช่วง 50-100 nm ความกว้างของสเปกตรัมที่เพิ่มขึ้นของอิมิตเตอร์ที่มีความยาวคลื่นมากขึ้นสามารถที่จะชดเชยโดยลดการกระจายตามความถี่ของวัสดุ

2.2.2 เลเซอร์ไดโอด (Laser Diode)

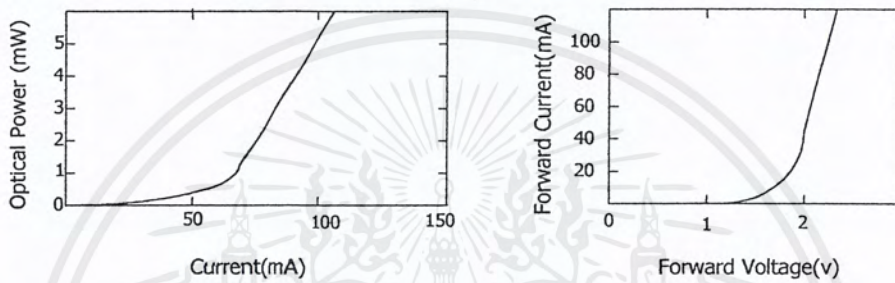
เลเซอร์ไดโอดนับว่าเหมาะสมที่สุดสำหรับการสื่อสาร โดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงโดยเลเซอร์ไดโอดมีคุณลักษณะที่สำคัญ คือ

- (1) Pumping threshold พาวเวอร์อินพุตที่จ่ายให้เลเซอร์ต้องมากกว่าระดับขีดเริ่มเปลี่ยน (threshold) ก่อนที่เลเซอร์จะปล่อยแสง ลักษณะนี้จะไม่เหมือนกับ LED ซึ่งแผ่รังสีออกมาถึงแม้ว่าระดับกระแสเดินพุดจะต่ำกว่า
- (2) Output spectrum พาวเวอร์เอาท์พุตของเลเซอร์ไม่ได้มีเพียงความถี่เดียวแต่มีตลอดย่านความถี่ ปกติพาวเวอร์ไม่เปลี่ยนแปลงแบบรายเรียบตลอดย่านแต่เป็นอนุกรมของสูงและต่ำ
- (3) Radiation partem พัลส์ของมุมเลเซอร์ปล่อยแสงออกมามีขึ้นอยู่กัขนาดบริเวณปล่อยแสง (emitting area) และ โหมดการออกสขิเลตภายในเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะการทำงานของเลเซอร์ไดโอด

คุณลักษณะของค่าเพาเวอร์ทางด้านแสงเอาต์พุตกับกระแสอินพุตของเลเซอร์ไดโอด ดังแสดงในรูปที่ 2.16(1) กระแสเริ่มเปลี่ยนมีค่าเป็น 75 mA ที่ระดับกระแสต่ำกว่านี้ค่าเพาเวอร์จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย การแพร่กระจายของ noncoherent เกิดจากการปล่อยอย่างทันทีทันใดของประจุในชั้นของการรวมตัว ไดโอดส่วนใหญ่จะมีกระแสขีดเริ่มเปลี่ยนเริ่มต้นจาก 30-250 mA และค่าแรงดันขีดเริ่มเปลี่ยนอยู่ในช่วง 1.2-2 V กระแสไปหน้า (forward current) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อแรงดันตกคร่อมไดโอดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.16(2) ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของแรงดันเพียงเล็กน้อยจากค่าขีดเริ่มเปลี่ยนจะทำให้มีกระแสเกิดขึ้นที่จุดทำงาน

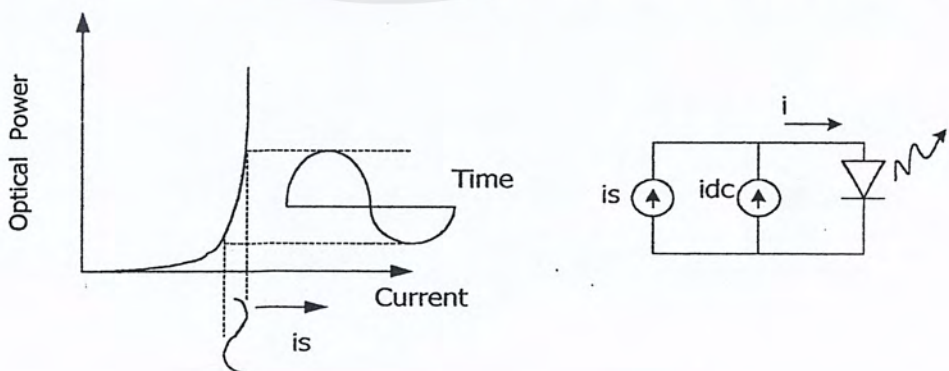


รูปที่ 2.16 (1) แสดงคุณลักษณะของค่าเพาเวอร์ทางด้านแสงเอาต์พุตกับกระแสอินพุต

(2) แสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันเลเซอร์ไดโอด

เพาเวอร์เอาต์พุตสำหรับเลเซอร์ที่ทำงานอย่างต่อเนื่องมีค่าปกติในช่วง 1-10 mW Pulsed lasers ทำงานที่ duty cycle ต่ำสามารถให้ค่ายอดของเพาเวอร์ที่สูงกว่าได้ แต่ CW lasers ที่สามารถปิด-เปิดในอัตราสูงจะมีประโยชน์อย่างมากสำหรับระบบสื่อสาร ช่วงกระแสทำงานโดยปกติอยู่สูงกว่ากระแสขีดเริ่มเปลี่ยนประมาณ 20-40 mA การทำงานที่กระแสสูงกว่ากำหนดโดยผู้ผลิตจะทำให้ไดโอดมี life time สั้น

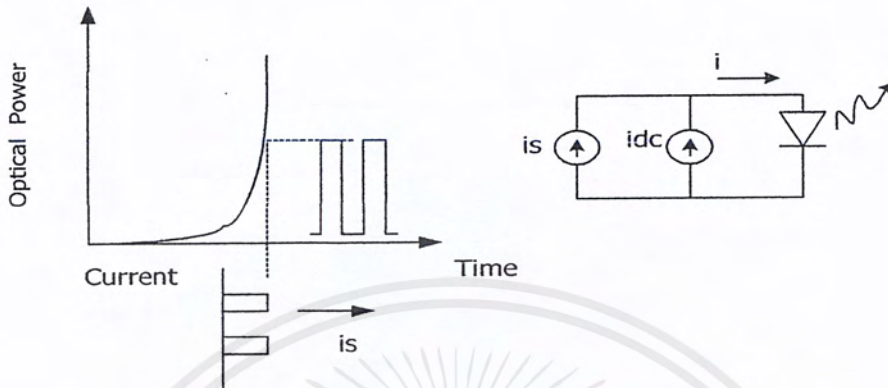
Digital modulation ของเลเซอร์ไดโอดดังรูป 2.17 แตกต่างจาก digital modulation ของ LED



รูปที่ 2.17 แสดง Digital modulation ของเลเซอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ Analog modulation แสดงในรูป 2.18 กระแสไบแอสอยู่สูงกว่าแอสซิดเริ่มเปลี่ยน
ในบริเวณเชิงเส้นของ power-current characteristic



รูปที่ 2.18 แสดง Analog modulation ของเลเซอร์ไดโอด

Property	LED	Laser diode	Single-Mode Laser diode
Spectral width (nm)	20-100	1-5	<0.2
Rise time (ns)	2-250	0.1-1	0.05-1
Modulation- Bandwidth (MHz)	<300	2000	6000
Coupling efficiency	Very low	Moderate	High
Compatible fiber	Multimode Si Multimode GRIN	Multimode GRIN Single-mode	Single-Mode
Temperature	Low	High	High
Sensitivity			
Circuit complexity	Simple	Complex	Complex
Lifetime (hours)	10^5	$10^4 - 10^5$	$10^4 - 10^5$
Costs	Moderate paths	Long paths	Very long paths
Primary use	Moderate data rates	High data rates	Very high rates

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณลักษณะของแหล่งกำเนิดแบบสารกึ่งตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

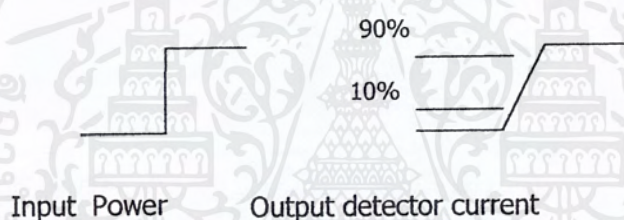
2.3 LIGHT DETECTOR

คุณสมบัติที่สำคัญของดีเทคเตอร์ได้แก่สภาพตอบสนอง (responsivity) การตอบสนองสเปกตรัม (spectram response) และ rise time สภาพการตอบสนองเป็นอัตราส่วนของค่ากระแสเอาต์พุตของดีเทคเตอร์ต่อเพาเวอร์ของแสงอินพุต

$$P = i/p \quad (10)$$

หน่วยของสภาพการตอบสนองคือ ampere/watt สัญญาณไฟฟ้าเอาต์พุตในดีเทคเตอร์บางตัวอาจจะเป็นแรงดัน ซึ่งในกรณีนี้สภาพการตอบสนองมีหน่วยเป็น volts/watt

การตอบสนองสเปกตรัม หมายถึง เส้นโค้งแสดงสภาพการตอบสนอง โดยขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น rise time ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่กระแสเอาต์พุตของดีเทคเตอร์ เปลี่ยนแปลงจาก 10% เป็น 90% ของค่าสุดท้าย เมื่อการเปลี่ยนแปลงของเพาเวอร์ของแสงเป็นแบบ step



รูปที่ 2.19 แสดง Photodetector rise time

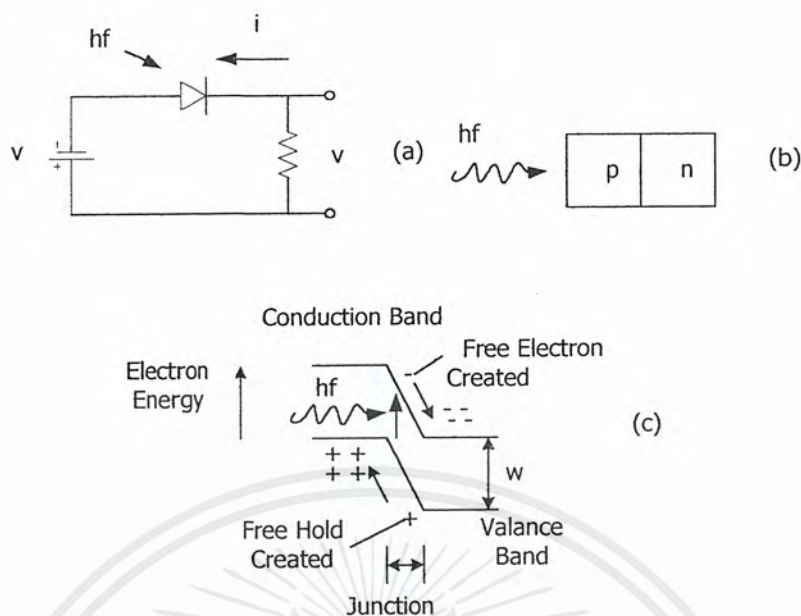
3-dB modulation bandwidth ของดีเทคเตอร์

$$f_{3\text{-dB}} = 0.35/Tr \quad (11)$$

ที่ความถี่นี้เพาเวอร์ของสัญญาณไฟฟ้าเอาต์พุตในภาครับจะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่าที่ได้รับที่ความถี่มอดูเลตต่ำมาก ๆ

2.3.1 โฟโตไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำ

Photodiode แบบสารกึ่งตัวนำจะมีรอยต่อขนาดเล็ก มีความไวต่อแสง ให้การตอบสนองที่รวดเร็วและสามารถทำงานที่แรงดัน 2-3 โวลท์



รูปที่ 2.20 แสดงถึงกลไกการตรวจจับแสงของตัวตรวจจับแบบรอยต่อ

เมื่อไบแอสย้อนกลับศักย์ของพลังงานของแนวขวางกั้นระหว่างบริเวณ p และ n เพิ่มขึ้น อิเล็กตรอนอิสระและโฮลอิสระไม่สามารถข้ามแนวขวางกั้นได้ ดังนั้นจึงไม่มีกระแสไหล รอยต่อหมายถึงบริเวณซึ่งเกิดแนวขวางกั้นเนื่องจากไม่มีประจุในบริเวณรอยต่อบริเวณนี้เรียกว่า depletion region เมื่อไม่มีประจุอิสระความต้านทานจึงสูง เป็นผลให้แรงดันเกือบทั้งหมดที่ตกคร่อมไดโอดไปปรากฏที่บริเวณรอยต่อ ดังนั้นแรงไฟฟ้า (electrical force) จึงสูงใน depletion region และน้อยมากที่บริเวณ region รูปที่ 2.20 (C) แสดงโฟตอนที่ตกกระทบและถูกดูดกลืนในบริเวณรอยต่อหลังผ่านชั้นสองของสาร p พลังงานดูดกลืนไปเพิ่มศักย์ภาพของอิเล็กตรอนให้ข้ามช่องว่างจาก valence band ไปยัง conduction band ขณะนี้ อิเล็กตรอนเป็นอิสระที่จะเคลื่อนที่โฮลอิสระเคลื่อนที่ไปทางซ้ายใน valence band ที่ตำแหน่งซึ่งว่างลงโดยอิเล็กตรอน ตัวพาประจุอิสระถูกสร้างด้วยการดูดกลืนโฟตอนในลักษณะนี้อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ลงแนวขวางกั้นและโฮลจะเคลื่อนที่ขึ้นจากแนวขวางกั้น การเคลื่อนที่ของประจุเหล่านี้เป็นเหตุให้กระแสไหลผ่านวงจรรภายนอกในลักษณะเดียวกับกระแสที่เกิดขึ้นใน vacuum photodiode เมื่อโฮลและอิเล็กตรอนอิสระรวมตัวกันหรือเมื่อถึงขอบของรอยต่อ ที่ซึ่งแรงทางไฟฟ้า มีเพียงเล็กน้อยประจุหยุดการเคลื่อนที่กระแสก็หยุดไหล

2.3.2 โฟโอดีไดโอด (PIN photodiode)

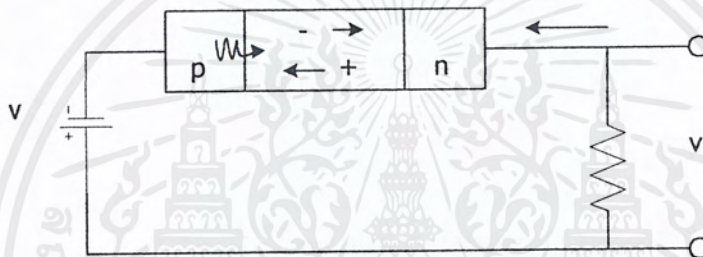
ในระบบเส้นใยนำแสงมักนิยมใช้ PIN photodiodes เป็นตัวตรวจจับแสง PIN diode มีชั้นสารกึ่งตัวนำ intrinsic ที่กว้างระหว่างบริเวณ p และ n แสดงดังรูปที่ 2.2.1 ในชั้นของ intrinsic จะไม่มีประจุอิสระดังนั้นความต้านทานของมันจึงสูง ส่วนใหญ่ของแรงดันจะปรากฏที่บริเวณนี้ และแรงไฟฟ้าจะ

สูง เนื่องจากชั้นของ intrinsic กว้างมากมีความน่าจะเป็นสูงที่โฟตอนที่เข้ามาจะถูกดูดกลืนในบริเวณนี้มากกว่าในบริเวณ p หรือ n ลักษณะเช่นนี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและความเร็วเมื่อเทียบกับ pn photodiode

Silicon มักนิยมใช้เป็น fiber optic detector มากที่สุด ใน first window Germanium และ InGaAs ให้กำเนิดสัญญาณรบกวนมากกว่า silicon แต่จะตอบสนองใน second window ในการสร้าง electron-hole pair โฟตอนที่เข้ามาต้องมีพลังงานเพียงพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนข้ามผ่านช่องว่างได้ ความต้องการนี้คือ $hf \geq Wg$ นำไปสู่ cutoff wavelength

$$\lambda = 1.24/wg \text{ } \mu\text{m} \tag{12}$$

Wg = bandgap energy (eV)

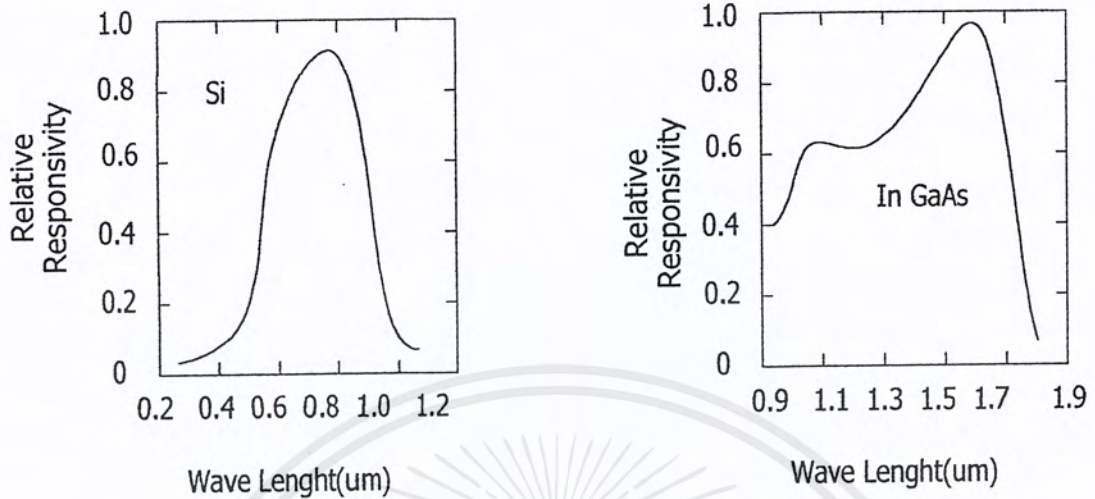


รูปที่ 2.21 แสดง PIN photodiode

Material	Wavelength range (μm)	Wavelength of peak Response (μm)	Peak Responsivity (A/W)
Silicon	0.3 - 1.1	0.8	0.5
Germanium	0.5 - 1.8	1.55	0.7
InGaAs	1.0 - 1.7	1.7	1.1

ตารางที่ 2.3 แสดงการสรุปพิสัยที่ใช้งานของวัสดุ PIN photodiode ที่นิยมใช้กันมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

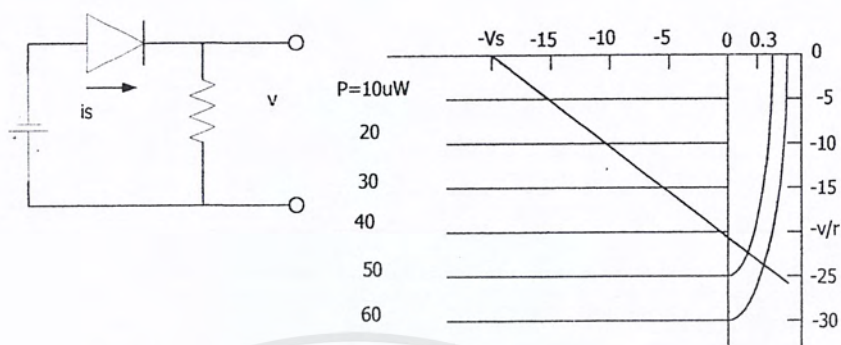


รูปที่ 2.22 แสดงผลการตอบสนองสเปกตรัมของ Silicon และ InGaAs

สภาพตอบสนองลดลงที่ความยาวคลื่นสั้นเป็นสาเหตุจากการดูดกลืนของโฟตอนที่มากขึ้นในบริเวณ p และ n silicon และ InGaAs มีค่า quantum efficiencies สูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 0.8 ไมโครเมตรสำหรับ silicon ที่ 0.8 ไมโครเมตรจะได้สภาพตอบสนอง 0.5 A/W จะเห็นว่ามากกว่าสภาพการตอบสนองของ vacuum photodiode ซึ่งมีค่า 6.4 mA/W สำหรับ InGaAs ที่ความยาวคลื่น 1.7 ไมโครเมตร และมีประสิทธิภาพร้อยละ 80 จะให้สภาพตอบสนอง 1.1 A/W จากเส้นโค้งแสดงการตอบสนองในรูปที่ 2.22 สภาพตอบสนองถูกทำให้ลดลงเหลือ 70% หรือที่ 0.77 A/W ที่ความยาวคลื่น 1.3 μm การตอบสนองสูงสุดของ Germanium เกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น 1.55 μm ที่ซึ่งมี quantum efficiency ประมาณ 55%

ขณะที่ไม่มีเพาเวอร์ของแสง กระแสไหลผ่านไดโอดขณะไบแอสย้อนกลับเรียกว่า dark current (I_d) dark current เกิดจากประจุอิสระอันเนื่องมาจากความร้อน dark current จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นบางครั้งเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าทุก ๆ 10°C dark current มีค่าอยู่ในช่วงของนาโนแอมแปร์ถึงหลายร้อยนาโนแอมแปร์โดยทั่วไป silicon detector มีค่า dark current ต่ำสุด InGaAs diode มีค่า dark current มากกว่า และ Germanium diode ค่า dark current มากที่สุดทำให้ Silicon detector มีความนิยมใช้มากกว่า Germanium diode ในช่วงความยาวคลื่นที่ photodiode ทั้งสองมีค่าสภาพการตอบสนองใกล้เคียงกัน

วงจรรีบของ PIN photodiode แสดงดังรูปที่ 2.23 จาก Kirchoff's voltage law กล่าวว่าผลของการบวกแรงดันรอบรูปในวงจรต้องเท่ากับศูนย์



รูปที่ 2.23 (a) แสดงวงจรพื้นฐานของ PIN ไดโอด
(b) แสดงการวิเคราะห์ด้วยกราฟของวงจร

ใช้ทฤษฎีดังกล่าวในวงจรรูป 2.23 จะได้

$$V_b + V_d + i_D R_L = 0 \quad (13)$$

แรงดันและกระแสของไดโอดกำหนดให้เป็นบวกในทิศทางไปหน้าทั้งกระแสและแรงดันมีค่าเป็นลบในกรณีนี้ สมการ (13) เป็นไปตามกราฟคุณลักษณะในรูปที่ 2.23

