



เครื่องรับ-ส่งสัญญาณระบบมัลติเพล็กซ์ผ่านสายใยแก้วนำแสง
**OPTICAL FIBER SIGNAL TRANSCIVER WITH MULTIPLEXER
 SYSTEM**



โดย

นาย นัฐนันท์ ขำอ่วม 38013327

นาย รัชสรรค์ สุขะลา 38013331

นาย วิรัตน์ ศรีโกศล 38013334

วัน เดือน ปี..... 11. ธ.ค. 2541
 เลขทะเบียน..... 038922
 เลขเรียกหนังสือ..... T. 201๒๒ นศ๕๗ ค.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
 สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม
 คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ 038922 รค่า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ เครื่องรับ-ส่งสัญญาณระบบมัลติเพล็กซ์ผ่านสายใยแก้วนำแสง
OPTICAL FIBER SIGNAL TRANSCEIVER WITH MULTIPLEXER
SYSTEM

ชื่อนักศึกษา นายฐนันท์ จำอ่วม รหัสประจำตัว 38013327
นายรังสรรค์ สุขะลา รหัสประจำตัว 38013331
นายวิรัตน์ ศรีโกศล รหัสประจำตัว 38013334

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ประกิจ ตั้งติสานนท์
.อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์

ปีการศึกษา 2540

ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
()

..... กรรมการ
()

..... กรรมการ
()

..... กรรมการ
()

..... กรรมการ
()

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้
ในวงกว้างใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องรับ-ส่งสัญญาณระบบมัลติเพล็กซ์ผ่านสายใยแก้วนำแสง

OPTICAL FIBER SIGNAL TRANSCIVER WITH MULTIPLEXER SYSTEM

นัฐนันท์ ขำอ่วม

รังสรรค์ สุขะลา

วิรัตน์ ศรีโกศล

รศ.ประภกิจ ดั่งศิลาสนนท์ อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.สถาพร พรหมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2540

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการออกแบบและสร้างชุดเครื่องรับ-ส่งสัญญาณระบบมัลติเพล็กซ์ผ่านสายใยแก้วนำแสง โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อนำไปใช้ในการรวมเอาสัญญาณเสียงจากหลายๆ แหล่งสัญญาณมารวมเข้าด้วยกัน โดยใช้เทคนิคการมัลติเพล็กซ์สัญญาณแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiplex : TDM) แล้วนำเอาสัญญาณที่ได้จากการมัลติเพล็กซ์ส่งไปยังทางด้านเครื่องรับ โดยใช้สายใยแก้วนำแสงเป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณ

โครงงานนี้จะประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ส่วน คือ ส่วนของชุดเครื่องส่ง ซึ่งจะเป็นส่วนของการนำสัญญาณไฟฟ้ามาทำการมัลติเพล็กซ์ แล้วแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปของสัญญาณแสง และ ส่วนของชุดเครื่องรับ ซึ่งจะทำการแปลงสัญญาณจากสัญญาณที่อยู่ในรูปของสัญญาณแสงมาเป็นสัญญาณที่อยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้า และการคืนกลับสัญญาณให้เหมือนกับที่ทางเครื่องส่งส่งมา

OPTICAL FIBER SIGNAL TRANSCEIVER WITH MULTIPLEXER SYSTEM

NUTTANUN KUMOUM

RUNGSAN SUYALA

WIRUT SRIKOSOL

PRAKIT TANGTISANON ADVISER

SATHAPORN PROMWONG ADVISER

1997

ABSTRACT

This project presents the design and fabrication optical fiber signal transceiver with multiplexer system. The achievement of applications in combining the multi channels audio signals by using Time Division Multiplex (TDM) technique. And transmit multiplexed signal to receiver by using the fiber optic are the media of signal from transmitter to receiver.

This project consist of two components, the transmitter and receiver . The transmitter multiplex the electrical signal then converts to optical signal. The receiver converts signal from optical to electrical signal and demultiplex to each channel of audio signal which liked signals from transmitter.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีอาจสำเร็จลุล่วงไปได้หากขาดความช่วยเหลือจากบุคคลต่างๆ ในหลายๆฝ่าย ดังนั้นทางกลุ่มผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณบุคคลต่างๆดังต่อไปนี้

ขอบคุณ รศ.ประกิจ ตั้งติสานนท์ และ อาจารย์ สถาพร พรหมวงค์ ที่คอยให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือทางด้านหนังสืออ้างอิงต่างๆ สถานที่ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และเจ้าหน้าที่ฝ่ายระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์และการสื่อสารข้อมูล สำนักวิจัยและพัฒนาคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ยืมใช้เครื่องมือในการทดลองบางส่วน รวมทั้งอาจารย์และเพื่อนๆทุกคนในภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรมที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อไทย

ABSTRACT

กิตติกรรมประกาศ

สารบัญ

สารบัญรูป

สารบัญตาราง

บทที่ 1 บทนำ

1

บทที่ 2 ทฤษฎีของสายใยแก้วนำแสง

3

2.1 ใยแก้วนำแสง

3

2.1.1 ข้อดีของใยแก้วนำแสง

3

2.1.2 เปรียบเทียบคุณลักษณะของใยแก้วนำแสง

4

2.1.3 การใช้งาน

4

2.2 ทฤษฎีตัวนำแสง

5

2.2.1 ทฤษฎีตัวนำแสงและสิ่งที่เกี่ยวข้อง

5

2.2.2 ธรรมชาติของแก้ว

6

2.2.3 ลักษณะของใยแก้วนำแสง

7

2.2.4 ชนิดและวัสดุที่ใช้ทำ คออร์ และ แคลดดิ้ง

7

2.2.5 การแพร่กระจายแสงในใยแก้วนำแสง

8

2.2.6 ประเภทของใยแก้วนำแสง

14

2.2.7 โครงสร้างของใยแก้วนำแสง

17

2.2.8 ใยแก้วนำแสงในทางปฏิบัติ

19

2.2.9 คุณลักษณะในการส่ง

20

2.3 ตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสง

29

2.3.1 ตัวกำเนิดแสง

29

2.3.2 ปฏิกริยาเลเซอร์

31

2.3.3 การประดิษฐ์เลเซอร์

35

2.3.4 ตัวรับแสง

39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและการทำงานของวงจร	42
3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา	42
3.2 วงจรรับสัญญาณอินพุต	44
3.3 วงจรมัลติเพล็กซ์	46
3.4 วงจรขับเลเซอร์ไดโอด	48
3.5 วงจรเครื่องรับ	49
บทที่ 4 ผลการทดลอง	53
4.1 ผลการทดลองชุดเครื่องส่ง	53
4.2 ผลการทดลองชุดเครื่องรับ	56
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	60
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	



สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	แสดงลักษณะของใยแก้วนำแสง	7
รูปที่ 2.2	แสดงคุณสมบัติของแสงเมื่อเคลื่อนที่ผ่านวัสดุ	9
รูปที่ 2.3	แสดงทางเดินของแสงในใยแก้วนำแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงดัชนีการหักเห	10
รูปที่ 2.4	แสดงทางเดินของลำแสงในไฟเบอร์ที่คอร์มี เกรด อินเด็กซ์ ออฟ รีเฟกชัน	11
รูปที่ 2.5	แสดงสายใยแก้วนำแสง	12
รูปที่ 2.6	แสดงสนามในเกรดอินเด็กซ์ไฟเบอร์	13
รูปที่ 2.7	แสดงจำนวนทรานสมิชชัน โหมดเพิ่มขึ้นตามรัศมีคอร์ของไฟเบอร์และ v-number	14
รูปที่ 2.8	แสดงใยแก้วนำแสงแบ่งตามโหมดการแพร่กระจายคลื่นซึ่งเกิดโหมดสเต็ปอินเด็กซ์	14
รูปที่ 2.9	แสดงสเต็ปอินเด็กซ์ไฟเบอร์ PV10 ของ VELTEC สำหรับใช้กับคอมพิวเตอร์	15
รูปที่ 2.10	แสดงเกรดอินเด็กซ์ไฟเบอร์ MG05 ของ VELTEC สำหรับงานด้านโทรคมนาคม	16
รูปที่ 2.11	แสดงไฟเบอร์ออปติกสำหรับงานเอนกประสงค์	17
รูปที่ 2.12	แสดงไฟเบอร์ออปติกที่ใช้ในงานทางทหารสำหรับติดตั้งอยู่กับที่ 1 ช่องสัญญาณ	17
รูปที่ 2.13	แสดงไฟเบอร์ออปติกสำหรับงานด้านการสื่อสาร 7-12 ช่องสัญญาณ	18
รูปที่ 2.14	แสดงไฟเบอร์ออปติกที่ใช้ในการสื่อสารทางทหาร 6 หรือ 8 ช่องสัญญาณ	18
รูปที่ 2.15	แสดงไฟเบอร์ออปติกใช้สำหรับวงจร Trunk ของข่ายโทรศัพท์	19
รูปที่ 2.16	แสดงปัญหาด้านโครงสร้างและส่วนประกอบที่มีผลต่อสมรรถนะของตัวนำแสง	20
รูปที่ 2.17	แสดงเส้นกราฟ Net Spectral Loss ของแก้ว	21
รูปที่ 2.18	แสดงกราฟการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นเนื่องจาก Micro Bending	23
รูปที่ 2.19	แสดงกราฟการสูญเสียทั้งหมด	24
รูปที่ 2.20	แสดง Material Dispersion กับความยาวคลื่น	26
รูปที่ 2.21	แสดงการกระจายคลื่นของพัลส์ที่ออกจาก LED และ เลเซอร์ไดโอด	27
รูปที่ 2.22	แสดงตัวกำเนิดแสงและอุปกรณ์ประกอบรวมของ Amphemol	30
รูปที่ 2.23	แสดงโครงสร้างของ Aluminium Gallium Arsenide Heterojunction Laser	32
รูปที่ 2.24	แสดงลำแสงเลเซอร์ที่ออกจาก Heterostructure	34
รูปที่ 2.25	แสดงตัวถัง Aluminium Gallium Arsenide Laser	36
รูปที่ 2.26	แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรเลเซอร์	37
รูปที่ 2.27	แสดงเลเซอร์มอดคูลেশัน	39
รูปที่ 2.28	แสดงโครงสร้างของซิลิกอน อวาแลนซ์ โฟโตไดโอด	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.1 แสดงวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา	42
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรรับสัญญาณอินพุต	45
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณ	46
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรขับเลขอร์ได โอค	47
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า	48
รูปที่ 3.6 แสดงวงจรคิมัลติเพล็กซ์	49
รูปที่ 3.7 แสดงภาพชุดเครื่องส่ง	50
รูปที่ 3.8 แสดงภาพชุดเครื่องรับ	50
รูปที่ 3.9 แสดงภาพชุดเครื่องรับ-ส่ง	51
รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณอินพุตช่องที่ 1	52
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณอินพุตช่องที่ 2	53
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณอินพุตช่องที่ 3	53
รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณอินพุตช่องที่ 4	54
รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณอินพุตช่องที่ 5	54
รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณเอาต์พุตช่องที่ 1	55
รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณเอาต์พุตช่องที่ 2	56
รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณเอาต์พุตช่องที่ 3	56
รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณเอาต์พุตช่องที่ 4	57
รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณเอาต์พุตช่องที่ 1	57
รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณเอาต์พุตช่องที่ 1 3 5	58
รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณเอาต์พุตช่องที่ 2 4 5	58

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของสายไฟเบอร์ออปติก	4
ตารางที่ 2 แสดง Impurities Absorbtion Losses	22



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

การสื่อสารในปัจจุบันนับวันจะมีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มจำนวนข้อมูลข่าวสารในการส่งให้มีจำนวนมากขึ้นเนื่องจากความต้องการใช้ของผู้ใช้มีปริมาณความต้องการสูงขึ้น การที่จะใช้เส้นทางสื่อสารหนึ่งเส้นทางต่อผู้ใช้หนึ่งคนจึงเป็นการไม่ประหยัด ดังนั้นการนำข้อมูลข่าวสารจำนวนหนึ่งมารวมกันเพื่อส่งออกไปยังผู้รับโดยใช้เส้นทางในการสื่อสารร่วมกันจึงถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสารให้สูงขึ้น การใช้เทคนิคการผสมสัญญาณหลายๆช่องสัญญาณเข้าด้วยกันนั้นมีหลายวิธี ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของงานในแต่ละประเภทว่าเหมาะสมกับเทคนิคการผสมสัญญาณแบบใด การผสมสัญญาณแบบการแบ่งเวลาก็เป็นเทคนิคหนึ่งที่ยอมรับใช้กันในปัจจุบัน โดยการแบ่งเวลาให้กับช่องสัญญาณต่างๆสลับกันไป

และเนื่องจากความหนาแน่นของจำนวนข้อมูลข่าวสารมีปริมาณสูงขึ้นและความต้องการความถูกต้องรวดเร็วของการสื่อสารข้อมูล การสื่อสารโดยใช้สายสัญญาณที่เป็นสายทองแดงจึงเกิดข้อจำกัดขึ้น ดังนั้นจึงต้องหาสายสัญญาณที่จะนำมาใช้รองรับปัญหาดังกล่าว สายใยแก้วนำแสงจึงถูกคิดค้นขึ้น และนำมาใช้ประโยชน์ในการใช้เป็นเส้นทางในการสื่อสารแทนการใช้สายทองแดง จากคุณสมบัติที่ดีกว่าในหลายๆด้านของสายใยแก้วนำแสงจึงพบว่าแนวโน้มในการใช้สายใยแก้วนำแสงมาทดแทนการใช้สายทองแดงจึงสูงขึ้น

วัตถุประสงค์ของการทำโครงการชิ้นนี้เพื่อศึกษาและทดลองการทำงานของวงจรสื่อสารที่ใช้สายใยแก้วนำแสงมาใช้เป็นเส้นทางในการติดต่อสื่อสาร เรียนรู้ถึงลักษณะโครงสร้างและการนำเอาสายใยแก้วนำแสงมาใช้งาน

ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการทำโครงการชิ้นนี้คือ สามารถที่จะสร้างวงจรสื่อสารที่ใช้ในการรับและส่งสัญญาณเสียงหลายๆสัญญาณส่งไปตามสายนำสัญญาณที่เป็นสายใยแก้วนำแสงได้

เนื้อหาในบทที่ 2 เป็นพื้นฐานของสายใยแก้วนำแสงซึ่งจะกล่าวถึงชนิดต่างๆของสายใยแก้วนำแสง การนำมาใช้งาน รวมทั้งคุณสมบัติต่างๆ และอุปกรณ์ที่นำมาใช้ร่วมกับสายใยแก้วนำแสง เช่น ตัวกำเนิดสัญญาณแสงที่ใช้ร่วมกับสายใยแก้วนำแสงและตัวตรวจจับสัญญาณ

บทที่ 3 จะเป็นส่วนของการออกแบบวงจรและการทำงานของวงจรที่นำมาใช้ในการผสมสัญญาณ โดยจะใช้เทคนิคการผสมสัญญาณแบบแบ่งเวลา(TIME DIVISION MULTIPLEX) จะแสดงลักษณะของวงจรที่นำมาใช้ และแสดงวงจรที่ใช้ในการแปลงสัญญาณจากสัญญาณที่เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของสัญญาณแสงเพื่อส่งผ่านสายใยแก้วนำแสงและวงจรในด้านรับที่จะแปลงกลับสัญญาณให้กลับมาอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าอีกครั้ง และได้แสดงการคำนวณวงจรรวมทั้งการสร้างโครงการงานขึ้นนี้

บทที่ 4 จะเป็นส่วนของผลการทดลองโดยจะแสดงรูปสัญญาณที่ได้จากการวัดสัญญาณในส่วนต่าง ๆ ของวงจร

บทที่ 5 จะเป็นส่วนของบทสรุปของการทำโครงการงานขึ้นนี้ ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น การแก้ไขปัญหา และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการทำโครงการงาน



บทที่ 2

ทฤษฎีของใยแก้วนำแสง (Fiber Optic)

การสื่อสารทางแสงโดยใช้การส่งด้วย ใยแก้วนำแสง จะมีบทบาทอย่างมากในด้านการสื่อสารสมัยใหม่ในอนาคต ทั้งนี้เนื่องจาก ใยแก้วนำแสง นอกจากจะมีความสำคัญเช่นเดียวกับการส่งด้วย ไมโครเวฟ(Micro-wave) และดาวเทียมในปัจจุบันแล้ว เหตุผลที่ใยแก้วนำแสง เริ่มเข้ามามีบทบาทก็เนื่องจากสามารถแก้ปัญหาต่างๆทางด้านการสื่อสารได้ผลดีจากคุณสมบัติเฉพาะของใยแก้วนำแสง

2.1 ใยแก้วนำแสง

ใยแก้วนำแสง หรือ ออปติคัล ไฟเบอร์(Optical Fiber) หรือบางที่เรียกว่า “เส้นใยแก้วนำแสง” เป็นแท่งแก้วขนาดเล็กมีขนาดเท่าเส้นผม มีกรรมวิธีการผลิตด้วยเทคโนโลยีขั้นสูง

2.1.1 ข้อดี ของใยแก้วนำแสง

1. การสูญเสียในการส่งต่ำ ทำให้ระยะห่างของสถานีทวนสัญญาณ(Repeater)มีมากขึ้นหรืออาจไม่ต้องใช้ สถานีทวนสัญญาณ ก็ได้
2. ย่านแถบความถี่(Bandwidth) กว้าง มีความจุในการส่งสูง
3. ปราศจากการรบกวนทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและการรบกวนทางคลื่นวิทยุไม่มีการรบกวนข้ามช่องสัญญาณ (Cross Talk) หรือการรั่วไหลของสัญญาณทำให้ไม่มีปัญหาในการ ป้องกันการรบกวน
4. ไม่เป็น ตัวนำ ซึ่งเป็นการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างเครื่องรับเครื่องส่ง
5. ไม่เป็นความเหนียวนาโดยไม่ทำให้เกิดอันตรายต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จากการแพร่กระจายของสนาม ไฟฟ้าของ ไฟแรงสูง
6. มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ง่ายต่อการติดตั้งและประหยัดเนื้อที่

2.1.2 เปรียบเทียบคุณลักษณะของ โยแก้วนำแสง

หากเปรียบเทียบคุณลักษณะของ โยแก้วนำแสงกับ สายเคเบิลใยแก้วธรรมดา และสายนำสัญญาณ(Coaxial Cable) จะได้ดังนี้

คุณลักษณะ	สายนำสัญญาณ (Twin lead)	สายนำสัญญาณ (Coaxial)	โยแก้วนำแสง
น้ำหนัก	หนัก	หนัก	เบา
ขนาด	ใหญ่	ใหญ่	เล็ก
การติดตั้ง	ปานกลาง	ยาก	ง่าย
การต่อ	ง่าย	ปานกลาง	ซับซ้อน
ย่านแถบความถี่/1 km. (MHz)	5	100	500
ระยะที่ต้องขยาย (KM.)	1-10	1-2	2-15
การสูญเสีย A=f(F)	\sqrt{F}	\sqrt{F}	น้อยมาก
ราคาของระบบ	ต่ำ	ปานกลาง	สูงแต่จะลดลงเรื่อยๆ

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะของ โยแก้วนำแสง

2.1.3 การใช้งาน

โยแก้วนำแสง สามารถนำไปใช้ในงานสื่อสารต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง และที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นเพียงตัวอย่างเท่านั้น ได้แก่

1. การสื่อสารระยะไกลหรือภายในเมือง

-ระบบสื่อสารระยะไกล ความจุสูง

-ระบบสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์(Electronics Switching)หรือชุมสายโทรศัพท์อิเล็กทรอนิกส์

-ระบบสื่อสารใต้น้ำ

เอกสารนี้เป็นระบบการส่ง สัญญาณภาพใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในงานที่มีการรบกวนสูง

- การส่งข้อมูลทางออดิโอมวิททยา
- การส่งข้อมูลระหว่างสถานีรถไฟ
- การควบคุมสัญญาณไฟจราจร
- การส่งข้อมูลเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้า

3. การสื่อสารภายในสำนักงานหรือตึกสูง

2.2 ทฤษฎีตัวนำแสง

2.2.1 ทฤษฎีตัวนำแสงและสิ่งที่เกี่ยวข้อง

แม้ว่ามนุษย์จะได้ใช้แสงในการสื่อสารมานานนับเป็นพัน ๆ ปีแล้วก็ตาม แต่ “ตัวกลาง (Medium)” ที่ใช้ในการส่ง คือ อากาศ นั้นมีความไม่แน่นอน จึงไม่อาจใช้ในการส่งสัญญาณแสงได้ การพัฒนาจึงได้หยุดแค่นั้น จนจนกระทั่งหาตัวกลางใหม่ได้ที่เหมาะสม

ตัวกลางดังกล่าวก็คือ “แก้ว (Glass)” ซึ่งสามารถทำหน้าทีนำแสงได้ และจากการที่สามารถผลิตให้มีความบริสุทธิ์ได้ จึงทำให้คุณสมบัติที่ผ่านตัวมันไปได้เล็กน้อยเท่านั้น

ตามความเป็นจริงแล้ว ปรากฏว่าเป็นเวลากว่าศตวรรษทีเดียวที่ปรากฏการณ์ของการนำแสงในตัวกลางที่ไม่นำไฟฟ้า (วัตถุไม่นำไฟฟ้า) ได้ถูกค้นพบ ทั้งนี้โดยไม่ได้ตั้งใจพบว่าแสงที่ถูกส่งออกไปโดยมีการสะท้อนกลับภายในทั้งหมดมีลักษณะเช่นเดียวกับการไหลของน้ำผ่านรูที่ภาชนะ จากการทบทวนสิทธิบัตรของประเทศสหรัฐอเมริกา แสดงว่าการใช้ประโยชน์ของการส่งแสงผ่าน วัตถุไม่นำไฟฟ้า ที่เป็นของแข็งเช่น แก้ว ไม่ได้ได้รับความสนใจเท่าใดนัก จนกระทั่ง ปี พ.ศ.2493 จึงได้มีการอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เกิดขึ้นเพื่อผลิต โยแก้วนำแสง สำหรับทำแผ่นหน้าของหลอด เลโทรธ เรย์ เมดิคอน เอ็ดโคโรสโคป(Cathode - Ray Medical Endoscopes) เครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์ และเครื่องมืออื่น ๆ อีกเป็นจำนวนมาก ซึ่งในงานดังกล่าว การสูญเสียแสงส่วนหนึ่งไปในการส่งผ่าน โยแก้วนำแสง ไม่เป็นเรื่องสำคัญเพราะความยาวของสายไม่มากนัก

ในปี พ.ศ. 2509 ความสำคัญได้เริ่มขึ้นเมื่อมีการสื่อสารทาง โยแก้วนำแสง ที่มีระยะทางยาว ซึ่งต้องการการสูญเสียต่ำ ๆ เท่าที่จะทำได้ จึงได้มีการคิดค้นการลดอัตราการสูญเสียของวัสดุที่ใช้ และกรรมวิธีการผลิต

2.2.2 ธรรมชาติของแก้ว

ตัวกลางสำหรับส่งคลื่นแสง คือ แก้ว ซึ่งเป็นของแข็งอย่างหนึ่ง ที่มีโครงสร้างเป็นแบบ อัมมอพัซ(Amorphous) หรือแรนดอม(Random) (ตรงข้ามกับโครงสร้างที่เป็นแบบ คริสทอไรไลท์(Crystalline) ที่ปกติเมื่อวัสดุหลอมเหลวแข็งตัว) แก้วเป็นของผสมทางเคมีที่เกิดจาก อินนอร์แกนิกออกไซด์(Inorganic Oxide) พื้นฐานนี้เป็นของผสมดังกล่าวมีเพียงจำนวนหนึ่งเท่านั้นที่สามารถทำแก้วได้ คือ ซิลิกอน(Silicon(SiO_2)), โบรอน(Boron(B_2O_3)), ฟอสฟอรัส(Phosphorous(P_2O_5)), โซเดียม(โซเดียม(Na_2O)), เยอรมันเนียม(Germanium(GeO_2)), แคลเซียม(Calcium(CaO))

เมื่อ ออกไซด์ เหล่านี้เย็นตัวลงจากสภาวะหลอมละลาย อะตอมของมันยังคงมีความเร็วในการเคลื่อนที่ (Mobility) สูงกว่าอะตอมของผสมอื่น ๆ อยู่มาก เมื่อมันผ่านจุดคริสทอไรไลชัน(Crystallization) (ของ ซิลิการ์ เท่ากับ 1.710 องศาเซลเซียส) ผลก็คือ อะตอมไม่สามารถจัดตัวของมันในรูปของ คริสทอไรลติก(Crystal lattice) ได้ แต่จะอยู่ในรูปของ แรนดอม

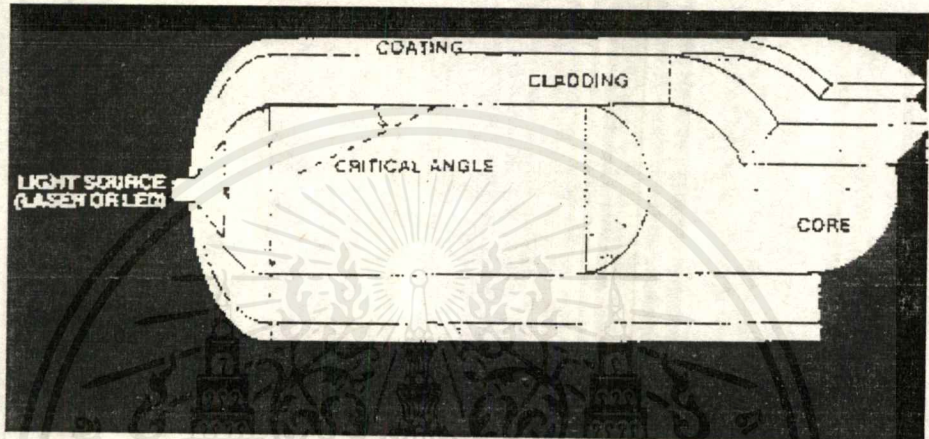
ตามปกติแก้วมักได้จากการผสม ซิลิการ์กับ ออกไซด์ อื่น ๆ แม้ว่า ออกไซด์ นั้นจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย ก็สามารถเปลี่ยนแปลงจุดอ่อนตัว (Softening point) ดรรชนีหักเห (Index of refraction) และคุณสมบัติอื่น ๆ ของ ซิลิกาบริสุทธิ์ ได้ แก้วที่ใช้สำหรับนำแสง คือ ซิลิกา กับ เยอรมันเนียมจำนวนหนึ่งไม่มากนัก และเพิ่ม ฟอสฟอรัส ออกไซด์ เข้าไปด้วยเพื่อเปลี่ยนแปลงดรรชนีหักเหในรูปแบบคงที่อื่นหนึ่ง

สำหรับแก้วที่ใช้ทำกระจกหน้าต่าง แจกัน หลอดไฟ และสิ่งต่าง ๆ ที่พบเห็นได้ในชีวิตประจำวันนั้นปกติเป็น โซดา ไลม์ แกลส (Soda-lime glass) (ซิลิกา ผสมกับ โซเดียม, แคลเซียม และ ออกไซด์ อื่น ๆ ในจำนวนที่จุดอ่อนตัวต่ำกว่าของ ซิลิกาบริสุทธิ์)

2.2.3 ลักษณะของ โยแก้วนำแสง

ส่วนประกอบที่สำคัญของ โยแก้วนำแสง มีอยู่ด้วยกัน 2 ส่วน คือ

1. คอร์(CORE)
2. แคลดดิ้ง(CLADDING)



รูปที่ 2.1 ลักษณะของ โยแก้วนำแสง

โดยที่ คอร์ จะมีดรรชนีหักเห (N_2) ซึ่งสูงกว่าของ แคลดดิ้ง (N_1) เล็กน้อย สำหรับ เป็นผลต่างดรรชนีหักเหสัมพัทธ์(Relative Refraction Index Difference)

2.2.4 ชนิดของวัสดุที่ทำ คอร์ และ แคลดดิ้ง

ปัจจุบันมีวัสดุที่ใช้ทำ คอร์ และ แคลดดิ้ง 3 แบบด้วยกัน คือ

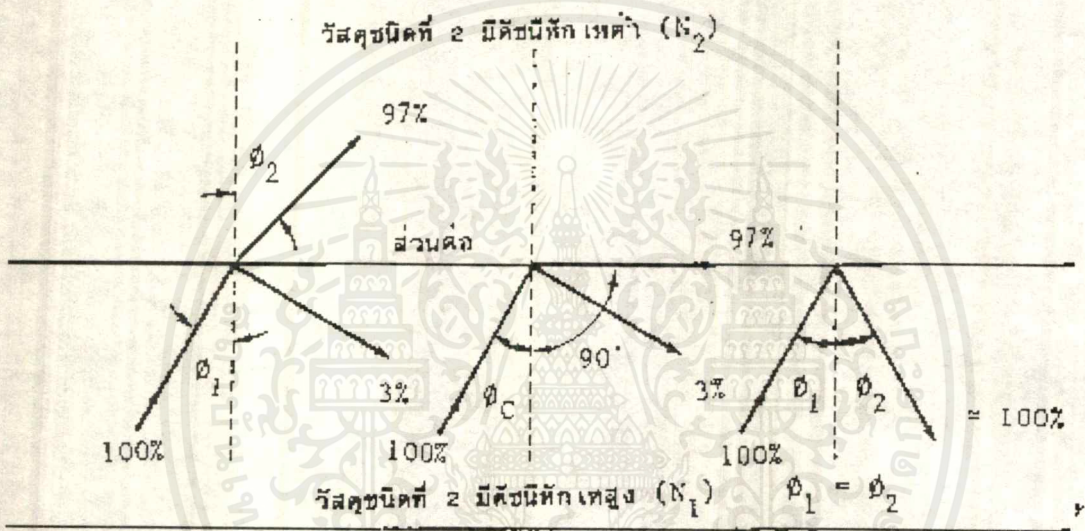
1. คอร์ และ แคลดดิ้ง เป็นพลาสติก
2. คอร์ เป็นแก้วแคลดดิ้ง เป็นพลาสติก(แบบนี้บางที่เรียกว่า พีซีเอส (pcs)หรือ พลาสติก กาส (plastic-กาส) ซิลิการ์)
- 3.คอร์และแคลดดิ้งเป็นแก้ว(แบบนี้บางที่เรียกว่า เอส.ซี.เอส หรือซิลิการ์-กาส ซิลิ การ์)

แบบที่ทำด้วยพลาสติกทั้งหมดนั้นมีขนาดค่อนข้างใหญ่เทอะทะไม่น่าดู และมีข้อเสียคือ คุณสมบัติในการลดทอน (Attenuation Characteristic) สูง แบบ พีซีเอส นั้นให้คุณสมบัติในการลดทอนของแก้วดีกว่าและได้รับผลจากการแพร่กระจายน้อยกว่า โยแก้วนำแสง ที่ทำด้วยแก้วทั้งหมด มักพบใช้ในด้านอาหาร ส่วนที่เป็นแก้วทั้งหมดนั้นสมรรถนะในการลดทอนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนเซนทริซิติ้(Concentricity) ดี แม้จะเป็น คอรั ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก ๆ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วง่ายต่อการ เทอร์มินต(Terminate) กว่าแบบ พีซีเอส ดังนั้น ในการเลือกแบบของ โยแก้วนำแสงสำหรับใช้งานต่างๆต้องพิจารณาถึงความต้องการของระบบและเงื่อนไขต่าง ๆ ที่กำหนดด้วย

2.2.5 การแพร่กระจายแสงใน โยแก้วนำแสง



รูปที่ 2.2 คุณสมบัติของแสงเมื่อเคลื่อนที่จากวัสดุหนึ่งไปยังอีกอันหนึ่ง โดยแสงจะหักเห (รูป ก. และ รูป ข.)หรือสะท้อนกลับหมด(รูป ค.)

