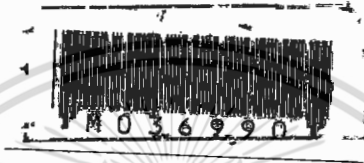




๖)

ชุดทดลองไฟเบอร์ออฟติก

(FIBER OPTIC DEMONSTRATE BOARD)



โดย  
นายกวิน พูนสนอง  
นายชัชณรงค์ ตันติภักดิ์

วัน เดือน ปี..... ๓๑ ก.ต.๖๕๔๐  
เลขทะเบียน..... M ๐๖๖๙๐  
เลขเรียกหนังสือ..... T ๖๘๐๘๖ ก๖๖๖๖

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ ชุคทดลองไฟเบอร์ออฟติก  
FIBER OPTIC DEMONSTRATE BROAD

ชื่อนักศึกษา นายกวิน พูนสนอง  
นายชัยณรงค์ ตันติภักดิ์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์อุทัย ศรีธีระวิโรจน์

ภาควิชา เทคนิคอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2538

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง

อนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการการสอบปริญญานิพนธ์

ประธานกรรมการ

( )

กรรมการ

( )

กรรมการ

( )

กรรมการ

( )

กรรมการ

( )

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ชุดทดลองไฟเบอร์ออฟติก

โดย	นายกวิน	พูนสนอง	รหัส	37012039
	นายชัยณรงค์	ตันติภักดิ์	รหัส	37012048
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์อุทัย	ศรีธีระวิโรจน์		
ปีการศึกษา	2538			

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ กล่าวถึงการออกแบบสร้างรวมไปถึงการทดลอง “ชุดทดลองไฟเบอร์ออฟติก” (FIBER OPTIC DEMONSTRATE SYSTEM) ประกอบด้วย

- ทฤษฎีของเส้นใยนำแสง
- ทฤษฎีของอุปกรณ์กำเนิดแสง
- ทฤษฎีการส่งสัญญาณต่างๆ
- ส่วนประกอบของชุดทดลอง
- การทดลองการสื่อสารในระบบไฟเบอร์ออฟติก

เพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการทดลองวงจรต่างๆ ที่ประกอบอยู่ในชุดทดลองไฟเบอร์ออฟติกและเป็นแนวทางศึกษา เพื่อนำไปใช้สร้างและออกแบบวงจรเพื่อใช้ส่งข้อมูลในระบบไฟเบอร์ออฟติก

## FIBER OPTIC DEMONSTATE BOARD

BY                    MR.KAWIN                    POONSANONG                    NO.37012039  
                          MR.CHAINARONG                    TANTIPANTARAK                    NO.37012048

ADVISER           MR.UTHAI                    SAITERAVIROJANA

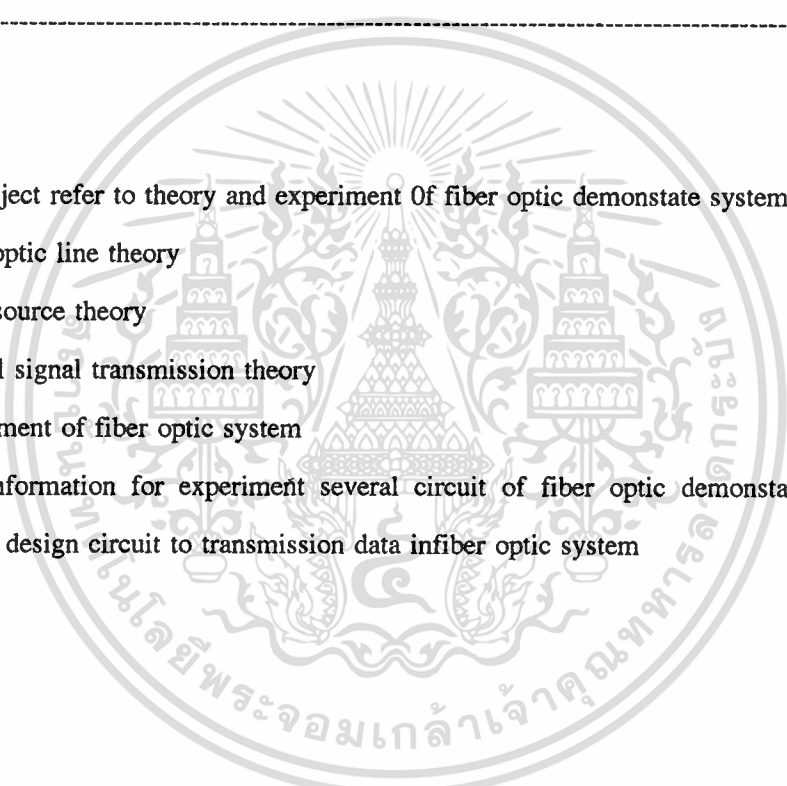
---

### ABSTRACT

This project refer to theory and experiment Of fiber optic demonstate system consist of

- Fiber optic line theory
- Light source theory
- Several signal transmission theory
- Experiment of fiber optic system

These information for experiment several circuit of fiber optic demonstate system and trend to study to design circuit to transmission data infiber optic system



## กิติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของ อ. อุทัย ศรีธีระวิโรจน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ และ อาจารย์สมหมาย ปานเขียว ที่ท่านทั้งสองให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆตลอดจนเพื่อนๆห้อง 2M ที่ให้เยี่ยมอุปกรณ์ต่างๆและคอยให้กำลังใจตลอดมา และ ที่ลืมเสียไม่ได้คือ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ศูนย์นนทบุรีที่สถานที่วิจัยและที่อาศัย หลับนอนของกลุ่มวิจัย

อนึ่งคุณความดีใดๆ ที่เกิดจากปริญญานิพนธ์นี้มอบให้แก่ บิดามารดา และครูบาอาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้

กลุ่มผู้วิจัย



## สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 กำเนิดเส้นใยแสง	
2.1 กำเนิดเส้นใยแสง	2
2.2 การพัฒนา SEMICONDUCTOR LASER เพื่อใช้งานได้ดีในทางปฏิบัติ	3
2.3 การพัฒนาสายเคเบิลเส้นใยแสงเพื่อใช้งานได้ในทางปฏิบัติ	5
2.4 ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารเส้นใยแสง	11
บทที่ 3 คุณสมบัติเส้นใยแสง	
3.1 การเดินทางของแสงในเส้นใยแสง	11
3.2 พารามิเตอร์ต่างๆที่แสดงคุณสมบัติของเส้นใยแสง	23
บทที่ 4 อุปกรณ์แสง	
4.1 อุปกรณ์กำเนิดแสง	30
4.2 อุปกรณ์รับแสง	52
บทที่ 5 การมอดูเลตสัญญาณ โดยใช้ LED และ IRED	60
บทที่ 6 ใบบางการทดลอง	
- ระบบการสื่อสารด้วยแสง	68
- แอลเอเอสซีอาร์ เลเซอร์ เซ็นเซอร์ และ ไตรแอกคัพเพลอร์	71
- การควบคุมไฟฟ้ากำลังโดยใช้ไตรแอก	74
- การควบคุมแสงสว่างในตอนกลางคืน	77
- เครื่องส่ง NRZ เมกกะบิท	79
- เครื่องรับข้อมูลการสื่อสาร	82
- AN FM CARRIER	84
- การแยกคลื่นพาหะ FM (FM CARRIER DEMODULATION)	89
- การผสมความกว้างของพัลส์	93
บทที่ 7 ผลการทดลอง	
- ระบบการสื่อสารด้วยแสง	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แอลเอเอสซีอาร์ เลเซอร์ เซ็นเซอร์ และ ไตรแอกคัพเพลเตอร์	101
- การควบคุมไฟฟ้ากำลังโดยใช้ไตรแอก	103
- การควบคุมแสงสว่างในตอนกลางคืน	104
- เครื่องส่ง NRZ แมกกะบิท	106
- เครื่องรับข้อมูลการสื่อสาร	107
- AN FM CARRIER	109
- การแยกคลื่นพาหะ FM (FM CARRIER DEMODULATION)	112
- การผสมความกว้างของพัลส์	119

เอกสารอ้างอิง	122
ภาคผนวก ก วงจร ลายปริ้นท์และรูปแบบการสกรีนที่ใช้ในปริณิญาณิพนธ์	123
ภาคผนวก ข ข้อมูลที่ใช้ในปริณิญาณิพนธ์ (DATA SHEET)	134



## บทที่ 1

### บทนำ

ความเจริญก้าวหน้าทางธุรกิจและการขยายตัวของสังคมปัจจุบันทำให้การเปลี่ยนแปลงข่าวสารและข้อมูลเพิ่มขึ้นมากมายเพื่อเป็นการตอบสนองความต้องการนี้ ในปัจจุบันและในอนาคตได้มีการพัฒนาระบบการสื่อสารขึ้นมาใหม่ เรียกว่า ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง (OPTIC FIBER COMMUNICATION SYSTEM) ซึ่งสามารถส่งข่าวสารและข้อมูลจำนวนมากในเวลาเดียวกันและมีข้อดีอื่น ๆ อีกมากเมื่อเทียบกับระบบการสื่อสารด้วยสายเคเบิล (METALLEC CABLE) ที่ใช้อยู่เดิม รายงานฉบับนี้เป็นรายงานที่เกี่ยวกับทฤษฎีในการออกแบบโครงการงาน “ชุดทดลองไฟเบอร์ออปติก” (FIBER OPTIC DEMONSTATE BOARD) เพื่อนำไปทดลองปฏิบัติจริงและเพื่อศึกษาค้นคว้าตัดแปลงแก้ไขและศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการสร้างให้เป็นรูปธรรม นอกจากนี้ยังเป็นประโยชน์สำหรับการทำงานหรือการศึกษาเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นในอนาคต



## บทที่ 2

### กำเนิดเส้นใยแสง

#### 2.1 กำเนิดเส้นใยแสง

เส้นใยนำแสงเป็นตัวกลางที่มีโครงสร้างกักลำแสงเอาไว้ข้างในและส่งไปยังปลายทางได้ กล่าวคือเป็นท่อนำแสงในการที่จะกักลำแสงเอาไว้ในตัวของมันนั้นทำได้โดยการเปลี่ยนค่าดัชนีการหักเหของตัวกลางให้เกิดการสะท้อนกลับหมดของแสงกลับไปกลับมาอยู่ภายในตัวกลางนอก จากนั้นในการทำให้แสงถูกบั่นทอนน้อยลงนั้นจะต้องทำให้ตัวกลางนั้นใสมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่ทว่าเทคนิคการผลิตเส้นใยแสงที่ใช้กับกล้องตรวจภายในของแพทย์นั้นมีการสูญเสียสูงมาก ประมาณ 1000 dB/Km จึงไม่สามารถนำมาใช้กับการสื่อสารได้ อย่างไรก็ตามจากคำแนะนำของ REEVES ผู้คิดค้นหลักการของ PCM ทำให้ KAO แห่งสถาบันวิจัย STL ของประเทศอังกฤษ ได้แถลงผลการวิจัยของเขาในปี ค.ศ. 1966 เกี่ยวกับอนาคตของการส่งด้วยเคเบิลเส้นใยแสงในผลงานการวิจัยของเขานั้น เขาได้ทำการวิเคราะห์เกี่ยวกับสาเหตุของการสูญเสียในการส่งแสงผ่านเส้นใยแสง ถ้าหากสามารถทำการแยกเอาสิ่งไม่บริสุทธิ์ที่มีอยู่ในแก้วออกได้มากพอจะสามารถทำการลดการสูญเสียในเส้นใยแสงลงได้ประมาณ 20 dB/Km จากการแถลงผลงานนี้เป็นสิ่งกระตุ้นให้แต่ละประเทศหันมาเริ่มทำการวิจัยค้นคว้าเพื่อที่จะทำให้ได้เส้นใยแสงที่มีการสูญเสียน้อยที่สุดและในปี ค.ศ. 1970 บริษัทผลิตแก้ว CORNING GLASS ของอเมริกาโดยนักวิจัย 3 คน คือ MAURER, KAPRON, KECK ได้ประสบความสำเร็จในการผลิตเส้นใยแสงที่มีการสูญเสียค่าเพียง 20 dB/Km ซึ่งสมัยนั้นมีค่างต่ำมาก จากผลสำเร็จในการผลิตเส้นใยแสงและ SEMICONDUCTOR ในปี ค.ศ. 1970 ได้เป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้การส่งด้วยเคเบิลเส้นใยแสงได้รับความสนใจจากวิศวกรไฟฟ้าสื่อสารเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมาได้ทำการค้นคว้าและวิจัยอย่างเต็มที่จนสามารถนำมาใช้งานได้จริงในเวลาต่อมา

เส้นใยแสงแบ่งออกตามโหมดการเดินทาง (PROPAGATION MODE) ของแสงที่เดินทางในเส้นใยแสงได้เป็น เส้นใยแสงชนิด SINGLE MODE กับเส้นใยแสงแบบ MULTIMODE เส้นใยแสงชนิด SINGLE MODE นั้นมีแสงเพียง MODE เท่านั้นที่เดินทางไปในเส้นใยแสง และเส้นผ่านศูนย์กลางของ CORE ซึ่งเป็นส่วนที่แสงผ่านนั้นเล็กมากประมาณ 10 ไมครอน เนื่องจากส่วนที่เป็น CORE มีขนาดเล็กมากทำให้มีปัญหาไม่สะดวกในการใช้งานแต่ TRANSMISSION BANDWIDTH ของมันกว้างมากในทางตรงกันข้ามเส้นใยแสงชนิด MULTIMODE นั้น ส่วนที่เป็น CORE ของมันมีขนาดโตหลายสิบล้านไมครอน และมีจำนวนแสงหลาย MODE เดินทางไปในเส้นใยแสงเนื่องจาก CORE ของมันมีขนาดใหญ่ทำให้สะดวกแก่การใช้งานแต่ทว่าเนื่องจากมีโหมดจำนวนมากซึ่งต่างก็มีความเร็วในการเดินทางไม่เท่ากันทำให้ TRANSMISSION BANDWIDTH แคบแต่อย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่เชิงวิชาการ การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็ตามเส้นใยแสง MULTIMODE แบบ GRADED INDEX ที่ TRANSMISSION BANDWIDTH ประมาณ 1 GHz ในระยะทาง 1 กิโลเมตร จึงนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง

สำหรับระยะทางในการส่งของเส้นใยแสงนั้น ส่วนใหญ่จะกำหนดจากค่าการสูญเสียของแสงในเส้นใยแสงว่ามีค่ามากหรือน้อยทำให้ต่างพยายามที่จะทำให้มีการสูญเสียในเส้นใยแสงต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้เกี่ยวกับจุดมุ่งหมายอันนี้ประเทศญี่ปุ่นได้กลายเป็นประเทศผู้นำที่ประสบความสำเร็จเหนือประเทศอื่นๆ กล่าวคือ ในปี ค.ศ. 1976 NTT (NIPPON TELTGRAPH AND TELEPHONE) ประสบผลสำเร็จในการผลิตเส้นใยแสงที่มีการสูญเสีย 0.47 dB/Km ที่มีความยาวคลื่น 1.2 เมตร หลังจากนั้นมาในปี ค.ศ. 1978 บริษัทผลิตสายไฟ FUJIKURA ได้ผลิตเส้นใยแสงแบบ GRADEINDEX การสูญเสีย 0.35dB/Km ที่มีความยาวคลื่น 1.55 เมตร ในปี ค.ศ. 1979 NTT ผลิตเส้นใยแสง SINGLE MODE ที่มีการสูญเสีย 0.2 dB/Km ที่มีความยาวคลื่น 1.55 เมตรสำเร็จ ซึ่งถือว่าค่าการสูญเสียต่ำสุดทางทฤษฎีของเส้นใยแสงที่ทำด้วยแก้ว SILICA

## 2.2 การพัฒนา SEMICONDUCTOR LASER เพื่อให้ใช้งานได้ดีในทางปฏิบัติ

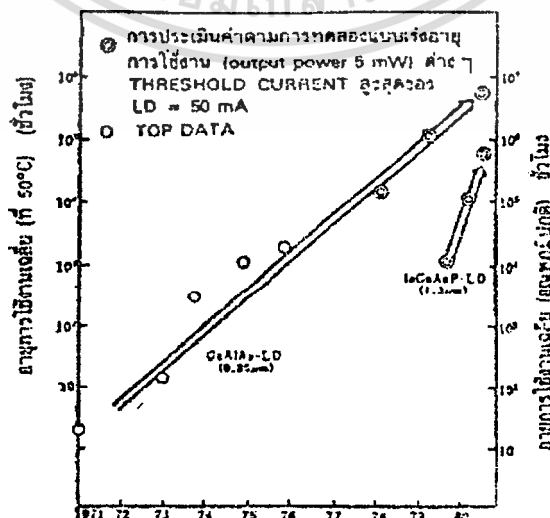
ในปี ค.ศ. 1970 ซึ่งเป็นปีที่มองเห็นลู่ทางที่จะนำเส้นใยแสงมาใช้ในการสื่อสาร และ ในปีเดียวกันก็เป็นครั้งแรกที่ SEMICONDUCTOR LASER ทำงานได้อย่างต่อเนื่องภายใต้อุณหภูมิปกติเกี่ยวกับ SEMICONDUCTOR LASER ในปี ค.ศ. 1957 ศาสตราจารย์ NISHIZAWA แห่งมหาวิทยาลัย TOHOKU ได้เสนอหลักการของ SEMICONDUCTOR LASER ในปี ค.ศ. 1962 IBM ได้ของจดลิขสิทธิ์เกี่ยวกับเทคนิคการสร้างตัว RESONATOR ของ SEMICONDUCTOR LASER ทำให้เป็นที่คาดหวังกันว่าคงจะมี SEMICONDUCTOR LASER ที่มีราคาถูกลง สามารถทำการผสม (MODULATION) โดยตรงด้วยกระแสใช้งานได้สะดวกสำหรับ SEMICONDUCTOR LASER ที่ผลิตได้ในตอนแรกนั้นเพื่อที่จะให้ทำงานที่อุณหภูมิปกติจำเป็นต้องให้กระแสที่มีความเข้มจำนวนมากไหลใน SEMICONDUCTOR (ยกตัวอย่างในหนึ่งตารางเซนติเมตรต้องใช้กระแสหลายหมื่นแอมแปร์) ความร้อนที่เกิดจากการไหลของกระแสค่าสูงนี้ทำให้ SEMICONDUCTOR เสีย ดังนั้นจึงต้องให้ LASER ทำงานเป็นช่วงๆ ไม่ต่อเนื่องกัน และจำเป็นต้องใช้เวลาในการระบายความร้อนด้วย LASER แบบนี้เรียกว่าทำงานแบบ PULSE ยังไม่ใช่ LASER ที่เหมาะกับการใช้งานในการสื่อสารหนึ่งแม้สามารถทำให้สามารถทำงานที่กระแสความหนาแน่นต่ำและทำให้มีอุณหภูมิต่ำมาก (เช่น -200 C) และทำงานอย่างต่อเนื่องกันได้ก็ตาม ยังถือว่าไม่สะดวกแก่การใช้งานในทางปฏิบัติ

ดังนั้นผลจากความก้าวหน้าในการวิจัยทางด้านโครงสร้างของ SEMICONDUCTOR LASER พบว่าการทำให้มีโครงสร้างเป็น DOUBLE HETERO JUNCTION จะให้ประสิทธิภาพดีและวิธีการสร้างได้ค้นพบวิธีการสร้างแบบ EPITAXIAL CRYSTAL ทำให้ในปี ค.ศ. 1970 MAYASHI แห่งสถาบันวิจัย BELL ได้ประสบผลสำเร็จในการสร้าง LASER ที่ทำงานอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันที่อุณหภูมิปกติแม้ว่าจะกล่าวว่าการทำงานอย่างต่อเนื่องก็ตามแต่มีข้อเสียคืออายุการใช้งานสั้นมากกล่าวคือจะทำงานได้แค่หลายวินาทีจนไปถึงหลายชั่วโมงต่อเนื่องกันแล้วจะเสียใช้ไม่ได้ การปรับปรุงอายุการใช้งาน นั่นคือ การทำให้อายุการใช้งานยาวนานพร้อมทั้งเพิ่มเอาต์พุตให้สูงขึ้น ซึ่งกลายเป็นหัวใจสำคัญในการวิจัยLASERต่อมากรณีใช้SEMICONDUCTORกับการสื่อสารนั้นอย่างน้อยจำเป็นต้องมีอายุการใช้งานหลายปีขึ้นไปตามสภาพแวดล้อมการใช้งานเฉพาะการที่จะทำให้ SEMICONDUCTOR LASER มีอายุการใช้งานยาวนานเพียงอย่างเดียวก็ใช้ระยะเวลาในการวิจัยพัฒนาเป็นเวลหลายสิบปีในปี ค.ศ. 1977 สถาบันวิจัย BELL และสถาบันวิจัยของ NTT ได้ประสบความสำเร็จในการสร้าง SEMICONDUCTOR LASER ที่มีอายุการใช้งานจริงยาวนานกว่า10 ปีขึ้นไป การวิจัยพัฒนาอีกอันหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับ SEMICONDUCTOR LASER ก็คือ ต่างมุ่งที่จะพัฒนาทำให้ความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมามีค่ามากขึ้นเพราะว่า SEMICONDUCTOR LASER ที่ประสบความสำเร็จในการทำให้อายุการใช้งานยาวนานดังกล่าวข้างต้นนั้นเป็นย่านความยาวคลื่นสั้น (ความยาวคลื่นที่มีค่าต่ำกว่า1ไมครอน) การวิจัยการสื่อสารเส้นใยแสงที่ใช้ความยาวคลื่นแสงยาวนั้นได้เริ่มในปี ค.ศ. 1977 นักวิจัยของ NTT ได้คาดการณ์ว่าการสูญเสียของเส้นใยแสงนั้นถ้าหากใช้ความยาวคลื่นยาวแถวๆ 1.0~1.5ไมครอนแทนย่านความยาวคลื่นสั้นที่ใช้อยู่เดิมจะทำให้การสูญเสียมีค่าน้อยมากแล้วสามารถส่งด้วยเส้นใยแสงเป็นระยะทางไกลๆได้และ SEMICONDUCTOR LASER ที่ปล่อยแสงความยาวคลื่นยาวที่อุณหภูมิปกติได้นั้น ก็สร้างสำเร็จในปี ค.ศ. 1976 ผู้ที่ผลิตได้ ได้แก่ MIT, KDD, TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY, NTT ทำให้เกิดการเริ่มวิจัยพัฒนาอย่างจริงจังในเวลาต่อมาในปี ค.ศ. 1979 ก็ประสบความสำเร็จในการสร้าง SEMICONDUCTOR LASER ที่ปล่อยแสงความยาวคลื่น 1.55 ไมครอนที่อุณหภูมิปกติได้



รูปที่ 2.1 แสดงประวัติการพัฒนาทำให้อายุการใช้งานของ SEMICONDUCTOR LASER มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันได้สร้าง SEMICONDUCTOR LASER ที่ปล่อยแสงความยาวคลื่น 1.3 เมตร ซึ่งมียุทธศาสตร์ใช้งานมากกว่าหลายหมื่นชั่วโมงได้ทำให้บรรลุถึงระดับการนำไปใช้งานในทางปฏิบัติ ได้ประวัติการพัฒนา SEMICONDUCTOR LASER ให้มีการใช้งานนานแสดงดังรูปที่ 2.1

### 2.3 การพัฒนาระบบสายเคเบิลเส้นใยแสงเพื่อให้ใช้งานได้ทางปฏิบัติ

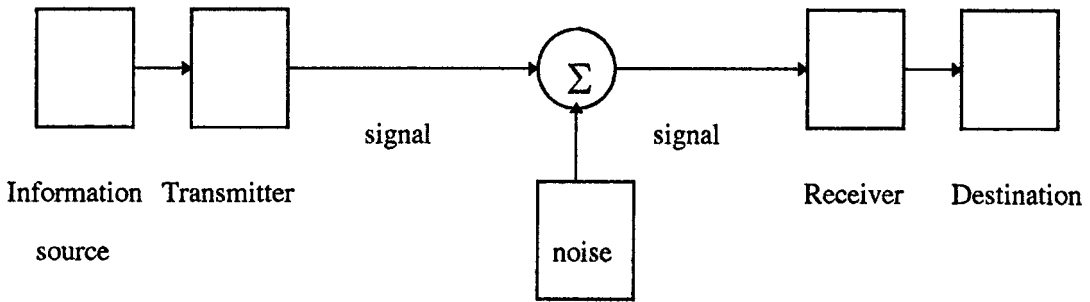
ในปี ค.ศ. 1970 การพัฒนาเส้นใยแสงที่มีการสูญเสียต่ำของบริษัท CORNING GLASS แห่งอเมริกาและความสำเร็จในการสร้าง SEMICONDUCTOR LASER ที่ทำงานอย่างต่อเนื่องในอุณหภูมิปกติเป็นสิ่งที่ชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปของการสื่อสารเส้นใยแสง ต่อมาในปี ค.ศ. 1974 ประเทศต่างๆทั่วโลกได้ทำการทดลองอย่างกว้างขวางทำให้คุณสมบัติเส้นใยแสงถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งในปัจจุบันถ้ากล่าวถึงการสื่อสารแสงแล้วจะหมายถึงระบบการส่งด้วยเส้นใยแสง สำหรับประเทศญี่ปุ่นนั้น ในปี ค.ศ. 1976 NTT ได้ทำการทดลองส่งข้อมูลขนาด 32 Mb/s โดยใช้เส้นใยแสงยาว 64 กิโลเมตรภายในศูนย์วิจัยที่ TOKOSUKA ต่อจากนั้นก็ได้ทำการทดลองส่งข้อมูลที่มีขนาดความจุมากกว่าเดิมภายใต้สภาพแวดล้อมของสถานที่ใช้งานจริงสำหรับระบบส่งที่มีขนาดความจุกลางและขนาดย่อยกล่าวคือต่ำกว่า 100 Mb/s นั้นแก้ไขปัญหาทางเทคนิคต่างๆลุล่วงไปด้วยดี ในปี ค.ศ. 1978 และ 1980 NTT ได้ทดสอบการใช้งานภายใต้สภาพแวดล้อมของสถานที่ใช้งานจริงและในปี ค.ศ. 1981 ได้เริ่มบริการระบบการสื่อสารแสงสำหรับการสื่อสารสาธารณะเกิดขึ้นเป็นครั้งแรกในประเทศญี่ปุ่นและประเทศอื่นๆเช่นอเมริกาประเทศต่างๆในยุโรปต่างก็มุ่งพัฒนาระบบการสื่อสารเส้นใยแสงเช่นกันและในช่วงหลังปี ค.ศ. 1970 ประเทศต่างๆทั่วโลกต่างก็ทำการทดลองระบบต่างๆสำหรับ AT&T นั้น ในปี ค.ศ. 1980 ได้เริ่มใช้ระบบ FT-3 ซึ่งเป็นระบบที่มีความจุ 45Mb/s ให้บริการแก่ผู้ใช้ทั่วไปในอเมริกาขอขยายการใช้งานที่เหมาะสมของระบบการส่งด้วยเคเบิลเส้นใย แสงนั้นไม่เพียงแต่ใช้กับระบบส่งที่มีขนาดความจุปานกลางและขนาดย่อยเท่านั้นแต่ครอบคลุม การบริการการสื่อสารสาธารณะทุกด้านและรวมถึงการบริการที่ดำเนินการโดยเอกชนด้วยซึ่งมีขอบข่ายกว้างมาก ดังนั้นจึงได้มีการวิจัยส่วนประกอบต่างๆของระบบได้แก่ LASER เส้นใยแสงและอื่นๆโดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำเอาระบบการส่งด้วยเคเบิลเส้นใยแสงมาใช้เป็นสายส่งสำหรับผู้ใช้บริการ (SUBSCRIBER LINE) เพื่อให้บริการใหม่ๆที่ต้องการ Band Width กว้าง เช่น T.V TELEPHONE เป็นต้นจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการสร้างข่ายสายได้อย่างมากซึ่งคาดกันว่าจะมีบทบาทสำคัญต่อบริการโทรคมนาคมในอนาคต

### 2.4 ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารเส้นใยแสง

#### 2.4.1 ส่วนประกอบพื้นฐานในการแสดงการสื่อสาร

โดยทั่วไปนั้นแสดงด้วยแบบการสื่อสารของ SHANNON ดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงแบบการสื่อสารของ SHANNON

แบบการสื่อสารของ SHANNON นี้มีความหมายกว้างมากสำหรับต้นกำเนิดข่าวสารนั้น รวมถึงความตั้งใจที่อยากจะส่งไปและความคิดต่างๆด้วยที่ด้านรับปลายทางนั้นมีความรู้ความรู้สึก และอื่นๆของผู้รับรวมอยู่ด้วยนอกจากนั้นสำหรับการออกแบบระบบการสื่อสารควรจะต้องทำให้ เครื่องส่งสายส่งเครื่องรับเหมาะสมกับต้นกำเนิดข่าวสารและด้านรับปลายทาง

สำหรับระบบการสื่อสารเส้นใยแสงนั้นสามารถ โดยพิจารณาโดยเปรียบเทียบแบบการสื่อสารของ SHANNON ดังกล่าวข้างต้นได้ดังนี้

ต้นกำเนิดข่าวสาร: ได้แก่ สัญญาณไฟฟ้า (นั่นคือ ข่าวสารอยู่ในรูปสัญญาณ ไฟฟ้า)

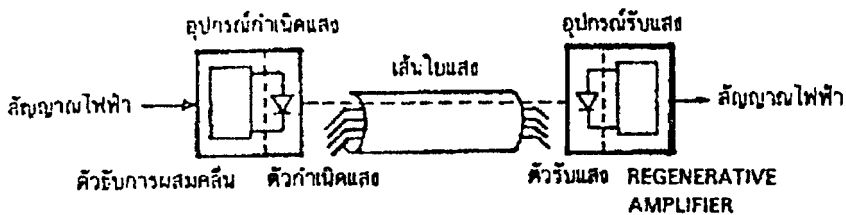
เครื่องส่ง :เป็นส่วนส่งแสงที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณ ไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสง

สายส่ง : ได้แก่ เส้นใยแสงเคเบิลเส้นใยแสงที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางของการส่ง

เครื่องรับ :เป็นส่วนรับแสงที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณ ไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณ ไฟฟ้า

ด้านรับปลายทาง :เป็นการทำให้ได้รับสัญญาณ ไฟฟ้าเหมือนกัน

ดังนั้นถ้าหากจะแสดงส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารเส้นใยแสงอย่างง่ายแล้ว จะได้ดังแสดงในรูปที่ 2.3

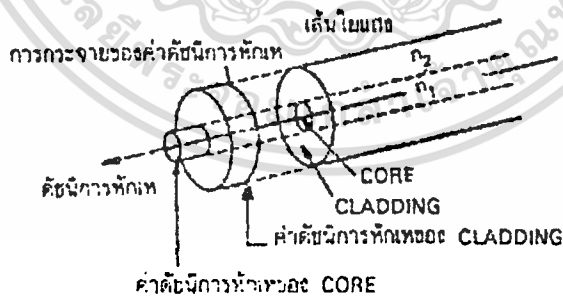


รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.2 เส้นใยแสง

(1) โครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยแสงโดยทั่วไปแล้วเส้นใยแสงเป็นเส้นใยขนาดเล็กที่ทำจากแก้วสิ่งที่เราพบเห็นบ่อยๆคือเส้นใยที่ใช้ในการนำแสงของดอกไม้เรืองแสงสำหรับตั้งประดับเพื่อความสวยงามที่มีขายตามห้างสรรพสินค้าทั่วไปโดยการป้อนแสงสีแดง สีเหลืองสีเขียวเข้าไปที่ปลายด้านหนึ่งของเส้นใยแสงและเรามองเห็นแสงออกมาจากปลายอีกด้านหนึ่งของเส้นใยแสง โครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยแสงประกอบด้วยเส้นใยแก้วที่ถูกหุ้มด้วยแก้วที่มีดัชนีการหักเหของแสงต่ำกว่าส่วนที่อยู่ตรงกลางส่วนตรงกลางที่มีดัชนีการหักเหของแสงสูงเรียกว่า CORE และส่วนหุ้มด้านนอกที่มีดัชนีการหักเหของแสงต่ำกว่าเรียกว่า CLAD (แปลว่าการหุ้ม) ยกตัวอย่างเช่นเส้นใยแสงที่มี CORE กับ CLAD เปลี่ยนแปลงในลักษณะของชั้นบันไดเส้นใยแสงแบบนี้เรียกว่า STEP INDEX TYPE OPICAL FIBER ซึ่งมีโครงสร้างแสดงในรูปที่ 2.4 เส้นผ่านศูนย์กลางของ CORE เส้นผ่านศูนย์กลางของ CLAD จะมีค่าต่างกันตามชนิดของเส้นใยแสงสำหรับเส้นใยแสงแบบ MULTIMODE นั้นเส้นผ่านศูนย์กลางของ CORE มีค่า 40~100 ไมครอนเส้นใยแสงแบบ SINGLE MODE นั้นเส้นผ่านศูนย์กลางของ CORE มีค่า 5~15 ไมครอนสำหรับส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของ CLAD นั้น กำหนดให้มีค่าเหมือนกันหมดไม่ว่าจะเป็นเส้นใยแสงชนิดไหนโดยมีค่า 100 ~ 200  $\mu\text{m}$  ค่าดัชนีการหักเหของ CORE จะมีค่ามากกว่าค่าดัชนีการหักเหของ CLAD โดยที่เส้นใยแสงแบบ MULTIMODE จะมีค่า 1 ~ 5% มากกว่าเส้นใยแสงแบบ SINGLE MODE จะมีค่า 0.1 ~ 0.5% มากกว่าค่าดัชนีการหักเหของ CLAD



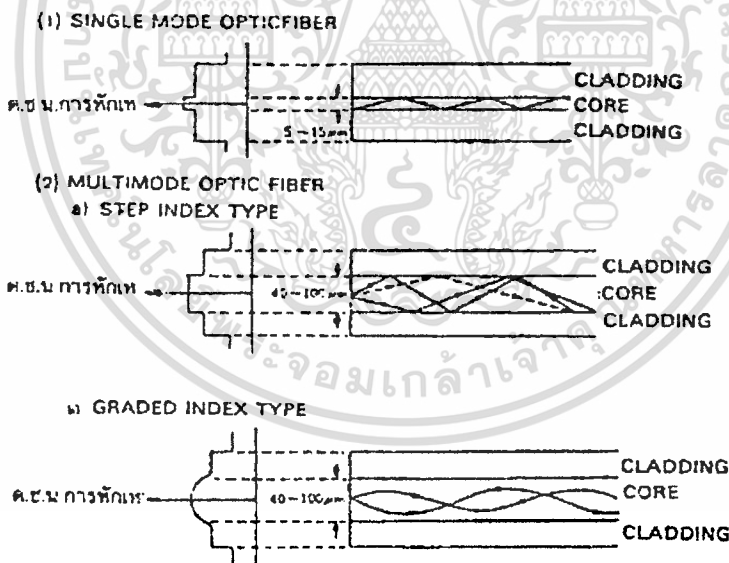
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยแสง (STEPINDEX TYPE)

(2) ชนิดของตัวแปรแสงชนิดของเส้นใยแสงสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆได้ตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหแบ่งตามจำนวน MODE แบ่งตามสารที่ใช้ผลิตแต่ในที่นี้จะขออธิบายเกี่ยวกับเส้นใยแสง 3 ชนิด คือ เส้นใยแสง SINGLE MODE เส้นใยแสง MULTI MODE เส้นใยแสง SETP INDEX และเส้นใยแสง MULTI MODE แบบ GRADED INDEX เส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวิชาสำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นประโยชน์หรือเห็นว่าการคัดลอกหรือเผยแพร่เอกสารนี้เป็นการละเมิดลิขสิทธิ์หรือมีเนื้อหาที่ไม่เหมาะสม กรุณาแจ้งให้ทราบเพื่อดำเนินการตามขั้นตอนทางกฎหมายต่อไป

PLASM CVD METHOD แก้ว QUARTZ กรรมวิธีการผลิต VAD METHOD DOUBLECRUCIBLEMETHODใช้ในการผลิตเส้นใยแสงMULTI COMPONENTRODINTUBE ใช้ในการผลิตเส้นใยแสงพวกแก้ว QUARTZ ทั่วไป

เส้นใยแสง SINGLE MODE แบบ STEP INDEX แสดงคัง(1) ของรูปที่ 2.5 จะเห็นว่าการเดินทางของแสงนั้นมีเพียง MODE เดียว เส้นใยแสง MULTI MODE แบบ STEP INDEX คังแสดง(2)ของรูปที่ 2.5 จะเห็นว่า การเดินทางของแสงมีหลาย MODE สำหรับเส้นใยแสง MULTI MODE นั้นถ้าพิจารณาตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหจะได้เป็นแบบ STEP INDEX และแบบ GRADED INDEX สำหรับเส้นใยแสงเหล่านี้ ถ้าหากแสดงการสูญเสียของแสงเมื่อเดินทางในเส้นใยแสงแล้วจะไม่แตกต่างกันแต่ถ้าหากแสดงด้วย TRANSMISSION BANDWIH ว่าสามารถส่งปริมาณของสารได้มากเท่าไรนั้นเส้นใยแสงทั้งสองแบบจะแตกต่างกันมากที่สุด โดยทั่วไปแล้วเส้นใยแสง SINGLE MODE มี BAND WIDTH กว้างที่สุด รองลงมาคือเส้นใยแสง MULTI MODE แบบ GRADED INDEX และถัดมาคือ เส้นใยแสง MULTI MODE แบบ STEP INDEX



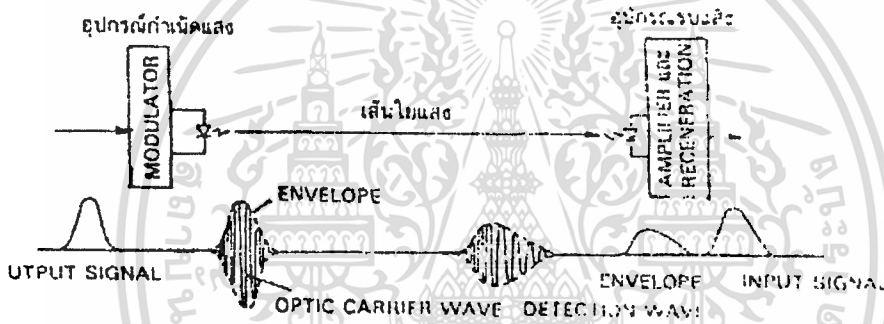
รูปที่ 2.5 แสดงเส้นใยแสงแบบต่าง ๆ

### 2.4.3 การผสมและการแยกสัญญาณ (MODULATION AND DEMODULATION)

ตัวกำเนิดแสงนั้นทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงซึ่งกระทำโดยการผสม(MODULATION)กับอุปกรณ์กำเนิดแสง MODULATION ของการสื่อสารไฟฟ้าหาความว่าเป็นการให้ความถี่ของ OSCILLATOR เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณข่าวสาร แต่สำหรับการสื่อสารเอกสารเป็นเอกสารทลวงนเวสาศหรับการเข่งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้พูดเห็นาเบเซบระเข่งนดานการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยแสงในปัจจุบันเนื่องจากความถี่(ความยาวคลื่น)ของแสงที่ปล่อยออกมาจากอุปกรณ์กำเนิดแสงที่ค่าไม่คงที่ แต่มีความกว้างอยู่เล็กน้อย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ไม่ใช่แสงที่เป็น TIME COHERENT ดังนั้นความหมายของ MODULATION จึงแตกต่างกับการสื่อสารไฟฟ้าไปบ้างเล็กน้อย ถ้าหากทำให้แสงเป็น COHERENT LIGHT ที่สมบูรณ์นั้นคือมีความถี่คงที่และสามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ของแสงให้อยู่ในย่านความถี่ไมโครเวฟได้จะทำให้การสื่อสารเส้นใยแสงมีการผสมคลื่นชนิดต่างๆ (เช่น AM,FM,PM) เหมือนกันกับการสื่อสารไฟฟ้าแต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังทำไม่ได้เพียงแต่ยังอยู่ในขั้นตอนของการวิจัยพื้นฐานเท่านั้น

ดังนั้นการผสมคลื่นการสื่อสารเส้นใยแสงจึงเป็นการทำให้ความเข้มของ INCOHERENT LIGHT เปลี่ยนแปลงดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการผสมสัญญาณแสงและการส่ง

อนึ่งในการสื่อสารเส้นใยแสงมีทั้ง ANALOG MODULATION และ DIGITAL MODULATION เช่นเดียวกันแต่หมายถึงแบบการผสม ในขั้นตอนของการเปลี่ยนแปลงข่าวสารให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าและสัญญาณไฟฟ้าที่ถูกผสมนี้จะไปทำให้เข้มของสัญญาณแสงเปลี่ยนแปลง ดังนั้น ถ้าหากสัญญาณไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (ANALOG MODULATION) จะทำให้ความเข้มของสัญญาณแสงเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องและถ้าหากสัญญาณไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงเป็นแบบ PULSE (DIGITAL MODULATION) จะทำให้ความเข้มของสัญญาณแสงเปลี่ยนแปลงเป็นแบบ PULSE ด้วย (นั่นคือมีแสงและไม่มีแสง) กล่าวได้ว่าการผสมคลื่นแสงนั้นเป็นเพียงการผสมทางความเข้มเท่านั้น (INTENSITY MODULATION) สำหรับทางด้านรับนั้นจากการรับสัญญาณแสงที่อ่อนกำลังลงและเกิดการเพี้ยนเนื่องจากเดินทางผ่านเส้นใยแสงด้วยอุปกรณ์รับแสงจะทำให้ได้รับสัญญาณไฟฟ้าออกมารูปร่างของสัญญาณไฟฟ้านี้เป็นสัญญาณ BASE BAND ตามรูปร่างของ ENVELOPE ของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงที่เกิดจาก LIGHTCARRIER จำนวนหนึ่งสัญญาณ BASEBAND นี้จะนำไปผ่านขั้นตอนทางไฟฟ้าที่เรียกว่า BEGENERATIVE AMPLIFIER ทำให้ได้สัญญาณที่เหมือนกันกับต้นกำเนิดข่าวสารทุกประการในอนาคตถ้าหากสามารถทำให้แสงที่เป็น COHERENT LIGHT อย่างสมบูรณ์แล้วจะสามารถใช้วิธีการผสมคลื่นที่ทำให้ความถี่ของต้นกำเนิดแสงเปลี่ยนแปลงสัญญาณตามสัญญาณข่าวสารนั่นคือใช้วิธีการผสมคลื่นที่มีประสิทธิภาพได้ดีและในทำนองเดียวกันทางด้านการรับก็จะทำให้สามารถใช้แยกสัญญาณที่เรียกว่า HETERODYNE DETECTION ได้ในปัจจุบันการสื่อสารไฟฟ้าสำหรับโทรศัพท์หนึ่งคู่สายนั้นส่งด้วย Band Width 4 KHz ถ้าหากเป็นการสื่อสารเส้นใยแสงสำหรับกรณีที่ใช้การผสมคลื่นที่มีประสิทธิภาพดีแล้ว FREQUENCY BANDWIDTH ของแสงที่มีความกว้างเป็นหนึ่งในสี่ส่วนของ 4 KHz ดังนั้นหมายความว่าถ้าหากจะใช้เพียงแค่ 0.1% ก็จะสามารถส่งโทรศัพท์หนึ่งร้อยล้านคู่สายเท่านั้นดังนั้นถ้าหากได้แสงเป็น COHERENT LIGHT แล้วจะสามารถเพิ่มจำนวนคู่สายได้อีกหมื่นเท่า

#### 2.4.4 ช่วงความยาวคลื่นและการสูญเสียแสง ปัจจุบันช่วงความยาวคลื่นของแสงที่ใช้

ในการสื่อสารเส้นใยแสงแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือช่วงความยาวคลื่นสั้นตั้งแต่ 0.7 ~ 1.0 เมตร กับช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 1 ~ 2 เมตร และทั้งสองช่วงความยาวคลื่นอยู่ในย่านแสง INFRARED ไม่ได้อยู่ในย่านแสงที่ตามองเห็นได้ (VISIBLE LIGHT) ในตอนแรกของการใช้งานสำหรับการสื่อสารเส้นใยแสงนั้นเป็นช่วงความยาวคลื่นโดยที่ความยาวคลื่นแสงของ SEMICONDUCTOR LASER ที่ทำจาก Ga Al As และเส้นใยแสงทำให้ค่าการสูญเสียต่ำกว่าที่ 0.8 เมตรซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ต่ำสุดแล้วในตอนแรกของการสื่อสารเส้นใยแสงแต่ต่อมาเทคโนโลยีการผลิตเส้นใยแสงก้าวหน้ามากขึ้นสามารถปริมาณของส่วนที่เป็นน้ำ (OH-BASE) ลงได้มาก ทำให้การสูญเสียแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงแถว ๆ 1.0 ~ 1.5 เมตรมีค่าน้อยที่สุด สำหรับ SEMICONDUCTOR LASER ก็เช่นกันจากการใช้ผลึกของสาร 4 ชนิด ทำให้สามารถปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่นแสงมากกว่า 1.0 เมตรได้จากสิ่งเหล่านี้โดยการใช้ช่วงความยาวคลื่นแสงสามารถส่งสัญญาณที่มีการสูญเสียต่ำกว่าช่วงความยาวคลื่นได้ทำให้การใช้ช่วงความยาวคลื่นแสงในระบบการสื่อสารแต่ละชนิดหันมาใช้ช่วง ความยาวคลื่นยาวมากขึ้น

## บทที่ 3

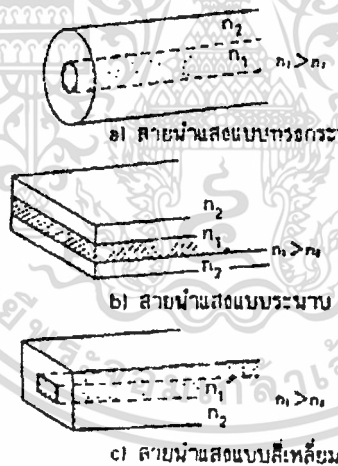
### คุณสมบัติของเส้นใยแสง

#### 3.1 การเดินทางของแสงในเส้นใยแสง

สิ่งที่มีโครงสร้างเหมือนอย่างเส้นใยแสงซึ่งมีแสง(หรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า) อยู่ข้างในและนำแสงไปในทิศทางอันหนึ่งนั้นมีชื่อเรียกทั่วไปว่า LIGHT WAVE GUIDE

##### 3.1.1 LIGHT WAVE GUIDE และเส้นใยแสง

รูปร่างของ LIGHT WAVE GUIDE มีหลายแบบดังเช่นแบบทรงกระบอกเหมือนอย่างเส้นใยแสงดังรูปที่ 3.1(a) เรียกว่าCYLINDRICAL ดังนั้น TYPE LIGHT WAVE GUIDE มีรูปร่างเป็นแผ่นแบบดังรูปที่ 3.1(b) เรียกว่า SLAB TYPE LIGHT WAVE GUIDE และมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 3.1(c) เรียกว่า RECTANGULAR TYPE LIGHT WAVE GUIDE แม้จะมีรูปร่างหลายแบบก็ตาม แต่สิ่งที่เหมือนกันก็คือ ส่วนที่อยู่ตรงกลางมีค่าดัชนีการหักเหสูงกว่าส่วนที่หุ้มอยู่รอบๆและแสงจะอยู่ในส่วนตรงกลางและเดินทางไป

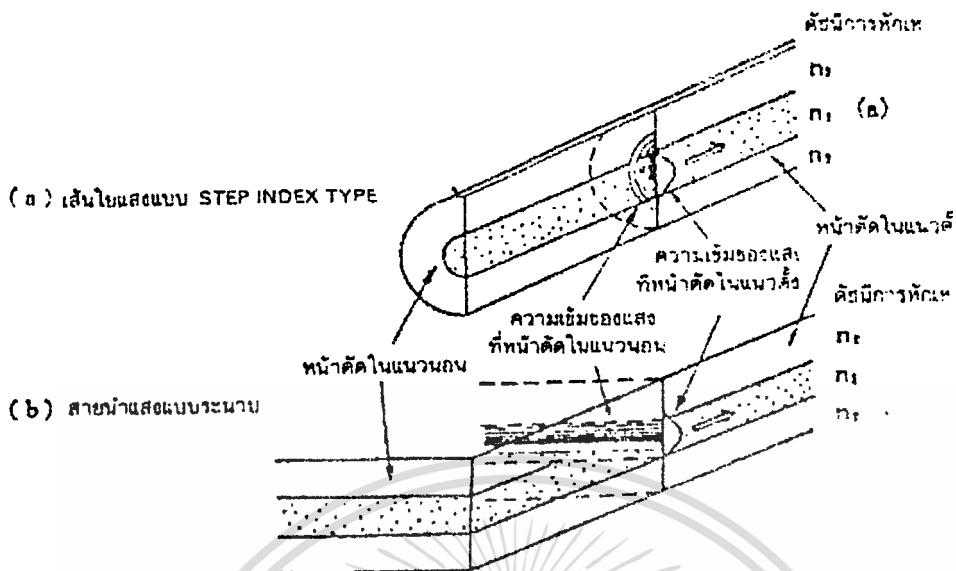


รูปที่ 3.1 แสดงสายนำแสงชนิดต่าง ๆ

##### 3.1.2 การเดินทางของแสงในเส้นใยแสงแบบ STEP INDEX TYPE

ความคล้ายคลึงกันของเส้นใยแสงแบบ STEP INDEX TYPE กับ SLAB TYPE LIGHT WAVE GUIDE จะเห็นได้ว่ารูปที่ 3.2 นั่นคือ ถ้าพิจารณาด้านตัดในแนวตั้งจะเห็นว่ามีโครงสร้างเหมือนกันทุกประการ ต่อไปนี้เพื่อให้เข้าใจสภาพการเดินทางของแสงในเส้นใยแสงแบบ STEP INDEX TYPE จะอธิบายโดยใช้ SLAB TYPE LIGHT WAVE GUIDE แทน เพราะทำให้สามารถเข้าใจได้ง่ายกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ของเส้นใยแสงกับสายนำแสงแบบระนาบที่ดูจากหน้าตัดในแนวตั้ง

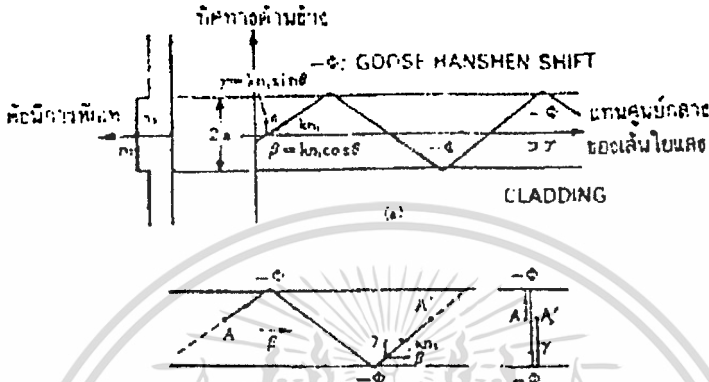
ในการทำความเข้าใจการเดินทางของแสงในเส้นใยแสงหรือกล่าวโดยละเอียดก็คือคุณสมบัติของคลื่นแสงนั้นที่จะต้องคำนึงถึงเฟสของแสงซึ่งแสงที่เดินทางในเส้นใยแสงนี้เรียกว่า PROPAGATION MODE และ MODE นี้แสดงด้วยกลุ่มของลำแสงเฉพาะที่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดจากปริมาณการเปลี่ยนแปลงของเฟส(หรือเงื่อนไข PHASE MATCHING) เมื่อใช้ PROPAGATION MODE นี้ แสงที่เดินทางในเส้นใยแสงจะไม่แสดงด้วยลำแสงที่เป็นไปตามเงื่อนไขการสะท้อนกลับหมด ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1.1 ( $0 < \infty$  หมายถึงมุมทุกค่าที่  $0$  น้อยกว่า  $\infty$ ) แต่จะแสดงด้วยกลุ่มของลำแสง (PROPAGATION MODE) ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของ PHASE MATCHING เพื่อเป็นการพิจารณาเกี่ยวกับ PROPAGATION MODE นี้จะใช้ SLAB TYPE LIGHTWAVE GUIDE ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และตรวจสอบแสงสะท้อนกลับไปมา (การเลือก SLAB TYPE LIGHT WAVE GUIDE เพราะว่าเป็นระนาบที่คลื่นมีเฟสเหมือนกัน นั่นคือเป็น PLANE WAVE) เมื่อให้ความเร็วของแสงในสุญญากาศหรือในอากาศที่มีค่าดัชนีการหักเห  $n = 1.0$  เป็น  $c$  และค่าความเร็วเชิงมุมเป็น  $w (w = 2\pi f)$  และความยาวคลื่นเป็นจะได้สมการของ PROPAGATION CONSTANT ของแสงในสุญญากาศ ดังสมการต่อไปนี้

$$k = w/c = 2\pi / \lambda \quad (1)$$

สมการ (1) เป็นค่าคงที่ ที่แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางเฟส เมื่อแสงเดินทางไปได้ระยะทางหนึ่งหน่วยความยาวในสุญญากาศ

อนึ่ง ความเร็ว  $v$  ที่เดินทางใน CORE  $n_1$  ที่มีค่าดัชนีการหักเห  $n_1$  นั้น จะมีความเร็วเป็นสัดส่วนกับ  $n_1$  ดังสมการ

$$v = c/n_1 \text{ นั่นคือ จะช้ากว่าความเร็ว } c \text{ ที่เดินทางในสุญญากาศ}$$



รูปที่ 3.3 แสดงการเดินทางของแสงที่เกิดจากการสะท้อนกลับไปมา

ในกรณีนี้ค่า PROPAGATION CONSTANT ของแสงใน CORE แสดงด้วยสมการดังนี้

$$kn_1 = w/v \tag{2}$$

จากรูปที่ 3.3 พิจารณาแยกแสง (หรือ PLANCE WAVE) ที่ทำมุม  $\theta$  กับรอยต่อของ CORE และ CLAD ออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เดินทางในแนวแกนกับส่วนที่เดินทางในแนวตั้งฉาก ในกรณี จะได้ว่า ส่วนที่เดินทางในแนวแกนนั้นจะเดินทางด้วย PROPAGATION CONSTANT  $= kn_1 \cos\theta$  และคลื่นส่วนที่เดินทางในแนวตั้งฉากจะเดินทางด้วย PROPAGATION CONSTANT  $r = kn_1 \sin\theta$  และแสงที่เดินทางยังได้รับ GOOSE-HANSHEN SHIFT เฟสจะเข้าไปขณะที่สะท้อนกลับที่ตรงรอยต่อของ CORE กับ CLAD ด้วย

จากรูปที่ 3.3(b) เมื่อพิจารณาคลื่นที่เดินทางในแนวตั้งจะเห็นว่ามันสะท้อนกลับไปมาหลายครั้งและ เงื่อนไขการเสริมกันของสัญญาณรอบวง สำหรับคลื่นที่สะท้อนกลับไปมาหลายครั้งนี้ ก็คือปริมาณการเปลี่ยนแปลงเฟสเมื่อคลื่นเดินทางหนึ่งรอบโดยสะท้อนกลับที่ตรงรอยต่อของ CORE กับ CLAD ด้านบนและล่าง มีค่าเป็นจำนวนเท่าที่เป็นเลขคู่ของ นั่นคือ  $2n$  จากเงื่อนไขเขียนเป็นสมการได้ว่า

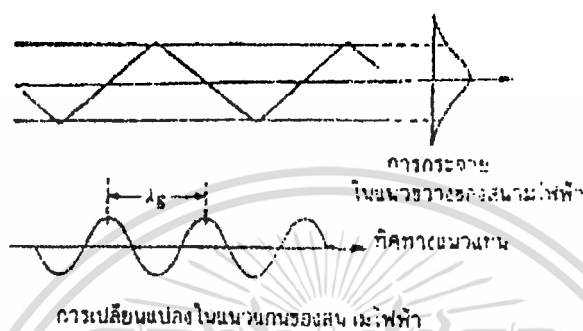
$$2r - 2a - 2\phi = 2N\pi \text{ (N เป็นเลขเต็มหน่วย)}$$

$$2kn_1 \sin\theta 2a - 2\phi = 2N\pi \text{ (N เป็นเลขเต็มหน่วย)} \tag{3}$$

หรือ  $\sqrt{k^2 n_1^2 - \beta^2} \cdot 2a - \phi = N\pi$

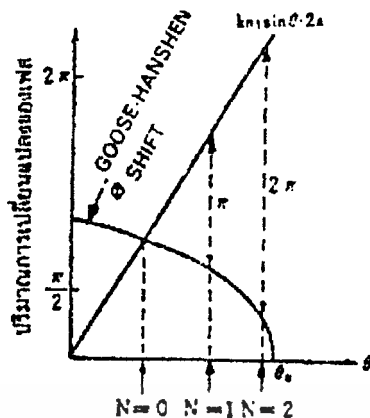
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ(3)นี้เป็นเงื่อนไขสำหรับแสงที่เดินทางในเส้นใยแสงและกลุ่มของแสงที่เป็นไปตามเงื่อนไขนี้เรียกว่า PROPAGATION MODE ในกรณีนี้ทางแนวตั้งจะมี STANDING WAVE ส่วนแนวทแยงจะมี TRAVELLING WAVE เดินทางด้วย PROPAGATION CONSTANT (ความยาวคลื่นภายในเส้นใยแสง)  $2\pi/\beta$  การกระจายของความเข้มสนามไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.4