ความสัมพันธ์ระหว่างเพาเวอร์ของแสงที่ตกกระทบกับกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในโฟโอดีโอดความสัมพันธ์นี้ก็คือ $I = pR$ สำหรับ PIN ไดโอดจะมีค่า responsivity ระหว่าง 0.5 – 0.7 A/W

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

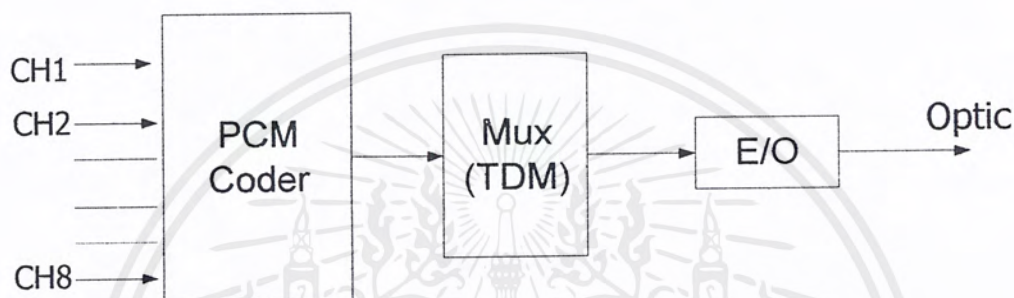
ตารางที่ 2.4 แสดงพารามิเตอร์ที่สำคัญของ Photodiode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

ในการออกแบบวงจรจะแยกการออกแบบเป็นส่วน ๆ เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายจะแสดงเป็นวงจรและบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.1 หลักการของการส่งข้อมูลผ่านเส้นใยแสงสามารถพิจารณาการทำงานของแต่ละส่วนได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรม ภาควงจร

ภาควงจร

ส่วนที่ 1. PCM CODER ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลและทำการเข้ารหัสสัญญาณได้เอาที่พูดจากภาควงจรเป็นสัญญาณดิจิทัลของข้อมูลแต่ละแขนแนล

ส่วนที่ 2. MULTIPLEX (TDM) ทำหน้าที่รวมสัญญาณดิจิทัลที่ได้จากภาควงจร PCM CODER แต่ละช่องซึ่งเป็นข้อมูลอนุกรม โดยใช้หลักมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

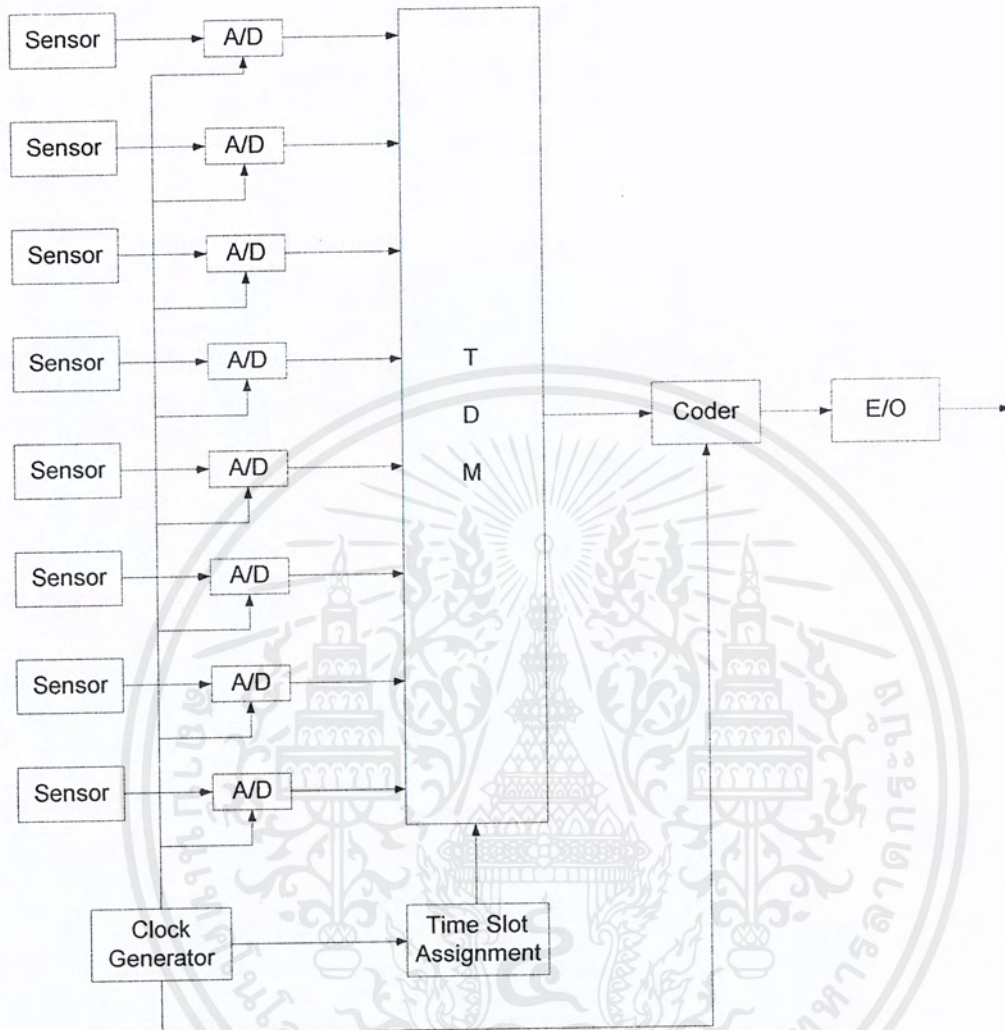
ส่วนที่ 3. E/O ทำหน้าที่แปลงสัญญาณของข้อมูลที่จะส่งซึ่งเป็นสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นแสงเพื่อที่จะส่งไปในสายไฟเบอร์ออฟติก

ส่วนที่ 4. FIBER OPTIC เป็นตัวกลางในการสื่อสารข้อมูล

3.1 การออกแบบวงจรรภาควงจร

ภาควงจรสามารถแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ภาควงจรสัญญาณไฟฟ้า กับภาควงจรสัญญาณแสงในไฟเบอร์ออฟติกซึ่งมีรายละเอียดทั้ง 2 ส่วนแสดงดังต่อไปนี้

3.1.1 ฟังก์ชันการทำงานของภาคส่งทางด้านไฟฟ้า

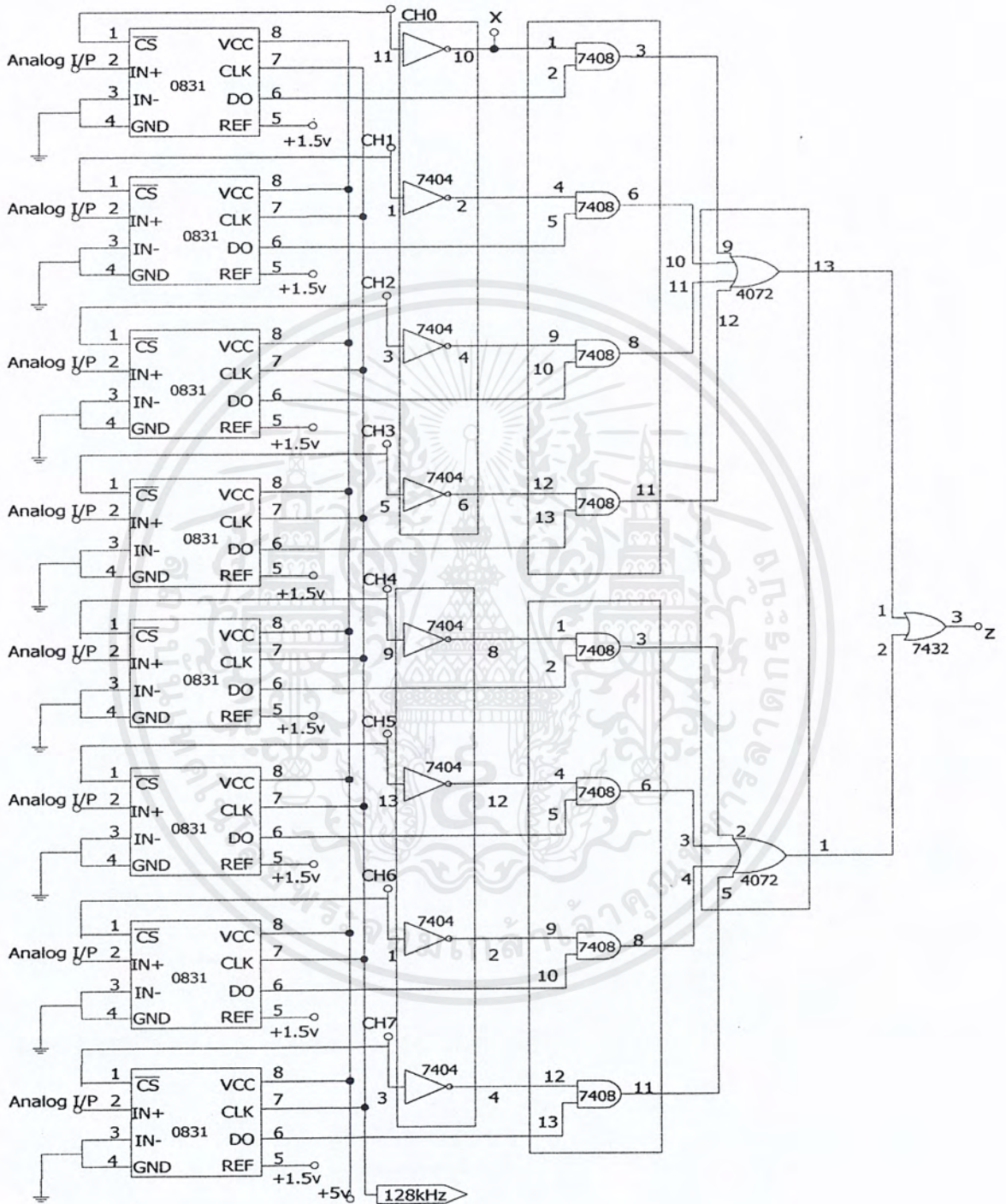


รูปที่ 3.2 ฟังก์ชันการทำงานของภาคส่งทางด้านไฟฟ้า

อินพุทของเครื่องส่งจะเป็นสัญญาณอนาล็อกที่ได้มาจากตัวเซนเซอร์ต่าง ๆ ซึ่งจะป้อนเข้าวงจรเข้ารหัส PCM และได้เอาท์พุทเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีอัตราการส่ง 128 kb/s จากนั้นสัญญาณดิจิทัลที่ได้ในแต่ละช่องสัญญาณจะถูกนำมารวมกันให้เป็นข้อมูลแบบอนุกรม โดยทำการมัลติเพล็กซ์แบบ Time Division Multiplex โดยจะใช้สัญญาณจากวงจรจัดช่องสัญญาณในการออกแบบ ได้แบ่งเวลาในการมัลติเพล็กซ์ไว้ช่องละ $78.125 \mu\text{s}$ ดังนั้น 8 ช่องจะใช้เวลา $625 \mu\text{s}$ ซึ่งเรียกว่า 1 เฟรม แล้วสัญญาณดิจิทัลที่ถูกมัลติเพล็กซ์แล้วจะถูกส่งไปยังวงจรเข้ารหัสแบบ RZ โดยทำการเติมบิตซิงค์ให้แต่ละเซนแนลเมื่อเข้ารหัสเรียบร้อยแล้วก็จะทำการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณแสงเพื่อส่งผ่านเส้นใยนำแสงต่อไป

3.1.2 วงจรทางด้านเครื่องส่ง

1. วงจรเข้ารหัสสัญญาณ PCM และมัลติเพล็กซ์



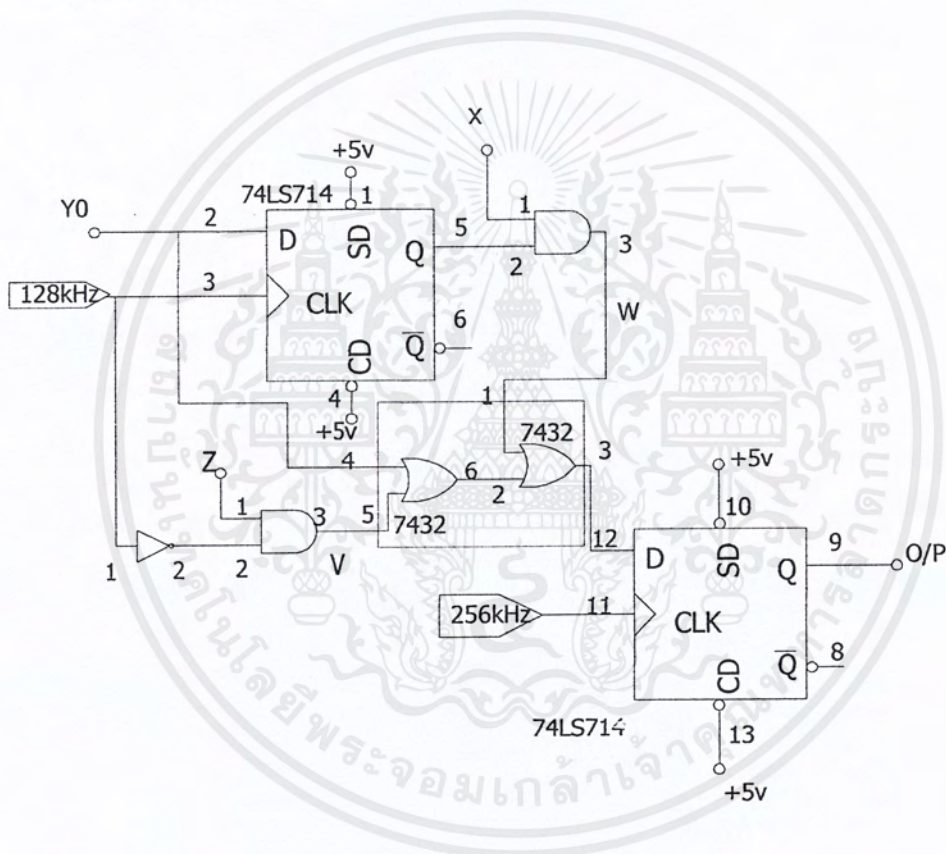
รูปที่ 3.3 วงจรเข้ารหัสสัญญาณ PCM และมัลติเพล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

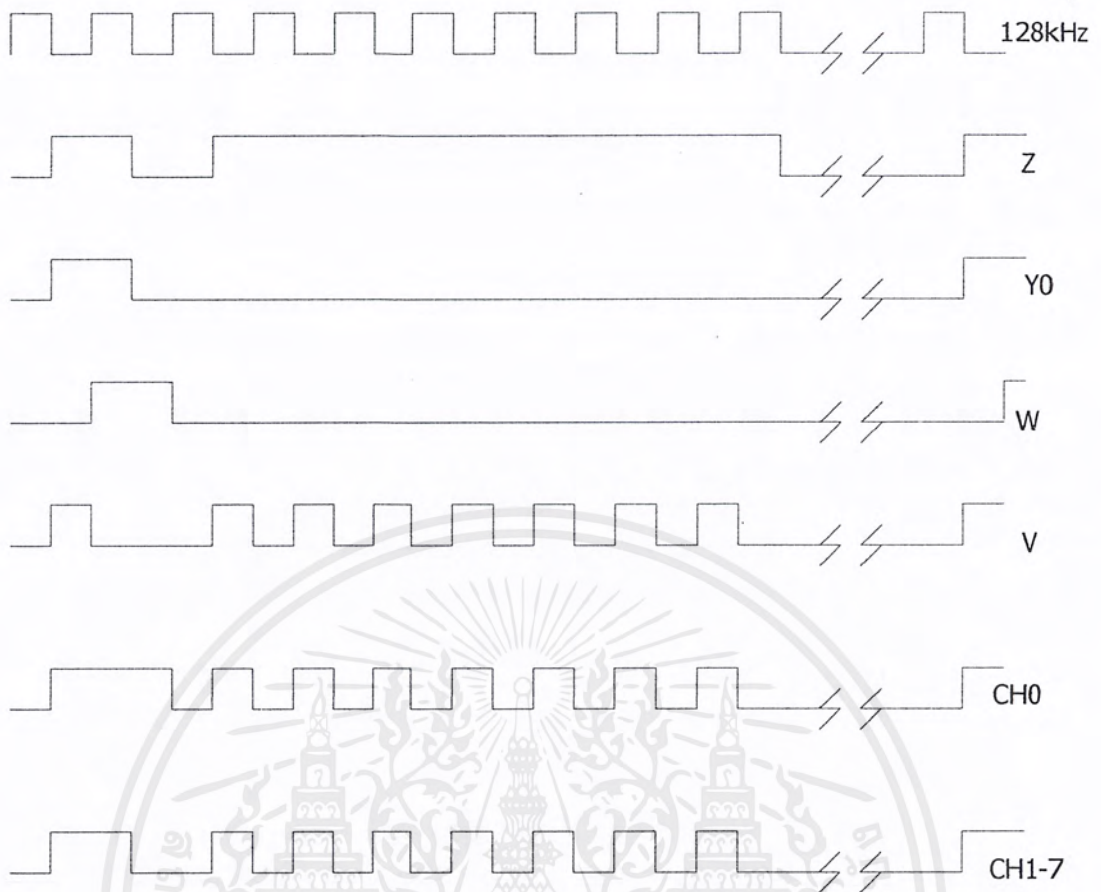
จากรูปที่ 3.3 วงจรเข้ารหัส PCM ใช้ IC เบอร์ ADC0831 ช่องสัญญาณละหนึ่งตัวอินพุทของวงจรจะเป็นสัญญาณอนาล็อกที่ได้มาจากตัวเซนเซอร์เอาต์พุทที่ได้จากขา 6 เป็นสัญญาณ PCM 8 บิต ซึ่งมีอัตราบิตในการส่ง 128 kb/s

ในส่วนของมัลติเพล็กซ์ได้ใช้แอนด์เกตเบอร์ 74LS08 ทำหน้าที่ซิงค์โครไนซ์สัญญาณ PCM ให้ตรงกับสัญญาณจัดช่องเวลาที่ส่งมาจากวงจรจัดช่องสัญญาณ โดยเมื่อวงจรจัดช่องสัญญาณส่งสัญญาณมา 74LS08 ก็ทำการเปิดเกต เพื่อให้ข้อมูลแต่ละช่องถูกส่งออกไป โดยแต่ละช่องจะถูกส่งออกไปไม่พร้อมกันขึ้นอยู่กับวงจรจัดช่องสัญญาณ ส่วน IC4072 และ IC7432 ทำหน้าที่รวมสัญญาณ PCM ในแต่ละช่องสัญญาณให้เป็นสัญญาณอนุกรมเรียงต่อกันไป

2. วงจรเข้ารหัส



รูปที่ 3.4 วงจรเข้ารหัส

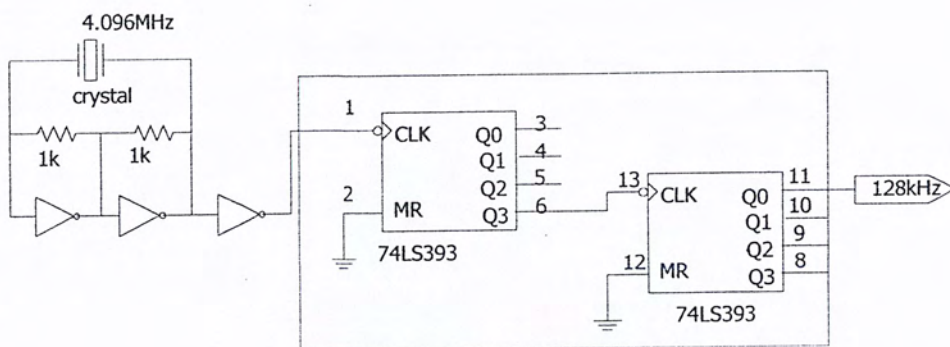


รูปที่ 3.5 สัญญาณที่จุดต่างๆ ของวงจรเข้ารหัส

จากรูปที่ 3.4 จะนำสัญญาณ PCM ที่มีลติเฟล็กซ์แล้วมาเข้ารหัสแบบ RZ เพื่อใช้ในการตีเทคสัญญาณของภาครับ โดยนำสัญญาณ PCM แอนด์ กับ คล็อก ส่วน IC 74LS74 ทำหน้าที่สร้างบิตซิงค์ขึ้นมา 1 บิต แล้วนำไปรวมกับสัญญาณ RZ จะทำให้ได้ O/P ของแต่ละแขนแลนมมีบิตซิงค์อยู่ข้างหน้าบิตข้อมูลอยู่ 2 บิต โดยอีก 1 บิตได้มาจาก IC4515 จากการออกแบบวงจรเข้ารหัสนั้นต้องการให้แต่ละแขนแลนมมีบิตซิงค์อยู่หน้าบิตข้อมูลอยู่ 2 บิต โดยให้บิตซิงค์ 2 บิตของ CH₀ นั้นเป็นหนึ่งอยู่บิตครึ่งและเป็นศูนย์ครึ่งบิต ส่วนบิตซิงค์ 2 บิต ของ CH₁ ถึง CH₇ จะเป็น 1 และ 0

จากรูปที่ 3.5 ถ้าสัญญาณ PCM ที่จุด Z มีลักษณะดังรูปเมื่อนำมาแอนกับคล็อกจะได้ที่จุด V แล้วนำไป OR กับ Y₀ จะได้ออกมาที่จุด U แล้วนำไป OR สัญญาณที่จุด W อีกทีหนึ่งก็จะได้ O/P ออกมาแล้วใช้ คีฟลิปฟลอปเป็นตัวแชนเปลี่งออกไปสู่วงจร E/O ต่อไป

