สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ผ่านเส้นใยนำแสง

Optical Transceiver for Computer Communication

โดย

นายปิยพงศ์ วิสุทธิ์เมธากุล 45015017

นายสมศักดิ์ สีพุฒ 45015078

นายสอาด มั่นคง 45015079

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. สุทธิชัย นพนาคีพงษ์

รศ. นิภา ลีลารุจิ

วพ. ว/619 ก 2547

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 61489

วัน,เดือน,ปี 18 ก.ค. 2549

b 1158810x

i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ผ่านเส้นใยนำแสง

Optical Transceiver for Computer Communication

โดย

นายปิยพงศ์ วิสุทธิ์เมธากุล

นายสมศักดิ์ สีพุฒ

นายสอาด มั่นคง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

ภาควิชา
วิศวกรรมโทรคมนาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **การสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ผ่านเส้นใยนำแสง**

Optical Transceiver for Computer Communication

ผู้จัดทำ

1. นาย ปิยพงศ์ วิสุทธิ์เมธากุล 45015017
2. นาย สมศักดิ์ สีพุฒ 45015078
3. นาย สอาด มั่นคง 45015079

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. นิภา ลีลารุจิ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ผ่านเส้นใยนำแสง

Optical Transceiver for Computer Communication

โดย นาย ปิยพงศ์ วิสุทธิ์เมธากุล 45015017

นาย สมศักดิ์ สีพุฒ 45015078

นาย สอาด มั่นคง 45015079

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์

รศ. นิภา ลีลารุจิ

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาการสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์แบบจุดต่อจุด ผ่านตัวกลางที่เป็นเส้นใยนำแสงโดยอาศัยหลักการที่ว่า เครื่องคอมพิวเตอร์ต้นทางส่งข้อมูลผ่านออกมาทางการ์ดแลน (LAN Card) แล้วส่งต่อไปยังชุดตัวแปลงเพื่อแปลงสัญญาณข้อมูลทางไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณทางแสงแล้วส่งต่อไปในเส้นใยนำแสง เมื่อถึงปลายทางสัญญาณทางแสงจะผ่านเข้าสู่ชุดตัวแปลงทำหน้าที่แปลงสัญญาณทางแสงกลับไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าผ่านการ์ดแลนเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ปลายทาง ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้เป็นการพัฒนาการสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์แบบจุดต่อจุดให้มีระยะทางมากขึ้นกว่าแบบที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ABSTRACT

This project is a study of Point-to-Point Terminal computer communications. The communication is via the fiber optic media whereas the sending computer transmitter transmits the data via LAN Card and through the transformer to transform the electrical signal to light signal and transmit to the fiber optic. At the receiver port, the light signal will transport to the transformer and the transformer will transform the light signal back to the electrical signal via the LAN Card and transport to the computer receiver. This Point-To-Point Terminal computer communications principle has been developed to help data communication in longer distance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 การสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์	2
2.1.1 ระบบการสื่อสารข้อมูล	2
2.1.2 ระบบเครือข่ายเบื้องต้น	4
2.1.3 ระบบเครือข่ายท้องถิ่น	7
2.2 ทฤษฎีและความรู้เบื้องต้นทางแสง	11
2.2.1 คุณลักษณะเบื้องต้นของแสง	11
2.2.2 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแสง	12
2.2.3 ลักษณะเฉพาะของแสง	12
2.3 อุปกรณ์ทางแสง	14
2.3.1 เส้นใยนำแสง	14
2.3.4 แหล่งกำเนิดแสง	24
2.3.5 อุปกรณ์รับแสง	33
2.4 ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง	39
2.4.1 หลักการพื้นฐานของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง	39
2.4.2 การส่งสัญญาณแบบดิจิตอล และการส่งสัญญาณแบบอนาลอก	41
2.4.3 Transmission Line Code	42
บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบ	44
3.1 โครงสร้างของโครงงาน	44
3.2 คุณสมบัติของระดับสัญญาณที่ต้องการ	45
3.2.1 คุณสมบัติระดับสัญญาณส่วนของสายคู่เกลียวบิด	45
3.2.2 คุณสมบัติระดับสัญญาณส่วนของเส้นใยนำแสง	46
3.3 การออกแบบวงจรภาคเชื่อมต่อกับสายคู่เกลียวบิด	47
3.3.1 ส่วนรับสัญญาณจากระบบแลน	49
3.3.2 ส่วนส่งสัญญาณสู่ระบบแลน	49
3.4 การออกแบบวงจรภาคเชื่อมต่อกับเส้นใยนำแสง	49
3.4.1 ส่วนส่งสัญญาณสู่เส้นใยนำแสง	50
3.4.2 ส่วนรับสัญญาณจากเส้นใยนำแสง	50
3.5 การออกแบบภาคกำหนดสัญญาณควบคุม	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

3.5.1 ส่วนของภาคสัญญาณนาฬิกาสัญญาณไฟแสดงผลและสัญญาณควบคุม 51

3.5.2 ส่วนของการกำหนดการเชื่อมต่อกับสายสัญญาณ 52

3.6 ภาควงจรจ่ายไฟและวงจรแหล่งจ่ายไฟ 54

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 57

4.1 ผลการทดลองวงจรภาคเชื่อมต่อกับสายคู่เกลียวบิด 57

4.2 ผลการทดลองวงจรภาคเชื่อมต่อกับเส้นใยนำแสง 59

4.3 ผลการทดลองวงจรภาคสัญญาณนาฬิกา 62

4.4 ผลการทดลองวงจรภาคจ่ายไฟ 63

บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป 65

5.1 สรุปผลการทดลอง 65

5.2 บทวิจารณ์ 65

ภาคผนวก

หนังสืออ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 แสดงรูปแบบการสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ผ่านเส้นใยนำแสง 1

รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของระบบการสื่อสาร 2

รูปที่ 2.2 แสดงระบบการสื่อสารแบบซิมเพล็กซ์ 3

รูปที่ 2.3 แสดงระบบการสื่อสารแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ 3

รูปที่ 2.4 แสดงระบบการสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์ 3

รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของสายโคแอกเชียล 5

รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของสายคู่เกลียวบิด 6

รูปที่ 2.7 แสดงการสะท้อนและการหักเหของแสง 13

รูปที่ 2.8 แสดงมุมวิกฤต 14

รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างของเส้นใยนำแสง 15

รูปที่ 2.10 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยนำแสง 15

รูปที่ 2.11 แสดงขนาดของคอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสง 16

รูปที่ 2.12 แสดงโหมดการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง 17

รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงในคอร์ของเส้นใยนำแสงแต่ละชนิด 20

รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสงแบบเกรดเด็ดอินเด็กซ์ 20

รูปที่ 2.15 แสดงขนาดความกว้างแบนด์วิดท์ของการส่งของเส้นใยนำแสง 23

รูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างและระดับพลังงานของอะตอม 24

รูปที่ 2.17 แสดงระดับพลังงานและขั้นตอนของการถ่ายเท 25

รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างทั่วไปของเลเซอร์ไดโอด 26

รูปที่ 2.19 แสดงโครงสร้างระดับพลังงานและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเลเซอร์ไดโอด 27

รูปที่ 2.20 แสดงโครงสร้างและระดับพลังงานของแอลอีดี 28

รูปที่ 2.21 แสดงลักษณะของ แอลอีดี และระดับพลังงาน 29

รูปที่ 2.22 แสดงชั้นต่างๆของอุปกรณ์กำเนิดแสง 31

รูปที่ 2.23 แสดงส่วนที่ปล่อยแสงของ แอลอีดี 31

รูปที่ 2.24 แสดงรูปคลื่นที่ได้ของแสงและการผสมมอดูเลชันในการส่งสัญญาณดิจิตอล 32

รูปที่ 2.25 แสดงการผสมแบบมอดูเลตทางความเข้มของแสง 32

รูปที่ 2.26 แสดงบริเวณดีพลีชัน 34

รูปที่ 2.27 แสดงความยาวคลื่นในการรับแสงของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิด 35

รูปที่ 2.28 แสดงหลักการทำงานการรับแสงและระดับพลังงานของพินโฟโต้ไดโอด 36

รูปที่ 2.29 แสดงหลักการทำงานการรับแสงและระดับพลังงานของอวาลานซ์โฟโต้ไดโอด 37

รูปที่ 2.30 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และ Photo current 38

รูปที่ 2.31 แสดงระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.32 แสดงหลักการทำงานพื้นฐานของตัวทวนสัญญาณ 40
รูปที่ 2.33 แสดงระบบการส่งสัญญาณแบบดิจิตอลและอนาลอก 41
รูปที่ 2.34 แสดงการทำ PRE MODULATION ด้วย PFM 41
รูปที่ 2.35 แสดง Transmission Line Code 42
รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานโดยรวม 44
รูปที่ 3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของชุดแปลงสัญญาณ 45
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรภาคเชื่อมต่อกับสายคู่เกลียวบิด 48
รูปที่ 3.4 แสดงพอร์ต RJ-45 48
รูปที่ 3.5 แสดงการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงแบบ Full duplex 49
รูปที่ 3.6 แสดงวงจรภาคส่งรับสัญญาณกับเส้นใยนำแสง 50
รูปที่ 3.7 แสดงส่วนของภาคสัญญาณนาฬิกาและสัญญาณไฟแสดงผล 51
รูปที่ 3.8 แสดงส่วนของการกำหนดสัญญาณควบคุม 53
รูปที่ 3.9 แสดงการจ่ายไฟให้กับชุดแปลงสัญญาณ 54
รูปที่ 3.10 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟ 55
รูปที่ 3.11 แสดงรูปวงจรรวม 56
รูปที่ 4.1 แสดงวงจรภาคเชื่อมต่อกับสายคู่เกลียวบิด 57
รูปที่ 4.2 แสดงรูปสัญญาณ 100BASE-TX 57
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณ 10BASE-T ระหว่างขา RD+ และ RD- 58
รูปที่ 4.4 แสดงวงจรภาคเชื่อมต่อกับสายใยนำแสง 59
รูปที่ 4.5 แสดงรูปสัญญาณก่อนส่งออกทางเส้นใยแสงทางด้านบวก 59
รูปที่ 4.6 แสดงรูปสัญญาณก่อนส่งออกทางเส้นใยแสงทางด้านลบ 60
รูปที่ 4.7 แสดงรูปสัญญาณด้านรับทางเส้นใยแสงทางด้านบวก 60
รูปที่ 4.8 แสดงรูปสัญญาณด้านรับทางเส้นใยแสงทางด้านลบ 61
รูปที่ 4.9 แสดงส่วนของภาคสัญญาณนาฬิกาและสัญญาณไฟแสดงผล 62
รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณนาฬิกาจากวงจรสร้างความถี่ 62
รูปที่ 4.11 แสดงวงจรภาคจ่ายไฟ 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของอีเธอร์เน็ตและ มาตรฐาน IEEE 802.3 8

ตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะของมาตรฐานอีเธอร์เน็ตความเร็วสูงประเภทต่างๆ 10

ตารางที่ 2.3 แสดงการแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสง 18

ตารางที่ 2.4 แสดงชนิดของสารกึ่งตัวนำ 30

ตารางที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์กำเนิดแสง 33

ตารางที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง 39

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติสัญญาณที่รับเข้ามาจากสายคู่เกลียวบิด 46

ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติสัญญาณที่ส่งออกสู่สายคู่เกลียวบิด 46

ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติสัญญาณที่รับมาจากเส้นใยนำแสง 47

ตารางที่ 3.4 แสดงคุณสมบัติสัญญาณที่ส่งออกสู่เส้นใยนำแสง 47

ตารางที่ 3.5 แสดงการกำหนดโหมดการทำงาน 52

ตารางที่ 3.6 แสดงการกำหนดสัญญาณควบคุม PECLQU 53

ตารางที่ 3.7 แสดงการกำหนดสัญญาณควบคุม PECLTP 54

ตารางที่ 4.1 แสดงผลของค่าที่วัดได้ของส่วนรับข้อมูลจากสายคู่เกลียวบิด 58

ตารางที่ 4.2 แสดงผลของค่าที่วัดได้ของส่วนส่งข้อมูลสู่สายคู่เกลียวบิด 58

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของค่าที่วัดได้ของส่วนส่งข้อมูลสู่เส้นใยนำแสง 61

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของค่าที่วัดได้ของส่วนรับข้อมูลจากเส้นใยนำแสง 61

ตารางที่ 4.5 แสดงสถานะ LED แสดงผลส่วนสัญญาณเข้าจากสายคู่เกลียวบิด 63

ตารางที่ 4.6 แสดงระดับแรงดันที่วัดได้จากแหล่งจ่ายไฟ 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทต่อมนุษย์อย่างมาก แทบจะทุกองค์กรต้องมีการใช้งานคอมพิวเตอร์ ดังนั้นจึงอาจจะเรียกได้ว่าคอมพิวเตอร์ได้กลายเป็นองค์ประกอบพื้นฐานในการดำรงชีวิตของมนุษย์ไปแล้วไม่ว่าจะเป็นในด้านใช้งานทางด้านธุรกิจ ใช้เพื่อความบันเทิง หรืออื่นๆ อีกมากมาย และนอกจากนี้แล้วคอมพิวเตอร์ยังถูกใช้ในการติดต่อสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลกันด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นที่ต้องมีการพัฒนาในเรื่องของการสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ให้สามารถสื่อสารกันได้ตามความต้องการ

โครงงานนี้เป็นการออกแบบวิธีการสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ 2 เครื่อง หรือเรียกว่าจุดต่อจุด โดยจะนำเอาเส้นใยนำแสงมาเป็นสื่อกลางในการสื่อสาร ซึ่งการสื่อสารข้อมูลด้วยสื่อกลางที่เป็นเส้นใยนำแสงนี้มีข้อดีหลายประการ เช่น ส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง ส่งข้อมูลได้ระยะทางไกลและเกิดสัญญาณรบกวนน้อยเมื่อเทียบกับสายสัญญาณประเภทอื่น ภายในโครงงานได้ทำการศึกษาถึงข้อเสียของระบบสื่อสารข้อมูลผ่านเส้นใยนำแสงระหว่างคอมพิวเตอร์แบบจุดต่อจุด โดยเชื่อมต่อผ่านพอร์ตอนุกรม (RS-232) ซึ่งประโยชน์การใช้งานค่อนข้างจะจำกัด ดังนั้นในโครงงานนี้จึงได้นำเอาระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งใช้การ์ดแลนด์เป็นตัวเชื่อมต่อและใช้สายคู่เกลียวบิตเป็นสื่อกลางโดยระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่มีใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน ถูกกำหนดเรื่องความยาวของสายสัญญาณที่เป็นสายคู่เกลียวบิตไว้ที่ 100 เมตร หรือถ้าหากระยะทางมากกว่า 100 เมตร ก็ต้องใช้เครื่องทวนสัญญาณ ดังนั้นการประยุกต์ใช้สายใยแก้วนำแสงเป็นสื่อกลางแทนสายคู่เกลียวบิตจะทำให้สื่อสารกันได้ระยะทางไกลมากขึ้นโดยไม่ต้องใช้เครื่องทวนสัญญาณ

รูปที่ 1.1 แสดงรูปแบบการสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ผ่านเส้นใยนำแสง

โดยมีรูปแบบการทำงานดังนี้คือ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการส่งข้อมูลจะส่งสัญญาณข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ออกมาทางพอร์ตสำหรับการสื่อสาร ซึ่งเป็นสัญญาณไฟฟ้า มาทำการแปลงให้เป็นสัญญาณแสงแล้วส่งสัญญาณแสงผ่านไปบนเส้นใยนำแสง เมื่อสัญญาณแสงไปถึงฝั่งรับ ก็จะทำการแปลงสัญญาณแสงนั้นกลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า และส่งสัญญาณไฟฟ้าเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ปลายทางผ่านทางพอร์ตสำหรับการสื่อสารเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของการสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์ อันได้แก่ ความหมาย ลักษณะ องค์ประกอบ ข้อดีและข้อเสียของ การสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์

2.1.1 ระบบการสื่อสารข้อมูล

การสื่อสารข้อมูล (Data Communication) เป็นส่วนประกอบสำคัญในระบบการประมวลผล ของคอมพิวเตอร์ในระบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นระบบออนไลน์ (Online) ระบบประมวลผลระยะไกล และระบบประมวลผลแบบกระจาย

2.1.1.1 องค์ประกอบของระบบการสื่อสารข้อมูล

โดยปกติ ในการส่งข่าวสารจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง จะต้องมีองค์ประกอบของระบบอย่างน้อยที่สุด 3 ประการคือ

1. ผู้ส่ง (Source) สร้างข้อมูลและส่งข้อมูลไป
2. ผู้รับ (Receiver) ปลายทางของการส่งข่าวสาร
3. ตัวกลางในการส่ง (Transmission Medium) นำข้อมูลจากผู้ส่งไปให้ผู้รับ

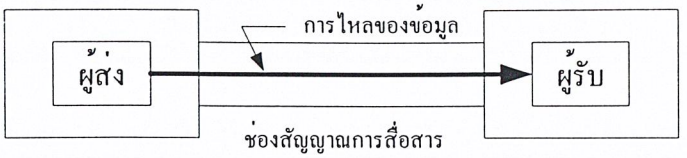
รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของระบบการสื่อสาร

2.1.1.2 ชนิดของการส่งข้อมูล

การติดต่อสื่อสารเพื่อส่งข้อมูลระหว่างผู้ส่งและผู้รับโดยผ่านตัวกลางนั้น ปกติทำได้ 3 ลักษณะคือ การสื่อสารแบบซิมเพล็กซ์ (Simplex) ฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex) และ ฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex)

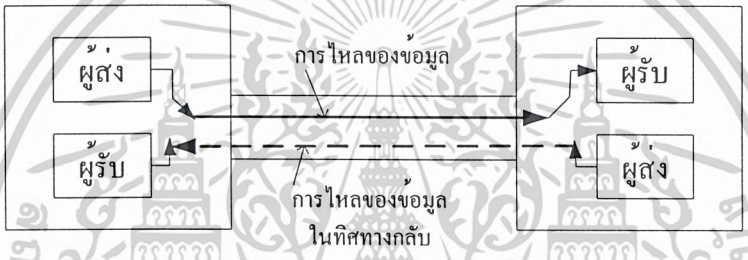
1. การสื่อสารแบบซิมเพล็กซ์ เป็นการสื่อสารข้อมูลแบบทิศทางเดียว (One-way Communication) ตัวกลางในการส่งข้อมูลนั้นประกอบด้วยช่องสัญญาณ ซึ่งอนุญาตให้ข้อมูลผ่านได้ช่องเดียวหรือหลายช่อง ช่องสัญญาณนี้คล้ายกับท่อน้ำทำนองเดียวกับการส่งข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งประกอบด้วยช่องสัญญาณเพียงช่องสัญญาณเดียว และปลายทางด้านหนึ่งเป็นผู้รับ การส่งข้อมูลจะเป็นลักษณะที่ข้อมูลถูกส่งไปทิศทางเดียว ตัวอย่างเช่น การกระจายเสียงของทางสถานีวิทยุต่างๆ การแพร่ภาพของทางสถานีโทรทัศน์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



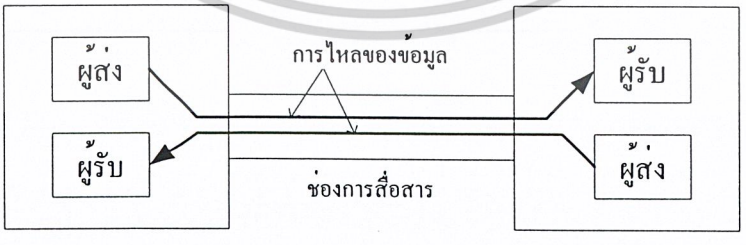
รูปที่ 2.2 แสดงระบบการสื่อสารแบบซิมเพล็กซ์

2. การสื่อสารแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ เป็นการสื่อสารข้อมูลแบบทางใดทางหนึ่ง (Either-way Communication) จากรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าถ้าหากอุปกรณ์ปลายทางทั้งสองสามารถส่งหรือรับข้อมูลได้แล้ว การส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณเดียวนั้นจะสามารถส่งไปได้ทั้งสองทางแต่ต้องสลับกันส่งและจะส่งในเวลาเดียวกันไม่ได้ การส่งข้อมูลแบบนี้เรียกว่า การสื่อสารแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ ตัวอย่างเช่น วิทยุสื่อสาร



รูปที่ 2.3 แสดงระบบการสื่อสารแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์

3. การสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์ เป็นการสื่อสารข้อมูลแบบสองทิศทางทาง (Both-way communication) จากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่ามีช่องสัญญาณ 2 ช่อง และอุปกรณ์ปลายทางสามารถส่งและรับข้อมูลได้พร้อมๆ กันแล้ว การส่งข้อมูลจะสามารถส่งได้ทั้งสองทิศทางพร้อมกัน การสื่อสารข้อมูลแบบนี้เรียกว่า ฟูลดูเพล็กซ์ หรือการสื่อสารแบบสองทิศทาง ตัวอย่างเช่น ระบบโทรศัพท์ทั่วๆ ไป



รูปที่ 2.4 แสดงระบบการสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ระบบเครือข่ายเบื้องต้น

เครือข่ายคอมพิวเตอร์ คือระบบที่มีคอมพิวเตอร์อย่างน้อยสองเครื่องเชื่อมต่อกันโดยใช้สื่อกลาง เช่น สายสัญญาณต่างๆ และสามารถสื่อสารข้อมูลกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งทำให้ผู้ใช้คอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ทรัพยากร ที่มีอยู่ในเครือข่ายร่วมกันได้ เช่นเครื่องพิมพ์ ซีดีรอม สแกนเนอร์ ฮาร์ดดิสก์ เป็นต้น การใช้ทรัพยากรเหล่านี้ร่วมกันทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้มาก เมื่อมีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่นๆ ที่อยู่ห่างไกล เช่น ระบบอินเตอร์เน็ต (Internet) ซึ่งเป็นเครือข่ายที่เชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ทั่วโลก ทำให้สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้กับคนทั่วโลก โดยใช้โปรแกรมแอพพลิเคชั่นต่างๆ เช่น เว็บ (Web) เป็นต้น

2.1.2.1 เหตุผลของการมีระบบเครือข่าย

คอมพิวเตอร์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีประสิทธิภาพสูงมากอยู่แล้ว และสามารถทำงานหลายๆ อย่างในเวลาเดียวกันได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว แต่สำหรับการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับเครือข่ายนั้นจะมีข้อดีหรือประโยชน์ดังนี้

1. สามารถแบ่งใช้งานแฟ้มข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ ทำให้ไม่ต้องติดตั้งซอฟต์แวร์ที่คอมพิวเตอร์ทุกเครื่อง

2. คอมพิวเตอร์จำนวนมากที่ประกอบขึ้นมาเป็นเครือข่าย สามารถแบ่งใช้งานทรัพยากรร่วมกันได้ เช่น เครื่องพิมพ์ อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล ซึ่งทรัพยากรเหล่านี้สามารถถูกติดตั้งไว้ที่ใดก็ได้ในเครือข่าย โดยที่คอมพิวเตอร์ทุกเครื่องสามารถเข้าไปใช้งานทรัพยากรดังกล่าวจากจุดใดก็ได้ในเครือข่าย

3. สามารถส่งข่าวสารไปมาระหว่างคอมพิวเตอร์ รวมทั้งสามารถโอนถ่ายแฟ้มข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่งไปยังอีกเครื่องหนึ่งได้โดยง่าย

4. สามารถส่งข่าวสารในรูปแบบของไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ได้

5. สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่บนเครือข่ายได้

2.1.2.2 ประเภทของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์

ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ระบบเครือข่ายท้องถิ่น (Local Area Network หรือ LAN) เป็นระบบเครือข่ายที่มีขนาดเล็ก ครอบคลุมพื้นที่จำกัด เชื่อมโยงกันในรัศมีใกล้ ๆ ในเขตพื้นที่เดียวกัน เช่น ในอาคารเดียวกัน ห้องเดียวกัน ภายในตึกเดียวกันหรือหลาย ๆ ตึกใกล้ ๆ กัน โดยไม่ต้องเชื่อมการติดต่อกับองค์การโทรศัพท์หรือการสื่อสารแห่งประเทศไทย ระบบเครือข่ายท้องถิ่นมีประโยชน์สามารถทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์หลาย ๆ เครื่องที่เชื่อมต่อกัน สามารถส่งข้อมูลแลกเปลี่ยนกันได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และยังสามารถใช้ทรัพยากรร่วมกันได้อีกด้วย

2. ระบบเครือข่ายระดับเมือง (Metropolitan Area Network หรือ MAN) เป็นระบบเครือข่ายมีการเชื่อมโยงกันในพื้นที่ ที่กว้างไกลกว่าระบบเครือข่ายท้องถิ่น คืออาจจะเชื่อมโยงกันภายในจังหวัด โดยจะต้องมีการใช้ระบบเครือข่ายขององค์การโทรศัพท์หรือองค์การสื่อสารแห่งประเทศไทย

3. ระบบเครือข่ายระยะไกล (Wide Area Network หรือ WAN) เป็นระบบเครือข่ายที่เชื่อมต่อคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ที่อยู่ห่างไกลกันเข้าด้วยกัน อาจจะต้องเป็นการติดต่อสื่อสารกันใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

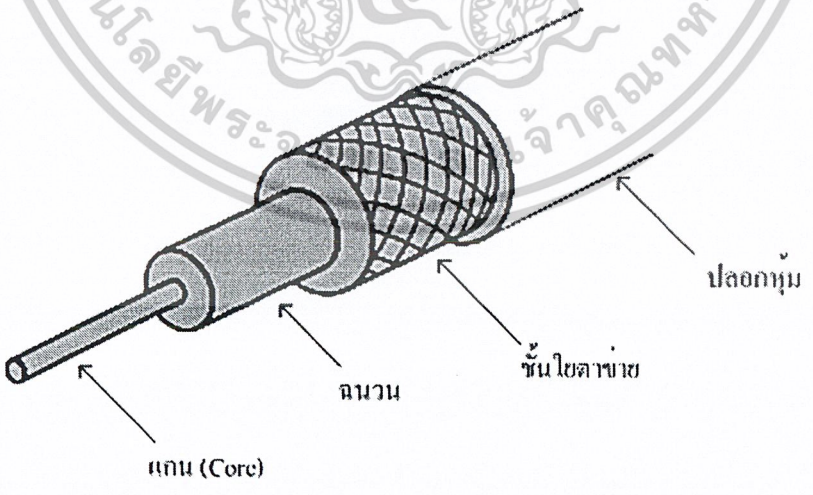
ระดับประเทศ ข้ามทวีปหรือทั่วโลกก็ได้ ในการเชื่อมการติดต่อกันนั้นจะต้องมีการต่อเข้ากับระบบสื่อสารขององค์การโทรศัพท์ หรือการสื่อสารแห่งประเทศไทยเสียก่อน เพราะจะเป็นการส่งข้อมูลผ่านทางสายโทรศัพท์ในการติดต่อสื่อสารกัน

2.1.2.3 สายสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูล

ความจริงอย่างหนึ่งเกี่ยวกับระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์คือ ไม่ว่าระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์จะมีประสิทธิภาพสูงเพียงใดก็ไม่อาจจะมีประสิทธิภาพดีไปกว่าที่สายสัญญาณที่ใช้ส่งข้อมูล หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ประสิทธิภาพของเครือข่ายจะถูกจำกัดด้วยสายสัญญาณที่ใช้ การที่คอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่งจะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์อีกเครื่องหนึ่งได้นั้น เครื่องคอมพิวเตอร์เหล่านี้จะต้องมีการเชื่อมต่อกันด้วยสื่อนำสัญญาณประเภทใดประเภทหนึ่ง สื่อนำสัญญาณที่ใช้ในการเชื่อมต่อเครือข่ายมีหลายประเภทด้วยกัน แต่สำหรับสายนำสัญญาณแบ่งออกเป็น 3 ประเภทด้วยกันคือ สายโคแอกเชียล (Coaxial Cable) สายคู่เกลียวบิด (Twisted Pairs) เส้นใยนำแสง (Fiber Optic)

1. สายโคแอกเชียล เป็นสายสัญญาณประเภทแรกที่ใช้ และเป็นที่นิยมมากในเครือข่ายคอมพิวเตอร์สมัยแรกๆ แต่ในปัจจุบันเครือข่ายส่วนใหญ่จะใช้สายคู่เกลียวบิดและสายใยแก้วนำแสง ส่วนสายโคแอกซ์ถือได้ว่าเป็นสายที่ล้าสมัยสำหรับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามยังมีระบบเครือข่ายบางประเภทที่ยังใช้สายประเภทนี้อยู่

สายโคแอกเชียลส่วนใหญ่จะเรียกสั้นๆว่าสายโคแอกซ์ จะมีตัวนำไฟฟ้าอยู่ 2 ส่วน คำว่า โคแอกซ์ มีความหมายว่า “มีแกนร่วมกัน” ซึ่งชื่อก็บอกความหมายว่าตัวนำทั้งสองตัวมีแกนร่วมกันนั่นเอง โครงสร้างของสายโคแอกซ์ประกอบด้วยสายทองแดงเป็นแกนกลาง แล้วห่อหุ้มด้วยวัสดุที่เป็นฉนวน ชั้นต่อมาจะเป็นตัวนำไฟฟ้าอีกชั้นหนึ่ง สุดท้ายก็หุ้มด้วยฉนวนและวัสดุป้องกันสายสัญญาณ ในรูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของสายโคแอกซ์ โดยทั่วไป



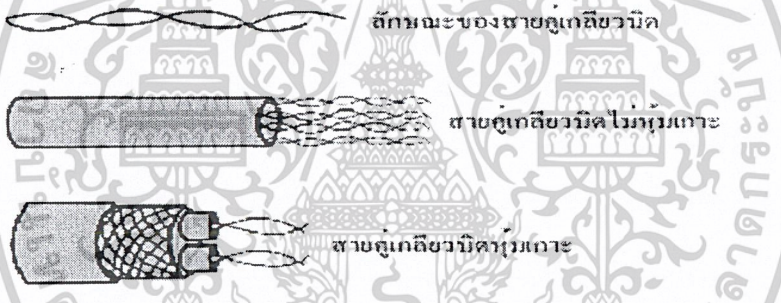
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของสายโคแอกเชียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนแกนเป็นส่วนที่นำสัญญาณข้อมูล ส่วนชั้นใยตาข่ายเป็นชั้นที่ใช้ป้องกันสัญญาณรบกวนจากภายนอกและเป็นสายดินในตัว ดังนั้นสองส่วนนี้ต้องไม่เชื่อมต่อกันมิฉะนั้นอาจจะเกิดไฟฟ้าช็อตได้ชนิดของเครือข่ายที่ใช้ สายโคแอกซ์จะถูกแยกเป็นประเภทต่างๆ โดยใช้มาตรา RG (Radio Grade Scale) เช่น สายโคแอกซ์แบบ RG-58 จะใช้ได้กับเครือข่ายอีเธอร์เน็ตแบบ 10Base2 ซึ่งจะมีค่าความต้านทานที่ 50 โอห์ม

2. สายคู่เกลียวบิด เมื่อก่อนเป็นสายสัญญาณที่ใช้ในระบบโทรศัพท์ แต่ปัจจุบันได้กลายเป็นมาตรฐานสายสัญญาณที่เชื่อมต่อในระบบเครือข่ายท้องถิ่น สายคู่เกลียวบิดหนึ่งคู่ประกอบด้วยสายทองแดงขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.016-0.035 นิ้ว หุ้มด้วนฉนวนแล้วบิดเป็นเกลียวเป็นคู่ การบิดเป็นเกลียวของสายแต่ละแต่ละคู่มีจุดประสงค์เพื่อช่วยลดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่จะรบกวนกัน

สายคู่เกลียวบิดที่มีขายในท้องตลาดมีหลายประเภทด้วยกัน ซึ่งสายสัญญาณอาจประกอบด้วยสายคู่เกลียวบิดตั้งแต่หนึ่งคู่จนถึง 600 คู่ในสายขนาดใหญ่ สายคู่เกลียวบิดที่ใช้กับเครือข่ายท้องถิ่นจะประกอบด้วย 4 คู่ สายคู่เกลียวบิดที่ใช้ในเครือข่ายแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ สายคู่เกลียวบิดหุ้มฉนวน (STP: Shielded Twisted Pairs) สายคู่เกลียวบิดไม่หุ้มฉนวน (UTP: Unshielded Twisted Pairs)



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของสายคู่เกลียวบิด

1) สายคู่เกลียวบิดหุ้มฉนวน สายคู่เกลียวบิดแบบมีส่วนป้องกันสัญญาณรบกวนหรือเอสทีพี (STP) มีส่วนที่เพิ่มขึ้นมาคือ ส่วนที่ป้องกันสัญญาณรบกวนจากภายนอก ซึ่งชั้นป้องกันนี้อาจเป็นแผ่นโลหะบางๆหรือใยโลหะที่ถักเป็นตาข่าย ซึ่งชั้นป้องกันนี้จะห่อหุ้มสายคู่เกลียวบิดทั้งหมด จุดประสงค์ของการเพิ่มชั้นห่อหุ้มนี้เพื่อป้องกันการรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น คลื่นวิทยุจากแหล่งต่างๆ

2) สายคู่เกลียวบิดไม่หุ้มฉนวน สายคู่เกลียวบิดแบบไม่มีส่วนป้องกันสัญญาณรบกวนหรือยูทีพี (UTP) เป็นสายที่นิยมเรียกสั้นๆว่าสายยูทีพี เป็นสายสัญญาณที่นิยมใช้กันมากที่สุดในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ปัจจุบัน ซึ่งการใช้สายนี้ความยาวต้องไม่เกิน 100 เมตร

โดยคุณสมบัติพิเศษของสายคู่เกลียวบิดที่ใช้ในระบบเครือข่าย คือการใช้สายคู่เกลียวบิดในการรับส่งสัญญาณนั้นจำเป็นต้องใช้สายหนึ่งคู่ในการส่งสัญญาณ และอีกหนึ่งคู่ในการรับสัญญาณ ซึ่งในแต่ละคู่สายจะมีทั้งขั้วบวกและขั้วลบ ในการทำเช่นนี้เป็นเทคนิคอย่างหนึ่งในการรับส่งข้อมูลที่เรียกว่า ดิฟเฟอร์เร้นเชียลซิกแนลลิงก์ (Differential Signaling) ซึ่งเทคนิคนี้คิดค้นขึ้นมาเพื่อที่จะกำจัดคลื่นรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Electromagnetic Noise) ที่เกิดกับสัญญาณข้อมูล ซึ่งคลื่นรบกวนนี้เกิดขึ้นได้ง่าย และเมื่อเกิดขึ้นกับสายสัญญาณแล้วจะทำให้สัญญาณข้อมูลยากต่อการอ่านหรือแปลความหมาย

ตัวส่งสัญญาณจะส่งสัญญาณสองสัญญาณ ซึ่งสัญญาณหนึ่งจะเป็นสัญญาณบวกบนสาย T+ และอีกสัญญาณหนึ่งคือสัญญาณลบบนสาย T- เมื่อถึงปลายทางสัญญาณ T- จะถูกผกผันอีกที ซึ่งถ้าไม่มีคลื่นรบกวน สัญญาณ T+ และส่วนกลับสัญญาณ T- ควรจะมีลักษณะคล้ายๆกัน แต่ถ้ามีคลื่นรบกวน สองสัญญาณนี้จะมีส่วนแตกต่างกัน ซึ่งส่วนที่แตกต่างกันนี้เกิดขึ้นจากคลื่นรบกวนนั่นเอง ตามทฤษฎีของคลื่นรบกวนแล้ว คลื่นรบกวนจะเกิดขึ้นกับทั้งสองสัญญาณในขนาดที่เกือบจะเท่ากัน ดังนั้นเมื่อกลับอีกด้านอีกสัญญาณหนึ่ง แล้วบวกทั้ง 2 สัญญาณเข้าด้วยกัน ส่วนที่เป็นสัญญาณรบกวนจะถูกหักล้างกันไป ทำให้ได้เฉพาะสัญญาณที่ต้องการจริงๆ เท่านั้น

ระบบโทรศัพท์ส่วนใหญ่จะใช้สายประเภทยูทีพี อีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้สายยูทีพีได้รับความนิยมมากเนื่องจากอาคารส่วนใหญ่ที่สร้างมักจะติดตั้งสายโทรศัพท์ตั้งแต่ต้น และถ้าสายที่ใช้กับระบบโทรศัพท์นี้มีคุณภาพดีพอที่จะใช้ส่งสัญญาณแบบดิจิตอลได้ ก็สามารถใช้สายนั้นกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ได้ อย่างไรก็ตามควรตรวจสอบให้แน่ใจก่อนว่าสายโทรศัพท์นั้นมีคุณภาพดีพอก่อนที่จะใช้งานจริงๆ

ปัญหาหนึ่งของการใช้สายส่งสัญญาณคือ ครอสส์ทอร์ค (Crosstalk) ซึ่งหมายถึงสัญญาณบนสายหนึ่งจะรบกวนสัญญาณบนสายอีกสายหนึ่ง สายคู่เกลียวบิดได้ถูกออกแบบมาเพื่อช่วยลดปัญหานี้ โดยการบิดคู่สายเป็นเกลียวทำให้สัญญาณรบกวนในแต่ละสายหักล้างกัน ถ้าจำนวนเกลียวต่อหน่วยความยาวยิ่งมากเท่าใด จะทำให้ป้องกันครอสส์ทอร์คได้ดีเท่านั้น แต่ข้อเสีย คือจะทำให้ความยาวของสายเพิ่มขึ้น

3. เส้นใยนำแสง สายสัญญาณที่ใช้กับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันมี 2 ประเภท โดยแบ่งตามชนิดของตัวนำที่ใช้ประเภทแรกคือ แบบที่ใช้โลหะเป็นตัวนำสัญญาณ (Conductive Metal) เช่น สายคู่เกลียวบิด (Twisted Pairs) และสายโคแอกซ์ (Coaxial cable) ซึ่งปัญหาของสายที่มีตัวนำเป็นโลหะนั้นก็คือ สัญญาณที่วิ่งอยู่ภายในสายนั้น อาจจะถูกรบกวนได้โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแหล่งต่างๆ เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ที่ผลิตสนามแม่เหล็ก หรือแม้กระทั่งปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น ฟ้าผ่าเป็นต้น และการเดินสายเป็นระยะทางไกลมากๆ เช่น ระหว่างประเทศจะมีการสูญเสียของสัญญาณเกิดขึ้น จึงต้องต้องใช้อุปกรณ์สำหรับทวนสัญญาณติดเป็นจำนวนมาก เพราะฉะนั้นจึงมีการคิดค้นและพัฒนาสายสัญญาณแบบใหม่ ซึ่งใช้ตัวนำซึ่งไม่ได้เป็นโลหะขึ้นมาก็คือ เส้นใยนำแสง ซึ่งใช้สัญญาณแสงในการส่งแทนสัญญาณไฟฟ้า ทำให้การส่งสัญญาณไม่ถูกรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าต่างๆ ทั้งยังคงทนต่อสภาพแวดล้อมอีกด้วย และตัวกลางที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณแสงก็คือ เส้นใยแก้วที่มีขนาดเล็กและบางทำให้ประหยัดพื้นที่ไปได้มาก สามารถส่งสัญญาณไปได้ไกลโดยมีการสูญเสียของสัญญาณน้อย ทั้งยังให้อัตราส่งข้อมูลที่สูงกว่าสายแบบโลหะหลายเท่าตัว ซึ่งทฤษฎีของเส้นใยนำแสงจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