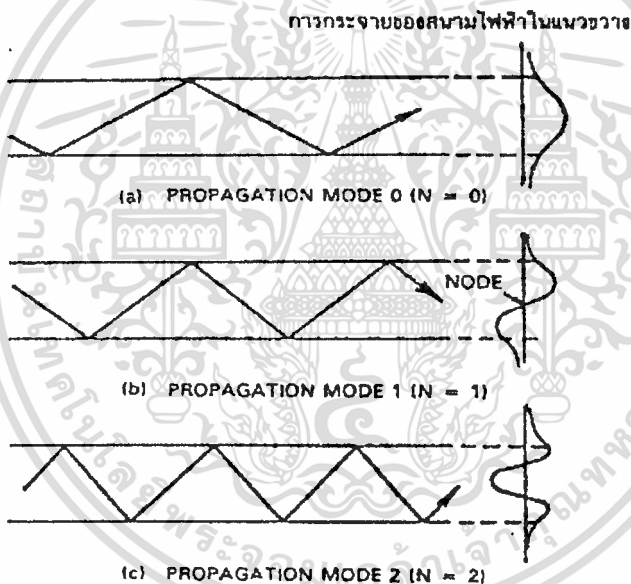


รูปที่ 3.4 แสดงการกระจายของความเข้มสนามไฟฟ้าในสายนำแสง

จากรูปจะเห็นได้ว่าการกระจายของสนามไฟฟ้าในแนวตั้งนั้นทะลุเลยเข้าไปในส่วนของ CLAD การที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะขณะที่แสงสะท้อนกลับที่รอยต่อของ CORE กับ CLAD เกิด SURFACE WAVE ทางแนวตั้งในส่วนของ CLAD นั่นเอง ความสัมพันธ์ของขนาดของ GOOD\_HANCHEN SHIFT ตามค่าของมุม  $\theta$  และ  $kn_1 \sin \theta \cdot 2a$  แสดงดังรูปที่ 3.1 เนื่องจากมุมวิกฤติ  $c$  กำหนดค่า  $n$  ค่า  $n_1$  ของ CORE และ  $n_2$  ของ CLAD ดังนั้นเมื่อกำหนดชนิดเส้นใยแสงและความยาวคลื่นแสงแล้ว ค่า  $n_1, n_2$  เส้นผ่านศูนย์กลางของ CORE และ CLAD PROPAGATION CONSTANT ของแสงในสูญญากาศ จะกำหนดค่าสูงสุดของ  $N$  ที่ทำให้สมการ (3) เป็นจริงเช่น ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 3.4 จะได้ค่า  $N = 0, N = 1$  จนถึง  $N = 2$  และ PROPAGATION MODE สำหรับค่า  $N$  เหล่านี้เรียกว่า ZERO ORDER PROPAGATION MODE FIRST ORDER PROPAGATION MOD , SECOND ORDER PROPAGATION MODE ตามลำดับ การเดินทางของแสงสำหรับ  $N = 0, 1, 2$  และการกระจายของสนามไฟฟ้าของ PROPAGATION MODE เหล่านี้ แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการกำหนด MODE NUMBER



รูปที่ 3.6 แสดงการกระจายของสนามไฟฟ้าในแนวขวางของ PROPAGATION MODE

ในกรณีนี้  $N$  จะกำหนด ORDER NUMBER ของ PROPAGATION และเท่ากับกับ MODE การกระจายของสนามไฟฟ้าแนวตั้ง จึงเรียกว่า MODE NUMBER จากรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าเมื่อค่า  $N$  มากขึ้น ดังนั้นความเร็วของ PROPAGATION MODE ในแนวแกน (ความเร็วในการเดินทาง) จะช้ากว่า PROPAGATION MODE ที่มีค่ามาก (นั่นคือ  $N$  ยิ่งมากยิ่งมีความเร็วมากขึ้น)

อันดับต่อไปนี้จะทำการพิจารณาเกี่ยวกับขนาดของ PROPAGATION CONSTANT จากรูปที่ 3.8 จะเห็นว่าเมื่อ  $\theta$  มีค่าเท่ากับ  $\theta_c$  และ  $\cos \theta_c = n_1/n_2$  ดังนั้น  $kn_1 \cos \theta_c =$

$kn_2$  เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $\theta > \theta_c$  นั่นคือ  $\beta < k_n^2$  แสงจะหักเหที่รอยต่อของ CORE กับ CLAD และทะลุเข้าไปในส่วนของ CLAD ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า RADIATION MODE ในกรณีตรงกันข้ามเมื่อ  $\theta < \theta_c$  นั่นคือ  $k_n^2 < (k_{n-1})^2$  นั้นจะมี PROPAGATION MODE ที่เป็นไปตามสมการ (3)

ค่า PROPAGATION CONSTANT  $\beta$  ที่รอยต่อของ RADIATION MODE กับ PROPAGATION MODE ( $\theta = \theta_c$ ) จะมีค่า  $\beta = k_n^2$  และรอยต่อนี้เรียกว่า CUT OFF สิ่งที่เกิดก็คือ RADIATION MODE จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามค่า  $\theta$  ที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (กรณี  $\theta > \theta_c$ ) แต่สำหรับ PROPAGATION MODE นั้นแม้ว่า จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างต่อเนื่อง โดยเป็นไปตามเงื่อนไข  $\theta < \theta_c$  ก็ตาม มันจะเกิดเฉพาะเมื่อ  $\theta$  เป็นไปตามเงื่อนไขของสมการ (3) เท่านั้น จะไม่เกิดต่อเนื่องกันเหมือน RADIATION MODE ดังนั้นค่าของ  $\theta$  ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของสมการ (3) นั้น ควรจะแสดงด้วยวิธีใดก็ได้ จากรูปที่ 3.5 ที่แสดงความสัมพันธ์ของสมการ (3) จะเห็นว่าเมื่อค่า  $\theta$  มีค่าน้อยกว่า  $\theta_c$  มากขึ้น จะทำให้ GOOD-HANCHEN SHIFT มีค่าเข้าใกล้ ดังนั้นจากสมการ (3) สามารถหาค่าประมาณของ  $\theta$  ได้ดังนี้

$$\theta_N = \sin^{-1} \left( \frac{k_{n-1}}{k_n} \right) \approx \frac{\pi}{2} \left[ \frac{k_{n-1}}{k_n} \right]^{2N} \quad \text{ในกรณีนี้ } N \text{ มีค่าน้อย} \quad (4)$$

ยกตัวอย่างเช่น ความยาวคลื่นแสง  $0.85 \mu\text{m}$ ,  $n_1 = 1.475$ ,  $2a = 50 \mu\text{m}$  มุม  $\theta$  สำหรับ ZERO ORDER MODE จะมีค่า  $\theta = 0.0058$  เรเดียน หรือเท่ากับ  $0.33$  องศา

สำหรับ PROPAGATION MODE ที่ใกล้ CUT OFF (นั่นคือ  $\theta = \theta_c$  หรือ  $\beta = k_n^2$ ) จากรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่า ค่า  $N$  จะมีค่ามาก และ GOOD-HANCHEN SHIFT  $= 0$  ค่า  $n$  ของ CORE กับ CLAD มีค่าน้อยลง (เนื่องจากค่าของ  $\theta_c$  มีค่าน้อยลง การพิจารณา PROPAGATION MODE สำหรับ  $\theta < \theta_c$  นั้นสามารถบอกคุณสมบัติได้ว่าค่าของ  $\theta$  ก็มีค่าน้อยด้วย) และเมื่อใช้ค่าประมาณ  $\theta = \sin^{-1} \left( \frac{k_{n-1}}{k_n} \right)$  จะได้ว่า

$$N = \frac{\pi}{2} \left[ \frac{k_{n-1}}{k_n} \right]^{2N} \quad \text{ในกรณีนี้ } N \text{ มีค่ามาก} \quad (5)$$

จะเห็นว่าสมการนี้ได้จากการประมาณค่าจากสมการ (4) เมื่อ  $N$  มีค่ามากกว่า 1 สำหรับเส้นใยแสงที่มีอัตราส่วนผลต่างของดัชนีการหักเหของ CORE กับ CLAD น้อย สามารถพิจารณาคุณสมบัติของ PROPAGATION MODE ได้โดยใช้สมการ (14)

### 3.1.3 จำนวนของ PROPAGATION MODE PROPAGATION MODE

หมายถึงว่าในท่ามกลางแสงต่าง ๆ ที่สะท้อนกลับไปมาตรงรอยต่อของ CORE กับ CLAD ( $\theta < \theta_c$ ) นั้น มีลำแสงส่วนหนึ่งที่สะท้อนกลับด้วยค่าที่เป็นไปตามเงื่อนไขของสมการ (3) ดังนั้น จากรูปที่ 3.5 จะเห็นว่าจำนวน PROPAGATION MODE มีค่าจำกัด สมมติว่า  $N_{\text{max}}$  เป็นจำนวน ORDER ของ PROPAGATION MODE จะทำให้  $\theta_{N_{\text{max}}} = \theta_c$  (โปรดดูรูปที่ 3.5 ประกอบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

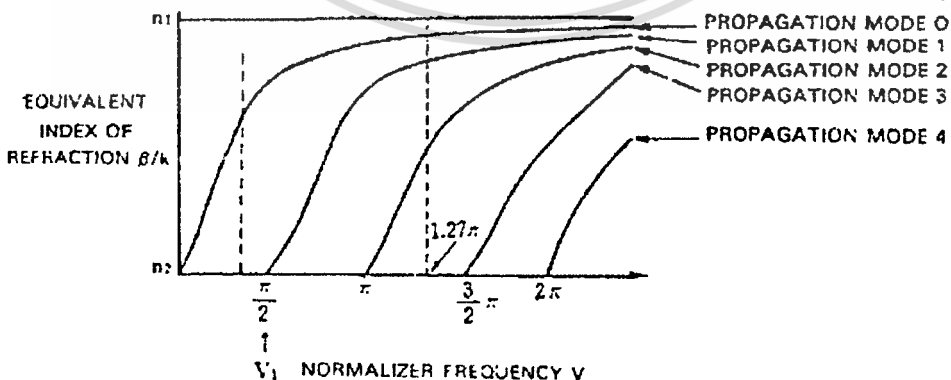
ดังนั้นจำนวนของ PROPAGATION MODE :  $v$  หาได้จากสมการ(4) และ  $\sin \theta_c = 1 - \cos^2 \theta_c$   
 $= 1/n_1 (n_1^2 - n_2^2)$

$$\text{นั่นคือ } v = N_{\max} + 1 = V/(\pi a) \quad (6)$$

$$\text{ในที่นี้ } V = ka \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = (2\pi/\lambda)a \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (7)$$

และอย่าลืมว่า PROPAGATION MODE นั้นมีจำนวน ORDER ตั้งแต่  $N = 0$  ไปจนถึง  $N = N_{\max}$  สำหรับ  $V$  นี้เนื่องจากเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ  $k$  ซึ่งเท่ากับ  $W/C$  จึงเรียกว่า NORMALIZED FREQUENCY หรือเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของ CORE  $2a$  จึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า NORMALIZED WAVE GUIDE WIDTH ยกตัวอย่างเช่น ความยาวคลื่นแสงมีค่า  $0.85 \mu\text{m}$ ,  $2a = 50 \mu\text{m}$ ,  $n_1 = 1.475$ ,  $n_2 = 1.46$  ( $n = (n_1 - n_2)/n_1 = 1\%$ ) ค่า  $V = 38.8$  กรณีนี้สมการ(16) เมื่อนำ  $V$  ไปแทนค่าจะพบว่า มี PROPAGATION MODE 24 อันดับ

ค่า PROPAGATION CONSTANT  $\beta_N (=kn_1 \cos\theta_N)$  ของ PROPAGATION MODE ที่  $N$  นั้นถ้าหากกำหนดค่า PARAMETER ของเส้นใยแสง (ได้แก่ ค่า  $a, n_1, n_2$ ) และกำหนดค่าความยาวคลื่นของแสง (นั่นคือค่า PROPAGATION CONSTANT ในสูญญากาศ  $k$ ) จะหาค่า  $N$  ได้จากสมการ(3)ค่า PARAMETER ต่างๆ ที่กล่าวข้างต้นสามารถนำมารวมกันและแสดงในรูปของ NORMALIZED FREQUENCY  $V$  ได้กล่าวคือแทนที่จะเป็น  $\beta/k$  กับ NORMALIZED FREQUENCY  $V$  ซึ่งมีความสัมพันธ์กันแสดงในรูปที่ 3.7 ( $\beta/k$ ) นี้มี DIMENSION ของดัชนีการหักเหและความเร็วของ PROPAGATION MODE ที่เดินทางด้วย PROPAGATION CONSTANT ที่มีค่าความเร็วเท่ากับที่เดินทางเป็นเส้นตรงภายในตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเห  $\beta/k$  ดังนั้นจึงเรียกว่า EQUIVALENT REFRACTING INDEX



รูปที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ NORMALIZED FREQUENCY กับ  $\beta/k$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยกตัวอย่างเช่น เมื่อความยาวคลื่นแสงเป็น  $0.85\mu\text{m}$ ,  $2a = 10\mu\text{m}$ ,  $n_1 = 1.464$ ,  $n_2 = 1.46$ ,  $(n_1 - n_2)/n_1 = 0.27\%$  จะได้  $V = 1.27$

จากรูปที่ 3.7 จะเห็นว่ามี PROPAGATION MODE ที่สามารถเดินทางไปได้คือ MODE 0, MODE 1, MODE 2 รวมกับ MODE 3 เท่านั้น ไม่มี MODE อื่นที่สูงกว่านี้อยู่เลย (ค่า  $0$  ของ PROPAGATION MODE ตั้งแต่ MODE 3 ขึ้นไปนั้น ค่า  $\theta > \theta_c$ ) จะหักเหที่รอยต่อของ CORE กับ CLAD และทะลุเข้าไปใน CLAD กลายเป็น RADIATION MODE) นอกจากนั้นจะเห็นว่า EQUIVALENT REFRACTING INDEX ของ PROPAGATION MODE 0 มีค่าใกล้เคียงกับ  $n_1$

ดังนั้นสำหรับแสงที่มีความยาวคลื่นค่าหนึ่งนั้นเมื่อนำไปป้อนให้แก่เส้นใยแสงที่มีค่า  $0 < V < V_1 = \pi/2$  แล้วจะมี PROPAGATION MODE อะไรบ้างที่สามารถเดินทางไปในเส้นใยแสง จะได้จากรูปที่ 2.7 นั่นคือจะมีเพียง PROPAGATION MODE 0 เท่านั้นที่สามารถเดินทางไปในเส้นใยแสงได้ เส้นใยแสงแบบนี้เรียกว่า SINGLE MODE (SM) OPTICAL FIBER เพราะฉะนั้นเงื่อนไขสำหรับ SINGLE MODE OPTICAL FIBER นี้คือ

$$0 < V < V_1 = \pi/2 \quad (8)$$

เท่าที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการพิจารณาคุณสมบัติต่างๆของเส้นใยแสงที่มีรูปร่างเป็นแผ่นแบนหรือ SLAB TYPE ซึ่งแนวความคิดต่างๆเหล่านี้สามารถนำไปใช้กับเส้นใยแสงแบบ STEP INDEX TYPE ด้วยเนื่องจากรูปร่างของพื้นที่หน้าตัดเท่านั้นที่แตกต่างกัน ดังนั้นค่าตัวเลขต่างๆจึงแตกต่างกับกรณีของเส้นใยแสงแบบ SLAB TYPE และจำเป็นต้องมีการชดเชยค่าบางส่วนเข้าไป ดังนั้นสมการที่กล่าวต่อไปนี้เป็นสมการของเส้นใยแสงแบบ STEP INDEX TYPE จำนวน PROPAGATION MODE

$$V_{SI} = [V/(\pi/2)]^2 / 2 \quad (9)$$

เงื่อนไขของเส้นใยแสง SINGLE MODE จะเป็น

$$0 < V < V_1 = 2.405 \quad (10)$$

ในที่นี้  $V$  คือ NORMALIZED FREQUENCY เช่นเดียวกับ  $V_1$

ในกรณีของเส้นใยแสงแบบ SLAB TYPE นอกจากนั้น เนื่องจาก  $V$  มีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสง แม้จะเป็นเส้นใยแสงแบบ SINGLE MODE สำหรับแสงที่มีความยาวคลื่นค่าหนึ่งก็ตามแต่สำหรับแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า CUT OFF WAVE LENGTH แล้วจะมี PROPAGATION MODE มากกว่า 2 MODE ขึ้นไป การเดินทางในเส้นใยแสง สำหรับ CUT OFF WAVE LENGTH ( ) นี้ จาก (4) และ (10) นำมาเขียนได้ดังนี้

$$\lambda_c = (2\pi a / 2.405) \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (11)$$

ตัวอย่างเช่นเมื่อเส้นใยแสงที่มีค่า  $2a = 8\mu\text{m}$ ,  $n_1 = 1.464$ ,  $n_2 = 1.46$  สำหรับแสงที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ความยาวคลื่น  $1.3 \text{ um}$  จะได้  $V=2.1 > 2.405$  นั่นคือเป็น SINGLE MODE OPTICAL FIBER แต่จากสมการ (21)  $c = 1.13 \text{ um}$  ดังนั้น สำหรับแสงที่มีความยาวคลื่น  $0.85 \text{ um}$  แล้วเส้นใยแสงนี้ จะไม่เป็น SINGLE MODE OPTICAL FIBER ในทางตรงกันข้าม เส้นใยแสงที่มีค่า  $V > v_1$  นั้นจะมี MODE จำนวนมากเดินทางใน เส้นใยแสงจึงเรียกว่า MULTI MODE OPTICAL FIBER

### 3.1.4 การเปลี่ยน MODE (MODE CONVERSION)

เมื่อเส้นใยแสงงอโค้งหรือรอยต่อระหว่าง CORE กับ CLAD ไม่เรียบเป็นเส้นตรง แสงที่เดินทางมาด้วย MODE หนึ่ง เมื่อมาถึงส่วนที่งอโค้ง หรือส่วนที่ขรุขระนี้จะเป็นอย่างไรร

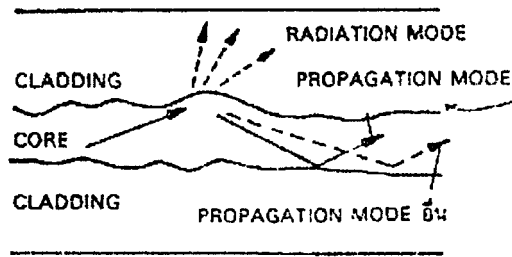
กรณีที่เส้นใยแสงงอโค้ง แสดงดังรูปที่ 3.8 สมมุติว่า แสงที่เดินทางมาด้วย MODE หนึ่ง ในส่วนเส้นใยแสงที่เป็นเส้นตรงมีมุมสะท้อนกลับหมดเป็น  $\theta$  ตรงส่วนที่เส้นใยแสงงอโค้งนั้นมุมจะไม่เท่ากับมุมสะท้อนกลับหมดดังรูป การที่เป็นเช่นนี้เพราะเกิดการเปลี่ยน MODE ขึ้น ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่าเกิด MODE CONVERSION ในกรณีนี้เมื่อ มีค่ามากกว่ามุมวิกฤติแล้วแสงจะเกิดการหักเหขึ้นตรงรอยต่อของ CORE กับ CLAD และทะลุเข้าไปในส่วนของ CLAD กลายเป็น RADIATION MODE เมื่อเกิดการเปลี่ยน MODE จาก PROPAGATION MODE เป็น RADIATION MODE อย่างนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานภายในเส้นใยแสง เรียกว่า RADIATION LOSS



รูปที่ 3.8 แสดงการเปลี่ยน MODE ที่เกิดขึ้นตรงส่วนโค้งของเส้นใยแสง

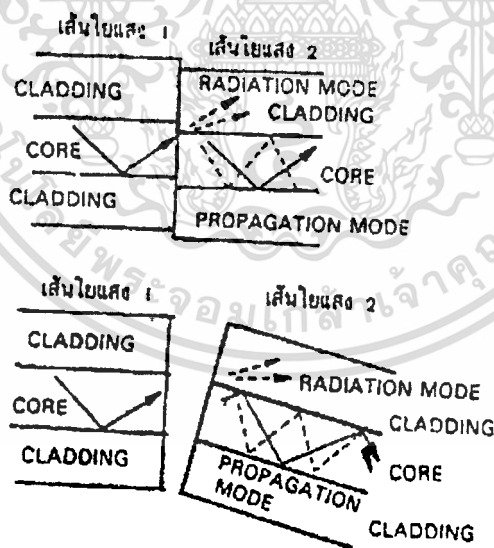
สำหรับเส้นใยแสงถ้าหากมีแรงดันมากระทำทางด้านข้างจะทำให้แกนของมันบิดงอไปหลายไมโครเมตร โดยทั่วไปแล้วจะเรียกปรากฏการณ์เช่นนี้ว่า MICRO BENDING การสูญเสียอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์นี้ จากสาเหตุอย่างเดียวกับ RADIATION LOSS ที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว และเรียกชื่อว่า MICRO BENDING LOSS

ปรากฏการณ์ของกรณีที่รอยต่อของ CORE กับ CLAD ไม่เป็นเส้นตรงแสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงการเปลี่ยน MODE เกิดขึ้นที่รอยต่อขรุขระของ CORE ทั้ง CLADDING

แสงที่เดินทางมาใน CORE เมื่อมาถึงส่วนที่ขรุขระ (ไม่เป็นเส้นตรง) จะถูกบิดงอทำให้เกิด MODE CONVERSION บ้าง และบางส่วนมีมุมหักเหมากกว่ามุมวิกฤติของการสะท้อนกลับหมดทะลุผ่านเข้าไปใน CLAD ก็มี นอกจากนั้นในการต่อเส้นใยแสงสิ่งที่เป็นปัญหาก็คือแกนของเส้นใยแสงคลาดเคลื่อน แม้ว่าจะทำการต่อเส้นใยแสงชนิดเดียวกันก็ตามถ้าหากมีแกนของเส้นใยแสงคลาดเคลื่อนดังแสดง ในรูปที่ 3.10 จะทำให้มุมตกกระทบเส้นใยแสง 2 มีค่าแตกต่างกับมุมตกกระทบที่เส้นใยแสง 1 เกิดปรากฏการณ์ที่เหมือนกันกับ MODE CONVERSION



รูปที่ 3.10 แสดงการเปลี่ยน MODE เกิดจากแกนไม่ตรงกัน

นอกจากนั้นในกรณีที่ผิวหน้าตัดของเส้นใยแสงไม่เรียบและขนานกันจะทำให้มุมหักเหของเส้นใยแสง 2 มากกว่ามุมวิกฤติ ทำให้เกิดแสงรั่วออกไปใน CLAD (เกิด RADIATION LOSS) บางส่วนด้วย เรียกว่า CONNECTION LOSS ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้นเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิได้อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเกิดการคลาดเคลื่อนของแกนไปเพียงแค่นาโนเมตรเท่านั้นจึงกล่าวได้ว่าการควบคุมไม่ให้เกิดการคลาดเคลื่อนนั้นเป็นการยากมาก

### 3.1.5 การเดินทางของแสงในเส้นใยแสง GRADED INDEX

ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างเส้นใยแสงแบบ STEP INDEX กับแบบ GRADED INDEX ก็คือ การเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเห ดังแสดงในรูปที่ 3.11 จะเห็นว่าเส้นใยแสงแบบ GRADED INDEX นั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปที่ละนิดไม่เปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันเหมือนกรณีของ STEP INDEX กล่าวคือค่าดัชนีการหักเหจะเปลี่ยนแปลงในลักษณะเป็น PARABOLA ตามแนวแกนขวางเส้นใยแสง (หรือเรียกว่า SQUARE DISTRIBUTION) สำหรับเส้นใยแสงแบบ GRADED INDEX MULTI MODE ที่มีการกระจายค่าดัชนีการหักเหแบบนี้ นั้นมีคุณสมบัติพิเศษคือ ผลต่างของความเร็วในการเดินทางของแต่ละ PROPAGATION MODE มีค่าน้อยมาก สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะการกระจายค่าดัชนีการหักเหของเส้นใยแสงแบบ GRADED INDEX แสดงดังรูปที่ 2.12(a) จะเห็นว่า เสมือนกับว่าประกอบด้วยชั้น (LAYER) ที่มีลักษณะเป็นขั้นบันได (STEP) จำนวนมากมาย ในกรณีนี้ค่าดัชนีการหักเหสูงมาก จะเกิดการหักเหตามกฎของ SNELL ที่รอยต่อแต่ละชั้น และแสงเดินทางไปยังชั้นที่มีค่าดัชนีการหักเหต่ำทำให้มุมของลำแสงที่กระทำกับแกนของ เส้นใยแสงมีค่าต่ำลงลำแสง(1)ที่มีมุมตกกระทบค่าสูงสุด(มุมที่ลำแสงกระทำกับแกนของ เส้นใย แสง) จะหักเหที่รอยต่อของ CORE กับ CLAD และทะลุเข้าไปใน CLAD ดังรูป กลายเป็น RADIATION MODE ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นกับแกนเส้นใยแสงแบบ STEP INDEX เหมือนกัน อันดับต่อไปคือลำแสง(2) ซึ่งมีมุมตกกระทบต่ำกว่าลำแสง (1) ในตอนแรกจะเหมือนกับลำแสง (1) กล่าวคือจะหักเหไปพร้อมกับเดินทางไปข้างหน้าจนกระทั่งไปถึงชั้นๆหนึ่งที่ตรงบริเวณรอยต่อของ ชั้นลำดับที่ค่าหนึ่งนั้นมุมหักเหของลำ แสง (2) มีค่าต่ำกว่ามุมวิกฤติ  $\theta_c$  เกิดการสะท้อนกลับหมด นั่นคือลำแสง (2) จะกลับทิศทางมุ่งไปยังส่วนกลางของเส้นใยแสงซึ่งเป็นชั้นที่มีค่าดัชนีการหักเหสูงในกรณีนี้จะทำให้มุมที่ลำแสง (2) ทำกับแกนเส้นใยแสงมีค่าเพิ่มขึ้นอีกเมื่อไปถึงชั้นที่มีค่าดัชนีการหักเหสูงที่สุดจะเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวข้างต้นซ้ำอีกลำแสง(2)จะอยู่ใน CORE และเดินทางไปข้างหน้าสำหรับลำแสง(3)ที่มีมุมตกกระทบต่ำกว่าลำแสง(2)จะเกิดการสะท้อนกลับหมดตรงบริเวณรอยต่อของชั้นที่อยู่ใกล้ศูนย์กลางแกนของเส้นใยแสงมากกว่าลำแสง(2)และลำแสง(3)เป็น PROPAGATION MODE ก็เช่นกัน จะเหมือนกับกรณีของเส้นใยแสงแบบ STEP INDEX กล่าวคือถ้าค่าหนึ่งถึงเฟสของแสง แล้วจะปรากฏว่า ค่ามุมตกกระทบของ PROPAGATION MODE ต่างๆ นั้นจะมีค่าจำเพาะที่พอเหมาะเท่านั้น

สำหรับเงื่อนไขที่พอเหมาะของ PROPAGATION MODE ในเส้นใยแสง MULTI MODE แบบ GRADED INDEX นั้นสามารถแสดงค่าประมาณได้ด้วยสมการต่อไปนี้

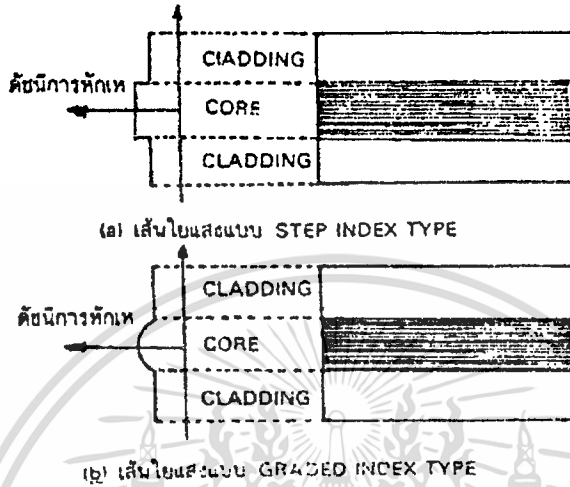
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

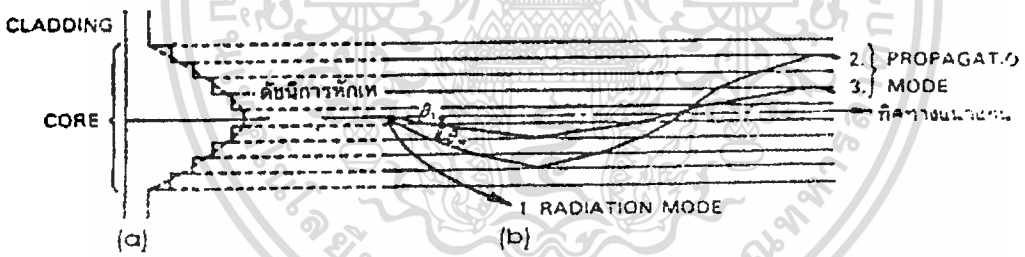
$$\int_{-r_0}^{r_0} 2(k^2 n^2(r) - \beta^2 - v^2/r^2)^{1/2} dr = 2m\pi$$

ในที่นี้  $v$  และ  $m$  เป็นจำนวน MODE ORDER ในแนว AZIMUTH และในแนวรัศมีตาม

ลำดับ



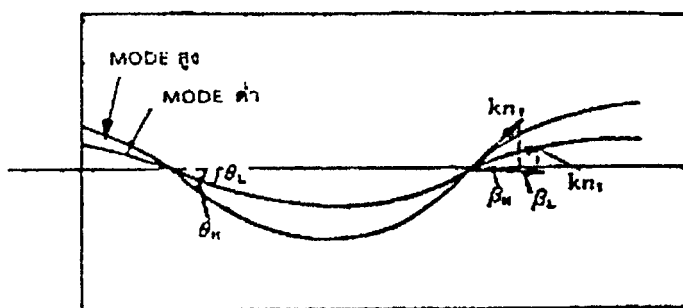
รูปที่ 3.11 แสดงการกระจายค่าดัชนีการหักเหของเส้นใยแสง



รูปที่ 3.12 แสดงการเดินทางของแสงในเส้นใยแสงแบบ GRADED INDEX TYPE

อนึ่ง กรณีที่พิจารณาเส้นใยแสง GRADED INDEX ที่มีรูปร่างเป็น SLAB TYPE นั้น ทำได้โดย  $v$  ของสมการข้างบนเป็น 0

ต่อไปจะพิจารณาถึงความเร็วตามแนวแกนของ PROPAGATION MODE ในเส้นใยแสงแบบ GRADED INDEX ลำแสงของ PROPAGATION MODE แสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงลำแสงสำหรับ PROPAGATION MODE แต่ละอัน

PROPAGATION CONSTANT  $L$  ในทิศทางตามแนวแกนของลำแสงที่เดินทางอยู่ใกล้แนวแกนนั้น ที่จุดตัดกับแนวแกน สมมติว่าทำมุม  $L$  กับแนวแกน โดยการใช้มุม  $L$  นี้ จะได้

$$\beta_L = kn_1 \cos \theta_L$$

อนึ่ง PROPAGATION CONSTANT  $H$  ของลำแสงที่เดินทางห่างออกจากแนวแกนนั้น แสดงด้วยสมการ

$$\beta_H = kn_1 \cos \theta_H$$

จากรูปที่ 2.13 จะเห็นว่า  $\theta_H > \theta_L$  ดังนั้น

$$\beta_H < \beta_L$$

โดยทั่วไปจำนวน ORDER ของ PROPAGATION MODE จะมี ORDER ต่ำ ถ้า PROPAGATION CONSTANT ในทิศทางแนวแกนมีค่ามาก (นั่นคือ MODE NUMBER มีค่าน้อย) และถ้ามีค่าน้อย MODE ORDER จะสูง (MODE NUMBER มีค่ามาก) ดังนั้นลำแสงที่เดินทางใกล้แนวแกนจะมี MODE ORDER ต่ำ ส่วนลำแสงที่เดินทางออกจากแนวแกนจะมี MODE ORDER สูง

ระยะทางที่ลำแสง MODE ORDER ต่ำเดินทางผ่านนั้นเป็นระยะสั้นเมื่อเทียบกับ MODE ORDER สูง แต่ดัชนีการหักเหของเส้นทางที่ผ่านมีค่าสูง จึงทำให้ความเร็วของ MODE ORDER ต่ำ ( $v = c/n$ ,  $c$  เป็นความเร็วของแสง  $n$  เป็นค่าดัชนีการหักเห) มีค่าน้อย ดังนั้นถ้าหากเปลี่ยนค่าดัชนีการหักเหให้เหมาะสมแล้ว ความเร็วเฉลี่ยในแนวแกนของ MODE ORDER ต่ำและ MODE ORDER สูงมีค่าใกล้เคียงกันการกระจายค่าดัชนีการหักเหเมื่อความเร็วเฉลี่ยในแนวแกนมีค่าเท่ากันโดยไม่ขึ้นกับ MODE ORDER เรียกว่า OPTIMUM REFRACTING INDEX DISTRIBUTION (เนื่องจากทำให้ MODE SCATTER หดไป จึงเรียกว่า OPTIMUM ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในภายหลัง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่แสดงคุณสมบัติของเส้นใยแสง

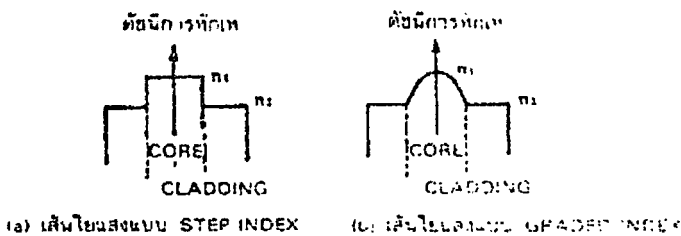
พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการบ่งบอกคุณสมบัติต่างๆของเส้นใยแสงนั้น ได้แก่ NORMALIZED FREQUENCY (V) ซึ่งได้เคยกล่าวถึงมาแล้วในหัวข้อ 3.1 ตอนพิจารณาเงื่อนไขของ SINGLE MODE ในเส้นใยแสง SINGLE MODE OPTICAL FIBER ต่อไปคือ CUT OFF WAVELENGTH ( $c$ ) นอกจากนี้ยังมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับดัชนีการหักเห ซึ่งมีความหมายสำคัญต่อการเดินทางของแสงในเส้นใยแสงและพารามิเตอร์ทางโครงสร้างที่แสดงโครงสร้างของเส้นใยแสงสำหรับพารามิเตอร์ทางแสงนั้น ได้แก่ อัตราส่วนผลต่างค่าดัชนีการหักเห ซึ่งแสดงความแตกต่างของดัชนีการหักเหระหว่าง CORE กับ CLAD มุมรับแสง APERTURE NUMBER ซึ่งใช้ในการพิจารณาสภาพการป้อนแสงเข้าเส้นใยแสงและสภาพของแสงที่ออกจากเส้นใยแสง สัมประสิทธิ์การกระจายค่าดัชนีการหักเหที่ใช้แสดงรูปร่างลักษณะการกระจายค่าดัชนีการหักเหภายใน CORE และอื่น ๆ ส่วนพารามิเตอร์ตามโครงสร้างนั้น ได้แก่ CORE DIAMETER ซึ่งแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของ CORE, OUTER DIAMETER ซึ่งแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยแสง (หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า CLAD DIAMETER) นอกจากนี้ยังมีอัตราการคลาดเคลื่อนของจุดศูนย์กลางซึ่งใช้แสดงการคลาดเคลื่อนทางโครงสร้างของวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกัน และอัตราความเพี้ยนของวงกลม เป็นต้น

#### 3.2.1 พารามิเตอร์ทางแสง

ก) อัตราส่วนผลต่างดัชนีการหักเหเป็นพารามิเตอร์ที่แสดงความแตกต่าง ของดัชนีการหักเหของ CORE กับ CLAD ปกติจะใช้สัญลักษณ์ DELTA ( $\Delta$ ) สำหรับเส้นใยแสงที่มีลักษณะของดัชนีการหักเหดังรูปที่ 2.14 สามารถให้คำจำกัดความของอัตรา ส่วนผลต่างค่าดัชนีการหักเหได้

$$\text{อัตราส่วนผลต่างค่าดัชนีการหักเห } \Delta = (n_1 - n_2) / n_1 \quad (12)$$

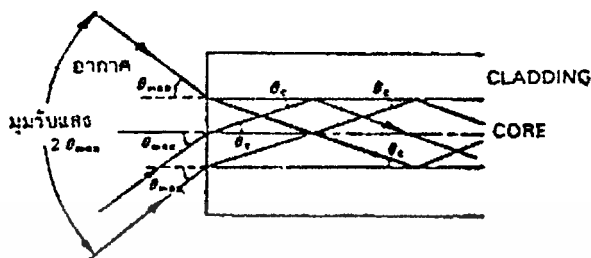
เนื่องจาก  $\Delta$  มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ 1 ดังนั้นโดยปกติทั่วไปจะแสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนผลต่างค่าดัชนีการหักเหนี้มีจุดประสงค์เพื่อแสดงความสะดวกในการป้อนแสงเข้าไปใน CORE โดยทั่วไปแล้ว ถ้าหาก มีค่ามาก หมายถึงว่า สามารถป้อนแสงเข้าไปในเส้นใย แสงได้ง่าย



รูปที่ 3.14 แสดงความแตกต่างของค่าดัชนีการหักเห

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) มุมรับแสงในการที่จะให้แสงเดินทางไปในเส้นใยแสงนั้นจะต้องให้มุมตกกระทบที่ด้านปลายของเส้นใยแสงมีค่าน้อยกว่ามุมที่แสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงมุมรับแสง

ค่า  $\theta_{max}$  นี้ สามารถได้จากเงื่อนไขการสะท้อนกลับหมดที่รอยต่อของ CORE กับ CLAD ถ้ากำหนดให้ค่าดัชนีการหักเหของอากาศเป็น  $n_0$  ความสัมพันธ์ของมุมตกกระทบ  $\theta_{max}$  ที่ปลายของเส้นใยแสง(รอยต่อระหว่างอากาศกับCORE)กับมุมหักเห  $c$  สามารถแสดงเป็นสมการ ได้ดังต่อไปนี้โดยอาศัยกฎของ SNELL และจากรูปที่ 2.15 จะได้ว่า

$$\sin \theta_{max} / \sin \theta_c = n_1 / n_0 = n_1 \quad (13)$$

ในที่นี้ค่าดัชนีการหักเห  $n_0$  ของอากาศมีค่าเป็น 1

อนึ่ง มุมวิกฤติ  $\theta_c$  หาได้โดยอาศัยกฎของ SNELL เช่นกัน จะได้ว่า

$$\cos \theta_c = n_2 / n_1 \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \text{หรือ} \quad \sin \theta_c &= \sqrt{1 - \cos^2 \theta_c} \\ &= \sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2}} \\ &= \sqrt{2\Delta} \end{aligned}$$

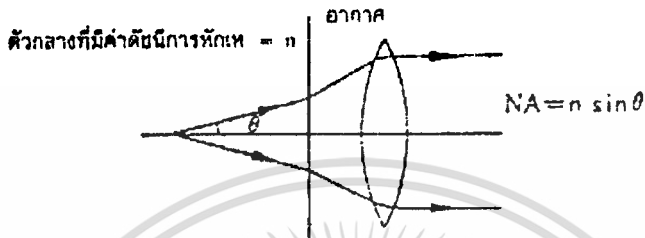
ในที่นี้ ค่าดัชนีการหักเหของ CORE กับ CLAD ปกติมีค่าน้อยกว่า 1.5 ทำให้ผลต่างของค่าดัชนีการหักเหมีค่าประมาณ 0.01 จึงใช้ค่าประมาณของ  $(n_1 + n_2) / n_1 = 2$  ได้ ดังนั้นจากสมการ (13) จะได้ว่า การที่จะให้แสงเดินทางไปในเส้นใยแสงได้นั้น มุมตกกระทบจะต้องมีค่าอยู่ในช่วงของ  $2\theta_{max}$  ดังแสดงในรูปที่ 2.15 มุม  $2\theta_{max}$  นี้เป็นมุมรับแสง กรณีที่  $\theta_{max}$  มีค่าน้อย สามารถใช้ ค่าประมาณ  $\theta_{max} = \sin \theta_{max}$  (หน่วยของ  $\theta_{max}$  คือ เรเดียน) โดยการใช้สมการ (15) จะได้มุมรับแสงดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{มุมรับแสง } 2\theta_{max} &= 2 \sin \theta_{max} \\ &= 2 n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (\text{เรเดียน}) \end{aligned} \quad (15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค) NUMERICAL APERTURE (NA) ในการแสดงประสิทธิภาพของเลนส์คู่วัตถุของกล้องจุลทรรศน์นั้นจะใช้ PARAMETER ที่เรียกว่า NUMERICAL APERTURE (NA) เป็นดังแสดง จากรูปที่ 3.16 แสงที่ออกจากวัตถุบนแกนนั้น ให้ลำแสงส่วนที่ต่างออกกว้างที่สุดทำมุม  $\theta$  กับแกน และให้ค่าดัชนีการหักเหของวัตถุเป็น  $n$  จะได้สมการดังต่อไปนี้

$$NA = n \sin \theta \quad (16)$$

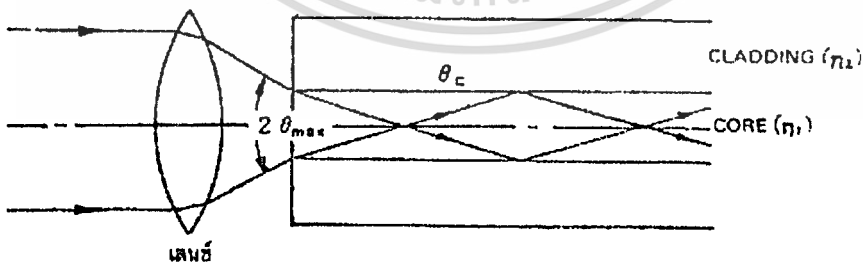


รูปที่ 3.16 แสดงค่าจำกัดความของ NA

ในที่นี้  $\theta$  เป็นมุมที่กำหนดจากมุมวิกฤตของรอยต่อของวัตถุกับอากาศ NA นี้มักนิยมใช้ในการพิจารณามุมตกกระทบของเส้นใยแสง กล่าวคือในการที่จะทำให้สามารถป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสงอย่างมีประสิทธิภาพที่สุดนั้น จะใช้เลนส์ที่มี NA ดังสมการ

$$NA = n_1 \sin \theta_c = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (17)$$

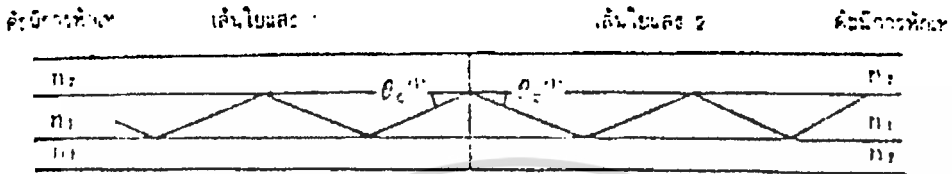
โดยที่  $n_1$  เป็นค่าดัชนีการหักเหของ CORE  $n_2$  เป็นค่าดัชนีการหักเหของ CLAD เป็นอัตราส่วนผลต่างค่าดัชนีการหักเห  $c$  เป็นมุมวิกฤตของการสะท้อนหมดที่รอยต่อของ CORE กับ CLAD และจัดการรวมแสง ดังรูป



รูปที่ 3.17 แสดงวิธีการป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสงอย่างมีประสิทธิภาพ

จากสมการ (19)  $n_1 n_2$  เรียกว่า "NA" ของเส้นใยแสง และนิยมใช้ในการตรวจดูเงื่อนไขการป้อนกระแสเข้าไปในเส้นใยแสง เกี่ยวกับ NA นี้ถ้านำสมการ(17) กับสมการ (19) มาเปรียบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทียบกันดูจะทำให้เข้าใจได้ว่าความหมายของ NA ได้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเชื่อมต่อเส้นใยแสง ถ้าหากทำการต่อเส้นใยแสงสองเส้นที่มีค่า NA ต่างกันแสดงดังรูปที่ 3.18 จะเห็นได้ว่าแสงที่เดินทางมาจะหลุดออกจาก CORE ตรงรอยเชื่อมทำให้การสูญเสียเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงนิยมใช้ NA มาประเมินผลการสูญเสียของแสงตรงส่วนเชื่อมต่อ (CONNECTION LOSS)



รูปที่ 3.18 แสดงการต่อเส้นใยแสงและ NA

ง) สัมประสิทธิ์การกระจายค่าดัชนีการหักเห ลักษณะการกระจายค่าดัชนีการหักเหของเส้นใยแสง ถ้าให้ค่าดัชนีการหักเหจากจุดศูนย์กลางของเส้นใยแสงไปจนถึงจุด r เป็น n(r) จะสามารถแสดงด้วยสมการต่อไปนี้

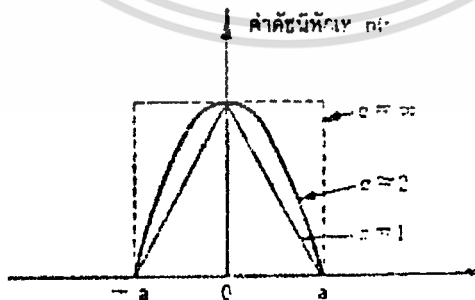
$$n(r) = n_1 [1 - 2\Delta (r/a)^\alpha]^{1/2} \dots 0 \leq r \leq a \text{ (CORE)}$$

$$n(r) = n_2 = n_1 (1 - 2\Delta)^{1/2} \dots a < r \text{ (CLAD)}$$

$$= n_1 (1 - \Delta) \dots a < r \text{ (CLAD)}$$
(18)

ในที่นี้ 2a เป็น CORE DIAMETER เป็นอัตราส่วนผลต่างค่าดัชนีการหักเหและ ในสมการ (18) เรียกว่าสัมประสิทธิ์การกระจาย

ค่าดัชนีการหักเห เมื่อ  $\alpha = 1, 2$ , ลักษณะการกระจายค่าดัชนีการหักเหจะเป็นดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 แสดงรูปร่างการกระจายของค่าดัชนีการหักเห

จากรูปที่ 3.19 จะเห็นได้ว่าเมื่อ  $\alpha = 1$  การกระจายค่าดัชนีการหักเหของเส้นใยแสงเป็นแบบ STEP INDEX สำหรับเส้นใยแสงแบบ GRADED INDEX นั้นเพื่อทำให้ผลต่างของเวลาในการเดินทางของแสงที่เดินทางในแกนนำไม่เท่ากันหมดทุกเส้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางของ PROPAGATION MODE ต่าง ๆ มีค่าน้อย จะควบคุมค่าดัชนีการหักเห เพื่อให้ มีค่าเข้าใกล้ 2

### 3.2.2 พารามิเตอร์ทางโครงสร้าง

โครงสร้างหน้าตัดกรณีพิเศษของเส้นใยแสงแสดงกล่าวคือ เส้นรอบวงของ CORE กับ CLAD จะมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน

ในกรณีนี้เส้นผ่านศูนย์กลางของ CORE และเส้นผ่านศูนย์กลางของ CLAD จะกำหนดโครงสร้างหน้าตัดของเส้นใยแสง แต่ทว่าในการผลิตเส้นใยแสงจะเกิดการผิดรูปร่างไปเล็กน้อย ดังนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องกำหนดค่าจำกัดความ PARAMETER อื่นๆ เพิ่มเติมขึ้นมาอีกนอกเหนือไปจาก CORE DIAMETER และ CLAD DIAMETER และ PARAMETER ที่แสดงโครงสร้างเส้นใยแสงเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญต่อกรณีที่ทำการศึกษาคือการสูญเสีย การเชื่อมต่อของเส้นใยแสง และการประเมินค่าของเส้นใยแสง

ก) เส้นผ่านศูนย์กลางของ CORE เส้นผ่านศูนย์กลางของ CORE เป็นตัวแสดงขนาดความโตของ CORE ซึ่งเป็นส่วนที่แสงส่วนใหญ่เดินทางผ่านเมื่อป้อนแสงให้แก่เส้นใยแสง ในกรณีที่ทำการศึกษาสภาพการเดินทางของแสงนั้น CORE DIAMETER ถือเป็น PARAMETER ที่สำคัญคู่กันกับค่าดัชนีการหักเห สำหรับเส้นใยแสงที่ศึกษา CORE จะเป็นรูปทรงกระบอก ดังนั้น CORE DIAMETER จะแสดงด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าตัดวงกลมของเส้นใยแสง ค่าจำกัดความเกี่ยวกับเส้นใยแสงที่สร้างขึ้นจริงนั้นกระทำได้ยากแม้แต่ความเคลื่อนไหวของการกำหนดมาตรฐานนานาชาติก็ตามยังคงมีปัญหากเกิดขึ้นมากมายดังนั้น CORE DIAMETER จะแสดงค่าเฉลี่ยจากผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลาง  $d_{min}$  และเส้นผ่านศูนย์กลาง  $d_{max}$

ข) เส้นผ่านศูนย์กลางของ CLAD (CLAD DIAMETER) เส้นผ่านศูนย์กลางของ CLAD แสดงขนาดความโตของเส้นใยแสง ในกรณีที่ต้องพิจารณา RADIATION LOSS ของแสงที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากเส้นใยแสงบิดงอนั้น CLAD DIAMETER นี้เป็น PARAMETER ที่สำคัญร่วมกับ CORE DIAMETER และค่าดัชนีการหักเห นอกจากนั้นยังเป็น PARAMETER สำคัญในการประเมินค่าคุณสมบัติการเชื่อมต่อและความแข็งแรงทางเมคานิกส์ของเส้นใยแสงด้วย

ค) อัตราการไม่เป็นวงกลมของ CORE และอัตราการไม่เป็นวงกลมของ CLAD PARAMETER ที่แสดงความคลาดเคลื่อนไปจากการเป็นวงกลมที่สมบูรณ์ของเส้นรอบวง CORE และ CLAD ของเส้นใยแสงคือ อัตราการไม่เป็นวงกลมของ CORE และอัตราการไม่เป็นวงกลมของ CLAD ซึ่งอัตราการไม่เป็นวงกลมทั้งสอง กำหนดจากผลต่างของเส้นผ่านศูนย์กลางค่าสูงสุดกับเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำสุดแล้วหารด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางมาตรฐาน ใช้เป็น PARAMETER ที่สำคัญในการประเมินค่าการสูญเสียของการเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง) อัตราความคลาดเคลื่อนของจุดศูนย์กลางเนื่องจากในการผลิตเส้นใยแสงนั้น จุดศูนย์กลางของเส้นรอบวงของ CORE กับ จุดศูนย์กลางของเส้นรอบวงของ CLAD ของเส้นใยแสงไม่ได้อยู่จุดเดียวกัน กล่าวคือ เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นนั่นเอง อัตราความคลาดเคลื่อนจุดศูนย์กลางนี้กำหนดจากอัตราส่วนของระยะระหว่างจุดศูนย์กลางกับเส้นผ่านศูนย์กลางมาตรฐาน CORE ใช้เป็น PARAMETER สำคัญในการประเมินค่าการสูญเสียของการต่อเชื่อม

### 3.2.3 ตัวอย่างที่เป็นตัวเลขของ PARAMETER ต่าง ๆ

ก) ตัวกลางที่ 1 เป็นน้ำ มีค่าดัชนีการหักเห  $n_1 = 1.3$

ตัวกลางที่ 2 เป็นอากาศ มีค่าดัชนีการหักเห  $n_2 = 1.0$  การสะท้อนกลับหมดของแสงที่เกิดขึ้นเฉพาะเมื่อแสงเดินทางจากน้ำ ซึ่งมีค่าดัชนีการหักเหสูงไปยังอากาศที่มีค่าดัชนีการหักเหต่ำ ในกรณี มุมวิกฤติ  $\theta_c$  มีค่าเท่ากับ 50.3 องศา (หรือ 0.88 เรเดียน) นอกจากนั้นขนาดของแสงสะท้อนกลับและแสงที่ทะลุผ่านในกรณีที่แสงจากน้ำไปยังอากาศเดินทางในลักษณะตั้งฉากกับผิวน้ำนั้น จะแสดงค่าด้วยสัมประสิทธิ์กำลังการส่งผ่าน T และสัมประสิทธิ์กำลังสะท้อนกลับ R ซึ่ง  $T = 0.983$  และ  $R = 0.017$  นั่นคือ 1.7% ของแสงที่ตกกระทบที่ถูกสะท้อนกลับ

ข) ตัวกลางที่ 1 เป็นอากาศ มีค่าดัชนีการหักเห  $n_1 = 1.0$

ตัวกลางที่ 2 เป็นเส้นใยแสง มีค่าดัชนีการหักเหของ CORE

$n_2 = 1.475$  ค่า อัตราผลต่างของค่าดัชนีการหักเห = 1 %

ในกรณีนี้เมื่อ แสงจากอากาศไปตกกระทบที่ด้านปลายของเส้นใยแสงในลักษณะตั้งฉากกับด้านปลาย ของเส้นใยแสง จะได้

$$T = 0.963, R = 0.037$$

นั่นคือประมาณ 4 % ของแสงจะสะท้อนกลับมาจากผิวนอกของเส้นใยแสง ส่วนที่เหลืออีก 96% จะเข้าไปในเส้นใยแสง การสูญเสียอันเนื่องมาจากการสะท้อนกลับนี้เรียกว่า COUPLING LOSS ปกติแสดงค่าเป็น dB ดังนั้นกรณีนี้ ที่ COUPLING LOSS มีค่าเท่ากับ 0.2 dB

อันดับต่อไป มุมรับแสง  $2\theta_{max}$  โดยการใช้สมการ (17) จะได้  $2\theta_{max} = 0.42 \text{ Rad} = 23.9$  องศา ในกรณีนี้หาค่า NUMERICAL APERTURE (NA) = 0.21

ค) ตัวกลางที่ 1 เป็น CORE ของเส้นใยแสง มีค่าดัชนีการหักเห  $n_1 = 1.475$

ตัวกลางที่ 2 เป็น CLAD ของเส้นใยแสงมีค่าดัชนีการหักเห  $n_2 = 1.46$  อัตราส่วนผลต่างของค่าดัชนีการหักเห = 1 % เนื่องจาก CORE ไปตกกระทบที่ CLAD มุมวิกฤติของการสะท้อนกลับจะขึ้นอยู่กับอัตราผลต่างของค่าดัชนีการหักเหเท่านั้น (โปรดดูสมการ 15 ประกอบ) เมื่อคำนวณค่า T จะได้เท่ากับศูนย์และค่า R = 1 แสดงว่า แสงที่ตกกระทบนั้นสะท้อนกลับหมด และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### อุปกรณ์แสง

#### 4.1 อุปกรณ์กำเนิดแสง

ในการสื่อสารเส้นใยแสงอุปกรณ์กำเนิดแสงทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งเกี่ยวกับอุปกรณ์กำหนดแสงนี้ถ้ารวมถึงอุปกรณ์กำเนิดแสงที่ได้พัฒนาขึ้นมาโดยไม่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารเส้นใยแสงแล้วมีหลายชนิดแต่ว่านับตั้งแต่การประสบความสำเร็จของ SEMICONDUCTOR LASER ที่ทำงานแบบต่อเนื่อง (CONTINUOUS OSCILLATION) ได้ดีในอุณหภูมิห้องปกติแล้วทำให้เป็นที่คาดหวังกันอย่างมากว่าจะเป็นตัวกำเนิดแสงที่ใช้ในการสื่อสารเส้นใยแสง

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการทำงานของอุปกรณ์กำเนิดแสงไปจนถึงอุปกรณ์กำเนิดแสงที่ใช้ในงานจริงโดยเฉพาะอย่างยิ่งจะอธิบายเน้นเกี่ยวกับอุปกรณ์กำเนิดแสงที่เป็น SEMICONDUCTOR

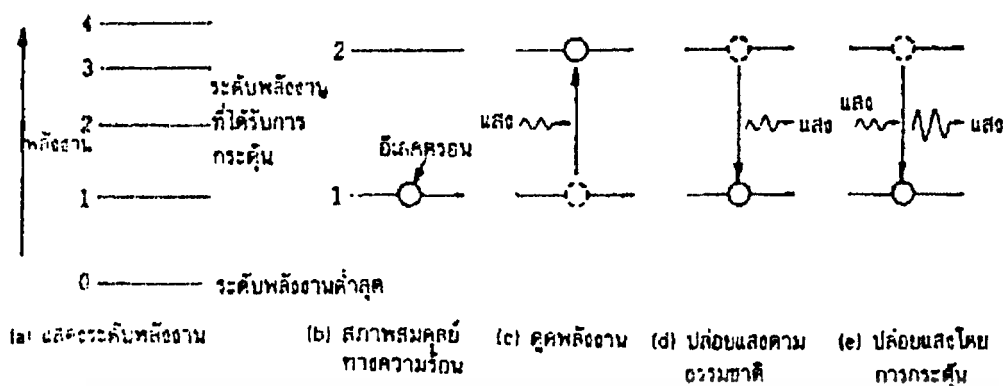
##### 4.1.1 การทำงานของการปล่อยแสง

LED และ SEMICONDUCTOR LASER ซึ่งเป็นตัวกำเนิดแสงที่ใช้ในการสื่อสารเส้นใยแสงนั้นทำงานอย่างไรถึงได้ปล่อยแสงออกมาในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึงหลักการพื้นฐานของการปล่อยแสงและหลักการการทำงานของ LED, LD และอุปกรณ์ปล่อยแสงที่กล่าวถึงนี้ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงจากแสงที่มองเห็นด้วยตา (VISIBLE LIGHT) ไปจนถึงช่วง NEAR INFRARED

สำหรับอุปกรณ์กำเนิดแสงนั้นจะต้องทำให้มีประสิทธิภาพการปล่อยแสงสูงดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงการทำงานของการทำงานของการปล่อยแสงและการทำงานที่ไม่ปล่อยแสง(การทำงานที่ให้พลังงานอย่างอื่นที่นอกเหนือจากแสงได้แก่ความร้อน)