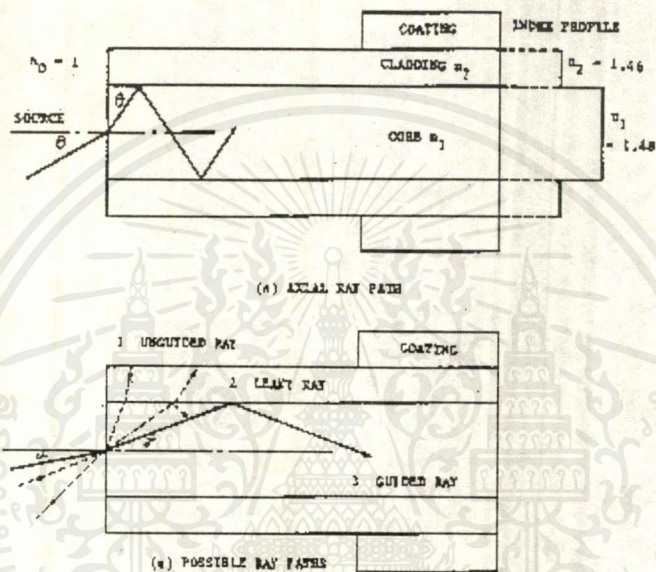
พารามิเตอร์ นี้หมายถึงมุมมองของแสงตกกระทบสูงสุด (ที่เป็นการหักเหภายในทั้งหมด) และเป็นการวัดความสามารถในการรวบรวมแสงของ โยแก้วนำแสง สำหรับ ซิลิกา ไฟเบอร์ ทัว ๆ ไป $N_1 = 1.48$, $\Delta = 0.013$ และ $NA = 0.24$ ดังนั้น แอคเซ็ปเทเบิล แองเกิล(Acceptable Angle) มีค่าราว 28 นั่นคือพลังงานแสงที่อยู่ภายใต้รูปกรวย 28° จะถูกรวบรวมและส่งออกทั้งหมดส่วนแสงที่อยู่นอกออกไปจะมีการหักเหออกนอก คอรั บางส่วนที่บริเวณต่อกันระหว่าง คอรั กับ แคลดดิง

ในการพิจารณาเรื่องของลำแสงนั้น ได้มีการพัฒนาแนวคิดในการที่จะให้ แสงเดินทางผ่านเส้นศูนย์กลางของ ไฟเบอร์ โดยทั่ว ๆ ไปแล้วแสงมักจะผ่านแกนกลางในการเดินทางแบบ ซิกแซก (Zigzag)ของมันผ่าน คอรั แสงเหล่านี้จะพบกับบริเวณติดต่อกันของ คอรั กับ แคลดดิง ที่มุมเอียง

เอค (Oblique angle) หนึ่ง และอาจไม่สะท้อนกลับมาทั้งหมด แต่จะหักเหเข้าไปยัง แคลดดิง ในรูปที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3(ข) แสดงลักษณะของแสงที่เดินทางใน 3 ลักษณะโดยความแตกต่างกันจะขึ้นอยู่กับขนาดการเอียงของลำแสงที่ทำกับแกน (Axis)

อนึ่งคำว่า “ลึทกี้ เลย์”(leaky ray) ในรูปข้างล่างนั้นหมายถึง การที่แสงมิได้พบกับมุมวิกฤติที่ถูกต้อง ส่วนหนึ่งของแสงจึงหักเหไปนอก คอร์



รูปที่ 2.3 ทางเดินลำแสงใน ใยแก้วนำแสง ที่มีการเปลี่ยนแปลงดรรชนีหักเหระหว่าง คอร์ และ แคลดดิ้ง เป็นขั้น

คำถามที่อาจเกิดขึ้นก็คือ แล้วตัวนำแสงที่ใช้จะต้องเรียบมากน้อยแค่ไหน หรือ ไฟเบอร์สามารถโค้งงอได้สักเท่าใด จึงจะไม่ทำให้เกิด อินเคอร์ริง ลอส (Incurring loss) ของแสง การเหลื่อมกันตรงบริเวณติดต่อกันของ คอร์ กับ แคลดดิ้ง ที่ความยาวสั้นมาก ๆ (1 ในล้านของเมตร) ก็ สามารถทำให้เกิดการสูญเสียของแสงได้ เนื่องจากมุมวิกฤติที่ ไมโครเบนด (microbends) (โดยการโค้งงอด้วยรัศมี 10 cm. ไม่ทำให้เกิดการสูญเสีย) ดังนั้นการผลิต ไฟเบอร์ ให้มีความเรียบ จึงเป็นสิ่งที่ สำคัญในอันที่จะทำให้การตัดต่อ (Splicing) มีการสูญเสียต่ำและดีเสมือนกับเป็นเนื้อเดียวกัน

ตัวนำแสงแบบกลมดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นนั้น มีดรรชนี มีดรรชนีหักเหใน คอร์ ของมันคงที่หรือ ฮอโมจีนีอัส (homogeneous) (ซึ่งเราเรียกว่า สเต็ปอินเด็กซ์-ไฟเบอร์ (Step-index) โดยที่ในรูปที่ 2.3 (ก) เป็น สเต็ปอินเด็กซ์ โปรไฟล์ (profile) ทั่ว ๆ ไปแบบหนึ่ง (รายละเอียดของ ใยแก้วนำแสง แบบต่าง ๆ จะได้กล่าวต่อไปในภายหลัง) นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมีตัวนำแสงแบบกลมอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญ ซึ่งมีดรรชนีหักเหใน คอรั ที่เปลี่ยนแปลงตามสมการ

$$n_r = n_1 - \Delta (r/a)^d$$

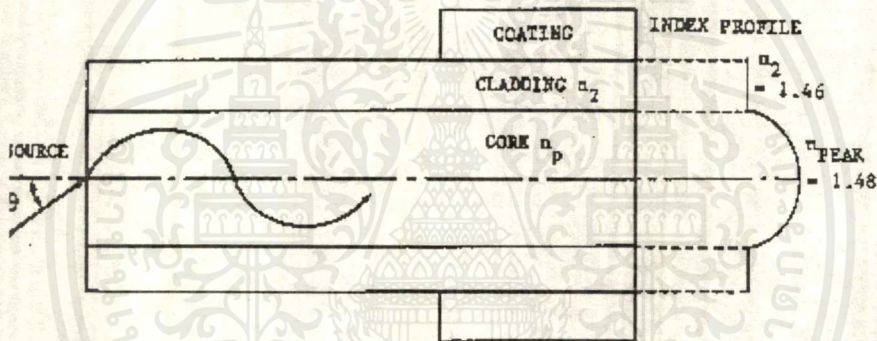
เมื่อ n_r เป็นการเปลี่ยนแปลงดรรชนีสัมพันธ์ระหว่าง ตรงกลาง คอรั กับ แคลคดิ่ง สูงสุด

n_1 เป็นดรรชนีหักเหตรงกลาง คอรั

r เป็น รีไดอัส โปซิชัน(radial position)

a เป็นรัศมีของ ไฟเบอร์

และ Δ เป็นการเปลี่ยนแปลงดรรชนีหักเหหรือ โปรไฟล์

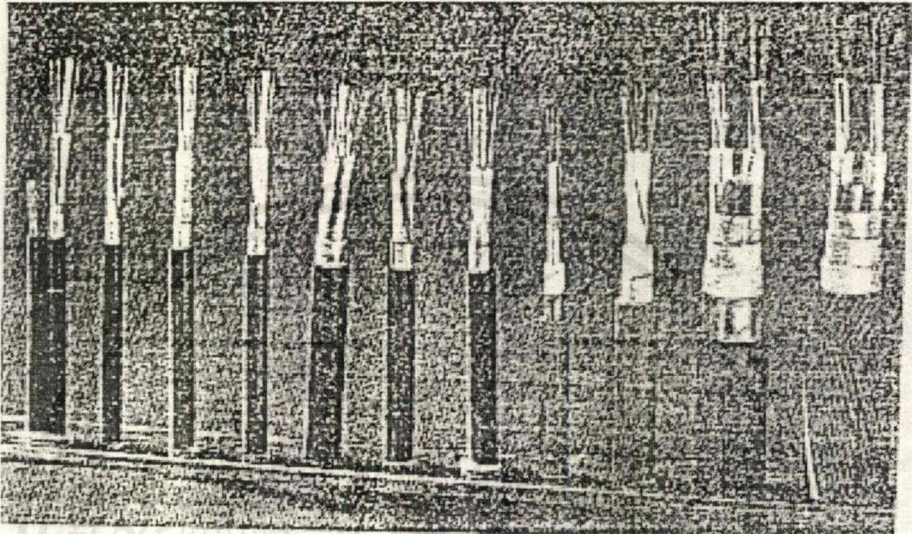


รูปที่ 2.4 ทางเดินของลำแสงใน ไฟเบอร์ ที่ คอรั มี เกรด อินเด็กซ์ ออฟ รีเฟกชัน
(Grade index of refraction)

ในกรณีตัวนำแสงเป็นเกรดอินเด็กซ์ แสงตกกระทบจะมีลักษณะไม่เป็นไปในแบบ ซิกแซ็ก แต่จะเป็นแบบ เเพริออดิก(Periodic) (เกือบเป็น ไชด์เวฟ(Sinusoidal path)ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ Δ และ โปรไฟล์ ตามรูปที่ 2.4

แนวความคิดของ NA และลำแสงทั้ง 3 แบบดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ข) นั้นสามารถนำมาใช้ได้กับ ไฟเบอร์ ทั้ง 2 แบบที่ได้กล่าวมาแล้วโดยไม่เกี่ยวกับ โปรไฟล์ พารามิเตอร์ (Δ) ซึ่งเมื่อ $\Delta = \infty$ (infinity) แล้ว ไฟเบอร์ จะมีดรรชนีหักเหแบบ สตีป อินเด็กซ์ และเมื่อ $\Delta = 2$ ไฟเบอร์ จะมีดรรชนีหักเหแบบ พาราโบลิก(Parabolic) หรือ Square-law ศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับไฟเบอร์ที่มีคุณลักษณะของวัสดุเป็นอุดมคติ(Ideal)พาราโบลิโพรไฟล์จะประมาณเท่ากับความยาวทางเดินของลำแสงทั้งหมดและเกิดขึ้นใกล้เคียงกับแถบความถี่สูงสุดที่จะเป็นไปได้กับไฟเบอร์แบบมัลติโหมด ซึ่งความจริงที่สำคัญนี้จะกล่าวโดยละเอียดในภายหลัง

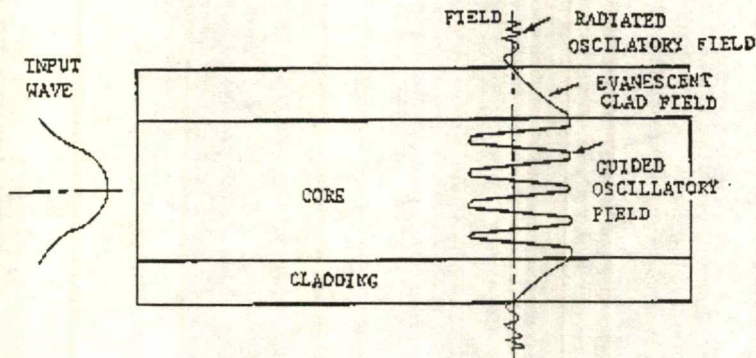


รูปที่ 2.5 โยแก้วนำแสงเคเบิล

Mode mechanism

การแพร่กระจาย (Propagation) แสงใน โยแก้วนำแสง ถูกบังคับด้วยสมการสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของ Maxwell's ซึ่งสามารถบอกถึงจำนวนที่แน่นอนของ โหมด ได้โดยจำนวน โหมด และมุมซึ่งมันแพร่กระจายไปตามไฟเบอร์ นั้นหาได้จากทฤษฎีที่อยู่ในรูปของสมการ

นั่นคือแสงที่เข้าไปในไฟเบอร์มิได้แพร่กระจายไปในลักษณะแรงแคนแต่แซนแนล (Channel) เป็นโหมดแทนโดยโหมดหนึ่งก็เป็น Unique characteristics wave-pattern ที่เป็นไปตามสมการสนามดังกล่าว แต่ละ โหมด จะนำพลังงานแสงทั้งหมดเป็นส่วน ๆ ไป (แต่ไม่เท่ากัน) และแต่ละ โหมด ก็รูปแบบการกระจายคลื่นเฉพาะตัว โหมด ดังกล่าวอาจเปรียบได้กับลำแสงที่ได้อธิบายในหัวข้อจำกัดของแถบ ความถี่ของไฟเบอร์



รูปที่ 2.6 สนามใน เกรด อินเด็กซ์ ไฟเบอร์

จากสมการของ Maxwell's แสดงให้เห็นว่า แสงอาจแพร่กระจายภายใน แคลดคิง ด้วย ทว่าสนามทางแสง (Optical field) ใน แคลดคิง นั้นเป็นสนามที่ยังไม่ยั่งยืนเพราะมันจะค่อย ๆ หายไปตามความหนาของ แคลดคิง ในลักษณะ Exponential

สำหรับจำนวน โหมดที่ไฟเบอร์สามารถรองรับได้นั้นเป็นปริมาณที่ไม่มีขนาดปกติ จึงมัก หมายถึง v-number โดยที่สมการของ v-number ประกอบด้วยคุณลักษณะสำคัญของ ไฟเบอร์ คือ รัศมีของ คอร์ Na และความยาวคลื่นใช้งาน

$$V = 2\pi (a/\lambda)NA$$

$$= (2\pi a n_1) / \lambda * (\sqrt{2}\Delta)$$

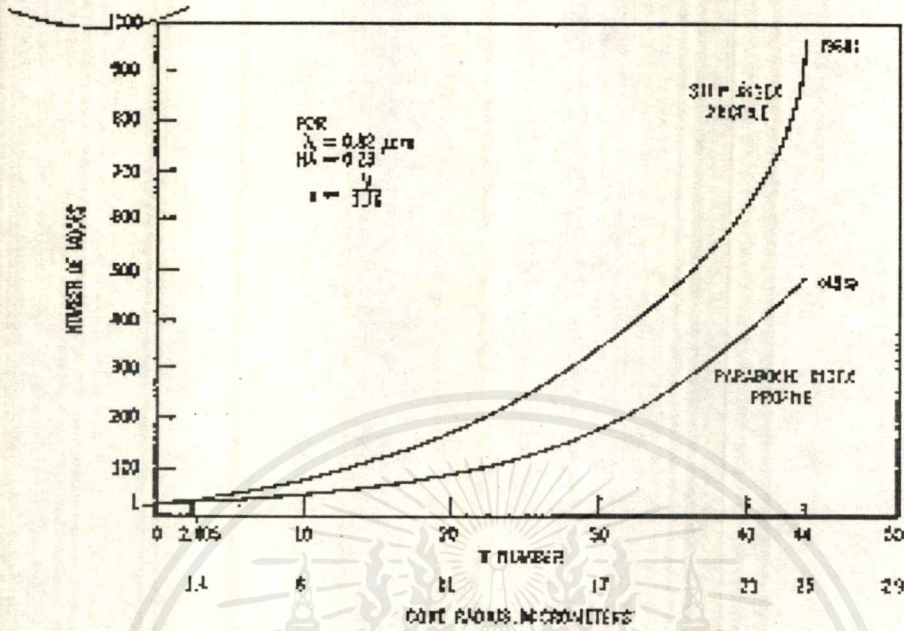
เมื่อ เป็นความยาวคลื่นของแสงที่ส่งด้วยไฟเบอร์

จากการพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโหมดกับ V-number และรัศมีคอร์ของไฟเบอร์ ทั่วๆไป (รูปที่ 2.7) แสดงให้เห็นว่าไฟเบอร์ที่มีคอร์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 um ทั่วๆไป จะมี โหมดการแพร่กระจายคลื่นหลายร้อยโหมดและสามารถแสดงได้ว่าจำนวนของโหมดการแพร่กระจายคลื่น นั้นประมาณเท่ากับ

$$M = V^2 / 4 \quad \text{สำหรับ พาราโบลิกเกรดอินเด็กซ์}$$

$$M = V^2 / 2 \quad \text{สำหรับ สเต็ปอินเด็กซ์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 จำนวน Transmission mode เพิ่มขึ้นตามรัศมีคอร์ของไฟเบอร์และ V-number ในกรณีไฟเบอร์ชนิดสเต็ปอินเด็กซ์จะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าพาราโบลิกเกรดอินเด็กซ์และถ้ารับค่าความยาวคลื่น NA กับรัศมีคอร์ของไฟเบอร์ตามที่แสดงนี้ไฟเบอร์จะรองรับเพียงโหมดเดียวเมื่อรัศมีคอร์ต่ำกว่า 1.4 um

กรณีพิเศษที่สำคัญมากอันหนึ่ง นั่นคือการแพร่กระจายแบบโหมดเดียวดังรูปที่ 2.6 จะเป็นการแพร่กระจายแบบโหมดเมื่อ v-number มีค่าต่ำกว่า 2.045 ซึ่งค่าในที่นี้ โหมด อื่น ๆ ทั้งหมดถูกกัทออฟหมดดังนั้นหากจะให้ได้ v-number ที่ต่ำมากๆ ในย่านของความยาวคลื่นทำงานที่คาดไว้ (0.82-1.6) แล้ว ผลคูณของรัศมี คอร์ กับ NA ต้องมีค่าน้อย ๆ มากทีเดียว

$$a/\Delta < 0.24 \quad \text{for} \quad 1.3 \mu\text{m}$$

$$a/\Delta < 0.15 \quad \text{for} \quad 0.82 \mu\text{m}$$

จากสมการแสดงว่าไฟเบอร์แบบโหมดเดียว มีเส้นผ่าศูนย์กลาง คอร์ เล็กมาก (โดยทั่ว ๆ ไปน้อยกว่า 10um และต้องทำให้มีผลต่างของดรรชนี (Index difference) น้อยด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

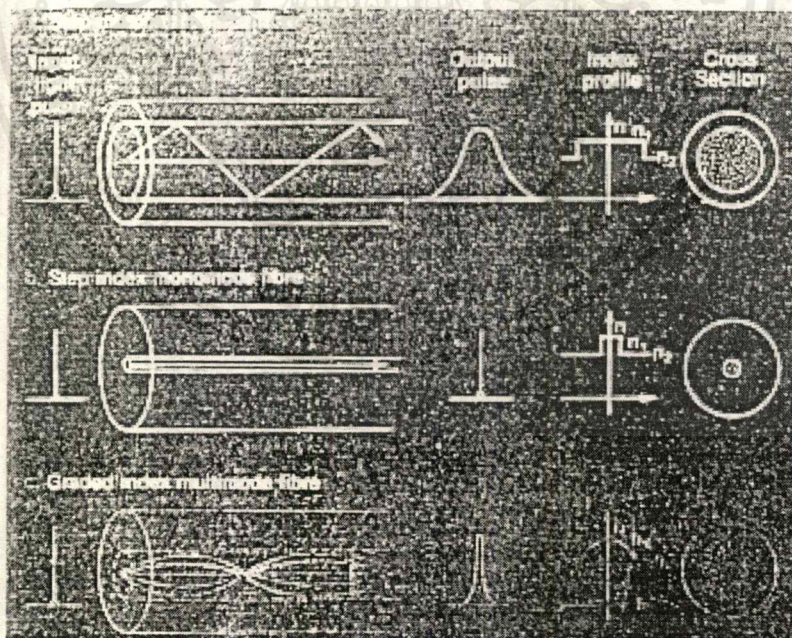
2.2.6 ประเภทของใยแก้วนำแสง

ใยแก้วนำแสง สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ แบ่งตาม โหมดการแพร่กระจายคลื่น สารที่ใช้ทำ และ โครงสร้าง

1. โหมดการแพร่กระจายคลื่น แบ่งย่อยลงอีกได้อีก 3 ชนิดคือ
 - 1.1 ซิงเกิล โหมดสเต็ปอินเด็กซ์ไฟเบอร์ (Single Mode Step Index Fiber)
 - 1.2 มัลติโหมดสเต็ปอินเด็กซ์ไฟเบอร์ (Multi Mode Step Index Fiber)
 - 1.3 มัลติโหมดเกรดอินเด็กซ์ (Multi Mode Graded Index)

ซิงเกิลโหมดสเต็ปอินเด็กซ์ไฟเบอร์

ไฟเบอร์ชนิดนี้มี คอรัล่อนข้างเล็กมาก (ราว 2-3 μm) มันจะยอมรับเฉพาะออเดออร์โหมดต่ำสุดเท่านั้นและไม่ทนต่อโหมดคิสเปอร์ชัน จัดว่าเป็นไฟเบอร์ที่มีราคาแพงและต้องใช้แหล่งกำเนิดแสง (Source) ที่มีกำลังสูงมาก ๆ และเป็น Highly directional เช่น เลเซอร์ไดโอด (Laser Diode) ดังนั้นจึงมักใช้ในระบบที่ไกล ๆ และอัตราส่งข้อมูลมาก ๆ



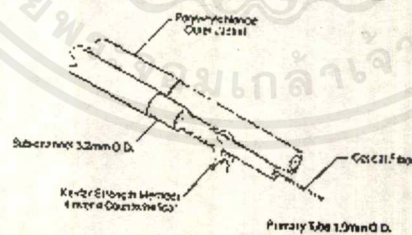
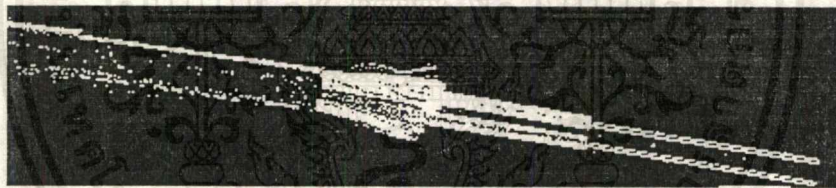
รูปที่ 2.8 ใยแก้วนำแสง แบ่งตามโหมดการแพร่กระจายคลื่นซิงเกิล โหมดสเต็ปอินเด็กซ์ไฟเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มัลติโหมดสเต็ปอินเด็กซ์ไฟเบอร์

ใยแก้วนำแสง ส่วนใหญ่โดยเฉพาะที่เป็นแบบพลาสติกทั้งหมด มักจะทำให้อยู่ในรูปของเป็นกลุ่มหรือบันเดิล(bundle) ซึ่งปกติจะจำกัดการใช้งานอยู่ในความถี่ที่ต่ำมาก และระยะไกล ๆ โดย บันเดิล ทั้งหมดอาจต่อเข้ากับ ซอร์ซ และ เซ็นเซอร์ ชุดเดียวหรือหลาย ๆ ชุดที่ปลายด้านหนึ่งก็ได้ นอกจากนี้อาจใช้ บัลดิส ในการต่ออาร์เรย์(Array) ของ ซอร์ซ ต่าง ๆ เข้ากับอาร์เรย์ที่เมทซ์กันได้อีกด้วย อันหนึ่งจึงทำให้สามารถต่อเซนแนลของสัญญาณ โดคๆ (Discrete signal) หลาย ๆ ชุดได้ โดยไม่ต้องใช้

เทคนิคของการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วยเคเบิลแต่ละไฟเบอร์ปกติแล้วจะแยกกันเป็นแต่ละเปลือก (Jacket) ตัวอย่างเช่น ไฟเบอร์ที่จัดอาเรย์แบบริบบอนหรือเป็นแถบๆพบกันใช้บ่อยๆในระบบโทรศัพท์ที่ใช้ ใยแก้วนำแสง โดยปกติ ไฟเบอร์ มี ย่านแถบความถี่ เป็นหน่วย Mhz - Km. กล่าวคือ เคเบิล 200 MHz-Km. จะสามารถส่งข้อมูลที่มีความถี่ 200Mhz ไปถึง 1 KM. หรือที่ความถี่ 100 kHz. ก็จะไปได้ไกลถึง 2 Km. เป็นต้น อันนี้เป็นผลของกายยัค พัลซ์ เนื่องจากความยาวของทางเดินที่แตกต่างกันอันเกิดจากลักษณะการแพร่กระจายของ ไฟเบอร์



Specifications: Duplex Computer Cable

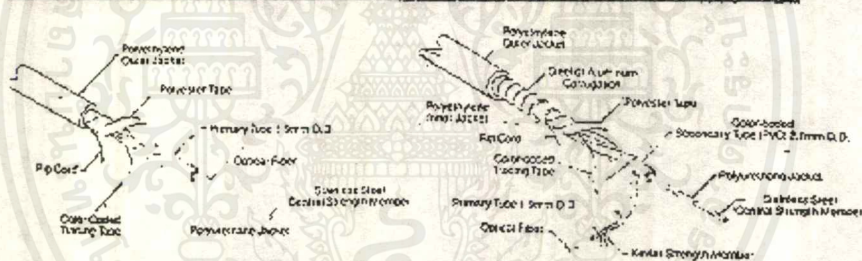
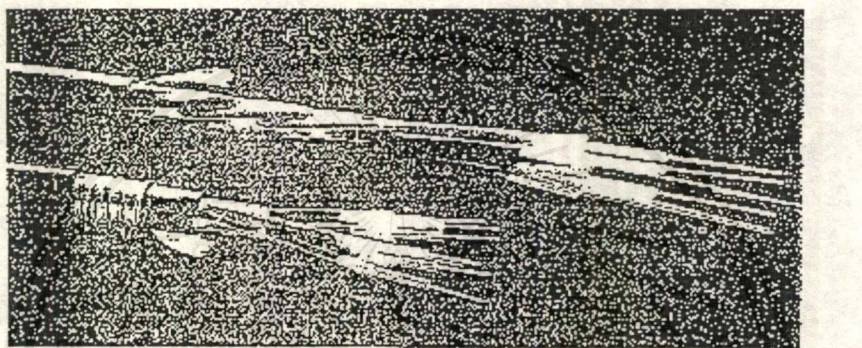
Optical		
Number of fibers	2	
Maximum attenuation @ 800nm	12	dB/km
Minimum bandwidth (-3dB) @ 800nm	25	MHz-km
Fiber core diameter, nominal	250	µm
Fiber cladding diameter, nominal	350	µm
Bufler diameter, nominal	550	µm
Numerical aperture, nominal	.3	

รูปที่ 2.9 สเต็ปอินเด็กซ์ ไฟเบอร์ PC10 ของ VALTEC สำหรับใช้กับคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มัลติโหมด เกรดอิดีคซ์ไฟเบอร์

ความยาวของสายยิ่งมาก ความแตกต่างของทางเดิน (เช่นระหว่างออคเตอร์โหมด ต่ำสุดกับออคเตอร์โหมดสูงอันหนึ่ง) จะยิ่งมากขึ้น เพราะฉะนั้นเพื่อที่จะเอาชนะการผิดเพี้ยนอันเนื่องมาจากความแตกต่างของความยาวของทางเดิน บริษัทผู้ผลิต ไฟเบอร์ จึงได้พัฒนา เกรดอิดีคซ์ไฟเบอร์ ขึ้นมา ไฟเบอร์ แบบนี้ แบนวิดท์สูงกว่าแบบ มัลติ โหมด สตีปอิดีคซ์



Optical

Number of fibers	4,5 or 6	
Maximum attenuation @ 850nm	3.5 4.0 5.0	dB/km
Minimum bandwidth (-3dB) @ 850nm	200 100 800	MHz*km
Fiber core diameter, nominal	50	µm
Fiber cladding diameter, nominal	125	µm
Buffer diameter, nominal	250	µm
Numerical Aperture, nominal	2	

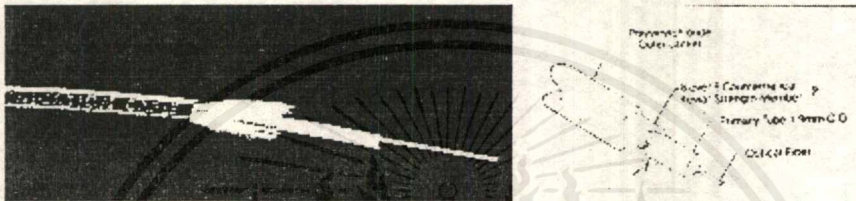
รูปที่ 2.10 เกรด อิดีคซ์ออปติคัล ไฟเบอร์ MG05 ของ VALTEC สำหรับงานด้านโทรคมนาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

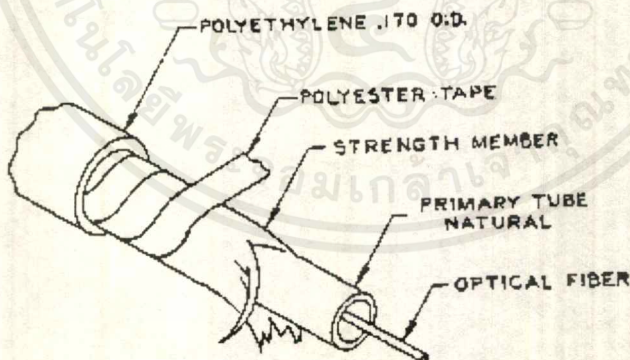
2.2.7 โครงสร้างของ โยแก้วนำแสง

โยแก้วนำแสง สามารถแบ่งออกตามโครงสร้างได้มากมายหลายแบบ ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตและจุดมุ่งหมายในการนำไปใช้งานเป็นสำคัญ โดยไม่ได้แย่งไว้แน่นอนตายตัว

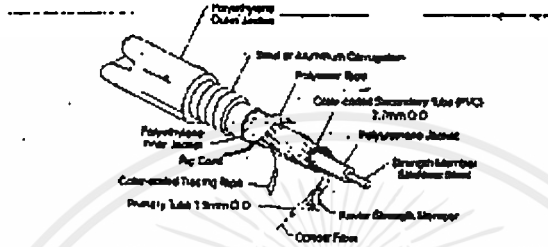
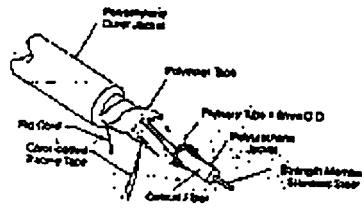
ในรูปต่อไปนี้เป็นตัวอย่างพอสั่งแบบของ โยแก้วนำแสง ที่มีโครงสร้าง หรือส่วนประกอบต่าง ๆ สำหรับรายละเอียดได้กล่าวถึงในบทต่อไป



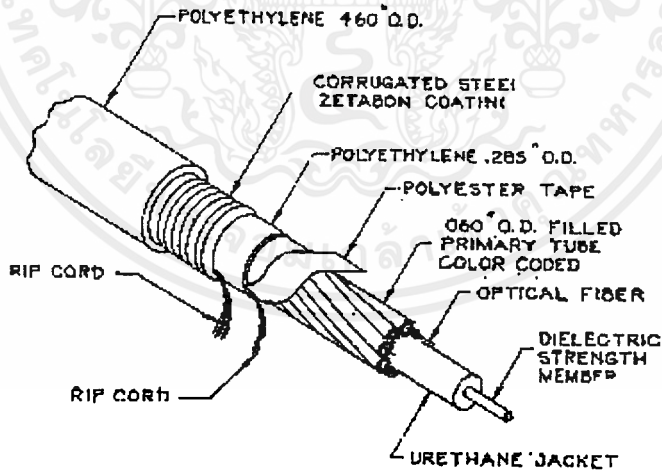
รูปที่ 2.11 ไฟเบอร์ออปติกสำหรับงานเอนกประสงค์



รูปที่ 2.12 โยแก้วนำแสง ที่ใช้ในงานทางทหาร สำหรับติดตั้งอยู่กับที่ 1 ช่องสัญญาณ

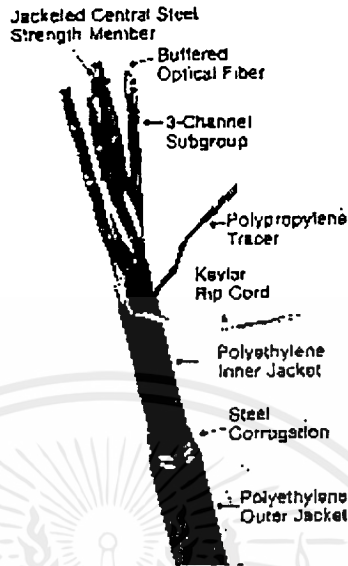


รูปที่ 2.13 โยแก้วนำแสง สำหรับงานด้านการสื่อสาร 7-12 ช่องสัญญาณ



รูปที่ 2.14 โยแก้วนำแสง ที่ใช้ในการสื่อสารทางทหาร 6 หรือ 8 ช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



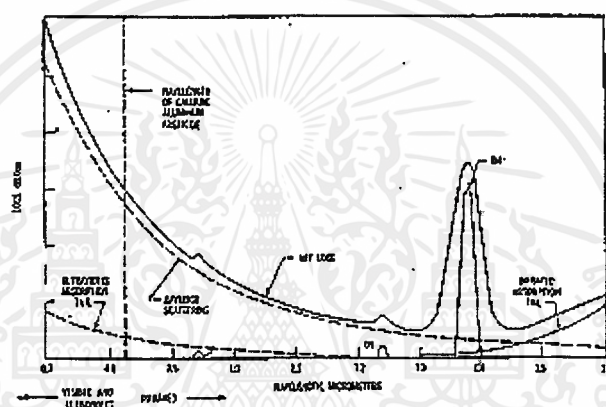
รูปที่ 2.15 ไฟเบอร์ออปติกใช้สำหรับวงจร Trunk ของข่ายโทรศัพท์

2.2.8 โยแก้วนำแสงทางปฏิบัติ

ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นเป็นตัวนำคลื่นที่เป็นอุดมคติ (Ideal waveguide) มี คอรัล และ แคลดดิ้ง ที่ไม่มีการสูญเสีย และบริเวณรอยต่อที่รียบเรียงกับรูปทรงภาคตัดขวางสมมาตรแบบ แต่ทว่า โยแก้วนำแสง ที่ใช้งานจริง ๆ นั้นทำด้วยแก้วมีสิ่งที่ไม่บริสุทธิ์ ซึ่งให้แสงกระจาย (Dispersion) ได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของดัชนีหักเหตามความยาวคลื่น นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงขนาดที่เกิดขึ้นในหารประดิษฐ์ก็สามารถทำให้เกิดการสูญเสียได้จากการกระจัดกระจายของแสง (Light scattering) และกระทบกระเทือนถึงคุณภาพในการต่อ (Connection) หรือตัดต่อ (Splicing) ไฟเบอร์ ด้วย เนื่องจากมีขนาดต่างกัน ในรูปที่ 2.16 แสดงปัญหาในทางปฏิบัติที่เกิดขึ้นได้กับการประดิษฐ์ตัวนำแสง

Absorbtion

ในรูปที่ 2.17 เป็นการพล็อตการสูญเสียทางแสงของใยแก้วนำแสง เป็นองค์ประกอบหนึ่ง ของความยาวคลื่น (Wave length) ของแสงที่ผ่านนั้น นับได้ว่ามีประโยชน์มากซึ่งจะแสดงให้เห็น ถึงว่าการสูญเสียที่เกิดขึ้น อันจะช่วยในการพัฒนากรรมวิธีที่จะผลิตแก้วที่มีการสูญเสียต่ำ และช่วย ตรวจสอบกรรมวิธีระหว่างการผลิตนอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าซิลิกาไฟเบอร์ที่เดิมมาด้วยเยอรมัน เนียม และ ฟอสฟอรัส จะมีการสูญเสียที่ความยาวคลื่นราว 1.3 um.