2.1.3 ระบบเครือข่ายท้องถิ่น

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า ระบบเครือข่ายท้องถิ่น เป็นเครือข่ายขนาดเล็กที่ครอบคลุมพื้นที่บริเวณจำกัด และจำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกันในระบบนี้อาจมีตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไปจนถึงหลายพันเครื่อง เทคโนโลยีของระบบเครือข่ายท้องถิ่นมีหลายรูปแบบ อย่างเช่น แบบอีเธอร์เน็ต (Ethernet)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบโทเคนริง (Token Ring) แบบ ATM แบบ FDDI เป็นต้น แต่เทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในปัจจุบันก็คือ แบบอีเธอร์เน็ต

2.1.3.1 อีเธอร์เน็ต

เทคโนโลยีแบบอีเธอร์เน็ตได้ถูกคิดค้นขึ้นตั้งแต่ทศวรรษ 1970 และยังคงเป็นเทคโนโลยีชั้นนำของระบบเครือข่ายท้องถิ่นเทคโนโลยีเครือข่ายแบบอีเธอร์เน็ตตั้งอยู่บนมาตรฐาน IEEE 802.3 โดยมีการส่งข้อมูลหรือใช้โปรโตคอล CSMA/CD (Carrier Send Multiple Access with Collision Detection) โปรโตคอลนี้ถูกใช้สำหรับ การเข้าใช้สื่อกลางในการส่งสัญญาณที่แชร์กันระหว่างสถานีหรือโหนดต่างๆ และใช้โทโบโลยีแบบบัสหรือแบบสตาร์ นอกจากนี้มาตรฐาน IEEE 802.3 ยังได้ร่างมาตรฐานการใช้สื่อในระดับกายภาพ (Physical Layer) แบบต่างๆ ทำให้สามารถใช้สายเคเบิลในระดับกายภาพได้หลายแบบ เช่น 10Base-5, 10Base-T โดย “10” หมายถึงความเร็ว 10 เมกกะบิตต่อวินาที ส่วน “Base”คือเบสแบนด์ (Baseband) หมายถึงช่องสัญญาณที่รับส่งแบบเต็มช่องใช้สัญญาณแบบดิจิตอล ส่วน “Broard” คือบรอดแบนด์ (Broadband) ซึ่งช่องสัญญาณที่ใช้จะกว้างกว่าแบบเบสแบนด์และเป็นการส่งข้อมูลแบบแบ่งช่องสัญญาณออกเป็นช่องสัญญาณย่อยแล้วส่งข้อมูลออกไป และในส่วนสุดท้ายนั้น ในช่วงแรก “5” หมายถึงระยะไกลสุดที่สามารถเชื่อมต่อมีหน่วยเป็นเมตรคูณร้อย ในที่นี้คือ 500 เมตร แต่ต่อมาได้มีการใช้ความหมายของส่วนนี้เพิ่มเติมเป็นชนิดของสาย เช่น “T” หมายถึงใช้สายสายคู่เกลียวบิดและ “F” หมายถึงเส้นใยนำแสง ดังสรุปในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของอีเธอร์เน็ตและ มาตรฐาน IEEE 802.3

	Ethernet	IEEE 802.3				
		10Base-5	10Base-2	1Base-5	10Base-T	10Broad-36
แบนด์วิธ (Mbps)	10	10	10	1	10	10
ช่องสัญญาณ	Baseband	Baseband	Baseband	Baseband	Baseband	Broadband
ความยาวสาย (m)	500	500	185	250	100	1800
สายสัญญาณ	50–ohm coax (thick)	50–ohm coax (thick)	50–ohm coax (thick)	UTP	UTP	75–ohm coax
โทโปโลยี	Bus	Bus	Bus	Star	Star	Bus

ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีอีเธอร์เน็ตที่นิยมจะทำงานที่ความเร็ว 10 เมกกะบิตต่อวินาที โดยส่วนใหญ่จะนิยมใช้ 10Base-T มีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10Base-T

ถ้า Base-T ใช้หลักการตั้งชื่อแบบ 10Base-2 และ 10Base-5 ชื่อก็จะคงเป็น 10Base-1 เพราะความยาวสูงสุดของสายสัญญาณที่ใช้คือ 100 เมตร จะด้วยเหตุผลอะไรก็แล้วแต่ IEEE ได้เปลี่ยนการเรียกชื่อโดยใช้ T แทนประเภทของสายสัญญาณ ซึ่งหมายถึงสายคู่เกลียวบิด นั่นเอง

มาตรฐาน 10Base-Tไม่ได้กำหนดประเภทของสายสัญญาณที่ใช้โดยตรงตามที่คนส่วนใหญ่เข้าใจ แต่จะกำหนดเทคนิคการรับส่งสัญญาณบนสายสัญญาณสี่เส้น ที่มีคุณภาพเท่ากับหรือดีกว่าสายคู่เกลียวบิ ดประเภท 3 (Unshielded Twisted Pair Category 3) ซึ่งสายสัญญาณแต่ละเส้นจะตั้งชื่อตามหน้าที่และขั้วไฟฟ้า สายคู่หนึ่งใช้ในการส่งข้อมูล ซึ่งเส้นหนึ่งเป็นขั้วบวก ส่วนอีกเส้นหนึ่งเป็นขั้วลบ และสายอีกคู่หนึ่งใช้ในการรับสัญญาณ ซึ่งเส้นหนึ่งเป็นขั้วบวกและอีกเส้นหนึ่งเป็นขั้วลบ สายสี่เส้นนี้มีชื่อเรียกดังนี้

T+ : สายส่ง และมีขั้วเป็นบวก

T- : สายส่ง และมีขั้วเป็นลบ

R+ : สายรับ และมีขั้วเป็นบวก

R- : สายรับ และมีขั้วเป็นลบ

ตัว T และตัว R ย่อมาจากคำว่า Transmit และ Receive

10Broad-36

ระบบนี้ออกแบบมาเพื่อให้สามารถส่งข้อมูลที่ 10 เมกกะบิตต่อวินาที โดยใช้การส่งสัญญาณแบบบรอดแบนด์บนสายสัญญาณที่สายทองแดง การส่งสัญญาณแบบบรอดแบนด์สามารถส่งข้อมูลได้หลายช่องสัญญาณในสายสัญญาณเดียวกัน วิธีการก็โดยการแบ่งแถบความถี่ที่กว้างออกเป็นช่องความถี่ย่อย แล้วแต่ละช่องสามารถรับส่งข้อมูลได้โดยไม่ขึ้นต่อกัน ตัวอย่างการรับส่งข้อมูลแบบบรอดแบนด์ เช่น เคเบิลทีวี โดยสัญญาณทีวีแต่ล่ะช่องจะส่งไปบนสายเคเบิลเดียวกัน การเปลี่ยนช่องทีวีก็คือ การปรับช่องความถี่ให้รับสัญญาณของช่องทีวีที่ต้องการนั้นเอง

มาตรฐาน 10Broad-36 ถูกออกแบบมาสำหรับการเชื่อมต่อที่ต้องการระยะทางมากกว่าแบนด์วิธ เลข36 หมายถึง 3,600 เมตร แต่การใช้งาน 10Broad-36 จริงๆ นั้นมีน้อยมาก เองจากส่วนใหญ่จะนิยมใช้เส้นใยนำแสงสำหรับลิงค์ระยะไกล

10Base-F

อักษร F ในที่นี้มาจาก Fiber Optic ซึ่งหมายถึงอีเธอร์เน็ตที่ใช้เส้นใยนำแสงนั่นเอง 10Base-F เป็นอีเธอร์เน็ตที่มีความเร็ว 10 เมกกะบิตต่อวินาที ใช้สัญญาณแบบเบสแบนด์ และใช้เส้นใยนำแสงแบบมัลติโหมด (Multi Mode Optic Fiber) ขนาด 62.5/125 ไมครอน (1 ไมครอน = 10^{-6}) สายสัญญาณประเภทนี้ส่งสัญญาณได้ไกลสุด 2 กิโลเมตร การใช้งานจะเหมือนกับสายคู่เกลียวบิด คือ จะถูกพ่วงต่อไม่ได้เหมือนสายโคแอ็กซ์ 10Base-F เป็นมาตรฐานอีเธอร์เน็ตซึ่งตีพิมพ์ในปี ค.ศ. 1993 โดยมาตรฐานนี้แบ่งย่อยเป็น 3 ประเภทคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10Base-FB : สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างแอ็คทีฟฮับ (Active Fiber Hub) เพื่อขยายระยะการเชื่อมต่อให้ไกลขึ้น

10Base-FP : สำหรับพาสซีฟฮับ (Passive Fiber Hub) สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างเวิร์คสเตชันกับฮับ

10Base-FL : เป็นมาตรฐานที่พัฒนาเพิ่มจาก 10 Base-FOIRL

ที่ใช้งานจริงๆ มีแค่มาตรฐานเดียวคือ 10Base-FL ส่วน 10Base-FB นั้นมีการใช้งานน้อยมาก เนื่องจากมีการผลิตอุปกรณ์ประเภทนี้น้อยมาก ส่วนอุปกรณ์ที่เป็น 10Base-FP นั้นไม่เคยผลิตใช้งานเลย เนื่องจากเส้นใยนำแสงและอุปกรณ์เครือข่ายแบบ 10Base-FL มีราคาแพง ฉะนั้นจึงใช้เฉพาะกับการเชื่อมต่อที่สำคัญเท่านั้น เช่น การเชื่อมต่อระหว่างฮับที่ต้องการระยะห่างมากๆ หรือการเชื่อมต่อระหว่างฮับหรือสวิตช์กับเครื่องเซิร์ฟเวอร์เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับลิงค์ เนื่องจากเส้นใยนำแสงจะมีประสิทธิภาพในการนำสัญญาณดีว่าสายโคแอ็กซ์และสายคู่เกลียวบิดเพราะมีสัญญาณรบกวนน้อยกว่า

นอกจากนี้มาตรฐาน IEEE 802.3 ยังได้ขยายครอบคลุมความเร็วระดับ 100 เมกกะบิตต่อวินาทีด้วยนั่นคือ มาตรฐานฟาสต์อีเธอร์เน็ต (Fast Ethernet) หรืออีเธอร์เน็ตความเร็วสูง ซึ่งส่วนที่สำคัญมากที่สุดก็คือ การเพิ่มอัตราข้อมูลจากเดิมเป็น 10 เท่าตัว โดยจะประกอบด้วย มาตรฐานหลายๆ แบบ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะของมาตรฐานอีเธอร์เน็ตความเร็วสูงประเภทต่างๆ

ลักษณะ	100 Base-Tx	100 Base-Fx	100 Base-T4
สายสัญญาณ	UTP	62.52/ 125 MMF	UTP Cat 3
จำนวนสายสัญญาณ	2 คู่	1 คู่	4 คู่
ระยะทางไกลสุด	100 เมตร	2,000 เมตร	100 เมตร

100Base-TX

อีเธอร์เน็ตความเร็วสูงประเภทแรกเรียกว่า 100Base-Tx ซึ่งจะใช้สายคู่เกลียวบิดอย่างต่ำประเภท 5 หรือสาย STP ประเภท 1 เครือข่ายประเภทนี้ได้มีการเปลี่ยนแปลงโปรโตคอลการเข้าถึงสื่อกลาง (Media Access Control หรือ MAC) ซึ่งได้ถูกออกแบบไว้ที่ความเร็ว 10 เมกกะบิตต่อวินาทีให้สามารถทำงานได้ที่ความเร็ว 100 เมกกะบิตต่อวินาที

100Base-FX

เป็นฟาสต์อีเธอร์เน็ตที่ใช้เส้นใยนำแสงเป็นสื่อนำสัญญาณ ใช้รูปแบบการรับส่งสัญญาณและการเข้ารหัสข้อมูลเหมือนกับ 100Base-Tx อีเธอร์เน็ตประเภทนี้สามารส่งข้อมูลที่ความเร็ว 100 เมกกะบิตต่อวินาทีได้ถึง 412 เมตรในฮาล์ฟดูเพล็กซ์โหมดและ 2 กิโลเมตรในฟูลดูเพล็กซ์โหมด เมื่อใช้สายสัญญาณแบบมัลติโหมด และอาจส่งได้ไกลถึง 20 กิโลเมตรหรือไกลกว่าเมื่อใช้เส้นใยนำแสงแบบซิงเกิลโหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Single Mode Optic Fiber) ในการรับส่งสัญญาณนั้นจะใช้เส้นใยนำแสงจำนวน 1 คู่ ซึ่งอาจเป็นแบบมัลติโหมดขนาด 62.5/125 ไมครอน หรือซิงเกิลโหมดที่ขนาด 8-10 ไมครอน โดยเส้นหนึ่งสำหรับรับสัญญาณและอีกเส้นหนึ่งสำหรับส่งสัญญาณ การใช้เส้นใยนำแสงนี้ทำให้สามารถขยายเครือข่ายให้ครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างขึ้น แต่เนื่องจากเส้นใยนำแสงมีราคาแพง 100Base-Fx จึงนิยมใช้สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างฮับหรือสวิตซ์หรือแบ็คโบนของระบบเครือข่ายท้องถิ่น

100Base-T4

ข้อเสียของ 100Base-T4 คือต้องใช้สายคู่เกลียวบิดประเภท 5 หรือดีกว่าเท่านั้น แต่ในสมัยที่มาตรฐานนี้ออกมาใหม่ๆนั้น อาคารส่วนใหญ่ได้ติดตั้งสายโทรศัพท์อยู่แล้ว ซึ่งเป็นสายคู่เกลียวบิดอย่างประเภท 3 ซึ่งแน่นอนว่าเราไม่สามารถใช้สายสัญญาณประเภทนี้กับ 100Base-T4 ได้ IEEE จึงได้พัฒนามาตรฐานของอีเธอร์เน็ตความเร็วสูงอีกประเภทหนึ่ง เพื่อให้สามารถใช้สายโทรศัพท์ทั่วๆไปกับฟาสต์อีเธอร์เน็ตได้ มาตรฐานนี้ก็คือ 100Base-T4 ซึ่งเป็นฟาสต์อีเธอร์เน็ตที่ใช้สายคู่เกลียวบิดประเภท 3 ทั้งหมด 4 คู่สาย ซึ่งเป็นที่มาของเลข 4 ที่ต่อท้ายชื่อนั่นเอง

2.2 ทฤษฎีและความรู้เบื้องต้นทางแสง

จะกล่าวถึง กฎ ทฤษฎี หลักการและคุณสมบัติต่างๆของฟิสิกส์ทางแสง

2.2.1 คุณลักษณะเบื้องต้นของแสง

ในปัจจุบันมีรูปแบบทางทฤษฎีที่อธิบายเกี่ยวกับคุณลักษณะของแสงอยู่ 2 ลักษณะดังนี้ คือ Electromagnetic แสงมีลักษณะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กับโฟตอน (Photon) แสงเป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคเล็กๆ จำนวนมากที่เรียกว่าโฟตอน

1. คุณลักษณ์ของแสงในสภาพคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

รูปแบบหนึ่งในการพิจารณาแสง คือ การแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งจะประกอบด้วยความถี่ (Frequency) และความยาวคลื่น (Wavelength) อันเป็นคุณลักษณะพื้นฐานเช่นเดียวกับความถี่วิทยุต่างกันเพียงแต่ว่าแสงจะมีความถี่สูงกว่ามาก ความถี่แสงที่ใช้ในการสื่อสารทางแสงจะมีค่า ประมาณ 3×10^{14} เฮิรตซ์ ซึ่งเท่ากับ 300,000 กิกะเฮิรตซ์ ความถี่นี้จะต่ำกว่าความถี่แสงที่มองเห็น (Visible Light) ซึ่งจะมีค่าประมาณ 5×10^{14} เฮิรตซ์ หมายความว่า แสงที่ใช้ในการสื่อสารทางแสงจะเป็นแสงที่มองไม่เห็น (Invisible Light) และความถี่แสงอยู่ในย่าน Infrared Light

ตามปกติแล้วการกำหนดชนิดของแสงจะใช้ความยาวคลื่น (Wavelength) ของแสงนั้นแทนที่จะใช้ความถี่หรือสี ความยาวคลื่นของแสงในสุญญากาศจะสัมพันธ์กับ c และความถี่ (f) ดังนี้

$$\lambda = c / f \tag{2.1}$$

เมื่อ c คือ ความเร็วของแสงในสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที

f คือ ความถี่ของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คุณลักษณ์ของแสงในสภาพโฟตอน

ในบางครั้ง มีความจำเป็นที่จะต้องคิดว่าแสงเป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคเล็กๆจำนวนมาก ในทิศทางนั้นๆ รูปแบบนี้จะมีประโยชน์มากในการศึกษาเกี่ยวกับพลังงานของแสง อนุภาคพื้นฐานของแสงหรือโฟตอนโดยโฟตอนนี้เป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของพลังงานแสงโฟตอนตัวหนึ่งจะแทนปริมาณพลังงานของแสง โดยพลังงานของโฟตอนใช้แทนด้วยตัวอักษร Eph ซึ่งจะเท่ากับ

$$Eph = h \times f \tag{2.2}$$

เมื่อ h คือ ค่าคงที่ ที่เรียกว่า Plank-Constant โดยมีค่าเท่ากับ 6.63×10^{-34} Watt. sec^2) จากสูตรนี้พลังงานของโฟตอน (Eph) จะมีหน่วยเป็น Watt. second

2.2.2 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแสง

ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแสงจะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลางที่แสงเดินทางผ่าน และแสงจะมีความเร็ว สูงสุดเมื่อเคลื่อนที่ในสุญญากาศ ตามกฎของไอน์สไตน์ ความเร็วนี้เป็นความเร็วสูงสุดที่สามารถสังเกตได้ในการวัดทางกายภาพ เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางอย่างอื่น จะมีความเร็วลดลง ความเร็วของแสงในการเดินทางผ่านตัวกลางอื่นนี้จะกำหนดด้วยตัวอักษร v และมีความสัมพันธ์กับ c ดังนี้

$$v = c / n \tag{2.3}$$

เมื่อ n คือ ค่าดัชนีการหักเหของแสง (Refractive Index) ของวัสดุตัวกลางที่แสงผ่าน

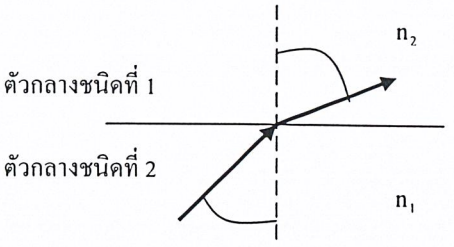
ตามปกติแล้วแก้วที่ใช้ทำเส้นใยนำแสงจะมีค่าดัชนีการหักเห ประมาณ 1.5 ($n_{glass} = 1.5$) หากนำค่าที่กำหนดแทนที่ในสูตร ความเร็วของแสงในแก้วจะเป็น $v_{glass} = 300{,}000 / 1.5 = 200{,}000$ กิโลเมตรต่อวินาที

2.2.3 ลักษณะเฉพาะของแสง

1. แสงเดินทางเป็นเส้นตรง ตามปกติแล้วแสงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียว หรือ มีค่าดัชนีหักเหของแสงเท่ากัน แสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง

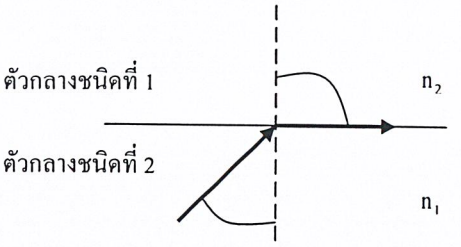
2. การสะท้อนและการหักเหของแสง แสงตกกระทบจะหักเหและ/หรือสะท้อนที่รอยต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



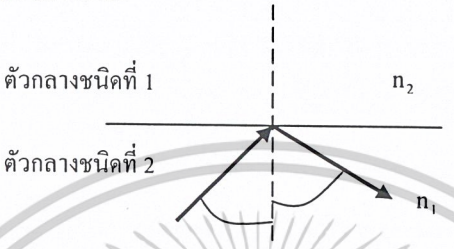
$n_1 > n_2$

(ก) แสงเกิดการหักเห



$n_1 = n_2$

(ข) แสงถูกดูดกลืน



$n_1 < n_2$

(ค) แสงสะท้อนกลับหมด

รูปที่ 2.7 แสดงการสะท้อนและการหักเหของแสง

3. ดัชนีการหักเหของแสง (Refractive Index) ปกติแล้วแสงจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงสุดเมื่อเดินทางผ่านสุญญากาศ คือ ประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที แต่ความเร็วจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางชนิดอื่น เราจึงเห็นได้ว่า แสงจะเกิดการหักเหขึ้นถ้าหากเดินทางผ่านตัวกลาง 2 ชนิด ตามคุณสมบัติของแสง เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ของค่าดัชนีหักเหของแสง, ความเร็วของแสงในตัวกลางและความเร็วของแสงในสุญญากาศได้ดังนี้

$$n = c/v \tag{2.4}$$

เมื่อ n คือ ค่าดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางนั้น

c คือ ความเร็วของแสงในสุญญากาศ (3×10^8 เมตรต่อวินาที)

v คือ ความเร็วของแสงในตัวกลางนั้น

4. กฎของสเนลล์ (Snell's Law)

เมื่อแสงเดินทางมายังรอยต่อระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด แสงจะเกิดการหักเหซึ่งสามารถสังเกตได้ตามรูป แสงจะเดินทางมายังรอยต่อระหว่างน้ำและอากาศ ความเร็วของแสงในอากาศจะประมาณเท่ากับความเร็วของแสงในสุญญากาศ คือ 3×10^8 เมตรต่อวินาที ความเร็วของแสงในน้ำจะช้ากว่ามีค่าประมาณ 2.25×10^8 เมตรต่อวินาที ความแตกต่างของความเร็วนี้เองทำให้เกิดการหักเหทิศทางการเดินทางขึ้นที่รอยต่อ การหักงอนี้เรียกว่าการหักเหของแสง มุมในการหักเหของแสงสามารถคำนวณได้โดยกฎของสเนลล์ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

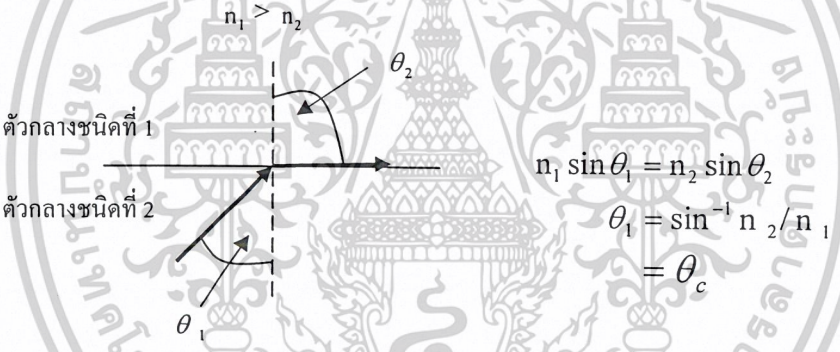
$$n_1 \times \sin\theta_1 = n_2 \times \sin\theta_2 \quad (2.5)$$

เมื่อ n_1 และ n_2 คือ ค่าดัชนีการหักเหของแสงในตัวกลางทั้งสอง

θ_1 และ θ_2 คือ มุมตกกระทบและมุมหักเห

5. มุมวิกฤต (Critical Angle)

จากกฎของสเนลล์ เมื่อแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงน้อยไปสู่ตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงมากกว่า เราจะพบว่าลำแสงนั้นจะเบนเข้าหาเส้นปกติ ในทางกลับกันแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงมากไปสู่ตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงต่ำกว่า ลำแสงนั้นจะเบนออกจากเส้นปกติ ถ้าแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงมากกว่า โดยทำมุม θ_c กับเส้นปกติ แล้วทำให้เกิดการหักเหไปตามรอยต่อของตัวกลางทั้ง 2 ชนิด หรือทำมุม 90° กับเส้นปกติ เราเรียก มุม θ_c นี้ว่า มุมวิกฤต (Critical Angle) หากมุมตกกระทบมีค่ามากกว่ามุมวิกฤติ จะทำให้แสงไม่เกิดการหักเหสู่อีกตัวกลางหนึ่งแต่จะสะท้อนกลับเพียงอย่างเดียว เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การสะท้อนกลับหมด (Total Internal Reflection)



รูปที่ 2.8 แสดงมุมวิกฤต

2.3 อุปกรณ์ทางแสง

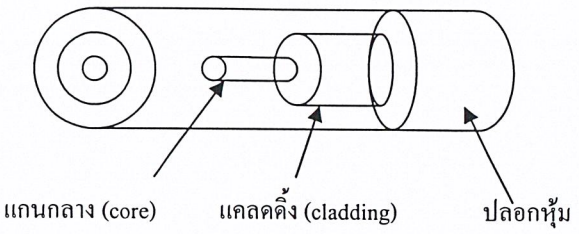
จะกล่าวถึงโครงสร้าง และการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารทางแสง

2.3.1 เส้นใยนำแสง

เส้นใยนำแสง คือเส้นใยขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำแสงโครงสร้างของเส้นใยนำแสงประกอบด้วยส่วนที่แสงเดินทางผ่านเรียกว่า คอร์ (Core) และส่วนที่หุ้มคอร์อยู่ที่เรียกว่า แคลดดิ้ง (Cladding) ทั้งคอร์และแคลดดิ้งเป็นไดอิเล็กตริก (Dielectric) ใส 2 ชนิด โดยการทำให้ค่าดัชนีการหักเหของแคลดดิ้ง มีค่าน้อยกว่าดัชนีการหักเหของคอร์เล็กน้อยประมาณ 0.2 - 3 เปอร์เซ็นต์ และอาศัยปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสงสามารถทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปในคอร์เดินทางไปได้ นอกจากนั้น เส้นใยนำแสงมีขนาดเล็กมากขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของแคลดดิ้งซึ่งมีขนาดประมาณ 0.1 มิลลิเมตร ส่วนคอร์ที่แสงเดินทางผ่านนั้น มีขนาดเล็กลงไปอีกคือประมาณหลายไมโครเมตรจนถึงหลายสิบไมโครเมตร ซึ่งมีค่าหลายเท่าของความยาวคลื่นของแสงที่ใช้งาน ค่าต่างๆเหล่านี้เป็นค่าที่กำหนดขึ้นจากคุณสมบัติการส่งและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางเมคานิกส์ที่ต้องการ เส้นใยนำแสงนอกจากมีคุณสมบัติการส่งที่ดีเยี่ยมแล้ว ยังมีลักษณะเด่นอย่างอื่น เช่น ขนาดเล็ก น้ำหนักเบาอีกด้วย

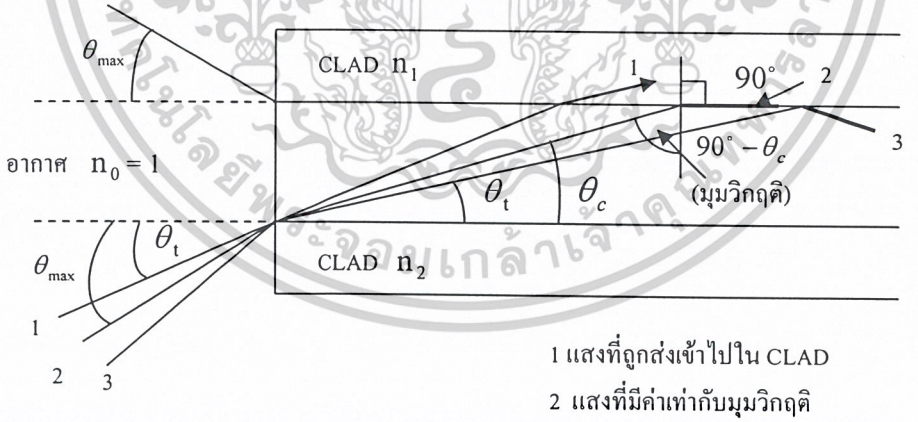


รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างของเส้นใยนำแสง

2.3.1.1 ลักษณะการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง

1. การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสง (Optical Coupling)

เนื่องจากว่าแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้นจะกระจายกว้างออก จากปรากฏการณ์การเบี่ยงเบนของแสง ในการที่จะป้อนแสงเข้าไปในคอร์ที่มีขนาดเล็กมากนั้นจะต้องใช้เลนส์ทำการรวมแสง แต่ทว่าแสงที่รวมนั้นไม่ใช่ว่าจะถูกป้อนเข้าไปในเส้นใยนำแสงได้ทั้งหมด แสงที่มีมุมตกกระทบที่เหมาะสมเท่านั้นจึงจะสามารถเข้าไปในเส้นใยนำแสงได้ รูปที่ 2.10 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยนำแสง จากรูปจะเห็นว่าจุดที่ป้อนแสงของเส้นใยนำแสงนั้นจะเป็นจุดต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงต่างกัน 3 ชนิด



รูปที่ 2.10 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยนำแสง

ตัวกลางทั้ง 3 ชนิดนี้ คือ อากาศ คอร์ของเส้นใยนำแสง และแคลดดิ้งของเส้นใยนำแสง ถ้าให้ค่าดัชนีการหักเหของแสงของตัวกลางทั้ง 3 ชนิดเป็น n_0 ($n_0 = 1$), n_1 และ n_2 ตามลำดับ จะเกิดการหักเห การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของอากาศกับคอร์ และคอร์กับแคลดดิ้ง ตามกฎที่ได้กล่าวไว้ ในที่นี้ให้มุมรับแสงของเส้นใยนำแสงที่มีค่ามากที่สุดเป็น θ_{max} จากรูปที่ 2.10 จะเห็นว่าลำแสง 2 นั้นมุมรับแสงตรงรอยต่อของคอร์กับแคลดดิ้งมีค่าเป็นมุมวิกฤติ ตรงรอยต่อของอากาศกับคอร์กับแคลดดิ้ง นั้นตามกฎของสเนล จะได้ว่า

$$\sin\theta_{max} = n_1 \sin\theta \quad (2.6)$$

$$2\sin(90^\circ - \theta_c) = \cos\theta_c = n_2/n_1 \quad (2.7)$$

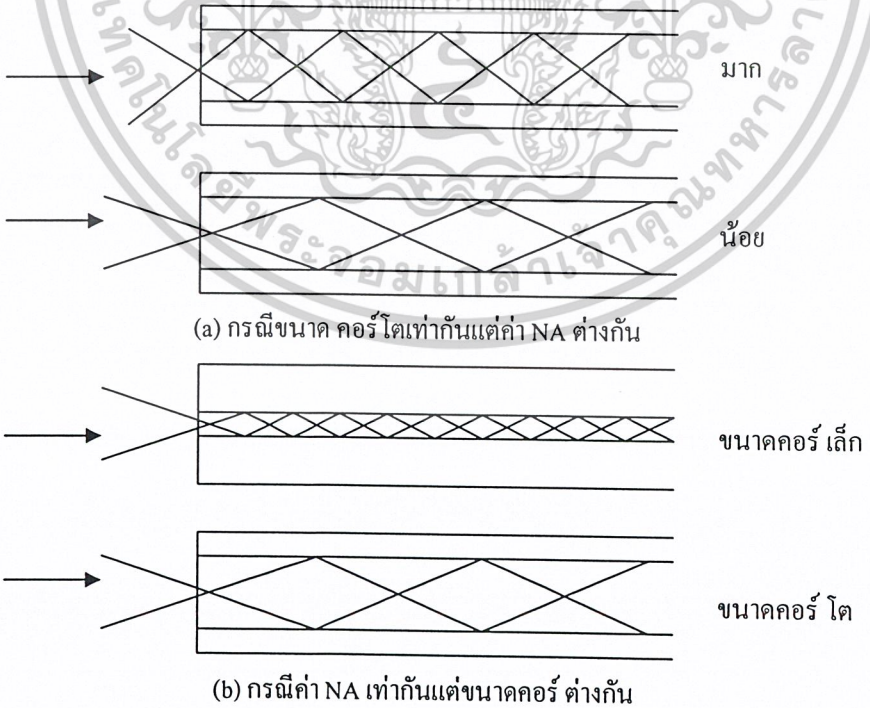
ดังนั้น กรณีที่มุมรับแสง θ_{max} มีค่าสูงสุดได้นั้น $n_1 \approx n_2$ จากสมการ (1) และ (2) จะได้ว่า

$$\sin\theta_{max} = \sqrt{\frac{n1^2 - n2^2}{n1^2}} \approx n_1\sqrt{2\Delta} \quad (2.8)$$

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

Δ เรียกว่า อัตราส่วนของผลต่างของดัชนีการหักเหของแสง

สำหรับ $\sin\theta_{max}$ นี้ ตามศัพท์เทคนิคของวิชาแสง เรียกว่า นิวเมอริคัลอเปอร์เจอร์ (Numerical Aperture) เขียนย่อว่า NA หมายถึง ขนาดของการเปิดรับให้แสงผ่าน และใช้เป็นตัวแสดงเงื่อนไขการป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสง นอกจากนั้นยังถือเป็นตัวประกอบพื้นฐานอันหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยนำแสงด้วย



(a) กรณีขนาด คอร์โตเท่ากันแต่ค่า NA ต่างกัน

(b) กรณีค่า NA เท่ากันแต่ขนาดคอร์ ต่างกัน

รูปที่ 2.11 แสดงขนาดของคอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสง

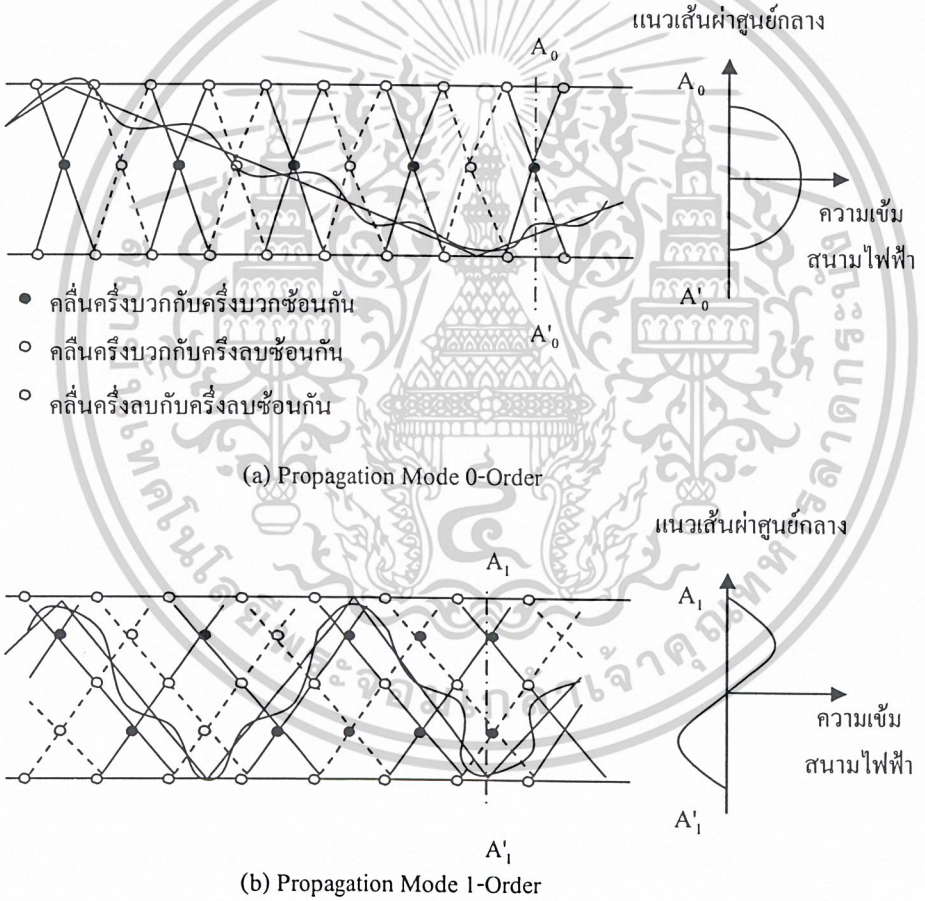
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

จากรูปจะเห็นว่าถ้าขนาดของคอร์ และนิวเมอริคัลอเปอร์เจอร์ มีค่าคงที่แล้วจะกำหนดปริมาณของแสงที่ป้อนเข้าไปในคอร์ได้ทันทีเส้นใยนำแสงที่มีคอร์ขนาดใหญ่ และมีค่านิวเมอริคัลอเปอร์เจอร์มากจะมีประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยนำแสงสูงมาก

2. โหมดการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง (Propagation Mode)

แสงที่ป้อนเข้าไปในเส้นใยนำแสงด้วยค่าของมุมรับแสงที่อยู่ในช่วงของมุมรับแสงสูงสุดนั้นแสงจะเดินทางในเส้นใยนำแสงด้วยลักษณะที่เกิดการสะท้อนกลับไปมาตรงรอยต่อของคอร์กับแคลดดิ้ง โดยที่การสะท้อนกลับไปมาและเคลื่อนที่ไปข้างหน้าพร้อมกันด้วย ซึ่งเกิดการแทรกสอดของคลื่นแสงภายในคอร์ มุมสะท้อนกลับที่รอยต่อจะเกิดขึ้นได้ ถ้าหากจัดเงื่อนไขให้เหมาะสม โดยลักษณะของความเข้มของสนามไฟฟ้าภายในคอร์ของเส้นใยนำแสง ที่เกิดขึ้นจากการแทรกสอดของแสงตกกระทบ และแสงสะท้อนที่มีค่ามุมสะท้อนกลับเป็นพิเศษเฉพาะ แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงโหมดการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง

จากตัวอย่างทั้งสองกรณีในรูปที่ 2.12 จะเห็นได้ว่าเป็นการแสดงการแทรกสอดของแสง ที่มีมุมสะท้อนกลับเป็นพิเศษเฉพาะ ซึ่งทำให้ความเข้มสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง 180 องศาและ 360 องศา ในทิศทางของรัศมี ลักษณะ การเดินทางของแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าเป็นพิเศษเฉพาะภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
61489

คอร์ของเส้นใยนำแสงนี้เรียกว่า โหมดการเดินทางของแสงจำนวนโหมดการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง มีค่าจำกัดตามเงื่อนไขการสะท้อนกลับหมด และนิยมตั้งชื่อโหมดตามลำดับจากโหมดการเดินทางของแสงที่มีค่ามุมการสะท้อนกลับน้อยไปหามากคือ โหมด 0, โหมด 1, โหมด 2,..., โหมด (N-1)

2.3.1.2 ชนิดของเส้นใยนำแสง

วิธีการแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสงมีหลายวิธี กล่าวคือ แบ่งตามชนิดของสารไดอิเล็กตริกที่ใช้ แบ่งตามจำนวน Propagation Mode แบ่งตามลักษณะของดัชนีการหักเหของคอร์