(1) หลักการปล่อยแสงของสารกึ่งตัวนำอันดับต่อไปจะพิจารณาเกี่ยวกับปรากฏการปล่อยแสงของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งจะรวมถึงอุปกรณ์กำเนิดแสง LED, LD ที่ใช้กันทั่วไปในฐานะที่เป็นตัวกำเนิดแสงสำหรับการสื่อสารที่จะกล่าวถึงในหัวข้อ 4.2 ด้วยหลักการการทำงานของมันจะมีหลักการพื้นฐานเหมือนกันกับที่ได้กล่าวมาแล้ว

ก) ENERGY BAND ในสารกึ่งตัวนำนั้นอะตอมจะกระจายอยู่อย่างมีระเบียบและจับกันเป็นลักษณะ

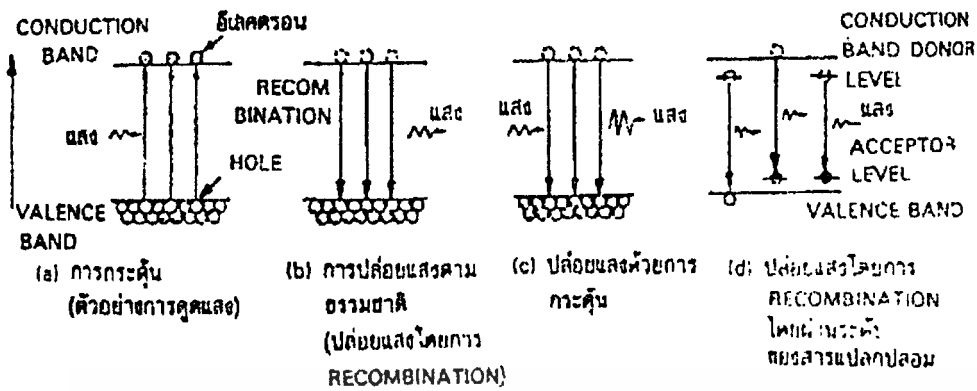


รูปที่ 4.1 แสดงระดับพลังงานและขั้นตอนการถ่ายเทพลังงาน

LATTICE อิเล็กตรอนที่มีอยู่ในอะตอมของแต่ละ LATTICE จะมีแชนไปจับกับอะตอมที่อยู่ใกล้ๆ และจะอยู่ตรงกึ่งกลางระหว่างอะตอมทั้งสอง ดังนั้นจะได้รับผลจากอะตอมที่อยู่ใกล้และสภาพของอิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานจะแตกต่างกับระดับพลังงานในตอนที่เป็นอะตอมอิสระดังแสดงในรูปที่ 4.2 กล่าวคือจะมีลักษณะกว้างจึงเรียกว่า ENERGY BAND พลังงานทางด้านต่ำเรียกว่า VALENCE BAND และพลังงานทางด้านสูงเรียกว่า CONDUCTION BAND และระหว่าง VALENCE BAND กับ CONDUCTION BAND จะมีช่วงระยะที่ไม่มีอิเล็กตรอนอยู่เลย เรียกว่า BAND GAP หรือ ENERGY GAP

$$h\nu = E_2 - E_1 \quad (\text{ev}) \quad (1)$$

ข) สารกึ่งตัวนำแบบ N-TYPE และ P-TYPE ที่ VALENCE BAND นั้นจะเหมือนกับกรณีของอะตอมอิสระกล่าวคือมีอิเล็กตรอนจำนวนมากจกกันอยู่ส่วนที่ CONDUCTION BAND นั้น เกือบไม่มีอิเล็กตรอนอยู่เลย สารกึ่งตัวนำที่มีสภาพเช่นนี้เรียกว่า สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์แต่ถ้าอะตอมที่มีอิเล็กตรอนมากกว่าปกติอยู่ 1 ตัวเข้าไปไว้ใน LATTICE ของสารกึ่งตัวนำนี้ อิเล็กตรอนส่วนเกินนี้เป็นอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ไปในสารกึ่งตัวนำได้อย่างอิสระและจะไปอยู่ใน CONDUCTION BAND ดังนั้นถ้าเอาอะตอมชนิดนี้จำนวนมากใส่เข้าไปในสารกึ่งตัวนำจะทำให้จำนวนของอิเล็กตรอนใน CONDUCTION BAND มีมาก เรียกสารกึ่งตัวนำชนิดนี้ว่า N-TYPE



รูปที่ 4.2 แสดงขั้นตอนการถ่ายเทพลังงานในสารกึ่งตัวนำ

ในทางกลับกัน ถ้าใส่อะตอมที่มีอิเล็กตรอนขาดไป 1 ตัวจะทำให้เกิดสภาพอิเล็กตรอนว่างในแขนเกาะของ LATTICE การที่เกิดอิเล็กตรอนว่างนี้เรียกว่า HOLE(รู) และจะเคลื่อนที่ไปในสารกึ่งตัวนำได้เช่นเดียวกับอิเล็กตรอน และอยู่ใน VALENCE BAND ดังนั้น ถ้านำอะตอมนี้จำนวนมากใส่เข้าไปในสารกึ่งตัวนำจะทำให้ VALENCE BAND มี HOLE จำนวนมากสารกึ่งตัวนำชนิดนี้เรียกว่า P-TYPE และอะตอมที่ใส่เข้าไปเรียกว่า ACCEPTOR

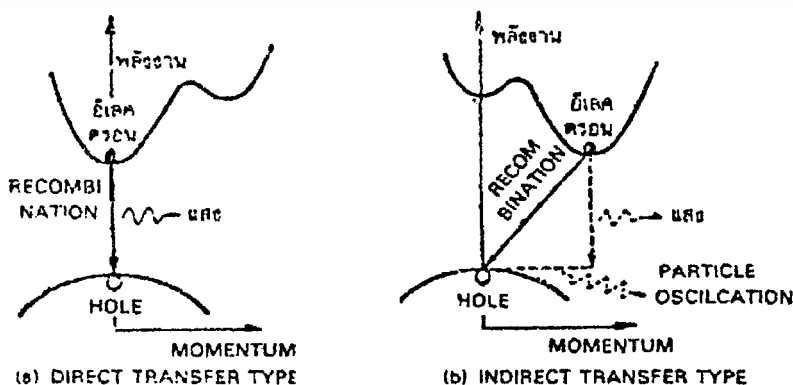
ค) การ RECOMBINATION และการปล่อยแสงเมื่อทำการกระตุ้นสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ หรือแบบ N-TYPE,P-TYPE อย่งไรอย่างหนึ่งด้วยลักษณะเดียวกันคือทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนไปอยู่ที่ CONDUCTION BAND ดังรูปที่ 4.1 (c) และที่ VALENCE BAND จะเกิด HOLE ขึ้นมีจำนวนเท่ากับอิเล็กตรอนที่หลุดออกไป ดังรูปที่ 4.2(a) สำหรับขบวนการปล่อยแสงตามธรรมชาติ นั้นอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นขึ้นไปจะตกลงมาที่ HOLE ใน VALENCE BAND และรวมตัวกันใหม่เรียกว่า RECOMBINATION ในขั้นตอนนี้อิเล็กตรอนจะปล่อยแสงออกมาตามธรรมชาติดังรูปที่ 4.2(b) พลังงาน QUANTUM ของการปล่อยแสงจะเท่ากับ BAND GAP ENERGY( $E_g$ ) แต่เนื่องจากมีความกว้างของสภาพพลังงานของอิเล็กตรอนและ HOLE ที่อยู่ใน CONDUCTION BAND และ VALENCE BAND ทำให้แสงที่ปล่อยออกมามีความกว้างของ SPECTRUM ค่าหนึ่งซึ่งความกว้างนี้มีค่าหลายสิบนานอมิเตอร์นอกจากนั้นยังมีการปล่อยแสงดังแสดงในรูปที่ 4.2 (d) กล่าวคืออิเล็กตรอนและ HOLE เกิดรวมตัวกันในระดับ DONOR และ ACCEPTOR และปล่อยแสงออกมาสำหรับการทำให้ปล่อยแสงออกมาแบบกระตุ้นให้ปล่อยแสงโดยการป้อนแสงเข้าไปเหมือนอย่างรูปที่ 4.1 (e) ก็สามารทำได้เช่นกันดังแสดงในรูปที่ 4.2 (c) ซึ่งการกระตุ้นให้ปล่อยแสงนี้เป็นการปล่อยแสงของเลเซอร์และวิธีการกระตุ้นนั้นมีหลายวิธีได้แก่การกระตุ้นด้วยแสงการกระตุ้น

ด้วย ELECTRON RAY โดยการให้อิตรารังแก ELECTRON RAY และการกระตุ้นด้วยการ INJECTION

ง) สารกึ่งตัวนำแบบ DIRECT-TRANSFER ปรากฏการณ์การปล่อยแสง โดยการกระตุ้นนี้ส่วนใหญ่จะได้อาจการนำเอาสารมากกว่า 1 ชนิดประกอบกันเช่น เออะตอมของสารในกลุ่ม 3 กับกลุ่ม 5 ของตาราง PERIODIC มาผสมกันเป็นสารประกอบสารกึ่งตัวนำกลุ่ม 3-5 สารประกอบกึ่งตัวนำกลุ่ม 2-6 ที่ได้จากการนำสารกลุ่ม 2 กับกลุ่ม 6 มาผสมกันสารประกอบกึ่งตัวนำกลุ่ม 4-4 ที่ได้จากการนำสารกลุ่ม 4 กับกลุ่ม 4 มาผสมกันเป็นต้นสาเหตุของการนำสารประกอบกันเช่นนี้ก็เพราะต้องการให้เกิดการ TRANSFER ได้ง่ายในขณะที่ RECOMBINATION โดยที่ไม่ต้องทำให้ MOMENTUM ของอิเล็กตรอนเปลี่ยนแปลง (ดูรูปที่ 4.3(a) การ TRANSFER เช่นนี้เรียกว่า DIRECT TRANSFER และสารกึ่งตัวนำที่ทำให้เกิด DIRECT TRANSFER เรียกว่าสารกึ่งตัวนำแบบ DIRECT TRANSFER TYPE คือเป็นสารกึ่งตัวนำที่สำคัญที่สุดในกรณีทำให้ปล่อยแสงออกมา

ในปัจจุบันสารกึ่งตัวนำแบบ DIRECT TRANSFER ที่นิยมใช้เป็นอุปกรณ์กำเนิดแสงกันมากที่สุดได้แก่ สารกึ่งตัวนำกลุ่ม 3-5 ซึ่งมี 3 ชนิด ดังต่อไปนี้

- (1) สารกึ่งตัวนำกลุ่ม 3-5 ชนิด 2 สารผสมกันเกิดจากการนำอะตอมของสารของกลุ่ม 3 จำนวน 1 สารผสมกับอะตอมของสารกลุ่มที่ 5 หนึ่งสาร เช่น GaAs
- (2) สารกึ่งตัวนำกลุ่ม 3-5 ชนิด 3 สารผสมกันเกิดจากการนำอะตอมของสารของกลุ่ม 3 จำนวน 2 สารผสมกับอะตอมของสารของกลุ่ม 5 หนึ่งสาร เช่น  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  หรือนำสารของกลุ่ม 3 มา 1 สารผสมกับสารของกลุ่ม 5, สองสาร เช่น GaAs 1-x Px
- (3) สารกึ่งตัวนำกลุ่ม 3-5 ชนิด 4 สารผสมกันเกิดจากการนำอะตอม ของสารของกลุ่ม 3 จำนวน 2 สาร ผสมกับอะตอมของสารของกลุ่ม 5 จำนวน 2 สาร เช่น  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเพื่อจุดประสงค์เฉพาะเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.3 แสดงการถ่ายเทพลังงานพื้นฐาน 2 ชนิด ในสารกึ่งตัวนำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้ได้กล่าวถึงสารกึ่งตัวนำ กลุ่ม 3-5 ในทำนองเดียวกันสารกึ่งตัวนำ กลุ่ม 2-6 และสารกึ่งตัวนำกลุ่ม 4-4 ก็มี 3 ชนิดเช่นกันสำหรับชนิด 3 สารผสมกันและชนิด 4 สารผสมกันเมื่อทำการเปลี่ยนค่า  $x, y$  ซึ่งแสดงค่าส่วนประกอบของแต่ละอะตอมของสารจะทำให้ LATTICE CONSTANT (ระยะทางระหว่างอะตอมที่เกาะกัน) เปลี่ยนเป็นผลให้ BAND GAP และความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาเปลี่ยนนอกจากนั้นช่วงค่า  $x, y$  ที่ทำให้เกิด DIRECT TRANSFER ของสารแต่ละชนิดต่างมีค่าจำกัดตัวอย่างของชนิดของสารกึ่งตัวนำที่นำมาผสมกันและค่าความยาวคลื่นแสงของ LASER ที่ปล่อยแสงออกมาแสดงตาราง 2 สารกึ่งตัวนำกลุ่ม 3-5 นั้น มี BAND GAP แคบ ส่วนใหญ่จะปล่อยแสง NEAR INFRARED หรือแสงสีแดงออกมาสารกึ่งตัวนำกลุ่ม 2-6 นั้นมี BAND GAP กว้างจึงปล่อยแสง สีน้ำเงิน, สีเขียว, สีแดง ซึ่งมองเห็นด้วยตาออกมาและสารกึ่งตัวนำกลุ่ม 4-4 มี BAND GAP แคบมาก ปล่อยแสง FAR INFRARED ออกมา

จ) สารกึ่งตัวนำแบบ INDIRECT TRANSFER หนึ่งในสารกึ่งตัวนำกลุ่ม 4 ได้แก่ Si, Ge ซึ่งใช้ผลิตทรานซิสเตอร์, IC นั้นไม่ปล่อยแสงนั้นคือการที่อิเล็กตรอน TRANSFER นั้นจำเป็นต้องทำให้ MOMENTUM เปลี่ยนนั่นคือ TRANSFER ยาก (โปรดดูรูปที่ 4.3(b) ประกอบ) การ TRANSFER เช่นนี้เรียกว่า INDIRECT TRANSFER และสารกึ่งตัวนำอย่างนี้เรียกว่าสารกึ่งตัวนำแบบ INDIRECT TRANSFER แม้สารกึ่งตัวนำในกลุ่ม 3-5 ก็ตาม GaP เป็นแบบ INDIRECT TRANSFER และเปลี่ยนแสงยาก แต่เมื่อใส่สาร IMPURITY เช่น N, Zn-O เข้าไปแล้วจะปล่อยแสงสีเขียว สีแดงออกมา ซึ่งจะเหมือนกับรูปที่ 4.2 (d) กล่าวคือเป็นการปล่อยแสงโดยผ่านระดับพลังงานของ IMPURITY สำหรับสารกึ่งตัวนำกลุ่ม 2-6 นั้นเนื่องจากทำให้เป็นผลึกที่สววยงามได้ยาก ดังนั้นส่วนใหญ่จะเป็นการปล่อยแสงโดยผ่านระดับพลังงานของ IMPURITY สำหรับสารกึ่งตัวนำแบบ DIRECT TRANSFER เมื่อ LATTICE จับกันอย่างไม่เป็นระเบียบหรือ LATTICE ไม่สมบูรณ์และสาร IMPURITY เป็นสาเหตุให้เกิดการ RECOMBINATION ที่ไม่ปล่อยแสงออกมา ถ้าหากความไม่สมบูรณ์เหล่านี้มีมากจะทำให้ปล่อยแสงยาก ดังนั้นถ้าต้องการสารกึ่งตัวนำที่มีประสิทธิภาพการปล่อยแสงสูง จะต้องทำให้มีความบริสุทธิ์สูงและทำให้ได้ผลึกที่มีความไม่สมบูรณ์ของ LATTICE น้อย ซึ่งผลจากการพยายามนี้ทำให้ได้ GaAs, Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As ที่มีประสิทธิภาพการปล่อยแสงสูงเกือบ 100%

## (2) หลักการของ LASER

ก) การกระจายของอิเล็กตรอนแบบปกติในที่นี้จะกล่าวถึงหลักการของ LASER ซึ่งใช้วิธีการกระตุ้นให้ปล่อยแสงสมมุติให้มีอะตอมของก๊าซชนิดหนึ่งซึ่งมีอิเล็กตรอนจำนวนมากโดยที่อิเล็กตรอนจำนวนหนึ่งอยู่ที่ระดับพลังงาน 1 และอิเล็กตรอนส่วนที่เหลืออยู่ในระดับพลังงาน 2 ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ให้  $n_1, n_2$  เป็นจำนวนของอิเล็กตรอนในระดับพลังงาน 1 และ 2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

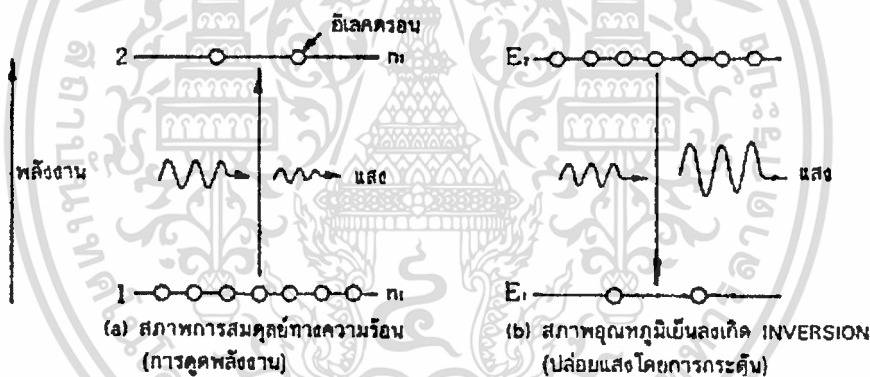
ในสภาพที่ไม่มีการให้พลังงานจากภายนอก(ในสภาพ THERMAL EQUILIBRIUM) สัดส่วนของ  $n_1$  และ  $n_2$  จะกำหนดจากผลต่างของพลังงาน  $E_2-E_1$  และอุณหภูมิ ดังแสดงด้วยสมการการกระจาย BOLTZMAN

$$n_2 / n_1 \propto \exp[-(E_2 - E_1) / kT] \quad (3)$$

ในที่นี้  $k$  เป็น BOLTZMAN CONSTANT มีค่า  $1.38 \cdot 10^{-27}$  Joule/K

$T$  เป็นอุณหภูมิแสดงด้วยอุณหภูมิสัมบูรณ์(K) โดยที่  $-273$  C เท่ากับ  $0$  K

จากสมการข้างบนจะเห็นว่า  $n_2 < n_1$  นั่นคือ อิเล็กตรอนที่ระดับพลังงานสูงจะมีค่าน้อยที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า ในสภาพธรรมชาติ พลังงานต่ำจะมีค่าคงที่มากกว่านั่นเอง จากที่กล่าวมาแล้ว ในหัวข้อที่ผ่านมาว่า การกระตุ้นให้ปล่อยแสงจะตรงข้ามกับการดูดแสง นั่นคือ อัตราในการกระตุ้นให้ปล่อยแสงกับการดูดแสงเมื่อเทียบกับแสงที่เข้ามาจะมีค่าเท่ากัน ดังนั้นในสภาพ  $n_2 < n_1$  เมื่อมีแสงเข้ามาจะมากกว่าขั้นตอนการกระตุ้นให้ปล่อยแสง นั่นคือแสงที่ป้อนเข้ามาจะถูกดูด ทำให้ความเข้มลดลง



รูปที่ 4.4 แสดงการกระจายของอิเล็กตรอนระหว่างระดับพลังงาน 2 ระดับ

ข) การกระจายของอิเล็กตรอนแบบผิดปกติ ถ้าหากทำการกระตุ้นให้  $n_1 < n_2$  ได้จะเกิดสภาพตรงกันข้ามกับข้อ ก) นั่นคือการกระตุ้นให้ปล่อยแสงจะมีมากทำให้แสงที่เข้ามามีความเข้มเพิ่มขึ้น เกิดปรากฏการณ์การขยายแสง (โปรดดูรูปที่ 4.4(b) ในกรณี สมการ (3) นั้น  $T$  จะต้อง  $< 0$  ดังนั้นสภาพอย่างนี้เรียกว่า NEGATIVE TEMPERATURE CONDITION เนื่องจากการกระจายของอิเล็กตรอนตรงกันข้ามกับสภาพ THERMAL EQUILIBRIUM จึงเรียกว่า INVERSION CONDITION ขนาดของการขยายแสงที่กำหนดโดยอัตราส่วนของ  $n_1$  กับ  $n_2$  เรียกว่า GAIN ถ้าเกิดการขยายแสงจะสามารถทำให้เกิด OSCILLATION ของแสงได้โดยการสร้างวงจร RESONATOR ของแสง ซึ่งมีหลักการเหมือนกันกับการ OSCILLATION ของวงจรไฟฟ้าทุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประการ การทำเช่นนี้คือ LASER คำว่า LASER ย่อมาจาก LIGHT AMPLIFICATION BY STIMULATED EMISSION OF RADIATION

ค) วงจร RESONATOR ของแสงวงจร RESONATOR ของแสงแสดงดังรูปที่ 4.5(a) ประกอบด้วยกระจกเงาหนึ่งคู่วางหันหน้าเข้าหากัน (FEBRI-PERO RESONATOR) แสงที่เกิดการขยายเมื่อมีแสงที่ปล่อยออกมาตามธรรมชาติป้อนเข้ามาจะกระทบกับกระจกเงาและสะท้อนกลับ แล้วถูกขยาย จากนั้นจะสะท้อนกลับอีกจากกระจกเงาทางด้านตรงกันข้าม ในกรณีนี้จะมีแสงบางส่วนที่ทะลุผ่านกระจกเงาสะท้อนและเกิดเบี่ยงเบน นอกจากนั้นยังมีแสงที่เกิดแตกกระจาย หรือถูกดูดภายใน RESONATOR บ้างก็มี แสงเหล่านี้จะเป็นแสงที่สูญเสียไป เมื่อพิจารณาถึงแสงจากจุดๆ หนึ่ง ใน RESONATOR เดินทางในทิศทางของ RESONATOR แสงนั้นจะได้รับการขยายพร้อมทั้งการสูญเสียต่าง ๆ เหล่านี้ด้วยและสะท้อนกับมายังจุดเดิม ถ้าหาก GAIN มีค่าน้อยกว่าการสูญเสีย ความเข้มของแสงที่กลับมาที่เดิมจะมีความเข้มน้อยกว่าตอนที่ออกเดินทางทำให้ไม่เกิด LASER OSCILLATION แต่ถ้าทำการกระตุ้นให้มากและทำให้  $n > 1$  นั่นคือเพิ่ม GAIN ให้มากขึ้น จนกระทั่งถึงค่าๆหนึ่งที่ทำให้ GAIN กับการสูญเสียสมดุลกันจะทำให้ความเข้มของแสงที่กลับมาที่เดิมเท่ากับตอนที่ออกเดินทาง (โปรดดูรูปที่ 4.5(b)) ในกรณีนี้การ OSCILLATION จะเริ่มขึ้น สภาพนี้เรียกว่า THRESHOLD ถ้ากำหนดให้สัมประสิทธิ์การขยาย (GAIN) เป็น  $g$ , สัมประสิทธิ์การสูญเสียเป็นความยาวของ RESONATOR เป็นอัตราส่วนสะท้อนกลับของกระจกเงา เป็น  $R$  จะได้ว่า

$$\exp^{(g-\alpha)(L-x)} \cdot R \cdot \exp^{(g-\alpha)L} \cdot R \cdot \exp^{(g-\alpha)x} = 1$$

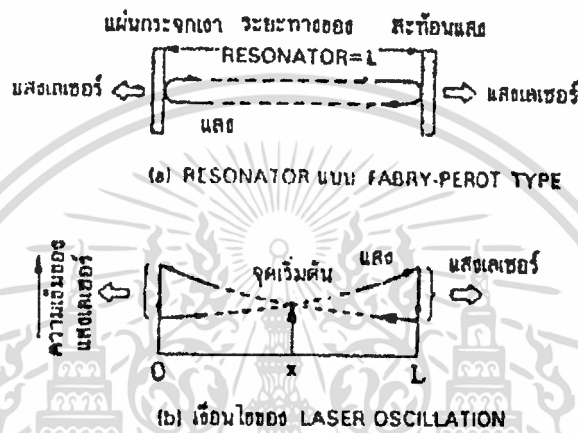
ดังนั้น  $g = + 1/L \ln 1/R$  (4)

ถ้าการทำการกระตุ้นให้มากขึ้นไปอีก จะทำให้ความเข้มของแสง LASER เพิ่มมากขึ้น แสง LASER ที่เราสามารถมองเห็นได้นั้นจะเป็นแสงที่ทะลุผ่านกระจกเงาของ RESONATOR ออกมาข้างนอกสำหรับ H e -Ne GAS LASER ซึ่งปล่อยแสงสีแดง (ความยาวคลื่น 632.8 nm) นั้นมี GAIN ต่ำมาก เมื่อเพิ่มความยาวจากหลายสิบเซนติเมตรไปจนถึงประมาณ 1 เมตร เพื่อเพิ่ม GAIN นั้น ในขณะที่เดียวกันเปอร์เซ็นต์การสะท้อนกลับก็จะเพิ่มขึ้นสูงขึ้นเป็น 98% ทำให้แสงออกมาเพียง 2% เท่านั้น ไม่สามารถทำให้ได้แสงที่มีกำลังสูงๆ ได้

ง) การ OSCILLATION ของ SEMICONDUCTOR LASER หลักการ LASER OSCILLATOR ที่กล่าวในหัวข้อที่แล้วสามารถ นำมาใช้กับ SEMICONDUCTOR ได้ นั่นคือโดยการกระตุ้นทำให้จำนวนอิเล็กตรอนของ CONDUCTION BAND เพิ่มขึ้น ทำให้เกิด INVERSION DISTRIBUTION จะได้ GAIN ออกมา ในกรณีนี้อิเล็กตรอนและ HOLE กระจายอยู่ใน CONDUCTION BAND, VALENCE BAND เป็นช่วงพลังงานกว้างดังรูปที่ 4.6 ให้ผลต่างของ

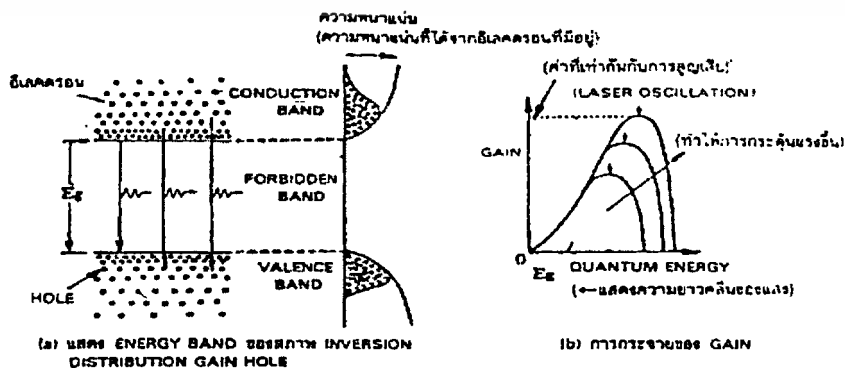
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงาน (พลังงาน QUANTUM ของแสง) มีค่ากว้างด้วย ในกรณีที่แสงเกิด OSCILLATION นั้น จะเกิด OSCILLATION ที่ความยาวคลื่นที่มีพลังงาน QUANTUM ของแสง ซึ่งมี GAIN สูงสุด (โปรคดูรูป (b) ประกอบ) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้อิเล็กตรอนและ HOLE กระจายอยู่ในช่วง พลังงานกว้างมากขึ้น ดังนั้นจะเป็นผลให้ความกว้างของ GAIN กว้างมากขึ้น เป็นผลให้ค่าสูงสุด ของการขยายต่ำลงดังแสดงด้วยกราฟของรูปที่ 4.6(b) ทำให้เกิด LASER



รูปที่ 4.5 แสดงโครงสร้างพื้นฐานและหลักการ OSCILLATION ของ LASER

OSCILLATION ยกเนื่องจาก SEMICONDUCTOR มีอิเล็กตรอนอยู่หนาแน่นมากกว่า GAS LASER จึงทำให้ได้ GAIN สูงกว่า ดังนั้นจึงสามารถทำให้เกิด OSCILLATION ได้ที่เปอร์เซ็นต์ การสะท้อนกลับ 30% และความยาวของ RESONATOR ประมาณ 200-300 m ขนาดความยาว เท่านี้มีขนาดเล็กมากจนแทบจะมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า แต่ทว่าสามารถทำให้ได้แสงออกมาแรงเท่า กับ He-Ne LASER ที่มีความยาวของ RESONATOR 1 เมตรได้ อนึ่ง ระบายสะท้อนกลับของ SEMICONDUCTION LASER นั้น ได้จากการเจาะผลึก SEMICONDUCTOR เพื่อเปิดเป็นช่อง



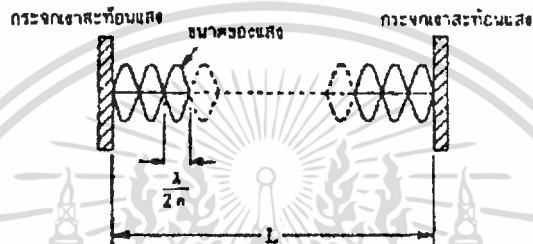
รูปที่ 4.6 แสดง INVERSION DISTRIBUTION และ GAIN DISTRIBUTION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับควรใช้เฉพาะเพื่อจุดประสงค์ของหน่วยงานไปลงญาติให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ของ SEMICONDUCTOR LASER

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ) OSCILLATION MODE ในสภาพของ LASER OSCILLATION นั้นจะมี STANDING WAVE เกิดขึ้นระหว่างกระจกเงาสะท้อนทั้งสองดังรูปที่ 4.7 ภายใน RESONATOR นี้ จากรูปจะเห็นได้ว่าเป็นการทำให้เกิด STANDING WAVE ที่มีลักษณะเป็นจำนวนเท่าเลขเต็ม หน่วย (m เท่า) ของ  $\lambda/2$  (ครึ่ง CYCLE) และ STANDING WAVE นี้เรียกว่า LONGITUDINAL MODE หรือ AXIAL MODE ถ้าสมมุติว่าค่าดัชนีการหักเหของตัวกลางใน RESONATOR มีค่าเป็น  $n$  จะทำให้ค่าความยาวคลื่นแสงในตัวกลางมีค่าเป็น  $1/n$  ของความยาวคลื่นในอากาศ นั่นคือ ความยาวคลื่นใน RESONATOR จะสั้นลงเป็น  $\lambda/n$



รูปที่ 4.7 แสดง AXIAL MODE ของเลเซอร์

และจะได้ความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$(m) \cdot \lambda/2n = L \quad (5)$$

ในที่นี้  $m$  เป็นจำนวนครึ่งไซเคิลของ คลื่นภายใน RESONATOR เรียกว่า MODE NUMBER กรณีของ SEMICONDUCTOR นั้น ค่าของ  $m$  มีค่าประมาณ 2,000 จากรูปข้างบนจะเห็นได้ว่า กรณีที่มีจำนวนครึ่งไซเคิล  $m$  อัน(เรียกว่า MODE ORDER  $m$ ) กับกรณีที่มีจำนวนครึ่งไซเคิล  $m+1$  อัน (เรียกว่า MODE ORDER  $m+1$ ) อยู่ใน RESONATOR นั้น ผลต่างของความยาวคลื่นระหว่าง MODE ทั้งสอง ( ) มีค่าน้อยกว่าค่าความยาวคลื่นมากนั่นคือ  $<$  จากสมการ (5) นำ ( + ) และ  $(m+1)$  ไปแทนที่ และ  $m$  ของสมการ (5) และเพิ่มเงื่อนไข  $<$  เข้าไปจะได้สมการผลต่างความยาวคลื่น (  $\lambda$  ) ระหว่าง MODE ORDER  $m$  กับ MODE ORDER  $m+1$  ดังต่อไปนี้

$$m = \lambda^2/2nL \quad (6)$$

นี้เรียกว่า LONGITUDINAL MODE SPACE หรือ AXIAL MODE SPACE เช่นกรณีของ GaAs LASER, มีค่า 0.20.4 nm (โปรดดูรายละเอียดจากรูปที่ 3.12 ของหัวข้อ 1.2 ประกอบ)

ในทิศทางตามความยาวนั้นถ้าหากทำให้มีการกระจาย ของค่าดัชนีการหักเห หรือการกระจายของค่า GAIN อยู่ในแนวตั้งฉากกับทิศทางตามความยาวจะมี STANDING WAVE เกิดขึ้นใน

เอกสแนร์ตั้งฉากกับทิศทางตามความยาวด้วย STANDING WAVE ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า TRANSVERSAL MODE ค่าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODE เป็นการกระจายความเข้มของ แสงที่เกิดขึ้นบนระนาบสะท้อนกลับกรณีที่มีอง ระนาบสะท้อนกลับจากทิศทางที่แสง LASER ออกมาจึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า NEAR FIELD PATTERN (N.F.P)

(3) ชนิดของการกำเนิดแสงและคุณสมบัติ จากหลักการปล่อยแสงและหลักการของ LASER เท่าที่กล่าวมาแล้วสามารถแบ่งชนิดของการกำเนิดแสงได้เป็นพวกใหญ่ ๆ 3 พวก คือ

- การกำเนิดแสงจากก๊าซ
- การกำเนิดแสงจาก SOLID LASER
- การกำเนิดแสงจากอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

และอุปกรณ์กำเนิดแสงที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำนั้นยังแบ่งออกเป็น LED ที่ใช้การปล่อยแสงตามธรรมชาติกับ SEMICONDUCTOR LASER ที่ใช้การปล่อยแสงด้วยการกระตุ้น

ก) ก๊าซเลเซอร์และ SOLID LASER สำหรับเลเซอร์เหล่านี้เนื่องจากใช้การถ่ายเทระหว่างระดับพลังงานดังนั้นจึงมีความบริสุทธิ์ของค่าความยาวคลื่นสูงมาก เช่น HE-NE LASER ที่ปล่อยแสงสีแดงซึ่งมีความยาวคลื่น 632.8 nm, ARGON LASER ที่ปล่อยแสงสีน้ำเงินที่มีความยาวคลื่น 488 nm และ CO<sub>2</sub> LASER ที่ปล่อยแสงสีแดง เป็นต้น ส่วนตัวอย่างของ SOLID LASER ได้แก่ YAG LASER ที่ปล่อยแสง NEARINFRARED ที่ความยาวคลื่น 1.6 m และ GLASS LASER เป็นต้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ SEMICONDUCTOR LASER แล้วมีขยายใหญ่มากและกำลังแสงที่ปล่อยออกมามีค่าตั้งแต่หลาย mW ไปจนถึง 100 KW นำไปใช้งานด้านต่างๆ มากมายเช่นต้นกำเนิดแสงมาตรฐานต่าง ๆ อุปกรณ์วิเคราะห์ทาง LASER PRINTER อุปกรณ์ผลิตและอื่น ๆ

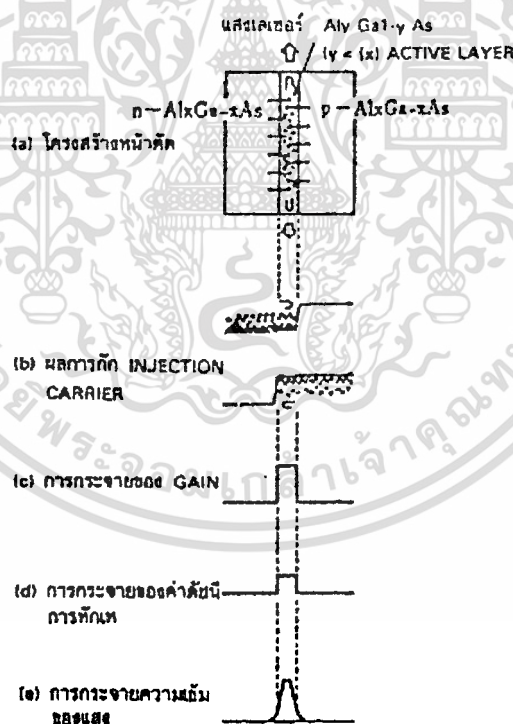
ข) LED (LIGHT EMITTING DIODE) แบ่งออกเป็นพวกใหญ่ ๆ ได้เป็น LED ที่มีความสว่างมากสำหรับใช้ในการสื่อสาร และ LED ที่ทำหน้าที่เป็น LAMP ที่ให้แสงสว่างที่ตามองเห็นได้ มีข้อดีคือมีขนาดเล็ก และทำงานด้วยแหล่งจ่ายไฟค่าน้อยประมาณ 2V, 10200 mA นอกจากนั้นอายุการใช้งานก็เช่นกันส่วนมากจะมีอายุการใช้งานนานมากตั้งแต่ 10<sup>8</sup> ~10<sup>7</sup> ชั่วโมง คำว่า LAMP นั้นใช้เป็น PILOT LAMP หรือ LAMP สำหรับแสดงซึ่งส่วนมากจะมีความเร็วในการตอบสนองต่ำ นอกจากนั้นยังใช้เป็น PHOTO COUPLER โดยการเอา LAMP หันเข้าหา PHOTO DIODE (อุปกรณ์รับแสง) และทำการเชื่อมต่อถึงกันด้วยแสงซึ่งนิยมใช้กันมากในอุปกรณ์ต่าง ๆ ส่วน LED ที่ใช้กับการสื่อสารซึ่งมีความสว่างมากนั้นจะได้กล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อ 12(2)

ค) SEMICONDUCTOR LASER ส่วนใหญ่จะเป็น SEMICONDUCTOR LASER ที่ใช้ P-N JUNCTION และทำการกระตุ้นด้วยการฉีดอิเล็กตรอน มีคุณสมบัติพิเศษคือ ขนาดเล็ก, น้ำหนักเบา, ความเร็วในการตอบสนองสูง และอื่น ๆ จึงนำไปใช้กับการสื่อสารเส้นใยแสงและ

การใช้งานอื่น ๆ ในปัจจุบันใช้ AlGaAs DOUBLE HETERO JUNCTION LASER ที่ปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่น 0.8 ~ 0.9  $\mu\text{m}$  กับการสื่อสารเส้นใยแสง, อุปกรณ์ค้นหาสิ่งกีดขวาง, อุปกรณ์วัดต่าง ๆ นอกจากนั้นใช้ InGaAsP DOUBLE HETERO JUNCTION LASER ที่ปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่น 1.3, 1.55  $\mu\text{m}$  กับการสื่อสารเส้นใยแสงระยะไกล และใช้ AlGaAs DOUBLE HETERO JUNCTION LASER ที่ปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่น 0.7  $\mu\text{m}$  กับ AUDIO DISK, VIDEO DISK ข้อเสียของ SEMICONDUCTOR LASER นี้ก็คือ ถ้าให้ปล่อยแสงอย่างต่อเนื่อง กำลังแสงที่ปล่อยออกมาจะมีค่าต่ำในระดับ mW ในกรณีที่ต้องการให้ปล่อยแสงที่มีกำลังสูงออกมานั้นต้องให้ทำงานปล่อยแสงออกมาเป็น PULSE เท่านั้น

(4) หลักการทำงานของ LED และ SEMICONDUCTOR LASER ในที่นี้จะอธิบายหลักการทำงานของ LED และ SEMICONDUCTOR LASER ที่ใช้เป็นต้นกำเนิดแสงสำหรับการสื่อสารใยแสง

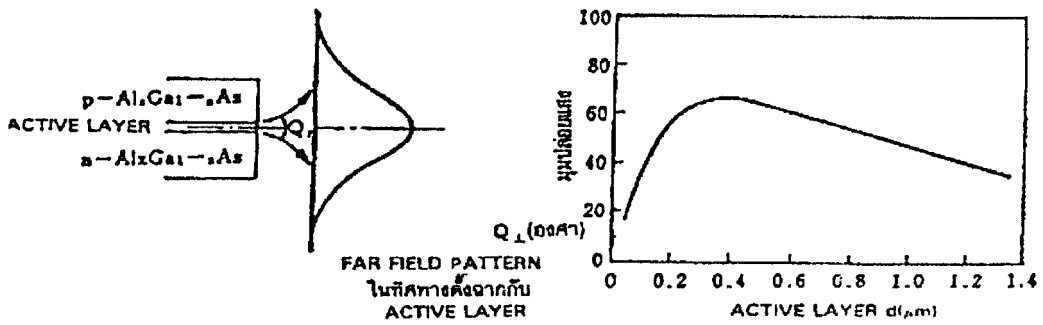
#### ก) โครงสร้างแบบ DOUBLE HETERO JUNCTION



รูปที่ 4.8 แสดงหลักการทำงานของ DOUBLE HETERO JUNCTION LASER

HETERO JUNCTION หมายถึงการนำสารต่างชนิดมาต่อกันในรูปที่ 4.8 แสดง AlGaAs DOUBLE HETERO JUNCTION LASER ที่ปล่อยแสงความยาวคลื่น 0.8  $\mu\text{m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงมุมปล่อยแสง

#### 4.1.2 อุปกรณ์กำหนดแสงที่ใช้กับการสื่อสารสำหรับอุปกรณ์กำเนิดแสง

อุปกรณ์กำหนดแสงที่ใช้กับการสื่อสารนั้นจะต้องมีความสว่างสูงและมีความเชื่อถือได้ในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึง LED และ SEMICONDUCTOR LASER ที่สำคัญที่ใช้เป็นต้นกำเนิดแสงสำหรับการสื่อสารและคุณสมบัติต่างๆ

(1) เส้นใยที่ต้องการของอุปกรณ์กำเนิดแสงที่ใช้กับการสื่อสาร

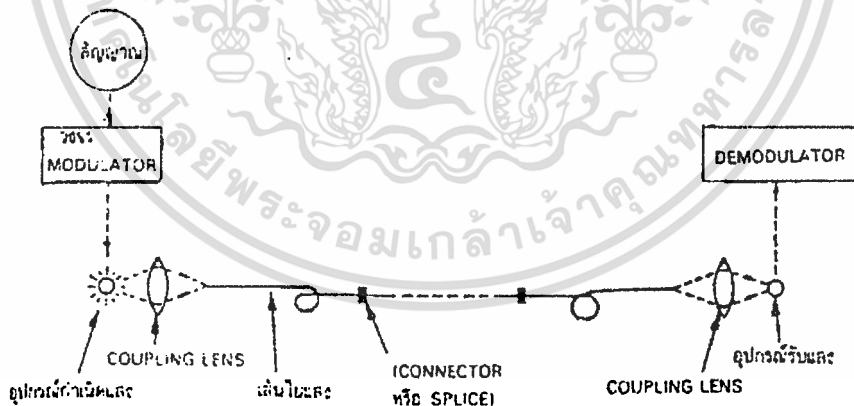
ก) กำลังแสงที่ปล่อยออกมาในการส่งแสงเป็นระยะไกลโดยไม่ต้องมี REPEATER ดังรูปที่ 4.10 นั้นควรจะต้องให้กำลังแสงที่ปล่อยออกมามีค่ามากๆในการบีบลำแสงที่ปล่อยจากอุปกรณ์กำเนิดแสงด้วย COUPLING LENS เพื่อป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงเส้นเล็กๆนั้นการป้อนแสงทั้งหมดเข้าไปในเส้นใยแสงเป็นเรื่องที่ยากมากในกรณีนี้จะเกิดการสูญเสียการ COUPLING แสงเข้าไปในเส้นใยแสงเรียก COUPLING LOSS, COUPLING LOSS นี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของต้นกำเนิดแสงเลนซ์และเส้นใยแสง ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวในหัวข้อ 13 แต่สำหรับกรณีของ LED จะมีค่าประมาณ 10-15 dB ส่วนกรณีของ SEMICONDUCTOR LASER ในปัจจุบันมีค่า 3-5 dB แสงที่สามารถป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงได้เรียกว่า OPTICAL FIBER INPUT และค่ากำลังแสงโดยทั่วไปนั้น กรณีของ LED มีค่าหลายสิบถึงหลายร้อยชนิดส่วนกรณีของ SEMICONDUCTOR LASER มีค่า 1-หลาย W ซึ่งมีค่าสูงกว่า LED ประมาณหนึ่งหลัก นอกจากนั้นแสงที่ออกจากเส้นใยแสงนำไปผ่านเลนซ์เช่นเดียวกับแสงที่ออกจากต้นกำเนิดแสงและไปยังอุปกรณ์รับแสงในกรณีนี้จะเกิด COUPLING LOSS เช่นกัน แต่ค่านี้เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีของต้นกำเนิดแสงแล้วมีค่าน้อยมาก ต่ำกว่า 1 dB และอุปกรณ์รับแสงจะทำหน้าที่เปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า, แล้วนำไปขยายและแยกเอาสัญญาณ ออกมาระดับรับแสงต่ำสุดที่สามารถแยกสัญญาณได้นั้นกำหนดจากประสิทธิภาพของวงจรไฟฟ้า, อุปกรณ์รับแสงและต้นกำเนิดแสง

ข) ความยาวคลื่นแสงของแสงที่ปล่อยออกมา

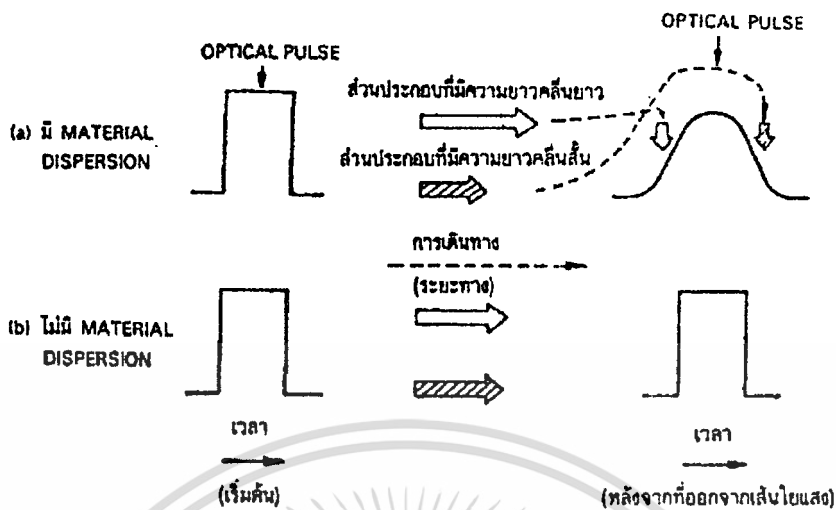
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) ความยาวคลื่นสั้นสำหรับอุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงนั้นต้องการให้ปล่อยแสงออกมาด้วยความยาวคลื่นที่ทำให้การสูญเสียในเส้นใยแสงมีค่าต่ำ สำหรับความยาวคลื่น 0.8 $\mu\text{m}$  ที่มีการสูญเสียในเส้นใยค่านั้นจะเป็นอุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงพวก Al Ga As ในย่านความยาวคลื่นนั้นมีอุปกรณ์รับแสงที่มีประสิทธิภาพสูง ที่ทำจาก Si ในย่านความยาวคลื่นนี้ MATERIAL DISPERSION มีค่ามาก นั่นคือ ถ้าหากค่าความยาวคลื่นต่างกันจะมีความเร็ว การเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสงต่างกัน ดังนั้น สำหรับต้นกำเนิดแสงที่ปล่อยแสงออกมามี SPECTRUM กว้างนั้นแม้จะปล่อยแสงออกมาเป็น PULSE แคบๆ ก็ตามส่วนที่มีความยาวคลื่นยาวจะเดินทางเร็วและส่วนที่มีความยาวคลื่นสั้นจะเดินทางช้าไปยังอุปกรณ์รับแสงทำให้เกิดการขยายกว้างออกของ PULSE ดังรูปที่ 4.11(a)

ดังนั้น สำหรับการส่งความเร็วสูง (ค่า BIT RATE สูง) ซึ่งระยะห่างระหว่าง PULSE มีค่าน้อยและ OPTICAL PULSE ถูกต่อไปตามมาอย่างรวดเร็ว ที่อุปกรณ์รับแสงจะทำให้ส่วนของ OPTICAL PULSE ที่เดินทางช้าไปซ้อนทับกับส่วนของ OPTICAL PULSE ที่เดินทางเร็ว, LED นั้นเนื่องจากมี SPECTRUM ของแสงกว้างหลายร้อย nm ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับการส่งความเร็วสูงและการส่งระยะทางไกล ส่วน SEMICONDUCTOR LASER มี SPECTRUM ของแสงแคบน้อยกว่าหลาย nm จึงกับการส่งความเร็วปานกลางและความเร็วสูงและการส่งระยะไกล โดยทั่วไปแล้วความยาวคลื่นสั้นจะเหมาะกับการส่งความเร็วต่ำและปานกลางและเหมาะกับการส่งระยะทางไกลกับการระยะทางปานกลาง



รูปที่ 4.10 แสดงระยะการส่งผ่านเส้นใยแสง



รูปที่ 4.11 แสดง MATERIAL DISPERSION ของเส้นใยแสงและการเปลี่ยนรูปของ PULSE

(2) ความยาวคลื่นยาวความยาวคลื่นจาก 1.1~1.7 $\mu\text{m}$  นั้นคือมากกว่า 1 $\mu\text{m}$  นั้นเป็นช่วงความยาวคลื่นที่มีการสูญเสียต่ำกล่าวคือ การสูญเสียในเส้นใยแสงมีค่าต่ำกว่า 1 dB/Km ดังนั้น โดยการใช้ต้นกำเนิดแสงที่มีกำลังส่งแสงหลาย mW นั้น ขณะที่แสงเดินทางในเส้นใยแสง แม้ว่าจะมีค่าความยาวคลื่นต่างกันก็ตามความเร็วของมันจะไม่เปลี่ยนแปลงนั่นคือไม่มี MATERIAL DISPERSION ดังนั้นแม้ว่าความยาวคลื่นจะกว้างหลายสิบนานาเมตรอย่างเช่น LED ก็ตามความยาวคลื่นทั้งหมดจะเดินทางไปพร้อม ๆ กันทำให้การเพี้ยนของรูปสัญญาณมีค่าน้อยเหมาะกับการส่งความเร็วสูงและการส่งระยะทางไกลโปรดดูรูปที่ 4.11(b) ประกอบความยาวคลื่น 1.55  $\mu\text{m}$  เป็นความยาวคลื่นที่มีการสูญเสียต่ำมากคือการสูญเสียในเส้นใยแสงมีค่า 0.2 dB/Km ถ้าหากใช้ SEMICONDUCTOR LASER ที่ปล่อยแสงค่าความยาวคลื่นนี้จะสามารถทำการส่งระยะทางไกลมาก และไม่ต้องมี REPEATER ได้ สำหรับช่วงความยาวคลื่นมากกว่า 1 $\mu\text{m}$  นั้น มีอุปกรณ์กำเนิดแสง SEMICONDUCTOR In Ga As P และมีอุปกรณ์รับแสง Ge หรือ In Ga As

ค) คุณสมบัติการผสมคลื่นสำหรับ LED และ SEMICONDUCTOR LASER นั้นดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 4.1.1(5)ว่าถ้าหากทำให้กระแสที่ไหลเป็นลักษณะ ON-OFF การปล่อยแสงก็จะมีลักษณะ ON-OFF ไปด้วยลักษณะเช่นนี้เรียกว่า DIRECT MODULATION ซึ่งเป็นการผสมที่ง่าย และเป็นระบบผสมคลื่นที่มีประสิทธิภาพดี ความเร็วการ ON-OFF ของ LED (ความเร็วในการตอบสนอง) กำหนดจาก LIFT TIME ของ INJECTION CARRIER ซึ่งแม้ค่าหลาย nSEC (1 nSEC =  $10^{-9}$ SEC) ถ้าเป็นความถี่ก็จะมีค่าหลายสิบล MHz เมื่อเพิ่มกระแส ที่ป้อนให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SEMICONDUCTOR LASER จะทำให้ LASER OSCILLATION เกิดขึ้นใกล้ๆ กระแส THRESHOLD แสดงในรูปที่ 4.12 และกำลังแสงที่ปล่อยออกมาจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากศูนย์ไปจนถึงค่ากระแส THRESHOLD นั้นจะเหมือนกับ LED แบบปล่อยแสงออกจากด้านหน้าและ ความเร็วการตอบสนองที่กำหนดด้วย LIFE TIME ของ CARRIER มีค่าต่ำ ดังนั้นปกติทั่วไปจะ ให้กระแสไบอัสเอาไว้ให้มีค่าใกล้เคียงกับ กระแส THRESHOLD นอกจากนั้นเมื่อให้กระแส PULSE ไหลดังแสดงในรูปที่ 4.12(b) จะได้แสงที่ปล่อย ออกมาเป็น PULSE และสามารถตอบสนองที่ความเร็วสูงจากหลายร้อย MHz ไปจนถึงประมาณ GHz ได้และเนื่องจากมีคุณสมบัติกระแส- กำลังแสงที่ปล่อยออกมาเป็นเส้นตรงดีมากจึงสามารถผสมคลื่นแบบ ANALOG ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.12(c)

1) ความเร็วการตอบสนองคราวนี้จะมาพิจารณาว่าอะไรจะเป็นตัวกำหนดความเร็วการตอบสนองของ SEMICONDUCTOR LASER นั่นก็คือ INJECTION CARRIER กับ LIFE TIME ของแสงนั่นเองกล่าวคือเมื่อเพิ่มกระแสการทำให้ความหนาแน่นของ INJECTION CARRIER เพิ่มขึ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับ LIFE TIME ( $\tau$ ) และจะเกิด DELAY TIME ค่าหนึ่งจากความหนาแน่นของ CARRIER ที่ทำให้เพิ่มขึ้นแสง LASER นอกจากจะแรงขึ้นใน RESONATOR แล้วยังขึ้นอยู่กับ LIFE TIME ( $\tau$ ) ของแสงและมี DELAY TIME ค่าหนึ่ง(ในที่นี้การที่เรียก LIFE TIME ของแสงหมายความว่าเป็นเวลาที่แสงถูกดูดภายใน RESONATOR และเวลาที่ใช้ในการที่แสงปล่อยออกไปข้างนอกจากผิวสะท้อนกลับ) เวลา DELAY TIME เหล่านี้ ถ้าหากมีค่าเท่ากับช่วงเวลา (PERIOD) ของการผสมคลื่น จะทำให้ขนาดของการผสมเพิ่มขึ้นอย่างผิดปรกติดังรูปที่ 4.13 และ ความถี่ RESONANCE ( $f_r$ ) นี้กำหนดจากสมการต่อไปนี้มีค่าเป็น GHz

$$f_r = \frac{1}{2\pi\tau} \sqrt{G + \frac{\tau}{\tau_p}} \sqrt{\frac{I_b}{I_{th}}} - 1 \quad (8)$$

ในที่นี้ G : GAIN PARAMETER

$I_b$  : BIAS CURRENT

$I_{th}$  : THRESHOLD CURRENT

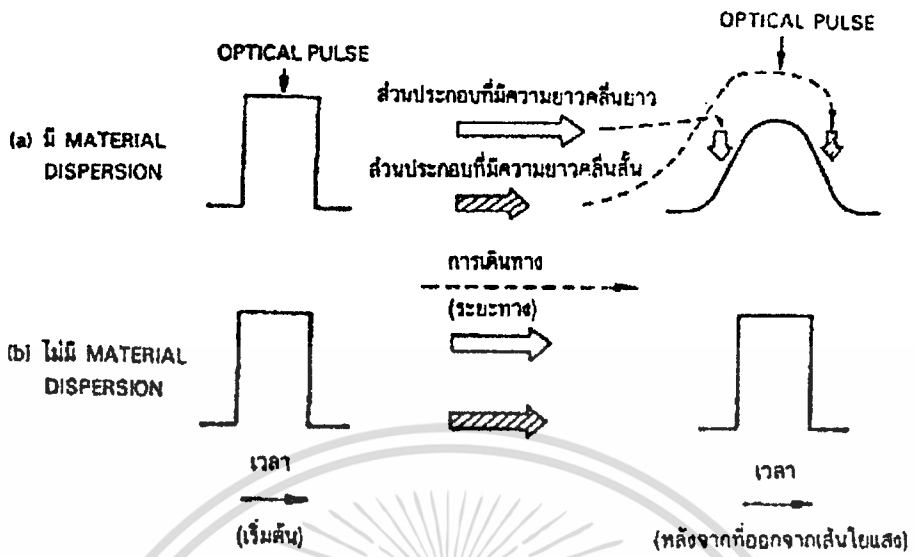
ดังนั้น ที่ความถี่ต่ำกว่า  $f_r$  จะได้การผสมคลื่นที่เป็นเส้นตรง(คงที่) มี MODULATION DISTORTION น้อย หนึ่ง ถ้าทำการผสมด้วยความถี่ค่าใกล้กับ  $f_r$  จะทำให้ประสิทธิภาพการผสมคลื่นสูงแต่จะไม่เป็น LINEAR MODULATION แต่แสงที่ถูกผสมจะมีลักษณะเป็น PULSE และที่ความถี่สูงกว่า  $f_r$  ไม่สามารถทำการผสมได้

(2) NEUTRALIZED OSCILLATION เมื่อป้อน PULSE CURRENT ที่มีความเร็วสูง หลังจาก ที่ DELAY TIME ของการ OSCILLATION ผ่านไปแล้วแสงที่ปล่อยออกมาจะเกิด