รูปที่ 2.17 เส้นกราฟแสดง Net spectral loss ของ แก้ว ซึ่งประกอบด้วย ส่วนประกอบ ต่าง ๆ จาก Rayleigh scattering ultraviolet absorption red hydroxy ion (OH-) absorption

ย่านการทำงานของแหล่งกำเนิดแสงทั่ว ๆ ไปนั้นถูกกำหนดแน่นอนได้โดย ใช้วัสดุที่มี Energy gap เหมาะกับปฏิกิริยาของเลเซอร์ การเลือกใช้แก้วที่มีการเติม ซิลิกา นั้นมีข้อดีที่ทำให้เกิด ช่องว่างระหว่างย่านดูดกลืนอินฟราเรด กับ อัลตราไวโอเลต ดังแสดงในรูปที่ 2.17 โดยการดูดกลืน จะมีผลเมื่อ Light photon มีพลังงานพอเพียงที่จะกระตุ้นอิเล็กตรอนของวัสดุประกอบเป็นแก้ว ใน กรณีที่ซิลิกาบริสุทธิ์เป็นศูนย์กลางโปร่งแสงออกซิเจนไอออนจะมีอิเล็กตรอน ที่ยึดติดกันเหนียวแน่น มากทำให้มีเพียง Ultraviolet light photons เท่านั้น มีพลังงานที่จะดูดกลืน โดยการสูญเสียในการ ดูดกลืนเกิดขึ้นเป็นความร้อนเล็กน้อย

อย่างไรก็ตามซิลิกาในไฟเบอร์นำแสงประกอบด้วยDopantsกับTransitionMetal Impuritiesที่อิเล็กทรอนิกส์สามารถกระตุ้นได้ด้วยแสงที่มีพลังงานต่ำๆส่วนประกอบเหล่านี้มันจะเลื่อนการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลตให้ต่ำลง และทำให้แถบดูดกลืน (Absorbtion band) เพิ่มขึ้นในย่านที่มองเห็นได้และย่านใกล้อินฟราเรดโดยขนาดของการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นจากImpurities เหล่านี้ขึ้นอยู่กับ การรวบรวม (Concentration) ของมัน ที่ความยาว คลื่นแน่นอน 1 ในพันล้านของ เหล็ก (Fe^{+2}) โครเมียม (Cr^{+3}) หรือ Transition metal impurities อื่น ๆ สามารถเพิ่มการดูดกลืน ได้อย่างง่าย ๆ ถึง 1 dB/Km. ในตารางที่ 2 เป็นการสรุปการสูญเสียที่สำคัญที่เกิดขึ้นจาก impurities

IMPURITIS	CONCENTRATIN	การสูญเสียที่เกิดขึ้น(dB/km)
OH^-	1 ppb	1 at 0.95 um 2.4 at 1.13 um 50 at 1.38 um
Fe^{+2}	1 ppb	0.7 at 1.10 um
Cu^{+2}	1 ppb	0.4 at 0.85 um
Cr^{+3}	1 ppb	1.0 at 0.65 m

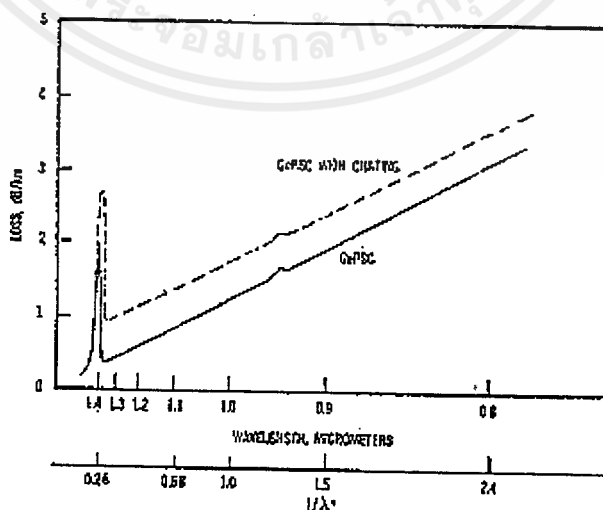
ตารางที่ 2 Impurities absorbtion loss

นอกจากปัญหาที่มีความสำคัญเกี่ยวกับการดูดกลืน Impurities แล้ว ก็ยังมีปัญหาเพิ่มเติม อันหนึ่งที่เกิดขึ้นจาก Hidroxzin ion (HO^-) หรือที่เรารู้จักกันดีคือ น้ำ การสั่นสะเทือนของ ไอออน นี้จะเกิดที่ความยาวคลื่น 2.7 um ขยายไปจนถึง Window region โดย Concentration ของ OH^- ที่ต่ำมากเพียง 1 ในล้านส่วนก็สามารถทำให้เกิดการสูญเสียขึ้นได้สูงถึง 1 dB/Km. ที่ 0.95 um และ 50 dB/Km ที่ 1.4 um. จึงเป็นสิ่งสำคัญในอันที่จะลด Water peaks เหล่านี้ให้ต่ำสุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้มีการสูญเสียต่ำสุดใน Vally ระหว่างพีก (คือ จาก 1.2- 1.3 um)

กรรมวิธีก็คือการทำไฟเบอร์ให้มีซิลิกาหลายๆการสูญเสียค่าโดยการใส่ ซิลิกา Tetre chloride (SiCl_4) เป็นวัตถุดิบ ซึ่ง SiCl_4 นี้เป็นของเหลวอย่างหนึ่ง ที่สามารถทำให้อยู่ในระดับการใช้งานทางอิเล็กทรอนิกส์ได้หรือทำให้บริสุทธิ์ได้ แม้ในระดับสูง ๆ โดยทั่ว ๆ ไป แล้วนั้นมี Transition metal impurities ต่ำมากแต่ก็อาจมีจำนวน Hydrogen bearing compound จากการที่แก้วสำหรับใช้ทำตัวนำคลื่นนั้นทำได้ด้วยกรรมวิธี React SiCl_4 กับ ออกซิเจน ซึ่งทำให้เกิด OH^- ได้ง่าย ถ้ามีไฮโดรเจนอยู่บ้างดังนั้นมันจึงมีความสำคัญไม่เพียงแต่ใช้วัสดุ Precursor ที่มีไฮโดรเจน Compound content ต่ำเท่านั้น แต่มันยังป้องกันมิให้ของผสมที่คล้ายคลึงกับอื่น ๆ เข้าไปในกรรมวิธีได้ ตัวอย่างเช่น จากบรรยากาศ

Scattering

การกระจัดกระจายเรย์ไลซ์ (Rayleigh scattering) เป็นปรากฏการณ์เบื้องต้นที่เป็นผลมาจากความหนาแน่นและการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบภายในวัสดุใน ไฟเบอร์ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อแก้วถูกผลิตเนื่องจากมันต้องผ่านจุดเปลี่ยน (Transition point) แก้วกลายเป็น Amorphous solid ที่จุดดังกล่าวนี้มีระดับของการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนแน่นอนอันหนึ่งซึ่งทำให้ค่าการกระเพื่อม (fluctuate) ทางความร้อน และส่วนประกอบซึ่งจะถูกทำให้แข็งเป็น lattice ที่จุดอ่อนตัวและขึ้นอยู่กับส่วนประกอบวัสดุ ขนาดความไม่สมบูรณ์ดังกล่าวนี้ น้อยกว่าความยาวคลื่นแสง (ประมาณ 1 μm) สำหรับรูปที่ 2.18 การกระจัดกระจายของเรย์ไลซ์ เป็นปฏิภาคกับ $1/\lambda^4$



รูปที่ 2.18 เมื่อพล็อตการสูญเสียกับ $1/\lambda^4$ จะได้ผลออกมาเป็นเส้นตรงยกเว้นสำหรับ พิกัดที่ความยาวคลื่น

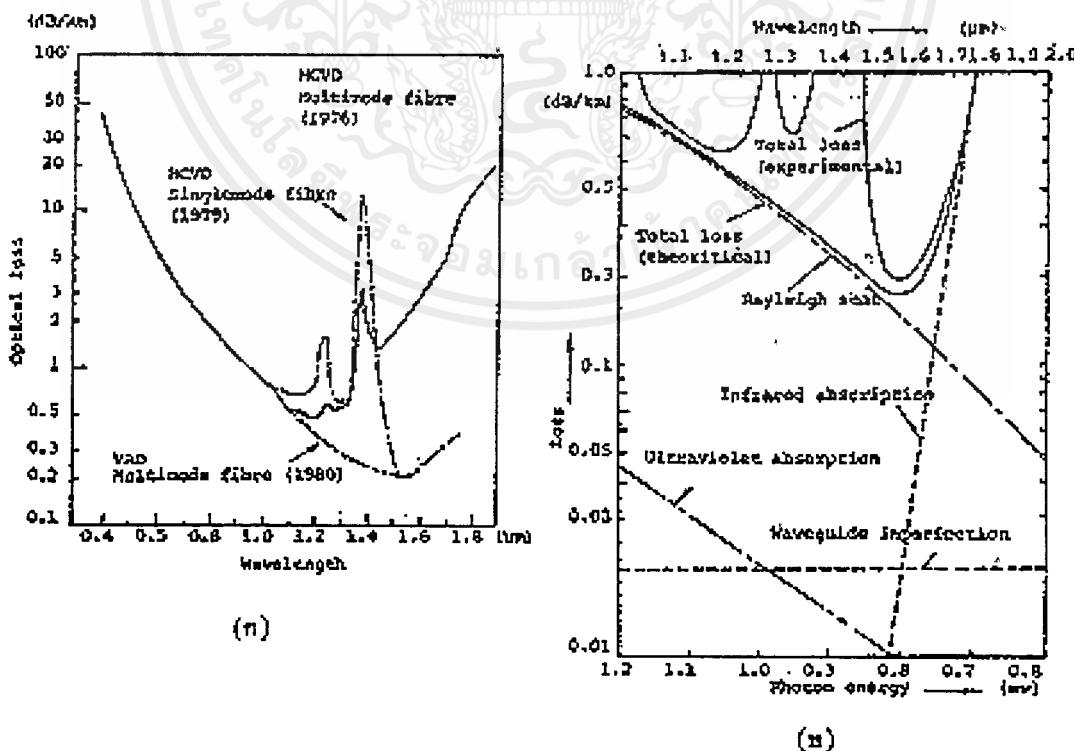
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

hydroxyle absorbtion และการเพิ่มการหุ้มป้องกัน
 เมื่อพล็อตการสูญเสียเป็นองค์ประกอบหนึ่งของ $1/\lambda^4$ ดังรูปที่ 7 เราอาจเขียนสมการสำหรับ
 เส้นตรงได้เป็น

$$L = A/\lambda^4 + B$$

เมื่อ Slope A เป็น Rayleicent และ Intercépt B เป็น wave guide scatter หรือการ
 สูญเสียเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของตัวนำคลื่น ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับความยาวคลื่น

วิธีนี้ทำให้การปรับ water peaks ทำได้ง่ายและไม่ได้ผลกระทบกระเทือนจาก A และ B
 ค่า B สามารถทำให้ใกล้เป็นศูนย์ได้โดยการกระทำ ไฟเบอร์ ด้วยความประณีต (คอร์ มีความ
 สม่ำเสมอ ไม่มีฟองอากาศ) วิธีการพล็อตแบบนี้ทำให้ได้ง่ายต่อการ Detec waveguide scatter
 และการปรับ Raleigh scattering สำหรับส่วนประกอบวัสดุที่แตกต่างกันอีกด้วย ดังในรูปที่ 7
 เป็นกรณีของ เยอรมันเนียม-ฟอสเฟอร์ซิลิกาไฟเบอร์



รูปที่ 2.19 การสูญเสียทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้แสดงเส้นโค้งของ ไฟเบอร์ GePCS ที่มีการหุ้มท่อ ด้วยซึ่งมันก่อให้เกิดการสูญเสียจาก micro-bending ขึ้นการหุ้มดังกล่าวมิได้ทำหน้าที่เป็นเครื่องกั้นการกระทบกระแทกสำหรับไฟเบอร์จึงไม่สำคัญแต่เป็นเพียงการป้องกันไฟเบอร์จากการขูด ถลอก และปฏิกิริยาทางเคมีเท่านั้น แต่ยังทำหน้าที่เป็น insulation จาก microbending force อีกด้วย

Excess loss การสูญเสียนี้เกิดจากการผลิตเป็นส่วนใหญ่ พอแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. Micro bending
2. Macro bending
3. Splicing and connecting

Delay dispersion

เมื่อพัลส์ของกำลังงานแสงเดินทางไปให้ไฟเบอร์มันจะเกิดการขยายตัวออกเป็นองค์ประกอบของความยาวของไฟเบอร์การขยายพัลส์นี้จะเป็นตัวกำหนดย่านแถบความถี่ซึ่งนั่นคือความสามารถในการนำข่าวสารของ ไฟเบอร์ และจากการที่ pulse stream จะขยายออกไปเรื่อย ๆ ในที่สุดก็จะไม่สามารถแยกแต่ละ พัลส์ ออกจากกันได้ การขยาย พัลส์ นี้โดยหลักใหญ่เป็นผลของ 2 อย่างในตัวลำแสง คือ material dispersion และ modal dispersion

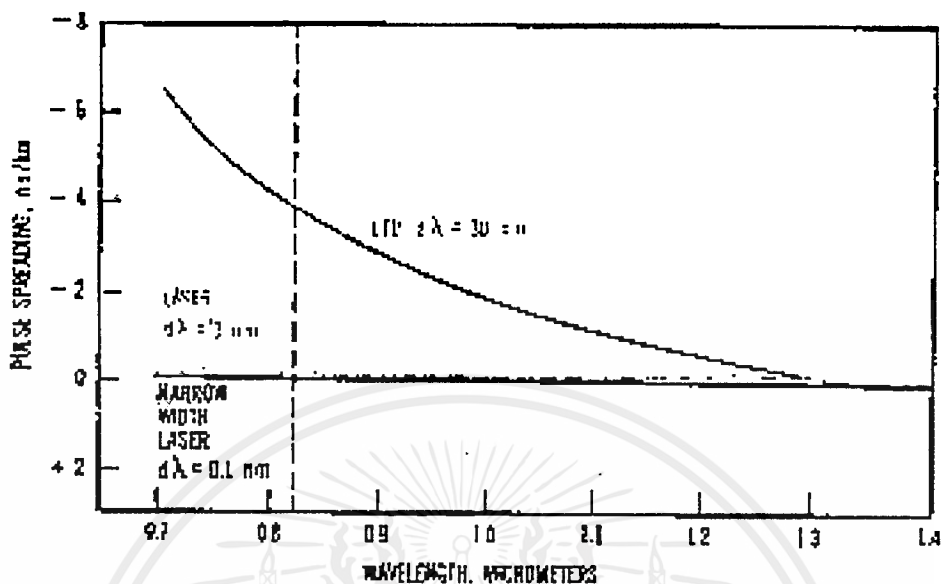
1. Material dispersion

เลเซอร์พัลส์จะเกิดการกระจายตัวและขนาดของการกระจายขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของแก้ว เช่นเดียวกับ spectral-width ของซอร์ซ โดยการกระจาย(หรือที่เรียกว่า Material dispersion) เกิดขึ้นเนื่องจากดรรชนีหักเหเปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่น พัลส์ที่กระจายสามารถประมาณได้จาก

$$S = (\infty \lambda / c)(dn/d\lambda)$$

เมื่อ $\infty \lambda$ เป็น Spectral width ของแหล่งกำเนิดแสง

- c เป็น ความเร็วแสง
- n เป็นดรรชนีของ คออร์



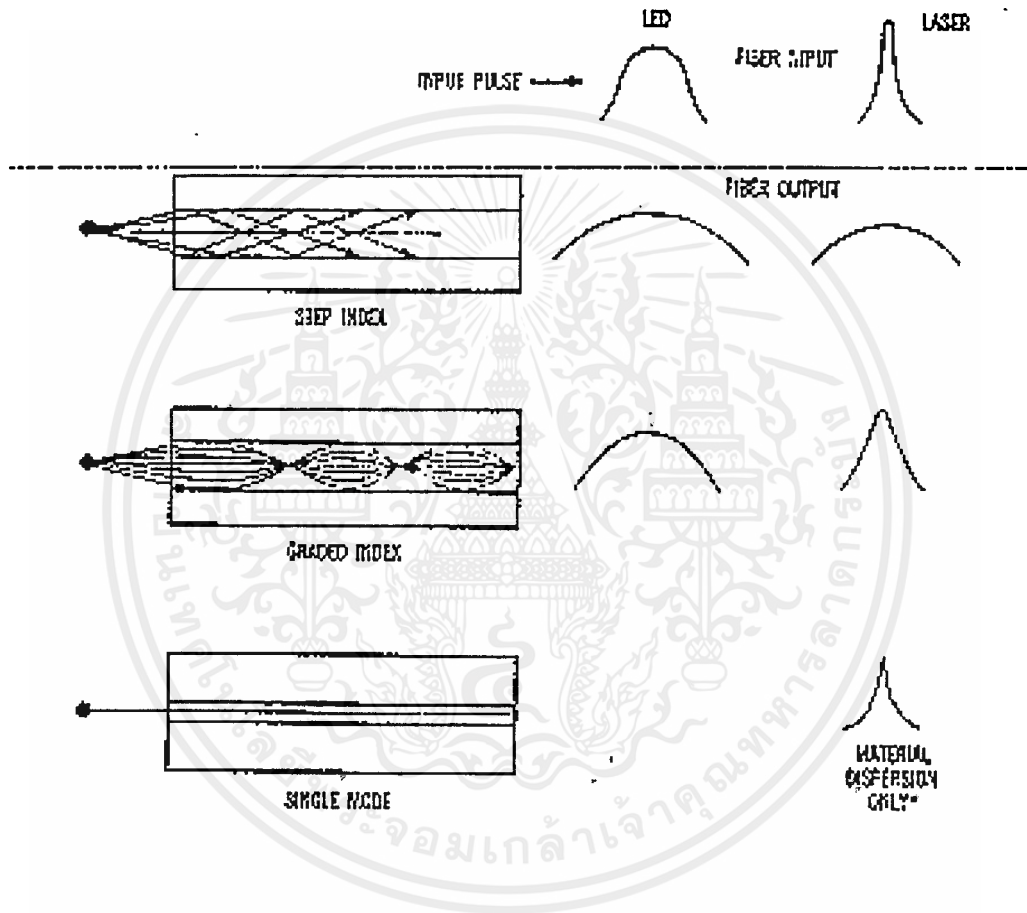
รูปที่ 2.20 Material dispersion กับความยาวคลื่น

ในรูปที่ 2.20 แสดงขนาดของ material dispersion สำหรับซิลิกาบริสุทธิ์ เส้นโค้งจะเลื่อนไปเล็กน้อยเมื่อเติม Dopants germanium, phosphorous เข้าไปโดยตามรูป มีเส้นโค้ง 3 เส้น เป็นการกระจาย pulse/Km. ของแหล่งกำเนิดแสง LED multi mode laser และ single-mode laser ที่มี spectral width 30 nm, 3nm, 1nm ตามลำดับ มีสิ่งที่น่าสังเกตก็คือ เส้นโค้งดังกล่าวจะตัดกับเส้นศูนย์ที่ความยาวคลื่นเกือบ $1.3 \mu\text{m}$. ดังนั้นเมื่อต้องเกี่ยวข้องกับ การกระจายพัลส์เนื่องจาก Material dispersion ใดๆ จำเป็นต้องออกแบบและให้ ไฟเบอร์ ทำงานที่ความยาวคลื่น $1.3 \mu\text{m}$ อันนี้จะช่วยให้ ย่านแถบความถี่ กว้างสูงสุด เพราะ เลเซอร์ แคบ แสดงว่ามี พัลส์ ต่อหน่วยเวลามาก (นั่นคือ ความถี่ พัลส์ สูง) นอกจากนี้การสูญเสียของ เยอรมันเนียม-ฟอสฟอรัส ซิลิกาไฟเบอร์ มีค่าต่ำมากที่ความยาวคลื่น $1.3 \mu\text{m}$ ทำให้ลด OH- ลงต่ำสุดดังนั้นจึงมีผลดี 2 อย่างที่เลือกความยาวคลื่นนี้

ถ้าหากเลือกแบบ ไฟเบอร์ เป็น ซิงเกิล โหมด ที่มี Modal dispersion เป็นศูนย์แล้ว ย่านแถบความถี่ จะถูกจำกัดด้วยเพียง Material dispersion อย่างเดียวเท่านั้น ในรูปที่ 2.21 แสดงให้เห็นว่าทำไมเทคโนโลยีซิงเกิลโหมดจึงเป็นที่น่าสนใจในระบบที่มีแถบความถี่สูงมัลติโหมดไฟเบอร์ที่ออกแบบสำหรับใช้กับความยาวคลื่นอื่นๆ นอกเหนือ $1.3 \mu\text{m}$ ผลของ Material dispersion อาจชดเชยได้บ้างด้วยการเลือก Index of refraction โปรไฟล์ให้ดีที่สุด นั่นคือการเลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Exponent ของสมการ (3) ต่างจากกรณีพาราโบลิก เล็กน้อย ($\alpha = 2$) ซึ่งหากเป็นวัสดุพวก germanium-phosphur ซิลิกา และความยาวคลื่นเท่ากับ $0.82 \mu\text{m}$ แล้วค่า n_1 ที่ดีที่สุดประมาณ 2.08



รูปที่ 2.21 พัลส์ ของ LED มักจะกระจายออกมากกว่า พัลส์ ของ เลเซอร์ในใยแก้วนำแสง
อย่างไรก็ตามสำหรับเกรดอินเด็กซ์ไฟเบอร์นั้นจะกระจายพัลส์ เล็กน้อยเท่านั้น
และการกระจายเกิดขึ้นจาก Material dispersion

Modal dispersion

ในการส่งกำลังไปในใยแก้วนำแสง ทัว ๆ ไปนั้นมียูด้วยกันหลาย ๆ โหมด และแต่ละโหมด ก็มีเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น (Wave propagation) เฉพาะของมันรวมทั้งการแจกจ่ายกำลัง (Power distribution) ภายในไฟเบอร์ ดังรูปที่ 2.21

กรณีของ สเต็ปอินเด็กซ์ไฟเบอร์นั้นมี ดิเลย์ ระหว่าง โหมด ที่มีเส้นทางยาวที่สุดและ โหมด ที่อยู่บนแกนจริงต่างกันที่มากที่สุด เส้นทางยาวที่สุดเกิดขึ้นเมื่อลำแสงเข้าไปที่จุดวิกฤติซึ่งสภาวะดังกล่าวนี้ ความแตกต่างของการ ดิเลย์ มีค่าโดยประมาณเท่ากับ

$$\propto T' = \Delta T1$$

เมื่อ T1 เป็น Transition time ต่อ Km. ของ Lowest order โหมด ที่ center-line axis

Δ เป็น Relative index difference ตามสมการที่ (2)

สเต็ปอินเด็กซ์ ไฟเบอร์ (σT) ทัว ๆ ไปมีค่าประมาณ 65 ns/Km. เมื่อ T1 = us/Km และ $\Delta = 1.3\%$

ค่า dispersion นี้ต้องให้มีค่ามาก ๆ เพื่อที่จะได้สามารถใช้กับการเรียกทางโทรศัพท์พร้อม ๆ กันได้หลาย ๆ ลิบเครื่องในระยะทางไกล ๆ ไม่เกิน 2-3 km.

นอกจากนี้ ก็มีทางเป็นไปได้ที่จะทำการชดเชย time-delay difference ได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของแกน แต่อย่างไรก็ตามไม่มีทางจะชดเชยได้ทุก โหมด ได้สมบูรณ์แต่สำหรับ เกรดอินเด็กซ์ โปรไฟล์ ดังอธิบาย ในสมการ ที่ (3) นั้นพอที่จะทำให้เป็น ใยแก้วนำแสง ที่มีแถบถี่กว้าง ๆ ได้ สมมุติ exponent .ในสมการ ที่ (3) มีค่าเป็น 2 แล้วเราก็สามารถลดค่า ดิเลย์ difference ลงเป็น

$$\sigma T = \Delta^2 / 2T1$$

$$= 0.4 \text{ msec/Km}$$

ค่า Delay difference นี้จะดีกว่าค่าของ สเต็ป อินเด็กซ์ กว่า 100 เท่า และถ้าหาก มีค่าเข้าใกล้ค่า Optimal แล้วทั้ง Lowest order โหมด กับ Highest order โหมด ก็จะมี delay time เหมือนกัน ก็จะลดค่า delay difference ลงไปได้อีก โดยเหลือเป็น

$$\sigma T = \Delta^2 / 8T1$$

$$= 0.1 \text{ nsec/Km.}$$

ในทางปฏิบัติแล้วเป็นไปได้ยากที่จะให้ได้ Optimal index gradient กับไฟเบอร์ที่ยาวหลาย ๆ กิโลเมตร ซึ่งถ้าเราลองวิเคราะห์ โหมด Dispersion ที่เป็นผลจากการคลาดเคลื่อนในโปรไฟล์ แล้ว ดรรชนีจะกลายเป็น

$$nr = (1 - \Delta r/a(\alpha))$$

สำหรับการคลาดเคลื่อน d เล็กน้อย 0.05 นั้น โหมด dispersion จะเป็น

$$\sigma_T = 9 \Delta^2 / \sigma_{TI} \text{ sec/Km.} \text{ ซึ่งมีค่ามากกว่า optimal delay ในสมการที่}$$

(12) ถึง 9 เท่า

2.3 ตัวกำเนิดแสง และตัวจับแสง

คุณลักษณะของตัวกำเนิดแสง (light source) ตัวกลางในการส่ง และตัวจับแสง (light detector) สำหรับระบบการสื่อสารด้วยคลื่นแสงจำเป็นที่จะต้องให้เข้ากันได้เป็นอย่างดี ตัวกำเนิดแสงที่ดีที่สุดในปัจจุบัน คือ Aluminium gallium arsenide heterojunction laser ที่มี เอาร์ทพุท 0.820 μm โดย เลเซอร์ ทำด้วยเทคนิคของ liquid-phase epitaxial และตัวจับแสงที่ดีที่สุดในปัจจุบัน Silicon avalanche photodiode ที่ทำด้วยเทคโนโลยีของ ซิลิกอน ธรรมชาติ

ตัวกำเนิดแสงจะต้องปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่นซึ่งสามารถส่งด้วย ใยแก้วนำแสง โดยมีการสูญเสียที่น้อยที่สุด และตัวจับแสงต้องมีความไวสูงต่อความยาวคลื่นเดียวกัน และตอบสนองพัลส์ แสงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดที่ มอดคูเลท ทาง ดิจิตอล อย่างรวดเร็ว ความต้องการดังกล่าว จึงเป็นตัวกำหนดลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้เป็นตัวกำเนิดแสง และตัวจับแสงที่ใช้ระบบคลื่นแสง

ประสิทธิภาพของ silicon photo diode มีค่าสูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 0.800 μm และตกลงอย่างรวดเร็วที่ความยาวคลื่นสูงกว่า 0.950 μm การสูญเสียของแสงในตัวนำแสง (light guide) ชนิด เฮอร์มันเนียม-ฟอสเฟอ (OH-) สำหรับความยาวคลื่น เอาร์ทพุท ของ Aluminium gallium arsenide heterojunction laser นั้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้ภายในขีดจำกัดโดยการเปลี่ยนแปลง metallurgical composition

ทั้งตัวกำเนิดแสงแบบ เลเซอร์ และตัวจับแสง photo detector นั้นเหมาะสมอย่างยิ่งกับการส่ง information ของระบบคลื่นแสงในอัตราประมาณ 45 Mb/s โดยอุปกรณ์เหล่านี้จะกำเนิดหรือ recombine คู่ โสไล-อิเล็กตรอน ในเวลา 10-10 วินาที นั่นคือ เลเซอร์ สามารถที่จะส่ง พัลส์ ด้วยอัตรา 45 mb/s และ photo detector ก็สามารผลิต พัลส์ ด้วยอัตราเดียวกับ พัลส์ จาก เลเซอร์

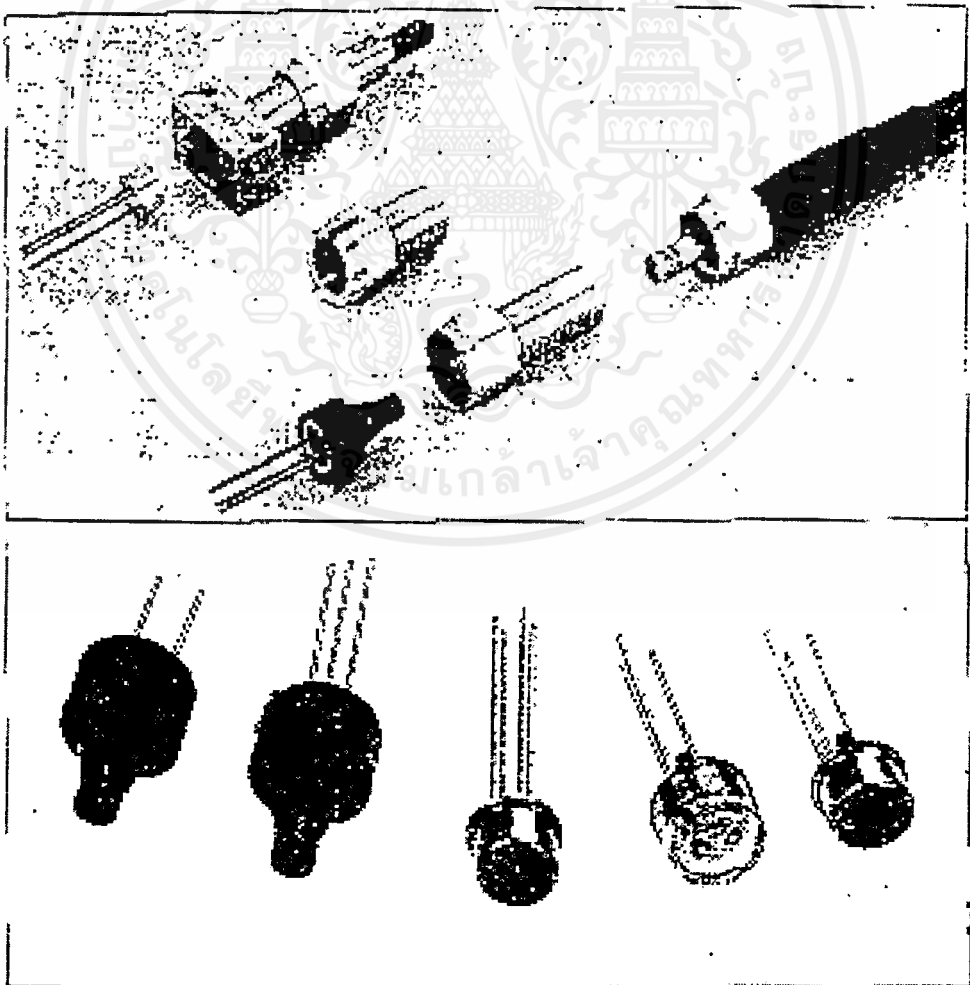
2.3.1 ตัวกำเนิดแสง

หัวใจของส่วนที่เป็นตัวส่งของระบบคลื่นแสงทางไกลคือเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์ อุปกรณ์ดังกล่าวนี้ (สามารถใช้งานได้ห่างประมาณ 6 Km. ระหว่าง สถานีทวนสัญญาณ) มีขนาดเล็กและราคาค่อนข้างถูก จึงเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานด้าน โทรศัพท์เหมือนกับ laser ชนิดอื่น ๆ ruby

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในชื่อของสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจันทบุรี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้เหตุผลที่เลือกใช้เซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์แทนที่จะเป็น LED ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงกึ่งตัวนำอย่างหนึ่ง ก็คือ เอทัพุทของมันสามารถติดต่อกันได้เรื่องราวและแรงกว่า (คุณลักษณะทั้งสองนี้มีประโยชน์มากในการส่งระยะไกล ๆ) อย่างไรก็ตาม LED ก็มีความสำคัญเหมือนกันในการสื่อสารด้วยคลื่นแสงระยะใกล้ ๆ ซึ่งจะได้กล่าวในบทนี้

เซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์ ได้เริ่มเกิดขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2504 เริ่มจาก โครงสร้างรอยต่อ P-N (ซึ่งเป็น homostructure ง่าย ๆ) ต่อมาเป็น single-heterostructure และในที่สุดเป็น double-heterostructure ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบันอุปกรณ์ hetero-structure ดังเดิม (เรียกเช่นนี้เพราะประดิษฐ์จากชิ้นส่วนของสารกึ่งตัวนำชั้นเดียว) ต้องการกระแสสูงจำนวนหนึ่ง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา laser action ขึ้น เพราะฉะนั้นอุปกรณ์เหล่านี้เมื่อก่อนจึงไม่อาจทำงานต่อเนื่องกันในอุณหภูมิห้อง และต้องมีการทำให้เย็นด้วย ไฮโดรเจน แล้ว



รูปที่ 2.22 ตัวกำเนิดแสงและอุปกรณ์ประกอบรวมของ Amphemol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญแต่เห็นใบใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อป้องกันความร้อนมากเกินไป heterostructure (ซึ่งชั้นของ composition ที่ต่างกันถูกสร้างบนชั้น base) นี้ได้นำออกเผยแพร่เมื่อปี พ.ศ. 2506 เป็นวิธีการหนึ่งในการลด lasing threshold current ต่อมาในปี พ.ศ. 2510 MR.J.M WOODALL กับผู้ร่วมงานได้รับรองความจริงถึงการทำ Aluminium gallium arsenide heterojunction laser ด้วยเทคนิคของ liquid phase epitaxy ซึ่ง ได้รายงานเป็นครั้งแรกโดย MR.HNELSON อันนี้จึงเป็นก้าวสำคัญก้าวหนึ่ง เพราะโครงสร้าง lattice ที่เกือบเหมือนของ Aluminium gallium arsenide heterojunction laser ทำให้ได้ชั้น epitaxial ที่มีคุณภาพสูง ในปี พ.ศ. 2513 มีนักค้นคว้าอีกหลายคนได้พยายามสาธิตถึง continous lasing ที่อุณหภูมิห้องใน heterostructure laser คู่กัน

2.3.2 ปฏิกริยาเลเซอร์

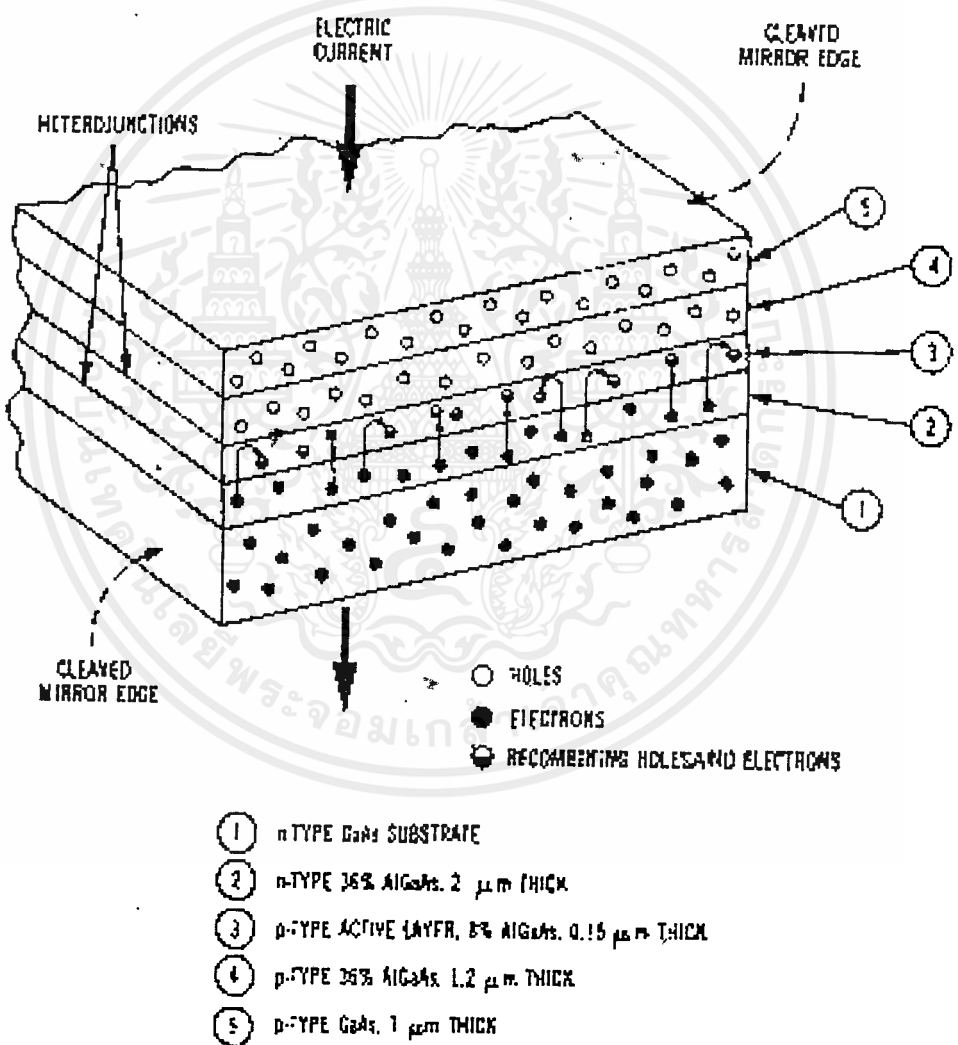
Heterojunction laser คู่ประกอบด้วยชั้นของ Aluminium gallium arsenide heterojunction laser สร้างบนฐานรอง (substrate) ของ GaAs ชั้นดังกล่าวจะถูกเติมด้วย element ต่าง ๆ เพื่อทำให้เป็นสารแบบ P (มีพาหะเป็นประจุบวกหรือ โฮล) หรือ เป็นสารแบบ N (มีพาหะเป็นประจุลบ หรือ อิเล็กตรอน)