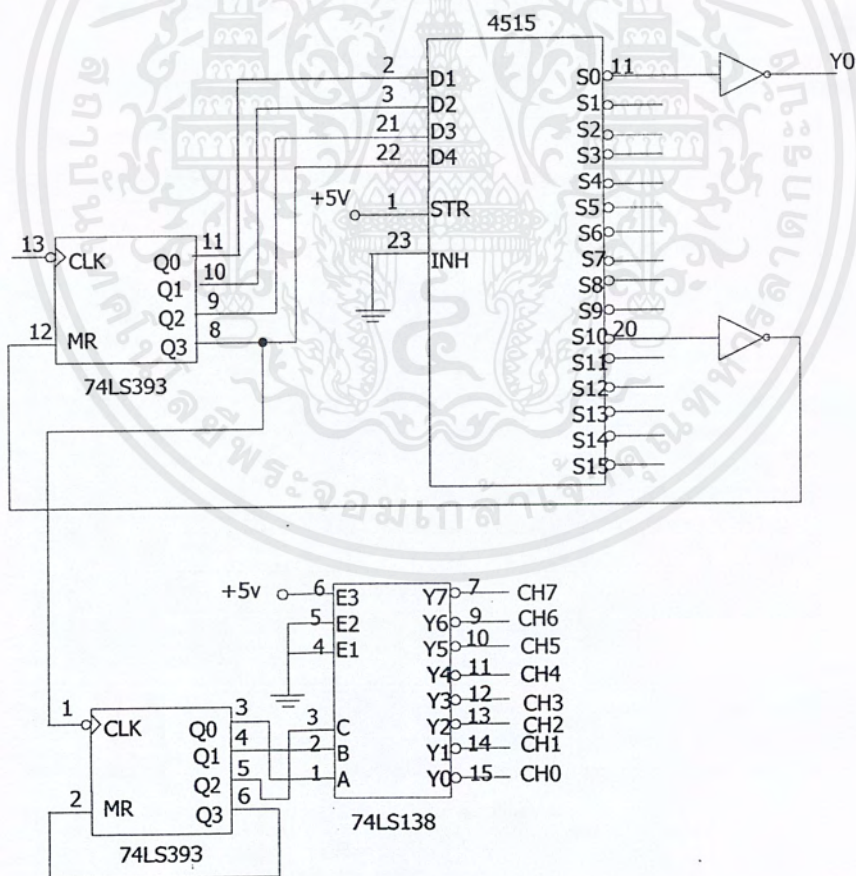
3. วงจรสร้างสัญญาณคล็อก



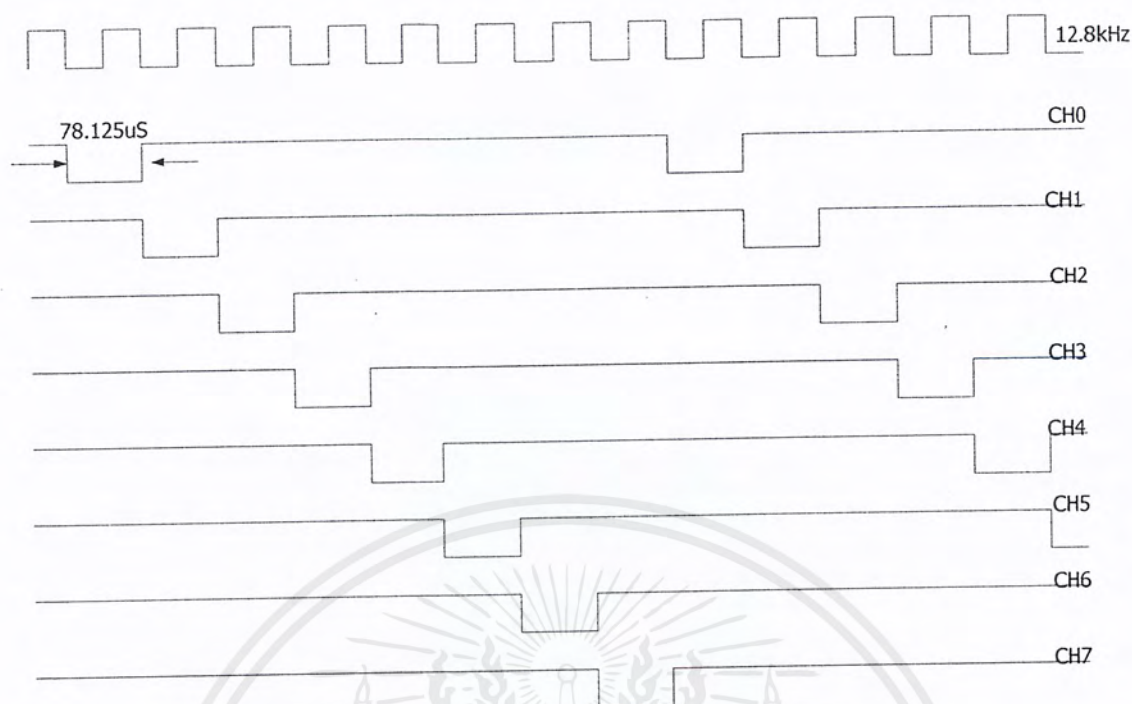
รูปที่ 3.6 วงจรสร้างสัญญาณคล็อก

ในส่วนของวงจรสร้างคล็อกนั้นจะใช้ IC เบอร์ 74LS393 ซึ่งเป็นไบนารีเคาท์เตอร์ทำการหารความถี่จากคริสตอล 4.096 MHz ให้เหลือความถี่ที่ต้องการคือ 256 KHz และ 128 KHz

4. วงจรจัดช่องสัญญาณ



รูป 3.7 วงจรจัดช่องสัญญาณ



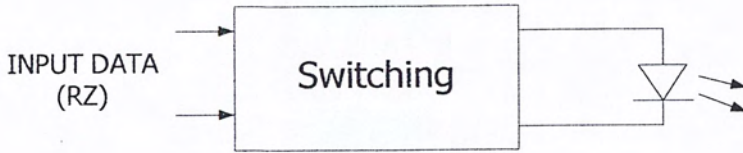
รูป 3.8 แสดง Timing Diagram ของวงจรจัดช่องสัญญาณ

เวลาที่ใช้ในการมัลติเพล็กซ์ในแต่ละช่องสัญญาณ จะใช้เวลา $78.125 \mu\text{s}$ จากวงจรจะใช้วงจรนับ 74LS393 เป็นตัวหารความถี่จาก 128 kHz ให้เหลือ 12.8 kHz แล้วนำความถี่ 12.8 kHz นี้ไปใช้ในวงจรจัดช่องสัญญาณ โดยจะใช้วงจรนับ 74LS393 คู่กับ 74LS138 ซึ่งเป็นตัวถอดรหัสสัญญาณไบนารี 8 ช่องและ O/P แอคทีฟที่ลอจิก "0" จะเห็นว่าความถี่ 12.8 kHz นี้จะทำให้ได้เวลาในแต่ละช่องสัญญาณเท่ากับ $78.125 \mu\text{s}$ พอดี ส่วน IC4515 นั้นเป็นตัวถอดรหัสสัญญาณไบนารี 16 ช่อง โดยใช้สร้างบิตซิงค์ 1 บิตคือ ที่จุด Y_0 และใช้เป็นตัวเคลียร์ IC74LS393 เมื่อนับครบ 10 แล้ว โดยต่อออกจากขา 20 ของ IC4515 ไปเข้าขา 12 ของ IC74LS393

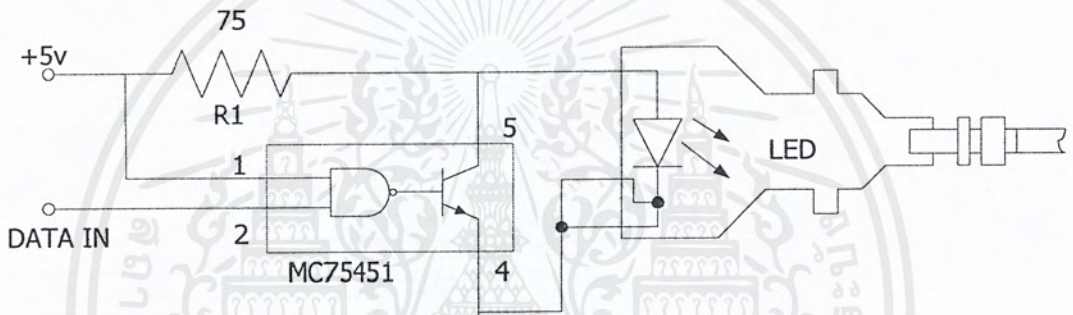
3.1.3 การทำงานภาคส่งไฟเบอร์ออปติก

การออกแบบวงจรภาคส่งนี้ใช้สำหรับส่งสัญญาณดิจิทัลและทำการมอดูเลทกับแสง โดยใช้สัญญาณดิจิทัลมาสวิทซ์แหล่งกำเนิดแสงให้เปิด-ปิด วงจรที่ใช้จึงเป็นวงจรแบบสวิทซ์ซิงการสวิทซ์ทำได้ 2 ลักษณะ คือ สวิทซ์กระแสและสวิทซ์แรงดัน เนื่องจากกำลังขาออกที่แหล่งกำเนิดแสง ส่งออกมา นั้น ขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลผ่านตัวกำเนิดแสง ถ้ากระแสมากกำลังขาออกที่ได้ก็จะสูงดังนั้นเพื่อให้ได้กำลังขาออกสูงจึงต้องไบแอสด้วยกระแสที่สูงสำหรับการสวิทซ์กระแส เมื่อกระแสสูง RL ที่ใช้ต้องทนกระแสได้สูง แต่การใช้กำลังไฟจะมีแคในช่วงที่แหล่งกำเนิดแสง ON เท่านั้น ส่วนการสวิทซ์แรงดันถ้าไบแอสด้วยแรงดันที่เท่ากันแล้วจะได้กระแสที่ไหลผ่านแหล่งกำเนิดแสงสูงกว่า เพราะ RL จะมีกระแสไหลผ่านตลอดเวลาไม่ว่าจะเป็นช่วง ON หรือ ช่วง OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรม ภาคส่งไฟเบอร์ออฟติก



รูปที่ 3.10 วงจรส่งไฟเบอร์ออฟติก

ในวงจรส่งไฟเบอร์ออฟติกจะมีโมดูลของตัวส่งเบอร์ HFBR 1501 ภายในมี LED สีแดง เหมาะกับการใช้งานในย่านความยาวคลื่น 665 nm สำหรับการทำงานในการส่งสัญญาณ TTL ในรูปของ RZ จะป้อนเข้าสู่วงจรสวิตช์ซึ่งเพื่อทำการมอดูเลตสัญญาณ โดยการกำหนดสถานะ ON/OFF ของ LED ตามอินพุตที่เข้ามา ในส่วนของวงจรสวิตช์ซึ่งจะใช้ IC เบอร์ MC 75451 ซึ่งมีโครงสร้างภายในเป็น NAND GATE ต่ออยู่กับทรานซิสเตอร์

เนื่องจากคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ HFBR 1501 LED มี V_F ประมาณ 1.45 V และกระแส I_F เท่ากับ 60 mA ดังนั้นสามารถหาค่า resistor (R_1) ได้ดังนี้

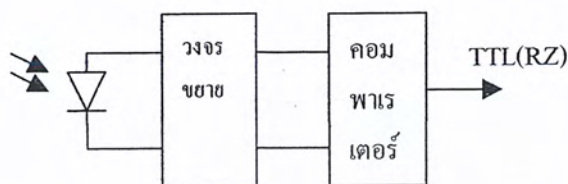
$$\begin{aligned}
 R_1 &= (V_{CC} - V_F) / I_F \\
 &= (5V - 1.45V) / 60 \text{ mA} \\
 &\approx 50 \Omega
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบวงจรภาครับ

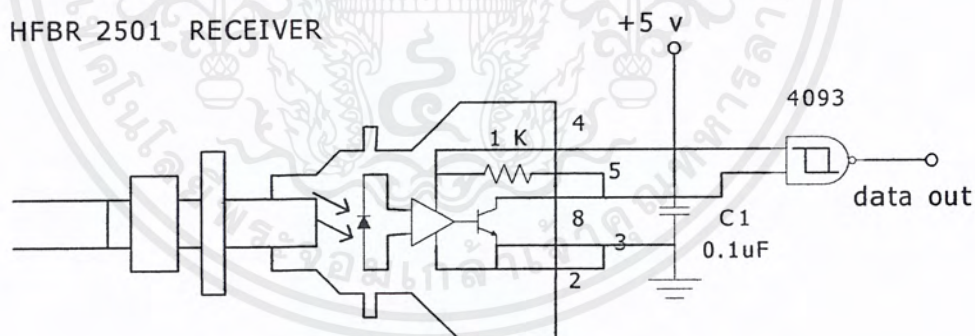
สามารถแยกได้เป็น 2 ส่วน คือ ภาครับไฟเบอร์ออฟติกกับ ภาครับสัญญาณไฟฟ้า มีรายละเอียดต่างๆดังนี้

3.2.1 ภาครับทางด้าน ไฟเบอร์ออฟติก



รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรม ภาครับไฟเบอร์ออฟติก

ภาครับสัญญาณจะมีบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 1 โฟโตไดโอด จะทำหน้าที่แปลงแสงที่ตกกระทบเป็นกระแสไฟฟ้า ถ้าพลังงานแสงที่ตกกระทบมากทำให้กระแสที่ได้สูงตามไปด้วย และพลังงานแสงนี้จะแรงหรืออ่อนขึ้นอยู่กับระยะเวลาของเส้นใยแสงที่เชื่อมระหว่างภาคส่งกับภาครับ แรงดันที่ได้รับจากโฟโตไดโอดจะขยายให้ได้ขนาดใหญ่มากกับความถี่ที่ต้องการแล้วนำสัญญาณไปเข้าคอมพารเตอ์เพื่อที่จะได้สัญญาณ TTL ออกมา



รูปที่ 3.12 วงจรภาครับไฟเบอร์ออฟติก

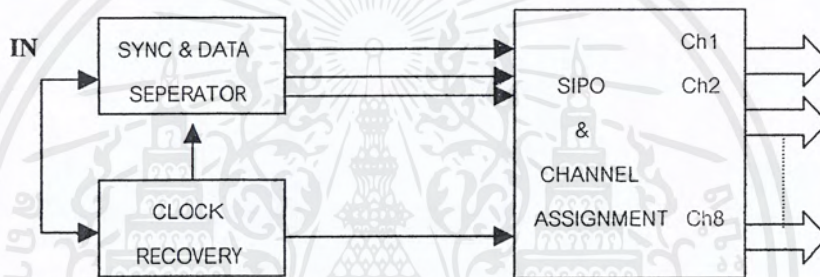
ในวงจรภาครับไฟเบอร์ออฟติก จะใช้โมดูล ของตัวรับเบอร์ HFBR 2501 เป็นตัวรับสัญญาณดิจิทัลในรูปของแสงที่เดินทางมาในสายไฟเบอร์ออฟติก โครงสร้างภายในจะเป็น โฟโตดีเทคเตอร์ , Wide band DC Amplifier ต่ออยู่กับ Schottkey Clamped Open Collector Output Transister จะได้เอาท์พุทเป็น 0 V และ 5 V แทน ลอจิก “0” และ “1” ตามลำดับ เอาท์พุทที่ได้ดังกล่าวจะส่งผ่าน IC เบอร์ MC 14093

Nand schmitttrigger ซึ่งช่วยเกลาสัญญาณที่รับเข้ามาให้เป็นพัลส์ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น เพื่อนำไปป้อนให้กับวงจรภาครับสัญญาณไฟฟ้าต่อไป

3.2.2 ภาครับสัญญาณไฟฟ้า

หน้าที่และการทำงานของแต่ละบล็อก

1. CLOCK RECOVERY ทำหน้าที่สร้างคล็อกที่ซิงโครไนซ์กับข้อมูลที่เข้ามา
2. SYNC & DATA SEPERATOR ทำหน้าที่แยกเอาสัญญาณซิงค์และข้อมูลออกมา
3. SIPO & CHANNEL ASSIGNMENT ทำหน้าที่แปลงข้อมูลออกมาเป็นแบบขนาน 8 บิต กำหนดช่องของข้อมูลให้ตรงกับด้านส่ง



รูปที่ 3.13 บล็อกไดอะแกรมภาครับสัญญาณ ไฟฟ้า

ผังการทำงานภาครับ

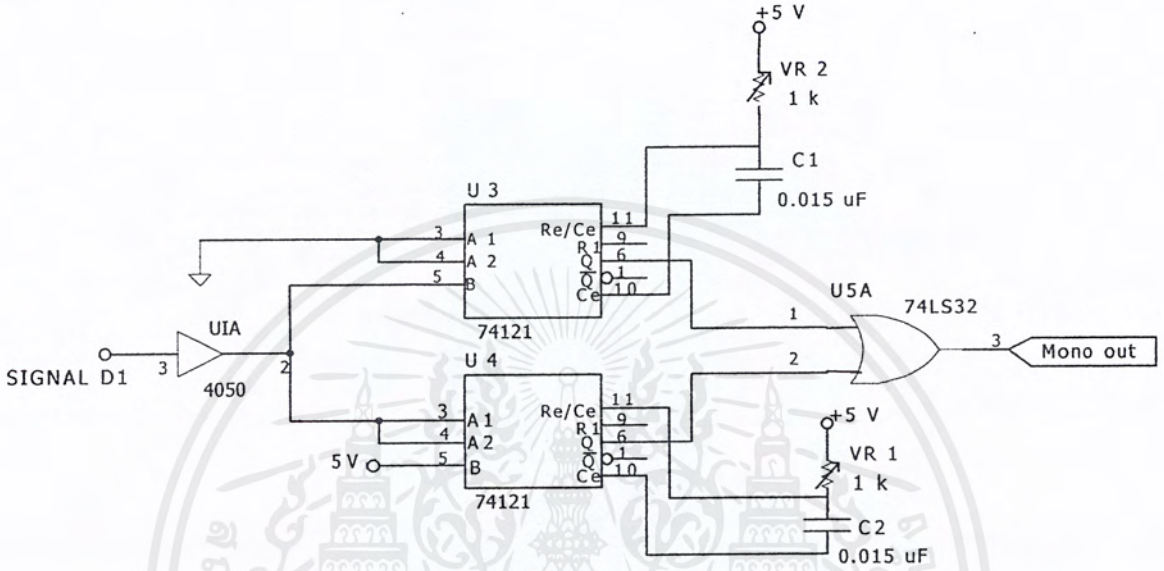
สัญญาณที่ได้จาก O/E เรานำมาสร้างคล็อกเพื่อใช้แยก ข้อมูล สัญญาณจัดช่อง (12.8 kHz) และสัญญาณจัดเฟรม (1.6 kHz) ซึ่งทำงานในส่วนของ Sync & Data Seperator ผ่านเข้าส่วนของบล็อกแยกช่องสัญญาณ ซึ่งสัญญาณซิงค์จะทำหน้าที่กำหนดช่องข้อมูลให้ตรงกับด้านส่งได้ข้อมูลเป็นแบบขนาน 8 บิต เป็นสัญญาณเอาท์พุท

1. CLOCK RECOVERY

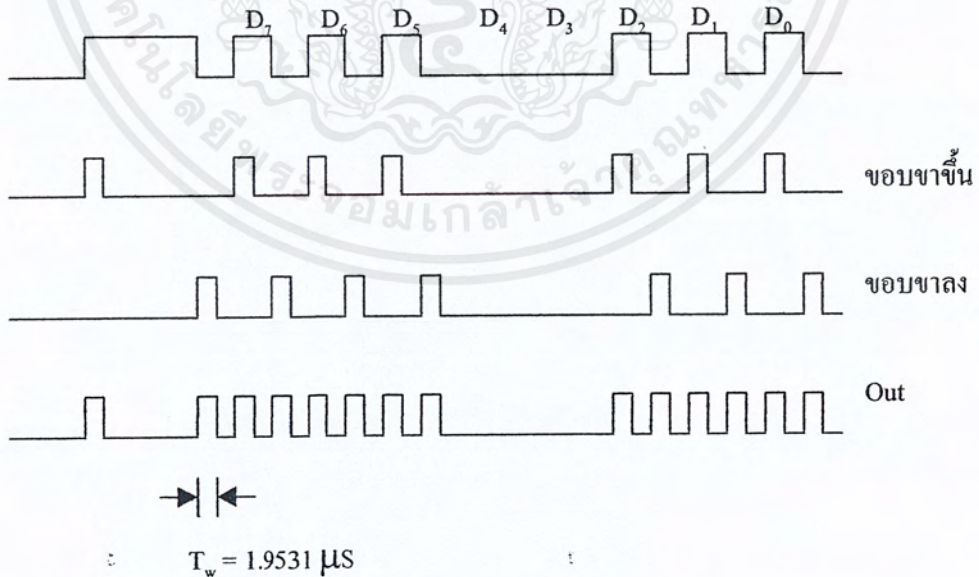
ส่วนสำคัญประกอบไปด้วย 74LS121 ซึ่งเป็นโมโนสเตเบิลไวเบรเตอร์จะทำหน้าที่ตรวจจับขอบขาขึ้นของพัลส์ที่เข้ามา จากนั้นจะหน่วงเวลาในการออฟซึ่งความกว้างของพัลส์จะขึ้นอยู่กับค่าเวลาคงที่ (time constant) ของ R และ C ส่วนอีกตัวก็เช่นเดียวกันแต่จะตรวจจับขอบขาลงแทน ในที่นี้ กำหนดความกว้างของพัลส์ประมาณ $1.953 \mu\text{s}$ ซึ่งสัญญาณที่ได้ของแต่ละตัวนำมา OR กันนำไปขับทรานซิสเตอร์เพื่อปรับระดับแรงดันเป็น 0 V และ 15 V ป้อนให้กับ Phase Comparater I (A_{10}) ของ Phase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

locked loop เบอร์ 4046B เพื่อทำการเปรียบเทียบเฟสกับคล็อก ที่สร้างขึ้นมาโดย VCO (Voltage Control Oscillator) ซึ่งผ่านวงจรหาร 4 โดยเบอร์ 4520 ที่ขา B_{in} (Pin3) ได้ Error Voltage ที่ขา PC₁ ผ่าน Low pass filter ป้อนให้กับ Vco_{in} เพื่อไปควบคุม VCO ให้สร้างคลื่นที่เป็น 4 เท่าของ Input Signal (A_{in}) ซึ่งจะได้สัญญาณที่ขา A_{in} และ B_{in} มีความถี่เท่ากัน และเฟสต่างกันประมาณ 90° โดย Input Signal และ Vco Out จะต้องมี duty cycle 50% การล๊อคจึงเกิดขึ้นได้