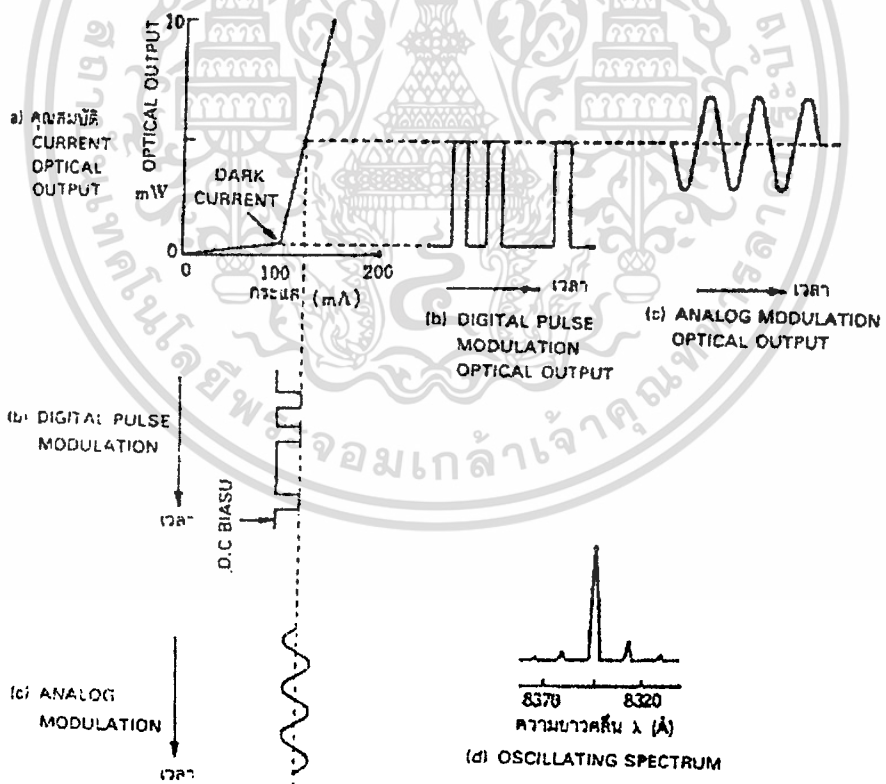
NEUTRALIZED OSCILLATION ดังแสดงในรูปที่ 4.14 การเกิดปรากฏการณ์เช่นนี้สามารถคำนวณได้ถ้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายได้ดังต่อไปนี้กล่าวคือความหนาแน่นของ CARRIER เพิ่มขึ้นและจนกว่าจะถึงค่า THRESHOLD นั้นจะต้องใช้เวลาค่าหนึ่งคือ  $t_d$  แต่ทว่าแม้จะกล่าวถึงค่า THRESHOLD CARRIER DENSITY แล้วก็ตามแสงเลเซอร์เพิ่งจะเริ่มต้นปล่อยแสงเท่านั้นไม่สามารถปล่อยแสงออกมาแรงได้ทันทีในระหว่างนั้นความหนาแน่นของ CARRIER จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆขณะเดียวกันความเข้มของแสงก็จะเพิ่มตามไปด้วยผลก็คือจะมีการสูญเสีย CARRIER เป็นจำนวนมากอันเนื่องมาจากการเพิ่มมากเกินไปของแสง LASER ดังนั้นจะทำให้ GAIN ลดลงและความเข้มของแสงก็จะมี การลดลงด้วย ขั้นตอนนี้จะในช่วงจาก PEAK อันแรกของรูปที่ 4.1 6(b) ไปจนถึงค่าศูนย์ต่อไป จะเกิดปรากฏการณ์อย่างนี้ซ้ำอีกและค่อยๆเข้าใกล้สภาพปกติไปเรื่อยๆในการผสมคลื่นความเร็วสูง นั้น จะได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์นี้นอกจากนั้นในการผสมคลื่น PULSE ความเร็วสูงจะเกิด PATTERN EFFECT ขึ้นกล่าวคือแม้ว่า PULSE CURRENT จะหยุดแล้วก็ตาม CARRIER ที่ถูกฉีด เข้าไปนั้นไม่สามารถหยุดได้และถ้าหากในช่วงที่ CARRIER ยังไม่หยุดและมี PULSE CURRENT ลุกต่อไปเข้ามาจะทำให้ลูกคลื่น ของ PULSE แสงที่ปล่อยออกมาแตกต่างไปจาก PULSE แสง อันก่อนเนื่องจาก LASER เริ่มทำงานจากสภาพที่ถูกไบอัสแล้วดังนั้นปัญหาของ DIRECT MODULATION ของ SEMICONDUCTOR LASER จะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของ INJECTION CARRIER กับแสง LASER ที่ปล่อยออกมาในทางปฏิบัตินั้นส่วนมากจะทำการควบคุมด้วย BIAS CURRENT ในกรณีนี้ BIAS CURRENT จะกำหนดค่าให้ใกล้เคียงกับ THRESHOLD CURRENT โดยการทำให้สามารถผสมคลื่นแบบ DIRECT MODULATION ด้วยความถี่หลายร้อย MHz ไปจนถึงประมาณ GHz ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 4.15

(3) การลด NEUTRALIZED OSCILLATOR ในโครงสร้างที่แสดงในรูปที่ 4.11 นั้น ความกว้างของ STRIPE มีค่าใกล้เคียงหรือแคบกว่าความยาวการกระจาย (SCATTERING) ของ INJECTION CARRIER การเปลี่ยนแปลงทางเวลาของความหนาแน่นของ CARRIER ซึ่งเป็น สาเหตุที่ทำให้เกิด NEUTRALIZED OSCILLATION BASIC HORIZONTAL MODE OSCILLATION จะมีผลมากที่สุดตรงบริเวณกึ่งกลางที่มีความเข้มแสงสูง ดังนั้นถ้าหากจะลด CARRIER CARRIER บริเวณรอบๆจะกระจายออกไปในเวลาอันสั้นโดยการทำให้จะสามารถ ลดการเปลี่ยนแปลงของ INJECTION CARRIER และลด NEUTRALIZED

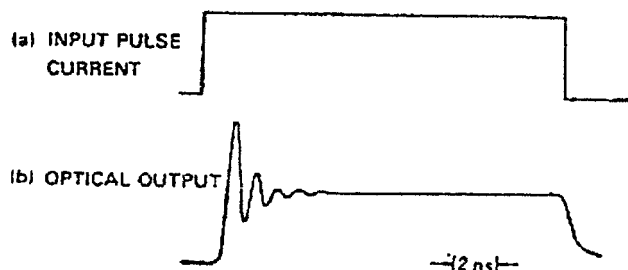


รูปที่ 4.12 DIRECT MODULATION ของ SEMICONDUCTOR LASER



รูปที่ 4.13 แสดงคุณสมบัติ DIRECT MODULATION ของ SEMICONDUCTOR LASER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



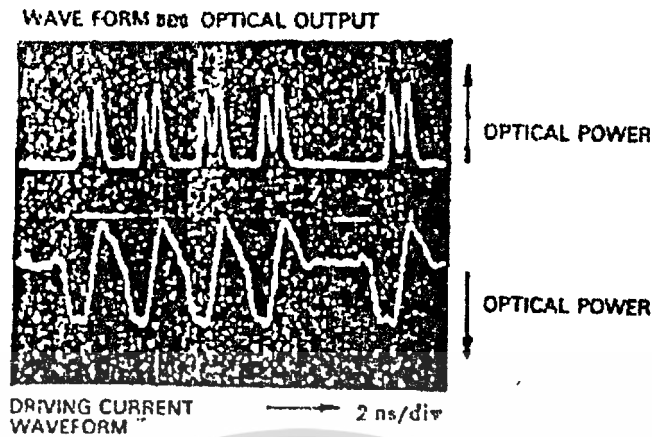
รูปที่ 4.14 แสดง RELAXATION OSCILLATION ของ SEMICONDUCTOR LASER

OSCILLATION และทำให้ตอบสนองด้วยความเร็วสูงได้และยังสามารถลด PEAK ของขนาดการผสมคลื่นที่มีลักษณะเป็น RESONANCE ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ได้ด้วยตัวอย่างการลด NEUTRALIZED OSCILLATION

อนึ่งนอกจากข้างบนแล้วยังมีแนวความคิดแก้ไขอื่นๆจากภายนอกอีกมากมายเช่น ทำการฉีดแสง LASER จาก SAMICONDUCTOR LASER อันอื่นที่มีความยาวคลื่นเท่ากันจากภายนอกเข้าไปใน SEMICONDUCTOR LASER เพื่อให้แสงใน RESONATOR แรงและลดเวลา DELAYTIME ที่ต้องการในการเพิ่มความเข้มแสง เพื่อลด NEUTRALIZED OSCILLATION วิธีจัดทำวงจร RESONATOR ทางไฟฟ้าเพื่อลด NEUTRALIZED OSCILLATION หรือวิธีป้อน PULSE ที่มีขั้วไฟฟ้าตรงกันข้ามเพื่อหักล้าง RESIDUAL CARRIER และจะลด PATTERN EFFECT เป็นต้น คุณสมบัติการผสมคลื่นเหล่านี้จะเหมือนกันทั้ง Al Ga As LD ช่วงความยาวคลื่น 0.8m และ In Ga As P-LD ช่วงความยาวคลื่น 0.8 m และ In Ga As P-LD ช่วงความยาวคลื่นมากกว่า 1 m

#### 4.1.3 การเชื่อมต่อแสงเข้ากับเส้นใยแสง

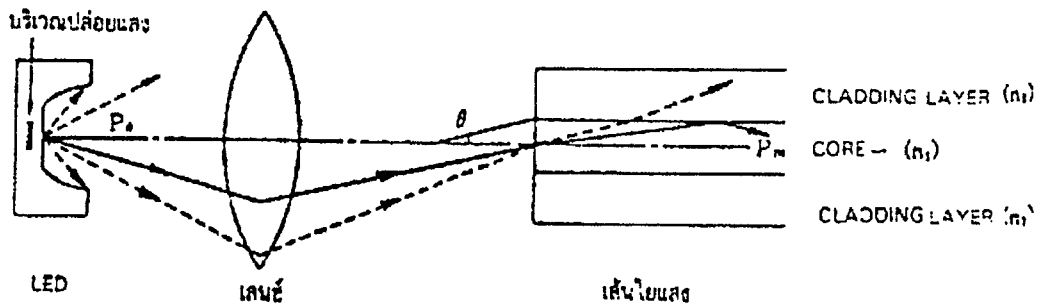
แม้ว่า LED และ SEMICONDUCTOR LASER จะปล่อยแสงออกมามีกำลังแสงมากเพียงใดก็ตามแต่ถ้าหากประสิทธิภาพการป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสงไม่ดีแล้วย่อมไม่มีความหมายอะไรดังนั้นโดยการใช้ความรู้ทางแสงมาทำให้เกิดวิธีต่างๆเพื่อป้อนแสงจากอุปกรณ์กำเนิดแสงเข้าไปในเส้นใยแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพดีนั้นก็เกิดขึ้นมากมาย นอกจากนี้ในกรณีติดตั้งเข้ากับอุปกรณ์การสื่อสาร เส้นใยแสงส่วนที่เชื่อมต่อเข้าไปในเส้นใยแสงนั้นจะต้องมีโครงสร้างที่สามารถทนการกระแทก, ทนต่ออุณหภูมิ, ทนต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น และการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมอื่น ๆ โดยหลัก



รูปที่ 4.15 แสดง DIRECT MODULATION 400 Mb/s (RZ) ของ SEMICONDUCTOR LASER การพื้นฐานแล้ว เทคนิคเหล่านี้จะใช้ร่วมกันได้ทั้ง Al Ga As-LD และ In Ga As P-LD ในที่นี้จะอธิบายเกี่ยวกับเทคนิคต่างๆ เหล่านี้

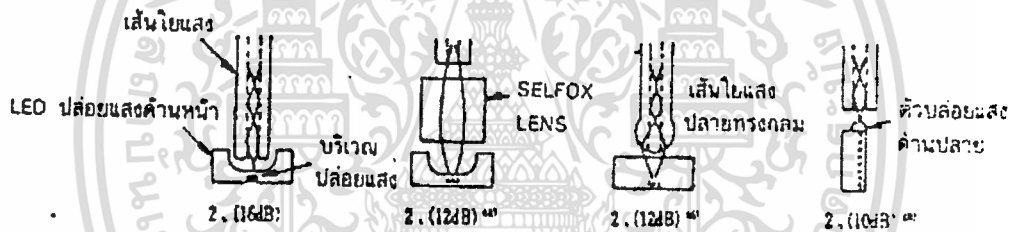
(1) การเชื่อมต่อระหว่าง LED กับเส้นใยแสง

ทั้งแบบปล่อยแสงออกจากด้านหน้าและแบบปล่อยแสงออกจากด้านข้าง การกระจายความเข้มของแสงที่ปล่อยจาก LED ความสว่างสูงนั้นส่วนใหญ่จะเท่ากันทุกทิศทางดังแสดงในรูปที่ 4.16 การป้อนแสงที่ขยายกว้างออกนี้เข้าไปในเส้นใยแสงที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของ CORE ประมาณ 50-100  $\mu\text{m}$  นั้นเป็นการยากมากโดยหลักการพื้นฐานแล้วหากป้อนแสงเข้าไปใน CORE ด้วยมุมใดดังแสดงด้วยเส้นประในรูปที่ 4.16 แสงจะทะลุจาก CORE เข้าไปยัง CLADDING ที่อยู่รอบของ CORE ดังนั้นจึงต้องป้อนด้วยมุมค่าน้อยดังแสดงด้วยเส้นทึบการทำให้ได้เช่นนี้นั้นทำได้โดยการนำเลนซ์มาวางใกล้ๆ LED แต่ทว่าแสงของต้นกำเนิดแสงจะถูกขยายทำให้กว้างกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของ CORE ของเส้นใยแสง ดังนั้นแสงส่วนใหญ่จะไม่เข้าไปในเส้นใยแสง เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงผลอันนี้เมื่อทำให้บริเวณปล่อยแสงเล็กลง จะทำให้กำลังการปล่อยแสงของ LED มีค่าน้อยลงเป็นผลให้แสงที่จะไปเข้าเส้นใยแสงลดลง ถ้าหากขยับเลนซ์ให้ไกลออกไปจนทำให้แสงของบริเวณการปล่อยแสงตรงปลายเส้นใยแสงเล็กลงทำให้มุมตกกระทบต่อเป็นผลให้ปริมาณแสงที่ไม่ผ่านเลนซ์เพิ่มมากขึ้น ด้วยเหตุผลต่างๆเหล่านี้ เพื่อให้แสงส่วนมากเข้าไปใน CORE ของเส้นใยแสงด้วยมุมค่าน้อยได้มีวิธีการเชื่อมต่อแสงชนิดต่างๆเกิดขึ้น โดยหลักการพื้นฐานนั้นจะใช้ระบบการเชื่อมต่อแสง



รูปที่ 4.16 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง LED กับเส้นใยแสง

โดยตรงโดยเอาปลายของเส้นใยแสงเข้าไปใกล้ ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.17 นอกจากนั้นยังมีระบบใช้เลนส์ต่างหากซึ่งใช้เลนส์แยกต่างหากเป็นพิเศษระบบเลนส์ที่ปลายเส้นใยแสงโดยการทำให้ปลายของเส้นใยแสงมีลักษณะเป็นเลนส์และระบบอื่น ๆ ที่ผสมกันระหว่างระบบต่าง ๆ เหล่านี้



รูปที่ 4.17 แสดงระบบการเชื่อมต่อแสงชนิดต่างๆ ของ LED กับเส้นใยแสง

ก) การสูญเสียการเชื่อมต่อแสง

สำหรับเส้นใยแสงนั้น NA(Numerical Aperture) ซึ่งเป็นค่าตรงกับมุมรับแสง กำหนดจากผลต่างของค่าดัชนีการหักเหของ CORE กับ CLADDING ดังสมการต่อไปนี้และถ้าค่าผลต่างมีค่าน้อยจะทำให้มุมรับแสงลดลงด้วย

$$NA = \sin \theta = \sqrt{n^2_1 - n^2_2} \tag{10}$$

ในที่นี้  $n_1$  และ  $n_2$  เป็นค่าดัชนีการหักเหของ CORE และ CLADDING ตามลำดับ การแสดงการเชื่อมต่อแสงกับเส้นใยแสงก็คือแสดงว่ากำลังแสง  $P_o$  ที่ปล่อยออกมาจากต้นกำเนิดแสงนั้นสามารถป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงได้เท่าไรซึ่งส่วนเกินของอัตราส่วนนั้นนำมากำหนดการสูญเสียของการเชื่อมต่อได้ดังสมการต่อไปนี้ กล่าวคือเมื่อกำหนดให้  $P_f$  เป็นกำลังแสงที่เข้าไปในเส้นใยแสง

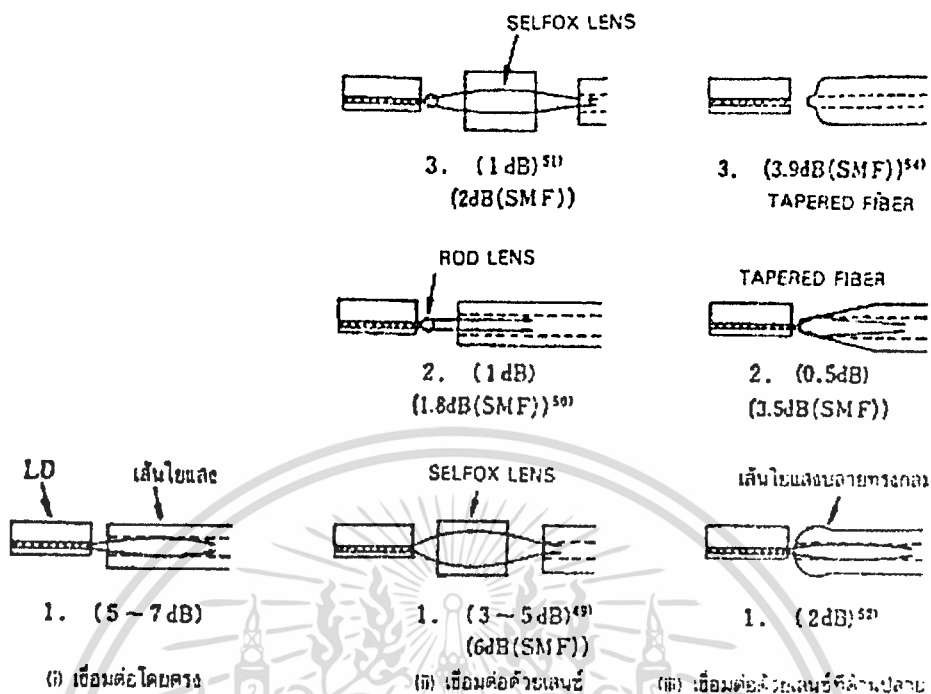
$$\theta_c = -10 \log P_f/P_o \tag{11}$$

ในปัจจุบันเส้นผ่านศูนย์กลางของ CORE ของเส้นใยแสงที่นิยมใช้กันมากมีค่า 50 - 100 m และ  $NA = 0.2-0.3$  และเกี่ยวกับความโตของช่วงการปล่อยแสงนั้นแบบปล่อยแสงออกจากด้านหน้าจะมีค่าประมาณ 30m ส่วนแบบปล่อยแสงออกจากด้านข้างจะมีค่าประมาณ 10-30 m

ในกรณีที่มี  $NA = 0.2$  นั้น ค่าขีดจำกัดทางทฤษฎีของการสูญเสียการเชื่อมต่อแสงของระบบเชื่อมต่อโดยตรงมีค่าประมาณ 14 dB ส่วนเส้นใยแสงแบบ GRADED INDEX ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของ CORE 50 m มีค่าที่วัดทางปฏิบัติได้ 15 dB สำหรับการสูญเสียการเชื่อมต่อแสงของระบบการเชื่อมต่อต่างๆของกรณีที่ใช้ Al Ga As-LED แสดงดังรูปที่ 4.17

(2) การเชื่อมต่อแสงระหว่าง SEMICONDUCTOR LASER กับเส้นใยแสง สำหรับ SEMICONDUCTOR LASER ที่มีโครงสร้างเป็น DOUBLE HETERO นั้นแสง LASER ในทิศทางตั้งฉากกับ ACTIVE LAYER ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ของหัวข้อ 1.1(5) จะขยายกว้างออกประมาณ 40 องศา และในทิศทางที่ขนานกับ ACTIVE LAYER นั้นมีค่าประมาณ 10 องศา ดังนั้นจึงได้มีการหาวิธีที่จะทำให้แสง LASER ที่ขยายกว้างออกในทิศทางตั้งฉากเข้าไปในเส้นใยแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลักการพื้นฐานนั้นเหมือนกันกับ LED กล่าวคือใช้เชื่อมต่อแสงโดยตรงเป็นฐาน และแบ่งออกเป็นพวกใหญ่ๆได้เป็นระบบการใช้เลนส์ที่ปลายเส้นใยแสง ซึ่งมีโครงสร้างหลักดังแสดงในรูปที่ 4.18

สาเหตุที่การสูญเสียของการเชื่อมต่อแสงเมื่อเปรียบเทียบกับ LED แล้วมีค่าต่ำกว่าประมาณ 10dB ก็เพราะทิศทางของแสงของ SEMICONDUCTOR LASER ดีสำหรับเส้นใยแสง SINGLE MODE ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของ CORE ประมาณ 10 m เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยแสงแบบ GRADED INDEX ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของ CORE 50 m แล้วการสูญเสียการเชื่อมต่อแสงสูงกว่า ในกรณีนี้ความแม่นยำทางตำแหน่งและความมั่นคงเป็นสิ่งจำเป็น นอกจากนั้นเส้นใยแสงแบบ STEP INDEX ซึ่งค่าดัชนีการหักเหของ CORE กับ CLADDING เปลี่ยนแปลงเป็นลักษณะขั้นบันได (STEP) และเส้นใยแสงแบบ GRADED INDEX ซึ่งค่าดัชนีการหักเหของ CORE เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องกันเป็นลักษณะ SQUAREDISTRIBUTION การสูญเสียการเชื่อมต่อของเส้นใยแสงทั้ง 2 แบบนี้ กรณีที่มี  $NA$  และเส้นผ่านศูนย์กลางของ CORE เท่านั้น แบบ GRADED INDEX จะมีการสูญเสียมากกว่า ทั้งนี้ก็เพราะว่า แสงที่เข้าไปในบริเวณรอบ ๆ CORE ซึ่งมีค่าดัชนีการหักเหต่ำจะทะลุเข้าไปใน CLADDING ได้ง่าย และไม่ว่าต้นกำเนิดแสงจะเป็น LED หรือ LD ก็ตามจะเหมือนกันนอกจากนั้นถ้าค่า  $NA$  ยิ่งมากจะทำให้ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงยิ่งสูง อนึ่งทั้ง LED และ LD นั้นโดยทั่วไปแล้วต้องการความเชื่อถือได้และความมั่นคงสูงเช่นเดียวกับความต้องการให้มีการสูญเสียการเชื่อมต่อแสงน้อย



รูปที่ 4.18 แสดงระบบการเชื่อมต่อแสงชนิดต่างๆ ของ LED กับเส้นใยแสง

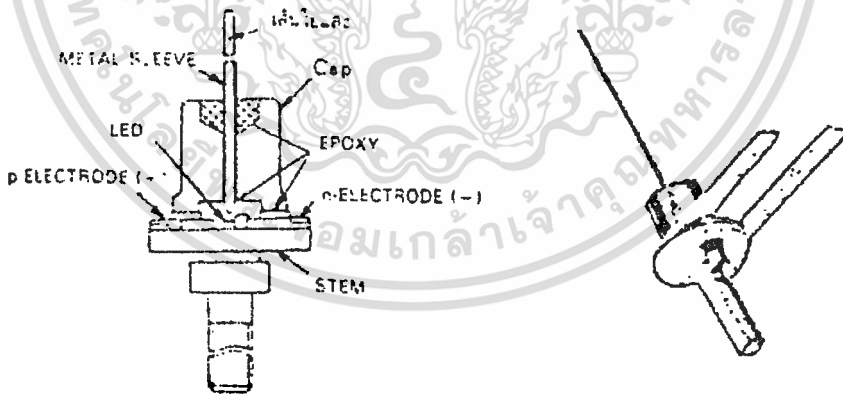
### (3) โครงสร้างแบบ MODULE

กรณีที่ตั้งอุปกรณ์กำเนิดแสงเพื่อใช้กับการสื่อสารแสง เพื่อให้ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมเช่นการสั่นสะเทือน, อุณหภูมิ, ความชื้นและอื่นๆ คงได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา จะทำให้อุปกรณ์กำเนิดแสง, COUPLING LENS และเส้นใยแสงต่อรวมกัน เรียกว่าทำเป็น MODULE โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงนั้นเปลี่ยนแปลงได้ง่ายต่ออุณหภูมิจะต้องทำการป้องกันอากาศจากภายนอกอย่างสมบูรณ์เช่นเดียวกับกรณีของทรานซิสเตอร์ในระบบ การเชื่อมต่อแสงต่างๆ นั้นสำหรับระบบการใช้เลนส์ต่างหากสามารถทำให้ระยะทางระหว่าง LD-LENS เส้นใยแสงมีความยาวๆ ได้ดังนั้นจึงสามารถใช้วิธีเอาอุปกรณ์กำเนิดแสงใส่ในกล่อง PACKAGE ที่ปิดแน่นและวาง LENS ไว้ข้างนอกหรือใช้วิธีใส่เลนส์ไว้ในกล่อง PACKAGE ที่ใส่อุปกรณ์กำเนิดแสง ตัวอย่าง LD-MODULE ของระบบที่ใช้เลนส์ต่างหากของรูปที่ 4.18 แสดงดังรูปที่ 4.19(a) และ (b) ตามลำดับ สำหรับระบบ DIRECT COUPLING และระบบเลนส์ที่ปลายใยแสงเนื่องจากจำเป็นต้องวางเส้นใยแสงอยู่ใกล้ๆ อุปกรณ์กำเนิดแสงจึงทำให้รวมเป็นอันเดียวกันรูปที่ 4.20 แสดงตัวอย่าง LED MODULE ระบบเชื่อมต่อแสงด้วยเลนส์ที่ปลายเส้นใยแสงของรูปที่ 4.17

สำหรับ MODULE เหล่านี้ส่วนมากจะมีเส้นใยแสงยาวประมาณหลายเซนติเมตร 30 เซนติเมตร ติดอยู่ด้วย และเรียกเส้นใยแสงนี้ว่า PIG TIAL เพราะดูเหมือนหางหมูเพื่อรักษาความเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แข็งแรงจะทำให้ LAYER ที่หนึ่ง N-Al 0.3 Ga 0.7 As CLADDING LAYER หนา 10-20 m และ ACTIVE LAYER จะหนาประมาณ 1 m การเปลี่ยนแปลงของความหนาจะไม่ผลต่อการกำหนดคุณสมบัติเหมือนอย่างกรณีของ LD ดังนั้นจึงมีข้อดีเล็กน้อยในการสร้างผลึก แต่ทว่าจากความเข้มข้นของสารแปลกปลอมที่เข้าไปใน ACTIVE LAYER จะ ทำให้ความเข้มของแสงที่ปล่อยออกมาและ CUT OFF FREQUENCY เปลี่ยนดังนั้นจึงสามารถกำหนดคุณสมบัติตามจุดประสงค์ได้

การที่ LAYER ที่ 4 ซึ่งมี Al ประกอบอยู่นั้นโตกว่า ACTIVE LAYER ก็เพราะว่า ในการที่จะให้แสงออกจากช่อง WINDOW โดยที่แสงที่ออกจาก ACTIVE LAYER ไปที่ด้าน P-TYPE จะถูกทำให้สะท้อนกลับด้วย P-TYPE ELECTRODE และต้องการให้แสงนี้ถูกดูดน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ส่วนขนาดของช่วงปล่อยแสงโดยทั่วไปมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30 m และกำหนดการ พิจารณาการเชื่อมต่อแสงกับเส้นใยแสงเทคนิคการเปิดช่อง WINDOW นั้น เป็นเทคนิคเฉพาะสำหรับ LED แบบนี้ นอกจากเทคนิคนี้แล้วยังมีวิธีอื่น กล่าวคือทำให้ LAYER ที่ 1 ของ N-Al Ga As หนาหลายสิบลม และทำการกำจัด N-Ga As SUBSTRATE ออกไปให้หมดและให้แสงออกจากผิวของ P-TYPE ซึ่งมีระยะใกล้กับช่วงปล่อยแสงสำหรับ LED แบบเปิดช่อง WINDOW นั้น พื้นที่ของ PELLET จะใหญ่กว่าพื้นที่ของ



รูปที่ 4.19 แสดงตัวอย่างของ LED MODULE

LASER ทั้งนี้เพื่อไม่ให้กระทบกระเทือนต่อ WINDOW เวลาตัดผลึกตามจากรูปที่ 4.11(b) จะเห็นว่าผลึก 1 แผ่นจะตัดเอา PELLET เพียง 512 ชิ้นเท่านั้นโดยทั่วไปส่วนมากจะประกอบเข้ากับกล่องที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5ม.ม นอกจากนั้นส่วนใหญ่จะมีเส้นใยแสงยาวประมาณ 10 ซม. มติอยู่ด้วยการใช้กาวหรืออื่นๆ สำหรับใน ส่วนนี้นั้นมีโครงสร้างหลายชนิดดังได้กล่าวมาแล้วในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ 13(1) กล่าวโดยทั่วไปแล้ว เทคนิคการผลิต LED ความสว่างสูงจะเหมือนกันกับเทคนิคการผลิต LD มากที่สุด และก่อนการส่งออกไปจำหน่าย ก็จะทำการทดสอบการทำงานประมาณ 100 ชั่วโมงเพื่อกำจัดสาเหตุการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วของ DARK LINE และอื่นๆ นั้น ก็จะเหมือนกันกับกรณีของ LD หนึ่ง ในตัวอย่างโครงสร้างของรูปที่ 4.17(a) นั้นเพียงแต่ทำ DIFFUSION เท่านั้นก็จะได้ LED ออกมา การพัฒนาเทคนิควิธี MO-CVD ของ LD และเทคนิคการผลิตอุปกรณ์ชนิดนี้มีส่วนทำให้เกิดประหยัดต่ออุปกรณ์ด้วย

## 4.2 อุปกรณ์รับแสง

### 4.2.1 อุปกรณ์รับแสงคืออะไร

อุปกรณ์รับแสงคือส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นการเปลี่ยนแปลงของไฟฟ้า ซึ่งมี 2 วิธีคือทำการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้าโดยตรงกับวิธีเปลี่ยนแสงให้เป็นความร้อนก่อน จากนั้นจึงเปลี่ยนความร้อนให้เป็นไฟฟ้า วิธีแรกเรียกว่า PHOTO-ELECTRIC EFFECT ส่วนวิธีหลังเรียกว่า THERMAL EFFECT ผลการเปลี่ยนต่างๆเหล่านี้เมื่อทำการแบ่งชนิด ละเอียดลงไปจะได้ดังต่อไปนี้

(1) PHOTO ELECTROMOTIVE EFFECT PHOTO ELECTROMOTIVE EFFECT ถูกนำมาใช้กับอุปกรณ์รับแสงอย่างจริงจัง ในปี ค.ศ. 1950 และทำให้ได้ PHOTO ELECTRIC CELL ที่เป็นของแข็ง (SOLID) ออกมา และ PHOTO CELL ที่ใช้ในตอนแรกเป็น PHOTO CELL ที่ใช้สาร SELENIUM (Se) และใช้กันมาเป็นระยะเวลานาน ต่อมาสามารถผลิตสารกึ่งตัวนำ SILICON, GERMANIUM ที่มี JUNCTION ซึ่งให้คุณสมบัติได้ จึงทำให้เกิด PHOTO CELL, PHOTO DIODE ที่ใช้สารกึ่งตัวนำเหล่านี้เป็นอุปกรณ์รับแสง นอกจากนั้นการใช้งานอุปกรณ์รับแสงก็แสงก็เช่นกัน มีการนำไปใช้งานด้านต่างๆอย่างกว้างขวางเช่น PHOTO RELAY CIRCUIT, การอ่านข้อมูลจาก CARD, TAPE, การวัดแสงในกล้องถ่ายรูป และอื่นๆ แต่เมื่อได้มีการประดิษฐ์ LASER ขึ้นมาแล้วก็ได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ที่มีความไวสูงและมีความเร็วการตอบสนองสูงที่เหมาะสมกับการสื่อสารแสงกันอย่างแพร่หลาย

(2) PHOTO CONDUCTOR EFFECT PHOTO CONDUCTOR EFFECT นั้นเมื่อมีแสงมากระทบ จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ความต้านทานของสารเปลี่ยนแปลงดังนั้นเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าให้แก่ปลายทั้งสองของสารอย่างนี้จะ ทำให้กระแสเปลี่ยนแปลงตามปริมาณแสง ผลอันนี้ถูกค้นพบเมื่อปี ค.ศ. 1873 แต่เท่าที่นำมาใช้เป็น PHOTO DETECTOR กันอย่างกว้างขวางนั้นเกิดขึ้นหลังจากการค้นพบผลนี้เป็นเวลานานพอสมควรในปี ค.ศ. 1950 ได้มีการสร้าง PHOTO CONDUCTION CELL ซึ่งใช้ Cds และเป็นที่ยอมรับกันว่ามีควมไวสูงกว่า Se-PHOTOCELL Cds

-PHOTO CONDUCTION CELL นี้แม้กระทั่งปัจจุบันก็ยังใช้กันอยู่กว้างขวางในการวัดแสงของกล้องถ่ายรูป และอื่นนอกจากนี้ยังมีPHOTO CONDUCTION CELL ที่ทำจาก Ge, PbS, PbTe และอื่น ๆ และใช้กับแสงในย่าน INFRARED สำหรับ PHOTO CONDUCTION EFFECT นั้น โดยทั่วไปแล้วจะมีการตอบสนองช้า แต่ทว่าสามารถทำให้มีพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ ดังนั้นจึงนิยมใช้กับการ DETECTION ปริมาณแสงมากกว่าใช้กับการ DETECTION สัญญาณแสง

(3) ปรากฏการณ์ PHOTO ELECTRONIC RADIATION การค้นพบปรากฏการณ์ PHOTO ELECTRONIC RADIATION นั้นค่อนข้างช้ามากกล่าวคือ ในปี ค.ศ.1887 ชาวเยอรมันชื่อ HERTZ เป็นผู้ค้นพบ และในปี ค.ศ. 1889 ชาวเยอรมันสองคนชื่อ ELSTAR และ GAITEL ได้ทำการพิสูจน์ยืนยันว่าจากการให้แสงไปกระทบกับขั้วโลหะ ALKALI ของหลอดสูญญากาศจะมีอิเล็กตรอนออกมาและทำให้กระแสไหล ในปี ค.ศ.1929 ได้มีการค้นพบ CATHODE ที่ทำด้วย CESIUM OXIDE ซึ่งมีความไวดีมากและสารนี้ได้กลายเป็นสารหลักที่ใช้ทำ CATHODE ของหลอด PHOTO TUBE หลอด PHOTO ELECTRONIC AMPLIFICATION TUBE ในปัจจุบันเมื่อไม่นานมานี้ได้มีการพัฒนา CATHODE ที่ใช้ NEGATIVE ELECTRON AFFINITY ของสารกึ่งตัวนำและผลิต PHOTO TUBE ที่มี QUANTUM EFFICIENCY สูงจากการค้นพบอุปกรณ์รับแสงที่ทำจากสารกึ่งตัวนำที่มีประสิทธิภาพสูงแม้ว่าจะได้รับความนิยมนำมาใช้แทนหลอด PHOTO TUBE อยู่เรื่อยๆก็ตามแต่เนื่องจากหลอด PHOTO TUBE มี DARK CURRENT น้อยมาก จึงนำไปใช้กับการ DETECTION แสงที่มีความเข้มต่ำๆและใช้ในการวัดแสงย่าน ULTRAVIOLET ที่ SEMICONDUCTOR ไม่สามารถ DETECT ได้

(4) THERMAL EFFECT วิธีการ DETECTION แสงโดยใช้ THERMAL EFFECT นั้น โดยทั่วไปจะมีความเร็วในการตอบสนองช้า และความไวไม่ดี จึงไม่นิยมใช้กับการสื่อสารทางแสง แต่เนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษคือให้ OUTPUT ออกมาคงที่โดยไม่ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น จึงนิยมมาใช้ในการวัด SPECTRUM ของแสง ในวิธีต่าง ๆ ของ THERMAL EFFECT นั้น นิยมใช้วิธี THERMO COUPLE กันมาก THERMO COUPLE นั้นเป็นวิธีการใช้หลักการที่ว่าเมื่อทำให้เกิดผลต่างทางอุณหภูมิที่จุดต่อของเส้นลวดโลหะต่างชนิดกันกับที่ปลายของเส้นลวดแล้วจะเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น ในการใช้กับ SPECTRUM แสงนั้นจะนำ THERMO COUPLE ไปต่อเข้ากับด้านหลังของแผ่นทองแดงที่ทำให้ดำและจากการฉายแสงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของแผ่นทองจะเปลี่ยนเป็น THERMAL ELECTROMOTIVE FORCE สิ่งที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานของอุปกรณ์เรียกว่า BOLOMETER สำหรับ BOLOMETER มี METALLIC BOLOMETER, THERMISTER BOLOMETER ในปัจจุบันได้มีการพัฒนา SEMICONDUCTOR BOLOMETER และ SUPER CONDUCTOR BOLOMETER และอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นมาด้วย COLLECTIVE ELECTRIC EFFECT เป็นผลจากการที่แสง INFRARED ไปกระทบกับ สาร DIELECTRIN แล้วจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ POLARIZATION และเมื่อนำมาใช้เป็น PHOTO DETECTOR แล้วความไวจะไม่ค่อยดี

#### 4.2.2 หลักการเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า

เมื่อสารกึ่งตัวนำและโลหะถูกคูดนั้น ภายในสารอิเล็กทรอนิกส์จะได้รับพลังงานแสงและถูกกระตุ้นให้ไปอยู่ในระดับพลังงานสูง สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้นการคูดจะเกิดขึ้นเมื่อพลังงานแสงมีค่ามากกว่าพลังงานของ FORBIDDEN BAND และสำหรับโลหะเนื่องจากไม่มี FOR-BIDDEN BAND อิเล็กตรอนจึงสามารถรับพลังงานได้เสรี ด้วยเหตุนี้ในโลหะจึงถูกแสงหมดไม่ว่าจะมีความยาวคลื่นเท่าไรก็ตาม การที่อิเล็กตรอนคูดพลังงานแสงและเคลื่อนไปอยู่ในระดับพลังงานสูงที่เคลื่อนที่ได้ง่ายนั้นเรียกว่า PHOTO ELECTRIC EFFECT แต่ทว่าเมื่อคูดพลังงานมากๆ อิเล็กตรอนสามารถที่จะหลุดจากผิวของสารออกไปยังสุญญากาศได้ การที่แสงทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกไปในสุญญากาศนี้เรียกว่า EXTERNAL PHOTO ELECTRIC EFFECT ในทางตรงข้าม PHOTO ELECTROMOTIVE CELL, PHOTO CONDUCTION CELL นั้นเป็นพวกที่ทำการกระตุ้นอิเล็กตรอนภายในเท่านั้น จึงเรียกว่า INTERNAL PHOTO ELECTRIC EFFECT รายละเอียดของ PHOTO ELECTRIC เหล่านี้ จะได้อีกถึง ดังต่อไปนี้

##### (1) PN-JUNCTION

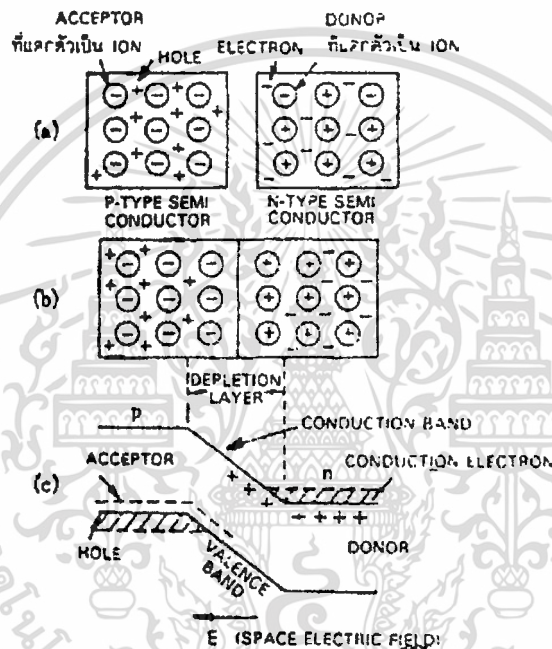
อันดับแรก เมื่อพิจารณาถึงสารกึ่งตัวนำที่ไม่มีรอยต่อ PN-JUNCTION อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นโดยแสงจะเกิด THERMAL MOVEMENT ขึ้นภายใน CONDUCTION BAND เท่านั้น นั่นคือจะหาที่ว่างใน REPLETION ZONE และกลับไป ที่ว่างนี้หลังจากที่อิเล็กตรอนออกไปแล้ว จะมีประจุเป็นบวก และถือเป็นอนุภาคอันหนึ่งเรียกว่า HOLE และการที่อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นย้อนกลับไป BAND ต่ำข้างล่างนั้นเรียกว่า RECOMBINATION ของอิเล็กตรอนกับ HOLE การเกิด PHOTO ELECTROMOTIVE FORCE นั้น เนื่องจากเกิด แรงดันไฟฟ้าขึ้นที่ปลายทั้งสองของสาร ดังนั้นจะต้องทำการแยกอิเล็กตรอนกับ HOLE ที่เกิดจากแสงก่อนที่มันจะ RECOMBINATION กัน โดยให้อิเล็กตรอนและ HOLE แยกไปรวมที่ด้านทั้งสองของสาร เพื่อให้ได้ ตามความต้องการนี้ จะใช้ PN-JUNCTION ที่มีสนามไฟฟ้าอยู่ภายใน เช่น ผลึก Si ของกลุ่มที่ 4 ในตาราง PERIODIC ของสาร เมื่อนำ Si ที่มี PHOSPHOROUS ปนอยู่ไปทำการแพร่สาร (THERMAL DIFFUSION) กับ BORON จะได้ PN-JUNCTION สำหรับ N-LAYER ที่มีฟอสฟอรัสปนอยู่นั้นจะมี CONDUCTION ELECTRON ซึ่งเป็นประจุลบอยู่ แต่ทว่าเนื่องจาก ฟอสฟอรัสแตกตัวเป็น ION บวกเท่ากับจำนวนของ CONDUCTION ELECTRON ดังนั้นในตอนนั้น CONDUCTION ELECTRON กระจายอยู่เท่าๆ กันนั้นจะกลายเป็น NEUTRAL ตลอดไปรูปที่ 3.22(a) ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ P-LAYER ก็เช่นเดียวกัน ทั้ง P-LAYER และ N-LAYER เมื่ออยู่แยกกันอย่างอิสระต่างเป็น NEUTRAL

## (2) JUNCTION และ SPACE EFEC FIELD

เมื่อนำ P-LAYER กับ N-LAYER มาต่อเข้าด้วยกัน (ดูรูปที่ 3.19(b) ประกอบ)ด้านที่ต่อกันนั้น (PN-JUNCTION) จะมีประจุไฟฟ้า ทั้งนี้เพราะว่า LAYER ที่มี BORON ปนอยู่แตกตัวเป็น ION ลบ และ LAYER ที่มีฟอสฟอรัสปนอยู่แตกตัวเป็น ION บวก ต่างหันหน้าเข้าหากัน



รูปที่ 4.20 แสดงการเกิด PN-JUNCTION, (a)แสดงกรณี N-TYPE และ P-TYPE

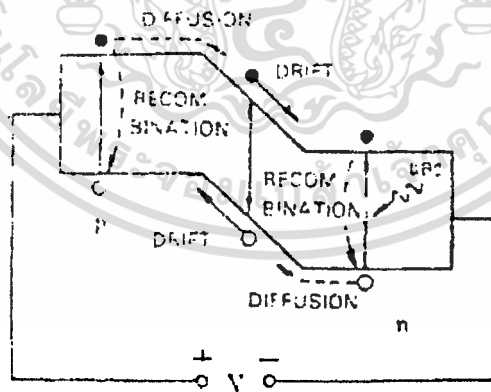
อยู่แยกเป็นอิสระ (b)แสดงการนำ N-TYPE และ P-TYPE มาต่อเข้าด้วยกัน (c)แสดงโครงสร้างของ BAND ของ PN-JUNCTION อิเล็กตรอนของ N-LAYER จะถูกประจุลบของ BORON ผลักออกทำให้ถอยกลับไปจาก PN-JUNCTION และในทำนองเดียวกัน HOLE ก็เช่นกันนั้นถูกประจุบวกของฟอสฟอรัสผลักทำให้ HOLE ของ P-LAYER ถอยกลับออกไปจาก PN-JUNCTION ดังนั้น ตรงบริเวณใกล้ๆกับ PN-JUNCTION จึงไม่มี CARRIER อยู่บริเวณอย่างนี้ เรียกว่า DEPLETION ZONE ในบริเวณที่ไม่มี CARRIER นั้นจะไม่เป็น NEUTRAL อีกต่อไป ที่ทางด้าน P-LAYER จะเกิด SPACE CHARGE เป็นบวก ดังนั้นที่ PN-JUNCTION จะเกิดสนามไฟฟ้าจาก N-LAYER ไปทาง P-LAYER สนามไฟฟ้านี้เรียกว่า SPACE ELECTRIC FIELD เมื่อแสดงด้วยโครงสร้างของ ENERGY BAND แล้วจะได้ดังรูปที่ 4.21(c) พลังงานนั้นปกติจะพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากจุดยื่นของอิเล็กตรอนเนื่องจากว่าอิเล็กตรอนทำงานในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของ SPACE ELECTRIC FIELD ดังนั้น พลังงานทางด้าน N-LAYER จะต่ำกว่าพลังงานทางด้าน P-LAYER

### (3) PHOTO ELECTRIC CURRENT

เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ PN-JUNCTION ตรงบริเวณใกล้เคียงกับ PN-JUNCTION จะเกิดอิเล็กตรอนและ HOLE ขึ้นอันเนื่องมาจากแสงดังรูปที่ 4.21 และอิเล็กตรอนกับ HOLE จะถูกแยกออกจากกันด้วย SPACE ELECTRIC FIELD กล่าวคือ อิเล็กตรอนจะไปทาง N-LAYER ส่วน HOLE จะไปทาง P-LAYER การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และ HOLE นี้เรียกว่า DRIFT CURRENT ที่บริเวณห่างจาก PN-JUNCTION นั้น เนื่องจากไม่มีสนามไฟฟ้าทั้งอิเล็กตรอน และ HOLE ที่กระตุ้นโดยแสงจะกลายเป็น HEAT MOTION (การเคลื่อนที่แล้วทำให้เกิดความร้อน) ในระหว่างเกิด HEAT MOTION นั้น ทั้งอิเล็กตรอน และ HOLE ต่างจะหาคู่ตรงข้ามเพื่อทำ RECOMBINATION และหมดไปแต่ทว่าก็มีบ้างที่เคลื่อนที่ไปทาง PN-JUNCTION และเข้าไปใน SPACE ELECTRIC FIELD อิเล็กตรอน และ HOLE ที่เข้าไปใน SPACE ELECTRIC FIELD ได้นั้นจะถูกสนามไฟฟ้าดึงให้ไปอยู่ใน LAYER ของฝ่ายตรงกันข้ามได้ และกระแสที่ไหลอันเนื่องมาจากขั้นตอนดังกล่าวนี้เรียกว่า DIFFUSION CURRENT ผลรวมของ DRIFT CURRENT ที่เกิดจากการกระตุ้นโดยแสงกับ DIFFUSION CURRENT จะเป็น PHOTO ELECTRIC CURRENT

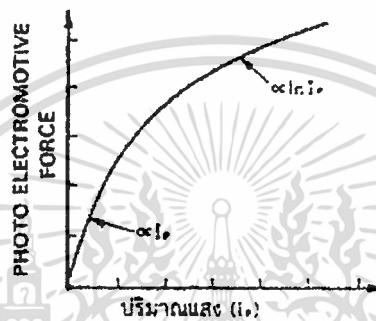


รูปที่ 4.21 แสดง PHOTO ELECTRIC EFFECT ของ PN-JUNCTION

### (4) PHOTO ELECTROMOTIVE FORCE

คราวนี้เราจะพิจารณาถึง กรณีที่วงจรรภายนอกที่ต่ออยู่กับ P-LAYER และ N-LAYER ในเปิดอยู่ในกรณีนี้ CARRIER ที่เกิดขึ้นจากแสงจะทำให้มีอิเล็กตรอนมากกว่าปกติทางด้าน N-เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LAYER และมี HOLE จำนวนมากทางด้าน P-LAYER รูปที่ 4.22 ประกอบ ประจุไฟฟ้าที่มากกว่าปกตินี้จะไปทำให้ผลต่างของ ENERGY BAND ระหว่าง P-LAYER กับ N-LAYER ลดน้อยลง และทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่ปลายทั้งสองของ P-LAYER และ N-LAYER แรงดันไฟฟ้านี้เรียกว่า PHOTO ELECTROMOTIVE FORCE และเป็นหลักการของ SOLAR CELL แรงดันไฟฟ้านี้จะมีคุณสมบัติดังแสดงในรูปที่ 4.21 กล่าวคือ ตรงบริเวณที่มีแสงน้อยนั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณแสง และตรงบริเวณที่มีปริมาณแสงมากนั้นมันจะเป็นสัดส่วนทาง LOGARITHM กับปริมาณแสง



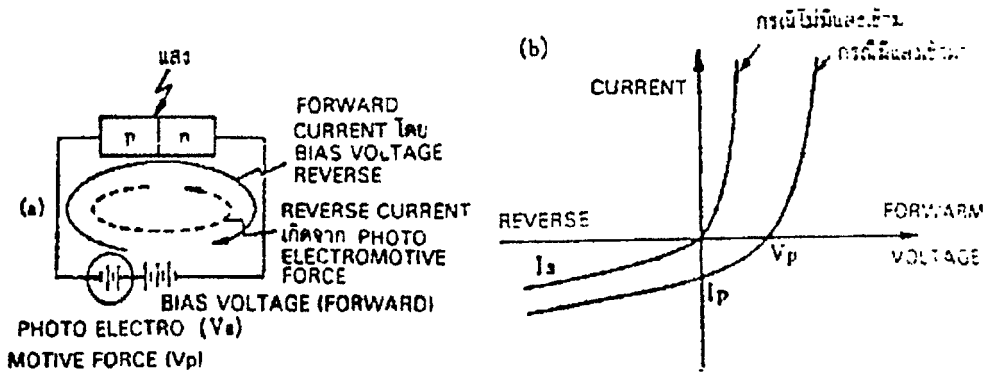
รูปที่ 4.22 แสดง OUTPUT CURVE ของ SOLAR CELL

#### (5) คุณสมบัติ V-I CHARACTERISTIC

เท่าที่กล่าวมาจนถึงตอนนี้เป็นการอธิบายการใช้ PN-JUNCTION เป็น SOLAR CELL และ PHOTO DIODE ความสัมพันธ์ของแรงดัน REVERSE BIAS ที่ป้อนให้แก่ PN-JUNCTION กับกระแสที่ไหลใน PN-JUNCTION นั่นคือ V-I CHARACTERISTIC นั้นแสดงดังรูปที่ 4.23(b)

ในสภาพที่ไม่มีแสงมากระทบนั้นเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้เป็น ศูนย์จะไม่มีการแสไหล นั่นคือ จุดเริ่มต้นของแกน V-I นั่นเอง ในทิศทาง FORWARD นั่นคือเมื่อทำการให้ BIAS ในทิศทางที่อิเล็กตรอนที่อยู่ใน N-LAYER ถูกป้อนเข้าไปใน P-LAYER จะมีกระแส FORWARD CURRENT ไหลเป็นสัดส่วนกับ BIAS VOLTAGE และเมื่อให้ REVERSE BIAS จะมี DARK CURRENT ซึ่งเป็น LEAK CURRENT ที่มีค่าจำนวนหนึ่งไหลใช้สัญลักษณ์  $I_s$  เมื่อมีแสงมาตกกระทบ จะเกิดแรงดันไฟฟ้าในทิศทาง FORWARD ขึ้นที่ปลายทั้งสองของ P-LAYER, N-LAYER ตามปริมาณของแสงนั้น และมีกระแสไหลในทิศทาง REVERSE DIRECTION ดังนั้น V-I CHARACTERISTIC ในตอนนี้จะมีลักษณะคล้ายคลึงกันกับคุณสมบัติตอนไม่มีแสงมากระทบดังแสดงในรูปที่ 4.23(b) และส่วนของ PHOTO ELECTROMOTIVE FORCE นั้น มีลักษณะเปลี่ยนแปลงขนานกับด้านขวามือตามปริมาณแสงที่มากกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 แสดงคุณสมบัติ V-I และ LOAD ของ PN-JUNCTION

ในกรณีของ SOLAR CELL นั้น ทำ BIAS ให้เป็นศูนย์ และต่อความต้านทาน R เข้ากับวงจรภายนอก จะได้ PHOTO ELECTROMOTIVE FORCE แต่ทว่าค่าของกำลังไฟฟ้านั้นได้จากผลคูณของ V คูณ I ( $V=IR$ ) จาก V-I CHARACTERISTIC

อนึ่งเมื่อใช้ PN-JUNCTION เป็น PHOTO DIODE นั้น จากการป้อน REVERSE BIAS  $V_a$  กระแสที่ไหลในความต้านทานของ LOAD R นั้นจะเป็นสัดส่วนกับ  $I_p$  ถ้าหาก  $I_s$  มีค่าน้อยมาก ดังนั้น แรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณแสงที่เข้ามาจะเกิดขึ้นที่ความต้านของ LOAD

## บทที่ 5

### การมอดูเลทสัญญาณโดยใช้ LED และ IRED

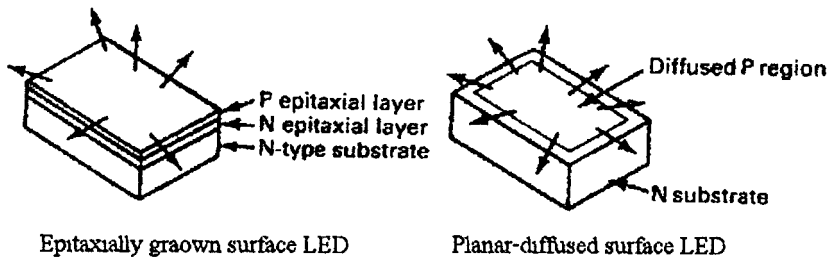
LED คุณทุกคนคงจะรู้จักกันดีเพราะมีการนำมาใช้งานทางอิเล็กทรอนิกส์มากมายเช่น เกมส์ เครื่องคิดเลข, นาฬิกาดิจิตอล เป็นต้น เพราะ LED ใช้กำลังไฟน้อยและ ประหยัดกว่าการใช้ หลอดไฟที่ใช้ทั้งสแตน LED บางอย่างถูกออกแบบสำหรับการใช้ในระบบการสื่อสารข้อมูลแบบอนาล็อก ซึ่งมีลักษณะพิเศษสำคัญ 4 อย่าง คือ

1. กำลังทางค่านเอาท์พุท
2. ความยาวคลื่น
3. ความเร็ว
4. รูปแบบของสัญญาณ

กำลังค่านเอาท์พุทจะกระจายแสงมากจึงผลต่อการสื่อสารแต่ถ้ากำลังทางเอาท์พุทต่ำเราต้องใช้ วงจรขยายช่วยหรือเลนส์ซึ่งเลนส์สามารถลดอัตราความสูญเสียได้

ตามปกติจะเกิด Epitaxially ขึ้นบนผิวหน้าและ โครงสร้างนี้ทำให้เกิดการแพร่ออกของแสง ไปบนผิวหน้าดังแสดงใน รูปที่ 5.1 คือรูปแสดงการออกแบบรูปร่างโครงสร้างของ LED

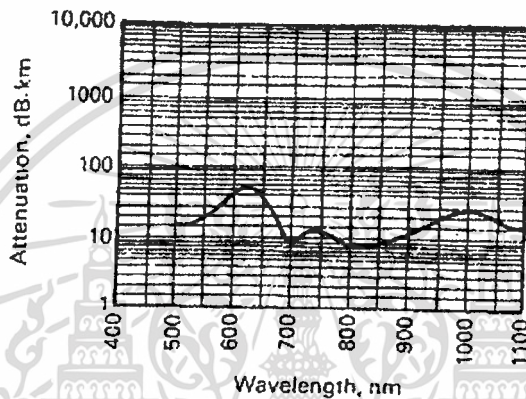
LED ที่มีการวางของชั้นสารเป็นชั้นๆดังรูป(Epitaxially) ที่ทำจาก Silicon-Doped Gallium Arsedide ซึ่งสิ่งประดิษฐ์นี้มีส่วนประกอบของสาร P และ N ความยาวของแสงอยู่ในช่วง 940 มิลลิเมตรและมีกำลังในการแผ่กระจายของแสง 3 มิลลิวัตต์ เมื่อมีกระแส Forward  $I_f$  เท่ากับ 100 มิลลิแอมป์ และมีความเร็วในการปิด-เปิด ซึ่งอัตราเร็วนี้จะอยู่ในระดับ 150 นาโนเซ็กกัน ซึ่งก็ยังสามารถอยู่ดีเมื่อความต้องการของระบบที่มีความเร็วของข้อมูลเท่ากับ 20-25 นาโนเซ็กกัน การกระจายแสง จะกระจัดกระจายไม่มีทิศทาง ซึ่งถ้าจะนำมาใช้กับเส้นใยนำแสงจะเป็นตัวพิจารณาหลังสุด เส้นใยนำแสงต้องใช้ลำแสงที่มีลำแสงที่แคบเพราะมีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กและความยาวคลื่นที่ส่งออกมาเป็นระยะ 700-750 นาโนเมตร ระดับความถี่นี้ทำให้สัญญาณลดลง 10 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ใน รูปที่ 5.2 แสดงการลดทอนของเส้นใยนำแสง ปกติ LED จะกระจายแสงในช่วงความยาวคลื่น 875 นาโนเมตร ซึ่งจะมีความสูญเสียประมาณ 7 เดซิเบลต่อกิโลเมตร



รูปที่ 5.1 โครงสร้างของ LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจายแสงที่ไม่มีทิศทางของ (Epitaxially Chip) จะมีกำลังทางด้านเอทพุทและการแพร่กระจายแสงจะไม่เข้าไปใน CORE ของเส้นใยนำแสง การกระจายแบบนี้เรียกว่า “Lambertian” หมายความว่า การกระจายเป็นแบบอนาล็อกและมีผลกระทบเมื่อมีสิ่งกีดขวางต่อการกระจายแสง สิ่งประดิษฐ์แบบที่สองก็คือ Planar Diffused Surface LED แบบนี้มีกำลังทางด้านเอทพุทมีค่า  $500 \mu\text{w}$  ที่ความยาวคลื่น  $900 \text{ นาโนเมตร}$  ความยาวคลื่นนี้เพียงพอกับช่วงเวลา  $15\text{-}20 \text{ ns}$  อย่างไรก็ตามการกระจายแสงยังเป็นแบบ “Lambertian”