ย่าน active (ส่วนที่ทำให้เกิดแสง เลเซอร์ ขึ้น) นั้นเป็นชั้น GaAs แบบ P บาง ๆ ชั้นหนึ่งที่ยึดติดข้างบนด้วยชั้นของ AlGaAs แบบ P และข้างล่างด้วยชั้น AlGaAs N (ชั้นที่ 3 และ 4 ในรูปที่ 3.2) นอกจากชั้น active ยังถูกเติมด้วย Aluminum อีกเล็กน้อย (ราว 8%) เพื่อลดการไม่ match ของ lattice กับ getter อันเป็น ออกซิเจน ต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทำชั้น active การเติม aluminum เข้าไปยังช่วยปรับปรุงอายุการใช้งานของอุปกรณ์ของอุปกรณ์ให้ยาวนานอีกด้วย ชั้นดังกล่าวจะประกบกันเป็นรอยต่อของสารกึ่งตัวนำที่มีย่าน active คล้ายรอยต่อของอุปกรณ์กึ่งตัวนำอื่น ๆ เช่น ทรานซิสเตอร์และ ไดโอด ชั้นที่ 1 (ที่เป็นแบบ N) ประกอบเป็นรอยต่อ P-N และชั้นที่ 2 ที่ถูกเติมมากกว่าย่าน active เล็กน้อยจะประกบเป็นรอยต่อ P-N

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าจำนวนหนึ่งไหลผ่านชั้น อิเล็กตรอน ในชั้นที่ 2 ก็จะได้รับกำลังงานที่เพียงพอที่จะทะลุผ่านรอยต่อ P-N และเข้าไปในย่าน active ได้ ขณะเดียวกัน โฮล จากชั้นที่ 4 ก็จะเข้าไปที่ย่าน active

ในย่าน active อิเล็กตรอน ที่ถูกฉีด เข้าไป จะมีกำลังสูงกว่าปกติสำหรับสารแบบ P โดยจะยังคงอยู่ในสภาวะมีกำลังงานสูง (excited state) นี้ไม่มากนัก (ราว 10⁻¹⁰ วินาที) แล้วจะรวมกลับเข้าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการรักษาเท่านั้น เมื่อนุญต์เห็นใบเขียวระเหยขึ้นที่เป็นการค้าไม่ว่การณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับ โสไลต์ ใหม่ทันทีที่เปรียบร้อยในย่าน active และ โสไลต์ ที่ฉีดจากชั้น ที่ 4 ด้วย ซึ่งในการรวมกลับเข้าไปใหม่ อิเล็กตรอน จะอยู่ในสภาพที่มีกำลังงานต่ำ หรือสภาวะสงบเงียบ (Quiescent state) และปล่อย โปรตอน จำนวนหนึ่งในกระบวนการ



รูปที่ 2.23 โครงสร้างของ Aluminum gallium arsenide heterojunction laser

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการปล่อยโดยทันทีที่เป็นไปตามกฎของ Plank's law ซึ่งกล่าวว่า กำลังงานของโปรตอน ที่ปล่อยออกไปเท่ากับ ความแตกต่างของกำลังงานระหว่างสถานะถูกกระตุ้นกับสถานะสงบเทียบ

$$h\nu = E_2 - E_1$$

เมื่อ $h\nu$ เป็นกำลังงานของโปรตอน (โดย h เป็นค่าคงที่ของ Plank และ ν เป็นความถี่ของโปรตอน

E_1 เป็นกำลังงานของสถานะที่ถูกกระตุ้น

E_2 เป็นกำลังงานของสถานะที่สงบเทียบ

เหตุผลที่สำคัญที่ใช้ AlGaAs ชนิด metallurgical system แทนที่จะเป็นสารกึ่งตัวนำอื่น ๆ ก็เพราะประสิทธิภาพของการเปลี่ยนแปลงพลังงานสูงกว่า นอกจากนี้ energy gap $E_1 - E_2$ มีขนาดที่แสงจะอยู่ในย่านความยาวคลื่นที่ต้องการได้ ข้อดีอีกประการหนึ่งของ AlGaAs system คือ สามารถผลิตในส่วนประกอบต่าง ๆ ได้เกือบทั้งหมดตั้งแต่ AlAs บริสุทธิ์ จาก liquid solution นั่นคือ โครงสร้างเป็นหลาย ๆ ชั้น (multilayer structure) ตามรูปที่ 2.23 สามารถสร้างด้วย liquid phase epitaxial deposition โดยเลือกส่วนประกอบแต่ละชั้นให้ได้คุณสมบัติทางแสงและสารกึ่งตัวนำที่ต้องการ

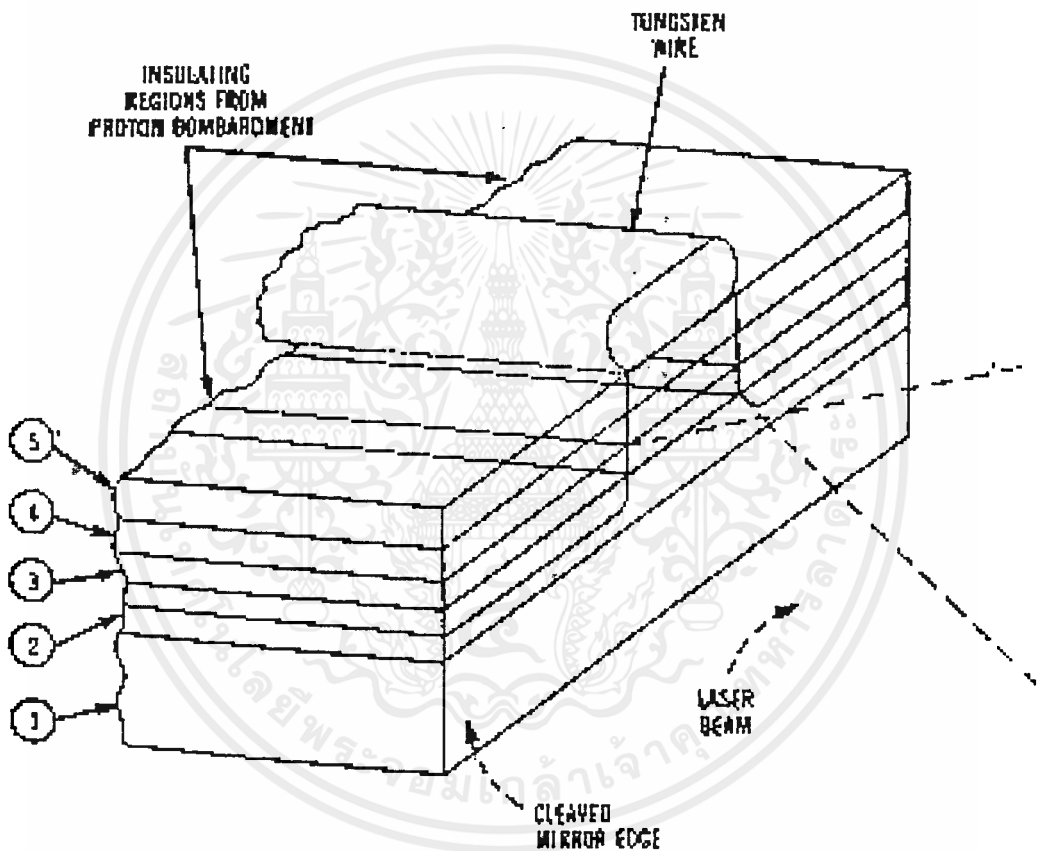
อยากทราบว่า จะเกิดอะไรขึ้นถ้า โปรตอน ที่ปล่อยออกไปกระทบกับ อิเล็กตรอน ที่ยังไม่ได้ recombine ทันที และมันยังอยู่ในสถานะถูกกระตุ้นหรือไม่ คำตอบคือ อิเล็กตรอน จะตกลงทันทีจาก E_2 เป็น E_1 ทำให้ได้ โปรตอน ที่มีควมถี่ ทิศทาง และ เฟส เหมือนที่ตกกระทบ นี่คือ simulate emission process ซึ่งตรงข้ามกับ Spontaneous emission

จุดประสงค์ที่ต้องให้มี อิเล็กตรอน ที่ถูกกระตุ้นแล้วกับ โหมด มาก ๆ ก็เพื่อการปล่อยในทันที จะทำให้แสงขึ้นและปล่อยโดยการกระตุ้นจะเพิ่มแสง ผลก็คือเกิดเป็นแสง เลเซอร์ ขึ้น

ส่วนสุดท้ายของสารหลาย ๆ ชั้น นั้นจะมีโครงสร้างของ GaAlAs ยึดติดไว้เพื่อให้เกิดเป็นพื้นผิวเหมือนกระจกเพื่อที่จะได้สะท้อนของแสงที่ปล่อยไปกลับไปเข้ายังโครงสร้าง โดยแสงที่สะท้อนกลับนี้จะไปกระตุ้นการปล่อยโปรตอนจะทำหน้าที่ 2 ประการ นอกเหนือจากการฉีด โหมด และพาหะ เข้าไปยังย่าน active แล้วคือ

1. จำกัด อิเล็กตรอน และ โหมด ที่ฉีดเข้าไปที่ย่าน active ชั้นที่ 4 จะสร้างกำแพงเพื่อป้องกัน อิเล็กตรอน จากชั้นที่ 2 ฉีดเข้าไปทำให้ย่าน active เกิดการ overshoot ขึ้นและทำนองเดียวกันชั้นที่ 2 ขึ้น และทำนองเดียวกันชั้นที่ 2 ก็ป้องกัน โหมด จากชั้นที่ 4 จากการเกิด overshoot

2. ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของครรชนีหักเหที่ทันใด เป็นการจำกัดแสงที่จะปล่อยเข้า
ขั้วย่าน Active



รูปที่ 2.24 ลำแสง เลเซอร์ ที่ออกจาก heterostructure drive โดยจำนวนชั้นนั้นเท่ากับใน
รูปที่ 2.23 ลวด ทังสแตน ใส่ไว้เพื่อคลุมขั้ว active จากการยิง โปรตอน หลังจาก
นั้นก็เอาออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการจำกัด โอลิ-อิเล็กตรอน และ แสง จะเป็นการเพิ่มปฏิริยาต่อกันของ โอลิ กับ อิเล็กตรอน และของ โปรตอน กับ อิเล็กตรอนผลก็คือทำให้การกำเนิดแสง เลเซอร์ สูงขึ้น

วิธีการหนึ่งที่สามารถนำไปในการกำหนดย่าน active ก็คือการทำให้แถบ ทั้งสองด้านของ ย่าน active เป็นกึ่งฉนวนด้วยการยิง โปรตอน นั่นคือย่าน active ถูกจำกัดให้มี strip แคบ ๆ ตรง กลางของโครงสร้าง แสง เลเซอร์ จะออกเป็นลำจากปลายของ strip ดังรูปที่ 2.25

ลำแสงนี้ส่งโดยตรงเข้าที่ปลายของตัวนำแสง และตัดต่อด้วยกระแสของ พัลส์ ที่เข้ารหัส แบบ ดิจิตอล ป้อนเข้าที่โครงสร้างหลายชั้นดังกล่าวข้างต้น

2.3.3 การประดิษฐ์เลเซอร์

สารเริ่มต้นสำหรับการประดิษฐ์ เซมิคอนดักเตอร์ เลเซอร์ แบบ double heterojunction ก็คือ boule รูปทรงกระบอกของ GaAs ผลึกเดี่ยวที่เติม ซีลีคอน เพื่อให้มันเป็นสารแบบ N จากนั้นจึง นำ boule ดังกล่าวไปแล้วนั้น (wafer) แล้วขัดด้านหนึ่งให้เงาเหมือนกระจก

จากนั้นจึงใช้ liquid phase epitaxial process ทำเป็นชั้น ๆ 4 ชั้นลงบนด้านที่ขัดมันดังกล่าวเพื่อส่งถ่ายโครงสร้างผลึกของสารเข้ายังชั้นดังกล่าว

ในกระบวนการข้างต้นสารซึ่งมีส่วนผสมตามต้องการมีลักษณะเหลวจะถูกนำไปยึดติดกับ สารที่ขัดมันแล้ว โดยใช้ carbon container หรือ boat ที่ออกแบบเป็นพิเศษ จากนั้นฐานรอง GaAs ที่ขัดแล้วจะถูกยึดอยู่ใน slider ที่ด้านล่างของ boat เหนือ slider ขึ้นมาเป็น carbon block ที่มีกรวย เจาะเป็นหลุม ๆ ใ่ว่างานหนึ่ง แล้วจึงเติมส่วนประกอบของ AlGaAs กับ Tl หรือ Ge อย่างใดอย่าง หนึ่งขึ้นอยู่กับว่าต้องการสารชนิด P หรือ N ลงไปในหลุมดังกล่าวจากนั้นก็นำ boat ไปใส่เตาที่ อุณหภูมิสูง (ที่ละ 0.001 C) ในขณะที่เลื่อน slider และฐานรองไปได้หลุม อุณหภูมิที่ลดลงจะทำให้ ชั้นของส่วนประกอบของแต่ละหลุม เกิดเป็นผลึกบนฐานรอง

ชั้นที่ทำด้วย Epitaxial process อันแรก (ชั้นที่ 2 ในรูปที่ 2.24)เป็น AlGaAs ที่เติมด้วย tellurium (dopant ชนิด N) โดยมีส่วนของ aluminium สูงถึง 36% เพื่อให้ได้ครรชนิกหักเหตาม ต้องการ ชั้นต่อมาคือชั้นที่ 3 (ย่าน active) จะถูกเติมด้วย germanium สำหรับ conductivity ชนิด มี aluminium อยู่ราว 8%

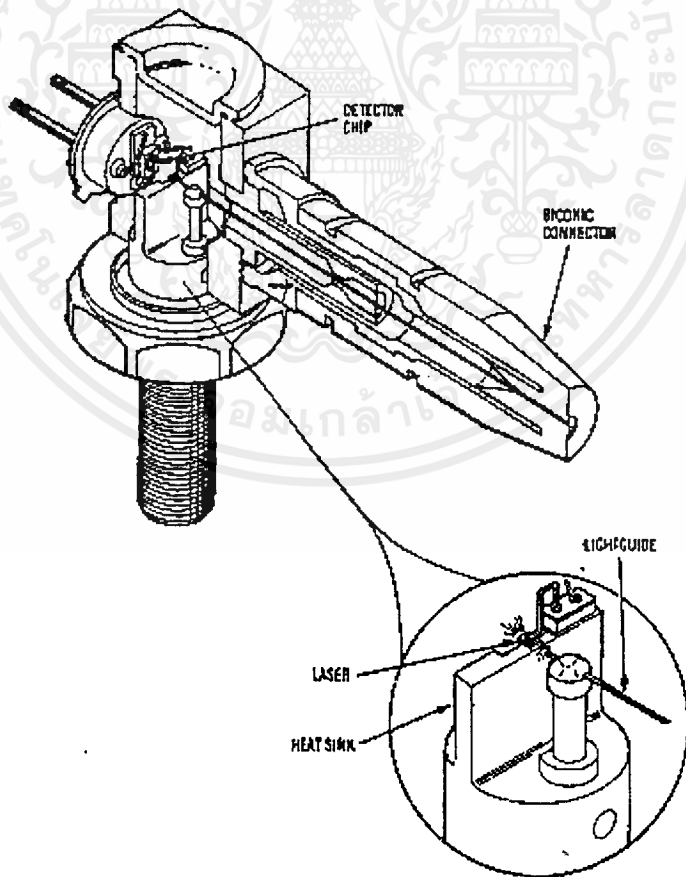
ชั้นที่ 4 ในรูปที่ 2.24 นั้นเราเติม เซอร์มันเนียม เพื่อให้มันเป็นชนิด p ชั้นนี้มี aluminium อยู่ ราว 36% เพื่อให้ครรชนิกหักเหมันต่างจากของย่าน active aluminium ดังกล่าวได้ช่วยลดความไม่

สม่ำเสมอใน crystal lattice ลงได้อีกระหว่างการทำผลึกและยังทำหน้าที่เป็น getter ดูดกินความไม่บริสุทธิ์ของ ออกซิเจน ในสารอีกด้วย

ชั้นสุดท้าย (ชั้นที่ 5 ในรูปที่ 2.24) ใช้ทำหน้าที่เป็นหน้าสัมผัสทางไฟฟ้า จึงมีการเติม เฮอร์มันเนียม มาก ๆ เพื่อให้มี conductivity ดี ผิวหน้าของชั้นนี้เราจะทำการแพร์ด้วยสังกะสีเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติหน้าสัมผัสทางไฟฟ้าของมันให้ดียิ่งขึ้นไปอีก และยังมีการนำเอา titanium-platinum alloy วางทับที่ชั้นนี้ด้วยเพื่อยึด chip laser เข้ากับ mounting stud

ฐานรองของ CaAs จะถูกทำให้เรียบทางกล และขัดทางเคมีจนกระทั่งหนาเพียง 0.0025 นิ้ว จากนั้นก็นำชั้นของดีบุก palladium ทอง ที่ประกบกันวางซ้อนบนรากฐานของการ evaporate ซึ่งมันจะทำหน้าที่เป็นตัวยึดสายไฟฟ้า

แผ่น wafer จะติดตั้งโดยเอาด้านบนขึ้นเสมอ และพันรอบผิวด้วยลวด ทังสเทน ฉาบทอง (เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.002 นิ้ว) คู่กันไปโดยห่างประมาณ 0.010 นิ้ว



รูปที่ 2.25 ตัวถัง Aluminium gallium arsenide laser

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

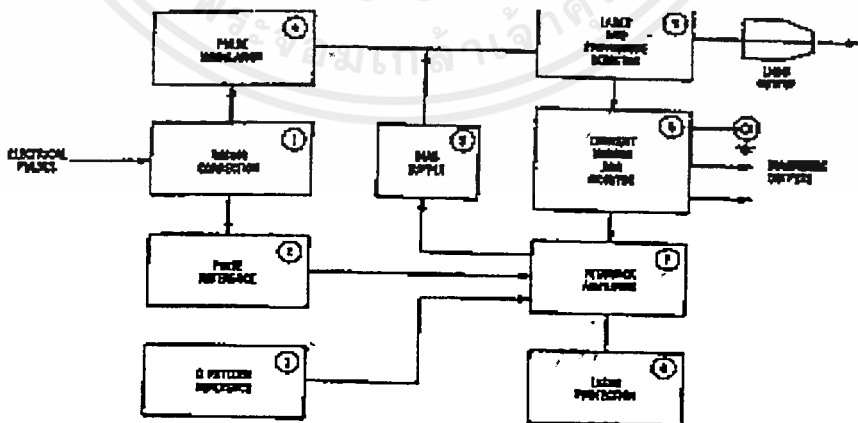
จากนั้นจึงนำเอา wafer ไปยิงด้วย proton (hydrogen ion) ที่กำลังงาน 300000 ev. สารเมื่อได้รับ โปรตอนครั้งหนึ่งจะกลายเป็น สารกึ่งฉนวน เพราะฉะนั้นย่าน active จะลดลงเหลือเพียงส่วนที่อยู่ใต้เส้นลวดซึ่งทำหน้าที่เป็นหน้ากากกันโปรตอนภายหลังจากการยิงแล้วก่อนที่จะได้รู้ตำแหน่งของลวด ทั้งสเดน และทำเครื่องหมายบริเวณ active ของ chip ไว้

สำหรับ bonding pad ที่เป็น metal film นั้นทำได้ด้วยการถ่ายรูปธรรมดา และการชุบด้วยไฟฟ้า จากนั้น wafer ก็จะถูกตัดเป็นแต่ละ chip ต่อไป

chip ที่ได้จะถูกยึดติดกับ past assemblies สำหรับทดสอบ และ aging จากนั้น chip ดังกล่าวจะถูกนำไปติดตั้งในตัวถัง (packet) ต่อไป ดังรูปที่ 2.25 โดยตัวถังประกอบด้วยตัวนำแสงสั้น ๆ ชุดหนึ่งสำหรับรับแสงจากด้านหนึ่งของ chip laser กับ photodetector ซึ่งเป็น P-I-N photodiode ชนิด ซิลิกอน ที่ประกอบด้วยชั้นสาร P-intrinsic และชั้นสาร N สำหรับรับแสงจากด้านตรงข้ามของ chip ตัวนำแสงดังกล่าวจะ โฟโตไดโอด เป็นตัวจัดการการป้อนกลับยังวงจรภายนอก ที่ควบคุมระดับกระแสที่ป้อนเข้ากับ chip laser

วงจรรายนอก

ในรูปที่ 2.26 เป็น block diagram ของวงจรถ่าย เลเซอร์ วงจร เลเซอร์ วงจรบนแผงนี้จะไป bias ให้ เลเซอร์ ที่ต่ำกว่า lasing threshold ของมัน (รูปที่ 2.27) และตัดต่อ เลเซอร์ ด้วย modulation current



รูปที่ 2.26 Block diagram ของวงจรถ่าย เลเซอร์

วงจรต่าง ๆ ที่อยู่ในแผงวงจร เลเซอร์ จะทำหน้าที่ดังนี้

1.timing correction

หน่วงเวลา (delay) data input เมื่อต้องการเพื่อให้สัญญาณอ้างอิงของ พัลส์ ที่ป้อนเข้ายังวงจรขยายการป้อนกลับ synchronous กับ pulse modulating ที่ป้อนให้กับ เลเซอร์

2.pulse reference

จัดหาสัญญาณชุดหนึ่งในช่วง string “0” เพื่อป้องกันการสับสนจากการไม่มี “1” ด้วยการตัด data input

3.pattern reference

จัดหา pre-set bias จำนวนหนึ่งเมื่อไม่มีสัญญาณ data input

4.pulse modulation modulation

กำลังจากแหล่งจ่ายไฟตรงให้สอดคล้องกับสัญญาณ data input

5.bias supply

จัดแรงดันไฟตรงให้กับ เลเซอร์

6.laser protection

ป้องกันแรงดันหรือกระแสที่อาจเป็นอันตรายแก่ เลเซอร์

7.Feedback amplifier

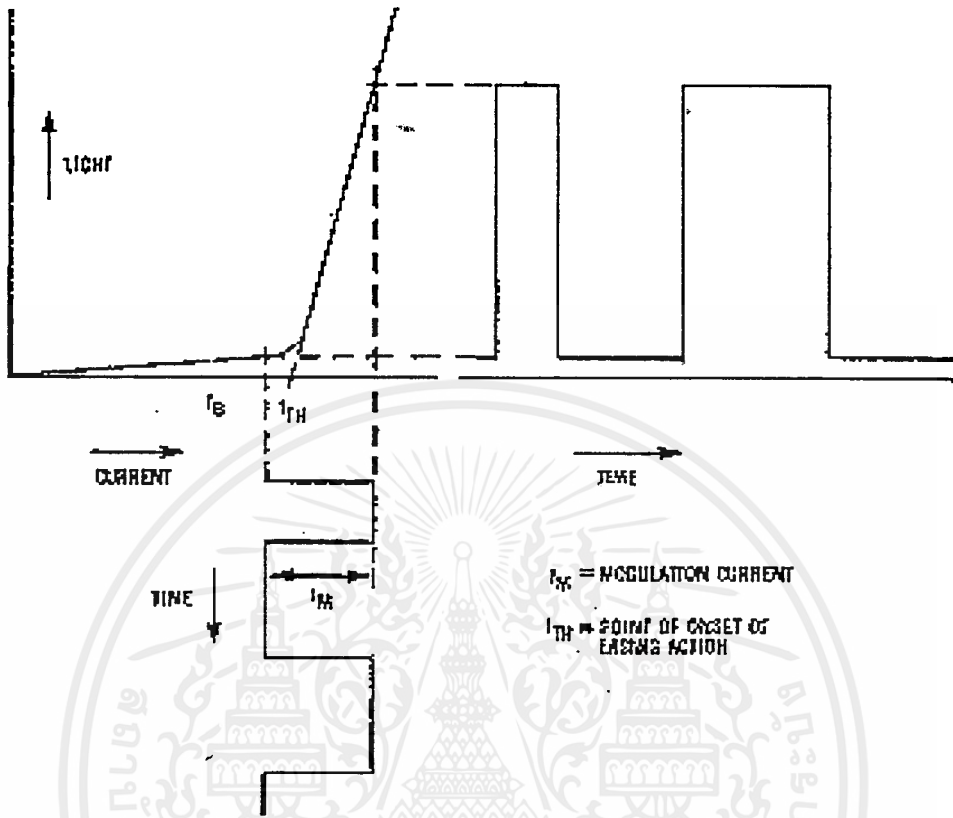
ทำให้แน่ใจว่ามีระดับ 0,1 และ off ที่พอเหมาะรวมทั้งจัดรูปร่างของ พัลส์

8.Current mirror and monitor

ผลิตสัญญาณชุดหนึ่งที่เป็นปฏิภาคกับ เอาร์ทพุท ของแสง เลเซอร์ และจัดหา สัญญาณทดสอบสำหรับวิเคราะห์

9.Laser and photodiode

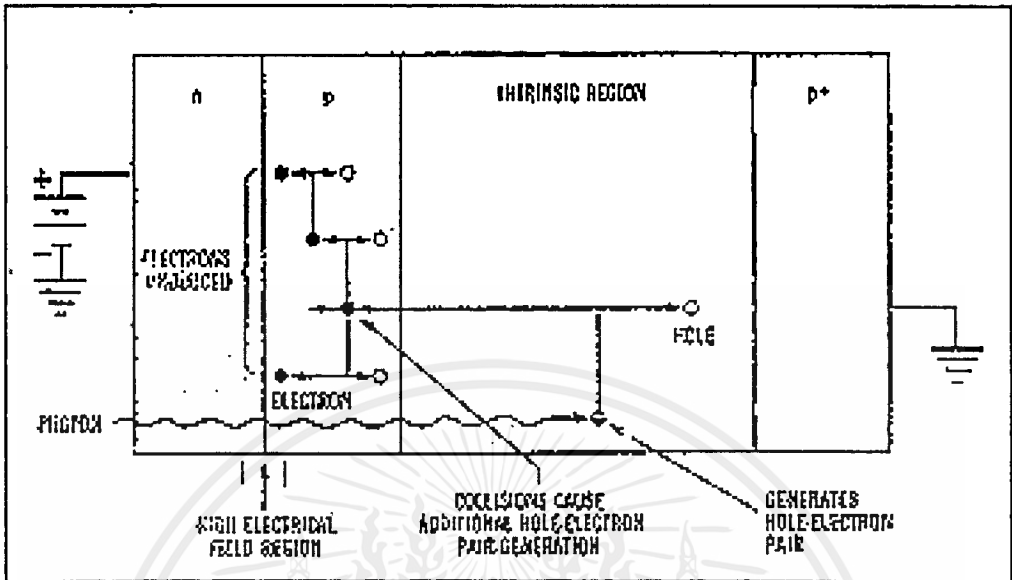
ผลิตลำแสง เลเซอร์สำหรับเป็นตัวนำแสง และสัญญาณไฟฟ้าซึ่งเป็นปฏิภาคกับ ความเข้มของลำแสงสำหรับใช้ในการควบคุมกำลัง



รูปที่ 2.27 Laser modulation (กระแส modulate - I_m คือจุดของ พัลส์ ที่อยู่ในช่วงสูง และต่ำกว่ากระแส threshold - I_{th} ของ เลเซอร์)

2.3.4 ตัวรับแสง (Detector)

อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจรับ (detector) สัญญาณแสงที่ส่งมากับตัวนำแสง ก็คือ silicon avalanche photodiode อุปกรณ์ดังกล่าวนี้มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับหลอด photomultiplier ที่จะกำเนิดกระแสจำนวนหนึ่งซึ่งมากกว่ากระแสที่เกิดจากโปรตอนตกกระทบหลายเท่าและจากการที่มีคุณสมบัติของ photomultiplication silicon avalanche photodetector จึงช่วยเพิ่มความไวของระบบคลื่นแสงได้มากกว่าการใช้ silicon P-N photodetector ธรรมดามาก avalanche photodetector นี้ จะออกแบบให้บริเวณ active ของมัน โปร่งแสงจาก เลเซอร์กับตัวนำแสง (ดังรูปที่ 2.28)



รูปที่ 2.28 โครงสร้างของ silicon avalanche photodiode

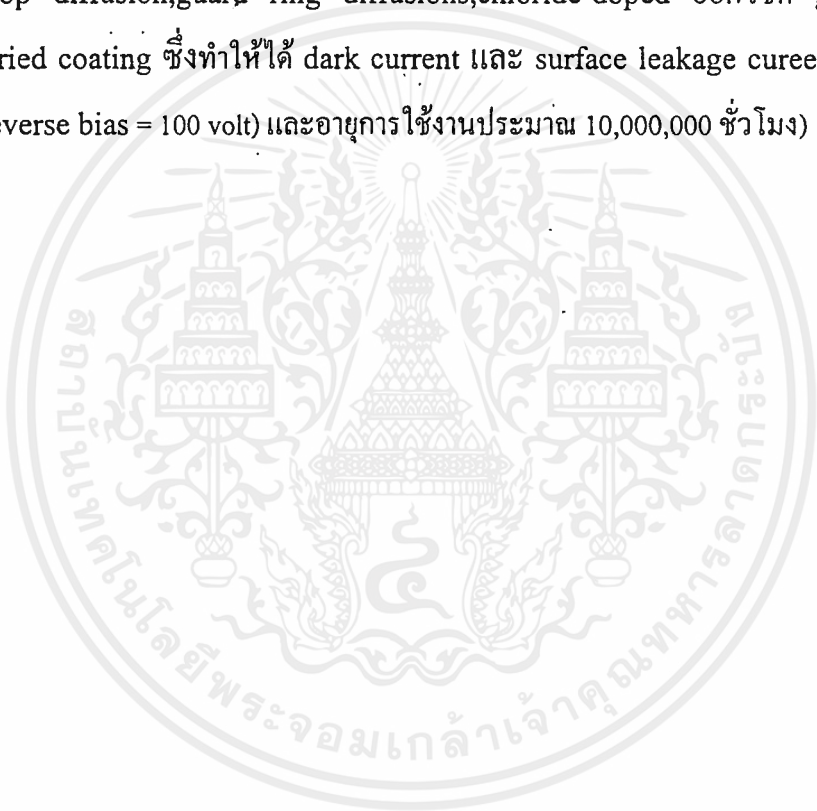
Silicon avalanche photodiode โดยเนื้อแท้ของมันก็คืออุปกรณ์ P-N junction แบบหนึ่งประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ 4 ชั้น (layer) คือ ชั้น N, p, intrinsic, high resistivity และ p^+ low-resistivity (เป็นชั้น P ที่มีคาร์บอนเติมมาก ๆ) โดโอด จะทำงานที่แรงดันสูง (100-300 volt) ต่ำกว่าจุดพังทลาย (avalanche breakdown) ในการทำงานแสงจากตัวนำแสงเข้ายัง photodiode ผ่านชั้น N และยังทะลุผ่านไปยังย่าน intrinsic (photon กำเนิดคู่ hole-electron) จากนั้น โสลก็ถูกดึงดูดเข้ากับ P^+ region and electron เข้ากับ n region ทำให้เกิดเป็นกระแสขึ้น ถ้ายิ่งความเข้มของแสงมาก จำนวนคู่ hole-electron มากขึ้นด้วย ทำให้เกิดผลของ avalanche effect ขึ้น ทำให้อุปกรณ์มีการขยายสูง

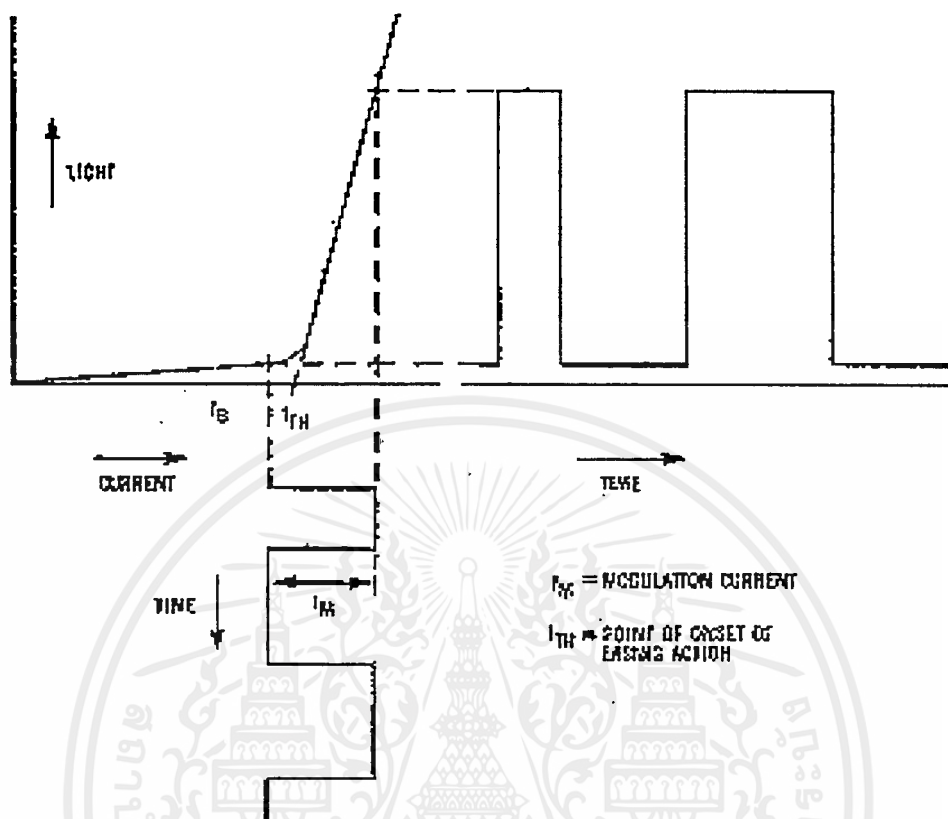
พารามิเตอร์ ที่นับว่าสำคัญมากที่สุดในการผลิต avalanche photodetector ก็คือการ เติม doping สารของย่าน active ซึ่งเป็นตัวควบคุมการขยายเป็นองค์ประกอบหนึ่งของความยาวคลื่นแสงที่ตกกระทบ

มีปัญหาอันหนึ่งที่เป็นไปได้สำหรับ avalanche photodetector ก็คือ microplasmas ซึ่งเป็นการพังทลายแรงดันภายในเล็กน้อยที่เกิดขึ้นจากความไม่สมบูรณ์ของ crystal lattice, metallic เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

precipitates และ inhomogeneities อื่น ๆ ในย่าน active จากการที่ avalanche photo-detector ต้องทำงานใกล้กับแรงดันพังทลายของมันมันจึงไวต่อผล microplasmas เป็นพิเศษ microplasmas นี้จะทำให้เกิด spike ดังกล่าวนั้นปรากฏเป็น real date pulse ที่ สถานีทวนสัญญาณ ด้วย เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการทำให้มันน้อยที่สุด เพื่อว่าอัตราการคลาดเคลื่อนของ bit error rate ที่ยอมรับได้ในระบบคลื่นแสงไม่เกิน 1 ใน 10 bit

สำหรับกรรมวิธีในการผลิตนั้น เราจะใช้ขั้นตอนของอุปกรณ์ ซิลิกอน ที่ได้ทดลองแล้วเช่น channel-stop diffusion, guard ring diffusions, chloride-doped ออกไซด์ growth และ silicon nitried coating ซึ่งทำให้ได้ dark current และ surface leakage cureent ต่ำ (ต่ำกว่า 10 nA ที่ reverse bias = 100 volt) และอายุการใช้งานประมาณ 10,000,000 ชั่วโมง)