รูปที่ 3.14 ส่วนของวงจร Monostable Multivibrator



รูปที่ 3.15 Timing Diagram แสดงการทำงานของวงจร Monostable Multivibrator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถกำหนด Pulse Width (T_w) ได้จาก

$$T_w = K * R_{ext} * C_{ext} \text{ เมื่อ } K \approx 0.45$$

ให้ $C_{ext} = 0.015 \mu F$

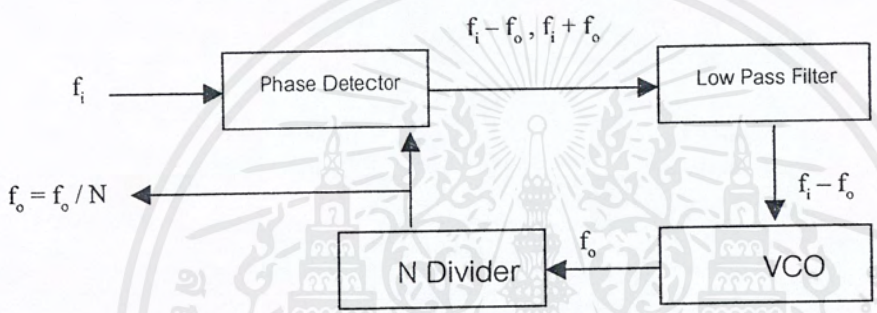
และ $T_w = 1/(2 * 256 \text{ kHz})$

$$= 1.9531 \mu s$$

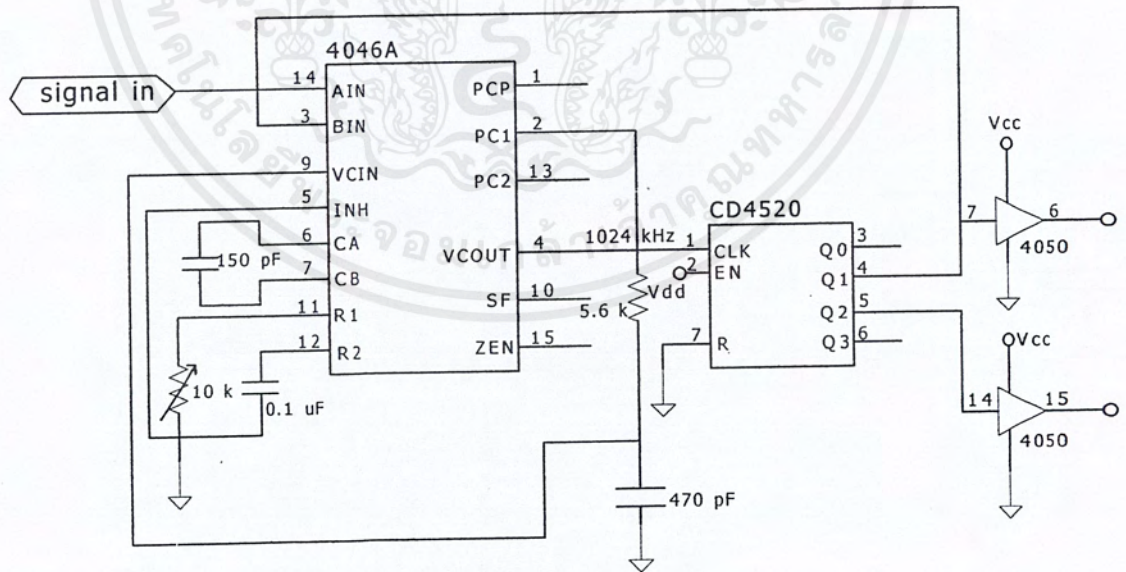
จะได้ $R_{ext} = T_w / (0.45 * C_{ext})$

$$\approx 300 \Omega$$

ส่วนของวงจรเฟสล็อกคูลูป

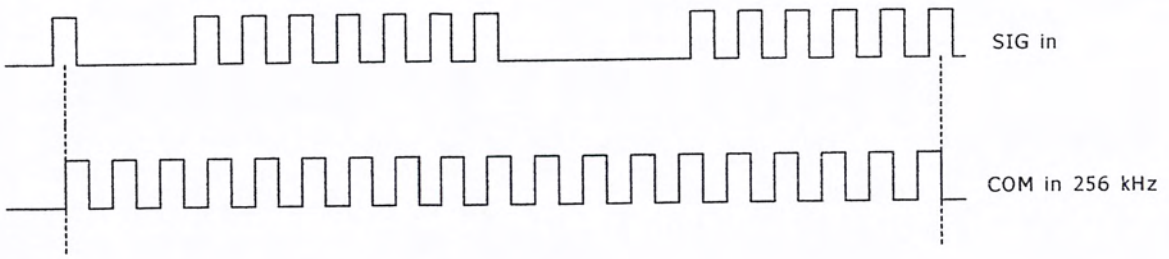


รูปที่ 3.16 บล็อกไดอะแกรม ส่วนของ Phase Locked Loop



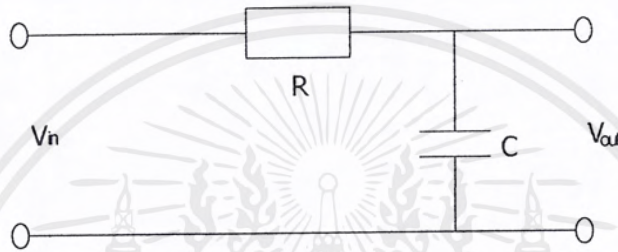
รูปที่ 3.17 ส่วนของวงจร Phase Lock Loop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 Timing Diagram แสดงการทำงานของวงจร Phase Locked Loop

การออกแบบส่วนของวงจร Low Pass Filter



รูปที่ 3.19 วงจร Low Pass Filter

เมื่อ

$2f_1$: Frequency Lock Range

$2f_c$: Frequency Capture Range

τ : Time constant of low pass filter

จากสูตร

$$2f_c \approx (1/\pi) * [(2\pi f_1 / \tau)^2]$$

$$\tau = RC$$

เราใช้ f_0 เป็นความถี่ออสซิลเลเตอร์ของ VCO เมื่อไม่มีสัญญาณอินพุตมีค่า 1024 kHz หากค่า R_1 และ C_1 ได้จากคู่มือของเฟสล็อกคัลการเข้าสู่สภาวะล็อก ($2f_c$) และการอยู่ในสภาวะล็อก ($2f_1$) ถูกกำหนดโดยCharacteristic ของวงจร Low Pass Filter ซึ่งได้แก่ค่าเวลาคงที่ของวงจร (τ)

$$\tau \approx 2\pi f_1 / (2\pi f_c)^2 = f_1 / 2\pi f_c^2 = RC$$

ให้ $2f_1 = 2 * 256 \text{ kHz}$, $2f_c = 256 \text{ kHz}$

$$\tau \approx 256 \text{ kHz} / 2\pi (256 \text{ kHz}/2)^2$$

$$\tau \approx 2.4868 * 10^{-6} \text{ sec}$$

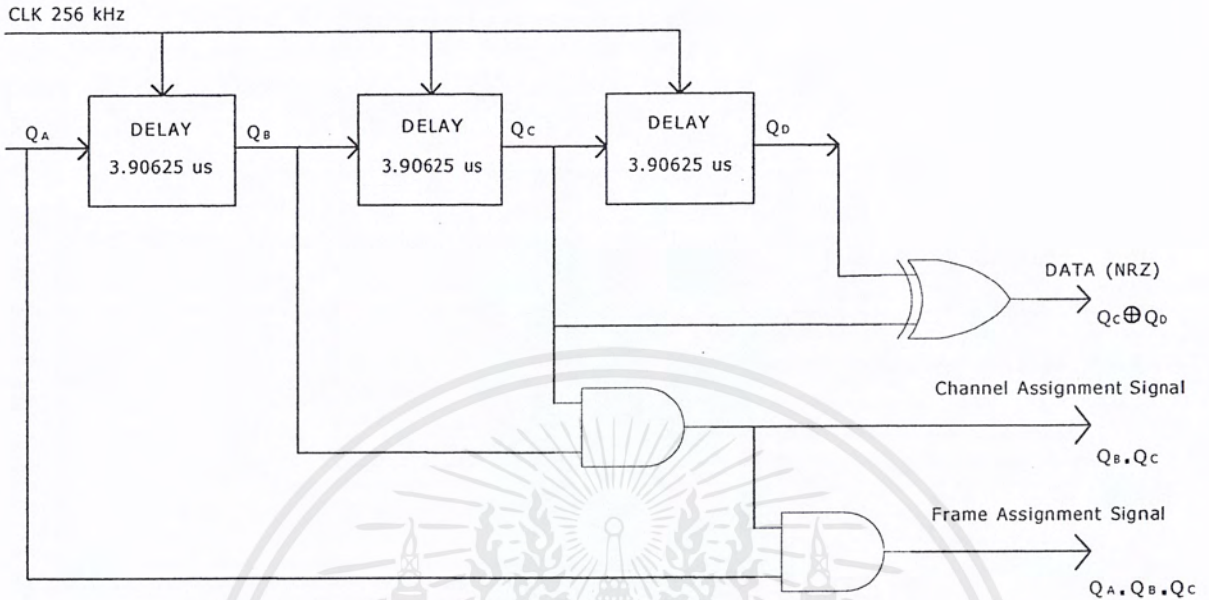
กำหนด $C = 470 \text{ pF}$

$$R \approx 2.4868 * 10^{-6} / 470 * 10^{-12}$$

$$\approx 5.3 \text{ k}\Omega$$

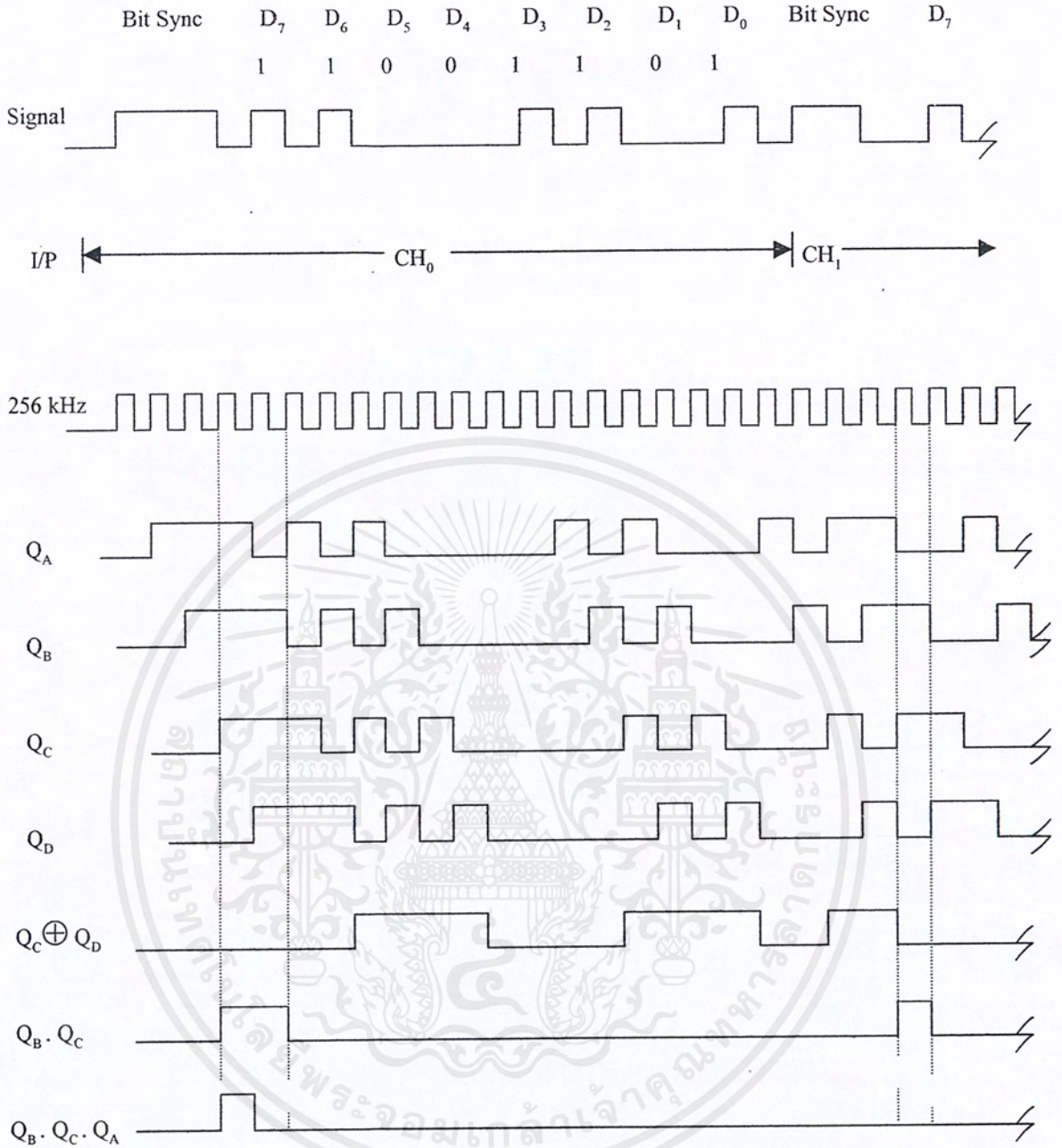
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วงจร DATA & SYNC SEPERATOR



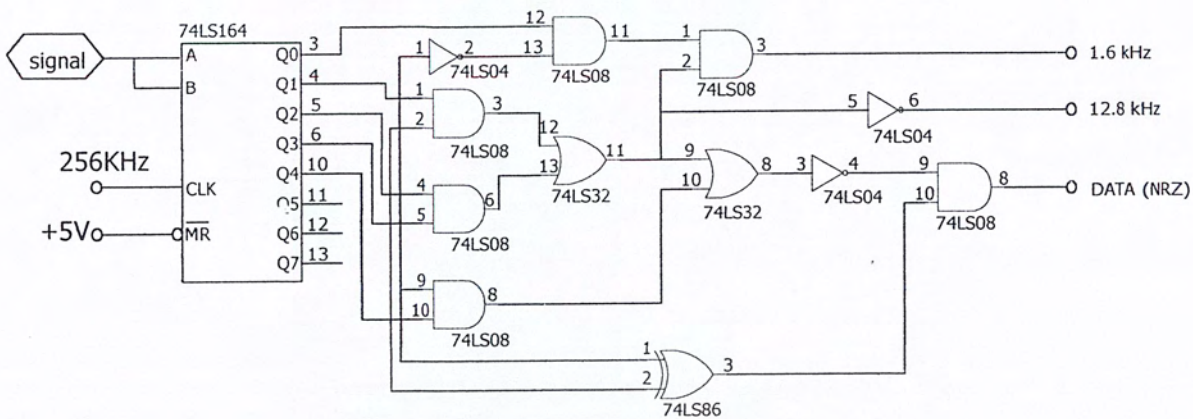
รูปที่ 3.20 แสดงการทำงานของ Data & Sync Separator

IC 74LS164 ทำหน้าที่เป็นตัวคีย์ ซึ่งสัญญาณเอาต์พุต ที่ขา Q_A ถึง Q_H จะมีช่วงดีเลย์กันอยู่คล็อก 1 ลูก ($1/256 \text{ kHz} = 3.90625 \mu\text{s}$) เมื่อนำ Q_B และ Q_C มาแอนด์กันในส่วนที่เป็นข้อมูลจะได้ศูนย์ ส่วนที่เป็นซิงค์บิตก็จะสามารถแยกออกมาได้ซึ่งใช้สำหรับจัดช่องสัญญาณและนำไปแอนด์กับ Q_A จะได้สัญญาณจัดเฟรมส่วนข้อมูลได้จาก $Q_C \oplus Q_D$ ทำให้เราสามารถแยกเอาบิตซิงค์และข้อมูลออกมาได้ดัง Timing Diagram โดยสัญญาณที่เอาต์พุตของวงจรส่วนนี้ได้แก่ข้อมูลซึ่งเป็นสัญญาณ NRZ (L) มีอัตราข้อมูลเท่ากับ 128 kb/s สัญญาณซิงค์ ความถี่ 12.8 kHz นำไปเป็นสัญญาณจัดช่องและความถี่ 1.6 kHz เป็นสัญญาณจัดเฟรมดังแสดงในรูปที่ 3.20



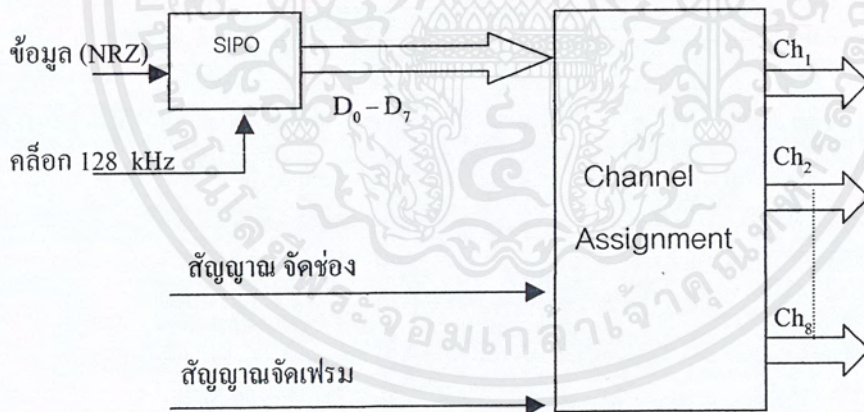
รูปที่ 3.21 แสดง Timing Diagram ของวงจรแยกสัญญาณเชิงคี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



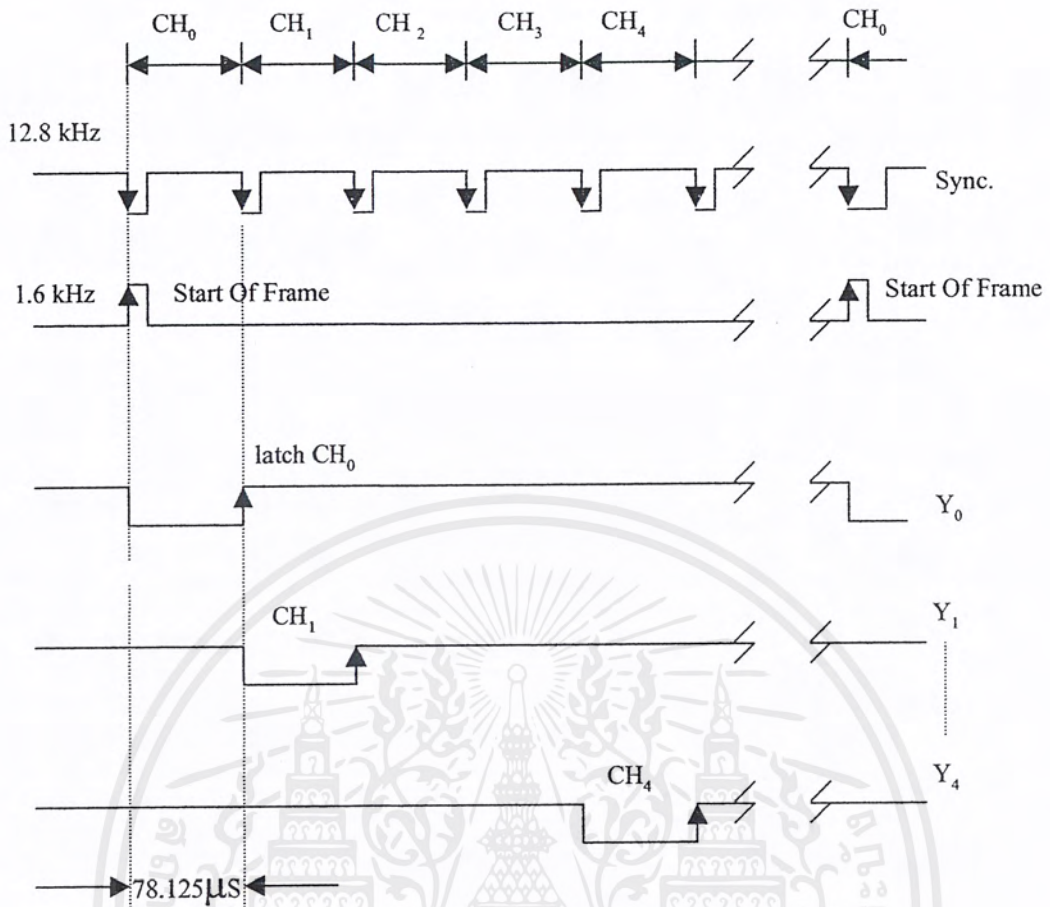
รูปที่ 3.22 วงจรแยกสัญญาณเชิงค

3. SIPO & CHANNEL ASSIGNMENT



รูปที่ 3.23 แสดงแผนผังการทำงานของวงจร SIPO & Channel Assignment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 แสดง Timing Diagram ของวงจรจัดช่องสัญญาณด้านรับ

จาก Timing Diagram สัญญาณจัดช่อง (12.8 kHz) จะถูกทำการนับ โดยเริ่มต้นเมื่อมีสัญญาณจัดเฟรม (1.6 kHz) ซึ่งจะใช้เวลาในการนับแต่ละครั้งเท่ากับ 78.125 μs และจะได้สัญญาณ Y₀ - Y₇ เพื่อใช้ในการจัดช่องข้อมูลต่อไป

จากวงจรในรูปที่ 3.22 IC 74LS164 ทำหน้าที่เป็นตัวแซมปลิงข้อมูลจากอนุกรมเป็นขนาน ขนาด 8 บิตโดยใช้คล็อก 128 kHz IC 74LS374 ทำหน้าที่พักข้อมูลของแต่ละช่อง โดยควบคุมจาก IC 74LS161 และ 74LS138 ซึ่ง IC 74LS161 ทำหน้าที่นับ 8 โดยใช้คล็อก 12.8 kHz และสัญญาณจัดเฟรมจะเคลียร์การนับเมื่อเริ่มต้นเฟรมใหม่ IC 74LS138 จะเป็นตัวสร้างสัญญาณที่ใช้กำหนดช่องของข้อมูลที่จะออกให้ตรงกับด้านส่ง