รูปที่ 5.2 แสดงการลดทอนของเส้นใยนำแสง

การออกแบบ LED ทั้ง 2 สามารถออกแบบให้มีประสิทธิภาพควบคู่ไปกับเส้นใยนำแสงคือโครงสร้างของการวางชั้นสารที่เป็นชั้นๆ (HeteroJunction) และไดโอดที่มีการกระจายแสงที่มีลำแสงแคบๆ วัสดุที่ใช้ทำคือผลึกของ อลูมิเนียมแกเลียมอะซีไนด์ ซึ่งมันให้ความยาวคลื่น  $820 \text{ นาโนเมตร}$  ในแบบ HeteroJunction กระแสจะเกิดขึ้นที่ชั้นของสารและเราสามารถเพิ่มกระแสได้เพื่อที่จะทำให้อำนาจแสงแคบๆ และส่งเข้าไปยังเส้นใยนำแสงได้

เมื่อเริ่มใช้ LED ในงานโทรคมนาคมจะใช้ช่วงความถี่  $50\text{-}200 \text{ MHz}$  ซึ่งโครงสร้าง LED แบบ Planar ในทางปฏิบัติแล้วใช้ไม่ได้เพราะอัตราเร็วและการถ่วงออกของลำแสง โดยทั่วไปการออกแบบเส้นใยนำแสงจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ  $50\text{-}60 \text{ ไมโครเมตร}$  การออกแบบพัฒนา LED แบบใหม่เป็นแบบ Etched-Well หรือ Burris

โครงสร้าง LED นี้จะทำให้แสงสว่างส่องผ่านทะลุช่องว่างที่กว้างประมาณ  $0.025 \text{ มิลลิเมตร}$  เป็นการส่องออกมาในพื้นที่ที่เล็กมาก ๆ LED ที่มีความเที่ยงตรงต่อการส่องแสงในทิศทางเดียว เพราะฉะนั้นจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีราคาสูง ลักษณะของ LED มีดังนี้

#### 1. กระแส Forward ( $I_f$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แรงดัน
3. การทนต่อกระแสย้อนกลับสูงสุด
4. แถบความถี่
5. กำลังทางเอาต์พุต
6. เวลาของการปิด-เปิดของแสง
7. การรั่วของกระแสย้อนกลับ
8. รูปแบบของการส่องแสง

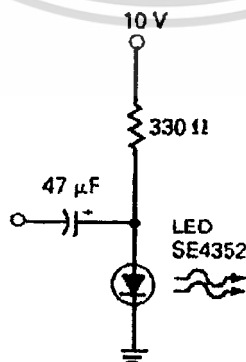
### การรวมสัญญาณทางด้านไฟสลัป

ในตัว LED จะมีกระแส  $I_f$  ไหลเมื่อมีการรวมของสัญญาณทางซึ่งแสงเป็นพาหะของข้อมูล กระแส  $I_f$  สามารถทำให้ขนาดสัญญาณเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้โดยสัญญาณที่เป็นเชิงเส้นและสัญญาณรูป พัลส์ การทำงานเป็นแบบอนาล็อกในการรวมสัญญาณและส่งแบบไร้สาย คลื่นพาหะไฟตรงในการสื่อสารทางแสงคือการรวมสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านขนาด(AM) รูปที่ 5.3 เป็นการแสดง วงจรพื้นฐาน ตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่คลัฟปลิงสัญญาณไฟกระแสสลับ ในวงจรความต้านทาน  $R$  และแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงจะป้อนกระแสให้กับ LED ซึ่งอยู่ในช่วง 10-15 มิลลิแอมป์ การทำงานของ LED มีแรงดันใกล้เคียง 1.2-1.6 โวลต์ ขนาดของตัวเก็บประจุขึ้นอยู่กับความถี่และกระแสของไดโอด ความต้านทานของไดโอดจะมีค่าเท่ากัน

$$R_{dc} = V_o/I_f = 1.6/0.03 = 53 \text{ โอห์ม}$$

โดยค่า (จะมีค่าประมาณ 0.03) กระแสจะเปลี่ยนเป็น 2 มิลลิแอมป์ด้วยเปอร์เซ็นต์ ซึ่งกระแสนี้จะเปลี่ยนแปลงไป 6.6% และค่าจะหาได้จากสูตร

$$T = RC, F = 1/T = 1/RC, C = 1/FR$$

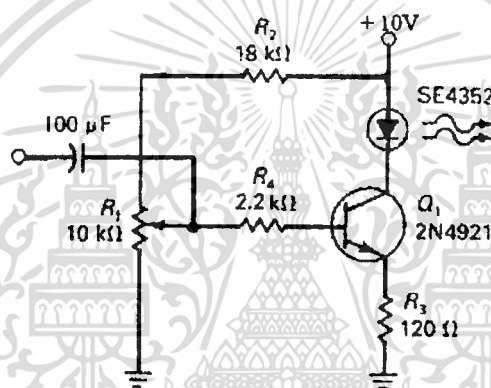


รูปที่ 5.3 วงจรพื้นฐานของการรวมสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางทำงานที่ความถี่ 40 Hz ค่าของตัวสุดท้ายของตัวเก็บประจุมีค่า 470  $\mu\text{F}$  แรงดัน  $V_p$  ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า  $I_f$  เป็น 2 มิลลิแอมป์(หรือที่ 30 มิลลิแอมป์ของไฟกระแสตรง) ซึ่งมีข้อจำกัดคือ

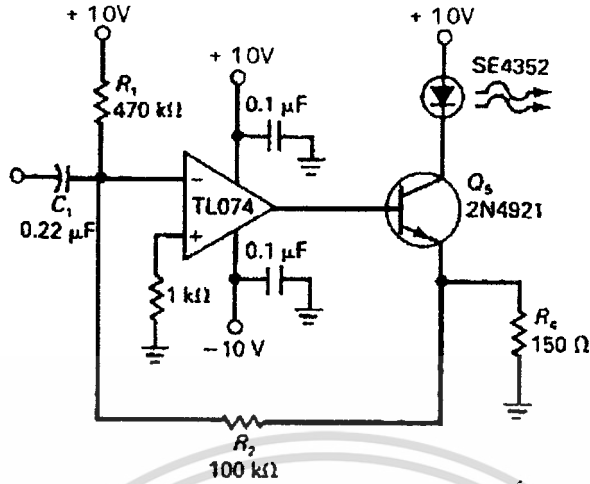
1. พิจารณาแรงดันไฟกระแสกลับของ LED
2. การเพิ่มขึ้นของไฟกระแสกลับนี้จะกระตุ้นให้เริ่มต้นการทำงานผิดพลาดไป
3. ครึ่งหนึ่งของแรงดัน  $V_{p-p}$  และการเพิ่มแรงดันของไดโอด
4. ชัดจำกัดกระแสของ LED โดยการต่อความต้านทานมาอนุกรม(การเพิ่มของกระแสเป็นเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้นของกระแสที่เริ่มต้น)



รูปที่ 5.4 วงจรขับ LED

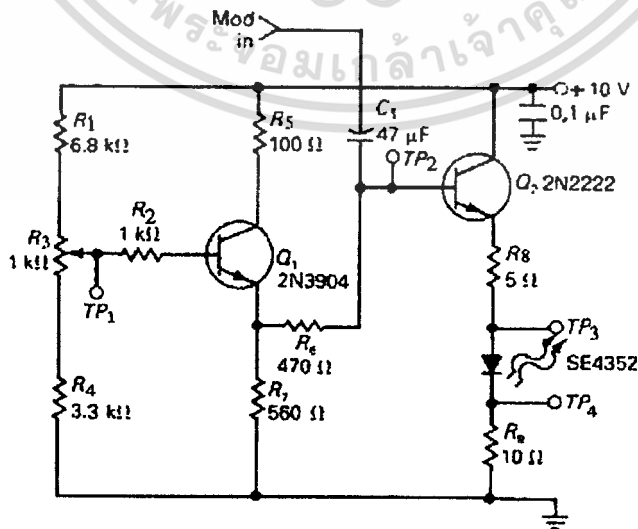
รูปที่ 5.4 แสดงวงจรขับ LED ที่ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวขยายสัญญาณ  $R_1$  และ  $R_2$  จะเป็นตัวกำหนดค่าไบอัสให้แก่ ทรานซิสเตอร์และ ค่ากระแสคอลเลคเตอร์ ( $I_c$ ) ทั้ง  $I_c$ ,  $I_f$  และการปรับค่า  $R_1$  ใช้สำหรับกำหนดค่ากระแสให้แก่ LED  $R_3$  เป็นตัวจำกัดกระแสของ LED และ  $R_4$  เป็นค่าความต้านทาน ที่ต่อโหลดให้กับขาเบส  $Q_1$  ทำหน้าที่เป็นตัวขยายสัญญาณ

รูปที่ 5 IC ที่ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวปรับแอมป์ไฟร์ สำหรับค่าที่แสดงในส่วน ต่างๆของวงจรมีค่าต่างๆคือ  $V_E$  ของ  $Q_1$  คือ +4.5 โวลท์  $V_B$  เท่ากับ +5 โวลท์ แรงดัน  $V_{BE} = 0.5$  โวลท์ และกระแส  $I_c$  ( $I_f$ ) มีค่าใกล้เคียงกับ 30 มิลลิแอมป์ IC เบอร์ TL074 รวมส่วนต่างๆของ IC สามารถ จะใช้ในการขยายสัญญาณเสียงและเป็นวงจรขยายสำหรับไมโครโฟน



รูปที่ 5.5 LED Driver And Preamplifier

จากวงจรรูปที่ 5.6 เป็นวิธีการรวมสัญญาณกับคลื่นพาหะ ทรานซิสเตอร์  $Q_2$  ทำหน้าที่ควบคุมกระแสให้กับ LED ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  เป็นตัวขยายสัญญาณและทำหน้าที่ควบคุมกระแสที่ขาเบสให้กับ  $Q_2$  แรงดันที่ขาเบสของ  $Q_1$  มีค่า +0.9 โวลต์จะมีกระแสไหล 40 มิลลิแอมป์และถ้ามีแรงดันเพิ่มเป็น +1.3 โวลต์ กระแสที่ไหลผ่านจะเท่ากับศูนย์ สัญญาณที่ใช้ไม่ว่าจะเป็น sine wave, สัญญาณสี่เหลี่ยมหรือสัญญาณรูปพัลซ์จะผ่าน  $Q_1$  หรือ  $Q_2$  จากวงจรกระแสสามารถผ่านได้ 40 มิลลิแอมป์ และมีไบอัสอยู่ในช่วง +0.89-1.32 โวลต์ วงจรที่ใช้ในการทดสอบด้วยไฟ 1.7 V สามารถนำไปใช้เป็นตัวขยายเสียงและวงจรความถี่สูงได้



รูปที่ 5.6 LED Modulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรรเรียนเพื่อใช้เท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

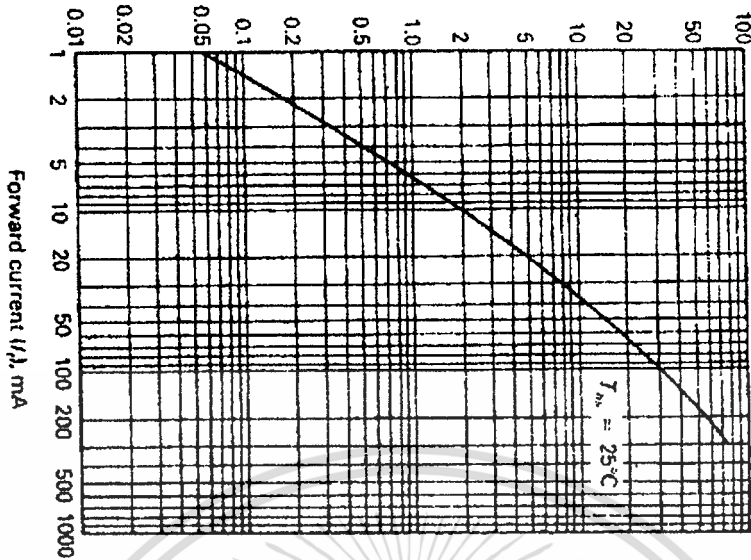
LED หรือ IRED จะถูกออกแบบผลิตให้สามารถที่จะใช้ในช่วงที่แสงสามารถมองเห็นได้หรือแสงอินฟราเรดโดยที่เส้นใยนำแสงที่ทำจากพลาสติกจะมีความสูญเสียในระดับกลางที่ความยาวคลื่นต่ำสุดเท่ากับ 660 ถึง 820 นาโนเมตร การทำงานของ LED ต้องอยู่ที่ในช่วงนี้ LED จะมีประสิทธิภาพมากเท่าไรขึ้นอยู่กับ การออกแบบที่ให้ลำแสงมีความแคบกว้างหรือน้อย เลขออร์กำลังสูง

รูปแบบของ LED และ IRED มีกำลังทางด้านเอาต์พุตในระดับ 100 ถึง 900 ไมโครวัตต์ และกระแส  $I_f = 10 - 50$  มิลลิแอมป์ การส่งกำลังทางด้านเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นใยนำแสง ความยาวของเส้นใยนำแสง 1 ถึง 5 เมตรอาจจะต้องการกระแส 50 มิลลิแอมป์ ตารางที่ 1 แสดงลักษณะของ LED เบอร์ SE4352 ซึ่งใช้สำหรับการคัปปลิงให้แก่เส้นใยนำแสง ซึ่งมีความยาวคลื่น คือ 820 นาโนเมตรเมื่อมีกระแสไหล 50 มิลลิแอมป์

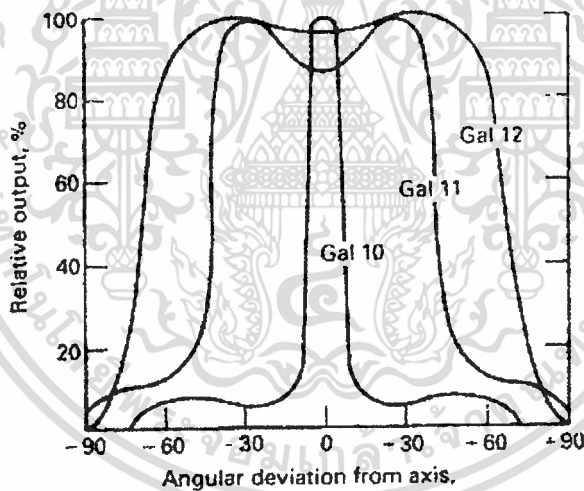
Parameter	Test condition	Symbol	Min.	Typical	Max.	Units
Forward drop	$I_f = 50 \text{ mA}$	$V_f$		1.6	2.0	V
Series resistance		$R_s$		1.6		$\Omega$
Device capacitance	$V_R = 1 \text{ V}$	$C_T$		800		pF
Power output	$I_f = 50 \text{ mA}$ Aperture = 1 mm N.A. = 0.5					
-002			175	400		$\mu\text{W}$
-300			350	700		$\mu\text{W}$
Response time	1 V dc bias, 1 peak = 10 mA	$t_f$		12	20	ns
Peak output wavelength	$I_f = 50 \text{ mA}$	$\lambda_p$		820		nm
Spectral bandwidth	$I_f = 50 \text{ mA}$	$\Delta d$		35		nm
$V_f$ temperature coefficient		$\Delta V_f / \Delta T$		-1.7		mV/ $^{\circ}\text{C}$
$P_o$ temperature coefficient	$I_f = 50 \text{ mA}$			-0.12		dB/ $^{\circ}\text{C}$
$\lambda$ temperature coefficient		$\Delta \lambda / \Delta T$		0.35		nm/ $^{\circ}\text{C}$
Thermal resistance		$\theta$		500		$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
Operating temperature			-55		85	$^{\circ}\text{C}$

ตารางที่ 5.1 คุณลักษณะของ SE4352 (TC=25C Unless otherwise specified)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 แสดงกราฟของกระแส  $I_f$  ต่อกำลังทางดำนเอาท์พุทของเลเซอร์ไดโอด



รูปที่ 5.8 Laser Patterns (Plessey) Infrared

ในขณะที่เลเซอร์ทำงานซึ่งการตอบสนองความถี่ที่มีความยาวคลื่น 20 - 50 นาโนเมตร(ความกว้างของแบนด์วิดท์) ที่มีค่าประมาณ 50 เปอร์เซนต์ของจุดการทำงาน ไดโอดที่นำมาทำงานในการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยนำแสงหรือใช้เลเซอร์ไดโอดอื่นๆเช่น Plessey Opto-Electronic และในไมโครเวฟเป็นต้น ซึ่งแสดงคุณลักษณะของคลื่น ในรูปที่ 5.8 เป็นการแสดงการตอบสนองของเลเซอร์ไดโอด3ตัวซึ่งกำลังทางเอาท์พุทที่ 45 มิลลิวัตต์ 500 มิลลิแอมป์ ที่ความถี่ที่มีความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### ใบงานการทดลอง

- ระบบการสื่อสารด้วยแสง
- แอลเอเอสซีอาร์ เลเซอร์ เซ็นเซอร์ และ ไตรแอกต์ฟเปลเตอร์
- การควบคุมไฟฟ้ากำลังโดยใช้ไตรแอก
- การควบคุมแสงสว่างในตอนกลางคืน
- เครื่องส่ง NRZ เมกกะบิท
- เครื่องรับข้อมูลการสื่อสาร
- AN FM CARRIER
- การแยกคลื่นพาหะ FM (FM CARRIER DEMODULATION)
- การผสมความกว้างของพัลส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดลอง ระบบการสื่อสารด้วยแสง

### วัตถุประสงค์

- 1.อธิบายว่าการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงเป็นอย่างไร
- 2.หัวใจหลักในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงนั้นมีอะไรบ้าง
- 3.การปรับตัวรับตัวส่งทางแสงให้การสื่อสารมีประสิทธิภาพ

### เครื่องมือและอุปกรณ์

ชุดทดลองและแผงการทดลองที่ 1 (SP-1)  
 คิวติคอลโวลท์มิเตอร์ , ออสซิลโลสโคป  
 ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

### ทฤษฎี

การสื่อสารสามารถเกิดขึ้นระหว่างระยะทางของตัวรับตัวส่งซึ่งมีอยู่ในรูปแบบ

- 1.ความถี่ที่ไม่สูงมากจะใช้ในสายในการสื่อสารเช่น โทรศัพท์
- 2.การส่งความถี่วิทยุออกอากาศโดยใช้สายอากาศ
- 3.ความถี่ไมโครเวฟใช้ในการสื่อสารความถี่สูงเช่น ใช้ในการสื่อสารดาวเทียม
- 4.แสงซึ่งอยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กจะส่งผ่านทางเส้นใยนำแสง

การส่งคลื่นวิทยุจะใช้สายอากาศทำหน้าที่รับส่งคลื่นวิทยุ ส่วนในการสื่อสารทางค่านแสง จะใช้เส้นใยนำแสง เส้นใยนำแสงสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. Step Index optic fiber (SI-fiber) เป็นเส้นใยแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่าง core กับ clad เป็นลักษณะแบบขั้นบันได
2. Graded Index optic fiber (GI-fiber) เป็นเส้นใยแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่าง core กับ clad ค่อย ๆ ลดลงทีละน้อยต่างกับ (1)
3. Single Mode , Step Index optic fiber (SM -fiber) นั้นจัดอยู่ในพวก SI-fiber เหมือนกันแต่ว่าเนื่องจากจุดประสงค์ต้องการให้เป็น single mode จึงทำให้อัตราส่วนผลต่างของค่าดัชนีการหักเหของ core กับ clad มีค่าน้อยมาก จึงแยกชนิดออกมาต่างหาก

เส้นใยนำแสงมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กมากประมาณ 50 ไมโครเมตร ถึง 1 มิลลิเมตร เมื่อเทียบกับสายเคเบิลที่ใช้อยู่ทั่วไป เส้นใยนำแสงที่ทำด้วยแก้วจะมีความสูญเสียอยู่ในระดับต่ำประมาณ 1 ถึง 5 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ส่วนสายเคเบิลที่ทำด้วยพลาสติกจะมีความสูญเสียประมาณ 500 ถึง 9000 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ถึงแม้ว่าสายเคเบิลที่ทำจากพลาสติกจะมีความสูญเสียมากกว่าก็ตาม แต่มันก็ใช้ได้ดีกว่าในระยะสั้นๆ

เส้นใยนำแสงมีข้อดีมากกว่าสายเคเบิลทั่วไปดังนี้

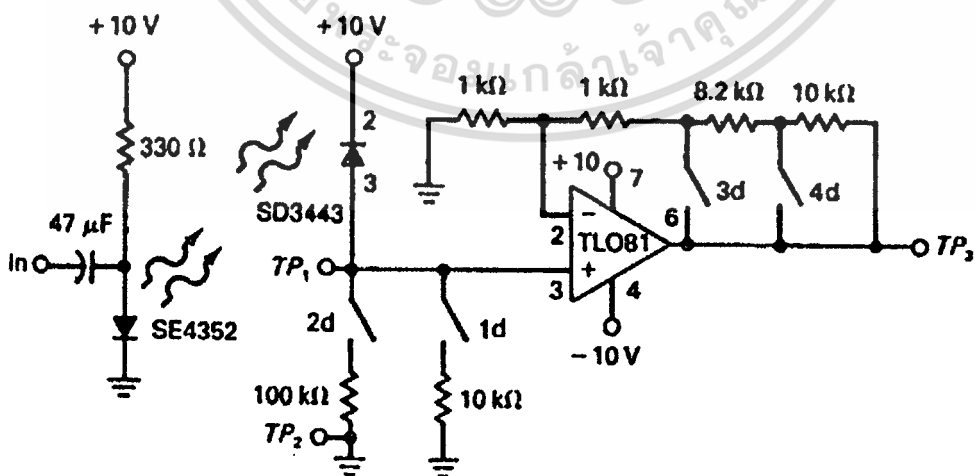
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สายเคเบิลที่ทำจากทองแดงจะต้องใช้ตัวทวนสัญญาณทุกๆ 1 ไมล์ แต่เส้นใยนำแสงจะใช้ตัวทวนสัญญาณ 20 ถึง 70 ไมล์ ต่อ 1 ตัว
2. เส้นใยนำแสง 1 เส้น สามารถบรรจุช่องสัญญาณเสียง 900 ช่อง แต่สายเคเบิลทั่วไปจะบรรจุได้เพียง 1 ช่อง ต่อ 1 เส้น
3. ราคาต้นทุนเมื่อเทียบกับสายเคเบิลทั่วไปจะถูกกว่า
4. มีคุณสมบัติยืดหยุ่นดีมาก
5. ไม่มีความเหนียวนำทางไฟฟ้า
6. ขนาดเล็กน้ำหนักเบา ความสูญเสียต่ำ

เส้นใยนำแสงมีผลต่อการตอบสนองของความถี่กว้างเมื่อเปรียบเทียบกับสายที่ใช้ลวดทองแดงและสามารถบรรจุช่องสัญญาณได้มากกว่าเมื่อเทียบเส้นต่อเส้นปัญหาของการใช้เส้นใยนำแสงนั้นก็คือการอินเตอร์เฟสของเส้นใยนำแสงหรือการต่อระหว่างเส้นใยนำแสงซึ่งยังไม่เป็นมาตรฐาน

#### ลำดับขั้นการทดลอง

1. รูปที่ 1 แสดงรูปวงจรพื้นฐานเบื้องต้นของระบบการสื่อสารเส้นใยแสง ซึ่งอยู่ในส่วน A และ D ของแผงทดลอง SP-1 นำมาต่อลงชุดทดลอง ตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟเพื่อให้แน่ใจว่าปรับโวลต์ให้ถูกต้องก่อนการทดลอง
2. ปรับสวิตช์ 1a , 2a ไปที่ตำแหน่ง ON แล้วนำมิเตอร์มาวัดแรงดันที่จุด TP1 ของแผงวงจร A



รูปที่ 1 การสื่อสารที่ใช้เส้นใยนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำแรงดันที่ได้มาคำนวณหา  $I_f$  จากสูตร  $I_f = (V_{cc} - V_{d1})/R_1$
4. คำนวณหาค่าพลังงานของโฟโตนิกไดโอดจากสูตร  $P = I_f \cdot V_{d1}$
5. ต่อสายไฟเบอร์ออฟติกระหว่างวงจร A และ D ป้อนสัญญาณอินพุต Sine wave ความถี่ 1 kHz ขนาด  $1 V_{p-p}$  เข้าที่อินพุตของวงจร A
6. วาดรูปสัญญาณที่ตำแหน่ง TP1 ของวงจร A และทำการบันทึกผล
7. ปรับปรับสวิทช์ 1d และ 4d ไปที่ตำแหน่ง ON วัดสัญญาณที่จุด TP3 ของวงจร D
8. ทดลองปรับปรับสวิทช์ d ไปตำแหน่งต่างๆและสังเกตผลที่เกิดขึ้น

### คำถามท้ายการทดลอง

1. IRED ทำงานอยู่ในช่วงใด
2. ช่วงความยาวคลื่นเท่าไรที่สามารถมองเห็นได้
3. ทรานซิสเวอ์ทำหน้าที่อะไร
4. สารกึ่งตัวนำพื้นฐานมีอะไรบ้าง
5. CORE ทำมาจากสารอะไร
6. เรดาร์และไมโครเวฟมีช่วงความถี่อยู่ในช่วงใด
7. การไบอัสโฟโตรีซิสเตอร์เป็นแบบใดที่ทำให้มันทำงาน
8. อธิบายลักษณะการเดินทางของแสง

## การทดลอง แลตเอเอสซีอาร์ เลเซอร์ เซ็นเซอร์ และ ไตรแอกคัพเปลอร์

### วัตถุประสงค์

เมื่อทำการทดลองแล้วสามารถเข้าใจถึงโครงสร้างและสิ่งต่างๆ เหล่านี้ได้

1. สามารถอธิบายลักษณะการทำงานของซิลิกอน คอนโทรลเรคตีไฟเออร์ที่ทำงานด้วยแสง (LASCR)
2. สามารถใช้อุปกรณ์ LASCR ในวงจรควบคุมกำลังโดยการควบคุมทางแสง
3. สามารถนำไปใช้ในการควบคุมไตรแอกกำลังงานสูงได้

### เครื่องมือและอุปกรณ์

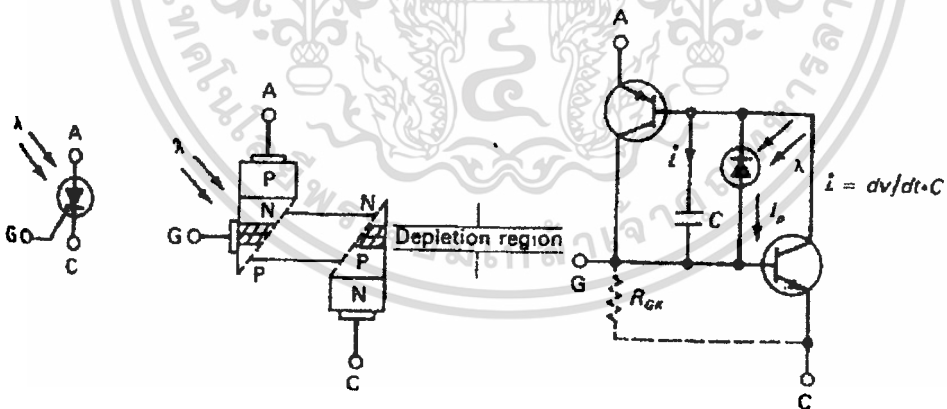
ชุดทดลองและแผงการทดลองที่ 1 (SP-1)

ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

ดิจิตอลโวลท์มิเตอร์ , ออสซิลอสโคป

### ทฤษฎี

LASCR ใช้มากทในการกระทบของแสงสว่างเสมอ ส่วนประกอบหลักจะประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 2 ตัว ตัวหนึ่งจะเป็นทรานซิสเตอร์แรงดันไฟสูงชนิด NPN และทรานซิสเตอร์ควบคุมเกทชนิด PNP รูปที่ 1 แสดงถึงโครงสร้างและการต่อของวงจร



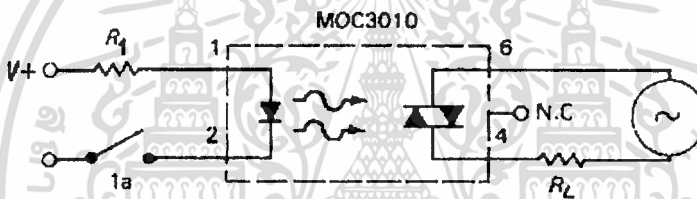
รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของ LASCR

เมื่อมีแสงมาตกกระทบรอยต่อ PN (ไดโอด) จะทำให้มีการไหลของกระแส  $I_p$  ผ่านเข้าไปที่ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN เพื่อให้ทรานซิสเตอร์ทำงานและจะไปกระตุ้นที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP เพื่อให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ต้องการวงจรที่มีอัตราขยายสูง ไฟไดโอดมีความไวของแสงสว่างซึ่งจะผลิตกระแสเล็กน้อยมากเพราะมีความไวสูง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LASCR มีความไวสูงต่ออุณหภูมิ วงจร LASCR มีกระแสต่ำ (ไม่เกิน 2 แอมป์) และมักจะใช้ร่วมกับ SCR เพื่อควบคุมวงจรแรงดันสูง LASCR จะทำงานคล้ายกับ SCR กระแสสามารถควบคุมได้ (อาโนดหรือคาโทดถูกขัดจังหวะการทำงาน) สามารถดูได้จากหนังสือเกี่ยวกับ SCR หรือหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ที่มีรายละเอียดมากกว่านี้

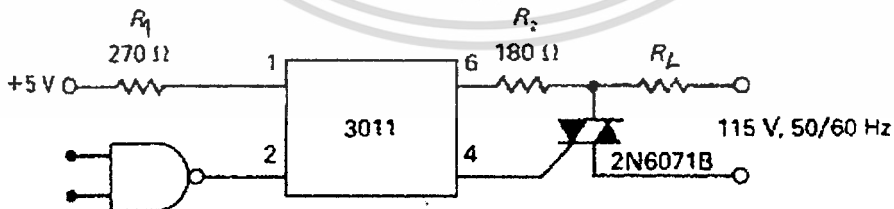
ไทรแอกและ SCR จะมีการควบคุมการทำงานคล้ายกันอย่างไรก็ตามไทรแอกสามารถที่จะควบคุมได้ตั้งแต่กำลังงานต่ำ และจนถึงกำลังงานสูง เป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการเปลี่ยนแปลงพลังงาน เช่น แสงสว่างไฟฟ้า, หม้อน้ำ, ตัวปรับความสว่างของหลอดไฟ, และการใช้งานอย่างอื่น ๆ เราสามารถใช้ไทรแอกกำลังงานสูงแต่ต้องการพลังงานเล็กๆ ในการควบคุม

LED (ทำจาก GaAs) การทำงานแรงดันฟอร์วิลด์ 15 โวลท์ ที่ 10 มิลลิแอมป์ กระแสสูงสุด 50 มิลลิแอมป์ แต่ในกรณีที่เป็นไดโอดใช้เพียง 15 มิลลิแอมป์ ก็เพียงพอแล้ว



รูปที่ 2 การขับไทรแอก (3010/3011)

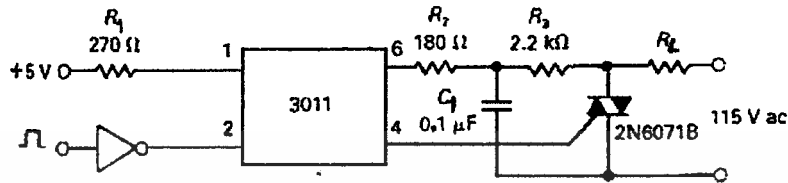
ถ้าทรินิโอดทำงานและสามารถควบคุมกระแสได้ ตัวดีเทคเตอร์จะนำกระแสมากกว่า 100 ไมโครแอมป์ ขณะที่ระดับกระแสต่ำกว่า ตัวดีเทคเตอร์ก็กลับไปยังตำแหน่งที่กันไว้ กระแสจะไหลผ่าน LED ที่อยู่ในช่วง 10 มิลลิแอมป์ซึ่งจะทำให้ตัวดีเทคเตอร์นำกระแส



รูปที่ 3 การควบคุมไทรแอกด้วยความต้านทานโหลด

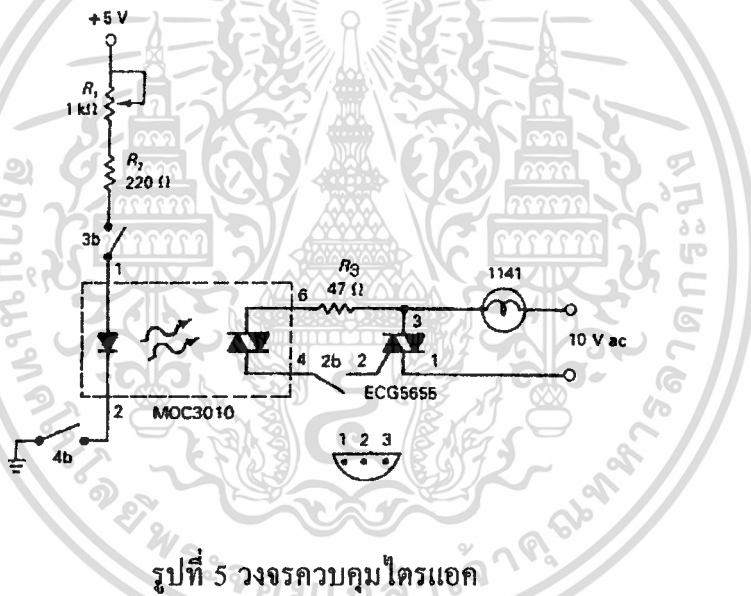
รูปที่ 3 แสดงถึงการควบคุมไทรแอก อย่างไรก็ตามในการควบคุมวงจรภายนอกและตัวต้านทาน โหลดค่าความต้านทาน 180 โอห์ม จะเป็นตัวกันสัญญาณที่ไม่เรียบเข้าไปทางตัวเชื่อมต่อทางแสงทั้งสองขาในการเชื่อมต่อ ลอจิกเกตเป็นวงจรเปิด LED ถ้า LED มีแหล่งจ่าย เลี้ยง +5 โวลท์, เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $R_1 = 230$  โอห์ม ก็เพียงพอแล้วค่ามาตรฐาน คือ  $270$  โอห์ม จะทำให้กระแสไหลประมาณ  $13$  มิลลิแอมป์เมื่อโหนดเป็นแบบความเหนียวจะทำให้เฟสของแรงดันและกระแสเลื่อน ไตรแอก อาจจะนำกระแสเมื่อมีแรงดันเข้ามาเราสามารถป้องกันได้โดยการต่อวงจร RC หรือ โครงข่ายแบบ Snubber ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 4



รูปที่ 4 วงจร Snubber

### ลำดับขั้นการทดลอง



รูปที่ 5 วงจรควบคุมไตรแอก

1. จากรูปที่ 5 เป็นวงจรที่ใช้ในการทดลองซึ่งอยู่ในส่วน E ของแผงทดลอง SP-1
2. ป้อนไฟให้กับวงจรแล้วปรับสวิตช์  $2b$  ,  $3b$  และ  $4b$  ไปที่ตำแหน่ง ON และปรับค่าความต้านทาน  $R_1$  สังเกตว่ามีอะไรเกิดขึ้นบ้าง
3. ปรับ  $R_1$  จนหลอดไฟเริ่มสว่างนำสโคปมาวัดสัญญาณคร่อมหลอดไฟและบันทึกผล
4. ปรับ  $R_1$  จนหลอดไฟสว่างเต็มที่สังเกตและบันทึกผล

### คำถามท้ายการทดลอง

1. กระแสสูงสุดที่ LED มีค่าเท่ากับกี่มิลลิแอมป์
2. เมื่อ SCR นำกระแสอยู่จะอย่างไรให้ SCR หยุดนำกระแส

3. snubber ถูกใช้เพื่อแก้ปัญหาอะไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดลอง การควบคุมไฟฟ้ากำลังโดยใช้ไทรแอก

### วัตถุประสงค์

1. สามารถอธิบายการทำงานของวงจรควบคุมไทรแอกได้
2. สามารถอธิบายการใช้ตัวเชื่อมโยงต่อในวงจรได้
3. สามารถทดสอบและวัดค่านวมหากระแสของไทรแอกที่ใช้ควบคุมกำลังได้

### เครื่องมือและอุปกรณ์

ชุดทดลองและแผงทดลองที่ 1 (SP 1)

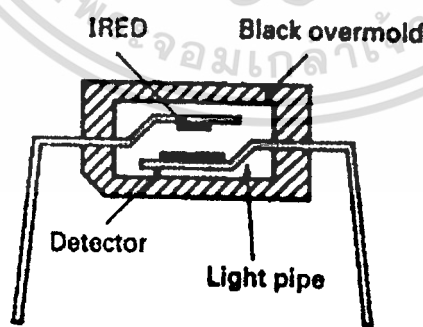
ดิจิตอลโวลท์มิเตอร์ , ออสซิลอสโคป

ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

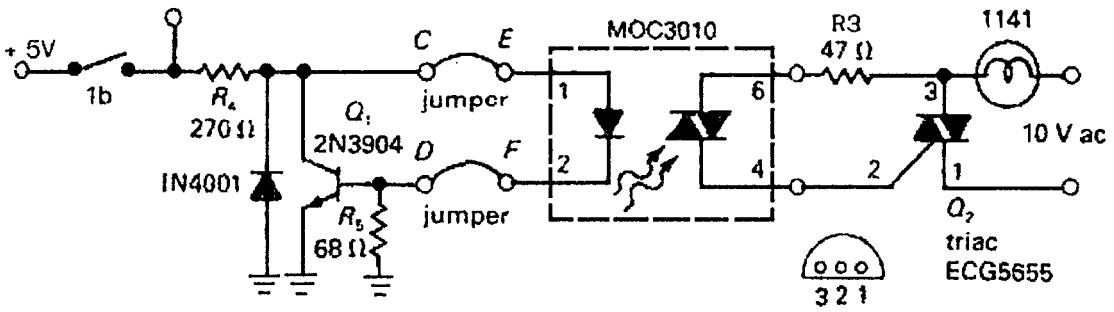
### ทฤษฎี

ไทรแอก ใช้เป็นตัวควบคุมกำลังของไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถที่จะใช้ได้ ณ ระดับความต่างศักย์ต่างๆ กัน เช่นในการปรับความสว่างของหลอดไฟ ควบคุมความเร็วต่าง ๆ ของมอเตอร์ และใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของขดลวดความร้อน ไทรแอกสามารถทำงานมากกว่า 115 โวลท์ และต่อเนื่องในหลายระดับ สามารถที่จะใช้ตัวเชื่อมโยงทางแสง(MOC 3011)เป็นตัวควบคุมได้

รูปที่ 1 แสดงถึงโครงสร้างของตัวเชื่อมโยงทางแสงที่ใช้ในการควบคุมไทรแอก ถ้าแรงดันอินพุตที่ IRED มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นควรจะมีวงจรป้องกันด้วย ถ้าโหลดที่มีความเหนี่ยวนำ จะทำให้กระแสเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆลงๆ



รูปที่ 1 โครงสร้างของตัวเชื่อมโยงทางแสง



รูปที่ 2 วงจรควบคุมรีเลย์ที่ใช้ไตรแอก

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นวงจรควบคุมรีเลย์ซึ่งสามารถควบคุมในระยะไกลและถูกใช้สำหรับโหลดที่เป็นความต้านทานหรือมีความเหนียวหนา อินพุตที่เข้ามาไดโอด  $D_1$  และทรานซิสเตอร์  $Q_1$  จะเป็นตัวการป้องกันที่แรงดันอินพุตที่มีการเปลี่ยนแปลงและแรงดันกลับชั่วคราวที่ไหลไปยัง IRED ในตัวเชื่อมต่อทางแสงถูกจำกัดและจะมีผลกระทบต่อวงจร กระแสต่ำและความต่างศักย์ ทางด้านอินพุตจะใช้แรงดัน +5 โวลต์ ถ้าใช้แรงดันที่สูงขึ้นสำหรับ ค่าของตัวต้านทาน  $R_4$  สามารถที่จะเพิ่มขึ้นได้กระแสที่ผ่าน IRED ควรจะตั้งให้อยู่ระหว่าง 10 ถึง 15 มิลลิแอมป์ ทั้ง  $R_4$  และ  $R_5$  จะควบคุมกระแสที่ผ่าน อิมิตเตอร์

ในส่วนของเขาท์พุท องค์ประกอบที่ป้องกันกระแสที่เปลี่ยนแปลงขึ้นๆลงๆ สำหรับโหลดที่มีความเหนียวหนา และ วงจรที่มีโหลดเป็นแบบความต้านทาน เขาท์พุทของไตรแอกจะขึ้นอยู่กับความต่างศักย์และกระแสของโหลด ไตรแอกที่ใช้ ในการทดลอง ไตรแอกตัวนี้สามารถทนแรงดันสูงสุดได้ 200 โวลต์ และกระแสที่ 6 แอมป์ในการทดลองเราจะใช้แรงดันเพียง  $12V_{ac}$  เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายแก่ผู้ทดลอง

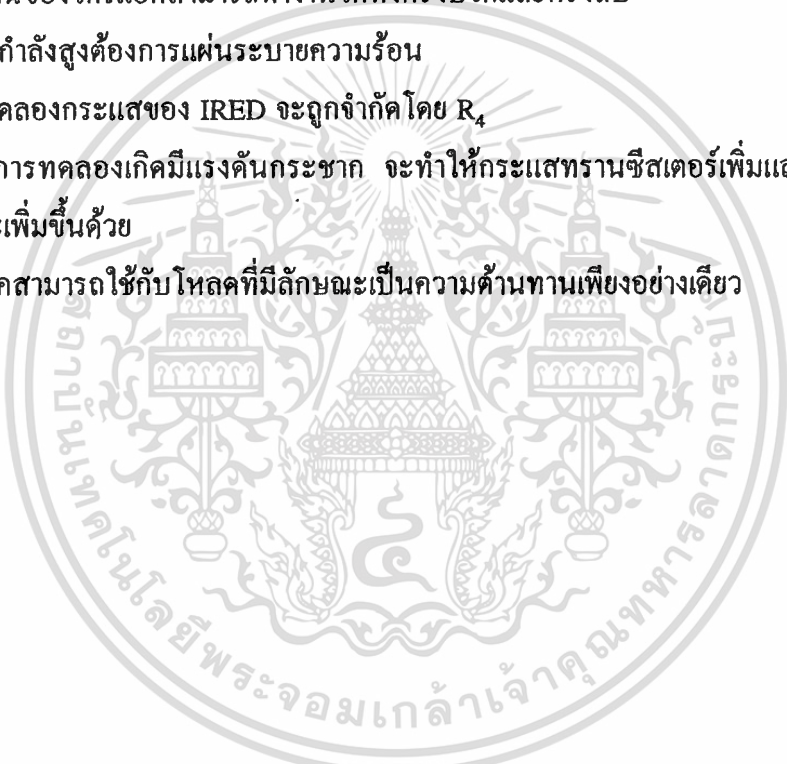
#### ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. จ่ายแรงดันแก่วงจร E ของแผงทดลอง SP-1 ให้ถูกต้อง
2. ต่อสายระหว่างจุด C กับ E และ D กับ F
3. ปรับสวิตช์ 2b ไปที่ตำแหน่ง ON และสวิตช์ 3b ,4b ไปที่ตำแหน่ง OFF
4. ทดลองปรับสวิตช์ 1b และสังเกตผลที่ได้
5. วัดแรงดันตกคร่อม  $R_5$  และคำนวณหา  $I_{R_5}$
6. ปรับสวิตช์ 3b , 4b ไปที่ตำแหน่ง OFF และ สวิตช์ 2b ไปที่ตำแหน่ง ON
7. ต่อสายระหว่างจุด A กับ E และ B กับ F ทดลองปรับสวิตช์ 1b สังเกตผล

### คำถามท้ายการทดลอง

เพื่อตรวจสอบความเข้าใจในการทดลองให้อ่านคำถามแล้วพิจารณาว่าถูกหรือผิด

1. ในการทดลองวงจรที่ 2 แรงดันอินพุทจาก +5 โวลต์ สามารถเปลี่ยนเป็น -5 โวลต์ ได้
2. ขณะที่กระแสของ IRED เพิ่มขึ้นกระแสของ โหลดก็จะเพิ่มขึ้นด้วย
3. อัตราส่วนของกระแสที่เป็นตัวขับ ไตรแอกขึ้นอยู่กับกระแสเกท
4. แหล่งจ่ายไฟที่จ่ายให้กับ IRED ต้องแยกจากกันกับแหล่งจ่ายไฟของโหลด
5. แรงดันที่แยกจากกัน(ข้อที่ 4)เป็นคุณสมบัติของตัวเชื่อมต่อโยงทางแสง
6. การทำงานของ ไตรแอกสามารถทำงาน ได้ทั้งครึ่งบวกและครึ่งลบ
7. ไตรแอกกำลังสูงต้องการแผ่นระบายความร้อน
8. ในการทดลองกระแสของ IRED จะถูกจำกัดโดย  $R_4$
9. ขณะที่ทำการทดลองเกิดมีแรงดันกระชาก จะทำให้กระแสทรานซิสเตอร์เพิ่มและกระแส IRED ก็เพิ่มขึ้นด้วย
10. ไตรแอกสามารถใช้กับโหลดที่มีลักษณะเป็นความต้านทานเพียงอย่างเดียว



## การทดลอง การควบคุมแสงสว่างในตอนกลางคืน

### วัตถุประสงค์

- 1.สามารถอธิบายวงจรควบคุมแสงสว่างได้
- 2.สามารถนำวงจรที่ทดลองไปประยุกต์ใช้งานได้
- 3.สามารถค้นคว้าอุปกรณ์ที่ใช้งานในลักษณะเดียวกับวงจรที่ใช้ทดลองได้
- 4.สามารถตรวจสอบวงจรที่ใช้งานและประกอบขึ้นมาได้
- 5.สามารถอ่านและทำความเข้าใจเทคนิคการใช้งาน

### เครื่องมือและอุปกรณ์

ชุดทดลองและแผงทดลองที่ 1 (sp-1)  
 ดิจิตอลโวลท์มิเตอร์ , ออสซิลโลสโคป  
 ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

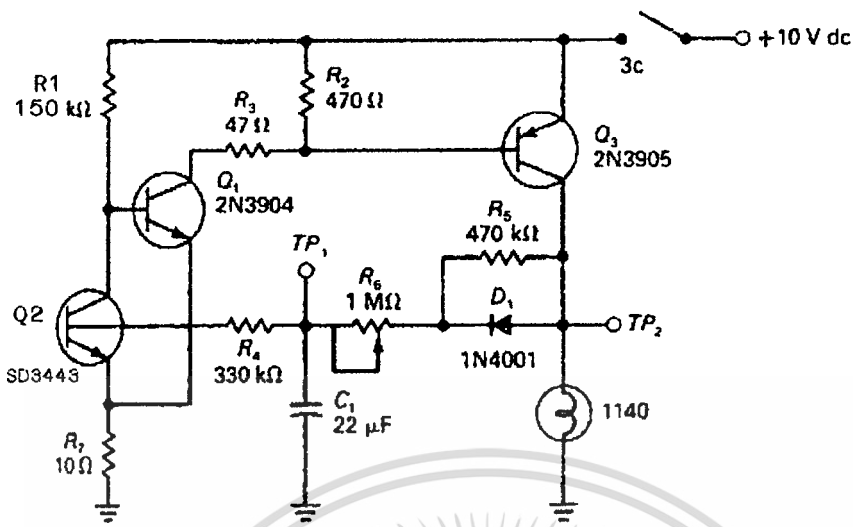
### ทฤษฎี

ตัวควบคุมแสงสว่างในตอนกลางคืนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการป้องกัน, เตือนและไฟสัญญาณทางเข้า portable light จะมีระดับความเข้มที่สูงและมีควิตซ์ไคเคลที่สั้นและมีแสงที่สว่างมากและสามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้ใช้งานได้นานวงจรที่ใช้ทดลองแสดงในรูปที่ 1

วงจรควบคุมแสงสว่างในตอนกลางคืนแบ่งเป็นสามสเตจคือตัวผลิตความถี่ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ dc-coupled ตัวเซนเซอร์ที่ใช้โฟโต้ทรานซิสเตอร์และตัวกำหนดความถี่ออสซิลเลเตอร์โดยใช้  $R_6$  และ  $C_1$  ซึ่งเป็นวงจร RC time constant สมมุติว่ายังไม่มีแสงมาตกกระทบตัวเซนเซอร์ ขณะที่แสงแพร่กระจายไปยังตัวเซนเซอร์เป็นผลทำให้อัตราการขยายลดลงและค่อยๆหยุดการออสซิลเลทเมื่อมีแสงที่สว่างมากกว่าจะทำให้หยุดการออสซิลเลทลักษณะเช่นนี้เรียกว่าเมื่อแสงสว่างวงจรจะหยุดทำงานวงจรนี้สามารถทำงานที่แรงดัน 4.7 - 6 โวลท์(ขึ้นอยู่กับหลอดไฟ)

### ลำดับขั้นการทดลอง

1. จ่ายแรงดันให้แก่วงจร F ของแผงทดลอง SP-1 ให้ถูกต้อง
2. เปิดตัวเซนเซอร์แล้วปรับ  $R_6$  สังเกตการเปลี่ยนแปลงของหลอดไฟ
3. ทดลองปิดตัวเซนเซอร์แล้วสังเกตผลที่เกิดขึ้น
4. ใช้สโคปวัดสัญญาณที่ตำแหน่ง TP1 และ TP2 ในขณะที่ปิดเซนเซอร์



รูปที่ 1 วงจรควบคุมแสงสว่างในตอนกลางคืน

5. ปรับ  $R_6$  จนหลอดไฟสว่างจากนั้นจำลองเลียนแบบแสงอาทิตย์โดยเพิ่มแสงสว่างและสังเกตผลที่ได้

คำถามท้ายการทดลอง

1. อัตราการกระพริบของหลอดไฟขึ้นอยู่กับค่าอะไร
2. อัตราค่าตั้งของ  $Q_3$  ขึ้นอยู่กับค่าอะไร
3. รูปคลื่นของออสซิลเลเตอร์เป็นรูปคลื่นแบบใด
4. ความต้านทาน  $R_4$  มีหน้าที่ทำอะไร
5. อธิบายคำว่า Dimmer

## การทดลอง เครื่องส่ง NRZ เมกกะบิท

### วัตถุประสงค์

- 1.สามารถอธิบายพัลซ์ข้อมูลที่เปลี่ยนเป็นพัลซ์แบบแสงสำหรับการส่งไปบนเส้นใยนำแสงได้
- 2.สามารถทดสอบหาค่าคิจิตลออโฟโต้อิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ได้

### เครื่องมือและอุปกรณ์

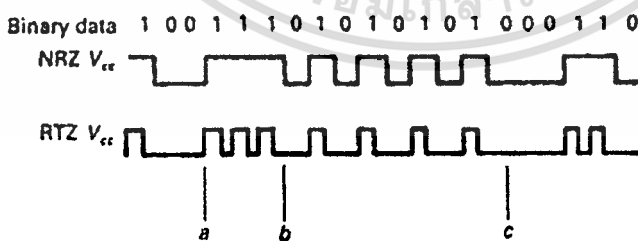
ชุดทดลองและแผงทดลองที่ 1 (SP 1)  
 คิจิตลออโวลท์มิเตอร์ , ออสซิลโลสโคป  
 ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

### ทฤษฎี

ในระบบคิจิตลออ ในการเข้ารหัสอาจจะใช้ NRZ (Non-Return to Zero) ในการเข้ารหัสของสถานะ 1 คือการใช้ระดับสูง เมื่อมีการเปลี่ยนไปสู่ระดับไปเป็นระดับต่ำก็จะเป็นสถานะ 0 ของระดับสัญญาณใน RTZ ( Return To Zero )

รูปที่ 1 แสดงรูปคลื่น ไบนารีของ NRZ และ RTZ และจะสังเกตระหว่าง a กับ b ของพัลซ์ RTZ มีอัตราการซ้ำ ๆ กันจะทำให้ พัลซ์สูงขึ้น สำหรับระบบของ RTZ ที่สถานะ 1

อัตราบิตสูงสุดของระบบ NRZ คือมีการสลับกันระหว่าง 1 กับ 0 แสดงจาก b, c สังเกตว่าอัตราบิต NRZ สูงสุดคือ ครึ่งหนึ่งของอัตราบิต RTZ สูงสุดหรือระบบ RTZ อาจใช้ 1 แบนด์วิททั้งสองของ NRZ เป็นข้อมูล



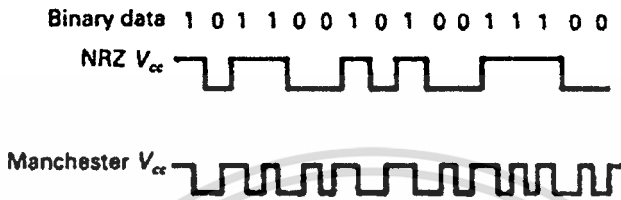
รูปที่ 1 การถอดรหัสระบบ NRZ และ RTZ

โดยทั่วไปตัวถอดรหัสเมื่อการถอดสัญญาณ NRZ ที่มี 1 กับ 0 ติดกันยาวๆเราจำเป็นต้องต้องมีการสลับเพื่อป้องกันการสูญเสียข้อมูลซึ่งมีสาเหตุมาจากการคัปปลิงของไฟฟ้ากระแสสลับ โดยการสลับการใช้ NRZ เป็น NTZ การไหลข้อมูลของ NTZ ข้อมูลจะไม่มี การสูญเสียที่มีสาเหตุ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

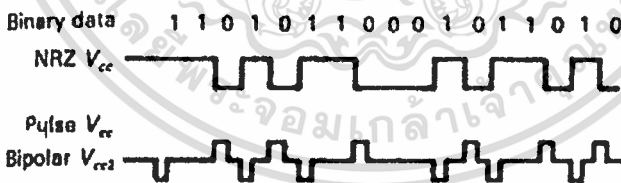
มาจากการค้ำพลังของไฟฟ้ากระแสสลับ ความต่อเนื่องของ 0 กับ 1 ของสัญญาณ NRZ และ NTZ จะทำให้เกิดการ lock-up รูปแบบของการเข้าและถอดรหัสมีอีกหลายวิธีซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

การถอดรหัสแบบแมนเชสเตอร์เป็นการถอดรหัสที่แก้การ lock-up ซึ่งทำโดยการสลับของสถานะ 0 กับ 1 ตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์

กรณีหลายกรณีที่ไม่ต้องการกู้สัญญาณนาฬิกาของระบบ RTZ ที่ปรากฏอาจจะใช้เข้ารหัสได้ดีตามหลักการที่วางไว้ อย่างไรก็ตามเครื่องรับจำนวนมากประกอบด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ (AGC) ในระหว่างสถานะ 0 AGC สามารถให้เครื่องรับทำงานยกระดับอัตราขยายขึ้น และสถานะ 1 ปรากฏเครื่องรับจะอยู่ในระดับกำลังอิมิตัว การเข้ารหัสให้ได้ดีตามหลักการหนึ่ง การเข้ารหัสพัลส์ไบโพล่า ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การถอดรหัสแบบ พัลส์ไบโพล่า

### ลำดับขั้นการทดลอง

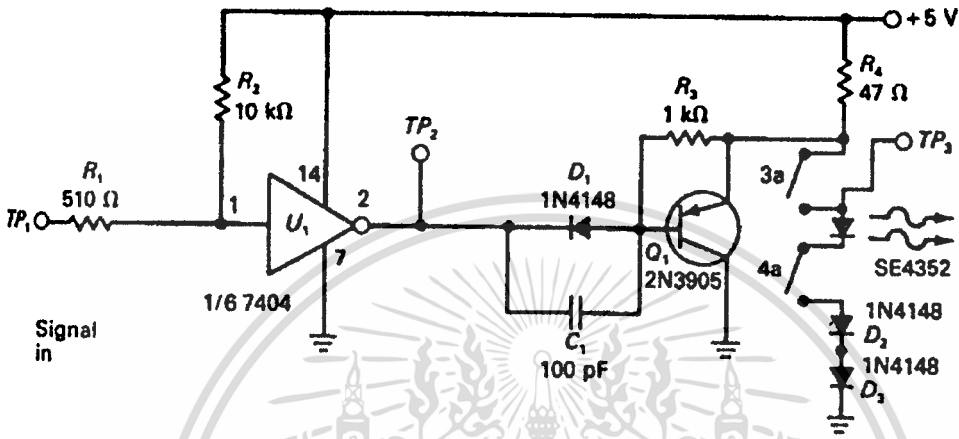
ในการทดลองจะประเมินผลของเครื่องส่งพัลส์ความถี่สูง (NRZ) วงจรพื้นฐานของเครื่องส่งสามารถใช้ข้อมูลในไมโครโปรเซสเซอร์ในการ link ได้ รูปที่ 4 แสดงวงจรในการทดลอง IRED ทำงานเมื่อ  $Q_1$  ทำงาน และ  $D_2 + D_3$  ทำให้ LED หยุดทำงาน  $D_1$  เป็นตัวป้องกันการป้อนกลับของกระแส  $Q_1$  (จุดพังทล่าย base - emitter) ค่า  $R_4$  หาได้จากสูตร

$$R_4 = (+V_{cc} - 3.0 \text{ V}) / I_f$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งคืนให้สำหรับใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$V_{cc}$  คือ โวลต์ที่แดงของแหล่งจ่าย :  $I_f$  คือ กระแสที่ IRED ใช้แหล่งจ่าย 10 V และ  $I_f = 0.05A$   $R_4 = 140$  โอห์มกับ  $R$  ค่า 150 โอห์ม สามารถใช้กับแหล่งจ่าย +5 V,  $R = 40$  โอห์ม แหล่งจ่ายไฟ 5 V อาจใช้ในเครื่องส่งและใช้กับวงจร TTL อื่น ๆ ด้วย ดังนั้นจึงสามารถใช้ในการทดลองได้