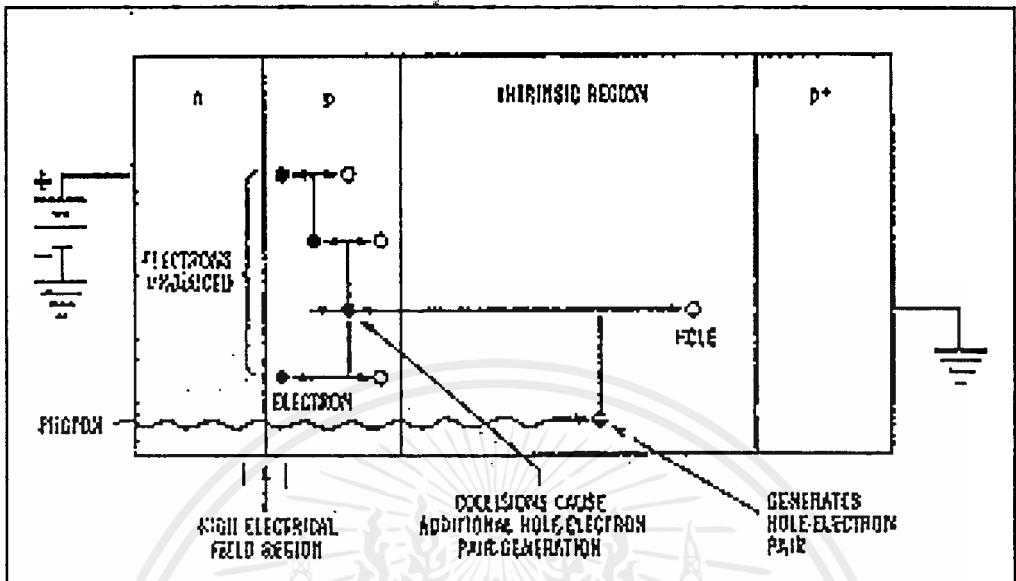




รูปที่ 2.27 Laser modulation (กระแส modulate - I_m คือจุดของพัลส์ ที่อยู่ในช่วงสูง และต่ำกว่า กระแส threshold - I_{th} ของ เลเซอร์)

2.3.4 ตัวรับแสง (Detector)

อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจรับ (detector) สัญญาณแสงที่ส่งมากับตัวนำแสง ก็คือ silicon avalanche photodiode อุปกรณ์ดังกล่าวนี้มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับหลอด photomultiplier ที่จะกำเนิดกระแสจำนวนหนึ่งซึ่งมากกว่ากระแสที่เกิดจาก โพรตอนตกกระทบหลายเท่าและจากการที่มีคุณสมบัติของ photomultiplication silicon avalanche photodetector จึงช่วยเพิ่มความไวของระบบคลื่นแสงได้มากกว่าการใช้ silicon P-N photodetector ธรรมดาตามาก avalanche photodetector นี้ จะออกแบบให้บริเวณ active ของมันโปร่งแสงจาก เลเซอร์กับตัวนำแสง (ดังรูปที่ 2.28)



รูปที่ 2.28 โครงสร้างของ silicon avalanche photodiode

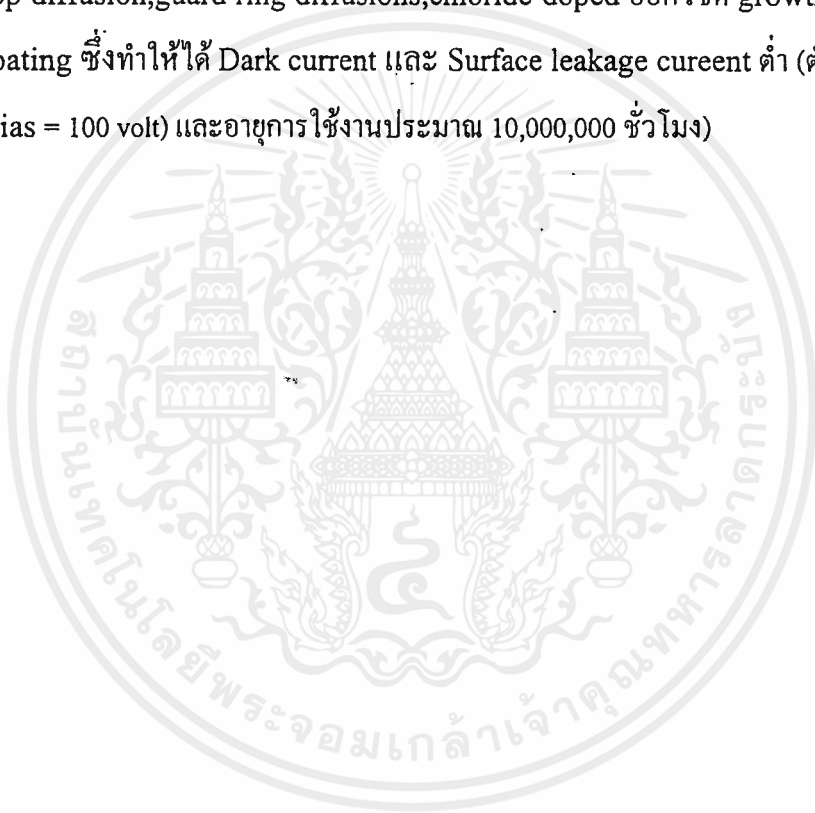
Silicon avalanche photodiode โดยเนื้อแท้ของมันก็คืออุปกรณ์ P-N junction แบบหนึ่งประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ 4 ชั้น (layer) คือ ชั้น N, P intrinsic, high resistivity และ p^+ low-resistivity (เป็นชั้น P ที่มีคาร์บอนมาก ๆ) โดโอด จะทำงานที่แรงดันสูง (100-300 volt) ต่ำกว่าจุดพังทลาย (avalanche breakdown) ในการทำงานแสงจากตัวนำแสงเข้ายัง photodiode ผ่านชั้น N และยังทะลุผ่านไปยังย่าน intrinsic (photon กำเนิดคู่ hole-electron) จากนั้นโฮลก็ถูกดึงดูดเข้ากับ P^+ region and electron เข้ากับ n region ทำให้เกิดเป็นกระแสขึ้น ถ้ายิ่งความเข้มของแสงมาก จำนวนคู่ hole-electron มากขึ้นด้วย ทำให้เกิดผลของ avalanche effect ขึ้น ทำให้อุปกรณ์มีการขยายสูง

พารามิเตอร์ ที่นับว่าสำคัญมากที่สุดในการผลิต avalanche photodetector ก็คือการ เติม doping สารของย่าน active ซึ่งเป็นตัวควบคุมการขยายเป็นองค์ประกอบหนึ่งของความยาวคลื่นแสงที่ตกกระทบ

มีปัญหอันหนึ่งที่เป็นไปได้สำหรับ avalanche photodetector ก็คือ microplasmas ซึ่งเป็นการพังทลายแรงดันภายในเล็กน้อยที่เกิดขึ้นจากความไม่สมบูรณ์ของ crystal lattice, metallic เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

precipitates และ inhomogeneities อื่น ๆ ในย่าน active จากการที่ avalanche photo-detector ต้องทำงานใกล้กับแรงดันพังทลายของมันมันจึงไวต่อผล microplasmas เป็นพิเศษ microplasmas นี้จะทำให้เกิด spike ดังกล่าวนั้นปรากฏเป็น real date pulse ที่ สถานีทวนสัญญาณ ด้วย เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการทำให้มันน้อยที่สุด เพื่อว่าอัตราการคลาดเคลื่อนของ bit error rate ที่ยอมรับได้ในระบบคลื่นแสงไม่เกิน 1 ใน 10 Bit

สำหรับกรรมวิธีในการผลิตนั้น เราจะใช้ขั้นตอนของอุปกรณ์ ซิลิกอน ที่ได้ทดลองแล้วเช่น channel-stop diffusion, guard ring diffusions, chloride-doped ออกไซด์ growth และ ซิลิกอน nitried coating ซึ่งทำให้ได้ Dark current และ Surface leakage current ต่ำ (ต่ำกว่า 10 nA ที่ reverse bias = 100 volt) และอายุการใช้งานประมาณ 10,000,000 ชั่วโมง)



บทที่ 3

การออกแบบและการทำงานของวงจรเครื่องรับ-เครื่องส่ง

วงจรทางด้านเครื่องส่งจะประกอบด้วยวงจรย่อย 4 ส่วนคือ

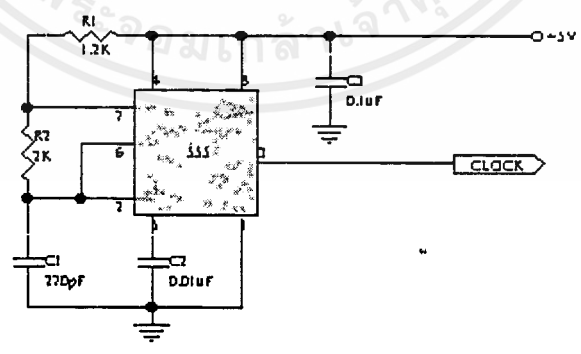
- 1. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา
- 2. วงจรรับสัญญาณอินพุต
- 3. วงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณ
- 4. วงจรแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

ซึ่งวงจรย่อยในส่วนต่างๆนี้จะได้อธิบายการทำงานได้ดังต่อไปนี้

3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจะใช้ IC เบอร์ 555 ซึ่งจะทำงานเป็นวงจรอะอสติเบิล มัลติไวเบรเตอร์ ซึ่งลักษณะของวงจรแสดงในรูปที่ 3.1 โดยความถี่ของสัญญาณนาฬิกานี้จะ กำหนดให้วงจรผลิตความถี่ 1MHz ออกมา ซึ่งค่าความถี่นี้สามารถกำหนดได้จากค่าของอุปกรณ์ใน วงจร 3 ตัวคือ C1,R1,R2 การคำนวณหาค่าอุปกรณ์ทั้ง 3 ตัวนี้สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$f_o = 1.44 / (R1 + 2R2) * C1$$



CLOCK GENERATOR

รูปที่ 3.1 แสดงวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

เมื่อเรากำหนดค่าความถี่ที่ต้องการไว้ที่ 1MHz ในการคำนวณหาค่าของ C1,R1,R2 ควรจะกำหนดค่าของ C1 ขึ้นมาก่อนเพื่อจะทำได้ง่ายต่อการเลือกค่า R1, R2 เพราะค่าของ R มีค่าให้เลือกใช้ได้มากกว่าค่าของ C และหาค่าได้ง่ายกว่า ในวงจรนี้จะเลือกใช้ค่า C1 = 270 pF ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} R1 + 2R2 &= 1.44 / f_0 * C1 \\ &= 1.44 / (1 * 10^6 * 270 * 10^{-12}) \\ &= 5.33 \text{ K} \end{aligned}$$

เลือกใช้ค่า R1 = 1.2 K เพราะฉะนั้นจะได้

$$\begin{aligned} R2 &= ((1.44 / f_0 * C1) - R1) / 2 \\ &= ((1.44 / 1 * 10^6 * 270 * 10^{-12}) - 1.2 * 10^3) / 2 \\ &= 4133 / 2 \\ &= 2066 \end{aligned}$$

เลือกใช้ค่า R2 = 2 K

ดังนั้นวงจรกำเนิดสัญญาณพิกาะจะประกอบไปด้วยค่าอุปกรณ์ดังนี้คือ

$$C1 = 270 \text{ pF}$$

$$R1 = 1.2 \text{ K}$$

$$R2 = 2 \text{ K}$$

ซึ่งจะเป็นตัวอุปกรณ์ที่กำหนดค่าความถี่ที่วงจรจะผลิตออกมา

3.2 วงจรรับสัญญาณอินพุท

วงจรรับสัญญาณอินพุทจะเป็นวงจรที่จะนำเอาสัญญาณอินพุทจากแหล่งกำเนิดสัญญาณมาทำการขยายในขั้นต้นก่อนส่งเข้าไปยังวงจรมัลติเพล็กซ์ การที่ต้องนำเอาสัญญาณอินพุทจากแหล่งกำเนิดสัญญาณมาทำการขยายก่อนก็เพราะเนื่องจากว่า สัญญาณอินพุทจากแหล่งกำเนิดสัญญาณบางชนิดจะให้สัญญาณเอาต์พุทออกมาในระดับสัญญาณที่ต่ำมาก เช่น สัญญาณที่ออกมาจากไมโครโฟน ซึ่งถ้านำเอาสัญญาณนั้นมาป้อนให้กับวงจรมัลติเพล็กซ์โดยตรงจะทำให้วงจรมัลติเพล็กซ์ไม่สามารถนำเอาสัญญาณนั้นมาทำการมัลติเพล็กซ์ได้ ซึ่งสัญญาณอินพุทที่จะนำมาป้อนให้กับวงจรมีจะนำมาได้จาก แหล่งกำเนิดสัญญาณต่างๆ เช่น จากช่องสัญญาณเอาต์พุทเสียงของเครื่องเล่นเทป ช่องสัญญาณเอาต์พุทเสียงของโทรทัศน์ เครื่องเล่นวีดีโอ หรือช่องสัญญาณเอาต์พุทเสียงอื่นๆ

ในส่วนการทำงานของวงจร สัญญาณที่ป้อนเข้ามาจะป้อนผ่านมาทางช่องรับสัญญาณซึ่งจะเป็น RCA JACK และป้อนผ่านมายัง C1 ซึ่งจะเป็นตัวคัปปลิ่งสัญญาณเข้ามายังขา 3 และขา 5 ของ IC LM 358 ซึ่งเป็น IC ออปแอมป์ ทำหน้าที่ขยายสัญญาณอินพุทที่ป้อนเข้ามา IC ออปแอมป์ LM 358 นี้จะมีวงจรที่ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายอยู่ภายใน 2 ชุด จึงสามารถใช้ IC ตัวนี้เป็นตัวขยายสัญญาณจากแหล่งกำเนิดสัญญาณได้ 2 ช่องสัญญาณ โดยวงจรขยายนี้กำหนดให้เป็นวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Non Inverting) เกณฑ์การขยายของวงจรสามารถปรับค่าได้โดยการปรับ VR 1 ซึ่งเกณฑ์การขยายสูงสุดของวงจรจะสามารถขยายขนาดสัญญาณได้ 251 เท่า ในการคำนวณค่าเกณฑ์การขยายของวงจรขยายออปแอมป์ที่ต่ออยู่ในลักษณะวงจรแบบนอนอินเวอร์ตี่สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$GAIN = V_{in} (1 + R1/R2)$$

$$GAIN_{max} = V_{in} (1 + 50E3 / 200)$$

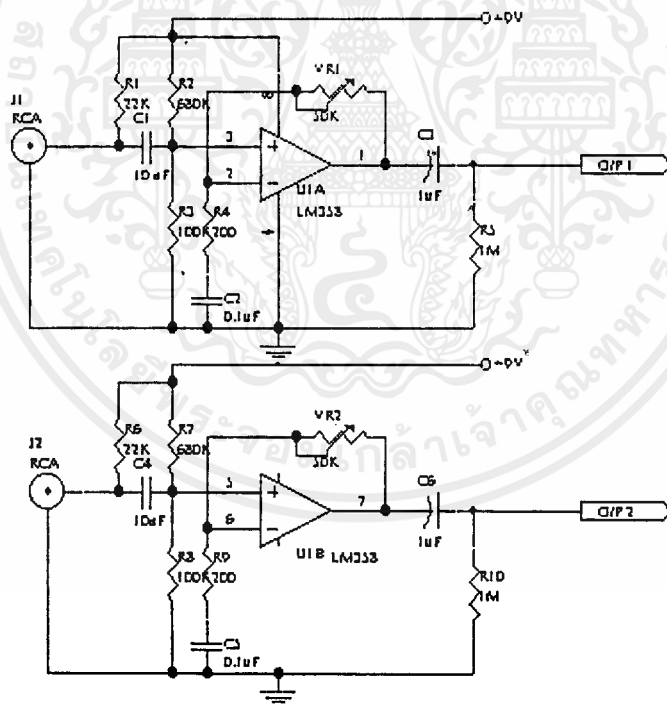
$$= V_{in} (1 + 250)$$

$$= V_{in} (251)$$

โดยที่ในวงจรนี้ V_{in} คือสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามา และ R1 คือ VR1 และ VR2 ซึ่งมีค่า 50 K ส่วนค่าของ R2 คือ R4 และ R9 ในวงจร สัญญาณที่ได้จากการขยายของวงจรขยายจะออกที่ขา 1 และ ขา 7 ของ IC LM 358 โดยที่จะมีตัวคาปาซิเตอร์ C3 และ C6 เป็นตัวดับปลิงสัญญาณเอาท์พุทเพื่อป้อนให้กับวงจรในส่วนถัดไป

เนื่องจากวงจรที่สร้างขึ้นมาสามารถรับจำนวนช่องสัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณเสียงได้ถึง 4 ช่องสัญญาณ ดังนั้นจึงได้สร้างวงจรที่ทำหน้าที่เป็นวงจรรับสัญญาณอินพุตนี้ไว้ 2 ชุดสัญญาณที่เป็นสัญญาณเอาท์พุทออกจากวงจรขยายทั้ง 4 ชุด จะนำไปป้อนเข้าเป็นสัญญาณอินพุตให้กับวงจรที่ทำหน้าที่เป็นวงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณต่อไป

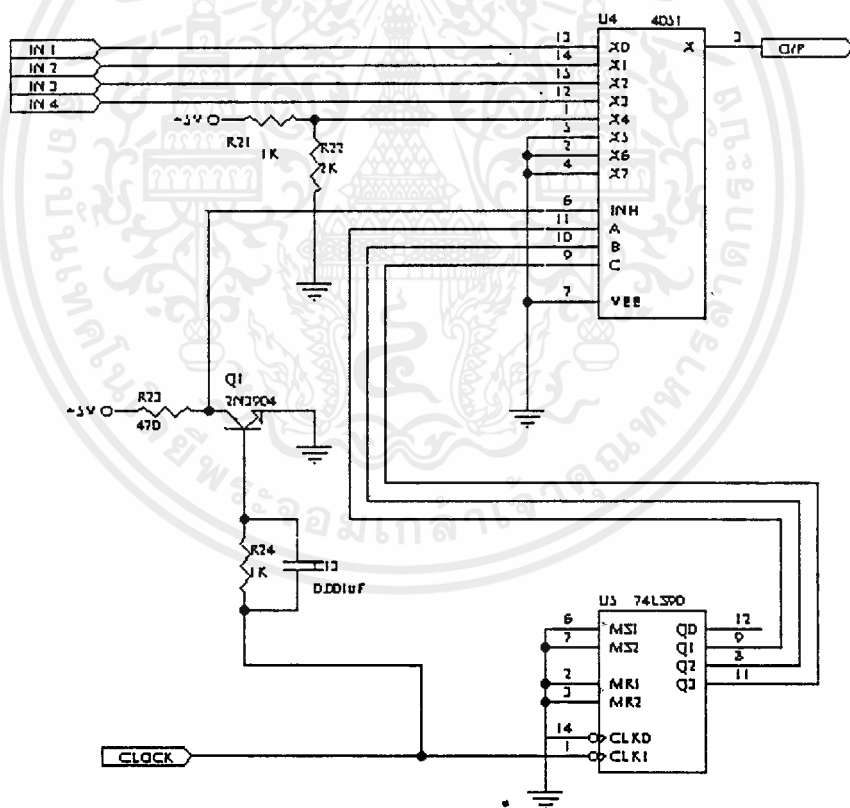
รูปวงจรที่ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายสัญญาณอินพุตแสดงไว้ในรูปที่ 3.2 ส่วนของวงจรที่ทำหน้าที่รับสัญญาณอินพุตของอีก 2 ช่องสัญญาณก็จะมีลักษณะการทำงานที่เหมือนกันกับวงจรใน 2 ช่องแรก



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรรับสัญญาณอินพุต

3.3 วงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณ

วงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณทำหน้าที่ในการนำเอาสัญญาณอินพุตจากแหล่งกำเนิดสัญญาณหลายๆช่องอินพุตมารวมเข้าด้วยกันและให้สัญญาณเอาต์พุตออกเพียงช่องสัญญาณเดียวซึ่งสัญญาณอินพุตของช่องต่างๆจะถูกจัดให้ออกที่เอาต์พุตในเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่งเทคนิคของการมัลติเพล็กซ์สัญญาณสัญญาณแบบนี้จะเรียกว่าการมัลติเพล็กซ์สัญญาณแบบแบ่งเวลา (TIME DIVISION MULTIPLEX)) ซึ่งจะนำมาใช้ในวงจรนี้ รูปของวงจรที่ทำหน้าที่เป็นวงจรมัลติเพล็กซ์จะแสดงไว้ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณ

การทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณจะประกอบด้วย IC ซึ่งทำหน้าที่หลักๆ 2 ตัวคือ IC เบอร์ 74HC4051 ซึ่งเป็น IC ที่ทำหน้าที่ในการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ และ IC เบอร์ 74LS90 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวสร้างสัญญาณเลือกช่อง(Select)ให้กับ IC 74HC4051 โดยสามารถอธิบายการทำงานของวงจรได้ดังนี้คือ

สัญญาณนาฬิกาจะถูกป้อนเข้าที่ขา 1 ของ IC 74LS90 ซึ่งเป็นขารับสัญญาณนาฬิกาเข้าวงจรหาร 5 ของ IC 74LS90 โดยที่ IC 74LS90 นี้จะมีขาที่ทำหน้าที่รับสัญญาณนาฬิกาได้ 2 ขา คือที่ ขา 1 และขา 14 ซึ่งวงจรภายในของ IC เบอร์นี้จะมีส่วนวงจรหาร 2 วงจรแยกกันคือวงจรหาร 2 และวงจรหาร 5 แต่ก็สามารถที่จะนำเอาวงจรหารทั้งสองวงจรมานำมาต่อรวมเข้าด้วยกันซึ่งที่ขา 14 จะรับสัญญาณนาฬิกาเข้ามาและให้เอาที่พุทออกเป็นวงจรหาร 5

สัญญาณเอาต์พุทที่ออกจาก IC ตัวนี้จะนำมาเป็นสัญญาณเลือกช่องสัญญาณอินพุทให้กับ IC 74HC4051 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวมัลติเพล็กซ์สัญญาณ โดยจะนำเอาสัญญาณที่ออกจากขา 8 9 และ 11 ป้อนให้กับ IC 74HC4051 ที่ขา 9 10 และ 11

IC 74HC4051 ซึ่งทำหน้าที่ในการมัลติเพล็กซ์สัญญาณสามารถที่จะรับสัญญาณอินพุทที่จะนำมาทำการมัลติเพล็กซ์ได้สูงสุด 8 ช่องสัญญาณอินพุท แต่ในวงจรนี้จะกำหนดให้รับสัญญาณอินพุทเพียง 5 ช่องสัญญาณ โดยสัญญาณอินพุทที่ป้อนเข้ามาจะป้อนเข้าที่ขา 1 12 13 14 15 ตามลำดับ ส่วนขาที่ทำหน้าที่รับสัญญาณอินพุทที่เหลืออีก 3 ขา คือที่ขา 2 4 5 จะต่อลงกราวด์

ในการมัลติเพล็กซ์สัญญาณส่งออกไป การที่จะทำให้ทางเอาต์พุทสามารถที่จะคืนกลับสัญญาณออกมา ได้อย่างถูกต้องทางด้านวงจรมัลติเพล็กซ์จะต้องส่งสัญญาณ ออกไปสัญญาณหนึ่ง ซึ่งเป็นสัญญาณที่มีความแตกต่างจากสัญญาณอินพุทที่ส่งออกไป ซึ่งจะเป็นสัญญาณที่มีความแตกต่างทางด้านขนาดหรือรูปร่างของสัญญาณก็ได้เพื่อใช้เป็นสัญญาณที่จะทำให้การทำงานของวงจรทางด้านส่งและทางด้านรับทำงานเข้าจังหวะกันพอดี (Synchronize) โดยในวงจรนี้จะส่งสัญญาณช่องหนึ่งที่มีความแตกต่างทางด้านขนาดของสัญญาณจากสัญญาณอินพุทของช่องสัญญาณอื่นๆ คือส่งสัญญาณที่เป็นสัญญาณไฟกระแสดตรงที่มีระดับของแรงดันคงที่ที่ประมาณ 3.5 โวลต์ เข้าที่ขา 1 ของ IC 74HC4051 ซึ่งเป็นขาที่รับสัญญาณอินพุทช่องที่ 5 ซึ่งแรงดันนี้ได้จากการ ดีไวเดอร์กันของ R21 และ R22

ที่ขา 6 ของ IC 74HC4051 ซึ่งเป็นขา INHIBIT จะถูกต่ออยู่กับขา คอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q1 เบอร์ 2N3904 ซึ่งทำหน้าที่ในการกำเนิดสัญญาณ INHIBIT ซึ่งเป็นลักษณะของสัญญาณพัลส์ มีคาบเวลาประมาณ 100 ถึง 400 นาโนวินาที เพื่อใช้เป็นสัญญาณที่ป้องกันการกวนข้ามช่อง (CROSS TALK)กันของสัญญาณอินพุท โดยที่ขาเบสของ IC ตัวนี้จะต่ออยู่กับ R24 และ C13 ซึ่งต่อขนานกันอยู่ และต่อเข้ากับสัญญาณนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมัลติเพล็กซ์นี้จะออกที่ขา 3 ของ IC 74HC4051 และจะถูกต่อเข้ากับวงจรในส่วนถัดไปซึ่งเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณที่เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณที่เป็นสัญญาณทางแสงเพื่อที่จะส่งออกไปผ่านสายไฟเบอร์ออปติกต่อไป

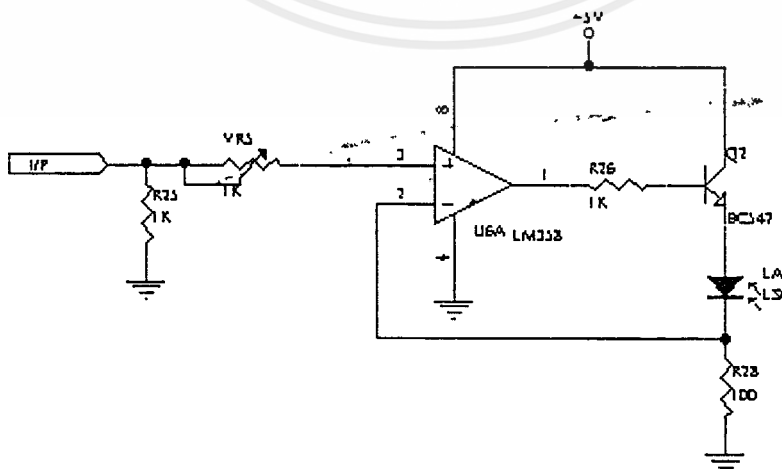
3.4 วงจรขับเลเซอร์ไดโอด

วงจรขับเลเซอร์ไดโอดนี้ทำหน้าที่ในการรับสัญญาณอินพุตเข้ามาทำการขยายและแปลงสัญญาณที่เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าออกไปเป็นสัญญาณที่เป็นลักษณะของสัญญาณแสงเพื่อใช้เป็นตัวขับไฟเบอร์ออปติก

วงจรจะใช้ IC เบอร์ LM358 ทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณ โดยสัญญาณอินพุตของวงจรจะได้จากสัญญาณเอาต์พุตของวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ออกมาจากขา 3 ของ IC 74HC4051 โดยสัญญาณที่เข้ามาจะสามารถปรับระดับสัญญาณได้โดยใช้ VR 5 สัญญาณจะถูกป้อนเข้าที่ขา 3 ของ IC LM 358 และให้เอาต์พุตออกที่ขา 1 และป้อนสัญญาณผ่าน R26 เข้าขาเบส ของ ทรานซิสเตอร์ BC547 ซึ่งจะเป็นตัวที่ทำหน้าที่ในการขับตัวเลเซอร์ไดโอด

ตัวให้กำเนิดสัญญาณแสงในวงจรนี้จะใช้ เลเซอร์ไดโอด เบอร์ LSC 2110 ของบริษัท HELETT PACDARD ซึ่งสามารถให้สัญญาณเอาต์พุตได้สูงถึง 2.5 มิลลิวัตต์ และมีความยาวคลื่นที่ประมาณ 1300 นาโนเมตร

สัญญาณแสงที่ออกจากเลเซอร์ไดโอดจะถูกใช้เป็นสัญญาณที่ส่งผ่านสายไฟเบอร์ออปติกไปยังทางด้านเครื่องรับซึ่งก็จะมีวงจรที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณแสงกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าอีกครั้งหนึ่ง วงจรที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงและวงจรขับสายไฟเบอร์ออปติกแสดงไว้ในรูปที่ 3.4



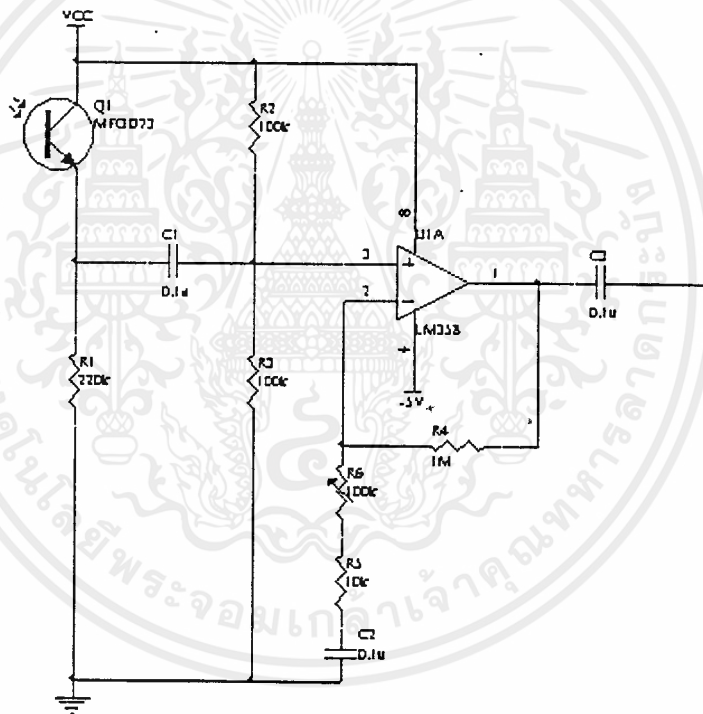
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจรภาครับ

3.5 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

โฟโตไดโอดเบอร์ PDT0311 จะรับแสงจากเส้นใยแก้วนำแสง แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า มาตกคร่อมที่ R1 แล้วนำไปขยายสัญญาณให้แรงขึ้นโดยออปแอมป์เบอร์ LM358 ซึ่งกำหนดอัตราขยายต่ำสุดไว้ 100 เท่า และสามารถปรับอัตราการขยายได้เมื่อสัญญาณเมื่อสัญญาณเข้ามามีขนาดเปลี่ยนไป เอาท์พุทของออปแอมป์ออกที่ขา 1 แล้วส่งไปเข้าวงจรตีมัลติเพล็กซ์ เพื่อแยกสัญญาณแต่ละช่องออกจากกัน วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 3.5



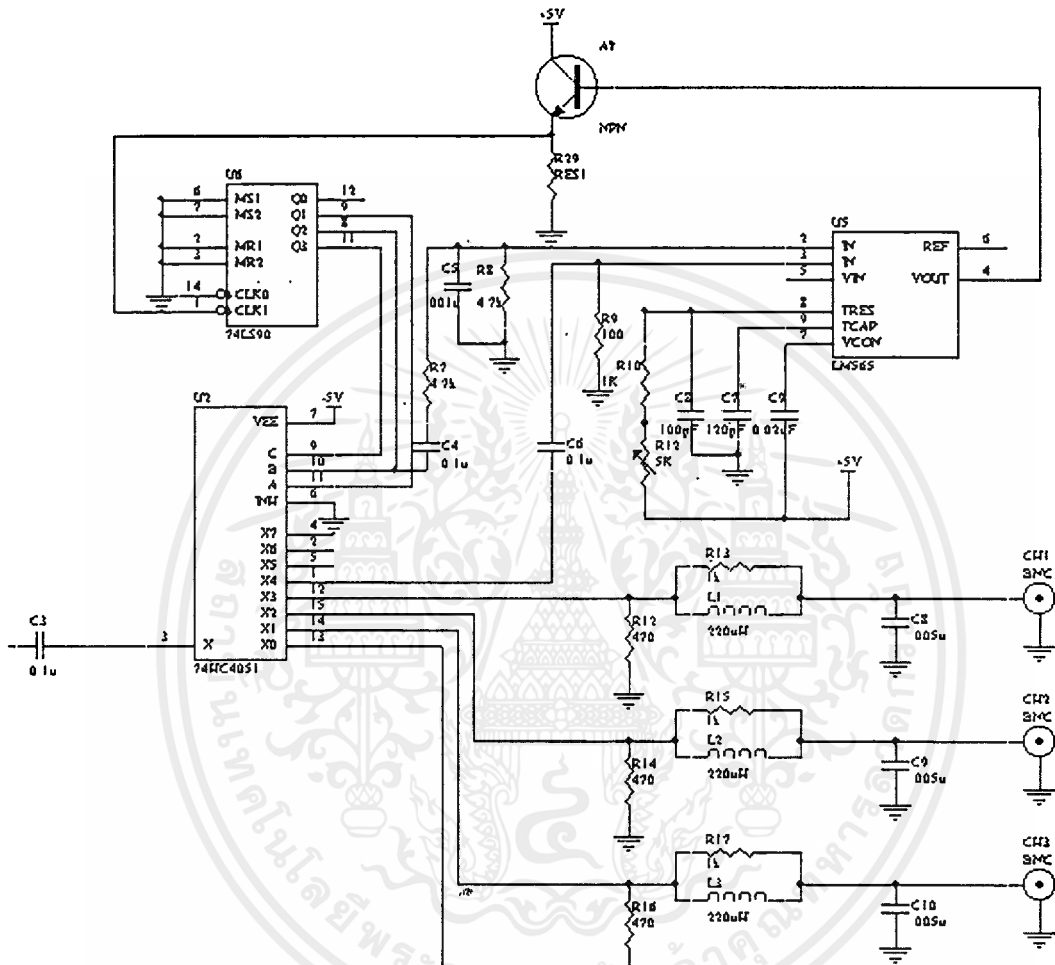
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