ตารางที่ 2.3 แสดงการแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสง

แบ่งตามชนิดของสารไดอิเล็กตริกที่ใช้	Silica glass optic fiber
	Multi component glass optic fiber
	Plastic optic fiber
แบ่งตามจำนวนโหมดการเดินทางของแสง	Single Mode optic fiber
	Multi Mode optic fiber
แบ่งตามลักษณะของดัชนีการหักเหของคอร์	Step Index optic fiber
	Graded Index optic fiber

1. การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสง ตามชนิดของสารไดอิเล็กตริก ที่ใช้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

1) เส้นใยนำแสงแบบ แก้วซิลิก้า (Silica Glass Optic Fiber) นอกจากจะใช้ ซิลิก้า (Sio_2) ที่บริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่แล้วยังใช้สารอื่นเติมลงไป เพื่อทำให้ดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงไปตามต้องการ สารอื่นที่เติมลงไปนี้ เรียกว่า DOPANT ได้แก่ เจอร์มาเนียม (Germanium, Ge) โบรอน (Boron,B) ฟลูออไรน์ (Fluorine,F) เป็นต้น

2) เส้นใยนำแสงแบบ มัลติคอมโปเนนท์กลาส (Multi Component Glass Optic Fiber) นั้นส่วนมากจะใช้ โซดาแคลเซียม (Soda Calcium) แก้วที่มีโบรอน และซิลิก้าผสม แ ละอื่นๆ เป็นหลัก ส่วน Dopant ได้แก่ โซเดียม (Na) แคลเซียม (Ca)

3) เส้นใยนำแสงแบบ พลาสติก (Plastic optic fiber) นั้นใช้สารพวก ซิลิกอนเรซิน (Silicon Resin) Acryl Resin (เช่น Polymetacry1 Methyl Acid: PMMA)

2. การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสงตามจำนวน Propagation Mode สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) เส้นใยนำแสงแบบซิงเกิลโหมด เส้นใยนำแสงชนิดนี้ แสงสามารถเคลื่อนที่ไปในเส้นใยได้เพียงโหมดเดียว ดังนั้นจึงต้องผลิตเส้นใยนำแสงชนิดนี้ซึ่งเป็นแบบ Step Index ให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์มีขนาดเล็กมากประมาณ 10 มิลลิเมตร และมีค่าดัชนีหักเหของแสงระหว่างคอร์ และแค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดดิ้งแตกต่างกันประมาณ 0.3เปอร์เซ็นต์ เส้นใยนำแสงแบบโหมดเดียว จะเหมาะสำหรับการสื่อสารระหว่างระยะไกลหรือมีระบบที่มีความเร็วในการส่ง (Transmission Speed) สูงๆ เนื่องจากมีการลดทอนของสัญญาณที่ต่ำและยังมีการแพร่กระจายหายไป (Dispersion) น้อยมาก

2) เส้นใยนำแสงแบบมัลติโหมด เส้นใยนำแสงชนิดนี้แสงสามารถเคลื่อนที่ไปในเส้นใยนำแสงได้หลายโหมด เนื่องจากคอร์มีขนาดที่โตกว่า

3. การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสงตามลักษณะดัชนีการหักเห สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหได้แก่

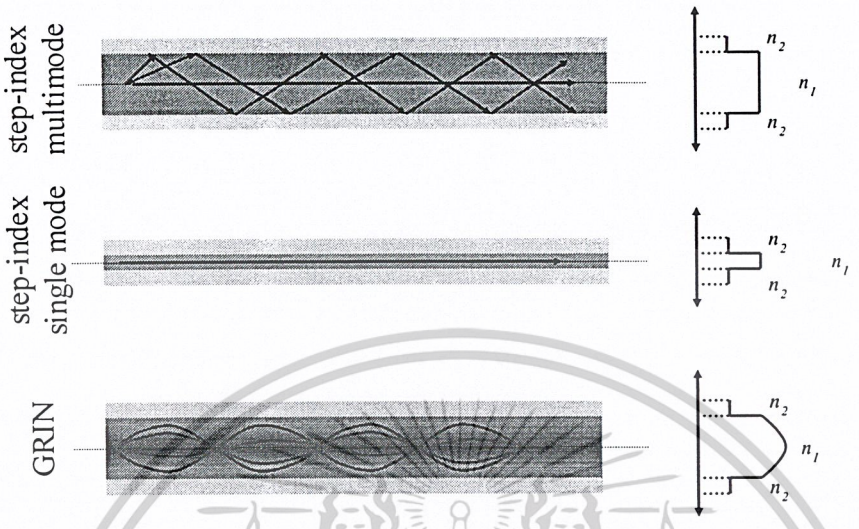
1) Step Index (SI – fiber) เป็นเส้นใยนำแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่างคอร์กับแคลดดิ้งเป็นลักษณะขั้นบันได (Step) โดยที่บริเวณคอร์จะมีค่าดัชนีการหักเหของแสงสูงกว่าแคลดดิ้งเล็กน้อย เส้นใยนำแสงแบบสเต็ปอินเด็กซ์ (Step Index Optic Fiber) เมื่อนำไปใช้งานจะเป็นได้ทั้ง โหมดเดี่ยว (Single Mode) และโหมดร่วม (Multi Mode) โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์ที่แตกต่างกัน หากใช้เป็นแบบโหมดเดี่ยว (จะต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์ประมาณ 10 ไมโครเมตรแต่หากใช้เป็น แบบโหมดร่วม (เส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์อาจจะเป็น 50 ไมโครเมตร) อย่างไรก็ตาม หากใช้เป็นแบบโหมดร่วมปัญหาที่เกิดขึ้น คือแสงมีการเคลื่อนที่หลายทาง แต่ละเส้นทางระยะทางจะไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำให้สัญญาณไปถึงปลายทางไม่พร้อมกันทำให้เกิด การผิดเพี้ยน (Distortion) ของสัญญาณ ดังนั้น เกรดเด็ดอินเด็กซ์(Graded Index) จึงเกิดขึ้น เพื่อลดปัญหาดังกล่าว ดังจะได้กล่าวต่อไป

2) Graded Index (GI – fiber) เป็นเส้นใยนำแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่างคอร์กับแคลดดิ้งค่อยๆลดลงทีละน้อยต่างจากสเต็ปอินเด็กซ์จึงเรียกว่าเส้นใยนำแสงแบบเกรดเด็ดอินเด็กซ์ เส้นใยนำแสงชนิดนี้ ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาการบิดเบือนจากโครงสร้าง (Model Distortion) โดยทำให้ค่าดัชนีหักเหของแสงตรงบริเวณคอร์สูงกว่าแคลดดิ้งเล็กน้อย ค่าดัชนีหักเหของแสงจะลดลงทีละน้อยภายในคอร์และมีการสะท้อนบริเวณแคลดดิ้งการหักเหและการสะท้อนดังกล่าวอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของแสงทีละน้อยนั้น จึงทำให้ดูเหมือนว่าแสงเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง เส้นใยนำแสงชนิดนี้ใช้เป็นโหมดร่วมเท่านั้น การเคลื่อนที่ของแสงแต่ละเส้นทางจะใช้ระยะเวลาพอๆกัน ถึงแม้ว่าระยะทางจะแตกต่างกันก็เนื่องจากแสงที่เดินทางสั้นที่สุดผ่านแกนกลางของคอร์จะเคลื่อนที่ช้าที่สุด และทำนองกลับกันแสงที่เดินทางไกลที่สุดซึ่งมีการสะท้อนบริเวณแคลดดิ้งจะเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากค่าดัชนีการหักเหของแสงทำให้แสงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างๆกัน ปัญหาเกี่ยวกับการบิดเบือนจากโครงสร้างจึงลดลง

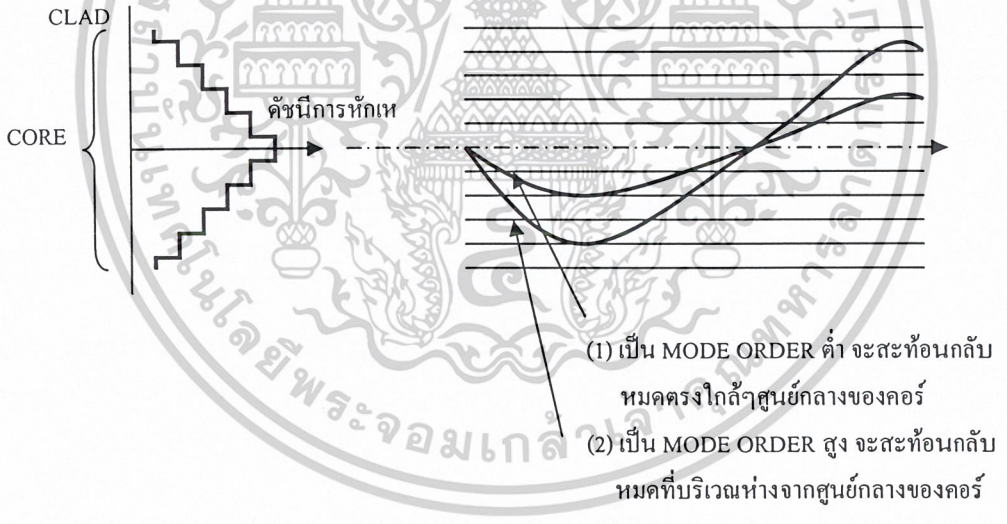
เส้นใยนำแสงแบบซิงเกิลโหมดนั้น จัดอยู่ในพวกของเส้นใยนำแสงแบบสเต็ปอินเด็กซ์เหมือนกัน แต่ทว่าเนื่องจากจุดประสงค์ต้องการให้เป็นแบบซิงเกิลจึงทำให้อัตราส่วนผลต่างของดัชนีการหักเห ของคอร์ และ แคลดดิ้งมีค่าน้อยมาก จึงแบ่งชนิดแยกออกไปต่างหาก ดังนั้น ในกรณีที่เรียกว่าเส้นใยนำแสงแบบสเต็ปอินเด็กซ์นั้น โดยทั่วไปจะหมายถึง เส้นใยนำแสงแบบมัลติโหมด ที่มีผลต่างของดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงเป็นขั้นบันได ลักษณะการเดินทางของแสงภายในคอร์ของเส้นใยนำแสงแต่ละชนิดแสดงดังรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยนำแสงแบบเกรดเด็ดอินเด็กซ์ เป็นเส้นใยนำแสงที่จัดทำเป็นพิเศษเพื่อการส่งมัลติโหมด รูปที่ 2.14 แสดงถึงโหมดการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสงแบบเกรดเด็ดอินเด็กซ์



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงในคอร์ของเส้นใยนำแสงแต่ละชนิด



รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสงแบบเกรดเด็ดอินเด็กซ์

จากรูปที่ 2.14 จะเห็นว่าค่าดัชนีการหักเหของเส้นใยแสงแบบเกรดเด็ดอินเด็กซ์ นี้จะค่อยๆ ลดลงทีละน้อยในแนวรัศมีของเส้นใยแสง ดังนั้นลำแสงที่มีโหมดต่ำและเดินทางในระยะสั้นนั้นจะสะท้อนกลับก่อนที่จะเดินทางไปถึงรอยต่อของคอร์และแคลดดิ้ง ซึ่งกล่าวได้ว่าส่วนใหญ่จะผ่านส่วนที่มีค่าดัชนีการหักเหสูงของคอร์ ส่วนลำแสงที่มีโหมดสูงและเดินทางในระยะทางไกลนั้น ส่วนใหญ่จะผ่านส่วนที่มีดัชนีต่ำของคอร์ ซึ่งความเร็วในการเดินทางของแสงนั้นจะเป็นสัดส่วนกลับค่าดัชนีการหักเห ดังนั้นสำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเดินทางของแสงในโหมด (1) และ (2) นั้น โดยการเลือกลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเห (เรียกว่า Profile) ให้เหมาะสมแล้วเราจะทำให้เวลาที่ใช้ในการเดินทางอันหนึ่งของการเดินทางของแสงในโหม (1) และ (2) มีค่าเท่ากันด้วยจุดประสงค์อันนี้ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหที่เหมาะสมที่สุดเพื่อทำให้ผลต่างของเวลาการเดินทางระหว่างการเดินทางของแสงในโหมดต่างๆ มีค่าน้อยที่สุดได้นั้น กล่าวกันว่าจะต้องมีรูปร่างลักษณะเป็นพาราโบล่า(Parabola) ดังนั้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหของแสงในเส้นใยนำแสงแบบเกรดเด็ดอินเด็กซ์ จึงต้องทำให้มีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 2.14

2.3.1.3 การสูญเสียสัญญาณในเส้นใยนำแสง

เมื่อมีการป้อนข้อมูลที่เป็นสัญญาณแสงให้กับเส้นใยแสง ในช่วงระยะทางหนึ่งสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ย่อมมีการสูญเสีย หรือผิดเพี้ยนไปบ้าง เช่นเดียวกับการส่งข้อมูลด้วยสายเคเบิลลักษณะการสูญเสียในเส้นใยนำแสง แบ่งออกได้ดังนี้

1. การสูญเสียเนื่องจากวัสดุตัวกลาง เป็นผลมาจากการดูดซับพลังงานภายในเนื้อสารที่ใช้ทำเส้นใยนำแสง ในขณะที่แสงเดินทางและชนกับโมเลกุลของมัน หากการดูดซับพลังงานในเนื้อสารมีมากจะก่อให้เกิดการสูญเสียสัญญาณขึ้นด้วยทั้งนี้ขึ้นกับโครงสร้างทางโมเลกุล และความบริสุทธิ์ของเนื้อสารที่ใช้ทำเส้นใยนำแสง

2. การสูญเสียจากการกระจายแสง เมื่อแสงเดินทางในเส้นใยนำแสงจะเกิดการกระจายของแสงอันเนื่องมาจากการชนกับโมเลกุลของเนื้อสารทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณไป โดยอัตราการสูญเสียขึ้นอยู่กับโครงสร้างที่ไม่สมบูรณ์ของเนื้อสาร อีกทั้งขึ้นกับความยาวคลื่นของแสงที่เดินทางในเส้นใยนำแสงด้วย

3. การสูญเสียจากท่อนำสัญญาณ เป็นการสูญเสียอันเนื่องมาจากการจัดวางของเส้นใยนำแสงที่ทำหน้าที่เป็นท่อนำสัญญาณในลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรง ทำให้มุมของการตกกระทบของแสงที่ผนังระหว่างคอร์กับแคลดดิ้งเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นสัญญาณเอาท์พุตในการสื่อสารชนิดโหมดร่วมจึงเกิดการผิดเพี้ยนได้ง่าย โดยมีขนาดความกว้างของสัญญาณมากขึ้นกว่าเดิม

การคิดค่ากำลังการสูญเสียในเส้นใยแสง มักกระทำในเทอมของเดซิเบลโดยการคำนวณจากสูตร

$$L\,(dB) = 10\,\mathrm{Log}\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) \qquad (2.9)$$

เมื่อ P_{out} คือ ค่าพลังงานเอาท์พุท

P_{in} คือ ค่าพลังงานอินพุทที่ป้อนให้กับเส้นใยนำแสง

2.3.1.4 การขยายกว้างออกของโหมด (Mode Dispersion) และแบนด์วิดท์ของเส้นใยนำแสง

1. การขยายกว้างออกของโหมด สำหรับเส้นใยแสงแบบมัลติโหมดนั้น ความเร็วในการเดินทางของแต่ละโหมดภายในเส้นใยนำแสงจะต่างกันเมื่อป้อนพัลส์ (Pulse) ที่ถูกผสมแบบพัลส์มอดูเลต (Pulse Modulate) เข้าไปในเส้นใยนำแสงแบบมัลติโหมด พัลส์ของแสงที่ปล่อยออกมาจากปลายอีกข้างหนึ่งของเส้นใยนำแสง เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับพัลส์ของแสงทางด้านที่ป้อนเข้าไปจะเห็นว่าขยายออกกว้างกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่เกิดอย่างนี้นั้นแม้ว่าความยาวคลื่นของต้นกำเนิดแสงจะเหมือนกันก็ตาม แต่ทว่าพัลส์ของแสงที่ป้อนเข้าไปนั้นจะแบ่งออกเป็นโหมดต่างๆ ที่มีความเร็วในการเดินทางต่างกัน ดังนั้นในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงจึงเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การขยายกว้างออกของโหมด ทำให้ไม่สามารถทำให้ระยะห่างระหว่างพัลส์เล็กลงมากๆได้

ดังนั้น จะเห็นได้ว่า เส้นใยนำแสงแบบมัลติโหมด นั้นส่วนใหญ่การขยายกว้างออกของโหมดจะเป็นตัวกำหนดแบนด์วิดท์ แม้ว่าจะพยายามทำให้การขยายกว้างออกของโหมดนี้น้อยลงโดยการทำให้ค่าดัชนีการหักเหของคอร์เป็นลักษณะ พาราโบล่าซึ่งเรียกว่า เส้นใยนำแสงแบบเกรดเด็ดอินเด็กซ์ แล้วก็ตาม แต่เนื่องจากมีขีดจำกัดในความแน่นอนของรูปร่างของค่าดัชนีการหักเห ด้วยเหตุนี้ในระบบการส่งข่าวสารจำนวนมาก ที่ต้องการคุณสมบัติแบนด์วิดท์ที่กว้างนั้นก็ใช้เส้นใยนำแสงแบบซิงเกิลโหมดที่ไม่มีการขยายกว้างออกของโหมด โดยมีการทำให้โหมดเดียว

2. การขยายกว้างออกของความยาวคลื่น (Wave Length Dispersion) ในตัวกลางที่มีเนื้อเดียวกัน แต่ถ้าหากความยาวคลื่นต่างกันแล้ว ค่าดัชนีการหักเหจะต่างกัน เป็นผลให้ความเร็วในการเดินทางต่างกันตามค่าความยาวคลื่น ปรากฏการณ์ที่เห็นได้เกี่ยวกับค่าดัชนีการหักเหที่ขึ้นอยู่กับความยาวของแสง คือ การกระจายแสงออกเป็นสีต่างๆ ของปริซึมการเกิดรุ้งกินน้ำที่มีสี 7 สีเกิดขึ้นในตอนหลังจากฝนตกเป็นต้น

แสงที่ใช้ในการสื่อสารใยแสงนั้น ความจริงแล้วไม่ใช่แสงที่มีความยาวคลื่นที่ต่างกัน (ความยาวคลื่นยิ่งมีค่ามากเท่าใดค่าดัชนีการหักเหจะน้อยลงเท่านั้น และจะเป็นผลให้ความเร็วในการเดินทางเพิ่มขึ้น) การขยายกว้างออกของความยาวคลื่นนี้เป็นสาเหตุให้แบนด์วิดท์ถูกจำกัดค่าความกว้างเช่นเดียวกันกับกรณีของการขยายกว้างออกของโหมดดังที่กล่าวมาแล้วและสาเหตุนี้เรียกว่า การขยายกว้างออกเนื่องจากเนื้อสาร (Material Dispersion)

นอกจากนั้นกรณีที่ค่าต่างของดัชนีการหักเหของคอร์กับแคลดดิ้งมีค่าน้อยนั้น ปรากฏการณ์การสะท้อนกับหมดของแสงที่รอยต่อของคอร์กับแคลดดิ้งจะไม่เหมือนกับที่เกิดในกระจกเงา กล่าวคือ ส่วนหนึ่งของแสงจะทะลุผ่านเข้าไปในแคลดดิ้งก่อนแล้วจึงสะท้อนกลับหมด และขนาดการทะลุเข้าไปนี้จะแตกต่างกันตามความยาวคลื่น เป็นผลให้ระยะทางการเดินทางของแสงนี้ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น โดยความยาวคลื่นยิ่งมีค่ามากเท่าใดขนาดการทะลุเข้าไปในแคลดดิ้งจะมากขึ้นเท่านั้นและจะทำให้เส้นทางการเดินทางยาวมากขึ้น การขยายกว้างออกของระยะทางการเดินทางของแสงนี้จะเรียกว่า การขายกว้างออกเนื่องจากโครงสร้าง (Structure Dispersion) ในการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงนั้น การเกิดการขยายกว้างออกเนื่องจากเนื้อสาร และ การขายกว้างออกเนื่องจากโครงสร้าง รวมเรียกว่า การขยายกว้างออกทางความยาวคลื่น

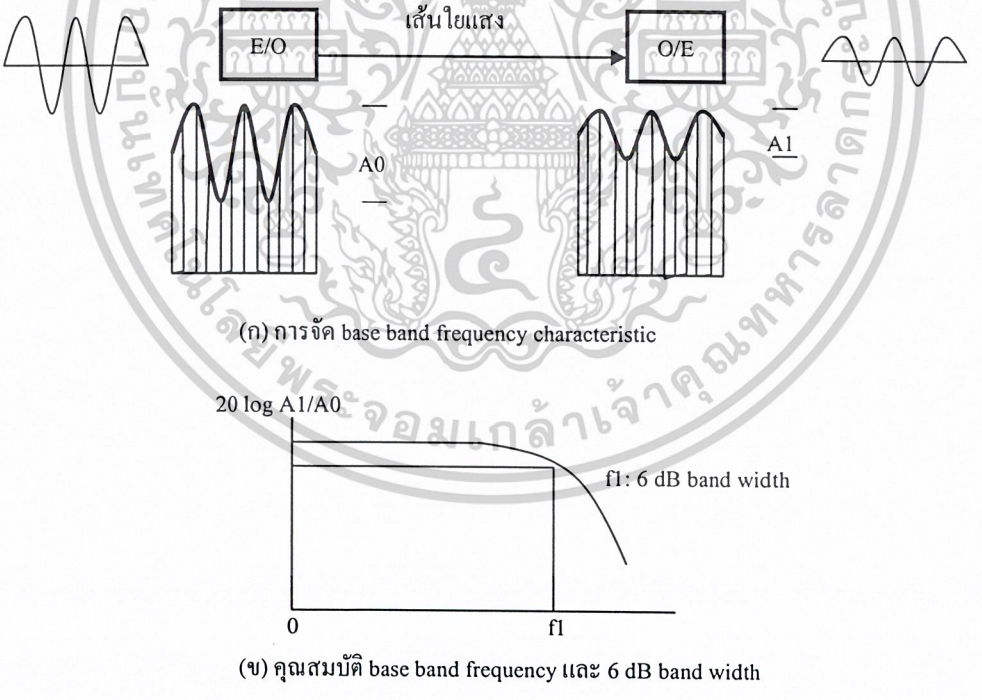
3. ขนาดความกว้างแบนด์วิดท์ของการส่ง (Transmission Band Width) ปัจจุบัน ความกว้างแบนด์วิดท์ของการส่งที่ใช้ในการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงนั้น เป็นตัวบอกให้ทราบว่า จะสามารถส่งสัญญาณแสงที่ผสมกับสัญญาณของข่าวสารด้วยความถี่สูงมากแค่ไหน ปกติจะแสดงขนาดความกว้างตรงจุดที่คุณสมบัติความถี่เบสแบนด์ (Baseband Frequency Characteristic) ของเส้นใยนำแสงตกลง 6 เดซิเบล

สมมุติว่าเราทำการป้อนอิมพัลส์ (Impulse) ซึ่งเป็นรูปคลื่น (Wave form) ที่สมบูรณ์แบบกล่าวคือ ตรงฐานของรูปคลื่นไม่ขยายกว้างออก เมื่ออิมพัลส์นี้เดินทางไปในเส้นใยนำแสงได้ระยะทางค่าหนึ่ง ตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดปลายทางของเส้นใยนำแสงนั้นอิมพัลส์ ที่เดินทางมาจะขยายกว้างออก เนื่องจากคุณสมบัติการขยายกว้างออกของแสงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แม้ว่าในระหว่างทางที่แสงเดินทางมาจะไม่มีแสงกระจายออกจากคอร์เลยก็ตาม แต่ทว่าการที่อิมพัลส์ลดลงอย่างแน่นอน จากการตรวจดูรูปคลื่นอิมพัลส์ตรงจุดปลายทางของเส้นใยนำแสง เรียกว่า Impulse Response Wave Form นี้สามารถใช้เป็นขั้นตอนของการประเมินค่าคุณสมบัติการขยายกว้างออกของเส้นใยนำแสงได้โปรดสังเกตว่าการใช้หลักการเช่นนี้ในย่านของความถี่จึงเรียกว่า คุณสมบัติความถี่เบสแบนด์ (Baseband Frequency Characteristic)

คำว่าคุณสมบัติความถี่เบสแบนด์นั้นหมายถึง คุณสมบัติความถี่ของอัตราส่วนของขนาดของสัญญาณไฟฟ้าซึ่งเป็นคลื่นไซน์ ที่นำมาผสมทางด้านอินพุทกับสัญญาณไฟฟ้าที่แยกออกมาจากการผสม (Demodulation) ทางด้านเอาท์พุทในสายส่งที่เป็นเส้นใยดังแสดงในรูปที่ 2.15 (ก) สำหรับเส้นใยนำแสงที่เป็นมัลติโหมดเนื่องจากผลของการขยายกว้างออกของโหมด ดังที่ได้กล่าวมาแล้วจะทำให้ได้ว่าเมื่อความถี่ที่นำมาผสมทางด้าน อินพุทสูงขึ้นขนาดของสัญญาณที่แยกออกมาจากการผสมทางด้านเอาท์พุทลดลง ดังแสดงด้วยกราฟในรูปที่ 2.15 (ข) นอกจากนั้นยังขึ้นกับระยะทางด้วย ขนาดความกว้างแบนด์วิดท์ที่ 6 เดซิเบลนั้น เรียกว่าเป็นช่วงความถี่ที่ขนาดของสัญญาณไฟฟ้าที่แยกออกมาจากการผสม ภายหลังจากแสงเดินทางได้ 1 กิโลเมตรแล้วปรากฏว่าขนาดของมันลดลงเป็น 1/2 (ปริมาณการสูญเสียกำลังของแสงเป็น 3 เดซิเบล) เมื่อเทียบกับขนาดของสัญญาณไฟฟ้าที่นำมาผสมทางด้าน อินพุท



รูปที่ 2.15 แสดงขนาดความกว้างแบนด์วิดท์ของการส่งของเส้นใยนำแสง

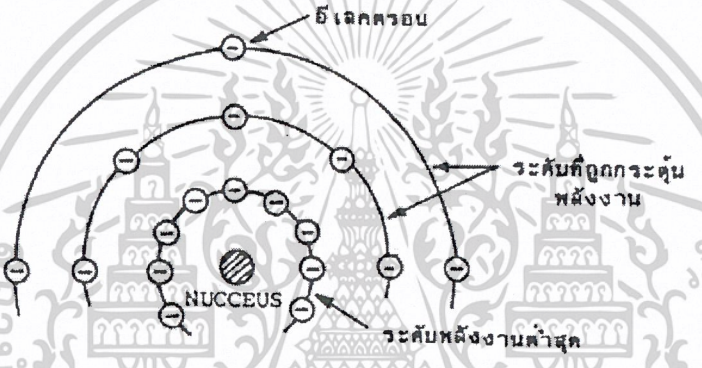
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)

เส้นใยนำแสงถ้าหากเปรียบเทียบกับอวัยวะในร่างกายของคนแล้ว สามารถกล่าวได้ว่ามันทำหน้าที่เป็นเหมือนเส้นโลหิต และแสงที่เดินทางในเส้นใยนำแสงเปรียบเทียบเสมือนโลหิตที่ไหลในเส้นโลหิตนั่นเอง ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นเหมือนหัวใจซึ่งผลิตแสง (โลหิต) ออกมาได้แก่อุปกรณ์กำเนิดแสง (ตัวเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสง) ซึ่งจะได้กล่าวถึงโครงสร้าง และการทำงานในการเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสง และการเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้าพร้อมทั้งกล่าวถึงอุปกรณ์แสงที่สำคัญต่อไป

2.3.2.1 โครงสร้างของการกำเนิดแสง

โดยทั่วไปแล้วอะตอม (Atom) ที่ประกอบอยู่ในสารต่างๆ (ก๊าซ, ของเหลว, ของแข็ง) จะมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.16 นั่นคือมีส่วนที่เรียกว่า นิวเคลียส (Nucleus) อยู่ตรงกลางและรอบๆ นิวเคลียส จะมีอิเล็กตรอน (Electron) จำนวนหนึ่งหมุนอยู่รอบนิวเคลียส โดยมีระยะห่างที่แน่นอน

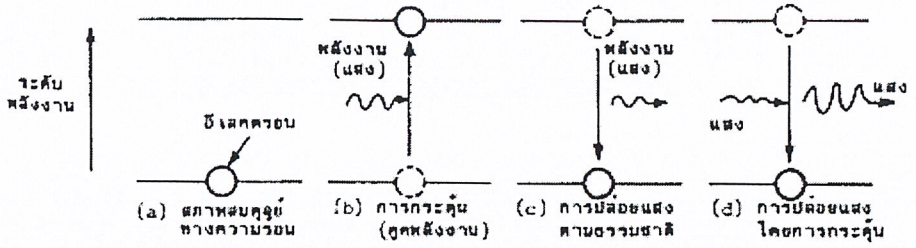


รูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างและระดับพลังงานของอะตอม

อิเล็กตรอนเหล่านี้จะมีพลังงานที่เป็นสัดส่วนกับระยะทางจาก นิวเคลียส (พลังงานนี้เรียกว่าระดับพลังงานหรือ Energy Level) ระดับพลังงานที่ต่ำที่สุดเรียกว่า Ground State Level และระดับพลังงานที่สูงกว่านี้เรียกว่า Stimulated Level จำนวนอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในระดับพลังงานนั้นจะมีจำนวนแน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดของสาร แต่โดยทั่วไปแล้วอิเล็กตรอนจะออกันอยู่ที่ระดับพลังงานต่ำ อันเป็นคุณสมบัติโดยธรรมชาติของอิเล็กตรอน

สมมุติว่ามีอิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงาน 1 (ระดับพลังงานต่ำ) และไม่มีอิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงาน 2 (ระดับพลังงานสูง) เลย ดังรูป 2.17(a) ในสภาพนี้ถ้าหากให้พลังงานที่มีค่าเท่ากันกับผลต่างของระดับพลังงานทั้งสอง (นั้นคือถ้า E1 เป็นพลังงานของระดับพลังงาน 1 และ E2 เป็นพลังงานของระดับพลังงาน 2 จะได้ผลต่างเป็น E2 - E1) แล้วอิเล็กตรอนจะดูดเอาพลังงานนี้และจะเลื่อนจากระดับพลังงานต่ำ E1 ขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูง E2 ดังรูป 2.17(b) การให้พลังงานจากภายนอกแก่อิเล็กตรอนเพื่อทำให้มันเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูงนี้เรียกว่า การกระตุ้น (Stimulation) และการที่อิเล็กตรอนเลื่อนไปยังระดับพลังงานอื่นนั้นเรียกว่า การถ่ายเท (Transfer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงระดับพลังงานและขั้นตอนของการถ่ายเท

และเมื่อปล่อยอิเล็กตรอนที่อยู่ในสภาพเลื่อนขึ้น ไปอยู่ในระดับพลังงานสูง E2 ไว้อย่างนั้นมันจะถูก นิวเคลียส ดึงกลับลงมาอยู่ในสภาพเดิมซึ่งเรียกว่า Stable State ดังรูปที่ 2.17(a) อีก ในการที่อิเล็กตรอนกลับลงมาอยู่สภาพเดิม นั่นคือลงมาสู่ระดับพลังงานต่ำ E1 นั้นจะเหมือนกันกับกระแสน้ำที่ไหลจากที่สูงลงมาสู่ที่ต่ำ อิเล็กตรอนจะปล่อยพลังงาน (Emission) เท่ากับ E2 - E1 ออกมาดังรูป 2.17(c) ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่าการปล่อยพลังงานออกมาตามธรรมชาติ (Natural Emission) กรณีที่ปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงจะเรียกว่า Natural Light Emission อุปกรณ์กำเนิดแสงที่ใช้การปล่อยแสงธรรมชาตินี้ได้แก่ หลอดนีออนและไดโอดกำเนิดแสง (Light Emitting Diode , LED) จากทฤษฎีของ Quantum Dynamics ความยาวคลื่นแสงที่ได้จากการปล่อยแสงออกมานี้หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\lambda = \frac{c \times h}{E_2 - E_1} \qquad (2.10)$$

โดย λ : ความยาวคลื่นแสง (เมตร)

c : ความเร็วของแสง (= 3×10^8 เมตรต่อวินาที)

h : ค่าคงที่ของพลังค์ มีค่า = 6.625×10^{-34} Joule.sec

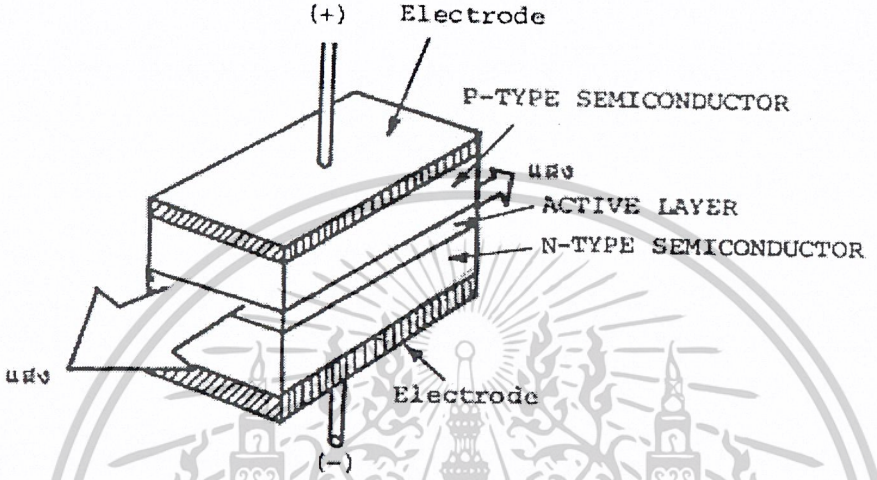
นั้นคือความยาวคลื่นแสงจะเป็นสัดส่วนกลับกับผลต่างของพลังงาน และผลต่างของพลังงานนี้กำหนดจากชนิดของอะตอมที่ประกอบเป็นอุปกรณ์กำเนิดแสงด้วย ดังนั้นความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาจึงมีค่าจำเพาะ

สมมุติว่าถ้าป้อนแสงที่มีพลังงานเท่ากับ E2 - E1 ที่ใช้ในการกระตุ้นอิเล็กตรอนให้ไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงดังรูป 2.17(b) อิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงาน E2 ซึ่งพยายามที่จะกลับลงมาสู่ระดับพลังงานต่ำ E1 อยู่แล้วนั้นก็จะดูดพลังงานของแสงที่ป้อนให้ไว้นี้ และกลับลงมาสู่ระดับพลังงานต่ำ E1 ในลักษณะถูกบังคับให้ลงมาเร็วกว่ากำหนดดังแสดงในรูป 2.17(d) ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่าการกระตุ้นให้ปล่อยแสง (Stimulated Emission) และพลังงานแสงที่เกิดขึ้นในกรณีนี้จะมีค่ามากกว่ากรณีของการปล่อยพลังงานออกมาตามธรรมชาติ และแสงที่ได้เรียกว่า Stimulated Emission Light อุปกรณ์กำ าเนิดแสงที่ใช้หลักการของการกระตุ้นให้ปล่อยแสง นี้ได้แก่ เลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอด (Laser Diode, LD)

โดยทั่วไปแล้วเลเซอร์ไดโอดจะมีโครงสร้างเป็น 3 ชั้นดังแสดงในรูปที่ 2.18 ในการทำให้เกิดเลเซอร์ออสซิเลชัน (Laser Oscillation) นั่นคือส่วนที่ทำหน้าที่เป็น Resonator ซึ่งเรียกว่า ชั้นแอกทีฟ (Active Layer) ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ระหว่าง สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P - type Semiconductor) กับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N - type Semiconductor)



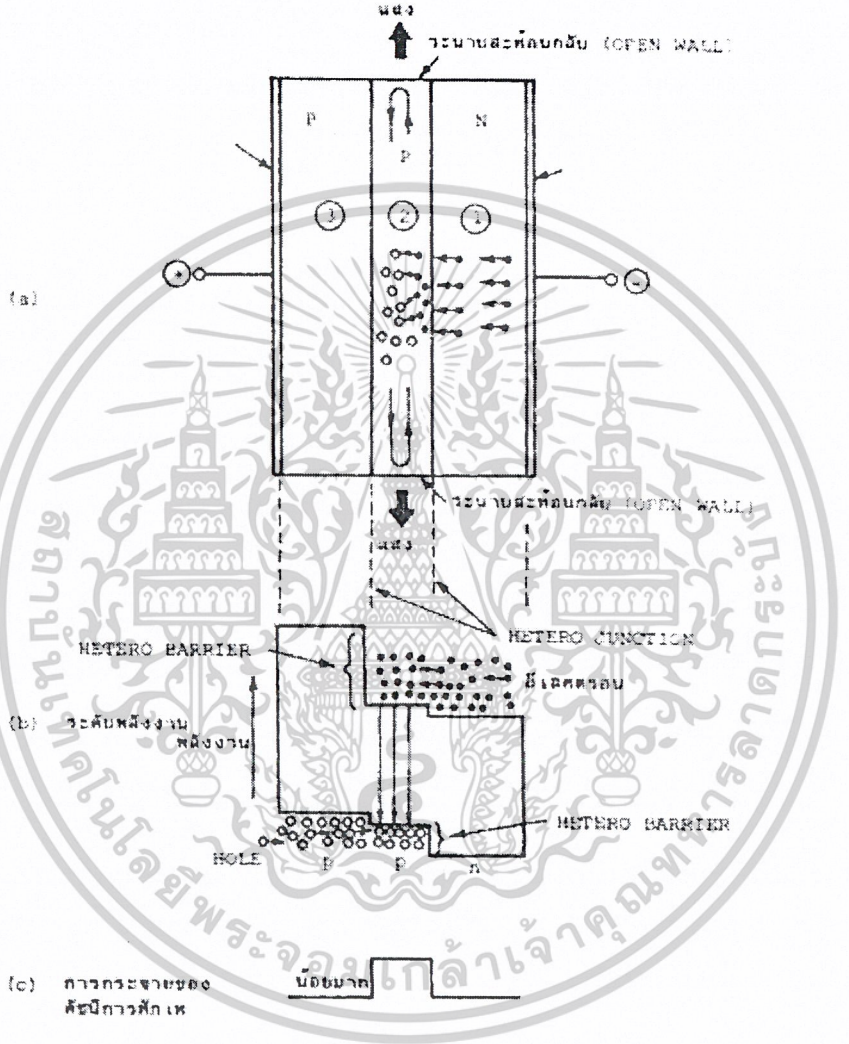
รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างทั่วไปของเลเซอร์ไดโอด

จากรูปที่ 2.18 ถ้าหากทำให้กระแสไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ(ทำการฉีดกระแส Current Injection) จะเกิดแสงเลเซอร์ ออกมาในทิศทางที่แสดงด้วยลูกศร เกี่ยวกับวิธีการเกิด ออสซิเลชันของเลเซอร์ไดโอดนั้นอธิบายได้โดยเน้นตรงบริเวณชั้นทั้ง 3 ของ สารชนิดพี สารชนิดเอ็น และ ชั้นแอกทีฟนี้ สำหรับโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำอย่างนี้เรียกว่า ดับเบิลเฮเทอร์โรจังชัน (Double Hetero Junction) คำว่า ดับเบิลเฮเทอร์โรจังชัน นั้นหมายความว่า ชั้นของรอยต่อของสารที่มีส่วนประกอบต่างกันนั้นมี 2 ด้าน โครงสร้าง ระดับพลังงานและลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของเลเซอร์ไดโอด แสดงดังรูปที่ 2.19