รูปที่ 4 เครื่องส่ง NRZ เมกกะบิต

1. จ่ายแรงดันให้กับวงจร B ในแผงทดลอง SP-1 ให้ถูกต้อง
2. ป้อนแรงดัน 5 V และเปิดสวิตช์ 3a และทำการวัด  $I_f$  และแรงดันตกคร่อม  $R_4$  (จากแผงทดลองจะอยู่ที่ B)
3. ขณะที่ยังไม่มีสัญญาณวัดแรงดันที่จุดต่างๆดังนี้  $TP_1$ ,  $TP_3$ , ขา E และ B ของ  $Q_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$

4. ป้อนสัญญาณบวก 3-4 V ที่ความถี่ 100 kHz ที่  $TP_1$  แล้วทำการวัดสัญญาณที่  $TP_3$

#### คำถามท้ายการทดลอง

- 1.พัลส์เอาท์พุทไบโพล่าทำให้เครื่องสามารถทำได้โดยอัตโนมัติกลับไป 0 ได้หรือไม่
- 2.ลักษณะของโมเด็มโดยทั่วไปใช้สำหรับการส่งข้อมูลแบบใด
- 3.ลักษณะของโมเด็มที่ใช้ในการเปลี่ยน โลจิกพัลส์ไปเป็นใด
- 4.อัตรา Baudot ของ 150 เท่ากับกี่บิตต่อวินาที
- 5.ใน ASCII ลักษณะเฉพาะเท่ากับกี่บิต
- 6.ใน ASCII ของ 10 บิตแสดงความหมายอะไร
- 7.ระหว่างจุดต่อและคอมพิวเตอร์การส่งผ่านแบบไหนเป็นวิธีที่ดีที่สุด

#### 8. SE4352 ทำงานในย่านใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดลอง เครื่องรับข้อมูลการสื่อสาร

### วัตถุประสงค์

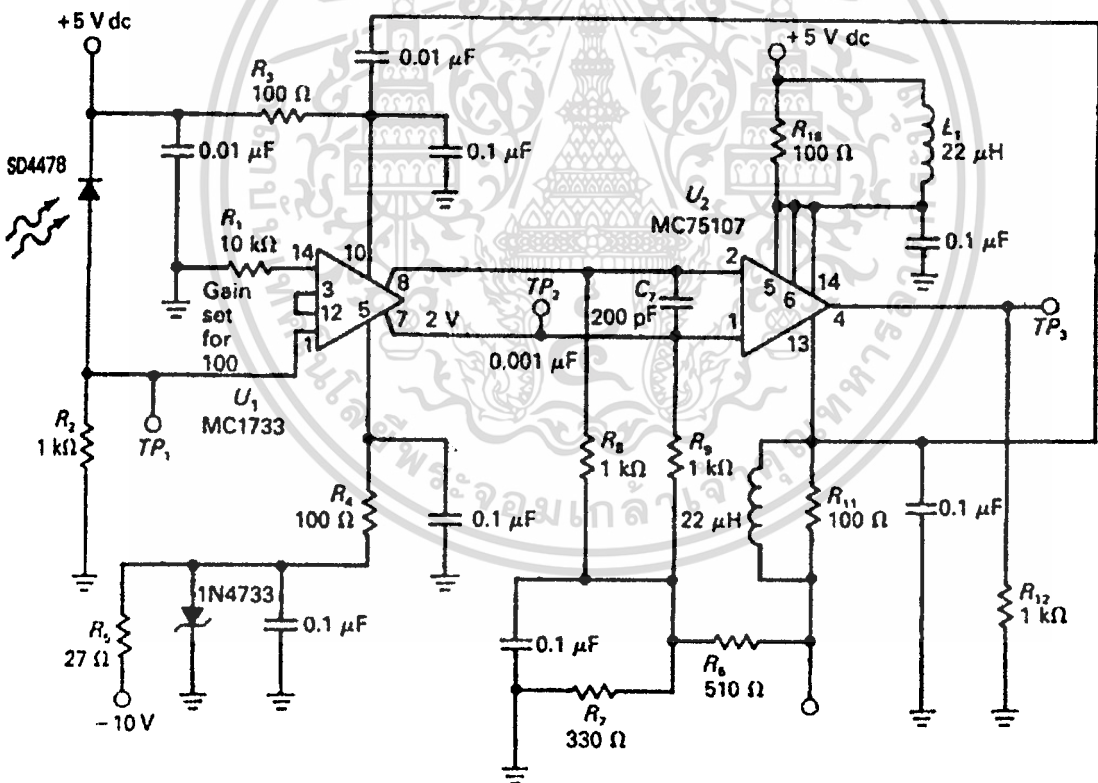
- 1.สามารถทดสอบและหาค่าของเครื่องรับข้อมูลการสื่อสารและเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบวงจรและข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องรับข้อมูล
- 2.สามารถอธิบายการวัดความกว้างของคลื่นทางด้านเครื่องรับเครื่องมือและอุปกรณ์

ชุดทดลองและแผงทดลอง (SP-1)

ดิจิตอลโวลท์มิเตอร์ , ออสซิลโลสโคป

ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

### ทฤษฎี



รูปที่ 1 วงจรภาครับของการสื่อสารข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ทฤษฎี

รูปแบบหนึ่งของตัวเชื่อมต่อของทางแสงที่ใช้ก็คือโฟโอดีโคคซึ่งมันสามารถผลิตกระแสได้น้อยแต่ก็ยังสามารถนำไปใช้ได้กับอุปกรณ์ทางโลจิกและมีความไวต่ำโดยมีความเร็วที่อยู่ในช่วง 1-10 ns ซึ่งนำมาใช้กับการส่งข้อมูลความเร็วสูง

ในระบบเครื่องรับและส่ง จะใช้ตัวเชื่อมต่อของทางไฟเบอร์ออฟติกสามารถนำไปใช้ในระบบโทรคมนาคม ไมโครโปรสเซสเซอร์และระบบควบคุม

### ลำดับขั้นการทดลอง

1. จ่ายแรงดันให้แก่วงจร B และ G ในแผงทดลอง SP-1 ให้ถูกต้อง
2. ปรับสวิตช์ 3a และ 4a ไปที่ ตำแหน่ง ON
3. ป้อนสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมความถี่ 1 kHz ขนาด  $4 V_{pp}$  เข้าที่อินพุทของวงจร B ต่อสายไฟเบอร์ออฟติกระหว่างวงจร B และ G
4. วัดสัญญาณที่จุด TP1 , TP2 , และ TP3 ของวงจร G แล้วทำการบันทึกผล

### คำถามท้ายการทดลอง

1. ทำไมโฟโอดีโคคจึงนิยมใช้ในเครื่องรับมากกว่าโฟโอดีทรานซิสเตอร์
2. เกนการขยายของเครื่องรับสามารถควบคุมโดยใช้ความต้านทานระหว่างจุดใดบ้าง
3. เอ๊าท์พุทของ MC75107 จะมีสัญญาณเป็นรูปใด
4. MC1733 สามารถทำงานได้ทั้งดิจิตอลและอนาลอกใช่หรือไม่
5. ความต้านทาน  $R_5$  และ  $R_7$  มีประโยชน์อะไร

## การทดลอง AN FM CARRIER

### วัตถุประสงค์

1. สามารถอธิบายการทำงานของ FM Oscillator-Light Modulation ได้
2. สามารถนำการมอดูเลทแบบ FM ไปประยุกต์ใช้งานได้
3. สามารถทดสอบและหาค่าต่างๆตามจุดภาครับของ FM ที่ใช้เส้นใยแสงได้
4. สามารถแนะนำความรู้ที่ได้รับไปอธิบายให้คนอื่นฯฟังได้
5. สามารถบำรุงรักษาและซ่อมแซมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับแสงในอุตสาหกรรมหรือพาณิชย์ได้

### เครื่องมือและอุปกรณ์

ชุดทดลองและแผงทดลองที่ 2 (SP-2)

คิจิตอลเตอร์ , ออสซิลโลสโคป

ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

### ทฤษฎี

ในระบบโทรศัพท์ เครื่องมือวัดและการสื่อสารข้อมูลจะใช้การส่งคลื่นเพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารซึ่งจะเป็นการส่งแบบ FM การส่งแบบ FM สามารถส่งได้พร้อมๆกันหลายๆความถี่(FDM)ในการส่งสัญญาณเสียง ความถี่ที่ใช้อาจมากกว่า 52 KHz ในบางเวลาของการมอดูเลททางความยาวคลื่นสามารถกำหนดเป็นความถี่ต่ำหรือสูงโดยการกำหนดตัวนำ การผสมสัญญาณโดยการใช้ความถี่ให้สอดคล้องกับความสูงของรูปคลื่น

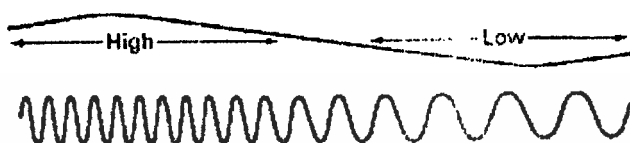
การผสมสัญญาณนั้นจะมีมุมและเฟสเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ขณะทำการผสมสัญญาณ ถ้าการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดขณะทำการผสมเรียกว่า ความถี่เปลี่ยนแปลง หรือ การเปลี่ยนแปลงในลักษณะความถี่สวิงไปมา ในบางขณะการเปลี่ยนแปลงทางความถี่อาจมาจากสาเหตุทางแอมพลิจูด ขณะทำการผสมสัญญาณ(ค่าความถี่สูงสุดเป็นคุณลักษณะเฉพาะเครื่อง)

การส่งกระจายเสียงในด้านธุรกิจ ความถี่เบี่ยงเบนอยู่ที่ 75 KHz เป็นความถี่ที่ใช้กันอยู่และความถี่ 25 KHz เป็นความถี่ข้างเคียงเป็นตัวกันระหว่างช่องสถานีในระบบ FM ที่ความกว้างของคลื่น 200 KHz ไม่ใช่ 50KHz ไม่สามารถใช้ได้เป็นช่วงบังคับเพราะมีความจำเป็นในแถบความถี่ IF ของภาครับ

การผสมคลื่นของสัญญาณ FM เป็นสาเหตุทำให้ความถี่เปลี่ยนแปลงไปในด้านของขนาด Amplitude ถูกกำจัดออกโดยวงจร Clipping หรือ limiting การส่งสัญญาณกลับมามีสัญญาณไฟฟ้าเข้ามาด้วย ซึ่งอาจจะมากับความถี่ของการส่งข่าวสารก็ได้ การเปลี่ยนแปลงความถี่จะสัมพันธ์กับการผสมคลื่นสัญญาณ ถ้าความถี่ที่ต้องการผสมด้วยสัญญาณที่ 100 Hz เมื่อ Carrier คือ 50 KHz เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Carrier ของเครื่องอาจจะเปลี่ยนแปลงไปเป็น 100 Hz ความสัมพันธ์ของสองแพคเตอร์นี้เป็นการเบี่ยงเบนของความถี่ซึ่งความสัมพันธ์ทาง Amplitude ขณะที่ทำการผสมสัญญาณ และอัตราการเบี่ยงเบนนี้ จะเป็นสัญญาณการรวมคลื่นตามรูปที่ 1 เป็นการแสดงรูปคลื่นการผสมสัญญาณ Sinewave กับสัญญาณคลื่นพาห้



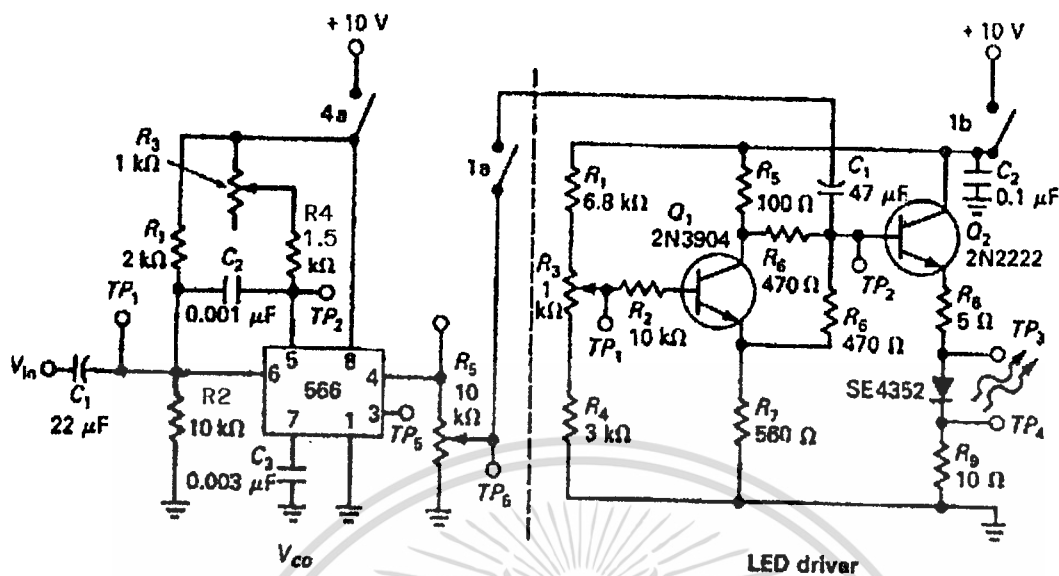
รูปที่ 1 Frequency Modulating a carrier

ความสูงของสัญญาณขณะ Mod จะมีแรงดันเพิ่มขึ้น ความถี่เปลี่ยนแปลงตามคลื่นพาห้ด้วย และเมื่อมีการผสมสัญญาณต่ำลงจะทำให้คลื่นพาห้ความถี่ลดลงด้วย

การ Mod แบบ AM จะก่อให้เกิดความสูงต่ำของสัญญาณด้านข้างทั้งสอง (upper and lower sideband) ขณะเดียวกันการผสมสัญญาณแบบ FM จะทำให้เกิดความถี่ทั้งสองข้างเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ถ้าเอาสัญญาณความถี่ 3 KHz ผสมกับสัญญาณ 100 MHz จะทำให้เกิดความถี่ข้างเคียง (sideband) 3 KHz ด้วยคั้งนั้นแถบความถี่ข้างเคียงอาจจะมีได้ 5-7 KHz bandwidth สามารถควบคุมได้ 40-50 KHz และค่าความเบี่ยงเบนได้สูง +75 KHz สัญญาณ

15 KHz สามารถนำพาสัญญาณไปได้ถึง 5 KHz (7/15) ความถี่ของ FM มี Bandwidth กว้างกว่า AM การส่งแบบ FM ดีกว่าการส่งแบบ AM เพราะมีสัญญาณรบกวนที่ต่ำกว่า ในการส่งสัญญาณ FM เราสามารถใช้ความถี่มอดรูปของออสซิลเลเตอร์ ในการผสมคลื่นสัญญาณคลื่นพาห้กับความถี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงเราเรียกว่า Phase Modulated FM

การส่งกระจายเสียงในระบบ FM นั้น อยู่ในช่วงความถี่ 88-108 MHz หรือสูงกว่า-ต่ำกว่านี้ ความถี่พาห้ที่ 10-100 KHz สามารถทำการผสมสัญญาณในห้องปฏิบัติการโดยใช้หลักการ VCO (Voltage Controlled Oscillator) ในการเปลี่ยนแปลงย่านความถี่ จะเปลี่ยนแปลงไป



รูป 2 วงจรเครื่องส่ง FM

ความถี่ของวงจรถ้าได้จาก

$$F_o = \frac{2(V_{cc} - V_c)}{R_1 C_3 V_{cc}}$$

เมื่อ  $V_{cc}$  คือแหล่งจ่ายไฟ,  $V_c$  คือโวลเตจที่ควบคุมที่ขา 5 ของไอซี และ  $R_1, C_3$  เป็นตัวที่กำหนดความถี่

+Vc	Fo(kHZ)	+Vc	Fo(kHZ)
8.0	74.0	8.8	44.70
8.1	70.36	8.9	41.11
8.2	66.96	9.0	37.36
8.3	62.84	9.1	33.38
8.4	59.27	9.2	29.40
8.5	55.77	9.3	25.77
8.6	55.12	9.4	22.00
8.7	48.42		

ตารางที่ 1 ความถี่ที่เปลี่ยนแปลงตามแรงดันควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเอาต์พุตของออสซิลเลเตอร์ที่ขา 3 เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมและที่ขา 4 เป็นรูปคลื่นสามเหลี่ยม จากตารางที่ 1 เป็นอัตราส่วนระหว่างความถี่เอาต์พุตกับการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ขา 5 แรงดันที่เปลี่ยนสามารถปรับได้ที่  $R_5$  จะเกิดการเปลี่ยนแปลง ภาค LED driver ทำหน้าที่ขับ IRED โดยการปรับ  $V_{R3}$   $1k\Omega$  เกิดการเปลี่ยนแปลง Voltage และ Current การเปลี่ยนแปลง Voltage จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางความถี่มีค่า 3-4 KHz เมื่อ  $V_c$  สูงขึ้นความถี่จะลดต่ำลง การเพิ่ม Voltage หรือลดโดยปรับ  $R_3$  ถ้าสัญญาณ Signal ค่าจะสามารถดูได้โดยใช้ออสซิลโลสโคป ขณะมีการรวมสัญญาณจะถูกกำจัดในลักษณะความถี่เบี่ยงเบน ตามอัตราการผสมสัญญาณ

VRS	IF(mA)	VRS	IF(mA)
0.89	42	1.15	29
0.95	41	1.20	20
1.00	40	1.25	1
1.05	37	1.3	0
1.10	34		

ตารางที่ 2 IRED current versus voltage

ถ้าปรับ  $R_3(1k)$  ที่ +1.14 IRED กระแสผ่าน IRED จะเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะการมอดดูเลทแบบ FM การร่วมสัญญาณผ่าน IRED ในลักษณะ FM ในการมอดดูเลทนี้  $R_g$  จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแส  $I_f$  ได้

ในตำแหน่ง  $R_5$  ทำหน้าที่รักษาระดับ IRED ถ้าป้อน ac signal ให้เป็นรูปคลื่นสามเหลี่ยมที่โตมาก O/P ที่ IRED จะเกิดการ Distorted TR  $Q_1$  จะทำหน้าที่ขยายอยู่ชั่วคราวหนึ่ง  $Q_2$  จะแสดงผลให้เห็นลักษณะการไหลของกระแสที่ผ่าน IRED

#### ลำดับขั้นการทดลอง

1. จ่ายแรงดันให้แก่วงจร H และ I ของแผงวงจร SP-2 ให้ถูกต้อง
  2. ปรับสวิตช์ a4 และ a1 ไปที่ตำแหน่ง ON ปรับ  $R_3$  ไว้ต่ำสุดและปรับ  $R_5$  ของวงจร H ให้ได้แรงดันสูงสุดวัดสัญญาณที่ขา 4 และขา 3 ของ IC(566) และบันทึกผลการทดลอง
  3. วัดสัญญาณที่เอาต์พุตของวงจร H และบันทึกผล
  4. ต่อเอาต์พุตขา 4 ของ IC(566) ไปยังอินพุตของวงจร I นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
- ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ป้อนสัญญาณ sine wave เข้าที่ขา 5 ของ IC (566) ของวงจร H ที่ความถี่ 1 kHz ขนาด

1 V<sub>pp</sub>

6. วัดสัญญาณที่ TP3 ของวงจร I ปรับ R<sub>3</sub> และบันทึกผลการทดลอง

### คำถามท้ายการทดลอง

เพื่อตรวจสอบความเข้าใจในการทดลองให้อ่านคำถามแล้วพิจารณาว่าถูกหรือผิด

1. ขณะมอดคูเลทจะทำให้ขนาดของสัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงไปมา
2. มาตรฐาน ในด้านการสื่อสารจะให้ค่าความถี่เบี่ยงเบน +75 KHz และช่วงลาดชันของสัญญาณ +25 KHz
3. ในระบบ FM แอมพลิจูดของพาหะจะมีค่าคงที่ไม่มีเปลี่ยนแปลง
4. ในระบบ FM จะมี Band Width มากกว่า AM
5. ระบบ FM สัญญาณรบกวนน้อยกว่า AM
6. ไอซี 566 ใช้ Voltage ในการควบคุมความถี่
7. เอาท์พุทของ IC 566 จะมีรูปคลื่นเป็น Sine Wave
8. ความกว้างของสัญญาณที่ได้จาก IC 566 ถูกควบคุมด้วยแหล่งจ่าย VCC
9. ในระบบ AM ไม่เหมือน FM เพราะ FM สามารถ Mod ในลักษณะ Overmod ได้
10. Oscillator สามารถใช้ x-tal ในการผลิตความถี่ในระบบ FM ได้

## การทดลอง การแยกคลื่นพาหะใน FM (FM CARRIER DEMODULATION)

### วัตถุประสงค์

1. สามารถบอกการทำงานของแสงที่ใช้ในเครื่องระบบ FM ได้
2. สามารถบอกหลักการและการนำประยุกต์ใช้งานของ FM ได้
3. สามารถวัดทดสอบและคำนวณหาค่าในวงจรจากการทดลองนี้ได้
4. สามารถเข้าใจถึงการติดต่อสื่อสารของระบบการส่งผ่าน เส้นใยแก้วนำแสงในเครื่องรับระบบ FM ได้
5. สามารถค้นคว้าหาข้อมูล ของ อุปกรณ์ออฟได้อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเกี่ยวกับระบบในเครื่องรับ FM ได้
6. สามารถตรวจสอบและซ่อมแซมในทางอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับระบบ FM ของเครื่องรับและเครื่องส่งได้

7. สามารถอ่านและสรุป บทความเฉพาะวิชาที่เป็นประโยชน์ในการรับส่ง FM ได้

### เครื่องมือและอุปกรณ์

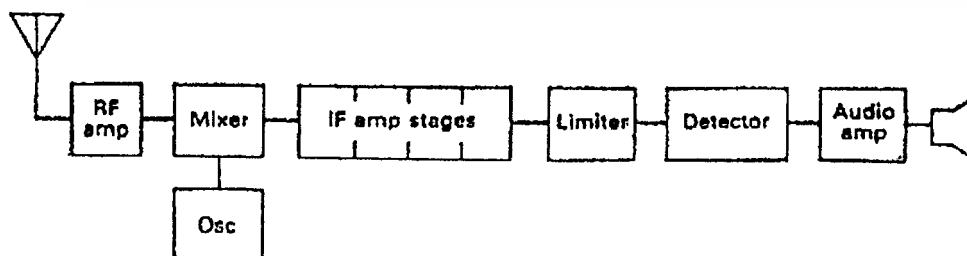
ชุดทดลองและแผงการทดลองที่ 2 (SP-2)

ดิจิตอลโวลท์มิเตอร์ , ออสซิลโลสโคป

ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

### ทฤษฎี

การ MODULATION ของ FM ในวงจรสามารถทำได้ทั้งทางด้านความถี่และแรงดันเพราะ EMI มีอิทธิพลต่อแอมพลิจูดของสัญญาณโดยทั่วไปการ DEMODULATION จะมาจากการจำกัดการคลิบ หรือ จำกัดแอมพลิจูดของสัญญาณเพราะในสัญญาณ FM มีคลื่นพาหะอยู่จึงไม่เกิดขวงสัญญาณโดยตรง



รูป 1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับ FM (Block diagram of an reciver)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

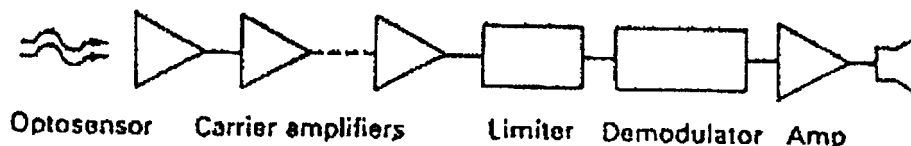
ในการติดต่อวิทยุ การคิมอเหตุเลทชั้นในเครื่องรับ FM จากวงจรสามต่างเฟส วงจรเฟสล็อกูป, อัตราการดีเทคเตอร์ (ratio detector) หรือสร้างวงจร ดีเทคเตอร์ ส่วนนี้ในเครื่องรับ มีวงจร RF MIXER และ IF AMP

รูปที่ 2 แสดงบล็อกไดอะแกรม ของตัวอย่างเครื่องรับ FM การรวมคลื่นพาหะคล้ายกับการออกแบบตามแนวความคิด แต่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวงจร รูป 1 แสดงคลื่นพาหะของเครื่องรับ FM

ตัวตรวจสอบแสง ในเครื่องรับจะส่งพลังงานแสงจากสายไฟเบอร์โดยเปลี่ยนแสงให้เป็นกระแสไฟฟ้า ตัวตรวจสอบแสงนี้จะเป็น โฟโตไดโอดหรือโฟโตทรานซิสเตอร์ก็ได้โดจะแสดงผลแยกเป็น 2 สถานะ การขยายในการทดลองวงจร,สถานะของอัตราการขยาย การเพิ่มแรงดันคลื่นพาหะ เช่น แอมพลิจูดเกินขีดจำกัดของการขยาย เมื่อเกินขีดจำกัด ต่ำลงหรือสูงขึ้น ส่วนหนึ่งของสัญญาณพาหะจะถูกตัดออกไป(คลื่นสูงสุดจะถูกตัด)สัญญาณรบกวนจะอยู่บนคลื่นความแรงพอดี เอาท์พุทที่ออกมาจะไม่ถูกคลิบและมีคุณภาพดี

การคิมอเหตุเลทเตอร์ของการเปลี่ยนแปลงความถี่ไปเป็นแรงดัน เอาท์พุทที่ได้จากการแยกสัญญาณเสียง รูป 2 แสดงวงจรไดอะแกรมการทำงานและค่าภาคต่างๆของเครื่องรับสามารถปรับความถี่พาหะจาก 50-100 KHz วงจรฟิลเตอร์ โดยใช้  $C_{17}, L_1, C_{18}$  และ  $R_{14}$  เพื่อตัดไม่ให้มีคลื่นพาหะที่เอาท์พุท

ตัวตรวจสอบ  $Q_1$  คือโฟโตทรานซิสเตอร์ควบคุมอัตราย้อนกลับจาก  $Q_2$  ทรานซิสเตอร์  $Q_2$  และ  $Q_3$  เป็นตัวกำหนดสถานะของเกนการขยาย 2 Stage และ  $Q_4$  เป็นตัวจำกัด Limiter  $Q_5$  คือ silicon unilateral (SUS) ทรานซิสเตอร์ตัวนี้เป็นอุปกรณ์ 4 ชั้นซึ่งคล้ายกับซีเนอร์ที่ใช้ในการทริกเกอร์จะทำงานที่แรงดัน 6-10 v ระหว่างการมอเหตุเลทชั้นคลื่นพาหะที่เป็นสแคว์เวฟกำหนดที่ 7 v ที่อาโนดและ 8v ที่เกท



รูป 2 คลื่นพาหะในเครื่องรับ (FM Carrier Receiver)

ทรานซิสเตอร์  $Q_6$  ได้รับสัญญาณสแคว์เวฟที่ขาเบสและเป็นพัลส์ที่แตกต่างกับพัลส์ที่ขาอีมิเตอร์ มีความแตกต่างระหว่างการเก็บและการคายประจุของ  $C_6$  SUS clamp มีแรงดัน 7-7.5v ขั้วลบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของพัลส์จาก Q<sub>4</sub> จะอยู่ที่ SUS เอาท์พุทของทรานซิสเตอร์ Q<sub>6</sub> คือ ขาคอลเลกเตอร์มีคลื่นวิทยุกับคลื่นพาหะตกค้างอยู่ คาปาซิเตอร์ C<sub>7</sub> และ C<sub>8</sub> และขดลวด L<sub>1</sub> เป็นตัวกำจัดคลื่นพาหะที่ติดกับคลื่นวิทยุทิ้งไป เป็นแบบ Pi(ไพน์)ฟิลเตอร์ ผลจากค่าความจุที่ตัวตรวจสอบและเป็นตัวจำกัดความถี่วิทยุที่ความถี่ 20KHz ทำให้ค่าของการตัดความถี่ที่ไม่ต้องการไปยังเครื่องรับได้

### ลำดับขั้นการทดลอง

1. จ่ายแรงดันให้แก่วงจร H , J และ I ของแผงวงจร SP-2ให้ถูกต้อง
2. ปรับสวิตช์ a4 และ b1 ไปที่ตำแหน่ง ON และต่อสายจากเอาท์พุทของวงจร H ไปยัง IN SIGNAL ของวงจร I ปรับ R<sub>3</sub> ของวงจร I และ R<sub>5</sub> ของวงจร H จนกระทั่งแรงดันที่ TP4 ของวงจร I มีค่า 0.2 V<sub>dc</sub> ปรับ R<sub>3</sub> จนสัญญาณที่จุด TP3 ของวงจร I มีค่าประมาณ 85-90 kHz
3. ปรับสวิตช์ b2 ของวงจร J ไปที่ตำแหน่ง ON วัดคลื่นพาหะและแรงดันที่จุด TP8 และ TP9 สังเกตและบันทึกผลที่ได้
4. วัดและบันทึกผลของlimitter(Q<sub>4</sub>)ที่ TP<sub>10</sub> โดยวัดเทียบกับ TP<sub>9</sub>(CH<sub>1</sub> ที่ TP<sub>9</sub> และ CH<sub>2</sub> ที่ TP<sub>10</sub>)
5. วัดสัญญาณที่ TP<sub>12</sub> เปรียบเทียบกับ TP<sub>15</sub>
6. วัดสัญญาณที่ TP<sub>13</sub>
7. ทำการเชื่อมโยงระหว่างแผงวงจร G กับแผงวงจร J ด้วยสายไฟเบอร์ออฟติกขนาด 50 cm จากนั้นทำการป้อน FUNGTIONGEN SQUARE ที่ความถี่ 500 Hz 0.1 V<sub>p-p</sub> เข้าที่ขา 5 ของ IC 566 วัดสัญญาณที่ TP<sub>5</sub> ของภาค DRIVER เทียบกับ I/P บันทึกผล
8. on sw b<sub>2</sub> วัดคลื่นพาหะและแรงดันที่ TP<sub>8</sub> และ TP<sub>9</sub>
9. ทดลองและบันทึกที่รูปคลื่นของ limitter Q<sub>4</sub> ที่ TP<sub>10</sub> โดยวัดเทียบกับ TP<sub>9</sub>
10. วัดสัญญาณที่ TP<sub>12</sub> เปรียบเทียบกับสัญญาณที่ TP<sub>11</sub> บันทึกผล
11. วัดสัญญาณที่ TP<sub>13</sub> เปรียบเทียบกับ TP<sub>14</sub> บันทึกผล
12. ทดลองปรับ(FUNGTION GEN)SINE WAVE และ TRIANGLE WAVE สังเกตรูปคลื่น ที่(TP<sub>14</sub>)เทียบกับสัญญาณ I/P
13. เมื่อทำการปรับค่าแอมพลิจูดของ GEN มากขึ้นสัญญาณที่ TP<sub>14</sub> จะเป็นอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### คำถามท้ายการทดลอง

1. วงจรดีเทคเตอร์ในเครื่องรับ FM ทำหน้าที่อะไร
2. ความไวของเครื่องรับ FM ทางแสงสว่างมีการควบคุมโดยอะไร
3. การตอบสนองสัญญาณเสียงของเครื่องรับหาได้จากอะไร
4. SUS เป็นอุปกรณ์ที่มาจากอะไร
5. MFOD 200 เป็นตัวอะไร
6. ในการทดลองวงจรนี้เกินของตัวตรวจสอบถูกการควบคุมโดยรีซีสเตอร์ตัวใด
7. ขดลวดที่เอาท์พุทของวงจรเครื่องรับมีอิมพีแดนซ์สูงที่ไหน
8. SUS มีจุดแรงดันในการทำงานโดยประมาณเท่าไร
10. ในวงจรเครื่องรับทรานซิสเตอร์ Q<sub>4</sub> เปรียบเสมือน



## การทดลอง การผสมความกว้างของพัลส์(PWM)

### วัตถุประสงค์

- 1.สามารถอธิบายกฎและเทคนิคการผสมความกว้างของพัลส์ (PWM) ได้
- 2.สามารถอธิบายประโยชน์การใช้งานของPWM ได้
- 3.สามารถทดลองและคำนวณวงจรการส่งอย่างง่ายๆ ให้เข้าใจ
- 4.สามารถอธิบายให้เข้าใจถึงเทคนิค PWM และเทคนิคอื่นๆ.
- 5.สามารถค้นคว้าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสงที่ใช้ในการส่ง PWM
- 6.สามารถรู้จักการตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์เกี่ยวกับ PWM นำมาดัดแปลงกับ

อุปกรณ์ออฟโต้และศึกษาการทำงานของวงจร

- 7.สามารถอ่านและทำความเข้าใจเทคนิคการการใช้ PWM ได้

### เครื่องมือและอุปกรณ์

ชุดทดลองและแผงทดลองที่ 2 (SP-2 )

ดิจิตอลมิเตอร์ , ออสซิลโลสโคป

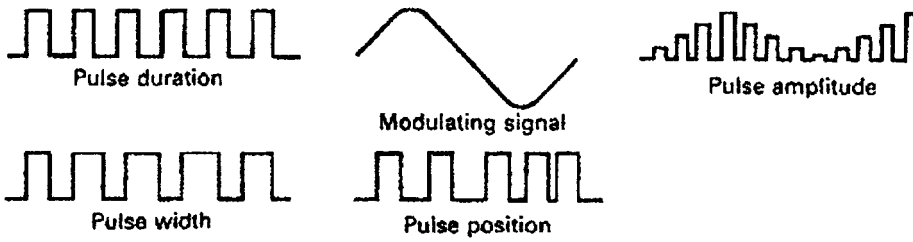
ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

### ทฤษฎี

PWM (Pulse-Width Modulation) ทำงานคล้ายกับ AM และ FM สามารถใช้ในการส่งสัญญาณความถี่ต่ำ ใน PWM แอมพลิจูดและความถี่ของพาหะจะคงที่ขณะที่ความกว้างของพัลส์เปลี่ยนแปลง คลื่นพาหะโดยทั่วไปจะเป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยมและสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงตามความกว้างของพัลส์ โดยตัวผสมสัญญาณจะเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกไปเป็นพัลส์ที่มีความแตกต่างกัน

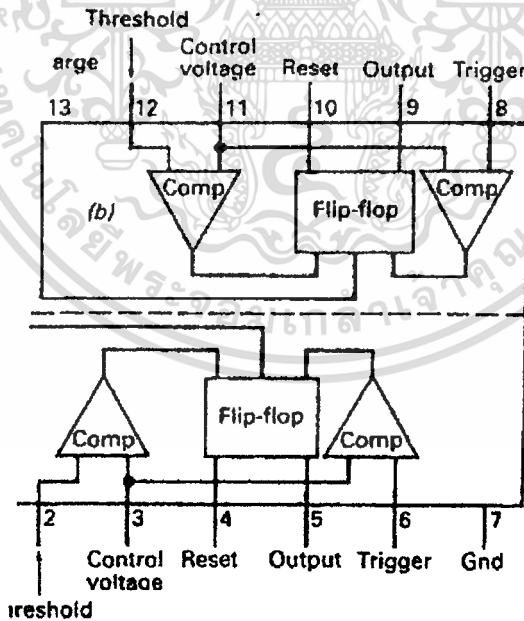
PTM (Pulse Time Modulation) PPM (Pulse Position Modulation) และ PDM (Pulse Duration Modulation) จะเป็นการมอดูเลทที่เหมือนกับPWMสัญญาณการผสมอาจจะเปลี่ยนแปลงนำหน้าหรือล่าหลังตามการกระตุ้นของคลื่นพาหะหรือทั้งสองอย่าง PTM เป็นการผสมแบบที่ระยะช่วงพัลส์ที่เปลี่ยนแปลงในเวลาเดิมที่มีอยู่ในรูปที่ 1 จะแสดงรูปทั่วไปของหลายๆรูปแบบจากการผสมสัญญาณ

ขนาดพัลส์ที่ถูกผสมแล้วอาจจะมากกว่าขนาดของสัญญาณอนาล็อกและขนาดของสัญญาณรบกวนซึ่งจะทำให้ระดับของสัญญาณรบกวนและระดับความถี่ขึ้นจะลดลง และสามารถจะส่งผ่านสถานีทวนสัญญาณ แม้ว่าสัญญาณรบกวนหรือการแทรกสอดอาจจะเกิดขึ้นขณะมีการส่งพัลส์พาหะ ซึ่งอาจจะไม่เป็นผลดีแต่สถานีทวนสัญญาณจะผลิตพัลส์ขึ้นมาใหม่แทน



รูปที่ 1 แสดงรูปคลื่นสัญญาณแบบต่างๆ

ทางด้านเครื่องส่งจะประกอบด้วยออสซิลเลเตอร์ (สี่เหลี่ยม) และตัวกำเนิดสัญญาณพัลส์ สัญญาณที่มอดดูเลทจะเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์ของตัวกำเนิดสัญญาณพัลส์ขณะที่อัตราการซ้ำของสัญญาณที่ถูกกำหนดโดยออสซิลเลเตอร์ ถ้าแรงดันควบคุมของออสซิลเลเตอร์ถูกมอดดูเลทจะเป็นการมอดดูเลทแบบ PPM ในวงจรที่ใช้ทคลองตัวผลิตสัญญาณ (LM556) จะใช้เป็นตัวออสซิลเลเตอร์และกำเนิดพัลส์ รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างภายในและขาของ IC รูปที่ 2(a) ใช้เป็นตัวกำเนิดพัลส์และรูปที่ 2(b) เป็นตัวทริกออสซิลเลเตอร์



รูปที่ 2 ตัวกำเนิดสัญญาณ - LM 556

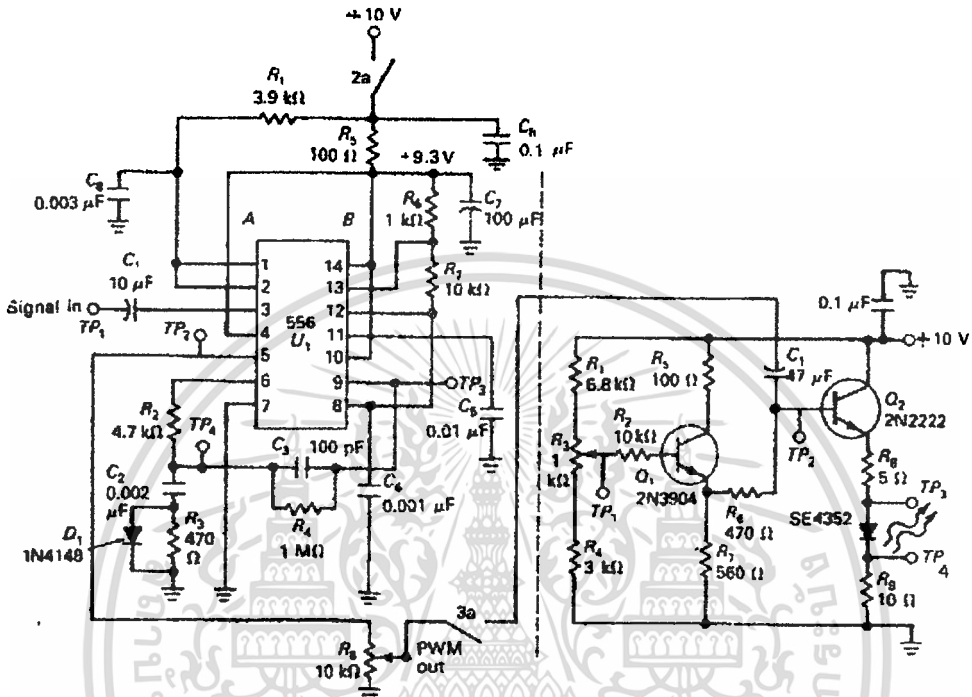
รูปที่ 3 แสดงวงจรสมบูรณของตัวส่งแบบ PWM ความถี่ของการออสซิลเลเตอร์ถูกกำหนดโดย  $R_6 + R_7$  และ  $C_2$  ตัวต้านทาน  $R_6$  และ  $R_7$  จะกำหนดเวลาการประจุของ  $C_6$  (ระยะเวลา  $t_1$ )  $R_7$  และ  $R_6$  เป็นตัวกำหนดการคายประจุในระยะเวลา  $t_2$  โดยคำนวณจากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$t_2 = 0.693 R_7 R_6$$

ระยะเวลาการประจุ

$$\text{ให้ } t_1 = 0.693 (R_6 + R_7) C_6$$



รูปที่ 3 Pulse-width modulator

รวมที่กำหนดระยะเวลาที่กำหนดโดย

$$T = t_1 + t_2 = 0.693(R_6 + 2R_7) C_6$$

และความถี่ของการออสซิลเลเตอร์ กำหนดโดย

$$f_0 = 1/T = 1.44/(R_A + 2R_B)C$$

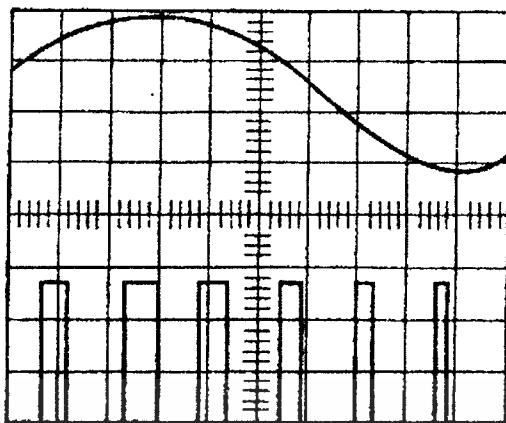
ค่า Duty cycle กำหนดโดย

$$D = R_B/R_A + 2R_B$$

ตัวออสซิลเลเตอร์ต้องมีความถี่ต่ำกว่าความถี่ของเครื่องกำเนิดพัลส์  $f_0 = 1 / t_1$  ตัวออสซิลเลเตอร์ถูกทริกทางพัลส์ลบจากเอาต์จากตัวออสซิลเลเตอร์ (TP3)

$R_1$  และ  $C_1$  กำหนดระยะเวลาของเครื่องกำเนิด monostable pulse ซึ่งส่วนประกอบของต่างๆ จะแสดงกว้างของพัลส์ 100 ns การผสมพัลส์ออกทางเอาต์ทางขา 5 และสัญญาณอินพุทเข้าที่ขา 3 รูป 4 แสดงรูปร่างพัลส์ เมื่อวงจรเป็นการผสมโดยสัญญาณ Sine wave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 Pulse-Width Modulated Pattern Using A Sine Wave Signal

### ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อแผงทดลอง SP-2 ลงบนชุดทดลองและป้อนแรงดันต่างให้กับวงจร K , I
2. ปรับสวิตช์ a2 ไปที่ตำแหน่ง ON ใช้สโคปวัดสัญญาณที่ TP<sub>3</sub> สังเกตและบันทึกผล
3. ใช้สโคปวัดสัญญาณที่ TP2 บันทึกรูปสัญญาณ
4. ป้อนสัญญาณ sine wave ความถี่ 500HZ ขนาด 1 V<sub>pp</sub> เข้าที่ตำแหน่งอินพุตของวงจร K
5. ใช้สโคปวัดสัญญาณที่ TP2 แล้วทำการบันทึกผล
6. ต่อสายระหว่างจุด PWM OUTPUT ของวงจร K กับ IN SIGNAL
7. ปรับสวิตช์ a3 และ b1 ไปที่ตำแหน่ง ON ปรับ R<sub>g</sub> ของวงจร K ให้สัญญาณมีขนาด

3 V<sub>pp</sub>

8. ใช้สโคปวัดสัญญาณที่จุด TP3 และทำการบันทึกผล

### คำถามท้ายการทดลอง

1. สัญญาณรบกวนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีผลต่อ PWM หรือไม่อย่างไร
2. PWM ซึ่งมีการลดทอนของสัญญาณรบกวนจะคล้ายกับการมอดดูเลทแบบใด
3. ออสซิลเลเตอร์ จะมีการทำงานที่ความถี่สูงกว่าความถี่ของเครื่องกำเนิดพัลส์ หรือไม่
4. ใน PWM ความถี่พาหะจะกำหนดโดยอะไร
5. ออสซิลเลเตอร์แบบพัลส์แอมพลิฟายด์ของเอทพุทจะถูกกำหนดโดยอะไร
6. ความถี่พาหะเป็นคลื่นแบบใดในการทดลอง
7. แอมพลิฟายด์ของการมอดดูเลทสัญญาณถูกกำหนดกำหนดโดยอะไร
8. การOVERMODไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในการมอดดูเลทแบบPWMถ้าสัญญาณเป็นแบบใด
9. ในวงจรที่ทดลองความถี่ของคลื่นพาหะสามารถจะเปลี่ยนแปลงโดยเปลี่ยนค่าอะไรบ้าง

เอกสารนี้ 10. คำสั่งที่เอทพุทของเครื่องส่ง PWM ถูกกำหนดโดยอะไรบ้าง จุดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### ผลการทดลอง

- ระบบการสื่อสารด้วยแสง
- แอลเอเอสซีอาร์ เลเซอร์ เซ็นเซอร์ และ ไตรแอกคัพเพลตอร์
- การควบคุมไฟฟ้ากำลังโดยใช้ไตรแอก
- การควบคุมแสงสว่างในตอนกลางคืน
- เครื่องส่ง NRZ แมกกะบิท
- เครื่องรับข้อมูลการสื่อสาร
- AN FM CARRIER
- การแยกคลื่นพาหะ FM (FM CARRIER DEMODULATION)
- การผสมความกว้างของพัลส์



## ผลการทดลอง ระบบการสื่อสารด้วยแสง

2.  $1.7 \text{ V}$

3.  $I_f = (V_{cc} - V_{d1}) / R_1$   
 $= (10\text{V} - 1.7\text{V}) / 330$

$I_f = 24.84 \text{ mA}$

4.  $P = V_{d1} * I_f$

$= 1.7 * 24.84 \text{ mA}$

$= 44.72 \text{ mW}$

6.



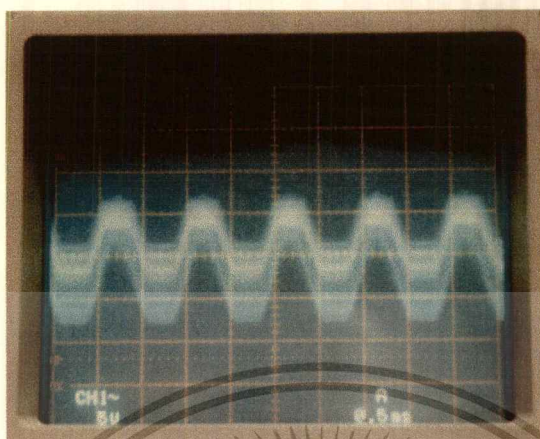
VOLTS/DIV \_\_\_\_\_ 0.5 ms

2 v

TIME/DIV \_\_\_\_\_

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.



VOLT/DIV 0.5 ms

TIME/DIV

5 v

8. เมื่อทำการเลื่อนสวิตช์ 3a และ 4a เป็นการเลือกค่าความต้านทานที่ป้อนกลับเสมือนเป็นการเลือกเกนขยาย  $RF/Rin = AV$  เมื่อ RF เปลี่ยนแปลงส่วน Rin คงที่ ยิ่ง RF มีค่ามากขึ้นเกนการขยายก็จะมากขึ้นตามไปด้วย

#### สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเป็นการส่งข้อมูลผ่านสายไฟเบอร์ออฟติก โดยป้อนข้อมูลเข้าที่อินพุตซึ่งเป็นคลื่นความถี่ทางไฟฟ้าที่ได้จาก GEN นำไปขับ IRED ซึ่งเป็นอุปกรณ์ส่องแสงจะส่งข้อมูลเป็นคลื่นแสงไปตามสายไฟเบอร์ออฟติก เมื่อไปถึงภาครับจะใช้ Photo Diode เป็นตัวรับแสงแล้วทำให้เกิดคลื่นความถี่ทางไฟฟ้าขึ้นจากนั้นจึงนำสัญญาณที่ได้ไปทำการขยายโดยใช้ OP-AMP โดยมี SW 3D และ 4D เป็นตัวเลือกอัตราขยายของ OP-AMP ซึ่งถ้าอัตราขยายมีค่ามากกว่าแรงดันที่จ่ายให้ OP-AMP สัญญาณที่ได้จะถูกคลิบ จึงจำเป็นต้องค่าความต้านทานให้เหมาะสมด้วย

ส่วนการวัดสัญญาณ OUTPUT ที่ได้มีความเพี้ยนสูง เนื่องจากสายไฟเบอร์ที่ใช้เป็นเพียงสายที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งทำด้วยพลาสติกจึงมีความลดทอนภายในสายมาก แต่ถ้าเป็นการใช้งานจริงๆจะใช้สายที่ทำด้วยใยแก้วนำแสง ซึ่งมีคุณภาพดีมาก ความลดทอนภายในสายมีน้อย สามารถส่งข้อมูลไปในระยะทางไกลๆได้ดี แต่เนื่องจากสายชนิดนี้มีขนาดเล็กและมีราคาสูงจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลยคำถามของการทดลอง

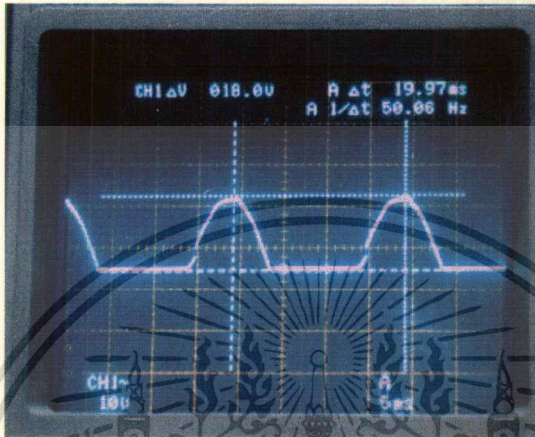
1. โกล้อินฟาเรด
2. 0.45 ถึง 0.7
3. เปลี่ยนรูปแบบพลังงาน
4. ซิลิกอน
5. แก้ว , พลาสติก
6. ต่ำกว่าช่วงความถี่ที่สามารถมองเห็นได้
7. รีเวอร์สไบอัส



ผลการทดลอง แอลเอสซีอาร์ เลเซอร์ เซ็นเซอร์ และ ไตรแอก

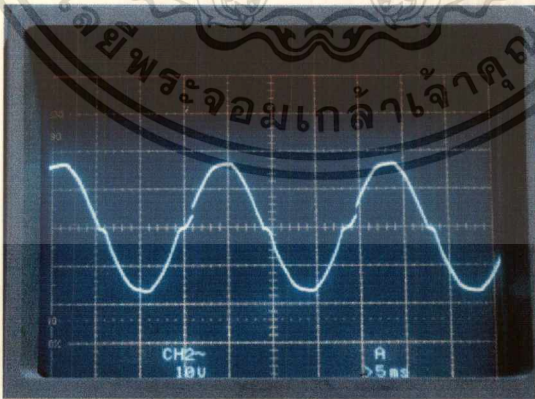
2. หลอดไฟจะสว่างเมื่อ  $R_1$  อยู่ในช่วงประมาณ 0-1.7 k

3.



VOLTS/DIV \_\_\_\_\_ 5 \_\_\_\_\_ ms  
 TIME/DIV \_\_\_\_\_ 10 \_\_\_\_\_ v

4.