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองส่วนของวงจรภาคส่งสัญญาณทางไฟฟ้า

4.1.1 ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ทำการทดสอบวงจรภาคส่งแต่ละส่วน
- 2) วัดสัญญาณที่ออกมาจาก วงจรสร้างสัญญาณคล็อก
- 3) วัดสัญญาณที่ออกมาจาก วงจรจัดช่องสัญญาณ
- 4) วัดสัญญาณที่ออกมาจาก วงจรมัลติเพล็กซ์
- 5) วัดสัญญาณที่ออกมาจาก วงจรเข้ารหัส

4.1.2 ผลการทดลอง

- 1) สัญญาณที่วัดได้จาก วงจรสร้างสัญญาณคล็อก, วงจรจัดช่องสัญญาณ, วงจรมัลติเพล็กซ์ และ วงจรเข้ารหัส เป็นไปตามทฤษฎี
- 2) สัญญาณซึ่งออกมาจากวงจรเข้ารหัสเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้โดยมีบิตซิงค์ที่นำหน้า CH0 เป็น บิตครึ่ง และ CH1-CH7 เป็น หนึ่งบิต
- 3) สัญญาณเอาต์พุต ที่ได้เป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้

4.2 การทดลองภาคส่งและรับสัญญาณแสง

4.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ต่อวงจรส่งและรับออปติกไฟเบอร์
- 2) ป้อนสัญญาณจากภาคส่ง
- 3) วัดสัญญาณเอาต์พุตของภาครับ

4.2.2 ผลการทดลอง

- 1) สัญญาณที่วัดได้จากภาครับ เหมือนกับสัญญาณที่ส่ง
- 2) สามารถรับ – ส่งข้อมูลได้สูงสุดประมาณ 1Mb/s

4.3 การทดลองส่วนของวงจรภาครับสัญญาณทางไฟฟ้า

4.3.1 ขั้นตอนการทดลอง

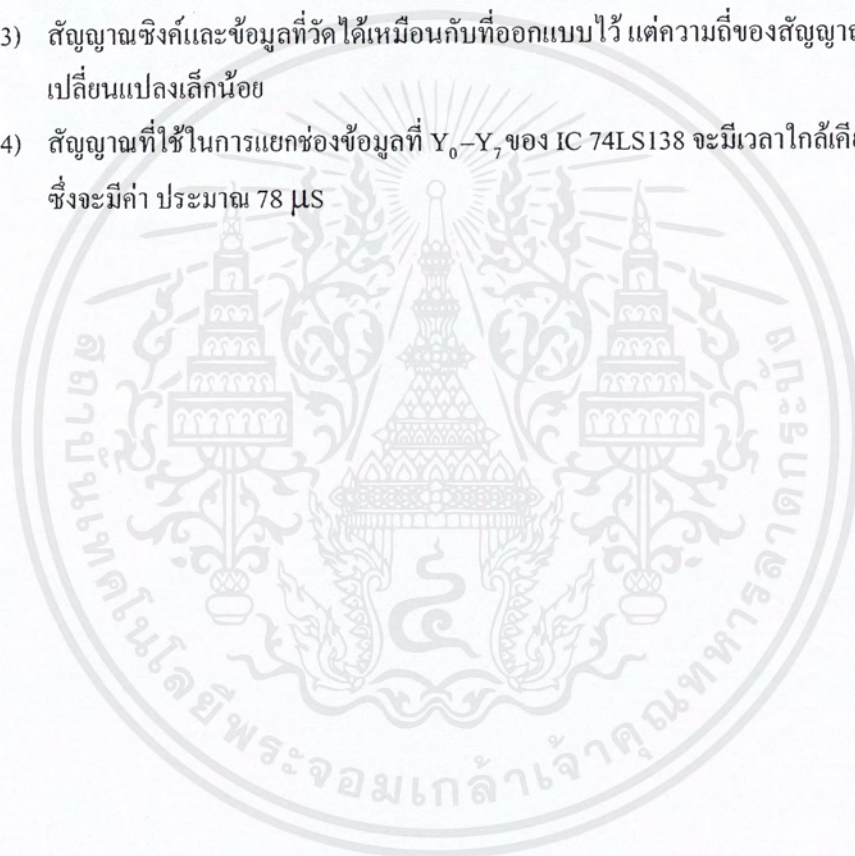
- 1) ต่อวงจรด้านรับทั้งหมด จ่ายไฟให้และป้อนอินพุตให้กับวงจร
- 2) วัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจร โมโนสเตเบิลที่ขา A_m เมื่อปรับ VR_1 และ VR_2 ประมาณ 300 โอห์มจะได้ Wave Form ตามทฤษฎี มี Duty Cycle ประมาณ 50%
- 3) วัดสัญญาณที่ขา B_m ของเฟสล็อกลูป โดย $A_m = 0$ ปรับค่า VR_3 จนได้ค่า $f_0 = 256\text{kHz}$ และ ค่า Duty Cycle ประมาณ 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) ต่อสัญญาณจากด้านส่งโดยผ่านออปติกไฟเบอร์วัดค่า f_0 ให้ได้ประมาณ 256 kHz ถ้าไม่ได้ให้ปรับ VR_3
- 5) วัดสัญญาณ เอาต์พุทของวงจร Sync Separator เปรียบเทียบกับทฤษฎี
- 6) วัดสัญญาณ Y_0-Y_7 ของ IC 74LS138 ในส่วนของวงจร Channel Assignment ซึ่งเวลาที่ใช้ในแต่ละช่องต้องเท่ากับ 78.125 μ S

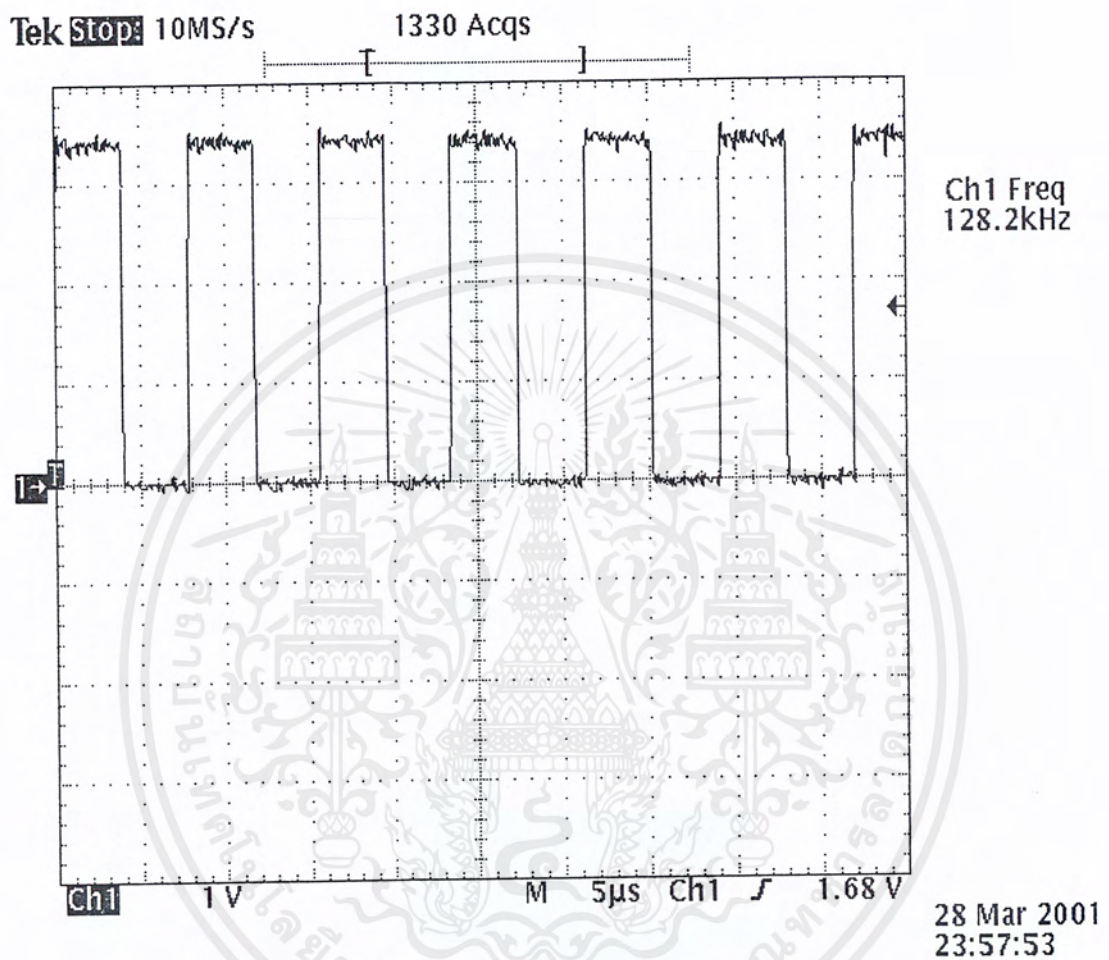
4.3.2 ผลการทดลอง

- 1) Wave Form ของวงจร Monostable เหมือนกับทฤษฎี
- 2) ความถี่ที่สร้างขึ้นจากเฟสล็อกดูไม่เท่ากับ 256 kHz พอดีแต่จะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยซึ่งยอมรับได้
- 3) สัญญาณซิงค์และข้อมูลที่วัดได้เหมือนกับที่ออกแบบไว้ แต่ความถี่ของสัญญาณซิงค์จะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย
- 4) สัญญาณที่ใช้ในการแยกช่องข้อมูลที่ Y_0-Y_7 ของ IC 74LS138 จะมีเวลาใกล้เคียงกับทฤษฎีซึ่งจะมีค่า ประมาณ 78 μ S



4.4 ผลการทดลองของวงจรส่วนต่างๆ

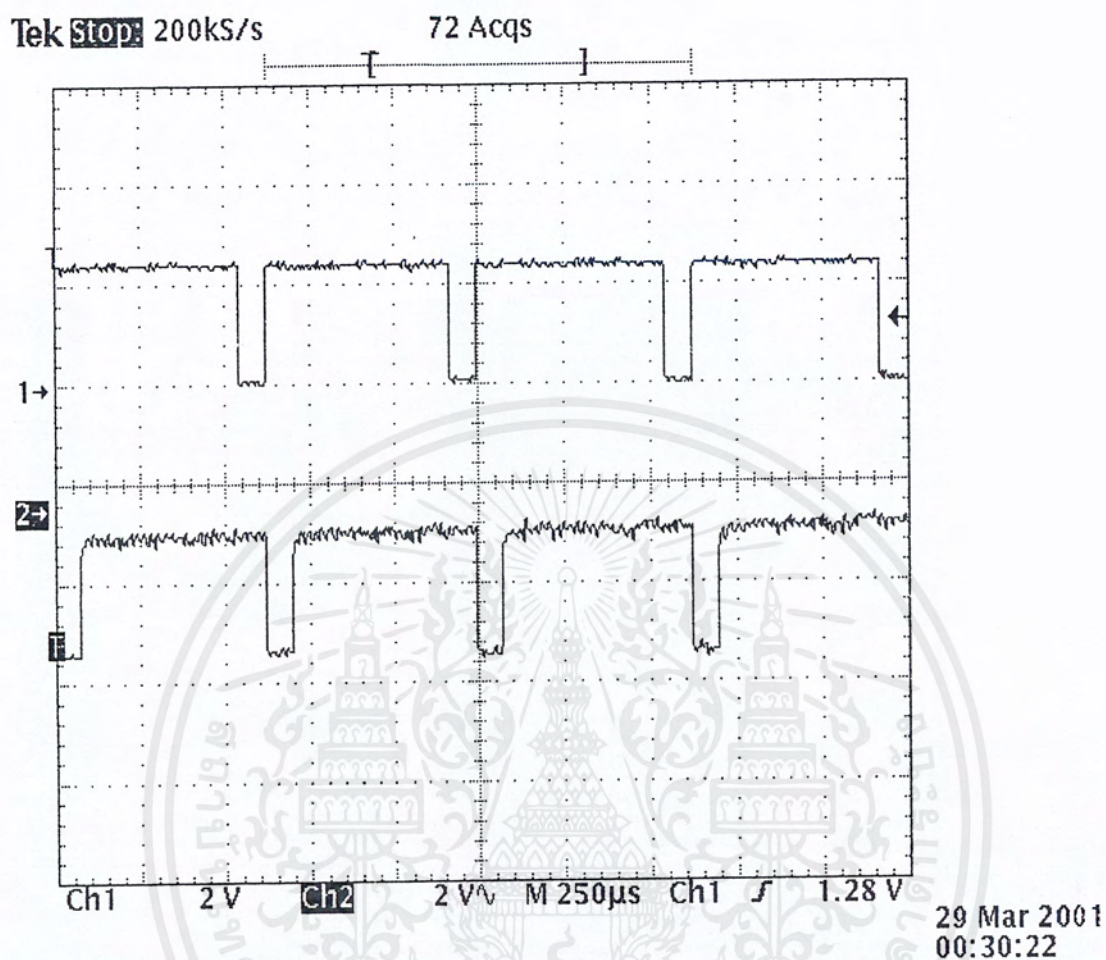
1) ผลการทดลองภาคส่งสัญญาณ ไฟฟ้า



รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรสร้างสัญญาณ คล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ผลการทดลองภาคส่งสัญญาณไฟฟ้า

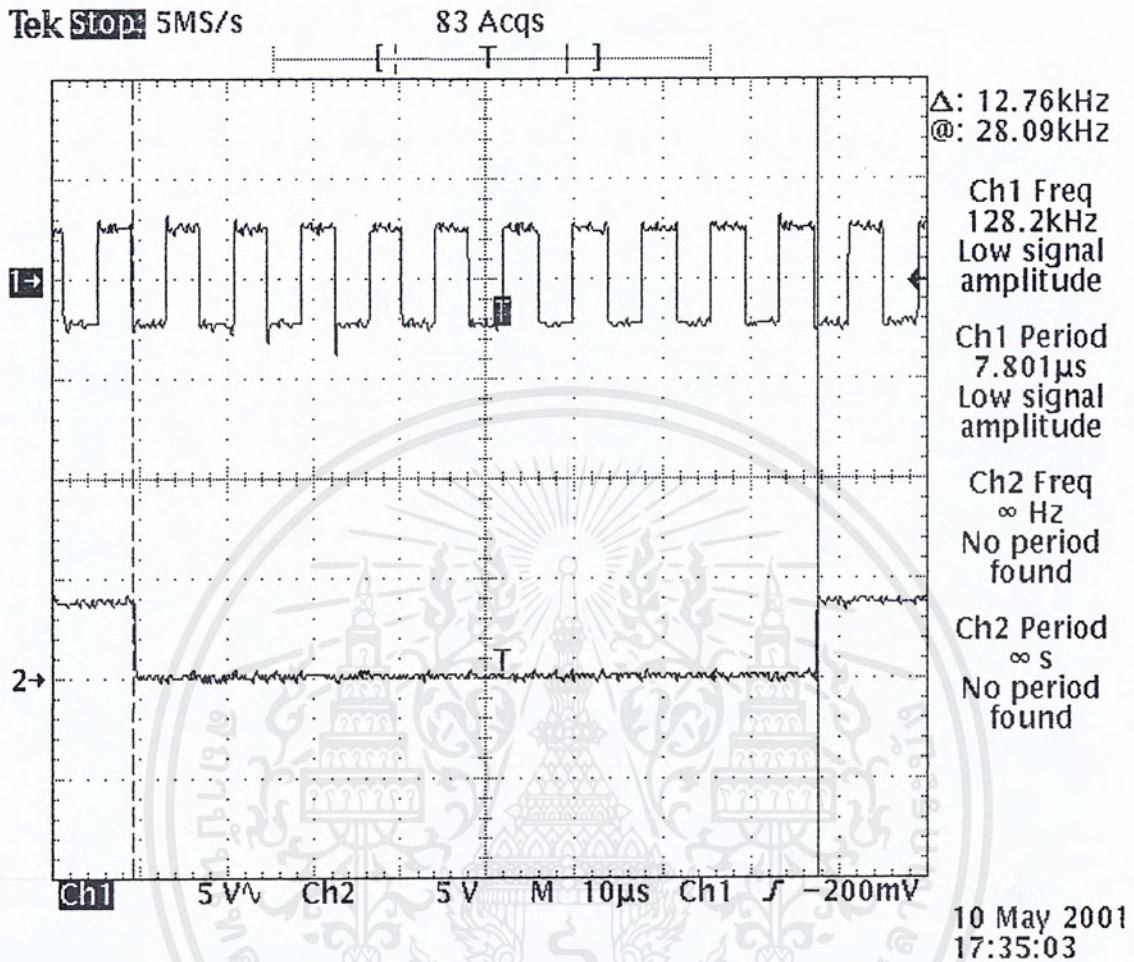


รูปที่ 4.2 สัญญาณที่วัดที่ CH0 และ CH1 ของวงจรจัดช่องสัญญาณ

จากรูปเป็นแชนแนลศูนย์ กับแชนแนลหนึ่งและแชนแนลถัดไปก็จะเป็นลักษณะนี้ไปเรื่อยๆจนถึง
แชนแนลเจ็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ผลการทดลองภาคส่งสัญญาณไฟฟ้า



รูปที่ 4.3 สัญญาณคล็อก เมื่อเปรียบเทียบกับ สัญญาณจากวงจรจัดช่องสัญญาณ

Ch1 สัญญาณคล็อก

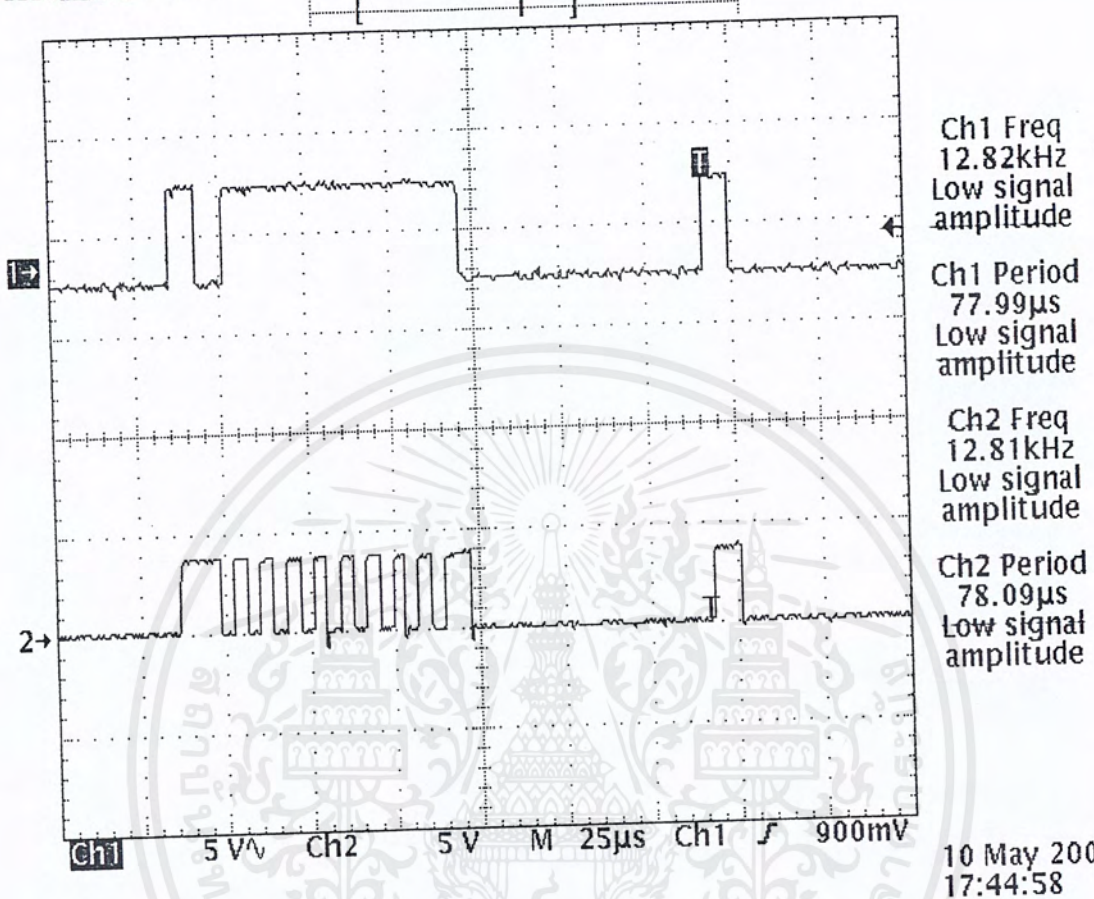
Ch2 สัญญาณจัดช่องสัญญาณ

โดยหนึ่งแซนแนลจะใช้เวลา $78.125 \mu\text{s}$ ซึ่งจะเห็นว่าเท่ากับคล็อก 128 kHz 10 ลูกพอดี้