ในการทำให้เกิด เลเซอร์ออสซิเลชัน นั้นจะต้องทำให้ผลต่างระหว่างระดับพลังงาน ของแถบนำ (Conduction Band) ของ สารกึ่งตัวนำชนิดพี และ แถบนำของชั้นแอกทีฟ มีค่ามากพร้อมทั้งทำให้ผลต่างระหว่างพลังงานของ แถบนำกับ แถบวาเลนซ์ (Valence Band) ของ สารกึ่งตัวนำชนิดพี มีค่ามากด้วย นอกจากนั้นยังจะต้องทำให้ระดับพลังงานของ แถบวาเลนซ์ ของ สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นมีค่าต่ำกว่าระดับพลังงานของ แถบวาเลนซ์ ของ ชั้นแอกทีฟ ด้วย จากนั้นจึงนำมาเชื่อมต่อกันจะได้ระดับพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.19(b) เมื่อทำให้มีกระแสไหลใน สารกึ่งตัวนำ ที่มีการเชื่อมต่อกันในลักษณะที่กล่าวข้างต้น โดยให้มีทิศทางไหลจาก สารชนิดพี ไปหา สารชนิดเอ็น จะเป็นผลให้อิเล็กตรอนส่วนเกินที่มีอยู่ใน สารชนิดเอ็น (แสดงด้วย (1) ในรูป) ดังแสดงในรูปที่ 2.19(a) เคลื่อนที่ไปยัง สารชนิดพีและ โฮล (Hole) ส่วนที่เกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีอยู่ใน สารชนิดพี(แสดงด้วย (3) ในรูปที่ 2.19) เคลื่อนที่ไปยัง สารชนิดเอ็น ผลของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและ โฮล เหล่านี้ทำให้เกิดมีอิเล็กตรอนและ โฮล อยู่ภายในชั้นแอกทีฟ (แสดงด้วย (2) ในรูปที่ 2.19 และโดยทั่วไปชั้นแอกทีฟนี้จะใช้สารสารชนิดพี) เมื่อมาถึงจุดนี้ให้สังเกตดูระดับพลังงานทั้ง 3 ที่แสดงในรูปที่ 2.19(b) จะเห็นว่าเกิดมีกำแพงของพลังงาน (เรียกว่า Hetero Barrier) ขึ้น ทำให้เกิดอิเล็กตรอนและ โฮล ที่เคลื่อนที่ไปนั้นถูกขังอยู่ในชั้นแอกทีฟเป็นผลให้เกิดสภาพ อินเวอร์ชัน ดีสทรีบิวชัน (Inversion Distribution) ได้อย่างดี



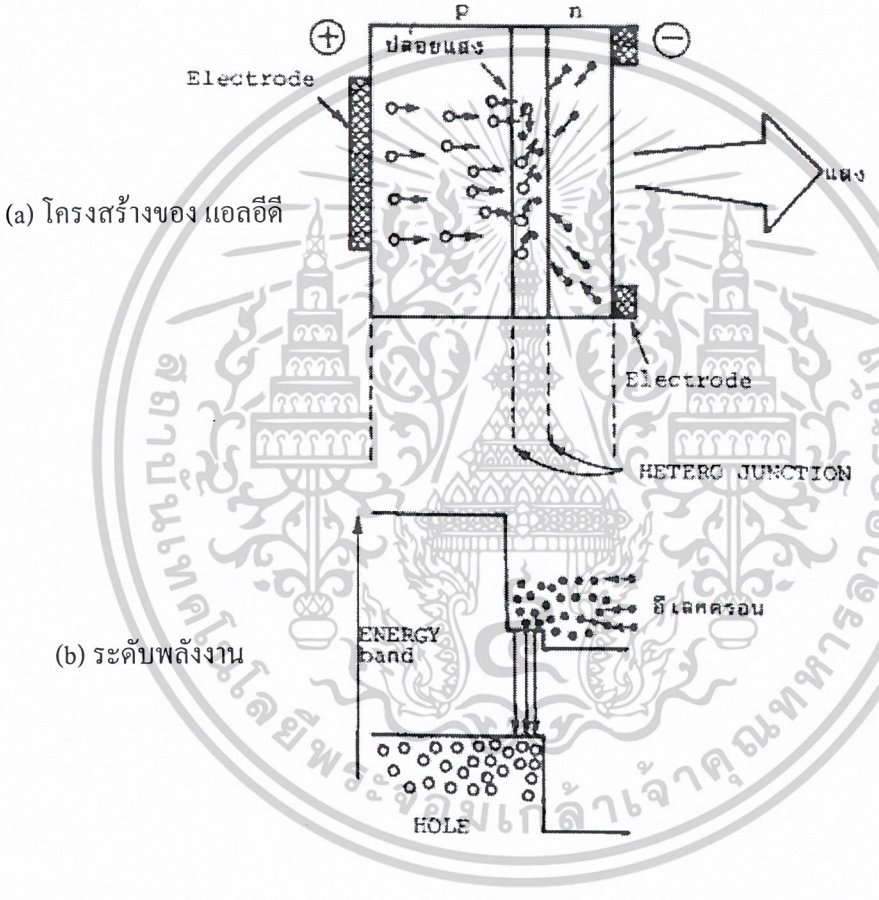
รูปที่ 2.19 แสดงโครงสร้างระดับพลังงานและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเลเซอร์ไดโอด

อนึ่ง โดยการทำให้ดัชนีการหักเหของชั้นแอกทีฟมีค่ามากกว่าระดับชั้นข้างเคียง ดังแสดงในรูปที่ 2.19(c) จะมีสภาพเหมือนกันกับเส้นใยนำแสง แสงที่ปล่อยออกมาจะถูกกักและเดินทางอยู่ในชั้นแอกทีฟจากผลการกักอิเล็กตรอนและโฮล เอาไว้ในชั้นแอกทีฟและผลของการกักแสงไว้ในชั้นแอกทีฟทำให้ได้การปล่อยแสงที่มีประสิทธิภาพได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.3 โครงสร้างของแอลอีดี (Light Emitting Diode, LED)

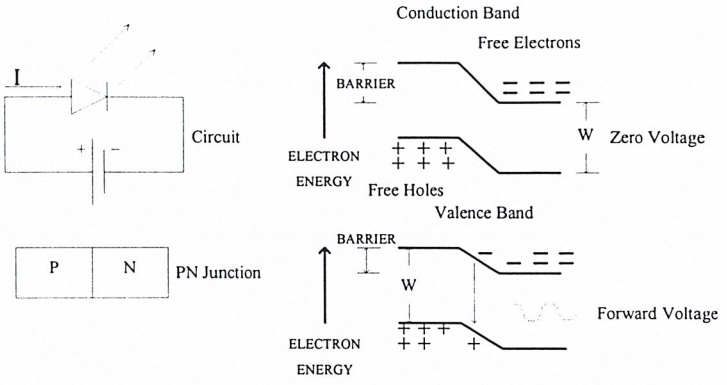
โครงสร้างพื้นฐานของ แอลอีดี เหมือนกันกับของ เลเซอร์ไดโอด กล่าวคือเป็น ดับเบิลเฮเทอร์โรจังชัน อิเล็กตรอนที่ไหลผ่าน รอยต่อพีเอ็น จะไปรวมกับ โฮล ภายในชั้นแอกทีฟเช่นเดียวกันกับกรณีของเลเซอร์ไดโอด ดังแสดงในรูปที่ 2.20(a) และจะเกิดการปล่อยแสงขึ้นภายในชั้นแอกทีฟเนื่องจากถูกกักด้วยกำแพงของ เฮเทอร์โรจังชัน (Hetero Junction) แต่สำหรับกรณีของ แอลอีดี นั้นโครงสร้างของมันไม่มีการขยายออสซิเลชัน ของแสงเหมือนอย่างเลเซอร์ไดโอด (ไม่มีระนาบสะท้อนแสง) แสงที่ปล่อยออกมาตรงส่วนที่อยู่ห่างจากด้านข้างนั้นจึงออกจากด้านข้างได้ยาก ด้วยเหตุนี้ แอลอีดี ทั่วไปจึงให้แสงปล่อยออกมาข้างนอกจากด้านหน้าที่ต่อกับขั้วไฟฟ้า ดังรูป 2.20(a)



รูปที่ 2.20 แสดงโครงสร้างและระดับพลังงานของแอลอีดี

แอลอีดี เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด รอยต่อพีเอ็นซึ่งจะให้แสงออกมาเมื่อทำการให้ไบอัสทางตรงดังรูปที่ 2.21 จากรูปที่ 2.21 แสดงรอยต่อและ แถบพลังงาน (energy band) ของ แถบไดโอด (diode band) ทั้งสองจะถูกแบ่งโดย แถบว่าง (band gap) ซึ่งมีความกว้าง Wg ในระดับพลังงานด้านบนเรียกว่า แถบนำอิเล็กตรอนอิสระ (conduction band free electron) สามารถเคลื่อนที่ได้ และระดับพลังงานล่างเรียกว่า แถบวาเลนซ์ ซึ่งโฮลอิสระสามารถเคลื่อนที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 แสดงลักษณะของ แอลอีดี และระดับพลังงาน

สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นจะมีจำนวนอิเล็กตรอนอิสระอยู่มาก และสารกึ่งตัวนำชนิดพีจะมีโฮลอิสระอยู่มาก เมื่อนำสารทั้งสองมาวางเข้าไว้ด้วยกันจะทำให้เกิด พลังงานกีดกัน (energy barrier) อิเล็กตรอนอิสระในบริเวณ รอยต่อเอ็น จะไม่มีพลังงานเพียงพอที่จะข้าม พลังงานกีดกัน ไปยัง รอยต่อพี ได้ ในกรณีของ โฮลอิสระใน รอยต่อพี ก็เช่นกัน เมื่อเราไม่มีการป้อนโวลเตจให้กับไดโอดจะไม่มี การเคลื่อนที่ของประจุภายใน รอยต่อพีเอ็น แต่ถ้าเราป้อนโวลเตจให้กับไดโอดโดยให้ไบอัสทางตรงจะไปลด พลังงานกีดกัน เพิ่มพลังงานศักย์ให้กับทางด้านเอ็น และลดระดับพลังงานศักย์ทางด้านพี ดังนั้นอิเล็กตรอนอิสระและโฮลอิสระอิเล็กตรอนจะตกลงในแถบวาเลนซ์ และรวมกับโฮลการรวมกันของอิเล็กตรอนกับโฮลจะทำให้มีการปลดปล่อยพลังงานแสงออกมา (optic energy) ซึ่งมีความสัมพันธ์ของ พลังงานโฟตอนกับความถี่แสดงดังสมการ

$$W = hf \tag{2.11}$$

$$\lambda = hc / Wg \tag{2.12}$$

จากสมการนี้ ค่าของ Wg (energy gap) มีหน่วยเป็น จูล (joule) ความยาวคลื่นมีหน่วยเป็นเมตร

$$\lambda = 1.24 / Wg \tag{2.13}$$

Wg มีหน่วยเป็นอิเล็กตรอนโวลต์ (eV) และความยาวคลื่นมีหน่วยเป็นไมโครเมตร

วัสดุและโลหะผสมที่ต่างกันจะให้ค่า ช่องว่างแถบพลังงาน (Bandgap energy) ที่ต่างกันตารางที่ 2.4 แสดง common emitter material operation wave length และค่าประมาณของ ช่องว่างแถบพลังงาน จากตารางสารซิลิคอนจะไม่มีเพราะโฮลและอิเล็กตรอน ไม่สามารถรวมกันได้โดยตรง ทำให้จัดเป็นสาร inefficient emitter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

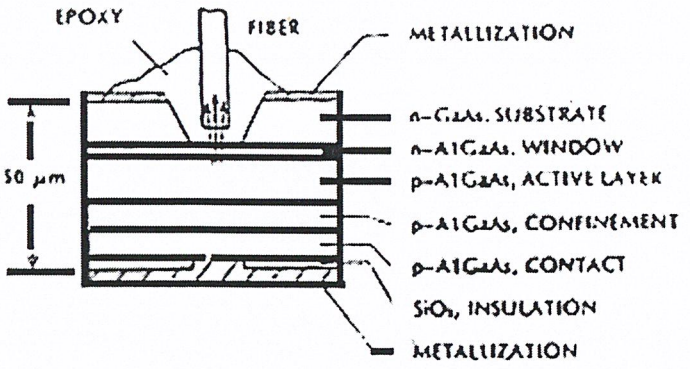
ตารางที่ 2.4 แสดงชนิดของสารกึ่งตัวนำ

Material	Wavelength Range (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

เราสามารถเลือกค่าความยาวคลื่นของสารอะลูมิเนียมแลเลียมอาร์เซไนด์ (AlGaAS) สารอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ฟอสเฟอร์ (InGaAsP) และสารชนิดแกลเลียมอาร์เซไนด์(GaAs) โดยการเปลี่ยนสัดส่วนของ constituent atom ซึ่งจะทำให้ ช่องว่างแถบพลังงาน เปลี่ยนมีผลทำให้ความยาวคลื่นเปลี่ยนด้วย จากที่กล่าวมาเป็นตัวอย่างของโฮโมจังชันซึ่งใช้สารกึ่งตัวนำชนิดรอยต่อพีเอ็นชั้นเดียวลักษณะโฮโมจังชัน การปลดปล่อยแสงจะไม่ดี กล่าวคือ พลังงานโฟตอนจะถูกแผ่รังสีออกที่รอยต่อและมีพื้นที่ในการปลดปล่อยแสงที่กว้างมาก ทำให้ประสิทธิภาพของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์รับแสง กับเส้นใยนำแสงที่มีขนาดเล็กไม่ดี จากเหตุผลเหล่านี้จึงได้ปรับปรุงโดยตรงสร้างรอยต่อพีเอ็นให้มีพื้นที่สัมผัสกันมากขึ้น เพื่อจะให้มีการรวมกันของอิเล็กตรอนกับโฮลมากขึ้น หลังจากที่มีการปลดปล่อยพลังงาน โฟตอนออกมาโดยจำกัดที่ให้แคบลง ซึ่งเป็นหลักการของการสร้างเฮเทอร์โรจังชัน

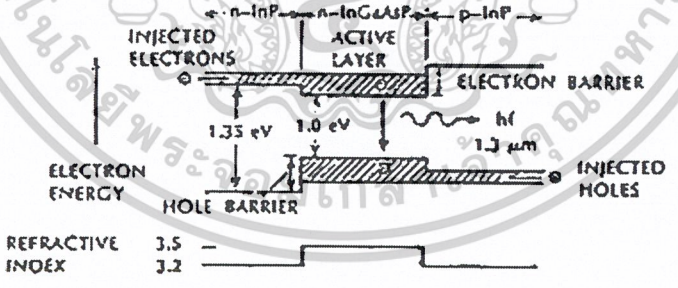
เฮเทอร์โรจังชัน เป็นรอยต่อของสารกึ่งตัวนำที่ไม่ใช่ชนิดเดียวกัน วัสดุทั้งสองจะมีความแตกต่างของช่องว่างแถบพลังงาน และมีดัชนีหักเหต่างกันการเปลี่ยนแปลงของช่องว่างแถบพลังงาน จะทำให้เกิดแรงดันกีดกัน (potential barrier) ระหว่างโฮลกับอิเล็กตรอน ประจุอิสระรวมตัวกันขึ้นใหม่ในขอบเขตแคลดของชั้นแอกทีฟเพราะบริเวณชั้นแอกทีฟจะมีดัชนีหักเหสูงกว่าวัสดุที่อยู่อีกด้านหนึ่ง มุมวิกฤตทำให้เกิดโฟตอนบางตัวในบริเวณของแอกทีฟซึ่งเป็นพื้นที่เล็กๆ ที่มีความเข้มของแสงสูง การปลดปล่อยแสงออกมาในบริเวณจำกัดนี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการ คับปลิ้ง ซึ่งในทางปฏิบัติ ใช้กับเส้นใยนำแสงขนาดเล็ก ซึ่งเพาเวอร์จะถูกคับปลิ้งจากผิวหน้าของระบบของชั้นที่มีการปลดปล่อยแสงหรือจากขอบของชั้นผิวหน้าที่มีการคับปลิ้ง เรียกว่า เบอร์รัส (burrus) หรือ etched-well แสดงในรูปที่ 2.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 แสดงชั้นต่างๆของอุปกรณ์กำเนิดแสง

อะลูมิเนียมแลเลียมอาร์เซไนด์ไดโอด (AlGaAs Diode) เป็นตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสงซึ่งโดยทั่วไปจะปลดปล่อยที่ความยาวคลื่น 0.82 ไมโครเมตร ซึ่งเส้นใยนำแสงมีการลดทอนต่ำ จากรูป 2.22 SiO_2 ทำหน้าที่เป็นฉนวน (insulating) และมีโลหะกันไว้ที่ด้านล่างของไดโอด โครงสร้างนี้จะจำกัดประจุที่ถูกฉีดเข้าไปในส่วนกลางของไดโอดเส้นใยนำแสงขนาด 50 ไมโครเมตร ซึ่งจะมีประสิทธิภาพของการคับปลิ้ง สัมพันธ์กับลักษณะดังกล่าว เพราะว่าเป็นพื้นที่ที่ปลดปล่อยแสงออกมาจำกัด แสงที่ปลดปล่อยออกมาส่วนใหญ่จะหยุดอยู่ที่แกนกลาง โดยที่กำลังงานจะไม่ถูกเก็บสะสมไว้ทั้งหมดเพราะมีข้อจำกัดของค่า นิวเมอริคัลอเปอร์เจอร์ ดังรูปที่ 2.23



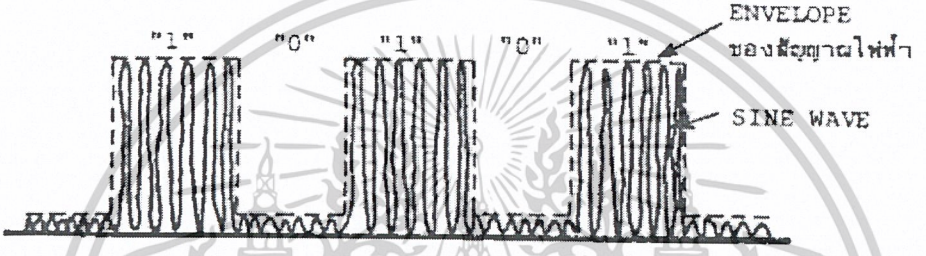
รูปที่ 2.23 แสดงส่วนที่ปล่อยแสงของ แอลอีดี

2.3.2.4 คุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์กำเนิดแสง

คุณสมบัติต่างๆที่ต้องการจากอุปกรณ์กำเนิดแสง ได้แก่ คุณสมบัติการผสมของแสงกับไฟฟ้า นั่นคือ กำลังที่ออกของแสง ความเป็นเส้นตรง (Linearity) ความกว้างของสเปกตรัมของแสง ความเร็วในการตอบสนองต่อความถี่เป็นต้น ในปัจจุบันแสงที่ได้จากอุปกรณ์ปล่อยแสงจะมีความยาวแสงจำนวนหนึ่งปน

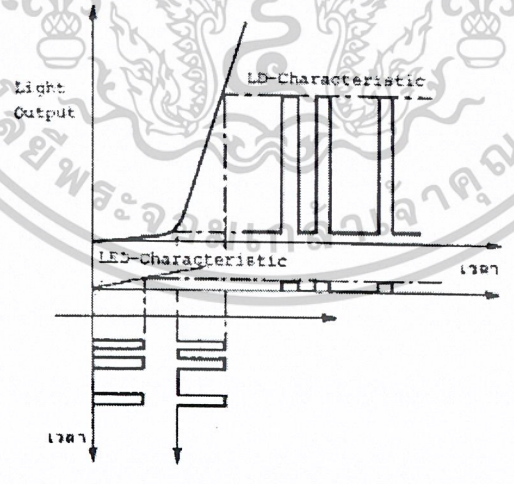
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้แสงเป็นคลื่นพาห์ (Carrier Wave) สำหรับ การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation) การมอดูเลตทางเฟส (Phase Modulation) ของสัญญาณไฟฟ้าได้เหมือนอย่างที่ใช้ในการส่งมัลติเพล็กในระบบการส่งสัญญาณอนาล็อกของ การส่งคลื่นพาห์ (Carrier Transmission) การส่งคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Transmission) ที่ใช้อยู่ทั่วไป แต่จะใช้การผสมที่เรียกว่า การมอดูเลตทางความเข้ม (Intensity Modulation) ซึ่งทำการผสมโดยตรงกับความเข้มของแสง ยกตัวอย่างเช่น ในการส่งสัญญาณดิจิตอล รูปคลื่นที่ได้จะเป็นแสดงดังในรูปที่ 2.24 กล่าวคือแสงจะเกิดการกระพริบสว่าง ดับตามสัญญาณไฟฟ้าที่เป็น "1" "0" ตามความเป็นจริงแล้วความยาวคลื่นของสัญญาณของแสงจะมีค่าสั้นกว่าความยาวคลื่นของสัญญาณไฟฟ้ามาก ดังนั้นใน Envelope "1" ของสัญญาณไฟฟ้าจะมีแสงที่มีความยาวคลื่นหลายค่าอยู่ข้างใน ดังแสดงในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 แสดงรูปคลื่นที่ได้ของแสงและการผสมมอดูเลชันในการส่งสัญญาณดิจิตอล

ส่วนคุณสมบัติการผสมของอุปกรณ์ปล่อยแสงแสดงดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 แสดงการผสมแบบมอดูเลตทางความเข้มของแสง (Light Intensity Modulation)

จากรูปที่ 2.25 จะเห็นได้ว่าเนื่องจากแอลอีดี ใช้ปรากฏการณ์การปล่อยแสงตามธรรมชาติ ดังนั้นปริมาณของแสงที่ปล่อยออกมาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสที่ป้อนเข้าไป (กระตุ้น) แต่สำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลเซอร์ไดโอด นั้นใช้ปฏิกิริยาการออสซิเลชันโดยการกระตุ้นให้ปล่อยแสง ดังนั้นปริมาณของแสงที่ปล่อยออกมานั้นมีลักษณะที่ มีการเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเลยค่าของกระแสค่าหนึ่ง (Threshold Value Current) ไปแล้ว ตัวอย่างคุณสมบัติต่าง ๆของแอลอีดีและเลเซอร์ไดโอด ที่ได้กล่าวมาแล้วแสดงในตาราง 2.5 จากการพิจารณาดูคุณสมบัติต่าง ๆในตารางนี้จะเห็นว่าเกี่ยวกับ กำลังที่ได้ของแสงนั้น เลเซอร์ไดโอดจะมีค่ามากกว่า เพราะมีการออสซิเลชันและการขยายของแสงและเกี่ยวกับ กำลังที่ป้อนเข้าไปในเส้นใยนำแสงก็เช่นกัน เนื่องจากเลเซอร์ไดโอดมีคุณสมบัติของทิศทางของแสง (Directivity) ดีกว่า เป็นผลให้มีการสูญเสียการเชื่อมแสงกับเส้นใยนำแสงต่ำทำให้กำลังของแสงป้อนเข้าไปในเส้นใยนำแสงได้มาก

ตารางที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์กำเนิดแสง

หัวข้อ	LED	LD
Output Power ของแสง	2.5 มิลลิวัตต์	10 มิลลิวัตต์
Input Power ของแสงในเส้นใยนำแสง	$\leq$ 0.05 มิลลิวัตต์	$\leq$ 3 มิลลิวัตต์
ความกว้างของ Spectrum ที่จุด Power ตกลงครึ่งหนึ่ง (ตอน Modulation)	100 นาโนเมตร	3 นาโนเมตร
Frequency Response Speed	$\leq$ หลายร้อย MHz	$\leq$ หลาย GHz
อายุการใช้งาน	$\leq$ 10^6 ชั่วโมง	$\leq$ 10^6 ชั่วโมง

เกี่ยวกับสเปกตรัมของแสงนั้น มีผลมาจากสาเหตุที่แถบนำ และแถบวาเลนซ์มีพลังงานในช่วงกว้างทำให้มีสเปกตรัมของแสงกว้างแต่เลเซอร์ไดโอดนั้นมีพลังงานเป็นช่วงแคบอันเนื่องมาจากขบวนการออสซิเลชันทำให้มีสเปกตรัมของแสงแคบ นอกจากนั้นการทำงานสว่างดับ (กระพริบ) ของแสงนั้น ถ้าหากความหนาแน่นของกระแสมีมากเท่าไร จะทำให้ค่าเฉลี่ยของเวลาการรวมกันของอิเล็กตรอนกับ โฮลมีค่าน้อยลงเท่านั้น เนื่องจากความหนาแน่นของกระแสที่ใช้กระตุ้นของเลเซอร์ไดโอดมีค่ามากกว่า จึงทำให้เลเซอร์ไดโอดมีความเร็วของการตอบสนองความถี่มากกว่า แอลอีดี

2.3.3 อุปกรณ์รับแสง

การรับแสงหมายถึง การเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้าในการทำงานนี้แบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือ วิธีที่หนึ่งเป็นการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยตรง วิธีที่สองทำได้โดยการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานความร้อนก่อนแล้วจึงเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า วิธีที่หนึ่งนั้นเรียกว่า ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก (photo electric effect) ส่วนวิธีที่สองเรียกว่า ปรากฏการณ์ความไวต่อความร้อน (Sensitive Heat Effect) วิธีการตรวจแสงโดยใช้ ปรากฏการณ์ความไวต่อความร้อน นั้นโดยทั่วไปจะมีการตอบสนองช้ามากและความไวไม่ดีจึงใช้กับเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) บาโรมิเตอร์ (barometer) และอื่น ๆ แต่

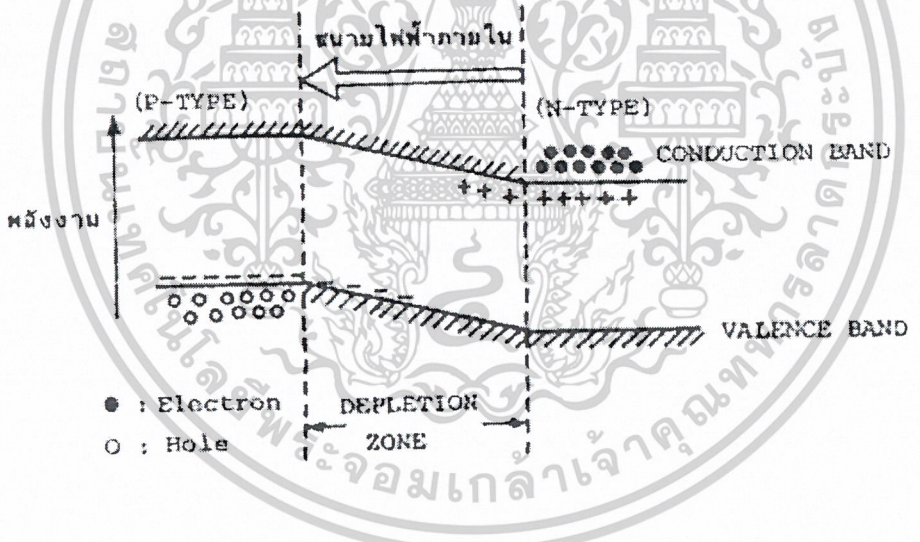
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่นำมาใช้กับการสื่อสารด้วยแสงดังนั้นสำหรับการสื่อสารด้วยแสงจึงควรทำความเข้าใจโครงสร้าง และการทำงานของการรับแสง โดยปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริกสำหรับสารกึ่งตัวนำ ต่อไปนี้จะกล่าวถึงปรากฏการณ์ โฟโตอิเล็กตริก

2.3.3.1 การทำงานของการรับแสง

หลักการของปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริกนั้นคือ เมื่อมีแสงมากระทบสารกึ่งตัวนำอิเล็กตรอน ที่อยู่ในแถบวาเลนซ์จะเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่แถบนำ แต่การเลื่อนขึ้นไปนี้จะเป็นแต่เพียงอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปเท่านั้น และในที่สุดมันจะไปรวมกันใหม่กับโฮลในแถบวาเลนซ์ อีกทำให้ไม่ได้รับปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริกด้วยเหตุนี้ เพื่อที่จะเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า จะต้องใช้สภาพการแยกกันของอิเล็กตรอนกับโฮล ก่อนที่มันจะรวมกัน

สำหรับอุปกรณ์รับแสงสารกึ่งตัวนำก็เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสง นั่นคือเพื่อที่จะแยกอิเล็กตรอนกับโฮลนั้น โดยทั่ว ไป ที่รอยต่อของ พีเอ็นนั้นจะเกิดสนามไฟฟ้าที่ว่าง (Space Electric Field) ขึ้น แต่มันจะถูกดึงด้วยอิเล็กตรอนของ N - Type และโฮล ของ P - Type ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นลบและบวก เป็นผลให้เกิดบริเวณที่ไม่มีอิเล็กตรอนและโฮลขึ้นตรงรอยต่อบริเวณนี้เรียกว่า บริเวณดีพลีชัน (Depletion Zone) ดังแสดงในรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แสดงบริเวณดีพลีชัน

ในสภาพอย่างนี้เมื่อแสงมากระทบจากทางด้านบริเวณ P - Type แสงนั้นจะถูกดูด พร้อมทั้งเคลื่อนที่ไปทางบริเวณ N - Type แต่ที่บริเวณดีพลีชันอิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดจากการดูดพลังงานจากแสงจะถูกสนามไฟฟ้าที่ว่าง แยกไปในทิศทางตรงกันข้ามกล่าวคือ อิเล็กตรอนไปทางด้านเอ็นและโฮลไปทางด้านพี

อนึ่งที่บริเวณที่อยู่ห่างจากบริเวณดีพลีชันนั้น เนื่องจากไม่มีสนามไฟฟ้าอิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดจากปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก จะรวมตัวกันใหม่ในระหว่างเคลื่อนที่ แต่สำหรับอิเล็กตรอนและโฮลที่เคลื่อนที่เข้าไปในสนามไฟฟ้าที่ว่าง แล้วนั้นจะสามารถเข้าไปยังบริเวณตรงกันข้ามได้ ผลที่ได้ก็คือ จะเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับปริมาณของอิเล็กตรอนและโฮลที่ถูกแยกขึ้นระหว่างปลายทั้งสองของ P - type และ N - type ถ้าหากนำวงจรภายนอกมาต่อกับปลายทั้งสองนี้จะทำให้อิเล็กตรอนและโฮลสามารถรวมตัวกันได้โดยผ่านวงจรภายนอก นั่นคือมีกระแสไหลนั่นเอง กระแสที่เกิดที่บริเวณดีพลีชันเรียกว่ากระแสเลื่อนลอย (Drift Current) ส่วนกระแสที่เกิดตรงบริเวณที่อยู่ห่างจากบริเวณดีพลีชันเรียกว่ากระแสแพร่ (Diffusion Current) และกระแสนี้เป็นหลักการของการเปลี่ยนแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า

2.3.3.2 โครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง

สำหรับอุปกรณ์รับแสงก็เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสงนั่นคือมีสารหลายชนิด นอกจากนั้นผลต่างของพลังงานของแถบนำและแถบวาเลนซ์ ของอุปกรณ์รับแสงมีค่าแตกต่างกันทำให้มีย่านความยาวคลื่นต่างกันที่ดูดสัญญาณแสงที่เข้ามาได้ง่าย (ความไวในการรับแสงดี) คุณสมบัติความไวในการรับแสงของสารแต่ละชนิดแสดงดังในรูปที่ 2.27

รูปที่ 2.27 แสดงความยาวคลื่นในการรับแสงของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิด

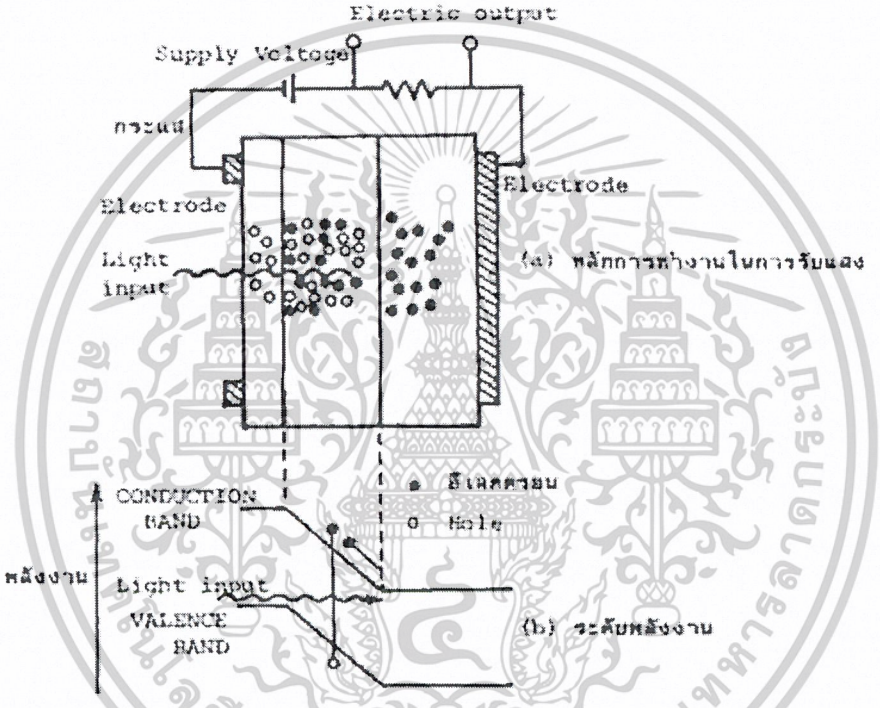
ในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงนั้น จะต้องเลือกอุปกรณ์รับแสงที่เหมาะสมกับความยาวคลื่นที่ใช้เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสง สำหรับย่านความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 1 ไมโครเมตร จะใช้ซิลิกอนสำหรับย่านความยาวคลื่นจาก 1-1.7 ไมโครเมตร ใช้เจอร์มาเนียมเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นในปัจจุบันสำหรับความยาวคลื่นในช่วง 1.55 ไมโครเมตร เป็นความยาวคลื่นที่มีการสูญเสียในเส้นใยนำแสงน้อยมาก และเป็นความยาวคลื่นที่อยู่ใน Third Window การใช้งานอุปกรณ์รับแสงชนิดใหม่ที่ทำจากสารที่เป็นสารประกอบของสารกึ่งตัวนำอินเดียมแกลเลียมอาเซไนซ์ (InGaAs) และอื่น ๆ ซึ่งมีความไวในการรับแสงดีมากนั้น กำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

อุปกรณ์รับแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำนี้แบ่งออกเป็นพวกใหญ่ๆได้ 2 พวกใหญ่ๆ ตามปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้จากภายนอกคือโฟโต้ไดโอดกับ อวาลานซ์โฟโต้ไดโอด (APD) พวก โฟโต้ไดโอดนั้นเป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณน้อย ส่วนพวกอวาลานซ์โฟโต้ไดโอด เป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณมาก

ตัวอย่างของโฟโต้ไดโอด คือ พินโฟโต้ไดโอด (PIN - PD) ดังแสดงในรูปที่ 2.28 พิน (PIN) หมายถึงว่า ในระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็นมีสารกึ่งตัวนำแบบที่เรียกว่า อินทรินสิค (Intrinsic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

: I) คั่นอยู่ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่ากระแสเลื่อนลอยนั้นเกิดขึ้นในบริเวณดีพลีชันและผลของสนามไฟฟ้าทำให้มีการตอบสนองเร็ว แต่ในทางตรงกันข้ามกระแสแพร่ที่เกิดขึ้นภายนอกบริเวณดีพลีชันนั้น มีการตอบสนองช้า ดังนั้นถ้าความกว้างของบริเวณดีพลีชันยิ่งกว้างมากเท่าใด ประสิทธิภาพควอนตัม(Quantum Efficiency) และ ความเร็วของการตอบสนองความถี่ยิ่งดีขึ้น ความกว้างของบริเวณดีพลีชันนี้ถ้าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนและโฮลของ P - type และ N - type ยิ่งต่ำจะยิ่งกว้าง ดังนั้นสารกึ่งตัวนำแบบ I ที่ขั้นกลางระหว่าง P - type และ N - type จึงมีหน้าที่เพื่อทำให้ความกว้างของบริเวณดีพลีชัน กว้างขึ้นนั่นเอง เนื่องจากโฟโต้ไดโอดที่ใช้ในระบบสื่อสารนั้นโดยทั่วไปต้องการความเร็วในการตอบสนองสูง ดังนั้นส่วนใหญ่จะใช้ พินโฟโต้ไดโอด

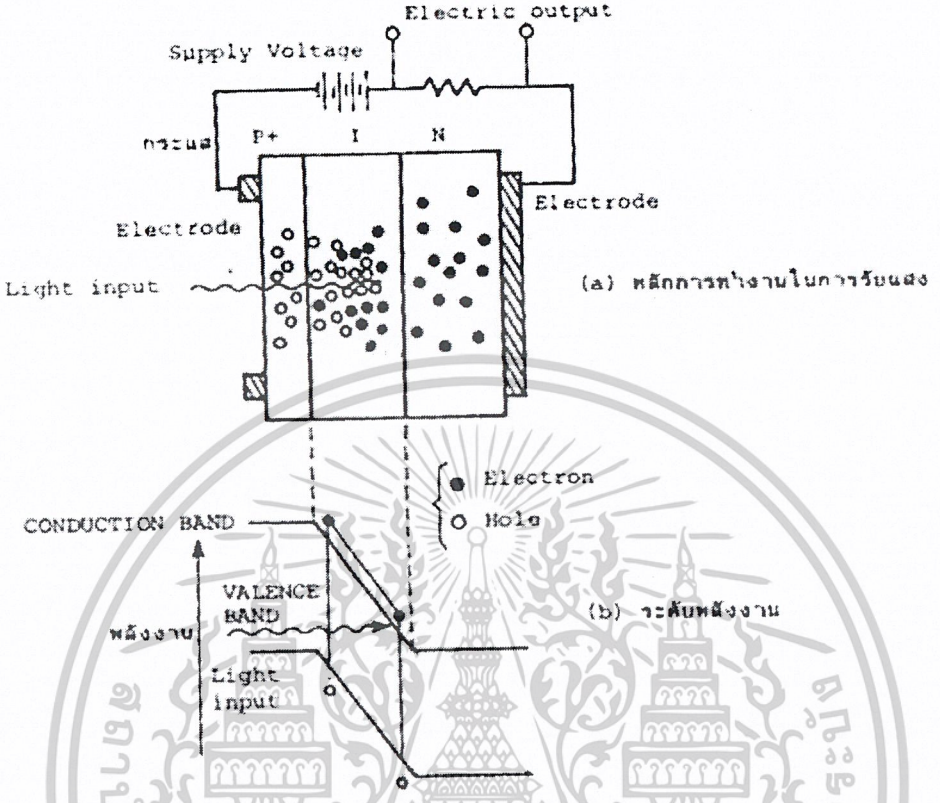


รูปที่ 2.28 แสดงหลักการทำงานการรับแสงและระดับพลังงานของพินโฟโต้ไดโอด

ซึ่ง อวาลานซ์โฟโต้ไดโอด นั้นใช้ปฏิกิริยาการขยายอวาลานซ์ของอิเล็กตรอน และโฮลในสารกึ่งตัวนำเมื่อเปรียบเทียบกับโฟโต้ไดโอดแล้วเป็นอุปกรณ์รับแสงที่ใช้กระแสจำนวนมาก หลักการทำงานของอวาลานซ์โฟโต้ไดโอด แสดงดังรูปที่ 2.29 สำหรับโครงสร้างนั้นส่วนใหญ่ทางด้านพีของรอยต่อพีเอ็น จะมีสารกึ่งตัวนำแบบ P - type ที่มีความหนาแน่นของโฮลสูงติดอยู่ (ส่วนที่แสดงด้วย P + ในรูปที่ 2.29) โดยการทำเช่นนี้จะทำให้สนามไฟฟ้าภายในของบริเวณใกล้ๆรอยต่อที่มี P - Layer เป็นศูนย์กลางมีค่ามาก อิเล็กตรอนที่ดูดแสงที่มาตกกระทบจากด้าน P + และถูกกระตุ้นจาก แถบวาเลนซ์ไปยังแถบนำในระหว่างที่มันได้รับอัตราเร่งและผ่าน P - Layer นั้นมันจะได้รับพลังงานจำนวนมากกว่าผลต่างของพลังงานของแถบนำ กับแถบวาเลนซ์ จากผลนี้ทำให้สามารถกระตุ้นอิเล็กตรอน ที่อยู่ในแถบวาเลนซ์และทำให้อิเล็กตรอน กับโฮลใหม่ได้ และอิเล็กตรอนกับโฮลใหม่นี้ยังถูกสนามไฟฟ้าเร่งอัตราเร่งให้อีก ทำให้เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กตรอนกับโฮลใหม่ออกมาอีก เมื่อขบวนการนี้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องกัน จำนวนของอิเล็กตรอนกับโฮลจะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากมาย เป็นผลให้เกิดการขยายที่เรียกว่า อวาลานซ์มัลติพลิเคชัน (Avalanche Multiplication) ผลนี้ทำให้กระแสถูกขยายนั่นเอง