VOLTS/DIV \_\_\_\_\_ 5 \_\_\_\_\_ ms  
 TIME/DIV \_\_\_\_\_ 10 \_\_\_\_\_ v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สรุปผลการทดลอง

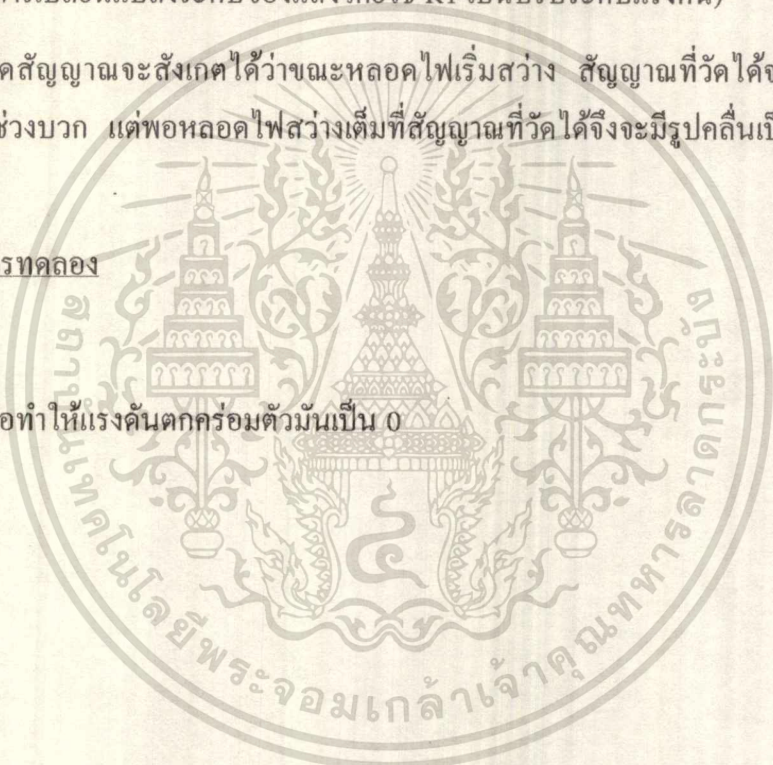
LASCR คืออุปกรณ์ที่ประกอบด้วย SCR ที่สามารถทำให้ทำงานอยู่เสมอ โดยที่มีแสงตกกระทบด้วยกรรมวิธีของแสงตัวตรวจรับดีเทคเตอร์ คือ ส่วนประกอบแยกที่พอจะสามารถหาได้ ถ้าแบ่งแยกเป็นชิ้นหรือเป็นส่วนของตัวคัปปลิ่ง

การขับไตรแอกที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์ไตรแอกพลังงานสูงการคัปปลิ่งสามารถทำได้โดยการเปิดหรือปิด (ด้วยการเปลี่ยนแปลงระดับของแสงโดยใช้ R1 เป็นปรับระดับแรงดัน)

จากการวัดสัญญาณจะสังเกตได้ว่าขณะหลอดไฟเริ่มสว่าง สัญญาณที่วัดได้จะมีรูปคลื่นเพียงส่วนเดียวคือช่วงบวก แต่พอหลอดไฟสว่างเต็มที่สัญญาณที่วัดได้จึงจะมีรูปคลื่นเป็นสัญญาณ AC ที่สมบูรณ์

### เฉลยคำถามของการทดลอง

1. 50 มิลลิแอมป์
2. ตัดวงจรออกหรือทำให้แรงดันตกคร่อมตัวมันเป็น 0
3. เฟสชิฟ



### ผลการทดลอง การควบคุมไฟฟ้กำลังโดยใช้ไตรแอก

4. เมื่อสวิตช์ 1b ON หลอดไฟจะสว่างและเมื่อสวิตช์ 1b OFF หลอดไฟจะดับ

5.  $VR5 = 0.6 \text{ V}$

$R5 = 68 \text{ โอห์ม}$

$IR5 = 8.823 \text{ มิลิแอมปี}$

7. ผลเหมือนข้อ 4

#### สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเน้นการต่อวงจรเพื่อควบคุมไตรแอกดังรูปที่ 2 เราจะใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวควบคุมการจ่ายกระแสให้กับ IRED เมื่อแรงดันเกินขีดจำกัด และจากการทดลองเมื่อเราใช้แรงดันปรับค่าได้ 0-5 v จะพบว่าความสว่างของ o/p จะเปลี่ยนแปลงตามแรงดันที่ป้อนให้ IRED และเมื่อเราได้ทำการเปลี่ยนแปลงวงจร เป็นการใช้เททควบคุมไตรแอกก็สามารถทำให้หลอดไฟสว่างได้เช่นกัน

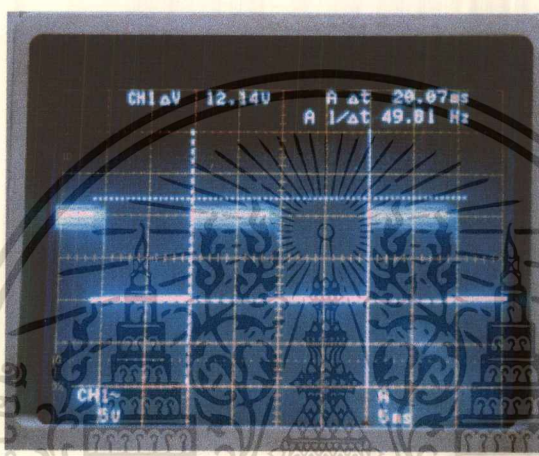
#### เฉลยคำตอบของการทดลอง

1. ผิด
2. ถูก
3. ถูก
4. ผิด
5. ถูก
6. ถูก
7. ถูก
8. ถูก
9. ถูก
10. ผิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

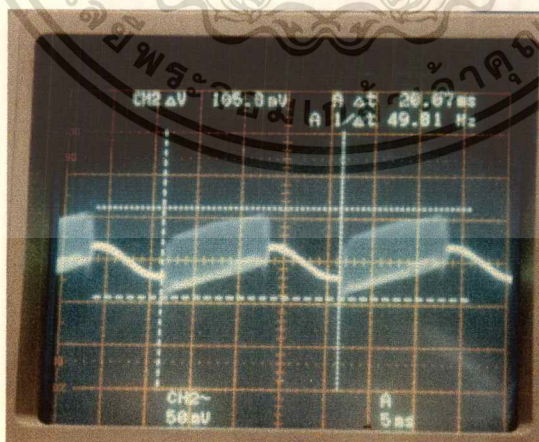
### ผลการทดลอง การควบคุมแสงสว่างในตอนกลางคืน

2. เมื่อ  $R_6$  มีค่าสูงสุดหลอดไฟจะสว่างเต็มที่โดยจะกระพริบเป็นจังหวะและถ้าลด  $R_6$  ลงหลอดไฟจะกระพริบถี่ขึ้นและแสงจะหรี่ลงจนดับ
3. หลอดจะกระพริบถี่ขึ้น
4. รูปสัญญาณ TP1 และ TP2 ตามลำดับ



VOLTS/DIV 5 ms

TIME/DIV 0.05 v



VOLTS/DIV 5 ms

TIME/DIV 5 v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. เมื่อเซนเซอร์ได้รับแสงอาทิตย์หลอดไฟที่กระพริบจะดับ

### สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเราได้ทำการปิดและเปิดเซ็นเซอร์และสังเกตความสว่างของหลอดไฟจะเห็นว่าหลอดไฟจะสว่างเต็มที่ เมื่อเราทำการปิดเซ็นเซอร์ ซึ่งเสมือนกับเวลากลางคืนที่โฟโตทรานซิสเตอร์ไม่ได้รับแสงอาทิตย์ มันจึงไม่นำกระแส ทำให้ Q1 และ Q3 ทำงาน เมื่อ Q3 ทำงานจะมีกระแสไหลไปยังหลอดไฟ ทำให้หลอดไฟติดเต็มที่ คือไม่สามารถมองเห็นการกระพริบของหลอดไฟเลย แต่เมื่อเราทำการเปิดเซ็นเซอร์ โฟโตทรานซิสเตอร์จะนำกระแสทำให้ Q1 และ Q3 ไม่ทำงาน จึงไม่มีกระแสจ่ายหลอดไฟ ทำให้หลอดไฟดับ แต่ในทางปฏิบัติ ตัวเซ็นเซอร์ไม่สามารถทำให้เซ็นเซอร์ on ได้ตลอดเวลา ฉะนั้นการ on หรือ off ของตัวเซ็นเซอร์จึงขึ้นอยู่กับ R6 และ C1 ที่ต่ออยู่กับขาเบสของโฟโตทรานซิสเตอร์ด้วยหลอดไฟจึงมีการกระพริบเกิดขึ้นเมื่อเปิดเซ็นเซอร์ ส่วนสัญญาณที่เราทำการวัดขณะปิดเซ็นเซอร์ เนื่องจากขณะเปิดเซ็นเซอร์เราไม่สามารถทำการวัดสัญญาณได้เนื่องจากความถี่ต่ำมาก

### เฉลยคำถามของการทดลอง

1. RC
2. กระแสที่ไหลผ่านหลอดไฟ
3. การปรับ
4. สี่เหลี่ยม
5. ขนาดพัลส์ด้วยตัวเซ็นเซอร์

### ผลการทดลอง เครื่องส่ง NRZ เมกกะบิท

2.  $VR4 = 3.8 \text{ V}$ ,  $I_f = 3.8/47 \text{ โอห์ม} = 0.08 \text{ mA}$

3.  $TP1 = 5.7 \text{ V}$

$TP2 = 0.5 \text{ V}$

$TP3 = 2.1 \text{ V}$

$VBE \text{ ของ } Q1 = 0.7 \text{ V}$

$D2 = 0.4 \text{ V}$

$D3 = 0.3 \text{ V}$

4. รูปสัญญาณที่ได้จะเหมือนสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาแต่กลับเฟสกัน 180 องศา

#### สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเป็นการหาค่า  $I_f$  ในวงจร ซึ่งผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงที่ได้คำนวณเพราะแรงดันที่จ่ายให้กับวงจรเท่ากับ  $5 \text{ Vdc}$  ซึ่งจากการคำนวณเราใช้แรงดัน  $5 \text{ Vdc}$  ในการคำนวณกระแสที่วัดได้จึงมีความผิดพลาดไปและจากการวัดรูปสัญญาณจะเห็นว่า สัญญาณ o/p ตามหลังสัญญาณ i/p อยู่ซึ่งเราต้องการให้เป็นอย่างนั้นอยู่แล้ว เพื่อที่เราสามารถตรวจสอบ i/p & o/p ได้

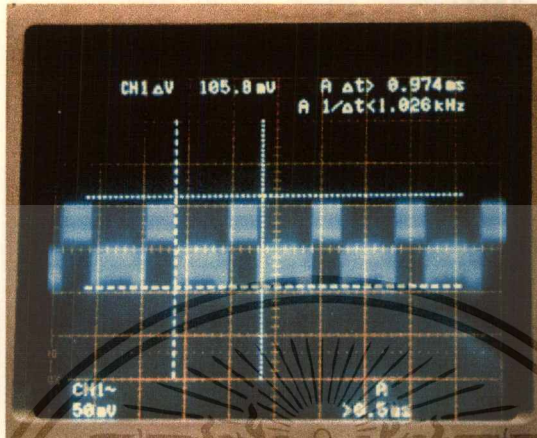
#### เฉลยคำถามของการทดลอง

1. ได้
2. ส่งตามสายโทรศัพท์
3. สัญญาณโทน
4. 150 bit/sec
5. 10 บิท
6. 7 บิทเท่ากับ 1 ตัวอักษร
7. อะซิงโครนัส
8. อินฟาเรด

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

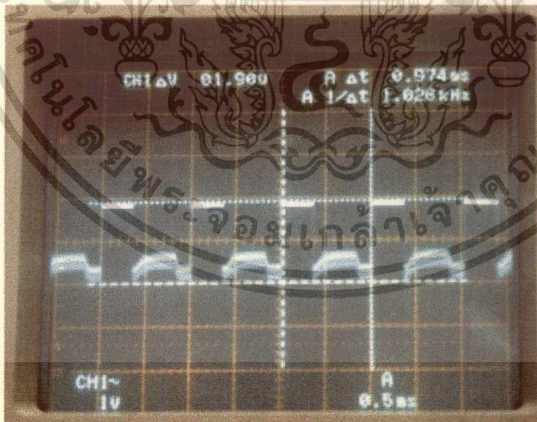
## ผลการทดลอง เครื่องรับข้อมูลการสื่อสาร

### 4. รูปสัญญาณ TP1 , TP2 และ TP3 ตามลำดับ



VOLTS/DIV 0.5 ms

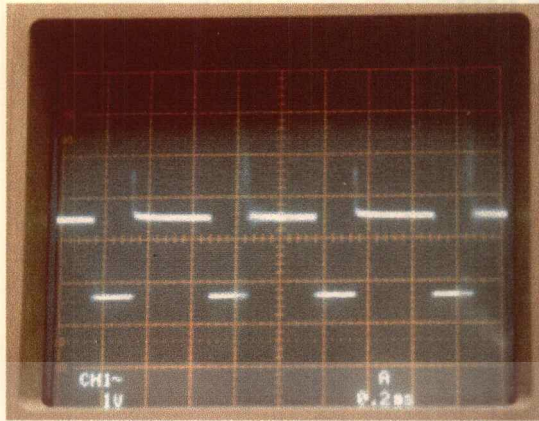
TIME/DIV 0.05 v



VOLTS/DIV 0.5 ms

TIME/DIV 1 v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



VOLTS/DIV 0.2 ms

TIME/DIV 1  $\mu$ s

### สรุปผลการทดลองที่

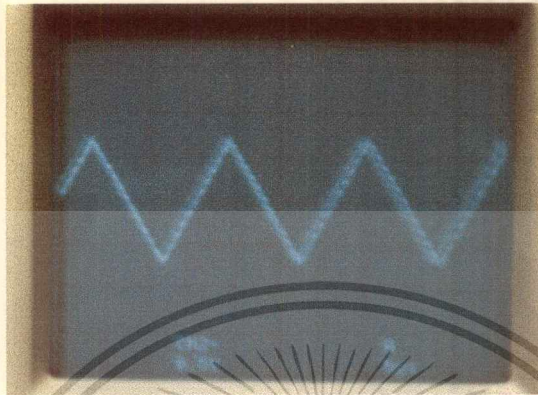
จากการทดลองเป็นการทดสอบเครื่องรับข้อมูลผ่านสายใยแก้วนำแสงโดยใช้ photo diode ในการรับแสงเพราะสามารถตอบสนองความถี่ได้ดีและมีความเร็วสูง โดยผลที่มีการผิดเพี้ยนของ สัญญาณไปบ้าง ก็เนื่องมาจาก การสททอนของสายเคเบิลที่ใช้ในการส่งสัญญาณ

### เฉลยคำถามของการทดลอง

1. ตอบสนองความถี่ได้ดี และมีความเร็วสูงกว่า
2. 3,12
3. รูปสี่เหลี่ยม หรือรูปสามเหลี่ยม
4. ใช่

ผลการทดลอง AN FM CARRIER

2. รูปสัญญาณที่ขา 4 และ 3 ของ IC(566) ตามลำดับ

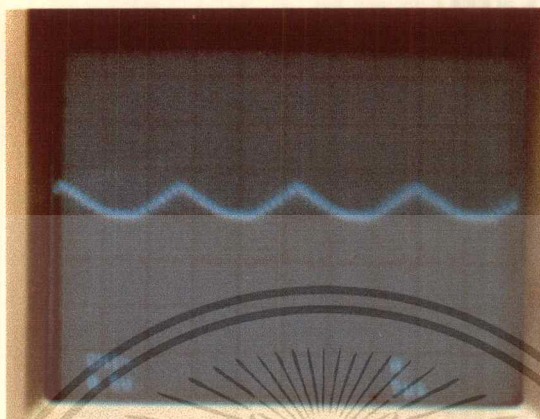


VOLTS/DIV 0.005 ms

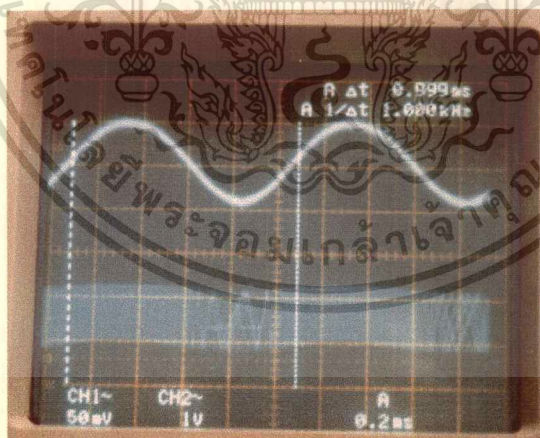
TIME/DIV 0.5 v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.



6.



VOLTS/DIV 0.2 ms

TIME/DIV 0.05 v(ch1)

TIME/DIV 1 v(ch2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเราได้ใช้ IC 566 ซึ่งเป็น Voltage controller OSC ซึ่งสามารถสร้างเป็น สัญญาณ FM Modulation ได้ซึ่งเมื่อทำการปรับแรงดัน ที่ป้อนให้กับขา 5 ซึ่งเป็น Modulate Input วัตต์สัญญาณที่ o/p ขา 4 ซึ่งเป็น triangle wave จะเห็นได้ว่าเมื่อแรงดันที่ขา 5 มีค่า มากขึ้น ความถี่ของสัญญาณที่ขา 4 ก็จะมากขึ้นตามไปด้วย และเมื่อเราทำการป้อนสัญญาณเสียง เข้าที่ขา 5 ผล o/p ที่ได้ก็จะเป็นสัญญาณ FM

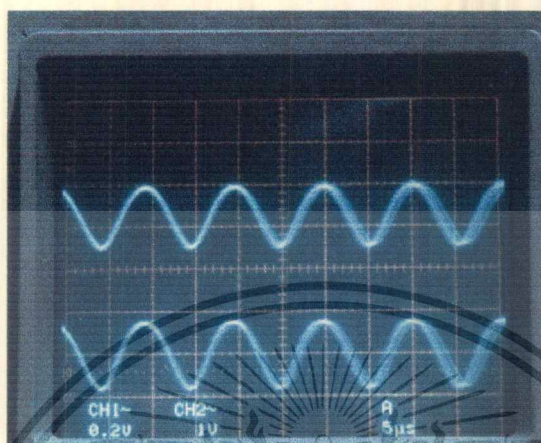
## เฉลยคำถามของการทดลอง

1. ถูก
2. ถูก
3. ถูก
4. ถูก
5. ถูก
6. ถูก
7. ผิด
8. ถูก
9. ผิด
10. ผิด



### ผลการทดลอง การแยกคลื่นพาหะ FM (FM CARRIER DEMODULATION)

#### 3. TP8(ch1) และ TP9(ch2)

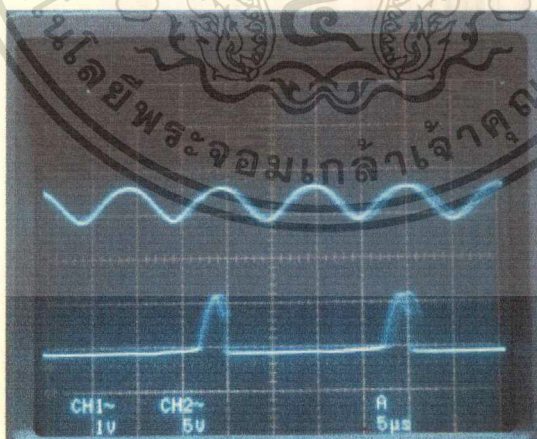


VOLTS/DIV 0.2 v(ch1)

VOLTS/DIV 1 v(ch2)

TIME/DIV 0.005 ms

#### 4. TP9(ch1) และ TP10(ch2)



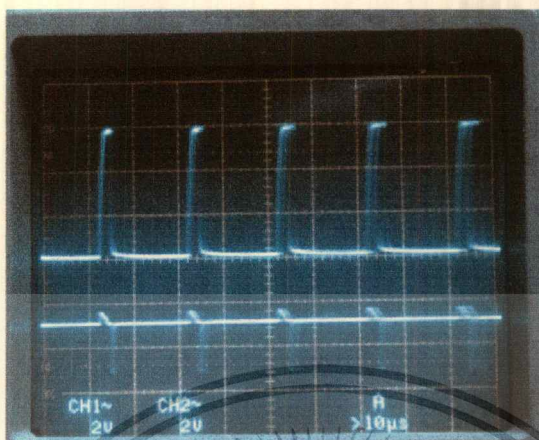
VOLTS/DIV 1 v(ch1)

VOLTS/DIV 5 v(ch2)

TIME/DIV 0.05 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. TP2(ch1) และ TP15(ch2)

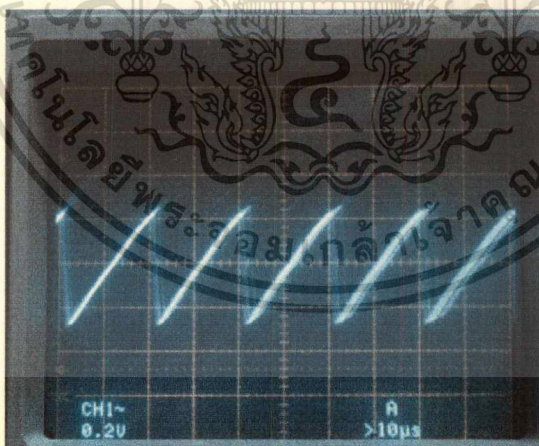


VOLTS/DIV 2 v(ch1)

VOLTS/DIV 2 v(ch2)

TIME/DIV 0.01 ms

## 6. TP13

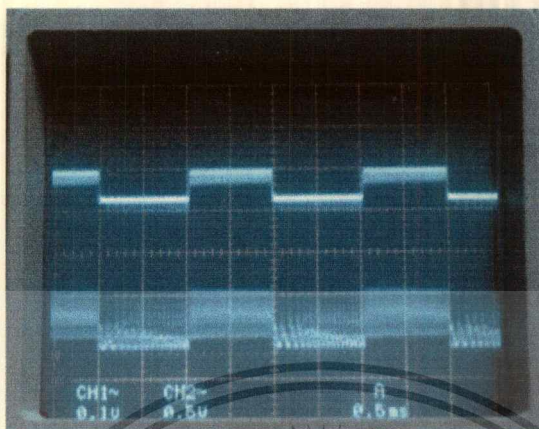


VOLTS/DIV 0.2 v

TIME/DIV 0.01 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. input ของ IC (566)(ch1) , TP3(ch2)

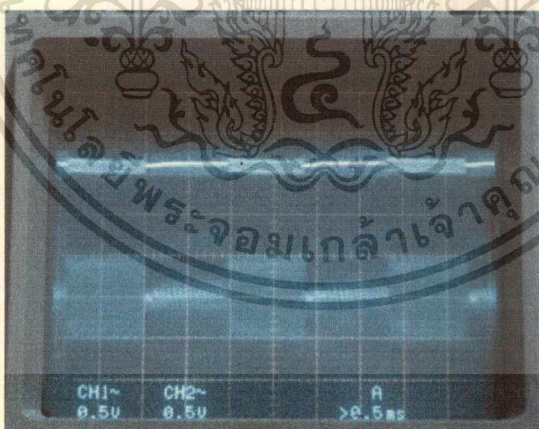


VOLTS/DIV 0.1 v(ch1)

VOLTS/DIV 0.5 v(ch2)

TIME/DIV 0.5 ms

8. TP8(ch1) และ TP9(ch2)



VOLTS/DIV 0.5 v(ch1)

VOLTS/DIV 0.5 v(ch2)

TIME/DIV 0.5 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 9. TP9(ch1) และ TP10(ch2)



VOLTS/DIV 0.5 v(ch1)

VOLTS/DIV 5 v(ch2)

TIME/DIV 0.5 ms

## 10. TP10(ch1) และ TP11(ch1)



VOLTS/DIV 5 v(ch1)

VOLTS/DIV 5 v(ch2)

TIME/DIV 0.5 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 11. TP13(ch1) และ TP14(ch2)

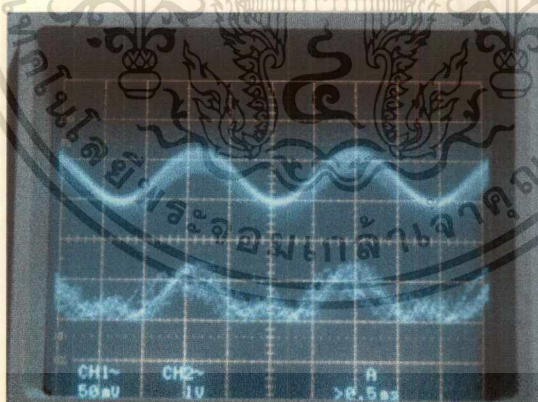


VOLTS/DIV 1 v(ch1)

VOLTS/DIV 1 v(ch2)

TIME/DIV 0.5 ms

## 12. INPUT(ch1) และ TP14(ch2)

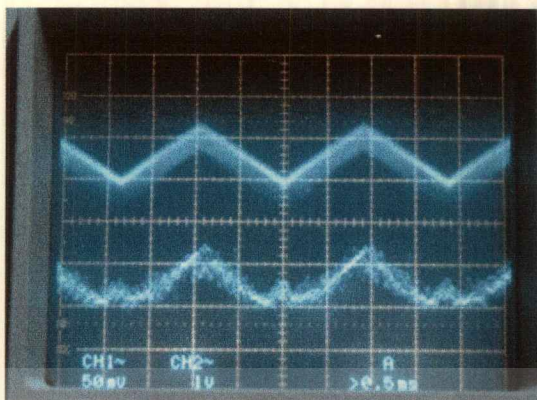


VOLTS/DIV 0.05 v(ch1)

VOLTS/DIV 1 v(ch2)

TIME/DIV 0.5 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



VOLTS/DIV 0.05 v(ch1)

VOLTS/DIV 1 v(ch1)

TIME/DIV 0.5 ms

13 เมื่อทำการปรับค่าแอมพลิจูดของ GEN มากขึ้นสัญญาณที่ TP14 จะความ  
 เพิ่มขึ้นและผลลัพธ์ที่ได้จากการ DEMOD ไม่ตรงกับสัญญาณจาก GEN ที่ป้อนให้  
สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเป็นการนำเอาสัญญาณ FM Modulation ที่ได้จาก การส่งสัญญาณ  
 Light Driver ผ่านสาย Fiber optic มาทำการแยกคลื่นพาหะออกซึ่งถ้าเราปรับแรงดันจาก  
 GEN ที่ป้อนเข้า i/p ของ FM Mod มีค่าเกิน  $0.1 V_{pp}$  สัญญาณ o/p ที่ผ่านการ Demod  
 จะเกิดการเพิ่มขึ้น

เฉลยคำถามของการทดลอง

1. ความถี่เป็นแรงดัน
2. เซ็นเซอร์, เกนการขยาย
3. เซ็นเซอร์, ฟิวเตอร์
4. ซีเนอร์ไดโอด
5. โฟโตทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6  $R_1$  และ  $R_2$

7. แคเรียร์

8. 7V

9. แบนด์วิด

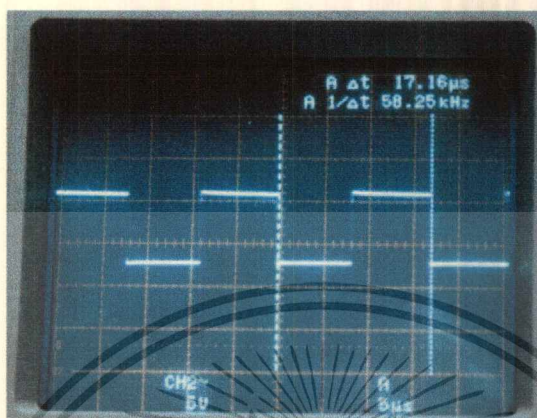
10. ลิ้มิตเตอร์



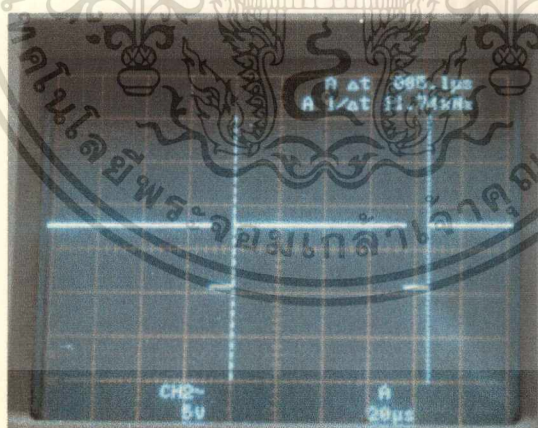
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลอง การผสมความกว้างของพัลส์

2.



3.

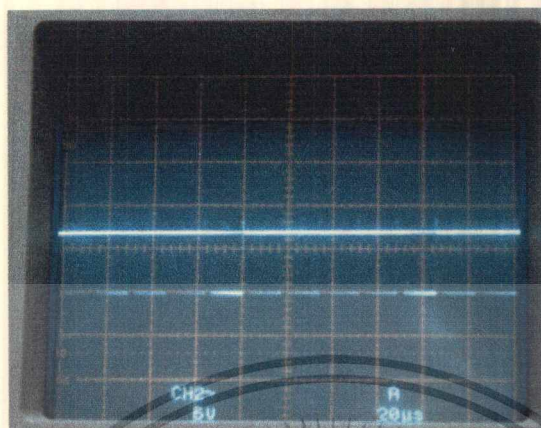


VOLTS/DIV 5 v

TIME/DIV 0.02 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

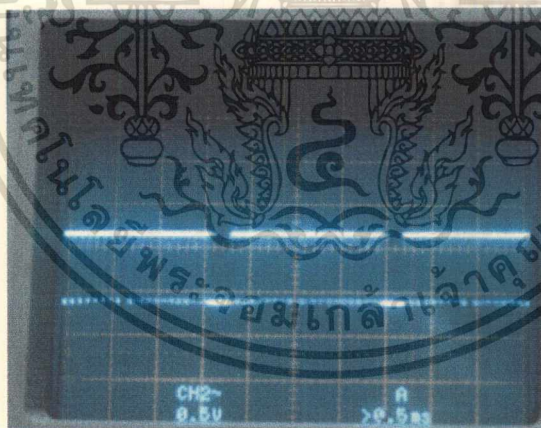
5.



VOLTS/DIV 5 v

TIME/DIV 0.02 ms

8.



VOLTS/DIV 0.5 v

TIME/DIV 0.5 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเป็นการสร้างสัญญาณ Pulse width Modulation ซึ่งใช้สัญญาณเสียงจาก Gen ป้อนให้เป็น i/p ของ IC 556 ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดสัญญาณ PWM เมื่อเราทำการวัดสัญญาณที่ Mod แล้ว จะเห็นได้ว่า ความกว้างของ Pulse จะเปลี่ยนแปลงมากขึ้นหรือน้อยลง จะขึ้นอยู่กับระดับของแรงดันของสัญญาณ i/p

## เฉลยคำถามของการทดลอง

1. ไม่ เพราะสัญญาณรบกวนจะอยู่บนพัลส์มอดคูเลเตอร์และจะถูกตัดออกไป (Clip)
2. FM
3. สูงกว่า
4. ออสซิลเลเตอร์
5. แหล่งจ่ายไฟฟ้า
6. สีเหลี่ยม
7. พัลส์วิคท์,แคบลง
8. สัญญาณ
9.  $R_6$ ,  $R_7$  และ  $R_8$
10. IRED Power, แอมป์ลิทูดของพัลส์



### เอกสารอ้างอิง

1. อภินันท์ มัชฌานนท์ “ทฤษฎีการสื่อสารเส้นใยแสง” Japan International Cooperation Agency (JICA) พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2534
2. วิสันต์ อาษาเคโซพล “ระบบโทรศัพท์ดิจิทัล” หก.สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
3. สุชาติ กังวารจิตต์ “เครื่องรับส่งวิทยุและระบบการสื่อสาร” บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ 2532
4. Morris Tischler “เอกสารการทดลองเกี่ยวกับการสื่อสารทางแสง “



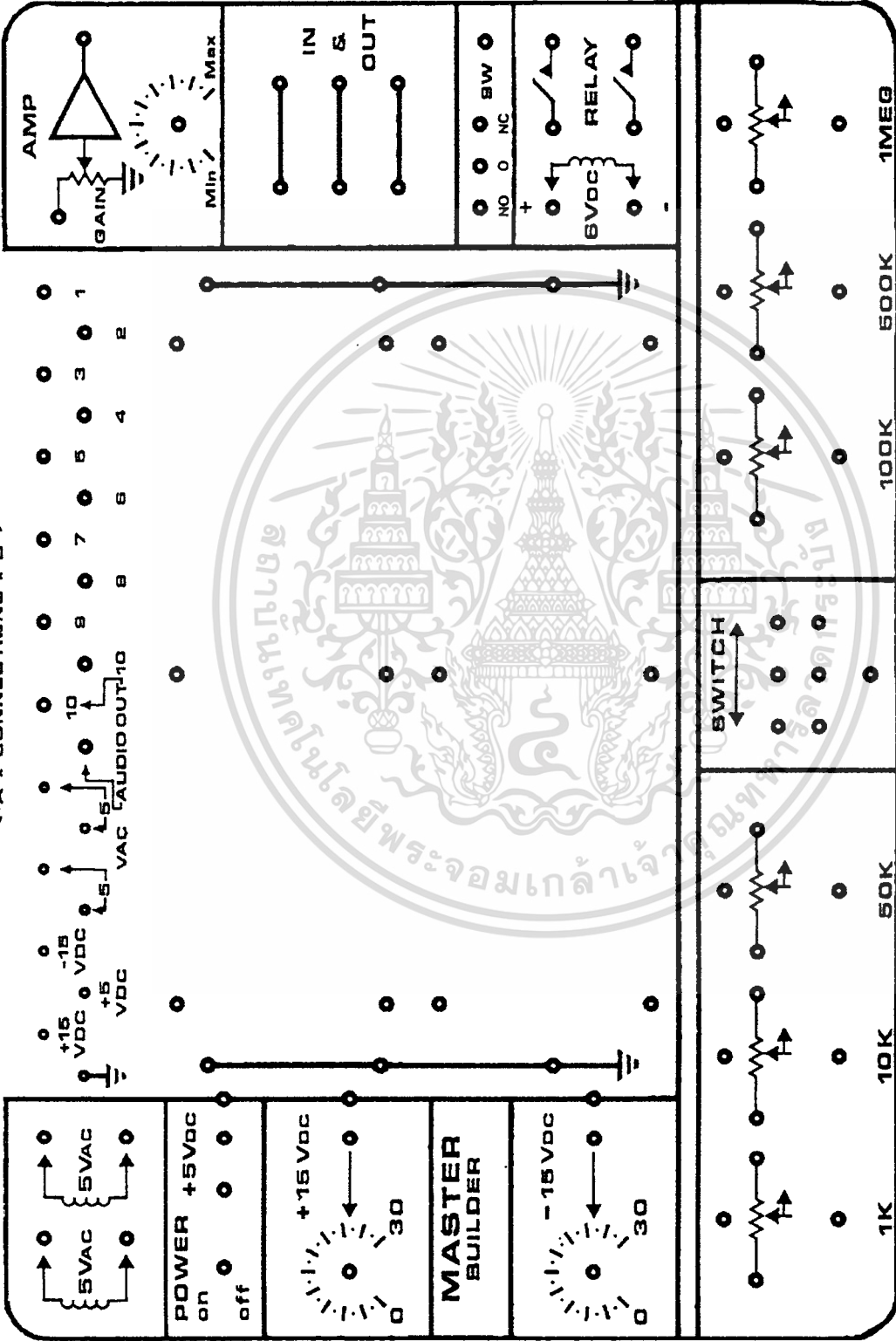
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ภาคผนวก ก

· วงจร ลายปริ้นท์และรูปแบบการสกรีนที่ใช้ในปฏิญญาพันธ  
มีรูปแบบดังต่อไปนี้

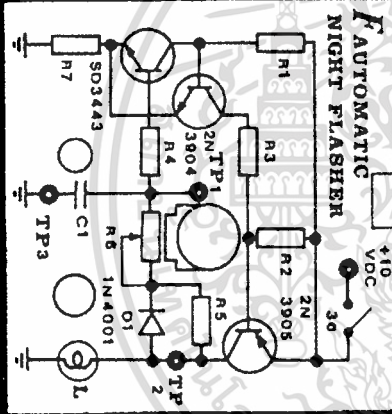
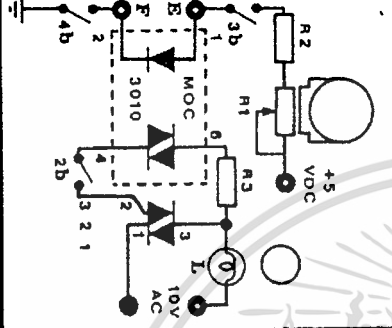
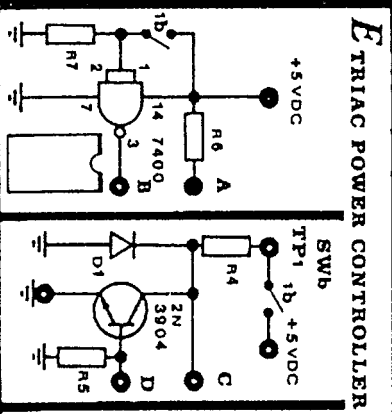
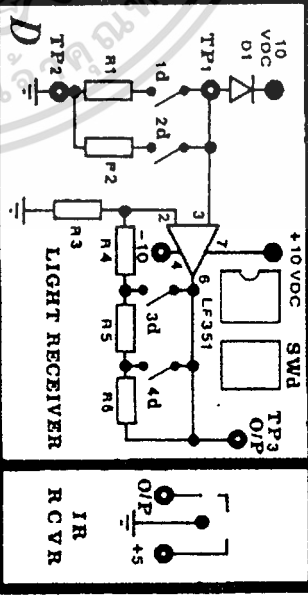
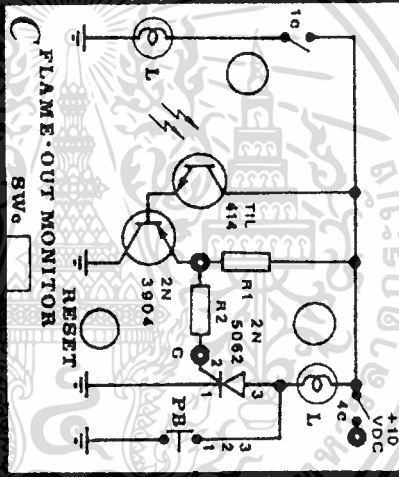
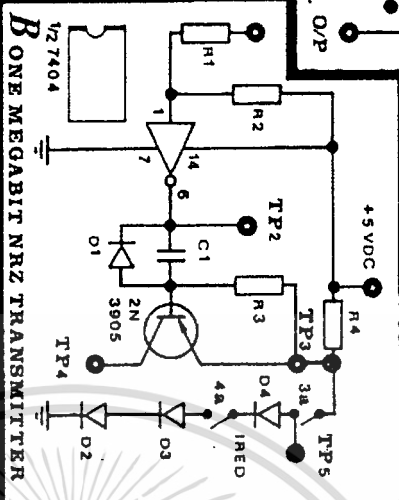
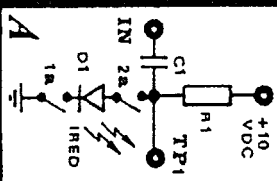
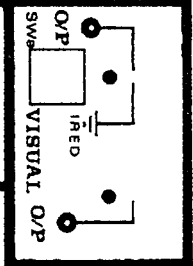
- รูปแบบการสกรีนหน้ากล่องชุดทดลอง
- รูปแบบการสกรีนของแผงทดลองที่ 1 (SP-1)
- ลายปริ้นท์ ของแผงทดลองที่ 1 (SP-1)
- ลายสกรีนครอบลายปริ้นท์ ของแผงทดลองที่ 1 (SP-1)
- รูปแบบการสกรีนของแผงทดลองที่ 2 (SP-2)
- ลายปริ้นท์ ของแผงทดลองที่ 2 (SP-2)
- ลายสกรีนครอบลายปริ้นท์ ของแผงทดลองที่ 2 (SP-2)





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# FIBER OPTICS.1. COMMUNICATIONS

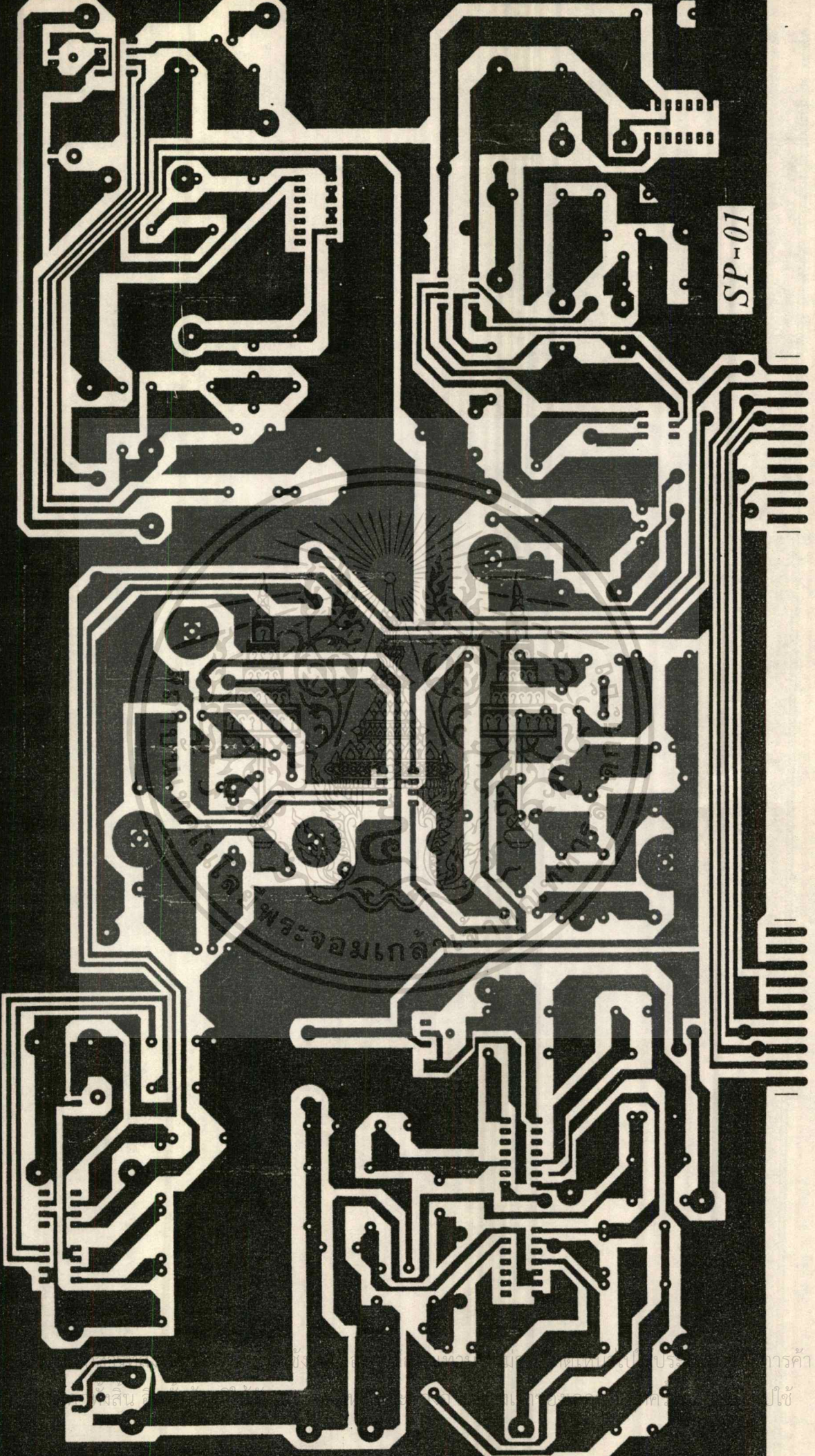


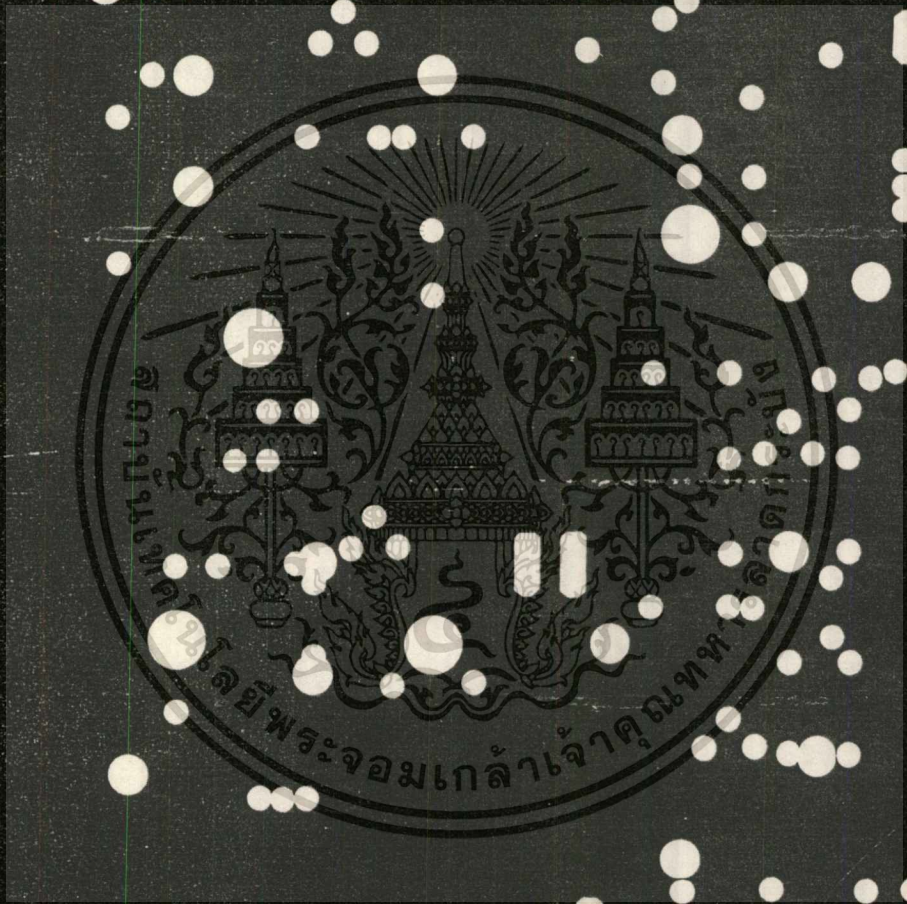
SP-1



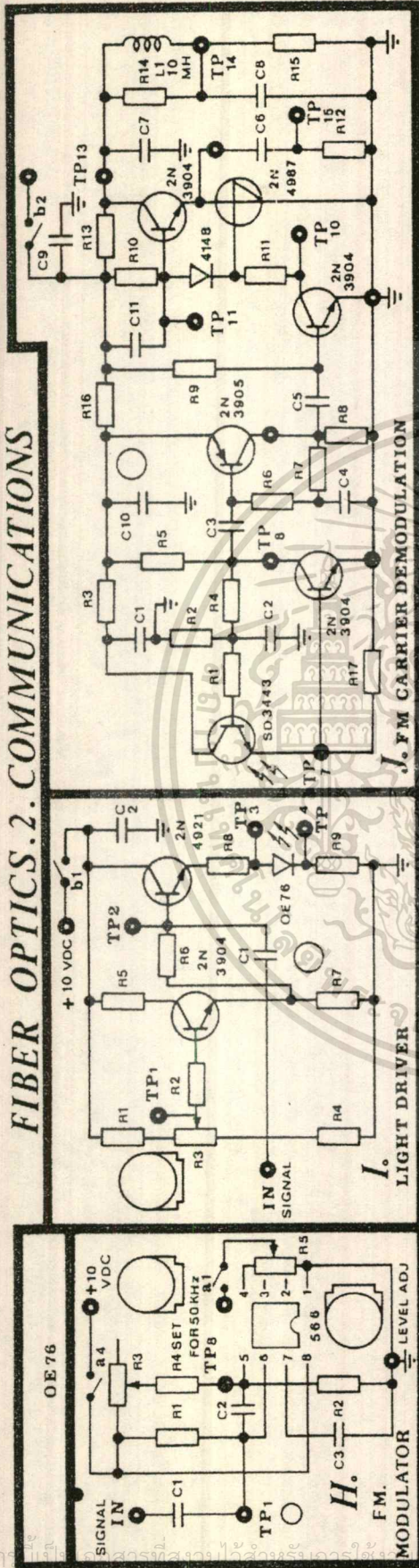
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

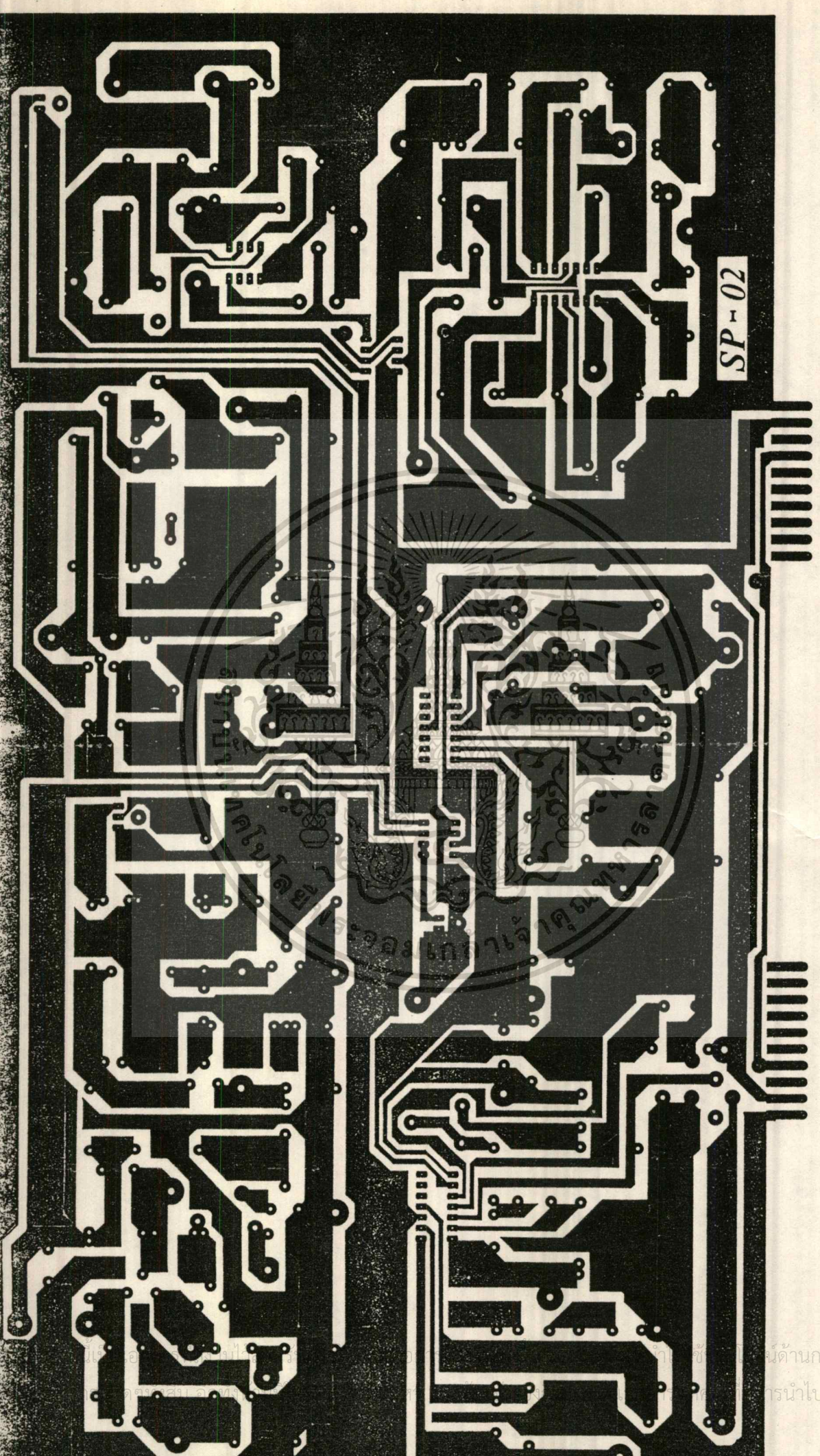
SP-01





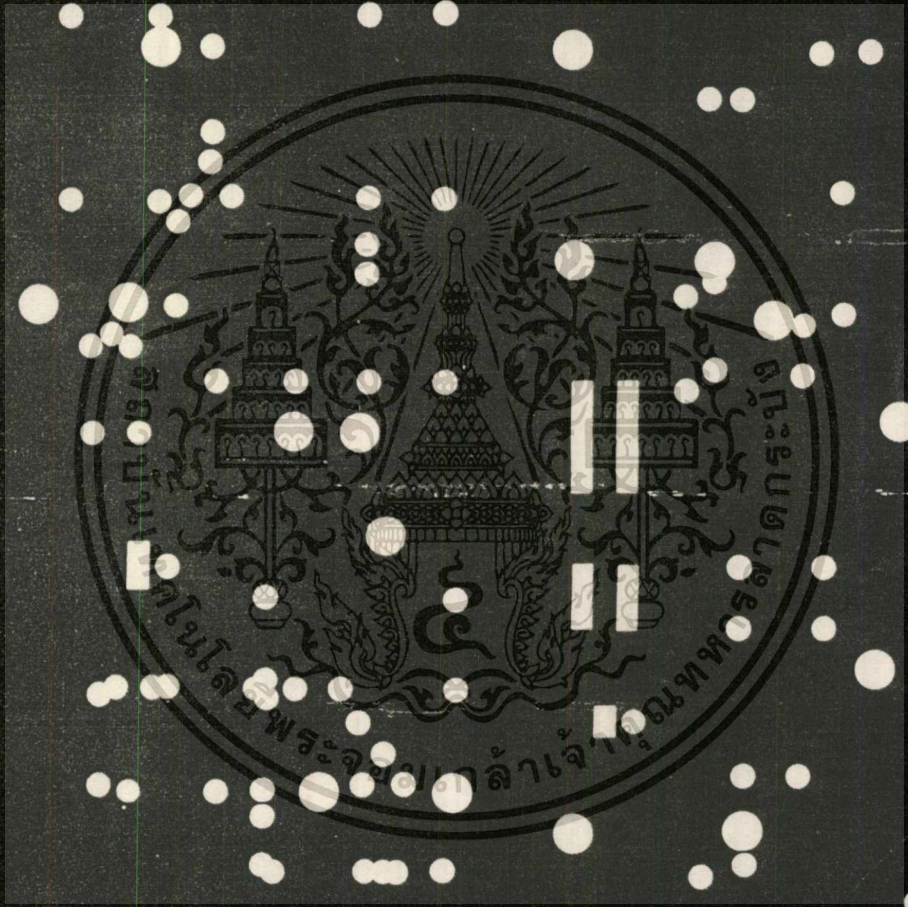
# FIBER OPTICS.2. COMMUNICATIONS

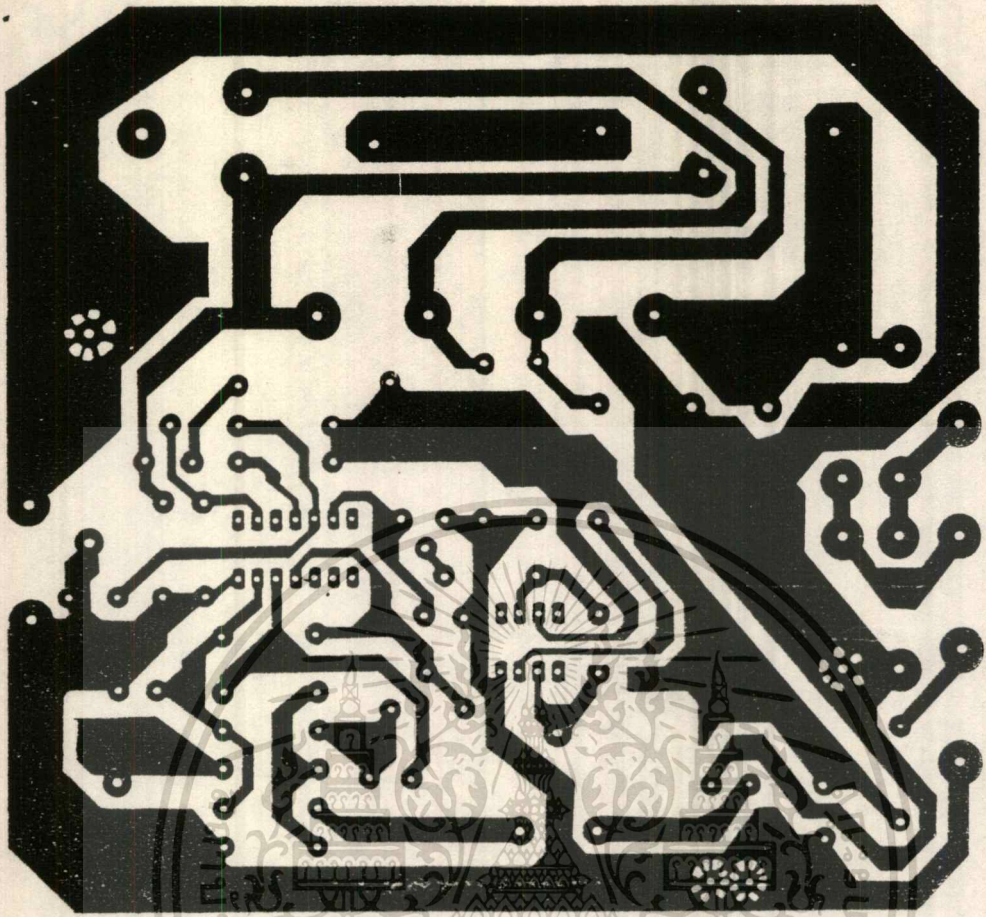




SP-02

สำนักงานการค้า  
การนำเข้าใช้

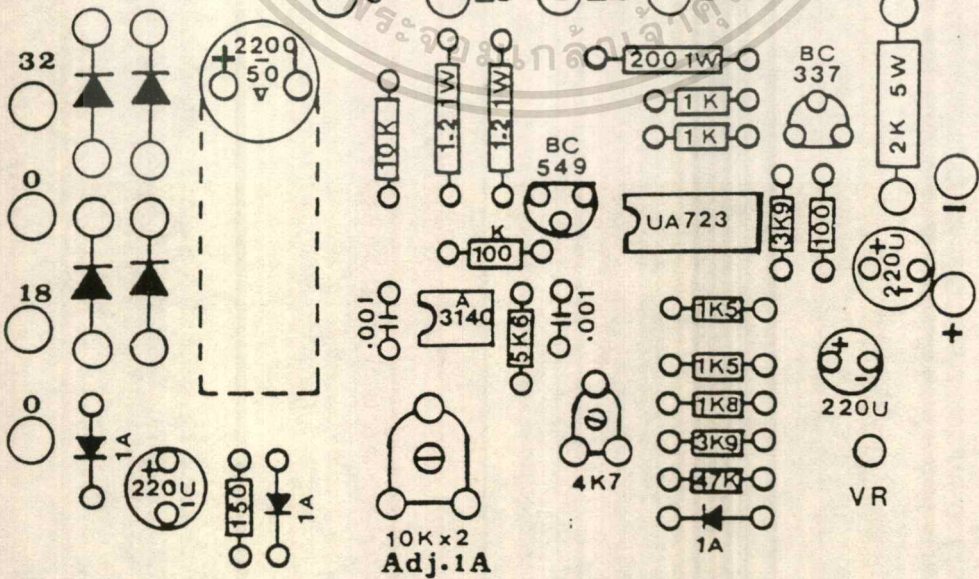




แสดงลายวางจรรยาพิมพ์ POWER SUPPLY 0±15VDC

1N5403 x 4

2N3055 x 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้แสดงการวางอุปกรณ์วงจรที่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## ข้อมูลที่ใช้ในปริญญานิพนธ์ (DATA SHEET)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preliminary Information.

SIECOR® FAT FIBER™  
CABLE (144)

# SIECOR/OPTICAL CABLE

A SERVICE OF SIECOR

SIECOR 144 Fat Fiber cable is a lightweight, all-glass fiber optic cable designed for use in a variety of applications. It is optimized for distances of 200 to 2000 meters. The flame retardant SIECOR 144 Fat Fiber cable can be installed in industrial, process control, computer and wired office applications. Since this product has the strength, flexibility, and general handling characteristics found in miniature coaxial cables, it can be used in the same environments without EMI and ground loop problems.

## Fat Fiber Cables

### Reliable High Performance Systems Possible

- Low cost sources and detectors
- Stable transmission performance
- High numerical aperture, large core for improved coupling efficiency
- Straightforward transmitters and receivers
- Commercially available connectors

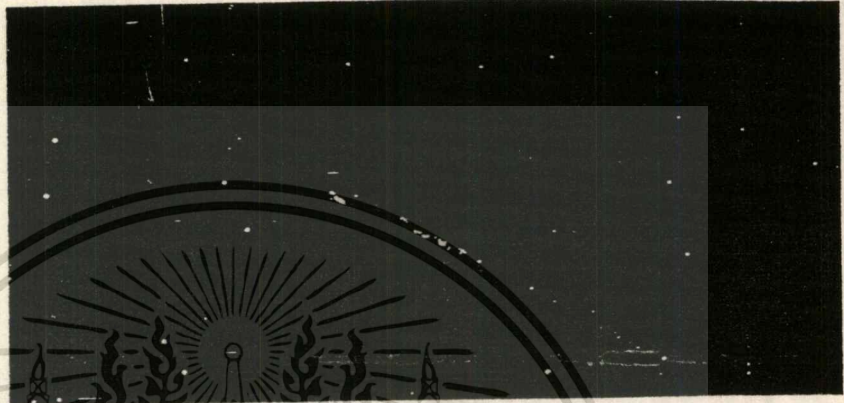
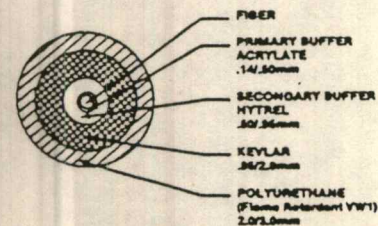
### Excellent Environmental Performance

- Wide operating temperature range
- Flame retardant to meet safety standards (passes UL VW1 vertical flame test)

### Convenient

- Easily strippable outer sheath and fiber buffer
- Easily installed — small, flexible, but rugged

Product Number  
144



## CABLE PROPERTIES

SIECOR/OPTICAL CABLE product number	144
Number of fibers	1
Maximum attenuation @ 850 nm	10 dB/km
Minimum bandwidth (-3dB) @ 850 nm	20 MHz·km

## Installation and use

Operating temperature range, installed	- 20 to 85 °C
Maximum tensile load for installation	300 N*
Minimum bend radius for installation at 300 N	5 cm
Maximum tensile load, long term installation	50 N
Structural cable strength	1500 N

## Additional data

Cable: Outside diameter, nominal	3.0 mm
Weight, nominal	7.5 kg/km
Fiber: Core diameter, nominal	100 μm
Cladding diameter, nominal	140 μm
Coated diameter, nominal	950 μm
Numerical aperture (100% short length), nominal	0.3

\*One Newton = 0.102 kg<sub>f</sub> = 0.225 lb<sub>f</sub>  
Duplex version (244) also available.

For additional information contact:  
SIECOR/OPTICAL CABLE  
Four Eighty Nine/Hickory, N.C. 28603  
Telephone 704 322-3740  
Telex: 800546  
Cable: SIECOR

144P (5/81CP)

Printed In U.S.A.

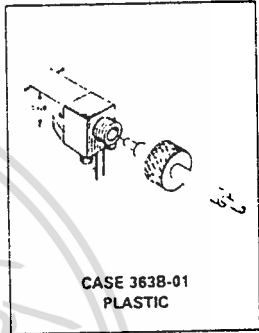
SIECOR and FAT FIBER are registered trademarks of SIECOR Corporation.

ไม่วารณมิไดงทั้งสิน อิกทั้งหามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกคร้งที่มีกรนำไปใช้

# Fiber Optics — FLCS Family Photo Detector Diode Output

**MFOD71**

**FLCS FAMILY  
FIBER OPTICS  
PHOTO DETECTOR  
DIODE OUTPUT**



... designed for low cost, short distance Fiber Optic Systems using 1000 micron core plastic fiber.