4) ผลการทดลองภาคส่งสัญญาณไฟฟ้า

Tek Stop: 2MS/s

9 Acqs

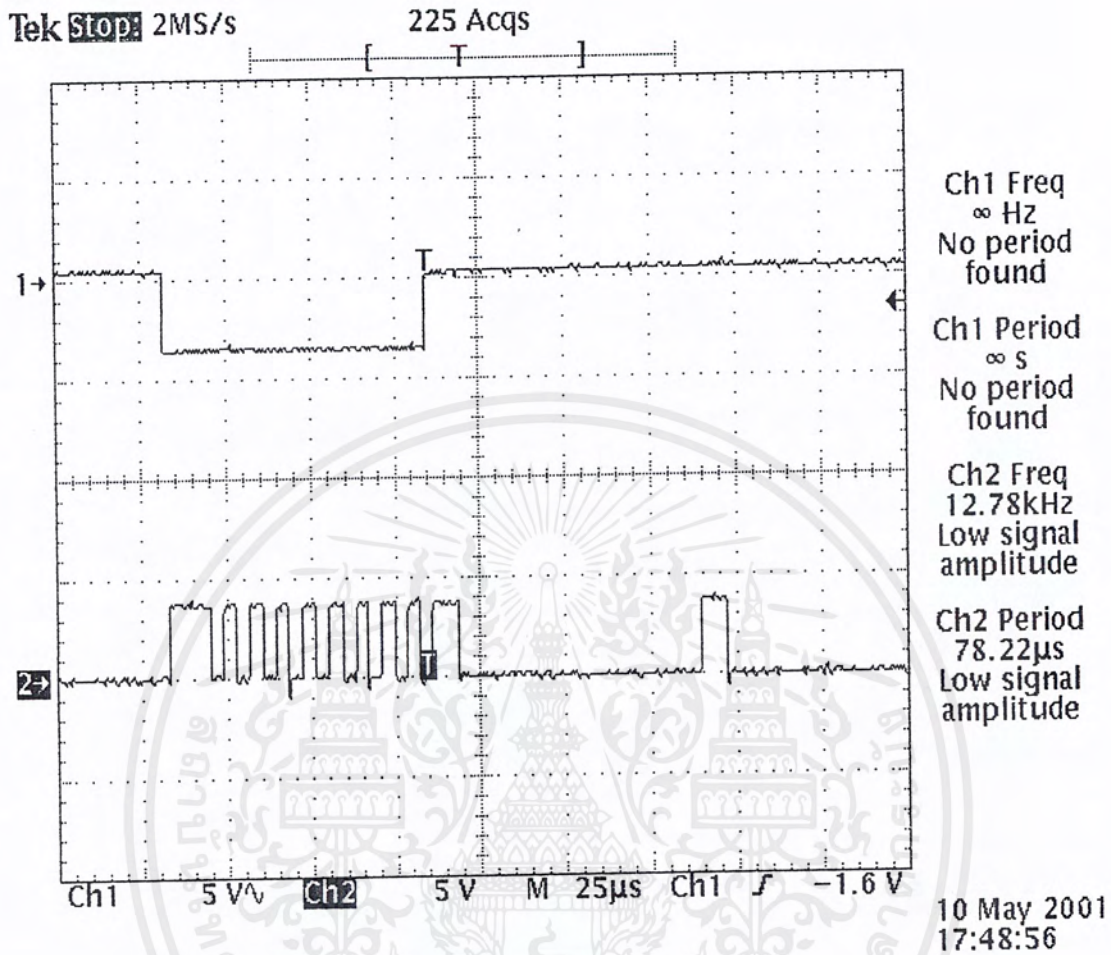


รูปที่ 4.4 แสดงเอาต์พุตของ CH_0 ที่เป็น NRZ เปรียบเทียบกับ เอาต์พุตของ CH_0 ที่เปลี่ยนเป็น RZ และมีการเพิ่มบิตซิงค์แล้ว

เอาต์พุตที่ได้ของแชนแนลนั้น ได้จากการป้อน อนาล็อกอินพุตมากกว่าโวลต์แดงอ้างอิงของ ADC0831 ทำให้ได้สัญญาณดิจิทัลเอาต์พุตเป็น 1 หมด เมื่อผ่านวงจรเข้ารหัสจะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.4 และจะเห็นว่าบิตซิงค์อยู่หน้าข้อมูลของแชนแนลศูนย์ เป็น 1 บิตครึ่งและเป็น 0 ครึ่งบิต และ แชนแนลถัดมา จะเห็นว่าบิตซิงค์อยู่สองบิตเช่นกัน โดยเป็น 1 กับ 0 อย่างละบิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

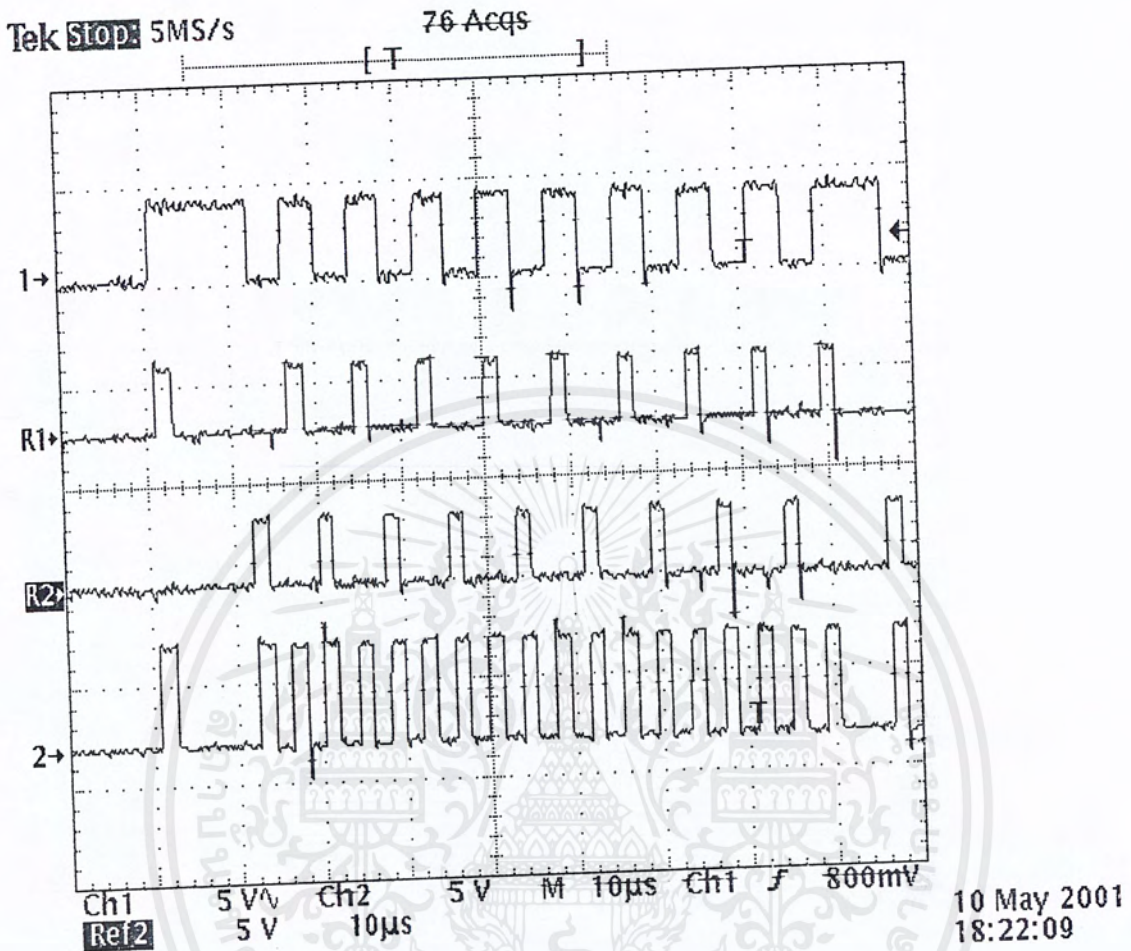
5) ผลการทดลองภาคส่งสัญญาณ ไฟฟ้า



รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณเอาต์พุตเปรียบเทียบกับเวลาในการจัดช่องสัญญาณของ
แชนแนลศูนย์

- Ch1 สัญญาณจัดช่องสัญญาณของแชนแนลศูนย์
- Ch2 สัญญาณเอาต์พุต เมื่อให้ค่าที่แชนแนลศูนย์เป็นหนึ่งหมด

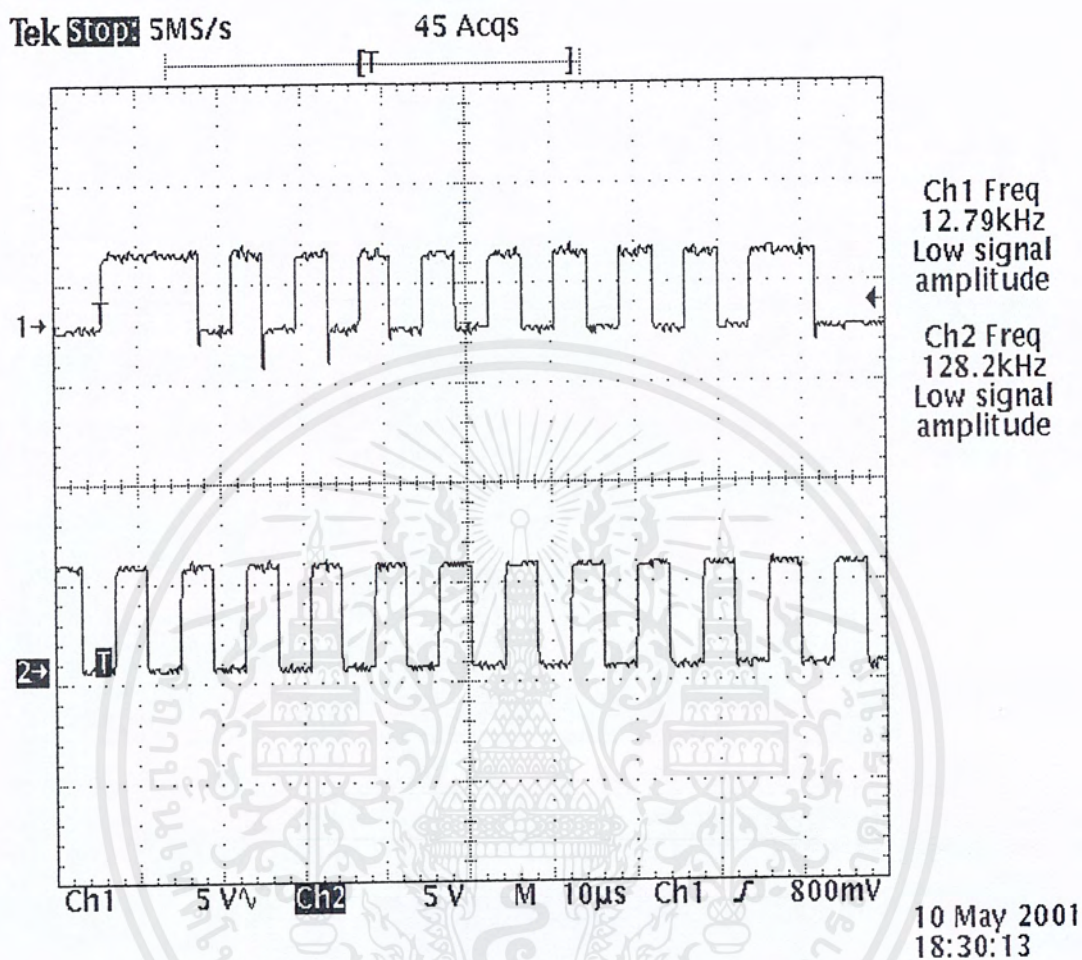
6) ผลการทดลองภาครับสัญญาณไฟฟ้า



รูปที่ 4.6 ผลจากการทดลองการทำงานของวงจร Monostable Multivibrator

แสดงการนำพัลส์ที่เกิดจากขอบขาขึ้น (Ref1) และขอบขาลง (Ref2) ของสัญญาณอินพุต (Ch1) ที่ได้จากภาค E/O มาใช้ในการสร้างคล็อกของภาค Clock Recovery Ch2 แสดงสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตของวงจร Monostable Multivibrator

7) ผลการทดลองภาครับสัญญาณไฟฟ้า

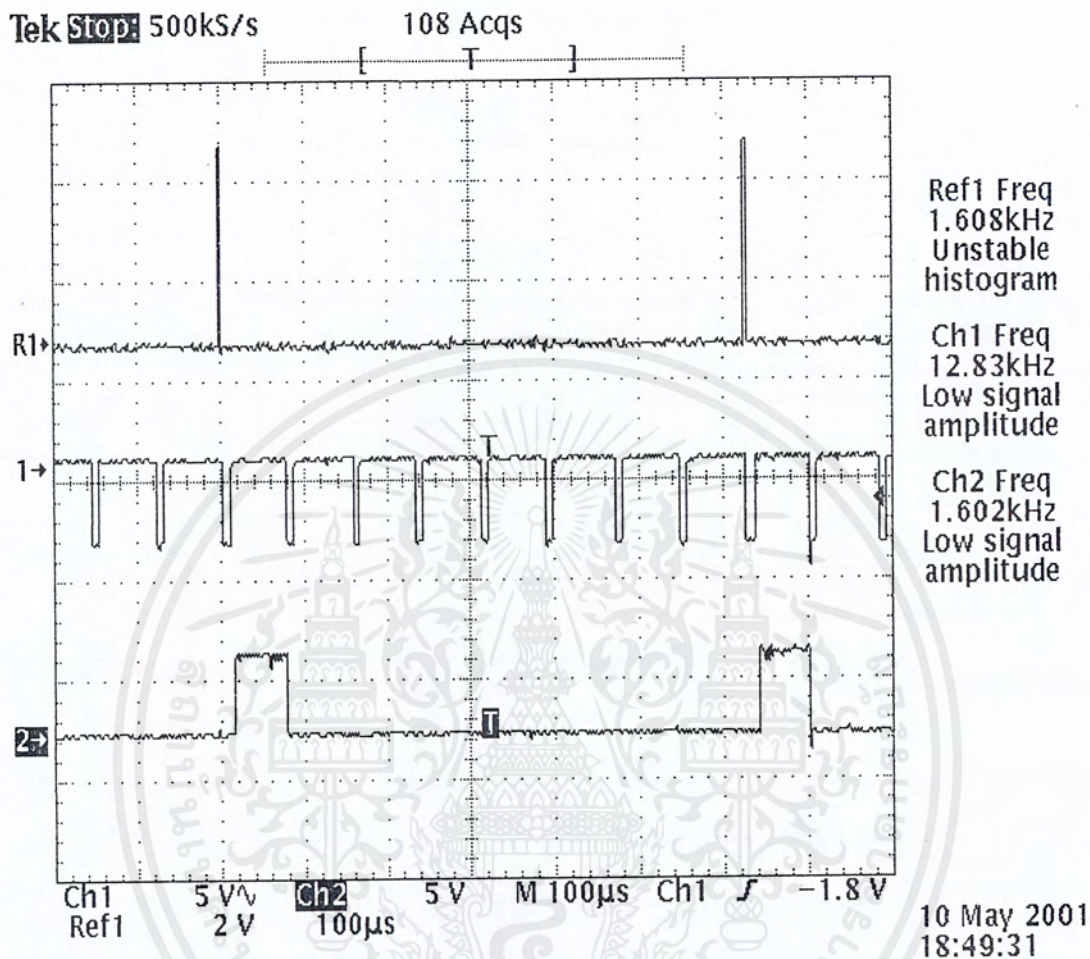


รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างสัญญาณอินพุตกับคล็อกของภาค Clock Recovery

สัญญาณอินพุต(Ch1) เปรียบเทียบกับคล็อก(Ch2) ที่สร้างขึ้นซึ่งจะมีความถี่คล็อกประมาณ

128 kHz

8) ผลการทดลองภาครับสัญญาณไฟฟ้า



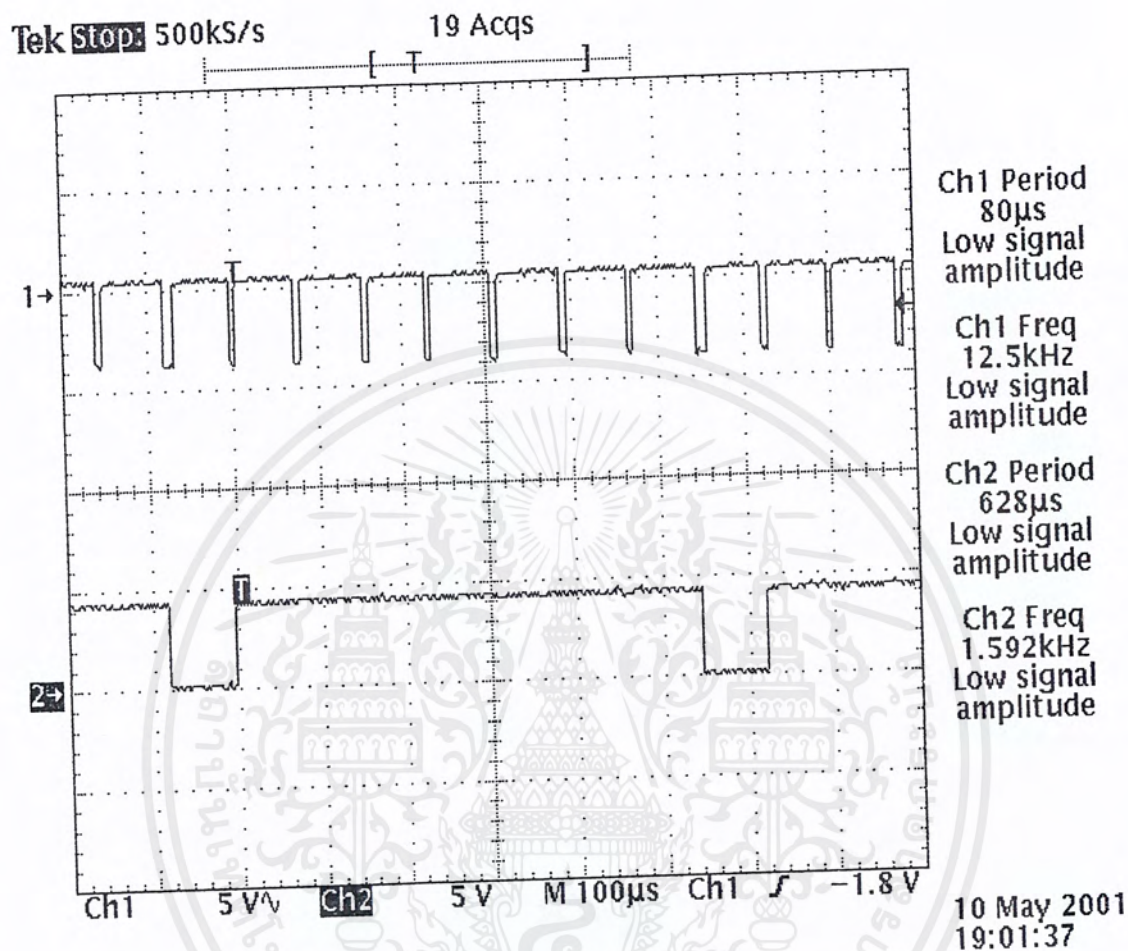
รูปที่ 4.8 ผลจากการทดลองแสดงการทำงานของภาค Data & Sync Seperater

Ch1 แสดงสัญญาณจัดช่องซึ่งมีความถี่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับที่ออกแบบไว้ คือ ประมาณ 12.8

Ch2 แสดงสัญญาณจัดเฟรมมีความถี่ประมาณ 1.6 kHz

Ref1 แสดงข้อมูลแบบ NRZ ของช่องสัญญาณที่ศูนย์

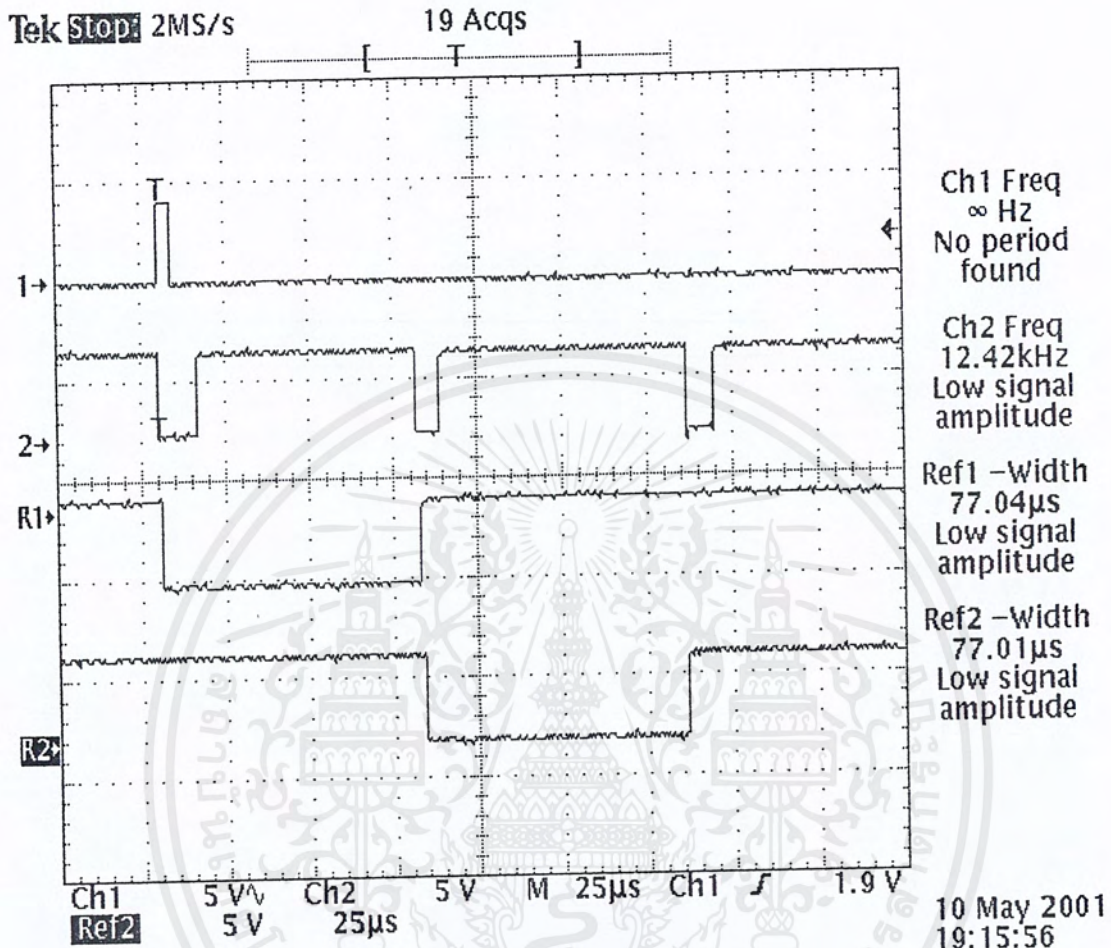
9) ผลการทดลองภาครับสัญญาณไฟฟ้า



รูปที่ 4.9 ผลจากการทดลองแสดงการทำงานของส่วน Channel Assignment

โดย Ch1 เป็นสัญญาณที่สร้างขึ้นเพื่อใช้กำหนดช่องของข้อมูลให้ตรงกับด้านส่งซึ่งใช้กำหนดช่องข้อมูลช่องที่ศูนย์ และ หนึ่งตามลำดับ โดยที่ใช้เวลาต่อช่องประมาณ 78 µS