รูปที่ 2.29 แสดงหลักการทำงานการรับแสงและระดับพลังงานของอวาลานซ์โฟโต้ไดโอด

2.3.3.3 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์รับแสงจะประเมินจากคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ประสิทธิภาพควอนตัมซึ่งแสดงว่าแสงที่รับมานั้นถูกเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าได้มากเท่าไร ความไวการรับแสง (ระดับรับแสงต่ำสุดที่ต้องการสำหรับการส่งที่มีคุณภาพ) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบระยะการถ่ายทอดของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นและความเร็วของการตอบสนองการทำงาน สำหรับประสิทธิภาพควอนตัมกำหนดจากสารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง แต่สำหรับความไวการรับแสงนั้นจะเกี่ยวข้องกับขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้

เนื่องจาก อวาลานซ์โฟโต้ไดโอด ใช้ปรากฏการณ์การขยายอวาลานซ์ดังนั้นจึงมีความไวสูงประมาณ 10 ~ 20 เดซิเบล (10 ~ 100 เท่า) เมื่อเทียบกับโฟโต้ไดโอด สัญญาณรบกวนที่เกิดในอุปกรณ์รับแสงมีสิ่งที่เรียกว่า ช็อตนอยส์ (Shot Noise) โดยช็อตนอยส์นี้เป็นสัญญาณรบกวน อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสโฟโต (photo current) ที่เกิดจากการกระตุ้นอิเล็กตรอนอย่างไม่เป็นระเบียบทางเวลาหรือทางช่วงว่าง คุณสมบัติของช็อตนอยส์เป็น ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Shot Noise Current} \propto I_o M^{2+F} \qquad (2.14)$$

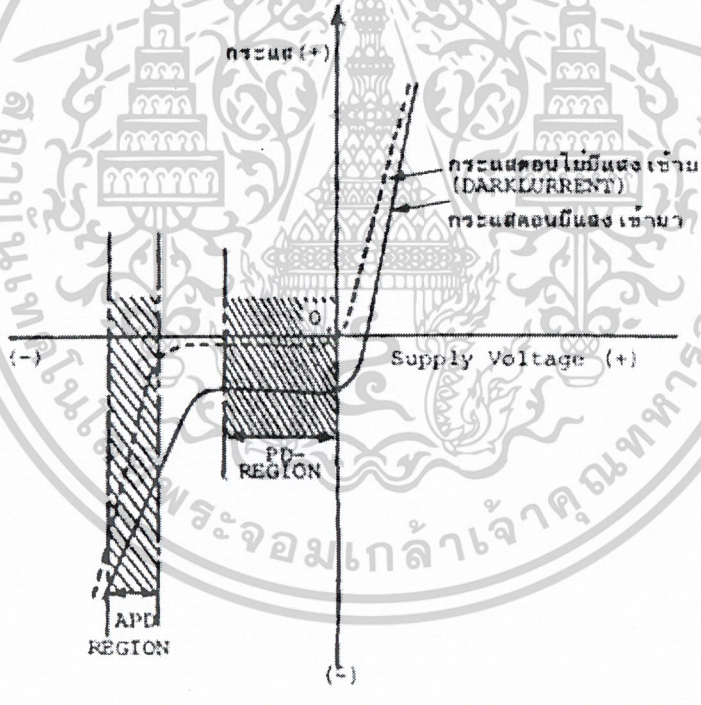
ในที่นี้ M เป็นอันตราการขยายกระแสของอุปกรณ์รับแสง

I_o เป็น Photo current เมื่อ M = 1 (กรณีของ PD)

F เป็น Excess Noise Figure มีค่ามากเมื่อเทียบกับ M

นั่นคือ จากสมการจะเห็นว่าที่ระดับการรับแสงเท่ากัน ถ้าหากทำให้แรงดันไฟฟ้าในทิศทางกลับที่ป้อนให้มีค่าสูง และทำให้อัตราการขยายกระแสเพิ่มมากขึ้นนั้น สัญญาณออก (Output signal I_oM^2) จะเพิ่มมากขึ้นด้วยแต่ ช็อตนอยส์ก็เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน

คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสงทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2.30 จากรูปจะช่วยทำให้เข้าใจความแตกต่างของบริเวณการทำงานของอวาลานช์โฟโต้ไดโอดและโฟโต้ไดโอด ได้ดีและในรูปที่ 2.30 นี้ได้แสดงการไหลของกระแสที่เรียกว่า กระแสมืด (Dark Current) ที่เกิดในสภาพที่มีแรงดันไฟฟ้าในทิศทางกลับป้อนให้แต่ไม่มีแสงเข้ามาด้วย



รูปที่ 2.30 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และ Photo current

กระแสมืดนี้มีลักษณะพิเศษคือมันจะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการเพิ่มขึ้นของสัญญาณออก ช็อตนอยส์เป็นสิ่งที่เกิดจากกระแสมืด และอื่น ๆที่เป็นแหล่งต้นกำเนิด กรณีของโฟโต้ไดโอด เนื่องจาก M เท่ากับ 1 ดังนั้นช็อตนอยส์จึงไม่มีค่ามากแต่สำหรับกรณีของอวาลานช์โฟโต้ไดโอดจำเป็นต้องระวังเกี่ยวกับค่าของ M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง นอกจากจะต้องคำนึงถึง ช็อตนอยส์นี้แล้วยังมี เทอร์มัลนอยส์ (Thermal Noise) ที่เกิดในวงจรไฟฟ้าซึ่งไม่เกี่ยวกับสัญญาณแสงที่เข้ามา ดังนั้นในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง จำเป็นต้องเลือกค่า m ที่เหมาะสมที่ทำให้ผลรวมของ เทอร์มัลนอยส์ กับ ช็อตนอยส์มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับระดับของสัญญาณ

ความเร็วการตอบสนองความถี่ เป็นสิ่งที่กำหนดจากเวลาที่มีสัญญาณแสงเข้ามาจนกระทั่งเกิดปรากฏการณ์ดูดแสง แต่ในปัจจุบันเนื่องจากทั้งโฟโต้ไดโอดและอวาลานซ์โฟโต้ไดโอดสามารถตอบสนองความเร็วได้ถึงหลายกิกะเฮิรตซ์จึงไม่มีปัญหาในการใช้งาน การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของโฟโต้ไดโอดกับอวาลานซ์โฟโต้ไดโอด แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

หัวข้อ	PD	APD
ประสิทธิภาพควอนตัม	~ 80 %	~ 80 %
ความไวการรับแสง (1)	-15 ~ 20 dBm	- 30 ~ 40 dBm
ความเร็วการตอบสนองความถี่	~ หลาย GHz	~ หลาย GHz
อัตราการขยาย	1	~ 500
ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทำงาน	0 ~ 20 V	30 ~ 200 V

(1) เป็นค่าตรงจุดที่ code error rate เป็น 10^{-11}

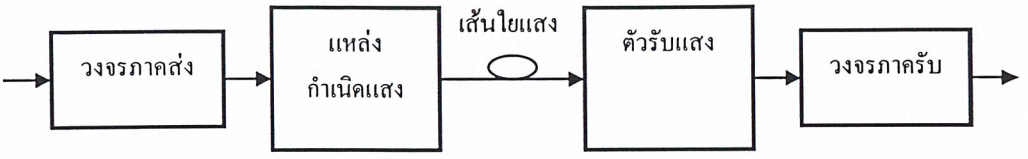
2.4 ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง

จะกล่าวถึงพื้นฐานระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง ส่วนประกอบและเทคนิคต่างๆของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง

2.4.1 หลักการพื้นฐานของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง

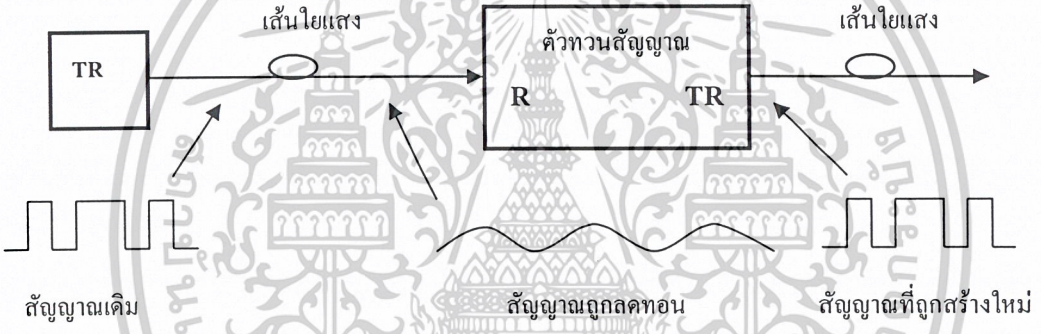
หลักการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงมีโครงสร้างคล้ายกับระบบสื่อสารด้วยสายเคเบิล เพียงแต่ใช้ตัวกลางนำข้อมูลที่ต่างกัน กล่าวคือเมื่อต้องการส่งข้อมูลที่อาจอยู่ในรูปของสัญญาณเสียง สัญญาณภาพ หรือข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ วงจรภาคส่งจะทำหน้าที่จัดรูปสัญญาณให้เหมาะสมด้วยวิธีการเข้ารหัสและมอดูเลตโดยลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่มักจัดให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิตอลเพราะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าจากนั้นวงจรในส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงจะแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้ให้เป็นสัญญาณแสงส่งไปยังสถานีรับโดยมีเส้นใยนำแสงทำหน้าที่เป็นท่อนำสัญญาณ ที่สถานีรับจะมีโพโตทรานซิสเตอร์คอยเปลี่ยนสัญญาณแสงที่ได้รับให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งไปยังวงจรภาครับเพื่อถอดรหัสและดีมอดูเลตสัญญาณ ทำให้ได้สัญญาณที่มีลักษณะเดียวกับสัญญาณเดิมเป็นข้อมูลขาออกเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 แสดงระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง

ในช่วงระหว่างสถานีส่งสัญญาณและสถานีรับสัญญาณที่เชื่อมด้วยเส้นใยนำแสง จะต้องมีสถานีทวนสัญญาณ ทำหน้าที่ขยายและจัดรูปสัญญาณที่เกิดการผิดเพี้ยนไปในระหว่างการเดินทาง ในการใช้งานจริงระยะห่างระหว่างสถานีทวนสัญญาณมีค่าประมาณ 10 กิโลเมตรขึ้นไป โดยจะขึ้นกับขนาดหรืออปริมาณของข้อมูลที่ใช้รับส่ง สำหรับระบบที่มีประสิทธิภาพสามารถรับส่งสัญญาณข้อมูลที่มีขนาด 2 กิกะบิต ต่อวินาที ไปเป็นระยะทาง 2, 200 กิโลเมตร โดยมีสถานีทวนสัญญาณเพียง 25 สถานี ในทุกๆระยะ 80 กิโลเมตร

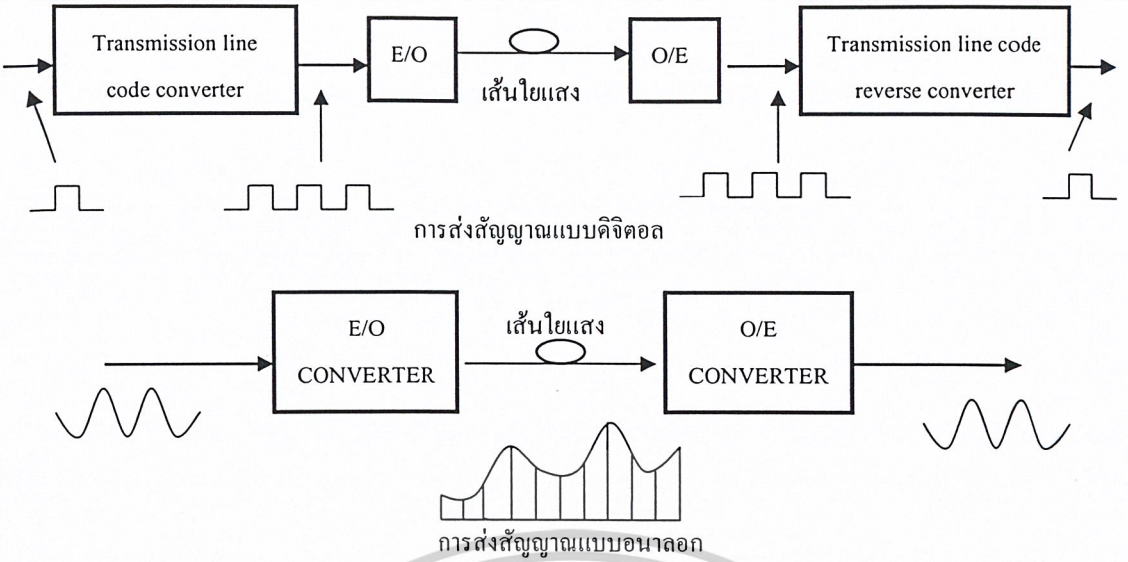


รูปที่ 2.32 แสดงหลักการทำงานพื้นฐานของตัวทวนสัญญาณ

2.4.2 การส่งสัญญาณแบบดิจิตอล และการส่งสัญญาณแบบอนาลอก (Digital Transmission and Transmission)

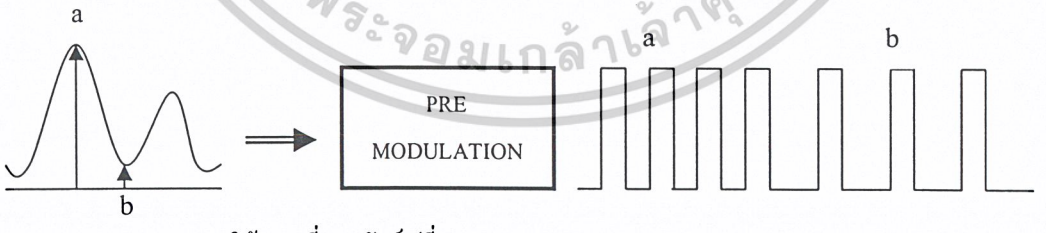
สำหรับระบบการส่งนั้นมี 2 ชนิดคือ การส่งสัญญาณแบบดิจิตอล และการส่งสัญญาณแบบอนาลอก ในกรณีของการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงก็เช่นกันมีระบบการส่ง 2 ชนิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสัญญาณไฟฟ้าที่นำมาผสมกับแสง ว่าจะเป็นสัญญาณดิจิตอล หรือสัญญาณอนาลอก ดังแสดงในรูปที่ 2.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 แสดงระบบการส่งสัญญาณแบบดิจิตอลและอนาลอก

ในการส่งสัญญาณแบบดิจิตอลนั้น การส่งสัญญาณดิจิตอลอินพุทที่เข้ามาอย่างไรก็ส่งออกไปอย่างนั้นส่วนใหญ่จะมีน้อย โดยทั่วไปแล้วจะนำไปเปลี่ยนเป็นคอร์ที่เหมาะแก่การส่งเสียก่อนแล้วจึงส่งออกไปในทำนองเดียวกันการส่งแบบอนาลอก ก่อนที่จะทำการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าอนาลอกให้เป็นสัญญาณแสง ส่วนมากมักจะทำ ปรีมอดูเลท (Pre Modulate) ก่อน ทั้งนี้เพราะว่าแสงเอาท์พุทของอุปกรณ์กำเนิดแสงนั้นไม่เป็นสัดส่วนกับระดับสัญญาณไฟฟ้าอินพุทเสมอไป ทำให้เกิดกรณีความยุ่งยากในการรักษาคุณสมบัติของการส่ง จึงต้องทำ ปรีมอดูเลท เสียก่อน เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าว ตัวอย่างวิธีการของ ปรีมอดูเลท แสดงดังรูปที่ 2.34 เป็นการทำ PFM โดยการเปลี่ยนขนาด ของสัญญาณอนาลอกอินพุทให้เป็นการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของพัลส์เป็นต้น



(ขนาดของสัญญาณทำให้ความถี่ของพัลส์เปลี่ยน)

รูปที่ 2.34 แสดงการทำ PRE MODULATION ด้วย PFM

การเลือกระบบการส่งสัญญาณทั้ง 2 ชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความประหยัดและค่า Bit Error Rate การส่งสัญญาณแบบอนาลอกนั้นส่วนใหญ่จะใช้กับการส่งสัญญาณภาพไปในข่ายสาย (NETWORK) ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ใช้บริการ CATV แต่ในอนาคตระบบการส่งแบบดิจิตอลซึ่งมีคุณสมบัติดีกว่าหลายอย่าง จะเข้ามามีบทบาทสำคัญในทุกด้านของการสื่อสาร

2.4.3 Transmission Line Code

สำหรับการส่งแบบดิจิตอล Code ที่จะถูกส่งไปในสายส่งจะต้องเหมาะสมกับตัวกลางของการส่ง นอกจากนั้นยังต้องเป็นไปตามเงื่อนไขชนิดต่างๆดังต่อไปนี้นั่นคือเงื่อนไขที่ต้องการสำหรับ Transmission Line Code ได้แก่

1. ต้องสามารถรักษา Bit Sequence Independence (เขียนย่อว่า BSI) ได้ หมายความว่าสัญญาณที่จะทำการส่งนั้นไม่ว่าจะเป็น Code Series พิเศษแบบไหนก็ตาม เช่น "0" หรือ "1" ที่ต่อเนื่องกัน หรือเป็นรูปร่างที่เกิดซ้ำกันด้วยช่วงระยะเวลาที่แน่นอนก็ตาม จะต้องสามารถส่งสัญญาณได้อย่างถูกต้อง โดยไม่ขึ้นอยู่กับ Code Series นั้น

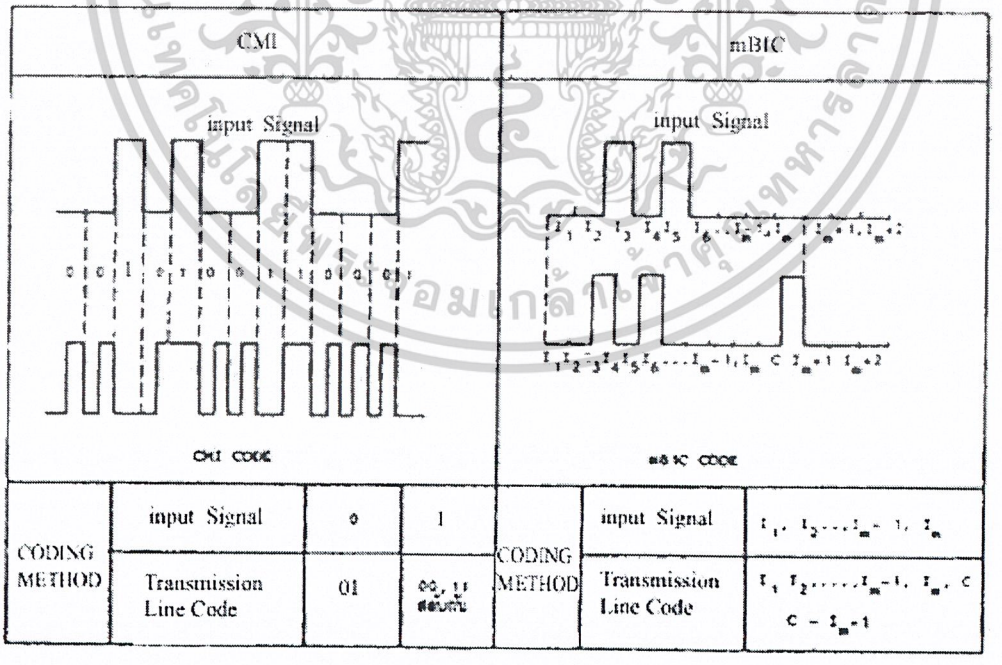
2. เมื่อเกิด Code Error ขึ้นมา คลื่นและผลอันเนื่องมาจากความผิดพลาดนั้นจะต้องมีค่าน้อย

3. ขนาดของวงจรเปลี่ยน Code จะต้องเล็ก

4. การเพิ่มขึ้นของความเร็วในการส่งจะต้องมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับ Information Speed ของสัญญาณที่จะส่ง

5. จะต้องสามารถตรวจดู Code Error ได้ง่ายและสะดวก

เกี่ยวกับ CMI (Code Mark Inversion) และ mB1C (m Bit 1 Complimentary) ซึ่งเป็น Code ที่ใช้กันอยู่ในระบบการสื่อสารแสดงดังรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.35 แสดง Transmission Line Code

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นว่า CMI Code เป็น Code ที่ทำการเปลี่ยน "0" ของสัญญาณอินพุทให้เป็น "00" และเปลี่ยนเป็น "1" ของสัญญาณอินพุทให้เป็น "00" กับ "11" สลับกันส่วน mB1C เป็น Code ที่เอาบิตอันหนึ่งใน m บิตเป็น Auxiliary code แล้วนำไปบวกเข้ากับบิตอันที่ m + 1

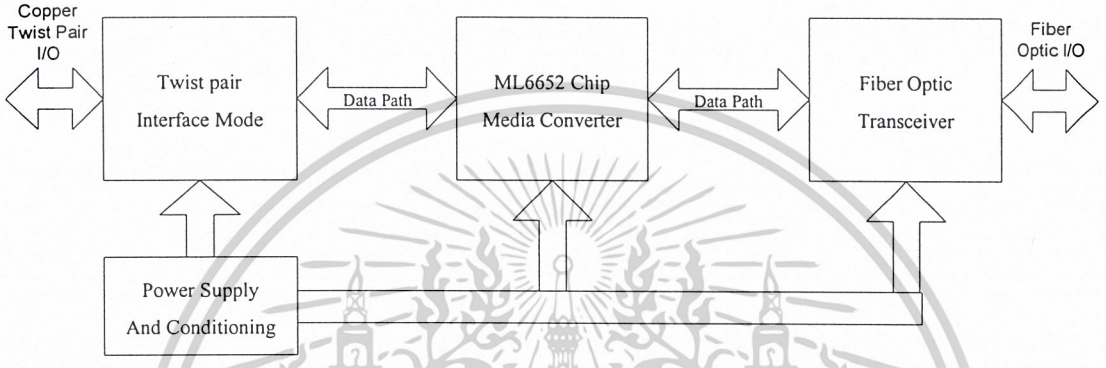
คุณสมบัติพิเศษของ Code ทั้ง 2 แบบก็คือ CMI นั้น เนื่องจากความเร็วในการส่งเป็น 2 เท่าของความเร็วของสัญญาณเดิมจึงเหมาะที่จะใช้กับการส่งสัญญาณที่มีความเร็วต่ำ ส่วน mB1C เหมาะแก่การส่งสัญญาณที่มีความเร็วในการส่งสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การคำนวณและการออกแบบ

3.1 โครงสร้างของโครงงาน

โครงงานนี้ได้นำเอาระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นการส่งสัญญาณข้อมูลผ่านตัวกลางที่เป็นสายคู่เกลียวบิด มาประยุกต์ส่งสัญญาณผ่านตัวกลางที่เป็นเส้นใยนำแสง ซึ่งมีโครงสร้างดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานโดยรวม

จากบล็อกไดอะแกรมตามรูปที่ 3.1 จะมีหลักการคือสัญญาณคอมพิวเตอร์ในระบบแลนจะส่งผ่านมาทางสายสัญญาณคือสายสายคู่เกลียวบิด จะถูกส่งผ่านเข้าสู่วงจรของภาคเชื่อมต่อกับสายคู่เกลียวบิด (Twist pair interface Mode) ซึ่งวงจรส่วนนี้จะทำการเตรียมสัญญาณเข้าสู่การประมวลผล โดยส่งให้ภาคประมวลแปลงสัญญาณ (ML6652 Media converter) จากนั้นจะได้สัญญาณส่งไปยังภาครับส่งสัญญาณแสง (Fiber optic Transceiver) ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับสายใยแก้วนำแสง

ในทางกลับกันเมื่อสัญญาณแสงผ่านเข้ามาสู่ภาครับส่งสัญญาณแสงจะได้สัญญาณออกมาส่งเข้าสู่การประมวลผลของภาคประมวลผลแปลงสัญญาณ ได้สัญญาณกลับมาอยู่ในรูปแบบสัญญาณที่จะส่งไปยังภาคเชื่อมต่อกับสายคู่เกลียวบิดเพื่อที่จะแปลงสัญญาณให้สามารถวิ่งบนสายคู่เกลียวบิดได้และส่งเข้าสู่ระบบแลนต่อไป

การทำงานของภาคแปลงสัญญาณแสดงตามรูปที่ 3.2 โดยส่วนส่งสัญญาณสู่สายคู่เกลียวบิดจะส่งมาที่ขา TPOUTP และขา TPOUTN และส่วนรับสัญญาณจากสายคู่เกลียวบิดจะรับเข้าที่ขา TPINP และขา TPINN สำหรับการเชื่อมต่อกับเส้นใยนำแสงมี 2 ส่วนคือ ส่วนส่งสัญญาณสู่เส้นใยนำแสงจะส่งออกที่ขา IOUT และขา IOUT# และสำหรับการรับสัญญาณจากเส้นใยนำแสงจะรับเข้าที่ขา FOINP และขา FOINN

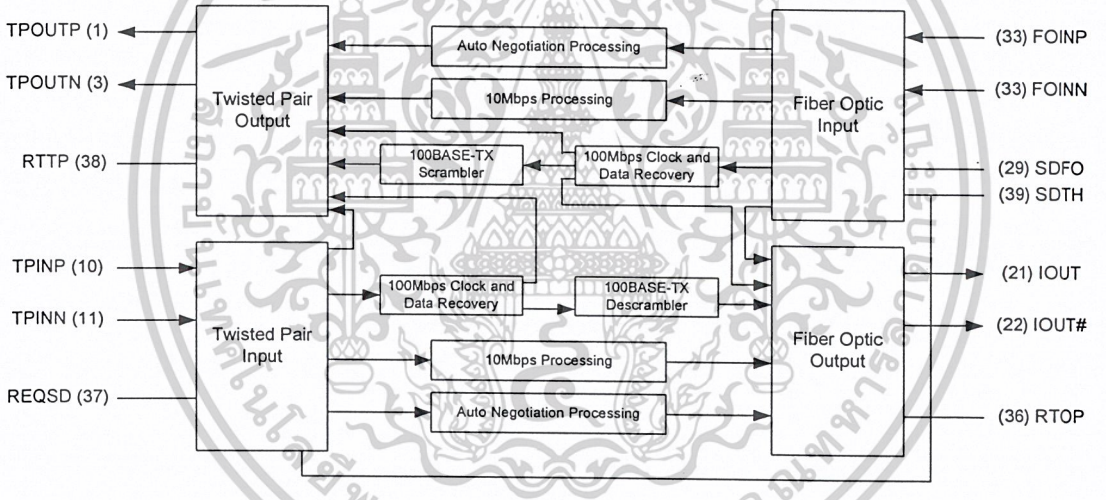
ระบบเครือข่ายที่ใช้งานกับชุดแปลงสัญญาณนี้ได้มีแบบ 10BASE-T และแบบ 100BASE-TX แต่สำหรับโหมดการทำงานสามารถกำหนดได้ 3 แบบด้วยกัน โดยกำหนดเป็นแบบ 10BASE-T แบบ 100BASE-TX และแบบ Auto Negotiation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครือข่ายแบบ 10BASE-T สัญญาณที่ส่งมาจากสายคู่เกลียวบิดจะถูกส่งเข้าสู่การประมวลผลวงจร 10BASE-T Processing และส่งสู่ส่วนของภาควงจรแปลงสัญญาณแสง ส่วนในกรณีรับสัญญาณจากภาคสัญญาณแสงก็จะทำเหมือนกันคือส่งสัญญาณที่แปลงจากแสงมาผ่านวงจร 10BASE-T Processing และส่งออกสู่ภาคแปลงสัญญาณไฟฟ้าส่งออกสายคู่เกลียวบิด

เครือข่ายแบบ 100BASE-TX สัญญาณที่มาจากภาคแปลงสัญญาณจากสายคู่เกลียวบิด จะถูกนำมาผ่านวงจรกู้สัญญาณกลับพร้อมทั้งกำหนดสัญญาณนาฬิกาแล้วส่งผ่านวงจร Descrambler เพื่อให้ได้สัญญาณที่เหมาะสมกับวงจรภาคแปลงสัญญาณแสง ส่วนกรณีรับสัญญาณมาจากวงจรภาคแปลงสัญญาณแสงจะต้องผ่านวงจรกู้สัญญาณและกำหนดสัญญาณนาฬิกาใหม่ แล้วส่งผ่านวงจะ Scrambler เพื่อให้ได้สัญญาณที่เหมาะสมกับการส่งออกไปบนสายคู่เกลียวบิด

สำหรับโหมด Auto Negotiation ชุดประมวลผลจะทำการตรวจสอบสัญญาณเองว่าเป็น ระบบเครือข่ายแบบใดและเมื่อทราบก็จะนำเข้าสู่การประมวลผลตามของแต่ละแบบอย่างที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของชุดแปลงสัญญาณ

3.2 คุณสมบัติของระดับสัญญาณที่ต้องการ

สัญญาณที่ใช้สื่อสารกันในระบบเครือข่ายแลนทั้งแบบ 10BASE -T และแบบ 100BASE-TX ยังเป็นสัญญาณที่ไม่สามารถนำมาสื่อสารบนเส้นใยนำแสงได้ จึงต้องนำมาปรับแต่งระดับสัญญาณให้ได้ตามที่ชุดแปลงสัญญาณต้องการ

3.2.1 คุณสมบัติระดับสัญญาณส่วนของสายคู่เกลียวบิด

คุณสมบัติสัญญาณที่เชื่อมต่อกับสายคู่เกลียวบิดแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่รับสัญญาณมาจากสายคู่เกลียวบิด และส่วนที่ส่งสัญญาณสู่สายคู่เกลียวบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.1 ส่วนรับสัญญาณจากสายคู่เกลียวบิด

ระดับแรงดันของสัญญาณไม่ว่าจะเป็นระบบเครือข่ายแบบ 10BASE-T หรือแบบ 100BASE-TX เมื่อวัดระดับแรงดันแบบคอมมอนโหมดจะต้องได้ระดับแรงดันอยู่ระหว่าง 2.3-2.9 โวลต์ และเมื่อวัดค่าความต้านทานระหว่างสัญญาณ RD+ และ สัญญาณ RD- ต้องมีค่าความต้านทานอยู่ที่ 1.8-2.8 กิโลโอห์ม

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติสัญญาณที่รับเข้ามาจากสายคู่เกลียวบิด

Parameter	Conditions	Minimum	Typical	Maximum	Units
Common-Mode voltage	-	2.3	-	2.9	V
Differential Input Resistance	ระหว่างขา RD+ ,RD-	1.8	-	2.8	k Ω

3.2.1.2 ส่วนส่งสัญญาณสู่สายคู่เกลียวบิด

ระดับสัญญาณจะถูกปรับแต่งจากวงจรแปลงสัญญาณ โดยมีชิป ML6652 เป็นตัวประมวลผลสัญญาณที่ได้ส่งออกมาที่ขา TPOUTP (1) และขา TPOUTN (3) จะมีระดับกระแสจะดูที่ลักษณะของความแตกต่างของทั้ง 2 สัญญาณ โดยถ้าเป็นเครือข่ายแบบ 10BASE-T ความแตกต่างของกระแสระหว่างทั้ง 2 ขานี้จะมีค่าอยู่ที่ 35-55 มิลลิแอมป์ และถ้าเป็นระบบเครือข่าย 100BASE-TX ความแตกต่างของกระแสระหว่างทั้ง 2 ขาจะมีค่าอยู่ที่ 19-23 มิลลิแอมป์ ส่วนกรณีของการไม่มีการต่อใช้งานกระแสจะอยู่ที่ 10 ไมโครแอมป์

ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติสัญญาณที่ส่งออกสู่สายคู่เกลียวบิด

Parameter	Conditions	Minimum	Typical	Maximum	Units
Differential Peak Output Cuurent	10BASE-T	35	-	55	mA
Differential Peak Output Cuurent	100BASE-TX	19	-	23	mA
Off State Output Cuurent	Twisted Pair Transmitter Turned Off	-	-	10	μA

3.2.2 คุณสมบัติระดับสัญญาณส่วนของเส้นใยนำแสง

3.2.2.1 ส่วนรับสัญญาณจากเส้นใยนำแสง

สัญญาณที่รับมาจากเส้นใยนำแสงจะถูกแปลงจากแสงมาอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าโดยโมดูล HFBR5103 สัญญาณไฟฟ้าที่ได้ต้องปรับแต่งเพื่อส่งเข้าสู่ชุดแปลสัญญาณที่ขา FOINP และ FOINN ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิป ML6652 ซึ่งต้องมีคุณสมบัติคือระดับแรงดันโหมดร่วมต้องไม่เกิน 1.95 โวลต์ และค่าความแตกต่างความต้านทานอินพุตจะมีค่าเท่ากับ 900 โอห์ม

ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติสัญญาณที่รับมาจากเส้นใยนำแสง

Parameter	Conditions	Minimum	Typical	Maximum	Units
Common-Mode Voltage	-	-	-	1.95	V
Differential Input Resistance	-	-	-	900	Ω

3.2.2.2 ส่วนส่งสัญญาณสู่เส้นใยนำแสง

สัญญาณจะถูกส่งออกมาจากวงจรแปลงสัญญาณโดยส่งออกมาที่ขา IOUT และ IOUT# ของชิป ML6652 โดยเมื่อสถานะเป็น High กระแสที่ส่งออกจะมีค่า 100 มิลลิแอมป์ ส่วนกรณีที่สถานะเป็น Low กระแสที่ส่งออกมาจะมีค่า 10 มิลลิแอมป์ ส่วนในกรณีไม่ทำงานกระแสที่ส่งออกจะมีค่า ±10 ไมโครแอมป์

ตารางที่ 3.4 แสดงคุณสมบัติสัญญาณที่ส่งออกสู่เส้นใยนำแสง

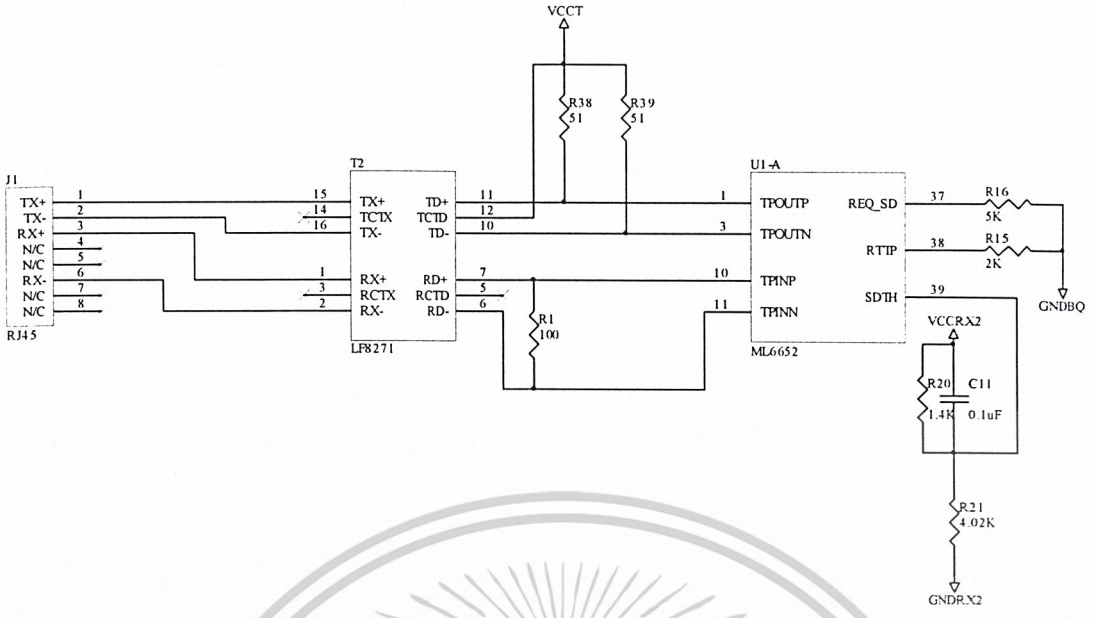
Parameter	Conditions	Minimum	Typical	Maximum	Units
High Light State Output Current	RTOP = 1.4 กิโลโอห์ม	-	-	100	mA
Low Light State Output Current	RTOP = 1.4 กิโลโอห์ม	-	-	10	mA
Off-State Output Current	Fiber Optic Transmitter Turned Off	-	-	± 10	μA

3.3 การออกแบบวงจรภาคเชื่อมต่อกับสายคู่เกลียวบิด

ภาคเชื่อมต่อกับสายคู่เกลียวบิดมีหน้าที่หลักคือการนำเอาสัญญาณไฟฟ้าบนสายคู่เกลียวบิดมาทำการแปลงสัญญาณให้ได้ระดับสัญญาณที่เหมาะสมเพื่อที่จะส่งเข้าสู่ภาคประมวลผลแปลงสัญญาณต่อไป