วงจรตีมัลติเพล็กซ์

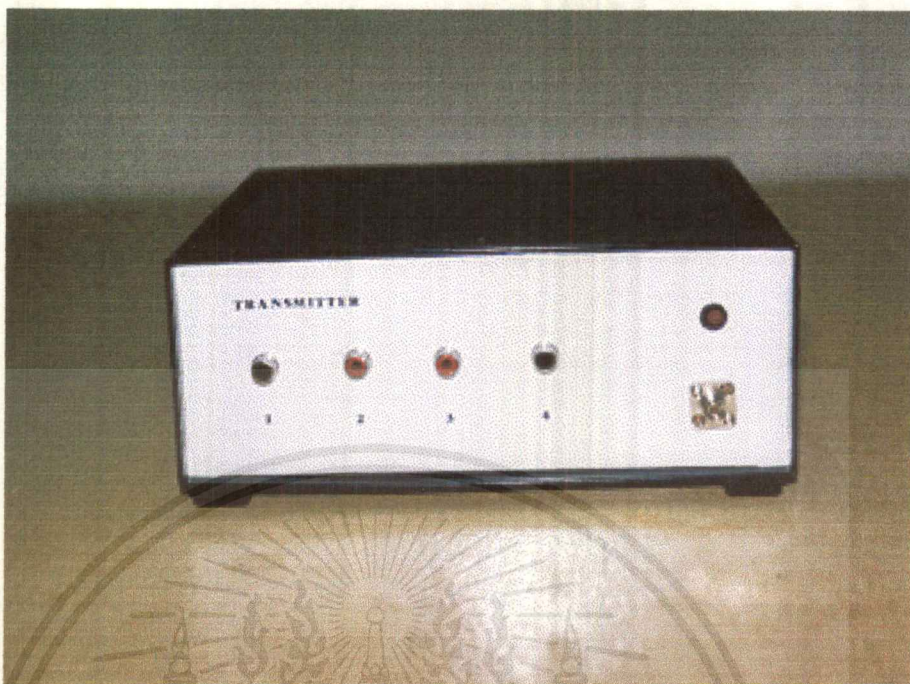
ใช้ไอซี 74HC4051 เป็นตัวตีมัลติเพล็กซ์ โดยป้อนอินพุทเข้าที่ขา 3 และควบคุมการตีมัลติเพล็กซ์โดย ต่อเอาท์พุทของ 74LS90 เข้ากับขา select A, B, C ของ 74HC4051 ส่วนขาสัญญาณนาฬิกาของ 74LS90 ได้รับจากเอาท์พุท ของวงจร VCO ซึ่งวงจร VCO นี้จะทำหน้าที่เปรียบเทียบกับเฟสของสัญญาณที่ขา 1 ของ 74HC4051 และขา 8 ของไอซี 74LS90 เมื่อทั้งสองขามีเฟสตรงกันก็จะผลิตสัญญาณนาฬิกาความถี่ 400 KHz ออกมาที่ขา 16 แล้วนำไปป้อนให้กับ 74LS90 เพื่อควบคุมการตี

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

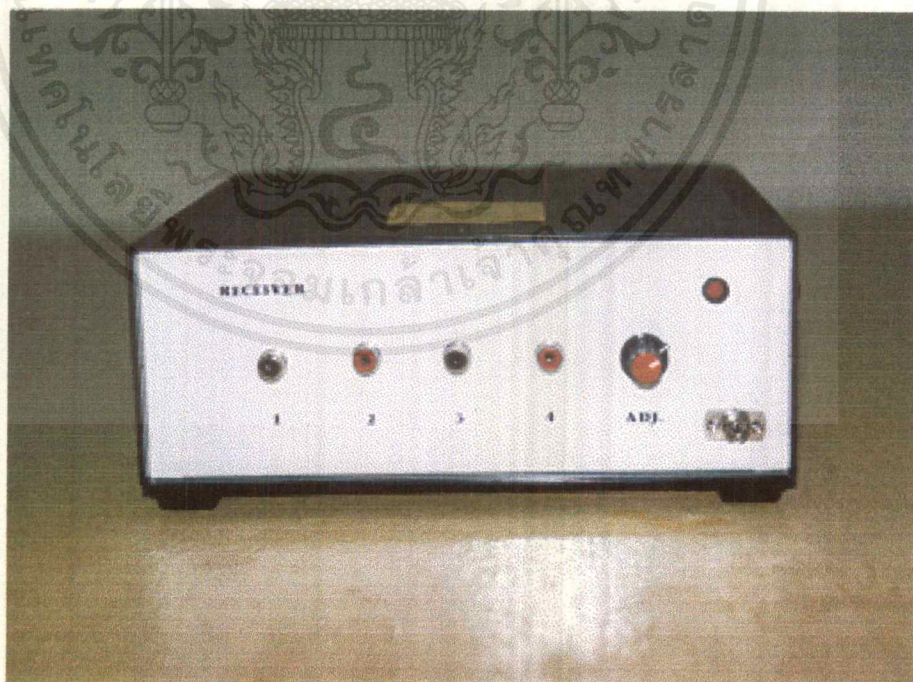
มัลติเพิล์กต่อไป สัญญาณเอาต์พุทของวงจรมัลติเพิล์กจะถูแยกออกเป็นช่องๆ แล้วนำไปผ่านวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) ก็จะได้เอาต์พุทออกมาเหมือนกับสัญญาณอินพุทเดิม



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรมัลติเพิล์กซ์



รูปที่ 3.7 แสดงภาพชุดเครื่องส่ง



รูปที่ 3.8 แสดงภาพชุดเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงภาพชุดเครื่องรับ-ส่ง

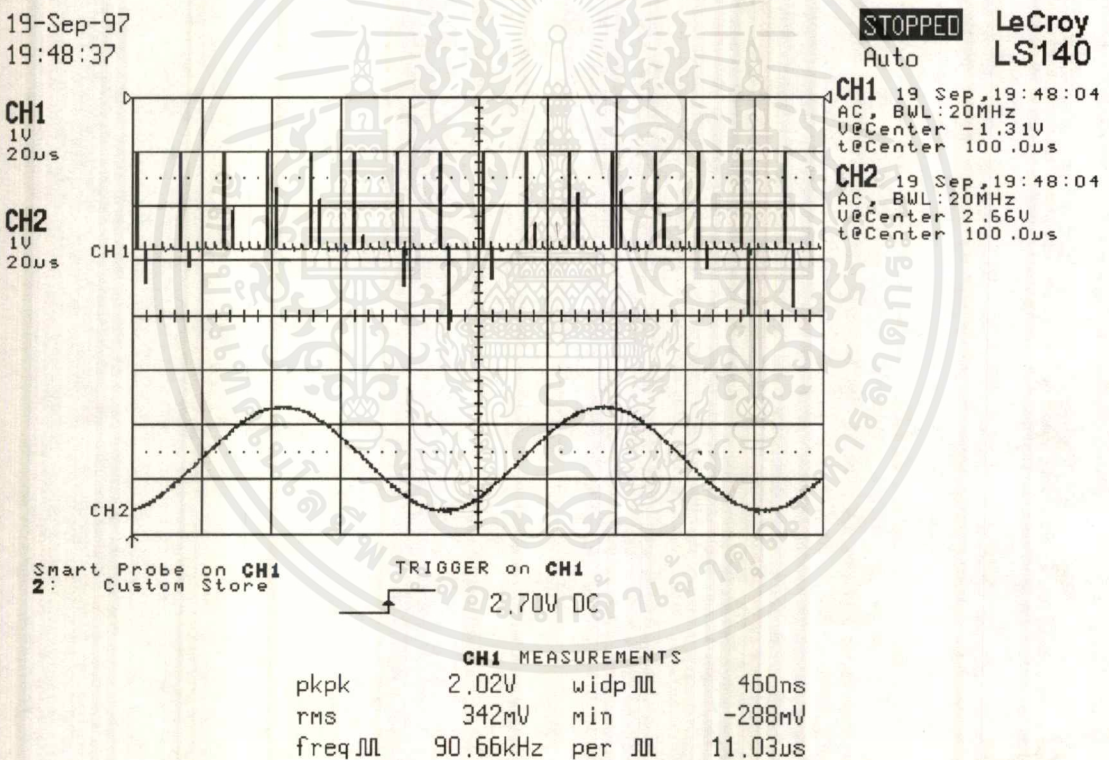
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองภาคส่ง

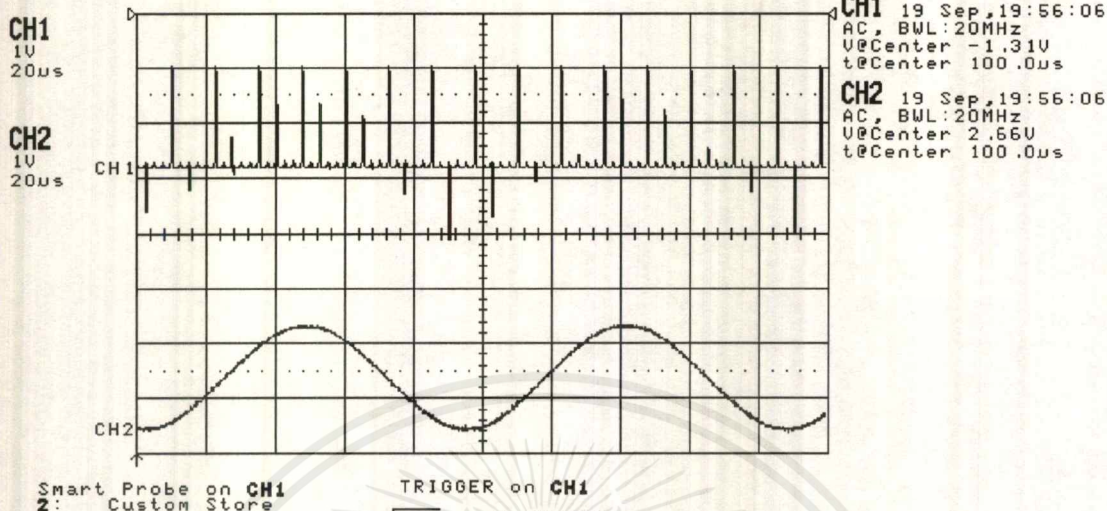
ในการทดลอง ใช้การป้อนสัญญาณอินพุตจากเจนเนอเรเตอร์ โดยใช้สัญญาณไซน์วฟป้อนเข้าไปยังอินพุตของวงจรรับสัญญาณอินพุต แต่ละช่องแล้ววัดสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากวงจรมัลติเพล็กซ์ ซึ่งก็จะได้เป็นสัญญาณแฉมปลิงของสัญญาณอินพุตแต่ละช่องเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง (สัญญาณแรงดันคงที่ซึ่งป้อนเข้าเป็นสัญญาณอินพุตช่องที่ 5) สัญญาณที่ได้จากการวัดในช่องต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 4.1-4.5



รูปที่ 4.1 สัญญาณอินพุตช่องที่ 1 ของภาคส่ง

19-Sep-97 Recalibration Suggested (SYSTEM CONFIG Menu)
19:56:39

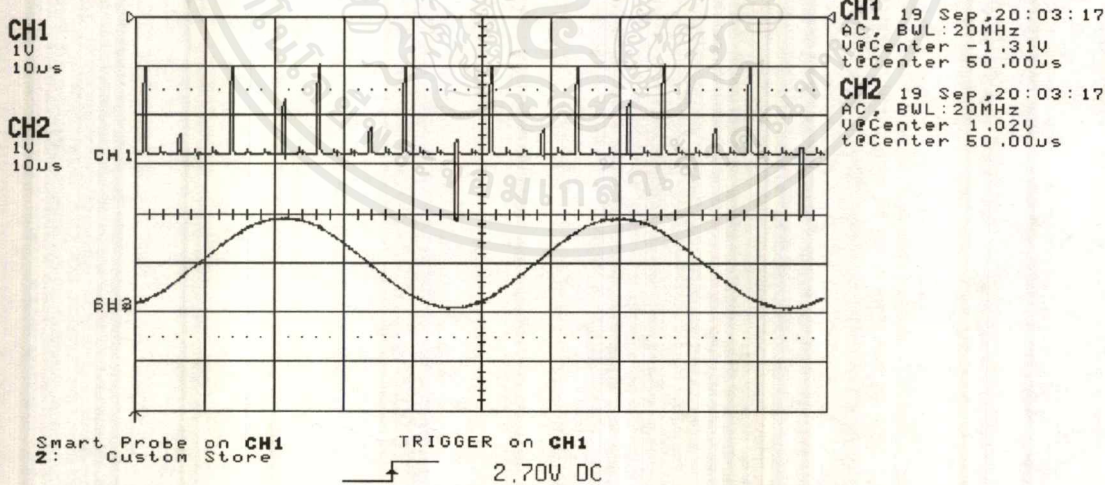
STOPPED LeCroy
Auto LS140



รูปที่ 4.2 สัญญาณอินพุทช่องที่ 2 ของภาคส่ง

19-Sep-97
20:03:52

STOPPED LeCroy
Auto LS140



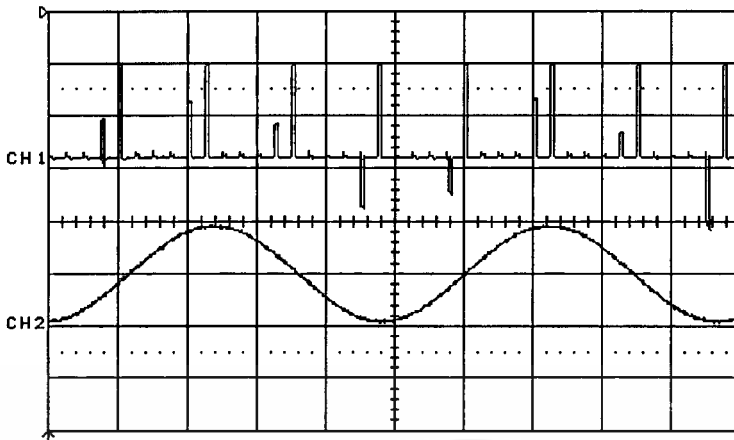
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณอินพุทช่องที่ 3 ของภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19-Sep-97 Recalibration Suggested (SYSTEM CONFIG Menu)
20:05:03

STOPPED LeCroy
Auto LS140

CH1
1V
10µs
CH2
1V
10µs



CH1 19 Sep, 20:04:34
AC, BWL: 20MHz
V@Center -1.31V
t@Center 50.00µs
CH2 19 Sep, 20:04:34
AC, BWL: 20MHz
V@Center 1.02V
t@Center 50.00µs

Smart Probe on CH1
2: Custom Store

TRIGGER on CH1
2.70V DC

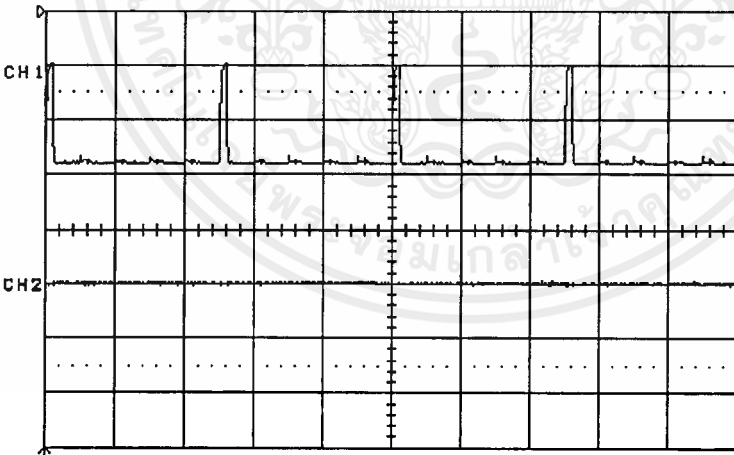
CH1 MEASUREMENTS			
pkpk	1.98V	widp µs	480ns
rms	346mV	min	-288mV
freq µs	102.8kHz	per µs	9.725µs

รูปที่ 4.4 สัญญาณอินพุตช่องที่ 4 ของภาคส่ง

19-Sep-97
20:07:50

STOPPED LeCroy
Auto LS140

CH1
1V
5µs
CH2
1V
5µs



CH1 19 Sep, 20:07:22
AC, BWL: 20MHz
V@Center -1.31V
t@Center 25.00µs
CH2 19 Sep, 20:07:22
AC, BWL: 20MHz
V@Center 1.02V
t@Center 25.00µs

Smart Probe on CH1
2: Custom Store

TRIGGER on CH1
2.70V DC

CH1 MEASUREMENTS			
pkpk	1.86V	widp µs	497ns
rms	330mV	min	-128mV
freq µs	80.00kHz	per µs	12.500µs

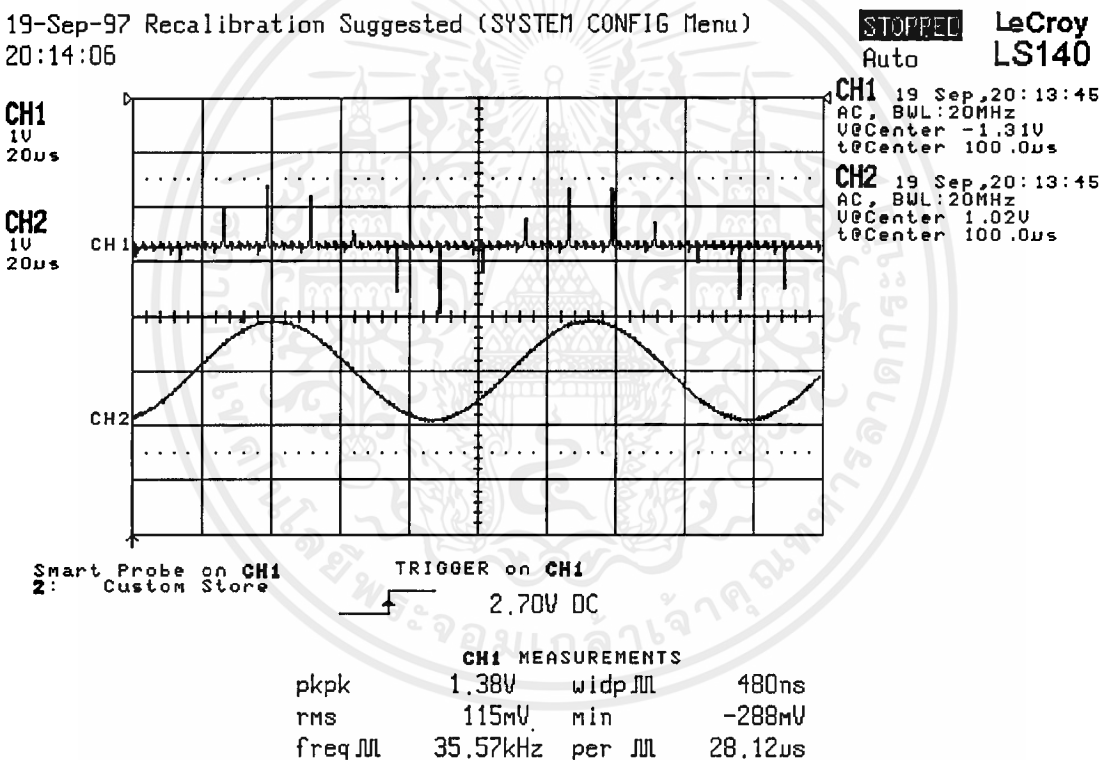
รูปที่ 4.5 สัญญาณอ้างอิงช่องที่ 5 ของภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองภาครับ

ในวงจรภาครับจะทำการวัดสัญญาณเอาต์พุท ที่ออกจากวงจรดีมัลติเพล็กซ์ ซึ่งก็จะเห็นเป็นลักษณะของรูปสัญญาณแต่ละช่องที่ส่งออกมาจากทางด้านเครื่องส่ง โดยรูปสัญญาณเอาต์พุทแต่ละช่องแสดงไว้ในรูปที่ 4.6-4.10

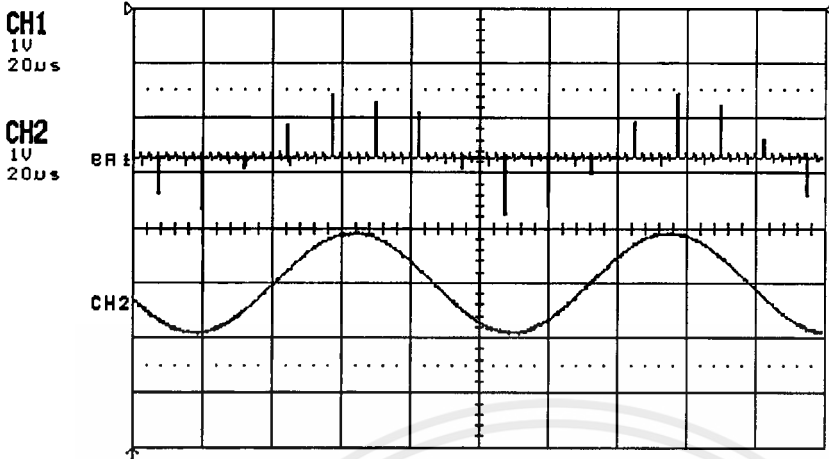
ในรูปที่ 4.11-4.12 จะแสดงสัญญาณเอาต์พุท 3 ช่อง (สัญญาณอินพุท 2 ช่องและสัญญาณอ้างอิง 1 ช่อง) โดยในรูปที่ 4.11 จะแสดงสัญญาณเอาต์พุทช่องที่ 1 3 5 และในรูปที่ 4.12 จะแสดงสัญญาณเอาต์พุทช่องที่ 2 4 5



รูปที่ 4.6 สัญญาณเอาต์พุทช่องที่ 1 ของภาครับ

19-Sep-97
20:15:12

STOPPED LeCroy
Auto LS140



CH1 19 Sep,20:14:50
AC, BWL:20MHz
V@Center -1.31V
t@Center 100.0µs

CH2 19 Sep,20:14:50
AC, BWL:20MHz
V@Center 1.02V
t@Center 100.0µs

Smart Probe on CH1
2: Custom Store

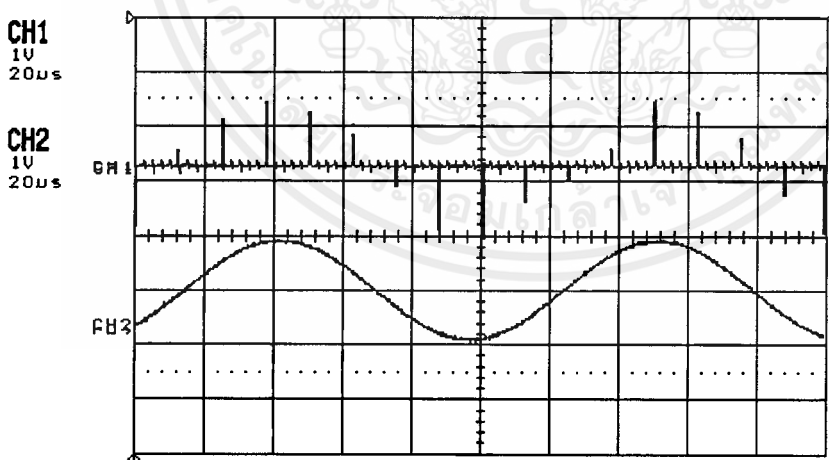
TRIGGER on CH1
2.70V DC

CH1 MEASUREMENTS			
pkpk	1.34V	widp	470ns
rms	122mV	min	-192mV
freq	35.55kHz	per	28.13µs

รูปที่ 4.7 สัญญาณเอาต์พุตช่องที่ 2 ของภาครับ

19-Sep-97 Recalibration Suggested (SYSTEM CONFIG Menu)
20:16:12

STOPPED LeCroy
Auto LS140



CH1 19 Sep,20:15:50
AC, BWL:20MHz
V@Center -1.31V
t@Center 100.0µs

CH2 19 Sep,20:15:50
AC, BWL:20MHz
V@Center 1.02V
t@Center 100.0µs

Smart Probe on CH1
2: Custom Store

TRIGGER on CH1
2.70V DC

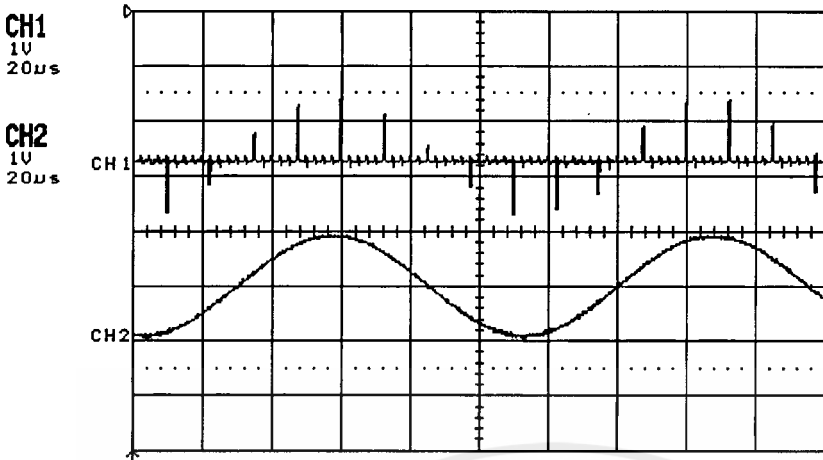
CH1 MEASUREMENTS			
pkpk	1.38V	widp	460ns
rms	122mV	min	-192mV
freq	32.00kHz	per	31.25µs

รูปที่ 4.8 สัญญาณเอาต์พุตช่องที่ 3 ของภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดได้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19-Sep-97 Recalibration Suggested (SYSTEM CONFIG Menu)
20:16:51

STOPPED LeCroy
Auto LS140



CH1 19 Sep,20:16:31
AC, BWL:20MHz
V@Center -1.31V
t@Center 100.0us

CH2 19 Sep,20:16:31
AC, BWL:20MHz
V@Center 1.02V
t@Center 100.0us

Smart Probe on CH1
2: Custom Store

TRIGGER on CH1

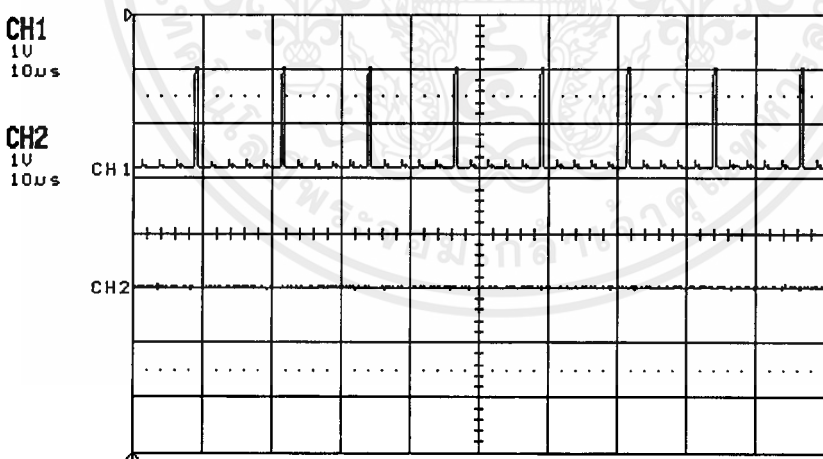
2.70V DC

CH1 MEASUREMENTS			
pkpk	1.38V	widp μ s	480ns
rms	128mV	min	-256mV
freq μ s	36.37kHz	per μ s	27.49us

รูปที่ 4.9 สัญญาณเอาต์พุตช่องที่ 4 ของภาครีบ

19-Sep-97 Recalibration Suggested (SYSTEM CONFIG Menu)
20:21:02

STOPPED LeCroy
Auto LS140



CH1 19 Sep,20:20:44
AC, BWL:20MHz
V@Center -1.31V
t@Center 50.00us

CH2 19 Sep,20:20:44
AC, BWL:20MHz
V@Center 1.02V
t@Center 50.00us

Smart Probe on CH1
2: Custom Store

TRIGGER on CH1

2.70V DC

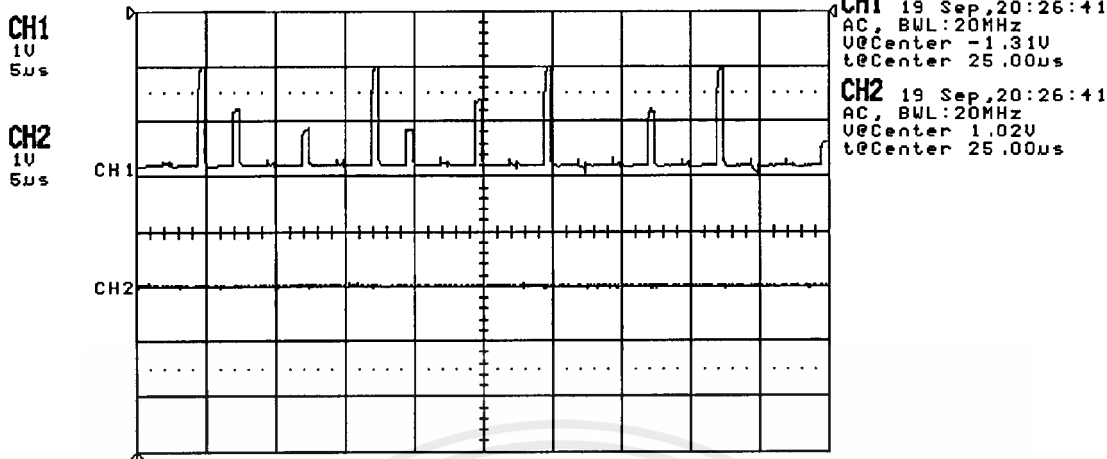
CH1 MEASUREMENTS			
pkpk	1.89V	widp μ s	485ns
rms	333mV	min	-160mV
freq μ s	80.00kHz	per μ s	12.500us

รูปที่ 4.10 สัญญาณเอาต์พุตช่องที่ 5 ของภาครีบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19-Sep-97 Recalibration Suggested (SYSTEM CONFIG Menu)
20:27:14

STOPPED LeCroy
Auto LS140



Smart Probe on CH1
2: Custom Store

TRIGGER on CH1
2.70V DC

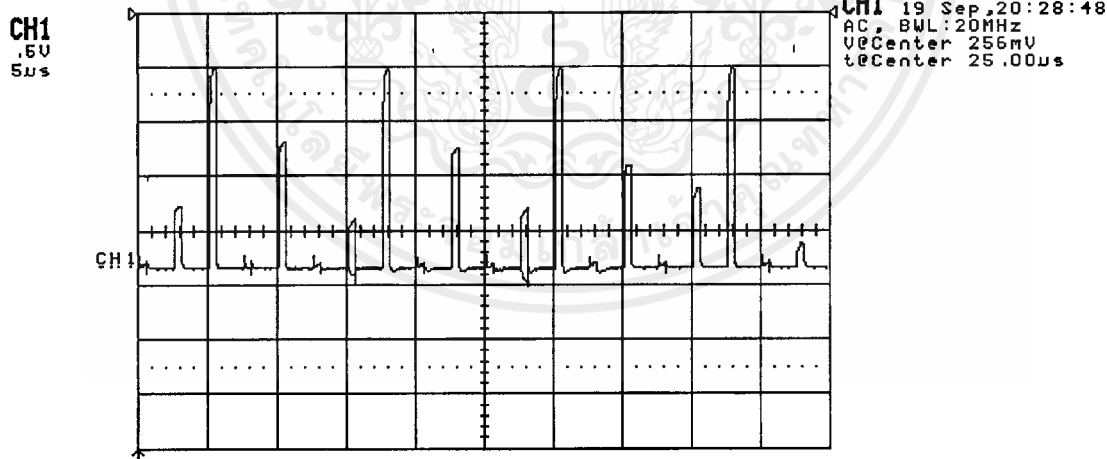
CH1 MEASUREMENTS

pkpk	1.98V	widp	495ns
rms	381mV	min	-288mV
freq	106.7kHz	per	9.378µs

รูปที่ 4.11 สัญญาณเอาต์พุตช่องที่ 1,3,5 ของภาครับ

19-Sep-97 Recalibration Suggested (SYSTEM CONFIG Menu)
20:29:25

STOPPED LeCroy
Auto LS140



Smart Probe on CH1
2: Custom Store

TRIGGER on CH1
2.25V DC

CH1 MEASUREMENTS

pkpk	2.03V	widp	492ns
rms	381mV	min	-272mV
freq	106.7kHz	per	9.375µs

รูปที่ 4.12 สัญญาณเอาต์พุตช่องที่ 2,4,5 ของภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุป

วิเคราะห์

จากการทำโครงการชิ้นงานนี้ในการออกแบบและทดลองการทำงานของวงจร ก็ทำให้เกิดปัญหาต่างๆขึ้น อันเนื่องจากสาเหตุหลายๆสาเหตุทั้งปัญหาที่สามารถแก้ไขได้และปัญหาที่ยังคงเกิดอยู่แต่ไม่ก่อให้เกิดความผิดพลาดในการทำงานของวงจรมากนัก

ปัญหาที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะเป็นปัญหาอันเนื่องมาจากการทำงานของวงจรทางด้านเครื่องส่งและวงจรชุดเครื่องรับทำงานไม่สัมพันธ์กันอันก่อให้เกิดความผิดพลาดในการทำงานของวงจร เช่น ปัญหาเกี่ยวกับความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในวงจร โดยในการคำนวณจะคำนวณในวงจรที่ทำงานที่ความถี่สัญญาณนาฬิกา 1MHz แต่จากการทดลองวงจรที่ความถี่สัญญาณนาฬิกาดังกล่าวนั้น วงจรทางด้านเครื่องรับจะไม่สามารถที่จะทำงานได้อย่างถูกต้องได้ อันเนื่องมาจากวงจรในส่วนที่ทำหน้าที่เป็นวงจรเฟสล็อกไม่สามารถล็อกความถี่ของสัญญาณให้ตรงกันกับความถี่ที่เครื่องส่งส่งมา จึงทำให้ต้องลดความถี่ของสัญญาณนาฬิกาทางด้านเครื่องส่งลงมาเหลือที่ประมาณ 400-500MHz วงจรทางเครื่องรับจึงสามารถล็อกความถี่ให้ใกล้เคียงกับทางเครื่องส่งได้

สรุป

โครงการนี้ได้เสนอการออกแบบ และสร้างเครื่องรับ-ส่งสัญญาณเสียงในระบบมัลติเพล็กซ์ผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ในการออกแบบได้นำวงจรที่ได้ศึกษาในหลักสูตรการศึกษาแล้วได้นำมาประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งเส้นใยแก้วนำแสงมีคุณสมบัติที่ดีในการเป็นสายรับ-ส่งสัญญาณ เพราะว่ามีสัญญาณรบกวนต่ำและแบนด์วิดท์กว้าง ผลจากการทดลองของวงจรนี้ได้นำมาสร้างและประกอบเข้าเป็นระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งสามารถให้ผลดีเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรที่ได้มีคนทำมาก่อนหน้านี้ เครื่องรับ-ส่งสัญญาณเสียงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงที่ได้สาธิตสามารถทำงานได้และสามารถรับ-ส่งสัญญาณเสียงได้ตามที่ได้กำหนด ดังนั้นเชื่อว่าเครื่องรับ-ส่งนี้จะถูกนำไปเป็นพื้นฐานในการศึกษาและสร้างเครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงที่มีประสิทธิภาพดี และมีขนาดเล็กต่อไป