10) ผลการทดลองภาครับสัญญาณไฟฟ้า



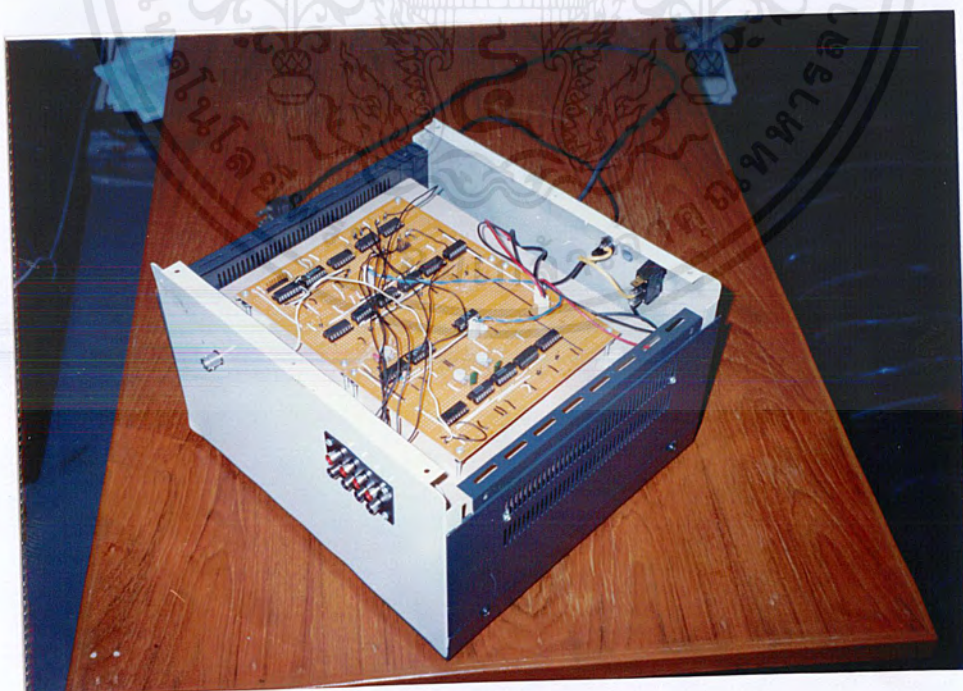
รูปที่ 4.10 ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณต่างๆ ของส่วนจัดช่อง

สัญญาณ

- Ch1 สัญญาณจัดเฟรม
- Ch2 สัญญาณจัดช่อง
- Ref1 สัญญาณที่ใช้กำหนดช่องข้อมูลช่องที่ศูนย์
- Ref2 สัญญาณที่ใช้กำหนดช่องข้อมูลช่องที่หนึ่ง



รูปที่ 4.11 แสดงการจัดวางแผงวงจรภายในเครื่องส่ง



รูปที่ 4.12 แสดงการจัดวางแผงวงจรภายในเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5) ปัญหาที่พบในการทดลอง

จากการทดลองที่ผ่านมาได้เจอปัญหาเกี่ยวกับการทำงานของไอซีคือ มันจะใช้เวลาส่วนหนึ่งในการทำงานทำให้คล็อกและสัญญาณข้อมูลเกิดการดีเลย์กันขึ้น ทำให้เมื่อนำมาเข้ารหัสจะทำให้เกิดสัญญาณที่ไม่ต้องการเกิดขึ้น แต่ก็ได้แก้ปัญหาโดยการใส่ ดีเฟรียพรีพออปทำการแซมปลิงข้อมูลออกไปก็สามารถแก้ปัญหาได้

ส่วนทางภาครับสัญญาณทางไฟฟ้า เกิดปัญหาคือ เกรดของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการตรวจจับคล็อก และ สร้างคล็อกให้ซิงค์โครไนซ์กับด้านส่งไม่ดีพอจึงทำให้ความถี่ที่สร้างขึ้นไม่คงที่ ทำให้การทำงานของภาคอื่นๆผิดพลาดไปด้วย



บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

เมื่อได้ทำการวัดสัญญาณที่จุดต่างๆแล้ว ได้ผลการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้คือแชนแนลศูนย์จะมีบิตซิงค์เป็นหนึ่งบิตครึ่ง และเป็นศูนย์ครึ่งบิต ส่วนแชนแนลหนึ่งจะมีบิตซิงค์เป็นหนึ่งและศูนย์อย่างละบิต และสัญญาณเอาต์พุต จะเปลี่ยนตามการเปลี่ยนของโวลต์ตรงทางด้านอินพุต

จากการทดลองได้ตั้งโวลต์ตรงอ้างอิงไว้หนึ่งโวลต์ ทำให้ถ้าปรับอินพุตมากกว่าหนึ่ง ทำให้ได้สัญญาณดิจิตอลเอาต์พุตเป็นหนึ่งหมด แต่ถ้าปรับอินพุตน้อยกว่าหนึ่งทำให้ได้สัญญาณดิจิตอลเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงตามอินพุต

สัญญาณต่างๆซึ่งวัดได้จากภาครับก็มีลักษณะเช่นเดียวกับที่ออกแบบไว้ในทฤษฎี แต่จะแตกต่างกันส่วนของความถี่ของสัญญาณที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยแต่ก็ยอมรับได้ คือไม่ทำให้การแยกช่องสัญญาณแต่ละช่องผิดพลาด

5.2 บทวิจารณ์

จากการทดลองผลการทดลองใกล้เคียงกับทฤษฎี ซึ่งความผิดพลาดเกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้ เนื่องจากความถี่ที่ใช้ในการแซมปลิงของสัญญาณอนาล็อกอินพุตเท่ากับ 1.6 kHz เพราะฉะนั้นความถี่สูงสุดที่สามารถส่งได้ประมาณ 800Hz ซึ่งในโครงการนี้ได้ออกแบบไว้สำหรับส่ง สัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์ที่มีการตอบสนองไม่สูงนัก นอกจากนี้ IC A/D ที่ใช้มีความเร็วคล็อกสูงสุดจำกัดที่ประมาณ 400 kHz



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Versatile Link The Versatile Fiber Optic Connection

Technical Data

HFBR-0501 Series

Features

- Low Cost Fiber Optic Components
- Enhanced Digital Links dc-5 MBd
- Extended Distance Links up to 120 m at 40 kBd
- Low Current Link: 6 mA Peak Supply Current
- Horizontal and Vertical Mounting
- Interlocking Feature
- High Noise Immunity
- Easy Connecting Simplex, Duplex, and Latching Connectors
- Flame Retardant
- Transmitters Incorporate a 660 nm Red LED for Easy Visibility
- Compatible with Standard TTL Circuitry

- Isolation in Test and Measurement Instruments
- Error Free Signalling for Industrial and Manufacturing Equipment
- Automotive Communications and Control Networks
- Noise Immune Communication in Audio and Video Equipment

Description

The Versatile Link series is a complete family of fiber optic link components for applications requiring a low cost solution. The HFBR-0501 series includes transmitters, receivers, connectors and cable specified for easy design. This series of components is ideal for solving problems with voltage isolation/insulation, EMI/RFI immunity or data security. The optical link design is simplified by the logic compatible receivers and complete specifications for each component. The key optical and electrical parameters of links configured with the HFBR-0501 family are fully guaranteed from 0° to 70°C.

A wide variety of package configurations and connectors provide the designer with numerous mechanical solutions to meet application requirements. The



transmitter and receiver components have been designed for use in high volume/low cost assembly processes such as auto insertion and wave soldering.

Transmitters incorporate a 660 nm LED. Receivers include a monolithic dc coupled, digital IC receiver with open collector Schottky output transistor. An internal pullup resistor is available for use in the HFBR-25X1/2/4 receivers. A shield has been integrated into the receiver IC to provide additional, localized noise immunity.

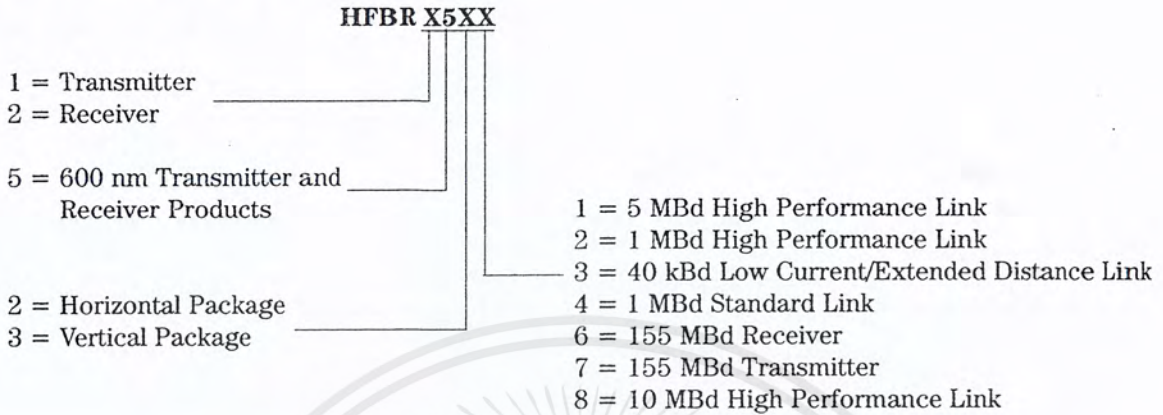
Internal optics have been optimized for use with 1 mm diameter plastic optical fiber. Versatile Link specifications incorporate all connector interface losses. Therefore, optical calculations for common link applications are simplified.

Applications

- Reduction of Lightning/Voltage Transient Susceptibility
- Motor Controller Triggering
- Data Communications and Local Area Networks
- Electromagnetic Compatibility (EMC) for Regulated Systems: FCC, VDE, CSA, etc.
- Tempest-Secure Data Processing Equipment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HFBR-0501 Series Part Number Guide



Link Selection Guide

(Links specified from 0 to 70°C, for plastic optical fiber unless specified.)

Signal Rate	Distance (m) 25°C	Distance (m)	Transmitter	Receiver
40 kBd	120	110	HFBR-1523	HFBR-2523
1 MBd	20	10	HFBR-1524	HFBR-2524
1 MBd	55	45	HFBR-1522	HFBR-2522
5 Mbd	30	20	HFBR-1521	HFBR-2521

Evaluation Kit

HFBR-0501 1 MBd Versatile Link:

This kit contains: HFBR-1524 Tx, HFBR-2524 Rx, polishing kit, 3 styles of plastic connectors, Bulkhead feedthrough, 5 meters of 1 mm diameter plastic cable, lapping film and grit paper, and HFBR-0501 data sheet.

Application Literature

Application Note 1035 (Versatile Link)

Package and Handling Information

The compact Versatile Link package is made of a flame retardant VALOX® UL V-0 material (UL file # E121562) material and uses the same pad layout as a standard, eight pin dual-in-line package. Vertical and horizontal mountable parts are available. These low profile Versatile Link packages are

stackable and are enclosed to provide a dust resistant seal. Snap action simplex, simplex latching, duplex, and duplex latching connectors are offered with simplex or duplex cables.

Package Orientation

Performance and pinouts for the vertical and horizontal packages are identical. To provide additional attachment support for the

vertical Versatile Link housing, the designer has the option of using a self-tapping screw through a printed circuit board into a mounting hole at the bottom of the package. For most applications this is not necessary.

Package Housing Color

Versatile Link components and simplex connectors are color coded to eliminate confusion

VALOX® is a registered trademark of the General Electric Corporation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

when making connections. Receivers are blue and transmitters are gray, except for the HFBR-15X3 transmitter, which is black.

All of the above transmitters and receivers are also available in black versions for applications where improved housing opacity is required due to very bright ambient light or bright flashes of light.

Handling

Versatile Link components are auto-insertable. When wave soldering is performed with

Versatile Link components, the optical port plug should be left in to prevent contamination of the port. Water soluble fluxes, not rosin based fluxes, are recommended for use with Versatile Link components.

Versatile Link components are moisture sensitive devices and are shipped in a moisture sealed bag. If the components are exposed to air for an extended period of time, they may require a baking step before the soldering process. Refer to the special labeling on the shipping tube for details.

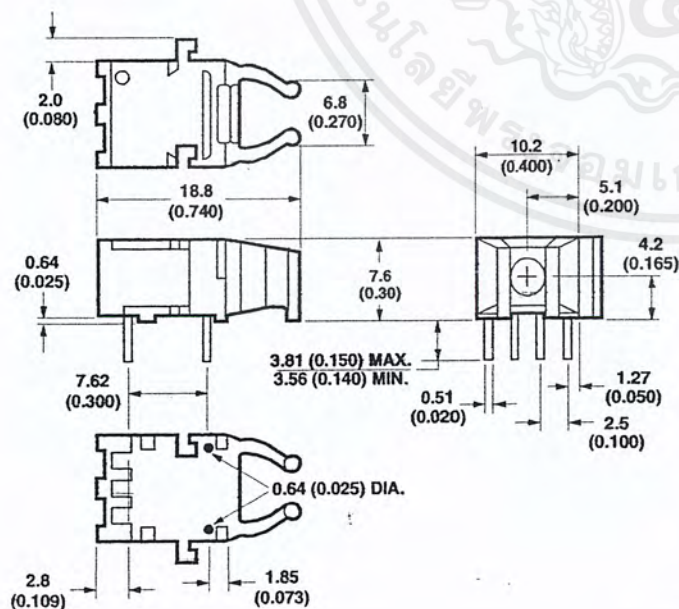
Recommended Chemicals for Cleaning/Degreasing

Alcohols: methyl, isopropyl, isobutyl. *Aliphatics:* hexane, heptane, *Other:* soap solution, naphtha.

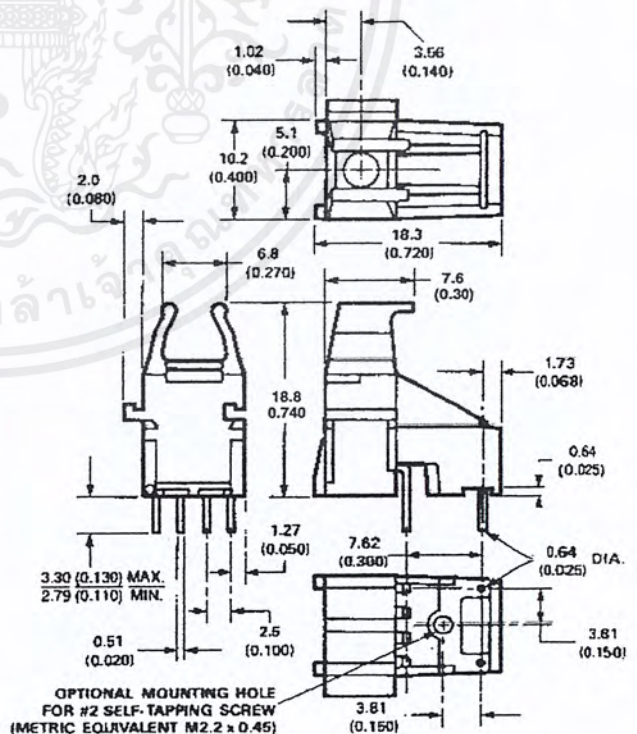
Do not use partially halogenated hydrocarbons such as 1,1,1 trichloroethane, ketones such as MEK, acetone, chloroform, ethyl acetate, methylene dichloride, phenol, methylene chloride, or N-methylpyrrolidone. Also, Agilent does not recommend the use of cleaners that use halogenated hydrocarbons because of their potential environmental harm.

Mechanical Dimensions

Horizontal Modules



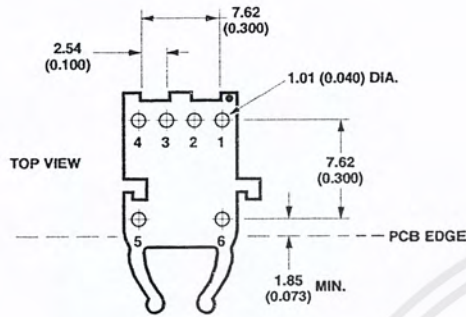
Vertical Modules



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

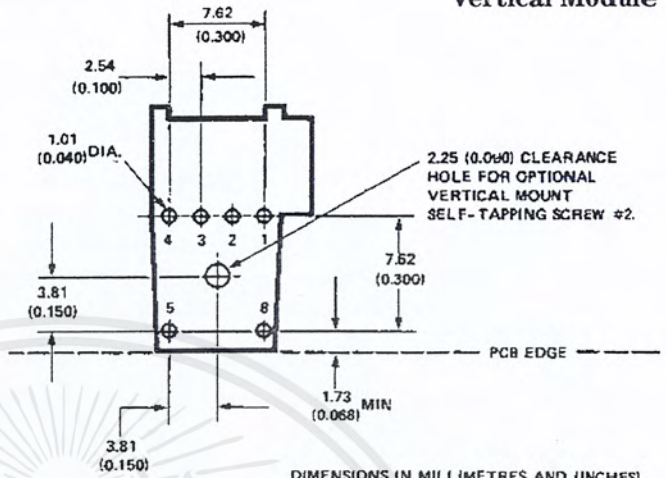
Versatile Link Printed Board Layout Dimensions

Horizontal Module



DIMENSIONS IN MILLIMETERS (INCHES).

Vertical Module



DIMENSIONS IN MILLIMETERS AND (INCHES)

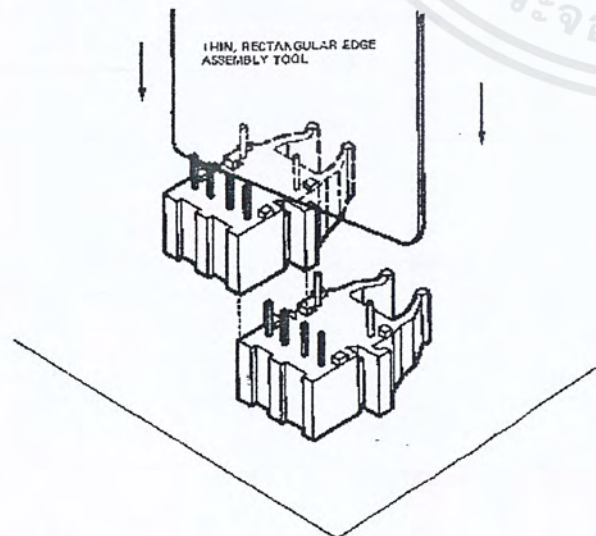
Interlocked (Stacked) Assemblies (refer to Figure 1)

Horizontal packages may be stacked by placing units with pins facing upward. Initially engage the interlocking mechanism by sliding the L bracket body from above into the L slot body of the lower package. Use a straight

edge, such as a ruler, to bring all stacked units into uniform alignment. This technique prevents potential harm that could occur to fingers and hands of assemblers from the package pins. Stacked horizontal packages can be disengaged if necessary. Repeated stacking and unstacking causes no damage to individual units.

To stack vertical packages, hold one unit in each hand, with the pins facing away and the optical ports on the bottom. Slide the L bracket unit into the L slot unit. The straight edge used for horizontal package alignment is not needed.

Stacking Horizontal Modules



Stacking Vertical Modules

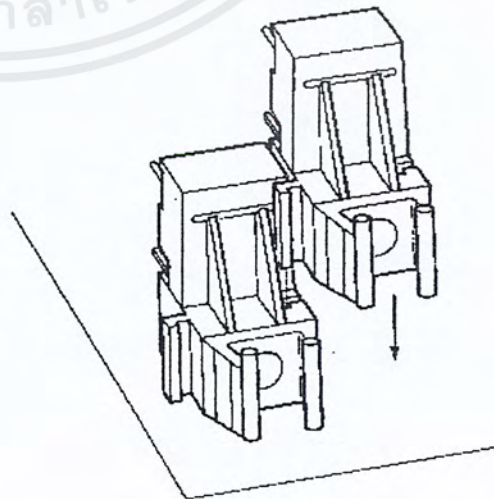


Figure 1. Interlocked (Stacked) Horizontal or Vertical Packages.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 MBd Link (HFBR-15X1/25X1)

System Performance 0 to 70°C unless otherwise specified.

	Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions	Ref.
High Performance 5 MBd	Data Rate		dc		5	MBd	BER ≤ 10 ⁻⁹ , PRBS:2 ⁷ -1	
	Link Distance (Standard Cable)	l	19			m	$I_{Fdc} = 60$ mA	Fig. 3 Note 3
			27	48		m	$I_{Fdc} = 60$ mA, 25°C	
	Link Distance (Improved Cable)	l	22			m	$I_{Fdc} = 60$ mA	Fig. 4 Note 3
			27	53		m	$I_{Fdc} = 60$ mA, 25°C	
Propagation Delay	t_{PLH} t_{PHL}		80	140	ns	$R_L = 560 \Omega$, $C_L = 30$ pF	Fig. 5, 8 Notes 1, 2	
			50	140	ns	fiber length = 0.5 m $-21.6 \leq P_R \leq -9.5$ dBm		
Pulse Width Distortion $t_{PLH} - t_{PHL}$	t_D		30		ns	$P_R = -15$ dBm $R_L = 560 \Omega$, $C_L = 30$ pF	Fig. 5, 7	

Notes:

1. The propagation delay for one metre of cable is typically 5 ns.
2. Typical propagation delay is measured at $P_R = -15$ dBm.
3. Estimated typical link life expectancy at 40°C exceeds 10 years at 60 mA.

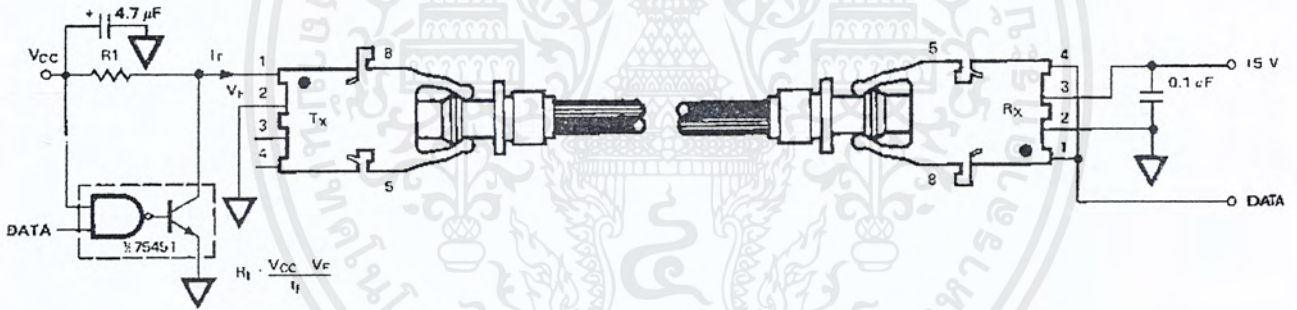


Figure 2. Typical 5 MBd Interface Circuit.