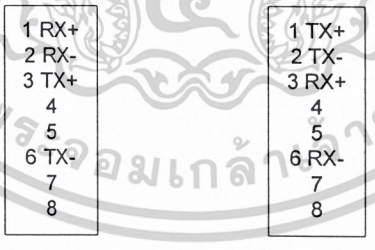
โดยการเชื่อมต่อกับสายคู่เกลียวบิดใช้พอร์ตเชื่อมต่อแบบ RJ-45 ซึ่งเป็นพอร์ตที่เชื่อมต่อกับสายสัญญาณ 8 เส้น จากนั้นจะนำสัญญาณ 2 คู่ หรือ 4 เส้น ที่เป็นสัญญาณส่งและรับซึ่งก็คือหนึ่งคู่ส่ง และหนึ่งคู่รับ ส่วนอีก 4 เส้นไม่ใช้งานเนื่องจากไม่ได้เป็นสัญญาณใดๆที่เป็นข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรภาคเชื่อมต่อกับสายคู่เกลียวบิด

จากรูปที่ 3.3 สำหรับพอร์ต RJ-45 ขา 1 และ 2 จะเป็นสัญญาณข้อมูลส่งออกสู่ระบบแลน ส่วนขา 3 และ 6 จะเป็นสัญญาณรับมาจากระบบแลน ในส่วนของระบบแลนนั้นสัญญาณที่มาจากอุปกรณ์มีอยู่ 2 ลักษณะคือ สัญญาณที่เป็นแบบ MDI และสัญญาณ MDI-X ซึ่งทั้ง 2 แบบมีข้อแตกต่างกัน โดยพอร์ต MDI-X จะส่งข้อมูลออกที่ขา 3 และ 6 ส่วนรับข้อมูลเข้าที่ขา 1 และ 2 ตัวอย่างเช่น สวิตช์-ฮับ (Switch Hub) ส่วนพอร์ต MDI จะส่งข้อมูลออกที่ขา 1 และ 2 และรับข้อมูลเข้าที่ขา 3 และ 6 ตัวอย่างเช่นการ์ดแลนทั่วๆไป



ก. พอร์ต MDI-X ข. พอร์ต MDI

รูปที่ 3.4 แสดงพอร์ต RJ-45

ดังนั้นเมื่อจะนำเอาอุปกรณ์ที่เป็นพอร์ตแบบ MDI-X มาต่อกับภาคเชื่อมต่อกับสายคู่เกลียวบิด จะใช้สายคู่เกลียวบิดแบบต่อตรง แต่ถ้านำเอาอุปกรณ์ที่เป็นพอร์ตแบ MDI มาต่อกับภาคเชื่อมต่อสายคู่เกลียวบิดจะต้องต่อสายคู่เกลียวบิดแบไขว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 ส่วนรับสัญญาณจากระบบแลน

สัญญาณที่ส่งมาจากระบบแลน (ทั้งแบบพอร์ต MDI-X และ MDI) เส้นสัญญาณที่ 1 เป็นสัญญาณที่รับมาจากพอร์ต RJ-45 (ขา 3) เป็นสัญญาณบวกเรียกว่าสัญญาณ RX+ และสัญญาณที่ 2 ที่รับมาจากพอร์ต RJ-45 (ขา 6) ซึ่งเป็นสัญญาณที่คอมพลีเม้นต์กับสัญญาณ RX+ เรียกสัญญาณนี้ว่า RX- สัญญาณทั้ง 2 มีรูปร่างขึ้นอยู่กับลักษณะของเครือข่าย โดยถ้าเป็นเครือข่าย 10BASE-T สัญญาณจะมีรูปร่างเป็นแบบแมนเชสเตอร์ และถ้าระบบเครือข่ายเป็นแบบ 100BASE-TX สัญญาณจะมีรูปร่างเป็นแบบสัญญาณหลายๆ ระดับ (Multi Level Transition – 3) หรือเรียกว่า MLT-3 และทั้ง 2 สัญญาณจะส่งผ่านสู่ตัวแมกนีติก (Magnetic) ซึ่งมีหน้าที่เป็นหม้อแปลงแต่แปลงสัญญาณเข้าและออกอยู่ในระดับเดียวกันเรียกว่าแบบ 1 ต่อ 1 (1:1 Transformer) ซึ่งทำให้ได้ระดับสัญญาณคงที่เพื่อไม่ให้ไฟเกินเมื่อส่งเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณ โดยสัญญาณทั้ง 2 ที่ผ่านตัวแมกนิติกจะถูกเรียกว่าสัญญาณ RD+ และ สัญญาณ RD- ตามลำดับและจะต้องต่อความต้านทาน 100 โอห์มคร่อมไว้แล้วต่อเข้าสู่ภาคแปลงสัญญาณที่ขา 10 และ 11 ของชิป ML6652

3.3.2 ส่วนส่งสัญญาณสู่ระบบแลน

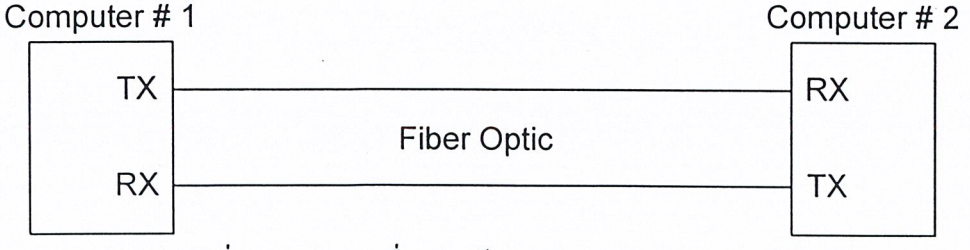
สัญญาณจะถูกส่งออกมาจากวงจรแปลงสัญญาณโดยส่งออกมาทางขา 1 และ 3 ของชิป ML6652 สัญญาณทั้งสองจะถูกส่งผ่านเข้าสู่ชุดแมกนิติกเพื่อจัดระดับสัญญาณทั้ง 2 ให้สามารถสื่อสารบนสายคู่เกลียวบิดได้

โดยสัญญาณทั้ง 2 ที่ส่งออกมาจากภาคแปลงสัญญาณนั้น สัญญาณที่ 1 (ขา 1) เป็นสัญญาณบวกเรียกว่า TD+ และสัญญาณที่ 2 (ขา 3) เป็นสัญญาณคอมพลีเม้นต์กับสัญญาณ TD+ เรียกสัญญาณนี้ว่า TD- รูปร่างของสัญญาณจะมี 2 แบบขึ้นอยู่กับระบบเครือข่ายที่ใช้ โดยถ้าเป็น 10BASE-T สัญญาณจะมีรูปร่างเป็นแบบแมนเชสเตอร์ ส่วนระบบเครือข่ายที่เป็น 100BASE-TX สัญญาณจะมีรูปร่างเป็นแบบสัญญาณหลายๆระดับ (Multi Level Transition - 3) หรือเรียกว่า MLT-3

สัญญาณที่ผ่านตัวแมกนิติกออกมาจะถูกเรียกว่าสัญญาณ TX+ และสัญญาณ TX – ตามลำดับและถูกส่งออกสู่ระบบเครือข่ายผ่านพอร์ต RJ-45 ที่ ขา 3 และ 6 ตามลำดับเช่นกัน

3.4 การออกแบบวงจรภาคเชื่อมต่อกับเส้นใยนำแสง

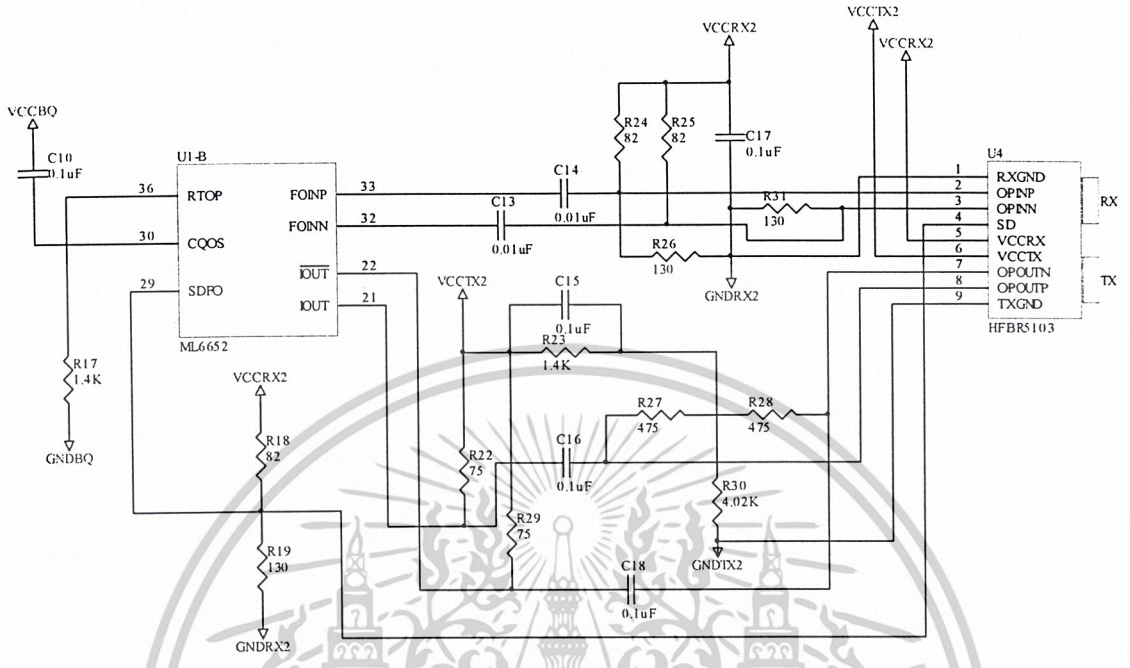
การเชื่อมต่อกับเส้นใยนำแสงนี้จะใช้เส้นใยนำแสง 2 เส้นเป็นตัวเชื่อมต่อเพื่อให้ลักษณะการเชื่อมต่อเป็นไปในลักษณะส่งรับได้พร้อมกันในเวลาเดียวกัน (Full Duplex) แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงแบบ Full duplex

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งลักษณะการเชื่อมต่อแบบฟูลดูเพล็กซ์นี้จะทำให้สามารถเชื่อมต่อสายใยแก้วนำแสงได้ไกลถึง 2 กิโลเมตร ซึ่งได้ไกลกว่าระบบที่ใช้สายคู่เกลียวบิดที่ได้ระยะทางแค่ 100 เมตร



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรภาคส่งรับสัญญาณกับเส้นใยนำแสง

3.4.1 ส่วนส่งสัญญาณสู่เส้นใยนำแสง

สัญญาณที่มาจากภาคแปลงสัญญาณจะถูกส่งออกมา 2 สัญญาณด้วยกันที่ขา 21 และ 22 ของชิป ML6652 ซึ่งลักษณะของสัญญาณ เรียกว่า IOUT และสัญญาณ IOUT# ตามลำดับ สัญญาณทั้ง 2 จะอยู่ในรูปของกระแส โดยในช่วงที่สัญญาณเป็นระดับสูง (High Level) จะมีกระแสที่ประมาณ 100 มิลลิแอมป์ และช่วงที่เป็นสัญญาณระดับต่ำ (Low Level) จะมีกระแสที่ประมาณ 10 มิลลิแอมป์

สัญญาณทั้ง 2 ที่จะถูกส่งสู่แอลอีดี (LED) ในโมดูล HFBR5103 จะต้องทำการคลัปเปิ้ลก่อนโดยต่อผ่านตัวเก็บประจุที่มีค่า 0.1 ไมโครฟารัด โดยสัญญาณ IOUT ต่อเข้าที่ขาแคโทดของแอลอีดี

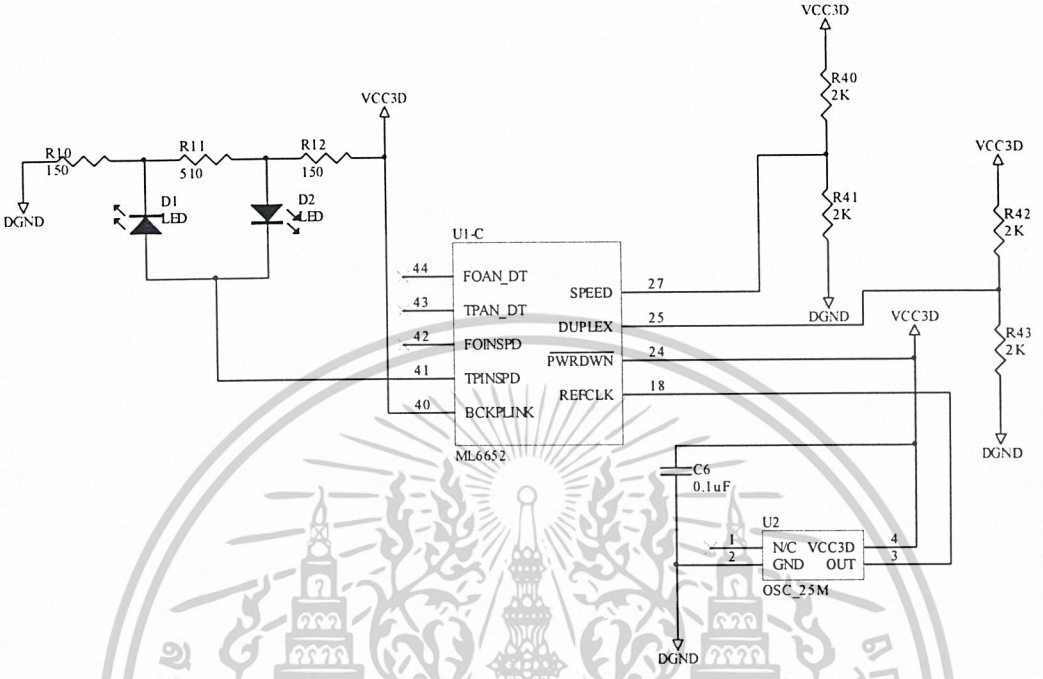
3.4.2 ส่วนรับสัญญาณจากเส้นใยนำแสง

สัญญาณแสงที่มาจากเส้นใยนำแสงจะถูกรับเข้ามาโดยใช้โฟโต้ไดโอดในโมดูล HFBR5103 จะรับสัญญาณแสงและแปลสัญญาณออกมา 3 สัญญาณด้วยกันคือ สัญญาณ RD สัญญาณ RD# และสัญญาณ SD ซึ่งสัญญาณ RD และ RD# เป็นสัญญาณข้อมูล สัญญาณทั้ง 2 จะต้องต่อผ่านการคลัปเปิ้ลโดยใช้ตัวเก็บประจุ 10 นาโนฟารัด และสัญญาณทั้ง 2 จะถูกส่งเข้าภาคแปลงสัญญาณ โดยต่อเข้าที่ขา 33 และ 32 ของชิป ML6652 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบภาคกำหนดสัญญาณควบคุม

3.5.1 ส่วนของภาคสัญญาณนาฬิกาสัญญาณไฟแสดงผลและสัญญาณควบคุม



รูปที่ 3.7 แสดงส่วนของภาคสัญญาณนาฬิกาและสัญญาณไฟแสดงผล

3.5.1.1 ส่วนของสัญญาณนาฬิกา

ส่วนนี้เป็นส่วนสร้างสัญญาณนาฬิกาเพื่อส่งให้ชุดแปลสัญญาณ โดยสัญญาณนาฬิกาที่ต้องการคือสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่ 25 เมกกะเฮิซ เพื่อใช้ในการควบคุมการแปลสัญญาณภายในตัวชิป ML6652 โดยสัญญาณนาฬิกาจะถูกต่อเข้าที่ขา 18 ของชิบ ML6652

3.5.1.2 ส่วนของสัญญาณแสดงผลการเชื่อมต่อกับสายคู่เกลียวบิด

ในส่วนสัญญาณไฟแสดงผลส่วนนี้จะเป็นตัวบอกถึงการเชื่อมต่อกับสายคู่เกลียวบิด โดยนำสัญญาณที่ส่งออกมาทางขา 41 ของชิป ML6652 มาแสดงผลทางแอลอีดี ซึ่งต่อแอลอีดี 2 ตัวเพื่อแสดงให้เห็นว่าเป็นการเชื่อมต่อกับสายคู่เกลียวบิดของระบบเครือข่ายแบบใด โดยถ้าเป็นระบบเครือข่าย 10BASE-T แอลอีดี D1 จะติดสว่าง และถ้าเป็นเครือข่ายแบบ 100BASE-TX แอลอีดี D2 จะติดสว่าง

3.5.1.3 ส่วนของการควบคุมโหมดการทำงาน

ส่วนนี้จะเป็นตัวกำหนดโหมดการทำงานของชุดแปลงสัญญาณรวมทั้งการกำหนดลักษณะของระบบเครือข่ายที่นำมาเชื่อมต่อด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 แสดงการกำหนดโหมดการทำงาน

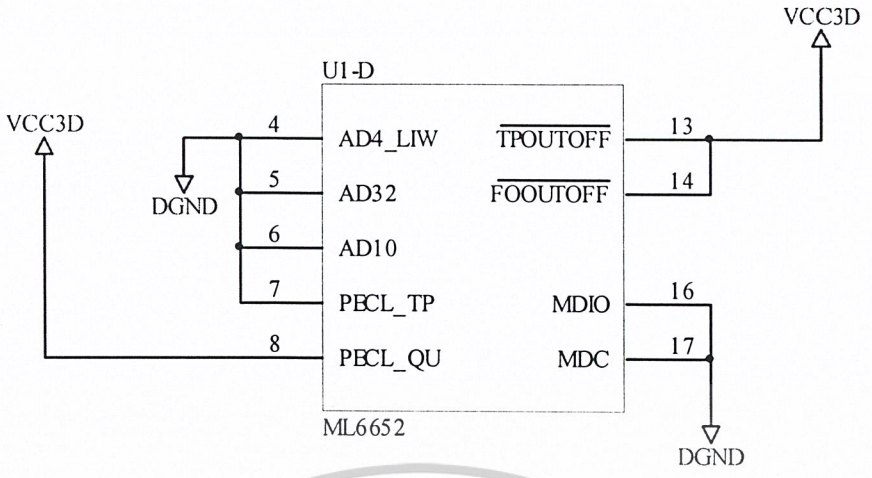
Mode	Operating Summary	Speed Voltage	Duplex Voltage
Forced 10	10Mbps data rate only available. The duplex mode is selected by the link partner.	0	N/A
Forced 100	10Mbps data rate only available. The duplex mode is selected by the link partner.	VCC	N/A
Non-Transparent Half-Duplex	Only Half-Duplex mode is advertised. Both 10 and 100mbps data rate equivalent to the technology present at the fiber optic input interface is advertised.	VCC/2	0
Non-Transparent	FLP Bursts are generate. Both Half- Duplex and Full-Duplex modes are advertised. Both 10 and 100mbps data rate equivalent to the technology present at the fiber optic input interface is advertised.	VCC/2	VCC
Transparent	Standard Auto-Negotiation Sub-layer 10Mbps, 100Mbps and Auto-Negotiation far end link partner signaling available.	VCC/2	VCC/2

ในส่วนนี้ได้ทำการเลือกแบบ Transparent โดยการกำหนดสัญญาณไฟให้ขา SPEED และ DUPLEX เป็นแบบ 1/2 ของ VCC ซึ่งก็คือให้ชุดแปลงสัญญาณตรวจสอบเองว่าสัญญาณจากระบบเครือข่ายเป็นแบบใด

3.5.2 ส่วนของการกำหนดการเชื่อมต่อกับสายสัญญาณ

ส่วนกำหนดสัญญาณควบคุมเพื่อกำหนดให้การแปลงสัญญาณเป็นไปตามต้องการคือส่วนแรก เป็นส่วนกำหนดการเชื่อมต่อกับเส้นใยนำแสงโดยสัญญาณควบคุมจะต่อกับขา 8 ของชิป ML6652 ซึ่งกำหนดได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงส่วนของการกำหนดสัญญาณควบคุม

3.5.2.1 การกำหนดการเชื่อมต่อกับเส้นใยนำแสง

ตารางที่ 3.6 แสดงการกำหนดสัญญาณควบคุม PECLQU

PECLQU Voltage	Interface Fiber Optic Input and Output	Fiber Optic Link Length 10BASE-T/100BASE-TX	Wavelength
0	Quantizer and LED Driver	2km/300m	850 nm
1/3 of VCC	PECL/LVPECL	PCB Traces	NA
2/3 of VCC	Quantizer and LED Driver	2km/2km	1300 nm
VCC	Quantizer and LED Driver	300m/300m	850nm/1300 nm

ในส่วนนี้ได้ทำการเลือกแบบ 2/3 ของ VCC ซึ่งก็คือกำหนดการเชื่อมต่อกับเส้นใยนำแสงโดยการส่งสัญญาณออกสู่เส้นใยนำแสงใช้แอลอีดีไดร์ฟเวอร์ (LED Driver) ส่วนภาครับสัญญาณจากเส้นใยนำแสงใช้วงจรควอนไทต์เซอร์ (Quantizer) โดยความยาวคลื่นของสัญญาณแสงคือ 1300 นาโนเมตร จะทำให้เส้นใยนำแสงสามารถส่งได้ไกลถึง 2 กิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2.2 การกำหนดการเชื่อมต่อกับสายคู่เกลียวบิด

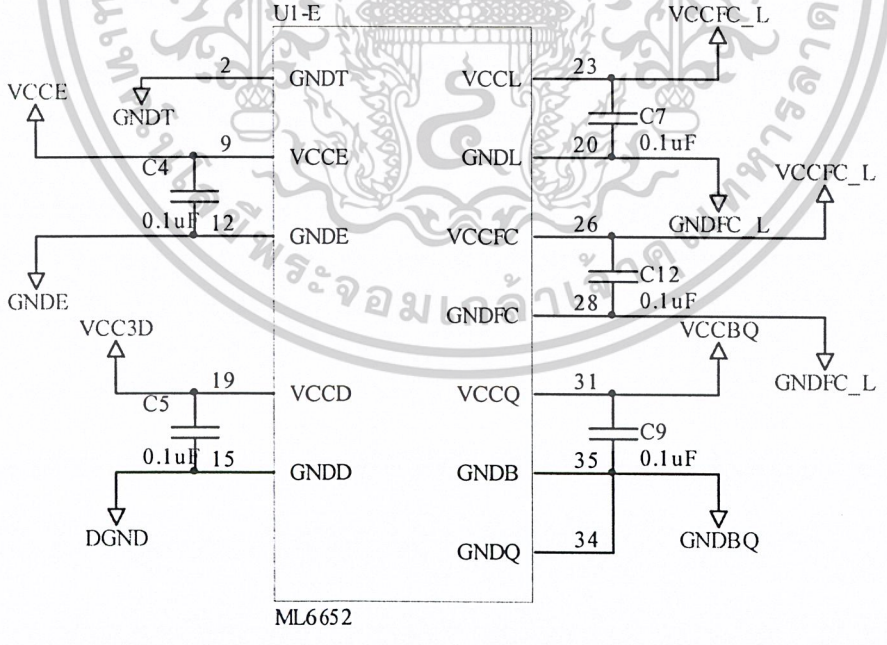
ตารางที่ 3.7 แสดงการกำหนดสัญญาณควบคุม PECLTP

PECLTP Voltage	Interface Input and Output	Copper Length	Output Current
0	Twisted Pair	10/100BASE Standard	Standard
1/3 of VCC	PECL/LVPECL	PCB Traces	NA
2/3 of VCC	Twisted Pair	PCB Traces	Low
VCC	Twisted Pair	10m	Standard

ส่วนนี้ทำการเลือกแบบ 0 ซึ่งก็คือกำหนดให้การเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายใช้สายคู่เกลียวบิด ความยาวและกระแสขาออกมีค่าตามมาตรฐานของระบบเครือข่ายที่เชื่อมต่อด้วย

3.6 ภาควงจรจ่ายไฟและวงจรแหล่งจ่ายไฟ

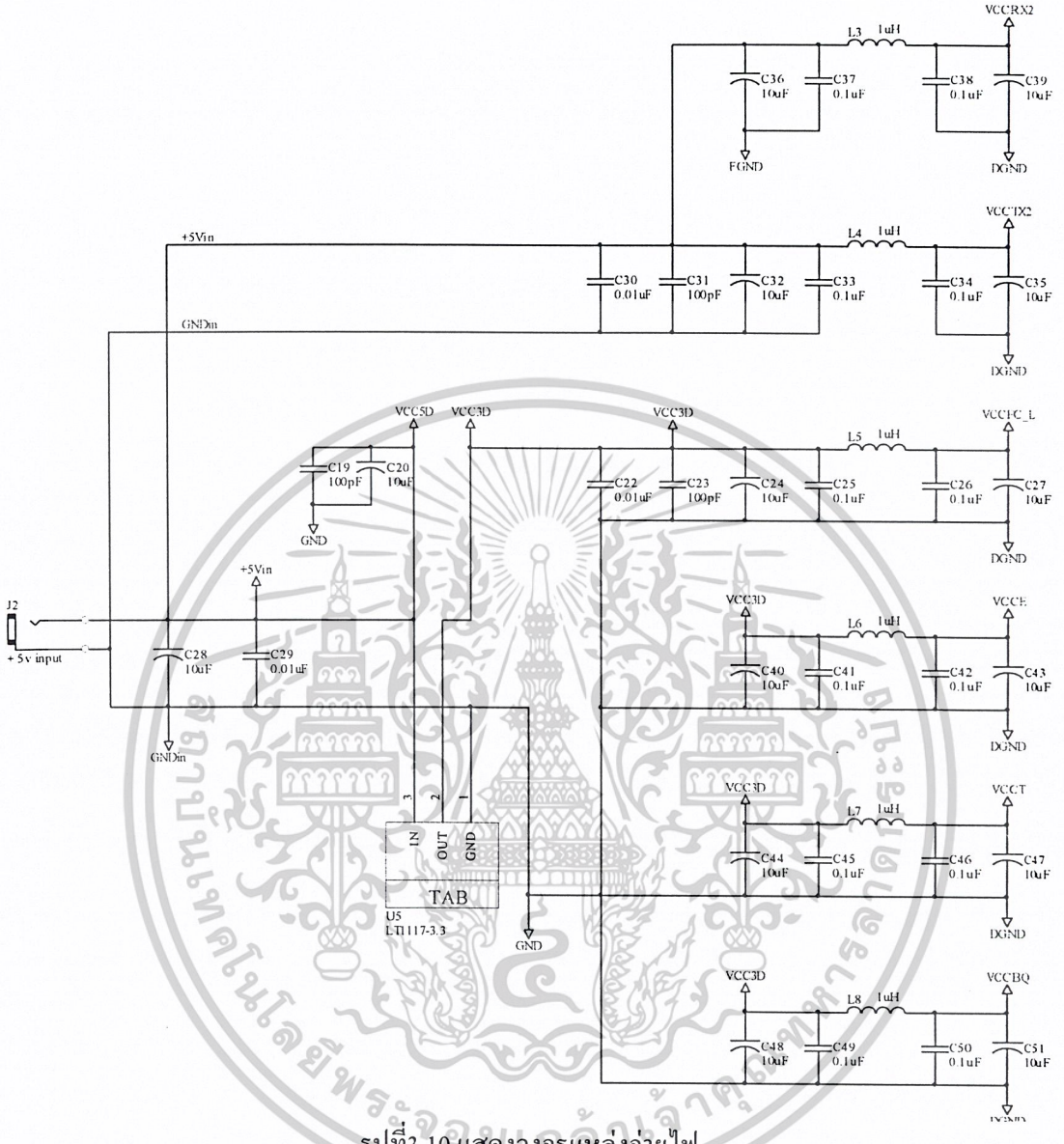
วงจรแปลงสัญญาณใช้ชิป ML6652 เป็นตัวประมวลผลซึ่งการจ่ายไฟให้จะต้องให้มีไฟเพียงพอต่อการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณ โดยลักษณะการเชื่อมต่อจะแสดงดังรูป



รูปที่ 3.9 แสดงการจ่ายไฟให้กับชุดแปลงสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

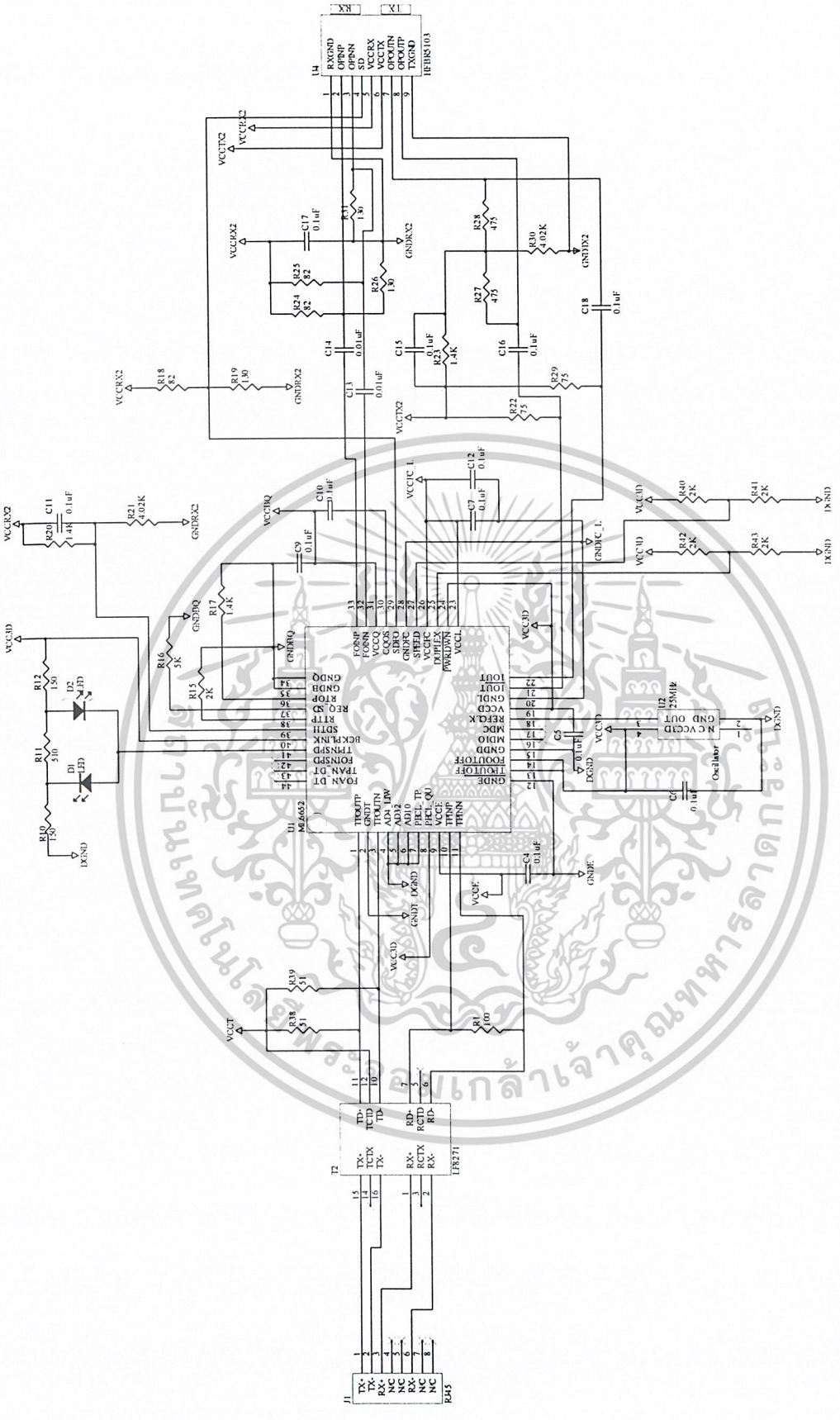
ดังนั้นการออกแบบแหล่งจ่ายไฟจึงต้องออกแบบให้มีการจ่ายไฟที่เพียงพอต่อความต้องการของวงจรแปลงสัญญาณ ซึ่งวงจรแสดงดังรูป



รูปที่3.10 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟ

ซึ่งแหล่งจ่ายไฟจะจ่ายไฟมี 2 ระดับคือระดับแรงดัน 3.3 โวลต์ สำหรับวงจรแปลงสัญญาณ และ 5 โวลต์ สำหรับวงจรแปลงสัญญาณแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



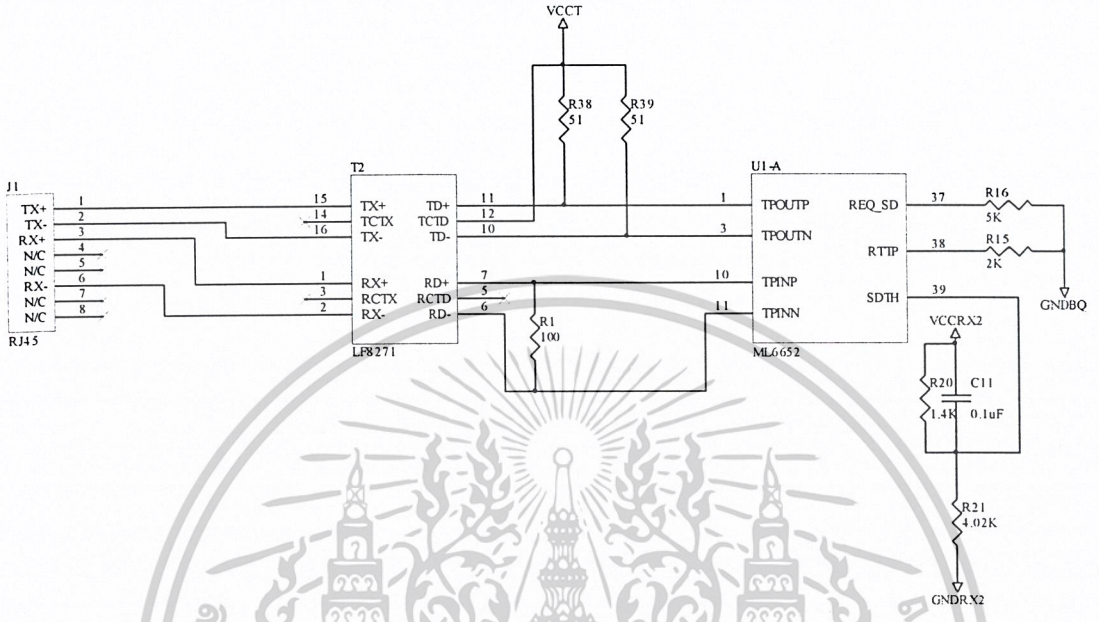
รูปที่ 3.11 แสดงรูปวงจรรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

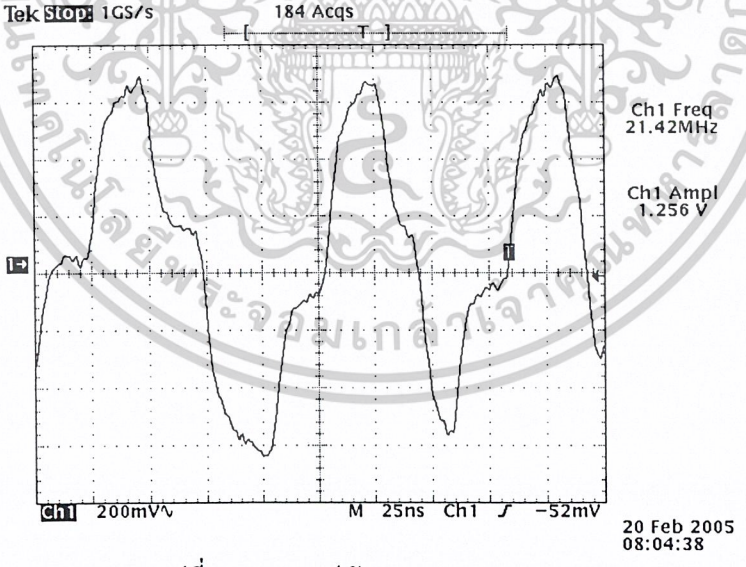
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองวงจรภาคเชื่อมต่อกับสายคู่เกลียวบิด



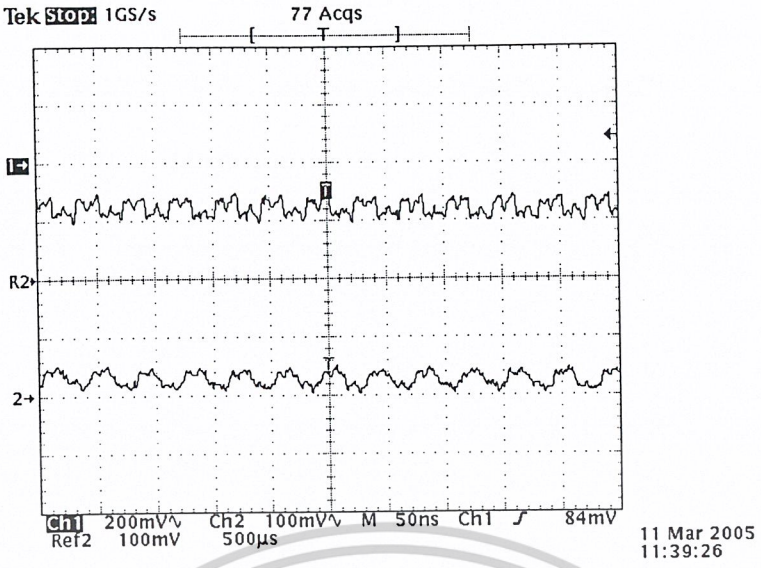
รูปที่ 4.1 แสดงวงจรภาคเชื่อมต่อกับสายคู่เกลียวบิด



รูปที่ 4.2 แสดงรูปสัญญาณ 100BASE-TX

โดยรูปสัญญาณ 100BASE-TX จะแสดงดังรูป โดยจะเป็นสัญญาณแบบ MLT-3 มีความถี่ที่วัดจากออสซิลโลสโคปแสดงออกมามีความถี่ 21.42MHz ซึ่งมีค่าเป็นไปตามลักษณะของสัญญาณ MLT-3 คือมีค่าไม่เกิน 41.6MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณ 10BASE-T ระหว่างขา RD+ และ RD-

สัญญาณทั้ง 2 จะแสดงส่วนกลับซึ่งกันและกันโดยความถี่จากการวัดอยู่ที่ 20MHz ซึ่งอยู่ในระดับสัญญาณมาตรฐานของระบบ 10BASE-T