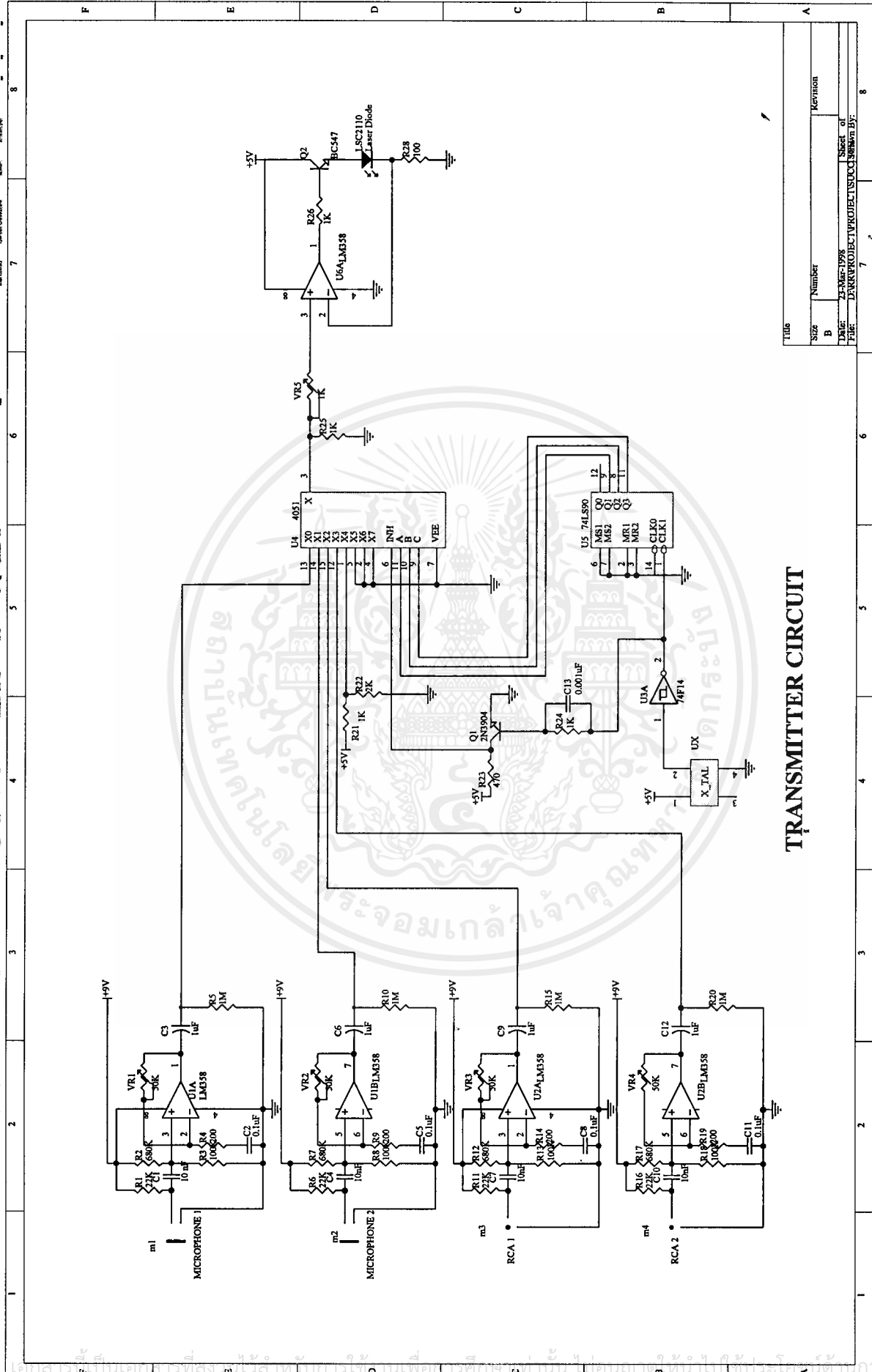
บรรณานุกรม

1. Arvin Grabel , Jacob Millman , Microelectronics Second Edition , McGraw-Hill International Editions.
2. Moris Tischler , Optoelectronics : Fiber optics and Lasers A text-Lab Manual , Second Edition , Mcgraw-Hill International Editions.
3. ทวีชัย สุขสิทธิ์พรชัย , PCM/TDM Transmission Systems , UCOM GROUP , 2540
4. วิโรจน์ อัสวรังสี , ชัชวาล เต็มฤทธิวงษ์ , กรชูลี ใสสถิตย์ , การใช้งานอปแอมป์และลิเนียร์ ไอซี , สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด
5. พันธุ์ศักดิ์ ศรีทรัพย์ , การสื่อสารด้วยไฟเบอร์ออปติก , บริษัท อิเล็กทรอนิกส์เวิลด์ จำกัด



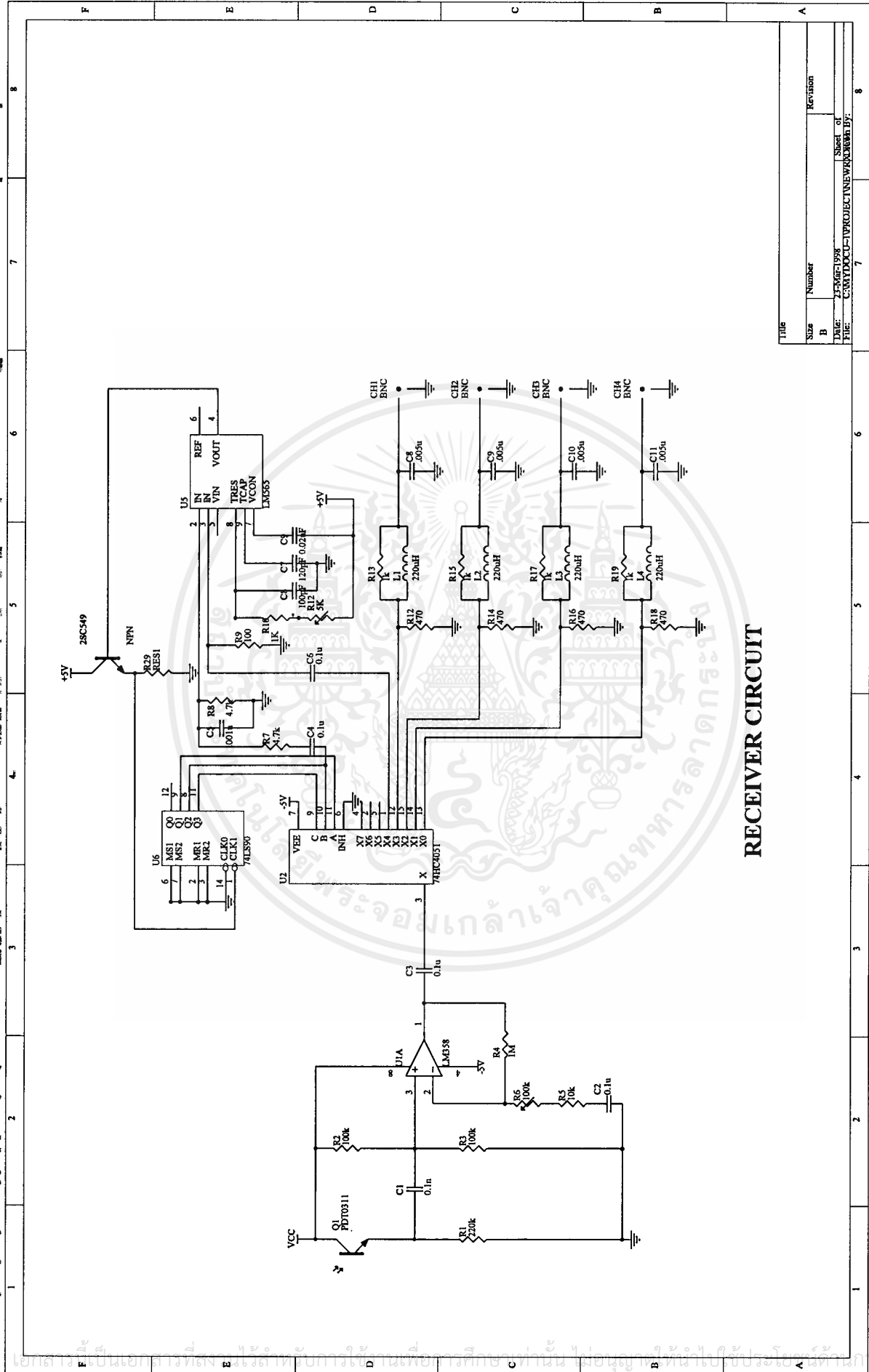
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



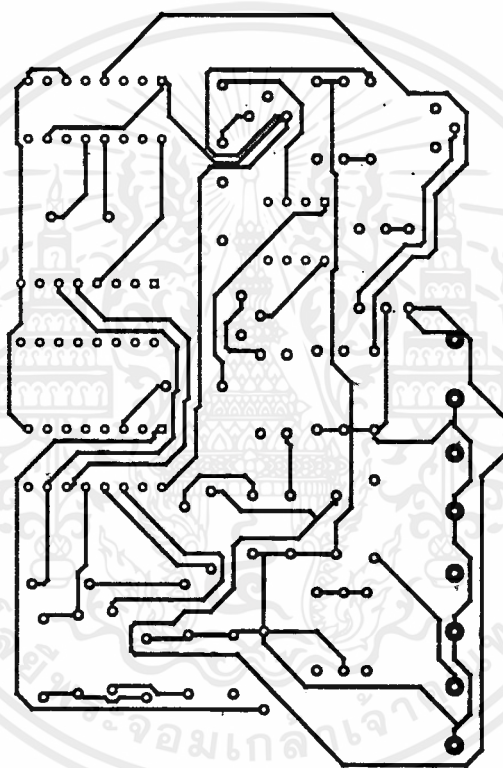
TRANSMITTER CIRCUIT

TITLE	Size	Number	Revision
	B		
DATE	25-Mar-1998		
DRAWN BY	PROJECT PROJECT/STUCI/STUCI/STUCI		
CHECKED BY	Sheet of		
	8		



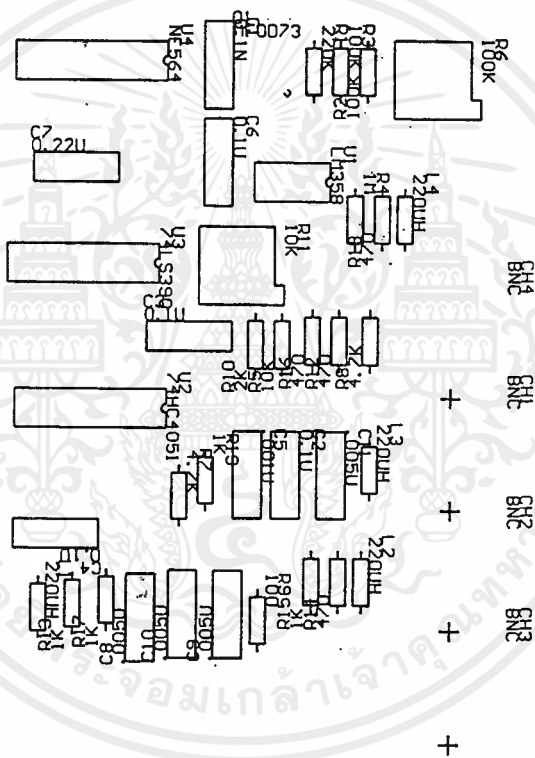
RECEIVER CIRCUIT

Title		Revision	
Size	Number		
B			
Date: 20/05/2017		Sheet of	
File: C:\R\DOC-1\PROJECT\NEW\RECEIVER.DP		Sheet of	
		7	8



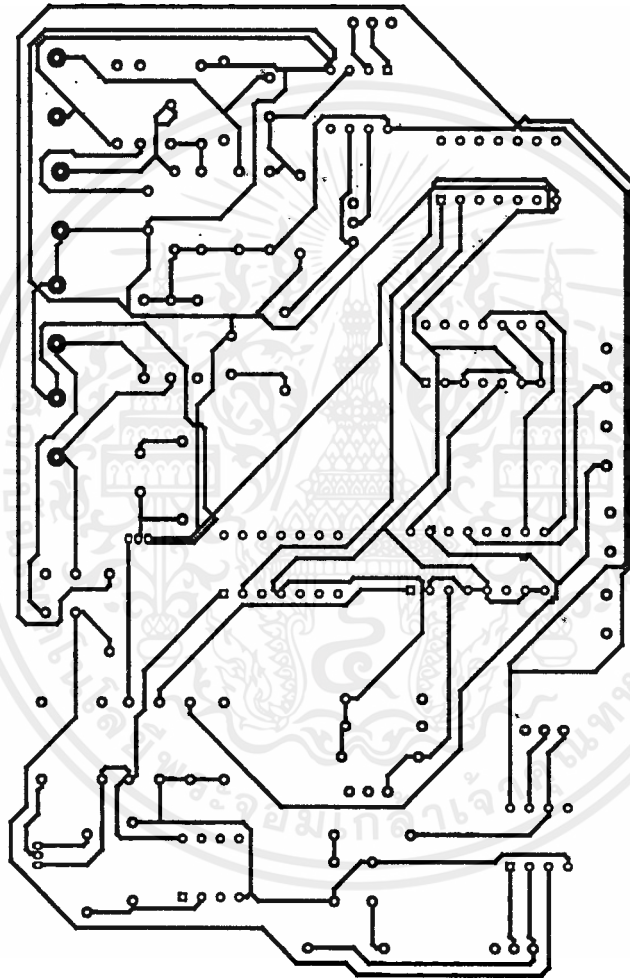
รูปแสดงลายวงจร ชุดเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



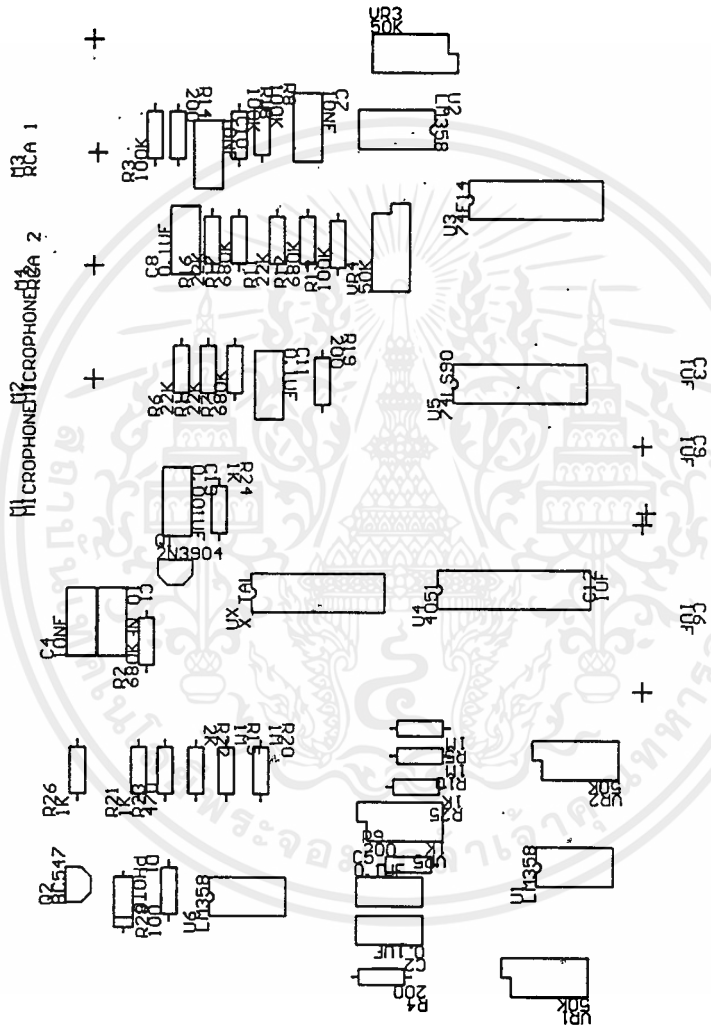
รูปแสดงการวางอุปกรณ์ ชุดเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงลายวงจร ชุดเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงการวางอุปกรณ์ ชุดเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์

ตัวต้านทาน	จำนวน
10 Ω	1
27 Ω	1
47 Ω	1
68 Ω	1
100 Ω	5
220 Ω	1
470 Ω	4
680 Ω	1
1 k Ω	10
1.5 k Ω	3
2 k Ω	2
2.2 k Ω	3
3.9 k Ω	1
4.7 k Ω	2
8.2 k Ω	1
10 k Ω	3
22 k Ω	3
33 k Ω	1
1 M Ω	5
500 Ω ปรับค่าได้	5
5 k Ω ปรับค่าได้	1

ตัวเก็บประจุ

100 pF	1
120 pF	1
150 pF	1
270 pF	1
0.001 μ F	2
0.002 μ F	1
0.005 μ F	4
0.02 μ F	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.005 uF	4
0.02 uF	2
0.01 uF	1
0.1 uF	12
1 uF	8
10 uF	2
47 uF	2
470 uF	2
1000 uF 25 V	4

อุปกรณ์กึ่งตัวนำ

LSC2110 Laser Diode	1
PDT0311 Photo Diode	1
7805	2
7809	2
7905	1
74LS90	2
74HC4051	2
NE565	1
NE566	1
LM358	2
LM386	1
2N3904	2
2N3905	1
2N2222	1
2N4918	1
1N4148	1
1N4736	1

อุปกรณ์อื่นๆ

คริสตัล 20 MHz	1
สายใยแก้วนำแสง	2

1 mW 14 Pin DIL Cooled Laser Modules

Technical Data

LSCX110

Features

- 1 Milliwatt Optical Output at 25 mA above Threshold, 25°C
- Center Wavelength between 1280 nm and 1330 nm
- Wide Modulation Bandwidth:
LSC2110 - 800 MHz
LSC4110 - 1.2 GHz
- Wide Operating Temperature Range: -40°C to +85°C
- Alternative Package Styles:
LSC2110 - 14 Pin DIL
LSC4110 - 14 Pin "Butterfly"

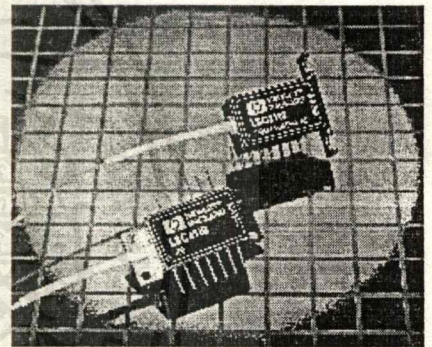
Applications

- Telecommunications
- Local Area and Metropolitan Area Networks
- Point-to-Point Data Communications
- Fiber Optic Sensors
- Cable Television
- Military Communications and Control Systems
- Instrumentation

Description

LSCX110 laser modules are highly reliable fiber optic light sources operating in the 1300 nanometer band. The internal semiconductor lasers are based upon InGaAsP buried heterostructure (BH) technology and fabricated by the Metal Organic Vapor Phase Epitaxy (MOVPE) process, resulting in long lifetimes and modest threshold currents.

LSCX110 packages include a photodiode for monitoring the laser output, a thermistor for monitoring laser heatsink temperature and a Peltier effect thermoelectric cooler (TEC). A heatsink mounting flange is incorporated into the base of the 14 pin "butterfly" package and a "bullhorn" type flange is used on the 14 pin DIL package.



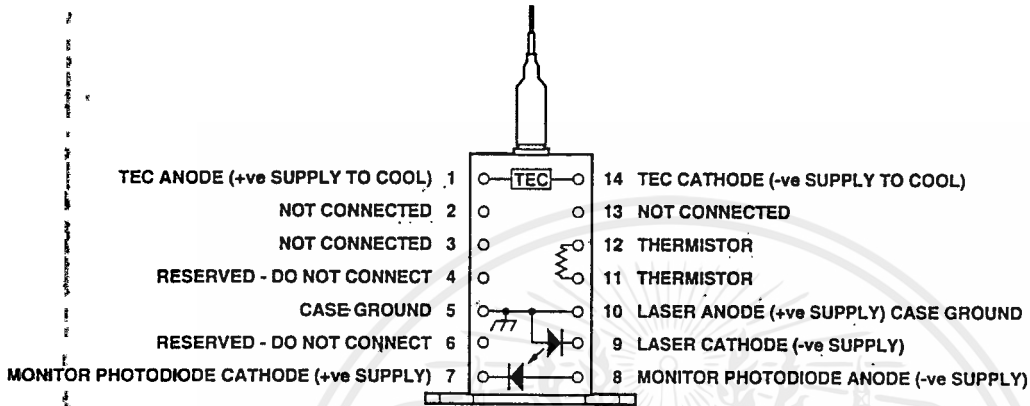
Laser Safety Warning

This device is a Class IIIb (3b) Laser Product. It may emit invisible laser radiation if operated with the fiber pigtail disconnected. To avoid possible eye damage do not look into an unconnected fiber pigtail during laser operation. Do not exceed specified operating limits.

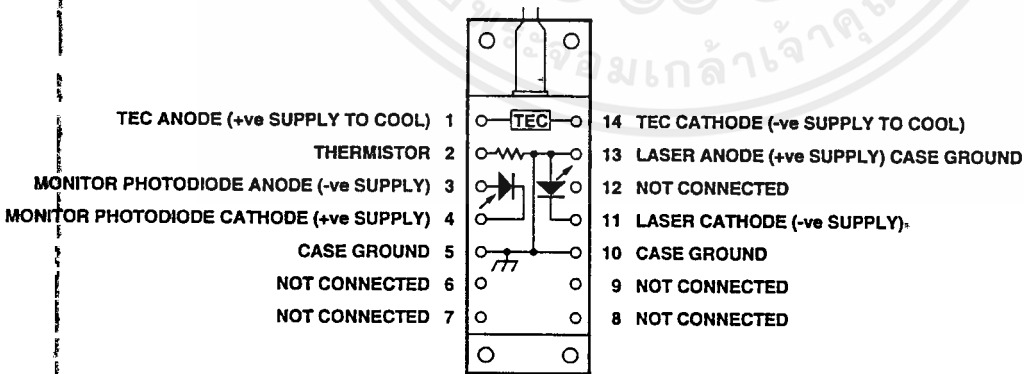
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Connections

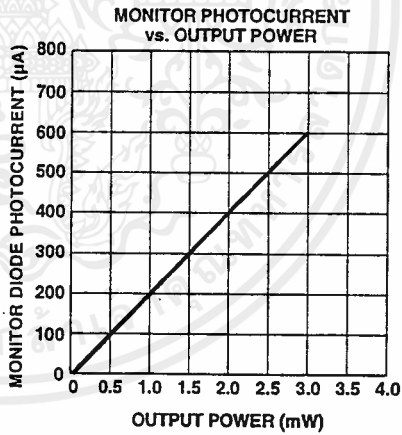
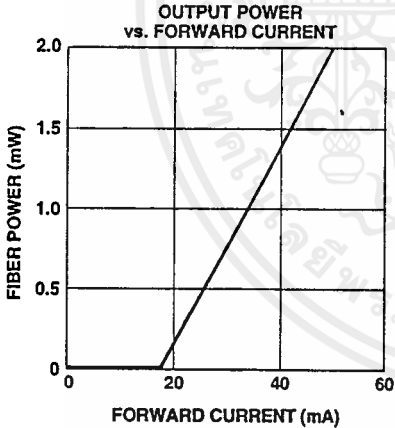
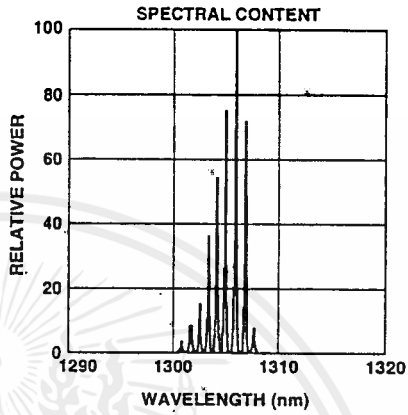
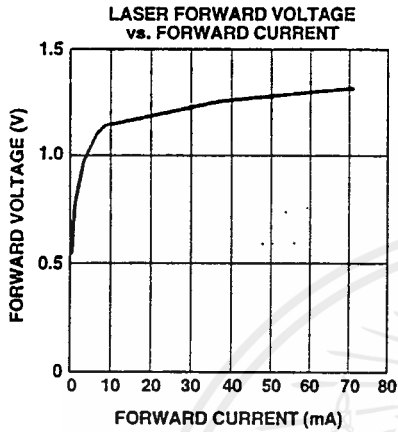
**LSC2110
Top View**



**LSC4110
Top View**



LSCX110 Laser Diode Typical Operating Characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum limits mean that no catastrophic damage will occur if the product is subjected to these ratings for short periods, provided each limiting parameter is in isolation and all other parameters have values within the performance specification. It should not be assumed that limiting values of more than one parameter can be applied to the product at the same time.

Parameter	Symbol	Conditions	Limits		Units
			Min.	Max.	
Laser Forward Current	I _f	DC	-	150	mA
Laser Reverse Current	I _r	DC	-	100	μA
Laser Reverse Voltage	V _{Ir}	DC	-	2	V
Photodiode Reverse Voltage	V _r	DC	-	10	V
Photodiode Forward Current	I _{pf}	DC	-	1	mA
Operating Temperature (Case)	C	Pf = 1 mW	-40	+85	°C
Storage Temperature	T _s		-40	+85	°C
Relative Humidity RH			0-0	non-condensing	%RH
Fiber Pull Strength			-	10	N
Mechanical Shock		Mil Std 883, Method 2002, Test Condition A			
Vibration		Mil Std 883, Method 2007, Test Condition A			

Performance Specifications

Parameter	Symbol	Test Conditions	Test Limits		Units
			Min.	Max.	
LASER		CW, R _t = 10 KΩ, T _c = ~25°C unless otherwise specified			
Threshold Current	I _{th}		5	25	mA
I _{th} Change with Temperature	ΔI _{th} /ΔT	T _c = 65°C to 85°C	-	2.5	%/°C
Peak Optical Output	P _f	P _f = P _f @ I _{th} + 25 mA	1	2.5	mW
Optical Output Power	P _{th}	P _{th} = P _f @ I _{th} - 2 mA	-	50	μW
Slope Efficiency	η		0.04	0.1	mW/mA
Forward Voltage	V _f		-	1.8	V
Differential Resistance	R _d	dV/dI	-	10	Ω
Center Wavelength	λ _c	Note 1	1280	1330	nm
λ _c Change with Temperature	Δλ _c /ΔT	T _c = 65°C to 85°C, ΔT = -40°C	-	0.4	nm/°C
Linewidth	Δλ	FWHM (2.35 σ), Note 1	-	.5	nm
Rise Time	τ _r	10% to 90%: I _{th} to P _f = 1 mW	-	0.5	ns
Fall Time	τ _f	90% to 10%: P _f = 1 mW to I _{th}	-	0.5	ns
Small Signal Frequency Response					
LSC2110	Bw	m = 0.8	800	-	MHz
LSC4110	Bw	m = 0.8	1.2	-	GHz

Note:

1. Modulated measurements also available. บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Performance Specifications (cont'd.)

Parameter	Symbol	Test Conditions	Test Limits		Units
			Min.	Max.	
MONITOR PHOTODIODE		$R_t = 10 \text{ k}\Omega$, $T_c = \sim 25^\circ\text{C}$, CW, $P_f = 1 \text{ mW}$, $V_r = 5 \text{ V}$ (Note 2) unless otherwise specified			
Photocurrent	I_m		80	800	μA
Responsivity	R		0.08	0.8	A/W
Dark Current	I_d	$P_f = 0 \text{ mW}$	-	20	nA
Tracking Error	ΔR	$I_m = I_m @ (P_f = 1 \text{ mW}, T_c = 25^\circ\text{C})$			
		$\Delta T = -40^\circ\text{C}, T_c = 85^\circ\text{C}$	-	± 0.5	dB
		$\Delta T = +65^\circ\text{C}, T_c = -40^\circ\text{C}$	-	± 0.5	dB

Note:

2. Monitor Photodiode will also operate under zero bias conditions.

Parameter	Symbol	Test Conditions	Test Limits		Units
			Min.	Max.	
THERMISTOR		$T_c = 25^\circ\text{C}$, $P_f = 0 \text{ mW}$ unless otherwise specified			
Resistance	R_t		9.5	10.5	$\text{k}\Omega$
Temperature Coefficient of R_t	$\Delta R_t / \Delta T$		Typ -4.4		%dR/K
β Constant	β	0°C to 50°C	Typ 3900		$^\circ\text{K}$

Parameter	Symbol	Test Conditions	Test Limits		Units
			Min.	Max.	
TEC		$T_c = 25^\circ\text{C}$, $P_f = 1 \text{ mW}$ unless otherwise specified			
TEC Cooling Current	I_c	$\Delta T = -40^\circ\text{C}, T_c = 85^\circ\text{C}$	-	1.0	A
TEC Heating Current	I_h	$\Delta T = 65^\circ\text{C}, T_c = -40^\circ\text{C}$	-	1.0	A
Voltage	V_c	$\Delta T = -40^\circ\text{C}$ to $+65^\circ\text{C}$	-	2.0	V

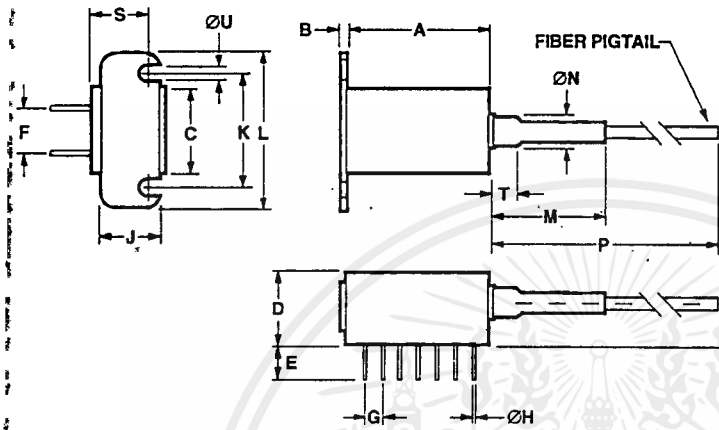
Fiber Pigtail: Tight jacketed, self-mode stripping, single mode fiber

Parameter	Minimum	Maximum	Units
Length	1.0	-	m
Spot Size (mode radius)	4.5	5.5	μm
Cladding Diameter	122	128	μm
Core/Cladding Concentricity	-	1.0	μm
Secondary Jacket Diameter	0.8	1.0	mm
Effective Cut-off Wavelength	1150	1240	nm

Hewlett-Packard can offer a ruggedized fiber pigtail for this product range if extreme mechanical strength is required. The pigtail length can be customized to your specific length, with a connector, to a tolerance of $\pm 25 \text{ mm}$.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

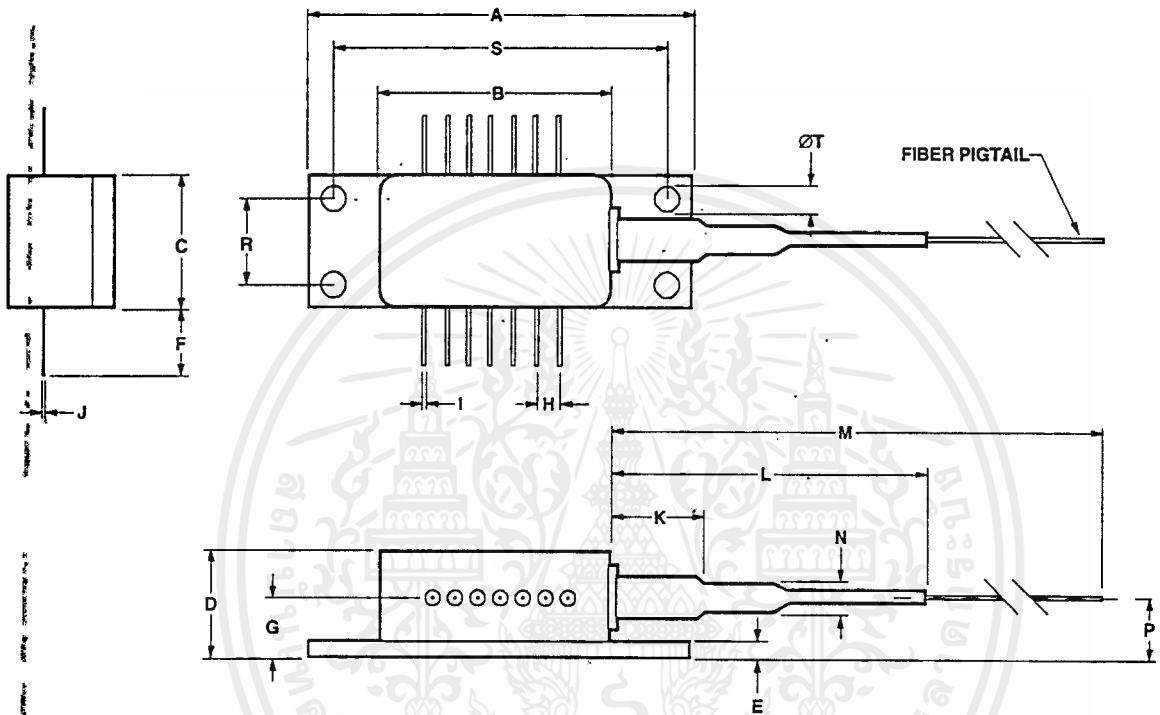
LSC2110 Mechanical Outline



DIM.	MIN.	MAX.	DIM.	MIN.	MAX.
A	20.68	20.98	K	19.05 NOM.	
B	0.90	1.10	L	25.10	25.70
C	12.55	13.00	M	30.00 NOM.	
D	8.51	9.60	ØN	-	4.20
E	6.10	6.60	P	1000	-
F	7.62 NOM.		R	5.80	6.20
G	2.54 NOM.		S	6.00 NOM.	
ØH	0.457 NOM.		T	-	6.00
J	7.01	7.21	ØU	3.17 NOM.	

ALL DIMENSIONS IN MILLIMETERS

LSC4110 Mechanical Outline



DIM.	MIN.	MAX.	DIM.	MIN.	MAX.
A	29.85	30.15	J	0.25 NOM.	
B	20.65	20.95	K	19.05 NOM.	
C	12.45	12.75	L	30.00 NOM.	
D	9.05	9.35	M	1000	-
E	1.40	1.60	N	4.05	4.35
F	4.90	6.10	P	5.25	5.55
G	5.45	5.75	R	8.85	9.15
H	2.54 NOM.		S	25.85	26.15
I	0.38 NOM.		ØT	1.90	2.10

ALL DIMENSIONS IN MILLIMETERS

Ordering Information

LSCX110 - XX

Connector Type:

FP = FC/PC

ST = ST®

SC = SC

DN = DIN

BI = Biconic

D4 = D4

SF = Super Polish FC/PC

Package Style:

2 = 14 PIN DIL

4 = 14 PIN "Butterfly"

Handling Precautions

1. The LSCX110 can be damaged by current surges or overvoltage.
2. Power supply transient precautions should be taken.
3. Normal handling precautions for electrostatic sensitive devices should be taken.

CDRH Certification

Hewlett-Packard Ltd'
Whitehouse Road
Ipswich, Suffolk IP1 5PB
England

Manufactured: _____ Serial No. _____
Model No. _____

This product conforms to the applicable requirements of 21 CFR 1040 at the date of manufacture.

Laser Warning

DANGER

Invisible LASER Radiation -
Avoid direct exposure to beam

Peak power	15 mW
Wavelength	1300 nm

Class III b. LASER product

For technical assistance or the location of your nearest Hewlett-Packard sales office, distributor or representative call:

Americas/Canada: 1-800-235-0312 or 408-654-8675

Far East/Australasia: Call your local HP sales office.