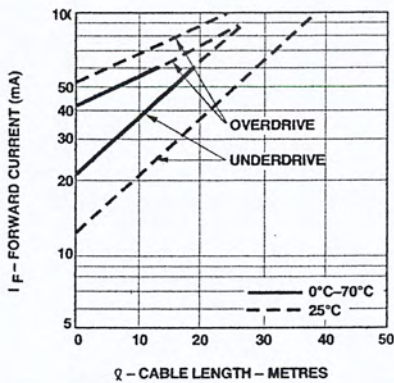


Figure 3. Guaranteed System Performance with Standard Cable (HFBR-15X1/25X1).

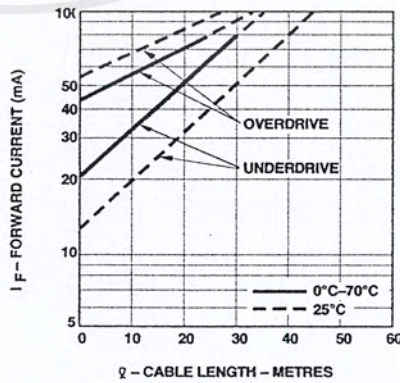


Figure 4. Guaranteed System Performance with Improved Cable (HFBR-15X1/25X1).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

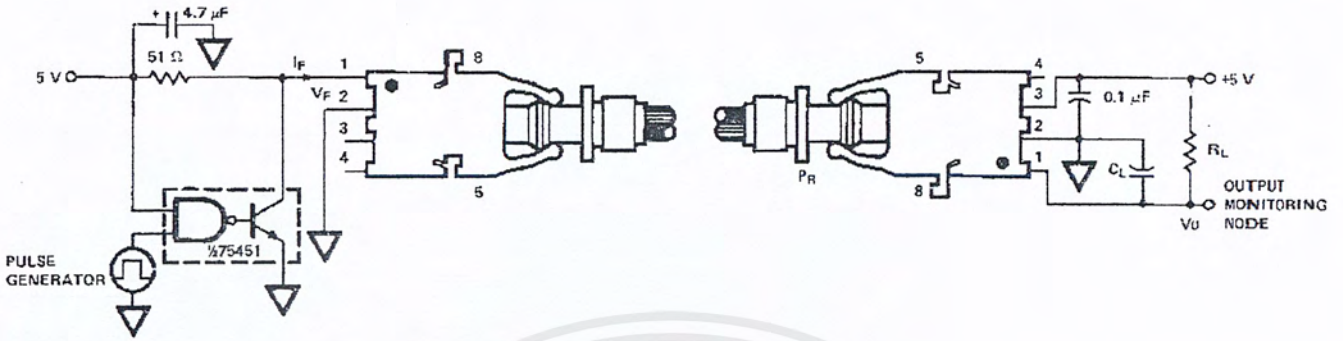


Figure 5. 5 Mbd Propagation Delay Test Circuit.

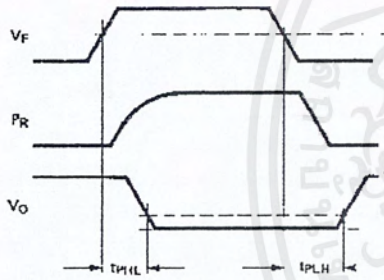


Figure 6. Propagation Delay Test Waveforms.

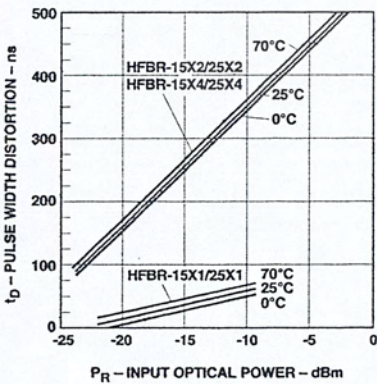


Figure 7. Typical Link Pulse Width Distortion vs. Optical Power.

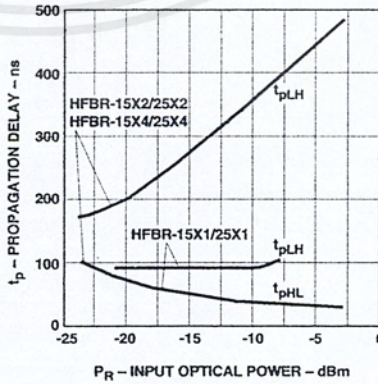
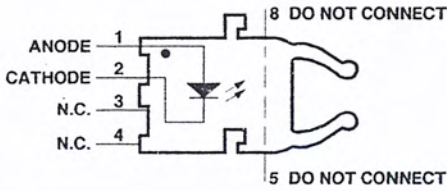


Figure 8. Typical Link Propagation Delay vs. Optical Power.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HFBR-15X1 Transmitter



Pin #	Function
1	Anode
2	Cathode
3	Open
4	Open
5	Do not connect
8	Do not connect

Note: Pins 5 and 8 are for mounting and retaining purposes only. Do not electrically connect these pins.

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Units	Reference
Storage Temperature	T_S	-40	+75	°C	
Operating Temperature	T_A	0	+70	°C	
Lead Soldering Cycle	Temp.		260	°C	Note 1
	Time		10	sec	
Forward Input Current	I_{FPK}		1000	mA	Note 2, 3
	I_{Fdc}		80		
Reverse Input Voltage	V_{BR}		5	V	

Notes:

- 1.6 mm below seating plane.
- Recommended operating range between 10 and 750 mA.
- 1 μ s pulse, 20 μ s period.

All HFBR-15XX LED transmitters are classified as IEC 825-1 Accessible Emission Limit (AEL) Class 1 based upon the current proposed draft scheduled to go into effect on January 1, 1997. AEL Class 1 LED devices are considered eye safe. Contact your local Agilent sales representative for more information.

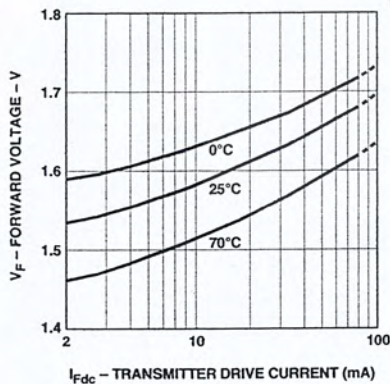
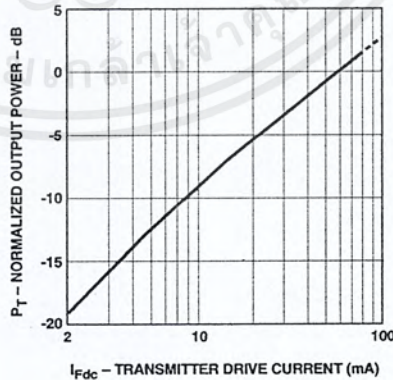
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transmitter Electrical/Optical Characteristics 0°C to 70°C unless otherwise specified.

Parameter	Symbol	Min.	Typ. ^[5]	Max.	Units	Conditions	Ref.
Transmitter Output Optical Power	P_T	-16.5		-7.6	dBm	$I_{Fdc} = 60 \text{ mA}$	Notes 1, 2
		-14.3		-8.0	dBm	$I_{Fdc} = 60 \text{ mA}, 25^\circ\text{C}$	
Output Optical Power Temperature Coefficient	$\Delta P_T/\Delta T$		-0.85		%/°C		
Peak Emission Wavelength	λ_{PK}		660		nm		
Forward Voltage	V_F	1.45	1.67	2.02	V	$I_{Fdc} = 60 \text{ mA}$	
Forward Voltage Temperature Coefficient	$\Delta V_F/\Delta T$		-1.37		mV/°C		Fig. 9
Effective Diameter	D		1		mm		
Numerical Aperture	NA		0.5				
Reverse Input Breakdown Voltage	V_{BR}	5.0	11.0		V	$I_{Fdc} = 10 \mu\text{A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	
Diode Capacitance	C_O		86		pF	$V_F = 0, f = \text{MHz}$	
Rise Time	t_r		80		ns	10% to 90%, $I_F = 60 \text{ mA}$	Note 3
Fall Time	t_f		40		ns		

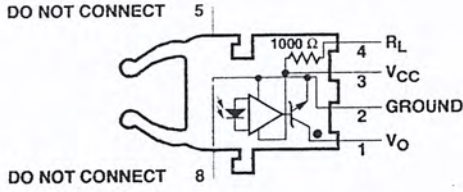
Notes:

1. Measured at the end of 0.5 m standard fiber optic cable with large area detector.
2. Optical power, $P \text{ (dBm)} = 10 \text{ Log } [P(\mu\text{W})/1000 \mu\text{W}]$.
3. Rise and fall times are measured with a voltage pulse driving the transmitter and a series connected 50Ω load. A wide bandwidth optical to electrical waveform analyzer, terminated to a 50Ω input of a wide bandwidth oscilloscope, is used for this response time measurement.


Figure 9. Typical Forward Voltage vs. Drive Current.

Figure 10. Normalized Typical Output Power vs. Drive Current.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HFBR-25X1 Receiver



Pin #	Function
1	V _O
2	Ground
3	V _{CC}
4	R _L
5	Do not connect
8	Do not connect

Note: Pins 5 and 8 are for mounting and retaining purposes only. Do not electrically connect these pins.

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Units	Reference
Storage Temperature	T _S	-40	+75	°C	
Operating Temperature	T _A	0	+70	°C	
Lead Soldering Cycle	Temp.		260	°C	Note 1
	Time		10	sec	
Supply Voltage	V _{CC}	-0.5	7	V	Note 2
Output Collector Current	I _{OAV}		25	mA	
Output Collector Power Dissipation	P _{OD}		40	mW	
Output Voltage	V _O	-0.5	18	V	
Pull-up Voltage	V _P	-5	V _{CC}	V	
Fan Out (TTL)	N		5		

Notes:

- 1.6 mm below seating plane.
- It is essential that a bypass capacitor 0.01 μF be connected from pin 2 to pin 3 of the receiver. Total lead length between both ends of the capacitor and the pins should not exceed 20 mm.

Receiver Electrical/Optical Characteristics

0°C to 70°C, 4.75 V ≤ V_{CC} ≤ 5.25 V unless otherwise specified

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions	Ref.
Input Optical Power Level for Logic "0"	P _{R(L)}	-21.6		-9.5	dBm	V _{OL} = 0.5 V I _{OL} = 8 mA	Notes 1, 2, 4
		-21.6		-8.7		V _{OL} = 0.5 V I _{OL} = 8 mA, 25°C	
Input Optical Power Level for Logic "1"	P _{R(H)}			-43	dBm	V _{OL} = 5.25 V I _{OH} ≤ 250 μA	Note 1
High Level Output Current	I _{OH}		5	250	μA	V _O = 18 V, P _R = 0	Note 3
Low Level Output Current	V _{OL}		0.4	0.5	V	I _{OL} = 8 mA, P _R = P _{R(L)MIN}	Note 3
High Level Supply Current	I _{CCH}		3.5	6.3	mA	V _{CC} = 5.25 V, P _R = 0	Note 3
Low Level Supply Current	I _{CCL}		6.2	10	mA	V _{CC} = 5.25 V P _R = -12.5 dBm	Note 3
Effective Diameter	D		1		mm		
Numerical Aperture	NA		0.5				
Internal Pull-up Resistor	R _L	680	1000	1700	Ω		

Notes:

- Optical flux, P (dBm) = 10 Log [P (μW)/1000 μW].
- Measured at the end of the fiber optic cable with large area detector.
- R_L is open.
- Pulsed LED operation at I_F > 80 mA will cause increased link t_{PLH} propagation delay time. This extended t_{PLH} time contributes to increased pulse width distortion of the receiver output signal.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 MBd Link

(High Performance HFBR-15X2/25X2, Standard HFBR-15X4/25X4)

System Performance Under recommended operating conditions unless otherwise specified.

	Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions	Ref.
High Performance 1 MBd	Data Rate		dc		1	MBd	$BER \leq 10^{-9}$, PRBS:2 ⁷ -1	
	Link Distance (Standard Cable)	ℓ	39			m	$I_{Fdc} = 60$ mA	Fig. 14 Notes 1, 3, 4
			47	70		m	$I_{Fdc} = 60$ mA, 25°C	
	Link Distance (Improved Cable)	ℓ	45			m	$I_{Fdc} = 60$ mA	Fig. 15 Notes 1, 3, 4
			56	78		m	$I_{Fdc} = 60$ mA, 25°C	
Propagation Delay	t_{PLH} t_{PHL}		180	250	ns	$R_L = 560 \Omega$, $C_L = 30$ pF	Fig. 16, 18 Notes 2, 4	
			100	140	ns	$I = 0.5$ metre $P_R = -24$ dBm		
Pulse Width Distortion $t_{PLH}-t_{PHL}$	t_D		80		ns	$P_R = -24$ dBm $R_L = 560 \Omega$, $C_L = 30$ pF	Fig. 16, 17 Note 4	

	Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions	Ref.
Standard 1 MBd	Data Rate		dc		1	MBd	$BER \leq 10^{-9}$, PRBS:2 ⁷ -1	
	Link Distance (Standard Cable)	ℓ	8			m	$I_{Fdc} = 60$ mA	Fig. 12 Notes 1, 3, 4
			17	43		m	$I_{Fdc} = 60$ mA, 25°C	
	Link Distance (Improved Cable)	ℓ	10			m	$I_{Fdc} = 60$ mA	Fig. 13 Notes 1, 3, 4
			19	48		m	$I_{Fdc} = 60$ mA, 25°C	
Propagation Delay	t_{PLH} t_{PHL}		180	250	ns	$R_L = 560 \Omega$, $C_L = 30$ pF	Fig. 16, 18 Notes 2, 4	
			100	140	ns	$I = 0.5$ metre $P_R = -20$ dBm		
Pulse Width Distortion $t_{PLH}-t_{PHL}$	t_D		80		ns	$P_R = -20$ dBm $R_L = 560 \Omega$, $C_L = 30$ pF	Fig. 16, 17 Note 4	

Notes:

- For $I_{FPK} > 80$ mA, the duty factor must be such as to keep $I_{Fdc} \leq 80$ mA. In addition, for $I_{FPK} > 80$ mA, the following rules for pulse width apply:
 $I_{FPK} \leq 160$ mA: Pulse width ≤ 1 ms
 $I_{FPK} > 160$ mA: Pulse width ≤ 1 μ s, period ≥ 20 μ s.
- The propagation delay for one meter of cable is typically 5 ns.
- Estimated typical link life expectancy at 40°C exceeds 10 years at 60 mA.
- Pulsed LED operation at $I_{FPK} > 80$ mA will cause increased link t_{PLH} propagation delay time. This extended t_{PLH} time contributes to increased pulse width distortion of the receiver output signal.

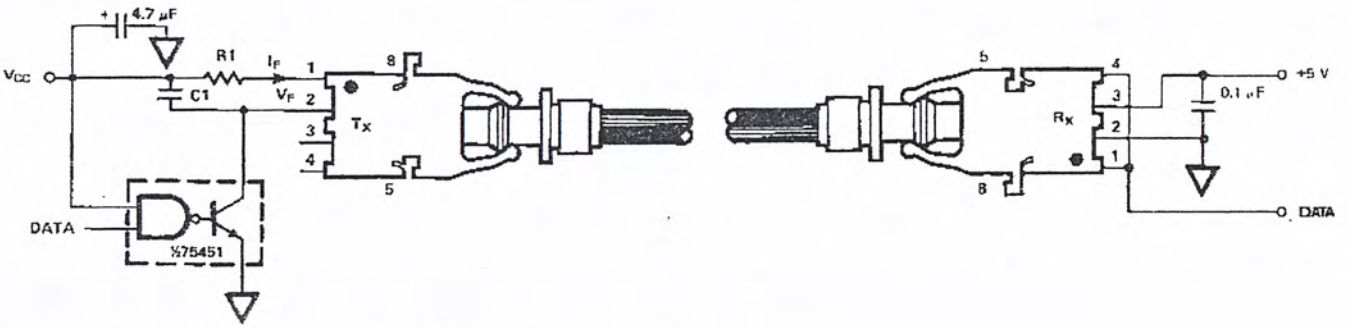


Figure 11. Required 1 Mbd Interface Circuit.

The HFBR-25X2 receiver can not be overdriven when using the required interface circuit shown in Figure 11.

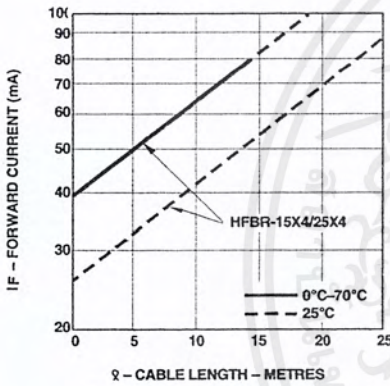


Figure 12. Guaranteed System Performance for the HFBR-15X4/25X4 Link with Standard Cable.

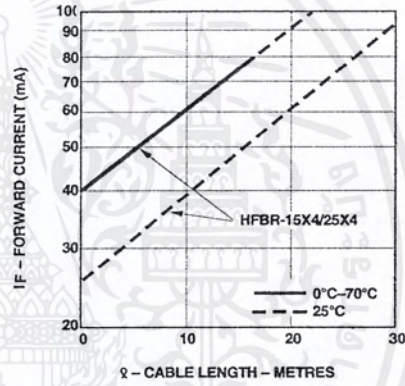


Figure 13. Guaranteed System Performance for the HFBR-15X4/25X4 Link with Improved Cable.

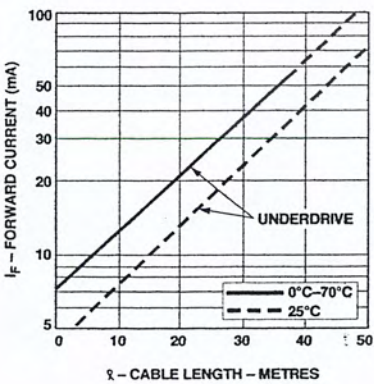


Figure 14. Guaranteed System Performance for the HFBR-15X2/25X2 Link with Standard Cable.

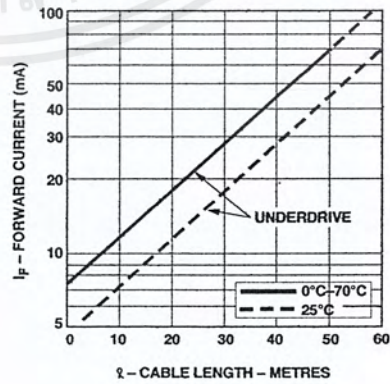


Figure 15. Guaranteed System Performance for the HFBR-15X2/25X2 Link with Improved Cable.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

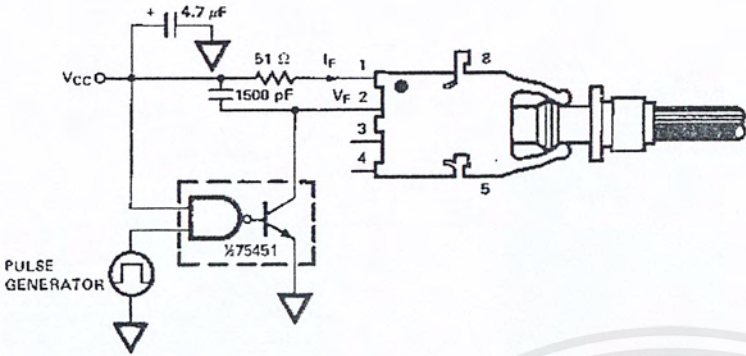


Figure 16. 1 MBd Propagation Delay Test Circuit.

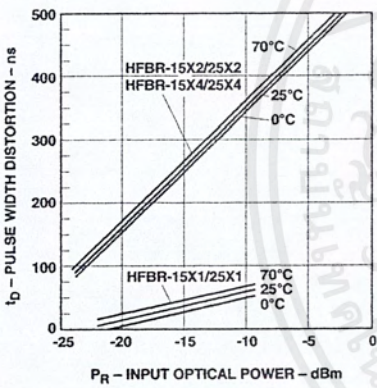


Figure 17. Pulse Width Distortion vs. Optical Power.

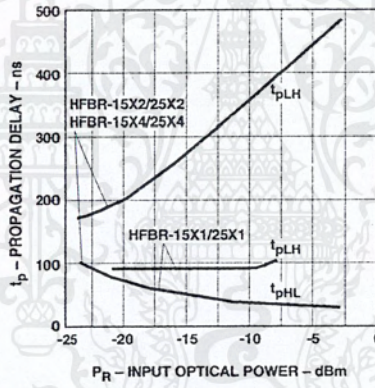


Figure 18. Typical Link Propagation Delay vs. Optical Power.

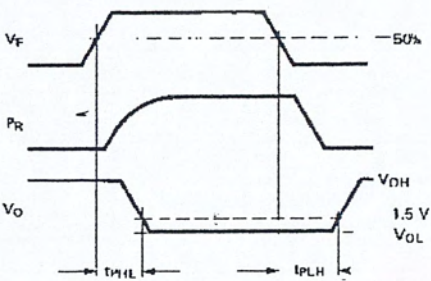


Figure 19. Propagation Delay Test Waveforms.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Agilent Technologies
Innovating the HP Way



www.semiconductor.agilent.com

Data subject to change.
Copyright © 1999 Agilent Technologies, Inc.
Obsoletes 5965-1657E
5968-1712E (11/99)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

- [1] อภินันท์ มัชฌานนท์, การสื่อสารเส้นใยแสง, พิมพ์ครั้งที่ 5, กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537.
- [2] ชาญวิทย์ เผ่าพงษ์, การสื่อสารทางแสง, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร: บริษัทยูไนเต็ดคอมมูนิเคชั่น อินดัสตรี จำกัด, 2535.
- [3] Gerd and Keiser, Optical Fiber Communication, Second Edition, Singapore: McGraw-Hill, 1991.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า. ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้