ตารางที่ 4.1 แสดงผลของค่าที่วัดได้ของส่วนรับข้อมูลจากสายคู่เกลียวบิด

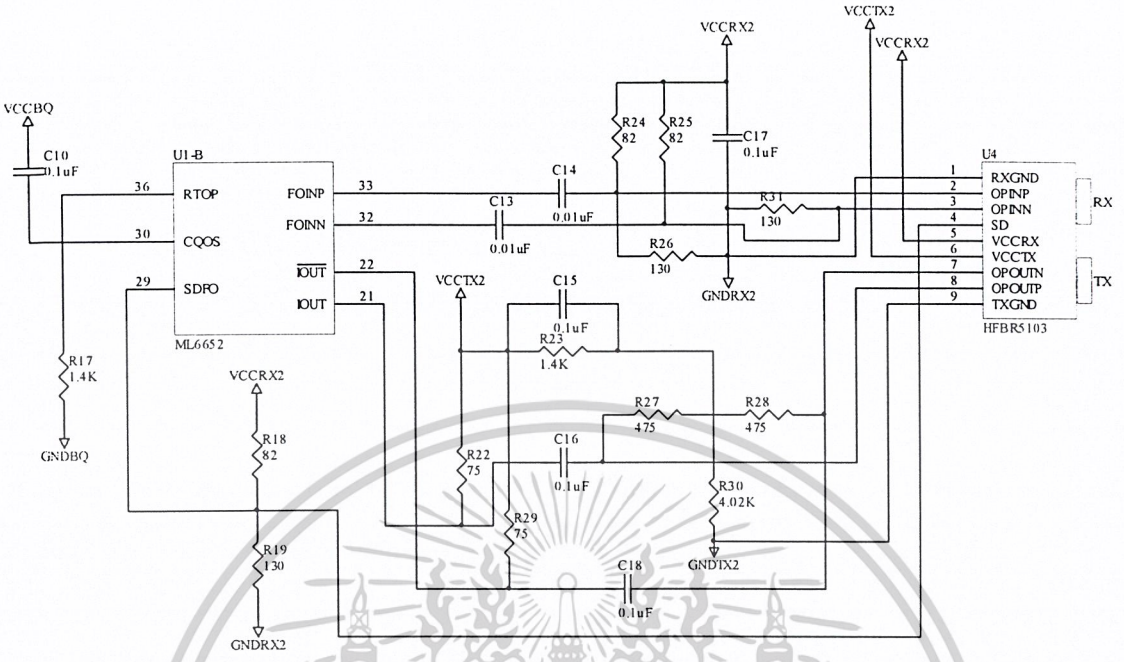
พารามิเตอร์	เงื่อนไข	ค่าที่วัดได้	หน่วย
Common-Mode voltage	-	2.4	V
Differential Input Resistance	ระหว่างขา RD+ , RD-	2	kΩ

ตารางที่ 4.2 แสดงผลของค่าที่วัดได้ของส่วนส่งข้อมูลสู่สายคู่เกลียวบิด

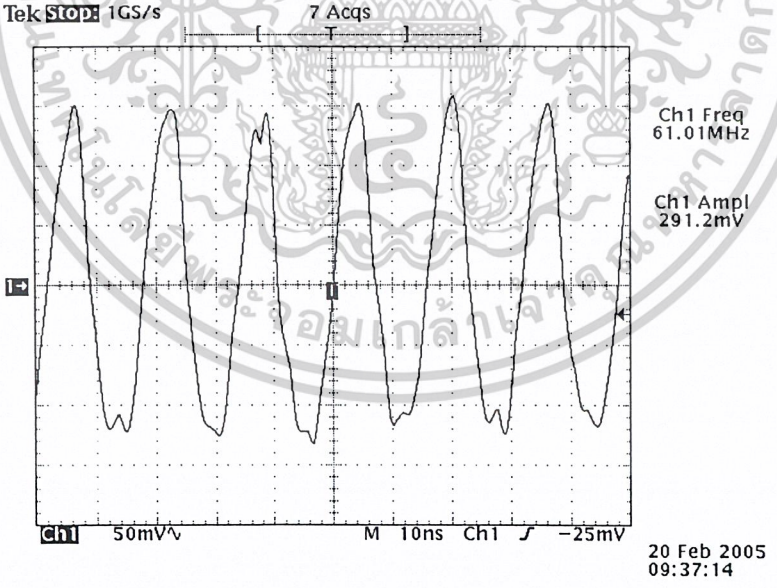
พารามิเตอร์	เงื่อนไข	ค่าที่วัดได้	หน่วย
Differential Peak Output Current	10BASE-T	40	mA
Differential Peak Output Current	100BASE-TX	40	mA
Off State Output Current	Twisted Pair Transmitter Turned Off	10	μ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองวงจรภาคเชื่อมต่อกับเส้นใยนำแสง

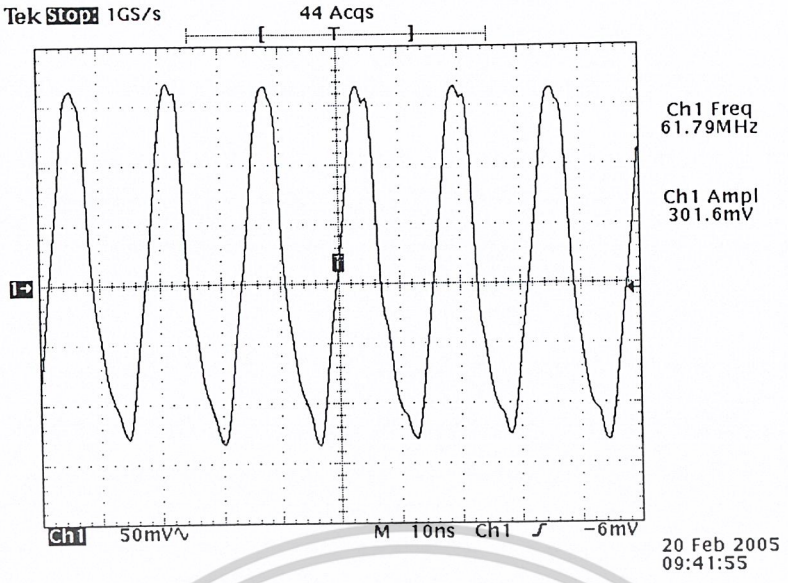


รูปที่ 4.4 แสดงวงจรภาคเชื่อมต่อกับเส้นใยนำแสง

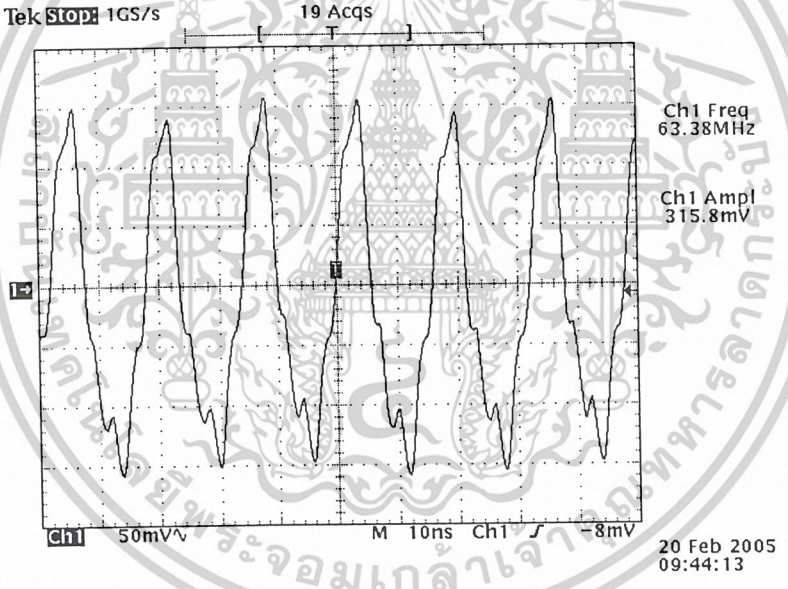


รูปที่ 4.5 แสดงรูปสัญญาณก่อนส่งออกทางเส้นใยแสงทางด้านบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

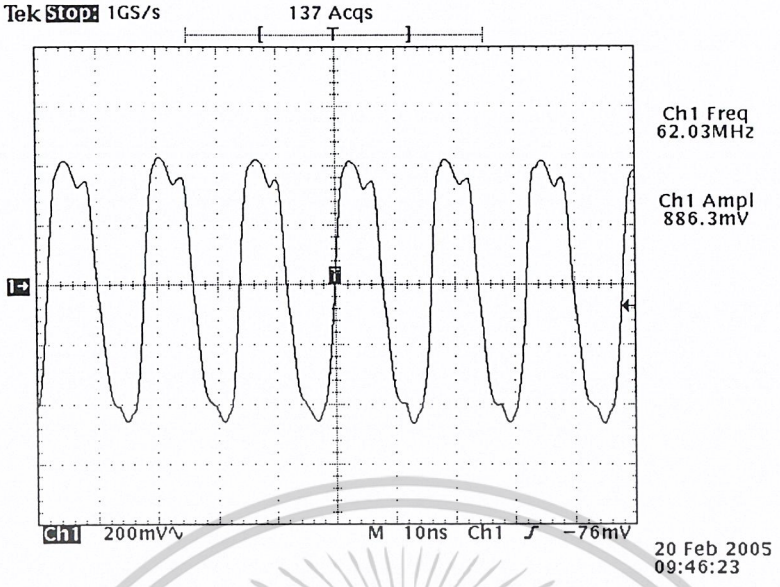


รูปที่ 4.6 แสดงรูปสัญญาณก่อนส่งออกทางเส้นใยแสงทางด้านลบ



รูปที่ 4.7 แสดงรูปสัญญาณด้านรับทางเส้นใยแสงทางด้านบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงรูปสัญญาณด้านรับทางเส้นใยแสงทางด้านลบ

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของค่าที่วัดได้ของส่วนส่งข้อมูลสู่เส้นใยนำแสง

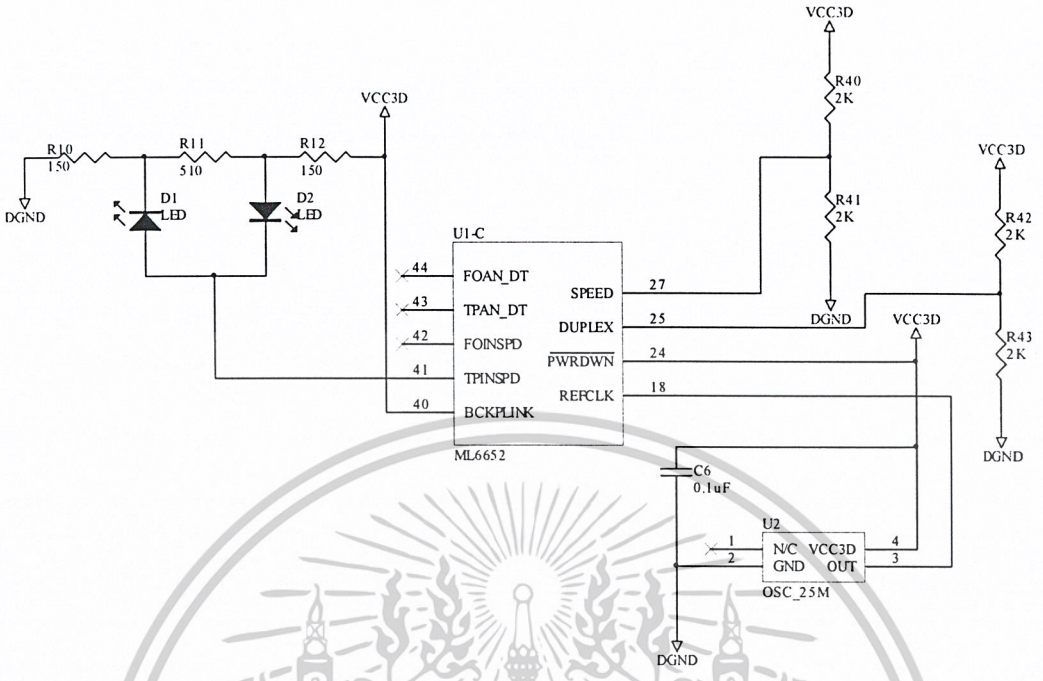
พารามิเตอร์	เงื่อนไข	ค่าที่วัดได้	หน่วย
High Light State Output Current	RTOP = 1.4 กิโลโอห์ม	0.714	mA
Low Light State Output Current	RTOP = 1.4 กิโลโอห์ม	0.1	mA
Off-State Output Current	Fiber Optic Transmitter Turned Off	10	μ A

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของค่าที่วัดได้ของส่วนรับข้อมูลจากเส้นใยนำแสง

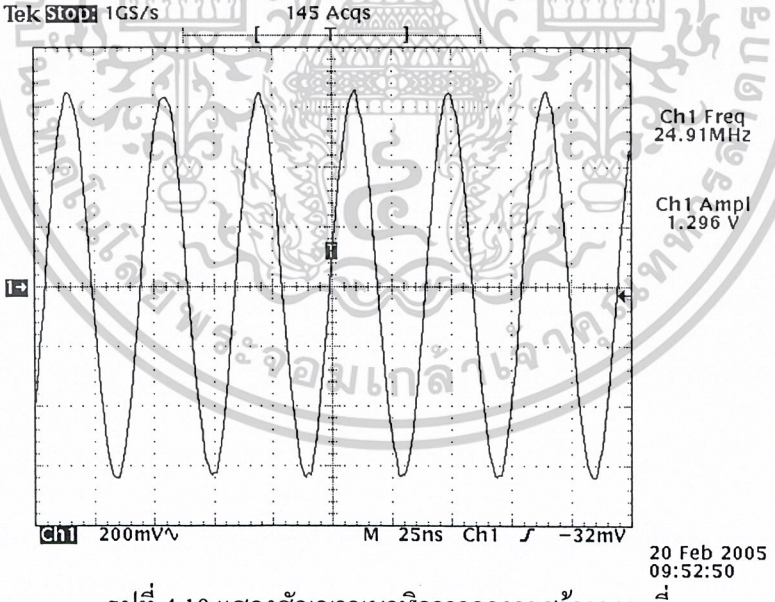
พารามิเตอร์	เงื่อนไข	ค่าที่วัดได้	หน่วย
Common-Mode Voltage	-	2.3	V
Differential Input Resistance	-	900	Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองวงจรภาคสัญญาณนาฬิกา



รูปที่ 4.9 แสดงส่วนของภาคสัญญาณนาฬิกาและสัญญาณไฟแสดงผล



รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณนาฬิกาจากวงจรสร้างความถี่

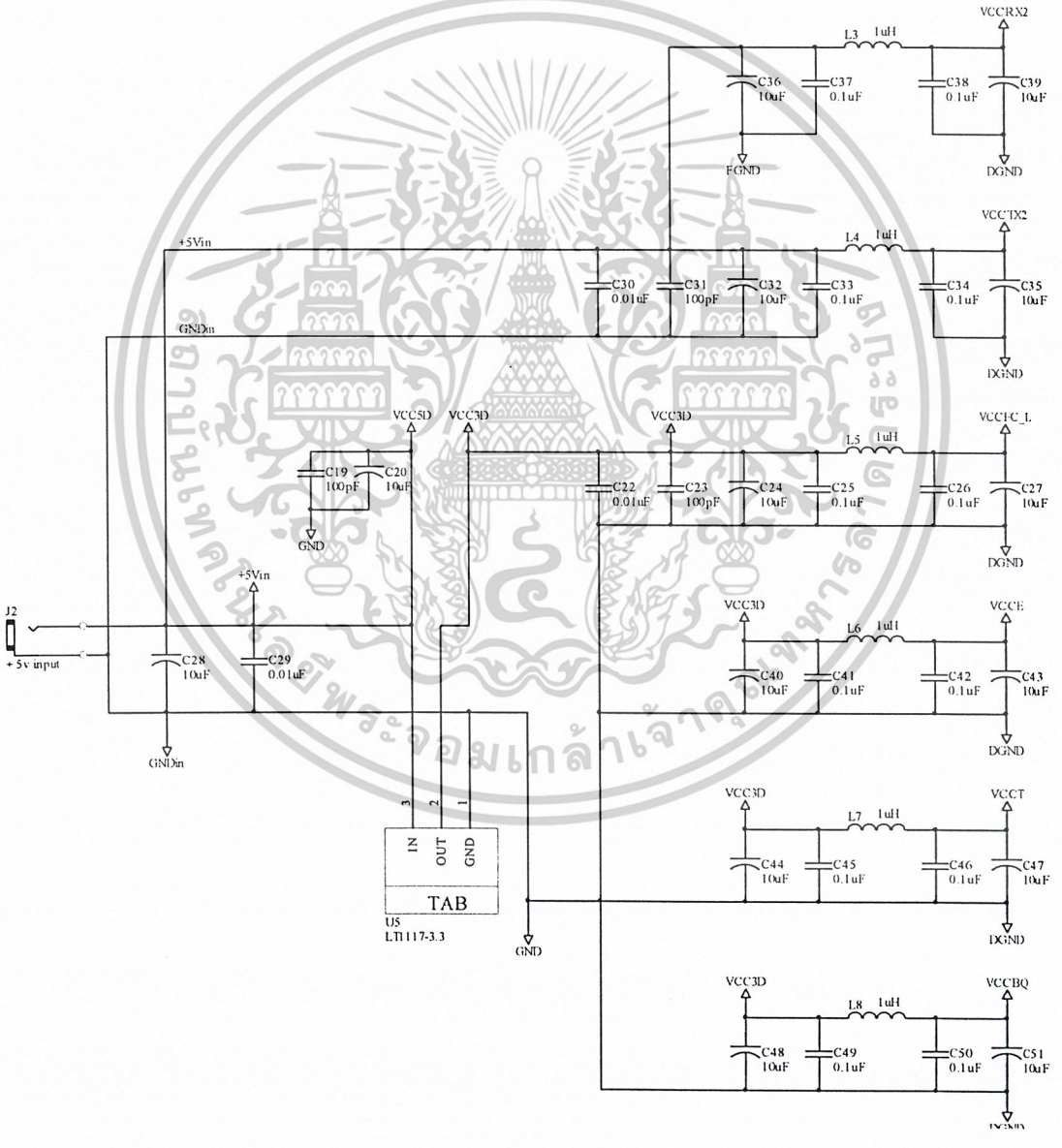
จากรูปสัญญาณนาฬิกาที่สร้างขึ้นมามีความถี่อยู่ที่ 25MHz ซึ่งเป็นไปตามที่ชุดแปลงสัญญาณต้องการคือที่ความถี่ 25MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงสถานะ LED แสดงผลส่วนสัญญาณเข้าจากสายคู่เกลียวบิด

พารามิเตอร์	สถานะ LED ที่ต้องการ		สถานะ LED ที่แสดง		ระดับแรงดันคร่อม LED
	D1	D2	D1	D2	
10BASE-T	off	on	off	on	2.1V
100BASE-TX	on	off	on	Off	2.8V

4.4 ผลการทดลองวงจรภาคจ่ายไฟ

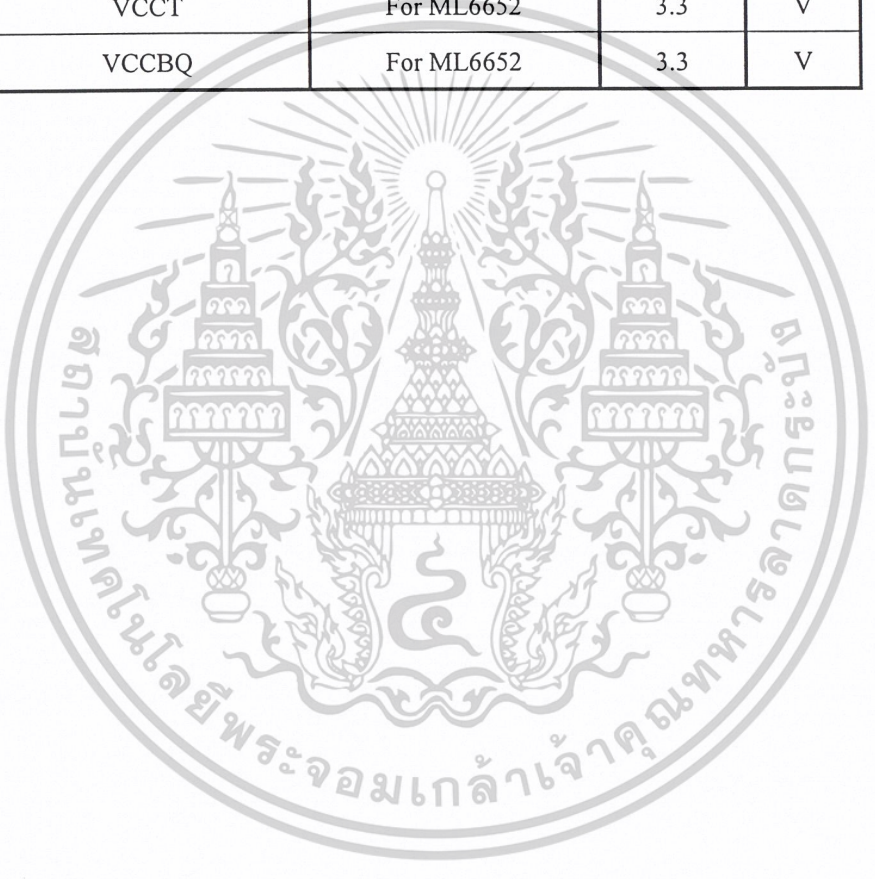


รูปที่ 4.11 แสดงวงจรภาคจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงระดับแรงดันที่วัดได้จากแหล่งจ่ายไฟ

พารามิเตอร์	เงื่อนไข	ค่าที่วัดได้	หน่วย
VCC5D	-	5	V
VCC3D	For ML6652 and Other	3.3	V
VCCTX2	for HFBR5103	5	V
VCCRX2	for HFBR5103	5	V
VCCFC_L	For ML6652	3.3	V
VCCE	For ML6652	3.3	V
VCCT	For ML6652	3.3	V
VCCBQ	For ML6652	3.3	V



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และบทสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงงานนี้เป็นการทดลองการสื่อสารระหว่างเครือข่ายคอมพิวเตอร์ผ่านเส้นใยนำแสงโดยทำการสร้างชุดที่เรียกว่า Media Converter ขึ้นมา 2 เครื่อง โดยทั้ง 2 เครื่องสามารถรับและส่งสัญญาณได้ในตัว ซึ่งเหตุที่ต้องสร้าง 2 เครื่องก็เพราะว่าให้สามารถทดสอบการสื่อสารถึงกันได้ง่ายขึ้น และสามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยขั้นตอนการทดสอบง่ายๆ คือการต่อ Media Converter แต่ละตัวเข้ากับคอมพิวเตอร์แต่ละตัว แล้วเชื่อมต่อทั้ง 2 เครื่องผ่านเส้นใยนำแสงและใช้งานตามปกติเหมือนกับการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 เครื่องผ่านสายคู่เกลียวบิด แต่ได้ผลดีกว่าในเรื่องระยะทางที่ไกลกว่าและอัตราการสูญเสียที่น้อยกว่า

โดยเริ่มจากการนำเอาสัญญาณมาจากระบบเครือข่ายเดิมที่มีการเชื่อมต่อผ่านสายคู่เกลียวบิดมาเชื่อต่อเข้ากับ Media converter ผ่านพอร์ต RJ-45 และแปลงสัญญาณให้มีระดับพอเหมาะแล้วส่งเข้าสู่ชุดแปลงสัญญาณซึ่งเป็นหัวใจสำคัญ โดยใช้ชิป ML6652 เป็นตัวประมวลผล จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งออกไปและถูกปรับระดับให้พอเหมาะเพื่อส่งเข้าสู่ชุดแปลงสัญญาณไปเป็นสัญญาณแสงโดยใช้ LED ในโมดูลของ HFBR5103 ที่ใช้ความยาวคลื่น 1300 nm

ภาครับสัญญาณจากเส้นใยนำแสงจะถูกรับเข้ามาผ่านทางโมดูล HFBR5103 ผ่านออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าและถูกปรับแต่งให้พอเหมาะเพื่อส่งเข้าไปประมวลผลที่ชุดแปลงสัญญาณเพื่อให้ได้สัญญาณที่เหมาะสมกับรูปแบบของเครือข่ายที่เชื่อมต่ออยู่ซึ่งก็ส่งออกที่พอร์ต RJ-45 เช่นกันกับตอนรับสัญญาณเข้ามา

5.2 บทวิจารณ์

ปัญหาที่พบในโครงงานนี้คือ อุปกรณ์ที่ใช้ประมวลผลสัญญาณมีราคาแพงเป็นลักษณะชิปที่มีขนาดเล็กและหาซื้อยาก และส่วนของชุดรับส่งแสงก็มีราคาแพงและหาซื้อยากเช่นกัน รวมทั้งเกิดความเสียหายได้ง่าย นอกจากนี้สัญญาณนาฬิกาที่ใช้มีความถี่ค่อนข้างสูงมากจึงเกิดสัญญาณรบกวนขึ้นได้ง่าย ซึ่งมีผลทำให้การทดลองผิดเพี้ยนได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

[1] Donald G.Baker, "Fiber Optic Design and Applications" Prentice Hall, 1985

[2] Behrouz A. Forouzan, "Data Communication and Networking" 2nd McGraw-Hill, 2002

[3] ผศ. อภินันท์ มัณยานนท์, "การสื่อสารเส้นใยแสง" คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2538

[4] จตุชัย แพงจันทร์, "เจาะระบบ Network ฉบับสมบูรณ์" บริษัท ไอดีซี อินโฟ ดิสทริบิวเตอร์ เซ็นเตอร์ จำกัด, 2546

[5] ดร. พิพัฒน์ หิรัณย์วณิชชากร, "ระบบการสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์" บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2546

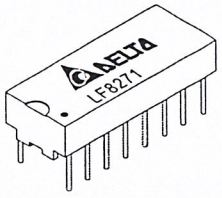
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAST ETHERNET 10BASE-T/100BASE-TX TRANSFORMER MODULES

Networking Components

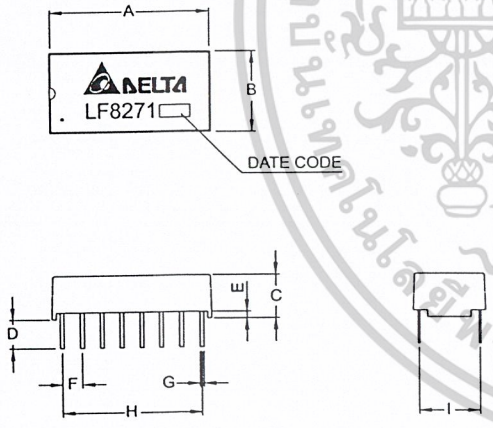


ELECTRICAL CHARACTERISTICS @25°C

Model	Insertion Loss (dB Max)	Return Loss (dB Min)				Cross Talk (dB Min)				Com. To Com. Rejection Ratio (dB Min)		Diff. To Com. Mode Rejection (dB Min)		Turns Ratio TX/RX (±5%)
	1~100 MHz	2~30 MHz	40 MHz	50 MHz	60~80 MHz	1 MHz	30 MHz	60 MHz	100 MHz	1~60 MHz	60~100 MHz	1~60 MHz	60~100 MHz	1 MHz
LF8271	-1.0	-18	-17	-14.5	-12	-65	-55	-45	-35	-40	-30	-40	-30	1:1 / 1:1
LF8279	-1.0	-18	-17	-14.5	-12	-65	-55	-45	-35	-40	-30	-40	-30	1:1 / 1:1

Rise Time & Fall Time @5.0ns (Max), Hi-Pot Test @60Sec. 1500Vrms, OCL @8mA DC Bias 350uH (Min)

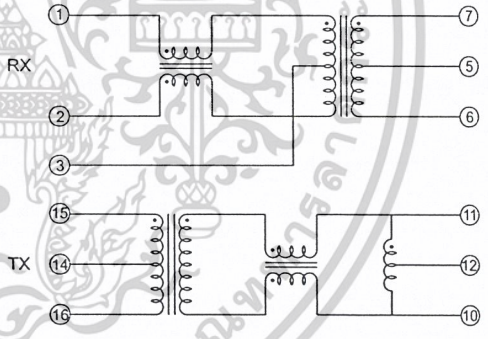
MECHANICAL CONSTRUCTION



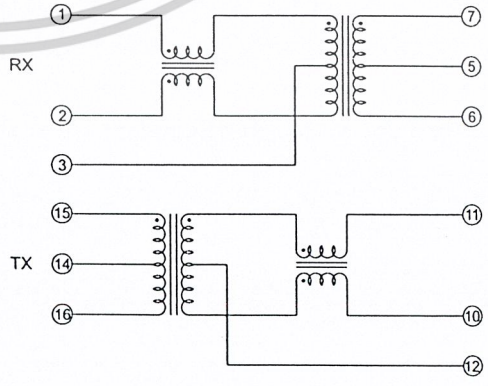
UNIT : mm / inch
A = 20.30 ±0.254 / 0.799 ±0.010
B = 10.00±0.254 / 0.394±0.010
C = 5.50 ±0.254 / 0.217± 0.010
D = 3.20±0.30 / 0.126±0.012
E = 1.50 / 0.059 (REF)
F = 2.54 / 0.100 (TYP)
G = 0.50±0.127 / 0.020 ±0.005
H = 17.78 / 0.700 (TYP)
I = 7.62 / 0.300 (TYP)

SCHEMATICS

LF8271



LF8279



DELTA ELECTRONICS, INC.

(TAOYUAN PLANT CPBG) 252, SAN YING ROAD, KUEI SAN INDUSTRIAL ZONE, TAOYUAN SHIEN, TAIWAN, R.O.C.
TEL: 886-3-3591968; FAX: 886-3-3591991
Http://www.deltaww.com/products/networking

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Micro Linear

ML6652

10/100Mbps Ethernet Fiber and Copper Media Converter with Auto-Negotiation

GENERAL DESCRIPTION

The ML6652 is a low cost multi-function / multi-standard single chip Media Converter that provides 10Mbps and 100Mbps signal conversion between twisted pair and fiber optic Ethernet technologies. The device supports conversion between:

10BASE-T and 10BASE-FL
100BASE-TX and 100BASE-FX/SX
100BASE-FX and 100BASE-SX
FLP Bursts and FLNP Bursts

The device supports 10Mbps and 100Mbps operating data rates with Auto-Negotiation using 850nm or 1300nm optics. One or both of the fiber optic and twisted pair interfaces can be interfaced to industry standard miniature fiber optic components or Physical Media Dependent (PMD) modules using Positive Emitter Coupled Logic/Low Voltage Positive Emitter Coupled Logic (PECL/LVPECL) compatible modes. Support of other wavelengths is possible using the PECL/LVPECL interface.

APPLICATIONS

- Single/Multi Port 10/100 Auto-Negotiating Media Converters
- Single/Multi Port 100BASE-FX/SX to100BASE-TX Media Converters
- Single/Multi Port 10BASE-FL to 10BASE-T Media Converters
- Single/Multi Mode Fiber Converters
- Fiber Optic Front-End for Network Interface Cards (NICs), Repeaters, Bridges, Hubs and Switches
- Fiber-To-The-Desk/Building/Factory Floor as well as Home Connectivity Gateway/Demarcation Products
- Redundant Link Converters and Wavelength Converters

FEATURES

- Complete implementation of fiber optic and twisted pair media interface
- Supports ISO/IEC 8802.3, IEEE 802.3 and TIA/EIA-785 Industry Standards, including full Auto-Negotiation for twisted pair and fiber optic media
- 850nm, 1300nm miniature fiber optic components and PMD modules
- Supports 1:1 receiver/transmitter transformer ratio for twisted pair
- Low latency
- Integrated voltage and current references
- Integrated twisted pair output wave shaping eliminates external filtering
- Integrated twisted pair 10BASE-T input filter and 100BASE-TX equalizer with baseline wander correction circuit
- Serial Management Interface
- Full and Half Duplex with Auto-Negotiation
- Integrated LED Driver
- Integrated Data Quantizer
- Small 44-Pin TQFP and LPCC/QFN
- Low 3.3V power supply
- Integrated Link Integrity Warning (LIW)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE OF CONTENTS

General Description 1
Features 1
Applications 1
Warranty Information 2
Block Diagram 3
Pin Configuration 4
Pin Descriptions 4
General Description 13
Functional Description 14
Device Configuration 14
Default Power Configuration 14
Serial Management Interface 14
Speed Selection 15
Operating Modes 16
Transparent Mode 18
Fiber Optic Input/Output Interface 18
Power Down Mode 19
Loopback Mode 19
Scrambler/Descrambler 19
Output Off Mode 19
Backup Link Mode 19
LED Interface 20
Control Registers 21
Status Registers 23
Electrical Characteristics 24
Physical Dimensions 28
Order Information 28

WARRANTY

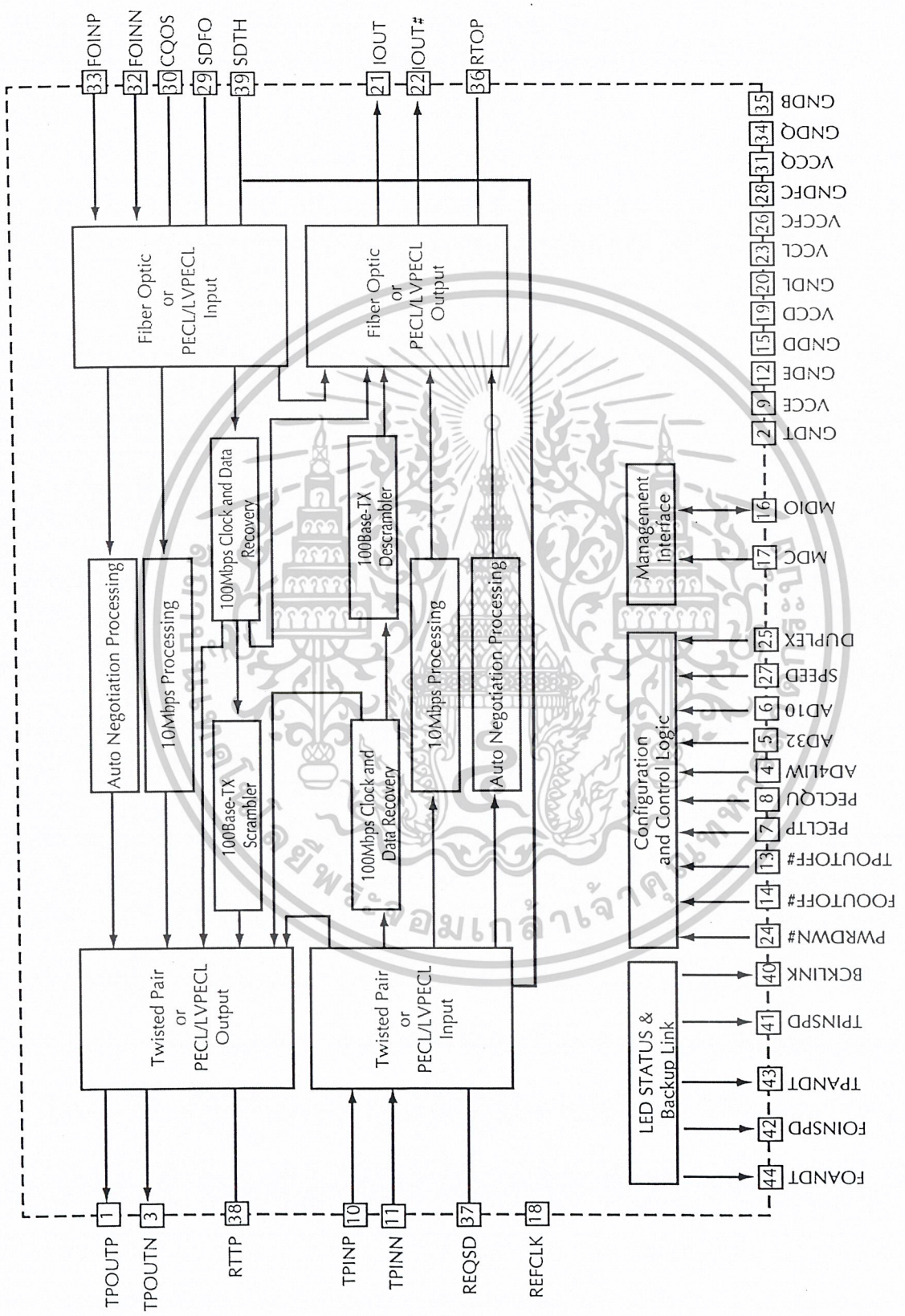
Micro Linear makes no representations or warranties with respect to the accuracy, utility, or completeness of the contents of this publication and reserves the right to make changes to specifications and product descriptions at any time without notice. No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any patents or other intellectual property rights is granted by this document. The circuits contained in this document are offered as possible applications only. Particular uses or applications may invalidate some of the specifications and/or product descriptions contained herein. The customer is urged to perform its own engineering review before deciding on a particular application. Micro Linear assumes no liability whatsoever, and disclaims any express or implied warranty, relating to sale and/or use of Micro Linear products including liability or warranties relating to merchantability, fitness for a particular purpose, or infringement of any intellectual property right. Micro Linear products are not designed for use in medical, life saving, or life sustaining applications. If this document is "Advance", its contents describe a Micro Linear product that is currently under development. All detailed specifications including pinouts and electrical specifications may be changed without notice. If this document is "Preliminary", its contents are based on early silicon measurements. Typical data is representative of the product but is subject to change without notice. Pinout and mechanical dimensions are final. Preliminary documents supersede all Advance documents and all previous Preliminary versions. If this document is "Final", its contents are based on a characterized product, and it is believed to be accurate at the time of publication. Final Data Sheets supersede all previously published versions. This document is Final.

© 2004 Micro Linear Corporation. All rights reserved. All other trademarks are the property of their respective owners.

Products described herein may be covered by one or more of the following U.S. patents: 4,897,611; 4,964,026; 5,027,116; 5,281,862; 5,283,483; 5,418,502; 5,508,570; 5,510,727; 5,523,940; 5,546,017; 5,559,470; 5,565,761; 5,592,128; 5,594,376; 5,652,479; 5,661,427; 5,663,874; 5,672,959; 5,689,167; 5,714,897; 5,717,798; 5,742,151; 5,747,977; 5,754,012; 5,757,174; 5,767,653; 5,777,514; 5,793,168; 5,798,635; 5,804,950; 5,808,455; 5,811,999; 5,818,207; 5,818,669; 5,825,165; 5,825,223; 5,838,723; 5.844,378; 5,844,941. Japan: 2,598,946; 2,619,299; 2,704,176; 2,821,714. Other patents are pending.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

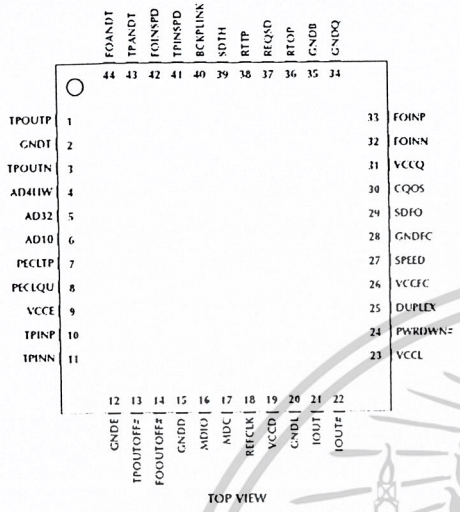
BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

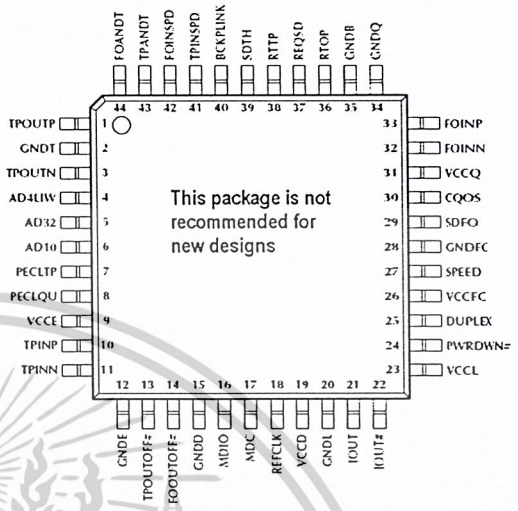
PIN CONFIGURATION

ML6652
44-Pin LPCC/QFN (M44-7)



TOP VIEW

ML6652
44-Pin TQFP (H44-10)



TOP VIEW

PIN DESCRIPTIONS

Signal names followed by "#" indicate active low input.