Japan: (81 3) 3335-8152

Europe: Call your local HP sales office.

Data subject to change.

Copyright © 1997 Hewlett-Packard Co.

Printed in U.S.A. 5963-5308E (1/95)

ST® is a Registered Trademark of AT&T.

Connectorized PIN Photodiodes

Technical Data

PDT0X1X

Features

- Industry Standard Connectors—FC, ST® and SC
- 1200 nm to 1650 nm Wavelength
- High Responsivity
- High Reliability Planar InGaAs Photodiode
- Range of Flange Options
- Low Dark Current
- -40°C to +85°C Operation

Applications

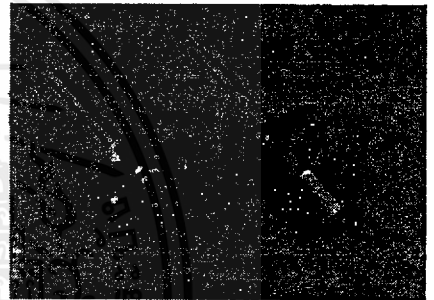
- Optical Data Communication Receivers
- O-E Convertors
- LANS
- FDDI Networks
- Instrumentation
- FTTL
- Single and Multimode Fiber Communications Systems

Description

The PDT range of products includes a variety of connectorized PIN photodiodes designed for wide operating temperature, low cost applications such as fiber in the loop. The planar InGaAs photodiodes are manufactured using our MOVPE growth technology and give low leakage, high responsivity performance with excellent reliability.

The construction of the devices includes a hermetically sealed photodiode and is designed to be compatible with the environmental requirements of the Bellcore TA-TSY-000983 document.

The product range includes a variety of pinout, connector type



and flange mounting options, designed to match the majority of offerings in the marketplace. If the specific arrangement or performance you require is not listed, please contact Hewlett-Packard. Highly flexible design and manufacturing processes allow both physical and electro-optic customization to suit your needs.

ST® is a Registered Trademark of AT&T.

ESD WARNING: NORMAL HANDLING PRECAUTIONS SHOULD BE TAKEN TO AVOID STATIC DISCHARGE.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PDT Connectorized PIN Photodiode Specifications

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum limits mean that no catastrophic damage will occur if the product is subjected to these ratings for short periods, provided each limiting parameter is in isolation and all other parameters have values within the performance specification. It should not be assumed that limiting values of more than one parameter can be applied to the product at the same time.

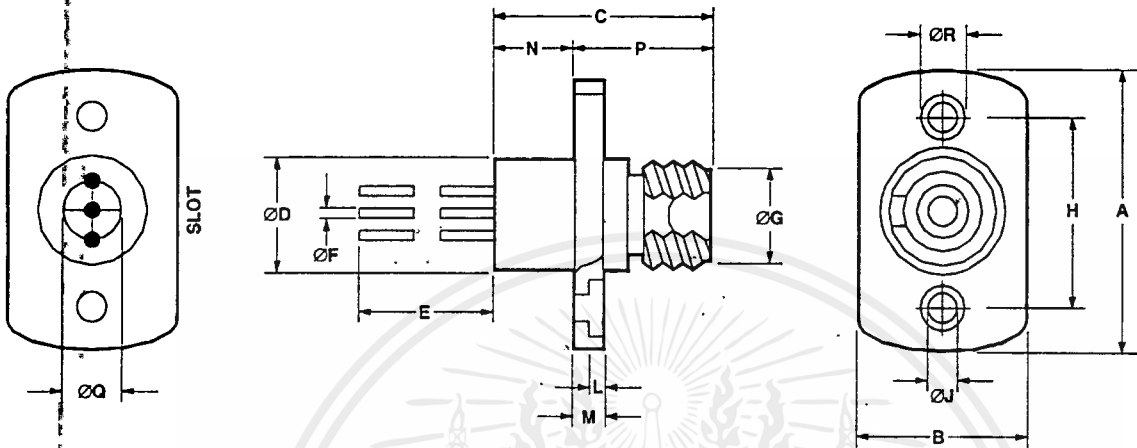
Parameter	Symbol	Minimum	Maximum	Units
Reverse Voltage	V _r	-	20	V
Reverse Current	I _r	-	12	mA
Forward Voltage	V _f	-	1	V
Forward Current	I _f	-	5	mA
Power Dissipation	-	-	50	mW
Operating Temperature	T _c	-40	85	°C
Storage Temperature	T _s	-40	85	°C
Soldering-10 seconds	-	-	260	°C

Performance Specification

Parameter	Symbol	Test Conditions: Unless Otherwise Stated V _r = 5 V, T _c = 25°C	PDT031X		PDT041X		Units
			Min.	Max.	Min.	Max.	
Dark Current	I _d		-	1	-	1	nA
		T _c = 85°C	-	50	-	50	nA
Reverse Breakdown Voltage	V _{br}	I _r = 10 μA	35	-	35	-	V
Capacitance	C	1 MHz	-	1.1	-	1.7	pF
Responsivity	R	λ = 1300 nm	0.7	-	0.7	-	A/W
Operating Wavelength	λ	80% points	1200	1650	1200	1650	nm
Rise/Fall Times	τ _r /τ _f	10% to 90%	-	0.25	-	0.5	nS

PDT Mechanical Outline Options

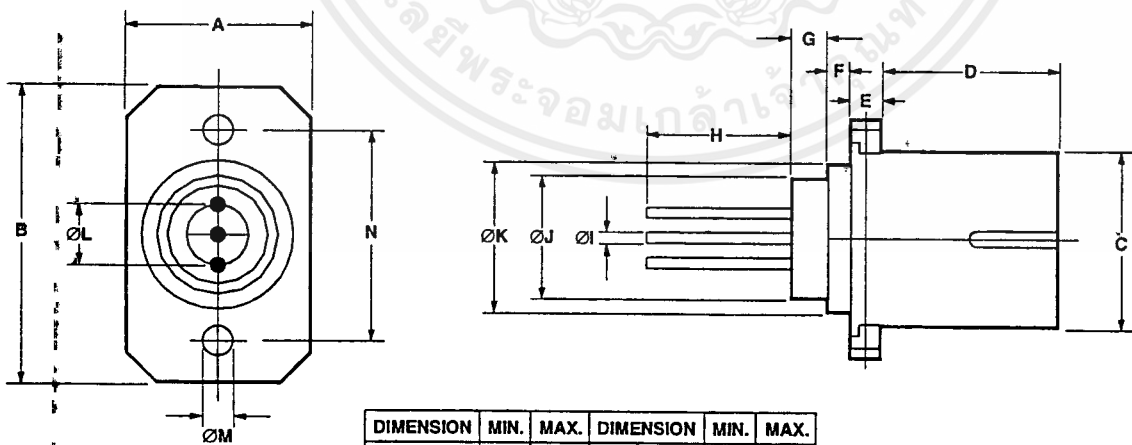
PDT0X1X-FC-A



DIMENSION	MIN.	MAX.	DIMENSION	MIN.	MAX.
A	-	19.5	ØJ	2.08	2.32
B	-	9.5	L	-	1.65
C	-	15	M	-	2.2
ØD	-	9.1	N	-	6.8
E	12.0	-	P	-	8.2
ØF	0.41	0.47	ØQ	-	2.54 NOM.
ØG	M8 X 0.75	-	ØR	-	4.2
H	13.35	13.55			

ALL DIMENSIONS IN mm.

PDT0X1X-SC-A Plastic Housing

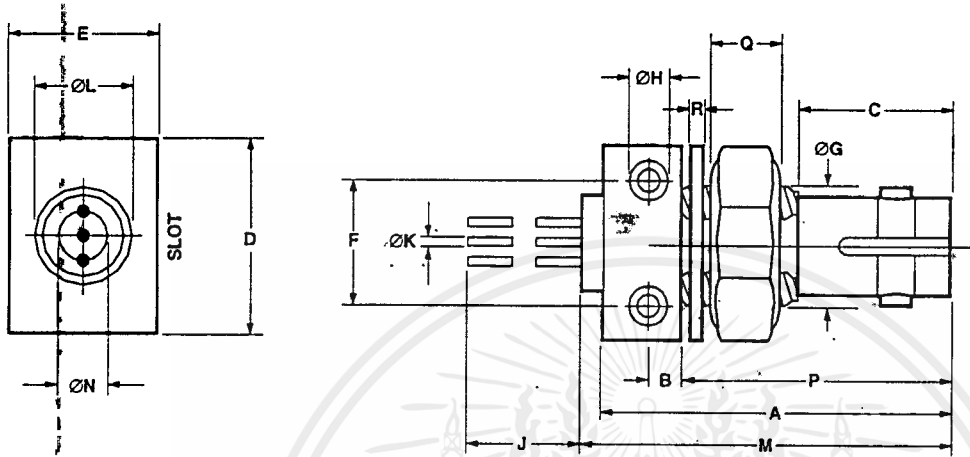


DIMENSION	MIN.	MAX.	DIMENSION	MIN.	MAX.
A	-	9.5	H	12.0	-
B	-	23.0	ØI	0.41	0.47
C	-	13.5	ØJ	6.9	7.0
D	-	12.5	ØK	-	8.6
E	-	3.1	ØL	-	2.54 NOM.
F	-	2.4	ØM	2.2	2.4
G	-	3.9	N	17.5	18.5

ALL DIMENSIONS IN mm.

PDT Mechanical Outline Options

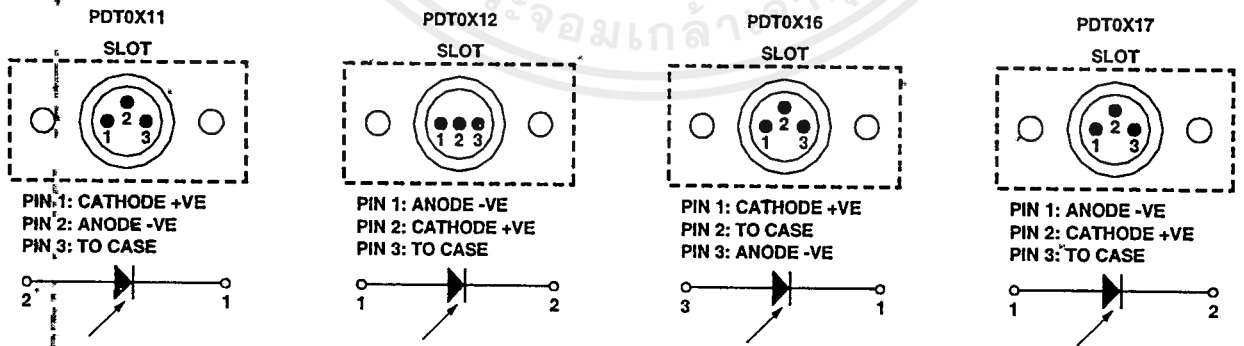
PDT1X4X-ST-F



DIMENSION	MIN.	MAX.	DIMENSION	MIN.	MAX.
A	-	21.0	J	12.0	-
B	1.8	2.2	ØK	0.41	0.47
C	-	9.8	ØL	-	7.0
D	-	12.9	M	-	22.5
E	-	9.7	ØN	2.54	NOM.
F	9.43	9.63	P	14.9	15.3
G	3/8-32		Q	2.54	NOM.
	UNEF-2A		R	0.50	NOM.
H	2-56				
	UNC-2B				

ALL DIMENSIONS IN mm.

PDT Electrical Pinouts



Ordering Information

PDT0X1X-XX-X

Flange Type:

A = 2 hole panel mount

F = 2 hole PCB mount, threaded

Connector Type:

FP

ST®

SC

Pin Out:

Options shown on page 4

Photodiode Diameter:

3 = 50 μm

4 = 90 μm

Preferred Options:

PDT0311-FC-A
 PDT0312-FC-A
 PDT0411-FC-A
 PDT0411-ST-F
 PDT0412-FC-A
 PDT0412-ST-F
 PDT0417-FC-A

Additional copies are available to meet your specific needs. Please contact your local representative for details.

Handling Precautions

1. The PDT0X1X can be damaged by current surges of overvoltage. Power supply transient precautions should be taken.
2. Normal handling precautions for electrostatic sensitive devices should be taken.

ST® is a Registered Trademark of AT&T.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Analog Multiplexers/Demultiplexers

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

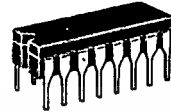
- Triple Diode Protection on Control Inputs
- Switch Function is Break Before Make
- Supply Voltage Range = 3.0 Vdc to 18 Vdc
- Analog Voltage Range ($V_{DD} - V_{EE}$) = 3.0 to 18 V
Note: V_{EE} must be $\leq V_{SS}$
- Linearized Transfer Characteristics
- Low-noise - 12 nV/ $\sqrt{\text{Cycle}}$, $f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

MAXIMUM RATINGS*

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

* Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.
† Temperature Derating: "P and D/DW" Packages: -7.0 mW/°C From 65°C To 125°C
Ceramic "L" Packages: -12 mW/°C From 100°C To 125°C

MC14051B MC14052B MC14053B



L SUFFIX
CERAMIC
CASE 620



P SUFFIX
PLASTIC
CASE 648

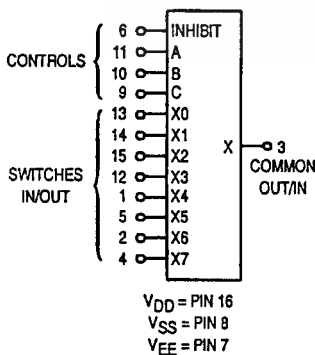


D SUFFIX
SOIC
CASE 751B

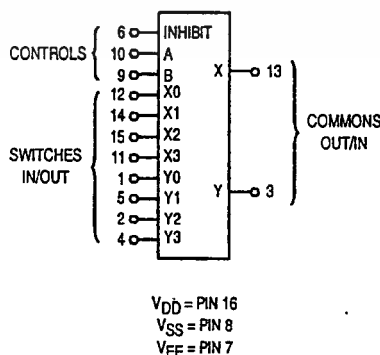
ORDERING INFORMATION

MC14XXXBCP Plastic
MC14XXXBCL Ceramic
MC14XXXBD SOIC
 $T_A = -55^\circ\text{C}$ to 125°C for all packages.

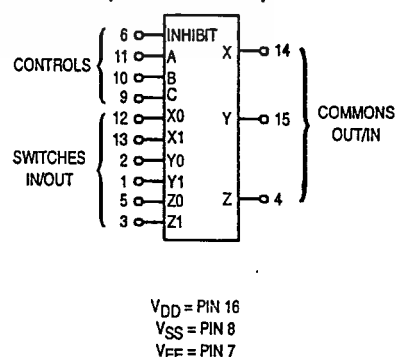
MC14051B
8-Channel Analog Multiplexer/Demultiplexer



MC14052B
Dual 4-Channel Analog Multiplexer/Demultiplexer



MC14053B
Triple 2-Channel Analog Multiplexer/Demultiplexer



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

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

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

SUPPLY REQUIREMENTS (Voltages Referenced to V_{EE})

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

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

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

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

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

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

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

ELECTRICAL CHARACTERISTICS* (C_L = 50 pF, T_A = 25°C) (V_{EE} ≤ V_{SS} unless otherwise indicated)

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

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

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

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

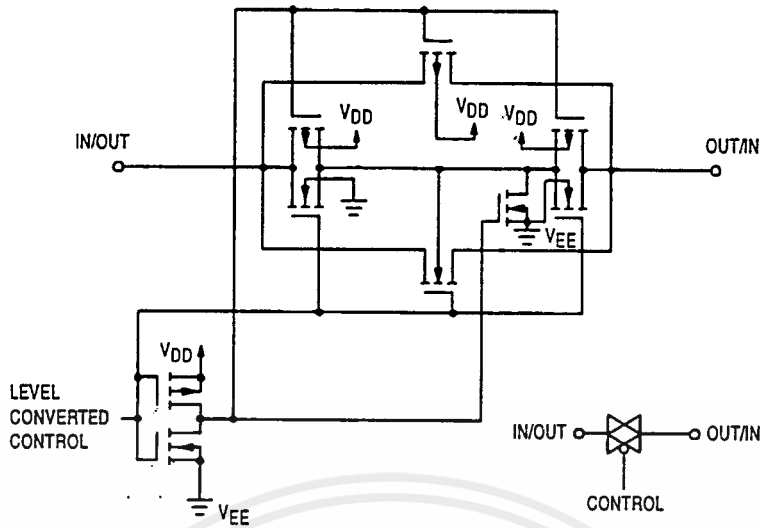


Figure 1. Switch Circuit Schematic

TRUTH TABLE

Control Inputs				ON Switches					
Inhibit	Select			MC14051B		MC14052B		MC14053B	
	C*	B	A	X0	Y0	X0	Z0	Y0	X0
0	0	0	0	X0	Y0	X0	Z0	Y0	X0
0	0	0	1	X1	Y1	X1	Z0	Y0	X1
0	0	1	0	X2	Y2	X2	Z0	Y1	X0
0	0	1	1	X3	Y3	X3	Z0	Y1	X1
0	1	0	0	X4			Z1	Y0	X0
0	1	0	1	X5			Z1	Y0	X1
0	1	1	0	X6			Z1	Y1	X0
0	1	1	1	X7			Z1	Y1	X1
1	x	x	x	None	None	None	None	None	None

* Not applicable for MC14052

x = Don't Care

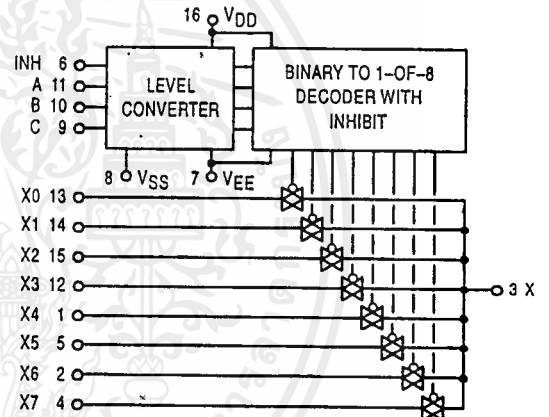


Figure 2. MC14051B Functional Diagram

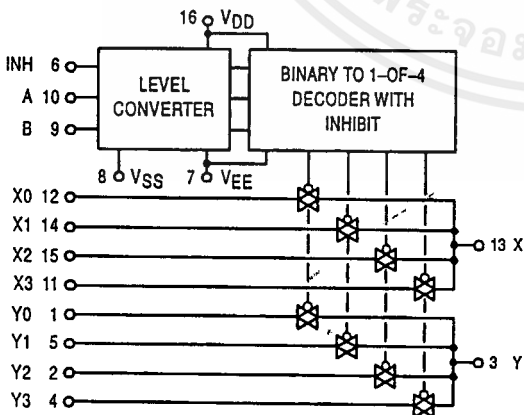


Figure 3. MC14052B Functional Diagram

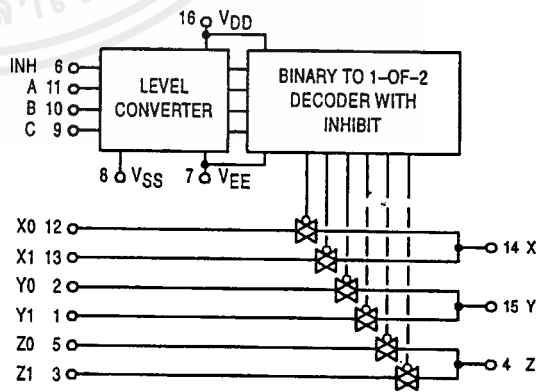


Figure 4. MC14053B Functional Diagram

TEST CIRCUITS

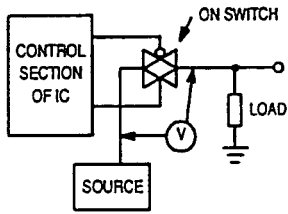


Figure 5. ΔV Across Switch

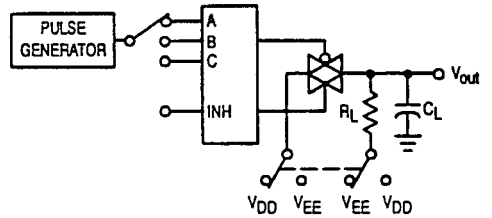


Figure 6. Propagation Delay Times, Control and Inhibit to Output

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

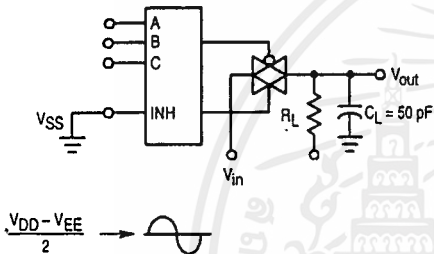


Figure 7. Bandwidth and Off-Channel Feedthrough Attenuation

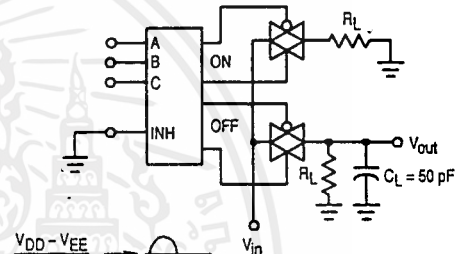


Figure 8. Channel Separation (Adjacent Channels Used For Setup)

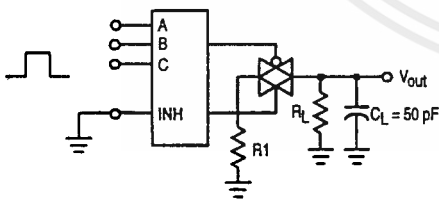


Figure 9. Crosstalk, Control Input to Common O/I

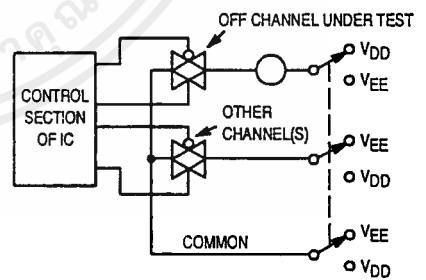


Figure 10. Off Channel Leakage

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

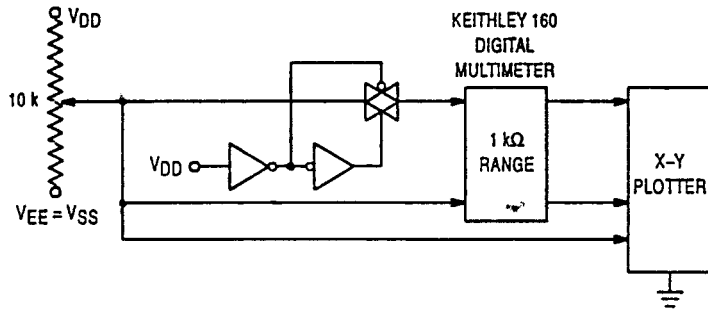


Figure 11. Channel Resistance (R_{ON}) Test Circuit

TYPICAL RESISTANCE CHARACTERISTICS

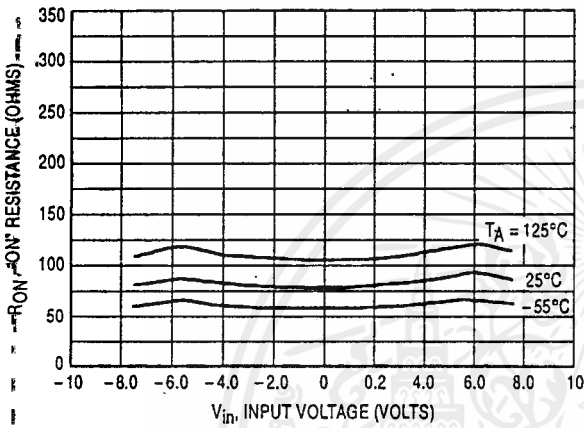


Figure 12. $V_{DD} = 7.5\text{ V}$, $V_{EE} = -7.5\text{ V}$

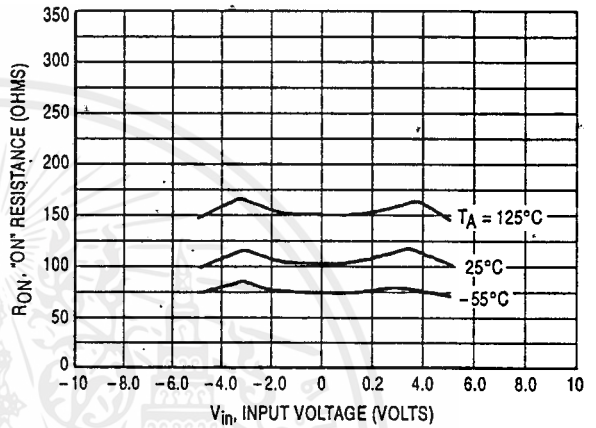


Figure 13. $V_{DD} = 5.0\text{ V}$, $V_{EE} = -5.0\text{ V}$

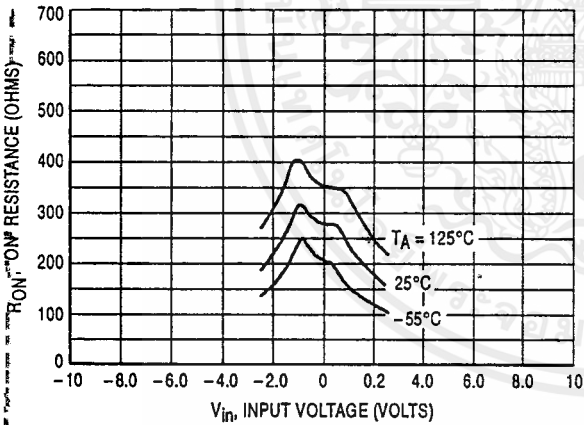


Figure 14. $V_{DD} = 2.5\text{ V}$, $V_{EE} = -2.5\text{ V}$

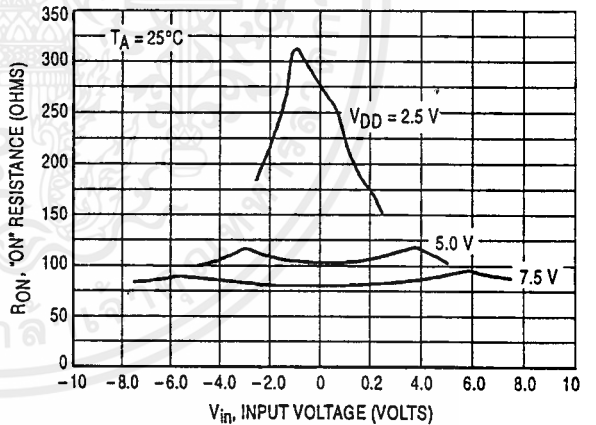


Figure 15. Comparison at 25°C , $V_{DD} = -V_{EE}$

PIN ASSIGNMENT

MC14051B	
X4 [1 ●	16] V_{DD}
X6 [2	15] X2
X [3	14] X1
X7 [4	13] X0
X5 [5	12] X3
INH [6	11] A
V_{EE} [7	10] B
V_{SS} [8	9] C

MC14052B	
Y0 [1 ●	16] V_{DD}
Y2 [2	15] X2
Y [3	14] X1
Y3 [4	13] X
Y1 [5	12] X0
INH [6	11] X3
V_{EE} [7	10] A
V_{SS} [8	9] B

MC14053B	
Y1 [1 ●	16] V_{DD}
Y0 [2	15] Y
Z1 [3	14] X
Z [4	13] X1
Z0 [5	12] X0
INH [6	11] A
V_{EE} [7	10] B
V_{SS} [8	9] C

MC14051B MC14052B MC14053B

MOTOROLA CMOS LOGIC DATA

APPLICATIONS INFORMATION

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

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

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

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

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

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

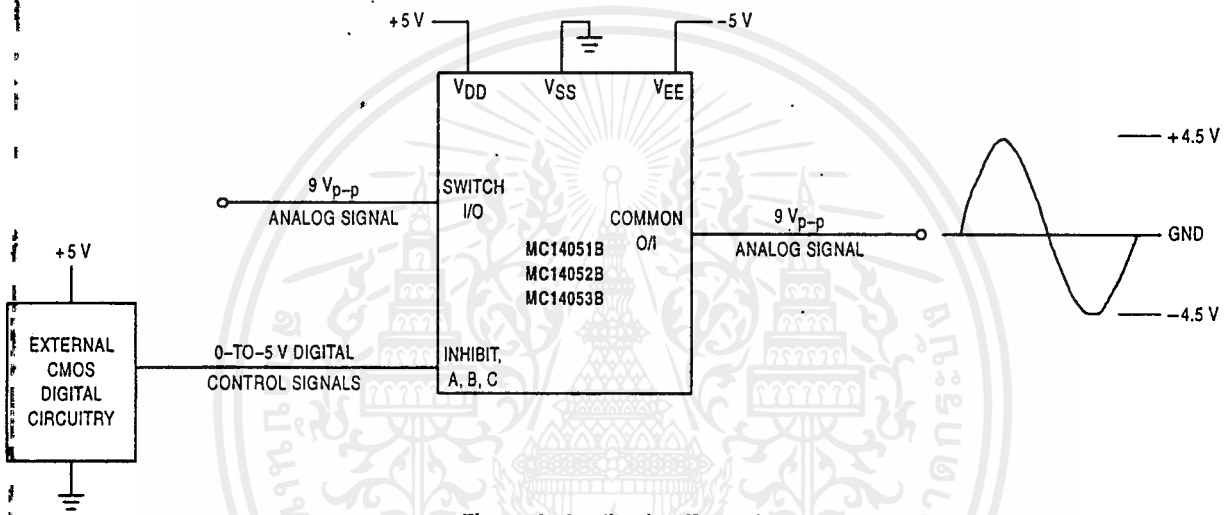


Figure A. Application Example

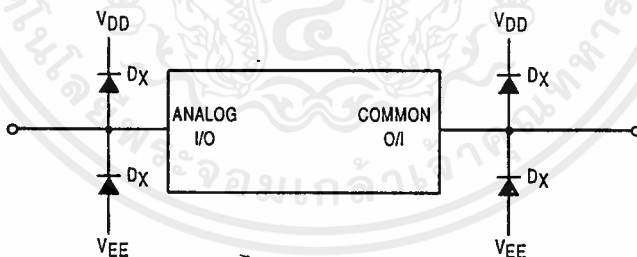


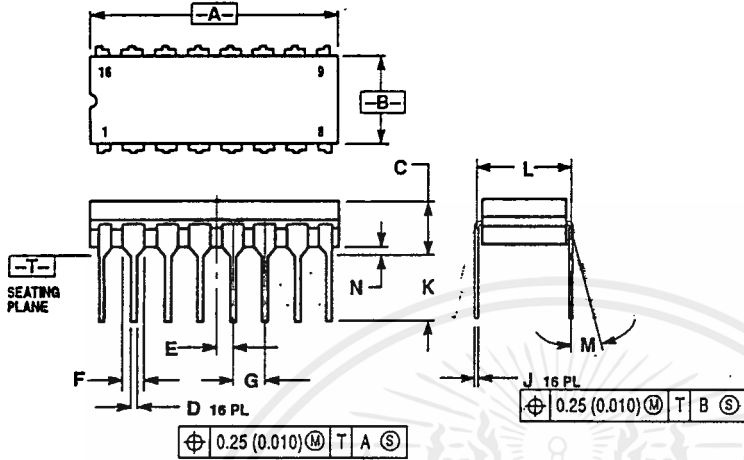
Figure B. External Germanium or Schottky Clipping Diodes

POSSIBLE SUPPLY CONNECTIONS

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

OUTLINE DIMENSIONS

L SUFFIX CERAMIC DIP PACKAGE CASE 620-10 ISSUE V

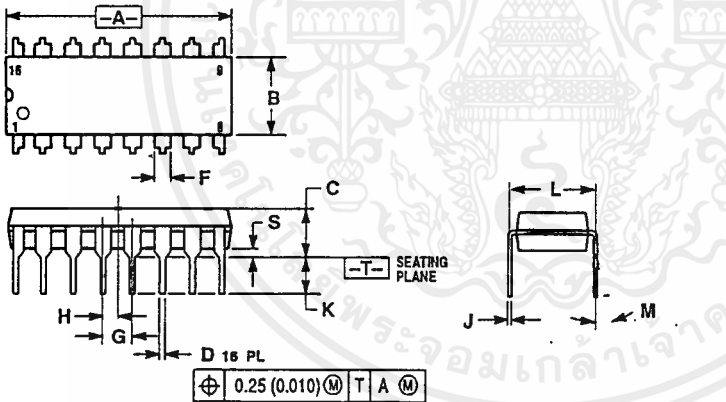


NOTES:

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

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.750	0.785	19.05	19.93
B	0.240	0.295	6.10	7.49
C	—	0.200	—	5.08
D	0.015	0.020	0.39	0.50
E	0.050 BSC		1.27 BSC	
F	0.055	0.065	1.40	1.65
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.008	0.015	0.21	0.38
K	0.125	0.170	3.18	4.31
L	0.300 BSC		7.62 BSC	
M	0°	15°	0°	15°
N	0.020	0.040	0.51	1.01

P SUFFIX PLASTIC DIP PACKAGE CASE 648-08 ISSUE R



NOTES:

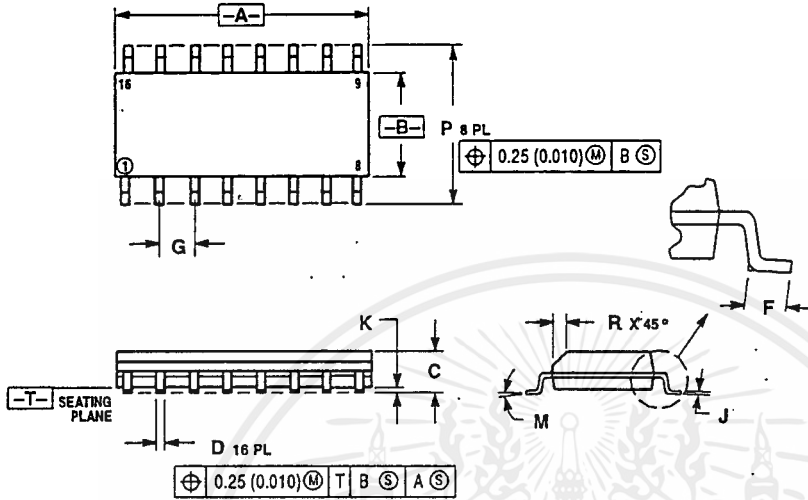
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
4. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
5. ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

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



OUTLINE DIMENSIONS

D SUFFIX
PLASTIC SOIC PACKAGE
CASE 751B-05
ISSUE J



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
 3. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
 4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006) PER SIDE.
 5. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 (0.005) TOTAL IN EXCESS OF THE D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	9.80	10.00	0.388	0.393
B	3.80	4.00	0.150	0.157
C	1.35	1.75	0.054	0.069
D	0.35	0.49	0.014	0.019
F	0.40	1.25	0.016	0.049
G	1.27 BSC		0.050 BSC	
J	0.19	0.25	0.008	0.009
K	0.10	0.25	0.004	0.009
M	0°C	7°C	0°C	7°C
P	5.80	6.20	0.229	0.244
R	0.25	0.50	0.010	0.019

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:

USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution; P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447 or 602-303-5454

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center, 3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-81-3521-8315

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHSTONE 602-244-6609
INTERNET: http://Design-NET.com

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park, 51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



MC14051B/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้