Typical applications include: high isolation interconnects, disposable medical electronics, consumer products, and microprocessor controlled systems such as coin operated machines, copy machines, electronic games, industrial clothes dryers, etc.

- Fast PIN Photodiode: Response Time <5 ns
- ideally Matched to MFOE76 Emitter for Plastic Fiber Systems
- Annular Passivated Structure for Stability and Reliability
- FLCS Package
  - Includes Connector
  - Simple Fiber Termination and Connection (Figure 4)
  - Easy Board Mounting
  - Molded Lens for Efficient Coupling
  - Mates with 1000 Micron Core Plastic Fiber (Eska SH4001)

**MAXIMUM RATINGS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	$V_R$	100	Volts
Total Power Dissipation ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$ )	$P_D$	150 2	mW mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-40 to +100	°C

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Dark Current ( $V_R = 20\text{ V}, R_L = 1\text{ M}\Omega, T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 85^\circ\text{C}$ )	$I_D$	—	0.06 10	10	nA
Reverse Breakdown Voltage ( $I_R = 10\ \mu\text{A}$ )	$V_{(BR)}$	50	100	—	Volts
Forward Voltage ( $I_F = 50\text{ mA}$ )	$V_F$	—	—	1.1	Volts
Series Resistance ( $I_F = 50\text{ mA}$ )	$R_s$	—	8	—	Ohms
Total Capacitance ( $V_R = 20\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$ )	$C_T$	—	3	—	pF

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

Responsivity ( $V_R = 5\text{ V}$ , Figure 2)	$R$	0.15	0.2	—	$\mu\text{A}/\mu\text{W}$
Response Time ( $V_R = 5\text{ V}, R_L = 50\ \Omega$ )	$t_{(resp)}$	—	5	—	ns

# MFOD71

## TYPICAL COUPLED CHARACTERISTICS

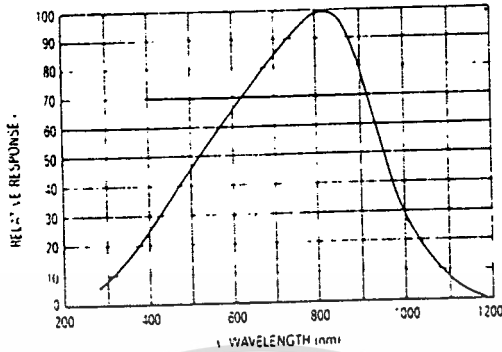


Figure 1. Relative Spectral Response

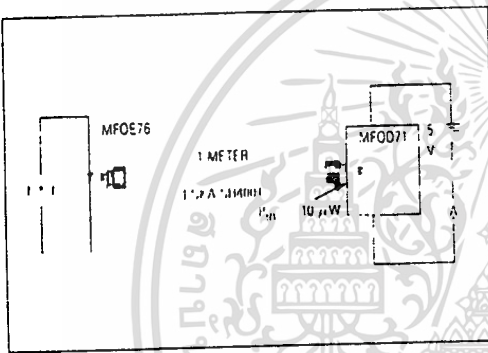


Figure 2. Responsivity Test Configuration

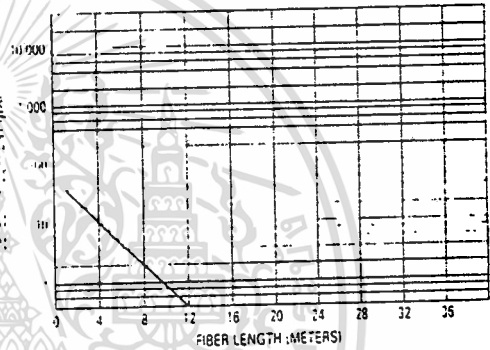


Figure 3. Detector Current versus Fiber Length

The system length achieved with a MFOE76 emitter and various detectors, using 1000 micron core plastic fiber (Eska SH4001 or equivalent), depends on the LED forward

current (I<sub>F</sub>) and the responsivity of the detector chosen. Each detector will perform with the MFOE76 up to the distances shown below.

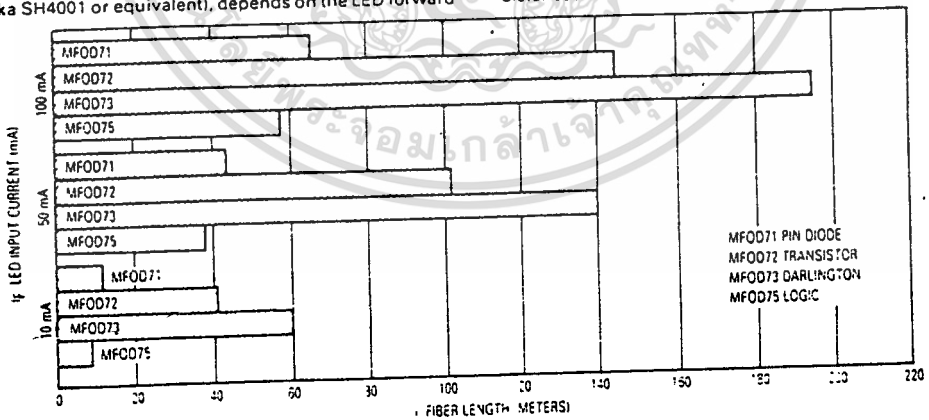


Figure 4. MFOE76 Working Distances

# MFOD71

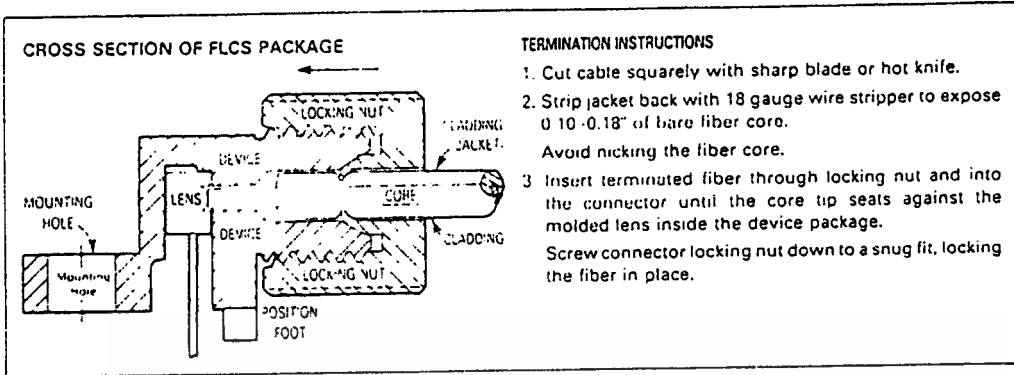


Figure 5. FO Cable Termination and Assembly

## INPUT SIGNAL CONDITIONING

The following circuits are suggested to provide the desired forward current through the emitter.

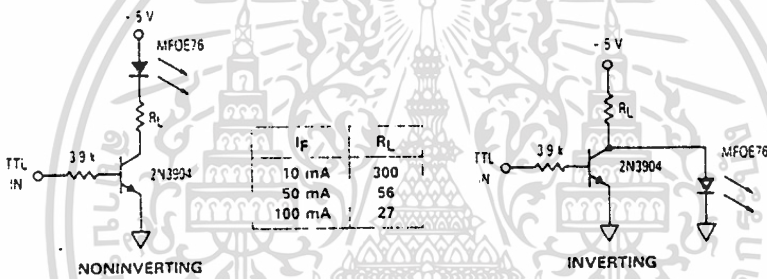
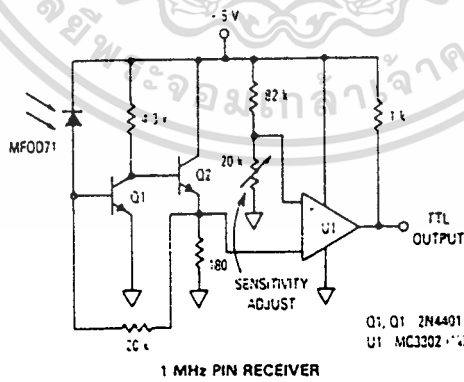


Figure 6. TTL Transmitters

## OUTPUT SIGNAL CONDITIONING

The following circuit is suggested to take the MFOD71 detector output and condition it to drive TTL with an acceptable bit error rate.

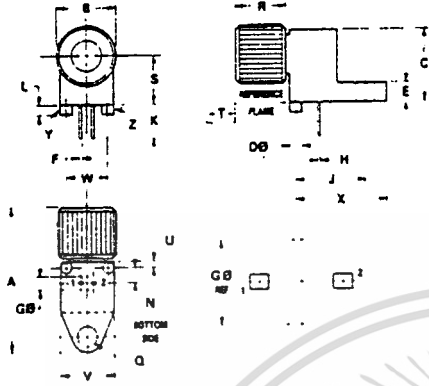


1 MHz PIN RECEIVER

Figure 7. TTL Receiver

# MFOD71

## OUTLINE DIMENSIONS

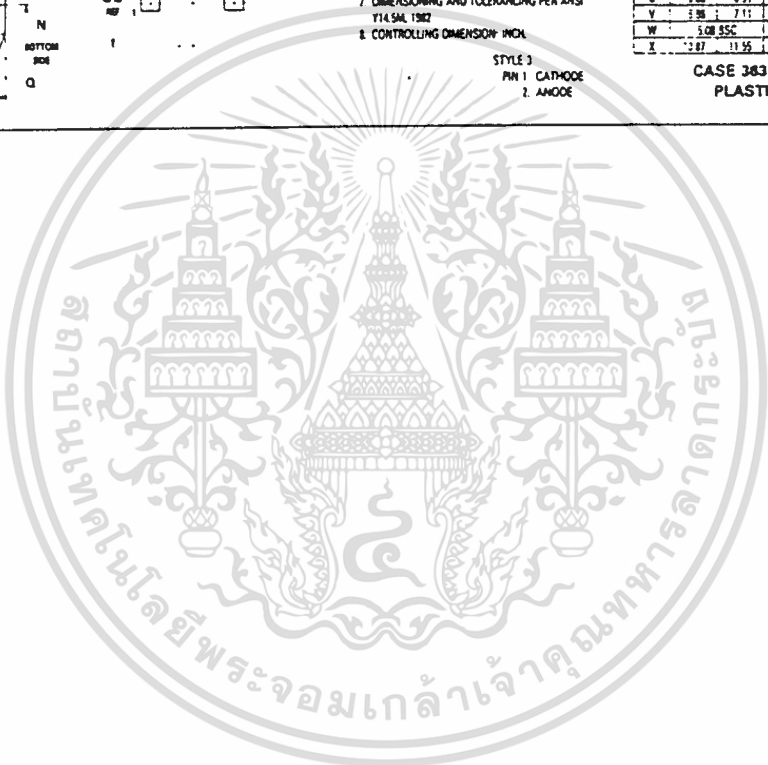


- NOTES:
1. Y AND Z ARE DATUM DIMENSIONS AND T IS A DATUM SURFACE.
  2. POSITIONAL TOLERANCE FOR Ø Ø 12 PL.  
 $\pm 0.25 (0.010) \text{ @ } [Y] [Z]$
  3. POSITIONAL TOLERANCE FOR F DIMENSION (2 PL.)  
 $\pm 0.25 (0.010) \text{ @ } [Y] [Z]$
  4. POSITIONAL TOLERANCE FOR H DIMENSION (2 PL.)  
 $\pm 0.25 (0.010) \text{ @ } [Y] [Z]$
  5. POSITIONAL TOLERANCE FOR Ø Ø  
 $\pm 0.25 (0.010) \text{ @ } [Y] [Z]$
  6. POSITIONAL TOLERANCE FOR Ø  
 $\pm 0.25 (0.010) \text{ @ } [T]$
  7. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M 1987
  8. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM.	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
A	3.20	11.73	0.126	0.462
B	3.14	3.79	0.123	0.150
C	2.27	3.17	0.090	0.125
D	2.5	2.7	0.098	0.106
E	2.41	2.66	0.095	0.105
F	2.43	2.58	0.097	0.102
G	1.54 BSC		0.100 BSC	
H	2.32	2.45	0.091	0.097
J	7.91 BSC		0.310 BSC	
K	2.91	11.43	0.115	0.450
L	1.14	1.63	0.045	0.065
M	1.54 BSC		0.100 BSC	
N	2.25	3.30	0.120	0.130
O	2.13	3.17	0.085	0.125
P	1.90 BSC		0.200 BSC	
Q	2.68	3.31	0.105	0.130
U	3.30	7.11	0.130	0.280
V	3.08 BSC		0.200 BSC	
X	2.87	11.55	0.113	0.455

STYLE 3  
 PIN 1 CATHODE  
 2 ANODE

CASE 343B-01  
 PLASTIC



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

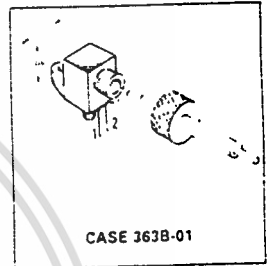
## Fiber Optics — FLCS Family Visible Red LED

This device is designed for low cost, medium frequency, fiber optic systems using 1000 micron core plastic fiber. It is compatible with Motorola's wide variety of detector functions from the MFOD70 series. The MFOE76 employs gallium aluminum technology, and comes pre-assembled into the convenient and popular FLCS connector.

- Low Cost
- Very Simple Fiber Termination and Connection. See Figure 9
- Convenient Printed Circuit Mounting
- Integral Molded Lens for Efficient Coupling
- Mates with 1000 Micron Core Plastic Fiber, such as Eska SH4001

**MFOE76**

**FLCS FAMILY  
 FIBER OPTICS  
 VISIBLE RED  
 LED  
 660 nm**



### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	$V_R$	5	Volts
Forward Current — Continuous	$I_F$	60	mA
Forward Current — Peak Pulse	$I_{FP}$	1	A
Total Power Dissipation * $T_A = 25^\circ\text{C} (1)$ Derate above $35^\circ\text{C}$	$P_D$	132 2	mW mW/°C
Ambient Operating Temperature Range	$T_A$	-40 to -100	°C
Storage Temperature	$T_{stg}$	-40 to -100	°C
Lead Soldering Temperature (2)	—	260	°C

Notes: 1. Measured with device soldered into a typical printed circuit board  
 2. 5 seconds max., 1/16 inch from case

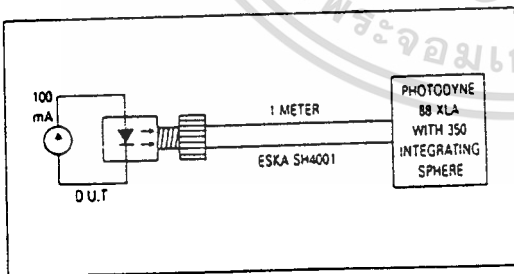


Figure 1. Power Launched Test Setup

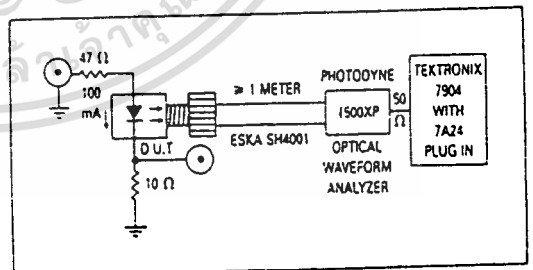


Figure 2. Optical Turn-On and Turn-Off Test Setup

# MFOE76

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Reverse Leakage Current ( $V_R = 3\text{ V}$ )	$I_R$	—	100	—	nA
Reverse Leakage Current ( $V_R = 5\text{ V}$ )	$I_R$	—	10	100	$\mu\text{A}$
Forward Voltage ( $I_f = 60\text{ mA}$ )	$V_F$	—	1.8	2.2	V
Temperature Coefficient of Forward Voltage	$\Delta V_F$	—	-2.2	—	mV/K
Capacitance ( $f = 1\text{ MHz}$ )	C	—	50	—	pF

## OPTICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Peak Wavelength ( $I_f = 60\text{ mA}$ )	$\lambda_p$	—	660	—	nm
Instantaneous Power Launched ( $I_f = 100\text{ mA}$ , Figure 1)	PL	200	540	—	$\mu\text{W}$
Optical Turn-On Time (Figure 2)	$t_{on}$	—	200	—	ns
Optical Turn-Off Time (Figure 2)	$t_{off}$	—	150	—	ns
Half-Power Electrical Bandwidth (1)	BW <sub>e</sub>	—	6	—	MHz

(1)  $I_f = 100\text{ mA}$  pk-pk, 100% modulation

## TYPICAL CHARACTERISTICS

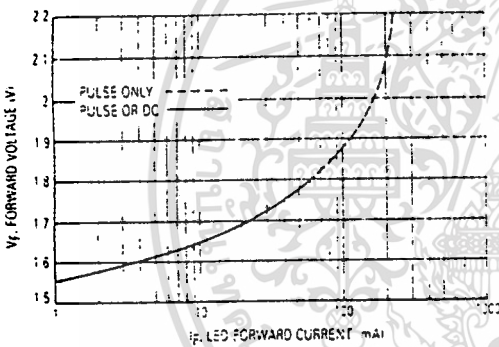


Figure 3. Forward Voltage versus Forward Current

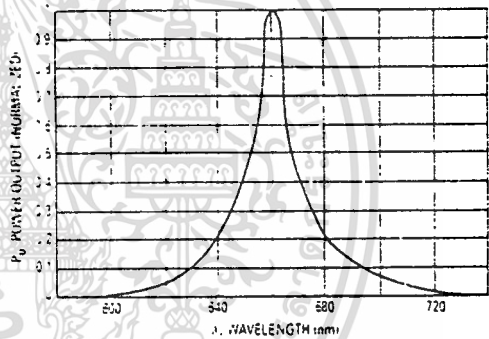


Figure 4. Relative Spectral Output

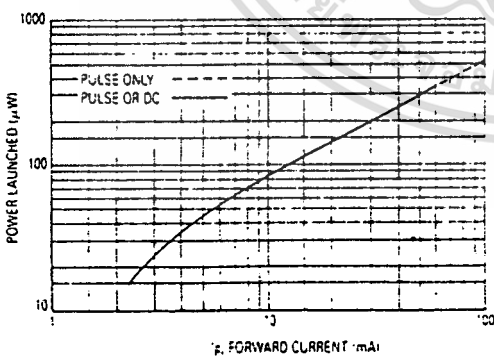


Figure 5. Power Launched versus LED Forward Current

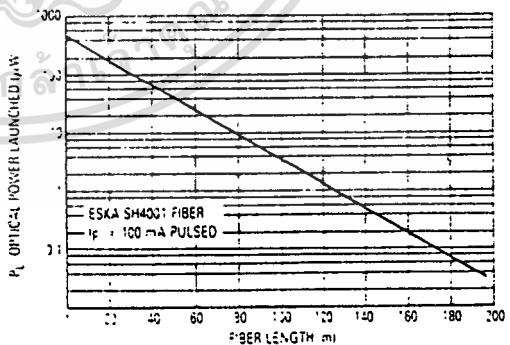


Figure 6. Power Launched versus Fiber Length

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MFOE76

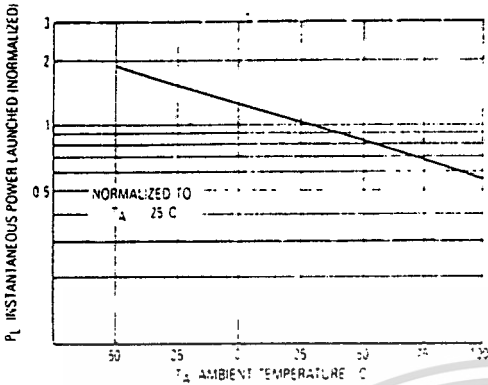


Figure 7. Instantaneous Power Output versus Ambient Temperature

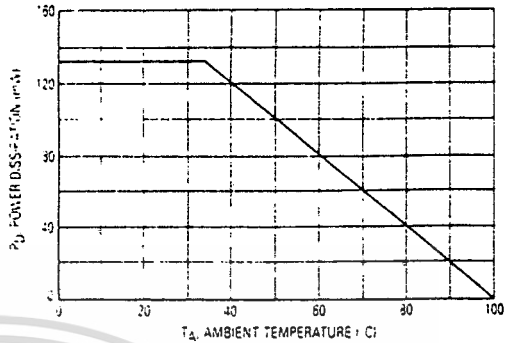


Figure 8. Power Dissipation

The system length achieved with a MFOE76 emitter and various detectors, using 1000 micron core plastic fiber (Eska SH4001 or equivalent), depends on the LED forward

current ( $I_f$ ) and the responsivity of the detector chosen. Each detector will perform with the MFOE76 up to the distances shown below.

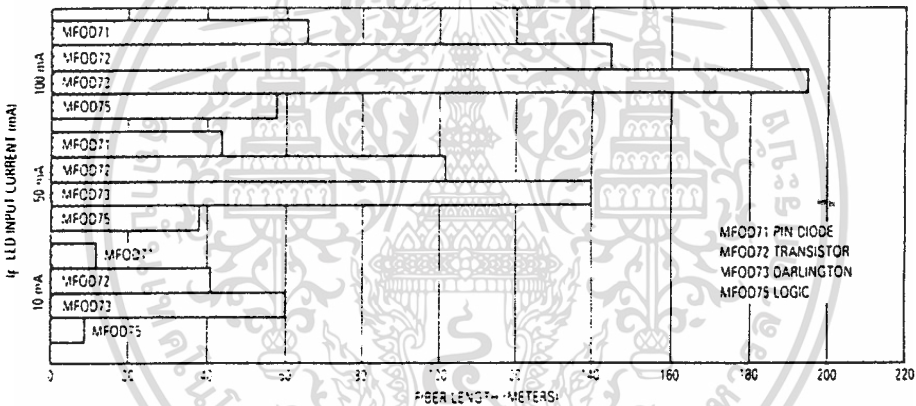


Figure 9. MFOE76 Working Distances

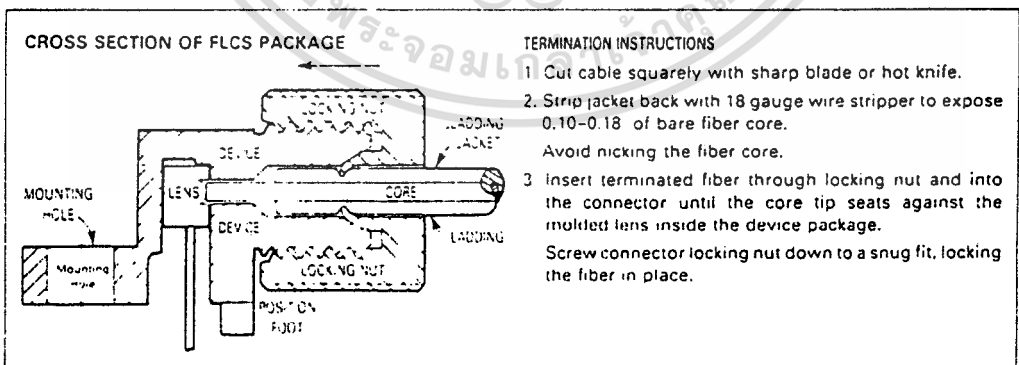
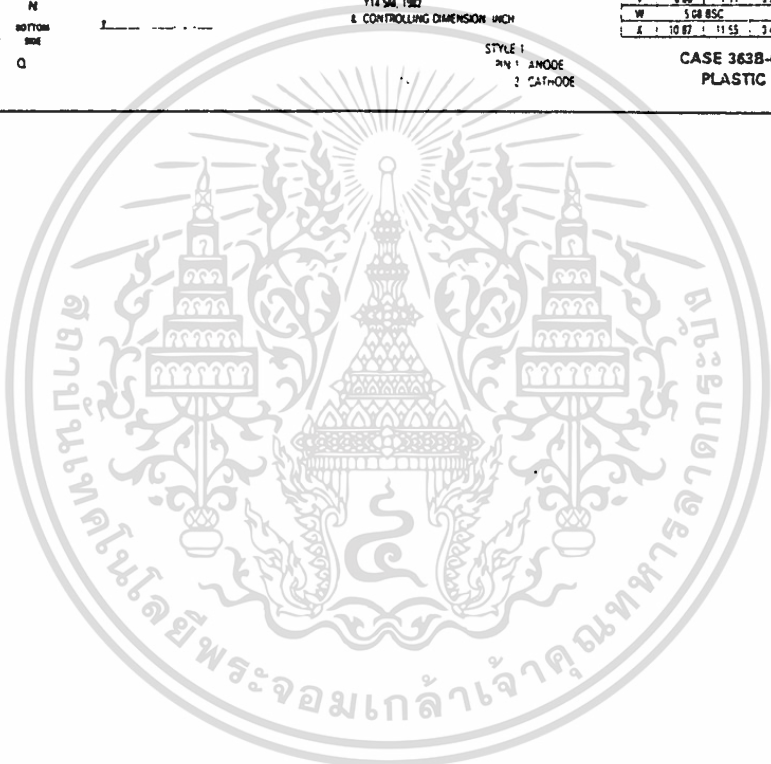
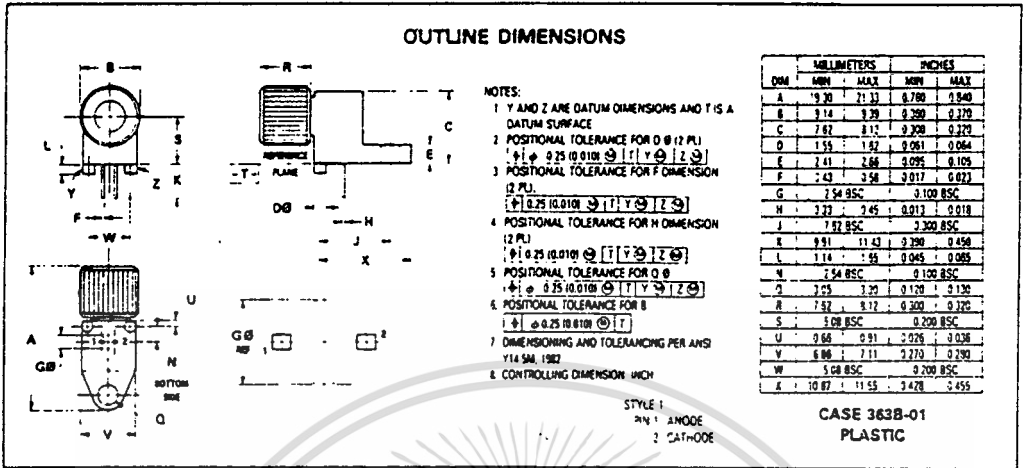


Figure 10. FO Cable Termination and Assembly

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MFOE76



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 2N3903 (SILICON)

# 2N3904

## NPN SILICON ANNULAR TRANSISTORS

... designed for general purpose switching and amplifier applications and for complementary circuitry with types 2N3905 and 2N3906.

- Collector-Emitter Breakdown Voltage –  $V_{CE0} = 40$  Vdc (Min)
- Current Gain Specified from  $100 \mu\text{A}$  to  $100$  mA
- Complete Switching and Amplifier Specifications
- Low Capacitance –  $C_{ob} = 4.0$  pF (Max)

## NPN SILICON SWITCHING & AMPLIFIER TRANSISTORS



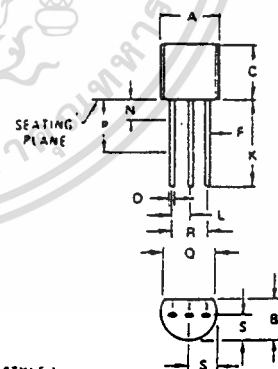
### \*MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Base Voltage	$V_{CB}$	60	Vdc
Collector-Emitter Voltage	$V_{CE0}$	40	Vdc
Emitter-Base Voltage	$V_{EB}$	6.0	Vdc
Collector Current – Continuous	$I_C$	200	mA dc
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	350 2.8	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	1.0 8.0	Watts mW/ $^\circ\text{C}$
Junction Operating Temperature	$T_J$	150	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

### THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	357	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	125	$^\circ\text{C/W}$

\*Indicates JEDEC Registered Data



STYLE 1  
PIN 1 EMITTER  
2 BASE  
3 COLLECTOR

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	4.450	5.200	0.175	0.205
B	3.180	4.190	0.125	0.165
C	4.320	5.330	0.170	0.210
D	0.407	0.533	0.016	0.021
F	0.407	0.482	0.016	0.019
K	17.700	-	0.700	-
L	1.150	1.390	0.045	0.055
N	-	1.270	-	0.050
P	6.350	-	0.250	-
Q	3.430	-	0.135	-
R	2.410	2.670	0.095	0.105
S	2.030	2.670	0.080	0.105

CASE 29-02  
TO-92

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2N3903, 2N3904 (continued)

### \* ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Fig. No.	Symbol	Min	Max	Unit
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>					
Collector-Base Breakdown Voltage ( $I_C = 10 \mu\text{A dc}$ , $I_E = 0$ )		$V_{CB0}$	60	-	Vdc
Collector-Emitter Breakdown Voltage (1) ( $I_C = 1.0 \text{ mA dc}$ , $I_B = 0$ )		$V_{CE0}$	40	-	Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage ( $I_E = 10 \mu\text{A dc}$ , $I_C = 0$ )		$V_{EB0}$	6.0	-	Vdc
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 30 \text{ Vdc}$ , $V_{EB(off)} = 3.0 \text{ Vdc}$ )		$I_{CEV}$	-	50	nA dc
Base Cutoff Current ( $V_{CE} = 30 \text{ Vdc}$ , $V_{EB(off)} = 3.0 \text{ Vdc}$ )		$I_{BEV}$	-	50	nA dc

### ON CHARACTERISTICS

DC Current Gain (1) ( $I_C = 0.1 \text{ mA dc}$ , $V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$ )  ( $I_C = 1.0 \text{ mA dc}$ , $V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$ )  ( $I_C = 10 \text{ mA dc}$ , $V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$ )  ( $I_C = 50 \text{ mA dc}$ , $V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$ )  ( $I_C = 100 \text{ mA dc}$ , $V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$ )	2N3903	15	$\beta_{FE}$	20	-	-
	2N3904			40	-	-
	2N3903			35	-	-
	2N3904			70	-	-
	2N3903			50	150	-
	2N3904			100	300	-
Collector-Emitter Saturation Voltage (1) ( $I_C = 10 \text{ mA dc}$ , $I_B = 1.0 \text{ mA dc}$ ) ( $I_C = 50 \text{ mA dc}$ , $I_B = 5.0 \text{ mA dc}$ )		16, 17	$V_{CE(sat)}$	-	0.2	Vdc
				-	0.3	
Base-Emitter Saturation Voltage (1) ( $I_C = 10 \text{ mA dc}$ , $I_B = 1.0 \text{ mA dc}$ ) ( $I_C = 50 \text{ mA dc}$ , $I_B = 5.0 \text{ mA dc}$ )		17	$V_{BE(sat)}$	0.65	0.85	Vdc
				-	0.95	

### SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

Current-Gain-Bandwidth Product ( $I_C = 10 \text{ mA dc}$ , $V_{CE} = 20 \text{ Vdc}$ , $f = 100 \text{ MHz}$ )	2N3903 2N3904		$f_T$	250 300	-	MHz
Output Capacitance ( $V_{CB} = 5.0 \text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ , $f = 100 \text{ kHz}$ )		3	$C_{ob}$	-	4.0	pF
Input Capacitance ( $V_{BE} = 0.5 \text{ Vdc}$ , $I_C = 0$ , $f = 100 \text{ kHz}$ )		3	$C_{ib}$	-	8.0	pF
Input Impedance ( $I_C = 1.0 \text{ mA dc}$ , $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ )	2N3903 2N3904	13	$h_{ie}$	0.5 1.0	8.0 10	k ohms
Voltage Feedback Ratio ( $I_C = 1.0 \text{ mA dc}$ , $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ )	2N3903 2N3904	14	$h_{re}$	0.1 0.5	5.0 8.0	$\times 10^{-4}$
Small-Signal Current Gain ( $I_C = 1.0 \text{ mA dc}$ , $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ )	2N3903 2N3904	11	$h_{ie}$	50 100	200 400	-
Output Admittance ( $I_C = 1.0 \text{ mA dc}$ , $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ )		12	$h_{oe}$	1.0	40	$\mu\text{mhos}$
Noise Figure ( $I_C = 100 \mu\text{A dc}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ Vdc}$ , $R_S = 1.0 \text{ k ohms}$ , $f = 10 \text{ Hz to } 15.7 \text{ kHz}$ )	2N3903 2N3904	9, 10	NF	-	6.0 5.0	dB

### SWITCHING CHARACTERISTICS

Delay Time	( $V_{CC} = 3.0 \text{ Vdc}$ , $V_{BE(off)} = 0.5 \text{ Vdc}$ , $I_C = 10 \text{ mA dc}$ , $I_{B1} = 1.0 \text{ mA dc}$ )	1, 5	$t_d$	-	35	ns
Rise Time		1, 5, 6	$t_r$	-	35	ns
Storage Time	( $V_{CC} = 3.0 \text{ Vdc}$ , $I_C = 10 \text{ mA dc}$ , $I_{B1} = I_{B2} = 1.0 \text{ mA dc}$ )	2, 7	$t_s$	-	175 200	ns
Fall Time		2, 8	$t_f$	-	50	ns

(1) Pulse Test: Pulse Width = 300  $\mu\text{s}$ , Duty Cycle = 2.0%.  
\*Indicates JEDEC Registered Data

FIGURE 1 - DELAY AND RISE TIME EQUIVALENT TEST CIRCUIT

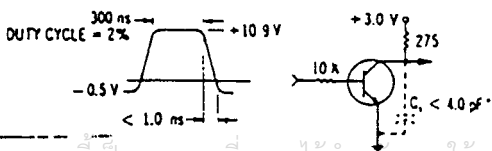
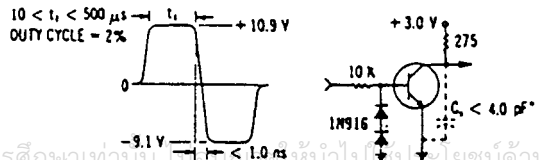


FIGURE 2 - STORAGE AND FALL TIME EQUIVALENT TEST CIRCUIT



\*Total shunt capacitance of test jig and connectors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อจำหน่ายให้ท่านไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MOTOROLA SEMICONDUCTORS

PO BOX 20912 • PHOENIX, ARIZONA 85036

## OPTICALLY ISOLATED TRIAC DRIVERS

These devices consist of gallium-arsenide infrared emitting diodes, optically coupled to silicon bilateral switch and are designed for applications requiring isolated triac triggering, low-current isolated ac switching, high electrical isolation (to 7500 V peak); high detector standoff voltage, small size, and low cost.

● UL Recognized File Number 54915

**MOC3009**  
**MOC3010**  
**MOC3011**  
**MOC3012**

## OPTO COUPLER/ISOLATOR

PHOTO TRIAC DRIVER  
OUTPUT

250 VOLTS

### MAXIMUM RATINGS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
<b>INFRARED EMITTING DIODE MAXIMUM RATINGS</b>			
Reverse Voltage	$V_R$	3.0	Volts
Forward Current – Continuous	$I_F$	50	mA
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Negligible Power in Transistor Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	100	mW
		1.33	mW/ $^\circ\text{C}$

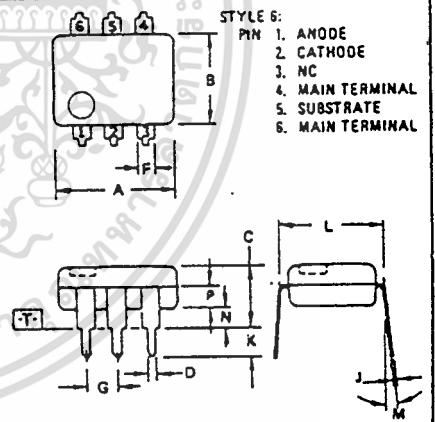
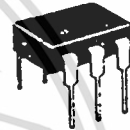
### OUTPUT DRIVER MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Off-State Output Terminal Voltage	$V_{DRM}$	250	Volts
On-State RMS Current (Full Cycle, 50 to 60 Hz)	$I_T(\text{RMS})$	100 50	mA mA
Peak Nonrepetitive Surge Current (PW = 10 ms, DC = 10%)	$I_{TSM}$	1.2	A.
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	300	mW
		4.0	mW/ $^\circ\text{C}$

### TOTAL DEVICE MAXIMUM RATINGS

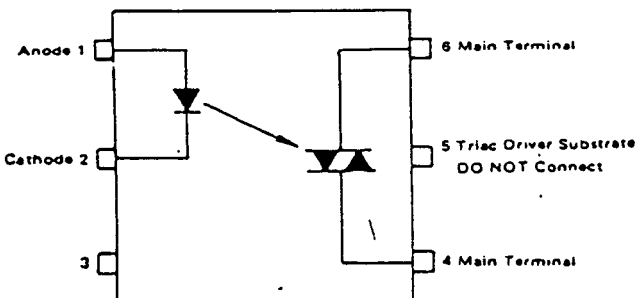
Rating	Symbol	Value	Unit
Isolation Surge Voltage (1) (Peak ac Voltage, 60 Hz, 5 Second Duration)	$V_{ISO}$	7500	V <sub>ac</sub>
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	330	mW
		4.4	mW/ $^\circ\text{C}$
Junction Temperature Range	$T_J$	-40 to +100	$^\circ\text{C}$
Ambient Operating Temperature Range	$T_A$	-40 to +70	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-40 to +150	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature (10 s)	-	260	$^\circ\text{C}$

(1) Isolation Surge Voltage,  $V_{ISO}$ , is an internal device dielectric breakdown rating.



- NOTES:
- DIMENSIONS A AND B ARE DATUMS.
  - $\square$  IS SEATING PLANE.
  - POSITIONAL TOLERANCES FOR LEADS:  
 $\oplus \ominus 0.13 (0.005 \phi) T A (M \oplus \ominus)$
  - DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
  - DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5, 1973.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	8.13	8.89	0.320	0.350
B	6.10	6.60	0.240	0.260
C	2.92	5.04	0.115	0.200
D	0.41	0.51	0.016	0.020
F	1.02	1.78	0.040	0.070
G	2.54 BSC		0.100 BSC	
J	0.20	0.30	0.008	0.012
K	2.54	3.81	0.100	0.150
L	7.62 BSC		0.300 BSC	
M	00	150	00	150
N	0.38	2.54	0.015	0.100
P	1.27	2.03	0.050	0.080



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้เพื่อการพาณิชย์โดยไม่ได้รับอนุญาตจาก Motorola Inc.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	
<b>LED CHARACTERISTICS</b>						
Reverse Leakage Current (V <sub>R</sub> = 3.0 V)	I <sub>R</sub>	-	0.05	100	μA	
Forward Voltage (I <sub>F</sub> = 10 mA)	V <sub>F</sub>	-	1.2	1.5	Volts	
<b>DETECTOR CHARACTERISTICS (I<sub>F</sub> = 0 unless otherwise noted)</b>						
Peak Blocking Current, Either Direction (Rated V <sub>ORM</sub> , Note 1)	I <sub>ORM</sub>	-	10	100	nA	
Peak On-State Voltage, Either Direction (I <sub>TM</sub> = 100 mA Peak)	V <sub>TM</sub>	-	2.5	3.0	Volts	
Critical Rate of Rise of Off-State Voltage, Figure 3	dv/dt	-	2.0	-	V/μs	
Critical Rate of Rise of Commutation Voltage, Figure 3 (I <sub>load</sub> = 15 mA)	dv/dt	-	0.15	-	V/μs	
<b>COUPLED CHARACTERISTICS</b>						
LED Trigger Current, Current Required to Latch Output (Main Terminal Voltage = 3.0 V)	MOC3009 MOC3010 MOC3011 MOC3012	I <sub>FT</sub>	-	15 8.0 5.0 -	30 15 10 5.0	mA
Holding Current, Either Direction		I <sub>H</sub>	-	100	-	μA

- Note 1. Test voltage must be applied within dv/dt rating.  
 2. Additional information on the use of the MOC3009/3010/3011 is available in Application Note AN-780.

TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS  
 T<sub>A</sub> = 25°C

FIGURE 1 - ON-STATE CHARACTERISTICS

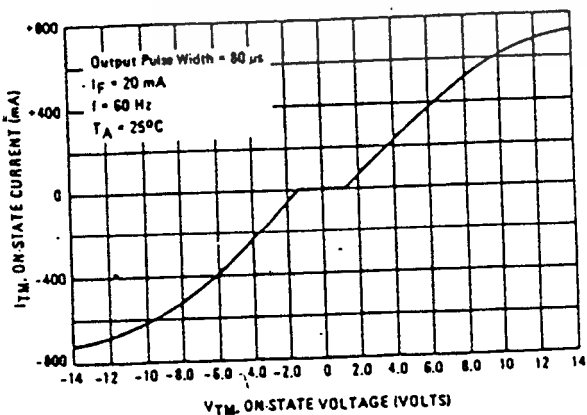


FIGURE 2 - TRIGGER CURRENT versus TEMPERATURE

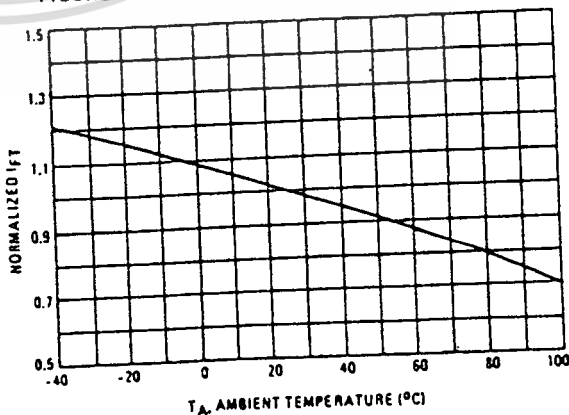


FIGURE 3 - dv/dt TEST CIRCUIT

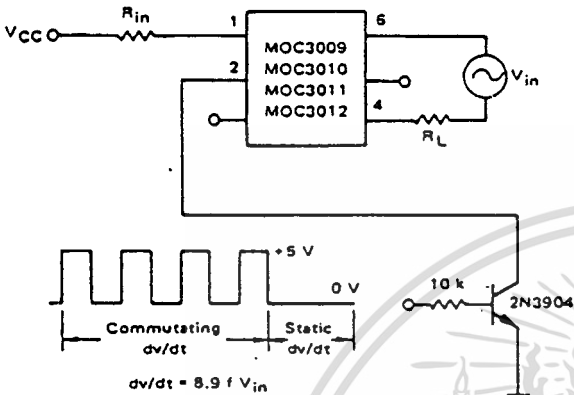


FIGURE 4 - dv/dt versus LOAD RESISTANCE

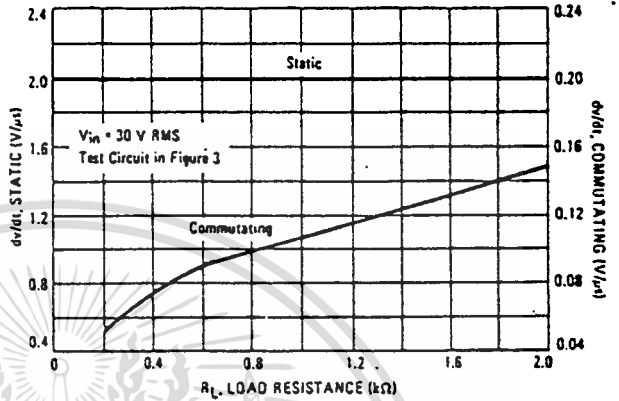


FIGURE 5 - dv/dt versus TEMPERATURE

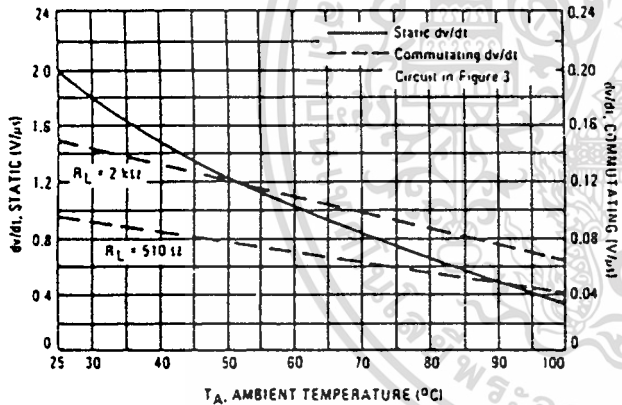


FIGURE 6 - COMMUTATING dv/dt versus FREQUENCY

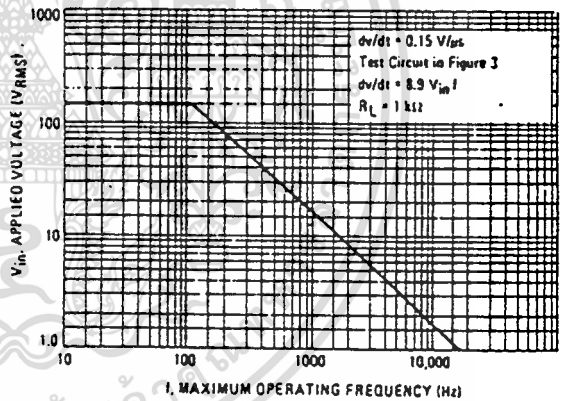
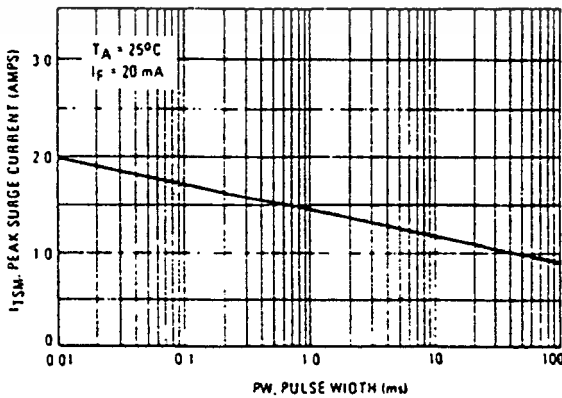


FIGURE 7 - MAXIMUM NONREPETITIVE SURGE CURRENT





## Industrial Blocks

# LM556/LM556C Dual Timer

### General Description

The LM556 Dual timing circuit is a highly stable controller capable of producing accurate time delays or oscillation. The 556 is a dual 555. Timing is provided by an external resistor and capacitor for each timing function. The two timers operate independently of each other sharing only  $V_{CC}$  and ground. The circuits may be triggered and reset on falling waveforms. The output structures may sink or source 200 mA.

- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible
- Temperature stability better than 0.005% per °C
- Normally on and normally off output

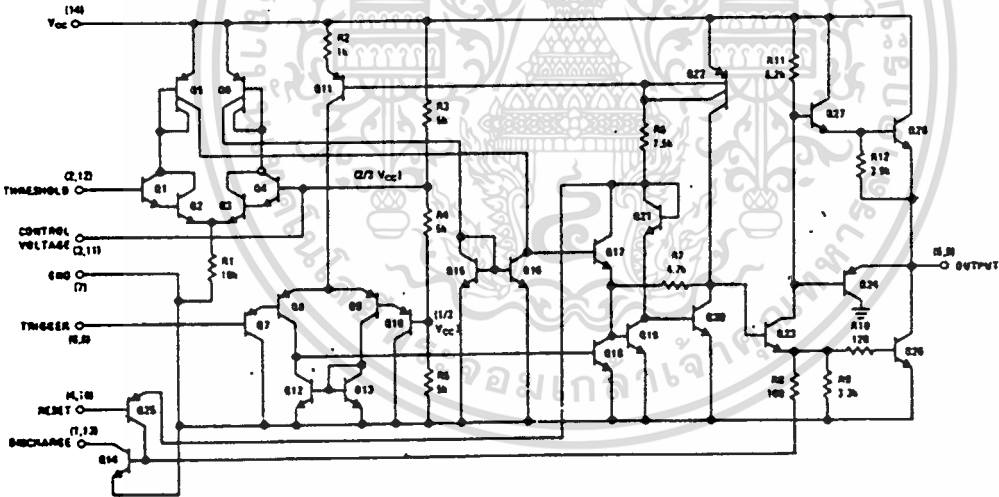
### Features

- Direct replacement for SE556/NE556
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes
- Replaces two 555 timers

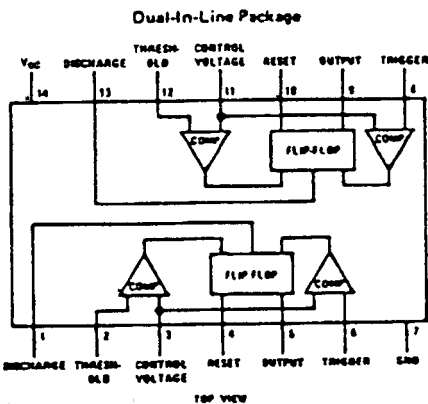
### Applications

- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator

### Schematic Diagram



### Connection Diagram



Order Number LM556CN  
See NS Package N14A  
Order Number LM556J or LM556CJ  
See NS Package J14A

## Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage	+18V
Power Dissipation (Note 1)	600 mW
Operating Temperature Ranges	
LM556C	0°C to +70°C
LM556	-55°C to +125°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

## Electrical Characteristics (T<sub>A</sub> = 25°C, V<sub>CC</sub> = +5V to +15V, unless otherwise specified)

PARAMETER	CONDITIONS	LM556			LM556C			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Supply Voltage		4.5		18	4.5		16	V
Supply Current	V <sub>CC</sub> = 5V, R <sub>L</sub> = ∞		3	5		3	6	mA
(Each Timer Section)	V <sub>CC</sub> = 15V, R <sub>L</sub> = ∞ (Low State) (Note 2)		10	11		10	14	mA
Timing Error, Monostable								
Initial Accuracy			0.5			0.75		%
Drift With Temperature	R <sub>A</sub> , R <sub>B</sub> = 1k to 100k, C = 0.1μF, (Note 3)		3.1			50		ppm/°C
Accuracy Over Temperature			1.5			1.5		%
Drift with Supply			0.05			0.1		%/V
Timing Error, Astable								
Initial Accuracy			1.5			2.25		%
Drift With Temperature			90			150		ppm/°C
Accuracy Over Temperature			2.5			3.0		%
Drift With Supply			0.15			0.30		%/V
Trigger Voltage	V <sub>CC</sub> = 15V	4.8	5	5.2	4.5	5	0.5	V
	V <sub>CC</sub> = 5V	1.45	1.67	1.9	1.25	1.67	2.0	V
Trigger Current			0.1	0.5		0.2	1.0	μA
Reset Voltage	(Note 4)	0.4	0.5	1	0.4	0.5	1	V
Reset Current			0.1	0.4		0.1	0.6	mA
Threshold Current	(Note 5)		0.03	0.1		0.03	0.1	μA
Control Voltage Level And Threshold Voltage	V <sub>CC</sub> = 15V	9.6	10	10.4	9	10	11	V
	V <sub>CC</sub> = 5V	2.9	3.33	3.8	2.6	3.33	4	V
Pin 1, 13 Leakage Output High			1	100		1	100	nA
Pin 1, 13 Sat	(Note 6)							
Output Low	V <sub>CC</sub> = 15V, I = 15 mA		150	240		180	300	mV
Output Low	V <sub>CC</sub> = 4.5V, I = 4.5 mA		70	100		80	200	mV
Output Voltage Drop (Low)	V <sub>CC</sub> = 15V							
	I <sub>SMC</sub> = 10 mA		0.1	0.15		0.1	0.25	V
	I <sub>SMC</sub> = 50 mA		0.4	0.5		0.4	0.75	V
	I <sub>SMC</sub> = 100 mA		2	2.25		2	2.75	V
	I <sub>SMC</sub> = 200 mA		2.5			2.5		V
	V <sub>CC</sub> = 5V							
	I <sub>SMC</sub> = 8 mA		0.1	0.25				V
	I <sub>SMC</sub> = 5 mA					0.25	0.36	V
Output Voltage Drop (High)	I <sub>SOURCE</sub> = 200 mA, V <sub>CC</sub> = 15V		12.5			12.5		V
	I <sub>SOURCE</sub> = 100 mA, V <sub>CC</sub> = 15V	13	13.3		12.75	13.3		V
	V <sub>CC</sub> = 5V	3	3.3		2.76	3.3		V
Rise Time of Output			100			100		ns
Fall Time of Output			100			100		ns
Matching Characteristics	(Note 7)							
Initial Timing Accuracy			0.06	0.2		0.1	2.0	%
Timing Drift With Temperature			±10			±10		ppm/°C
Drift With Supply Voltage			0.1	0.2		0.2	0.6	%/V

Note 1: For operating at elevated temperatures the device must be derated based on a +150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of +150°C/W junction to ambient for both packages.

Note 2: Supply current when output high typically 1 mA less at V<sub>CC</sub> = 5V.

Note 3: Tested at V<sub>CC</sub> = 5V and V<sub>CC</sub> = 15V.

Note 4: As reset voltage lowers, timing is inhibited and then the output goes low.

Note 5: This will determine the maximum value of R<sub>A</sub> + R<sub>B</sub> for 15V operation. The maximum total (R<sub>A</sub> + R<sub>B</sub>) is 20 MΩ.

Note 6: No protection against excessive pin 1, 13 current is necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.

Note 7: Matching characteristics refer to the difference between performance characteristics of each timer section.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LM566/LM566C Voltage Controlled Oscillator

## General Description

The LM566/LM566C are general purpose voltage controlled oscillators which may be used to generate square and triangular waves, the frequency of which is a very linear function of a control voltage. The frequency is also a function of an external resistor and capacitor.

- High temperature stability
- Excellent supply voltage rejection
- 10 to 1 frequency range with fixed capacitor
- Frequency programmable by means of current, voltage, resistor or capacitor.

The LM566 is specified for operation over the -55°C to +125°C military temperature range. The LM566C is specified for operation over the 0°C to +70°C temperature range.

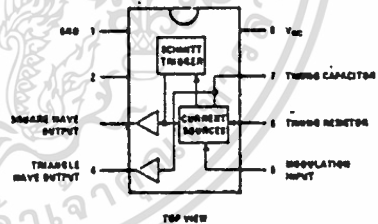
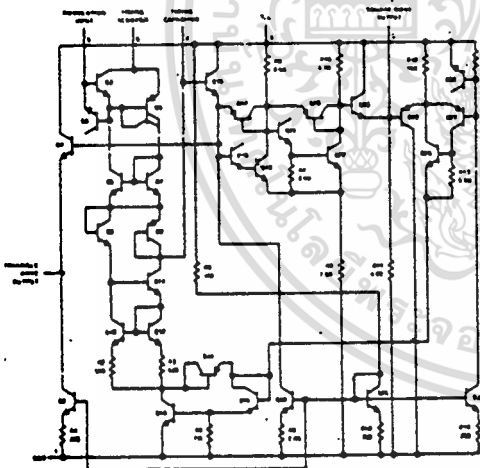
## Features

- Wide supply voltage range: 10 to 24 volts
- Very linear modulation characteristics

## Applications

- FM modulation
- Signal generation
- Function generation
- Frequency shift keying
- Tone generation

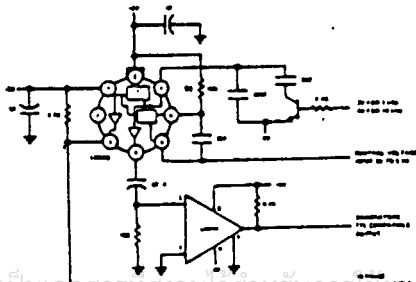
## Schematic and Connection Diagrams



Order Number LM566CN  
See NS Package NO8B

## Typical Application

1 kHz and 10 kHz TTL Compatible Voltage Controlled Oscillator



## Applications Information

The LM566 may be operated from either a single supply as shown in this test circuit, or from a split ( $\pm$ ) power supply. When operating from a split supply, the square wave output (pin 4) is TTL compatible (2 mA current sink) with the addition of a 4.7 k $\Omega$  resistor from pin 3 to ground.

A .001  $\mu$ F capacitor is connected between pins 5 and 6 to prevent parasitic oscillations that may occur during VCO switching.

$$f_o = \frac{2(V^+ - V_s)}{R_1 C_1 V^+}$$

where

$$2K < R_1 < 20K$$

and  $V_s$  is voltage between pin 5 and pin 1

## Absolute Maximum Ratings

Power Supply Voltage	26V
Power Dissipation (Note 1)	300 mW
Operating Temperature Range	LM566      -55°C to +125°C
	LM566C    0°C to 70°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	300°C

## Electrical Characteristics $V_{CC} = 12V, T_A = 25^\circ C, AC$ Test Circuit

PARAMETER	CONDITIONS	LM566			LM566C			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Maximum Operating Frequency	$R_O = 2k$ $C_O = 2.7 \mu F$		1			1		MHz
Input Voltage Range Pin 5		$3/4 V_{CC}$		$V_{CC}$	$3/4 V_{CC}$		$V_{CC}$	
Average Temperature Coefficient of Operating Frequency			100			200		ppm/°C
Supply Voltage Rejection	10-20V		0.1	1		0.1	2	%/V
Input Impedance Pin 5		0.5	1		0.5	1		MΩ
VCO Sensitivity	For Pin 5, From $8-10V, f_O = 10 kHz$	6.4	6.6	6.8	6.0	6.6	7.2	kHz/V
FM Distortion	±10% Deviation		0.2	0.75		0.2	1.5	%
Maximum Sweep Rate		800	1		500			MHz
Sweep Range			10:1			10:1		
Output Impedance								
Pin 3			50			50		Ω
Pin 4			50			50		Ω
Square Wave Output Level	$R_{L1} = 10k$	5.0	5.4		5.0	5.4		V <sub>p-p</sub>
Triangle Wave Output Level	$R_{L2} = 10k$	2.0	2.4		2.0	2.4		V <sub>p-p</sub>
Square Wave Duty Cycle		45	50	55	40	50	60	%
Square Wave Rise Time			20			20		ns
Square Wave Fall Time			50			50		ns
Triangle Wave Linearity	+1V Segment at $1/2 V_{CC}$		0.2	0.75		0.5	1	%

Note 1: The maximum junction temperature of the LM566 is 150°C, while that of the LM566C is 100°C. For operating at elevated junction temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W. The thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W.