Pin No.	Signal Name	I/O	Description
CONFIGURATION			
4	AD4LIW	I	Sets the value of the Physical Layer (PHY) address bit 4 for accessing the Serial Management Interface, and determines if the Link Integrity Warning (LIW) function is enabled or disabled. The Link Integrity Warning (LIW) function can only be enabled when only one SPEED is available through setting of SPEED (pin 27) and/or management registers. When LIW is enabled and the input link is down at one interface to the Media Converter, the transmitter output on that interface is turned off for about 425ms every 3.8 seconds. It applies to both network interfaces and both data rates. If the link at the other interface to the Media Converter is also down, there is no output. The LIW function causes the Link Up indicator of the link partner to blink. Note: this pin is typically read a few microseconds after power-up, if it is tied to supplies that do not track the ML6652 power improper results will occur. Use VCCD (pin 19) as the pull up point, do not add decoupling capacitors to this input pin (without thoroughly understanding your PCB layout dynamics the safest course is to make short connections and do not add decoupling capacitors to this input pin).
5	AD32	I	Sets the value of the PHY address bits 3 and 2 for accessing the Serial Management Interface. Note: this pin is typically read a few microseconds after power-up, if it is tied to supplies that do not track the ML6652 power improper results will occur. Use VCCD (pin 19) as the pull up point, do not add decoupling capacitors to this input pin (without thoroughly understanding your PCB layout dynamics the safest course is to make short connections and do not add decoupling capacitors to this input pin).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN DESCRIPTIONS (continued)

Pin No.	Signal Name	I/O	Description
6	AD10	I	Sets the value of the PHY address bits 1 and 0 for accessing the Serial Management Interface. Note: this pin is typically read a few microseconds after power-up, if it is tied to supplies that do not track the ML6652 power improper results will occur. Use VCCD (pin 19) as the pull up point, do not add decoupling capacitors to this input pin (without thoroughly understanding your PCB layout dynamics the safest course is to make short connections and do not add decoupling capacitors to this input pin).

Pin Name	AD4LIW		AD32		AD10	
Input Level	LIW Function	PHYAD4 Bit	PHYAD3 Bit	PHYAD2 Bit	PHYAD1 Bit	PHYAD0 Bit
0	Disabled	0	0	0	0	0
1/3 of VCC	Enabled	0	1	0	1	0
2/3 of VCC	Enabled	1	1	1	1	1
VCC	Disabled	1	0	1	0	1

Table 1.

7	PECLTP	I	The copper interface is selected as shown in Table 2. When twisted pair interface is selected, the scrambler and descrambler are enabled by default and can be disabled with a management register bit. When using twisted pair interface, this pin also defines the maximum supported link distance. When the 10 meters maximum link length is selected, the input is not equalized before being sliced. Note: this pin is typically read a few microseconds after power-up, if it is tied to supplies that do not track the ML6652 power improper results will occur. Use VCCD (pin 19) as the pull up point, do not add decoupling capacitors to this input pin (without thoroughly understanding your PCB layout dynamics the safest course is to make short connections and do not add decoupling capacitors to this input pin).

PECLTP Voltage	Interfaces at TPINP/TPINN and TPOUTP/TPOUTN	PECLTP <30.3> Default	Copper Length	SHORTTP <30.2> Default	Output Current	LOWITPOUT <30.4> Default
0	Twisted Pair	0	100BASE-TX Standard	0	Standard	0
1/3 of VCC	PECL/LVPECL	1	PCB Traces	0	NA	0
2/3 of VCC	Twisted Pair	0	PCB Traces	1	Low	1
VCC	Twisted Pair	0	10m	1	Standard	0

Table 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN DESCRIPTIONS (continued)

Pin No.	Signal Name	I/O	Description
8	PECLQU	I	The fiber interface is selected as shown in Table 3. When using an LED driver and fiber optic receiver, this pin also defines the maximum supported link distance. When the 300m maximum link length is selected, the voltage thresholds for Signal Detect are increased.

PECLQU Voltage	Interfaces at FOINP/FOINN and IOUT/IOUT#	PECLQU <30.7> Default	Fiber Optic Link Length 10BASE/100BASE	SHORTFO <30.5> Default	Wavelength	LONGWL <30.6> Default
0	Quantizer andLED Driver	0	2Km/300m	0	850nm	0
1/3 of VCC	PECL/LVPECL	1	PCB Traces	0	NA	0
2/3 of VCC	Quantizer and LED Driver	0	2Km/2Km	0	1300nm	1
VCC	Quantizer and LED Driver	0	300m/300m	1	850/1300nm	0

Table 3.

Note: The ML6652 fiber interface quantizer sensitivity can be adjusted via Register 30 bits 5, 6 and 7 to accomodate various cable lengths and signal intensity.

25	DUPLEX	I	This input can have one of three levels: VCC, VCC/2 or 0 Volts. This input has 80kΩ resistors internally connected to both VCC and Ground, generating VCC/2 at the input if left unconnected. Settings defined by the DUPLEX power up preset pin can be over written by the management interface. At power up the DUPLEX pin causes the following default values to be written to management register 30. Note: this pin is typically read a few microseconds after power-up, if it is tied to supplies that do not track the ML6652 power improper results will occur. Use VCCD (pin 19) as the pull up point, do not add decoupling capacitors to this input pin (without thoroughly understanding your PCB layout dynamics the safest course is to make short connections and do not add decoupling capacitors to this input pin).

DUPLEX Voltage	TRANSPARENT# <30.11> Default	ADVERTFD# <30.10> Default	ADVERTHD# <30.15> Default
0	1	1	0
VCC/2	0	0	0
VCC	1	0	0

Table 4.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN DESCRIPTIONS (continued)

Pin No.	Signal Name	I/O	Description
			DUPLEX and SPEED can be used concurrently to set the power up mode of the ML6652 see Tables 4 and 6. For Mode details see the General Description section of this data sheet.
27	SPEED	I	This input can have one of three levels: VCC, VCC/2, and 0Volts. The input has 80kΩ resistors internally connected to both VCC and Ground generating VCC/2 at the input, if left unconnected. Settings defined by the SPEED power up preset pin can be over written by the management interface. At power up the SPEED pin causes the following default values to be written to management register 30. Note: this pin is typically read a few microseconds after power-up. If it is tied to supplies that do not track the ML6652 power, improper results will occur. Use VCCD (pin 19) as the pull up point, do not add decoupling capacitors to this input pin (without thoroughly understanding your PCB layout dynamics the safest course is to make short connections and do not add decoupling capacitors to this input pin).

SPEED Voltage	DSBLAN <30.14> Default	SINGLESPEED <30.9> Default	SEL10Mbps <30.8> Default
0	1	1	1
VCC/2	0	0	0
VCC	1	1	0

Table 5.

Mode	Operating Summary	SPEED Voltage	DUPLEX Voltage
Forced 10	10Mbps data rate only available. The Duplex mode is selected by the link partner.	0	N/A
Forced 100	100Mbps data rate only available. The Duplex mode is selected by the link partner.	VCC	N/A
Non-Transparent Half-Duplex	Only the Half-Duplex mode is advertised. Both 10 and 100Mbps data rates are available. Only the data rate equivalent to the technology present at the fiber optic input interface is advertised.	VCC/2	0
Non-Transparent	FLP Bursts are generated. Both HalfDuplex and Full-Duplex modes are advertised. Both 10 and 100Mbps data rates are available. Only the data rate equivalent to the technology present at the fiber optic input interface is advertised.	VCC/2	VCC
Transparent	Standard Auto-Negotiation sub-layer 10Mbps, 100Mbps and Auto-Negotiation far end link partner signaling available.	VCC/2	VCC/2

Table 6.

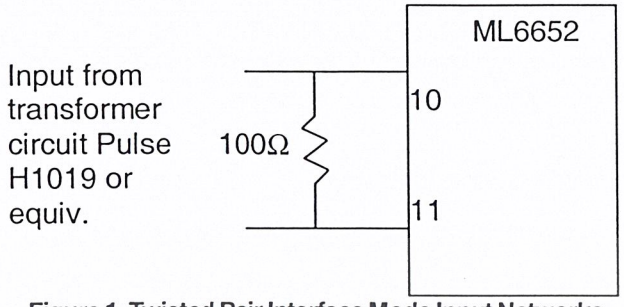
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN DESCRIPTIONS (continued)

Pin No.	Signal Name	I/O	Description
CONTROL			
13	TPOUTOFF#	I (CMOS)	Active low, the output stage of the twisted pair output is turned off. Contains an on-chip 80kΩ pull-up resister.
14	FOOUTOFF#	I (CMOS)	Active low, the output stage of the fiber optic output is turned off. Contains an on-chip 80kΩ pull-up resister.
24	PWRDWN#	I (CMOS)	Active low, all the circuits are powered down. Configuration pins are read and register bits are initialized 5µs (typ) after a rising edge of PWRDWN#. Contains an on-chip 80kΩ pull-up resister.
DATA SIGNAL INPUT/OUTPUT			
1	TPOUTP	O	The two operating modes available for these pins are selected with the configuration pin PECLTP (pin 7) or the configuration bit PECLTP <30.3>
3	TPOUTN	O	**Twisted Pair Interface Mode:** Transmit twisted pair positive and complementary outputs. These outputs form a differential current output pair that drives Multi Level Transition (MLT-3) waveforms into the network coupling transformer during 100Mbps mode, Manchester encoded 10BASE-T data or Normal Link Pulses (NLPs) during 10Mbps mode, and Fast Link Pulse (FLP) Bursts during Auto-Negotiation. TPOUTP and TPOUTN must have external pull up resistors to VCC (refer to description of RTTP pin) **PECL/LVPECL Compatible Interface Mode:** PECL/LVPECL interface positive and complementary outputs. These outputs form a differential current output pair that drives Non Return to Zero Inverted (NRZI) encoded 100BASE-FX or 100BASE-SX symbols during 100Mbps mode, Manchester encoded 10BASE-FL data or OPT_IDL during 10Mbps mode, and Fiber Link Negotiation Pulse (FLNP) Bursts during Auto-Negotiation. TPOUTP and TPOUTN must have external pull up resistors to VCC and be AC coupled to the inputs of a fiber optic PMD module (refer to description of RTTP pin). A resistor network may be needed to setup the common mode voltage at the input pins of the PMD module
38	RTTP	I	Twisted pair PECL/LVPECL compatible driver bias resistor. An external resistor connected between RTTP and ground sets a constant bias current for the differential output driver circuitry TPOUTP/TPOUTN. These output currents depend on the operating mode. The recommended external component values are: **Twisted Pair Mode:** 2kΩ, 1%, between RTTP and ground 50Ω, 1%, between TPOUTP and VCC 50Ω, 1%, between TPOUTN and VCC **PECL Compatible mode:** 2kΩ, 1%, between RTTP and ground Equivalent 62Ω between TPOUTP and VCC Equivalent 62Ω between TPOUTN and VCC Also AC coupled to the PMD inputs
10	TPINP	I	The two operating modes available for these pins are selected with the configuration pin PECLTP (Pin 7) or the configuration bit PECLTP <30.3>.
11	TPINN	I	**Twisted Pair Interface Mode:** Receive twisted pair positive and complementary inputs. These inputs form a differential input pair that receives 100BASE-TX, FLP Burst, or 10BASE-T signal from the network. The common mode voltage is set internally and the differential input resistance is about 2kΩ. The network termination must be added externally. It should contain a 100Ω resister between pin 10 and 11 as shown in Figure 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN DESCRIPTIONS (continued)

Pin No.	Signal Name	I/O	Description
			 Figure 1. Twisted Pair Interface Mode Input Networks
			PECL/LVPECL Compatible Interface Mode: PECL/LVPECL compatible interface positive and complementary inputs. These inputs form a differential input pair that receives 100BASE-FX, 100BASE-SX, FLNP Bursts, or 10BASE-FL signal from a fiber optic PMD. The PMD outputs should be AC coupled to these inputs with .1μF capacitors. The common mode voltage is set internally with ~1kΩ or so resistors from each input pin to an on-chip voltage reference. The positive output of the PMD (high during the high-light state) must connect to TPINP and the complementary output of the PMD must connect to TPINN
37	REQSD	I	The two operating modes available for this pin are selected with the configuration pin PECLTP or the configuration bit PECLTP <30.3> **Twisted Pair Interface Mode:** Equalizer bias resistor pin. An external resistor connected between this pin and ground sets internal currents that control the receiver's adaptive equalizer transfer function. The recommended resistor value is 5kΩ, 1% **PECL/LVPECL Compatible Interface Mode:** This input pin is connected to the Signal Detect (SD) output of a fiber optic PMD module. The voltage level at this pin is compared to the voltage level at pin SDTH to determine the logic value. If it is lower, then the input at TPINP/TPINN is rejected. If it is higher, then the input at TPINP/TPINN is passed to the internal circuits
39	SDTH	I	The voltage at this pin is a single ended PECL/LVPECL reference. Refer to description of SDFO and REQSD pins. This pin is not used if the TPINP/TPINN interface and the FOINP/FOINN are not setup for PECL/LVPECL compatible mode. In such a case, the SDTH pin should be set to VCC
21	IOUT	O	The two operating modes available for these pins are selected with the configuration pin PECLQU or the configuration bit PECLQU <30.7>
22	IOUT#	O	**Fiber Optic Interface Mode:** IOUT (pin 21) becomes the output connection to the cathode of an external fiber optic LED. The output data is NRZI encoded 100BASE-FX or 100BASE-SX symbols during 100Mbps mode, Manchester encoded 10BASE-FL data or OPT_IDL (10BASE-FL idle signal) during 10Mbps mode, and FLNP Bursts during Auto-Negotiation. IOUT# (pin 22) is optionally used to provide current peaking. If peaking is

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN DESCRIPTIONS (continued)

Pin No.	Signal Name	I/O	Description
			implemented, a 1kΩ off-chip resistor should be connected to ground and a 1nF capacitor connected to IOUT. These components determine the peaking current waveform. When peaking is not used, IOUT# should connect to VCC **PECL/LVPECL Compatible Interface Mode:** PECL/LVPECL interface positive and complementary outputs. These outputs form a differential current output pair that drives NRZI encoded 100BASE-SX or 100BASE-FX symbols during 100Mbps mode, Manchester encoded 10BASE-FL data or OPT_IDL during 10Mbps mode, and FLNP Bursts during Auto-Negotiation. IOUT and IOUT# are loaded with external resistors to VCC and AC coupled to the inputs of a fiber optic PMD module (refer to description of RTOP pin). A resistor network may be needed to setup the common mode voltage at the input pins of the PMD module
36	RTOP	O	Fiber optic LED or PECL/LVPECL driver bias resistor. An external resistor connected between RTOP and ground sets a constant bias current for the single ended LED driver or differential PECL/LVPECL driver circuitry. These output currents depend on the operating mode. The recommended external component values are: **Fiber Optic Interface mode: (1% resistors, +/- 10% currents)** Indicated is the current into pin IOUT during the High-Light state. 2.8kΩ between RTOP and ground for 50mA. 2kΩ between RTOP and ground for 70mA. 1.4kΩ between RTOP and ground for 100mA. **PECL/LVPECL Interface mode:** 1.4kΩ, 1%, between RTOP and ground for 10mA current. Equivalent 62Ω between IOUT and VCC. Equivalent 62Ω between IOUT# and VCC. Also AC coupled to PMD inputs
33	FOINP	I	The two operating modes available for these pins and are selected with the configuration pin PECLQU or the configuration bit PECLQU <30.7>
32	FOINN	I	**Fiber Optic Interface Mode:** Fiber optic quantizer positive and complementary inputs. FOINP is capacitively coupled to the output of a fiber optic receiver, while FOINN is capacitively coupled to the VCC of the fiber optic receiver. Recommended capacitor values: 10nF, 5%. FOINP voltage must be higher during the "high light" state than during the low-light state **PECL/LVPECL Compatible Interface Mode:** PECL/LVPECL interface positive and complementary inputs. These inputs form a differential input pair that receives 100BASE-FX, 100BASE-SX, FLNP Bursts, or 10BASE-FL signal from a fiber optic PMD. The PMD outputs are AC coupled to these inputs with 10nF, 5% capacitors. The common mode voltage is set internally with ~900Ω (or so) resistors from each input pin to an on-chip voltage reference. FOINP voltage must be higher during the "high light" state than during the "low light" state
30	CQOS		Data quantizer offset cancellation loop capacitor. An external capacitor between this pin and VCC determines the dominant pole of the offset cancellation feedback loop. The recommended value is .1μF, 10%. It is only required in "Fiber Optic Interface" mode.
29	SDFO	I	The two operating modes available for this pin are selected with the configuration pin PECLQU or the configuration bit PECLQU <30.7> **Fiber Optic Interface Mode:** This pin is not used and should be connected to VCC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN DESCRIPTIONS (continued)

Pin No.	Signal Name	I/O	Description
			PECL/LVPECL Compatible Interface Mode: This input pin is connected to the Signal Detect (SD) output of a fiber optic PMD. The voltage level at this pin is compared to the voltage level at pin SDTH to determine the logic value. If it is lower than the input at FOINP/FOINN is rejected. If it is higher than the input at FOINP/FOINN is passed to the internal circuits.
BACKUP LINK FUNCTION			
40	BCKPLINK	I/O	**INPUT MODE:** At power up, pin 40 (BCKPLINK) is read and the BCKPDIS register <28.1> is set appropriately. A high (VCC) at power up causes Register 28, Bit 1 (BCKPDIS) to be set high (1) disabling the Back-up link function. BCKPDIS can subsequently be over written by the management interface at any time. Note: This pin is typically read a few microseconds after power-up, if it is tied to supplies that do not track the ML6652 power, improper results may occur. For BCKPLINK, use VCCD (pin 19) as the pull up point, do not add decoupling capacitors to Pin 40 (without thoroughly understanding your PCB layout power up dynamics the safest course is to make short connections and do not add decoupling capacitors to this pin). **OUTPUT MODE:** After power-up, BCKPLINK is used as an output. It is Active high to enable a secondary fiber link via a second ML6652 device (see Functional Description, Backup Link Mode in this data sheet for details). Use this function in forced 100Mbps mode, non loopback only
LED STATUS			
41	TPINSPD	O	This output goes high to indicate that a 100Mbps signal is present at the TPINP/TPINN interface, and it goes low to indicate that a 10Mbps signal is present at the TPINP/TPINN interface. The signal can be idle or packets. This pin is set to high impedance otherwise.
42	FOINSPD	O	This output goes high to indicate that a 100Mbps signal is present at the FOINP/FOINN interface, and it goes low to indicate that a 10Mbps signal is present at the FOINP/FOINN interface. The signal can be idle or packets. This pin is set to high impedance otherwise.
43	TPANDT	O	When TPINSPD is in the high impedance state, no 10 or 100Mbps signal at TPINP/TPINN, the TPANDT LED pulls low while receiving Auto-Negotiation signal at the TPINP/TPINN interface. When TPINSPD is not in the high impedance state, the TPANDT pin pulls low to indicate that a data packet is being detected at the TPINP/TPINN interface. When a data packet is indicated, the pulse width at TPANDT is stretched to a minimum of 1.3 to 2.7ms to improve visibility. In any other case this pin is in high impedance state.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN DESCRIPTIONS (continued)

Pin No.	Signal Name	I/O	Description
LED STATUS (CONTINUED)			
44	FOANDT	O	When FOINSPD is in the high impedance state, no 10 or 100Mbps signal at FOINP/FOINN, the FOANDT LED pulls low while receiving Auto-Negotiation signal at the FOINP/FOINN interface. When FOINSPD is not in the high impedance state, the FOANDT pin pulls low to indicate that a data packet is being detected at the FOINP/FOINN interface. When a data packet is indicated, the pulse width at FOANDT is stretched to a minimum of 1.3 to 2.7ms to improve visibility. In any other case this pin is in high impedance state.
MANAGEMENT INTERFACE			
16	MDIO		Management data TTL compatible input/output pin. Connect to ground if unused
17	MDC		Management clock TTL input. The maximum frequency can be 12.5MHz instead of the 2.5MHz limit of IEEE 802.3. Connect to ground if unused
REFERENCE CLOCK			
18	REFCLK		25MHz Reference Clock CMOS input. This clock is used for internal digital logic, and as a reference for the PLLs.
POWER AND GROUND			
2	GNDT		Ground for the twisted pair driver output stage.
12	GNDE		Ground for the equalizer, one PLL and part of the descrambler and twisted pair driver.
15	GNDD		Ground for CMOS noisy circuits.
20	GNDL		Ground for the fiber optic LED driver output stage.
28	GNDFC		Ground for one PLL, part of the scrambler, fiber optic LED driver, and quantizer.
34	GNDQ		Ground for the quantizer and central bias.
35	GNDB		Ground for part of the central biasing.
9	VCCE		Power supply for the equalizer, one PLL and part of the descrambler and twisted pair driver.
19	VCCD		Power supply for CMOS noisy circuits.
23	VCCL		Power supply for the fiber optic LED driver output stage.
26	VCCFC		Power supply for one PLL, part of the scrambler, fiber optic LED driver, and quantizer.
31	VCCQ		Power supply for the quantizer and central bias.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Agilent HFBR-5103/-5103T 1300 nm 2000 m HFBR-5103A/-5103AT/-5103P/-5103PE FDDI, 100 Mbps ATM, and Fast Ethernet Transceivers in Low Cost 1x9 Package Style

Data Sheet

Description

The HFBR-5100 family of transceivers from Agilent Technologies provide the system designer with products to implement a range of FDDI and ATM (Asynchronous Transfer Mode) designs at the 100 Mbps/ 125 MBd rate.

The transceivers are all supplied in the new industry standard 1x9 SIP package style with either a duplex SC or a duplex ST* connector interface.

FDDI PMD, ATM and Fast Ethernet 2000 m Backbone Links

The HFBR-5103/-5103T are 1300 nm products with optical performance compliant with the FDDI PMD standard. The FDDI PMD standard is ISO/IEC 9314-3: 1990 and ANSI X3.166 - 1990.

These transceivers for 2000 meter multimode fiber backbones are supplied in the small 1x9 duplex SC or ST package style for those designers who want to avoid the larger MIC/R (Media Interface Connector/Receptacle) defined in the FDDI PMD standard.

Agilent Technologies also provides several other FDDI products compliant with the PMD and SM-PMD standards. These products are available with MIC/ R, ST® and FC connector styles. They are available in the 1x13 and 2x11 transceiver and 16 pin transmitter/receiver package styles for those designs that require these alternate configurations.

The HFBR-5103/-5103T is also useful for both ATM 100 Mbps interfaces and Fast Ethernet 100 Base-FX interfaces. The ATM Forum User-Network Interface (UNI) Standard, Version 3.0, defines the Physical Layer for 100 Mbps Multimode Fiber Interface for ATM in Section 2.3 to be the FDDI PMD Standard. Likewise, the Fast Ethernet Alliance defines the Physical Layer for 100 Base-FX for Fast Ethernet to be the FDDI PMD Standard.

Note: The "T" in the product numbers indicates a transceiver with a duplex ST connector receptacle. Product numbers without a "T" indicate transceivers with a duplex SC connector receptacle.

Features

- Full Compliance with the Optical Performance Requirements of the FDDI PMD Standard
- Full Compliance with the FDDI LCF-PMD Standard
- Full Compliance with the Optical Performance Requirements of the ATM 100 Mbps Physical Layer
- Full Compliance with the Optical Performance Requirements of 100 Base-FX Version of IEEE 802.3u
- Multisourced 1x9 Package Style with Choice of Duplex SC or Duplex ST* Receptacle
- Wave Solder and Aqueous Wash Process Compatible
- Manufactured in an ISO 9002 Certified Facility

Applications

- Multimode Fiber Backbone Links
- Multimode Fiber Wiring Closet to Desktop Links
- Multimode Fiber Media Converter

*ST is a registered trademark of AT&T Lightguide Cable Connectors.

Agilent Technologies

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ATM applications for physical layers other than 100 Mbps Multimode Fiber Interface are supported by Agilent. Products are available for both the single mode and the multimode fiber SONET-OC-3C (STS-3C) ATM interface and the 155 Mbps ATM 94 MBd multimode fiber ATM interface as specified in the ATM Forum UNI.

Transmitter Sections

The transmitter sections of the HFBR-5103 series utilize 1300 nm Surface Emitting InGaAsP LEDs. These LEDs are packaged in the optical subassembly portion of the transmitter section. They are driven by a custom silicon IC which converts differential PECL logic signals, ECL referenced (shifted) to a +5 Volt supply, into an analog LED drive current.

Receiver Sections

The receiver sections of the HFBR-5103 series utilize InGaAs PIN photodiodes coupled to a custom silicon transimpedance preamplifier IC. These are packaged in the optical subassembly portion of the receiver.

These PIN/preamplifier combinations are coupled to a custom quantizer IC which provides the final pulse shaping for the logic output and the Signal Detect function. The data output is differential. The signal detect output is single-ended. Both data and signal detect outputs are PECL compatible, ECL referenced (shifted) to a +5 Volt power supply.

Package

The overall package concept for the Agilent transceivers consists of the following basic elements; two optical subassemblies, an electrical subassembly and the housing as illustrated in Figure 1 and Figure 1a.

Figure 2b shows the outline drawing for options that include mezzanine height with extended shield.

The package outline drawing and pin out are shown in Figures 2, 2a and 3. The details of this package outline and pin out are compliant with the multisource definition of the 1x9 SIP. The low profile of the Agilent transceiver design complies with the maximum height allowed for the duplex SC connector over the entire length of the package.

The optical subassemblies utilize a high volume assembly process together with low cost lens elements which result in a cost effective building block.

The electrical subassembly consists of a high volume multilayer printed circuit board on which the IC chips and various surface-mounted passive circuit elements are attached.

The package includes internal shields for the electrical and optical subassemblies to ensure low EMI emissions and high immunity to external EMI fields.

The outer housing including the duplex SC connector receptacle or the duplex ST ports is molded of filled non-conductive plastic to provide mechanical strength and electrical isolation. The solder posts of the Agilent design are isolated from the circuit design of the transceiver and do not require connection to a ground plane on the circuit board.

The transceiver is attached to a printed circuit board with the nine signal pins and the two solder posts which exit the bottom of the housing. The two solder posts provide the primary mechanical strength to withstand the loads imposed on the transceiver by mating with duplex or simplex SC or ST connectored fiber cables.

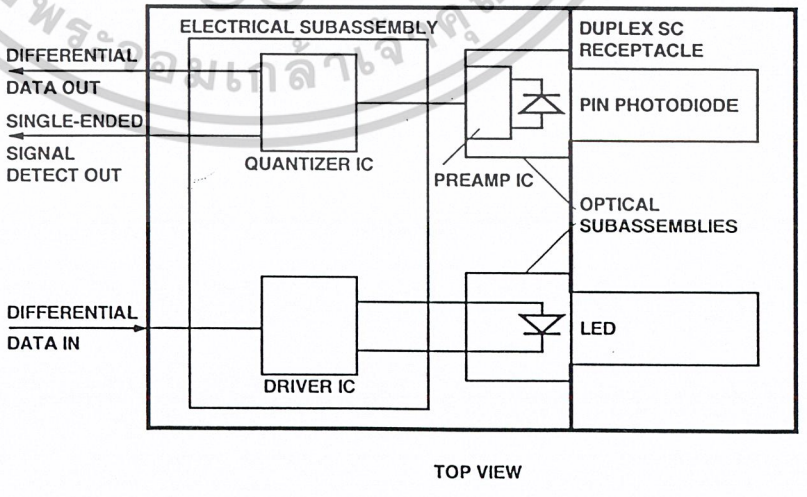


Figure 1. SC Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

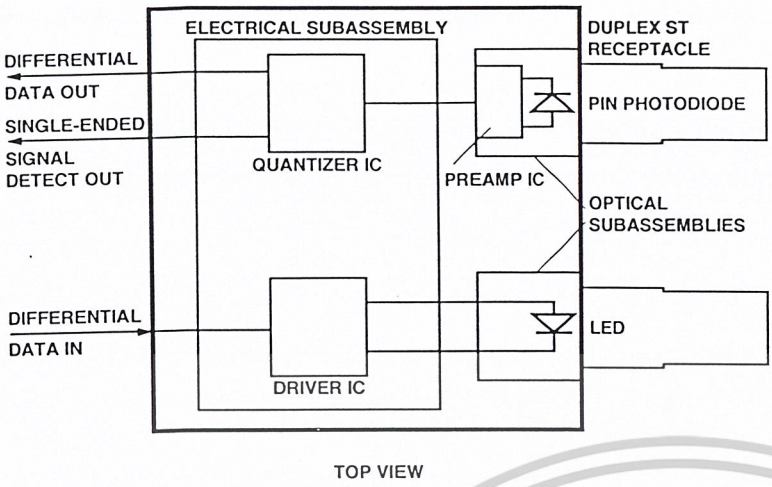
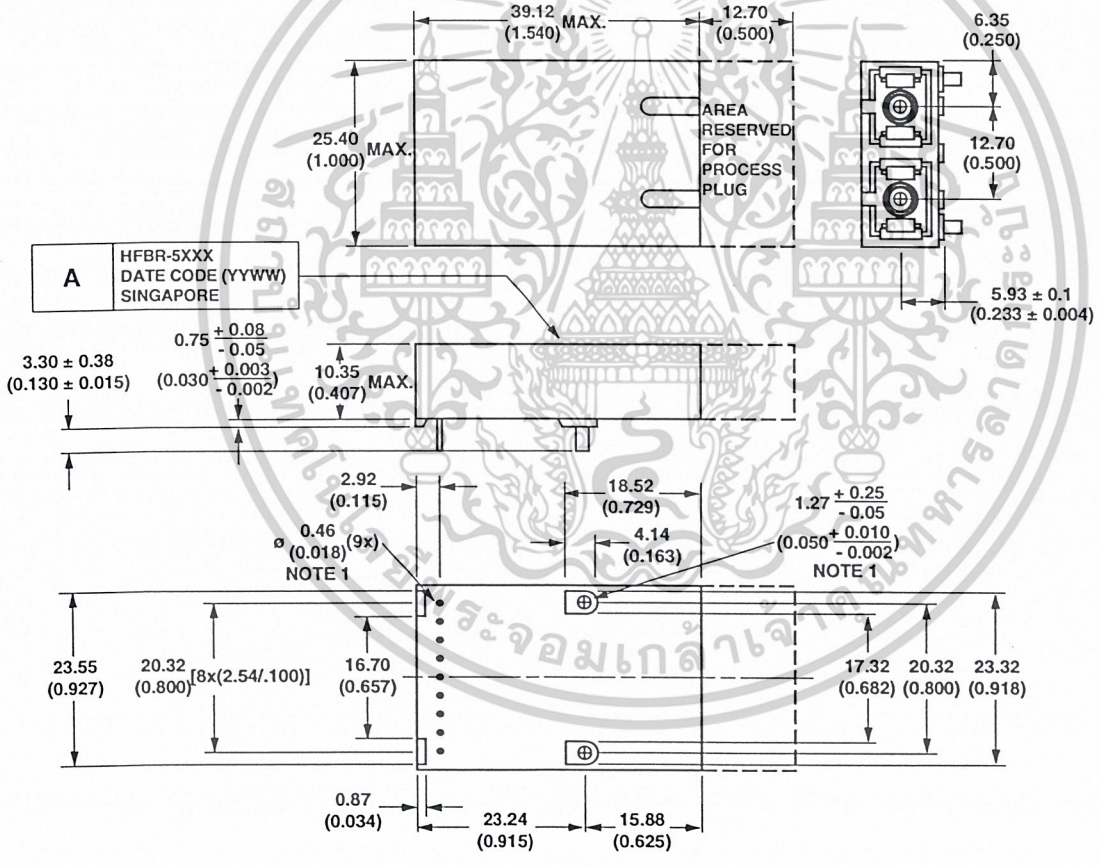


Figure 1a. ST Block Diagram.

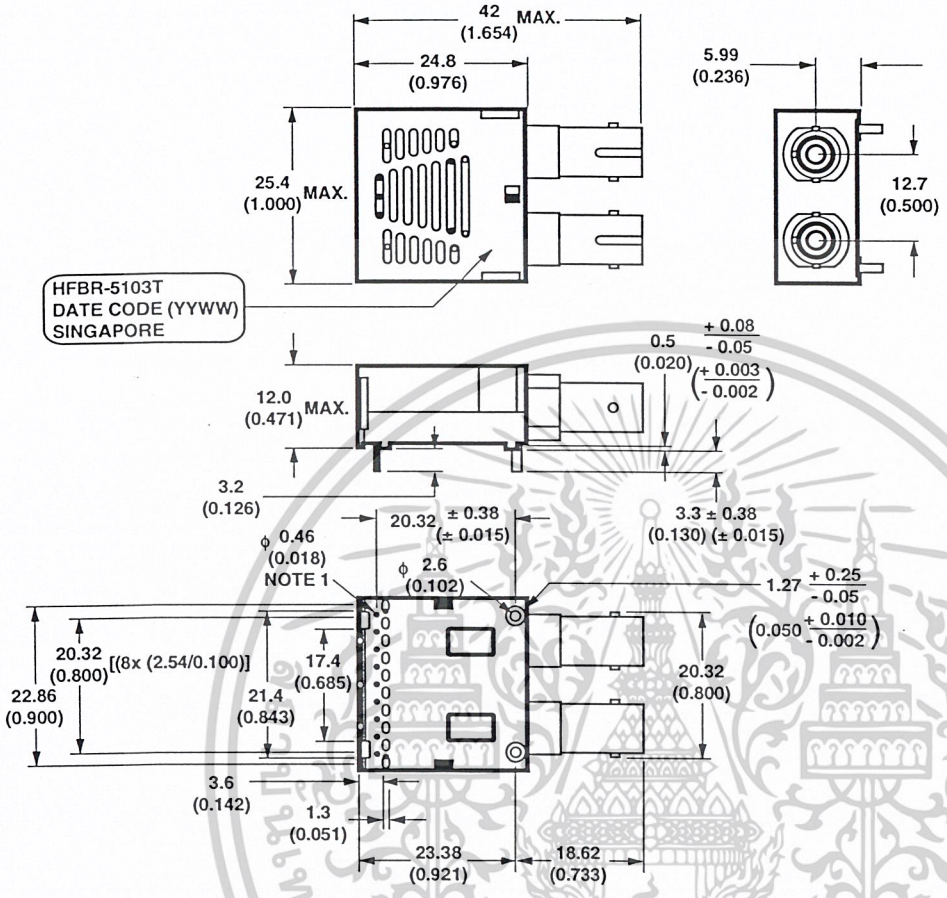


NOTE 1: THE SOLDER POSTS AND ELECTRICAL PINS ARE PHOSPHOR BRONZE WITH TIN LEAD OVER NICKEL PLATING.

DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS (INCHES).

Figure 2. Package Outline Drawing with Standard Height.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



NOTE 1: PHOSPHOR BRONZE IS THE BASE MATERIAL FOR THE POSTS & PINS WITH TIN LEAD OVER NICKEL PLATING.

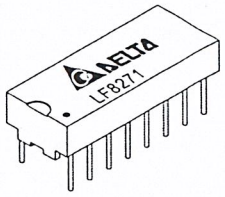
DIMENSIONS IN MILLIMETERS (INCHES).

Figure 2a. ST Package Outline Drawing with Standard Height.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAST ETHERNET 10BASE-T/100BASE-TX TRANSFORMER MODULES

Networking Components

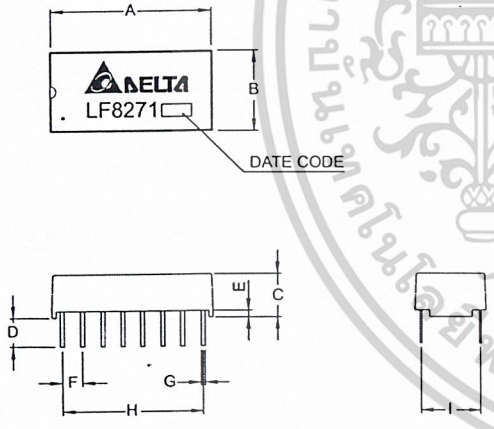


ELECTRICAL CHARACTERISTICS @25°C

Rise Time & Fall Time @5.0ns (Max), Hi-Pot Test @60Sec. 1500Vrms, OCL @8mA DC Bias 350uH (Min)

Model	Insertion Loss (dB Max)	Return Loss (dB Min)				Cross Talk (dB Min)				Com. To Com. Rejection Ratio (dB Min)		Diff. To Com. Mode Rejection (dB Min)		Turns Ratio TX/RX (±5%)
	1~100 MHz	2~30 MHz	40 MHz	50 MHz	60~80 MHz	1 MHz	30 MHz	60 MHz	100 MHz	1~60 MHz	60~100 MHz	1~60 MHz	60~100 MHz	1 MHz
LF8271	-1.0	-18	-17	-14.5	-12	-65	-55	-45	-35	-40	-30	-40	-30	1:1 / 1:1
LF8279	-1.0	-18	-17	-14.5	-12	-65	-55	-45	-35	-40	-30	-40	-30	1:1 / 1:1

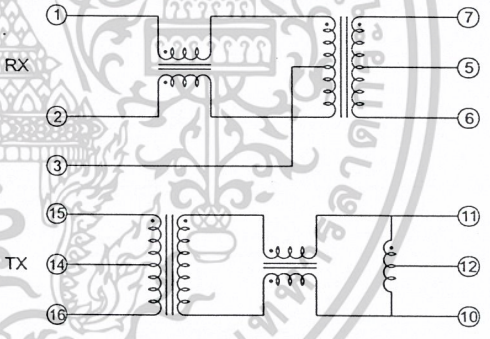
MECHANICAL CONSTRUCTION



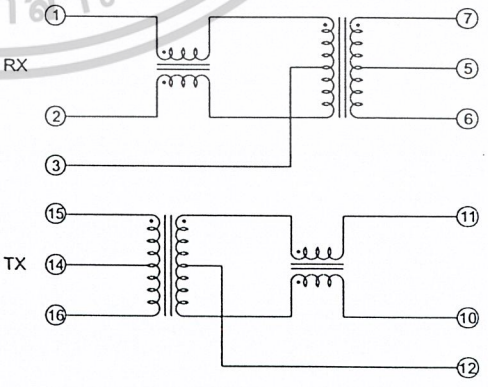
UNIT : mm / inch
A = 20.30±0.254 / 0.799±0.010
B = 10.00±0.254 / 0.394±0.010
C = 5.50±0.254 / 0.217±0.010
D = 3.20±0.30 / 0.126±0.012
E = 1.50 / 0.059 (REF)
F = 2.54 / 0.100 (TYP)
G = 0.50±0.127 / 0.020±0.005
H = 17.78 / 0.700 (TYP)
I = 7.62 / 0.300 (TYP)

SCHEMATICS

LF8271



LF8279



DELTA ELECTRONICS, INC.

(TAOYUAN PLANT CPBG) *252, SAN YING ROAD, KUEI SAN INDUSTRIAL ZONE, TAOYUAN SHIEN, TAIWAN, R.O.C.*
TEL: 886-3-3591968; FAX: 886-3-3591991
Http://www.deltaww.com/products/networking

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้